

Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών & Βιώσιμου
Σχεδιασμού

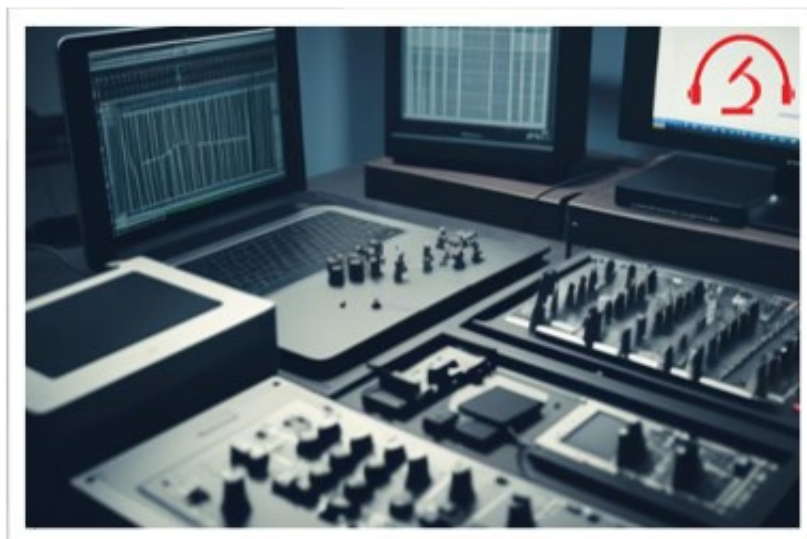
Ακουστικός Σχεδιασμός και Ψηφιακός Ήχος

Διπλωματική Εργασία

Τεχνικές δικανικής ανάλυσης στον εντοπισμό παραποίησης ήχου

Καντούτσης Χρήστος

Επιβλέπων καθηγητής: Χαράλαμπος Δημούλας



Πάτρα, Μάιος 2024

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίωσης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Τεχνικές δικανικής ανάλυσης στον εντοπισμό παραποίησης ήχου

Καντούτσης Χρήστος

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

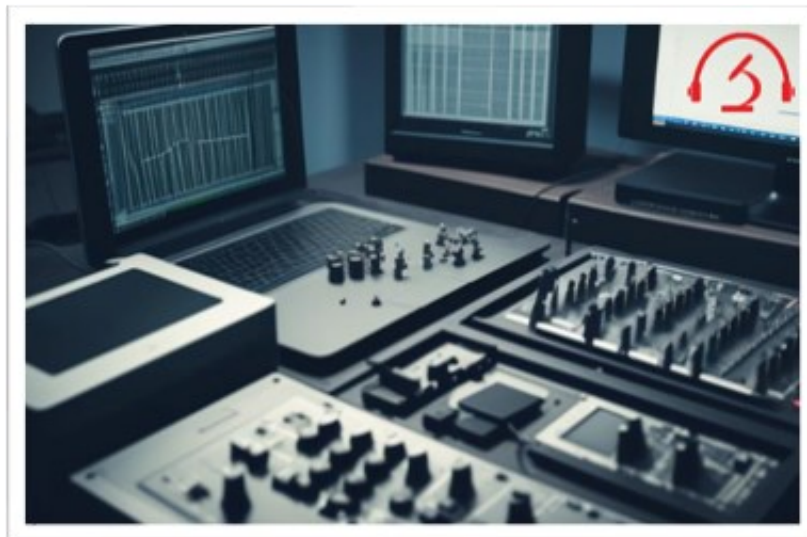
Χαράλαμπος Δημούλας

«Καθηγητής ΑΠΘ Τμήμα
Δημοσιογραφίας και Μέσων Μαζικής
Επικοινωνίας»

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Ρήγας Κωτσάκης

«Επίκουρος Καθηγητής ΔΙΠΑΕ Τμήμα
Μηχανικών Πληροφορικής και
Ηλεκτρονικών Συστημάτων»



Πάτρα, Μάιος 2024

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Πρώτον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Δημούλα Χαράλαμπο, ο οποίος με ενθάρρυνε και με υποστήριξε στην επιλογή του θέματος της διπλωματικής μου εργασίας. Η καθοδήγηση και η εμπειρία του αποτέλεσαν πολύτιμα εφόδια για την έρευνα και την συγγραφή της εργασίας.

Ευχαριστώ θερμά τους αγαπημένους μου Μαρία και Σπύρο για την αμέριστη υποστήριξή τους “throughout the entire process”. Η ηθική τους στήριξη ήταν πολύτιμη σε δύσκολες στιγμές και με βοήθησε να διατηρήσω το κίνητρο και την αισιοδοξία μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου την οικογένειά μου, την Χρύσα & τον Φίλιππο για την υπομονή και την αγάπη τους. Η πίστη τους σε εμένα και η στήριξή τους σε κάθε μου βήμα ήταν η κινητήρια δύναμή μου για να φτάσω μέχρι το τέλος.

Χωρίς την υποστήριξη όλων αυτών των ανθρώπων, η ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήταν αδύνατη.

Σας ευχαριστώ όλους...!!!

Περίληψη

Η επιτάχυνση του ψηφιακού μετασχηματισμού καθιστά αναγκαία σήμερα την ενσωμάτωση τεχνολογιών σε όλους τους τομείς ακόμα και στον κλάδο καταπολέμησης της εγκληματικότητας διαμέσου του ήχου, όπου τα ηχητικά δεδομένα αποτελούν βασική πηγή άντλησης πληροφοριών αποδεικτικών στοιχείων. Φαινόμενα αλλοίωσης και παραποίησης των εν λόγω πειστηρίων αναδεικνύουν την ανάγκη ύπαρξης νέων, καινοτόμων και ασφαλών μεθόδων και διαδικασιών για τον εντοπισμό πιθανών αλλοίωσης/επεξεργασίας και συρραφής, στα ψηφιακά ηχητικά αρχεία, παρέχοντας πρωτίστως την διασφάλιση της γνήσιας ηχητικής ψηφιακής πληροφορίας. Κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση τεχνικών που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο αυθεντικότητας των ψηφιακών αρχείων ήχου. Παράλληλα σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε και αξιολογήθηκε πιλοτική εφαρμογή για την εξαγωγή διαφόρων πληροφοριών και άμεσων λειτουργιών γρήγορου ελέγχου σε ηχητικά αρχεία. Οι περιορισμοί που προκύπτουν κατά την ανάλυση των ανωτέρω τεχνικών και της υλοποίησης της υπό-ανάπτυξη εφαρμογής, σχετίζονται με χρονικούς και οικονομικούς παράγοντες καθώς και εξειδικευμένες τεχνικές δεξιότητες που απαιτούνται από τον εκάστοτε εμπειρογνώμονα. Τέλος παρουσιάζονται τα κύρια συμπεράσματα που προέκυψαν, συνοψίζεται η συνεισφορά της παρούσας εργασίας στο πεδίο της ψηφιακής επεξεργασίας του ήχου και συγκεκριμένα στον τομέα της ηχητικής εγκληματολογίας, καθώς επίσης προτείνονται και διάφορα πεδία προς μελλοντική διερεύνηση.

Λέξεις – Κλειδιά

Ψηφιακός ήχος, Έλεγχος αυθεντικότητας, Τεχνικές εντοπισμού παραποίησης ψηφιακών ηχητικών αρχείων

Digital forensics techniques in audio tampering detection

Christos Kantoutsis

Abstract

The emergence and rapid growth of digital transformation today forces technologies integration in all sectors, as well as in the area of crime prevention and defense through audio forensics, where audio data is one of the key sources of digital evidence. Audio tampering events in such audio file evidences highlight the need for new, innovative and safe methods to detect possible tampering and splicing and ensure the genuineness of audio digital information. This study intends to present the most important techniques used to investigate the authenticity of digital audio files. To serve study purposes, a pilot application for the extraction of various information and direct quick control functions in audio files was designed, implemented, and evaluated. The limitations that arise during the analysis of the above techniques and the implementation of the under-development application, are related to time and financial factors as well as specialized technical skills required by the respective expert. Finally, under this study limitations and the potential of a future and more extensive research, the main conclusions obtained from this research are presented, the contribution of this work to the field of digital audio processing is summarized, specifically in the area of audio forensics, while areas for future research and improvements were identified.

Keywords

Digital sound, Audio-Based Digital Content Authentication, Tampering detection techniques for digital audio files

Περιεχόμενα

Περίληψη	v
Abstract.....	vi
Περιεχόμενα.....	vii
Κατάλογος Εικόνων.....	x
Κατάλογος Πινάκων	xviii
Κατάλογος Κώδικα.....	xx
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xxii
Εισαγωγή.....	1
1 Ψηφιακός Ήχος & Αριθμητικά Δεδομένα (Digital Audio & Numerical Data).....	3
1.1 Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος (Digital Signal Processing - DSP).....	3
1.2 Μέθοδοι Κωδικοποίησης Ψ/H (Coding Methods D/S)	4
1.2.1 Παλμοκωδική Κωδικοποίηση (Pulse Code Modulation - PCM).....	4
1.2.2 M-Law & A-Law PCM	5
1.2.3 Διαφορική Παλμοκωδική Κωδικοποίηση (Differential Pulse Code Modulation-DPCM)	5
1.2.4 Προσαρμοστική Διαφορική Παλμοκωδική Κωδικοποίηση (Adaptive Differential Pulse Code Modulation-ADPCM)	6
1.2.5 Γραμμική Προβλεπόμενη Κωδικοποίηση (Linear Predictive Coding-LPC) ...	6
1.3 Διακριτότητα (Sampling).....	7
1.4 Συχνότητα Δειγματοληψίας (Sample Rate)	8
1.5 Βάθος Δειγματοληψίας (Bit Depth)	10
1.6 Κβαντισμός (Quantization).....	12
1.7 Δεκαεξαδικές Υπογραφές Δεδομένων (Hexadecimal Data Signatures - HDS) ..	14
1.8 Αποθήκευση Δεδομένων (File Formats).....	20
1.9 Μεταδεδομένα και Ιδιότητες Αρχείων Ήχου (Metadata & Properties).....	23
1.10 Ρυθμός Μετάδοσης (Bitrate)	24
1.11 Χωρητικότητα Αποθήκευσης (Storage Capacity)	25
1.12 Υπολογισμός διάρκειας & μεγέθους καρέ (Calculation of Frame Size & Duration).....	27
1.13 Αλγόριθμοι Κατακερματισμού (Hash Algorithms).....	31
1.14 Συντελεστής Συσχέτισης (CC) & Μέση Τετραγωνική Απόκλιση (MQD).....	37
1.15 Ποσοστό μηδενικής διέλευσης (ZCR – Zero Crossing Rate).....	38
2 Τεχνικές εντοπισμού παραποίησης Ψηφιακών Ηχητικών Αρχείων	40
2.1 Έννοια της παραποίησης και επισκόπηση των τεχνικών (Overview of counterfeit detection concept and techniques).....	40
2.1.1 Τοπικές Τεχνικές (Local Techniques).....	41
2.1.2 Καθολικές Τεχνικές (Global Techniques).....	41
2.2 Αλυσίδα Επιτήρησης (Chain of Custody).....	42
2.3 Διασφάλιση Πηγαίου Αρχείου (Source File Assurance).....	43
2.4 Κριτική ακρόαση (Critical Listening)	44
2.5 Καθολικές Τεχνικές (Global Techniques).....	46
2.5.1 Ανάλυση Ηχητικών Αρχείων Βασισμένη Στον Κατακερματισμό (Analysis of Audio Files Based on Fragmentation).....	46
2.5.2 Τεχνική Εντοπισμού Ημερομηνίας Δημιουργίας (Mac Time stamps)	49

2.5.3	Έλεγχος Μεταδεδομένων & Ιδιοτήτων Αρχείου (Metadata & File Properties Analysis).....	54
2.5.4	Έλεγχος & Επαλήθευση Δεδομένων Ηχητικού Αρχείου Μέσω “Hex” (Auditing and Verification of Audio File Data in Hex).....	59
2.5.5	Εντοπισμός Λογισμικού Επεξεργασίας (Locating Editing Software).....	63
2.5.6	Ανάλυση Βασισμένη Στην Κατασκευαστική Δομή Ηχητικών Αρχείων (Analysis Based on the Constructional Structure of Audio Files).....	66
2.5.7	Έλεγχος Μετατόπισης Συνεχούς Ρεύματος (DC - Direct Current Offset).....	88
2.5.8	Ανάλυση Ηλεκτρικού Δικτύου (Electric Network Analysis - ENF).....	93
2.5.9	Εντοπισμός & Ανάλυση Επιπέδου Συμπίεσης (Compression Level Detection & Analysis - CLDA).....	111
2.6	Τεχνικές Τοπικών Αναλύσεων (Local Analysis Techniques)	120
2.6.1	Τεχνική Ανάλυσης Κυματομορφής (Waveform Analysis Technique).....	120
2.6.2	Φασματογραφική Ανάλυση (Spectrographic Analysis).....	135
2.6.3	Ανάλυση Ισχύος Σήματος (Signal Power Analysis).....	149
3	Ανάλυση	151
3.1	Φάσεις ανάπτυξης εφαρμογής	151
3.2	Αρχικό χρονοδιάγραμμα	154
3.3	Βασικές λειτουργίες εφαρμογής.....	154
3.4	Διαθέσιμες εφαρμογές.....	155
4	Σχεδίαση.....	157
4.1	Εργαλεία ανάπτυξης.....	157
4.1.1	Περιβάλλον διεπαφής.....	158
4.1.2	Γλώσσες ανάπτυξης	160
4.2	Όνομα και σχεδίαση λογότυπου εφαρμογής.....	165
4.3	Καθορισμός και διάγραμμα δραστηριοτήτων	166
4.4	Πρότυπα χαμηλής πιστότητας	170
4.5	Χάρτης πλοήγησης χρηστών	171
4.6	Mockups εφαρμογής.....	172
4.7	Περιορισμοί.....	173
4.8	Τεχνικές προδιαγραφές	174
5	Υλοποίηση εφαρμογής.....	176
5.1	Λογότυπο	176
5.2	Διαμόρφωση πλατφόρμας Wix.....	177
5.2.1	Δημιουργία λογαριασμού στο σύστημα Wix	177
5.2.2	Επιλογή θέματος.....	177
5.2.3	Ονομασία domain	178
5.2.4	Δημιουργία της αρχικής σελίδας.....	178
5.2.5	Εισαγωγή και διαμόρφωση επιλογής Login/sign up/logout	181
5.2.6	Διαμόρφωση σελίδας προφίλ χρήστη	182
5.3	Συγγραφή κώδικα και ενσωμάτωση στη σελίδα εργαλείων, διαμόρφωση & μορφοποίηση	183
5.3.1	Κοινές εντολές κώδικα της εφαρμογής.....	185
5.3.2	Ομάδα εργαλείων υπολογισμού αλγόριθμων κατακερματισμού	187
5.3.3	Ομάδα εργαλείων αναγνώρισης ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου.....	195
5.3.4	Ομάδα εργαλείων επεξεργασίας δεκαεξαδικών δεδομένων	197

5.3.5	Ομάδα εργαλείων επεξεργασίας ηχητικών αρχείου.....	203
5.3.6	Ομάδα εργαλείων αναπαραγωγής και οπτικοποίησης ηχητικών αρχείων	213
5.4	Δημιουργία εγχειριδίου χρήστη	222
5.5	Έλεγχος, διορθώσεις & δημοσίευση εφαρμογής.....	223
6	Αξιολόγηση.....	224
6.1	Μέθοδος συλλογής δεδομένων	224
6.2	Δείγμα.....	226
6.3	Μέθοδος ανάλυσης δεδομένων.....	227
6.4	Ερευνητική δεοντολογία	228
6.5	Ανάλυση δεδομένων και αποτελέσματα έρευνας	229
6.5.1	Ευρήματα	229
7	Συμπεράσματα	242
7.1	Αποτελέσματα: Παραδοτέα και γενικά συμπεράσματα της εργασίας.....	242
7.2	Συνεισφορά εργασίας.....	243
7.3	Προτάσεις για μελλοντικές επεκτάσεις	244
	Βιβλιογραφικές αναφορές	246
	Παράρτημα Α: Ερωτηματολόγιο αξιολόγησης της εφαρμογής.....	260
	Παράρτημα Β: Εγχειρίδιο χρήσης της εφαρμογής (User Guide).....	261
	Παράρτημα Γ: Αρχεία κώδικα εφαρμογής DFA tools.....	262
	Παράρτημα Δ: Λογισμικά και εργαλεία διεκπεραίωσης της ΔΕ.....	263
	Παράρτημα Ε: Αρχείο εικόνων.....	264
	Παράρτημα ΣΤ: Πρότυπα χαμηλής πιστότητας της εφαρμογής DFA tools	265
	Παράρτημα Ζ: Mockups της εφαρμογής DFA tools.....	266
	Παράρτημα Η: Αρχείο κώδικα ENF.....	267
	Παράρτημα Θ: Αρχείο κώδικα CRC32	268
	Παράρτημα Ι: Αρχείο κώδικα εικόνας 2-81 & 2-84	269
	Παράρτημα ΙΑ: Αρχείο Μέτρησης Dc_Bias.....	270
	Παράρτημα ΙΒ: Αρχείο Ανάλυσης Rms_Power.....	271
	Παράρτημα ΙΓ: Αρχείο Εξαγωγής & Σύγκρισης (ENF) Audio_DataBase.....	272
	Παράρτημα ΙΔ: Αρχείο Υπολογισμού Μηδενικών Διασταυρώσεων & Αυτοσυσχέτισης	273
	Παράρτημα ΙΕ: Αρχείο Κώδικα Εξαγωγής Πληροφοριών από “.mp3”	274

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1-1 Απεικόνιση κωδικοποίησης PCM	4
Εικόνα 1-2 Απεικόνιση μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό	7
Εικόνα 1-3 Απεικόνιση μεγεθυμένου σήματος ήχου	8
Εικόνα 1-4 Απεικόνιση αντιστοιχίας δυναμικούς εύρους και βάθους (bit)	11
Εικόνα 1-5 Απεικόνιση δημιουργίας τιμών “Hash” με χρήση αλγορίθμων κατακερματισμού	31
Εικόνα 1-6 Απεικόνιση ονοματολογίας διαδικασιών της δημιουργίας “Hash values”	31
Εικόνα 1-7 Απεικόνιση λειτουργίας συνάρτησης κατακερματισμού (Hash function)	33
Εικόνα 1-8 Απεικόνιση σύγκρουσης κατά την σύγκριση διαφορετικών αρχείων δεδομένων.	36
Εικόνα 2-1 Σύνοψη ενεργειών αλυσίδα επιτήρησης (Chain of Custody) στην δικανική επιστήμη του ήχου (Audio Forensics)	42
Εικόνα 2-2 Σύνοψη ενεργειών παρατήρησης κατά την διαδικασία της κριτικής ακρόασης (critical listening)	44
Εικόνα 2-3 Απεικόνιση σύνοψης τεχνικών εντοπισμού παραποίησης και σύνδεση με την τεχνική κριτικής ακρόασης (critical listening)	45
Εικόνα 2-4 Απεικόνιση εξαγωγής τιμών κατακερματισμού “Hash values” ηχητικού αρχείου στην κονσόλα του “PowerShell -ISE”	46
Εικόνα 2-5 Απεικόνιση αποτελεσμάτων υπολογισμού και σύγκρισης τιμών κατακερματισμού (hash values) στην κονσόλα εμφάνισης αποτελεσμάτων του PowerShell-ISE	48
Εικόνα 2-6 Απεικόνιση εφαρμογής κώδικα για εύρεση της Mac time stamp	50
Εικόνα 2-7 Απεικόνιση εφαρμογής εντολών κώδικα (2-4) για μετατροπή της Mac time stamp αρχείου ήχου σε ημερομηνία και ώρα	50
Εικόνα 2-8 Απεικόνιση εκτέλεσης κώδικα εξαγωγής ιδιοτήτων (properties) και μεταδεδομένων (metadata) ηχητικού αρχείου στην κονσόλα του PowerShell-ISE	55
Εικόνα 2-9 Απεικόνιση εντοπισμού ιδιοτήτων (properties) και μεταδεδομένων (metadata) ηχητικού αρχείου στο λειτουργικό του υπολογιστή	56
Εικόνα 2-10 Απεικόνιση εμφάνισης πληροφοριών ιδιοτήτων (properties) και μεταδεδομένων (metadata) ηχητικού αρχείου για επαλήθευση στο cmd	57
Εικόνα 2-11 Απεικόνιση εξόρυξης και εξακρίβωσης των πληροφοριών που εντοπίζονται στο αρχείο, μέσω λογισμικού Adobe Audition	58
Εικόνα 2-12 Απεικόνιση εντοπισμού ιδιοτήτων (properties) και μεταδεδομένων (metadata) ηχητικού αρχείου ψευδής ημερομηνίας στο λειτουργικό του υπολογιστή εκτός διαδικτύου	60
Εικόνα 2-13 Απεικόνιση εντοπισμού καταχώρησης ημερομηνίας και ώρας ηχητικού αρχείου σε Hex-Editor στα ακατέργαστα δεδομένα, με αλλαγή ημερομηνίας χωρίς σύνδεση στο διαδίκτυο	60
Εικόνα 2-14 Απεικόνιση εντοπισμού ιδιοτήτων (properties) και μεταδεδομένων (metadata) ηχητικού αρχείου ψευδής ημερομηνίας στο λειτουργικό του υπολογιστή με σύνδεση στο διαδίκτυο	61
Εικόνα 2-15 Απεικόνιση ηχητικού αρχείου σε Hex-Editor στα ακατέργαστα δεδομένα, με αλλαγή ημερομηνίας και σύνδεση στο διαδίκτυο	61

Εικόνα 2-16 Απεικόνιση εντοπισμού λογισμικού επεξεργασίας κλειστού κώδικα στα ακατέργαστα δεδομένα του ηχητικού αρχείου “Adobe Audition” σε Hex-Editor.....	63
Εικόνα 2-17 Απεικόνιση εντοπισμού κινητής συσκευής που επεξεργάστηκε το ηχητικό αρχείο στα ακατέργαστα δεδομένα iPhone Version 16.5.1 σε Hex-Editor	64
Εικόνα 2-18 Απεικόνιση εντοπισμού λογισμικού επεξεργασίας ανοιχτού κώδικα στα ακατέργαστα δεδομένα του ηχητικού αρχείου “Reaper” σε Hex-Editor.....	64
Εικόνα 2-19 Απεικόνιση εντοπισμού λογισμικού επεξεργασίας ανοιχτού κώδικα στα ακατέργαστα δεδομένα του ηχητικού αρχείου Audacity σε Hex-Editor.....	65
Εικόνα 2-20 Απεικόνιση παραδείγματος δεκαεξαδικής ανάλυσης (Hexadecimal - Analysis) κεφαλίδας (Header) στο PowerShell-ISE ηχητικού αρχείου της μορφής “wav”	66
Εικόνα 2-21 Απεικόνιση δομής ηχητικού αρχείου της μορφής “wav”	69
Εικόνα 2-22 Απεικόνιση παραδείγματος εκτέλεσης του παραπάνω κώδικα (2-10), μετατροπής από δεκαεξαδικά σε δεκαδικά δεδομένα.....	72
Εικόνα 2-23 Απεικόνιση ανάλυσης και εξαγωγής πληροφοριών μεγέθους ηχητικού αρχείου της μορφής “wav” στο PowerShell-ISE.....	73
Εικόνα 2-24 Απεικόνιση ανάλυσης παραδείγματος Hex Header και εξαγωγής πληροφοριών ηχητικού αρχείου της μορφής “wav” στο PowerShell-ISE.....	75
Εικόνα 2-25 Απεικόνιση μετατροπής δεκαεξαδικών δεδομένων σε δυαδικά.....	78
Εικόνα 2-26 Απεικόνιση ανάλυσης δεδομένων πλαισίου του “mp3”	78
Εικόνα 2-27 Απεικόνιση αποτελεσμάτων εφαρμογής του κώδικα (2-13) για αρχεία mp3.	83
Εικόνα 2-28 Μεγεθυμένη Κυματομορφή με α) μετατόπιση και β) χωρίς μετατόπιση DC (Direct Current Offset).....	88
Εικόνα 2-29 Μεγεθυμένη Κυματομορφή με αναγραφή διαφορών μεταξύ τιμών μετατόπισης DC-Offset (Direct Current Offset) και εντοπισμός σημείου συναρμολόγησης στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX – Izotope	89
Εικόνα 2-30 Απεικόνιση εγγραφής που έχει υλοποιηθεί από το ίδιο μέσο. Δημιουργία εικόνας από κώδικα παραρτήματος ΙΑ.....	90
Εικόνα 2-31 Απεικόνιση εγγραφής που δεν έχει υλοποιηθεί από το ίδιο μέσο & αποτελεί δημιούργημα συρραφής. Δημιουργία εικόνας από κώδικα παραρτήματος ΙΑ	91
Εικόνα 2-32 Απεικόνιση ποσοστού DC - Offset κατά μήκος της συνολικής διάρκειας του αρχείου ανά κανάλι στο λογισμικό RX-Izotope.....	91
Εικόνα 2-33 Απεικόνιση χάρτη των Χωρών που συνδέονται άμεσα με το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Ενέργειας.....	93
Εικόνα 2-34 Απεικόνιση Μέτρηση τάσης και συχνότητας δικτύου στις 15.02.2024 και δυναμική παροχή εφεδρικής ισχύος από μετατροπείς διαμόρφωσης δικτύου. Πηγή (Energy charts)	94
Εικόνα 2-35 Απεικόνιση συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF) και φασματογραφήματος ηχογράφησης που τελέστηκε μέσω κινητής συσκευής πλησίον ηλεκτρικής πρίζας	95
Εικόνα 2-36 Απεικόνιση συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF) και φασματογραφήματος ηχογράφησης που τελέστηκε μέσω κοινού συστήματος ηχογράφησης συνδεδεμένο σε ηλεκτρική πρίζα.....	96
Εικόνα 2-37 Απεικόνιση συμπεριφοράς συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (electric network frequency - enf) στο φασματογράφημα, στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου “Adobe Audition”.....	98
Εικόνα 2-38 Απεικόνιση αδικαιολόγητης συμπεριφοράς συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (electric network frequency - enf) στο φασματογράφημα ηχογράφησης.....	98

Εικόνα 2-39 Απεικόνιση διαγράμματος συμπεριφοράς συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (electric network frequency - enf) πηγαίας ηχογράφησης (Comparing Signal) με έτερη ηχογράφηση (Signal) που φέρει σημείο συρραφής. Δημιουργία εικόνας από κώδικα παραρτήματος Η.....	99
Εικόνα 2-40 Απεικόνιση διαγράμματος συμπεριφοράς συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (electric network frequency - enf) πηγαίας ηχογράφησης (Comparing Signal) που εμφανίζει απόλυτη ταύτιση με έτερη ηχογράφηση (Signal) που φέρει υπόνοια για συρραφή. Εικόνα από κώδικα παραρτήματος Η.....	99
Εικόνα 2-41 Απεικόνιση φασματογραφήματος ηχογράφησης που αποτελεί προϊόν συρραφής, στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου “Adobe Audition”.....	100
Εικόνα 2-42 Απεικόνιση φασματογραφήματος ηχογράφησης που αποτελεί προϊόν συρραφής, με κάθετη μεγέθυνση εστιασμένη στα 50 Hz, στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου “Adobe Audition”.....	101
Εικόνα 2-43 Απεικόνιση φασματογραφήματος ηχογράφησης που δεν παρουσιάζει ίχνη από προϊόν συρραφής, με κάθετη μεγέθυνση εστιασμένη στα 50 Hz, στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου “Adobe Audition”.....	101
Εικόνα 2-44 Απεικόνιση α) φασματογραφήματος ηχογράφησης, β) προσομοίωση εμφάνισης αρμονικών, γ) εντοπισμός των 50 Hz της θεμελίου συχνότητας (enf) και των τριών αρμονικών που προκύπτουν στην ηχογράφηση. Εικόνα από κώδικα παραρτήματος Η.....	102
Εικόνα 2-45 Απεικόνιση διακύμανσης θεμέλιου συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (electric network frequency), στα 50 Hz και του τέταρτου αρμονικού, καθώς ο 1 ^{ος} , 2 ^{ος} & 3 ^{ος} αρμονικός δεν εντοπίζονται στην καταγραφή. Εικόνα από κώδικα παραρτήματος Η.....	103
Εικόνα 2-46 Απεικόνιση ημερομηνίας δημιουργίας μέσω αναζήτησης ιδιοτήτων (properties) ηχητικού αρχείου στο λειτουργικό του υπολογιστή.....	104
Εικόνα 2-47 Απεικόνιση ημερομηνίας δημιουργίας μέσω αναζήτησης δεκαεξαδικού προβολέα δεδομένων, του ηχητικού αρχείου στο Hex-Editor.....	104
Εικόνα 2-48 Απεικόνιση διαφοράς ώρας Ελλάδας & Γερμανίας. (Πηγή: Ιστότοπος Time_German_Greece).....	105
Εικόνα 2-49 Απεικόνιση Μέτρηση τάσης και συχνότητας δικτύου στις “20 Ιουνίου 2024, 10:49:13 μμ.” και δυναμική παροχή εφεδρικής ισχύος από μετατροπείς διαμόρφωσης δικτύου. Πηγή (Energy charts).....	105
Εικόνα 2-50 Απεικόνιση εσφαλμένης επικύρωσης ημερομηνίας δημιουργίας του ηχητικού αρχείου προς εξέταση. Δημιουργία διαδραστικής εικόνας από κώδικα παραρτήματος ΙΓ.....	106
Εικόνα 2-51 Απεικόνιση ορθής επικύρωσης ημερομηνίας δημιουργίας του ηχητικού αρχείου προς εξέταση. Δημιουργία διαδραστικής εικόνας από κώδικα παραρτήματος ΙΓ.....	107
Εικόνα 2-52 Απεικόνιση διαπίστωσης α) συνεχόμενης εγγραφής μέσω ομοιομορφίας καθ’ όλη την διάρκεια της εγγραφής β) διακοπείσας εγγραφής μέσω της απότομης ανομοιομορφίας στην διαφορά φάσης των σημάτων ENF, στο λογισμικό Adobe Audition.....	108
Εικόνα 2-53 Απεικόνιση ελέγχου ENF σημάτων ηχογράφησης και Database μέσω παραμέτρων CC & MQD. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε μέσω του κώδικα στο παράρτημα ΙΓ.....	109
Εικόνα 2-54 Απεικόνιση φασματογραφήματος στο λογισμικό επεξεργασίας Izotope, με εμφανή οφθαλμαπάτη συνεχόμενης καταγραφής ENF.....	110

Εικόνα 2-55 Απεικόνιση φασματογραφήματος στο λογισμικό επεξεργασίας Izotope, έπειτα από επαναδειγματοληψία (από τα 120 Hz στα 1100 Hz) και εμφάνιση επεξεργασιών.....	110
Εικόνα 2-56 Απεικόνιση ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου επέκτασης και είδους απωλεστικής συμπίεσης.....	111
Εικόνα 2-57 Απεικόνιση κεφαλίδας ηχητικού αρχείου της μορφής “mp3” και ετικέτας “ID3”, μέσω “Hex -Editor”	112
Εικόνα 2-58 Απεικόνιση αποκωδικοποιητή που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή μορφής “mp3” απωλεστικής συμπίεσης, μέσω “Hex -Editor”	112
Εικόνα 2-59 Απεικόνιση ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου και μέγεθος απωλεστικής συμπίεσης	113
Εικόνα 2-60 Απεικόνιση φασματικής ανάλυσης ηχητικού αρχείου και μέγεθος απώλειας ηχητικής πληροφορίας λόγω απωλεστικής συμπίεσης, στο DAW Izotope-RX9.....	114
Εικόνα 2-61 Απεικόνιση φασματογραφήματος ηχητικού αρχείου και μέγεθος απώλειας ηχητικής πληροφορίας λόγω απωλεστικής συμπίεσης στο DAW Izotope-RX9.....	114
Εικόνα 2-62 Απεικόνιση φασματογραφήματος ηχητικού αρχείου και μέγεθος απώλειας ηχητικής πληροφορίας λόγω επιλογής συγκεκριμένου ρυθμού μετάδοσης & απωλεστικής συμπίεσης.....	115
Εικόνα 2-63 Απεικόνιση ιστογράμματος ηχητικού αρχείου της μορφής “wav” χωρίς εφαρμογή απώλειας πληροφορίας και ιστόγραμμα ηχητικού αρχείου “.wav” που έχει υποστεί συμπίεση στα δεδομένα του με απώλεια πληροφορίας. Πηγή (Hex -Editor)	116
Εικόνα 2-64 Απεικόνιση αποτελεσμάτων ηχητικού αρχείου της μορφής “wav” χωρίς εφαρμογή απώλειας ηχητικής πληροφορίας λόγω επιλογής απωλεστικής συμπίεσης. Πηγή (Mathe).....	118
Εικόνα 2-65 Απεικόνιση αποτελεσμάτων ηχητικού αρχείου της μορφής “mp3” με εφαρμογή απώλειας ηχητικής πληροφορίας λόγω επιλογής διπλής απωλεστικής συμπίεσης για απόκρυψη συρραφής.	119
Εικόνα 2-66 Απεικόνιση α) αρχικής κυματομορφής στο λογισμικό “Adobe Audition”. Λόγω χαμηλής εγγραφής β) μεγεθύνουμε κατά πλάτος ώστε να είναι πιο εμφανή και ευδιάκριτο το περιεχόμενο της κυματομορφής.....	120
Εικόνα 2-67 Απεικόνιση εύρεσης ίδιου μοτίβου σε εγγραφή στα σημεία χωρίς εμφάνιση φωνητικής δραστηριότητας στο λογισμικό επεξεργασίας “RX”	121
Εικόνα 2-68 Απεικόνιση εύρεσης σημείου σιγής σε εγγραφή, κατά τον οπτικό έλεγχο της κυματομορφής, με τη βοήθεια του λογισμικού επεξεργασίας “Adobe Audition”	122
Εικόνα 2-69 Απεικόνιση ρυθμού μηδενικής διασταύρωσης & αυτοσυσχέτιση καθυστέρησης -1.....	123
Εικόνα 2-70 Απεικόνιση εφαρμογής περικοπής (cropping).....	124
Εικόνα 2-71 Απεικόνιση εφαρμογής σιγής (Silence)	124
Εικόνα 2-72 Απεικόνιση εφαρμογής Διαγραφής (Delete)	125
Εικόνα 2-73 Απεικόνιση εφαρμογής Συναρμολόγησης (Splicing).....	125
Εικόνα 2-74 Απεικόνιση εφαρμογής συμπίεσης στην κυματομορφή (Compression Apply)	126
Εικόνα 2-75 Απεικόνιση εφαρμογής τεχνητής αντήχησης (Artificial Reverberation)	126
Εικόνα 2-76 Απεικόνιση μεγεθυμένης κυματομορφής για έλεγχο θεωρήματος δειγματοληψίας στο λογισμικό επεξεργασίας “Adobe Audition”.....	128
Εικόνα 2-77 Απεικόνιση κυματομορφής στερεοφωνικού αρχείου στο λογισμικό επεξεργασίας “Adobe Audition”.....	129

Εικόνα 2-78 Απεικόνιση ελέγχου επιπέδων στάθμης και φάσης μεταξύ των καναλιών, στο λογισμικό επεξεργασίας “Adobe Audition”.....	129
Εικόνα 2-79 Απεικόνιση ελέγχου μέσω ανάλυσης φάσματος λογαριθμικά μεταξύ καναλιών, στο λογισμικό επεξεργασίας “Adobe Audition”.....	130
Εικόνα 2-80 Απεικόνιση ανάλυσης επιπέδων ενέργειας πλάτους στην κυματομορφή στο λογισμικό επεξεργασίας “Adobe Audition”.....	130
Εικόνα 2-81 Απεικόνιση αναπαράστασης Ενισχυτικής Συμβολής (Constructive Interference) σχήματα (a & b), καθώς και Αποδυναμωτικής Συμβολής (Destructive Interference), σχήματα (c & d).....	131
Εικόνα 2-82 Απεικόνιση αποτελεσμάτων Hash values και ελέγχου αριστερού και δεξιού καναλιού ήχου σε αρχείο ήχου, στο powershell-Ise.....	133
Εικόνα 2-83 Απεικόνιση στατιστικών χαρακτηριστικών ανά κανάλι ήχου στο αρχείο στο Powershell-ISE.....	133
Εικόνα 2-84 Απεικόνιση κυματομορφής, πρώτης & δεύτερης παραγώγου του σήματος.....	134
Εικόνα 2-85 Απεικόνιση φασματογραφήματος στο λογισμικό RX - Izotope, από ηχογράφιση κάμερας εξωτερικού χώρου, συνδεδεμένη στο ρεύμα και με μεγέθυνση για τον εντοπισμό παρουσίας συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (enf).....	135
Εικόνα 2-86 Απεικόνιση φασματογραφήματος από ηχογράφιση σε αρχείο ήχου τύπου .Wav (44.1kHz - CD) με εμφανή στοιχεία επαναδειγματοληψίας κατόπιν εφαρμογής απωλεστικής συμπίεσης.....	136
Εικόνα 2-87 Απεικόνιση φασματογραφήματος από ηχογράφιση σε αρχείο ήχου τύπου .Wav (44.1kHz - CD) που πληροί τις προϋποθέσεις θεωρήματος “Nyquist”.....	137
Εικόνα 2-88 Απεικόνιση φασματογραφήματος στο λογισμικό RX - Izotope και επιλεγμένων σημείων που οφείλονται στην διακύμανση συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου αρμονικούς και συμπεριφοράς καταγραφής του χρησιμοποιούμενου μέσου.....	138
Εικόνα 2-89 Απεικόνιση επιλογής σημείου για το προφίλ θορύβου από την επιλεγόμενη περιοχή στο φασματογράφημα, στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope.....	139
Εικόνα 2-90 Εικόνα Απεικόνιση φασματογραφήματος προφίλ θορύβου κατά μήκος της καταγραφής στο αρχείο στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope.....	140
Εικόνα 2-91 Απεικόνιση επιλογής σημείου για το προφίλ θορύβου από την επιλεγόμενη περιοχή στο φασματογράφημα σε ηχογράφιση, στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope.....	140
Εικόνα 2-92 Αφαίρεση φασματογραφήματος του παρασκηνίου που εντοπίστηκε στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope.....	141
Εικόνα 2-93 Απεικόνιση φασματογραφήματος που απέμεινε στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope με τις συνομιλίες και τον θόρυβο βάθους (background noise) που παραπέμπει σε εσωτερικό χώρο.....	142
Εικόνα 2-94 Απεικόνιση μπλοκ διαγράμματος χαρακτηριστικών ηχητικών προβλημάτων.....	142
Εικόνα 2-95 Απεικόνιση φαινομένου βουητού (Hum) στο φασματογράφημα στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope.....	144
Εικόνα 2-96 Απεικόνιση φαινομένου βόμβου (Buzz) στο φασματογράφημα στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope.....	145
Εικόνα 2-97 Εικόνα Απεικόνιση φαινομένου κλικ και ποπς (Clicks & Pops) στο φασματογράφημα στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope.....	146

Εικόνα 2-98 Απεικόνιση σύντομων διακοπόμενων παλμικών θορύβων (Short Intermittent Impulse Noises) στο φασματογράφημα στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope	147
Εικόνα 2-99 Απεικόνιση φαινομένου ευρυζωνικού θορύβου (Broadband Noise) στο φασματογράφημα στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope	148
Εικόνα 2-100 Απεικόνιση ανάλυσης ισχύος (μαύρο γράφημα) & μεταβολή ενέργειας RMS στο χρόνο (μπλέ γραμμή). Δημιουργία εικόνας από κώδικα παρατήματος IB	149
Εικόνα 3-1 Απεικόνιση φάσεων ανάπτυξης εφαρμογής	151
Εικόνα 3-2 Αρχικό χρονοδιάγραμμα ανάπτυξης εφαρμογής	154
Εικόνα 4-1 Αρχιτεκτονική Συστήματος Διαχείρισης Περιεχομένου (ΣΠΔ)	159
Εικόνα 4-2 Εφαρμογή Wix (Ιστότοπος: wix.com)	159
Εικόνα 4-3 Παράδειγμα γραφής σε HTML	161
Εικόνα 4-4 Παράδειγμα γραφής σε JavaScript	162
Εικόνα 4-5 Παράδειγμα γραφής σε CSS	164
Εικόνα 4-6 Logo design brainstorming	165
Εικόνα 4-7 Διάγραμμα δραστηριοτήτων (UML activity diagram)	166
Εικόνα 4-8 Παράδειγμα προτύπου χαμηλής πιστότητας της εφαρμογής DFA tools	170
Εικόνα 4-9 Παράδειγμα προτύπου χαμηλής πιστότητας της εφαρμογής DFA tools	170
Εικόνα 4-10 Χάρτης πλοήγησης χρηστών	171
Εικόνα 4-11 Παράδειγμα mockup της εφαρμογής DFA tools	172
Εικόνα 4-12 Παράδειγμα mockup της εφαρμογής DFA tools	172
Εικόνα 5-1 Περιβάλλον Adobe illustrator	176
Εικόνα 5-2 DFA tools logo	176
Εικόνα 5-3 Εγγραφή στο σύστημα Wix	177
Εικόνα 5-4 Επιλογή προτύπου Wixsite	177
Εικόνα 5-5 Όνομα site και domain	178
Εικόνα 5-6 Βασική χρωματική παλέτα	178
Εικόνα 5-7 Βασικό μενού DFA tools	179
Εικόνα 5-8 Λογότυπο αρχικής σελίδας	179
Εικόνα 5-9 Βασικό banner αρχικής σελίδας	179
Εικόνα 5-10 CTA button	180
Εικόνα 5-11 Ενημερωτικό κείμενο	180
Εικόνα 5-12 Συντόμευση αρχικής σελίδας Ενημερωτικό κείμενο	180
Εικόνα 5-13 Συντόμευση σελίδας εργαλείων	180
Εικόνα 5-14 Email επικοινωνίας	181
Εικόνα 5-15 Anchor arrow	181
Εικόνα 5-16 Δημιουργία νέου λογαριασμού	181
Εικόνα 5-17 Σύνδεση σε υπάρχων λογαριασμό	182
Εικόνα 5-18 Προφίλ χρήστη	182
Εικόνα 5-19 Δημιουργία Tabs	183
Εικόνα 5-20 Εισαγωγή πλαισίου HTML	183
Εικόνα 5-21 Εισαγωγή κώδικα HTML στο πλαίσιο	183
Εικόνα 5-22 Παράδειγμα λειτουργίας σύντομης πληροφόρησης	184
Εικόνα 5-23 Παράδειγμα λειτουργίας παραδείγματος	184
Εικόνα 5-24 Λειτουργία Drag & Drop της εφαρμογής DFA tools	185
Εικόνα 5-25 Λειτουργία Upload file της εφαρμογής DFA tools	186

Εικόνα 5-26 Λειτουργία Upload file με button της εφαρμογής DFA tools	186
Εικόνα 5-27 Υπολογισμός και εμφάνιση Hash value CRC32.....	188
Εικόνα 5-28 Υπολογισμός και εμφάνιση Hash value MD5	189
Εικόνα 5-29 Υπολογισμός και εμφάνιση Hash value SHA1.....	190
Εικόνα 5-30 Υπολογισμός και εμφάνιση Hash value SHA256.....	191
Εικόνα 5-31 Υπολογισμός και εμφάνιση Hash value SHA512.....	192
Εικόνα 5-32 Εργαλείο σύγκρισης 1-1	193
Εικόνα 5-33 Εργαλείο σύγκρισης τιμών σε πίνακα.....	194
Εικόνα 5-34 Εργαλείο αναγνώρισης ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου μορφής .wav.....	196
Εικόνα 5-35 Εργαλείο αναγνώρισης ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου μορφής .mp3	196
Εικόνα 5-36 Εργαλείο μετατροπής κειμένου σε δεκαεξαδικό κώδικα και αντίστροφα ...	198
Εικόνα 5-37 Εργαλείο εντοπισμού κεφαλίδας και τέλους δεκαεξαδικού κώδικα ηχητικού αρχείου.....	200
Εικόνα 5-38 Εργαλείο γρήγορου ελέγχου δεκαεξαδικών δεδομένων κεφαλίδας ηχητικών αρχείων	202
Εικόνα 5-39 Εργαλείο αφαίρεσης σημείων σιωπής και σχεδίασης κυματομορφής ηχητικών αρχείων	205
Εικόνα 5-40 Εργαλείο διαμόρφωσης ιδιοτήτων ηχητικών αρχείων.....	207
Εικόνα 5-41 Εργαλείο υπολογισμού χρονικών διαρκειών ενός ηχητικού αρχείου με και χωρίς τη σιγή.....	210
Εικόνα 5-42 Εργαλείο αφαίρεσης σιγής από ηχητικό αρχείο.....	212
Εικόνα 5-43 Εργαλείο αναπαραγωγής και εμφάνισης φασματογραφήματος	215
Εικόνα 5-44 Εργαλείο προσομοίωσης φίλτρων και αναπαραγωγής ήχου.....	219
Εικόνα 5-45 Εργαλείο αναλυτή φάσματος συχνοτήτων ηχητικών αρχείων σε πραγματικό χρόνο.....	221
Εικόνα 5-46 Εγχειρίδιο χρήση στη σελίδα User Guide.....	222
Εικόνα 6-1 Ικανοποίηση με το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής DFA tools.....	230
Εικόνα 6-2 Προτάσεις βελτίωσης του γραφικού περιβάλλοντος της εφαρμογής DFA tools	230
Εικόνα 6-3 Ικανοποίηση με την ευκολία περιήγησης και την ευκολία χρήσης των λειτουργιών της εφαρμογής DFA tools.....	231
Εικόνα 6-4 Δυσκολίες κατά τη χρήση των λειτουργιών της εφαρμογής DFA tools.....	231
Εικόνα 6-5 Κατανόηση της γλώσσας και τα συμβόλων που χρησιμοποιούνται στην οθόνη της εφαρμογής DFA tools.....	232
Εικόνα 6-6 Χρόνος που αφιερώθηκε για την περιήγηση/εξοικείωση με την εφαρμογή DFA tools	232
Εικόνα 6-7 Αξιολόγηση της εφαρμογής DFA tools	233
Εικόνα 6-8 Χρησιμότητα των εργαλείων της εφαρμογής DFA tools	233
Εικόνα 6-9 Ικανοποίηση με τα εργαλεία ‘Hash algorithms tools’	234
Εικόνα 6-10 Ικανοποίηση με τα εργαλεία ‘Audio file information tools’	234
Εικόνα 6-11 Ικανοποίηση με τα εργαλεία ‘Hexadecimal processing tools’	235
Εικόνα 6-12 Ικανοποίηση με τα εργαλεία ‘Audio processing tools’	236
Εικόνα 6-13 Ικανοποίηση με τα εργαλεία ‘Playback & Visualization tools’	236
Εικόνα 6-14 Ανάγκη για επιπλέον λειτουργίες εντός της εφαρμογής DFA tools.....	237
Εικόνα 6-15 Σφάλματα κατά τη χρήση της εφαρμογής DFA tools	237
Εικόνα 6-16 Αξιολόγηση απόκρισης των εργαλείων της εφαρμογής DFA tools	238

Εικόνα 6-17 Δυνητική αξιοποίηση ‘Hash algorithms tools’	238
Εικόνα 6-18 Δυνητική αξιοποίηση ‘Audio file information tools’	238
Εικόνα 6-19 Δυνητική αξιοποίηση ‘Hexadecimal processing tools’	239
Εικόνα 6-20 Δυνητική αξιοποίηση ‘Audio Processing tools’	239
Εικόνα 6-21 Δυνητική αξιοποίηση ‘Playback & Visualization tools’	239
Εικόνα 6-22 Αξιολόγηση εγχειριδίου εφαρμογής DFA tools.....	240
Εικόνα 6-23 Ηλικιακό γκρουπ	240
Εικόνα 6-24 Μορφωτικό επίπεδο.....	240
Εικόνα 6-25 Πεδίο ενασχόλησης.....	241
Εικόνα 6-26 Εξοικείωση με τη χρήση Η/Υ.....	241

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1-1 Πίνακας Απεικόνιση ενδεικτικών τιμών δειγμάτων ανά bit depth.....	11
Πίνακας 1-2 Απεικόνιση αναλογίας ευκρίνειας κβαντισμού και λόγου σήματος προς θόρυβο κβαντισμού.....	13
Πίνακας 1-3 μετατροπή δεκαδικού αριθμού σε δυαδικό	16
Πίνακας 1-4 Απεικόνιση των πιο κοινών δεκαεξαδικών υπογραφών για διάφορες μορφές ηχητικών αρχείων & βίντεο, μαζί με την αντίστοιχη κεφαλίδα τους. Πηγή (Kessler, n.d.)	19
Πίνακας 1-5 Απεικόνιση πληροφοριών δεκαεξαδικών δεδομένων επέκτασης και κεφαλίδας για διάφορα αρχεία ήχου.....	21
Πίνακας 1-6 Πληροφορίες ψηφιακού ηχητικού αρχείου “CD Digital Audio”	24
Πίνακας 1-7 Δείγματα ήχου ανά καρέ (<i>Sound Samples Per Frame</i>). Πηγή (Windszus, 2007; Gabriel, n.d.).....	29
Πίνακας 1-8 Αλγόριθμοι ελέγχου πληροφοριών αυθεντικότητας ηχητικών αρχείων	35
Πίνακας 2-1 Απεικόνιση αποτελεσμάτων κώδικα (2-5) για την ανάκτηση χρονικών σφραγίδων M.A.C, ηχητικού αρχείου	52
Πίνακας 2-2 Απεικόνιση ερμηνείας πληροφοριών των ιδιοτήτων και μεταδεδομένων ηχητικού αρχείου	56
Πίνακας 2-3 Επεξήγηση των πληροφοριών που εξάγονται από τη δομή ηχητικού αρχείου της μορφής wav	70
Πίνακας 2-4 Επεξήγηση εξαγωγής πληροφοριών σε δεκαεξαδικά δεδομένα ηχητικού αρχείου για την ευκρίνεια κβαντισμού (bits per sample).....	71
Πίνακας 2-5 Επεξήγηση εξαγωγής πληροφοριών σε δεκαεξαδικά δεδομένα ηχητικού αρχείου για την συχνότητα δειγματοληψίας (sample rate).....	71
Πίνακας 2-6 Απεικόνιση αντιστοιχίας και αναπαράστασης ηχητικών παραμέτρων σε δεκαεξαδική μορφή ηχητικού αρχείου “.wav”	72
Πίνακας 2-7 Επεξήγηση εξαγωγής πληροφοριών σε δυαδικά δεδομένα στην κεφαλίδα του ηχητικού αρχείου “mp3” για την έκδοση και το επίπεδο μη απωλεστικής συμπίεσης.....	79
Πίνακας 2-8 Επεξήγηση εξαγωγής πληροφοριών σε δυαδικά δεδομένα στην κεφαλίδα πλαισίου (frame) του ηχητικού αρχείου “mp3” για την κατανόηση του δείκτη ρυθμού της συχνότητας.....	80
Πίνακας 2-9 Επεξήγηση εξαγωγής πληροφοριών σε δυαδικά δεδομένα στην κεφαλίδα πλαισίου (frame) του ηχητικού αρχείου “mp3” για την κατανόηση του αριθμού καναλιών	80
Πίνακας 2-10 Επεξήγηση ερμηνείας του ρυθμού μετάδοσης ήχου (BitrateIndex) σε kbps	81
Πίνακας 2-11 Ανάλυση πληροφοριών που αφορούν διάφορα άλλα εντοπίσιμα bit στο πλαίσιο (frame) κεφαλίδας του ηχητικού αρχείου “mp3”	82
Πίνακας 2-12 Απεικόνιση παραδείγματος εντοπισμού παραποιημένου “.mp3” αρχείου μέσω δυαδικής ανάλυσης	84
Πίνακας 2-13 Απεικόνιση τεχνικών πληροφοριών ηχητικού αρχείου μεταβλητού bitrate με εφαρμογή του κώδικα (2-14).....	86
Πίνακας 2-14 Απεικόνιση παραδείγματος παραποιημένου αρχείου “.mp3 VBRI Header” που προκύπτει από τις ιδιότητες του αρχείου και την αντίστοιχη τιμή αναφοράς.....	86

Πίνακας 2-15 Απεικόνιση παραδείγματος μη παραποιημένου αρχείου “.mp3 με VBRI Header” που προκύπτει από τις ιδιότητες του αρχείου και την αντίστοιχη τιμή αναφοράς	87
Πίνακας 3-1 Δραστηριότητες φάσης Ανάλυσης.....	152
Πίνακας 3-2 Δραστηριότητες φάσης Σχεδίασης	152
Πίνακας 3-3 Δραστηριότητες φάσης Υλοποίησης	153
Πίνακας 3-4 Δραστηριότητες φάσης Αξιολόγησης.....	153
Πίνακας 4-1 Πλεονεκτήματα διαδικτυακής εφαρμογής	157
Πίνακας 4-2 Πίνακας εντολών σε HTML.....	161
Πίνακας 4-3 Πίνακας εντολών σε JavaScript.....	163
Πίνακας 4-4 Δραστηριότητες που απαιτούν ανάπτυξη κώδικα.....	168
Πίνακας 4-5 Δραστηριότητες που υλοποιήθηκαν στο Wix χωρίς ανάπτυξη κώδικα.....	169
Πίνακας 4-6 Συμβατότητα συσκευών με DFA tools	174
Πίνακας 4-7 Απαιτήσεις εφαρμογής DFA tools.....	175

Κατάλογος Κώδικα

Κώδικας 1-1 Απεικόνιση εντολών εμφάνισης δεκαεξαδικών δεδομένων κεφαλίδας αρχείων. (Πηγή: Ιστότοπος Format-Hex).....	22
Κώδικας 1-2 Δημιουργία ελέγχου κεφαλίδας αρχείου “.mp3”.....	28
Κώδικας 1-3 Απεικόνιση εντολών υπολογισμού αλγορίθμου κατακερματισμού SHA256. (Πηγή: Ιστότοπος Get-Filehash)	34
Κώδικας 1-4 Απεικόνιση εντολής σύγκρισης δεδομένων (Πηγή: Ιστότοπος Sharepoint diary).....	34
Κώδικας 2-1 Κώδικας εξαγωγής τιμών κατακερματισμού “Hash values” του ηχητικού αρχείου. (Πηγή: Ιστότοπος Get-Filehash).....	46
Κώδικας 2-2 Υπολογισμού και σύγκρισης των τιμών κατακερματισμού (hash values) σε αρχεία ήχου. (Πηγή: Ιστότοπος Get-Filehash).....	47
Κώδικας 2-3 Απεικόνιση εντολών εμφάνισης της Mac time stamp αρχείου ήχου. (Πηγή: Ιστότοπος Custom date and time format strings)	49
Κώδικας 2-4 Απεικόνιση εντολών εμφάνισης της Mac time stamp αρχείου ήχου σε ημερομηνία και ώρα. (Πηγή: Ιστότοπος Chapter 9 - Functions).....	50
Κώδικας 2-5 Απεικόνιση εντολών εξαγωγής και απεικόνισης χρονικών σφραγίδων (Modified, Accessed, Created) αρχείου ήχου σε UTC και τοπική ώρα στο PowerShell-ISE. (Πηγή: Ιστότοπος Chapter 9 - Functions).....	51
Κώδικας 2-6 Εντολές εντοπισμού και εξόρυξης πληροφορίας ιδιοτήτων (properties) και μεταδεδομένων (metadata) στο PowerShell-ISE. (Πηγή: Ιστότοπος Get-ItemProperty) ...	54
Κώδικας 2-7 Εντολές εντοπισμού και εξόρυξης πληροφορίας ιδιοτήτων (properties) και μεταδεδομένων (metadata) στο cmd. (Πηγή: Ιστότοπος ffprobe Documentation)	57
Κώδικας 2-8 Απεικόνιση εντολών μετατροπής κονσόλας του PowerShell-ISE σε δεκαεξαδικό αναγνώστη δεδομένων ηχητικών αρχείων. (Πηγή: Ιστότοπος Format-Hex).59	
Κώδικας 2-9 Εμφάνιση δεκαεξαδικών (Hexadecimal) κεφαλίδων. (Πηγή: Ιστότοπος Format-Hex).....	66
Κώδικας 2-10 Εμφάνισης συχνότητας δειγματοληψίας σε δεκαδική μορφή. (Πηγή: Ιστότοπος Convert-String).....	72
Κώδικας 2-11 Εμφάνισης ελέγχου για το μέγεθος του αρχείου. (Πηγή: Ιστότοπος Byte Conversion).....	73
Κώδικας 2-12 Απεικόνιση εντολών εξαγωγής πληροφοριών στα πρώτα 44 Bytes από τη κεφαλίδα ηχητικού αρχείου της μορφής wav σε δεκαεξαδική ανάλυση ακατέργαστων δεδομένων	74
Κώδικας 2-13 Εξαγωγής πληροφοριών από την κεφαλίδα πλαισίου σε ηχητικό αρχείο mp3.....	83
Κώδικας 2-14 Ανάλυσης “.mp3” αρχείου με μεταβλητό bitrate & εξαγωγής πληροφοριών	85
Κώδικας 2-15 Απεικόνιση εφαρμογής εντολών για την εξαγωγή συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (electric network frequency - enf) από ηχητικό αρχείο στο λογισμικό matlab	97
Κώδικας 2-16 Κώδικας ελέγχου “ψευδοστέρεο” μέσω τιμών “Hash values” (Πηγή: Ιστότοπος Get-Filehash & FFmpeg Pan/Filters)	132
Κώδικας 2-17 Κώδικας εξαγωγής πληροφοριών ανά κανάλι ήχου. (Πηγή: Ιστότοπος FFmpeg Filters)	133
Κώδικας 5-1 Λειτουργία Drag & Drop σε HTML της εφαρμογής DFA tools (Πηγή: Ιστότοπος W3schools)	185

Κώδικας 5-2 Λειτουργία Εισαγωγής αρχείου (Upload file) σε HTML της εφαρμογής DFA tools (Πηγή: Ιστότοπος W3schools).....	185
Κώδικας 5-3 Τροποποίηση λειτουργίας Εισαγωγής αρχείου (Upload file) σε HTML της εφαρμογής DFA tools. (Πηγή: Ιστότοπος W3schools).....	186
Κώδικας 5-4 Ενδεικτικές εντολές υπολογισμού και εμφάνισης Hash value CRC32 (Πηγή: Ιστότοπος W3schools)	187
Κώδικας 5-5 Ενδεικτικές εντολές υπολογισμού και εμφάνισης Hash value MD5 (Πηγή: Ιστότοπος W3schools)	188
Κώδικας 5-6 Ενδεικτικές εντολές υπολογισμού και εμφάνισης Hash value SHA1 (Πηγή: Ιστότοπος W3schools)	189
Κώδικας 5-7 Ενδεικτικές εντολές υπολογισμού και εμφάνισης Hash value SHA256 (Πηγή: Ιστότοπος Precisely).....	190
Κώδικας 5-8 Ενδεικτικές εντολές υπολογισμού και εμφάνισης Hash value SHA512 (Πηγή: Ιστότοπος Data World).....	191
Κώδικας 5-9 Ενδεικτικές εντολές υπολογισμού σύγκρισης δεδομένων Hash (Πηγή: Ιστότοπος W3schools)	192
Κώδικας 5-10 Ενδεικτικές εντολές δημιουργίας περιεχόμενου στον πίνακα (Πηγή: Ιστότοπος W3schools)	193
Κώδικας 5-11 Ενδεικτικές εντολές δημιουργίας περιεχόμενου στον πίνακα (Πηγή: Ιστότοπος W3schools)	195
Κώδικας 5-12 Ενδεικτικές εντολές δημιουργίας μετατροπής κειμένου σε δεκαεξαδικό κώδικα και αντίστροφα. (Πηγή: Ιστότοπος Hex_Text.js).....	197
Κώδικας 5-13 Ενδεικτικές εντολές εντοπισμού δεκαεξαδικής κεφαλίδας και τέλους ηχητικού αρχείου (Πηγή: Ιστότοπος Node.js).....	199
Κώδικας 5-14 Ενδεικτικές εντολές εμφάνισης δεκαεξαδικών δεδομένων και αποκωδικοποίηση κειμένου. (Πηγή: Ιστότοπος Hex_info).....	201
Κώδικας 5-15 Απεικόνιση βασικών εντολών υπολογισμού χρονικών διαρκειών ενός ηχητικού αρχείου με και χωρίς τη σιγή. (Πηγή: Ιστότοπος Remove.Silence).....	209
Κώδικας 5-16 Ενδεικτικές εντολές κώδικα javascript για την δημιουργία του εργαλείου αφαίρεσης σιγής από ηχητικό αρχείο και εμφάνισης του προς αναπαραγωγή χωρίς την σιγή (Πηγή: Ιστότοπος Remove.Silence).....	211
Κώδικας 5-17 Απεικόνιση ενδεικτικών εντολών “javascript” δημιουργίας φασματογραφήματος ηχητικού αρχείου (Πηγή: Ιστότοπος Spectrogram.example).....	214
Κώδικας 5-18 Ενδεικτικό απόσπασμα εργαλείου προσομοίωσης φίτρων και αναπαραγωγής ήχου (Πηγή: Ιστότοπος Web.Biquad.Filter, BiQuad.Designer, Biquad.Filter Node)	217
Κώδικας 5-19 Ενδεικτικές εντολές εργαλείου αναλυτή φάσματος συχνοτήτων (Πηγή: Ιστότοπος Web.Biquad.Filter, BiQuad.Designer, Biquad.Filter Node)	220

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ΔΕ	Διπλωματική Εργασία
ΕΑΠ	Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
ΣΔΠ	Σύστημα Διαχείρισης Περιεχομένου
ADPCM	Adaptive Differential Pulse Code Modulation
API	Application Programming Interface
CMS	Content Management Systems
CSS	Cascading Style Sheets
CRC32	Cyclic Redundancy Check 32-bit
CTA	Call To Action
DAW	Digital Audio Workspace
DFA tools	Digital Forensic Audio tools
DPCM	Differential Pulse Code Modulation
DSP	Digital Signal Processing
ENF	Electric Network Frequency
HDS	Hexadecimal Data Signatures
HTML	Hyper Text Markup Language
ISE	Integrated Scripting Environment
LPC	Linear Predictive Coding
MD5	Message Digest Algorithm 5-bit
PCM	Pulse Code Modulation
RIFF	Resource Interchange File Format
SHA1	Secure Hash Algorithm 1-bit
SHA256	Secure Hash Algorithm 256-bit
SHA512	Secure Hash Algorithm 512-bit
.MP3	MPEG Audio Layer III Format
.RIFF	Resource Interchange File
.WAV	WAVE/Waveform Audio File Format File
CBR	Constant Bit Rate
VBR	Variable Bit Rate
VBRI	Variable Bit Rate Index
ZCR	Zero Crossing Rate

Εισαγωγή

Στη σημερινή ψηφιακή εποχή τα πειστήρια ήχου αποτελούν αναμφίβολα ένα σημαντικό εργαλείο καταπολέμησης της εγκληματικότητας. Τα συγκεκριμένα ψηφιακά δεδομένα τυγχάνουν διευρυμένης αξιοποίησης από τις αρχές επιβολής του νόμου, τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Ωστόσο, η ευρεία εξάπλωση και αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών καθώς, επίσης και η εύκολη πρόσβαση σε προϊόντα και υπηρεσίες, τόσο σε επίπεδο λογισμικού όσο και υλικού από κακόβουλους χρήστες, έχει πολλές φορές ως αποτέλεσμα την αλλοίωση - παραποίηση των ψηφιακών ηχητικών αρχείων.

Προκύπτει, λοιπόν, αναντίρρητα η ανάγκη αντιμετώπισης τέτοιου είδους παράνομων ενεργειών, κυρίως με την εκμετάλλευση νέων και καινοτόμων ασφαλών μεθόδων και διαδικασιών, διασφάλισης της γνήσιας ηχητικής ψηφιακής πληροφορίας, κατά την διενέργεια εγκληματολογικών ερευνών με τελικό στόχο την επίτευξη απονομής δικαιοσύνης. Κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση τεχνικών που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο αυθεντικότητας των ψηφιακών αρχείων ήχου. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται εξετάζοντας τόσο τα εξωτερικά χαρακτηριστικά, όσο και την “κρυφή” ψηφιακή πληροφορία του αρχείου. Συγκεκριμένα, η διενέργεια ελέγχου αυθεντικότητας πραγματοποιείται μέσα από μία “ασφαλή” μεθοδολογία εντοπισμού αλλοιώσεων του αρχικού περιεχομένου, προκειμένου να διαφυλαχτεί το πηγαίο αρχείο κατά τη διάρκεια της διενεργούμενης εγκληματολογικής εξέτασης.

Για τον εντοπισμό φαινομένων παραποίησης - αλλοίωσης ψηφιακών ηχητικών αρχείων, απαιτείται αφενός μεν η αξιοποίηση των δυνατοτήτων της σύγχρονης τεχνολογίας (εμπορικά λογισμικά ήχου, εφαρμογή συγκεκριμένων μαθηματικών μοντέλων, εντοπισμός ψηφιακών αποτυπωμάτων, αλγοριθμική επεξεργασία δεδομένων κτλ.) και αφετέρου η παρουσία της κριτικής εποπτείας του εκάστοτε αναλυτή, μέσω της εμπειρικής του ανάλυσης (κριτική ακρόαση & οπτικός έλεγχος του περιεχομένου κ.ά.).

Με την παρούσα εργασία αναμένεται επιπλέον και η ανάπτυξη εφαρμογής, που θα αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την εξαγωγή διαφόρων πληροφοριών και άμεσων λειτουργιών γρήγορου ελέγχου σε ηχητικά αρχεία προς εξέταση.

Στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται μία σύντομη περιγραφή του απαραίτητου θεωρητικού υποβάθρου, έτσι ώστε ο αναγνώστης να έχει μία πρώτη επαφή με τις χρησιμοποιούμενες λειτουργίες αριθμητικών συστημάτων, τις βασικές έννοιες και αρχές του ψηφιακού ήχου, καθώς και σημασιολογίας των αλγορίθμων κατακερματισμού.

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται αναλυτικά τεχνικές ελέγχου αυθεντικότητας και απαριθμούνται τεχνικές εντοπισμού παραποίησης της ψηφιακής ηχητικής πληροφορίας, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται ο έλεγχος μεταδεδομένων, ο οπτικός έλεγχος κυματομορφής και φασματογραφήματος κ.ά. Επίσης, δίνεται η ερμηνεία των όρων παραποίησης και αλλοίωσης, στον ευρύτερο χώρο της εγκληματολογίας.

Στο **Κεφάλαιο 3** περιγράφεται η ανάλυση και ο προγραμματισμός των φάσεων ανάπτυξης της εφαρμογής. Επιπλέον, προσδιορίζονται οι βασικές της λειτουργίες και γίνεται αναφορά σε αντίστοιχα λογισμικά πακέτα ανοικτού κώδικα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, κατά την ανάλυση στο πρώτο στάδιο τεχνικής ελέγχου και περισυλλογής πληροφοριών που αφορούν το αρχείο προς εξέταση.

Στο **Κεφάλαιο 4** αναλύεται το στάδιο σχεδίασης της εφαρμογής και περιγράφεται η επιλογή των εργαλείων ανάπτυξης της. Επιπρόσθετα, προσδιορίζεται το σύνολο των αναλυτικών δραστηριοτήτων, καθώς και οι τεχνικές προδιαγραφές που απαιτούνται για την υλοποίηση της εφαρμογής. Τέλος, γίνεται σύντομη αναφορά στους περιορισμούς της εφαρμογής στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζεται η υλοποίηση της εφαρμογής που περιλαμβάνει τη συγγραφή του κώδικα και επίδειξη των διαφορετικών οθονών για τις βασικές της λειτουργίες.

Στο **Κεφάλαιο 6** αναλύεται η αξιολόγηση της εφαρμογής η οποία υλοποιήθηκε με τη χρήση της έρευνας, και πιο συγκεκριμένα με την αποστολή ηλεκτρονικού ερωτηματολογίου στο επιλεγμένο δείγμα. Πρόσθετα παρουσιάζεται η μέθοδος ανάλυσης των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τα ερωτηματολόγια αξιολόγησης της εφαρμογής, καθώς και τα παραγόμενα αποτελέσματα.

Στο **Κεφάλαιο 7** διατυπώνονται τα συμπεράσματα βάσει των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας. Επίσης, συνοψίζεται η συνεισφορά της στο πεδίο της ψηφιακής επεξεργασίας, ανάλυσης και αξιολόγησης του ήχου και αποτυπώνονται διάφορες μελλοντικές προτάσεις στο πεδίο της εγκληματολογικής ψηφιακής επεξεργασίας του ήχου.

1 Ψηφιακός Ήχος & Αριθμητικά Δεδομένα (Digital Audio & Numerical Data)

1.1 Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος (Digital Signal Processing - DSP)

Η διαδικασία αυτή αναφέρεται στην φάση επεξεργασίας, με την βοήθεια υπολογιστή, του ηχητικού σήματος κ.ά. Διάφοροι τομείς όπως, η ηχητική/μουσική παραγωγή, η ιατρική, η επεξεργασία βίντεο/φωτογραφίας και επικοινωνιών, όπως και η δημιουργία διαφόρων εφέ στην σύνθεση, αλλά ακόμα και η συμπίεση ηχητικών δεδομένων, χρησιμοποιούν την εν λόγω διαδικασία κατά κόρον. Επίσης, η εμπλοκή της εν λόγω επεξεργασίας ακόμα και κατά την κωδικοποίηση φωνητικών σημάτων και εικόνas, διαμορφώνει τομείς που εφαρμόζουν την εν λόγω πτυχή που βασίζεται στην ψηφιακή επεξεργασία σημάτων (DSP) (Ζαρούχας, Χατζηαντωνίου & Τσιλφίδης, 2013). Μερικές από τις κυριότερες χρήσεις της βρίσκουν έκταση στην αναπαράσταση των ψηφιακών σημάτων, δηλαδή μετατροπή αναλογικών σημάτων σε ψηφιακής μορφής σήματα πριν το στάδιο της επεξεργασίας, ονομαζόμενη και ως ψηφιακή αναλογική μετατροπή σήματος (ADC) (Ζαρούχας κ.ά., 2013).

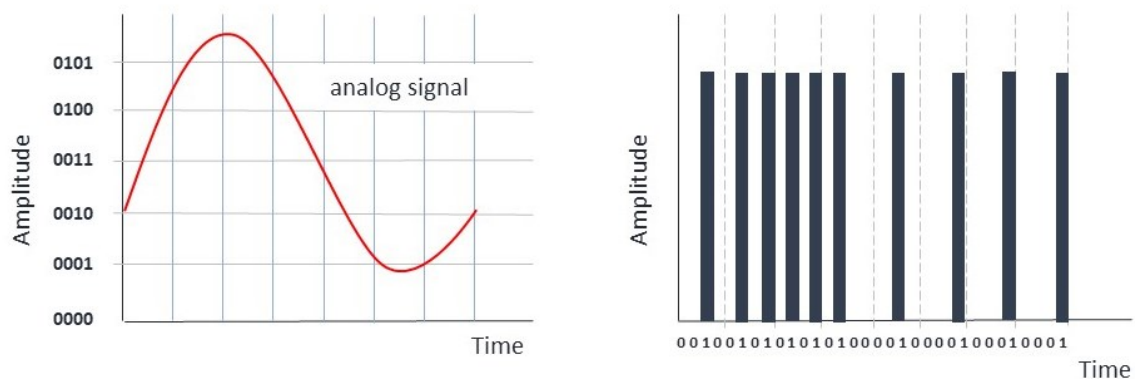
Η εφαρμογή διαφόρων επεξεργαστικών λειτουργιών (DSP), αποδίδει λειτουργίες όπως η προσθήκη ψηφιακών φίλτρων ή αφαίρεση, μετατροπή και διάφορες άλλες ιδιότητες επεξεργασίας που δύναται να επηρεάσουν για παράδειγμα το συχνοτικό περιεχόμενο (Μουρτζόπουλος, 2011). Πολύ σημαντική επίσης αποτελεί και η συνεισφορά των μετασχηματισμών “Fourier”, καθώς αποτελούν σημαντικές παραμέτρους φασματικής αναπαράστασης των σημάτων, μεταξύ του χρόνου και των πεδίων συχνότητας (Bracewell, 1989). Ένα τρανταχτό παράδειγμα πρακτικής εφαρμογής των μετασχηματισμών αποτελεί η χρήση για τον υπολογισμό και εμφάνιση του φασματικού περιεχομένου συχνοτήτων ενός αρχείου ήχου ή αλλιώς του γνωστού φασματογραφήματος (Bose & Meyer, 2003). Αποτελεί δηλαδή κρίσιμη και μείζονος σημασίας διαδικασία για την επίτευξη της δημιουργίας και επεξεργασίας διαφόρων τύπων ψηφιακού σήματος, δημιουργώντας ορίζοντες καινοτομίας στους τομείς της ηχητικής τεχνολογίας και όχι μόνο (Watkinson, 2013). Παρακάτω αναφέρονται βασικές και χρήσιμες έννοιες του ψηφιακού ήχου, μιας και οι τεχνικές που θα αναφερθούν στην συνέχεια «πατάνε» στην ανάλυση ψηφιακών αρχείων ήχου από εγκληματολογικής προσέγγισης, κατά την εξέταση για τον εντοπισμό τυχόν παραποιήσεων.

1.2 Μέθοδοι Κωδικοποίησης Ψ/Η (Coding Methods D/S)

1.2.1 Παλμοκωδική Κωδικοποίηση (Pulse Code Modulation - PCM)

Η εν λόγω τεχνική ψηφιοποίησης του ήχου είναι η πιο ευρέως αναγνωρισμένη, καθώς προβαίνει σε αποθήκευση ένα προς ένα των δειγμάτων σε ψηφιακής μορφής χρησιμοποιώντας ομοιόμορφα την κατανομή τους μέσω γραμμικής κωδικοποίησης (Tomić & Drljača, 2023). Η εν λόγω μέθοδος κατανέμει δηλαδή τον αριθμό τιμών στάθμης του σήματος, ή αλλιώς επίπεδα κβάντωσης, ομοιόμορφα προς όλο το φάσμα του πεδίου (Ζαρούχας κ.ά., 2013).

Σύμφωνα λοιπόν με τη μέθοδο Pulse Code Modulation (PCM), δεν υλοποιείται καθόλου κανένα είδος συμπίεσης και σαν αποτέλεσμα έχουμε μεγάλο όγκο μεγέθους στο ηχητικό αρχείο. Κατά αυτόν τον τρόπο ένα ηχητικό αρχείο με κωδικοποίηση PCM αναπαράγεται χωρίς απώλειες. Σε αυτήν την περίπτωση λοιπόν, προκύπτει στην ποιότητα της αναπαραγωγής των ηχητικών αρχείων, εξάρτηση αντίστοιχη της διαδικασίας κβάντισης και της ανάλογης ποιότητας κατά την δειγματοληψία (Μουρτζόπουλος, 2011).



Εικόνα 1-1 Απεικόνιση κωδικοποίησης PCM

Σύμφωνα με τα παραπάνω, στα δεξιά της εικόνας (1-1), απεικονίζεται η κωδικοποίηση PCM του ψηφιακού σήματος που προκύπτει με κωδικοποίηση των 4 bits του αναλογικού σήματος αριστερά, όπου αναπαρίσταται δεξιά σε διάφορους παλμούς. Γνωρίζουμε λοιπόν, πως η PCM, δεν εφαρμόζει καμία συμπίεση στα δεδομένα του ηχητικού σήματος.

1.2.2 M-Law & A-Law PCM

Οι τεχνικές M-Law & A-Law που σχετίζονται με την παραπάνω PCM κωδικοποίηση, εφαρμόζουν λογαριθμική κωδικοποίηση, που συνεπάγεται και καλύτερη αναπαράσταση σήματος με ταυτόχρονη συμπίεση δεδομένων (Khodadadi & Teimouri, 2020). Η εν λόγω κωδικοποίηση, δύναται να δημιουργεί κατά πολύ περισσότερες αντιστοιχίες στάθμεων που υπάγονται στην περιοχή των χαμηλότερων συχνοτήτων και πολύ ελάχιστα στις συχνότητες που υπάγονται στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων (Cuccovillo & Aichroth, 2019). Αυτό είναι πολύ σημαντικό, διότι στην εν λόγω περίπτωση, στην περιοχή των χαμηλών συσσωρεύεται το πλήθος της πληροφορίας, ενώ στην περιοχή των υψηλών έχουμε προβλήματα που σχετίζονται με θέματα θορύβου. Με χρήση λοιπόν λογαριθμικής κωδικοποίησης και 8 bits, καλύπτεται ισόποσα αντίστοιχο εύρος τιμών που αναλογεί με ομοιόμορφη κωδικοποίηση PCM και 14 bits (Χριστοπούλου & Σακκά, 2015).

1.2.3 Διαφορική Παλμοκωδική Κωδικοποίηση (Differential Pulse Code Modulation-DPCM)

Ενώ στην κωδικοποίηση PCM όπως είδαμε η κωδικοποίηση του κάθε δείγματος υλοποιείται ανεξαρτήτως των υπολοίπων, στην DPCM (Differential Pulse Code Modulation) η κωδικοποίηση του κάθε δείγματος είναι άμεσα εξαρτώμενη με το παραπλήσιο δείγμα. Αναλυτικότερα στην διαφορική παλμοκωδική κωδικοποίηση (DPCM) έχουμε πλήρη αποθήκευση του πρώτου δείγματος και μόνο των διαφορών που προκύπτουν για τα υπόλοιπα δείγματα. Η δέλτα διαμόρφωση (Delta Modulation), πρόκειται για τροποποιημένη DPCM κωδικοποίηση, με την σειρά της χρησιμοποιεί μόνο ένα ψηφίο δυαδικού χαρακτήρα 1 bit (Lamba, Sachdeva, Sinha & Singh, 2016). Με την εν λόγω κωδικοποίηση απαιτούνται πολύ λιγότερα bits και κατά συνέπεια και λιγότερη μνήμη (Ζαρούχας κ.ά., 2013), αλλά με συχνότητα δειγματοληψίας (sample rate) μεγαλύτερης του κριτηρίου που ορίζεται από τη συχνότητα “Nyquist”.

1.2.4 Προσαρμοστική Διαφορική Παλμοκωδική Κωδικοποίηση (Adaptive Differential Pulse Code Modulation-ADPCM)

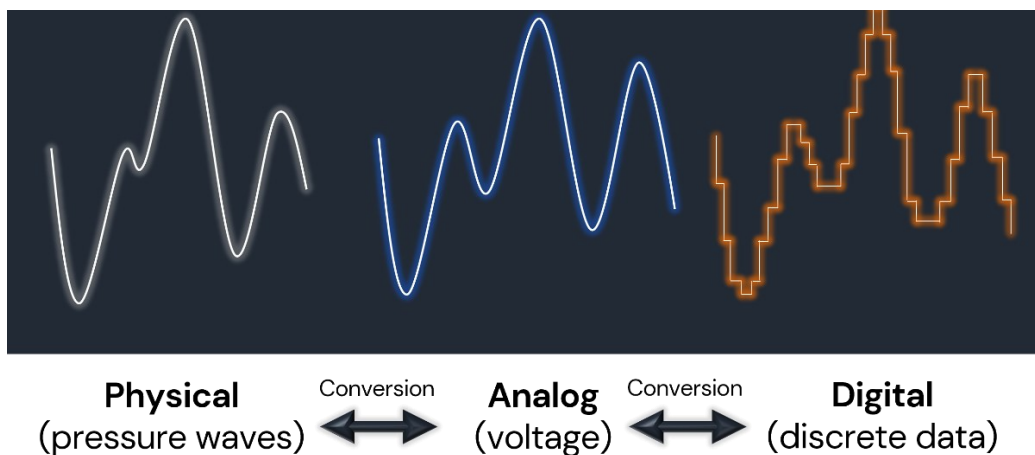
Προέκταση της DPCM αποτελεί η κωδικοποίηση Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM). Στην ουσία η εν λόγω κωδικοποίηση, υπολογίζει την τιμή του δείγματος που προκύπτει σύμφωνα με τον υπολογισμό της διαφοράς μεταξύ πραγματικής και της τιμής του υποτιθέμενου πλησιέστερου δείγματος που προβλέπει και στην συνέχεια προβαίνει σε κωδικοποίηση (Ζαρούχας κ.ά., 2013). Όταν τα παραπλήσια δείγματα φέρουν ομοιότητες μεταξύ τους, οι τιμές των δειγμάτων που προκύπτουν και προβλέπονται υπολογίζονται με βάση την τιμή του παραπλήσιου δείγματος (Michalek, 2016). Η εν λόγω υπολογιζόμενη διαφορά είναι της τάξης συνήθως των 4 bits, πολύ ελάχιστη δηλαδή από αυτήν που εφαρμόζει η κωδικοποίηση PCM (Hicsonmez, Sencar & Avcibas, 2013).

1.2.5 Γραμμική Προβλεπόμενη Κωδικοποίηση (Linear Predictive Coding-LPC)

Η εν λόγω μορφή κωδικοποίησης αφορά ιδιαίτερα τα σήματα που σχετίζονται με ανθρώπινες ομιλίες και εξυπηρετεί την κινητή τηλεφωνία, αλλά και την μετάδοση ομιλίας, καθώς είναι κατά τέτοιο τρόπο σχεδιασμένη ώστε να επιτυγχάνεται συμπίεση υψηλού βαθμού (Szabó & Gontean, 2013). Εν ολίγοις, προβαίνει σε ανασύνθεση των φωνητικών σημάτων, μέσα από την διαδικασία της σύγκρισης των σημάτων αυτών, με αντίστοιχα φωνητικά αναλυτικά μοντέλα και των χαρακτηριστικών τους που εντοπίζονται με την υψηλότερη αντιστοίχιση μεταξύ του αποθηκευμένου και των προς μετάδοση μοντέλων (Talati, Etezadifar, Hassani Ahangar & Molazade, 2023). Όλες οι ανωτέρω κωδικοποιήσεις που αναφέρθηκαν σχετίζονται με την δημιουργία ηχητικών αρχείων που με την σειρά τους αποθηκεύονται στα συστήματα αρχείων των υπολογιστών. Τα λειτουργικά συστήματα των υπολογιστών ή αντίστοιχα και τα προγράμματα ηχητικής επεξεργασίας λογισμικά κ.ά., εισάγουν με την σειρά τους ένα κατά κάποιο τρόπο επιπλέον στάδιο “κωδικοποίησης”, το οποίο είναι συνυφασμένο με την αντίστοιχη αρχιτεκτονική που προβαίνει σε υλοποίηση της αποθήκευσης των αρχείων (Jackson, 2015). Όλες οι παραπάνω μορφές κωδικοποίησης που μπορεί να εφαρμοστούν χρησιμοποιούν και ποικίλους τρόπους απόδοσης των δειγμάτων που ψηφιοποιούνται στα ηχητικά δείγματα. Πιο γνωστή μορφή από αυτές αποτελεί η λεγόμενη Resource Interchange File Format (RIFF), που συνεπάγεται την αποθήκευση των δειγμάτων στην δομή του αρχείου σε ομάδες (chunks) (Chalmers, 1997).

1.3 Διακριτότητα (Sampling)

Η διακριτότητα (sampling) αποτελεί την διαδικασία μετατροπής του αναλογικού ήχου σε μορφή ψηφιακού ήχου (βλ. εικόνα 1-2). Σύμφωνα λοιπόν με την ανωτέρω διαδικασία έχουμε καταγραφή του ήχου κατά συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, που φέρουν την ονομασία δείγματα (samples). Κατά συνέπεια, το κάθε δείγμα (sample) εκφράζει την ακουστική πίεση, στην εκάστοτε χρονική στιγμή στην οποία και καταγράφηκε (Jackson, 2015). Επιπλέον, αποτελεί μία απαραίτητη διαδικασία ούτως ώστε να υλοποιηθεί η διαδικασία της μετάδοσης, της αποθήκευσης καθώς και της επεξεργασίας στον ήχο ψηφιακά (Φλώρος, 2013). Επομένως, η ποσότητα των δειγμάτων που λαμβάνονται σε κάθε δευτερόλεπτο του χρόνου, όπου συνεπάγεται το βάθος (bit depth) και η συχνότητα (sample rate) δειγματοληψίας, αποτελούν τους πιο σημαντικούς παράγοντες που δύναται να καθορίσουν την ποιότητα στον ψηφιακό ήχο (Ζαρούχας κ.ά., 2013). Μικρότερος ή μεγαλύτερος αριθμός καταγραφής δειγμάτων (samplers), αλλά και μεγαλύτερο ή μικρότερο βάθος (bit depth) μπορούν να οδηγήσουν αντίστοιχα σε χαμηλότερη ή υψηλότερη ποιότητα στον ήχο, αλλά και αντίστοιχα υπερβολικότερο ή μη υπολογιστικό φόρτο κατά την διαδικασία της επεξεργασίας (Stone, 2023).



Εικόνα 1-2 Απεικόνιση μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό

Η διακριτότητα (sampling) ισούται με τον συνολικό αριθμό των δειγμάτων (samples) προς τη χρονική διάρκεια σε δευτερόλεπτα (Ζαρούχας κ.ά., 2013)

Παράδειγμα: Έστω ένα σήμα αναλογικού ήχου το οποίο δειγματοληπτείται 44100 φορές (κλασικός ρυθμός δειγματοληψίας για ήχο CD) ανά δευτερόλεπτο.

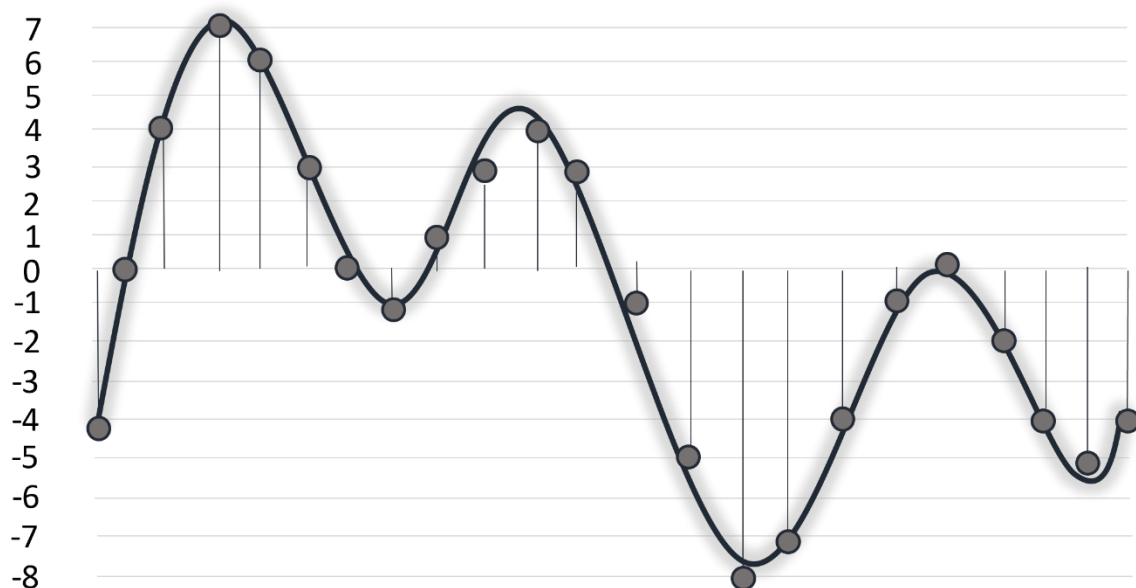
$$\Delta\text{ιακριτότητα}(\text{sampling}) = \frac{44.100 \left(\frac{\text{samples}}{\text{sec}} \right)}{1_{(\text{sec})}} = 44.100 \text{ Hz}$$

1.4 Συχνότητα Δειγματοληψίας (Sample Rate)

Στον ψηφιακό ήχο αποτελεί το βασικότερο χαρακτηριστικό της διακριτότητας (sampling), έχοντας άμεση επίδραση κατά την αναπαραγωγή και την ηχογράφηση, ως προς την ποιότητα του ήχου. Η συχνότητα δειγματοληψίας (sample rate), αναφέρεται στην συλλογή δειγμάτων ανά δευτερόλεπτο του χρόνου (Φλώρος, 2013), που συνεπάγεται τον αριθμό δειγμάτων, βλέπε εικόνα (1-3) μεγεθυμένου σήματος για καλύτερη αντίληψη αναπαράστασης δειγμάτων, κατά την μετατροπή αναλογικού ήχου σε ψηφιακής μορφής και μετρείται σε Hertz (Hz) (Orfanidis, 2010).

Ένα παράδειγμα κατανόησης, αποτελεί το πρότυπο για CD ήχου, όπου συχνότητα δειγματοληψίας (sample rate) 44.1 kHz, συνεπάγεται ανά δευτερόλεπτο καταγραφή από 44.100 δείγματα. Όμως, διάφορες ηχογραφήσεις ψηφιακού ήχου δύνανται να αποθηκεύουν συχνότητες δειγματοληψίας, σχετικά υψηλές όπως είναι τα 192 kHz ή τα 96 kHz με απαιτήσεις υψηλής υπολογιστικής ισχύς αλλά και απαιτήσεις για περισσότερο αποθηκευτικό χώρο (Ζαρούχας κ.ά., 2013).

Γνωρίζοντας ότι, η ανθρώπινη ακοή κυμαίνεται κυρίως μεταξύ 20Hz και 20 kHz και επομένως ένα δείγμα με συχνότητα δειγματοληψίας (sample rate) 44.100 Hz καλύπτει πλειοψηφικά το ακουστό φάσμα αντίληψης της ανθρώπινης ακοής (Τσιλφίδης, 2013).



Εικόνα 1-3 Απεικόνιση μεγεθυμένου σήματος ήχου

Κατά αυτόν τον τρόπο συμβουλευόμενοι το θεώρημα “Nyquist-Shannon”, το οποίο παρέχει την εξής πληροφορία:

Σε σήμα που βρίσκεται φασματικά περιορισμένο μέχρι και την μέγιστη συχνότητα f_{Max} (συχνότητα “Nyquist”), εφόσον ισχύει:

$$f_s \geq 2 \cdot f_{Max} \quad (1) \text{ (Ζαρούχας κ.ά., 2013, σελ.38)}$$

Προκύπτει ότι, η συχνότητα δειγματοληψίας φερόμενη f_s (frequency sample) δύναται να αναπαράγει μέχρι και την υψηλότερη συχνότητα που προκύπτει και είναι ίση με $f_s/2$ (συχνότητα αναδίπλωσης). Επομένως, όταν έχουμε συχνότητα δειγματοληψίας ίση με 48 kHz τότε η υψηλότερη συχνότητα που αναπαράγεται ισούται βάση της συνθήκης (1) περίπου με 24kHz (Devi & Pugazhenth, 2016). Από την άλλη η ελάχιστη συχνότητα που δύναται να αναπαράγει καλείται *ρυθμός Nyquist* (Nyquist rate) (Φλώρος, 2013).

Όταν η συχνότητα δειγματοληψίας (sample rate) τηρεί την παραπάνω συνθήκη (1) τότε αποφεύγονται φαινόμενα αναδίπλωσης (aliasing) ή αλλιώς φασματικής επικάλυψης (Por, van Kooten, & Sarkovic, 2019). Με άλλα λόγια θα παρατηρούσαμε παραμόρφωση στο πεδίο του χρόνου στο σήμα μας, με την εμφάνιση συχνοτικών ειδώλων, που όμως δεν υπάρχουν πραγματικά στο σήμα μας (Orfanidis, 2010). Εάν λοιπόν ένα αναλογικό σήμα περιορίζεται στο φάσμα του σε διάφορες συχνότητες κάτω από 12 kHz τότε, σύμφωνα με την παραπάνω σχέση (1) προκύπτει κατάλληλη συχνότητα δειγματοληψίας για μετατροπή από A (αναλογικό) $\rightarrow \Psi$ (ψηφιακό) ($f_s \geq 2 \cdot 12 \text{ kHz} = 24 \text{ kHz}$) (Ζαρούχας κ.ά., 2013).

Από την άλλη αξίζει να γνωρίζουμε ότι ο έλεγχος των αρμονικών που προκύπτουν σε μία καταγραφή, που πρέπει να ελέγχεται σύμφωνα με την θεμέλιο συχνότητα καταγραφής και ιδιαίτερα όταν παρατηρείται η εμφάνιση της συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF - Electric Network Frequency) που αναλύεται πιο λεπτομερώς στο κεφάλαιο 2, προκύπτει σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$F_n = N \cdot F \quad (2)$$

Στην παραπάνω σχέση (2) (Φλώρος, 2013, σελ.44) το N αποτελεί τον αριθμό των αρμονικών που σύμφωνα με την θεμέλιο συχνότητα δύναται να υπολογιστεί. Για παράδειγμα εάν η θεμέλιος συχνότητα ισούται με $F_n = 50 \text{ Hz}$, δηλαδή $n = 1$ και ψάχνουμε την Τρίτη αρμονική τότε σύμφωνα με τον τύπο (2) προκύπτει:

$$F_n = N \cdot F \Leftrightarrow F_3 = 3 \cdot 50 \text{ Hz} = 150 \text{ Hz}$$

1.5 Βάθος Δειγματοληψίας (Bit Depth)

Αποτελεί στον ψηφιακό ήχο το κυριότερο χαρακτηριστικό κατά την διακριτότητα (sampling). Αντιπροσωπεύει τον αριθμό ψηφίων (bits) που δαπανώνται για την αναπαράσταση, κάθε ηχητικού δείγματος, αλλά και την καταγραφή του. Η ποιότητα και το δυναμικό εύρος μίας ηχογράφησης επηρεάζονται από το βάθος της δειγματοληψίας. Εν ολίγοις μέσω των bits επιτυγχάνεται η αναπαράσταση σε δυναμικές τιμές ακουστικής πίεσης του ήχου (Ζαρούχας κ.ά., 2013).

Το δυναμικό εύρος (dynamic range) μίας ηχογράφησης, καθορίζεται από το βάθος δειγματοληψίας. Δηλαδή, το εύρος από την υψηλότερη στάθμη πλάτους του ήχου στην χαμηλότερη που δύναται να αναπαραχθεί (Vaseghi, 2007). Όσο μικρότερο ή μεγαλύτερο το βάθος δειγματοληψίας (bit depth), αντίστοιχα τόσο μικρότερο ή μεγαλύτερο θα είναι και το δυναμικό εύρος (dynamic range).

Επίσης, η ποιότητα του ήχου επηρεάζεται και αυτή με την σειρά της, καθώς όσο αυξάνεται το βάθος, τόσο πιο λεπτομερής και ακριβέστερη τείνει να γίνει η ηχογράφηση, καθώς η αναπαραγωγή του ήχου και ειδικότερα στις χαμηλότερες δυναμικές της έντασης, λαμβάνει χώρα με μεγαλύτερη ακρίβεια (Deggeller, 2022). Επιπλέον, το κάθε δείγμα δύναται να λάβει πλήθος διαφόρων τιμών επιπέδου το οποίο και καθορίζεται από το βάθος δειγματοληψίας (bit depth) (Toft, 2024). Έτσι λοιπόν, για βάθος (bit) 16 έχουμε 65,536 δυνατές τιμές. Πιο σύνηθες πρότυπα για το βάθος δειγματοληψίας (bit depth), αποτελούν τα 16, 24 & 32 bit (Watkinson, 2013).

Συνοπτικά, τα 16 bit στις περισσότερες εφαρμογές προσφέρουν καλή ποιότητα ενώ τα 24 bit παρέχουν υψηλή πιστότητα. Από την άλλη τα 16 bit προσφέρουν σχετικά καλό αποθηκευτικό μέγεθος ενώ τα 24 bit παρέχουν δυνατότητες για επεξεργασία και με μεγαλύτερο αποθηκευτικό μέγεθος έναντι των 16 bit. Τα 32-bit αναφέρονται συνήθως σε float 32-bit, που είναι μια προσαρμογή του IEEE 754 floating-point standard για τον ήχο. Συνήθως χρησιμοποιείται κατά την διαδικασία ηχογράφησης και επεξεργασίας στον ήχο όπου απαιτείται η ανάγκη για περισσότερη ακρίβεια και δυνατότητες επεξεργασίας (Ζαρούχας κ.ά., 2013; Manz, 2021).

Το βάθος δειγματοληψίας (bit depth) ισούται με:

$$\text{Βάθος Δειγματοληψίας (Bit Depth)} = \log_2(N) \quad (3)$$

Στην παραπάνω σχέση (3) (Ζαρούχας κ.ά., 2013, σελ.41) το N αποτελεί τον αριθμό των διαφορετικών και δυνατών τιμών που δύναται να λάβει ένα δείγμα (Ζαρούχας κ.ά., 2013).

Παράδειγμα

Έστω ένα αρχείο ήχου το οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε το bit depth του, το οποίο αντιπροσωπεύεται από 256 διακριτικές τιμές.

Για τον υπολογισμό του βάθους δειγματοληψίας (bit depth) προκύπτει:

$$(\text{Bit Depth}) = \log_2(N) \Leftrightarrow (\text{Bit Depth}) = \log_2(256) = 8$$

Σε αυτήν την περίπτωση, το bit depth είναι 8 bit.

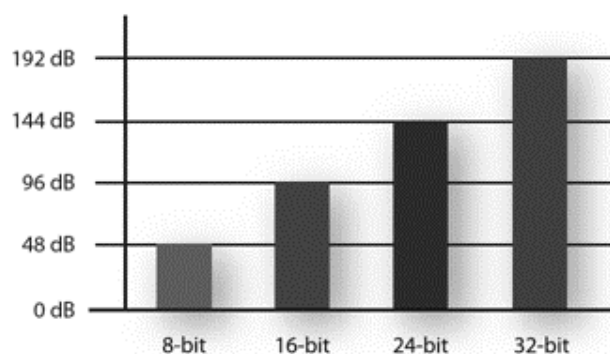
Παρόμοια, αν είχαμε 16 bit ήχο, ο αριθμός των διαφορετικών τιμών θα ήταν $2^{16} = 65536$ δείγματα και επομένως και το bit depth θα ήταν 16 bits (Ζαρούχας κ.ά., 2013, σελ.41).

Προκύπτει λοιπόν ο παρακάτω πίνακας (1-1) με ενδεικτικές τιμές δειγμάτων ανά bit depth.

ΒΑΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ (BIT DEPTH)	ΔΙΑΚΡΙΤΕΣ ΤΙΜΕΣ
8 BIT	256
16 BIT	65536
24 BIT	16777216
32 BIT	4294967296

Πίνακας 1-1 Πίνακας Απεικόνιση ενδεικτικών τιμών δειγμάτων ανά bit depth

Παρακάτω στην εικόνα (1-4) απεικονίζεται η σύνδεση μεταξύ του δυναμικού εύρους κατά αντιστοιχία του ανάλογου βάθους (bit) που επιλέγεται.



Εικόνα 1-4 Απεικόνιση αντιστοιχίας δυναμικού εύρους και βάθους (bit)

1.6 Κβαντισμός (Quantization)

Αποτελεί στοιχείο της ψηφιακής ηχογράφησης και ψηφιακής επεξεργασίας του σήματος. Σαν διαδικασία, ο κβαντισμός (quantization) λαμβάνει χώρα κατά την μετατροπή ποσότητας αναλογικής πληροφορίας ήχου σε ψηφιακής μορφής, με διακριτές τιμές οι οποίες αντιπροσωπεύονται από πεπερασμένη ποσότητα bits (Μουρτζόπουλος, 2011; Ζαρούχας κ.ά., 2013). Όταν μιλάμε για κβαντιστές (quantizers) στην ουσία αναφερόμαστε σε διάφορους αλγόριθμους και συσκευές όπου και εφαρμόζουν την ανωτέρω διαδικασία. Ο αριθμός των bit που χρησιμοποιείται ούτως ώστε να αναπαραστήσει την κάθε διακριτή τιμή, αποτελεί και το λεγόμενο βάθος κβαντισμού (quantization depth) (Manz, 2021).

Ως παράδειγμα, βάθος 32 bit συνεπάγεται πώς για κάθε δείγμα ώστε να επιτευχθεί η αναπαράσταση του, χρησιμοποιούνται 32 bit και ούτω καθεξής. Το βάθος κβαντισμού (quantization depth) συνδυαστικά με την συχνότητα δειγματοληψίας (sample rate), διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο ως προς την ποιότητα μιας ψηφιακής αναπαραγωγής (Stuart, 2015). Προκύπτει λοιπόν, πιο λεπτομερής αναπαραγωγή όταν έχουμε υψηλό βάθος κβαντισμού (quantization depth).

Η διαδικασία του κβαντισμού, λαμβάνει χώρα μετά την τέλεση της δειγματοληψίας, όπου τα δείγματα «κβαντίζονται» μπορούμε να πούμε σαν σήμα από αναλογικό σε διάφορες ψηφιακές τιμές. Επίσης, η εν λόγω διαδικασία, μπορεί να οδηγήσει και στον λεγόμενο «κβαντικό θόρυβο» (Ζαρούχας κ.ά., 2013; Schuller, 2020). Στην περίπτωση αυτή διάφορες μικρές αλλαγές στις τιμές του αναλογικού σήματος, δύναται να μην μπορούν να ανιχνευθούν κατά την ψηφιακή αναπαραγωγή και κατά αυτόν τον τρόπο οι αλγόριθμοι προβαίνουν στην συμπλήρωση του ηχητικού σήματος με θόρυβο (noise), γνωστή σαν διαδικασία φερόμενη και ως “Dither” (Ζαρούχας κ.ά., 2013; Stuart & Craven, 2019).

Επίσης, όσον αφορά την ανάλυση (resolution) όσο πιο χαμηλή, τόσο πιο μη ακριβές και η αναπαράσταση αναλογικού σήματος και το αντίστροφο, μιας και η αναφορά της υποδηλώνει την διαφορά ανάμεσα σε κάθε διακριτή τιμή (Φλώρος, 2013). Συνοπτικά ο κβαντισμός (quantization) αποτελεί διαδικασία που σχετίζεται άμεσα με την διατήρηση ποιότητας στον ήχο (Vaseghi, 2007). Κατά αυτόν τον τρόπο το εισερχόμενο σήμα στο πλάτος του, υπόκειται διαίρεση σε στάθμες κβαντισμού της τάξης 2^N , το οποίο οφείλεται στα δυαδικά ψηφία bit που λαμβάνουν με την σειρά τους 0 ή 1 διακριτών καταστάσεων (Ζαρούχας κ.ά., 2013).

Επομένως, οι στάθμες κβαντισμού προσδιορίζονται με N - bits και αυτό συνεπάγεται, την κβάντιση ανά δείγματος συνεχόμενου πλάτους σε στάθμη κβαντισμού που βρίσκεται πλησίον. Στην συνέχεια δημιουργείται αντιστοίχιση με την ακολουθία N - bits, η οποία έχει οριστεί για τη συγκεκριμένη στάθμη (Ζαρούχας, 2013). Υποθέτοντας, στις τιμές του σήματος ομοιομορφία κατανομής, ο κβαντικός θόρυβος που εισάγεται στο σήμα ή αλλιώς σφάλμα κβαντισμού για την συμπλήρωση της πληροφορίας που απουσιάζει στο σήμα υπολογίζεται προσεγγιστικά από την παρακάτω σχέση (4) (Ζαρούχας κ.ά., 2013, σελ.43):

$$SQNR \text{ (Signal to Quantize Ratio)} \cong 6 * N \text{ dB (4)}$$

Στον παραπάνω τύπο της σχέσης (4) (Ζαρούχας κ.ά., 2013, σελ.43) το N αποτελεί την ακολουθία (ευκρίνεια κβαντισμού) σε bits. Ο παραπάνω τύπος αποδεικνύει την αύξηση κατά 6dB στο $SQNR$ (Signal Quantize Noise Ratio) ανά προσθήκη bit.

Σύμφωνα με την παραπάνω λογική και την απεικόνιση της εικόνας (1-4) αντιστοιχίας δυναμικούς εύρους και βάθους (bit), προκύπτουν στον παρακάτω πίνακα (1-2) οι παρακάτω τιμές $SQNR$ ανά υποτυπώδη ευκρίνεια κβαντισμού.

Ευκρίνεια Κβαντισμού N (bits)	SQNR (dB)
4 (bits)	24 (dB)
6 (bits)	36 (dB)
8 (bits)	48 (dB)
16 (bits)	96 (dB)
24 (bits)	144 (dB)
32 (bits)	192 (dB)

Πίνακας 1-2 Απεικόνιση αναλογίας ευκρίνειας κβαντισμού και λόγου σήματος προς θόρυβο κβαντισμού

1.7 Δεκαεξαδικές Υπογραφές Δεδομένων (Hexadecimal Data Signatures - HDS)

Πολλά είναι τα αναπτυσσόμενα αριθμητικά συστήματα, με το πιο ευρέως διαδεδομένο στην χρήση και πιο οικείο να αποτελεί το δεκαδικό αριθμητικό σύστημα. Άλλα αριθμητικά συστήματα αποτελούν το οκταδικό και το δεκαεξαδικό σύστημα κ.ά. Αξίζει να αναφέρουμε ότι, διάφορα ψηφιακά συστήματα χρησιμοποιούν για τον σχεδιασμό και την ανάλυση τους, συστήματα αριθμών όπως είναι αντίστοιχα το οκταδικό (octal) αλλά και το δεκαεξαδικό (hexadecimal) σύστημα. Σαφώς, υπάρχουν και πολλά περισσότερα αριθμητικά συστήματα (Van Hoey, 2019).

Παρακάτω θα ασχοληθούμε με το δεκαεξαδικό σύστημα αλλά και το πώς συνδέεται με τα άλλα αριθμητικά συστήματα, μιας και διάφορες εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί σύμφωνα με το δεκαεξαδικό σύστημα μπορούν να επιφέρουν σημαντικές πληροφορίες που αφορούν κυρίως τα ψηφιακά ηχητικά αρχεία. Το βασικό χαρακτηριστικό γνώρισμα λοιπόν, όλων αυτών των συστημάτων είναι, ότι αποτελούνται κυρίως από τον φυσικό αριθμό που είναι μεγαλύτερος από το 1, αναφερόμενου ως βάση (base ή radix) του ανάλογου συστήματος αριθμών (Ζαρούχας κ.ά., 2013; LaMeres, 2023).

Τα εν λόγω συστήματα λοιπόν, φέρουν την ονομασία τους από τον αντίστοιχο αριθμό από όπου αποτελείται αντίστοιχα και η βάση τους. Κατά αυτόν τον τρόπο τα ψηφία ενός δεκαεξαδικού συστήματος, όπως και κάθε παραπάνω συστήματος το αποτελούν φυσικοί αριθμοί που είναι απαραίτητα μικρότεροι αριθμοί σε αντίστοιχα της βάσης τους ή ακόμα αποτελούνται και από διάφορα σύμβολα κατά αντιστοιχία διαφόρων φυσικών αριθμών, που με τη σειρά τους είναι εξίσου μικρότεροι από τη βάση του συστήματος (Latif, Qayyum, Lal & Khan, 2011).

Για παράδειγμα, τα ψηφία από το 0 έως και το 1, χρησιμοποιούνται στο δυαδικό σύστημα, αντίστοιχα χρησιμοποιούνται στο οκταδικό σύστημα τα ψηφία από το 0 έως και το 7, στο δεκαδικό σύστημα τα ψηφία από το 0 έως και το 9, αλλά και στο δεκαεξαδικό σύστημα τα ψηφία από το 0 έως το 9, καθώς και τα πρώτα 6 γράμματα (A, B, C, D, E, F) στο λατινικό αλφάβητο (LaMeres, 2023). Τα λατινικά γράμματα αντιστοιχούν στους δεκαδικούς αριθμούς από το 10 έως και το 15. Κάθε ψηφίο, αναλόγως της θέσης στην οποία βρίσκεται, φέρει και διαφορετική βαρύτητα (Mahat, 2021).

Για το λόγο αυτό, τα ανωτέρω αριθμητικά συστήματα που αναλύθηκαν και παραπάνω αναφέρονται και ως «θεσιακά» (positional) αριθμητικά συστήματα (Sourabh & Chauhan, 2021). Όπως αναφέραμε και παραπάνω, τα δεκαέξι ψηφία που απαρτίζουν το δεκαεξαδικό σύστημα (hexadecimal system) και χρησιμοποιούνται ως σύμβολα είναι τα κάτωθι:

$$\begin{array}{ccccccccc} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & A & B & C & D & E & F \\ \hline \text{10} & \text{11} & \text{12} & \text{13} & \text{14} & \text{15} \end{array}$$

Για να καταλάβουμε λοιπόν λίγο καλύτερα πώς λειτουργεί το δεκαεξαδικό σύστημα (hexadecimal system) ας δούμε το παρακάτω αντίστροφο παράδειγμα μετατροπής δεκαεξαδικού αριθμού σε δεκαδικό.

Έχουμε για παράδειγμα τον αριθμό δεκαεξαδικού συστήματος: 3F8. Η βάση του δεκαεξαδικού συστήματος (hexadecimal radix) είναι το 16 (Ζαρούχας κ.ά., 2013), προκύπτουν λοιπόν τα κάτωθι ψηφία γράφοντας από τα δεξιά προς τα αριστερά:

$$\begin{array}{ccccc} 16^4 & 16^3 & 16^2 & 16^1 & 16^0 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 65536 & 4096 & 256 & 16 & 1 \\ & & & x & x & x \\ & & & 3 & F & 8 \\ & & & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ & & & 768 & + 240 & + 8 = 1016 \text{ (Δεκαδικός αριθμός)} \end{array}$$

Το λατινικό γράμμα F όπως είδαμε και παραπάνω συμβολίζει το νούμερο ψηφίου 15. Στο παρακάτω παράδειγμα στον πίνακα (1-3) παρατηρούμε την μετατροπή δεκαδικού αριθμού σε δυαδικό.

Έχουμε για παράδειγμα τον δεκαδικό αριθμό: 102

Διαιρετέος	102	51	25	12	6	3	1	0
Διαιρέτης	2	2	2	2	2	2	2	2
Υπόλοιπο	-	0	1	1	0	0	1	1
Δυαδικός Αριθμός	1100110							

Πίνακας 1-3 μετατροπή δεκαδικού αριθμού σε δυαδικό

Αρχίζουμε να τον διαιρούμε με το 2 κάθε φορά, που αποτελεί την βάση του δυαδικού συστήματος. Επιπρόσθετα στην σειρά «Διαιρετέος» αναγράφεται ο ακέραιος αριθμός και στο «Υπόλοιπο» το υπόλοιπο που απομένει. Κατόπιν αναγράφουμε από τα δεξιά προς τα αριστερά τον αριθμό που προκύπτει. Στον παραπάνω πίνακα (1-3) αναφέρονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Στο παρακάτω παράδειγμα παρατηρούμε την μετατροπή δεκαδικού αριθμού σε δεκαεξαδικό σύστημα.

Έχουμε για παράδειγμα τον δεκαδικό αριθμό: 20.000

Παρατηρούμε ότι ο αριθμός 20.000 βρίσκεται ανάμεσα στο 256 και στο 4.096 του παρακάτω συστήματος.

16^4	16^3	16^2	16^1	16^0
↓	↓	↓	↓	↓
65.536	4.096	256	16	1
↑				
20.000				

Επομένως κινούμαστε ως εξής: $20.000/4.096 = 4.8428$, κρατάμε μόνο το πρώτο ψηφίο. Στην συνέχεια πολλαπλασιάζουμε $4 \times 4.096 = 16.384$ & $20.000 - 16.384 = 3.616$. Στην συνέχεια λειτουργούμε ως εξής, $3.616/256 = 14.125$ & $14 \times 256 = 3.584$ & $3.616 - 3.584 = 32$, επομένως $32/16 = 2$ και σαφώς $32 - 32 = 0$. Έχουμε υπολογίσει τα ψηφία [4 14 2 0] τα οποία μετατρέπονται βάση των ψηφίων που ισχύουν στο δεκαεξαδικό σύστημα (hexadecimal system), (το ψηφίο 14 ισούται με το λατινικό γράμμα E) και επομένως ο αριθμός 4 14 2 0 μετατρέπεται σε 4 E 2 0.

Οφείλουμε να αναφέρουμε επίσης, ότι ένα ψηφίο που ανήκει στο δυαδικό σύστημα φέρει και την ονομασία bit. Όταν ομαδοποιούνται λοιπόν 8 bit, το αποτέλεσμα ονομάζεται byte. Δεδομένου ότι ένα byte έχει 8 δυαδικά ψηφία, μπορεί να αντιπροσωπεύει οποιαδήποτε τιμή από το 0 έως και το 255. Κάθε αρχείο που είναι αποθηκευμένο σε ένα δίσκο αποθηκεύεται ως σύνολο δεδομένων byte. Επιπρόσθετα, όταν ομαδοποιούνται 4 bit έχοντας ως βάση του αριθμητικού συστήματος το 2, αυτό μπορεί επίσης να αναπαρασταθεί ως ένα δεκαεξαδικό ψηφίο, που η βάση 16 αποτελεί τον αριθμό αναφοράς του δεκαεξαδικού συστήματος (hexadecimal system) (Ζαρούχας κ.ά., 2013).

Για παράδειγμα, στο δυαδικό σύστημα τα αριθμητικά ψηφία 0101 ισούνται με το ψηφίο 5 του δεκαεξαδικού συστήματος, ή αντίστοιχα τα ψηφία του δυαδικού συστήματος 1111 ισούνται με το λατινικό γράμμα F που στο δεκαεξαδικό σύστημα (hexadecimal system) συμβολίζεται με τον αριθμό 15.

Διάφορα λογισμικά Hex - Editors όπως (Hex data Viewer, Winhex, Hex Workshop κ.ά.) έχουν σχεδιαστεί ειδικά για την επεξεργασία διαφόρων μεμονωμένων byte που ανήκουν σε ένα αρχείο. Όταν ένα αρχείο ανοίγει για επεξεργασία, στο δεκαεξαδικό παράθυρο επεξεργασίας του λογισμικού Hex - Editor εμφανίζεται η αναπαράσταση, κάθε ενός byte, ως δεκαεξαδικού αριθμού.

Κατά την επεξεργασία λοιπόν ακατέργαστων δεκαεξαδικών δεδομένων, το λογισμικό επεξεργασίας Hex - Editor χρησιμοποιεί μια ποικιλία διαφορετικών αριθμητικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των δεκαδικών, δεκαεξαδικών, οκταδικών και δυαδικών συστημάτων που προαναφέραμε. Κάθε σύστημα αριθμών έχει όπως είδαμε διαφορετική «βάση» η οποία χρησιμοποιείται για τη μετατροπή από ένα σύνολο ψηφίων σε μια αριθμητική τιμή (Bagulaya Abogaa, 2017). Για παράδειγμα, τα ψηφία 246 μπορούν να μετατραπούν σε αριθμό του δεκαδικού συστήματος χρησιμοποιώντας ως βάση του εν λόγω αριθμητικού συστήματος τον αριθμό 10, δηλαδή $\{2 \cdot 10^2 + 4 \cdot 10 + 6 = 246\}$ (Donzellini et al., 2019). Γενικότερα ισχύει, εάν «n» τα ψηφία ενός αριθμού που συμβολίζεται με το γράμμα «A» στην παρακάτω εξίσωση (5) γράφοντας από τα δεξιά προς τα αριστερά τον αριθμό που επιθυμούμε, τότε η μετατροπή οποιουδήποτε αριθμού μέσω του λογισμικού γίνεται από την κάτωθι «φόρμα υπολογισμού», από το εγχειρίδιο δεκαεξαδικού προβολέα (SweetScape Software Canada, 2003-2016).

$$A_{v-1} \cdot B^{v-1} + A_{v-2} \cdot B^{v-2} + \dots + A_1 \cdot B + A_0 \quad (5)$$

Όπου στην παραπάνω σχέση (5) το A_0 είναι το δεξιότερο ψηφίο σε σειρά ψηφίων του αριθμού προς αναπαράσταση, το A_1 είναι το ψηφίο που βρίσκεται προς τα αριστερά μετά το A_0 και ούτω καθεξής. Κατά αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται η τιμή ενός αριθμού σύμφωνα με την εκάστοτε βάση (για κάθε ανάλογο αριθμητικό σύστημα) που συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα B στην παραπάνω εξίσωση (5) και n ο αριθμός ψηφίων ενός αριθμού.

Ακολουθεί μια περιληπτική λίστα με τα τέσσερα συστήματα αριθμών που προαναφέραμε παραπάνω, τα οποία χρησιμοποιούνται πιο συχνά ώστε να καταλάβουμε πώς λειτουργεί ο παραπάνω τύπος (5) μετατροπής του συστήματος σε δεκαεξαδική μορφή:

Δεκαδικό Σύστημα: Οι αριθμοί αντιπροσωπεύονται έχοντας με βάση το 10. Τα ψηφία του συστήματος μπορούν να είναι οποιοσδήποτε αριθμός από το 0 έως το 9. Για παράδειγμα, στο δεκαδικό σύστημα ο αριθμός $153 = 1 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^1 + 3$ (Mark & Workman, 2022).

Δεκαεξαδικό Σύστημα: Οι αριθμοί αντιπροσωπεύονται με βάση το 16. Χρησιμοποιούνται όλα τα δεκαδικά ψηφία από το 0 έως το 9, καθώς και τα λατινικά γράμματα A, B, C, D, E και F τα οποία αντίστοιχα χρησιμοποιούνται για την αριθμητική αναπαράσταση από το 10 έως και το 15. Για παράδειγμα, στο δεκαεξαδικό σύστημα ο αριθμός ψηφίων $3d7 = 3 \cdot 16^2 + 13 \cdot 16^1 + 7 = 983$ (Chaudhari, 2020).

Οκταδικό Σύστημα: Οι αριθμοί αντιπροσωπεύονται με βάση το 8. Χρησιμοποιούνται κυρίως μόνο τα ψηφία κυρίως μεταξύ 0 και 7 και δεν επιτρέπονται τα ψηφία των αριθμών 8 και 9 σε σχέση με τα άλλα συστήματα. Για παράδειγμα, ο αριθμός $2740 = 2 \cdot 8^3 + 7 \cdot 8^2 + 4 \cdot 8^1 + 0 = 1504$ (Donzellini et al., 2019).

Δυαδικό Σύστημα: Οι αριθμοί αντιπροσωπεύονται με βάση το 2. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο τα ψηφία από το 0 ή το ψηφίο 1. Για παράδειγμα, ο αριθμός $10110 = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 = 22$ (Bansal & Mehtre, 2019).

Βάσει των παραπάνω, όλες οι δομές αποθήκευσης δεδομένων των παρακάτω ηχητικών αρχείων που αναλύονται φέρουν και συγκεκριμένες δεκαεξαδικές υπογραφές (hex - signatures) που εντοπίζονται με ανάλυση των ακατέργαστων δεδομένων και κατόπιν αντίστοιχης αποκωδικοποίησης του ανάλογου κειμένου. Οι εν λόγω υπογραφές, αντιστοιχούν στην επέκταση και στην κεφαλίδα που βασίζεται στην μορφή (format) και φέρει το κάθε ηχητικό αρχείο, καθώς και όλοι οι ομοιογενείς τύποι ηχητικών αρχείων ανεξαρτήτως της πληροφορίας που περιέχουν στο εσωτερικό τους (Koenig & Lacey, 2015).

Γενικότερα, υπάρχουν πάρα πολλές μορφές ηχητικών αρχείων με απώλεια και μη ηχητικής πληροφορίας, που φέρουν την δικής τους αντίστοιχη δεκαεξαδική υπογραφή, όπως αναφέρονται ενδεικτικά κάποιες από αυτές στον παρακάτω πίνακα (1-4).

Μορφή αρχείου	Δεκαεξαδική υπογραφή (Hex Signature)	Κεφαλίδα (Header)
WAV	52 49 46 46	RIFF
MP3	49 44 33	ID3
FLAC	66 4C 61 43	fLaC
OGG	4F 67 67 53	OggS
AIFF	46 4F 52 4D	FORM
AU	2E 73 6E 64	.snd
AAC	00 00 00 20 66 74 79 70 4D 34 41	ftypM4A
WMA	30 26 B2 75 8E 66 CF 11	0&²u†ff
MIDI	4D 54 68 64	MThd
AMR	23 21 41 4D 52 0A	#!AMR
BWF	66 6D 74 20	fnt
AC3	0B 77	÷w
DTS	7F FE 80 01 07 01	þ€□□□
CAF	63 61 66 66	caff
M4A	00 00 00 20 66 74 79 70 4D 34 41	ftypM4A
APE	4D 41 43 20	MAC
WV	77 76 70 6B	wvpk
DFF	46 4F 52 4D	FORM
DSF	44 53 44 20	DSD
ATRAC3	27 4F 46 52	'OFR
MP4	00 00 00 18 66 74 79 70 4D 34 41	ftypM4A
M4B	00 00 00 20 66 74 79 70 4D 34 42	ftypM4B
AIFC	46 4F 52 4D	FORM

Πίνακας 1-4 Απεικόνιση των πιο κοινών δεκαεξαδικών υπογραφών για διάφορες μορφές ηχητικών αρχείων & βίντεο, μαζί με την αντίστοιχη κεφαλίδα τους. Πηγή ([Kessler, n.d.](#))

Αυτές οι πληροφορίες (πίνακας 1-4) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση και αναγνώριση της μορφής των ηχητικών αρχείων. Με βάση λοιπόν τα πρώτα bytes των δεδομένων τους, που εντοπίζονται κατά τον οπτικό έλεγχο σε έναν δεκαεξαδικό προβολέα και την επιθεώρηση της κατασκευαστικής τους δομής, μπορεί να υλοποιηθεί και η σχετική επικύρωση.

1.8 Αποθήκευση Δεδομένων (File Formats)

Γενικά έχουμε διάφορους τύπους αρχείων ήχου (sound file formats), με τον καθέναν να φέρει χαρακτηριστικές ιδιότητες. Παρακάτω αναφέρονται διάφοροι κοινοί τύποι ηχητικών αρχείων και σχετικές πληροφορίες με αναφορές σχετικά με την επέκταση ή αλλιώς δεκαεξαδικών υπογραφών (hex signatures) των αρχείων (Gangwar, et al., 2020), καθώς και της δεκαεξαδικής κεφαλίδας τους (hex header). Σαφώς υπάρχουν και πάρα πολλές μορφές ηχητικών αρχείων ακόμα. Γίνεται μία αναφορά στα πιο γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα από λογισμικά μουσικής και μετάδοσης στο διαδίκτυο “.wav” και “.mp3”. Αξίζει να αναφέρουμε ότι οι πιο σημαντικές πληροφορίες χαρακτηριστικών της δομής τους εντοπίζονται στην κεφαλίδα των ηχητικών αρχείων.

.WAV (WAVE/Waveform Audio File Format File)

Αποτελεί τύπο ψηφιακού αρχείου με δυνατότητα αποθήκευσης κυματοειδών δεδομένων, ασυμπίεστο και με υψηλή ποιότητα. Αποθηκεύει ήχο σε ποικίλα μεγέθη, δείγματα (samples) και ρυθμό μετάδοσης (bit rate) (Ζαρούχας κ.ά., 2013). Φέρει παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά των “.AIF” άλλα διαφέρει λόγω πολυπλοκότητας. Επίσης χρησιμοποιείται κατά κόρον σε συστήματα των Windows και προσφέρει πιστότητα στην διατήρηση όλης της αρχικής πληροφορίας από τον αρχικό ήχο, έχοντας αρκετά μεγάλο μέγεθος.

Σημαντική παρατήρηση αποτελεί, η αποθήκευση σε κομμάτια (chunks) ηχητικών αρχείων με μορφότυπο “.wav”, εντός ενός “RIFF” περιεχομένου (κοντέινερ). Το “RIFF” περιέχει “INFO” κομμάτια που επιτρέπουν προσθήκες από διάφορες πληροφορίες σε ετικέτες στα αρχεία αυτού του τύπου (“Microsoft RIFF”, n.d.). Γενικότερα, ηχητικά αρχεία αυτού του τύπου περιέχουν ειδικά μεταδεδομένα, αλλά δύναται να περιέχουν και μεταδεδομένα τύπου XMP (Roszkiewicz, 2005) που ενσωματώνονται και μέσω διαφόρων λογισμικών επεξεργασίας ήχου. Ένα παράδειγμα τέτοιου είδους διαχείρισης πληροφοριών που σχετίζονται με τα XMP μεταδεδομένα αποτελεί το γνωστό λογισμικό επεξεργασίας ήχου Adobe Audition. Τα εν λόγω μεταδεδομένα αποθηκεύουν πληροφορίες όπως όνομα εφαρμογής δημιουργίας, αλλά και πληροφορίες που σχετίζονται με τις ημερομηνίες δημιουργίας (Iqbal, 2019).

.MP3 (MPEG Audio Layer III Format)

Αποτελεί πολύ δημοφιλή τύπο ηχητικών αρχείων που δημιουργήθηκε από την “Motion Picture Experts Group (MPEG)”. Χρησιμοποιεί ειδικούς αλγόριθμους συμπίεσης, για μείωση του μεγέθους του αρχείου, με κόστος την απώλεια σε ποιότητα (Brandenburg, 1999). Κατάλληλο για αποθήκευση μεγάλου όγκου (Iqbal, 2019). Επιπλέον, δύναται να προσφέρει αντίστοιχη ποιότητα ανάλογη του CD κατά 1/10 του αρχικού του μεγέθους από .AIF και .WAV (Yu & Hu, 2010). Το χρησιμοποιούμενο bitrate κατά την συμπίεση είναι αυτό που καθορίζει την ποιότητα του αρχείου (Ζαρούχας κ.ά., 2013). Επιπλέον, αρχεία με μορφότυπο “.mp3” προτείνονται για διάφορα δίκτυα διαμοιρασμού όπως τα “Napster” και “Gnutella” (Kahrs & Brandenburg, 2002). Τα μεταδεδομένα των ηχητικών αρχείων τύπου mp3, αποθηκεύονται χρησιμοποιώντας δύο ισχυρούς τύπους το “ID3v1” και “ID3v2”. Οι διάφορες ετικέτες “ID3v1” που εμφανίζονται στα αρχεία περιορίζονται σε διάνυσμα που αφορά περίπου 128 byte και προστίθεται στο τέλος του ηχητικού αρχείου της μορφής “.mp3” (Sharma & Deep, 2015).

Αντιθέτως, δημιουργημένοι τύποι όπως το “ID3v2” αυξάνουν την χωρητικότητα σε επίπεδο μεταδεδομένων. Σημαντική σημείωση αποτελεί ότι, οι ετικέτες του τύπου “ID3v2” δεν φέρουν σταθερότητα μεγέθους, και σαν αποτέλεσμα δύναται να παρέχετε στα μεταδεδομένα που ενσωματώνονται μεγαλύτερη ποικιλία εν αντιθέσει με τις ετικέτες “ID3v1” (Böck, 2011). Στον πίνακα (1-5) αναφέρονται χαρακτηριστικά για τις πιο διαδεδομένες μορφές αρχείων μουσικής που αφορούν τη δεκαεξαδική κεφαλίδα (hex header) και επέκταση ή αλλιώς δεκαεξαδική υπογραφή κάθε αρχείου (hex extension) (Gangwar, et al., 2020).

Τύπος Αρχείου (Format)	Hex Header	Hex Extension
.WAV (WAVE/Waveform Audio File Format File)	52 49 46 46	57 41 56 45
.MP3 (MPEG Audio Layer X Format)	49 44 33	6D 70 33
	FF F/FE (B or E or F /or 2 or 3)	
.RIFF (Resource Interchange File)	52 49 46 46	72 69 66 66

Πίνακας 1-5 Απεικόνιση πληροφοριών δεκαεξαδικών δεδομένων επέκτασης και κεφαλίδας για διάφορα αρχεία ήχου

Όπως παρατηρείται ο “Hex Header” για “WAV” και “RIFF” είναι ίδιος. Αυτό προκύπτει γιατί το “WAV” αρχείο είναι ένα είδος “RIFF” αρχείου. Ωστόσο, το “Hex Extension” διαφέρει, αλλά και τα δύο χρησιμοποιούνται για να αναγνωριστούν αρχεία τύπου “.wav”. Αναγράφοντας τον παρακάτω κώδικα (1-1) στο PowerShell-ISE των Windows εμφανίζονται τα παραπάνω “Hex Extensions” και “Hex Headers” που αποτυπώνονται στον πίνακα (1-5) (Kessler, 2024).

```
$filePath = "C:\Users\user\Desktop\HEX HEADERS\Vocals.wav"  
$fileBytes = Get-Content -Path $filePath -Encoding Byte -TotalCount 64  
$fileBytes | Format-Hex
```

Κώδικας 1-1 Απεικόνιση εντολών εμφάνισης δεκαεξαδικών δεδομένων κεφαλίδας αρχείων. (Πηγή: Ιστότοπος [Format-Hex](#))

Η λογική κατά σειρά εντολών στον παραπάνω κώδικα (1-1) ξεκινάει με τον ορισμό του ονόματος και path του αρχείου, στην συνέχεια γίνεται ανάγνωση στα πρώτα 64 bytes (αρκούν για την εμφάνιση της κεφαλίδας Hex) και ακολουθεί η εντολή εμφάνισης δεκαεξαδικών κεφαλίδων (hex headers) του κάθε ηχητικού αρχείου.

Γενικότερα, όσον αφορά τα αρχεία της μορφής “.mp3” η κεφαλίδα του κάθε πλαισίου ξεκινάει με τα συμβολικά ψηφία “FF F”, όπου βρίσκεται η περισσότερη πληροφορία για το αρχείο αυτής της μορφής, όπου βέβαια εξαρτάται κατά πολύ από το τέταρτο ψηφίο που θα ακολουθήσει. Το τέταρτο ψηφίο συναντάται συνήθως ως “F”, “B”, “E”, “A” κ.ά. Ενδεικτικά, τα mp3 ηχητικά αρχεία μπορεί να περιέχουν ID3v2 tags, τα οποία ξεκινούν με την υπογραφή 49 44 33. Αντίστοιχα, η υπογραφή για MPEG-1 Layer III ξεκινά συνήθως με FF FB, FF F3, ή FF F2, για MPEG-2 Layer με FF E3 ή FF E2 και για τα δεδομένα μεταδεδομένων .mp3 μπορεί να περιέχουν όπως απεικονίζεται και στον πίνακα (1-5) την υπογραφή 6D 70 33.

Αναλόγως τα χαρακτηριστικά των ιδιοτήτων που αφορούν την συχνότητα δειγματοληψίας, τον αριθμό καναλιών που περιέχονται στο αρχείο, καθώς και την ευκρίνεια κβαντισμού, κ.ά., σχετικές πληροφορίες που αποτυπώνονται στην δομή του εν λόγω ηχητικού αρχείου της μορφής “.mp3” είναι υπεύθυνες για τον συμβολικό τέταρτο αριθμό που θα συμπληρωθεί στην κεφαλίδα του πλαισίου.

Η κεφαλίδα όμως ολόκληρου του φακέλου της μορφής “.mp3” εντοπίζεται κατά κύριο λόγο να φέρει τα ψηφία “49 44 33” που ερμηνεύουν αντίστοιχα την κωδικοποίηση ετικετών της μορφής “ID3” κ.ά.

1.9 Μεταδεδομένα και Ιδιότητες Αρχείων Ήχου (Metadata & Properties)

Στα μεταδεδομένα (metadata) γενικότερα, εντοπίζονται οι πληροφορίες ενός αρχείου ήχου. Περιέχονται δηλαδή σχετικές πληροφορίες που περιλαμβάνουν, τον καλλιτέχνη, το άλμπουμ, τον τίτλο κομματιού, το είδος, το έργο, το άλμπουμ, και τον αριθμό τραγουδιού ή αρχείου και πολλές άλλες βοηθητικές πληροφορίες. Αυτές σχετίζονται με το αρχείο και παρέχουν δυνατότητες περιγραφής και δυνατότητες αρχειοθέτησης των αρχείων, όπως για παράδειγμα σε πολυμεσικές βάσεις δεδομένων. Εν ολίγοις, πρόκειται για μια συλλογή πληροφοριών που ονομάζεται μεταδεδομένα που με την σειρά τους δύναται να ορίζουν άλλα δεδομένα και πληροφορίες (Ζαρούχας κ.ά., 2013). Επίσης, ο κάθε χρήστης - δημιουργός δύναται να προβαίνει μέσω αυτών στην ενοποίηση άλλων δεδομένων παρέχοντας διάφορες λεπτομέρειες που σχετίζονται με την ημερομηνία δημιουργίας του αρχείου κ.ά. (Μουρτζόπουλος, 2011).

Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε ότι μπορούν να παραχθούν εύκολα αυτόματα και χειροκίνητα. Σαν αποτέλεσμα αυτού, δεν προσμετρώνται ως βασικές και έμπιστες πληροφορίες, κατά την εξέταση αυθεντικότητας των αρχείων ήχου. Εξετάζονται μεν και εφόσον πιστοποιηθούν για την εγκυρότητα τους, τότε προσμετρώνται ως ένα επιπλέον σημείο αυθεντικότητας και μη παραποίησης του αρχείου, αλλά και ως ένδειξη για το αντίστροφο. Δηλαδή, ως ένα αποδεικτικό σημείο που προκαλεί υπόνοια για παραποίηση.

Αναφερόμενοι στις ιδιότητες των αρχείων ήχου κατά την εγκληματολογική προσέγγιση, τα οποία προορίζονται προς εξέταση, είναι απαραίτητο να εντοπιστούν χρήσιμες πληροφορίες όπως είναι συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των ηχητικών αρχείων. Για παράδειγμα, πολλές φορές ένα άτομο μπορεί να ακούσει το περιεχόμενο δύο ηχογραφήσεων ή δύο ηχητικών αρχείων ως το ίδιο, αλλά τα αρχεία ενδέχεται να διαφέρουν κατά πολύ μεταξύ τους. Ένα παράδειγμα διαπίστωσης αυτού, αποτελεί, όταν το μέγεθος αποθήκευσης των ηχητικών αρχείων διαφέρει, το οποίο και αποτελεί μέρος των ιδιοτήτων του αρχείου κ.ά.

Στην ουσία τόσο τα μεταδεδομένα όσο και οι ιδιότητες των χαρακτηριστικών των ηχητικών αρχείων αποτελούν ενσωματωμένα δεδομένα παροχής πληροφοριών και περιγραφής του κάθε αρχείου όπως ο τύπος αρχείου (wav, mp3, ogg, κ.ά.), ημερομηνίες δημιουργίας, αποθήκευσης, προσπέλασης, διάρκεια, έτος και ώρα δημιουργίας, όγκος αρχείου, όνομα και πολλές άλλες σχετικές πληροφορίες (Ζαρούχας κ.ά., 2013).

1.10 Ρυθμός Μετάδοσης (Bitrate)

Ο ρυθμός μετάδοσης του ήχου (bitrate), αναφέρεται στον αριθμό μετάδοσης των bit ανά μονάδα χρόνου, συνήθως σε χρόνο του ενός δευτερολέπτου. Αποτελεί δηλαδή μέτρο ποιότητας των δεδομένων και της μετάδοσης τους σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση ηχητικών αρχείων, ο ρυθμός μετάδοσης bit αναφέρεται στο πλήθος των bit που απαιτούνται για να αναπαραχθεί ο ήχος σε ένα δευτερόλεπτο. Υψηλός ρυθμός μετάδοσης χρησιμοποιείται συνήθως για να αναπαραχθεί η ποιότητα του ήχου υψηλή (Ζαρούχας κ.ά., 2013).

Ο ρυθμός (bitrate) παροχής δεδομένων εκφράζεται από τη σχέση (6):

$$I \left(\frac{bits}{sec} \right) = c \cdot f_s \left(\frac{samples}{sec} \right) \cdot N \left(\frac{bits}{sample} \right) \quad (6)$$

Αριθμός καναλιών του αρχείου c , δειγματοληψία f_s και ευκρίνειας κβαντισμού (N). Ο ανωτέρω τύπος (6) (Ζαρούχας κ.ά., 2013, σελ.54) αναφέρεται στην συνηθισμένη παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM).

Παράδειγμα

Έχουμε ψηφιακό ηχητικό αρχείο ποιότητας ψηφιακού ήχου “CD Digital Audio” με τις εξής πληροφορίες όπως παρουσιάζονται στον πίνακα (1-6):

Ηχητικό Αρχείο Ιδιότητες	Συμβολισμός Βάση Τύπου(1.1)
Αριθμός Καναλιών	2
Ευκρίνεια Κβαντισμού	16
Συχνότητα Δειγματοληψίας	44.100 Hz
Χρονική Διάρκεια	00:02:10 (hour:minutes:sec)

Πίνακας 1-6 Πληροφορίες ψηφιακού ηχητικού αρχείου “CD Digital Audio”

Με χρήση της ανωτέρω σχέσης (6) προκύπτει:

$$I \left(\frac{bits}{sec} \right) = c \cdot f_s \left(\frac{sample}{sec} \right) \cdot N \left(\frac{bits}{samples} \right) \Leftrightarrow$$

$$I \left(\frac{bits}{sec} \right) = 2 \cdot 44.100 \left(\frac{samples}{sec} \right) \cdot 16 \left(\frac{bits}{sample} \right) \Leftrightarrow I \left(\frac{bits}{sec} \right) = 1.411.200 \text{ Mbps}$$

1.11 Χωρητικότητα Αποθήκευσης (Storage Capacity)

Εάν λάβουμε υπόψη μας στην σχέση (6) και την ολική χρονική διάρκεια του αρχείου τότε:

$$C (bits) = I \left(\frac{bits}{sec} \right) \cdot t (sec) = c \cdot f_s \left(\frac{samples}{sec} \right) \cdot N \left(\frac{bits}{sample} \right) \cdot t (sec) \quad (7)$$

Η ανωτέρω σχέση (7) που προκύπτει (Ζαρούχας κ.ά., 2013, σελ.55) αφορά τον υπολογισμό της χωρητικότητας και απαιτούμενο μέγεθος αποθήκευσης των ψηφιακών ηχητικών δεδομένων ενός ηχητικού αρχείου (Ζαρούχας κ.ά., 2013).

Παράδειγμα

Για το ίδιο ηχητικό αρχείο του παραδείγματος της ενότητας 1.10 ρυθμού μετάδοσης (bitrate), εάν μετατρέψουμε όλο τον χρόνο σε δευτερόλεπτα:

$$2 (\text{min}) \cdot 60 (\text{sec}) + 10 (\text{sec}) = 130 (\text{sec})$$

Και στη συνέχεια με απλή αντικατάσταση χρησιμοποιώντας την ανωτέρω σχέση (7), προκύπτει για την χωρητικότητα του αρχείου:

$$C (bits) = 1.411.200 \cdot 130 = 183.456.000 (bits)$$

Εκφράζοντας την χωρητικότητα διαιρούμε με 8 ($C \Rightarrow \text{Bytes}$) και με 1000^2 ($C \Rightarrow \text{MBytes}$) και διαμορφώνεται ως εξής:

$$C (bits) = 183.456.000 (bits) \Leftrightarrow C (bits) = \frac{183.456.000}{8 \cdot 1000^2} = 22,93 (MB)$$

Μετατρέποντας σε (KB) “1 MB = 1000 (KB)” έχουμε, $22,93 (MB) \cdot 1000 = 22.930 (KB)$

Δεν πρέπει να παραμελείτε παράλληλα η αποτελεσματική απόδοση ενός αλγόριθμου συμπίεσης που εφαρμόζεται, είτε για την εξάλειψη σημείων συρραφής ή αποκοπής σε μία εγγραφή που υπόκειται σε παραποίηση, δια μέσου επαναλαμβανόμενης συμπίεσης η οποία και αποτελεί προσπάθεια συγκάλυψης. Γενικότερα, στην πράξη ο προσδιορισμός του λόγου συμπίεσης (Λ) που εφαρμόζεται σε ένα ηχητικό αρχείο είναι εξαρτώμενος, από τα αρχικά μη συμπιεσμένα (ΑΜΣ) προς τα συμπιεσμένα δεδομένα (ΣΔ) που προκύπτουν. Δηλαδή, μεταξύ αρχικού και τελικού ρυθμού που παρέχεται από τα ανάλογα δεδομένα ήχου που περιέχονται στο εκάστοτε ηχητικό αρχείο σύμφωνα με την παρακάτω σχέση (8) (Ζαρούχας κ.ά., 2013, σελ.57).

$$\Lambda = \frac{\text{ΑΜΣ}}{\text{ΣΔ}} \quad (8)$$

Για το ίδιο ηχητικό αρχείο του παραδείγματος της ενότητας 1.10 ρυθμού μετάδοσης (bitrate), δηλαδή με τις ίδιες παροχές χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του αρχείου, ακολουθεί το παρακάτω παράδειγμα, με εφαρμογή του τύπου (8) (Ζαρούχας κ.ά., 2013, σελ.57).

Παράδειγμα

Προκύπτει με εφαρμογή αντίστοιχων ρυθμών παροχής δεδομένων i) 128 kbps & ii) 320 kbps, μέσω συμπίεσης στα δεδομένα με τη βοήθεια του γνωστού προτύπου MPEG για αρχεία “.mp3”:

$$i) \quad \frac{1.411.200 \left(\frac{\text{bits}}{\text{sec}} \right)}{128.000 \left(\frac{\text{bits}}{\text{sec}} \right)} \cong 11,025 \quad ii) \quad \frac{1.411.200 \left(\frac{\text{bits}}{\text{sec}} \right)}{320.000 \left(\frac{\text{bits}}{\text{sec}} \right)} \cong 4,41$$

Ειδικότερα, όσο πιο μικρό σε μέγεθος συναντάται ένα ψηφιακό ηχητικό αρχείο, αντίστοιχα προκύπτει και αντίστροφη σχέση μεταξύ του μεγάλου λόγου συμπίεσης που προκύπτει στα ηχητικά δεδομένα και αρκετά πιο υποβαθμισμένη συναντάται η ποιότητα του ήχου. Αυτό δημιουργείται εξαιτίας του πιο μικρού ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων που παρέχονται (Ζαρούχας κ.ά., 2013, σελ.57).

Συχνά, όμως παρατηρείται η προσπάθεια απόκρυψης ή καταστροφής ηχητικών στοιχείων εφαρμόζοντας συμπίεση πολλές φορές. Η επαναλαμβανόμενη συμπίεση περιλαμβάνει την εφαρμογή δύο διαφορετικών αλγορίθμων συμπίεσης ή περισσότερων, σε ένα ηχητικό αρχείο, με στόχο να το καταστήσει δυσκολότερο για την ανάλυση. Ειδικότερα όταν στο περιεχόμενο του εισάγεται αντικείμενο συνένωσης αποσπασμάτων από διαφορετικές ηχογραφήσεις. Ωστόσο, η επανασυμπίεση μπορεί να αφήσει διάφορα ίχνη που μπορούν να εντοπιστούν. Μέσω ανάλυσης στατιστικών χαρακτηριστικών του ηχητικού σήματος, μπορούν να εντοπίσουν ανωμαλίες που υποδεικνύουν την ύπαρξη πολλαπλής συμπίεσης. Μία μέθοδος εντοπισμού βασίζεται στην επανασυμπίεση του υπό εξέταση αρχείου και στην ανάλυση των αλλαγών που προκύπτουν στα ηχητικά χαρακτηριστικά. Η βασική υπόθεση είναι ότι η απώλεια πληροφορίας κατά την επανασυμπίεση θα είναι μικρότερη σε τμήματα που έχουν ήδη υποστεί απώλεια από προηγούμενη συμπίεση. Η μέθοδος αυτή εκμεταλλεύεται τις στατιστικές ιδιότητες των ηχητικών σημάτων. Η αποτελεσματικότητα της μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες, όπως η μορφή κωδικοποίησης του αρχείου, η ποιότητα ήχου και η ρύθμιση, αλλιώς λόγος της συμπίεσης που έχει υποστεί το ηχητικό αρχείο προς εξέταση (Vryzas, Katsaounidou, Kotsakis, Dimoulas & Kalliris, 2019).

1.12 Υπολογισμός διάρκειας & μεγέθους καρέ (Calculation of Frame Size & Duration)

Ο υπολογισμός της χρονικής διάρκειας ενός ηχητικού αρχείου απωλεστικής συμπίεσης της μορφής “.mp3” μπορεί να επιτευχθεί με την βοήθεια του μεγέθους αρχείου και το φερόμενο Bitrate του όπου προαναλύθηκαν, με την βοήθεια του παρακάτω τύπου (9) (Windszus, 2007, p. 5).

$$Duration_{(sec)} = \left(\frac{FileSize \cdot 8}{Bitrate} \right) \quad (9)$$

Παράδειγμα

Ηχητικό αρχείο της μορφής “.mp3” φέρει τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

- **Bitrate** = 58 kbps

Για να το μετατρέψουμε kbps σε bps πολλαπλασιάζουμε ($1.000 = 1 \times 10^3$), προκύπτει:

$$Bitrate = 58 \text{ kbps} = 58 \cdot 1.000 \text{ bps} = 58 \cdot 10^3 \text{ bps} = 58.000 \text{ bps}$$

- **C** = 0,97 MB

Για να το μετατρέψουμε τα MB σε bytes πολλαπλασιάζουμε ($1 \text{ MB} = 1 \times 10^6 \text{ bytes}$) και στη συνέχεια σε bits ($1 \text{ byte} = 8 \text{ bits}$), προκύπτει:

$$C = 0,97 \text{ MB} \Leftrightarrow C(\text{bytes}) = 0,97 \cdot 10^6 \text{ bytes} = 970,000 \text{ bytes} \Leftrightarrow$$

$$C(\text{bits}) = 0,97 \cdot 10^6 \cdot 8 = 7,76 \cdot 10^6 \text{ bits} = 7,760,000 \text{ bits}$$

Με εφαρμογή του ανωτέρου τύπου (9) προκύπτει:

$$Duration = \frac{7,760,000 \text{ bits}}{58,000 \text{ bps}} \approx 133.79 \text{ sec}$$

Επομένως, η χρονική διάρκεια του αρχείου είναι περίπου:

$$minutes = \frac{133.79 \text{ sec}}{60 \text{ sec per min}} = 2.2298 \text{ minutes} \approx 2 \text{ minutes} \& 14 \text{ sec}$$

Δεδομένου ότι ένα “.mp3” ηχητικό αρχείο είναι ένα σύστημα συμπίεσης με απώλειες, τα καρέ που το απαρτίζουν ενδέχεται να έχουν και διαφορετικά μεγέθη, ανάλογα με τη δομή και το bitrate που χρησιμοποιείται. Επομένως, όταν ένα αρχείο “.mp3” κωδικοποιείται με μεταβλητό ρυθμό bit (VBR), η διάρκεια του αρχείου δεν μπορεί να υπολογιστεί από το bitrate του πρώτου καρέ (Watkinson, 2012), καθώς αυτό μπορεί να ποικίλει σημαντικά σε

σχέση με όλο το αρχείο. Για να υπολογιστεί η διάρκεια λοιπόν ενός τέτοιου αρχείου, πρέπει να βρεθεί ο μέσος ρυθμός μετάδοσης bit (Windszus, 2007). Αυτό επιτυγχάνεται είτε με την ανάλυση όλων των καρέ και την εύρεση του μέσου όρου, είτε με τη χρήση πρόσθετων κεφαλίδων VBR που βρίσκονται στο αρχείο, όπου περιέχουν τον συνολικό αριθμό των καρέ, επιτρέποντας τον υπολογισμό της διάρκειας σε δευτερόλεπτα σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο (10) (Windszus, 2007, p. 7):

$$Duration_{(sec)} = \frac{Number\ of\ Frames \cdot Samples\ per\ Frame}{Sampling\ Rate} \quad (10)$$

Για τον γρήγορο έλεγχο κεφαλίδας ηχητικών αρχείων “.mp3” προτείνεται ο παρακάτω κώδικας (1-2) Powershell.

```
function Ελεγχος-MP3Κεφαλίδας {  
    param (  
        [string] $ΔιαδρομήΑρχείου  
    )  
    $stream = [System.IO.File]::OpenRead($ΔιαδρομήΑρχείου)  
    $buffer = New-Object byte[] 1024  
    $stream.Read($buffer, 0, 1024) | Out-Null  
    $stream.Close()  
    $hex = ($buffer | ForEach-Object { $_.ToString("X2") }) -join " "  
    if ($hex -match "58 49 4E 47") {  
        Write-Output "Αυτό το αρχείο έχει κεφαλίδα XING. Είναι πιθανόν  
ένα αρχείο VBR."  
    }  
    elseif ($hex -match "56 42 52 49") {  
        Write-Output "Αυτό το αρχείο έχει κεφαλίδα VBRI. Είναι πιθανόν  
ένα αρχείο VBR."  
    }  
    else {  
        Write-Output "Αυτό το αρχείο δεν έχει κεφαλίδα XING ή VBRI.  
Είναι πιθανόν ένα αρχείο CBR."  
    }  
}  
$ΔιαδρομήMP3Αρχείου = "path\to\your\file.mp3"  
Ελεγχος-MP3Κεφαλίδας -ΔιαδρομήΑρχείου $ΔιαδρομήMP3Αρχείου
```

Κώδικας 1-2 Δημιουργία ελέγχου κεφαλίδας αρχείου “.mp3”

Ο παραπάνω κώδικας (1-2) ελέγχει αν η συμβολοσειρά hex περιέχει το μοτίβο "58 49 4E 47" (που αντιστοιχεί στο "XING") ή "56 42 52 49" (που αντιστοιχεί στο "VBRI"). Ανάλογα με την παρουσία αυτών των κεφαλίδων, δηλώνει αν το αρχείο είναι πιθανόν να είναι VBR¹. Αν δεν βρεθεί κάποια από αυτές τις κεφαλίδες, ο κώδικας υποθέτει ότι το αρχείο είναι πιθανόν να είναι CBR², δηλαδή ότι έχει κωδικοποιηθεί με σταθερό bitrate. Για τον

¹ Το bitrate μπορεί να διαφέρει από καρέ σε καρέ για να βελτιστοποιηθεί το μέγεθος του αρχείου και να διατηρηθεί η ποιότητα του ήχου.

² Όλα τα καρέ έχουν το ίδιο bitrate και συνήθως, το ίδιο μέγεθος

υπολογισμό του μεγέθους καρέ, χρειάζεται ο αριθμός δειγμάτων ανά καρέ ήχου MPEG, όπως προαναφέρθηκε. Επομένως, με την βοήθεια του παρακάτω πίνακα (1-7) δύναται ο υπολογισμός δειγμάτων ήχου ανά αντιστοιχία καρέ.

<i>Level</i>	<i>MPEG 1</i>	<i>MPEG 2</i>	<i>MPEG 2.5</i>
<i>Layer I</i>	<i>384</i>	<i>384</i>	<i>384</i>
<i>Layer II</i>	<i>1152</i>	<i>1152</i>	<i>1152</i>
<i>Layer III</i>	<i>1152</i>	<i>576</i>	<i>576</i>

Πίνακας 1-7 Δείγματα ήχου ανά καρέ (*Sound Samples Per Frame*). Πηγή (Windszus, 2007; Gabriel, n.d.)

Για κάθε επίπεδο κωδικοποίησης Layer που αναφέρεται στον παραπάνω πίνακα (1-7) περιέχονται συγκεκριμένα δείγματα ήχου ανά καρέ (πλαίσια) για τις διάφορες εκδόσεις του MPEG (MPGedits, n.d.). Οι τιμές που εμφανίζονται για τα διάφορα επίπεδα κωδικοποίησης (Layers) του προτύπου MPEG προκύπτουν από τον σχεδιασμό του προτύπου και τις απαιτήσεις που είχε η κάθε εκδοχή για αποδοτική κωδικοποίηση σε συνάρτηση με την συμπίεση του ήχου (Gabriel, n.d.). Σε ένα αρχείο “.mp3”, ο τύπος υπολογισμού μεγέθους για κάθε καρέ σύμφωνα και με τον παραπάνω πίνακα (1-7) βάση προτύπων, δίνεται από τον παρακάτω τύπο (11) (Windszus, 2007, p. 5), το οποίο στη συνέχεια καθορίζει το συνολικό μέγεθος του εκάστοτε αρχείου.

$$FrameSize_{(bytes)} = \left(\frac{Samples\ per\ Frame \cdot Bitrate}{8 \cdot Sampling\ Rate} \right) + Padding\ Size \quad (11)$$

Ειδικότερα, ο αριθμός των δειγμάτων σε κάθε καρέ εξαρτάται από το πρότυπο του MPEG και το επίπεδο (Layer). Για παράδειγμα, για MPEG-1 Layer III (MP3), είναι συνήθως 1152 δείγματα ανά καρέ. Όσον αφορά το Padding Size, πρόκειται για μια σταθερή τιμή (0 ή 1 byte) που προστίθεται για να διατηρηθεί σταθερό το bitrate³ όταν απαιτείται. Χρησιμοποιείται κυρίως, όταν το μέγεθος του καρέ δεν είναι ακριβώς ακέραιος αριθμός και απαιτείται η προσθήκη ενός byte για να διατηρηθεί σταθερός ο ρυθμός δεδομένων.

Η εμφάνιση των “XING Header” παρουσιάζεται σε πολλά αρχεία VBR και συχνά περιλαμβάνει πληροφορίες όπως το συνολικό αριθμό των καρέ και το συνολικό μέγεθος του αρχείου. Επιπλέον το “VBRI Header” χρησιμοποιείται κυρίως από τον Fraunhofer

³ Το Bitrate πολλαπλασιάζεται με 1000, κάτι που είναι απαραίτητο για να γίνει η μετατροπή από kbps σε bps (bits per second) σε κάθε τύπο

encoder για VBR αρχεία και περιέχει παρόμοιες πληροφορίες με το XING (Windszus, 2007; Gabriel, n.d.). Βέβαια, στις περιπτώσεις για τον υπολογισμό του μεγέθους καρέ (*Frame Length*) ενός “.mp3” αρχείου με Layer II, δύναται ο υπολογισμός μέσω του παρακάτω τύπου (12) (ISO/IEC, 1993, section 2.4.3.1), καθώς ο αριθμός δειγμάτων ήχου ανά καρέ σε αυτό το επίπεδο είναι σταθερός ανεξαρτήτως των τύπων MPEG, όπως και για την περίπτωση MPEG 1 Layer III.

Στον τύπο (12) μόνο εάν έχει οριστεί το bit συμπλήρωσης (*Padding bit*) πρέπει να προστεθεί για τον ορθότερο υπολογισμό, όπου οι τιμές του *Padding bit* κυμαίνονται μεταξύ 0 & 1 bit.

$$FrameLength_{(bytes)} = \frac{Bitrate \cdot 144}{Sampling Rate} + Padding bit \quad (12)$$

Η τιμή του “*FrameLength*” εξαρτάται από το επίπεδο (Layer). Για το επίπεδο Layer I ισχύει η ακόλουθη εξίσωση του τύπου (13) (MPGedits, n.d.; ISO/IEC, 1993, section 2.4.3.1):

$$FrameLength_{(bytes)} = \left(\frac{Bitrate \cdot 12}{Sampling Rate} + Padding bit \right) \cdot 4 \quad (13)$$

Για τα Επίπεδα II και III όπως προαναφέρθηκε ο τύπος για τον υπολογισμό του μήκους καρέ σε Bytes (12) ικανοποιεί τον υπολογισμό. Εάν αυτός ο υπολογισμός δεν δώσει ακέραιο αριθμό, τότε καθιστάται αναγκαία η προσθήκη στο αποτέλεσμα ενός επιπλέον bit, με στρογγυλοποίηση προς τα κάτω, που συνεπάγεται απαίτηση για “padding bit” (ISO/IEC, 1993). Ο υπολογισμός της χρονικής διάρκειας ενός ηχητικού αρχείου μη απωλεστικής συμπίεσης της μορφής “.wav” μπορεί να επιτευχθεί με την βοήθεια του παρακάτω τύπου (14). Βάση τύπου (7) προκύπτει:

$$C (bits) = c \cdot f_s \left(\frac{samples}{sec} \right) \cdot N \left(\frac{bits}{sample} \right) \cdot t (sec) \Leftrightarrow t (sec) = \frac{C}{F_s \cdot N \cdot c}$$

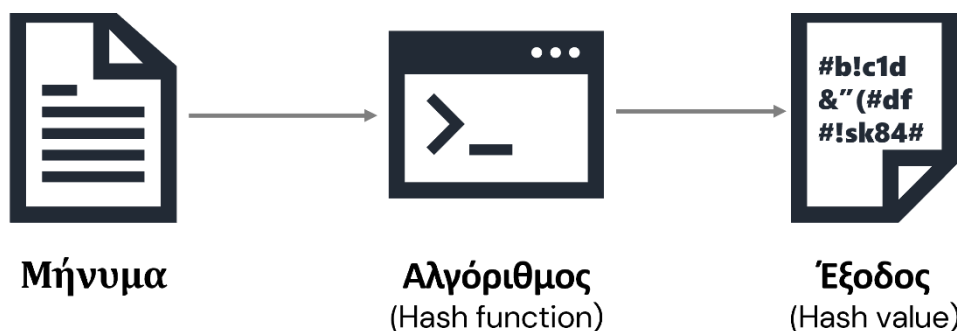
Εάν αντικαταστήσουμε τις έννοιες των παραμέτρων στον ανωτέρω τύπο, προκύπτει ο παρακάτω τύπος (14), όπου:

- $C = FileSize$
- $F_s = SampleRate$
- $N = Number of Channels$
- $c = SampleDepth$

$$Duration_{(sec)} = \frac{FileSize}{SampleRate \cdot SampleDepth \cdot Number of Channels} \quad (14)$$

1.13 Αλγόριθμοι Κατακερματισμού (Hash Algorithms)

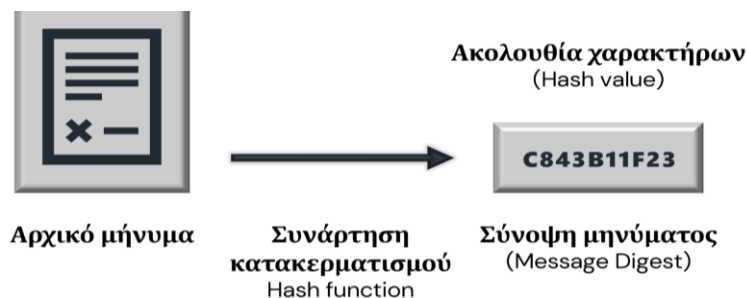
Ο κατακερματισμός (hashing) σαν έννοια παρατηρώντας και την παρακάτω εικόνα (1-5), αποτελεί την διαδικασία μετατροπής σε συμβολοσειρά σταθερού μεγέθους μιας εισόδου, ανεξαρτήτως του μήκους της. Οι τιμές κατακερματισμού (hash values) αποτελούν κρυπτογραφικές τιμές. Δημιουργούνται από τους λεγόμενους αλγόριθμους κατακερματισμού (hash algorithms) χρησιμοποιώντας διάφορες αντίστοιχες συναρτήσεις αλγορίθμων (hash functions) (Paar, & Pelzl, 2010).



Εικόνα 1-5 Απεικόνιση δημιουργίας τιμών “Hash” με χρήση αλγορίθμων κατακερματισμού

Ο κατακερματισμός εν ολίγοις αποτελεί έναν αλγόριθμο μαθηματικών. Σαν διαδικασία μπορεί να μετατρέψει διάφορα δεδομένα που εισάγουμε, ως μία «κατακερματισμένη τιμή» ή αλλιώς “hash value” ακολουθώντας και αποτυπώνοντας, σε ένα μοναδικό αναγνωριστικό αναπαράστασης σταθερού μεγέθους που αποτελεί μία ακολουθία μοναδικών ψηφίων (Endelina, 2021).

Αναλυτικότερα το μήνυμα που θα κατακερματιστεί όπως αποτυπώνεται και στην παρακάτω εικόνα (1-6) αποτελεί την είσοδο (input) και ο αλγόριθμος που θα εκτελέσει τον κατακερματισμό είναι η συνάρτηση κατακερματισμού (hash function). Η έξοδος ή αλλιώς η σύνοψη μηνύματος (message digest) που εμφανίζεται από την εν λόγω διαδικασία, αποτελεί την τιμή κατακερματισμού (hash value) που αποτελείται από μία ακολουθία χαρακτήρων.



Εικόνα 1-6 Απεικόνιση ονοματολογίας διαδικασιών της δημιουργίας “Hash values”

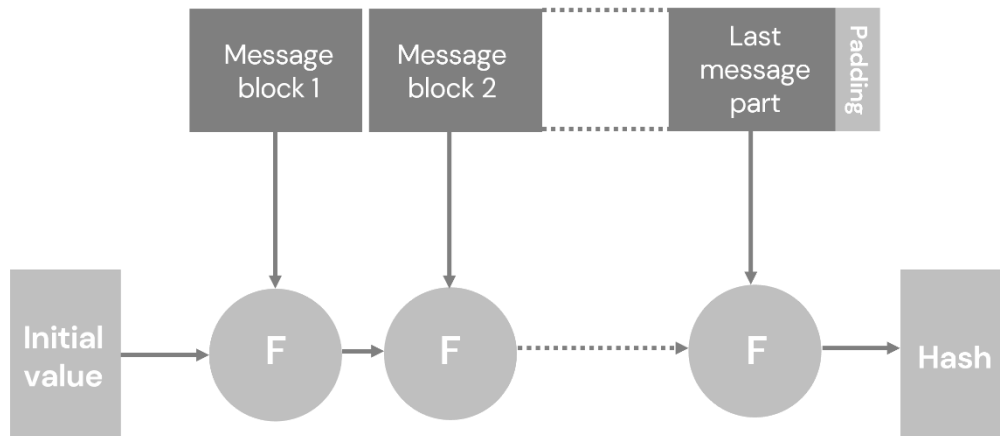
Οι τιμές κατακερματισμού (hash values) χρησιμοποιούνται για πολλούς σκοπούς, συμπεριλαμβανομένων των πιο σημαντικών που ακολουθούν και παρακάτω:

1. Κρυπτογραφία κωδικοποίησης (Cryptography): Στην κρυπτογράφηση χρησιμοποιούνται για την διασφάλιση ευαίσθητων πληροφοριών (όπως οι κωδικοί πρόσβασης). Μπορούμε δηλαδή να αποθηκεύσουμε την τιμή κατακερματισμού “hash value” έναντι του κωδικού.
2. Έλεγχος ακεραιότητας (Data Integrity): Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο δεδομένων ως προς την διατήρηση της ακεραιότητά τους. Η κατακερματισμένη τιμή “hash value” δεδομένων, εάν είναι διαφορετική σε σχέση με την αρχική, μπορεί να αποτελέσει υπόνοια για τροποποίηση των δεδομένων του αρχείου.
3. Διαχείριση κωδικοποιημένων δεδομένων (Data Management): Δύναται να χρησιμοποιηθούν σε βάσεις δεδομένων για την υλοποίηση αποθήκευσης είτε αναζήτησης δεδομένων.
4. Ψηφιακές υπογραφές (Digital Signatures): Επαλήθευση αυθεντικότητας και ακεραιότητας ψηφιακών υπογραφών και εγγράφων (Zhang, Zhou & Fan, 2014).
5. Κρυπτονομίσματα (Cryptocurrencies): Όπως το Bitcoin, χρησιμοποιεί τον κατακερματισμό για να υλοποιεί και να επαληθεύει συναλλαγές.

Μια τιμή κατακερματισμού (hash value) αποτελεί συμπτυγμένη αναπαράσταση ψηφιακού υλικού, δυαδικού ψηφιακού περιεχομένου, χωρίς όμως να μας παρέχει περαιτέρω πληροφορίες που να αφορά το περιεχόμενο του υλικού. Για παράδειγμα, ένα άτομο μπορεί να δει όπως προαναφέραμε το περιεχόμενο ή να ακούσει δύο ηχητικά αρχεία, ως το ίδιο, αλλά τα αρχεία ενδέχεται να διαφέρουν δυαδικά μεταξύ τους. Για παράδειγμα όταν το μέγεθος αποθήκευσης των αρχείων ήχου διαφέρει, διαφέρουν και οι τιμές Hash (Pieprzyk & Sadeghiyan, 1993).

Είναι δηλαδή σχεδιασμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε στα εισερχόμενα δεδομένα και μια μικρή αλλαγή να εντοπιστεί να μας δώσει αντίστοιχα μια κατακερματισμένη τιμή (hash value) εντελώς διαφορετική σε σχέση με την αρχική του πηγαίου αρχείου. Κατά αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η ασφάλεια και η μοναδικότητα τιμής του αλγόριθμου κατακερματισμού (hash value) που προκύπτει και κατά συνέπεια και η δημιουργία ελέγχου ακεραιότητας του αρχείου ή υπόνοιας για παραποίηση ή επεξεργασία (Xenya & Quist-Aphetsi, 2019).

Αναλυτικότερα, η διαδικασία δημιουργίας συνάρτησης κατακερματισμού (hash function) προβαίνει στον τεμαχισμό του μηνύματος προς κερματισμό σε διάφορα blocks σταθερού μήκους. Στην συνέχεια δημιουργείται συμπλήρωση του τελευταίου block ώστε το μήκος του μηνύματος να γίνει το ίδιο με το μήκος που φέρουν και τα υπόλοιπα blocks, όπως αποτυπώνεται και στην απεικόνιση της παρακάτω εικόνας (1-7).



Εικόνα 1-7 Απεικόνιση λειτουργίας συνάρτησης κατακερματισμού (Hash function)

Σε κάθε μήνυμα γίνεται εφαρμογή συνάρτησης συμπίεσης f (compression function). Η συμπίεση εισάγεται για την δημιουργία της συμπίεσης του block που προκύπτει ώστε να κατέχει μικρότερο μέγεθος. Κατά συνέπεια η συνάρτηση f (compression function) συμπίεσης εισάγει στην είσοδο της ένα block συγκεκριμένου μήκους. Η συνάρτηση κατακερματισμού (hash function) στην ουσία προκύπτει με την εφαρμογή σε κάθε block, της επαναλαμβανόμενης εφαρμογής συνάρτησης συμπίεσης (compression function) μέχρι την στιγμή που ολόκληρο το μήνυμα ή τα δεδομένα που προκύπτουν από το αρχείο να υποστούν επεξεργασία (Xenya & Quist-Aphetsi, 2019; Endelina, 2021). Ας εξετάσουμε το παρακάτω απλό παράδειγμα για να γίνει κατανοητό το πώς λειτουργεί ένας απλός αλγόριθμος που κατακερματίζει ένα μήνυμα, ούτως ώστε να παραχθεί η λεγόμενη όπως προαναφέραμε τιμή κατακερματισμού (hash value).

Παράδειγμα

Έχουμε το μήνυμα “AUDIO” το οποίο φέρει γράμματα από το αγγλικό αλφάβητο. Η λέξη “AUDIO” αποτελεί το μήνυμα εισόδου. Ο αλγόριθμος κατακερματισμού (hashing algorithm) θα πραγματοποιήσει την παρακάτω λειτουργία. Τα γράμματα της λέξης “A U D I O” κατέχουν κατά σειρά στο αγγλικό αλφάβητο τις αντίστοιχες θέσεις όπως 1+21+4+9+15 και η διαδικασία αθροίσματος αποτελεί τον αλγόριθμο κατακερματισμού

(Hash Algorithm). Η τιμή κατακερματισμού (hash value) ή αλλιώς σύνοψη μηνύματος (Message Digest) που προκύπτει και ισούται με 50, αποτελεί το αποτέλεσμα της διαδικασίας που συντελείται από τον αλγόριθμο κατακερματισμού (hash algorithm) και είναι το αναπαραστατικό ψηφιακό δακτυλικό αποτύπωμα του αρχικού μηνύματος "AUDIO". Έστω τώρα ο απλός αλγόριθμος SHA256 (Secure Hash Algorithm 256 - bit) που ανήκει στην οικογένεια του SHA2, ο οποίος παράγει μήκος 256 bits τιμή hash value που συνεπάγεται 64 δεκαεξαδικούς (hexadecimal) χαρακτήρες (Verma et al., 2021). Δηλαδή, ανά 4 bits έχουμε αντιστοιχία ενός δεκαεξαδικού χαρακτήρα. Πρακτικά εάν υποθέσουμε ότι θέλουμε να "κατακερματίσουμε" το μήνυμα "AUDIO!" χρησιμοποιώντας τον παρακάτω κώδικα (1-3) εμφάνισης του αλγορίθμου SHA - 256, στη διεπαφή γραμμής εντολών Windows PowerShell -ISE, που φέρει ως κύριες λειτουργίες στα χαρακτηριστικά του, την συλλογή πληροφοριών και εκτέλεσης προγραμμάτων αντικαθιστώντας το command prompt.

Προκύπτει:

```
$text = "AUDIO!"  
$bytes = [System.Text.Encoding]::UTF8.GetBytes($text)  
$sha256=New-Object  
System.Security.Cryptography.SHA256CryptoServiceProvider  
$hashBytes = $sha256.ComputeHash($bytes)  
$hashString = [BitConverter]::ToString($hashBytes) -replace '-', '  
Write-Output $hashString.ToLower()  
SHA256 =  
4e5cfb62150b2e8ae8ea0d85b08080d25e42b4badebf6fd1d8a07e14ce3ebe5f
```

Κώδικας 1-3 Απεικόνιση εντολών υπολογισμού αλγορίθμου κατακερματισμού SHA256. (Πηγή: Ιστότοπος [Get-Filehash](#))

Η λογική του παραπάνω κώδικα (1-3) ακολουθεί την εισαγωγή κειμένου για υπολογισμό hash, στην συνέχεια την μετατροπή του κειμένου σε byte - array χρησιμοποιώντας UTF-8 κωδικοποίηση, έπειτα ο υπολογισμός του hash και μετατροπή του hash από byte - array σε δυαδικό string. Στην συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός του hash, SHA256 εάν προστεθεί ένα θαυμαστικό και μόνο, "AUDIO!!" με τη βοήθεια του κώδικα (1-3). Προκύπτει:

```
SHA256 = e8baa448f3958c3aaedd1fb283fa493a5ffcaf16bfc8dc5b0207a9bbaf49d5b5
```

Στη συνέχεια συγκρίνονται οι τιμές hash που προέκυψαν (βλ. κώδικα 1-4):

```
'4e5cfb62150b2e8ae8ea0d85b08080d25e42b4badebf6fd1d8a07e14ce3ebe5f'  
-eq  
'e8baa448f3958c3aaedd1fb283fa493a5ffcaf16bfc8dc5b0207a9bbaf49d5b5'  
False
```

Κώδικας 1-4 Απεικόνιση εντολής σύγκρισης δεδομένων (Πηγή: Ιστότοπος [Sharepoint diary](#))

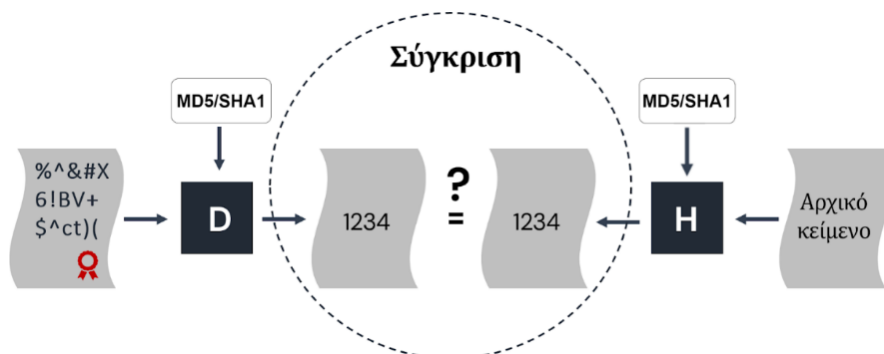
Η τιμή hash value που προέκυψε, με εφαρμογή του αλγορίθμου SHA256 για το μήνυμα "AUDIO!" & "AUDIO!!", "False = δεν αντιστοιχεί", ή "True = αντιστοιχεί", αντίστοιχα, ερμηνεύεται, δεν υπάρχει ή υπάρχει υπόνοια για παραποίηση ενός αρχείου. Στον παρακάτω πίνακα (1-8) αναφέρονται επιλεκτικά ανάμεσα σε αμέτρητους αλγόριθμους οι πιο χρήσιμοι για τον έλεγχο πληροφοριών αυθεντικότητας ηχητικών αρχείων (Wales, Smith, Lacey & Grigoras, 2023).

Αλγόριθμος	Επεξήγηση	Hash Value
MD5	(Message Digest Algorithm 5) παράγει μια τιμή "Hash" 128-bit (16-byte)	32 ψηφία Hex
SHA1	(Secure Hash Algorithm 1) παράγει μια τιμή "Hash" 160-bit (20-byte)	40 ψηφία Hex
SHA256	(Secure Hash Algorithm 256 - bit) παράγει μια τιμή "Hash" 256-bit (32-byte)	64 ψηφία Hex
SHA512	(Secure Hash Algorithm 512 - bit) παράγει μια τιμή "Hash" 512-bit (64-byte)	128 ψηφία Hex
CRC32	(Cyclic Redundancy Check 32) παράγει μια τιμή κατακερματισμού 32 bit (4 byte)	8 ψηφία Hex

Πίνακας 1-8 Αλγόριθμοι ελέγχου πληροφοριών αυθεντικότητας ηχητικών αρχείων

Τα SHA-256 και SHA-512 αποτελούν οικογένεια αλγορίθμων του SHA-2 και από τους πιο ασφαλής και ανθεκτικούς για διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων. Καθένας από τους παραπάνω αλγορίθμους παρέχει έναν τρόπο για να ελέγξουμε την ακεραιότητα των δεδομένων και να εξασφαλίσουμε ότι δεν έχουν αλλοιωθεί ή παραποιηθεί διάφορα αρχεία, συμπεριλαμβανομένου και των αρχείων ήχου. Η επιλογή του κάθε αλγορίθμου είναι ανάλογη του πεδίου εφαρμογής. Συστήνονται οι αλγόριθμοι της οικογένειας SHA-2 για την ασφαλέστερη αποθήκευση ή επικύρωση κρυπτογραφικών δεδομένων. Επίσης, προτιμώνται οι αλγόριθμοι MD-5 και SHA-1 για τον έλεγχο ψηφιακού δακτυλικού αποτυπώματος σε ένα αρχείο, ενώ για απλή ανίχνευση σφαλμάτων, προτείνεται και ο αλγόριθμος CRC32. Πρέπει κάθε φορά ανάλογα την περίπτωση, να προσμετράτε πώς η ασφάλεια που παρέχεται από τους αλγορίθμους κατακερματισμού, διαρκώς εξελίσσεται και είναι μείζονος σημασίας να γίνεται χρήση σε κάθε χρονική στιγμή των πιο ασφαλείς αλγορίθμων για την εξαγωγή

ορθών πληροφοριών. Συνοπτικά κατακερματισμός είναι η διαδικασία μετατροπής μιας εισόδου οποιουδήποτε μήκους σε μια συμβολοσειρά κειμένου καθορισμένου μεγέθους χρησιμοποιώντας μια μαθηματική συνάρτηση, ανεξαρτήτως μεγέθους του κειμένου μπορεί να μετατραπεί σε γράμματα και νούμερα διαμέσου ενός αλγορίθμου. Το μήνυμα αποτελεί την είσοδο (input) ο αλγόριθμος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί καλείται συνάρτηση κατακερματισμού (hash function) και η παραγόμενη τιμή κατακερματισμού (hash value) (Wales et al., 2023). Υπάρχουν πολλές φόρμουλες υπολογισμού τιμών κατακερματισμού. Κάθε τιμή κατακερματισμού (hash value) πρέπει να είναι μοναδική και πρέπει να αποκλείει την επαναδημιουργία της ίδια τιμής με την εισαγωγή διαφορετικών δεδομένων. Κατά αυτόν τον λόγο το ίδιο αρχείο ή μήνυμα είτε δεδομένα θα παράγουν ακριβώς την ίδια τιμή, κάθε φορά, με την αρχική εάν σαφώς δεν έχει υποστεί οποιαδήποτε επεξεργασία. Συνήθως, από τους διάφορους αλγόριθμους κατακερματισμού (hash algorithms) που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στις διάφορες έρευνες στον τομέα της έρευνας εγκληματολογίας του ήχου, είναι οι τιμές κατακερματισμού που προκύπτουν για MD5 και SHA-1 (Pedapudi & Vadlamani, 2023). Βέβαια, για αυτούς τους δύο τύπους αλγορίθμων σε πολλές έρευνες εντοπίστηκαν διάφορες “συγκρούσεις” κατά την διαδικασία της σύγκρισης, που συνεπάγεται την εμφάνιση ίδιας τιμής κατακερματισμού (hash value) για δύο διαφορετικά μπλοκ δεδομένων στα ηχητικά αρχεία (Wales et al., 2023), όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (1-8). Σε διάφορες υποψίες σύγκρουσης, δεν υφίστανται ιδιαίτερο πρόβλημα καθώς με την σύγκριση ανά δεδομένο που προκύπτει, για τις εν λόγω τιμές (byte by byte) μπορεί να επέλθει η επιβεβαίωση στην ομοιότητα όλων των bytes μεταξύ τους, μεταξύ των τιμών που προκύπτουν (Gayoso Martínez et al., 2014).



Εικόνα 1-8 Απεικόνιση σύγκρουσης κατά την σύγκριση διαφορετικών αρχείων δεδομένων.

Για αυτό τον λόγο είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται και τιμές που προκύπτουν από τους αλγόριθμους κατακερματισμού που ανήκουν και προαναφέρθηκε, στην οικογένεια αλγορίθμων του SHA2 και CRC32 που θεωρούνται και πιο ασφαλείς.

1.14 Συντελεστής Συσχέτισης (CC) & Μέση Τετραγωνική Απόκλιση (MQD)

Ένας άλλος τρόπος που μπορεί να ελεγχθεί μία εγγραφή πιο άμεσα ως προς την ομοιότητα ή ανομοιότητα με μία εγγραφή προς εξέταση επιτυγχάνεται μέσω του Συντελεστή Συσχέτισης (Correlation Coefficient – CC), εν αντιθέσει με τις τιμές κατακερματισμού (Hash values), όπου αποφαινεται για την γραμμική σχέση μεταξύ δύο σημάτων. Ο (CC) υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο (15) (Rappaport, 2000, p. 27):

$$CC = \frac{\sum_{k=1}^N (X_k - X_m)(Y_k - Y_m)}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (X_k - X_m)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^N (Y_k - Y_m)^2}} \quad (15)$$

Όπου στην σχέση (15) X_k και Y_k είναι οι τιμές των σημάτων X και Y (μέσες τιμές) που εξετάζονται στην k -οστή παρατήρηση. Ο αριθμητής εκφράζει το συνολικό άθροισμα των αποκλίσεων που προκύπτουν από τις μέσες τιμές. Ο παρονομαστής περιέχει το τετραγωνικό γινόμενο αποκλίσεων, που αντιπροσωπεύουν τη διασπορά των τιμών γύρω από τις μέσες τιμές των σημάτων. Οι τιμές που μπορεί να εμφανίσει ο εν λόγω συντελεστής κυμαίνονται μεταξύ 1 & -1 ("Covariance and Correlation", 2008) και ερμηνεύονται ως εξής:

- **Τιμή $CC = 1$** υποδηλώνει τέλεια θετική γραμμική συσχέτιση (όταν το ένα σήμα αυξάνεται, το άλλο επίσης αυξάνεται).
- **Τιμή $CC = -1$** υποδηλώνει τέλεια αρνητική γραμμική συσχέτιση (όταν το ένα σήμα αυξάνεται, το άλλο μειώνεται).
- **Τιμή $CC = 0$** υποδηλώνει ότι δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των σημάτων.

Από την άλλη η Μέση Τετραγωνική Απόκλιση (Mean Quadratic Deviation - MQD), επίσης γνωστή ως Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (Mean Squared Error - MSE), μετρά τον μέσο όρο των τετραγωνικών διαφορών μεταξύ των τιμών δύο σημάτων ("Mean Absolute Deviation (MAD) Review", n.d.) και υπολογίζεται ως:

$$MQD = \text{Log} \left[\frac{1}{N} \sum_{k=0}^{K-N} (X_k - Y_k)^2 \right] \quad (16)$$

Η σχέση (16) (Rappaport, 2000, p. 27) μετρά μεταξύ των τιμών των δύο σημάτων τη μέση τετραγωνική διαφορά τους, παρέχοντας έτσι μια ένδειξη για την απόκλιση που προκύπτει μεταξύ τους. Φέρει πάντα μη αρνητικές τιμές και όσο μικρότερη εμφανίζεται η εν λόγω τιμή, τόσο η πληροφορία αυτή υποδηλώνει ότι τα σήματα είναι πιο κοντά μεταξύ τους.

1.15 Ποσοστό μηδενικής διέλευσης (ZCR – Zero Crossing Rate)

Ο ρυθμός μηδενικών διελεύσεων (Zero Crossing Rate - ZCR) αποτελεί τον ρυθμό μετάβασης και αλλαγής του σήματος από αρνητικό σε θετικό και αντίστροφα σε μία κυματομορφή. Γενικότερα, χρησιμοποιείται στην επεξεργασία του σήματος και ιδιαίτερα στον τομέα της ανάλυσης του ήχου και της ομιλίας. Ο ZCR μετρά εν ολίγοις τον αριθμό που το σήμα διασχίζει το μηδέν μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Αυτή η αλλαγή του πρόσημού του σήματος σε ένα χρονικό διάστημα, μπορεί να αποδώσει χρήσιμες πληροφορίες για τη διάκριση μεταξύ διαφορετικών τύπων ηχητικού σήματος σε μία κοινή καταγραφή. Για παράδειγμα, τα φωνητικά σήματα συνήθως παρατηρείται να παρουσιάζουν χαμηλότερο ZCR λόγω της ομαλότητάς τους, ενώ οι μη φωνητικοί ήχοι (όπως ο θόρυβος κ.ά.) παρουσιάζουν υψηλότερο ZCR λόγω της πιο χαοτικής φύσης τους. Ειδικότερα, στην πράξη ο ZCR μηδενικής διέλευσης, για ένα σήμα x_h στο παράθυρο k υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο (17) (Dutoit & Maragos, 2021, Chapter 4, p. 11):

$$ZCR_k = \sum_{h=kM}^{kM+N} |\text{sign}(x_h) - \text{sign}(x_{h-1})| \quad (17)$$

Όπου ZCR_k είναι ο ρυθμός μηδενικών διελεύσεων για το k -στό παράθυρο. Η τιμή του σήματος x_h είναι η τιμή του σήματος στο δείγμα h και $\text{sign}(x_h)$ αποτελεί την συνάρτηση πρόσημου 1 για θετικές τιμές, -1 για αρνητικές τιμές και 0 για μηδενικές τιμές. M το μήκος του παραθύρου και N εκφράζει τον συνολικό αριθμό των δειγμάτων του παραθύρου που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ZCR.

Παράδειγμα

Εάν υποθέσουμε ότι έχουμε το εξής ηχητικό σήμα σε μια χρονική περίοδο:

$$X(t) = [1, -1, 1, -1, 1, -1, 1]$$

Για να υπολογίσουμε τον ZCR, μπορούμε να μετρήσουμε τον αριθμό των φορών που το σήμα διασχίζει το μηδέν. Το σήμα παρατηρείται να αλλάζει από 1 σε -1 τουλάχιστον έξι φορές. Επομένως, για το παραπάνω σήμα, ο ZCR παρουσιάζει 6 μηδενικές διελεύσεις μέσα στην συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Εάν το παράθυρο για το οποίο υλοποιείται η εξέταση είναι της τάξεως του ενός δευτερολέπτου, τότε ο ZCR ισούται με 6 μηδενικές διελεύσεις ανά δευτερόλεπτο. Αναλυτικότερα, ο ZCR φέρει και ορισμένα μειονεκτήματα όπως, βρίσκει εφαρμογή σε μεγαλύτερα τμήματα του σήματος, καθώς μικρότερα τμήματα

ενδέχεται να μην εμφανίζουν καμία ή μόνο ελάχιστες διασταυρώσεις. Για να καταστεί λοιπόν το μέτρο συνεπές, πρέπει να υποθέσουμε ότι το σήμα είναι μηδενικό. Επομένως, θα πρέπει να αφαιρεθεί ο μέσος όρος κάθε τμήματος πριν υπολογιστεί το ποσοστό μηδενικής διέλευσης. Μια προτεινόμενη εναλλακτική λύση στο ποσοστό μηδενικής διέλευσης είναι ο υπολογισμός της αυτοσυσχέτισης στο lag-1, καθώς μπορεί να αποδώσει εκτιμήσεις αναλύοντας μικρότερα τμήματα του σήματος σε μία εγγραφή. Η αυτοσυσχέτιση στο lag-1 ενός διακριτού σήματος $x[n]$ υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο (18) (Oppenheim & Schaffer, 2009, p. 345), όπου $R_x(1)$ αποτελεί την αυτοσυσχέτιση στο lag-1, N το συνολικό μήκος του σήματος, δείγματα, $x[n]$ σε χρόνο n και $x[n-1]$ είναι το σήμα σε χρόνο $n-1$.

$$R_x(1) = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} x[n] \cdot x[n-1] \quad (18)$$

Παράδειγμα

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε το εξής διακριτό σήμα:

$$x[n] = [1, 2, 3, 4, 5]$$

Για να υπολογίσουμε την αυτοσυσχέτιση στο lag-1 κινούμαστε ως εξής:

1. Υπολογίζουμε το γινόμενο κάθε διαδοχικού ζεύγους τιμών του σήματος

- $x[1] \cdot x[0] = 2 \cdot 1 = 2$
- $x[2] \cdot x[1] = 3 \cdot 2 = 6$
- $x[3] \cdot x[2] = 4 \cdot 3 = 12$
- $x[4] \cdot x[3] = 5 \cdot 4 = 20$

2. Υπολογίζουμε το άθροισμα των γινομένων

$$\sum_{n=1}^{N-1} x[n] \cdot x[n-1] = 2 + 6 + 12 + 20 = 40$$

3. Διαιρούμε το άθροισμα των γινομένων με το $N-1$, όπου N είναι το συνολικό μήκος του σήματος σύμφωνα με τον τύπο (18)

$$R_x(1) = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} x[n] \cdot x[n-1] = \frac{40}{5-1} = \frac{40}{4} = 10$$

Επομένως, η αυτοσυσχέτιση lag-1 για το συγκεκριμένο σήμα που αναλύθηκε ισούται με 10. Η τιμή της αυτοσυσχέτισης στο lag-1 παρέχει πληροφορίες για την ομοιότητα του σήματος με μια καθυστερημένη εκδοχή του κατά ένα δείγμα. Μια υψηλή τιμή αυτοσυσχέτισης στο lag-1 υποδηλώνει ότι το σήμα έχει σημαντική ομοιότητα μεταξύ διαδοχικών δειγμάτων, δηλαδή το σήμα είναι αρκετά ομαλό και διατηρεί την ίδια τάση από δείγμα σε δείγμα.

2 Τεχνικές εντοπισμού παραποίησης Ψηφιακών Ηχητικών Αρχείων

2.1 Έννοια της παραποίησης και επισκόπηση των τεχνικών (Overview of counterfeit detection concept and techniques)

Η παραποίηση σαν έννοια, στα πλαίσια της εγκληματολογίας, αναφέρεται στην πράξη της παραβίασης, ή της αλλοίωσης είτε ακόμα και στην παραμόρφωση μέρους του περιεχομένου, ή πολλές φορές και ολόκληρου του ηχητικού αρχείου, της μορφής του κ.ά., με κύριο στόχο την δημιουργία της παραπλάνησης, απόκρυψης και παράθεσης αλλοιωμένων πραγματικών γεγονότων. Ως μη ένδειξη παραποίησης, αλλά και εκείνο που πρέπει να απασχολεί κυρίως για την αρτιότητα του προς εξέταση ήχου, αποτελεί η διαπίστωση στις ηχογραφήσεις, μιας συνεχής εγγραφής, που συνάδει ταυτόχρονα με τα ακουστικά συμβάντα και τα χαρακτηριστικά του αρχείου στο περιεχόμενο και με απόλυτη συνέπεια με τη μέθοδο της εγγραφής που παρουσιάζεται (“Best Practices for Digital Audio Authentication”, 2017).

Επιπλέον, η αποθηκευμένη πληροφορία να είναι απαλλαγμένη από ανεξήγητα τεχνουργήματα ή ασυνέχειες, όπως επίσης και να ανταποκρίνονται τα διάφορα χαρακτηριστικά των ιδιοτήτων που φέρουν τα ηχητικά αρχεία, το μέγεθος, το ψηφιακό δακτυλικό αποτύπωμα, τη μορφή του κ.ά., με το αρχείο που εξετάζεται. Γενικότερα, δεν αποτελεί ένδειξη παραποίησης εάν η ονομασία είναι διαφορετική από αυτή του πηγαίου αρχείου, αλλά το κατά πόσο το περιεχόμενο των αρχείων είναι άθικτο ή προϊόν επεξεργασίας και παραποίησης ως προς το περιεχόμενό του, ή αλλιώς πιο συγκεκριμένα αν αποτελεί αντικείμενο συρραφής. Όταν μιλάμε για συρραφή στον ήχο, αναφερόμαστε στη διαδικασία της συνένωσης ή του συνδυασμού δύο ή περισσότερων αρχείων ήχου ή μέρους από το περιεχόμενο τους σε ένα ενιαίο αρχείο ήχου. Ειδικότερα, αποτέλεσμα συρραφής αποτελεί και η συγχώνευση διαφορετικών πηγών ήχου, διαφορετικών ηχητικών δειγμάτων ή φωνητικών σε μια καταγραφή που δεν αποτελούν μέρος που εξελίχθηκε κατά την διαδικασία που εξελίχθηκε η καταγραφή και παραπέμπουν σε λαθεμένη εντύπωση της αλήθειας κατά την διατύπωση των γεγονότων που έλαβαν χώρα στην διάρκεια της εγγραφής. Για τον έλεγχο λοιπόν της αυθεντικότητας και προσπάθειας εντοπισμού

παραποίησης, έχουν θεσπιστεί διάφορες τεχνικές ελέγχου και τρόποι ανάλυσης των ηχητικών αρχείων. Αυτές χωρίζονται σε τοπικές (local) και στις καθολικές (global) αναλύσεις. Όταν αναφερόμαστε σε «τοπικές» (local) και «καθολικές» (global) τεχνικές στον τομέα της ηχητικής εγκληματολογίας, αναφερόμαστε κυρίως στην έκταση στην οποία οι τεχνικές αυτές βρίσκουν εφαρμογή (“Best Practices for Digital Audio Authentication”, 2017). Αναλυτικότερα προκύπτει:

2.1.1 Τοπικές Τεχνικές (Local Techniques)

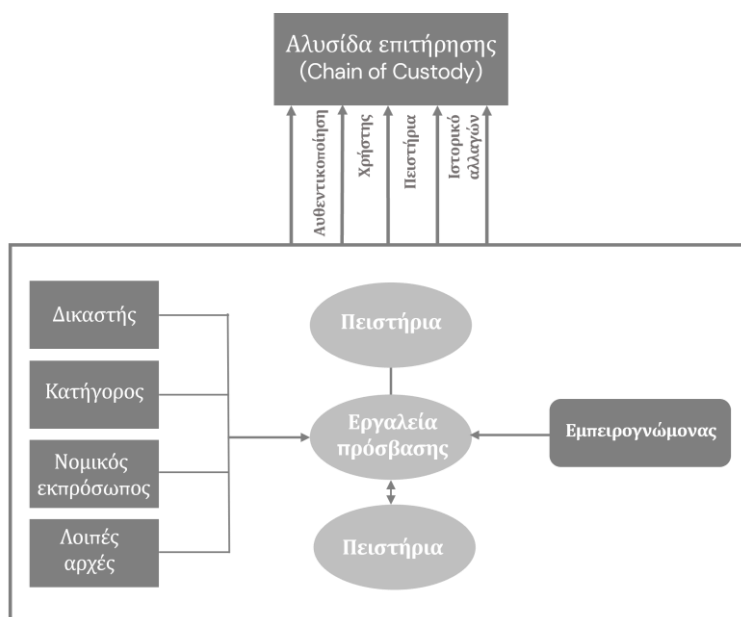
Οι τοπικές τεχνικές εστιάζουν σε συγκεκριμένες περιοχές ή στοιχεία του ηχητικού σήματος σε μία καταγραφή που εξετάζεται. Αυτές οι τεχνικές μπορεί να εφαρμοστούν σε μια μικρή περιοχή ή δείγματα του σήματος και μπορεί να απαιτούν μικρή ποσότητα υλικού για την εκτέλεσή τους. Οι τοπικές τεχνικές είναι συχνά πιο αποτελεσματικές για την ανίχνευση τοπικών αλλοιώσεων, επεξεργασιών ή ενδεχομένων παραποιήσεων και συρραφής στο ηχητικό σήμα (“Best Practices for Digital Audio Authentication”, 2017).

2.1.2 Καθολικές Τεχνικές (Global Techniques)

Οι καθολικές τεχνικές αναλύουν το σύνολο του ηχητικού σήματος στην καταγραφή. Αυτές οι τεχνικές μπορεί να απαιτούν περισσότερους υπολογιστικούς πόρους και μεγαλύτερο χρόνο εκτέλεσης, καθώς προσφέρουν αξιολογήσεις του ηχητικού σήματος συνολικά κατά μήκος της εγγραφής στο αρχείο. Οι καθολικές τεχνικές μπορούν να παρέχουν ολοκληρωμένη εικόνα του ηχητικού σήματος και να ανιχνεύουν παραποιήσεις ή αλλοιώσεις που επηρεάζουν το σύνολο του σήματος, ή να εντοπιστούν πληροφορίες που σχετίζονται με τα ίχνη χρήσης μιας συγκεκριμένης συσκευής (“Best Practices for Digital Audio Authentication”, 2017). Οι πρώτες αναλύσεις όμως που λαμβάνουν μέρος κατά την ανάλυση των ηχητικών αρχείων, είναι αυτές που αφορούν κατά κύριο λόγο τα ακατέργαστα ηχητικά δεδομένα των ηχητικών αρχείων και της περισυλλογής και επαλήθευσης των πληροφοριών που εντοπίζονται σε αυτά, και υπάγονται στις καθολικές τεχνικές (global techniques). Αυτά συμπεριλαμβάνουν την ανασκόπηση δομής που φέρει το εκάστοτε αρχείο, των ιδιοτήτων (properties) του για παράδειγμα, αλλά και των μεταδεδομένων (metadata) κ.ά. Αυτού του είδους ανάλυση εστιάζει στα byte και στις πληροφορίες που σχηματίζονται στο ακατέργαστο περιεχόμενο των δεδομένων του αρχείου και δεν παρέχουν πληροφορία που εντοπίζεται με την μέθοδο της ακρόασης (Zakariah et al., 2018).

2.2 Αλυσίδα Επιτήρησης (Chain of Custody)

Η αλυσίδα επιτήρησης (Chain of Custody) στην δικανική επιστήμη του ήχου (Audio Forensics) αναφέρεται στην τεκμηρίωση του τρόπου που αντιμετωπίστηκε ένα ακουστικό πειστήριο⁴ (ηχογραφημένο υλικό, ηχητικό αρχείο κλπ.). Η εν λόγω διαδικασία τίθεται σε έναρξη από τη στιγμή που ανακαλύφθηκε το υλικό ενδιαφέροντος προς εξέταση, μέχρι τη στιγμή που θα παρουσιαστεί στο δικαστήριο ή σε κάποιον άλλο αρμόδιο φορέα και περιλαμβάνει όλες τις κινήσεις, τις μεταφορές, τις αναλύσεις και τις επεξεργασίες που έχουν γίνει στο ακουστικό υλικό (Brixen, 2007). Η διατήρηση μιας τέτοιας αλυσίδας είναι κρίσιμη για την αξιοπιστία του υλικού προς εξέταση ως αποδεικτικού στοιχείου σε δικαστικές διαδικασίες (βλ. εικόνα 2-1). Αυτό εξασφαλίζει ότι οι πληροφορίες που περιέχονται στο υλικό δεν έχουν εκ νέου αλλοιωθεί, παραβιαστεί ή παραποιηθεί κατά τη διάρκεια της εξέτασης και της επεξεργασίας του. Η αλυσίδα επιτήρησης (Chain of Custody), περιλαμβάνει λεπτομερείς εγγραφές σχετικά με την ταυτότητα των ατόμων που είχαν πρόσβαση στο στοιχείο προς εξέταση, τις χρονικές στιγμές των μεταφορών ή των αλλαγών, καθώς και τυχόν μεταβολές ή επεξεργασίες που έχουν γίνει. Ο στόχος είναι να διασφαλιστεί η ακεραιότητα και η αξιοπιστία του πειστηρίου ως αποδεικτικού στοιχείου (Badiye, Kapoor & Menezes, 2019).



Εικόνα 2-1 Σύνοψη ενεργειών αλυσίδα επιτήρησης (Chain of Custody) στην δικανική επιστήμη του ήχου (Audio Forensics)

⁴ Τα πειστήρια είναι αντικείμενα ή στοιχεία που συλλέγονται και χρησιμοποιούνται ως αποδεικτικά στοιχεία σε μια έρευνα ή δίκη, προκειμένου να τεκμηριώσουν τα γεγονότα μιας υπόθεσης

2.3 Διασφάλιση Πηγαίου Αρχείου (Source File Assurance)

Σημαντικό ζήτημα της δικανικής επιστήμης του ήχου, αποτελεί η πιστοποίηση των ψηφιακών δεδομένων σε αρχεία ήχου, ούτως ώστε μία έρευνα να μπορεί να σταθεί σε ένα π.χ. δικαστήριο κ.ά., ως αξιόπιστη. Αυτού του είδους πιστοποίηση στα ηχητικά δεδομένα επιτυγχάνεται με την χρήση των κρυπτογραφικών συναρτήσεων κατακερματισμού (hash functions). Πρέπει λοιπόν να αποδειχθεί η μη ύπαρξη αλλοίωσης των φερόμενων πειστηρίων που διατίθενται προς έρευνα. Κατά αυτό το τρόπο, για την ακμαία διατήρηση των πηγαίων αρχείων, δημιουργούνται πιστά αντίγραφα των αρχείων στον υπολογιστή.

Η δημιουργία των αντιγράφων δημιουργείται είτε με τον απλό τρόπο, «αντιγραφής και επικόλλησης» του αρχείου, ή για να καταγραφεί στο ιστορικό των ενεργειών που διατελέστηκαν, η χρήση της εντολής “Copy-Item -Path C:\Path\Αρχείο.wav -Destination C:\Path\Αντίγραφο\Αρχείο.wav” (“Copy-Item”, 2024) στην κονσόλα του PowerShell-ISE. Στην συνέχεια, θα πρέπει να δημιουργηθούν τιμές κατακερματισμού (hash value) για τα αρχικά ηχητικά αρχεία προς εξέταση και στη συνέχεια να συγκριθούν με τις τιμές που προκύπτουν για το “forensic” αντίγραφο του αρχείου προς εξέταση. Αν λοιπόν οι τιμές είναι ίδιες, σημαίνει ότι δεν υπάρχει κάποια αλλοίωση στα δεδομένα κατά την δημιουργία πιστού αντιγράφου. Επιπρόσθετα, επιβάλλεται και ο υπολογισμός των τιμών κατακερματισμού (hash value) και μετά την ολοκλήρωση της εξέτασης που θα πραγματοποιηθεί στο “forensic” αντίγραφο, ούτως ώστε να μπορεί να αποδειχθεί ότι η εξέταση που πραγματώθηκε στο ηχητικό αρχείο δεν τροποποίησε εκ νέου τα δεδομένα του. Αλλιώς, σε περίπτωση τροποποίησης λόγω επεξεργασιών από τον εξεταστή, τότε πρέπει να γίνει υπολογισμός και απόδοσης του νέου Hash value που θα αποδώσει μοναδικότητα στο επεξεργασμένο αρχείο, του οποίου οι παρεμβάσεις επεξεργασίας θα είναι κοινοποιημένες στους αρμόδιους φορείς που θα την αξιοποιήσουν.

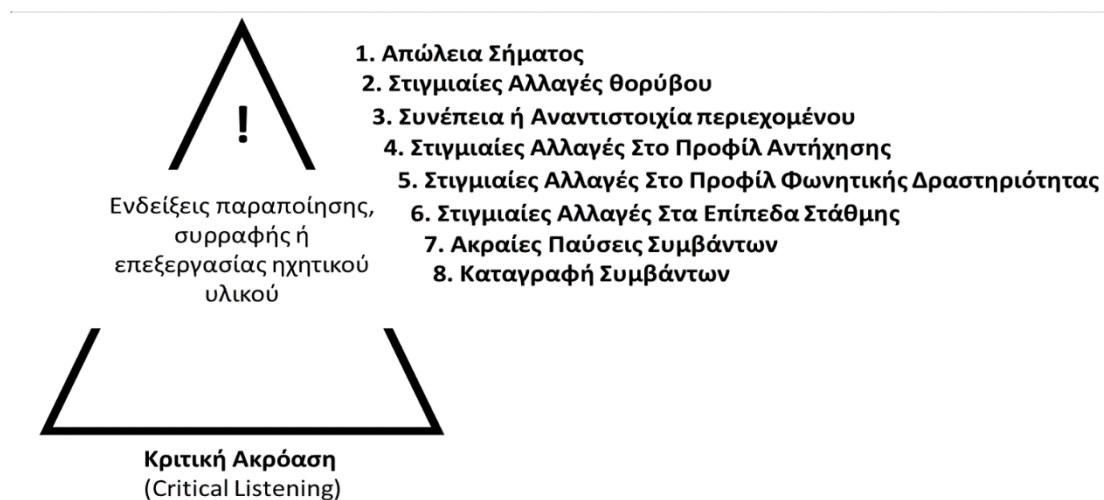
Στην συνέχεια όλες οι ενέργειες αναπαραγωγής και τεχνικών ελέγχου στο περιεχόμενο των αρχείων και στα ακατέργαστα δεδομένα που θα ακολουθήσουν, πραγματοποιούνται στα πιστά αντίγραφα. Αυτό γίνεται για την αποφυγή δημιουργίας τυχόν νέας αλλοίωσης στο πηγαίο αρχείο, κατά την διάρκεια εξέτασης του. Φυσικά, η εξόρυξη πληροφοριών που αφορούν τα μεταδεδομένα (metadata) και τις ιδιότητες (properties) του αρχείου βρίσκει εφαρμογή στο πηγαίο αρχείο για την εξόρυξη των ορθών πληροφοριών που αφορούν, χρονικές σημάνσεις ή ημερομηνίες δημιουργίας και καταχώρησης δεδομένων κ.ά.

2.4 Κριτική ακρόαση (Critical Listening)

Η εν λόγω διαδικασία αποφαίνεται για την καθαρότητα μεταξύ επιπέδων θορύβου και ηχητικών γεγονότων, καθώς και για την ποιότητα ήχου στο αρχείο. Όταν δεν υπάρχει ειδικά διαμορφωμένος χώρος, είναι προτιμότερο η ακρόαση να γίνεται με ακουστικά, πολλές φορές, αλλά και με σταθερή στάθμη, σε πρώτο στάδιο. Επίσης, κατά την ακρόαση επισημαίνονται διάφορα χρονικά σημεία που φέρουν έντονες διακυμάνσεις σε θέμα έντασης ή αποτελούν στιγμιαία γεγονότα που δεν δικαιολογούν την παρουσία ή τη απουσία τους και χρήζουν περαιτέρω εξέτασης.

Κατά την ακρόαση η αξιολόγηση των επιπέδων καθαρότητας του ήχου, τα επίπεδα απότομης αυξομείωσης της έντασης που διατυπώνονται καθώς και τα διάφορα γεγονότα, όπως και ο εντοπισμός τυχόν απότομων αλλαγών στα επίπεδα θορύβου στο παρασκήνιο της καταγραφής, δημιουργούν ενδείξεις επεξεργασίας σε μία ηχογράφιση. Άλλες διάφορες ατέλειες όπως (clicks/pops) ή διάφορα ακουστικά γεγονότα που διαδραματίζονται την στιγμή της εγγραφής, όπως ο ήχος από ραδιόφωνο, τηλεόραση, ομιλίες στο βάθος ή ακόμα και οι απότομες εναλλαγές στα επίπεδα αντήχησης, ψιθύρων κ.ά., μπορούν να επηρεάσουν και να προσφέρουν σοβαρές υπόνοιες για τυχόν παραποίηση ή συρραφή πολλών κομματιών από διάφορες ηχογραφήσεις ή πώς πρόκειται για προϊόν επεξεργασίας (Maher, 2009).

Επιπλέον, μπορούν να ανακτηθούν και διάφορες πληροφορίες που αφορούν το μέσο, ή ακόμα και τις συνθήκες τέλεσης της εγγραφής που έχουν σχέση άμεση με τον περιβάλλοντα χώρο όπου και έλαβε πράξη η ηχογράφιση. Στην παρακάτω εικόνα (2-2) απεικονίζεται σύνοψη παρατηρήσεων της διαδικασίας εφαρμογής κριτικής ακρόασης (critical listening).



Εικόνα 2-2 Σύνοψη ενεργειών παρατήρησης κατά την διαδικασία της κριτικής ακρόασης (critical listening)

Η εν λόγω τεχνική πρέπει να τελείται με αυξημένη προσοχή και παρατηρητικότητα. Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να καταστεί αναγκαία η συνεχόμενη αναπαραγωγή επιλεγμένου τμήματος (loop play) σε χρονικά σημεία που εντοπίζονται αδιευκρίνιστα ακουστικά γεγονότα, συνδυαστικά με τις μεταβολές του κέρδους (gain change) στα ακουστικά/ηχεία. Συνοψίζοντας, αφύσικες αλλαγές των επιπέδων αντήχησης, στους ήχους φόντου, καθώς και απροσδόκητες διαφορές στα επίπεδα έντασης του ήχου, συμπεριλαμβανομένων των «κλικ», των “pops” και των αδικαιολόγητων αλλαγών επιπέδου ήχου στο περιεχόμενο, να αποτελούν σημαντικές ενδείξεις παραποίησης (Koenig, 2015). Η εν λόγω τεχνική βρίσκει εφαρμογή συνδυαστικά με όλες τις τεχνικές ανάλυσης, τοπικές (local) και καθολικές (global) και αποτελεί από ανέκαθεν μέχρι και σήμερα τον πυλώνα εντοπισμού παραποίησης σε ηχητικά αρχεία, καθώς λειτουργεί συνδυαστικά με όλες τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται (βλ. σχετική εικόνα 2-3).



Εικόνα 2-3 Απεικόνιση σύνοψης τεχνικών εντοπισμού παραποίησης και σύνδεση με την τεχνική κριτικής ακρόασης (critical listening)

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η ακριβής παρατήρηση συνομιλιών και διαφόρων φωνητικών δραστηριοτήτων, εάν υπάρχουν στο αρχείο της εγγραφής προς εξέταση. Στην περίπτωση αυτή, είναι σημαντικό να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση σε αλλοιώσεις της χροιάς (timbre) και απότομες αποκοπές ή παύσεις ή ακόμα και έλλειψη μοτίβου ανάσας/αναπνοής, που καθ’ όλη την διάρκεια της εγγραφής επαναλαμβάνεται και ξαφνικά χάνεται αδικαιολόγητα (“Best Practices for Digital Audio Authentication”, 2017).

2.5 Καθολικές Τεχνικές (Global Techniques)

2.5.1 Ανάλυση Ηχητικών Αρχείων Βασισμένη Στον Κατακερματισμό (Analysis of Audio Files Based on Fragmentation)

Γνωρίζοντας ότι η κατακερματισμένη τιμή (hash value) αποτελεί και γενικότερα μία σταθερή αριθμητική τιμή, που παρέχεται στα υπό εξέταση αρχεία που υποβάλλονται προς εξέταση. Από την φυσική τους ιδιότητα οι εν λόγω τιμές δεν μπορούν να εμφανίζουν την ίδια τιμή κατακερματισμού (hash value) για διαφορετικά ηχητικά αρχεία. Η οποιαδήποτε αλλαγή στην τιμή κατακερματισμού (hash value) σε σχέση με την αρχική τιμή που εντοπίστηκε στο ίδιο ηχητικό αρχείο, υποδηλώνει, ότι το εν λόγω αρχείο έχει τροποποιηθεί (Grigoras, Rappaport & Smith, 2012). Δημιουργείται λοιπόν το σενάριο “script” εξαγωγής τιμών κατακερματισμού (hash values), ακολουθώντας το μοτίβο εντολών του παρακάτω κώδικα (2-1) στο PowerShell-ISE των Windows, για την εξαγωγή των τιμών κατακερματισμού (hash values), στο πρωτότυπο αρχείο ήχου που διατίθεται προς εξέταση. Η λογική που ακολουθείται έχει ως εξής: «Εντολή / Όνομα φακέλου που βρίσκεται το αρχείο / όνομα αρχείου / Hash που επιθυμώ», για να εξαχθεί η ανάλογη πληροφορία, όπως αποτυπώνεται και στον παρακάτω κώδικα (2-1) (“Get-Filehash”, 2024).

```
Get-Filehash C:\Users\user\Desktop\γεγονότα\c.wav -Algorithm SHA1
Get-Filehash C:\Users\user\Desktop\γεγονότα\c.wav -Algorithm MD5
Get-Filehash C:\Users\user\Desktop\γεγονότα\c.wav -Algorithm SHA256
Get-Filehash C:\Users\user\Desktop\γεγονότα\c.wav -Algorithm SHA512
```

Κώδικας 2-1 Κώδικας εξαγωγής τιμών κατακερματισμού “Hash values” του ηχητικού αρχείου υ.
(Πηγή: Ιστότοπος [Get-Filehash](#))

Όσον αφορά όμως τον αλγόριθμο ασφαλείας CRC32⁵, τα πράγματα είναι κάπως πιο περίπλοκα. Στην εικόνα (2-4) ακολουθεί η εφαρμογή του ανωτέρου κώδικα (2-1) και η εμφάνιση τιμών αλγορίθμων (hash values) CRC32, MD5, SHA1, SHA256 και SHA512.

Algorithm	Hash
SHA1	635DD684225DB47D99B1C46EA3A939B8CCDA2E6A
MD5	9B4F8993057AA977F93777A54FA512C0
SHA256	832B4241645F919503E603543FB63304D440BB8C6B68937984AF80BC5E6BD439
SHA512	CB748B9FB95708A16DDC35321EA2AA34FEA7BC5946DE39AFA3D00B18665DA53D972 . . .
CRC32 :	5F88DDA1

Εικόνα 2-4 Απεικόνιση εξαγωγής τιμών κατακερματισμού “Hash values” ηχητικού αρχείου στην κονσόλα του “PowerShell-ISE”

Η υλοποίηση ελέγχου και ανάλυσης μέσω των τιμών κατακερματισμού (hash values), εφαρμόζεται για την εξαγωγή τιμών και από το πηγαίο αρχείο αλλά και όταν δημιουργείται

⁵ Βλέπε παράρτημα Θ για την κατανόηση υπολογισμού του CRC32

πιστό αντίγραφο και από το αντίγραφο του. Επίσης, πραγματοποιείται και όταν πρέπει να πραγματοποιηθεί σύγκριση δύο αρχείων ως προς την ομοιότητά τους κατά το σύνολο των δεδομένων τους, ή για τον εντοπισμό τυχόν διαφορών μεταξύ τους. Με την εφαρμογή των παρακάτω εντολών κώδικα (2-2) εξαγωγής τιμών κατακερματισμού (hash values) στο PowerShell-ISE, μπορεί να σχηματιστεί μία πρώτη εκτίμηση στο κατά πόσο είναι όμοια μεταξύ τους ή κατά πόσο διαφέρουν στο σύνολο των δεδομένων τους κατά τη σύγκριση ανάμεσα στο πηγαίο αρχείο και στο δημιουργούμενο αντίγραφο στον υπολογιστή. Το αντίγραφο θα χρησιμοποιηθεί αργότερα για περαιτέρω εξέταση, όπως προαναφέρθηκε. Η ίδια μέθοδος υλοποιείται κατά την διαδικασία σύγκρισης μεταξύ δύο αρχείων για διαπίστωση και εντοπισμό τυχόν τροποποιήσεων.

```
$pathToFile1 = "C:\Users\user\Desktop\always\Αρχεία Κωδικοποίησης\1.wav"
$pathToFile2 = "C:\Users\user\Desktop\always\Αρχεία Κωδικοποίησης\2.wav"
function Get-FileHash($filePath, $algorithm) {
    $hasher =
    [System.Security.Cryptography.HashAlgorithm]::Create($algorithm)
    $fileStream = [System.IO.File]::OpenRead($filePath)
    $hash =
    [BitConverter]::ToString($hasher.ComputeHash($fileStream)).Replace("-",
    "").ToLower()
    $fileStream.Close()
    return $hash}
$md5_1 = Get-FileHash -filePath $pathToFile1 -algorithm MD5
$md5_2 = Get-FileHash -filePath $pathToFile2 -algorithm MD5
$sha1_1 = Get-FileHash -filePath $pathToFile1 -algorithm SHA1
$sha1_2 = Get-FileHash -filePath $pathToFile2 -algorithm SHA1
$sha256_1 = Get-FileHash -filePath $pathToFile1 -algorithm SHA256
$sha256_2 = Get-FileHash -filePath $pathToFile2 -algorithm SHA256
$sha512_1 = Get-FileHash -filePath $pathToFile1 -algorithm SHA512
$sha512_2 = Get-FileHash -filePath $pathToFile2 -algorithm SHA512
Write-Host "Τιμές Hash για Αρχείο 1:"
Write-Host "MD5: $md5_1"
Write-Host "SHA-1: $sha1_1"
Write-Host "SHA-256:$sha256_1"
Write-Host "SHA-512:$sha512_1"
Write-Host ""
Write-Host "Τιμές Hash για Αρχείο 2:"
Write-Host "MD5: $md5_2"
Write-Host "SHA-1: $sha1_2"
Write-Host "SHA-256:$sha256_2"
Write-Host "SHA-512:$sha512_2"
if ($md5_1 -eq $md5_2 -and
    $sha1_1 -eq $sha1_2 -and
    $sha256_1 -eq $sha256_2 -and
    $sha512_1 -eq $sha512_2) {
    Write-Host ""
    Write-Host "Οι τιμές Hash των δύο αρχείων είναι ίδιες."} else {
    Write-Host ""
    Write-Host "Οι τιμές Hash των δύο αρχείων είναι διαφορετικές."}
```

Κώδικας 2-2 Υπολογισμού και σύγκρισης των τιμών κατακερματισμού (hash values) σε αρχεία ήχου.
(Πηγή: Ιστότοπος [Get-Filehash](#))

Η λογική εφαρμογής του ανωτέρου κώδικα (2-2) που παρουσιάζεται για τον υπολογισμό και τη σύγκριση των τιμών κατακερματισμού (hash values) στα ηχητικά αρχεία, έχει κατά σειρά ως εξής: ορισμός διαδρομών ηχητικών αρχείων, ορισμός συναρτήσεων υπολογισμού τιμών hash, εντολή υπολογισμού τιμών κατακερματισμού (hash values), εντολές εμφάνισης των υπολογιζόμενων αποτελεσμάτων και τέλος σύγκριση των τιμών κατακερματισμού που προκύπτουν μεταξύ πρωτοτύπου και αντιγράφου. Με άμεσο έλεγχο και σύγκριση των τιμών κατακερματισμού (hash values) αρχείων ήχου, προκύπτουν τα αναγραφόμενα στην κάτωθι εικόνα (2-5) απεικόνισης αποτελεσμάτων της κονσόλας του PowerShell-ISE.

```
Τιμές Hash για Αρχείο 1:  
MD5: 4d714d3a7f995402428867be13a651f6  
SHA-1: 9aff19196d695d0ac8200c163b4da6b18b217ddc  
SHA-256: 16b53eaf588a0bfd00a60c3a27b3e6ff4c8aa458fbfb3c15ba05e56b07046584  
SHA-512: 9cc8a43093902829ce3597864f297ecf2cb3b224ee8478546fc173fab3ed6befcaa905846af202338  
0e8a99c285069a4cc970203e0ed1f039e4b03386e017a17  
  
Τιμές Hash για Αρχείο 2:  
MD5: 4d714d3a7f995402428867be13a651f6  
SHA-1: 9aff19196d695d0ac8200c163b4da6b18b217ddc  
SHA-256: 16b53eaf588a0bfd00a60c3a27b3e6ff4c8aa458fbfb3c15ba05e56b07046584  
SHA-512: 9cc8a43093902829ce3597864f297ecf2cb3b224ee8478546fc173fab3ed6befcaa905846af202338  
0e8a99c285069a4cc970203e0ed1f039e4b03386e017a17  
  
Οι τιμές Hash των δύο αρχείων είναι ίδιες.
```

Εικόνα 2-5 Απεικόνιση αποτελεσμάτων υπολογισμού και σύγκρισης τιμών κατακερματισμού (hash values) στην κονσόλα εμφάνισης αποτελεσμάτων του PowerShell-ISE

Από τα αποτελέσματα διαπιστώνεται πώς το περιεχόμενο των ηχητικών αρχείων παραμένει άθικτο κατά την διαδικασία της δημιουργίας πιστού αντιγράφου. Η ίδια διαδικασία θα επαναληφθεί και μετά την περάτωση της έρευνας στο πηγαίο αρχείο. Η παραμικρή παρενέργεια ή επεξεργασία που θα άλλαζε το περιεχόμενο ή χαρακτηριστικά των ιδιοτήτων του αρχείου, θα άλλαζε με τη σειρά του και τις τιμές hash σε οποιοδήποτε αρχείο (Grigoras, 2012).

Ακόμα και η αλλαγή του ονόματος θα επέφερε αλλαγή στις εμφανιζόμενες τιμές κατακερματισμού (Hash values). Κατά αυτόν τον τρόπο διαπιστώνεται εάν το ηχητικό αρχείο φέρει αλλαγές. Για να διαπιστωθεί όμως, εάν όντως έχει υποστεί μόνο αλλαγή για παράδειγμα του ονόματος ή εάν πρόκειται για τυχόν επεξεργασία στο περιεχόμενο του πρέπει να εφαρμοστούν και διάφορες άλλες τεχνικές παρατηρήσεων που θα διασφαλίσουν την ακεραιότητα του αρχείου. Μία πληροφορία που δεν σχετίζεται με το περιεχόμενο του υλικού προς εξέταση αλλά είναι εξίσου σημαντική, αποτελεί ο έλεγχος της ημερομηνίας δημιουργίας. Μέχρι να διαπιστωθεί όντως ότι πρόκειται για την αληθινή ημερομηνία δημιουργίας, αλλά ακόμα και εάν δεν επικυρωθεί η ημερομηνία που εντοπίζεται ως δημιουργία του αρχείου θα αναφέρεται ως ημερομηνία καταχώρησης ηχητικών δεδομένων.

2.5.2 Τεχνική Εντοπισμού Ημερομηνίας Δημιουργίας (Mac Time stamps)

Η Mac time stamps αποτελεί μια τεχνική που περιλαμβάνει τον εντοπισμό της ημερομηνίας, τροποποίησης και ώρας δημιουργίας του αρχείου προς διερεύνηση. Γενικότερα, χρησιμοποιείται συχνά στην πληροφορική και την ανάκτηση δεδομένων για την αναγνώριση του χρόνου που δημιουργήθηκε ή τροποποιήθηκε ένα αρχείο. Αυτή η τεχνική βασίζεται στην χρήση του χρόνου που περνά από την 1η Ιανουαρίου 1904 σε μορφή 32-bit ή 64-bit integer. Το ονομάζουμε Mac time stamp επειδή αρχικά χρησιμοποιήθηκε από το λειτουργικό σύστημα Macintosh της Apple (Resner & Fröhlich, 2016).

Το συγκεκριμένο σύστημα αντιπροσωπεύει τον χρόνο ως έναν αριθμό που αντιστοιχεί στα δευτερόλεπτα που έχουν περάσει από τη συγκεκριμένη ημερομηνία που προαναφέρθηκε (1η Ιανουαρίου 1904). Για παράδειγμα, εάν ένα αρχείο έχει μια Mac time stamp τιμή 365971200, αυτό σημαίνει ότι το αρχείο αυτό δημιουργήθηκε στις 6 Αυγούστου 1915 στις 6:40:00 μ.μ. Η εν λόγω ημερομηνία αναφέρεται στην GMT ημερομηνία και ώρα, δηλαδή απευθύνεται στην Greenwich Mean Time, που αποτελεί το χρησιμοποιούμενο χρονικό σύστημα της περιοχής “Greenwich” στο Λονδίνο, του Ηνωμένου Βασιλείου (Zakariah et al., 2018).

Αποτελεί εν ολίγοις, τη μέση ζώνη ώρας του κόσμου και χρησιμοποιείται ως αναφορά για τις άλλες ζώνες ώρας σε όλο τον κόσμο. Βέβαια, σε ορισμένες περιπτώσεις, η ζώνη ώρας μπορεί να είναι διαφορετική, αλλά η αρχική τιμή είναι αναφορική σε μία συγκεκριμένη ζώνη της παγκόσμιας ώρας. Ο παρακάτω κώδικας (2-3) επιστρέφει τη Mac time stamp που προκύπτει από το αρχείο ήχου και την εμφανίζει στην κονσόλα του PowerShell-ISE.

```
$file = "C:\Users\user\Desktop\γεγονότα\laudio.wav"
function Get-MacTimeStamp {
    param($file)
    $fileInfo = Get-ChildItem $file
    $macTime = $fileInfo.CreationTime.ToUniversalTime() - (Get-Date
"1904-01-01").ToUniversalTime()
    return $macTime.TotalSeconds
}
$macTimeStamp = Get-MacTimeStamp -file $file
Write-Output "Mac time stamp του αρχείου ήχου $($fileInfo.Name):
$macTimeStamp"
```

Κώδικας 2-3 Απεικόνιση εντολών εμφάνισης της Mac time stamp αρχείου ήχου. (Πηγή: Ιστότοπος [Custom date and time format strings](#))

Ένα ενδεικτικό παράδειγμα εφαρμογής του παραπάνω κώδικα (2-3) εμφανίζεται στην εικόνα (2-6).


```
PS C:\Users\user> $file = "C:\Users\user\Desktop\γεγονότα\audio.wav"
function Get-MacTimeStamp {
    param($file)
    $fileInfo = Get-ChildItem $file
    $macTime = $fileInfo.CreationTime.ToUniversalTime() - (Get-Date "1904-01-01").ToUniversalTime()
    return $macTime.TotalSeconds
}
$macTimeStamp = Get-MacTimeStamp -file $file
Write-Output "Mac time stamp του αρχείου ήχου $($fileInfo.Name): $macTimeStamp"

Mac time stamp του αρχείου ήχου : 3792181615.91898
```

Εικόνα 2-6 Απεικόνιση εφαρμογής κώδικα για εύρεση της Mac time stamp

Στη συνέχεια εισάγουμε τα δεδομένα που εμφανίζονται στην παραπάνω εικόνα (2-6) σε δευτερόλεπτα (seconds), στην παρακάτω φόρμουλα κώδικα (2-4) μετατροπής σε πραγματική ώρα δημιουργίας του αρχείου.

```
function Convert-MacTimeStampToDateTime {
    param(
        [double] $macTimeStamp
    )
    $startDate = Get-Date "1904-01-01" -UFormat "%s"
    $dateTime = (Get-Date "1904-01-01").AddSeconds($macTimeStamp)
    $localDateTime = $dateTime.ToLocalTime()
    return $localDateTime
}
$macTimeStamp = 3792181615.91898
$dateTime = Convert-MacTimeStampToDateTime -macTimeStamp $macTimeStamp
$gmtDateTime = $dateTime.ToUniversalTime()
$localDateTime = $dateTime.ToLocalTime()
Write-Output "GMT: $($gmtDateTime.ToString('dd/MM/yyyy hh:mm:ss'))"
Write-Output "Ημερομηνία ελέγχου: "
$($localDateTime.ToString('dd/MM/yyyy')) "
```

Κώδικας 2-4 Απεικόνιση εντολών εμφάνισης της Mac time stamp αρχείου ήχου σε ημερομηνία και ώρα. (Πηγή: Ιστότοπος [Chapter 9 - Functions](#))

Ο παραπάνω κώδικας (2-4) λαμβάνοντας υπόψη την αρχική ημερομηνία σε δευτερόλεπτα από τον Ιανουάριο του 1904, προβαίνει σε μετατροπή του Mac Time Stamp που εισάγουμε σε ημερομηνία και ώρα. Η είσοδος του Mac Time Stamp γίνεται στην εντολή “\$macTimeStamp =” και τέλος εμφανίζεται η ημερομηνία και η ώρα σε GMT και στην τοπική ζώνη ώρας.

```
PS C:\Users\user> function Convert-MacTimeStampToDateTime {
    param(
        [double] $macTimeStamp
    )
    $startDate = Get-Date "1904-01-01" -UFormat "%s"
    $dateTime = (Get-Date "1904-01-01").AddSeconds($macTimeStamp)
    $localDateTime = $dateTime.ToLocalTime()
    return $localDateTime
}
$macTimeStamp = 3792181615.91898
$dateTime = Convert-MacTimeStampToDateTime -macTimeStamp $macTimeStamp
$gmtDateTime = $dateTime.ToUniversalTime()
$localDateTime = $dateTime.ToLocalTime()
Write-Output "GMT: $($gmtDateTime.ToString('dd/MM/yyyy hh:mm:ss'))"
Write-Output "Ημερομηνία ελέγχου: $($localDateTime.ToString('dd/MM/yyyy'))"

GMT: 01/03/2024 11:46:55
Ημερομηνία ελέγχου: 02/03/2024
```

Εικόνα 2-7 Απεικόνιση εφαρμογής εντολών κώδικα (2-4) για μετατροπή της Mac time stamp αρχείου ήχου σε ημερομηνία και ώρα

Επιπρόσθετα, πρέπει να επισημανθεί πώς πλέον οι MAC timestamps είναι κοινές σε όλα τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης αρχείων ανεξαρτήτως πλατφόρμας (Windows, Linux, macOS) και συνήθως εμφανίζουν τρεις βασικές ημερομηνίες, στις λεπτομέρειες των ιδιοτήτων του αρχείου που εξετάζεται (Fortuna, 2017).

- **Modified (M):** Η ημερομηνία και ώρα που το περιεχόμενο του αρχείου τροποποιήθηκε για τελευταία φορά.
- **Accessed (A):** Η ημερομηνία και ώρα που το αρχείο προσπελάστηκε για τελευταία φορά.
- **Created (C):** Η ημερομηνία και ώρα που οι ιδιότητες του αρχείου (metadata) τροποποιήθηκαν και αφορούν την δημιουργία του αρχείου.

Αυτές οι χρονικές σφραγίδες είναι κρίσιμες για τη διαχείριση των αρχείων και την παρακολούθηση των αλλαγών τους και αποθηκεύονται συνήθως σε μορφή UNIX timestamp (OSTechNix, n.d.), που είναι ο αριθμός των δευτερολέπτων που έχουν περάσει από την 1η Ιανουαρίου 1970 (γνωστή ως Epoch Time). Οι χρονικές σφραγίδες αυτές, είναι κρίσιμες για την παρακολούθηση και διαχείριση των αρχείων, καθώς παρέχουν το ανάλογο ιστορικό για το πότε και πώς έχουν αλλάξει ή προσπελαστεί τα εξεταζόμενα ηχητικά αρχεία (The Geek Diary, n.d.). Ο παρακάτω κώδικας (2-5) εξάγει άμεσα στο λειτουργικό σύστημα της πλατφόρμας Powershell – ISE τις κρίσιμες πληροφορίες M.A.C που προαναφέρθηκαν.

```
$audioFilePath = "C:\Users\user\Desktop\always - Αντιγραφή\izotope.wav"
$fileInfo = Get-Item $audioFilePath
$created_timestamp = $fileInfo.CreationTimeUtc
$modified_timestamp = $fileInfo.LastWriteTimeUtc
$accessed_timestamp = $fileInfo.LastAccessTimeUtc
$created_date_utc = $created_timestamp.ToString("yyyy-MM-dd HH:mm:ss")
$modified_date_utc = $modified_timestamp.ToString("yyyy-MM-dd HH:mm:ss")
$accessed_date_utc = $accessed_timestamp.ToString("yyyy-MM-dd HH:mm:ss")
$created_date_local = $fileInfo.CreationTime.ToString("yyyy-MM-dd
HH:mm:ss")
$modified_date_local = $fileInfo.LastWriteTime.ToString("yyyy-MM-dd
HH:mm:ss")
$accessed_date_local = $fileInfo.LastAccessTime.ToString("yyyy-MM-dd
HH:mm:ss")
Write-Host "Ημερομηνία Δημιουργίας (UTC): $created_date_utc"
Write-Host "Ημερομηνία Τροποποίησης (UTC): $modified_date_utc"
Write-Host "Ημερομηνία Πρόσβασης (UTC): $accessed_date_utc"
Write-Host "Ημερομηνία Δημιουργίας (Τοπική): $created_date_local"
Write-Host "Ημερομηνία Τροποποίησης (Τοπική): $modified_date_local"
Write-Host "Ημερομηνία Πρόσβασης (Τοπική): $accessed_date_local"
```

Κώδικας 2-5 Απεικόνιση εντολών εξαγωγής και απεικόνισης χρονικών σφραγίδων (Modified, Accessed, Created) αρχείου ήχου σε UTC και τοπική ώρα στο PowerShell-ISE. (Πηγή: Ιστότοπος [Chapter 9 - Functions](#))

Ο παραπάνω κώδικας (2-5) χρησιμοποιείται για την ανάκτηση και εμφάνιση των χρονικών σφραγίδων ηχητικών αρχείων. Με την βοήθεια της εντολής "Get-Item" λαμβάνονται οι χρονικές πληροφορίες του αρχείου που τίθεται προς εξέταση. Ακολούθως, αποθηκεύονται οι χρονικές σφραγίδες δημιουργίας, τροποποίησης και πρόσβασης τόσο σε UTC όσο και σε τοπική ώρα στις αντίστοιχες μεταβλητές. Τέλος, εμφανίζονται όλες οι σχετικές πληροφορίες σε μορφοποίηση (έτος-μήνας-ημέρα/ώρα: λεπτά: δευτερόλεπτα) "yyyy-MM-dd/HH:mm:ss" και κατόπιν εμφανίζονται στην κονσόλα, παρέχοντας έτσι μια σύνοψη των χρονικών δεδομένων του αρχείου σε δύο διαφορετικές ζώνες ώρας, επιτρέποντας τη σύγκριση μεταξύ της παγκόσμιας και της τοπικής χρονικής στιγμής που σχετίζεται με το αρχείο προς εξέταση.

Στον παρακάτω πίνακα (2-1) εμφανίζονται τα σχετικά αποτελέσματα, ανάκτησης χρονικών σφραγίδων ηχητικού αρχείου, με εφαρμογή του παραπάνω κώδικα (2-5).

	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>C</i>
	<i>Modification Date</i>	<i>Access Date</i>	<i>Creation Date</i>
UTC	Ημερομηνία Τροποποίησης 2023-07-04 09:20:01	Ημερομηνία Πρόσβασης 2024-08-07 18:43:06	Ημερομηνία Δημιουργίας 2023-09-20 06:14:30
	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>C</i>
	<i>Modification Date</i>	<i>Access Date</i>	<i>Creation Date</i>
Local	Ημερομηνία Τροποποίησης 2023-07-04 12:20:01	Ημερομηνία Πρόσβασης 2024-08-07 21:43:06	Ημερομηνία Δημιουργίας 2023-09-20 09:14:30

Πίνακας 2-1 Απεικόνιση αποτελεσμάτων κώδικα (2-5) για την ανάκτηση χρονικών σφραγίδων M.A.C, ηχητικού αρχείου

Η εμφάνιση όλων των χρονικών σφραγίδων του πίνακα (2-1) συνοδεύονται από την ένδειξη "UTC" ή "Local". Ειδικότερα, η υποδεικνυόμενη UTC (Coordinated Universal Time) αποτελεί την βασική ζώνη ώρας από την οποία υπολογίζονται όλες οι άλλες ζώνες ώρας παγκοσμίως, χωρίς να προσμετράτε η θερινή ώρα. Η ένδειξη Τοπική (Local Time) χρησιμοποιείται, στον τόπο διαμονής ή λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένων των προσαρμογών για θερινή ώρα και μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τη γεωγραφική θέση και τις εποχιακές αλλαγές ώρας (World Time Server, n.d.; timeanddate.com, n.d.).

Ειδικότερα, τα MAC timestamps (Modification, Access, Creation) αποτελούν πολύ σημαντικά μεταδεδομένα για τα ηχητικά αρχεία που καταγράφουν τις διάφορες ενέργειες που έχουν γίνει πάνω σε αυτά. Στην ανάλυση ήχου (audio forensics), τα προαναφερόμενα timestamps μπορούν να προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες για το ιστορικό ενός ηχητικού αρχείου και να βοηθήσουν στην αποκάλυψη πιθανών παραποιήσεων ή διαφόρων εσκεμμένων χειρισμών.

Εν ολίγοις, μπορεί να διενεργηθεί έλεγχος χρησιμοποιώντας τα MAC timestamps ως προς την αυθεντικότητα ενός ηχητικού αρχείου ελέγχοντας τα παρακάτω βήματα:

1. **Συνοχή μεταξύ των timestamps:** Αν υπάρχει μεγάλη απόκλιση μεταξύ των διαφόρων timestamps, αυτό μπορεί να υποδηλώνει ότι το αρχείο έχει υποστεί επεξεργασία ή έχει μεταφερθεί σε άλλο σύστημα.
2. **Σύγκριση με άλλα μεταδεδομένα:** Τα timestamps μπορούν να συγκριθούν με άλλα μεταδεδομένα του πηγαίου αρχείου, αν υπάρχει, για να επιβεβαιωθεί η ακολουθία των γεγονότων.

Γενικότερα, πρέπει να ελέγχονται όλες οι χρονικές πληροφορίες, αν συμβαδίζουν με τα γεγονότα που διαδραματίστηκαν την συγκεκριμένη χρονική περίοδο, κατά αντιστοιχία του περιεχομένου της εγγραφής, με την βοήθεια της τεχνικής κριτικής ακρόασης (critical listening). Επιπλέον, το ιστορικό του αρχείου που καταγράφεται διαμέσου των M.A.C, όπως είναι οι μετακινήσεις και αντιγραφές, καθώς επιφέρουν αλλαγές στα timestamps που μπορούν να αποκαλύψουν πότε ένα αρχείο μετακινήθηκε ή αντιγράφηκε σε άλλο φάκελο ή συσκευή κ.ά.

Πρόσθετα, μπορούν να αποδείξουν τη σύνδεση με άλλα αρχεία. Δηλαδή, τα timestamps μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συνδέσουν ένα αρχείο ήχου με άλλα αρχεία που δημιουργήθηκαν την ίδια περίοδο, ελέγχοντας με εφαρμογή αντίστροφης χρονολόγησης.

Για παράδειγμα αν ένα timestamp είναι προγενέστερο από άλλα σχετικά γεγονότα, αυτό μπορεί να υποδηλώνει ότι το αρχείο έχει παραποιηθεί με στόχο την απόκρυψη της πραγματικής ημερομηνίας δημιουργίας. Τότε η ημερομηνία δημιουργίας (creation) προσμετράτε ως ημερομηνία «αλλαγής (change)» των δεδομένων. Πρέπει επομένως ο εξεταστής, να γνωρίζει πώς τα MAC timestamps μπορούν να αλλοιωθούν, είτε σκόπιμα είτε από αμέλεια λαθεμένων χειρισμών του αρχείου κατά την εξαγωγή του κ.ά.

2.5.3 Έλεγχος Μεταδεδομένων & Ιδιοτήτων Αρχείου (Metadata & File Properties Analysis)

Έπειτα αφού εντοπιστεί και η “Mac Time Stamp” πραγματοποιείται διασταύρωση με την ημερομηνία εμφάνισης του αρχείου κατά τον έλεγχο των μεταδεδομένων και των ιδιοτήτων που φέρει το αρχείο προς εξέταση. Στη συνέχεια υλοποιείτε διασταύρωση πληροφοριών και κατά την δεκαεξαδική επιθεώρηση των αριθμητικών δεδομένων που απαρτίζουν τη δομή, που είναι ανάλογη της μορφής που φέρει το εκάστοτε ηχητικό αρχείο.

Για να πραγματοποιηθεί λοιπόν η εξαγωγή όλων των απαραίτητων πληροφοριών των ιδιοτήτων (properties) και μεταδεδομένων (metadata) του αρχείου, αρχικά δημιουργείται το σενάριο “script” εξαγωγής των πληροφοριών που αφορούν τις ιδιότητες και μεταδεδομένα στο PowerShell-ISE. Κατόπιν με την βοήθεια του ffmpeg εξάγονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες. Παρακάτω έχουμε απεικόνιση από διάφορες χρήσιμες εντολές στον κώδικα (2-6), εξαγωγής ιδιοτήτων (properties) και μεταδεδομένων (metadata) του ηχητικού αρχείου, μέσω της κονσόλας PowerShell-ISE.

```
Get-Date
Get-ItemProperty 'C:\Users\user\Desktop\Matlab.codes\Vocals_01.wav' |
Select-Object *
$audioFilePath = "C:\Users\user\Desktop\Matlab.codes\Vocals_01.wav"
$ffmpegOutput = ffmpeg -i $audioFilePath 2>&1
$streamInfo = $ffmpegOutput | Select-String "Stream #0:0"
Write-Host $streamInfo
$audioFilePath = "C:\Users\user\Desktop\Matlab.codes\Vocals_01.wav"
$ffmpegOutput = ffmpeg -i $audioFilePath 2>&1
$durationLine = $ffmpegOutput | Select-String "Duration"
$duration = $durationLine -replace ".*Duration: (.*?), .*", '$1'
Write-Host "Duration: $duration"
```

Κώδικας 2-6 Εντολές εντοπισμού και εξόρυξης πληροφορίας ιδιοτήτων (properties) και μεταδεδομένων (metadata) στο PowerShell-ISE. (Πηγή: Ιστότοπος [Get-ItemProperty](#))

Η λογική του παραπάνω κώδικα (2-6) εντοπισμού και εξόρυξης πληροφορίας που αφορά την εμφάνιση των ιδιοτήτων και των μεταδεδομένων στο ηχητικό αρχείο ακολουθεί την εξής λογική κατά σειρά: εντολή εμφάνισης της ημερομηνίας εκτέλεσης του σεναρίου και εμφάνισης ονόματος του αρχείου (name). Έπειτα, εμφάνιση ονόματος του καταλόγου όπου βρίσκεται το αρχείο (directory name), ο χρόνος, δημιουργίας (creation time) και τελευταίας τροποποίησης (last write time), καθώς και το μέγεθος (length) του αρχείου σε bytes. Επιπλέον, ακολουθεί η εντολή εμφάνισης αριθμού καναλιών, συχνότητας δειγματοληψίας και ρυθμού μετάδοσης bitrate του αρχείου, όπως και το είδος κωδικοποίησης και ευκρίνειας κβαντισμού.

Η εφαρμογή του παραπάνω κώδικα (2-6), εφαρμόζεται στο πηγαίο αρχείο, ούτως ώστε να έχουμε ακριβή και λεπτομερή αναπαράσταση των πληροφοριών που αφορούν ημερομηνίες καταχώρησης δεδομένων κ.ά. Οι πληροφορίες που παρέχονται δίνουν την συνολική εικόνα κατασκευαστικής δομής, ανάγνωσης κ.ά., που αφορούν το ηχητικό αρχείο. Όλα αυτά μπορούν να εμφανίσουν διάφορες λεπτομέρειες που θα βοηθήσουν στην περισυλλογή πληροφοριών που δεν αφορούν όμως το περιεχόμενο του αρχείου, αλλά σχετίζονται σημαντικά με τον τρόπο και την χρονική επισημάνση δημιουργίας του και των χαρακτηριστικών της κατασκευαστικής του δομής.

Στην παρακάτω εικόνα (2-8) ακολουθεί ενδεικτικό παράδειγμα των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή του παραπάνω κώδικα (2-6).

```

Πέμπτη, 18 Ιανουαρίου 2024 8:24:37 πμ

PSPath           : Microsoft.PowerShell.Core\FileSystem::C:\Users\user\Desktop\Matlab.codes\Vocals_01.wav
PSParentPath     : Microsoft.PowerShell.Core\FileSystem::C:\Users\user\Desktop\Matlab.codes
PSChildName      : Vocals_01.wav
PSDrive          : C
PSProvider       : Microsoft.PowerShell.Core\FileSystem
Mode             : -a----
VersionInfo      : File: C:\Users\user\Desktop\Matlab.codes\Vocals_01.wav
                  InternalName:
                  OriginalFilename:
                  FileVersion:
                  FileDescription:
                  Product:
                  ProductVersion:
                  Debug: False
                  Patched: False
                  PreRelease: False
                  PrivateBuild: False
                  SpecialBuild: False
                  Language:

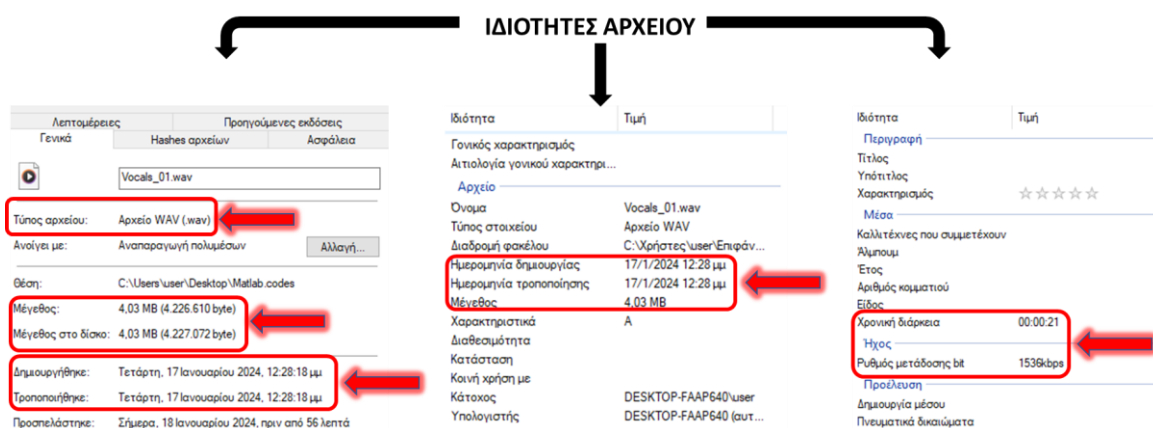
BaseName         : Vocals_01
Target           : {}
LinkType         :
Name             : Vocals_01.wav
Length           : 4226610
DirectoryName    : C:\Users\user\Desktop\Matlab.codes
Directory        : C:\Users\user\Desktop\Matlab.codes
IsReadOnly       : False
Exists           : True
FullName         : C:\Users\user\Desktop\Matlab.codes\Vocals_01.wav
Extension        : .wav
CreationTime     : 17/1/2024 12:28:18 μμ
CreationTimeUtc  : 17/1/2024 10:28:18 πμ
LastAccessTime   : 18/1/2024 8:24:07 πμ
LastAccessTimeUtc : 18/1/2024 6:24:07 πμ
LastWriteTime    : 17/1/2024 12:28:18 μμ
LastWriteTimeUtc : 17/1/2024 10:28:18 πμ
Attributes       : Archive

Stream #0:0: Audio: pcm_s16le ([1][0][0][0] / 0x0001), 96000 Hz, 1 channels, s16, 1536 kb/s
Duration: 00:00:21.98

```

Εικόνα 2-8 Απεικόνιση εκτέλεσης κώδικα εξαγωγής ιδιοτήτων (properties) και μεταδεδομένων (metadata) ηχητικού αρχείου στην κονσόλα του PowerShell-ISE

Επιλέγοντας επίσης την εμφάνιση των ιδιοτήτων από το λειτουργικό σύστημα του υπολογιστή εμφανίζονται για το ηχητικό αρχείο οι παρακάτω πληροφορίες στην εικόνα (2-9).



Εικόνα 2-9 Απεικόνιση εντοπισμού ιδιοτήτων (properties) και μεταδεδομένων (metadata) ηχητικού αρχείου στο λειτουργικό του υπολογιστή

Στον παρακάτω πίνακα (2-2) αναλύονται τα πιο χρήσιμα αποτελέσματα για τις παραπάνω περιπτώσεις.

Ονομασία	Ερμηνεία Πληροφορίας
PSChildName	Ονομασία Αρχείου & Επέκτασης
VersionInfo	Τοποθεσία Αρχείου
BaseName	Όνομα Αρχείου πριν την επέκταση
Length	Μέγεθος
Extension	Προέκταση Αρχείου
CreationTime	Ημερομηνία δημιουργίας του αρχείου
CreationTimeUtc	Διεθνής ημερομηνία δημιουργίας
LastAccessTime	Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης
LastAccessTimeUtc	Διεθνής ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης
LastWriteTime	Ημερομηνία τελευταίας εγγραφής
LastWriteTimeUtc	Διεθνής ημερομηνία τελευταίας εγγραφής
Stream #0:0	Εμφάνιση συχνότητας δειγματοληψίας (Sample Rate), ευκρίνεια κβαντισμού (bit depth), Αριθμός καναλιών (channels), Pcm_s16le (τύπος Κωδικοποίησης με ευκρίνεια κβαντισμού), Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ήχου (bit rate)
Duration	Διάρκεια αρχείου (duration)

Πίνακας 2-2 Απεικόνιση ερμηνείας πληροφοριών των ιδιοτήτων και μεταδεδομένων ηχητικού αρχείου

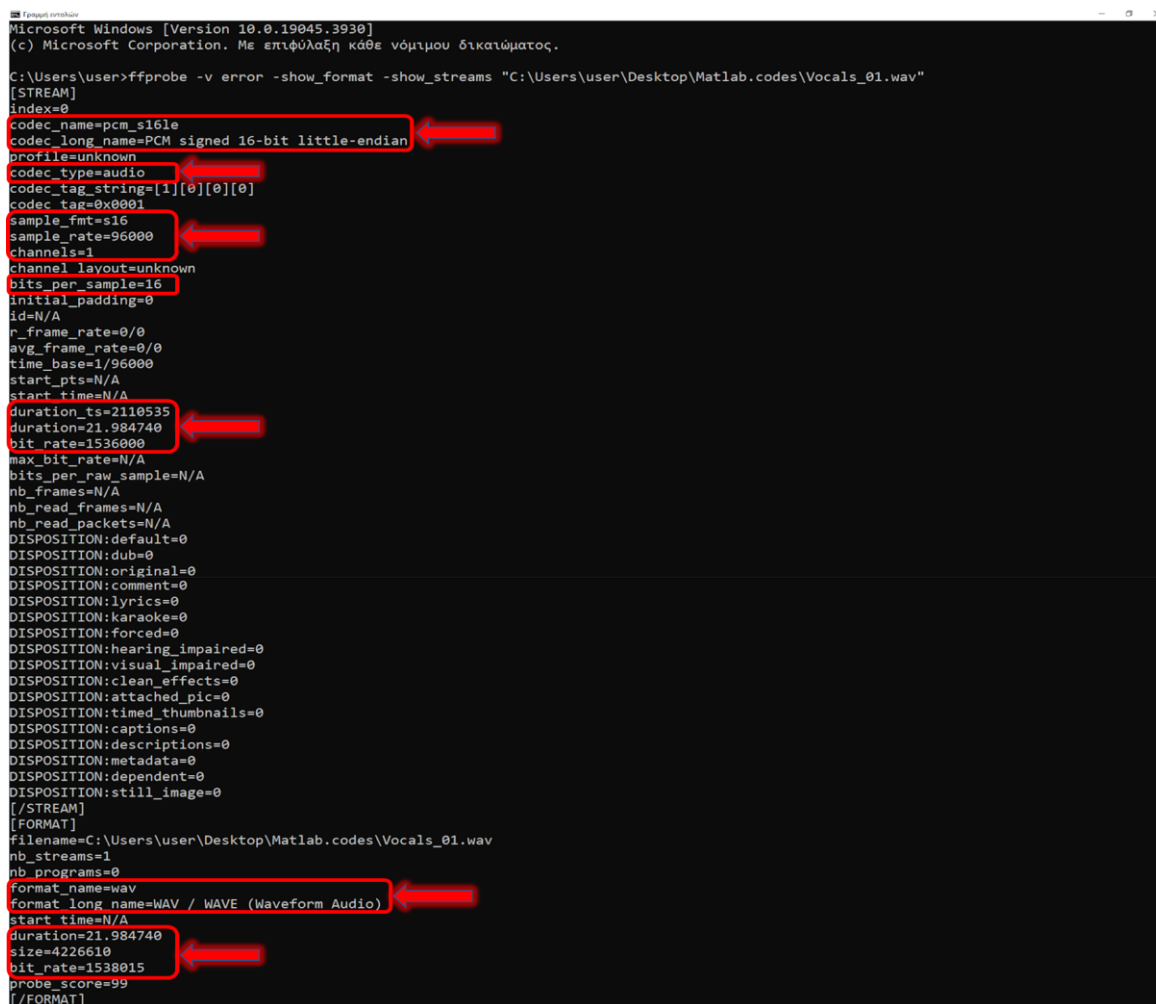
Στη συνέχεια επαληθεύουμε, εάν επιθυμούμε, τις πληροφορίες και με το “cmd” χρησιμοποιώντας το ffprobe με την βοήθεια του κάτωθι κώδικα (2-7).

```
ffprobe -v error -show_format -show_streams  
"C:\Users\user\Desktop\Matlab.codes\Vocals_01.wav"
```

Κώδικας 2-7 Εντολές εντοπισμού και εξόρυξης πληροφορίας ιδιοτήτων (properties) και μεταδεδομένων (metadata) στο cmd. (Πηγή: Ιστότοπος [ffprobe Documentation](#))

Με τις εντολές του παραπάνω κώδικα μπορούμε να αντλήσουμε αντίστοιχα χρήσιμες πληροφορίες του αρχείου.

Με εφαρμογή του παραπάνω κώδικα (2-7) εμφανίζονται τα παρακάτω αποτελέσματα της εικόνας (2-10).

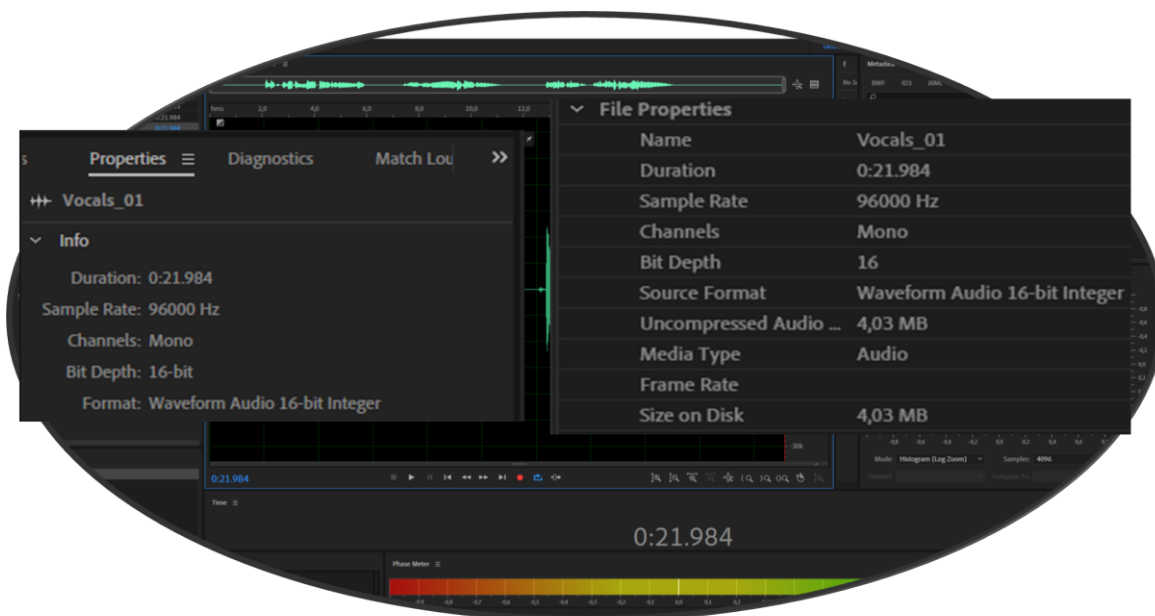


```
Microsoft Windows [Version 10.0.19045.3930]  
(c) Microsoft Corporation. Με επιφύλαξη κάθε νόμιμου δικαιώματος.  
  
C:\Users\user>ffprobe -v error -show_format -show_streams "C:\Users\user\Desktop\Matlab.codes\Vocals_01.wav"  
[STREAM]  
index=0  
codec_name=pcm_s16le  
codec_long_name=PCM signed 16-bit little-endian  
profile=unknown  
codec_type=audio  
codec_tag_string=[1][0][0][0]  
codec_tag=0x0001  
sample_fmt=s16  
sample_rate=96000  
channels=1  
channel_layout=unknown  
bits_per_sample=16  
initial_padding=0  
id=N/A  
r_frame_rate=0/0  
avg_frame_rate=0/0  
time_base=1/96000  
start_pts=N/A  
start_time=N/A  
duration_ts=2110535  
duration=21.984740  
bit_rate=1536000  
max_bit_rate=N/A  
bits_per_raw_sample=N/A  
nb_frames=N/A  
nb_read_frames=N/A  
nb_read_packets=N/A  
DISPOSITION:default=0  
DISPOSITION:dub=0  
DISPOSITION:original=0  
DISPOSITION:comment=0  
DISPOSITION:lyrics=0  
DISPOSITION:karaoke=0  
DISPOSITION:forced=0  
DISPOSITION:hearing_impaired=0  
DISPOSITION:visual_impaired=0  
DISPOSITION:clean_effects=0  
DISPOSITION:attached_pic=0  
DISPOSITION:timed_thumbnails=0  
DISPOSITION:captions=0  
DISPOSITION:descriptions=0  
DISPOSITION:metadata=0  
DISPOSITION:dependent=0  
DISPOSITION:still_image=0  
[/STREAM]  
[FORMAT]  
filename=C:\Users\user\Desktop\Matlab.codes\Vocals_01.wav  
nb_streams=1  
nb_programs=0  
format_name=wav  
format_long_name=WAV / WAVE (Waveform Audio)  
start_time=N/A  
duration=21.984740  
size=4226610  
bit_rate=1538015  
probe_score=99  
[/FORMAT]
```

Εικόνα 2-10 Απεικόνιση εμφάνισης πληροφοριών ιδιοτήτων (properties) και μεταδεδομένων (metadata) ηχητικού αρχείου για επαλήθευση στο cmd

Στην συνέχεια, μπορεί να διενεργηθεί επιπλέον έλεγχος μέσω λογισμικού επεξεργασίας ήχου για τις βασικές ιδιότητες (properties) και λοιπά μεταδεδομένα (metadata) στο αρχείο.

Ένα παράδειγμα διασταύρωσης πληροφοριών που εντοπίστηκαν απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα (2-11) στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου Adobe Audition.



Εικόνα 2-11 Απεικόνιση εξόρυξης και εξακρίβωσης των πληροφοριών που εντοπίζονται στο αρχείο, μέσω λογισμικού Adobe Audition

Όλες οι παραπάνω πληροφορίες είναι πολύ σημαντικές για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του αρχείου, αλλά και των ημερομηνιών καταχώρησης δεδομένων, τροποποίησης, μορφής κ.ά., που δύναται να εξαχθούν για κάθε ηχητικό αρχείο. Πρέπει να επισημανθεί όμως, πώς όταν δημιουργείται ένα νέο αρχείο ήχου, η ημερομηνία του θα είναι η τρέχουσα ημερομηνία του υπολογιστή, δηλαδή η ημερομηνία και η ώρα που αναγράφεται στο ρολόι του υπολογιστή κατά τη δημιουργία του αρχείου. Αν αλλαχτεί η ημερομηνία του αρχείου χρησιμοποιώντας κάποιο εργαλείο ή εντολή ή και μέσα από το λειτουργικό σύστημα του υπολογιστή, τότε η ημερομηνία του αρχείου θα αντικατοπτρίζει την νέα ημερομηνία που έχει οριστεί. Αν, όμως, δεν αλλαχτεί χειροκίνητα η ημερομηνία, το αρχείο θα κρατά την αρχική ημερομηνία δημιουργίας. Επομένως, πέραν των στοιχείων που αφορούν πληροφορίες αρχείου, μεταδεδομένα και ιδιότητες, πρέπει να εντοπίζονται και να γίνεται έλεγχος και επαλήθευση για τις αντίστοιχες πληροφορίες στα ακατέργαστα δεδομένα, στο περιεχόμενο της δομής του αρχείου. Πρόσθετα, να αναζητούνται και επιπλέον στοιχεία και πληροφορίες εάν αυτό είναι δυνατόν για την επικύρωση των πληροφοριών που εξάγονται (Gangwar, Pathania, DFSS & India, 2020).

2.5.4 Έλεγχος & Επαλήθευση Δεδομένων Ηχητικού Αρχείου Μέσω “Hex” (Auditing and Verification of Audio File Data in Hex)

Τα ακατέργαστα ψηφιακά δεδομένα του αρχείου μπορεί να περιέχουν διάφορες χρήσιμες πληροφορίες που μπορούν να εξεταστούν σε ένα δεκαεξαδικό αναγνώστη (hex editor) με προβολή χαρακτήρων ASCII⁶ (American Standard Code for Information Interchange). Με την εν λόγω διαδικασία μπορούν να εντοπιστούν τίτλοι λογισμικού (εάν υπάρχουν), λειτουργίες που έλαβαν χώρα μετά την επεξεργασία, αλλά ενδέχεται να εμφανίζονται και άλλες χρήσιμες πληροφορίες όπως οι ορθές ημερομηνίες δημιουργίας, που ενδέχεται να είχαν διαμορφωθεί με δόλο κλπ. Με εφαρμογή του παρακάτω κώδικα (2-8) μπορεί να μετατραπεί η κονσόλα του PowerShell-ISE σε δεκαεξαδικό αναγνώστη, ή αλλιώς προβολέα δεδομένων του ηχητικού αρχείου.

```
$fileName = "C:\Users\user\Desktop\always\0.wav"  
$fileContent = Get-Content -Path $fileName -Raw -Encoding Byte  
Format-Hex -InputObject $fileContent
```

Κώδικας 2-8 Απεικόνιση εντολών μετατροπής κονσόλας του PowerShell-ISE σε δεκαεξαδικό αναγνώστη δεδομένων ηχητικών αρχείων. (Πηγή: Ιστότοπος [Format-Hex](#))

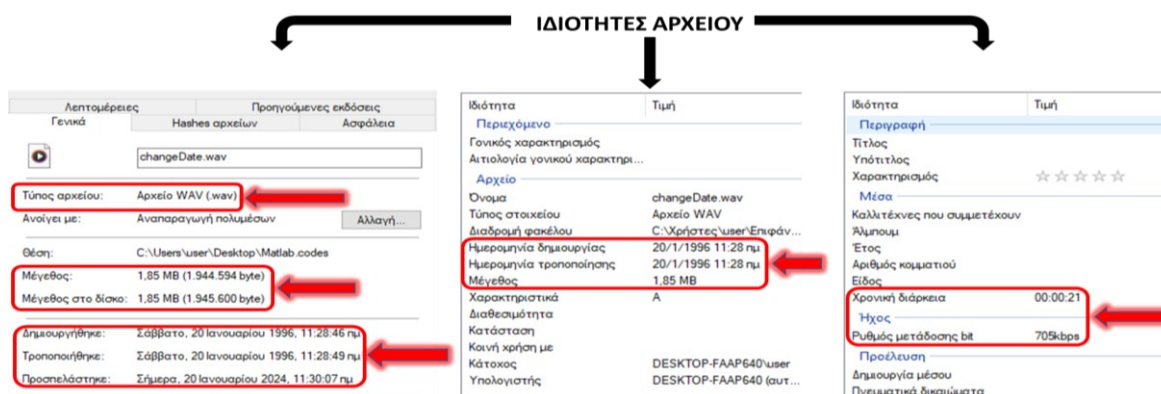
Στον παραπάνω κώδικα (2-8) η λογική ξεκινάει με τον ορισμό ονόματος του αρχείου, έπειτα ακολουθεί η ανάγνωση των ακατέργαστων δεδομένων στο περιεχόμενο του αρχείου και στη συνέχεια εμφάνιση των δεδομένων σε δεκαεξαδική μορφή με την κεφαλίδα του αρχείου.

Γενικότερα οι αλλαγές στα δεκαεξαδικά δεδομένα είναι πιο δύσκολο να συγκαλυφθούν ή να δεχτούν επεξεργασία δίχως κόστος. Εν αντιθέσει με τα μεταδεδομένα και τις ιδιότητες που φέρει το εκάστοτε αρχείο, η οποιαδήποτε προσπάθεια απόκρυψης αλλαγών στα δεκαεξαδικά δεδομένα, ιδιαίτερα στην κεφαλίδα του αρχείου, επιφέρει σαν αποτέλεσμα την καταστροφή του αρχείου και την μη δυνατότητα της αναπαραγωγής του. Επομένως, η οποιαδήποτε κακόβουλη προσπάθεια παραποίησης δεδομένων στα ακατέργαστα δεδομένα των ηχητικών αρχείων, προκαλεί “διαταραχές” που δεν συνάδουν με την πηγαία δημιουργία του αρχείου.

Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί και η οποιαδήποτε παραπλάνηση διαμέσου παραποίησης της ημερομηνίας δημιουργίας⁷ του αρχείου προς εξέταση. Παρακάτω ακολουθεί ένα παράδειγμα παραποίησης της ημερομηνίας δημιουργίας του αρχείου στην εικόνα (2-12).

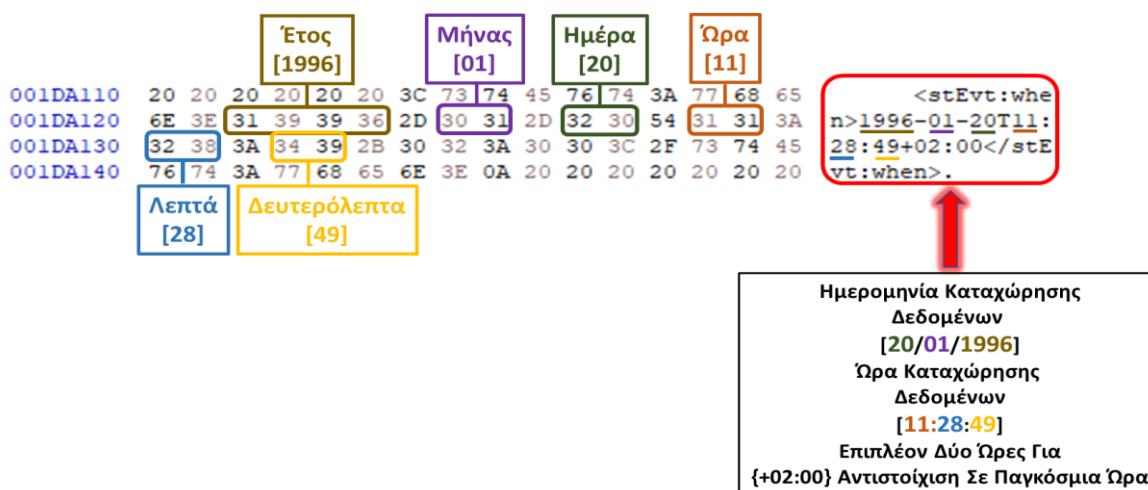
⁶ Αναπαράσταση κειμένου με αντιστοίχιση κάθε χαρακτήρα σε έναν μοναδικό αριθμό

⁷ Ενδεικτική ημερομηνία καταχώρησης δεδομένων



Εικόνα 2-12 Απεικόνιση εντοπισμού ιδιοτήτων (properties) και μεταδεδομένων (metadata) ηχητικού αρχείου ψευδής ημερομηνίας στο λειτουργικό του υπολογιστή εκτός διαδικτύου

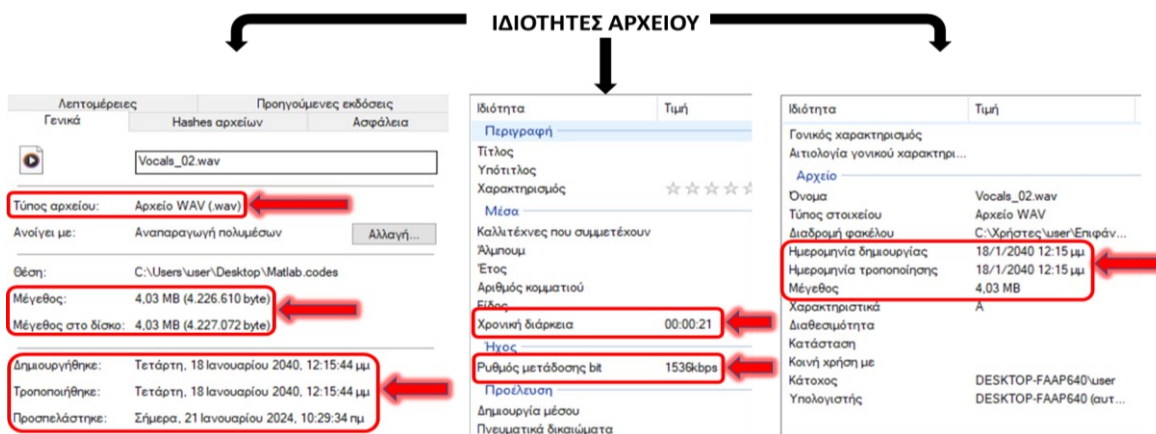
Με μία βουτιά στα ακατέργαστα δεδομένα του αρχείου με τη βοήθεια ενός δεκαεξαδικού προβολέα, όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα (2-13), παρατηρείται η αλλαγή της ημερομηνίας δημιουργίας⁸ που εισχωρεί και στα ακατέργαστα δεδομένα του αρχείου.



Εικόνα 2-13 Απεικόνιση εντοπισμού καταχώρησης ημερομηνίας και ώρας ηχητικού αρχείου σε [Hex-Editor](#) στα ακατέργαστα δεδομένα, με αλλαγή ημερομηνίας χωρίς σύνδεση στο διαδίκτυο

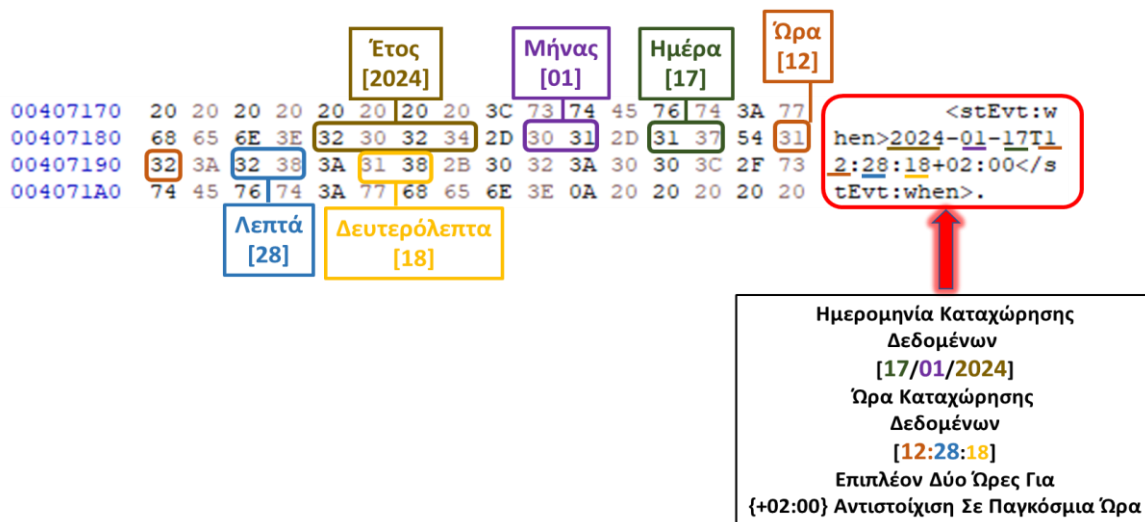
Στην παραπάνω εικόνα (2-13) η αλλαγή ημερομηνίας επιτεύχθηκε χωρίς πρόσβαση στο διαδίκτυο, ειδάλλως η ημερομηνία του αρχείου θα εμφανιζόταν αλλαγμένη σε όλους τους παραπάνω τρόπους αναζήτησης των πληροφοριών, εκτός της αναζήτησης στα ακατέργαστα δεδομένα του αρχείου, που θα παρέμενε η αληθής. Παρακάτω ακολουθεί παρόμοιο παράδειγμα αλλαγής ημερομηνίας αλλά με πρόσβαση στο διαδίκτυο, εικόνα (2-14).

⁸ Σε αυτές τις περιπτώσεις η ημερομηνία επικαλείται ως ημερομηνία καταχώρησης δεδομένων και δεν αντιστοιχεί στην πραγματική ημερομηνία και ώρα δημιουργίας του αρχείου



Εικόνα 2-14 Απεικόνιση εντοπισμού ιδιοτήτων (properties) και μεταδεδομένων (metadata) ηχητικού αρχείου ψευδής ημερομηνίας στο λειτουργικό του υπολογιστή με σύνδεση στο διαδίκτυο

Αναζητώντας τις ανωτέρω πληροφορίες που αποτυπώνονται στην εικόνα (2-14) και ενσωματώνονται στα δεδομένα του αρχείου, εντοπίζουμε τα παρακάτω απεικονιζόμενα στην εικόνα (2-15).



Εικόνα 2-15 Απεικόνιση ηχητικού αρχείου σε [Hex-Editor](#) στα ακατέργαστα δεδομένα, με αλλαγή ημερομηνίας και σύνδεση στο διαδίκτυο

Σύμφωνα με τα παραπάνω, επαληθεύοντας τις εντοπιζόμενες ημερομηνίες η σύνδεση στο διαδίκτυο προδίδει την δημιουργία υπόνοιας εσκεμμένης επεξεργασίας του αρχείου. Παρατηρείται λοιπόν πόσο δύσκολο είναι σύμφωνα με δύο από μύρια παραδείγματα παραποίησης στην πληροφορία της ημερομηνίας να εξαχθεί η αληθής πληροφορία. Επομένως, θα πρέπει να γίνει αναζήτηση επιπλέον πληροφοριών που θα αποδεικνύουν ότι οι συγκεκριμένες πληροφορίες έχουν τροποποιηθεί και δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα, αν αυτό ισχύει.

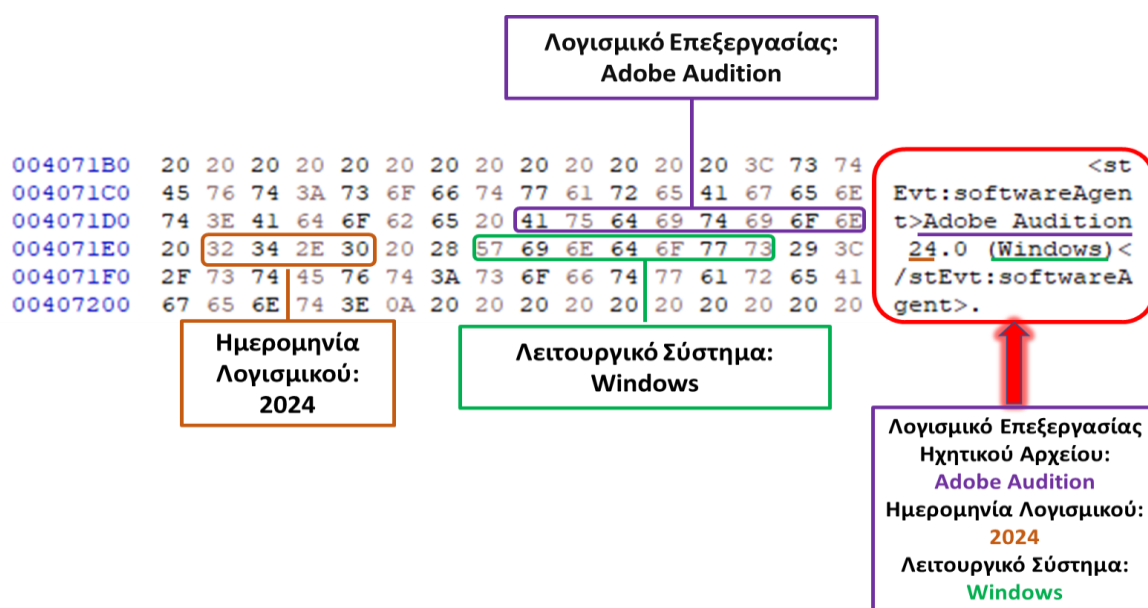
Ένα παράδειγμα αποτελεί η αναζήτηση του λογισμικού επεξεργασίας στα ακατέργαστα δεδομένα του αρχείου, με την βοήθεια ενός δεκαεξαδικού αναγνώστη. Πολλές φορές όταν εντοπίζεται το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για επεξεργασία στα ηχητικά αρχεία, με επιθεώρηση στα ακατέργαστα δεδομένα του αρχείου και της κατασκευαστικής του δομής, συνήθως συνοδεύεται και από την ημερομηνία ή χρονολογία της έκδοσης του λογισμικού.

Αυτή η πληροφορία μας παρέχει τη δυνατότητα διαπίστωσης ότι κάτι ύποπτο συμβαίνει, καθώς δεν είναι δυνατό να θεωρηθούν αληθείς, οι ημερομηνίες που δεν συμβαδίζουν με την έκδοση του λειτουργικού συστήματος του λογισμικού επεξεργασίας. Ενδέχεται να έχει χρησιμοποιηθεί, είτε λειτουργικό σύστημα ενός υπολογιστή ή μιας υποτιθέμενης συσκευής καταγραφής κ.ά., και να εντοπίζονται μεταγενέστερα σε σχέση με την υποτιθέμενη ημερομηνία καταχώρησης των δεδομένων του ηχητικού αρχείου. Όπως είδαμε η ημερομηνία καθώς και άλλες πληροφορίες που αφορούν τα αρχεία, είναι πολύ εύκολο να τις διαχειριστούν κακόβουλοι χρήστες και να τις παραποιήσουν για «ιδίων όφελος».

Το όφελος από αυτή την διαδικασία δεν είναι απαραίτητα η αλλαγή στο περιεχόμενο ή η αλλοίωση διαλαμβανόμενων συνομιλιών στις καταγραφές, αλλά θεωρείται και μία πιθανή προσπάθεια οι κακόβουλοι χρήστες να καταβάλουν προσπάθειες, ούτως ώστε να θεωρηθεί ως αναξιόπιστη μία εγγραφή, απλά και μόνο παραποιώντας την ημερομηνία. Κατά αυτόν τον τρόπο σε μία δικαστική διαμάχη κληρονομικών, δηλαδή οικογενειακού ενδιαφέροντος, ή κακοποίησης, ή ακόμα και ενός γεγονότος που τίθεται προς αναπαραγωγή στο δημόσιο κοινό μέσω των μέσων μαζικής ενημέρωσης κ.ά., θα προκαλέσει πλάνη και εσφαλμένα συμπεράσματα.

Οπωσδήποτε λοιπόν ο εντοπισμός λογισμικών επεξεργασίας καθώς και λειτουργικών συστημάτων ασφαλείας, που χρησιμοποιούνται από κινητές συσκευές αλλά και πιθανές ημερομηνίες δημιουργίας κατασκευής τους, όπως προαναφέρθηκε θα ρίξει φως στο τούνελ της διαπλοκής και θα παρέχει πληροφορίες σχετικά με την γνησιότητα της εγγραφής ή το κατά πόσο είναι παραποιημένη ως προς το περιεχόμενο ή ως προς τα ακατέργαστα δεδομένα κ.ά.

Ο εντοπισμός λογισμικού επεξεργασίας του ηχητικού αρχείου, στην πράξη γίνεται με την λεπτομερή μελέτη των δεδομένων του αρχείου, μέσω ενός δεκαεξαδικού προβολέα. Παρακάτω, απεικονίζονται διάφορα παραδείγματα με χρήση διαφόρων λογισμικών επεξεργασίας ηχητικών αρχείων. Όπως παρατηρείται στην παρακάτω εικόνα (2-16), η ημερομηνία του λογισμικού επεξεργασίας ήχου, αποτελεί ένα τρόπο που μπορεί να αποδώσει πληροφορίες σχετικά με τη παραποίηση και έκθεση της ψεύτικης ημερομηνίας του αρχείου. Στη συνέχεια μπορεί να πραγματοποιηθεί ένας έλεγχος διασταυρώσεως όλων των πληροφοριών, ιδιοτήτων, ημερομηνιών καταχώρησης δεδομένων κ.ά., μεταξύ τους.



Εικόνα 2-16 Απεικόνιση εντοπισμού λογισμικού επεξεργασίας κλειστού κώδικα στα ακατέργαστα δεδομένα του ηχητικού αρχείου “Adobe Audition” σε [Hex-Editor](#)

Το παραπάνω λογισμικό επεξεργασίας κλειστού κώδικα όπως παρατηρείται και στην παραπάνω εικόνα (2-16), εμφανίζει χρονολογία του 2024. Σαν αποτέλεσμα να προδίδει την ψεύτικη ημερομηνία του αρχείου στη περίπτωση που φέρει διαφορετική ημερομηνία καταχώρησης των δεδομένων, προγενέστερη από αυτή που φέρει το λογισμικό επεξεργασίας. Το παραπάνω λειτουργικό σύστημα υπολογιστή και λογισμικό επεξεργασίας ήχου που εμφανίζεται στην εικόνα (2-16), χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των δύο παραπάνω περιπτώσεων που απεικονίζονται στις εικόνες (2-12) και (2-14). Συνήθως τα λογισμικά ηχητικής επεξεργασίας που προορίζονται για εμπορική χρήση (κλειστού κώδικα), είναι πιο εντοπίσιμα, καθώς από κατασκευής τους αφήνουν στοιχεία που αποδεικνύουν τη χρήση τους, όπως το όνομα, ημερομηνία έκδοσης πνευματικών

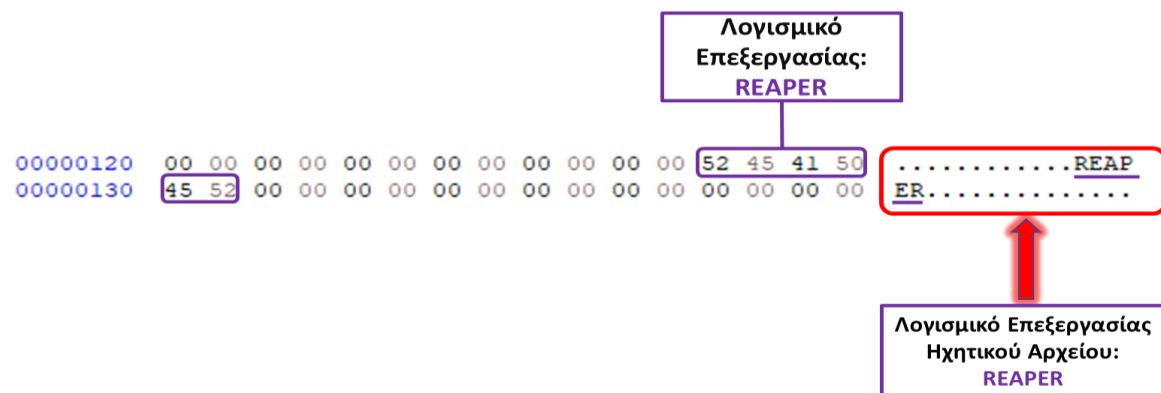
δικαιωμάτων κλπ. Στην παρακάτω εικόνα (2-17) ακολουθεί ένα παράδειγμα χρήσης κινητής συσκευής iPhone.



Εικόνα 2-17 Απεικόνιση εντοπισμού κινητής συσκευής που επεξεργάστηκε το ηχητικό αρχείο στα ακατέργαστα δεδομένα iPhone Version 16.5.1 σε [Hex-Editor](#)

Στο παραπάνω παράδειγμα της εικόνας (2-17) έχει χρησιμοποιηθεί το κινητό iPhone Version 16.5.1. Επίσης, με μία σύντομη περιήγηση στο διαδίκτυο διαπιστώνεται πως είναι διαθέσιμο για iPhone 8 και νεότερα μοντέλα, iPad Pro (όλα τα μοντέλα), iPad Air 3ης γενιάς και μεταγενέστερα, καθώς κυκλοφόρησε στις 21 Ιουνίου 2023, το συγκεκριμένο λειτουργικό περιεχόμενο ασφαλείας (Version 16.5.1).

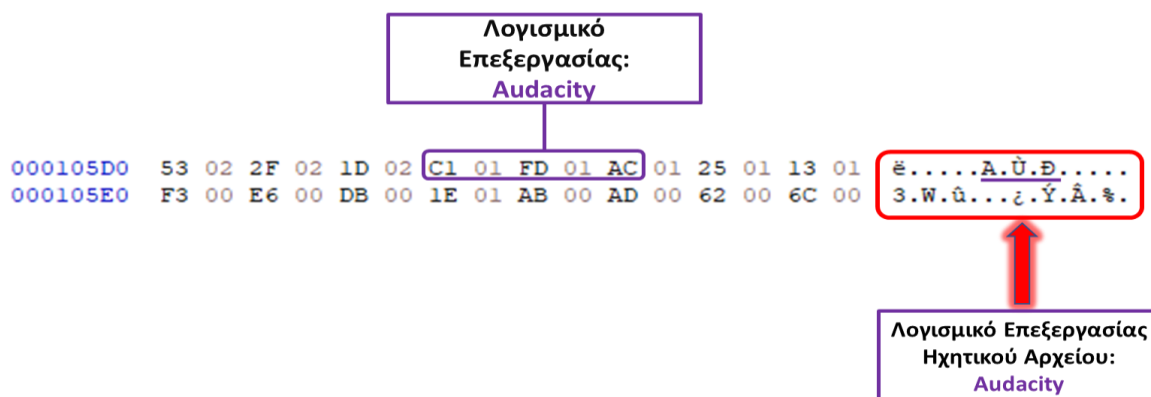
Στην παρακάτω περίπτωση εικόνα (2-18) χρησιμοποιείται λογισμικό ανοικτού κώδικα, το γνωστό “Reaper”.



Εικόνα 2-18 Απεικόνιση εντοπισμού λογισμικού επεξεργασίας ανοικτού κώδικα στα ακατέργαστα δεδομένα του ηχητικού αρχείου “Reaper” σε [Hex-Editor](#)

Το “Reaper” αποτελεί ένα υβριδικό (διατίθεται και ανοικτού και κλειστού κώδικα) λογισμικό επεξεργασίας ήχου. Ακόμα και σε αυτή τη περίπτωση παρατηρείται να είναι εντοπίσιμο μέσω ενός δεκαεξαδικού προβολέα δεδομένων του αρχείου.

Στην παρακάτω περίπτωση εικόνα (2-19) χρησιμοποιείται το λογισμικό ηχητικής επεξεργασίας ανοικτού κώδικα, το γνωστό “Audacity”.



Εικόνα 2-19 Απεικόνιση εντοπισμού λογισμικού επεξεργασίας ανοικτού κώδικα στα ακατέργαστα δεδομένα του ηχητικού αρχείου Audacity σε [Hex-Editor](#)

Χρήσιμες πληροφορίες μπορούν να εξαχθούν δύσκολα, όταν τα λογισμικά επεξεργασίας ήχου είναι ανοικτού κώδικα⁹. Στις περιπτώσεις αυτές ψάχνουμε διάφορες υπογραφές ή διάφορες συντομογραφίες, που απορρέουν από το λειτουργικό σύστημα του υπολογιστή ή του λογισμικού επεξεργασίας, εφόσον υπάρχει υπόνοια για κάτι τέτοιο, ή αναζητούμε άλλες χρήσιμες πληροφορίες που προδίδουν την χρήση και τον εντοπισμό λογισμικών ανοικτού κώδικα. Συστήνεται λοιπόν πιο λεπτομερή αναζήτηση και ο έλεγχος όλων των δεδομένων και των διαφόρων συντομογραφιών που εμφανίζονται σε έναν δεκαεξαδικό προβολέα δεδομένων, ούτως ώστε να εντοπιστούν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες που αφορούν το αρχείο προς διερεύνηση.

Ένας άλλος τρόπος εξέτασης πιο εξονυχιστικός αλλά και επαλήθευσης όλων των παραπάνω πληροφοριών, αποτελεί η δεκαεξαδική ανάλυση της κατασκευαστικής δομής του ηχητικού αρχείου. Συνήθως τέτοιες πληροφορίες εντοπίζονται στην ανάλυση της κεφαλίδας του ηχητικού αρχείου. Ο δεκαεξαδικός προβολέας ανοικτού κώδικα ή για εμπορική χρήση μπορεί να προσφέρει στην συλλογή τέτοιων πληροφοριών. Επίσης και η χρήση κώδικα μπορεί να συνεισφέρει σε αυτό το εγχείρημα με μεγάλη επιτυχία, αλλά με λίγο πιο περιορισμένες δυνατότητες ανάλογα του υποβάθρου τεχνογνωσίας του ερευνητή.

⁹ Συστήνεται για τον εντοπισμό λογισμικών ανοικτού κώδικα, πέραν της δεκαεξαδικής επιθεώρησης και οπτική επιθεώρηση χαρακτήρων σε δεκαεξαδικό προβολέα και σε άλλες μορφές αριθμητικών συστημάτων όπως το δυαδικό σύστημα κ.ά.

2.5.6 Ανάλυση Βασισμένη Στην Κατασκευαστική Δομή Ηχητικών Αρχείων (Analysis Based on the Constructional Structure of Audio Files)

Δεκαεξαδική Ανάλυση Πληροφοριών Κεφαλίδας Ηχητικού Αρχείου Μορφής wav

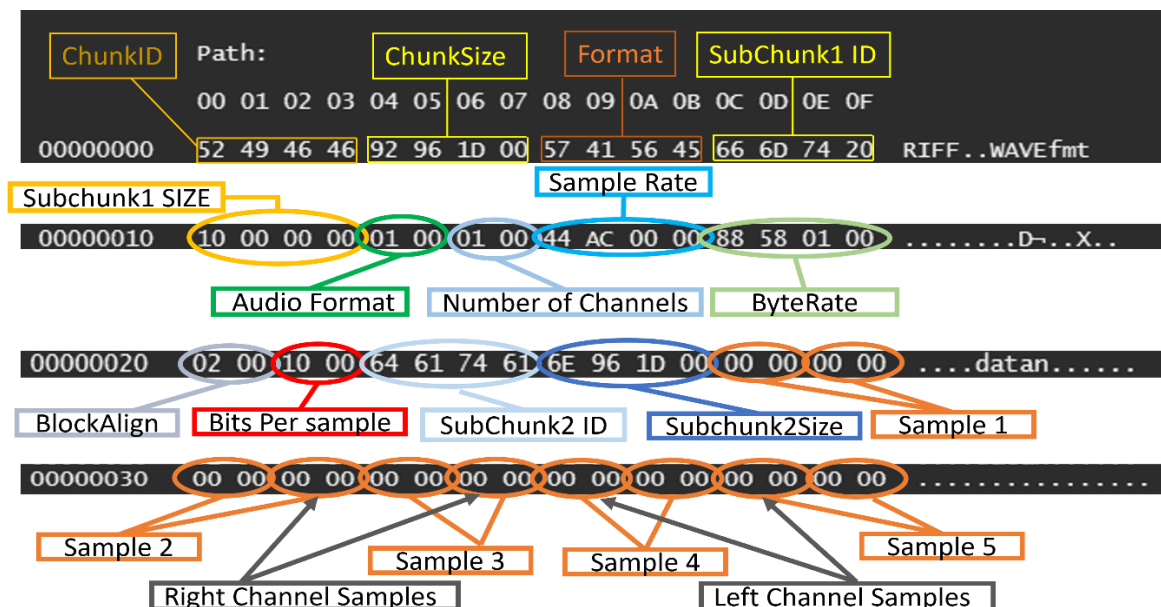
Παρακάτω πραγματοποιείται ο έλεγχος της κεφαλίδας δεκαεξαδικών δεδομένων αρχείου, της μορφής “.wav”. Δίνονται οι εντολές στον κώδικα (2-9) εξαγωγής δεκαεξαδικής (Hexadecimal) κεφαλίδας του ηχητικού αρχείου.

```
$filePath = "C:\Users\user\Desktop\HEX HEADERS\Vocals.wav"
$filePath | Get-Content -Path $filePath -Encoding Byte -TotalCount 64
$filePath | Format-Hex
```

Κώδικας 2-9 Εμφάνιση δεκαεξαδικών (Hexadecimal) κεφαλίδων. (Πηγή: Ιστότοπος [Format-Hex](#))

Η λογική του παραπάνω κώδικα ξεκινάει με τον ορισμό του “path” και ονόματος αρχείου και στη συνέχεια υλοποιείται ανάγνωση των πρώτων 64 bytes (αρκούν για την εμφάνιση της Hex-κεφαλίδας).

Γίνεται εξαγωγή των πληροφοριών ηχητικού αρχείου της μορφής wav στο κομμάτι της κεφαλίδας (Header), όπως εμφανίζονται στην παρακάτω εικόνα (2-20) των πρώτων 128 δεκαεξαδικών δεδομένων σε αναπαράσταση δυαδικής μορφής.



Εικόνα 2-20 Απεικόνιση παραδείγματος δεκαεξαδικής ανάλυσης (Hexadecimal - Analysis) κεφαλίδας (Header) στο PowerShell-ISE ηχητικού αρχείου της μορφής “wav”

Κάθε αρχείο της μορφής “wav” όπως απεικονίζεται και στην παραπάνω εικόνα (2-20) φέρει, κεφαλίδα που αναλογεί στα δεκαεξαδικά ψηφία (Hex Digits) υπό αναπαράσταση δυαδικών, από την θέση από 00 έως 03 και είναι τα ψηφία “52 49 46 46” το οποίο και

αναφέρεται στον τύπο “RIFF” (Shrestha, Manandhar, Dhakal, Kumal & Bista, 2020) ανεξαρτήτως του περιεχομένου στο αρχείο. Η μορφή (format) ή αλλιώς η υπογραφή του ηχητικού αρχείου εμφανίζεται στη θέση από 08 έως 0B της πρώτης σειράς και είναι τα “57 41 56 45”, καθώς αποτελεί την υπογραφή για αρχεία ήχου της μορφής (.wave). Ακολουθεί το (Subchunk1 ID) από την θέση 0C έως 0F, που στην ουσία είναι τα γράμματα "fmt" που υποδηλώνουν την λέξη “format” του αρχείου (fileformat, 2024).

Στη συνέχεια από τη θέση 04 έως 07 της πρώτης γραμμής (ChunkSize) εντοπίζεται το μέγεθος των δεδομένων που φέρει το αρχείο της μορφής “wav”. Ο μορφότυπος (Format) του αρχείου wav αναπαρίστανται ως “57 41 56 45”. Το μέγεθος δεδομένων (Chunk Size) συνήθως αποτελείται από 4 bytes και αναπαρίσταται σε μικρή σειρά (little-endian). Στην συνέχεια πρέπει να γίνει αντιστροφή της σειράς των bytes του μεγέθους (little-endian) σε μεγάλη σειρά (big endian), καθώς και να υπολογιστεί ο δεκαδικός αριθμός που προκύπτει από τα ψηφία (Sourabh & Chauhan, 2021).

Κατόπιν ακολουθεί το (Subchunk1 SIZE), με τα ψηφία “10 00 00 00” σε little-endian που αντιπροσωπεύει τον αριθμό “0x00000010” στο δεκαδικό σύστημα, που αντιστοιχεί σε 16 για δεκαεξαδική μορφή και παρέχονται σχετικές πληροφορίες μορφοποίησης του ήχου και το μέγεθος του “subchunk”, που στην προκειμένη περίπτωση είναι 16 bytes. Η κωδικοποίηση που έχει υποστεί το αρχείο εμφανίζεται στο πλαίσιο δεδομένων “Audio Format” στις τιμές “01 00” και συμβολίζουν την κωδικοποίηση PCM (Pulse Code Modulation) (WAVE File Format, 2024).

Στη συνέχεια ακολουθούν τα πλαίσια “Number of channels” ο αριθμός των καναλιών του αρχείου, στη περίπτωση αυτή ερμηνεύεται ως μονοφωνικό με τιμές “01 00” και στερεοφωνικό εάν είχε τις τιμές “02 00”. Κατόπιν ακολουθεί το “Sample Rate” συχνότητα δειγματοληψίας που εντοπίζεται με “44 AC 00 00” και ισοδυναμεί με 44.100 Hz.

Παρατηρείται στη παραπάνω εικόνα (2-20) να ακολουθεί το “byteRate” ή αλλιώς ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ήχου του αρχείου και στη συνέχεια το “BlockAlign”, όρος που χρησιμοποιείται στον χώρο των αρχείων ήχου για να περιγράψει τον αριθμό των bytes που αντιστοιχούν σε ένα δείγμα ήχου για όλα τα κανάλια. Το “BlockAlign” είναι ένας υπολογιζόμενος αριθμός bytes ανά δείγμα ήχου για όλα τα κανάλια που περιέχονται στο ηχητικό αρχείο. Το “byteRate” συνδέεται με το “BlockAlign” και υπολογίζεται με:

$$Byte\ Rate = Sample\ Rate \cdot Block\ Align =$$

$$Sample\ Rate \cdot Num\ Channels \cdot \left(\frac{BitsPerSample}{8} \right), \text{ όμοιος με τον τύπο (6)}$$

Παρατηρείται η τιμή στο “BlockAlign” να ισούται με “02 00” που σημαίνει ότι για κάθε δείγμα ήχου, χρειάζονται 2 bytes (λόγω του little-endian) για να αναπαρασταθεί. Αναλυτικότερα, προκύπτει από $[(Channels) * (BitsPerSample / 8)]^{10}$ για τον υπολογισμό του “BlockAlign”. Που σημαίνει ότι κάθε δείγμα ήχου σε κάθε κανάλι κωδικοποιείται σε 2 bytes, και επομένως χρησιμοποιώντας 16-bit ήχο συνεπάγεται 2 bytes ανά δείγμα, όπου το καθένα είναι 8 bits (Ζαρούχας κ.ά., 2013). Στην little-endian μορφή, το λιγότερο σημαντικό byte (LSB - Least Significant Byte) εμφανίζεται πρώτο, επομένως το “02” αντιστοιχεί στο λιγότερο σημαντικό byte, και το “00” στο πιο σημαντικό byte (Ζαρούχας κ.ά., 2013; Bhalshankar & Gulve, 2015).

Αναλυτικότερα, ο υπολογισμός της πληροφορίας προκύπτει σύμφωνα με $0 \times 256^0 + 2 \times 256^1 = 0 + 2 \times 256 = 512$. Έτσι, η τιμή που προκύπτει είναι 512, και αυτό αντιστοιχεί στον αριθμό των bytes που χρειάζονται για κάθε block (ή δείγμα) ήχου στη συγκεκριμένη δομή του αρχείου. Το 256 προκύπτει από το γεγονός ότι υπάρχουν 256 διαφορετικές δυνατές τιμές για ένα byte που μπορεί να πάρει, σε εμφάνιση δυαδικής μορφής. Ένα byte μπορεί να πάρει τιμές από 0 έως 255. Σε δυαδική μορφή, το 256 είναι η διαφορά μεταξύ του μέγιστου δυνατού αριθμού που μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα byte και του ελάχιστου. Αν έχουμε ένα byte, τότε η δυαδική αναπαράσταση μπορεί να είναι από 00000000 (0 σε δεκαδική μορφή) έως 11111111 (255 σε δεκαδική μορφή) (Yoo, Park, Lim, Bang & Lee, 2012).

Συνεπώς, το 256 χρησιμοποιείται συχνά ως ένα βασικό στοιχείο για την αναπαράσταση του εύρους τιμών που μπορεί να λάβει ένα byte. Στην συνέχεια ακολουθεί η ευκρίνεια κβαντισμού (bits per sample) που εμφανίζεται ως “10 00”. Όταν έχουμε την τιμή “10 00” σε δεδομένα Hex για το πεδίο “bits per sample”, αυτό σημαίνει ότι η αναπαράσταση κάθε δείγματος ήχου απαιτεί 16 bits (2 bytes). Σε δυαδική μορφή, η τιμή “10 00” είναι ίση με τον αριθμό 16. Κάθε byte αποτελείται από 8 bits (Ζαρούχας κ.ά., 2013), και επειδή έχουμε 2 bytes, το συνολικό πλήθος των bits είναι 16. Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή, το “10 00” σημαίνει ότι κάθε δείγμα ήχου αναπαρίσταται χρησιμοποιώντας 16 bits (2 bytes) πληροφοριών. Η ένδειξη “Subchunk2 ID” αναφέρεται στη δεύτερη υποενότητα (subchunk) των δεδομένων στο αρχείο ήχου μορφής “wav”. Συνήθως, το “Subchunk2 ID” περιέχει την

¹⁰ Η διαίρεση με το 8 γίνεται για να μετατραπούν τα bits σε bytes, αφού 1 byte = 8 bits

τιμή "data", υποδηλώνοντας την αρχή των πραγματικών δεδομένων στο ηχητικό αρχείο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, περιέχεται η τιμή "64617461" που σε (ASCII) κωδικοποιείται ως "DATA" (αυτό υποδηλώνει την αρχή των πραγματικών δεδομένων ήχου). Το "Subchunk2 Size" δηλώνει το μέγεθος της διαφορετικής ενότητας (subchunk) που περιέχει τα δεδομένα του ηχητικού αρχείου. Συνήθως, αυτό το μέγεθος υπολογίζεται ως ο συνολικός αριθμός bytes των δεδομένων ήχου του αρχείου, δηλαδή ($\text{Subchunk2Size} = \text{Αριθμός δειγμάτων} \times \text{Block Align}$). Στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε την τιμή "0x6E961D00". Αυτή η τιμή, όταν μετατραπεί σε δεκαδική μορφή, είναι περίπου 1870054912 bytes. Αυτό υποδηλώνει το συνολικό μέγεθος των δεδομένων του ήχου σε bytes. Στην συνέχεια ακολουθούν τα δείγματα ανά κανάλι ήχου στο αρχείο (Yoo et al., 2012). Στην παρακάτω εικόνα (2-21) παρουσιάζεται η κατασκευαστική δομή ηχητικού αρχείου της μορφής "wav" σύμφωνα με όλες τις παραπάνω πληροφορίες που αναλύθηκαν.

The Canonical WAVE file format

endian	File offset (bytes)	file name	Field Size (bytes)	
	0	ChunkID	4	The "RIFF" chunk descriptor
big	4	ChunkSize	4	
little	8	Format	4	
big	12	SubChunk1ID	4	The "fmt" sub-chunk Describes the format of the sound information in the data sub-chunk
big	16	SubChunk1Size	4	
little	20	AudioFormat	2	
little	22	NumChannels	2	
little	24	SampleRate	4	
little	28	ByteRate	4	
little	32	BlockAlign	2	
little	34	BitsPerSample	2	
little	36	Subchunk2ID	4	
big	40	Subchunk2Size	4	
little	44	data		The "data" sub-chunk Indicates the size of the sound information and contains the raw sound data

Εικόνα 2-21 Απεικόνιση δομής ηχητικού αρχείου της μορφής "wav"

Στον παρακάτω πίνακα (2-3) ακολουθεί μία σύνοψη ερμηνείας των ανωτέρω απεικονιζόμενων της εικόνας (2-21) για αρχείο της μορφής “.wav”.

Endian	ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΡΧΕΙΟΥ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ	ΘΕΣΗ ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ
Big	ChunkID	RIFF	0-4
Little	ChunkSize	Μέγεθος Δεδομένων Αρχείου	5 - 8
Big	Format	Κεφαλίδα Τύπος Αρχείου (π.χ. WAVE)	9 -12
Big	Subchunk1 ID	Δείκτης Μορφοποίησης “fmt”	13-16
Little	Subchunk1 Size	ΜΗΚΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	17-20
Little	Audio Format	ΕΙΔΟΣ ΚΩΔΙΚ/ΗΣΗΣ	21-22
Little	Num Channels	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	23-24
Little	Sample Rate	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜ/ΛΗΨΙΑΣ	25-28
Little	ByteRate	ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΟΣΗΣ ΉΧΟΥ	29-32
Little	Block Align	ΨΗΦΙΑ ΑΝΑΠ/ΣΤΑΣΗΣ	33-34
Little	Bits per sample	ΕΥΚΡΙΝΕΙΑ ΚΒΑΝΤΙΣΜΟΥ	35-36
Big	Subchunk2 Id	Έναρξη ενότητας δεδομένων “DATA”	37-40
Little	Subchunk2 size	ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	41-44

Πίνακας 2-3 Επεξήγηση των πληροφοριών που εξάγονται από τη δομή ηχητικού αρχείου της μορφής wav

Συνοψίζοντας, βάση του πίνακα (2-3) το αρχείο WAV (βάση και της εικόνας 2-21) ακολουθεί μια συγκεκριμένη δομή που ξεκινά με το "ChunkID" (4 bytes), το οποίο περιέχει το αναγνωριστικό "RIFF". Ακολουθεί το "ChunkSize" (4 bytes), που δείχνει το συνολικό μέγεθος του αρχείου σε bytes, εκτός από τα πρώτα 8 bytes. Στη συνέχεια, το "Format" (4 bytes) καθορίζει ότι το αρχείο είναι τύπου "WAVE". Το "SubChunk1ID" (4 bytes) περιέχει το αναγνωριστικό "fmt", που υποδεικνύει το πρώτο υπο-τμήμα, ενώ το "SubChunk1Size" (4 bytes) δείχνει το μέγεθος του πρώτου υπο-τμήματος, συνήθως 16 bytes για PCM αρχεία. Το "AudioFormat" (2 bytes) δηλώνει τον τύπο κωδικοποίησης ήχου (π.χ., 1 για PCM), και το "NumChannels" (2 bytes) αναφέρει τον αριθμό των καναλιών (π.χ., 1 για μονοφωνικό, 2 για στερεοφωνικό, κ.ά). Το "SampleRate" (4 bytes) ορίζει το ρυθμό δειγματοληψίας, ενώ

το "ByteRate" (4 bytes) υπολογίζει τα bytes ανά δευτερόλεπτο για την αναπαραγωγή του αρχείου. Το "BlockAlign" (2 bytes) δείχνει τον αριθμό των bytes ανά δείγμα ήχου για όλα τα κανάλια, και το "BitsPerSample" (2 bytes) αναφέρει τον αριθμό των bits ανά δείγμα ήχου (π.χ., 8 ή 16 bits). Το "SubChunk2ID" (4 bytes) είναι το αναγνωριστικό "data", που ακολουθείται από το "SubChunk2Size" (4 bytes) το οποίο δείχνει το μέγεθος των δεδομένων ήχου. Τέλος, το πεδίο "data" περιέχει τα πραγματικά δεδομένα ήχου, με μήκος που καθορίζεται από το "SubChunk2Size".

Χρήσιμες Πληροφορίες κατά την Δεκαεξαδική Ανάλυση Ηχητικών Αρχείων wav

Ευκρίνεια Κβαντισμού (Bits Per Sample)	Αναπαράσταση σε Hex δεδομένα	Bytes
Θέση Δεδομένων "35 - 36" Για "pcm"		
8	"08 00"	1
16	"10 00"	2
24	"18 00"	3
32	"20 00"	4

Πίνακας 2-4 Επεξήγηση εξαγωγής πληροφοριών σε δεκαεξαδικά δεδομένα ηχητικού αρχείου για την ευκρίνεια κβαντισμού (bits per sample)

Στην περίπτωση του πίνακα (2-4), όταν η ευκρίνεια κβαντισμού είναι 8 bits (1 byte), αυτό σημαίνει ότι κάθε δείγμα ήχου αναπαρίσταται χρησιμοποιώντας μόνο 1 byte. Η αναπαράσταση του δείγματος ξεκινά από το πρώτο bit και τελειώνει στο 8ο bit του byte. Συνήθως, όσο μεγαλύτερη είναι η ευκρίνεια κβαντισμού (π.χ., 16 bits, 24 bits, 32 bits), τόσο περισσότερος χώρος χρειάζεται για να αποθηκευτεί κάθε δείγμα ήχου και συνεπώς, απαιτούνται και περισσότερα bytes ανά δείγμα. Παρακάτω στον πίνακα (2-5) αναφέρονται μερικά ενδεικτικά παραδείγματα για τη συχνότητα δειγματοληψίας σε αναπαράσταση δεκαεξαδικών δεδομένων (hex digits).

Συχνότητα Δειγματοληψίας (Sample Rate)	Αναπαράσταση σε Hex δεδομένα
Θέση Δεδομένων "25 - 28"	
22.050 Hz	"22 56 00 00"
44.100 Hz	"44 AC 00 00"
48.000Hz	"80 BB 00 00"
8.000 Hz	"1F 40 00 00"

Πίνακας 2-5 Επεξήγηση εξαγωγής πληροφοριών σε δεκαεξαδικά δεδομένα ηχητικού αρχείου για την συχνότητα δειγματοληψίας (sample rate)

Χρησιμοποιώντας την παρακάτω φόρμουλα του κώδικα (2-10) που δημιουργήθηκε για τον εντοπισμό της συχνότητας δειγματοληψίας του αρχείου, μπορούμε να ερμηνεύσουμε άμεσα τα δεδομένα που αφορούν το πεδίο που αφορά τη συχνότητα τοποθετώντας τα απλά αντίστροφα.

```
$hexFrequency = "0x0000AC44"
$decimalFrequency = [Convert]::ToInt32($hexFrequency, 16)
Write-Host "Η συχνότητα δειγματοληψίας είναι $decimalFrequency Hz."
```

Κώδικας 2-10 Εμφάνιση συχνότητας δειγματοληψίας σε δεκαδική μορφή. (Πηγή: Ιστότοπος [Convert-String](#))

Παρακάτω στην εικόνα (2-22) ακολουθεί ένα παράδειγμα εκτέλεσης του παραπάνω κώδικα (2-10) στην κονσόλα του PowerShell.

```
$hexFrequency = "0x0000AC44"
$decimalFrequency = [Convert]::ToInt32($hexFrequency, 16)
Write-Host "Η συχνότητα δειγματοληψίας είναι $decimalFrequency Hz."
}
Η συχνότητα δειγματοληψίας είναι 44100 Hz.
```

Εικόνα 2-22 Απεικόνιση παραδείγματος εκτέλεσης του παραπάνω κώδικα (2-10), μετατροπής από δεκαεξαδικά σε δεκαδικά δεδομένα

Στον παρακάτω πίνακα (2-6) παρουσιάζετε αντιστοιχία κατά αναπαράσταση ηχητικών παραμέτρων σε δεκαεξαδική μορφή ηχητικού αρχείου “.wav”.

Αναπαράσταση Μορφής σε Hex δεδομένα		Κατηγορία Μορφής		
"01 00"		PCM		
"07 00"		MULAW		
"06 00"		ALAW		
"02 00"		ADPCM		
Αναπαράσταση Αριθμού Καναλιών σε Hex δεδομένα		Αριθμός Καναλιών		
"01 00"		Μονοφωνικό		
"02 00"		Στερεοφωνικό		
"04 00"		Τετραφωνικό		
"06 00"		5.1 Surround		
"08 00"		7.1 Surround		
Sample Rate (Hz)	Byte Rate (Mono) (Bytes/Sec)	Hex (Byte Rate) (Mono)	Byte Rate (Stereo) (Bytes/Sec)	Hex (Byte Rate) (Stereo)
8,000	16,000	80 3E 00 00	32,000	00 7D 00 00
16,000	32,000	00 7D 00 00	64,000	00 FA 00 00
44,100	88,200	88 58 01 00	176,400	10 B1 02 00
88,200	176,400	10 B1 02 00	352,800	20 62 05 00
96,000	192,000	00 DC 05 00	384,000	00 B0 0B 00
192,000	384,000	00 B0 0B 00	768,000	00 60 17 00
384,000	768,000	00 60 17 00	1,536,000	00 C0 2F 00
1,536,000	3,072,000	00 C0 2F 00	6,144,000	00 80 5F 00

Πίνακας 2-6 Απεικόνιση αντιστοιχίας και αναπαράστασης ηχητικών παραμέτρων σε δεκαεξαδική μορφή ηχητικού αρχείου “.wav”

Επιπλέον για την ανάλυση του μεγέθους του αρχείου και λεπτομερή έλεγχο προτείνεται η παρακάτω φόρμουλα του κώδικα (2-11) επιθεωρώντας το μέγεθος από τα δεκαεξαδικά δεδομένα που απαρτίζουν τη δομή του ηχητικού αρχείου προς διερεύνηση.

```
$bytes = [byte[]]@(0x92, 0x96, 0x1D, 0x00)
$reversedBytes = $bytes | ForEach-Object { $_ }
$size = [BitConverter]::ToUInt32($reversedBytes, 0)
$totalSize = $size + 8
$mbSize = $size / 1MB
$mbTotalSize = $totalSize / 1MB
Write-Host "Δεκαδικό Μέγεθος: $size bytes ($mbSize MB)"
Write-Host "Συνολικό Μέγεθος Αρχείου: $totalSize bytes ($mbTotalSize MB)"
```

Κώδικας 2-11 Εμφάνισης ελέγχου για το μέγεθος του αρχείου. (Πηγή: Ιστότοπος [Byte Conversion](#))

Ο παραπάνω κώδικας (2-11) λειτουργεί με εισαγωγή των δεδομένων σε “little-endian bytes” και έπειτα πραγματοποιεί αναστροφή της σειράς των bytes. Κατόπιν προβαίνει σε υπολογισμό του συνολικού μεγέθους του αρχείου συμπεριλαμβανομένου και του μήκους της κεφαλίδας και τέλος υλοποιείται ο υπολογισμός του μεγέθους σε MB και εκτύπωση των αποτελεσμάτων στην κονσόλα.

Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής του παραπάνω κώδικα (2-11) (εικόνα 2-23).

```
PS C:\Users\user> # Δοθέντα little-endian bytes
$bytes = [byte[]]@(0x92, 0x96, 0x1D, 0x00)

# Αναστροφή της σειράς των bytes
$reversedBytes = $bytes | ForEach-Object { $_ }

# Συνένωση των bytes για δημιουργία ενός μεγέθους
$size = [BitConverter]::ToUInt32($reversedBytes, 0)

# Υπολογισμός του συνολικού μεγέθους του αρχείου (με μήκος κεφαλίδας)
$totalSize = $size + 8

# Υπολογισμός του μεγέθους σε MB
$mbSize = $size / 1MB
$mbTotalSize = $totalSize / 1MB

# Εκτύπωση των αποτελεσμάτων
Write-Host "Δεκαδικό Μέγεθος: $size bytes ($mbSize MB)"
Write-Host "Συνολικό Μέγεθος Αρχείου: $totalSize bytes ($mbTotalSize MB)"
Δεκαδικό Μέγεθος: 1939090 bytes (1.8492603302002 MB)
Συνολικό Μέγεθος Αρχείου: 1939098 bytes (1.84926795959473 MB)
```

Εικόνα 2-23 Απεικόνιση ανάλυσης και εξαγωγής πληροφοριών μεγέθους ηχητικού αρχείου της μορφής “wav” στο PowerShell-ISE

Στη συνέχεια όλες οι παραπάνω πληροφορίες θα συγκριθούν και θα επαληθευτούν με τις ανάλογες πληροφορίες που προκύπτουν από τις ιδιότητες των ηχητικών αρχείων για εξακρίβωση της εγκυρότητά τους.

Για την εξαγωγή όλων των παραπάνω πληροφοριών που αναλύθηκαν κατά την δεκαεξαδική ανάλυση της δομής και της κεφαλίδας του ηχητικού αρχείου της μορφής “.wav”, δημιουργείται η παρακάτω φόρμουλα κώδικα (2-12).

```
function ConvertTo-HexString {
    param(
        [byte[]]$bytes
    )
    $hexString = ""
    foreach ($byte in $bytes) {
        $hexString += "{0:X2}" -f $byte
    }
    return $hexString
}
function Display-WavFileInfo {
    param(
        [string]$wavFilePath
    )
    $fileBytes = Get-Content -Path $wavFilePath -Encoding Byte -
ReadCount 44 -TotalCount 44
    Write-Host "Header for $wavFilePath :"
    Write-Host "ChunkID: $(ConvertTo-HexString $fileBytes[0..3])"
    Write-Host "ChunkSize: 0x$(ConvertTo-HexString $fileBytes[4..7])" -
foregroundcolor "Green"
    Write-Host "Format: $(ConvertTo-HexString $fileBytes[8..11])" -
foregroundcolor "Green"
    Write-Host "Subchunk1 ID: $(ConvertTo-HexString $fileBytes[12..15])"
    Write-Host "Subchunk1 Size: 0x$(ConvertTo-HexString
$fileBytes[16..19])" -foregroundcolor "Green"
    Write-Host "Audio Format: 0x$(ConvertTo-HexString
$fileBytes[20..21])" -foregroundcolor "Green"
    Write-Host "Num Channels: 0x$(ConvertTo-HexString
$fileBytes[22..23])" -foregroundcolor "Green"
    Write-Host "Sample Rate: 0x$(ConvertTo-HexString
$fileBytes[24..27])" -foregroundcolor "Green"
    Write-Host "ByteRate: 0x$(ConvertTo-HexString $fileBytes[28..31])" -
foregroundcolor "Green"
    Write-Host "Block Align: 0x$(ConvertTo-HexString
$fileBytes[32..33])" -foregroundcolor "Green"
    Write-Host "Bits per sample: 0x$(ConvertTo-HexString
$fileBytes[34..35])" -foregroundcolor "Green"
    Write-Host "Subchunk2 Id: $(ConvertTo-HexString $fileBytes[36..39])"
    Write-Host "Subchunk2 size: 0x$(ConvertTo-HexString
$fileBytes[40..43])" -foregroundcolor "Green"
}
$wavFilePath = "C:\Users\user\Desktop\Matlab.codes\κώδικες
τεχνικές\pcm.wav"
Display-WavFileInfo -wavFilePath $wavFilePath
```

Κώδικας 2-12 Απεικόνιση εντολών εξαγωγής πληροφοριών στα πρώτα 44 Bytes από τη κεφαλίδα ηχητικού αρχείου της μορφής wav σε δεκαεξαδική ανάλυση ακατέργαστων δεδομένων

Στον παραπάνω κώδικα (2-12) γίνεται διάβασμα των πρώτων 44 bytes από το αρχείο μορφής “.wav”. Στη συνέχεια γίνεται εμφάνιση των πληροφοριών του header ως δεκαεξαδικών αριθμητικών δεδομένων. Έπειτα ορίζεται το όνομα του αρχείου και στη

συνέχεια εμφανίζονται οι πληροφορίες κεφαλίδας των 44 πρώτων Bytes του αρχείου. Παρακάτω εμφανίζονται στην εικόνα (2-24) τα αποτελέσματα της εφαρμογής του παραπάνω κώδικα (2-12) στην κονσόλα του PowerShell-ISE.

```
PS C:\Users\user> function ConvertTo-HexString {
    param(
        [byte[]]$bytes
    )

    $hexString = ""

    foreach ($byte in $bytes) {
        $hexString += "{0:X2}" -f $byte
    }

    return $hexString
}

function Display-WavFileInfo {
    param(
        [string]$wavFilePath
    )

    # Διάβασμα των πρώτων 44 bytes από το αρχείο WAV
    $fileBytes = Get-Content -Path $wavFilePath -Encoding Byte -ReadCount 44 -TotalCount 44

    # Εμφάνιση των πληροφοριών του header ως hexadecimal
    Write-Host "Header for $wavFilePath :"
    Write-Host "ChunkID: $(ConvertTo-HexString $fileBytes[0..3])"
    Write-Host "ChunkSize: 0x$(ConvertTo-HexString $fileBytes[4..7])" -foregroundcolor "Green"
    Write-Host "Format: $(ConvertTo-HexString $fileBytes[8..11])" -foregroundcolor "Green"
    Write-Host "Subchunk1 ID: $(ConvertTo-HexString $fileBytes[12..15])"
    Write-Host "Subchunk1 Size: 0x$(ConvertTo-HexString $fileBytes[16..19])" -foregroundcolor "Green"
    Write-Host "Audio Format: 0x$(ConvertTo-HexString $fileBytes[20..21])" -foregroundcolor "Green"
    Write-Host "Num Channels: 0x$(ConvertTo-HexString $fileBytes[22..23])" -foregroundcolor "Green"
    Write-Host "Sample Rate: 0x$(ConvertTo-HexString $fileBytes[24..27])" -foregroundcolor "Green"
    Write-Host "ByteRate: 0x$(ConvertTo-HexString $fileBytes[28..31])" -foregroundcolor "Green"
    Write-Host "Block Align: 0x$(ConvertTo-HexString $fileBytes[32..33])" -foregroundcolor "Green"
    Write-Host "Bits per sample: 0x$(ConvertTo-HexString $fileBytes[34..35])" -foregroundcolor "Green"
    Write-Host "Subchunk2 Id: $(ConvertTo-HexString $fileBytes[36..39])"
    Write-Host "Subchunk2 size: 0x$(ConvertTo-HexString $fileBytes[40..43])" -foregroundcolor "Green"
}

# Ορίστε το όνομα του αρχείου WAV
$wavFilePath = "C:\Users\user\Desktop\HEX HEADERS\Vocals.wav"

# Εμφάνιση των πληροφοριών του αρχείου WAV
Display-WavFileInfo -wavFilePath $wavFilePath

Header for C:\Users\user\Desktop\HEX HEADERS\Vocals.wav :
ChunkID: 52494646
ChunkSize: 0x92961D00
Format: 57415645
Subchunk1 ID: 666D7420
Subchunk1 Size: 0x10000000
Audio Format: 0x0100
Num Channels: 0x0100
Sample Rate: 0x44AC0000
ByteRate: 0x88580100
Block Align: 0x0200
Bits per sample: 0x1000
Subchunk2 Id: 64617461
Subchunk2 size: 0x6E961D00
```

Εικόνα 2-24 Απεικόνιση ανάλυσης παραδείγματος Hex Header και εξαγωγής πληροφοριών ηχητικού αρχείου της μορφής “wav” στο PowerShell-ISE

Όλες οι παραπάνω πληροφορίες μπορούν να διασταυρωθούν για επαλήθευση με τις αρχικές που εντοπίστηκαν κατά την αναζήτηση των ιδιοτήτων του αρχείου. Ο εντοπισμός διαφορών συνιστά λόγο για περαιτέρω διερεύνηση και υπόνοια για παραποίηση ή επεξεργασία του αρχείου ή και αντίστροφα η έγκυρη επαλήθευση τους, το κατά πόσο είναι ανέγγιχτο και μη τροποποιημένο το αρχείο προς εξέταση.

Παράδειγμα Ελέγχου “.wav” Αρχείου με Χρήση Δεκαεξαδικών Τιμών

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα αρχείο WAV και θέλουμε να ελέγξουμε τη δομή της κεφαλίδας του για να επιβεβαιώσουμε τις παραμέτρους του (μορφή, αριθμός καναλιών, Byte Rate κ.λπ.). Με την βοήθεια ανάλυσης δεκαεξαδικής προβολής κατασκευαστικής δομής του αρχείου, ούτως ώστε να διαβάσουμε τις δεκαεξαδικές τιμές στην κεφαλίδα του αρχείου, προκύπτει για τα δεδομένα κεφαλίδας:

52 49 46 46 36 10 0D 00 57 41 56 45 66 6D 74 20
10 00 00 00 01 00 02 00 44 AC 00 00 10 B1 02 00
04 00 10 00 ...

Βήματα Ελέγχου:

1. **Format Tag:** Hex Value = **01 00**.

Το **01 00** υποδεικνύει ότι το αρχείο χρησιμοποιεί PCM (Pulse Code Modulation),

2. **Channels:** Hex Value = **02 00**.

Το **02 00** σημαίνει ότι το αρχείο είναι στερεοφωνικό (2 κανάλια).

3. **Sample Rate:** Hex Value = **44 AC 00 00**.

Το **44 AC 00 00** σε Little Endian μορφή μεταφράζεται σε 44,100 Hz.

4. **Byte Rate:** Hex Value = **10 B1 02 00**.

Το **10 B1 02 00** μεταφράζεται σε 176,400 bytes/δευτερόλεπτο.

5. **Block Align:** Hex Value = **04 00**.

Το **04 00** σημαίνει ότι το Block Align είναι 4 bytes. Αυτό είναι σωστό για ένα στερεοφωνικό αρχείο με 16-bit, δηλαδή 2 bytes ανά κανάλι (2 κανάλια = 4 bytes).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το αρχείο φαίνεται να είναι σωστά διαμορφωμένο και σύμφωνα με τις αναμενόμενες προδιαγραφές για ένα τυπικό στερεοφωνικό αρχείο WAV 16-bit/44.1 kHz. Αν οι τιμές της κεφαλίδας, όπως το Byte Rate, το Block Align, και το Format Tag, δεν είναι συνεπείς με τις προδιαγραφές του αρχείου, τότε ενδέχεται το αρχείο να έχει τροποποιηθεί. Διάφορες ανωμαλίες ή ασυνέπειες στις τιμές της κεφαλίδας, όπως, αν το αρχείο είναι PCM αλλά το Byte Rate ή το Block Align δεν αντιστοιχούν στις προσδοκίες για αυτή τη μορφή, μπορεί να είναι σημάδι ότι το αρχείο έχει υποστεί μετατροπή ή επεξεργασία. Για παράδειγμα, με οπτική επιθεώρηση των δεδομένων της κεφαλίδας του παρακάτω αρχείου της μορφής “.wav” διαπιστώνονται σημεία παραποίησης.

Τα δεδομένα έχουν ως εξής:

52 49 46 46 36 10 0D 00 57 41 56 45 66 6D 74 20
10 00 00 00 01 00 02 00 44 AC 00 00 30 B1 02 00
08 00 10 00 ...

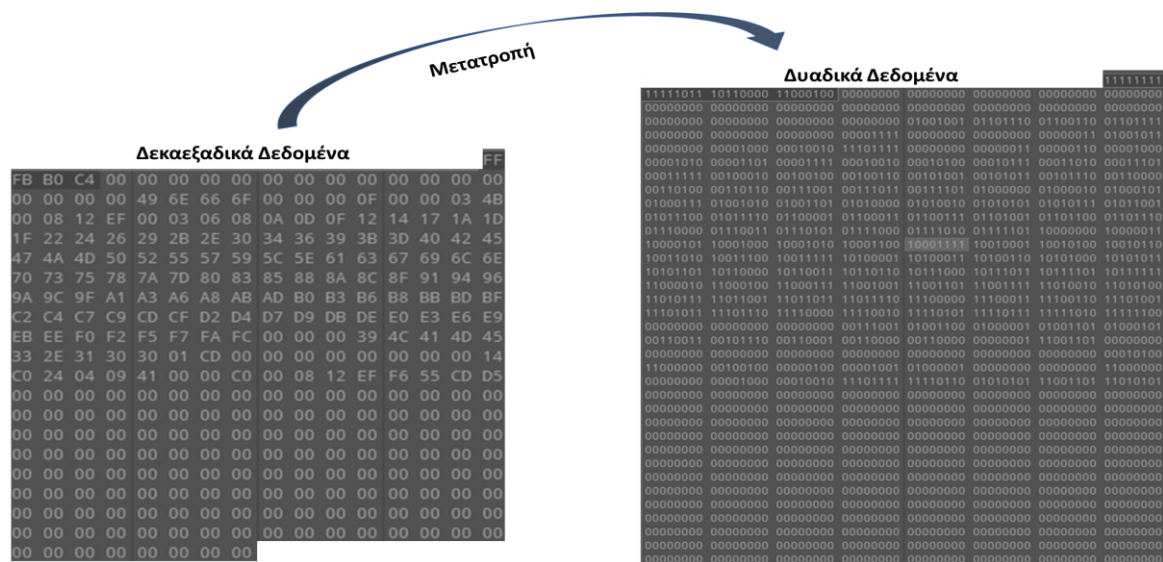
Βήματα Ελέγχου:

1. **Format Tag:** Hex Value = **01 00**.
Το **01 00** υποδεικνύει ότι το αρχείο χρησιμοποιεί PCM (Pulse Code Modulation).
2. **Channels:** Hex Value = **02 00**.
Συνεπάγεται ότι το αρχείο είναι στερεοφωνικό (2 κανάλια).
3. **Sample Rate:** Hex Value = **44 AC 00 00**, σε Little Endian μορφή μεταφράζεται σε 44,100 Hz.
4. **Byte Rate:** Hex Value = **30 B1 02 00**. Δηλαδή 212,000 bytes/δευτερόλεπτο. Αυτή η τιμή είναι ασυνήθιστη για ένα στερεοφωνικό αρχείο με ρυθμό δειγματοληψίας 44.1 kHz και βάθος 16-bit. Η αναμενόμενη τιμή θα έπρεπε να είναι 176,400 bytes/δευτερόλεπτο.
5. **Block Align:** Hex Value = **08 00**. Το Block Align είναι 8 bytes. Αυτό είναι αφύσικο για ένα στερεοφωνικό αρχείο με 16-bit βάθος, όπου το Block Align θα έπρεπε να είναι 4 bytes (2 bytes ανά κανάλι, 2 κανάλια).

Η τιμή των 212,000 bytes/δευτερόλεπτο για το Byte Rate που εντοπίζεται δεν είναι συμβατή με το στερεοφωνικό αρχείο 16-bit/44.1 kHz. Αυτό μπορεί να υποδηλώνει ότι το αρχείο έχει υποστεί επεξεργασία ή μετατροπή από άλλη μορφή ή ότι υπάρχει λάθος στην κωδικοποίηση. Από την άλλη το Block Align των 8 bytes είναι διπλάσιο από το αναμενόμενο για ένα τυπικό στερεοφωνικό αρχείο 16-bit. Αυτό θα μπορούσε να σημαίνει ότι το αρχείο έχει τροποποιηθεί ή ότι έχουν προστεθεί επιπλέον δεδομένα που δεν θα έπρεπε να υπάρχουν. Η ανάλυση των δεκαεξαδικών τιμών της κεφαλίδας δείχνει ασυνέπειες στα πεδία Byte Rate και Block Align. Αυτές οι ασυνέπειες υποδηλώνουν ότι το αρχείο “.wav” μπορεί να έχει παραποιηθεί ή να έχει υποστεί κάποια επεξεργασία που δεν είναι σύμφωνη με τις τυπικές προδιαγραφές που ερμηνεύονται βάση των χαρακτηριστικών του που εντοπίζονται. Τέτοιες “ανωμαλίες” είναι ισχυρή ένδειξη ότι το αρχείο δεν είναι αυθεντικό και πιθανόν να έχει αλλοιωθεί.

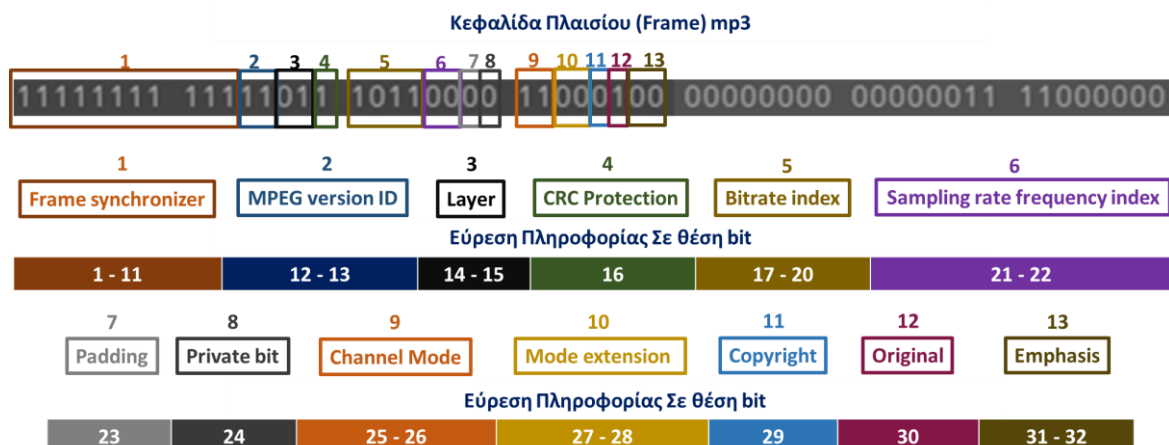
Διαδική Ανάλυση Πληροφοριών Κεφαλίδας Ηχητικού Αρχείου Μορφής mp3

Παρατηρώντας ένα τυχαίο αρχείο “.mp3” όταν ανοιχτεί σε έναν δεκαεξαδικό προβολέα να φέρει τα τρία πρώτα δεκαεξαδικά ψηφία σε αναπαράσταση δυαδικών “49 46 33”. Αυτό είδαμε ότι αποτελεί το “Header” του ηχητικού αρχείου “.mp3”. Εκείνο όμως που θα μας αποδώσει τις περισσότερες πληροφορίες των χαρακτηριστικών του αρχείου, είναι η ανάλυση των πλαισίων (frames) που φέρει το αρχείο με μετατροπή των δεκαεξαδικών δεδομένων που εμφανίζονται σε δυαδικό σύστημα, όπως στην παρακάτω εικόνα (2-25).



Εικόνα 2-25 Απεικόνιση μετατροπής δεκαεξαδικών δεδομένων σε δυαδικά

Στη συνέχεια ερμηνεύονται τα πρώτα 32 ψηφία “bits” που εμφανίζονται από την αρχή του πλαισίου στα δεδομένα του αρχείου. Στην παρακάτω εικόνα (2-26) απεικονίζεται η ανάλυση κεφαλίδας του πρώτου πλαισίου ηχητικού αρχείου “.mp3”.



Εικόνα 2-26 Απεικόνιση ανάλυσης δεδομένων πλαισίου του “mp3”

Χρήσιμες Πληροφορίες κατά την Δυναδική Ανάλυση Ηχητικών Αρχείων mp3

Στον παρακάτω πίνακα (2-7) απεικονίζονται δεδομένα από την παραπάνω εικόνα (2-26) ανάλυσης και εύρεσης των πληροφοριών που εντοπίζονται στο πλαίσιο (frame) του αρχείου της μορφής “.mp3”.

Θέση Εντοπισμού Στο “Frame”	Δομή Πλαισίου	Επεξήγηση
από 1 ^ο μέχρι 11 ^ο “bit”	“Frame synchronizer”	Χρησιμοποιείται για την εύρεση της αρχής του πλαισίου (frame)
από 12 ^ο μέχρι 13 ^ο “bit” Τιμές “bit”	“MPEG version ID”	Χρησιμοποιείται για την εύρεση έκδοσης του mp3 αρχείου
00 01 10 11	MPEG Version 2.5 reserved MPEG Version 2 MPEG Version 1 “Layer”	
από 14 ^ο μέχρι 15 ^ο “bit” Τιμές “bit”	“MPEG Layers ID”	Χρησιμοποιείται για την εύρεση επιπέδου συμπίεσης στο ηχητικό αρχείο
00 01 10 11	reserved Layer III Layer II Layer I	

Πίνακας 2-7 Επεξήγηση εξαγωγής πληροφοριών σε δυαδικά δεδομένα στην κεφαλίδα του ηχητικού αρχείου “mp3” για την έκδοση και το επίπεδο μη απωλεστικής συμπίεσης

Ο συγχρονισμός πλαισίου (Frame synchronizer) εντοπίζεται στα πρώτα 11 bits που χρησιμοποιούνται για τον συγχρονισμό του αποκωδικοποιητή στην δυναδική ανάλυση και εμφανίζεται ως 11 μονάδες κάθε φορά (Lin, Tseng & Smith, 2002). Αυτή η ένδειξη χρησιμοποιείται για να αναγνωριστεί η αρχή ενός πλαισίου (frame), σε δεκαεξαδική αναπαράσταση καθώς εντοπίζεται ως “FFF” (Boyarov & Siparov, 2019).

Στον παρακάτω πίνακα (2-8) απεικονίζεται η ερμηνεία εντοπισμού της συχνότητας δειγματοληψίας.

Θέση Εντοπισμού Στο “Frame”	Δομή Πλαισίου	Επεξήγηση
από 21 ^ο μέχρι 22 ^ο “bit”	“Sampling rate frequency index”	Χρησιμοποιείται για την εύρεση της συχνότητας δειγματοληψίας
Τιμές “bit”	Ερμηνεία	
	MPEG Version 1	MPEG Version 2 MPEG Version 2.5
00	44.100 Hz	22.050 Hz 11.025 Hz
01	48.000 Hz	24.000 Hz 12.000 Hz
10	32.000 Hz	16.000 Hz 8.000 Hz
11	reserved	reserved reserved

Πίνακας 2-8 Επεξήγηση εξαγωγής πληροφοριών σε δυαδικά δεδομένα στην κεφαλίδα πλαισίου (frame) του ηχητικού αρχείου “mp3” για την κατανόηση του δείκτη ρυθμού της συχνότητας

Στον παρακάτω πίνακα (2-9) αναφέρεται ο εντοπισμός αριθμού των καναλιών και η ερμηνεία της στερεοφωνικής λειτουργίας.

Θέση Εντοπισμού Στο “Frame”	Δομή Πλαισίου	Επεξήγηση	
από 25 ^ο μέχρι 26 ^ο “bit” Τιμές “bit”	“Channel Mode”	Αριθμός καναλιών αρχείου	
	Ερμηνεία		
00	Stereo	Στερεοφωνικό	
01	Joint Stereo	Ένα κοινό (μεσαίο) και ένα δεύτερο (πλευρικό) κανάλι	
10	Dual	Δύο ξεχωριστά κανάλια	
11	Mono	Μονοφωνικό	
από 27 ^ο μέχρι 28 ^ο “bit” Τιμές “bit”	“Mode Extension”		
	Intensity Stereo	MS\Stereo	Επεξήγηση
00	Off	Off	Χρησ/είται στη λειτουργία για το Joint Stereo
01	On	Off	
10	Off	Onn	
11	On	On	

Πίνακας 2-9 Επεξήγηση εξαγωγής πληροφοριών σε δυαδικά δεδομένα στην κεφαλίδα πλαισίου (frame) του ηχητικού αρχείου “mp3” για την κατανόηση του αριθμού καναλιών

Στον παρακάτω πίνακα (2-10) αναφέρεται η ερμηνεία του ρυθμού μετάδοσης ήχου (BitrateIndex).

Θέση Εντοπισμού Στο “Frame”	Δομή Πλαισίου				Επεξήγηση	
από 17 ^ο μέχρι 20 ^ο “bit”	“Bitrate Index”				Εύρεση ρυθμού μετάδοσης ήχου	
MPEG Version 1				MPEG Version 2		
Layers						
bits	III	II	I	I	II	III
0000	free (Ελεύθερο)					
0001	32	32	32	32	8	8
0010	40	48	64	48	16	16
0011	48	56	96	56	24	24
0100	56	64	128	64	32	32
0101	64	80	160	80	40	40
0110	80	96	192	96	48	48
0111	96	112	224	112	56	56
1000	112	128	256	128	64	64
1001	128	160	288	144	80	80
1010	160	192	320	160	96	96
1011	192	224	352	176	112	112
1100	224	256	384	192	128	128
1101	256	320	416	224	144	144
1110	320	384	448	256	160	160
1111	Η τιμή αυτή δεν επιτρέπεται (bad)					

Πίνακας 2-10 Επεξήγηση ερμηνείας του ρυθμού μετάδοσης ήχου (BitrateIndex) σε kbps

Στην συνέχεια ακολουθούν γενικότερες πληροφορίες στον πίνακα (2-11), για τα τελευταία “bit” στην δομή κατασκευής του ηχητικού αρχείου της μορφής “mp3”. Σημαντικό τερμ στοιχείο όλων από τις πληροφορίες που αφορούν τα τελευταία “bit”, αποτελούν η θέση των δεδομένων στην θέση “30” που αφορούν το “original bit”. Το εν λόγω “bit” δύναται να μας πληροφορήσει για το εάν αποτελεί το αρχείο που έχουμε στην διάθεση μας αντίγραφο του πηγαίου ηχητικού αρχείου. Κατά συνέπεια ο χειρισμός δημιουργίας αντιγράφου συνιστά ιδιαίτερη προσοχή και η γνωστοποίηση στον εξεταστή αποτελεί βασικό παράγοντα για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, για θέματα που σχετίζονται με την αυθεντικότητα του αρχείου προς εξέταση.

Θέση Εντοπισμού Στο "Frame"	Δομή Πλαισίου	Επεξήγηση
Στο 16 ^ο "bit" Τιμές "bit"	"CRC Protection"	Προστίθεται στην κεφαλίδα του πλαισίου για να εξασφαλίσει ότι τα δεδομένα στο πλαίσιο είναι ακεραία κατά την μετάδοση του ήχου
0	Προστατεύεται από CRC	
1	Δεν προστατεύεται από CRC	
Στο 23 ^ο "bit" Τιμές "bit"	"Padding"	Το "padding" χρησιμοποιείται για να προστεθούν επιπλέον bits σε ένα πλαίσιο (frame) ήχου προκειμένου να επιτευχθεί συγκεκριμένος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων
0	Το πλαίσιο (frame) είναι γεμάτο	
1	Το πλαίσιο (frame) δεν είναι γεμάτο	
Στο 24 ^ο "bit"	"Private bit"	
Δεν επηρεάζει την ποιότητα ή την απόδοση της αναπαραγωγής του ήχου. Αποτελεί ένα "bit" που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον κατασκευαστή του κωδικοποιητή για ειδικούς σκοπούς		
Στο 29 ^ο "bit" Τιμές "bit"	"Copyright bit"	
0	Δεν προστατεύεται από πνευματικά δικαιώματα	Αναφέρεται στο αν υπάρχουν πνευματικά δικαιώματα στο αρχείο
1	Προστατεύεται από πνευματικά δικαιώματα	
Στο 30 ^ο "bit" Τιμές "bit"	"Original bit"	
0	Αντίγραφο πρωτότυπου μέσου	Δηλώνει αν το περιεχόμενο είναι αρχικό ή αν αποτελεί αντιγραφή
1	Πρωτότυπο μέσο	
από 31 ^ο μέχρι 32 ^ο "bit" Τιμές "bit"	"Emphasis"	Διαδικασία που εφαρμόζεται σε ορισμένα ηχητικά σήματα κατά την κωδικοποίηση ή κατά τη μετάδοση, με σκοπό την ενίσχυση συγκεκριμένων συχνοτήτων
00	None	Δεν υπάρχει ενίσχυση
01	50/15	Υπάρχει ενίσχυση με λόγο 50/15
10	reserved	Αποθετήριο για μελλοντικές επεκτάσεις ή αλλαγές
11	CCIT J.17	Χρησ/ποιείται η εν λόγω ενίσχυση

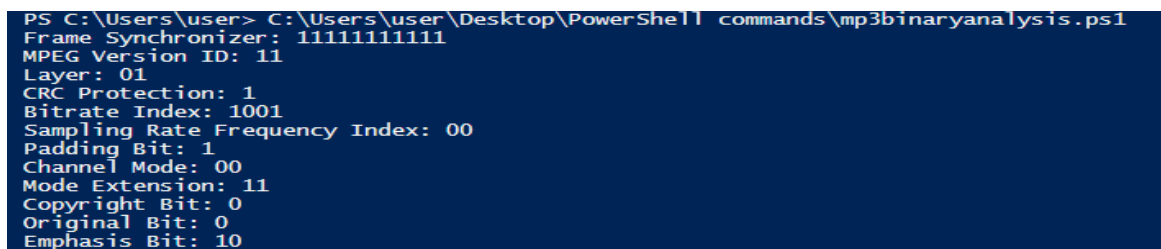
Πίνακας 2-11 Ανάλυση πληροφοριών που αφορούν διάφορα άλλα εντοπίσιμα bit στο πλαίσιο (frame) κεφαλίδας του ηχητικού αρχείου "mp3"

Ο παρακάτω κώδικας (2-13) δημιουργείται για άμεση ανάλυση και επαλήθευση εξαγωγής πληροφοριών που σχετίζονται με το περιεχόμενο κατασκευαστικής δομής του αρχείου mp3. Απλά εισάγοντας από το πλαίσιο (Frame) τα (4) πρώτα ψηφία π.χ. “FF FB 92 64” ενός τυχαίου αρχείου mp3 όπως εμφανίζονται κατά την αναπαράσταση δεκαεξαδικού προβολέα.

```
$hexHeader = "FFFB9264"
$binaryHeader = [convert]::ToString([convert]::ToInt32($hexHeader, 16),
2)
$frameSynchronizer = $binaryHeader.Substring(0, 11)
$mpegVersionID = $binaryHeader.Substring(11, 2)
$layer = $binaryHeader.Substring(13, 2)
$srcProtection = $binaryHeader.Substring(15, 1)
$bitrateIndex = $binaryHeader.Substring(16, 4)
$samplingRateFrequencyIndex = $binaryHeader.Substring(20, 2)
$paddingBit = $binaryHeader.Substring(22, 1)
$channelMode = $binaryHeader.Substring(23, 2)
$modeExtension = $binaryHeader.Substring(25, 2)
$copyrightBit = $binaryHeader.Substring(27, 1)
$originalBit = $binaryHeader.Substring(28, 1)
$emphasisBit = $binaryHeader.Substring(29, 2)
Write-Output "Frame Synchronizer: $frameSynchronizer"
Write-Output "MPEG Version ID: $mpegVersionID"
Write-Output "Layer: $layer"
Write-Output "CRC Protection: $srcProtection"
Write-Output "Bitrate Index: $bitrateIndex"
Write-Output "Sampling Rate Frequency Index:
$samplingRateFrequencyIndex"
Write-Output "Padding Bit: $paddingBit"
Write-Output "Channel Mode: $channelMode"
Write-Output "Mode Extension: $modeExtension"
Write-Output "Copyright Bit: $copyrightBit"
Write-Output "Original Bit: $originalBit"
Write-Output "Emphasis Bit: $emphasisBit"
```

Κώδικας 2-13 Εξαγωγής πληροφοριών από την κεφαλίδα πλαισίου σε ηχητικό αρχείο mp3

Στον παραπάνω κώδικα (2-13) ορίζουμε τη δεκαεξαδική αρχή της κεφαλίδας του πλαισίου από το αρχείο που εντοπίζουμε, έπειτα γίνεται μετατροπή από τα δεκαεξαδικά δεδομένα σε δυαδική μορφή. Στην συνέχεια εμφανίζουμε τα ανάλογα bits για κάθε αντίστοιχη πληροφορία και εμφανίζονται τα αποτελέσματα, όπως ακριβώς αναλύθηκαν προηγουμένως. Στην παρακάτω εικόνα (2-27) απεικονίζεται ένα παράδειγμα αποτελέσματος εφαρμογής του παραπάνω κώδικα (2-13).



```
PS C:\Users\user> C:\Users\user\Desktop\PowerShell_commands\mp3binaryanalysis.ps1
Frame Synchronizer: 111111111111
MPEG Version ID: 11
Layer: 01
CRC Protection: 1
Bitrate Index: 1001
Sampling Rate Frequency Index: 00
Padding Bit: 1
Channel Mode: 00
Mode Extension: 11
Copyright Bit: 0
Original Bit: 0
Emphasis Bit: 10
```

Εικόνα 2-27 Απεικόνιση αποτελεσμάτων εφαρμογής του κώδικα (2-13) για αρχεία mp3

Παράδειγμα εντοπισμού παραποιημένου “.mp3” αρχείου μέσω δυαδικής ανάλυσης

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα MP3 αρχείο που υποψιαζόμαστε ότι έχει παραποιηθεί. Θα χρησιμοποιήσουμε δυαδική ανάλυση για να εξετάσουμε τη δομή του αρχείου και να εντοπίσουμε τυχόν ανωμαλίες. Εντοπίζουμε ότι στα δεδομένα, μεταξύ πρώτου και δεύτερου “.mp3” Frame εμφανίζονται αναντιστοιχίες, κατά την ανάλυση στον πίνακα (2-12).

Frame 1	Frame 2
Hex (FF FB 90 64)	Hex (FF FA 90 64)
Binary	
11111111 1111101 1 10010000 01100100	11111111 1111101 0 10010000 01100100
Ανάλυση	
Sync Word (11 bits): 11111111111	Sync Word (11 bits): 11111111111
Version ID (2 bits): 11	Version ID (2 bits): 11
Layer (2 bits): 01	Layer (2 bits): 01
Protection Bit (1 bit): 1	Protection Bit (1 bit): 0
Bitrate Index (4 bits): 1001 (128 kbps)	Bitrate Index (4 bits): 1001 (128 kbps)
Sample Rate Index (2 bits): 00 (44.1 kHz)	Sample Rate Index (2 bits): 00 (44.1 kHz)
Padding Bit (1 bit): 0	Padding Bit (1 bit): 0
Private Bit (1 bit): 0	Private Bit (1 bit): 0
Channel Mode (2 bits): 01 (Stereo)	Channel Mode (2 bits): 01 (Stereo)
Mode Extension (2 bits): Δεν εφαρμόζεται, το Channel Mode είναι Stereo	
Rest of the frame: 100100	Rest of the frame: 100100
Διαφορές Protection Bit	
Frame 1: 1 (CRC protection enabled)	Frame 2: 0 (CRC protection disabled)

Πίνακας 2-12 Απεικόνιση παραδείγματος εντοπισμού παραποιημένου “.mp3” αρχείου μέσω δυαδικής ανάλυσης

Η παρουσία και απουσία CRC προστασίας σε διαδοχικά frames μέσα στο ίδιο “.mp3” αρχείο είναι ασυνήθιστη και μπορεί να υποδηλώνει ότι το αρχείο έχει υποστεί επεξεργασία ή αλλοίωση. Σε κανονικές συνθήκες, όλα τα frames σε ένα “.mp3” αρχείο θα πρέπει να έχουν συνεπή εφαρμογή της προστασίας CRC. Δηλαδή, είτε όλα τα frames να έχουν ενεργοποιημένη την προστασία CRC είτε κανένα. Αυτή η αντίφαση μπορεί να είναι ένδειξη ότι το αρχείο έχει παραποιηθεί ή ότι υπήρξε κάποιο πρόβλημα κατά την κωδικοποίηση ή αλλιώς μετατροπή του αρχείου. Ενδεχομένως, κάποια frames να έχουν αλλοιωθεί ή αντικατασταθεί, γεγονός που θα μπορούσε να προκαλέσει ασυνέπειες όπως αυτή που παρατηρούμε στο παραπάνω παράδειγμα (πίνακας 2-12). Για να διαπιστωθεί η έκταση της πιθανής παραποίησης που ενδέχεται να έχει υποστεί το αρχείο, θα ήταν χρήσιμο να γίνει ανάλυση και άλλων frames στο αρχείο και να συγκριθεί με ένα πρωτότυπο ή γνωστό καλό αντίγραφο, αν αυτό φυσικά υπάρχει στην κατοχή του εξεταστή. Εάν τώρα το αρχείο “.mp3” δεν είναι CBR, τότε πρώτα αναζητάμε την κεφαλίδα VBR, είτε XING είτε VBRI στα

δεδομένα κατασκευής του αρχείου, η οποία βρίσκεται συνήθως στο πρώτο frame του αρχείου. Για να βρεθεί μία από τις υπογραφές κεφαλίδας (XING (58 49 4E 47) ή VBRI (56 42 52 49) συνήθως εντοπίζεται στα πρώτα bytes του αρχείου), μπορεί να επιτευχθεί διατρέχοντας τα bytes με οπτική επιθεώρηση, με την βοήθεια ενός δεκαεξαδικού προβολέα ή με την βοήθεια του κώδικα (1-2). Αν δεν βρεθεί κεφαλίδα VBR, τότε χρησιμοποιείται το bitrate που βρίσκεται στο πρώτο frame και πιθανόν το αρχείο να είναι της μορφής CBR.

```
function Get-MP3Duration {
    param (
        [string]$filePath
    )
    $wmPlayer = New-Object -ComObject WMPlayer.OCX
    $media = $wmPlayer.newMedia($filePath)
    $duration = $media.duration
    return $duration
}
function Parse-VBRIHeader {
    param (
        [string]$hexString,
        [double]$duration
    )
    $byteArray = -split $hexString -replace ' ', ''
    $vbriIndex = $byteArray.IndexOf('56')

    if ($vbriIndex -ne -1) {
        Write-Host "VBRI header found at byte position $vbriIndex"
        if ($byteArray.Length -ge ($vbriIndex + 18)) {
            $bytes = [convert]::ToInt32("$($byteArray[$vbriIndex + 10])$($byteArray[$vbriIndex + 11])$($byteArray[$vbriIndex + 12])$($byteArray[$vbriIndex + 13])", 16)
            Write-Host "Total File Size (Bytes): $bytes"
            $frames = [convert]::ToInt32("$($byteArray[$vbriIndex + 14])$($byteArray[$vbriIndex + 15])$($byteArray[$vbriIndex + 16])$($byteArray[$vbriIndex + 17])", 16)
            Write-Host "Number of Frames: $frames"
            $samplesPerFrame = 1152
            Write-Host "Sound Samples Per Frame: $samplesPerFrame"
            if ($duration -gt 0) {
                $averageBitrate = ($bytes * 8) / ($duration * 1000)
                Write-Host "Bitrate: $([math]::Round($averageBitrate, 2)) kbps"
                Write-Host "Bitrate (Rounded): $([math]::Round($averageBitrate, 0)) kbps"
            } else {
                Write-Host "Failed to calculate bitrate: Duration is 0 seconds."
            }
        } else {
            Write-Host "Not enough data to parse the VBRI header fully."
        }
    } else {
        Write-Host "VBRI header not found."
    }
}
$filePath = "Path\.mp3"
$duration = Get-MP3Duration -filePath $filePath
Write-Host "Detected Duration: $duration seconds"
$bytes = [System.IO.File]::ReadAllBytes($filePath)[0..199]
$hexString = ($bytes | ForEach-Object { $_.ToString("X2") }) -join " "
Parse-VBRIHeader -hexString $hexString -duration $duration
```

Κώδικας 2-14 Ανάλυσης “.mp3” αρχείου με μεταβλητό bitrate & εξαγωγής πληροφοριών

Ο κώδικας (2-14) εντοπίζει την κεφαλίδα VBRI και υπολογίζει το μέσο bitrate του αρχείου, με την βοήθεια του Windows Media Player COM object για την ακριβή ανάκτηση χρονικής διάρκειας του αρχείου σε δευτερόλεπτα. Στη συνέχεια, διαβάζει τα πρώτα 200 byte του αρχείου για να βρει την κεφαλίδα VBRI, εξάγοντας πληροφορίες όπως το συνολικό μέγεθος του αρχείου και τον αριθμό των frames. Με βάση αυτά τα δεδομένα και τη διάρκεια, υπολογίζεται το μέσο bitrate ως ακριβή τιμή, αλλά και στρογγυλοποιημένο στον πλησιέστερο ακέραιο. Τα αποτελέσματα χρήσης του παραπάνω κώδικα (2-14) απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα (2-13) για ηχητικό “.mp3” με VBRI κεφαλίδα.

<i>Τεχνικές Πληροφορίες</i>	<i>Τιμές</i>
<i>Detected Duration (seconds)</i>	<i>1.126</i>
<i>VBRI header found at byte position</i>	<i>36</i>
<i>Total File Size (Bytes)</i>	<i>3924</i>
<i>Number of Frames</i>	<i>32</i>
<i>Sound Samples Per Frame</i>	<i>1152</i>
<i>Bitrate</i>	<i>27.88 kbps</i>
<i>Bitrate (Rounded)</i>	<i>28 kbps</i>

Πίνακας 2-13 Απεικόνιση τεχνικών πληροφοριών ηχητικού αρχείου μεταβλητού bitrate με εφαρμογή του κώδικα (2-14)

Παρακάτω το ηχητικό αρχείο της μορφής “.mp3” με VBRI Header και με τα χαρακτηριστικά που απεικονίζονται στον πίνακα (2-14) και οι αντίστοιχες τιμές αποδεικνύουν ότι πρόκειται για παραποιημένο αρχείο.

<i>Property</i>	<i>Value</i>
<i>Detected Duration (seconds)</i>	<i>1,152</i>
<i>Bitrate (kbps)</i>	<i>27</i>
<i>Sample Rate (Hz)</i>	<i>16000</i>
<i>Layer</i>	<i>3</i>
<i>MPEG Version</i>	<i>MPEG-2</i>
<i>Number of Frames from VBRI header</i>	<i>32</i>
<i>Calculated Number of Frames</i>	<i>16</i>
<i>Frame Length (bytes)</i>	<i>243</i>
<i>Theoretical Frame Length (bytes)</i>	<i>576</i>
<i>Difference in Frame Length (bytes)</i>	<i>-333</i>
<i>Difference in Frame Count</i>	<i>16</i>

Πίνακας 2-14 Απεικόνιση παραδείγματος παραποιημένου αρχείου “.mp3 VBRI Header” που προκύπτει από τις ιδιότητες του αρχείου και την αντίστοιχη τιμή αναφοράς

Όλες οι παραπάνω εξαγόμενες πληροφορίες στον πίνακα (2-14) του αρχείου επιτεύχθηκαν με την δημιουργία κώδικα που βρίσκεται στο παράρτημα (IE) και με την χρήση των πληροφοριών του πίνακα (1-7) και των τύπων (10, 11, 12 & 13). Το συγκεκριμένο αρχείο

στον πίνακα (2-14) φαίνεται να έχει υποστεί επεξεργασία ή να έχει κωδικοποιηθεί με ασυνήθιστο τρόπο. Η χαμηλή ποιότητα ήχου (χαμηλό bitrate και sample rate), οι διαφορές στο μήκος και τον αριθμό των καρέ, καθώς και η ασυμφωνία μεταξύ του πραγματικού και του θεωρητικού μήκους καρέ, δείχνουν ότι το αρχείο μπορεί να μην είναι αυθεντικό ή να έχει υποστεί αλλοιώσεις. Αυτά τα ευρήματα θα μπορούσαν να είναι κρίσιμα σε μια εγκληματολογική έρευνα, υποδηλώνοντας ότι το αρχείο ενδέχεται να έχει τροποποιηθεί ή να μην είναι αξιόπιστο ως αυθεντικό. Αναλυτικότερα, υπάρχει μια διαφορά στον αριθμό των καρέ της τάξης των 32 καρέ, όπου αναφέρονται και εντοπίζονται στην κεφαλίδα VBRI. Από την άλλη ο υπολογισμένος αριθμός καρέ βάση τύπων (12 & 13), σύμφωνα με τα πρότυπα MPEG και τεχνικών χαρακτηριστικών που προκύπτει από τις ιδιότητες του αρχείου είναι μόνο 16.

Αυτή η ασυμφωνία μπορεί να υποδηλώνει ότι το αρχείο έχει επεξεργαστεί ή αλλοιωθεί, ή μπορεί να υποδεικνύει κάποιο πρόβλημα κατά την κωδικοποίηση. Το πραγματικό μήκος του καρέ είναι 243 bytes, ενώ το θεωρητικό μήκος καρέ, σύμφωνα με τα πρότυπα MPEG και Layer III, θα έπρεπε να είναι 576 bytes (Πίνακας 1-7). Η διαφορά των -333 bytes είναι σημαντική και δείχνει ότι το αρχείο δεν συμμορφώνεται με τα αναμενόμενα πρότυπα. Αυτό θα μπορούσε να υποδηλώνει χρήση ειδικών τεχνικών συμπίεσης ή αλλοίωσης του αρχείου. Στον παρακάτω πίνακα (2-15) απεικονίζεται ένα παράδειγμα αυθεντικού “.mp3 με VBRI Header” ηχητικού αρχείου που πληροί τις προϋποθέσεις βάση χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του αρχείου και προτύπου.

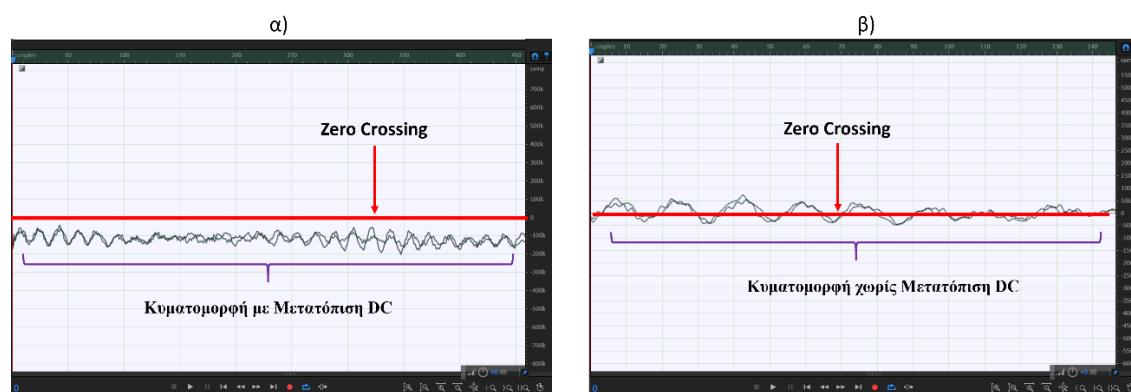
<i>Property</i>	<i>Value</i>
<i>Detected Duration (seconds)</i>	<i>2</i>
<i>Bitrate (kbps)</i>	<i>64</i>
<i>Sample Rate (Hz)</i>	<i>22050</i>
<i>Layer</i>	<i>3</i>
<i>MPEG Version</i>	<i>MPEG-2</i>
<i>Number of Frames from VBRI header</i>	<i>77</i>
<i>Calculated Number of Frames</i>	<i>77</i>
<i>Frame Length (bytes)</i>	<i>418</i>
<i>Theoretical Frame Length (bytes)</i>	<i>418</i>
<i>Difference in Frame Length (bytes)</i>	<i>0</i>
<i>Difference in Frame Count</i>	<i>0</i>

Πίνακας 2-15 Απεικόνιση παραδείγματος μη παραποιημένου αρχείου “.mp3 με VBRI Header” που προκύπτει από τις ιδιότητες του αρχείου και την αντίστοιχη τιμή αναφοράς

Οι μικροδιαφορές ανάμεσα σε πραγματικές και θεωρητικά υπολογισμένες βάση προτύπων τιμές, δεν θα πρέπει να θεωρούνται ανησυχητικές, εν αντίθεση με μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των τιμών και προτύπων οι οποίες και θα πρέπει να εξετάζονται πιο εξονυχιστικά.

2.5.7 Έλεγχος Μετατόπισης Συνεχούς Ρεύματος (DC - Direct Current Offset)

Η μετατόπιση του μέσου συνεχούς ρεύματος (DC - Direct Current Offset) δημιουργείται όταν ένα ή περισσότερα στοιχεία που λαμβάνουν μέρος σε ένα σύστημα ηχογράφησης, όπως μικρόφωνα, προενισχυτές μικροφώνου, διασυνδέσεις ή ακόμα και το ίδιο το κύκλωμα της εγγραφής, προσθέτουν τάσεις συνεχούς ρεύματος DC στο ηχητικό σήμα που ηχογραφείται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εμφανίζεται η κυματομορφή εκτός άξονα στη μέση της γραμμής κατά την αναπαράσταση του σήματος ως προς τον άξονα x, όπως απεικονίζεται και στη παρακάτω εικόνα (2-28), όπου διαπιστώνεται ακραία μετατόπιση DC.

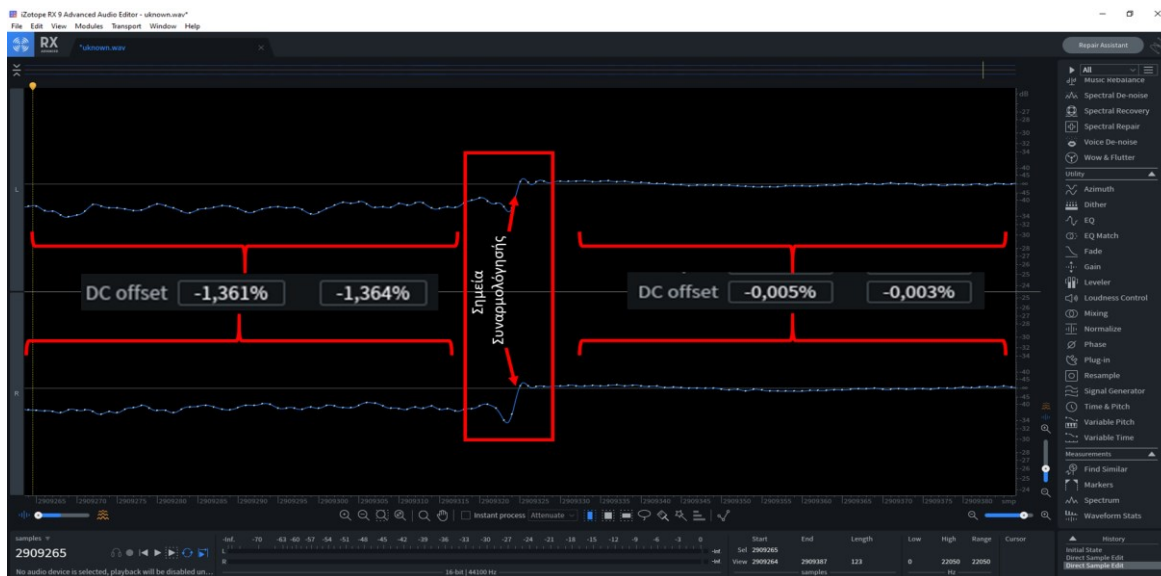


Εικόνα 2-28 Μεγεθυμένη Κυματομορφή με α) μετατόπιση και β) χωρίς μετατόπιση DC (Direct Current Offset)

Κατά τη προσθήκη του ρεύματος DC, μπορούν να προστεθούν και επίπεδα θορύβου και παραμόρφωση χαμηλού επιπέδου που δεν γίνονται όμως άμεσα αντιληπτά κατά την διαδικασία της ακρόασης. Η μέτρηση πραγματοποιείται συνολικά σε όλο το μήκος της καταγραφής για να παρέχει μια μέση τιμή ολόκληρης της εγγραφής σε ποσοστά επί τοις %.

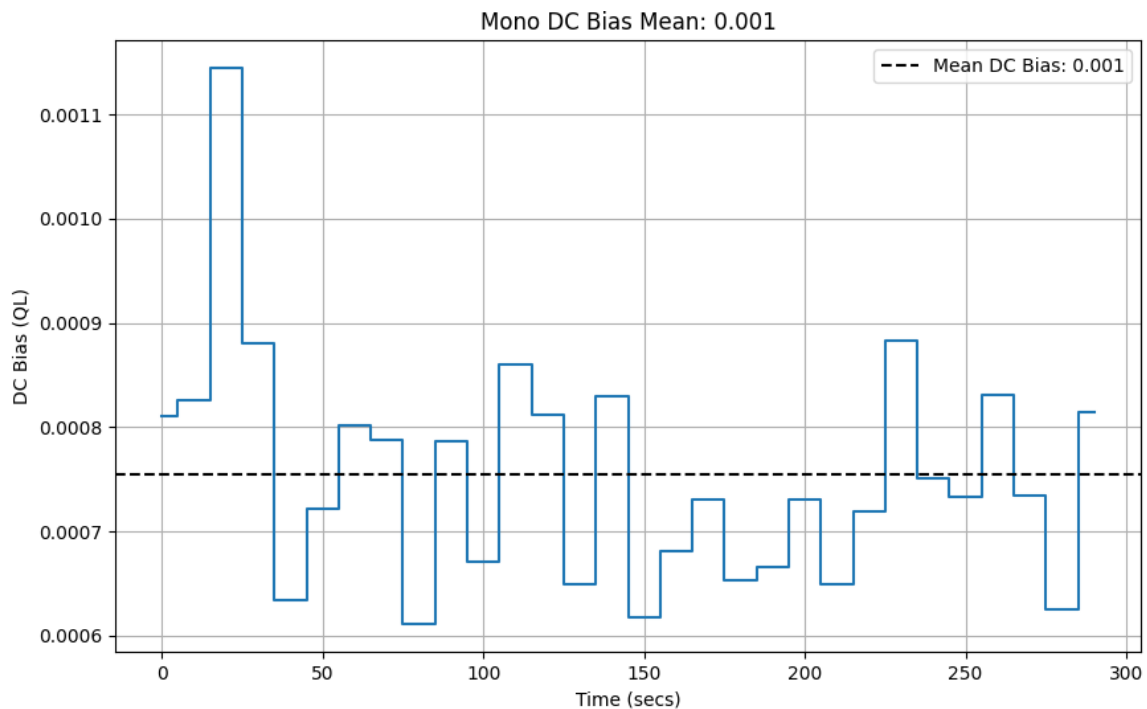
Μπορεί φυσικά να πραγματώνεται και σε διάφορα συγκεκριμένα τμήματα - δείγματα, για πιο ενδελεχή έλεγχο, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν σχετικές υπόνοιες συναρμολόγησης, παρέχοντας κατά αυτό τον τρόπο ένα διάνυσμα των τιμών του ρεύματος DC, όπως απεικονίζεται και στη παρακάτω εικόνα (2-29). Η συνολική μέση μετατόπιση DC από μόνη της δεν αποτελεί αρκετή πληροφορία, ως ένδειξη παραποίησης, πλην όμως αποδίδει σημεία υπόνοιας που χρήζουν περαιτέρω εξέτασης. Πρέπει να δίνεται προσοχή κατά τις μετρήσεις DC που γίνονται στα δεδομένα, κυρίως στα σημεία του σήματος που διαπιστώνεται ή υπάρχει υπόνοια ότι αποτελούν περικομμένα σημεία ή σημεία εφαρμογής σιγής, είτε συναρμολόγησης μέρους από έτερη ηχογράφιση κ.ά. Οι μεγάλες διαφορές στα επίπεδα DC αφήνουν ενδείξεις για σημεία παραποίησης, όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα

(2-29) που εντοπίζεται η διαφορά αυτή να μην δικαιολογεί την μεγάλη αυτή απόκλιση τιμών μεταξύ των σημείων σε μία ενιαία ηχογράφιση, ξαφνικά, που τελείται από το ίδιο μέσο.



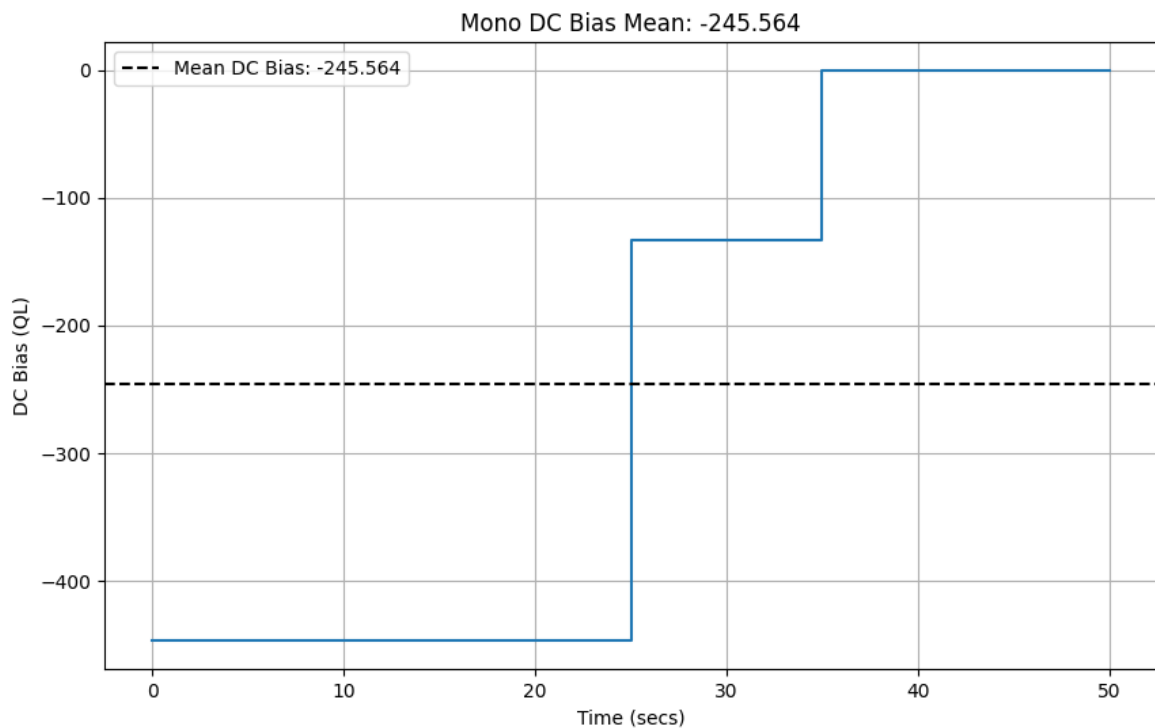
Εικόνα 2-29 Μεγεθυμένη Κυματομορφή με αναγραφή διαφορών μεταξύ τιμών μετατόπισης DC-Offset (Direct Current Offset) και εντοπισμός σημείου συναρμολόγησης στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX – Izotope

Γενικότερα, η συγκεκριμένη μέθοδος θεωρείται χρήσιμη για τον αποκλεισμό της πιθανότητας ότι το πειστήριο καταγράφηκε με την υποτιθέμενη συσκευή, με την προϋπόθεση φυσικά ότι η συσκευή είναι διαθέσιμη για πειραματισμό εγγράφων (Fuller, 2013). Δηλαδή, εάν υπάρχουν στην κατοχή του ερευνητή πολλά ηχητικά αρχεία και αναζητείται γνώμη για το εάν όλα προέρχονται από την ίδια συσκευή καταγραφής, συγκρίνοντας τις μετατοπίσεις κάθε ηχητικού αρχείου προς διερεύνηση μεταξύ τους, μπορεί να δοθεί σχετική απάντηση. Επιπλέον, η ανάλυση DC θα πρέπει να τυγχάνει εφαρμογής μόνο σε εγγραφές διάρκειας άνω του 1 λεπτού. Έρευνες έχουν δείξει ότι όσο μεγαλύτερη η διάρκεια της εγγραφής, τόσο πιο αξιόπιστα θα είναι και τα παραγόμενα αποτελέσματα, καθώς ο μέσος όρος υπολογίζεται από λιγότερα δείγματα. Επιπλέον, η χαμηλή ποιότητα συμπίεσης με απώλειες στο αρχείο που εξετάζεται φέρει και μεγαλύτερες επιπτώσεις στον αντίκτυπο DC της εγγραφής. Αυτό θα πρέπει, επομένως, να λαμβάνεται υπόψη κατά την εξαγωγή συμπερασμάτων. Δεδομένου ότι ολόκληρο το σήμα εισόδου θα υποβληθεί σε επεξεργασία χρησιμοποιώντας τα ίδια «ηλεκτρονικά» που φέρει η συσκευή καταγραφής, αναμένεται ότι θα υπάρξει μικρή διαφορά στις διακυμάνσεις των τιμών DC μεταξύ του συνόλου των περιοχών σε μία εγγραφή (SWGDE, 2018) (βλ. παράδειγμα εικ-2-30 που η εγγραφή υλοποιείται με την χρήση του ίδιου μέσου καθ' όλη την διάρκεια).



Εικόνα 2-30 Απεικόνιση εγγραφής που έχει υλοποιηθεί από το ίδιο μέσο. Δημιουργία εικόνας από κώδικα παραρτήματος ΙΑ

Με τον διαχωρισμό του σήματος στην ηχογράφηση σε πλαίσια και αντίστοιχα τον υπολογισμό DC που προκύπτει ανά πλαίσιο, όπως απεικονίζεται και στην παραπάνω εικόνα (2-30) μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με το εάν ολόκληρη η εγγραφή καταγράφηκε χρησιμοποιώντας την ίδια συσκευή. Η διακεκομμένη μαύρη γραμμή στην παραπάνω εικόνα (2-30) δείχνει τη μέση τιμή της DC, η οποία είναι περίπου 0.001 QL. Αυτή η τιμή είναι και σημειωμένη στην επικεφαλίδα του διαγράμματος ως "Mono DC Bias Mean: 0.001". Παρατηρείτε ότι η τιμή του DC Bias κυμαίνεται γύρω από τη μέση τιμή με μικρές διακυμάνσεις σε όλη την διάρκεια της εγγραφής. Αντίστοιχα στην παρακάτω εικόνα (2-31) παρατηρείται ηχογράφηση που μέρος από αυτήν τελέστηκε με διαφορετική συσκευή και αναδεικνύεται το αποτέλεσμα συρραφής (μέρος από έτερη εγγραφή). Η μπλε γραμμή στην παρακάτω εικόνα (2-31) απεικονίζει την διακύμανση DC του ηχητικού σήματος σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα (πλαίσια). Παρατηρείτε ότι, η τιμή του DC Bias έχει μεγάλες διακυμάνσεις και αλλάζει δραστικά σε ορισμένα χρονικά σημεία. Η διακεκομμένη μαύρη γραμμή δείχνει τη μέση τιμή DC, η οποία είναι περίπου -245.564 QL. Αυτή η τιμή είναι και σημειωμένη στην επικεφαλίδα του διαγράμματος ως "Mono DC Bias Mean: -245.564". Οι απότομες αλλαγές υποδηλώνουν διαφορετικές φάσεις ή αλλαγές στην πηγή του σήματος, κάτι που μπορεί να είναι σημαντικό για την ανάλυση και τον εντοπισμό ασυνεχειών στην ηχογράφηση.



Εικόνα 2-31 Απεικόνιση εγγραφής που δεν έχει υλοποιηθεί από το ίδιο μέσο & αποτελεί δημιουργήμα συρραφής. Δημιουργία εικόνας από κώδικα παραρτήματος ΙΑ

Επομένως, κατά τη διάρκεια της ανάλυσης μετατόπισης DC, θα πρέπει να απαντηθούν διάφορα ερωτήματα ως προς την συνέπεια της αμφισβητούμενης εγγραφής, για:

1. Όλη την διάρκεια της αμφισβητούμενη εγγραφής
2. Μεταξύ μιας γνωστής και της αμφισβητούμενης εγγραφής
3. Μεταξύ των καναλιών της αμφισβητούμενης εγγραφής σε σχέση με μια γνωστή εγγραφή

Όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (2-32) με την βοήθεια στατιστικής ανάλυσης της κυματομορφής, μέσω του λογισμικού RX - Izotope επεξεργασίας ήχου, μπορεί να εξαχθεί το ποσοστό DC - Offset της συνολικής διάρκειας του αρχείου ανά κανάλι (στερεοφωνικό ή μονοφωνικό).



Εικόνα 2-32 Απεικόνιση ποσοστού DC - Offset κατά μήκος της συνολικής διάρκειας του αρχείου ανά κανάλι στο λογισμικό RX-Izotope

Στην παραπάνω εικόνα (2-32) εκ πρώτης όψεως παρατηρείται συνέπεια κατά μήκος της ηχογράφησης του αρχείου και μεταξύ των καναλιών. Φυσικά αρκετά μεγάλες αποκλίσεις των τιμών μετατόπισης μπορούν να εντοπιστούν ανά δείγμα, όπως προαναφέραμε, μέσω λογισμικών επεξεργασίας ήχου, όπως και στην παραπάνω εικόνα (2-32). Εάν υπάρχουν περιοχές/δείγματα στο ηχητικό αρχείο με ξαφνική μετατόπιση στα επίπεδα DC, αυτό αποτελεί μερικές φορές και ένδειξη αλλαγών κέρδους και πιθανώς επεξεργασίας.

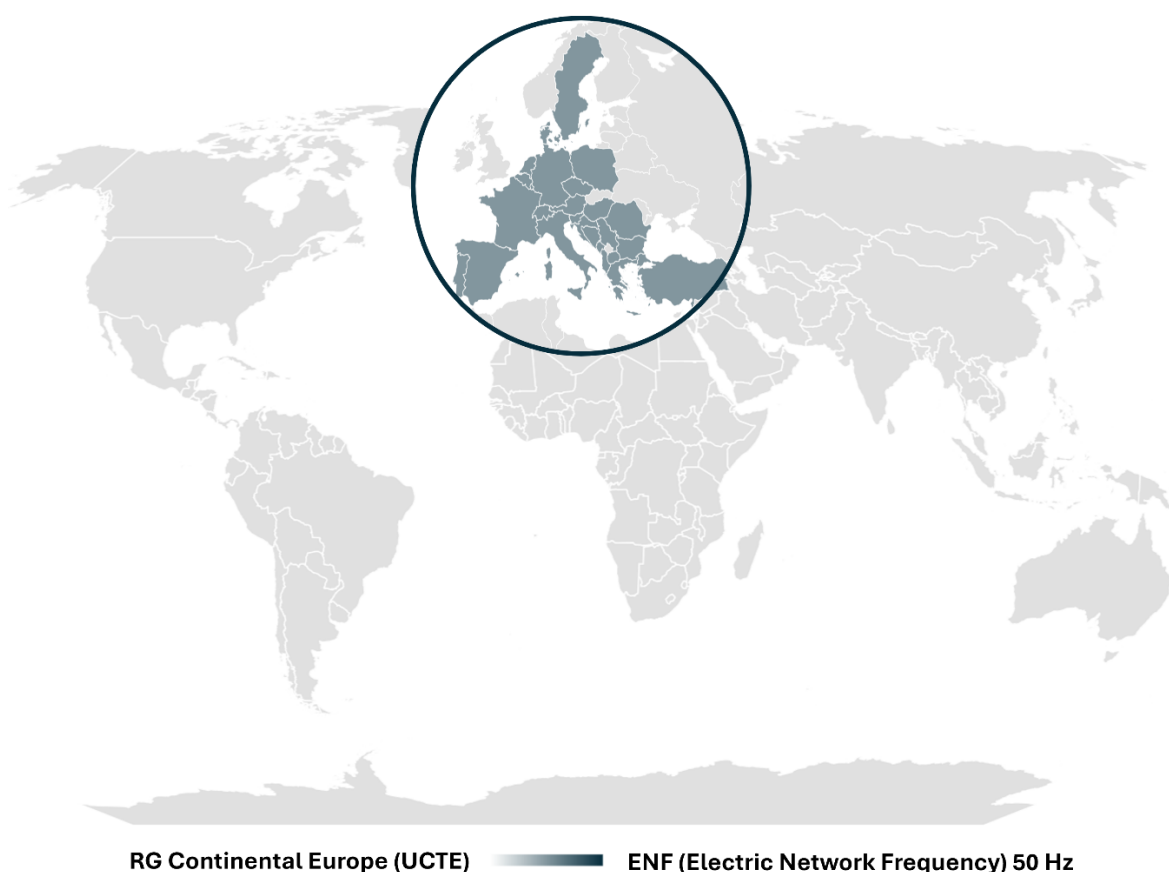
Πειραματικά, εάν βρίσκεται στην κατοχή του ερευνητή/εξεταστή το μέσο καταγραφής, τότε θα πρέπει να γίνονται υποδειγματικές εγγραφές με όλες τις προσφερόμενες ρυθμίσεις της συσκευής. Φυσικά είναι πάρα πολύ δύσκολο να επιτευχθούν οι ίδιες ρυθμίσεις, περιβάλλοντος και τα ίδια ή παρόμοια χαρακτηριστικά καναλιού μετάδοσης, μικρόφωνο κ.ά., ώστε να αποδώσει η πειραματική αυτή διαδικασία όσο το δυνατόν πιο πιστά και παρόμοια αποδεικτικά στοιχεία σε σχέση με τα εξεταζόμενα. Με αυτό τον τρόπο όμως, μπορεί να διαπιστωθεί εάν η καταγραφή προς εξέταση, αποτελεί προϊόν παραποίησης ή επεξεργασίας, ή αν τα δεδομένα που προκύπτουν εντάσσονται στη λογική αντίδρασης του μέσου που χρησιμοποιήθηκε και του τρόπου λειτουργίας του. Ακόμα και εάν εντοπίζονται να υπάρχουν αλλαγές στην ενίσχυση κατά μήκος της διάρκειας του αρχείου.

Επιπλέον, πρέπει να επισημανθεί ότι κάποιοι αλγόριθμοι απωλεστικής συμπίεσης μπορούν να εισάγουν τμήματα μηδενικού DC. Οι περιοχές αυτές ή αλλιώς δείγματα/τμήματα του αρχείου εντοπίζονται σε σημεία με χαμηλό θόρυβο φόντου και όπου δεν υπάρχει ομιλία στην ηχογράφηση. Στην πραγματικότητα, μια αυθεντική ηχογράφηση που δεν έχει υποστεί επεξεργασία θα παρουσιάζει μια ελαφρά θετική ή αρνητική τιμή ποσοστού για DC - Offset. Σε γενικές γραμμές δεν μπορεί να υπάρξει ιδανική εγγραφή χωρίς έστω και μία ελαφρά μετατόπιση DC.

Εάν υποθέσουμε λοιπόν, ότι υπήρχε ένα ιδανικό περιβάλλον ηχογράφησης, ο μέσος όρος όλων των δειγμάτων θα ήταν μηδενικός, καθώς οι τιμές θετικού και αρνητικού πλάτους μεταξύ των δειγμάτων θα ακυρώνονταν μεταξύ τους. Εγγραφές που εντοπίζονται να έχουν μηδενικό μέσο όρο ή εμφανίζονται χωρίς έστω και την ελάχιστη τιμή μετατόπισης DC αμφισβητούνται ως προς την αυθεντικότητά τους. Ακόμη και τα λογισμικά επεξεργασίας με λειτουργία αφαίρεσης DC μετατοπίζουν μόνο τη μέση τιμή πιο κοντά στο μηδέν και γενικότερα δεν αλλάζουν τα επίπεδα εξάπλωσης του DC στο σύνολο των δειγμάτων (“What is DC Offset?”, n.d.).

2.5.8 Ανάλυση Ηλεκτρικού Δικτύου (Electric Network Analysis - ENF)

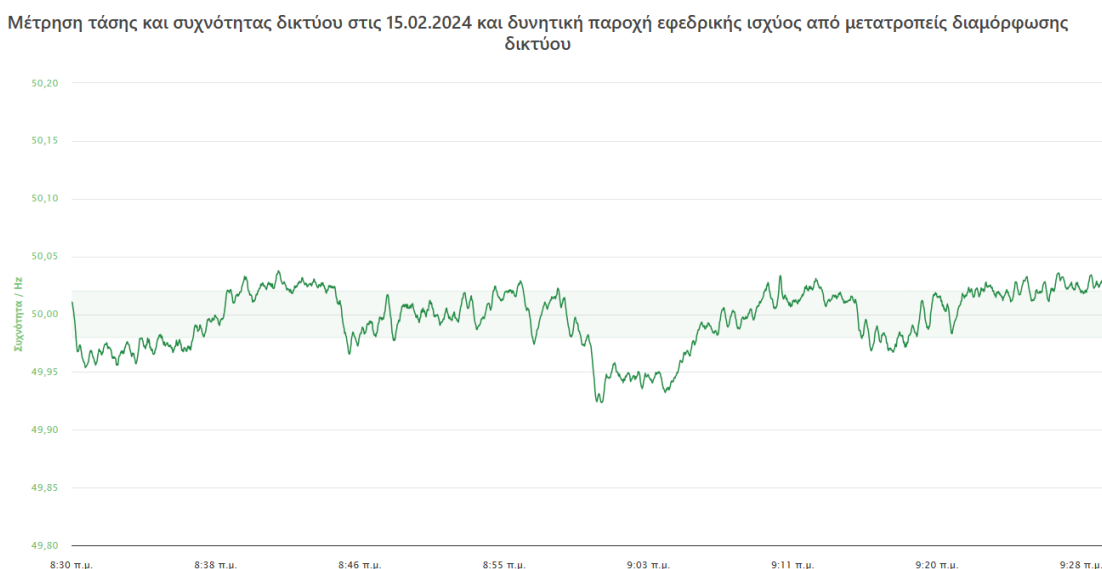
Η συχνότητα ηλεκτρικού δικτύου (ENF - Electric Network Frequency) βασίζεται κατά κύριο λόγο στον ρυθμό με τον οποίο περιστρέφονται οι τουρμπίνες για να παράξουν την απαιτούμενη ενέργεια του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) στο αντίστοιχο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της κάθε χώρας. Αυτή η ταχύτητα περιστροφής κυμαίνεται περίπου 50 φορές ανά δευτερόλεπτο, δηλαδή συνεπάγεται 50 Hz, στις χώρες της Ευρώπης, της Ασίας με εξαίρεση την Σαουδική Αραβία, την Αφρική με εξαίρεση τη Λιβερία, την Αυστραλία και ορισμένες γεωγραφικές τοποθεσίες που υπάγονται κυρίως στην Νότια Αμερική (Hajj-Ahmad, Garg & Wu, 2013). Στη Βόρεια Αμερική όπως και σε ορισμένα μέρη της Νότια της Αμερικής, αυτός ο ρυθμός συναντάται κυρίως κατά 60 φορές ανά δευτερόλεπτο, δηλαδή στα 60 Hz (Spendiff-Smith, 2022). Εξαίρεση αποτελεί με την σειρά της η χώρα της Ιαπωνίας (Chowdhury & Sarkar, 2019), καθώς εμφανίζει να χρησιμοποιεί στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και τις δύο ονομαστικές τιμές, δηλαδή των 60 Hz και των 50 Hz (List of Voltages & Frequencies (Hz) by Country - Electric Power around the Globe, 2021).



Εικόνα 2-33 Απεικόνιση χάρτη των Χωρών που συνδέονται άμεσα με το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Ενέργειας

Ο παραπάνω χάρτης στην εικόνα (2-33) απεικονίζει τις χώρες που είναι συγχρονισμένες με το ευρωπαϊκό δίκτυο ενέργειας, περιλαμβάνοντας τα κράτη της Ευρώπης και της Τουρκίας που συνδέονται άμεσα με το σύγχρονο δίκτυο σε σταθερή συχνότητα (ENF – 50 Hz). Ειδικότερα, η συχνότητα του δικτύου είναι σταθερή σε όλες τις χώρες που είναι άμεσα συνδεδεμένες με το σύγχρονο δίκτυο, εκτός από βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις. Αυτές οι χώρες περιλαμβάνουν την Αλβανία, το Βέλγιο, τη Βοσνία-Ερζεγοβίνη, τη Βουλγαρία, τη Δανία, τη Γερμανία, τη Γαλλία, την Ελλάδα, την Ιταλία, την Κροατία, το Λουξεμβούργο, τη Βόρεια Μακεδονία, το Μαυροβούνιο, την Ολλανδία, την Αυστρία, την Πολωνία, την Πορτογαλία, τη Ρουμανία, την Ελβετία, τη Σερβία, τη Σλοβακία, τη Σλοβενία, την Ισπανία, την Τσεχία και την Ουγγαρία. Επίσης, η Αλγερία, το Μαρόκο, η Τυνησία, η Δυτική Σαχάρα και η Τουρκία είναι συγχρονισμένες με το ευρωπαϊκό δίκτυο. Οι υπόλοιπες χώρες μέλη του ENTSO-E συνδέονται μέσω γραμμών συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης και διατηρούν ανεξάρτητες συχνότητες (Mains frequency, n.d.).

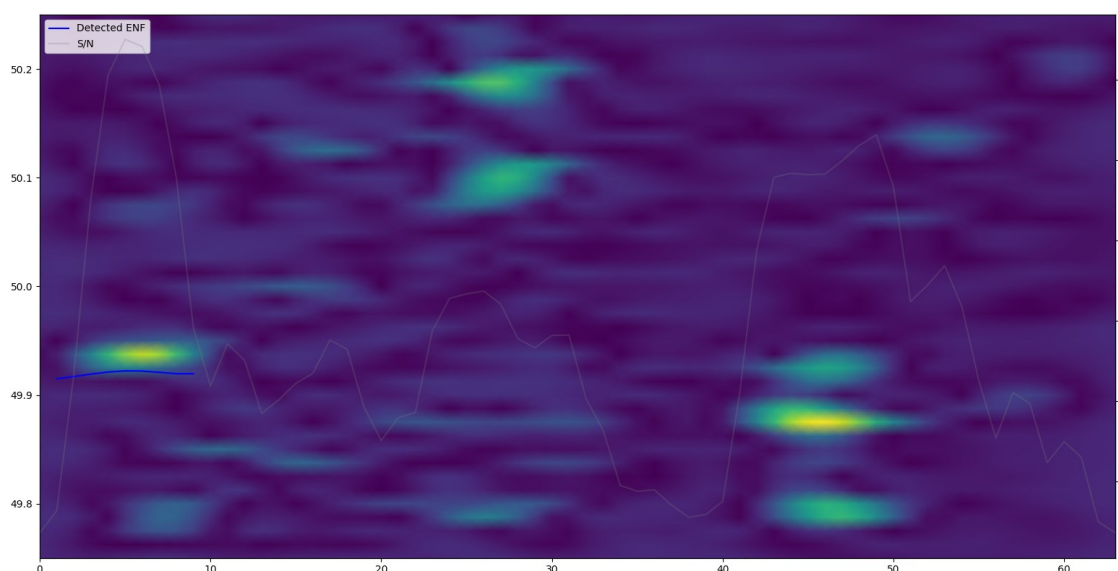
Στην Ελλάδα δυστυχώς δεν υπάρχουν βάσεις καταγραφής διακύμανσης της συχνότητας του ηλεκτρικού δικτύου (ENF). Στον μοναδικό σύνδεσμο που παρατηρείται η απόδοση πληροφοριών σύγχρονα, καθώς και σχετικά διαγράμματα και επιλογής αρχείων δεδομένων με τέτοιου είδους διακυμάνσεις συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου ελεύθερα χωρίς εγγραφή, είναι στον σύνδεσμο: [Energy charts](#). Στην παρακάτω εικόνα (2-34) απεικονίζεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα αποτύπωσης της καταγραφής συχνότητας (ENF) από τον παραπάνω σύνδεσμο «Energy Charts».



Εικόνα 2-34 Απεικόνιση Μέτρηση τάσης και συχνότητας δικτύου στις 15.02.2024 και δυναμική παροχή εφεδρικής ισχύος από μετατροπείς διαμόρφωσης δικτύου. Πηγή ([Energy charts](#))

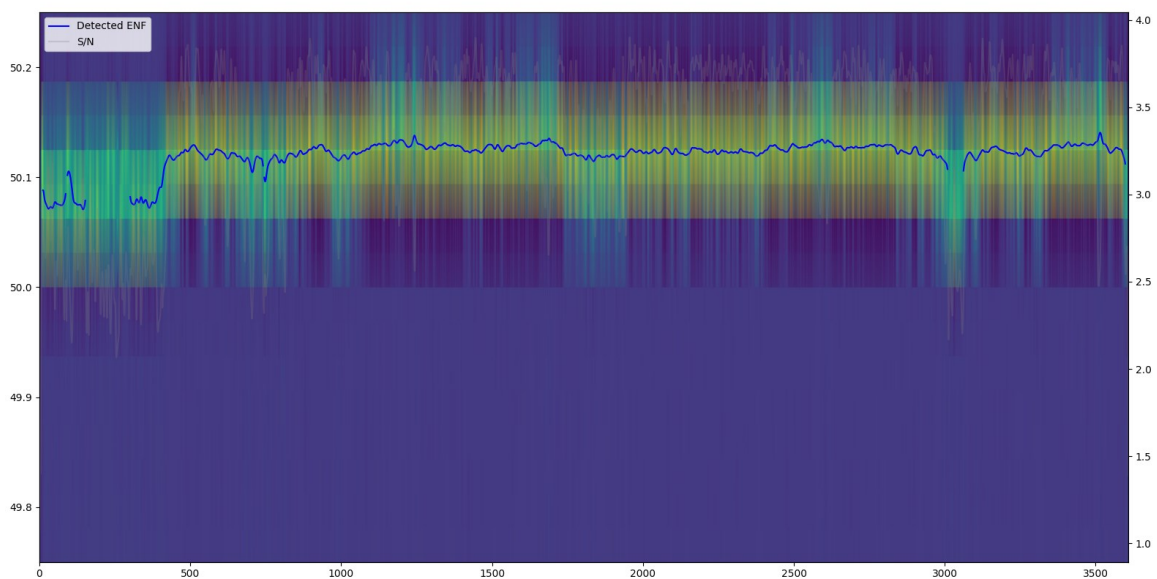
Γενικότερα, όσον αφορά την ισχύ του ρεύματος στις χώρες της Ευρώπης, ελέγχεται κυρίως από την “Ένωση Συντονισμού Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας” (UCTE) (Brixen, 2007). Επιπλέον, οι μετρήσεις συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF) που λαμβάνονται στις πρίζες του ρεύματος σε διαφορετικές ευρωπαϊκές χώρες, κατά την ίδια περίοδο, έχει παρατηρηθεί ότι γενικότερα συσχετίζονται μεταξύ τους και εμφανίζουν ελάχιστες μικροδιαφορές, αλλά θεωρούνται πολύ σημαντικές (Hua, Zhang, Goh & Thing, 2016).

Στην ηχητική εγκληματολογία σύμφωνα με έρευνα που δημοσιεύτηκε το 2003 από τον Ρουμάνο εμπειρογνώμονα “Dr. Catalin Grigoras” στην εγκληματολογική ανάλυση ηχογραφήσεων, αποδείχθηκε ότι η συχνότητα ηλεκτρικού δικτύου (Electric Network Frequency - ENF) καταγράφεται ως στοιχείο του σήματος, κατά την διάρκεια ηχογράφησης από τον εξοπλισμό εγγραφής που χρησιμοποιείται, όταν η συσκευή τροφοδοτείται από το δίκτυο. Βασική προϋπόθεση καταγραφής συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου και των παραπάνω που αναφέρθηκαν, αποτελεί η μη ύπαρξη στο σύστημα ηχογράφησης ιδανικού ρυθμιστή τάσης, ή αλλιώς στο σύστημα να μην παρατηρείται τέλεια θωράκιση καλωδίων κ.ά., (Grigoras, 2002) και το σύστημα να είναι συνδεδεμένο σε πρίζα ρεύματος. Επιπρόσθετα, μπορεί να καταγραφεί μέσω των συσκευών, όπως κινητά κ.ά., όταν αυτές βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από το ηλεκτρικό δίκτυο, λόγω των πεδίων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και ας μην είναι συνδεδεμένες στο ρεύμα. Στην παρακάτω εικόνα (2-35) απεικονίζεται ένα παράδειγμα ηχογράφησης από κινητή συσκευή πλησίον ηλεκτρικής πρίζας.



Εικόνα 2-35 Απεικόνιση συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF) και φασματογραφήματος ηχογράφησης που τελέστηκε μέσω κινητής συσκευής πλησίον ηλεκτρικής πρίζας

Όπως παρατηρείται στην παραπάνω εικόνα (2-35) καταγραφής μέσω κινητής συσκευής πλησίον ηλεκτρικής πρίζας, η συχνότητα ηλεκτρικού δικτύου παρουσιάζεται να καταγράφεται μόνο τα πρώτα δέκα δευτερόλεπτα της ηχογράφησης (μπλέ γραμμή/ Detected ENF). Για την εξαγωγή του παραπάνω στιγμιότυπου φασματογραφήματος και αποτύπωσης συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας από το παράρτημα Η. Το μέγεθος παραθύρου ορίστηκε στα 1 sec και με βήμα 0.1 sec, ώστε να επιτευχθεί η εξαγωγή φασματογραφήματος (ENF – Electric Network Frequency). Στην παρακάτω εικόνα (2-36) παρουσιάζεται το φασματογράφημα και η αποτύπωση καταγραφής της συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου από ένα κοινό σύστημα ηχογράφησης που δέχεται παροχή από ρεύμα την στιγμή τέλεσης της καταγραφής.



Εικόνα 2-36 Απεικόνιση συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF) και φασματογραφήματος ηχογράφησης που τελέστηκε μέσω κοινού συστήματος ηχογράφησης συνδεδεμένο σε ηλεκτρική πρίζα

Στην παραπάνω περίπτωση που αποτυπώνεται στην εικόνα (2-36) το μέγεθος παραθύρου έγινε με μέγεθος 25 sec και με βήμα 0.1 sec, μιας και η ηχογράφηση ήταν της διάρκειας μίας ώρας. Παρατηρείται έντονη η καταγραφή της παρουσίας συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF). Στα σημεία που χάνεται το σήμα ηλεκτρικού δικτύου η αναλογία μεταξύ σήματος και θορύβου φέρει ακραίες διακυμάνσεις, καθώς η μη ύπαρξη “UPS” για αποφυγή αποσταθεροποίησης των διακυμάνσεων ηλεκτρικού δικτύου επιφέρουν την μη αποτύπωση της συχνότητας “ENF”. Ο κώδικας εξαγωγής των παραπάνω φασματογραφημάτων (εικόνες 2-35 & 2-36),¹¹ ανάλυσης “ENF” βρίσκεται στο παράρτημα Η.

¹¹ Ο τρόπος προσέγγισης της συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF) επιτεύχθηκε με τροποποίηση του κώδικα που βρίσκεται στον σύνδεσμο (<https://github.com/RaphaelJ/libhum/blob/main>).

Εξαγωγή Συχνότητας Ηλεκτρικού Δικτύου (Power Grid Frequency Extraction)

Εξάγοντας την συμπεριφορά της συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (electric network frequency - enf) από ένα ηχητικό αρχείο στο φασματογράφημα, με χρήση του παρακάτω κώδικα (2-15) στο matlab, δύναται ο εντοπισμός ασυνεχειών στην καταγραφή.

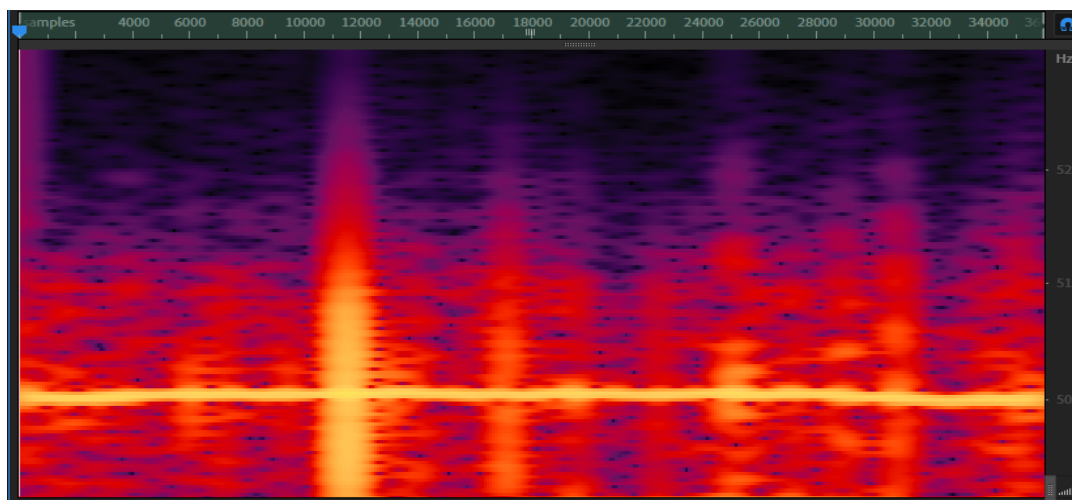
```
[filename, filepath] = uigetfile('*.wav', 'Select an audio file');  
input_wav = fullfile(filepath, filename);  
[y, fs] = audioread(input_wav);  
if size(y, 2) == 2  
    y = mean(y, 2);  
end  
y = detrend(y);  
desired_fs = 120;  
y_resampled = resample(y, desired_fs, fs);  
low_freq = 49;  
high_freq = 51;  
filter_order = 2;  
[b, a] = butter(filter_order, [low_freq, high_freq]/(desired_fs/2),  
    'bandpass');  
y_filtered = filtfilt(b, a, y_resampled);  
y_filtered = y_filtered / max(abs(y_filtered)) * 0.8;  
output_filename = 'ENF.wav';  
audiowrite(output_filename, y_filtered, desired_fs, 'BitsPerSample',  
    16);
```

Κώδικας 2-15 Απεικόνιση εφαρμογής εντολών για την εξαγωγή συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (electric network frequency - enf) από ηχητικό αρχείο στο λογισμικό matlab

Πιο συγκεκριμένα, ο κώδικας (2-15) ακολουθεί την εξής λογική: επιλογή και διάβασμα ηχητικού αρχείου. Στη συνέχεια διενεργείται έλεγχος εάν το ηχητικό αρχείο είναι στερεοφωνικό, και εάν ναι, γίνεται η μετατροπή του σε μονοφωνικό. Κατόπιν αφαιρείται το DC - Offset που πιθανόν να υπάρχει στο ηχητικό αρχείο. Έπειτα γίνεται επαναδειγματοληψία, κατεβάζοντας την συχνότητα δειγματοληψίας στα 100 Hz ή στα 120 Hz, αναλόγως την επιλογή που θα ορίσει ο εξεταστής. Στη συνέχεια εφαρμόζεται ένα Bandpass filter που θα έχει Low Freq = 49 Hz και High Freq = 51 Hz, με Filter Slope = 24 (dB/Octave, Butterworth).

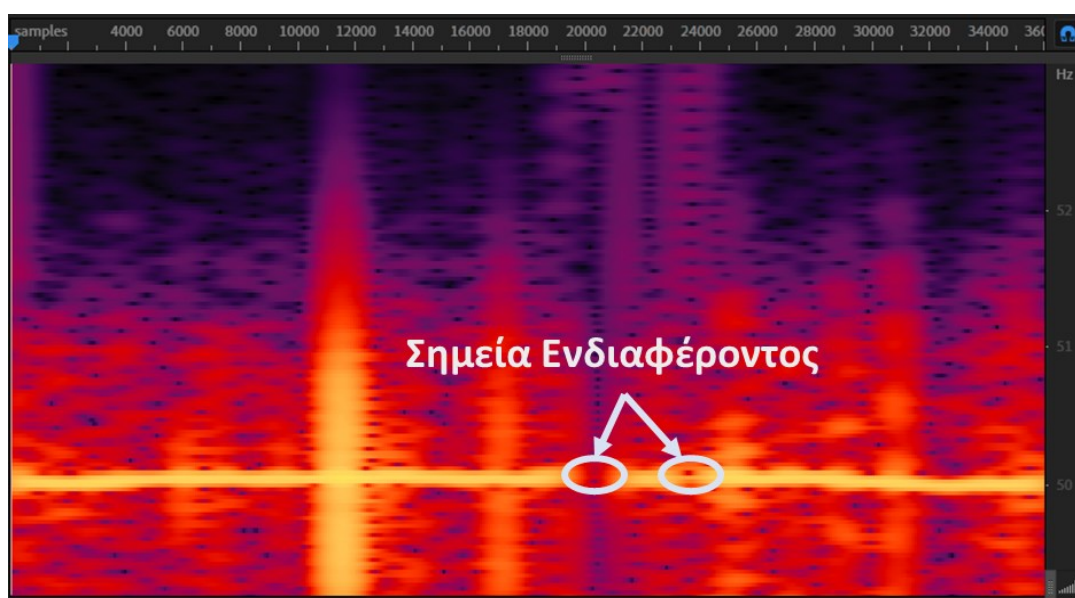
Το αποτέλεσμα εφαρμογής της παραπάνω διαδικασίας του κώδικα (2-15) απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα (2-37) που ακολουθεί, όπου υπολογίζεται το φασματογράφημα με 4096 points FFT, κάθετη μεγέθυνση γύρω στα 50 Hz. Έπειτα, προβαίνουμε σε παρατηρήσεις για τυχόν εντοπισμό αδικαιολόγητων ασυνεχειών κατά μήκος της εγγραφής, παύσης της καταγραφής συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (enf) που ενδέχεται να υποδεικνύουν και αντίστοιχα παύση της εγγραφής ή έντονες διακυμάνσεις κατά την διενέργεια εφαρμογής ακρόασης. Κατά την ακρόαση διαπιστώνεται το βουητό που

παράγεται και καταγράφεται στην ηχογράφιση της συχνότητας “ENF” από το δίκτυο. Φυσικά, σημεία ενδιαφέροντος θα αποτελέσουν εμφανής αλλοιώσεις κατά την διενέργεια οπτικής επιθεώρησης ή απότομες εναλλαγές στο βουητό που δεν δικαιολογούνται.



Εικόνα 2-37 Απεικόνιση συμπεριφοράς συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (electric network frequency - enf) στο φασματογράφημα, στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου “Adobe Audition”

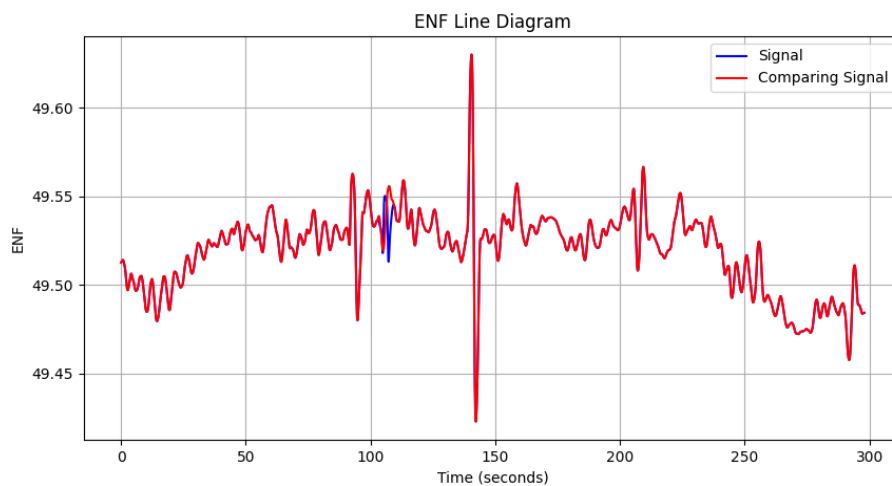
Όπως παρατηρείται στην παραπάνω εικόνα (2-37) δεν διακρίνονται άμεσα αδικαιολόγητες συμπεριφορές στην συχνότητα ηλεκτρικού δικτύου (electric network frequency - enf), οπτικά. Επίσης, αποδεικνύεται κατά την ακρόαση πώς η καταγραφή τελέστηκε συνεχόμενα. Στην παρακάτω εικόνα (2-38) απεικονίζεται ένα παράδειγμα ύπαρξης αδικαιολόγητων διακυμάνσεων συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (electric network frequency) στην εγγραφή, λόγω εφαρμογής σιγής ή συναρμογής (αντιγραφής/επικόλλησης) σημείου.



Εικόνα 2-38 Απεικόνιση αδικαιολόγητης συμπεριφοράς συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (electric network frequency - enf) στο φασματογράφημα ηχογράφησης

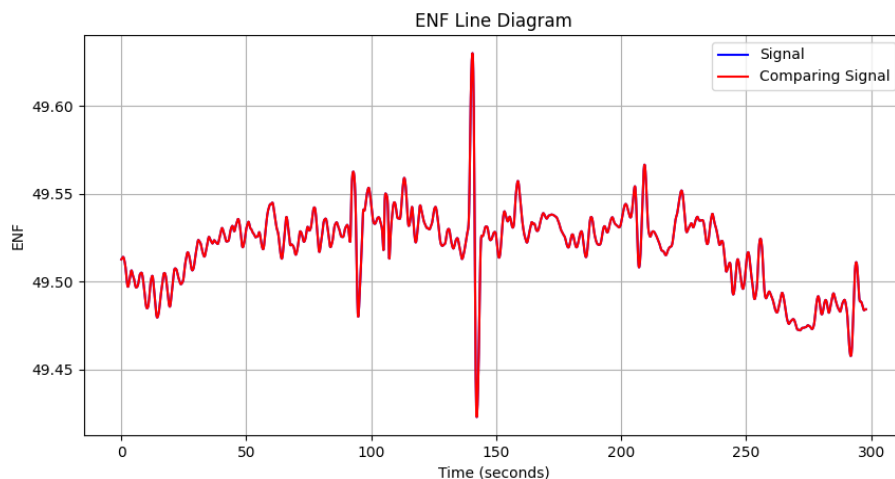
Ανίχνευση μικτών αρχείων ήχου (*Detection of Mixed Audio Files*)

Κατά την ανάλυση της συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF - Electric Network Frequency), μπορούν να εντοπιστούν και διάφορα σημεία σε μία ηχογράφιση που μπορεί να είναι αποτέλεσμα συναρμογής, από έτερη ηχογράφιση με κύριο στόχο την αλλοίωση των διαλαμβανόμενων συνομιλιών ή την παρερμηνεία αρχικής απόδοσης του μηνύματος που εκλαμβάνεται από την ηχογράφιση. Στην παρακάτω εικόνα (2-39) παρατηρείται σημείο συρραφής από έτερη ηχογράφιση (Signal) στην πηγαία ηχογράφιση (Comparing Signal),



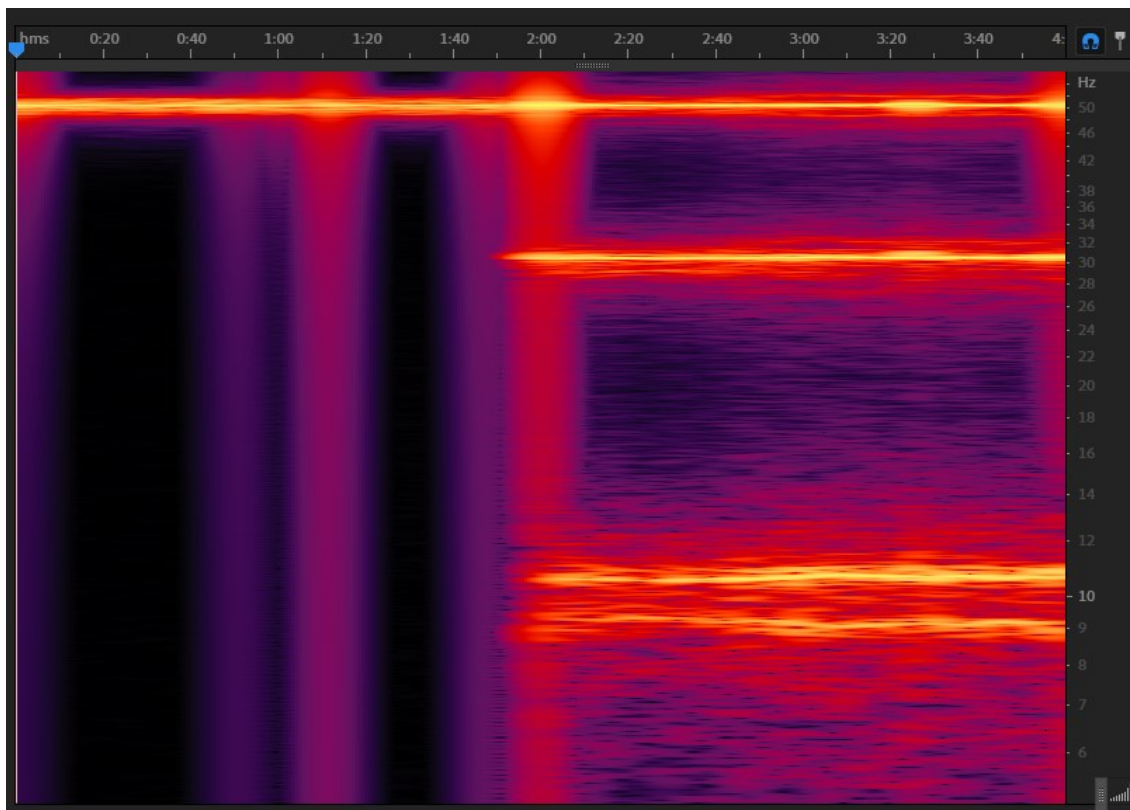
Εικόνα 2-39 Απεικόνιση διαγράμματος συμπεριφοράς συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (electric network frequency - enf) πηγαίας ηχογράφησης (Comparing Signal) με έτερη ηχογράφιση (Signal) που φέρει σημείο συρραφής. Δημιουργία εικόνας από κώδικα παραρτήματος Η

Στην παρακάτω εικόνα (2-40) αποτυπώνεται η απόλυτη ταύτιση διακύμανσης της συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF - Electric Network Frequency) μεταξύ δύο αρχείων.



Εικόνα 2-40 Απεικόνιση διαγράμματος συμπεριφοράς συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (electric network frequency - enf) πηγαίας ηχογράφησης (Comparing Signal) που εμφανίζει απόλυτη ταύτιση με έτερη ηχογράφιση (Signal) που φέρει υπόνοια για συρραφή. Εικόνα από κώδικα παραρτήματος Η

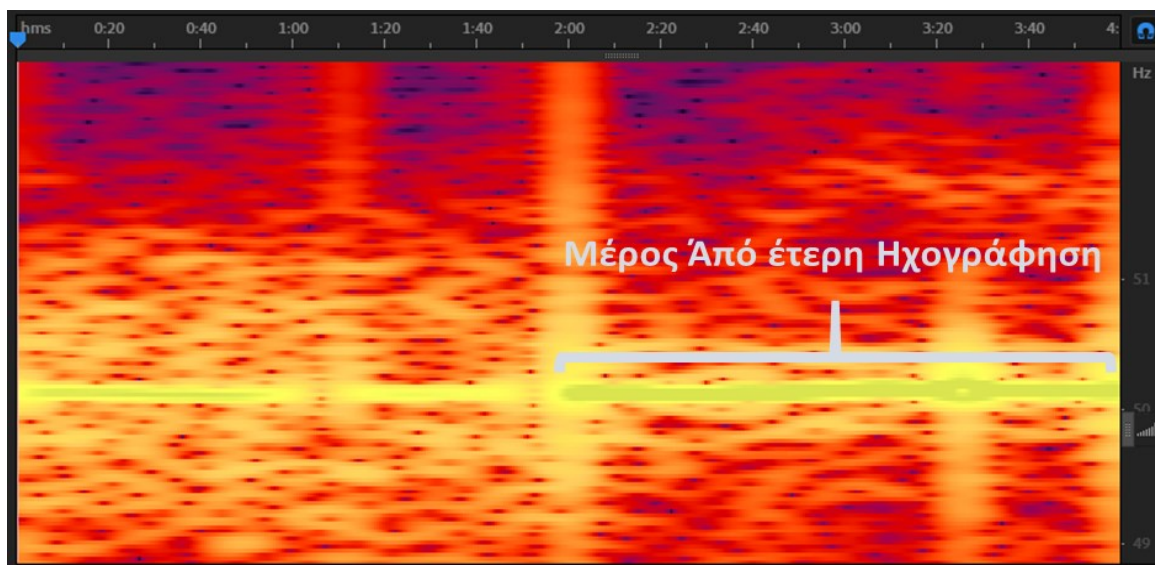
Αυτό (βλ. εικόνα 2-40), έχει ως αποτέλεσμα την επικύρωση και εγκυρότητα ηχογράφησης ότι πρόκειται για πιστό αντίγραφο και δεν αποτελεί προϊόν συρραφής (προσθήκη ηχητικού μέρους από έτερη ηχογράφηση). Με χρήση του παραπάνω κώδικα (2-15) εξαγωγής συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου στο matlab, διαπιστώνεται ακόμα και κατά τον οπτικό έλεγχο, όπως αποτυπώνεται και στην παρακάτω εικόνα (2-41) του φασματογραφήματος, ότι πρόκειται για μέρος από έτερη ηχογράφηση και πώς πρόκειται συνολικά για μικτό ηχητικό αρχείο που αποτελεί προϊόν από επεξεργασία συρραφής.



Εικόνα 2-41 Απεικόνιση φασματογραφήματος ηχογράφησης που αποτελεί προϊόν συρραφής, στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου “Adobe Audition”

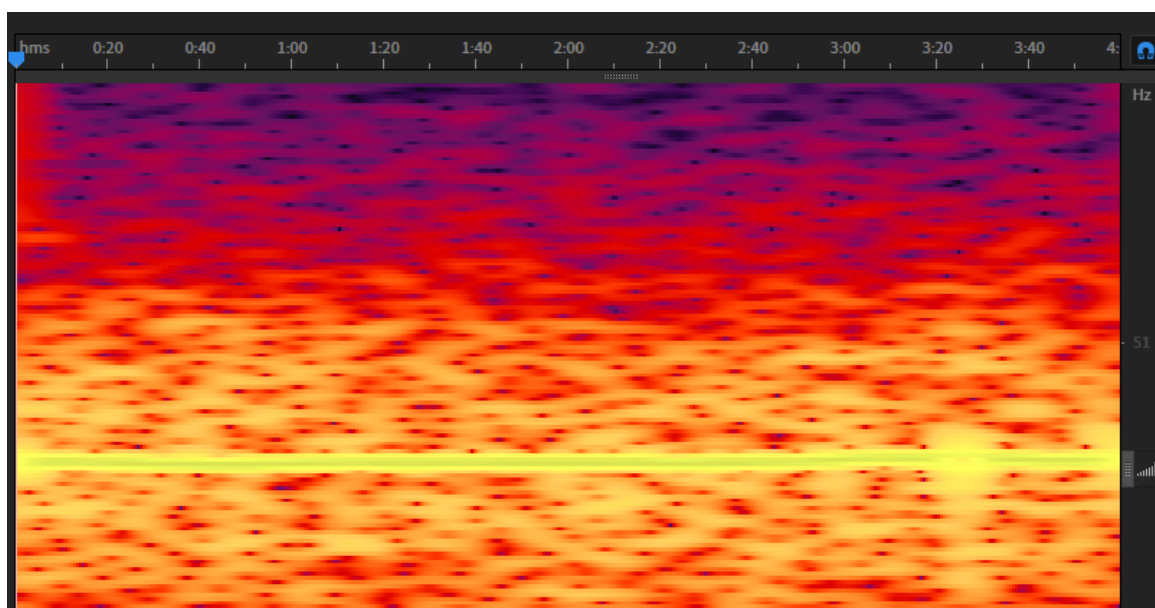
Στην παραπάνω εικόνα (2-41) παρόλο που παρατηρείται εκ πρώτης όψεως, κατά τον οπτικό έλεγχο του φασματογραφήματος συνέχεια ροής διακύμανσης της συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF - Electric Network Frequency) στα 50 Hz περίπου και σημείο διάρκειας 2 λεπτών και έπειτα, να εντοπίζονται ξεκάθαρα διάφορα τεχνουργήματα από ένα σημείο και έπειτα σε χαμηλότερες συχνότητες. Αυτά αποδεικνύουν είτε ότι πρόκειται για προϊόν ηχητικού αρχείου που έχει προέλθει από συρραφή, μίξη που αποτελεί μικτό αρχείο π.χ. άλλου είδους κωδικοποίησης, είτε διαπιστώνεται η χρήση διαφορετικής συσκευής ηχογράφησης ή ακόμα και εσκεμμένη προσθήκη “χαλίου” με διαφορετική εμφάνιση χρονοσήμανσης της συχνότητας “ENF”.

Στην παρακάτω εικόνα (2-42) απεικονίζεται για την εξαγωγή καλύτερων αποτελεσμάτων η κάθετη μεγέθυνση εστιασμένη στην συχνότητα ηλεκτρικού δικτύου (ENF - Electric Network Frequency), γύρος στα 50 Hz.



Εικόνα 2-42 Απεικόνιση φασματογραφήματος ηχογράφησης που αποτελεί προϊόν συρραφής, με κάθετη μεγέθυνση εστιασμένη στα 50 Hz, στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου “Adobe Audition”

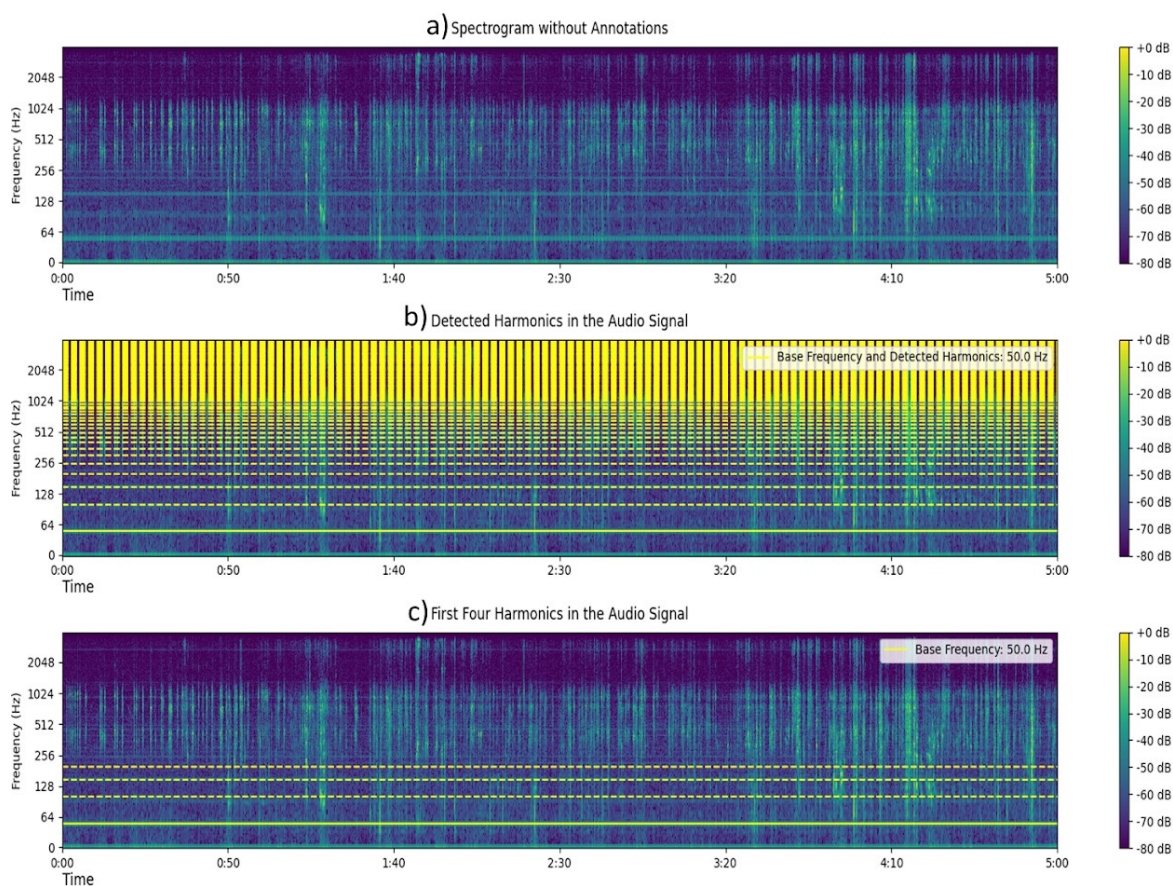
Στην παρακάτω εικόνα (2-43) που ακολουθεί, απεικονίζεται με χρήση του ανωτέρου κώδικα (2-15) εξαγωγής της συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF - Electric Network Frequency) στο matlab, ενιαία ηχογράφηση που δεν αποτελεί προϊόν μικτής ηχογράφησης.



Εικόνα 2-43 Απεικόνιση φασματογραφήματος ηχογράφησης που δεν παρουσιάζει ίχνη από προϊόν συρραφής, με κάθετη μεγέθυνση εστιασμένη στα 50 Hz, στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου “Adobe Audition”

Εμπαιγμός κριτηρίου ENF (Mock ENF criterion)

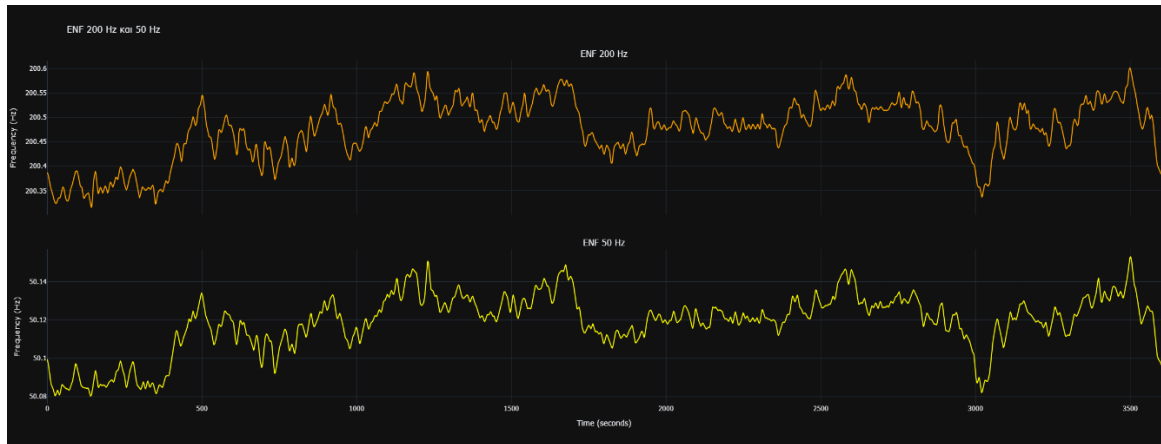
Η εν λόγω τεχνική δύναται να εξαπατηθεί με διάφορους τρόπους. Αυτό παρατηρείται έντονα σε περιπτώσεις που το σήμα ENF συμπεριλαμβανομένων των αρμονικών του αφαιρείται από το ηχητικό σήμα της εγγραφής και αντικαθίσταται από σήμα προερχόμενο από άλλη εγγραφή. Δεν αποτελεί εύκολη διαδικασία η αφαίρεση του ENF και γι' αυτό συνίσταται ο έλεγχος και η σύγκριση μεταξύ της θεμέλιου συχνότητας και των αρμονικών που εντοπίζονται στην εγγραφή και ιδιαίτερα των τριών με τεσσάρων πρώτων αρμονικών που προκύπτουν στην ηχογράφιση. Στην παρακάτω εικόνα (2-44) απεικονίζεται ένα παράδειγμα ελέγχου της θεμέλιου συχνότητας σε σχέση με τις τρεις πρώτες αρμονικές που προκύπτουν στην ηχογράφιση σύμφωνα με τον τύπο (2).



Εικόνα 2-44 Απεικόνιση α) φασματογραφήματος ηχογράφησης, b) προσομοίωση εμφάνισης αρμονικών, c) εντοπισμός των 50 Hz της θεμέλιου συχνότητας (enf) και των τριών αρμονικών που προκύπτουν στην ηχογράφιση. Εικόνα από κώδικα παραρτήματος Η

Στην παρακάτω εικόνα (2-45) απεικονίζεται σε διάγραμμα η διακύμανση της θεμέλιου που εντοπίστηκε και εμφανίζεται εντός της ηχογράφησης, η λεγόμενη συχνότητα ηλεκτρικού δικτύου (electric network frequency), στα 50 Hz και ο αντίστοιχος τέταρτος αρμονικός. Σαφώς, η κάθε ηχογράφιση θα πρέπει να ελέγχεται εξονυχιστικά για τον εντοπισμό

διαφόρων αρμονικών στην καταγραφή, καθώς και να διενεργείται έλεγχος οπτικών επιθεωρήσεων για εντοπισμό ομοιότητας ή μη σε συνάρτηση με την θεμέλιο συχνότητα ηλεκτρικού δικτύου (ENF) που εντοπίζεται στην καταγραφή και σύμφωνα με τον τύπο (2).



Εικόνα 2-45 Απεικόνιση διακύμανσης θεμέλιου συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (electric network frequency), στα 50 Hz και του τέταρτου αρμονικού, καθώς ο 1^{ος}, 2^{ος} & 3^{ος} αρμονικός δεν εντοπίζονται στην καταγραφή. Εικόνα από κώδικα παραρτήματος Η

Στην εν λόγω τεχνική σημαντικό λόγο διαδραματίζει η συνεχόμενη εμφάνιση μεταξύ θεμέλιου συχνότητας και των αρμονικών, ούτως ώστε να αποφανθεί ο εξεταστής για την γνησιότητα της εγγραφής. Η απουσία τμημάτων στις αρμονικές ή στην θεμέλιο συχνότητα στο μέσον χρονικό διάστημα της καταγραφής, ή η απουσία σε μερικώς διάσπαρτα τμήματα κατά μήκος της εγγραφής που εξετάζεται, υποδεικνύουν σοβαρές ενδείξεις για περαιτέρω έρευνα και εντοπισμό πιθανόν σημείων συρραφής μέσω εμπαιγμού της συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου, διαγραφής κ.ά. Ειδικότερα, η γνώση της συμπεριφοράς του μέσου όπου τελέστηκε η ηχογράφηση και οι πειραματισμοί για εξακρίβωση της συμπεριφοράς της συσκευής και του τρόπου απόδοσης των αρμονικών και της συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF) κατέχει τον πρώτο λόγο για την έγκυρη απόφαση γνησιότητας της εγγραφής.

Γενικότερα όσον αφορά τις συσκευές εγγραφής, με μπαταρία που δεν είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο (συμπεριλαμβανομένων των κινητών τηλεφώνων), υπάρχουν ουσιαστικά δύο μέθοδοι με τις οποίες η συχνότητα ηλεκτρικού δικτύου (ENF - Electric Network Frequency) καταγράφεται. Είτε μέσα από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, είτε από το δημιουργούμενο βουητό ρεύματος ακουστικά, από την ύπαρξη φωτών, μετασχηματιστών ρεύματος, ανεμιστήρων κ.ά., που υπάρχουν την στιγμή τέλεσης της ηχογράφησης στον χώρο. Σαφώς και το μέσο ηχογράφησης που χρησιμοποιείται κάποιες φορές δεν εμφανίζει έντονα τις αρμονικές που προκύπτουν, καθώς συμβάλλει σε αυτό και η απόσταση που τοποθετείται η συσκευή εγγραφής ή αν είναι ή δεν είναι συνδεδεμένη στην πρίζα (Brixen, 2007).

Επαλήθευση Ημερομηνίας Δημιουργίας (Verify Creation Date)

Η χρήση της συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου, χρησιμοποιείται και για την επικύρωση της ημερομηνίας που έχει εκτελεστεί μία ηχογράφηση. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να είναι γνωστοποιημένες οι μικροδιακυμάνσεις του στοιχείου συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF - Electric Network Frequency) για να μπορέσουν να υλοποιηθούν φασματικές συγκρίσεις διακυμάνσεων της συχνότητας δικτύου. Προαναφέραμε ότι, στο ευρωπαϊκό δίκτυο υπάρχουν πολύ μικρές διαφορές μεταξύ των διακυμάνσεων συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF) μεταξύ των χωρών. Επομένως, με εξαγωγή δεδομένων από τον σύνδεσμο [Energy charts](#) μπορεί να διαπιστωθεί η επικύρωση της ημερομηνίας δημιουργίας της ηχογράφησης. Εντοπίζουμε λοιπόν την ημερομηνία δημιουργίας της ηχογράφησης, από τις ιδιότητες του ηχητικού αρχείου στον υπολογιστή (εικ. 2-46) και επαληθεύουμε και μέσω ενός δεκαεξαδικού προβολέα, όπως ακριβώς εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα (2-47).

Δημιουργήθηκε: Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024, 11:49:13 μμ
Τροποποιήθηκε: Παρασκευή, 12 Απριλίου 2024, 11:27:11 πμ
Προσπελάστηκε: Σήμερα, 21 Ιουνίου 2024, 2:23:28 μμ

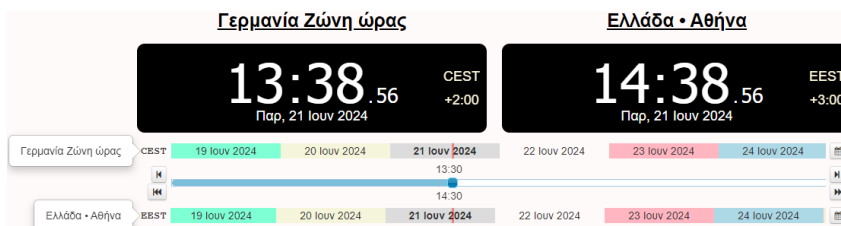
Εικόνα 2-46 Απεικόνιση ημερομηνίας δημιουργίας μέσω αναζήτησης ιδιοτήτων (properties) ηχητικού αρχείου στο λειτουργικό του υπολογιστή

Στην παραπάνω εικόνα (2-46) παρατηρείται η ημερομηνία που προκύπτει από τις ιδιότητες του αρχείου, καθώς εμφανίζεται ως δημιουργία η “Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024, 11:49:13 μμ”. Με επιθεώρηση όμως στα δεκαεξαδικά δεδομένα προβολής του αρχείου προς διερεύνηση εντοπίζεται η ημερομηνία “11-04-2024” και ως ώρα 3 μ.μ. (βλ. εικόνα 2-47).

```
036EE830 2C 00 00 00 49 4E 46 4F 49 4E 41 4D 16 00 00 00 ,...INFOINAM....  
036EE840 32 30 32 34 2D 30 34 2D 31 31 5F 5F 30 33 2D 30 2024-04-11 03-0
```

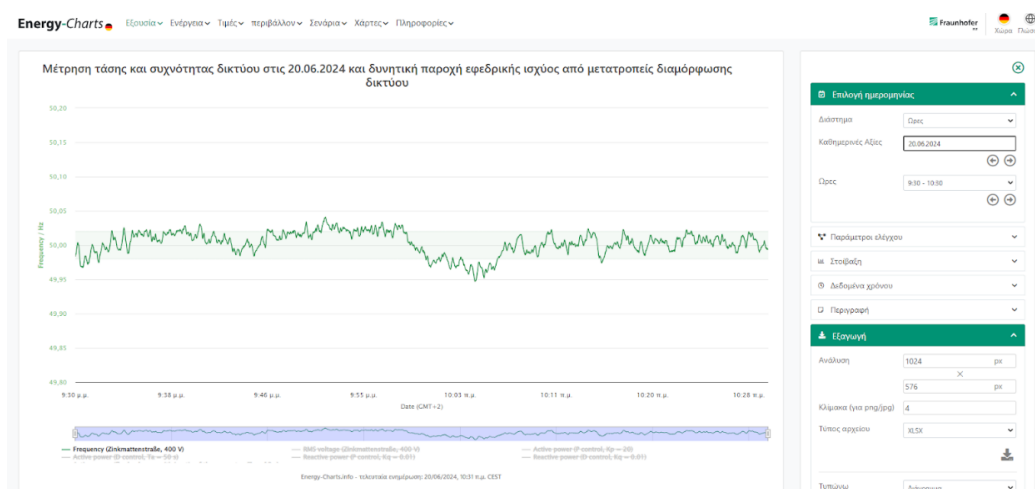
Εικόνα 2-47 Απεικόνιση ημερομηνίας δημιουργίας μέσω αναζήτησης δεκαεξαδικού προβολέα δεδομένων, του ηχητικού αρχείου στο [Hex-Editor](#)

Μεταβαίνουμε λοιπόν στον σύνδεσμο [Energy charts](#) (βλ. εικόνα 2-49) και εξάγουμε σε αρχείο “.xlsx” τα δεδομένα καταγραφής της συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου για την πρώτη ημερομηνία (βλ. εικόνα 2-46) ώστε να επικυρωθεί το σφάλμα ημερομηνίας δημιουργίας. Επιλέγουμε το δίκτυο της Γερμανίας καθώς έχει παρατηρηθεί να φέρει ελάχιστες διακυμάνσεις συγκριτικά με το δίκτυο της Ελλάδας. Επίσης στην καταγραφή πρέπει να σημειωθεί η διαφορά ώρας (βλ. εικόνα 2-48) μεταξύ των χωρών για την σωστή εξαγωγή των δεδομένων. Επισημαίνεται πως, για την ορθή επικύρωση της ημερομηνίας απαιτούνται τουλάχιστον 10 λεπτά συνεχόμενης καταγραφής για έγκυρα αποτελέσματα.



Εικόνα 2-48 Απεικόνιση διαφοράς ώρας Ελλάδας & Γερμανίας. (Πηγή: Ιστότοπος [Time_German_Greece](#))

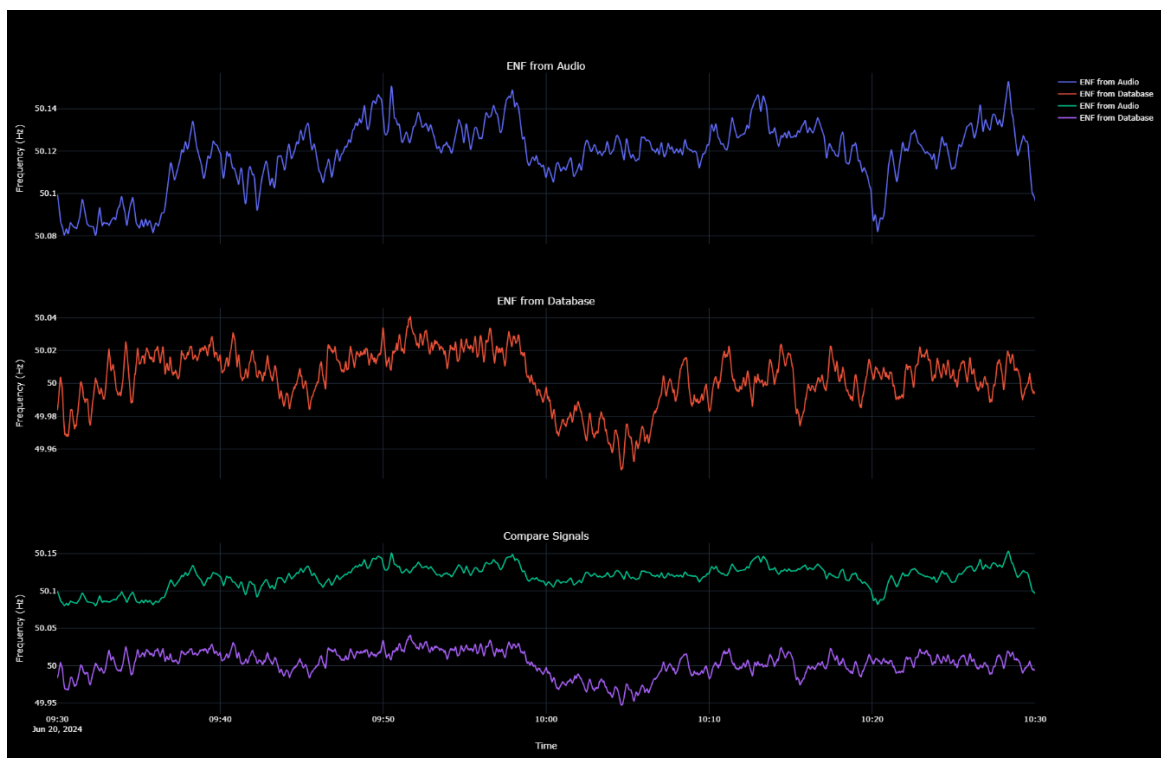
Όπως παρατηρείται και στην εικόνα (2-48) η διαφορά είναι της τάξης περίπου κατά μία ώρα. Επομένως, εξάγουμε αντί για “Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024, 11:49:13 μμ” με διαφορά μίας ώρας “Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024, 10:49:13 μμ.” και μία ώρα πίσω, καθώς η ηχογράφηση είναι χρονικής διάρκειας περίπου μίας (1) ώρας.



Εικόνα 2-49 Απεικόνιση Μέτρηση τάσης και συχνότητας δικτύου στις “20 Ιουνίου 2024, 10:49:13 μμ” και δυνητική παροχή εφεδρικής ισχύος από μετατροπείς διαμόρφωσης δικτύου. Πηγή ([Energy charts](#))

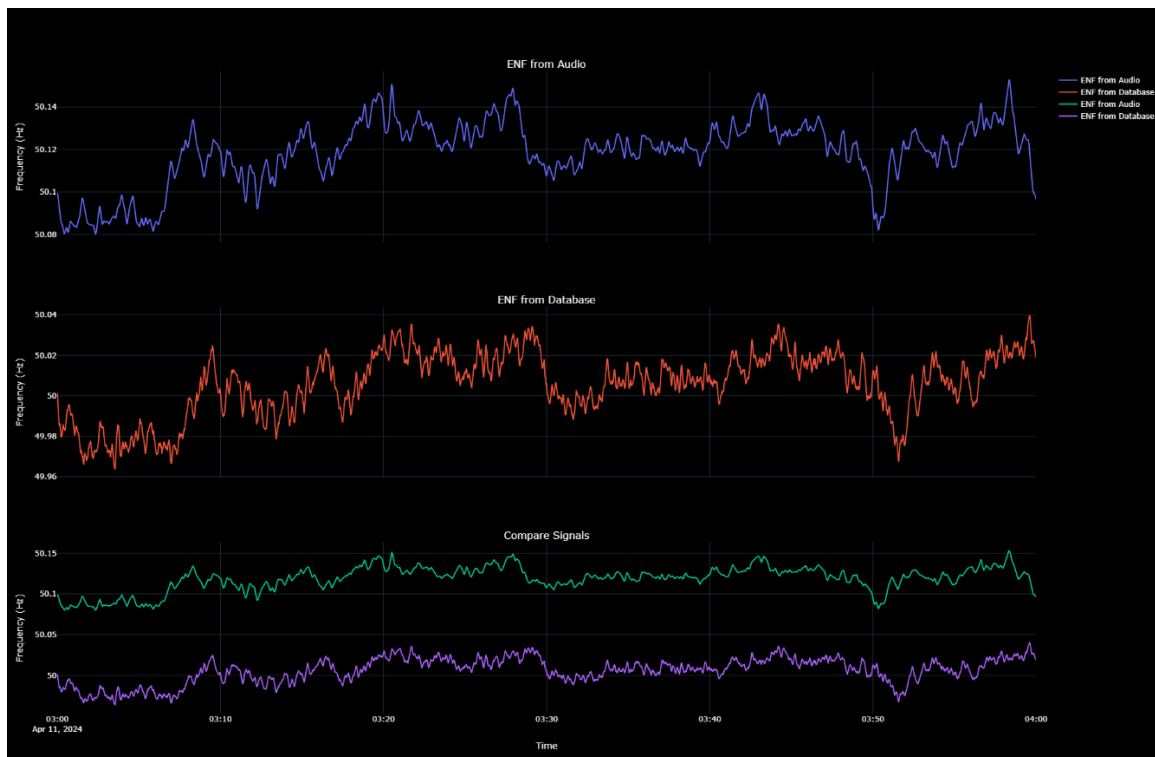
Κατόπιν, δημιουργείται ο κώδικας που βρίσκεται στο παράστημα (ΙΓ). Ο κώδικας λειτουργεί ως εξής, υλοποιείται φόρτωση στο λειτουργικό σύστημα του υπολογιστή των διαφόρων απαραίτητων βιβλιοθηκών, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ανάλυση ήχου, τον υπολογισμό και τη δημιουργία γραφημάτων. Έπειτα, φορτώνεται το ηχητικό αρχείο προς εξέταση και στη συνέχεια πραγματοποιείται, μετατροπή από στερεοφωνική σε μονοφωνική ηχογράφηση για να απλοποιηθεί η επεξεργασία. Αφαιρείται το Dc-Offset και επιπλέον η συχνότητα δειγματοληψίας κατεβαίνει σε 2,4 φορές της βασικής συχνότητας (50 Hz), δηλαδή κατά προσέγγιση στα 120 Hz. Ακολουθεί η εφαρμογή ζωνοπερατού φίλτρου στα 50 Hz με ζώνη διέλευσης από 49 έως 51 Hz για να διατηρηθούν οι σχετικές συχνότητες και να απομακρυνθούν οι άσχετες. Έπειτα, υπολογίζεται το φάσμα συχνοτήτων του φιλτραρισμένου σήματος χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση STFT (Short-Time Fourier Transform) με μήκος καρέ των 25 δευτερολέπτων. Κατόπιν, εντοπίζεται η συχνότητα με τη

μεγαλύτερη ισχύ κοντά στα 50 Hz για κάθε καρέ, έπειτα εφαρμόζεται παρεμβολή για μεγαλύτερη ακρίβεια. Αυτό επιτυγχάνεται με την παρεμβολή παραβολής (parabolic interpolation) γύρω από την κορυφή της φασματικής γραμμής (Παπαϊωάννου & Βοζίκης, 2016). Για κάθε καρέ, εντοπίζεται ο δείκτης της συχνότητας με τη μέγιστη τιμή χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση `np.argmax`. Λαμβάνονται, δηλαδή οι τιμές του φάσματος στα αριστερά (`left_val`), στο κέντρο (`center_val`), και στα δεξιά (`right_val`) της κορυφής (Djukanović, Porović, & Mitrović, 2016). Έπειτα υπολογίζεται η παράμετρος p , η οποία εκφράζει την τοποθέτηση της πραγματικής κορυφής σε σχέση με τα γειτονικά δείγματα, χρησιμοποιώντας την φόρμουλα (SPECTRAL AUDIO SIGNAL PROCESSING, n.d.), $p = (right_val - left_val) / \{2 \times (2 \times center_val - right_val - left_val)\}$ (Παπαϊωάννου & Βοζίκης, 2016). Αυτό το είδος παρεμβολής αυξάνει την ακρίβεια του εντοπισμού της συχνότητας με τη μεγαλύτερη ισχύ, διορθώνοντας την υπολογισμένη κορυφή σε υποδεκαδικό επίπεδο μεταξύ των δειγμάτων του φάσματος (Quadratic Interpolation of Spectral Peaks, n.d.). Στη συνέχεια, φορτώνονται τα δεδομένα συχνότητας από το αρχείο ήχου και της βάσης δεδομένων (αρχείου Excel) και συγχρονίζονται κατά τον χρόνο. Τέλος, δημιουργούνται τα ανάλογα γραφήματα (βλ.εικόνα 2-50) αρχείου ήχου και δεδομένων από την βάση, με την βοήθεια του plotly.com και ένα συγκριτικό γράφημα.



Εικόνα 2-50 Απεικόνιση εσφαλμένης επικύρωσης ημερομηνίας δημιουργίας του ηχητικού αρχείου προς εξέταση. Δημιουργία διαδραστικής εικόνας από κώδικα παραρτήματος ΙΓ

Στην παραπάνω εικόνα (2-50) διαπιστώνεται η ανακρίβεια και μη συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων για την επαλήθευση και επικύρωση της ημερομηνίας. Αν εξάγουμε όμως τα δεδομένα για την ημερομηνία που προκύπτει μέσα από τα ακατέργαστα δεδομένα κατά την προβολή της κατασκευαστικής δομής του αρχείου στον δεκαεξαδικό προβολέα, διαπιστώνεται η επαλήθευση της ημερομηνίας δημιουργίας, όπως παρατηρείται και από την αναπαράσταση των σημάτων στην παρακάτω εικόνα (2-51).



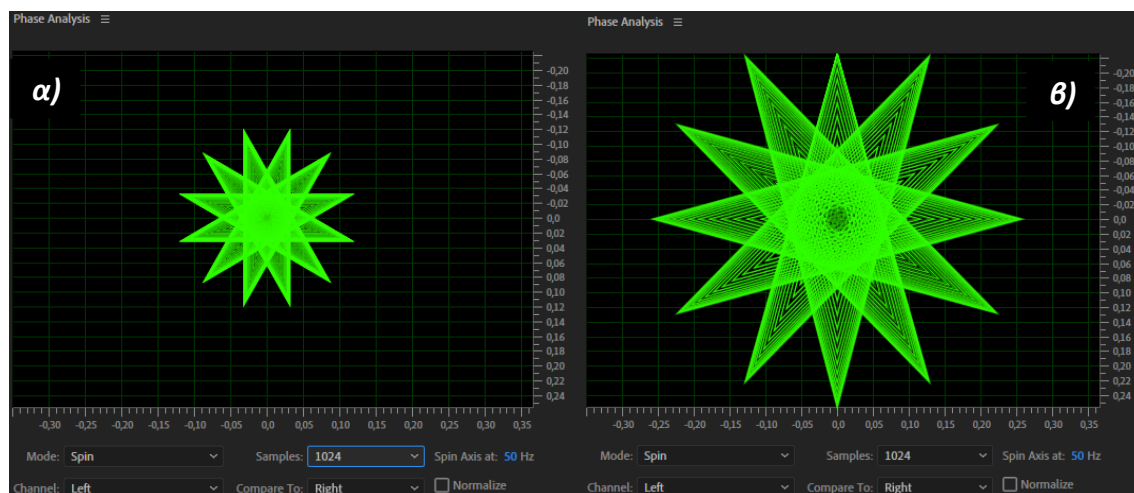
Εικόνα 2-51 Απεικόνιση ορθής επικύρωσης ημερομηνίας δημιουργίας του ηχητικού αρχείου προς εξέταση. Δημιουργία διαδραστικής εικόνας από κώδικα παραρτήματος ΙΓ

Στην παραπάνω εικόνα (2-51) διαπιστώνεται η επικύρωση της ημερομηνίας δημιουργίας για την εγγραφή προς διερεύνηση. Τα δεδομένα από τον σύνδεσμο εμφανίζονται στο μεσοδιάστημα της ώρας, δηλαδή από 02:30 μέχρι 03:30, επομένως θα πρέπει να γίνει εξαγωγή των δεδομένων δύο χρονικών περιπτώσεων (από 02:30 μέχρι 03:30 και από 03:30 μέχρι 04:30) φυσικά κατά μία ώρα πίσω λόγω διαφοράς ώρας μεταξύ Ελλάδας και Γερμανίας. Κατόπιν, θα υλοποιηθεί χειροκίνητη συγχώνευση των δεδομένων εντός ενός αρχείου Excel με το χρονοδιάστημα μεταξύ 03:00 και μέχρι 04:00. Δηλαδή, θα πραγματοποιηθεί αφαίρεση των δεδομένων από τις 02:59 και πίσω και από 04:01 και έπειτα. Οι μικρές αποκλίσεις¹² που εμφανίζονται στο γράφημα είναι επιτρεπτές.

¹² Οι διαφορές *ENF* Ελλάδος και υπόλοιπης Ευρώπης είναι της τάξης των $\pm 0.1 \text{ Hz}$

Εντοπισμός επεξεργασιών (Locating edits)

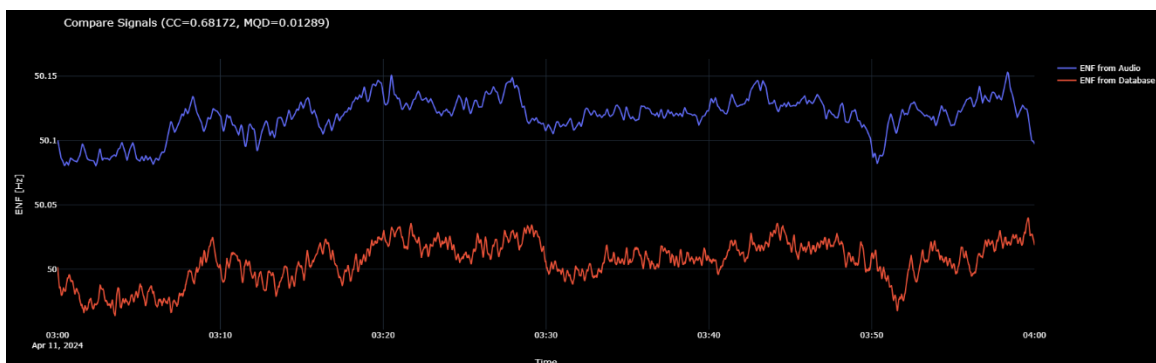
Μια ακόμα τεχνική που εφαρμόζεται συχνά για τον εντοπισμό επεξεργασιών σε μια ψηφιακή ηχογράφιση, αποτελεί και η εξέταση συνέχειας της φάσης του σήματος μεταξύ της συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF). Δηλαδή, σε λογισμικό που εκτελεί ανάλυση φάσης, μπορούν να εντοπιστούν ασυνέχειες με τη χρήση ενός γνώριμου και επικυρωμένου σήματος (ENF) ηχητικού αρχείου προς γνησιότητα, σε σύγκριση με ενός αγνώστου αντίστοιχου σήματος από έτερη ηχογράφιση η οποία αμφισβητείται ή ακόμα και στο ίδιο το σήμα της ηχογράφησης για αποκάλυψη ασυνεχειών λόγω οφθαλμαπάτης. Αναλυτικότερα, στην περίπτωση επικύρωσης της ημερομηνίας (βλ. εικόνα 2-51), όπου επικυρώθηκε η γνησιότητα της ηχογράφησης ως προς την ημερομηνία μπορούμε να εισάγουμε το εν λόγω σήμα στο λογισμικό επεξεργασίας της γνώριμης ηχογράφησης συγκριτικά με την υποτιθέμενη μη επικυρωμένη ηχογράφιση και να ελέγξουμε διαφορές που προκύπτουν κατά μήκος της φάσης του σήματος, όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα (2-52).



Εικόνα 2-52 Απεικόνιση διαπίστωσης α) συνεχόμενης εγγραφής μέσω ομοιομορφίας καθ' όλη την διάρκεια της εγγραφής β) διακοπέιας εγγραφής μέσω της απότομης ανομοιομορφίας στην διαφορά φάσης των σημάτων ENF, στο λογισμικό Adobe Audition

Το εν λόγω σχήμα (α) της εικόνας (2-52) αποδεικνύει μία καμπύλη ελέγχου ανάλυσης φάσης του σήματος και δείχνει ένα μέρος μιας συνεχιζόμενης εγγραφής. Το σχήμα φαίνεται συμμετρικό και ομοιόμορφο καθ' όλη την διάρκεια της εγγραφής, κάτι που υποδεικνύει ότι οι φάσεις των σημάτων που συγκρίνονται είναι σε συγχρονισμό. Αν υπήρχαν ανωμαλίες ή ασυμμετρίες, αυτό θα μπορούσε να δείξει ασυμφωνία φάσης μεταξύ των σημάτων. Επιπλέον, η επιλογή "Spin" υποδηλώνει ότι η ανάλυση γίνεται σε περιστροφή γύρω από έναν άξονα συγκεκριμένης συχνότητας. Στην περίπτωση αυτή, ο άξονας περιστροφής έχει

οριστεί στα 50 Hz ενδιαφέροντος. Αντίθετα στο σχήμα (β) της εικόνας (2-52) η καμπύλη ελέγχου της φάσης του σήματος δείχνει μια διακοπείσα εγγραφή, καθώς μεγαλώνει και μικραίνει το σχήμα απότομα και ακραία κατά μήκος της εγγραφής στα σημεία ενδιαφέροντος που παρουσιάζουν διαφορές ή ενδεχόμενες εφαρμοσμένες επεξεργασίες κ.ά., δημιουργώντας αστάθεια ως προς τις μεταβολές σταθερότητας μεγέθους οπτικά με απότομες αυξομειώσεις. Ένας άλλος τρόπος που μπορεί να ελεγχθεί μία εγγραφή πιο άμεσα είναι μέσω των παραμέτρων (*CC* τύπος (15), τύπος (16) *MQD*). Στην παρακάτω εικόνα (2-53) απεικονίζεται ένα παράδειγμα εφαρμογής των παραμέτρων (*CC*, *MQD*) σχετικά με τον έλεγχο ομοιότητας μεταξύ δύο σημάτων συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF).

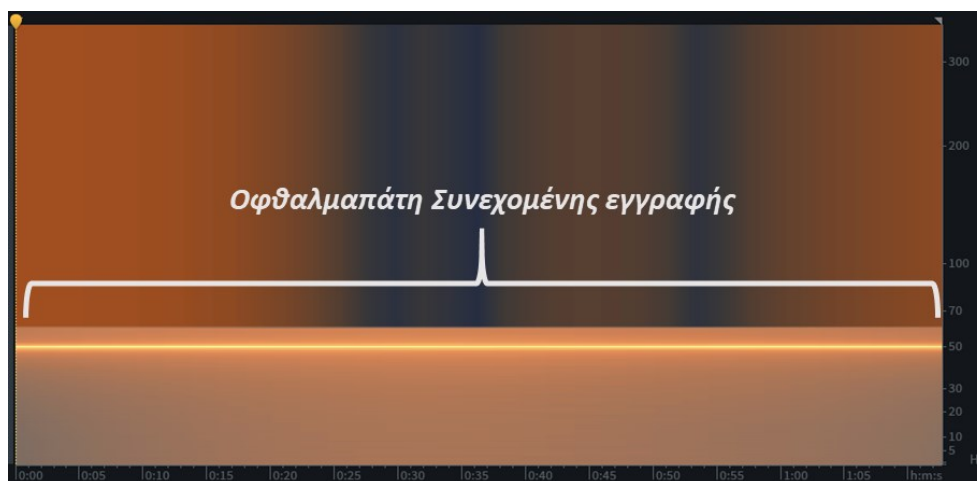


Εικόνα 2-53 Απεικόνιση ελέγχου ENF σημάτων ηχογράφησης και Database μέσω παραμέτρων *CC* & *MQD*. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε μέσω του κώδικα στο παράρτημα ΙΓ

Ειδικότερα, κατά την ανάλυση που εμφανίζεται στην παραπάνω εικόνα (2-53) η τιμή *CC* εντοπίζεται στα 0.68172, που υποδηλώνει μια σχετικά ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των δύο σημάτων. Αυτό σημαίνει ότι τα σήματα τείνουν να αυξάνονται και να μειώνονται μαζί, παρόλο που δεν είναι απόλυτα ταυτόσημα μεταξύ τους. Από την άλλη η τιμή *MQD* εντοπίζεται στα 0.01289, που υποδηλώνει ότι υπάρχει κάποια απόκλιση μεταξύ των δύο σημάτων, αλλά η απόκλιση αυτή είναι σχετικά μικρή. Αυτό δείχνει ότι τα σήματα είναι γενικά κοντά μεταξύ τους. Υπενθυμίζεται ότι, η Ελλάδα είναι συνδεδεμένη με άλλα ευρωπαϊκά δίκτυα, (ENTSO-E-European Network of Transmission System Operators for Electricity) μέσω υποβρύχιων και εναέριων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό βοηθά στη διατήρηση σταθερότητας της συχνότητας, καθώς η διασύνδεση αυτή σημαίνει ότι οι διαφορές στη συχνότητα μεταξύ της Ελλάδας και της υπόλοιπης Ευρώπης είναι ελάχιστες και συνήθως αμελητέες, όπως έχει προαναφερθεί της τάξης των ± 0.1 Hz. Σύμφωνα με παρατηρήσεις, οι αποκλίσεις της συχνότητας του ηλεκτρικού δικτύου στην Ελλάδα είναι παρόμοιες με αυτές στην υπόλοιπη Ευρώπη και διορθώνονται γρήγορα μέσω των συστημάτων αυτοματισμού και ελέγχου των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.

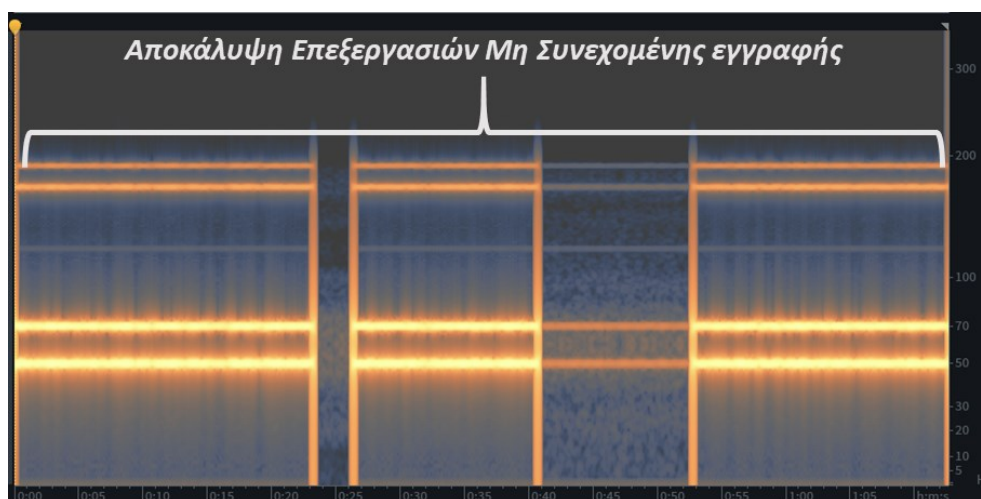
Επαναδειγματοληψία & Αποκάλυψη Επεξεργασιών (Resampling & Reveal of Edits)

Οπτικά και άμεσα ο εντοπισμός ασυνεπειών στην συχνότητα ηλεκτρικού δικτύου, επιτυγχάνεται με την εφαρμογή επαναδειγματοληψίας, του εξαγόμενου σήματος καταγραφής ENF από την ηχογράφηση προς αμφισβήτησή. Στην παρακάτω εικόνα (2-54) αποτυπώνεται ένα παράδειγμα όπου η απεικόνιση παρουσιάζει οπτικά συνεχόμενη καταγραφή και συνέπεια.



Εικόνα 2-54 Απεικόνιση φασματογραφήματος στο λογισμικό επεξεργασίας Izotope, με εμφανή οφθαλμαπάτη συνεχόμενης καταγραφής ENF

Το συμπέρασμα της συνεχόμενης καταγραφής που αποτυπώνεται στην παραπάνω εικόνα (2-54) καταρρίπτεται, καθώς η εφαρμογή επαναδειγματοληψίας¹³ αποκαλύπτει ασυνέπειες και διάφορα ίχνη από επεξεργασίες κ.ά., όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα (2-55).



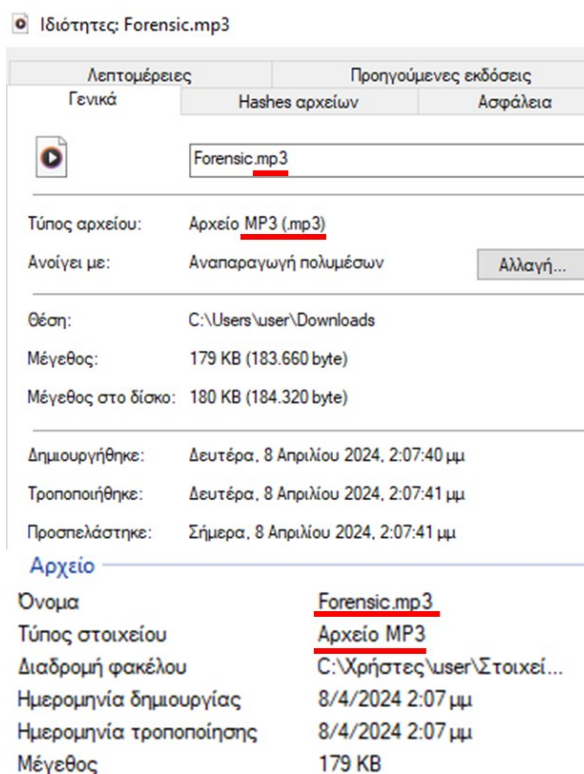
Εικόνα 2-55 Απεικόνιση φασματογραφήματος στο λογισμικό επεξεργασίας Izotope, έπειτα από επαναδειγματοληψία (από τα 120 Hz στα 1100 Hz) και εμφάνιση επεξεργασιών

¹³ Διαδικασία αλλαγής του ρυθμού δειγματοληψίας ψηφιακού ηχητικού σήματος

2.5.9 Εντοπισμός & Ανάλυση Επιπέδου Συμπίεσης (Compression Level Detection & Analysis - CLDA)

Η τεχνική ανάλυσης συμπίεσης εξετάζει τη σχέση που προκύπτει μεταξύ διαφόρων δειγμάτων που απαρτίζουν ένα ηχητικό αρχείο. Οι εγγραφές που αποθηκεύονται με οποιαδήποτε μορφή συμπίεσης με απώλειες, κατά κύριο λόγο εμφανίζουν διάφορα τεχνουργήματα που γίνονται μόνιμο απόκτημα ως υπογραφή της συμπίεσης που έχουν υποστεί. Η υπογραφή αυτή είναι ανάλογη της συμπίεσης που έχει υποστεί το αρχείο ακόμα κι αν το αρχείο σε δεύτερο χρόνο υποστεί επαναδειγματοληψία ή αποθηκευτεί εκ νέου σε ασυμπίεστη μορφή, αλλά και είτε εφαρμοστεί υψηλότερη ποιότητα συμπίεσης.

Γενικότερα, κατά την απωλεστική συμπίεση μέρος πληροφορίας που χάνεται, δύσκολα ανακτάται και επομένως αποτελεί και χαρακτηριστικό αναγνώρισης του είδους απωλεστικής συμπίεσης που μπορεί να έχει υποστεί το αρχείο. Ειδικότερα, η συμπίεση εντοπίζεται σε πρώτη φάση στην επέκταση του αρχείου που ακολουθεί του ονόματος και στις ιδιότητες που φέρει όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (2-56).



Εικόνα 2-56 Απεικόνιση ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου επέκτασης και είδους απωλεστικής συμπίεσης. Επιπλέον, και στα χαρακτηριστικά δεκαεξαδικών δεδομένων όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα (2-57), όπως και αναλύθηκε το ηχητικό αρχείο κατά την δυαδική -

δεκαεξαδική ανάλυση πληροφοριών κεφαλίδας ηχητικού αρχείου της μορφής “.mp3” κ.ά., με έλεγχο εντοπισμού των πληροφοριών στα δεδομένα των ετικετών κλπ.

```
00000000 49 44 33 03 00 00 00 00 31 25 50 52 49 56 00 00 ID3.....1%PRIV..
00000010 10 9B 00 00 58 4D 50 00 3C 3F 78 70 61 63 6B 65 .>...XMP.<?xpacke
00000020 74 20 62 65 67 69 6E 3D 22 EF BB BF 22 20 69 64 t begin="ο»Ω" id
00000030 3D 22 57 35 4D 30 4D 70 43 65 68 69 48 7A 72 65 ="W5M0MpCehiHzre
00000040 53 7A 4E 54 63 7A 6B 63 39 64 22 3F 3E 0A 3C 78 SzNTczkc9d"?>.<x
00000050 3A 78 6D 70 6D 65 74 61 20 78 6D 6C 6E 73 3A 78 :xmpmeta xmlns:x
```

Εικόνα 2-57 Απεικόνιση κεφαλίδας ηχητικού αρχείου της μορφής “mp3” και ετικέτας “ID3”, μέσω “Hex -Editor”

Για το είδος του αποκωδικοποιητή που έχει χρησιμοποιηθεί με αναζήτηση στα δεκαεξαδικά δεδομένα δύναται να εντοπιστεί, όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (2-58).

```
0002CAC0 0C E2 AA 4C 41 4D 45 33 2E 31 30 30 AA AA AA AA .80LAME3.10000000
0002CAD0 AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA 0000000000000000
0002CAE0 AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA 0000000000000000
0002CAF0 AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA 0000000000000000
0002CB00 AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA 0000000000000000
0002CB10 AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA 0000000000000000
0002CB20 AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA 0000000000000000
0002CB30 AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA AA 0000000000000000
```

Εικόνα 2-58 Απεικόνιση αποκωδικοποιητή που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή μορφής “.mp3” απωλεστικής συμπίεσης, μέσω “Hex -Editor”

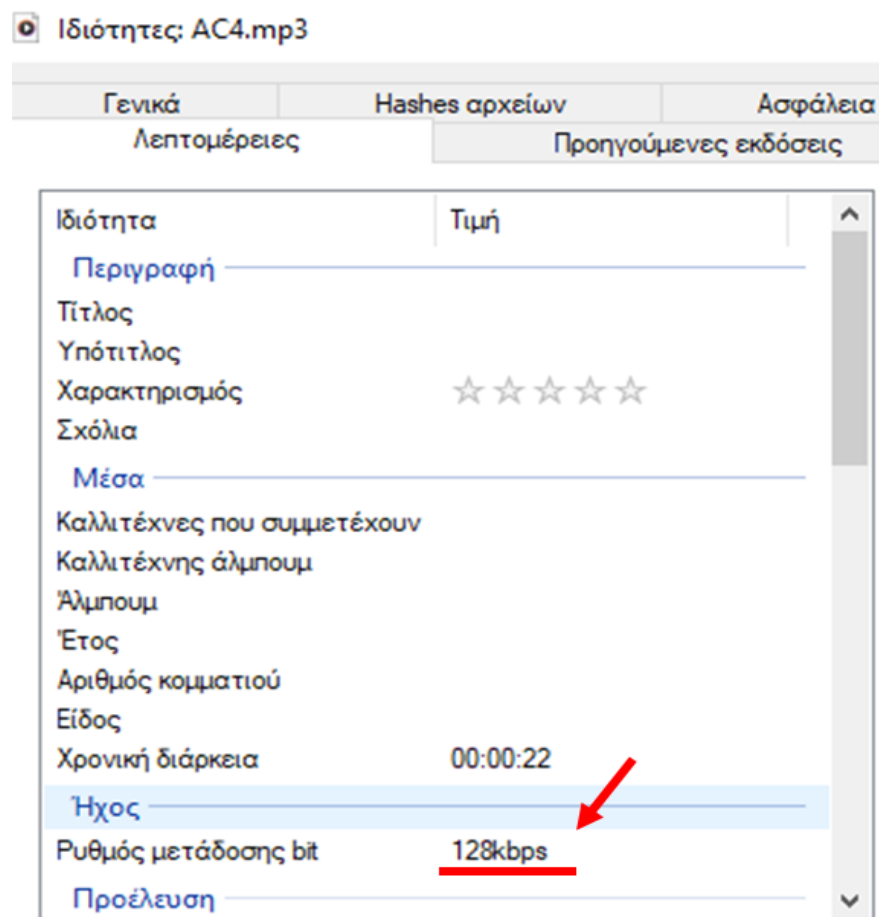
Ένα επιπλέον στοιχείο για το μέγεθος της συμπίεσης που έχει υποστεί το ηχητικό αρχείο, προκύπτει από τον λόγο συμπίεσης που είναι συνεπακόλουθο των ηχητικών δεδομένων και της υποβαθμισμένης ποιότητας του ήχου. Αυτό αποτελεί δημιούργημα του μικρότερου ρυθμού μετάδοσης και των δεδομένων που παρέχονται, λόγω του μεγέθους συμπίεσης στο αρχείο.

Για παράδειγμα, ο ρυθμός μετάδοσης bit για αρχείο ήχου απωλεστικής συμπίεσης μορφής “.mp3” που εμφανίζεται στα 64 kbps θα πρέπει να εμφανίζει στην θέση “Bitrate index” μεταξύ 17 και 20 θέσης τα ψηφία “0101” κατά την δυαδική ανάλυση του αρχείου. Δηλαδή, να επαληθεύεται στις πληροφορίες των ιδιοτήτων του αρχείου ότι είναι Mpeg Version 1 & Layer III για να ισχύουν οι πληροφορίες που προαναφέρθηκαν για τα εμφανιζόμενα ψηφία του “Bitrateindex”. Προτείνεται η κατανόηση των πληροφοριών του πίνακα (2-10) επεξήγησης και ερμηνείας του ρυθμού μετάδοσης ήχου (BitrateIndex) σε kbps, για περαιτέρω επαλήθευση των πληροφοριών που εντοπίζονται μεταξύ των ιδιοτήτων και των δεδομένων στη δομή του αρχείου.

Σε δεύτερη φάση κατά την φασματική ανάλυση εικόνα (2-60), ή με την χρήση φασμάτων LTAS και LTASS μπορεί να διαπιστωθεί οπτικά το είδος συμπίεσης, σύμφωνα με την πληροφορία που έχει απολεσθεί. Το ίδιο μπορεί να διαπιστωθεί και από τον οπτικό έλεγχο

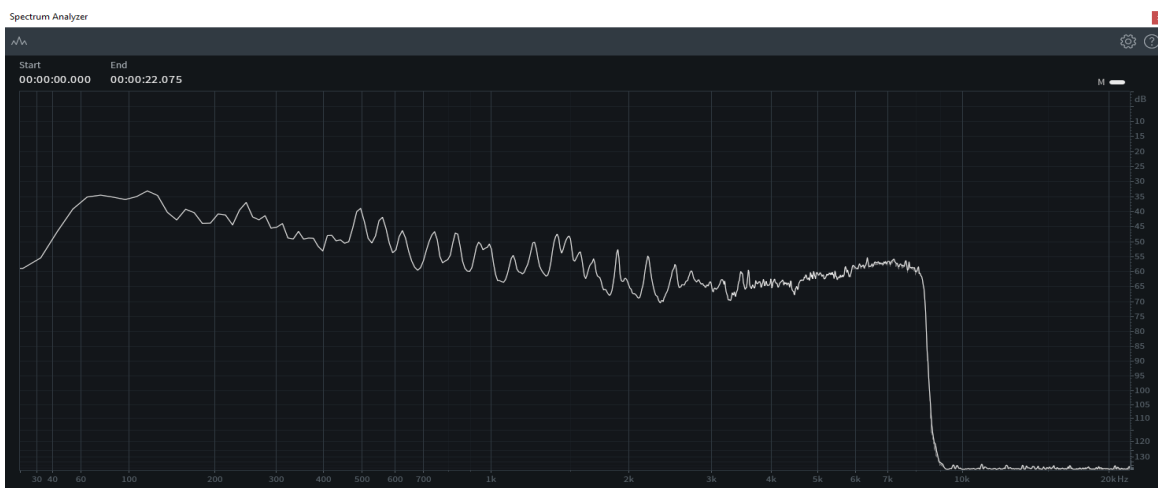
του φασματογραφήματος στο αρχείο, εικόνα (2-61) καθώς η απώλεια της πληροφορίας με εφαρμογή απωλεστικής συμπίεσης εντοπίζεται κυρίως στις υψηλές συχνότητες.

Επιπλέον, μπορεί να διαπιστωθεί και κατά τον έλεγχο του λόγου συμπίεσης σε συνάρτηση με την παροχή δεδομένων που προκύπτει. Καθώς, αποτελεί συνακόλουθο υποβάθμισης της ποιότητας του ηχητικού αρχείου, το μέγεθος της συμπίεσης που προκύπτει να εφαρμόστηκε και να ελεγχθεί εάν αυτό συνάδει με τις φασματικές και φασματογραφικές αναλύσεις του αρχείου.



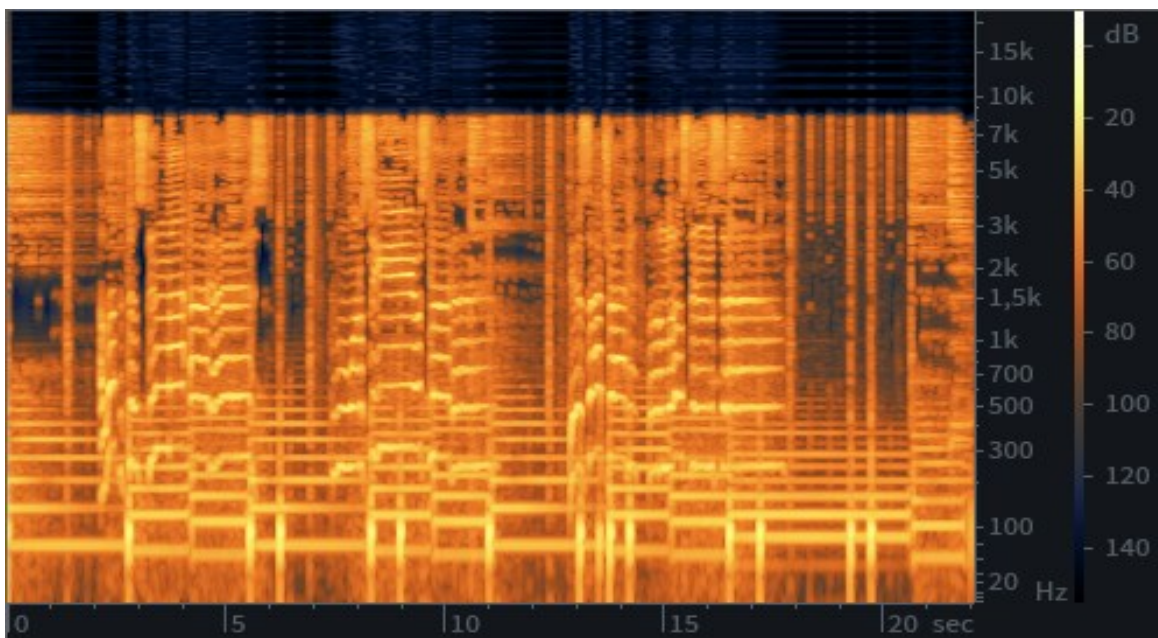
Εικόνα 2-59 Απεικόνιση ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου και μέγεθος απωλεστικής συμπίεσης

Για το ίδιο ηχητικό αρχείο που απεικονίζεται στην παραπάνω εικόνα (2-59) και εμφανίζει ρυθμό μετάδοσης στα 128 kbps, θα έπρεπε εάν ήταν αληθές η εν λόγω συμπίεση να εμφανίζει απώλεια πληροφορίας κατά την ανάλυση του φάσματος, όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (2-60), από τα 15 kHz και άνω και όχι από τα 9 kHz και άνω. Επίσης ο λόγος συμπίεσης με την βοήθεια υπολογισμού του τύπου (8) και των τεχνικών χαρακτηριστικών του ηχητικού αρχείου προκύπτει στα 11,03 περίπου. Δηλαδή αρκετά υψηλός, που συνεπάγεται αρκετά μικρότερο μέγεθος και παροχή δεδομένων.



Εικόνα 2-60 Απεικόνιση φασματικής ανάλυσης ηχητικού αρχείου και μέγεθος απώλειας ηχητικής πληροφορίας λόγω απωλεστικής συμπίεσης, στο DAW Izotope-RX9

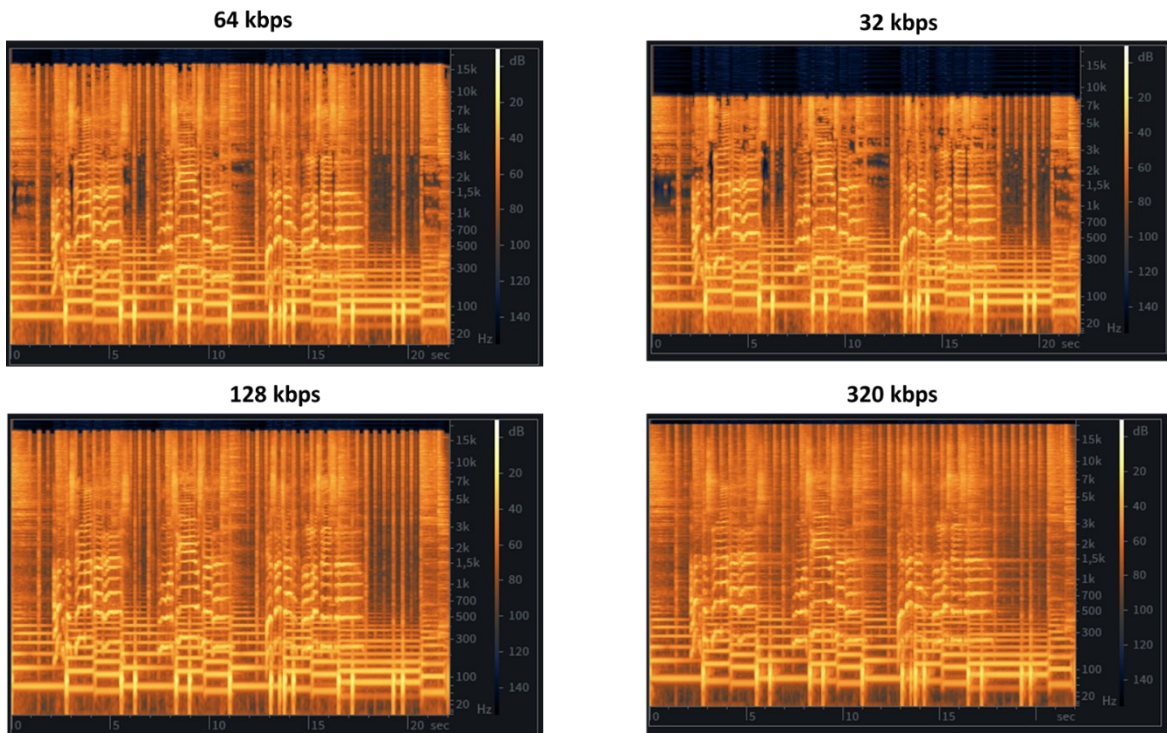
Τα ίδια χαρακτηριστικά απώλειας της ηχητικής πληροφορίας παρατηρούνται και κατά τον οπτικό έλεγχο του φασματογραφήματος στην παρακάτω εικόνα (2-61), όπου θα έπρεπε να παρατηρείται απώλεια της πληροφορίας από τα 15 kHz και άνω.



Εικόνα 2-61 Απεικόνιση φασματογραφήματος ηχητικού αρχείου και μέγεθος απώλειας ηχητικής πληροφορίας λόγω απωλεστικής συμπίεσης στο DAW Izotope-RX9

Η μη συμβατότητα απώλειας της ηχητικής πληροφορίας, που διαπιστώνεται κατά την ανάλυση φάσματος και φασματογραφήματος, κατά τον έλεγχο σε σύγκριση με τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων “bit”, ενώ υπό κανονικές συνθήκες θα έπρεπε να είναι συμβατά μεταξύ τους και να εξακριβώνεται η απώλεια της πληροφορίας, υποδηλώνει προϊόν παραποίησης. Δηλαδή, κανονικά θα έπρεπε να είναι συμβατή με τον ρυθμό μετάδοσης ήχου

και κατά την ανάλυση του φάσματος και φασματογραφήματος. Στην παρακάτω εικόνα (2-62) απεικονίζονται αντίστοιχα φασματογραφήματα για το ίδιο ηχητικό αρχείο, αλλά με διαφορετικό επιλεγόμενο ρυθμό μετάδοσης ήχου.



Εικόνα 2-62 Απεικόνιση φασματογραφημάτων ηχητικού αρχείου και μέγεθος απώλειας ηχητικής πληροφορίας λόγω επιλογής συγκεκριμένου ρυθμού μετάδοσης & απωλεστικής συμπίεσης

Κατά αυτόν τον τρόπο ή η εν λόγω απώλεια αποτελεί απόκτημα εφαρμογής φιλτραρίσματος ή εφαρμογής επανασυμπίεσης στο αρχείο, για παράδειγμα από 32 kbps σε 128 kbps για την απόκρυψη πληροφοριών που έχουν προστεθεί στο πηγαίο ηχητικό αρχείο κ. ά.

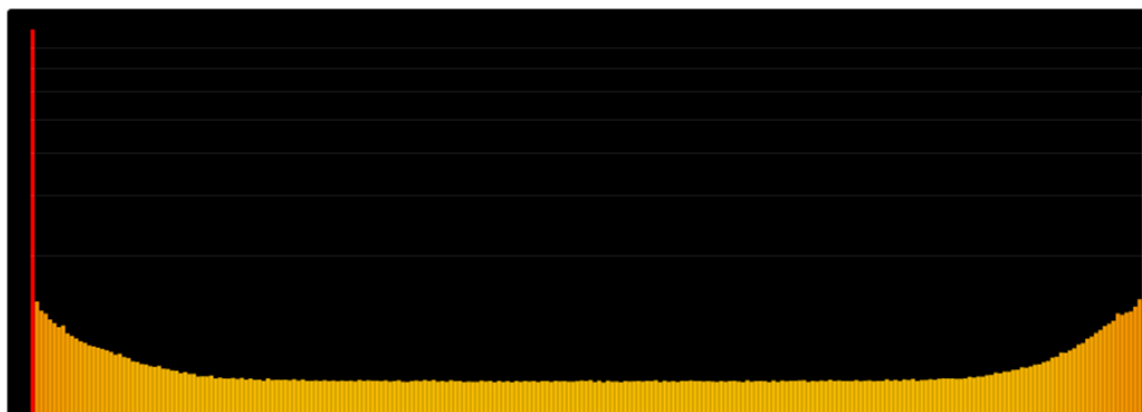
Γενικότερα, με εφαρμογή απωλεστικής συμπίεσης σε μορφής ηχητικού αρχείου “.mp3” με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων “bit” για παράδειγμα 64 kbps, θα εμφάνιζε κατά προσέγγιση αποκοπή στα 11 kHz. Αντίστοιχα κατά προσέγγιση για 128 kbps στα 16 kHz περίπου, για 192 kbps στα 19 kHz και για 320 kbps στα 20 kHz απώλεια πληροφορίας στο συχνοτικό περιεχόμενο (Müller, 2015) του αρχείου προς εξέταση.

Επομένως, εάν εμφανίζονται υπόνοιες ασυμβατότητας στην υποτιθέμενη μορφή εφαρμογής συμπίεσης που εμφανίζεται σε συνάρτηση με την πληροφορία που αναμένεται να παρουσιάζεται στις αναλύσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως, θα πρέπει το ηχητικό αρχείο να εξετάζεται και για το ενδεχόμενο εφαρμογής διπλής συμπίεσης και άνω, συνολικά ή ακόμα και τμηματικά (Korycki, 2014) ως προς το περιεχόμενο του.

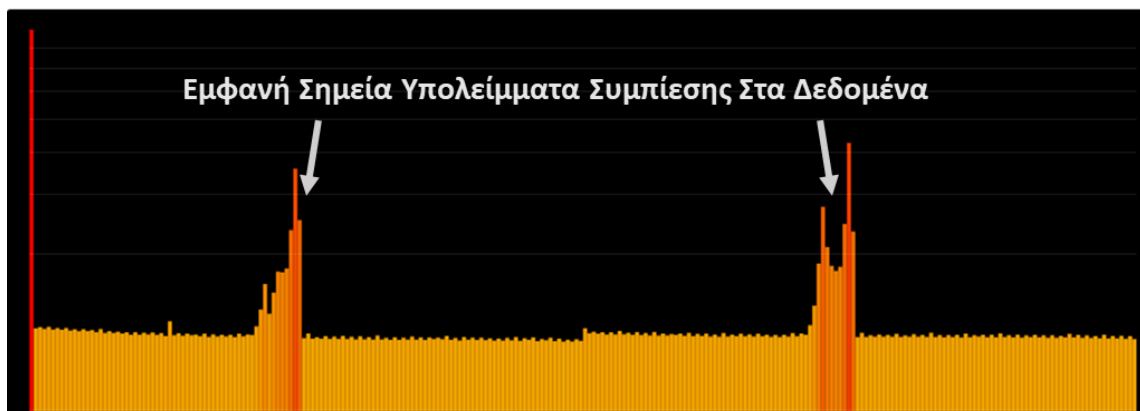
Εντοπισμός Συμπίεσης Μέσω Ακατέργαστων Δεδομένων (Compression Detection Via Raw Hexadecimal Data)

Εάν κατά τον έλεγχο των χαρακτήρων της δεκαεξαδικής επιθεώρησης κατασκευαστικής δομής του αρχείου, δεν εντοπίζεται ίχνος συμπίεσης με απώλεια και όλα φαίνονται να υποδηλώνουν ότι πρόκειται για ηχητικό αρχείο της μορφής π.χ. “.wav” αλλά υπάρχει υπόνοια για εφαρμογή απωλεστικής συμπίεσης, τότε συστήνεται η επιθεώρηση ιστογράμματος που θα εμφανίζεται γραφικά η κατανομή των byte/χαρακτήρων, είτε για ολόκληρο το αρχείο είτε για μεμονωμένες περιοχές που υπάρχει υπόνοια εφαρμογής συμπίεσης. Παρακάτω απεικονίζεται στην εικόνα (2-63) παράδειγμα ιστογράμματος που προκύπτει από τα δεδομένα των αρχείων τύπου παρθένου “.wav” και “.wav” που προκύπτει από αρχείο με κατόπιν εφαρμογή συμπίεσης με απώλεια πληροφορίας και επαναφοράς στην αρχική του μορφή “.wav”, κατά την επιθεώρηση ολόκληρου του αρχείου στα ακατέργαστα δεδομένα του.

Ιστογράμμα Ηχητικού Αρχείου “.wav”



Ιστογράμμα Ηχητικού Αρχείου “.wav” Προερχόμενο από Απωλεστική Συμπίεση



Εικόνα 2-63 Απεικόνιση ιστογράμματος ηχητικού αρχείου της μορφής “.wav” χωρίς εφαρμογή απώλειας πληροφορίας και ιστογράμμα ηχητικού αρχείου “.wav” που έχει υποστεί συμπίεση στα δεδομένα του με απώλεια πληροφορίας. Πηγή ([Hex-Editor](#))

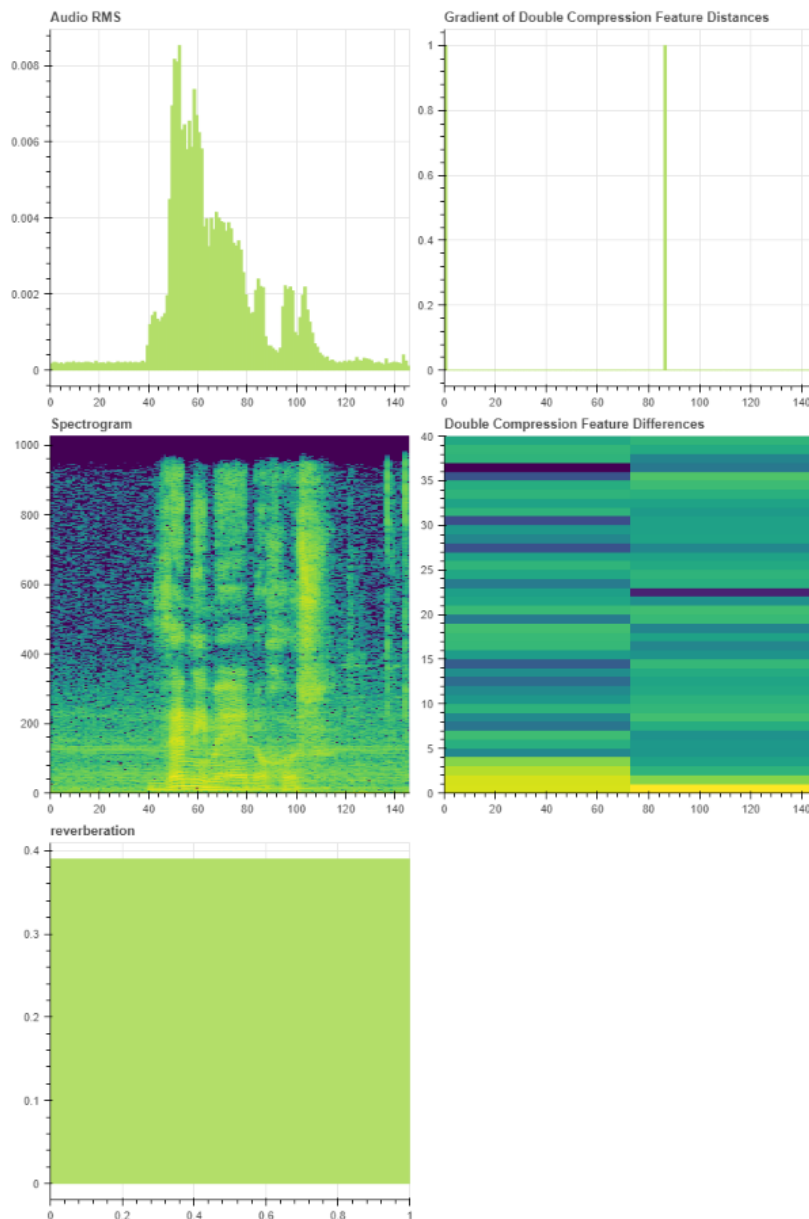
Εντοπισμός Διπλής Απωλεστικής Συμπίεσης (Double Lossy Compression Detection)

Γενικότερα, υπάρχουν αρκετά εργαλεία για την ανίχνευση της παρουσίας τέτοιων τεχνουργημάτων, τα οποία μπορούν να βοηθήσουν κατά την εξέταση στον εντοπισμό της διπλής συμπίεσης. Συνιστάται ο συνδυασμός πολλών τεχνικών, προκειμένου να επιβεβαιωθούν τα διάφορα ευρήματα που προκύπτουν.

Δεδομένου ότι υπάρχει μεγάλη ποικιλία διαφορετικών κωδικοποιητών και εργαλεία αναλύσεων που διατίθενται στην αγορά, η δυνατότητα χρήσης πέραν του ενός συνδυαστικά για την ανάλυση μιας εγγραφής μπορεί να αποδώσει καρπούς ως προς τον εντοπισμό τεχνουργημάτων που ενδέχεται να μην ανιχνεύονται από ένα συγκεκριμένο εργαλείο ανάλυσης και μόνο, αλλά ενδέχεται να εντοπιστούν από ένα άλλο, όπως ακριβώς εντοπίστηκε και στις παραπάνω παρατηρήσεις στον εντοπισμό απωλεστικής συμπίεσης (Vryzas, Katsaounidou, Kotsakis, Dimoulas, & Kalliris, 2019).

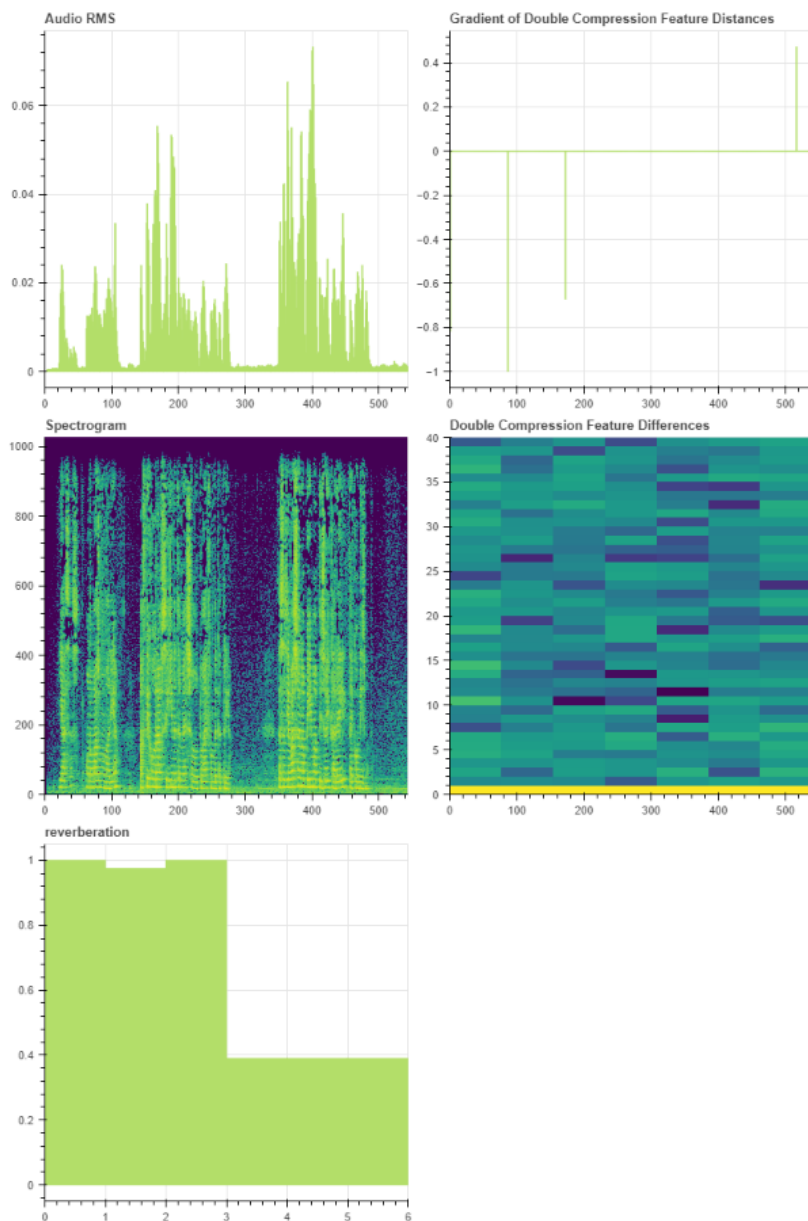
Σημαντική είναι η συνεισφορά της εφαρμογής, καθώςον χρησιμοποιεί βάση δεδομένων, που διατίθεται ελεύθερα στο διαδίκτυο στον σύνδεσμο: [Math AudioVisual Content Authentication](#). Η εν λόγω εφαρμογή αποτελεί μια πρωτότυπη εφαρμογή Ιστού. Εν ολίγοις αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο υποστήριξης ανθρωποκεντρικού ελέγχου ταυτότητας οπτικοακουστικού περιεχομένου, με δυστυχώς κάποιους περιορισμούς ως προς την μορφή και το μέγεθος των αρχείων προς έλεγχο. Συγκεκριμένα, η εν λόγω εφαρμογή δέχεται στην τρέχουσα έκδοση της, ηχητικά αρχεία της μορφής “.wav” και “.mp3” και με μέγιστο μέγεθος τα 5 MB. Επιπρόσθετα, δύναται και η εξέταση αρχείων βίντεο της μορφής “.mp4” με μέγιστο μέγεθος τα 10 MB προερχόμενα και από τον ιστότοπο “Youtube” με φερόμενη μέγιστη διάρκεια τα 3 λεπτά. Ο κώδικας βρίσκεται στον παρακάτω σύνδεσμο Git Hub: [Github.com](#).

Στις παρακάτω εικόνες που ακολουθούν απεικονίζονται σχετικά αποτελέσματα ηχητικών αρχείων με το ίδιο περιεχόμενο, αλλά με διαφορετική συμπίεση κάθε φορά, της μορφής “.mp3”. Αναλυτικότερα, η εικόνα (2-64) απεικονίζει ηχητικό αρχείο χωρίς συμπίεση της μορφής “.wav”. Αντίστοιχα η εικόνα (2-65) απεικονίζει τα αποτελέσματα της εφαρμογής για το ηχητικό αρχείο της μορφής “.wav” που έχει υποστεί μονή απωλεστική συμπίεση της μορφής “.mp3” 128 kbps και στη συνέχεια με επανασυμπίεση με απώλεια πληροφορίας χαμηλότερης παροχής δεδομένων τύπου “.mp3” της τάξης 32 kbps που αποτελεί μέρος συρραφής σε έτερη ηχογράφηση.



Εικόνα 2-64 Απεικόνιση αποτελεσμάτων ηχητικού αρχείου της μορφής “wav” χωρίς εφαρμογή απώλειας ηχητικής πληροφορίας λόγω επιλογής απολεστικής συμπίεσης. Πηγή (Mathe)

Όπως παρατηρείται και στην παραπάνω εικόνα (2-64) τα επίπεδα αντήχησης και χαρακτηριστικών διπλής συμπίεσης δεν εμφανίζουν ανησυχητικά αποτελέσματα. Επιπλέον το αρχείο υποβλήθηκε σε μια νέα διαδικασία συμπίεσης και κατόπιν τα ηχητικά χαρακτηριστικά του εξάγονται τόσο από το αρχικό όσο και από το επανασυμπιεσμένο αρχείο. Στη συνέχεια, υπολογίζεται η ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων ηχητικών χαρακτηριστικών για κάθε χρονική στιγμή (Vryzas et al., 2019). Παρατηρείται υπερβολικά μεγάλη απώλεια ηχητικής πληροφορίας από την ανωτέρω διαδικασία. Επομένως, δεν αποτελεί στο σύνολό του προϊόν εφαρμογής διπλής συμπίεσης με κύριο στόχο την απώλεια για την απόκρυψη ή παραποίηση στο αρχείο προς εξέταση.



Εικόνα 2-65 Απεικόνιση αποτελεσμάτων ηχητικού αρχείου της μορφής “mp3” με εφαρμογή απώλειας ηχητικής πληροφορίας λόγω επιλογής διπλής απωλεστικής συμπίεσης για απόκρυψη συρραφής.

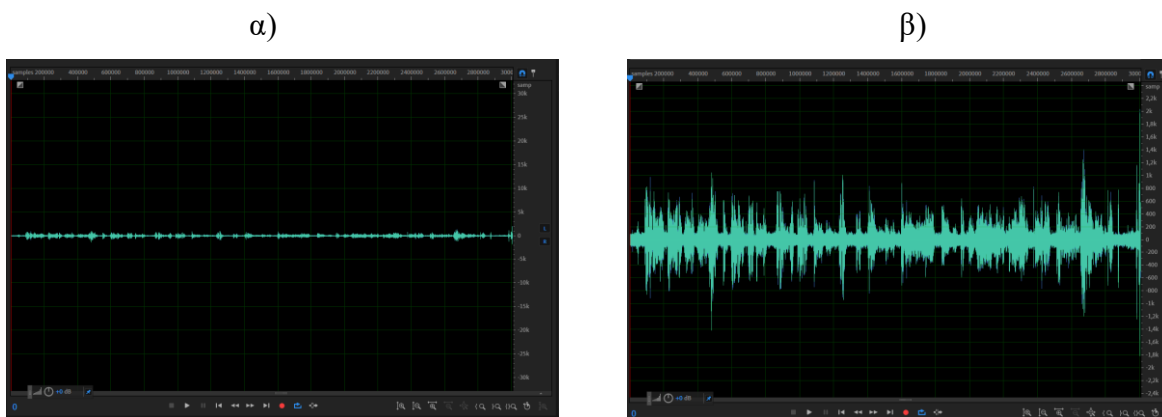
Πηγή ([Mathe](#))

Στην παραπάνω εικόνα (2-65) τα επίπεδα αντήχησης δεν έχουν σταθερή απόκριση κατά μήκος της εγγραφής, αλλά και τα χαρακτηριστικά διπλής συμπίεσης, κατά την εφαρμογή επανασυμπίεσης και εξαγωγής των χαρακτηριστικών μετά και πριν την εφαρμογή συμπίεσης εμφανίζουν ξεκάθαρα διάφορα ανησυχητικά αποτελέσματα. Γενικότερα η απώλεια πληροφορίας είναι πολύ μικρότερη από την εφαρμογή επανασυμπίεσης στο πηγαίο αρχείο. Αυτό αποδεικνύει ότι το εν λόγω αρχείο έχει ξαναδεχτεί συμπίεση με απώλεια πληροφορίας. Συστήνεται όμως, η εφαρμογή τοπικών αναλύσεων στην κυματομορφή και στο φασματογράφημα για πιο έγκυρα αποτελέσματα.

2.6 Τεχνικές Τοπικών Αναλύσεων (Local Analysis Techniques)

2.6.1 Τεχνική Ανάλυσης Κυματομορφής (Waveform Analysis Technique)

Αυτή η τεχνική ανάλυσης είναι ίσως η πιο γνωστή και μπορεί να εκτελεστεί σε οποιοδήποτε τυπικό πρόγραμμα DAW ή αντίστοιχο πρόγραμμα που παρέχεται για ηχητική επεξεργασία. Συνοπτικά, περιλαμβάνει στενή μεγέθυνση σε οθόνη ή εκτύπωση για επιθεώρηση περιοχών ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, τα οποία σε συνδυασμό με την τεχνική της κριτικής ακρόασης (critical listening) έχουν επισημανθεί χρονικά στην κυματομορφή του ήχου. Στην περίπτωση αυτή εξετάζεται η κυματομορφή ως προς τον οριζόντιο άξονα x που αντιπροσωπεύει το χρόνο σε “ώρες:λεπτά:δευτερόλεπτα:χιλιοστά του δευτερολέπτου” ή δείγματα, όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (2-66), μεγέθυνσης κατά πλάτους της κυματομορφής, αλλά δεν συστήνεται και καλό είναι να αποφεύγεται η χρήση εμφάνισης και ελέγχου της κυματομορφής σε μπάρες και beats.

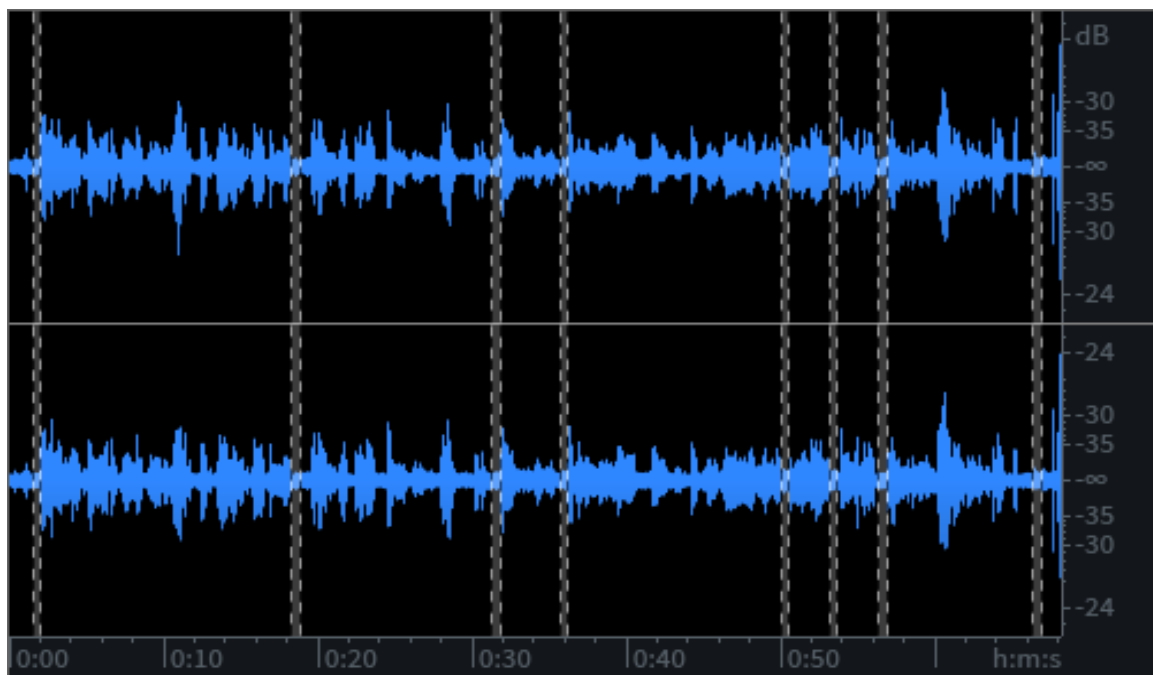


Εικόνα 2-66 Απεικόνιση α) αρχικής κυματομορφής στο λογισμικό “Adobe Audition”. Λόγω χαμηλής εγγραφής β) μεγεθύνουμε κατά πλάτος ώστε να είναι πιο εμφανή και ευδιάκριτο το περιεχόμενο της κυματομορφής

Όπως παρατηρείται και στην παραπάνω εικόνα (2-66), το ηχητικό αρχείο ορίζεται να ξεκινά πάντα στο “0:00:000” ή αντίστοιχα στη περίπτωση επιλογής δειγμάτων από το δείγμα 0, ανεξαρτήτως του χρονοδιαγράμματος που ενσωματώνεται στο αρχείο από οποιαδήποτε συσκευή εγγραφής κ.ά. Εν ολίγοις, το χρονοδιάγραμμα που εμφανίζεται στο DAW γίνεται το κύριο ρολόι χρονικών πληροφοριών για τους σκοπούς της εξέτασης στο περιεχόμενο του αρχείου. Η ανάλυση της κυματομορφής χρησιμοποιείται κυρίως, για την επιθεώρηση και τον εντοπισμό πιθανών επεξεργασιών και ασυνεχειών. Γενικότερα, η προβολή διαφόρων τμημάτων της κυματομορφής σε επίπεδο δείγματος, είναι μια χρήσιμη τεχνική για την αναγνώριση για την παρουσία των υπαρχόντων διαδοχικών επιπέδων κβαντισμού.

Μια ψηφιακή εγγραφή ήχου 16 bit γνωρίζουμε ότι μπορεί να αντιπροσωπεύει οποιοδήποτε δείγμα σε μια κυματομορφή ως ένα από τα 65.536 διακριτά βήματα κβαντισμού. Αυτά τα βήματα αντιστοιχούν σε επίπεδα τάσης, τα οποία είναι ανάλογα με τις διακυμάνσεις της ηχητικής πίεσης. Κατά αυτόν τον τρόπο λοιπόν, όταν ένα φυσικά ακουστικό ηχητικό κύμα κβαντίζεται, είναι πολύ πιθανό διάφορα διαδοχικά δείγματα να εμφανίσουν το ίδιο ακριβώς επίπεδο κβαντισμού. Δηλαδή, παρατηρείται η επανάληψη του ίδιου μοτίβου. Θα πρέπει επομένως τα επαναλαμβανόμενα επίπεδα κβαντισμού να εξεταστούν περεταίρω, για να διαπιστωθεί εάν συνάδουν με την μέθοδο που έγινε η καταγραφή ή εάν πρόκειται πιθανόν για ενδείξεις αλλοίωσης ή αν πρόκειται για μέρος από έτερη ηχογράφηση που ενσωματώθηκε στην ηχογράφηση προς εξέταση (Grigoras, 2012).

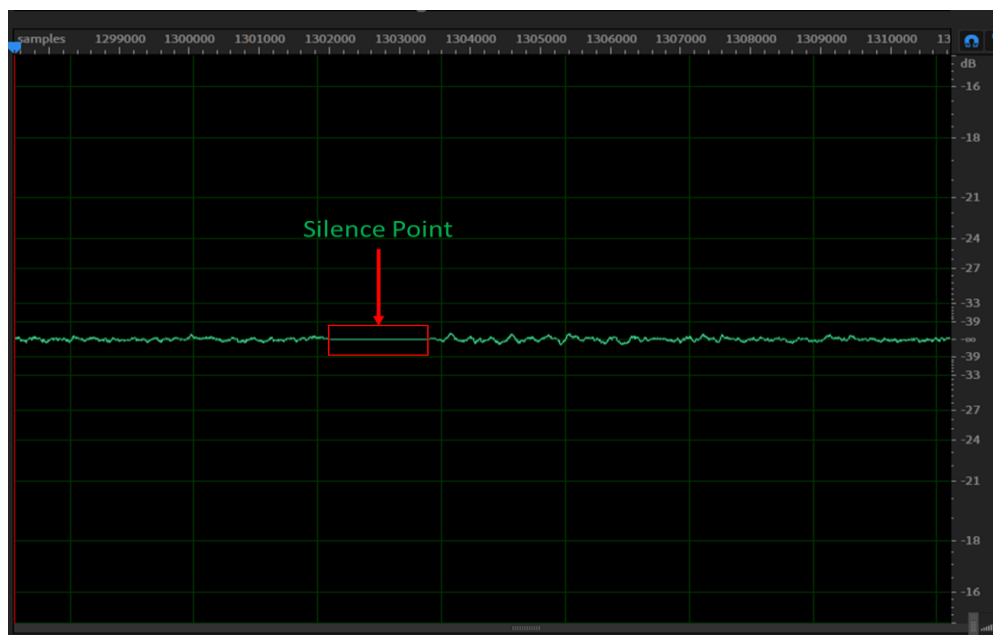
Επομένως, είναι προτιμότερο να εξετάζονται και να ελέγχονται ξεχωριστά μέρη όπου δεν υφίσταται φωνητική δραστηριότητα από μέρη που παρατηρείται να επικρατεί η φωνητική δραστηριότητα. Γενικότερα, υπάρχουν φορές που μπορεί να εντοπίζονται πολλά παρόμοια ηχητικά συμβάντα σε μία εγγραφή. Σε περιπτώσεις όπως αυτή, η χειροκίνητη επιλογή και επεξεργασία κάθε συμβάντος μπορεί να αποτελέσει χρονοβόρα κατάσταση. Συστήνεται η χρήση του λογισμικού “RX” όπου περιλαμβάνει ένα εργαλείο εύρεσης παρόμοιου συμβάντος που θα επιλεγεί. Μπορούν να εντοπιστούν όλες οι σχετικές επαναλαμβανόμενες εμφανίσεις αυτού του ηχητικού συμβάντος (βλ. εικόνα 2-67).



Εικόνα 2-67 Απεικόνιση εύρεσης ίδιου μοτίβου σε εγγραφή στα σημεία χωρίς εμφάνιση φωνητικής δραστηριότητας στο λογισμικό επεξεργασίας “RX”

Παραπάνω ο ορισμός στο κατώφλι ομοιότητας κυμαίνεται μεταξύ 0.0 και 0.1. Ιδανικά προτείνεται η τιμή 0.4 σε συνδυασμό με την προσεκτική επιλεγόμενη περιοχή της εγγραφής που χρήζει ιδιαίτερου ενδιαφέροντος. Γενικότερα είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί με ιδιαίτερη ακρίβεια η συναρμογή του ίδιου συμβάντος πολλές φορές σε μία εγγραφή χωρίς να αφήσει την παραμικρή ατέλεια, είτε ακουστικά είτε κατά τον οπτικό έλεγχο της κυματομορφής. Κατά τον οπτικό έλεγχο και σε συνδυασμό με την τεχνική της κριτικής ακρόασης (critical listening) παρατηρείται η επαναλαμβανόμενη διαπίστωση του ίδιου μοτίβου. Επιπλέον, δεν πρέπει να αμελείται όταν διαπιστώνεται πώς έχουμε μηδενικά επίπεδα πλάτους στην κυματομορφή, ότι μπορεί να αποτελούν ένδειξη διαγραφών, εφαρμογής σιγής κ.ά., ή εκτός εάν εισάγονται αυτόματα λόγω του τρόπου λειτουργίας της συσκευής που χρησιμοποιήθηκε κατά την τέλεση της εγγραφής.

Επομένως, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πώς πραγματοποιήθηκε η ηχογράφηση. Με βάση εν μέρει αυτές τις πληροφορίες, η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τον εντοπισμό ορισμένων ασυνεχειών, δεν θα είναι απόλυτη και με ασφάλεια. Εάν γνωρίζουμε το μέσο που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή τότε οι πολλές δοκιμές, θα αποδώσουν καρπούς. Στην παρακάτω εικόνα (2-68) παρατηρείται η διαδικασία εντοπισμού σιγής στην εγγραφή κατά την διενέργεια οπτικού ελέγχου της κυματομορφής.

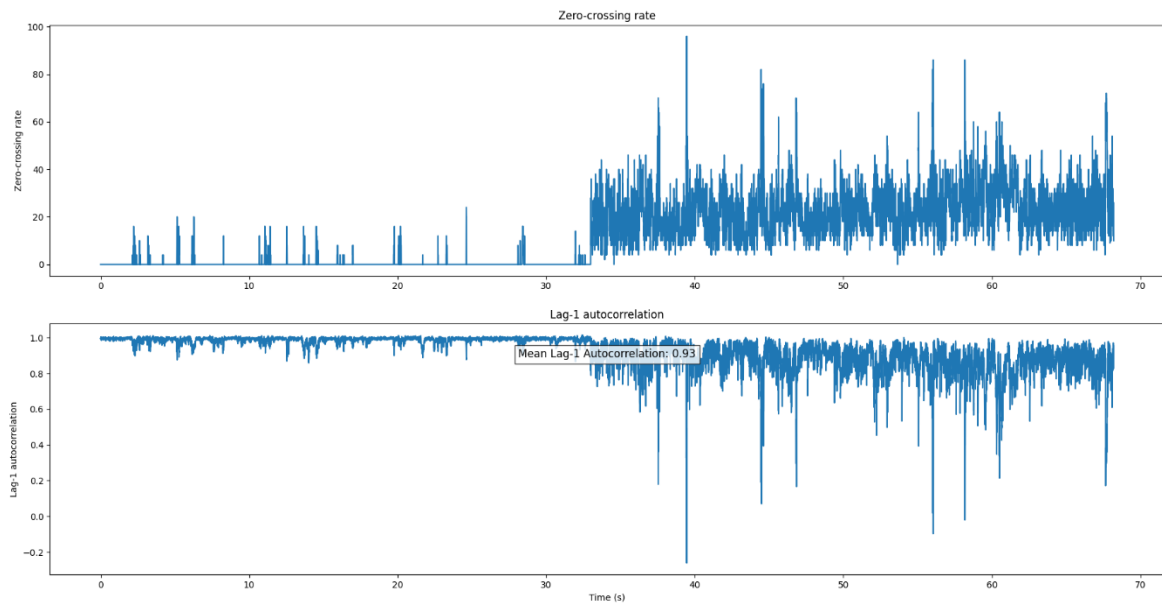


Εικόνα 2-68 Απεικόνιση εύρεσης σημείου σιγής σε εγγραφή, κατά τον οπτικό έλεγχο της κυματομορφής, με τη βοήθεια του λογισμικού επεξεργασίας “Adobe Audition”

Αυτό το πολύ μικρό σημείο, δεν εντοπίζεται μέσω στατιστικών αναλύσεων πλάτους εύκολα σε ένα λογισμικό επεξεργασίας, παρά μόνο μέσω ακρόασης και οπτικής παρατήρησης.

Εντοπισμός Παραποίησης μέσω Μηδενικών διασταυρώσεων & Αυτοσυσχέτισης

Ο ρυθμός μηδενικών διασταυρώσεων ZCR στην παρακάτω εικόνα (2-69) παραμένει χαμηλός για τα πρώτα 30 δευτερόλεπτα, δείχνοντας ελάχιστες αλλαγές πρόσημου. Μετά τα 30 δευτερόλεπτα, ο ZCR αυξάνεται σημαντικά.



Εικόνα 2-69 Απεικόνιση ρυθμού μηδενικής διασταύρωσης & αυτοσυσχέτιση καθυστέρησης -1

Στο δεύτερο σχήμα της παραπάνω εικόνας (2-69)¹⁴ η αυτοσυσχέτιση καθυστέρησης Lag-1 εμφανίζεται αρχικώς υψηλή (κοντά στο 1), παρουσιάζοντας μια ισχυρή συσχέτιση μεταξύ διαδοχικών τιμών του σήματος. Βέβαια, με την πάροδο του χρόνου, μειώνεται, δείχνοντας μείωση μεταξύ εξάρτησης διαδοχικών τιμών του σήματος, όπου στην συνέχεια πέφτει απότομα σε ορισμένα σημεία, υποδεικνύοντας απότομες αλλαγές στο σήμα. Η μείωση μετά τα 30 δευτερόλεπτα, υποδεικνύει ότι το σήμα έγινε πιο χαοτικό και λιγότερο προβλέψιμο στο σύνολο του, κάτι που μπορεί να υποδηλώνει έναν νέο τύπο ηχητικής δραστηριότητας ή θορύβου που εμφανίζεται απότομα στο περιβάλλον της ηχογράφησης ή πολύ απλά συνένωση αποσπασμάτων από έτερες ηχογραφήσεις (συρραφή). Οι απότομες αλλαγές στον ρυθμό μηδενικών διασταυρώσεων και στην αυτοσυσχέτιση μπορούν να υποδεικνύουν και συγκεκριμένα ηχητικά γεγονότα όπως, ξαφνικές κραυγές ή φωνές, θορύβους από πυροβολισμούς, εκρήξεις ή άλλες παρόμοιες δραστηριότητες ή αλλιώς απότομες ενάρξεις και τερματισμούς ηχητικών πηγών, όπως μια συζήτηση που ξεκινά ή σταματά ξαφνικά.

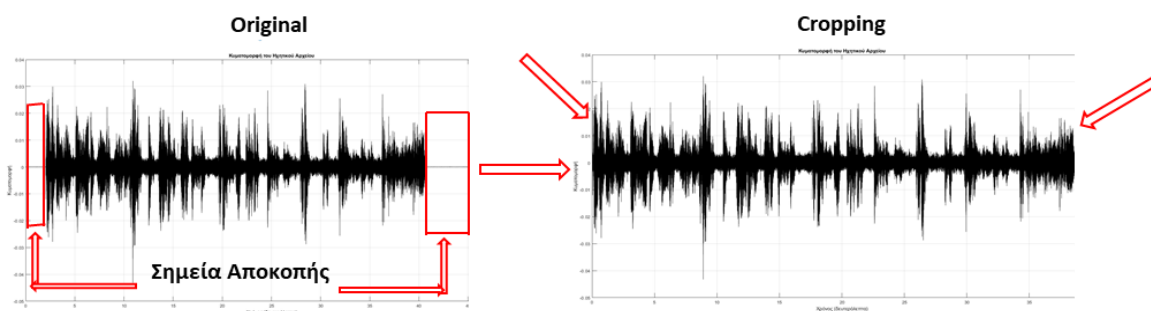
¹⁴ Η ανάλυση και εμφάνιση των σχημάτων της εικόνας (2-69) επιτεύχθηκε με την βοήθεια των τύπων (17 & 18) στον κώδικα του Παραρτήματος ΙΔ

Κοινές Τεχνικές Ηχητικής Επεξεργασίας

Για την αποτελεσματικότερη ανίχνευση διαφόρων μεθόδων που αφορούν χειρισμούς επεξεργασίας, πρέπει να γίνουν πρωτίστως κατανοητές οι διάφορες κοινές πρακτικές επεξεργασίας ήχου, που εισάγουν τροποποιήσεις και συναντούν την εφαρμογή τους στο περιεχόμενο κυματομορφών στα ηχητικά αρχεία. Παρακάτω, παρουσιάζονται κοινές τεχνικές ηχητικής επεξεργασίας, που εντοπίζονται μέσω της κυματομορφής.

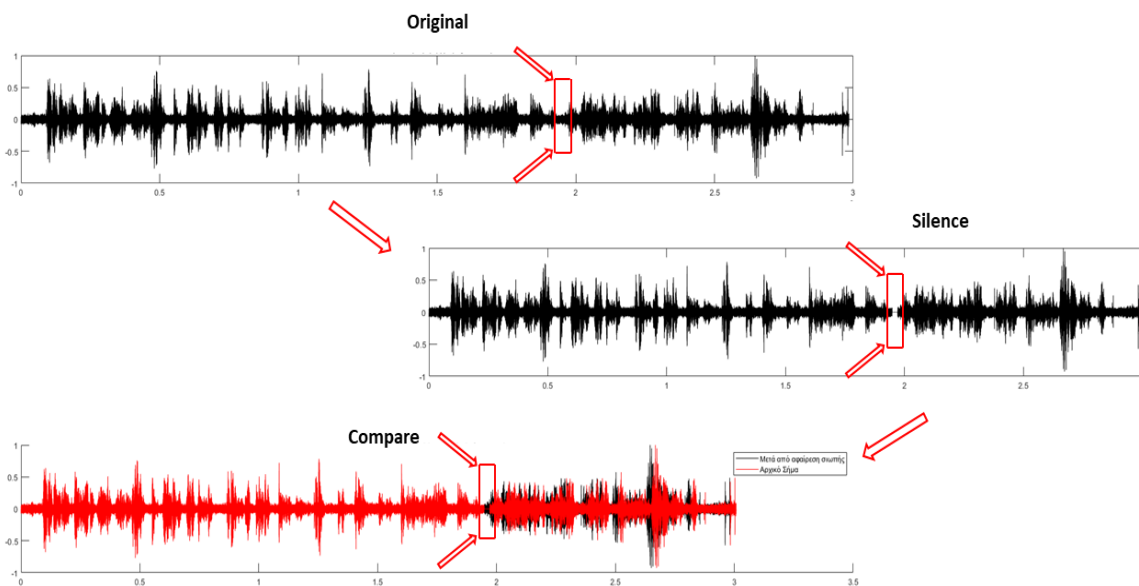
Εφαρμογή Περικοπής (Cutting/Cropping) Ηχητικού Αρχείου

Η περικοπή σε ένα αρχείο ήχου σημαίνει αφαίρεση δεδομένων στην έναρξη ή στο τελείωμα της εγγραφής. Ουσιαστικά εντοπίζεται περικοπή κατά συνέπεια και μείωση του αρχικού μεγέθους του αρχείου, βλ. εικόνα (2-70).



Εικόνα 2-70 Απεικόνιση εφαρμογής περικοπής (cropping)

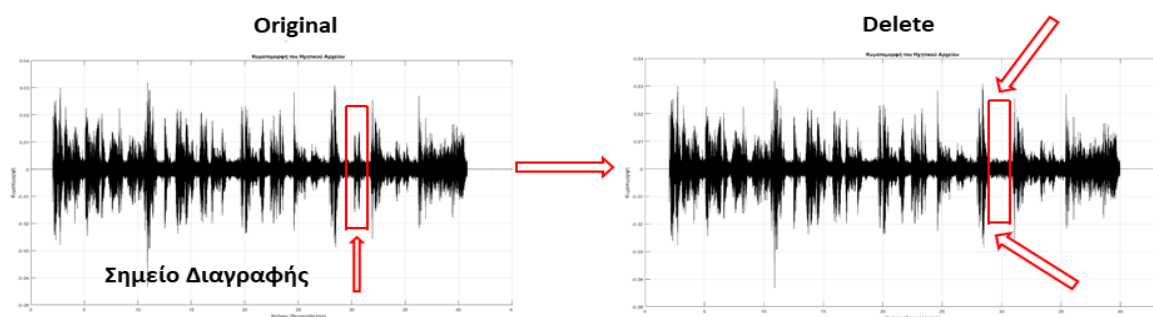
Εφαρμογή Σιγής (Silence Apply) Ηχητικού Αρχείου



Εικόνα 2-71 Απεικόνιση εφαρμογής σιγής (Silence)

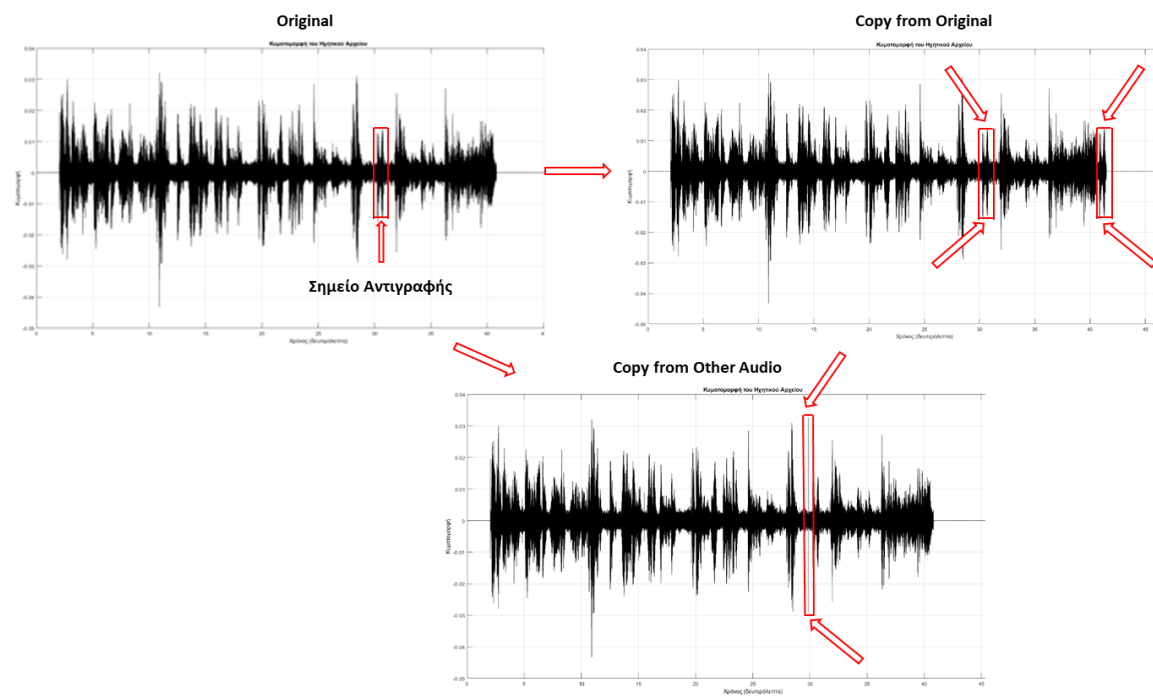
Η εφαρμογή περικοπής (Cutting/Cropping) βλ. παράδειγμα απεικόνισης στην εικόνα (2-70), αλλά και η εφαρμογή σιγής (Silence) σε μεμονωμένα σημεία όπως αποτυπώνεται και στην εικόνα (2-71) στο ηχητικό αρχείο, θα μπορούσε να αποτελεί και χαρακτηριστικό του μέσου εγγραφής που χρησιμοποιήθηκε κατά την διάρκεια τέλεσης της εγγραφής. Παρακάτω στις εικόνες (2-72 και 2-73) ο εντοπισμός εφαρμογής διαγραφής και συναρμολόγησης βασίζεται σε οπτικές και ακουστικές παρατηρήσεις.

Εφαρμογή Διαγραφής (Delete Apply) Ηχητικού Αρχείου



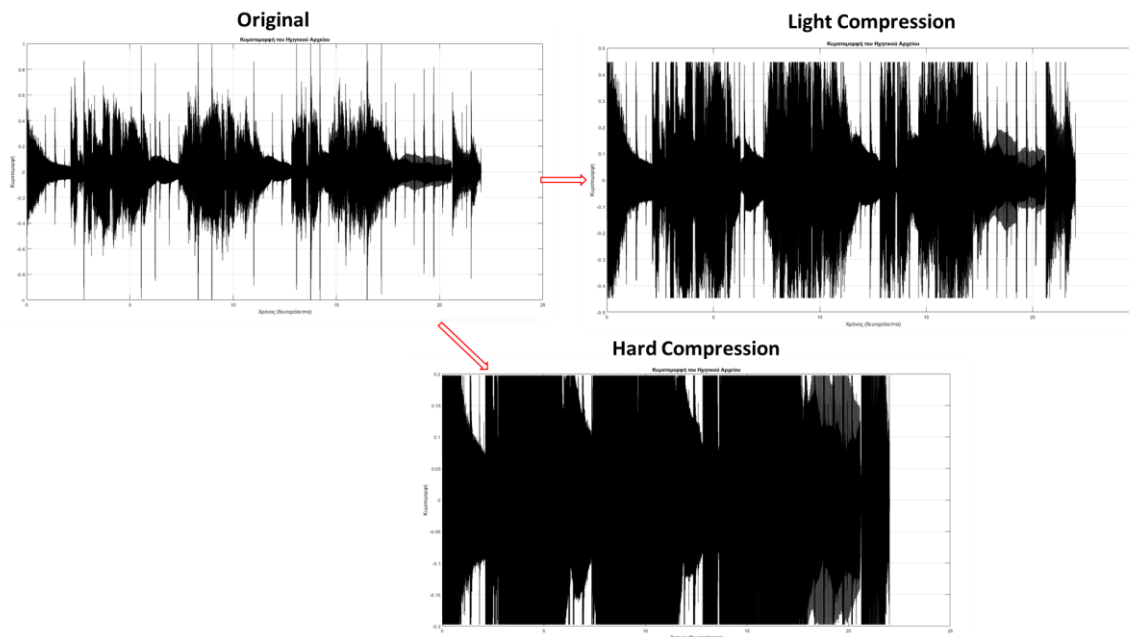
Εικόνα 2-72 Απεικόνιση εφαρμογής Διαγραφής (Delete)

Εφαρμογή Συναρμολόγησης (Splicing Apply) Ηχητικού Αρχείου



Εικόνα 2-73 Απεικόνιση εφαρμογής Συναρμολόγησης (Splicing)

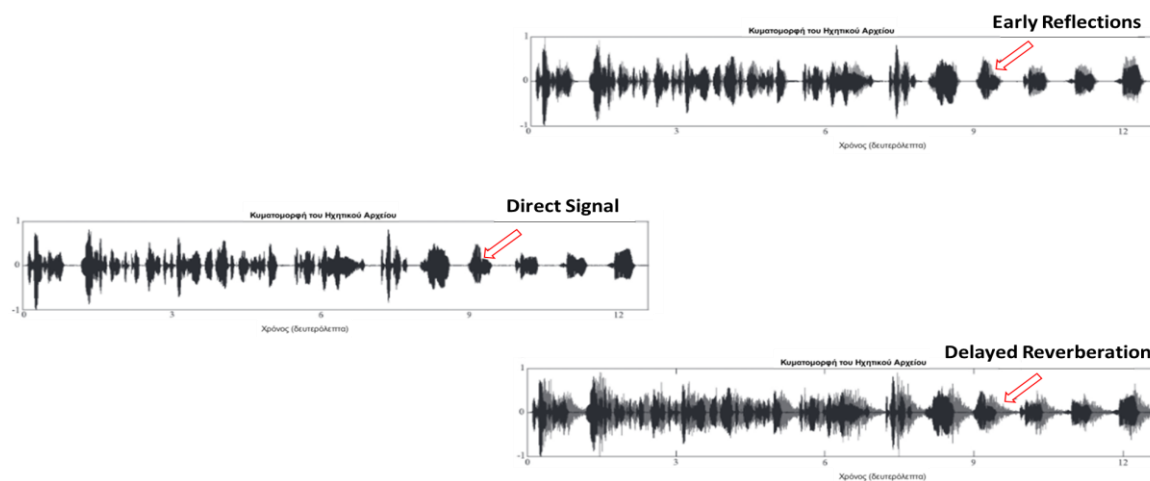
Εφαρμογή Συμπίεσης (Compression Apply) Κυματομορφής Αρχείου



Εικόνα 2-74 Απεικόνιση εφαρμογής συμπίεσης στην κυματομορφή (Compression Apply)

Είναι δύσκολο η συσκευή εγγραφής να εφαρμόζει συμπίεση στην κυματομορφή από κατασκευής της και ιδιαίτερα με τέτοιο τρόπο ώστε να παραμορφώνει το ηχητικό περιεχόμενο, (βλ. εικόνα 2-74). Επομένως, απαιτείται περαιτέρω έλεγχος και αναζήτηση πληροφοριών του τρόπου τέλεσης και των χαρακτηριστικών της εγγραφής.

Εφαρμογή Τεχνητής Αντήχησης (Artificial Resonance) στο Ηχητικό Αρχείο

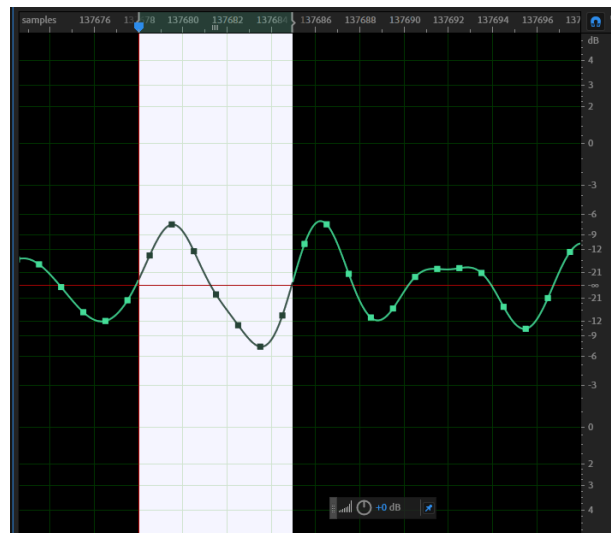


Εικόνα 2-75 Απεικόνιση εφαρμογής τεχνητής αντήχησης (Artificial Reverberation)

Τα υψηλά επίπεδα αντήχησης δύναται να προκαλέσουν αλλοιώσεις στα φωνητικά χαρακτηριστικά και ιδιαίτερα στην χροιά της φωνής, προκαλώντας ιδιαίτερους χρωματισμούς (colorations) (Τσιλφίδης & Φλώρος, 2013). Παρατηρώντας και την παραπάνω εικόνα (2-75) απεικόνισης των πρώιμων και καθυστερημένων ανακλάσεων, αλλά και στεγνού σήματος με φυσικό τρόπο λόγω αποτύπωσης του ακουστικού περιβάλλοντος, πως ο εντοπισμός σε μεμονωμένα σημεία στην διάρκεια της εγγραφής, δεν αποτελεί φυσική ακολουθία που διαδραματίστηκε την ίδια χρονική στιγμή της εγγραφής. Εκτός και εάν διαπιστώνεται η εναλλαγή του ακουστικού περιβάλλοντος από εσωτερικό χώρο σε εξωτερικό χώρο, που και πάλι θα διαπιστώνεται πιο ομαλή και όχι ακαριαία εμφάνιση ανακλάσεων στην κυματομορφή (Zhao & Malik, 2013). Ο συνδυασμός κριτικής ακρόασης (critical listening) και οπτικού ελέγχου κυματομορφής μπορεί να δώσει πληροφορίες εναλλαγών σχετικά με τα επίπεδα αντήχησης στην εγγραφή. Επίσης, δεν πρέπει να λησμονηθεί ότι μία καταγραφή που διαδραματίζεται σε κλειστό χώρο και κατόπιν επιλογής παύσης της καταγραφής, επανεκτελεστεί σε εξωτερικό χώρο θα δυσχέραινε και θα κατέρριπτε τις παρατηρήσεις, καθώς θα υπήρχε ανακρίβεια αποτελεσμάτων, για το εάν πρόκειται για προϊόν συρραφής ή εσκεμμένης επεξεργασίας του ηχητικού υλικού προς διερεύνηση, ή φυσικό επακόλουθο χρήσης παύσεως της καταγραφής δια μέσου της συσκευής. Οι εν λόγω κοινές τεχνικές προσπάθειας αλλοίωσης που προαναφέρθηκαν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με κύριο στόχο την αλλαγή του σημασιολογικού πλαισίου και αλλοίωσης του περιεχομένου σε μία εγγραφή στην κυματομορφή, που κατά συνέπεια και ορισμένες από αυτές προκαλούν και μεταβολή στο μέγεθος του ηχητικού αρχείου. Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί ότι η παρουσία κομμένων ή παραμορφωμένων δειγμάτων ή μέρη που εντοπίζονται με την εφαρμογή των παραπάνω τεχνικών επεξεργασίας, πρέπει να αποκλείονται για την αποφυγή επηρεασμού των αποτελεσμάτων κατά τη διενέργεια μεταγενέστερων στατιστικών αναλύσεων στα επίπεδα παρουσίας πλάτους των δειγμάτων στην κυματομορφή. Φυσικά, ο εντοπισμός σε μεμονωμένες περιοχές στην κυματομορφή και όχι κατ' εξακολούθηση ή καθ' όλη την διάρκεια της εγγραφής, όλων των παραπάνω παραδειγμάτων που απεικονίζονται, αποτελεί και ένδειξη υπόνοιας συρραφής ή επεξεργασίας. Επιπλέον, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία και να πραγματοποιείται καταγραφή στις δραστικές αλλαγές επιπέδων πλάτους, που δεν αποτελούν χαρακτηριστικό των ήχων που εμφανίζονται με φυσικό τρόπο και μπορεί να είναι ένδειξη μιας μορφής επεξεργασίας. Ωστόσο, δεν πρέπει ποτέ να λησμονούνται οι ιδιαιτερότητες της συσκευής εγγραφής, εάν φυσικά γνωρίζουμε την συσκευή που χρησιμοποιήθηκε.

Έλεγχος Δειγματοληψίας στην Κυματομορφή

Γενικότερα πρέπει να ελέγχεται και να υπολογίζεται η καταγραφή συχνοτήτων ηχητικών σημάτων, καθώς και οι συχνότητες δειγματοληψίας που εφαρμόζονται σε κάθε περίπτωση. Κατά αυτόν τον τρόπο μπορεί να δοθεί σχετική επεξήγηση αν σε κάθε μία περίπτωση ικανοποιείται ή όχι το θεώρημα της δειγματοληψίας, (βλ. εικόνα 2-76).



Εικόνα 2-76 Απεικόνιση μεγεθυμένης κυματομορφής για έλεγχο θεωρήματος δειγματοληψίας στο λογισμικό επεξεργασίας “Adobe Audition”

Από το Σχήμα στην εικόνα (2-76) της κυματομορφής προκύπτει:

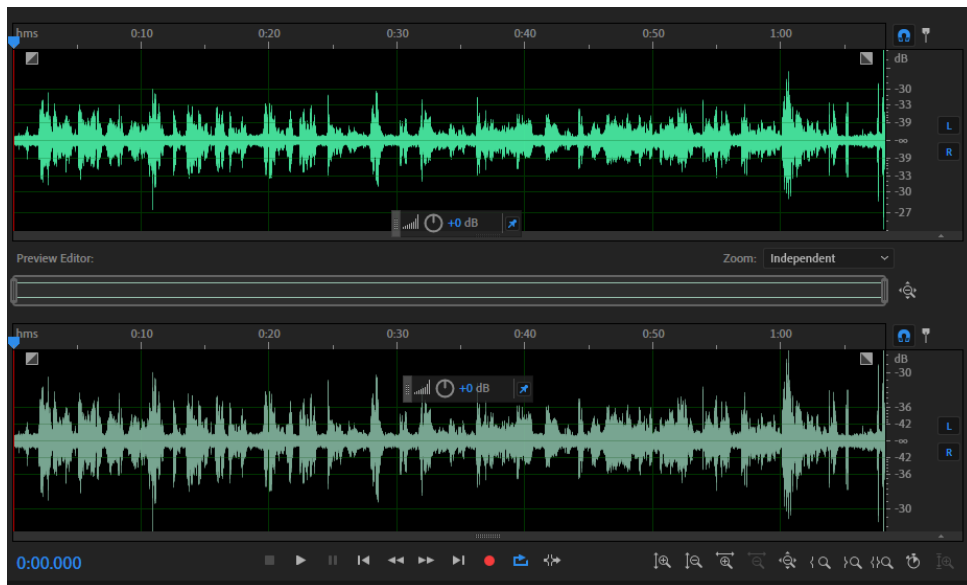
- Samples = 7
- $T = 3,121 \text{ msec}$, $T = 3,121 \text{ msec} = 3,121 \cdot 10^{-3} \text{ sec} = 0,0031 \text{ sec}$, καθώς $T = 1/f_0$

Επομένως,

$$F_0 = \frac{1}{3,121 \cdot 10^{-3}} = \frac{1}{0,0031} = 322,2 \text{ Hz}, \text{ \& } F_s = \frac{7}{0,0031} = 2.258,06 \text{ Hz}, \text{ \& } \text{ \& } F_s > 2 \cdot F_0$$

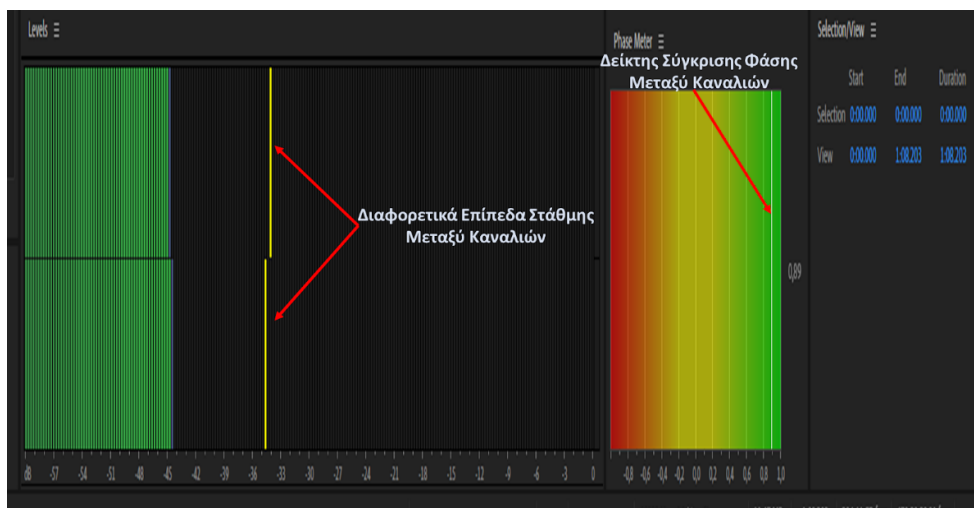
Επομένως και ικανοποιείται το Θεώρημα Δειγματοληψίας σύμφωνα με τον τύπο (1). Επιπλέον, με απλή οπτική επιθεώρηση της κυματομορφής μίας καταγραφής, όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (2-77), καθώς και με σχετική εξόρυξη πληροφοριών από τα ακατέργαστα δεδομένα, των ιδιοτήτων του αρχείου, μπορεί να διαπιστωθεί εάν πρόκειται για στερεοφωνικό αρχείο ήχου ή όχι. Εάν όμως είναι δημιούργημά αυτού του είδους στερεοφωνίας χειροκίνητης διαδικασίας μέσω επεξεργασίας με σκοπό την παραποίηση είναι κάτι το οποίο και θα πρέπει να ελέγχεται πιο λεπτομερώς, ειδικότερα εάν δεν υφίσταται γνώση του μέσου και των ιδιοτήτων του, που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή.

Εντοπισμός “Ψευδοστέρεο” σε Αρχείο



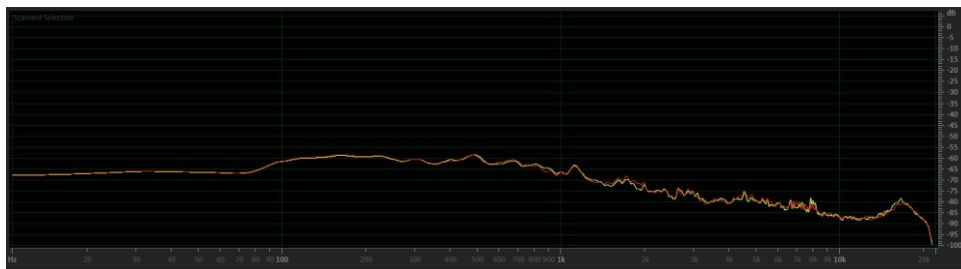
Εικόνα 2-77 Απεικόνιση κυματομορφής στερεοφωνικού αρχείου στο λογισμικό επεξεργασίας “Adobe Audition”

Ακόμα και η συσκευή καταγραφής να βρίσκεται στα χέρια του εξεταστή, οι ιδιότητες χαρακτηριστικά κλπ., να συμπίπτουν με αυτά κατά τα οποία ο τρόπος καταγραφής και εξαγωγής των ηχητικών αρχείων είδους, μορφής, παροχής δεδομένων κ.ά., να επικυρώνεται με το υλικό που βρίσκεται προς εξέταση σε σχέση με την συσκευή, θα πρέπει και πάλι να ελέγχεται ως προς τον τρόπο καταγραφής της στερεοφωνίας που αποδίδεται στο δημιουργούμενο αρχείο. Ένας τρόπος εντοπισμού και επαλήθευσης ενός “ψευδοστέρεο” αρχείου ήχου, μπορεί να επιτευχθεί με την επιθεώρηση φάσης μεταξύ των καναλιών ήχου στο αρχείο, μέσω ενός “DAW”, όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (2-78).



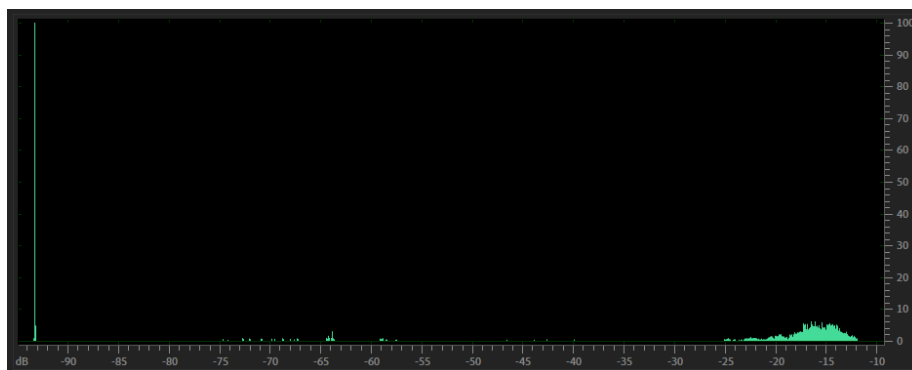
Εικόνα 2-78 Απεικόνιση ελέγχου επιπέδων στάθμης και φάσης μεταξύ των καναλιών, στο λογισμικό επεξεργασίας “Adobe Audition”

Ο δείκτης μέτρησης φάσης του σήματος στην παραπάνω εικόνα (2-78), θα παρέχει πληροφορία, σχέσης φάσης μεταξύ των καναλιών (στερεοφωνικό ή surround). Οι μετρήσεις του δείκτη σύγκρισης φάσης προς τα δεξιά υποδεικνύουν ότι τα κανάλια βρίσκονται σε φάση μεταξύ τους (in-phase), ενώ οι ενδείξεις προς τα αριστερά υποδεικνύουν ότι τα κανάλια είναι εκτός φάσης σε κάποιο βαθμό. Αν ο μετρητής είναι εντελώς προς τα αριστερά, τα δύο κανάλια που συγκρίνονται είναι εκτός φάσης. Αυτό συνεπάγεται είτε διαφορετική πληροφορία στο συχνотικό περιεχόμενο ανά κανάλι ήχου (βλ. εικόνα 2-79 ελέγχου μέσω ανάλυση φάσματος μεταξύ καναλιών) είτε ως προς την ένταση (βλ. εικόνα 2-81 ανάλυσης επιπέδων ενέργειας πλάτους ανά κανάλι μέσω ιστογράμματος κατά την στατιστική ανάλυση) είτε ως προς την ακουστική πληροφορία στο περιεχόμενο, με έλεγχο μέσω ακρόασης ανά κανάλι ήχου.



Εικόνα 2-79 Απεικόνιση ελέγχου μέσω ανάλυσης φάσματος λογαριθμικά μεταξύ καναλιών, στο λογισμικό επεξεργασίας “Adobe Audition”

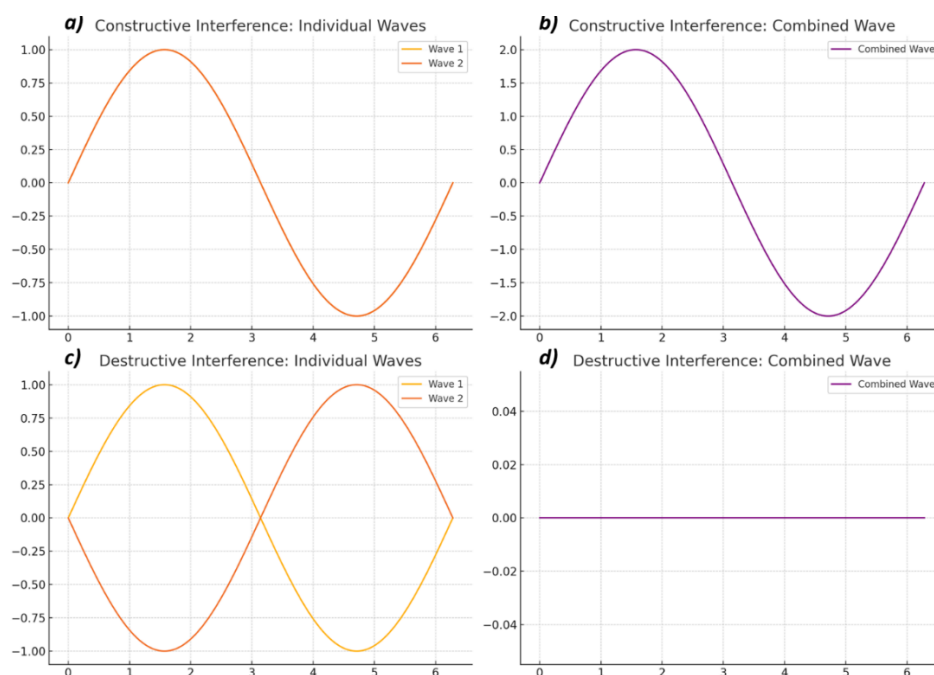
Για ένα επιλεγμένο αρχείο ή ενός τμήματος του στην κυματομορφή, (εικ.2-79), εμφανίζεται η απόκριση πλάτους στον κατακόρυφο άξονα σε γραφική παράσταση έναντι της συχνότητας στον οριζόντιο άξονα. Το εύρος συχνοτήτων μπορεί να εμφανιστεί γραμμικά ή λογαριθμικά, ανάλογα τις προτιμήσεις του εξεταστή ή της πληροφορίας που θέλει να εξάγει.



Εικόνα 2-80 Απεικόνιση ανάλυσης επιπέδων ενέργειας πλάτους στην κυματομορφή στο λογισμικό επεξεργασίας “Adobe Audition”

Το εν λόγω ιστόγραμμα (εικ. 2-80) δείχνει πόση ενέργεια (πλάτος RMS) στον κατακόρυφο άξονα, υπάρχει σε διάφορα επίπεδα πλάτους ως προς τον οριζόντιο άξονα, ανά κανάλι ήχου.

Ένας άλλος γρήγορος τρόπος ελέγχου της πληροφορίας μεταξύ των καναλιών, είναι ο διαχωρισμός των καναλιών ήχου (L - R) από ένα στερεοφωνικό αρχείο και αντιστροφής της φάσης, ενός από τα δύο. Με αυτόν τον τρόπο εάν προκύψει εξουδετέρωση των ήχων, τότε τα δύο κανάλια περιέχουν την ίδια πληροφορία, ειδάλλως αποδεικνύεται η ύπαρξη από διαφορετικό περιεχόμενο σε ένα από τα δύο. Αυτή η ακύρωση θα παρατηρηθεί να συμβαίνει όταν η κορυφή του ενός κύματος (Left channel) ταιριάζει με τη βάση ενός άλλου κύματος (Right channel), (Αποδυναμωτική Συμβολή). Δεν πρέπει να παραλείπεται επιπλέον σαν πληροφορία η αναφορά ότι, δύο κύματα όταν συναντώνται (Urone & Hinrichs, 2020), δηλαδή όταν η κορυφή ενός κύματος ταιριάζει με την κορυφή ενός άλλου, ότι η “φάση” τους την δεδομένη χρονική στιγμή μπορεί να προκαλέσει ενίσχυση του σήματος, (Ενισχυτική Συμβολή) (βλ. εικόνα 2-81). Αναλυτικότερα, η λεγόμενη "φάση" ενός κύματος, βρίσκει αναφορά σε συγκεκριμένη τοποθεσία ενός συγκεκριμένου σημείου στη κυματομορφή, σε σχέση φυσικά με το σημείο εκκίνησης του κύματος. Αποτελεί εν μέρη για ένα κύμα βασικό χαρακτηριστικό που διαδραματίζει μεταξύ κύματος και περιβάλλοντος, σημαντικό ρόλο στην αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Επομένως ο έλεγχος του τρόπου καταγραφής της συσκευής είναι άρρηκτα συνδεδεμένος και με τον έλεγχο της πλασματικής ή μη δημιουργούμενης στερεοφωνίας, ώστε να διαπιστωθεί η ενδεχόμενη ή μη επεξεργασία - παραποίηση της καταγραφής. Στο παράρτημα Ι βρίσκεται ο κώδικας δημιουργίας της εικόνας (2-81).



Εικόνα 2-81 Απεικόνιση αναπαράστασης Ενισχυτικής Συμβολής (Constructive Interference) σχήματα (a & b), καθώς και Αποδυναμωτικής Συμβολής (Destructive Interference), σχήματα (c & d)

Στο α) διάγραμμα της εικόνας (2-81) απεικονίζονται τα δύο ηχητικά κύματα που έχουν την ίδια φάση και ταλαντώνονται μαζί, ενώ στο β) διάγραμμα, παρουσιάζεται η συνδυασμένη κυματομορφή που προκύπτει από την ενισχυτική συμβολή (Urone & Hinrichs, 2020), όπου η ένταση του ήχου είναι αυξημένη λόγω της προσθήκης των κυμάτων. Στο γ) διάγραμμα της παραπάνω εικόνας (2-81), φαίνονται τα δύο ηχητικά κύματα που έχουν αντίθετη φάση και ταλαντώνονται αντίθετα, ενώ στο δ) διάγραμμα, παρουσιάζεται η συνδυασμένη κυματομορφή που προκύπτει από την αποδυναμωτική συμβολή, όπου η ένταση του ήχου είναι χαμηλότερη λόγω της αφαίρεσης των κυμάτων.

Όπως είδαμε η παραποίηση της στερεοφωνίας σε μία εγγραφή γενικά μπορεί να αποτελέσει μια άλλη λειτουργία δημιουργίας ψεύτικης ποιότητας, κατά την οποία ένας μονοφωνικός ήχος δύναται να μετατραπεί σε υποτιθέμενο στερεοφωνικό ήχο, με κύριο στόχο την απόκρυψη τεχνουργημάτων και παραπλάνησης της προελεύσεως της συσκευής από την οποία προήλθε. Υπάρχουν πολλοί τρόποι ελέγχου μιας πραγματικής στερεοφωνικής καταγραφής, όπως προαναφέρθηκε. Ο παρακάτω κώδικας (2-16) δύναται να πραγματοποιήσει έλεγχο των τιμών κατακερματισμού (Hash values) που προκύπτουν από τα αντίστοιχα κανάλια ενός ηχητικού αρχείου.

```
$audioFile = "Path\audio.file"
$leftChannelFile = "left_channel.wav"
$rightChannelFile = "right_channel.wav"
ffmpeg -i "$audioFile" -af "pan=mono|c0=c0" "$leftChannelFile" -y
ffmpeg -i "$audioFile" -af "pan=mono|c0=c1" "$rightChannelFile" -y
$leftChannelHash = (Get-FileHash $leftChannelFile -Algorithm
SHA256).Hash
$rightChannelHash = (Get-FileHash $rightChannelFile -Algorithm
SHA256).Hash
Write-Output "SHA-256 Hash για το αριστερό κανάλι: $leftChannelHash"
Write-Output "SHA-256 Hash για το δεξί κανάλι: $rightChannelHash"
if ($leftChannelHash -eq $rightChannelHash) {
    Write-Output "Τα κανάλια είναι ίδια."
} else {
    Write-Output "Τα κανάλια είναι διαφορετικά."
}
Remove-Item $leftChannelFile
Remove-Item $rightChannelFile
```

Κώδικας 2-16 Κώδικας ελέγχου “ψευδοστέρεο” μέσω τιμών “Hash values”
(Πηγή: Ιστότοπος [Get-Filehash](#) & [FFmpeg Pan/Filters](#))

Ο παραπάνω κώδικας (2-16) εφόσον ορισθεί το αρχείο ήχου για έλεγχο, διαβάζει το αριστερό και το δεξί κανάλι. Κατόπιν, εξάγει το αριστερό και το δεξί κανάλι από το αρχείο ήχου χρησιμοποιώντας το φίλτρο «ran». Στη συνέχεια υπολογίζει τα hash “SHA-256” των εξαγόμενων αρχείων και τα εμφανίζει για κάθε αντίστοιχο κανάλι. Έπειτα συγκρίνει τις τιμές «hash» για να διαπιστώσει αν τα κανάλια είναι ίδια ή διαφορετικά. Τέλος, διαγράφει τα προσωρινά αρχεία που δημιουργούνται από τα κανάλια του ηχητικού αρχείου. Ένα παράδειγμα εξαγωγής των τιμών και ελέγχου σύμφωνα με τον παραπάνω κώδικα απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα (2-82).

```
SHA-256 Hash για το αριστερό κανάλι: A37A93F0110E4296D572770AE5003661E69C97CA5B0A29BB57BEC892F4356A00
SHA-256 Hash για το δεξί κανάλι: CA0E51C960504D752AF2A743ACC38A914D6E6C6502A5E4D4EC220988550B04B8
Τα κανάλια είναι διαφορετικά.
```

Εικόνα 2-82 Απεικόνιση αποτελεσμάτων Hash values και ελέγχου αριστερού και δεξιού καναλιού ήχου σε αρχείο ήχου, στο powershell-Ise

Επιπλέον, με την επιθεώρηση στατιστικών πληροφοριών που προκύπτουν ανά κανάλι σε μία εγγραφή μπορεί να εξαχθούν σχετικές ενδείξεις εάν τα ηχητικά κανάλια περιέχουν ίδια πληροφορία ή όχι, πέραν της τεχνικής της ακροάσεως. Με εφαρμογή του κάτωθι κώδικα (2-17) μπορεί ο εξεταστής να επιθεωρήσει συνολικά στατιστικές πληροφορίες που αφορούν το κάθε κανάλι της εγγραφής, αλλά και συνολικά στην εγγραφή.

```
$audioFile = "C:\Users\user\Desktop\PowerShell commands\Διπλωματική\Νέος  
φάκελος\διπλωματική προς το τέλος\αρχεία & Τελική Δ_Ε\Vocals.wav"
```

```
$ffmpegOutput = & ffmpeg -i $audioFile -af astats=metadata=1:reset=1 -f  
null -
```

```
Write-Output $ffmpegOutput
```

Κώδικας 2-17 Κώδικας εξαγωγής πληροφοριών ανά κανάλι ήχου. (Πηγή: Ιστότοπος [FFmpeg Filters](#))

Στον παραπάνω κώδικα (2-17), ορίζεται το αρχείο ήχου και έπειτα μέσω εντολής του ffmpeg γίνεται εξαγωγή πληροφοριών για κάθε κανάλι ήχου στην κονσόλα του Powershell, όπως ακριβώς απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (2-83).

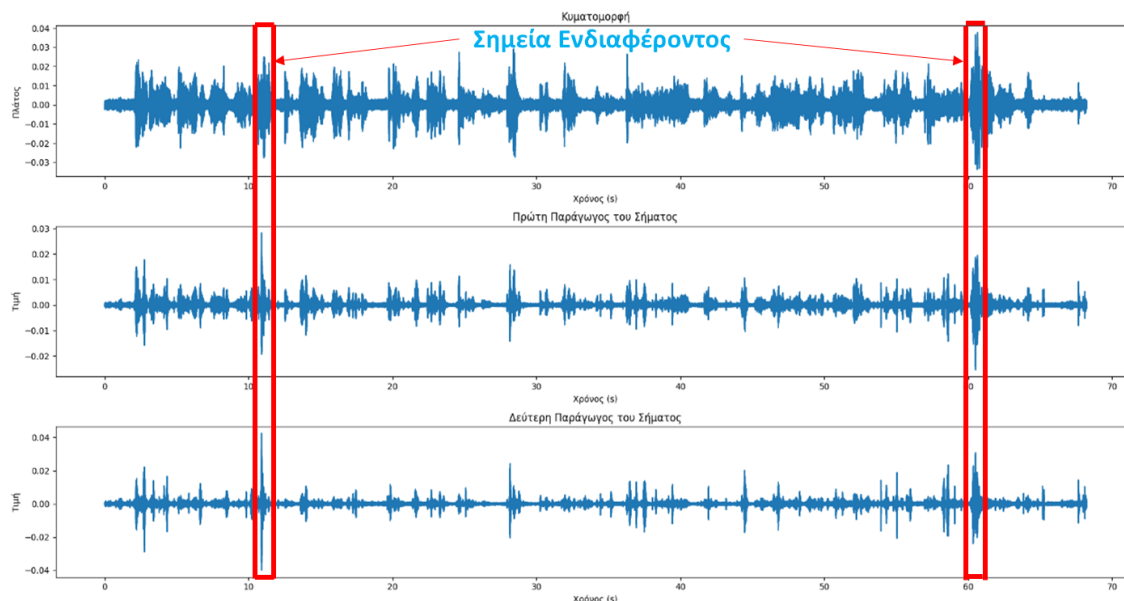
```
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Channel: 1
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] DC offset: -0.000027
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Min level: -720896.000000
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Max level: 655360.000000
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Min difference: 0.000000
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Max difference: 1048576.000000
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Mean difference: 315418.425806
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] RMS difference: 388893.645811
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Peak level dB: -69.481145
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] RMS level dB: -78.150694
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] RMS peak dB: -78.150694
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] RMS trough dB: -78.150694
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Crest factor: 2.713173
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Flat factor: 0.000000
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Peak count: 2
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Noise floor dB: nan
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Noise floor count: 0
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Entropy: 0.109463
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Bit depth: 16/16
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Dynamic range: 26.848454
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Zero crossings: 149
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Zero crossings rate: 0.479100

[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Channel: 2
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] DC offset: -0.000027
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Min level: -720896.000000
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Max level: 655360.000000
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Min difference: 0.000000
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Max difference: 1048576.000000
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Mean difference: 315418.425806
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] RMS difference: 388893.645811
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Peak level dB: -69.481145
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] RMS level dB: -78.150694
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] RMS peak dB: -78.150694
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] RMS trough dB: -78.150694
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Crest factor: 2.713173
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Flat factor: 0.000000
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Peak count: 2
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Noise floor dB: nan
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Noise floor count: 0
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Entropy: 0.109463
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Bit depth: 16/16
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Dynamic range: 26.848454
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Zero crossings: 149
[Parsed_astats_0 @ 000001ace0a7d200] Zero crossings rate: 0.479100
```

Εικόνα 2-83 Απεικόνιση στατιστικών χαρακτηριστικών ανά κανάλι ήχου στο αρχείο στο Powershell-ISE

Εντοπισμός Συρραφής Μέσω 1ης & 2ης Παραγώγου

Επιπλέον, οι απότομες αλλαγές στην πρώτη και δεύτερη παράγωγο μπορεί να υποδείξουν σημεία όπου το σήμα έχει επεξεργαστεί ή έχει κοπεί και επικολληθεί. Για παράδειγμα, ένα απότομο άλμα στην πρώτη παράγωγο μπορεί να υποδεικνύει μια κοπή ή μια εισαγωγή ήχου που δεν ανήκει στο αρχικό σήμα (αποτέλεσμα συρραφής). Στην ηχητική εγκληματολογία (audio forensics), η ανίχνευση τέτοιων αλλαγών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποδείξει ότι ένα ηχητικό αρχείο έχει υποστεί επεξεργασία ή παραποίηση. Στην παρακάτω εικόνα (2-84) απεικονίζεται η ανάλυση της πρώτης και δεύτερης παραγώγου που προκύπτει από την κυματομορφή του αρχείου για πιο γρήγορο έλεγχο. Σημεία που μειώνονται ή αυξάνονται απότομα σημειώνονται χρονικά για περεταίρω οπτικό έλεγχο μέσω ακρόασης και οπτικής επιθεώρησης. Αυτή η προσέγγιση δεν επιφέρει πάντα τα επιθυμητά αποτελέσματα.



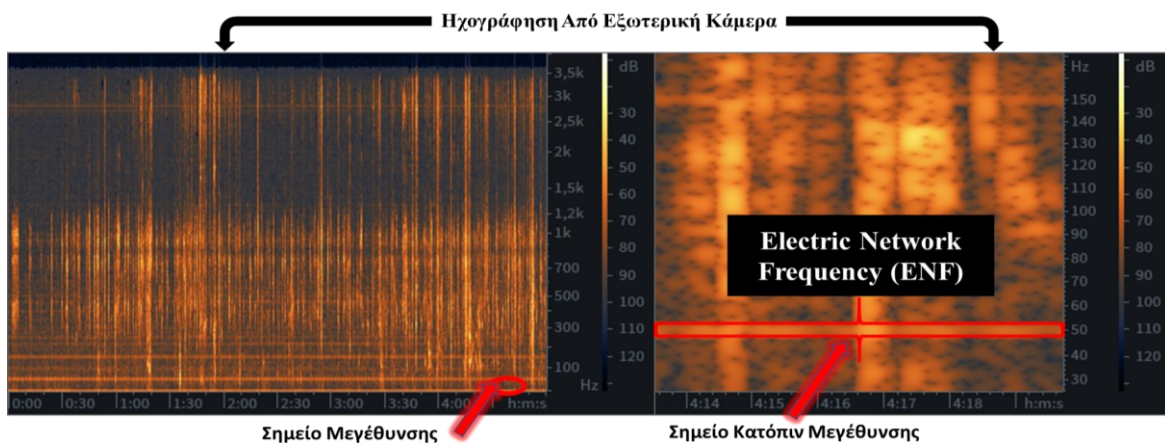
Εικόνα 2-84 Απεικόνιση κυματομορφής, πρώτης & δεύτερης παραγώγου του σήματος

Γενικότερα, στην παραπάνω εικόνα (2-84) η πρώτη παράγωγος του σήματος δίνει πληροφορίες σχετικά με τον ρυθμό αλλαγής της στάθμης πλάτους του ήχου. Τα σημεία όπου η πρώτη παράγωγος έχει μεγάλες τιμές υποδεικνύουν απότομες αλλαγές στην ένταση, όπως ξαφνικούς ήχους ή ενδέχεται όμως και να πρόκειται για αλλαγές στον τρόπο ομιλίας. Η δεύτερη παράγωγος αναδεικνύει αλλαγές στην επιτάχυνση του σήματος, δηλαδή την απότομη μεταβολή του ρυθμού αλλαγής. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην ανίχνευση πιο λεπτομερών αλλαγών και αναταράξεων στο σήμα, όπως μικρά διαλείμματα ή αλλαγές στο περιβάλλον που έλαβε χώρα η ηχογράφηση. Ο κώδικας δημιουργίας εικόνας (2-84) κυματομορφής, πρώτης και δεύτερης παραγώγου βρίσκεται στο παράρτημα (I).

2.6.2 Φασματογραφική Ανάλυση (Spectrographic Analysis)

Για την εφαρμογή της τεχνικής αυτής είναι απαραίτητος ο μετασχηματισμός Fourier, δηλαδή η μετατροπή των ηχητικών σημάτων στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας για ανάλυση (Φλώρος & Τσιφλίδης, 2013). Η βασική ιδέα στον μετασχηματισμό Fourier είναι ότι οποιοδήποτε περιοδικό σήμα (ή κύμα) μπορεί να αναπαρασταθεί ως άπειρο άθροισμα ημιτόνου και συνημίτονου με διάφορες συχνότητες και πλάτη (Müller, 2015). Ο εξεταστής θα κρίνει, εάν η χρήση διαγραμμάτων τύπου καταρράκτη ή φασματογραφήματος είναι καταλληλότερα ανάλογα με την περίπτωση που εξετάζεται. Μέσω της εξέτασης αυτής, μπορεί ο εξεταστής να προσδιορίσει ακριβείς τόνους συγκεκριμένων ήχων ή ομιλίας.

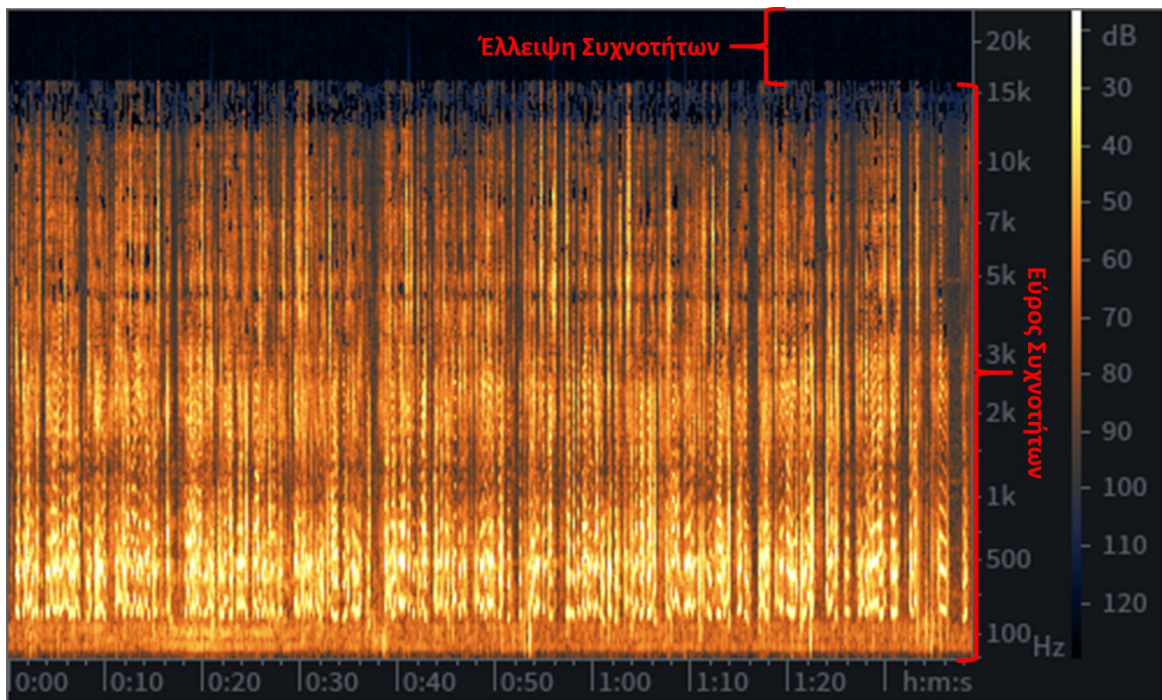
Επιπρόσθετα, μπορεί να παρατηρήσει διάφορα “τεχνουργήματα” που αποτελούν χαρακτηριστικά του μέσου που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή, αλλά μπορεί και να αποφανθεί για την παρουσία ή απουσία συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF) στην καταγραφή. Παρακάτω στην εικόνα (2-85) ακολουθεί ένα παράδειγμα απεικόνισης της εν λόγω παρατήρησης του κριτηρίου (ENF) στα 50Hz περίπου, όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα (2.5.8).



Εικόνα 2-85 Απεικόνιση φασματογραφήματος στο λογισμικό RX - Izotope, από ηχογράφιση κάμερας εξωτερικού χώρου, συνδεδεμένη στο ρεύμα και με μεγέθυνση για τον εντοπισμό παρουσίας συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (enf)

Γενικότερα, το φασματογράφημα ηχητικών αρχείων αποτελεί μια οπτική αναπαράσταση του χρόνου στον άξονα x και της συχνότητας στον άξονα y. Η παρουσία του πλάτους για κάθε συχνότητα υποδεικνύεται από την ένταση του χρώματος ή το εύρος χρωματικής κλίμακας που παρέχεται από το φασματογράφημα, μέσω του λογισμικού που χρησιμοποιείται για ανάλυση κ.ά. Σκούρα χρώματα υποδεικνύουν αδύναμα ή αθόρυβα σήματα, ενώ πιο φωτεινά σε χρώμα σημεία υποδηλώνουν τα πιο δυνατά σήματα.

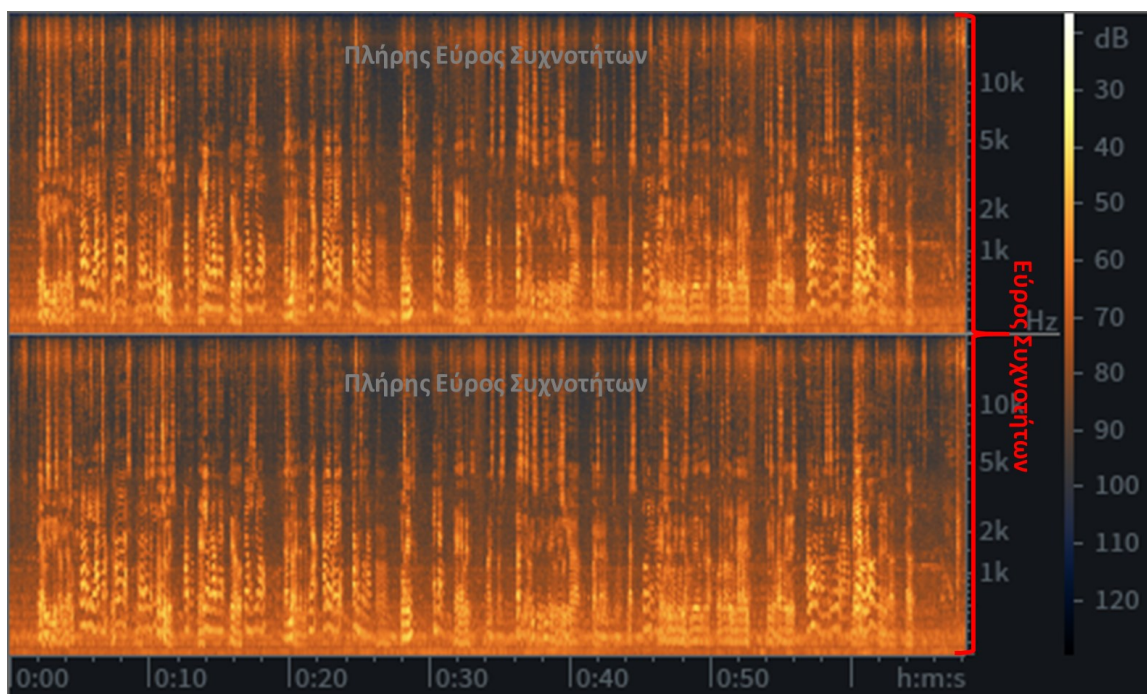
Με την ανάλυση φασματογραφήματος, μπορεί κανείς να διακρίνει οπτικά τον θόρυβο φόντου από την ομιλία ή να αναγνωρίσει διάφορα σχετικά χαρακτηριστικά και δραστηριότητες που συνδέονται με τον τρόπο τέλεσης της ηχογράφησης, το μέσο που χρησιμοποιήθηκε και τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά την ηχογράφηση. Επιπλέον, το όριο Nyquist καθορίζεται από το ποσοστό δειγματοληψίας και θα πρέπει με τη σειρά του να επαληθευτεί για να διασφαλιστεί η συνέπεια με τις διεκδικούμενες ρυθμίσεις και τη δυνατότητα της συσκευής, όταν αυτή παρέχεται ή αλλιώς εάν συνάδουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ιδιοτήτων του αρχείου, όπως συχνότητας δειγματοληψίας κ.ά., με τον οπτικό έλεγχο στο εύρος συχνοτήτων που απεικονίζεται στο φασματογράφημα. Στην παρακάτω εικόνα (2-86) παρατηρείται ένα παράδειγμα ασυμβατότητας σύμφωνα με την μορφή και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αρχείου.



Εικόνα 2-86 Απεικόνιση φασματογραφήματος από ηχογράφηση σε αρχείο ήχου τύπου .Wav (44.1kHz - CD) με εμφανή στοιχεία επαναδειγματοληψίας κατόπιν εφαρμογής απωλεστικής συμπίεσης

Είναι σύνηθες να γίνεται μία εγγραφή και η επεξεργασία της σε υψηλούς ρυθμούς δειγματοληψίας, καθώς οι υψηλότεροι ρυθμοί επιτρέπουν την αναπαράσταση υψηλότερων συχνοτήτων. Για παράδειγμα, δείγμα ήχου όπως απεικονίζεται στην παραπάνω εικόνα (2-86) με 44,1 kHz μπορεί να αντιπροσωπεύει μόνο συχνότητες έως 22,05 kHz. Η υψηλότερη συχνότητα που μπορεί να αναπαρασταθεί με ακρίβεια λοιπόν με ρυθμό δειγματοληψίας είναι το ήμισυ του ρυθμού δειγματοληψίας και είναι γνωστή ως συχνότητα “Nyquist”. Όμως στην παραπάνω εικόνα (2-86) το φάσμα των συχνοτήτων φέρει μέγιστο τα 15 kHz. Πράγμα

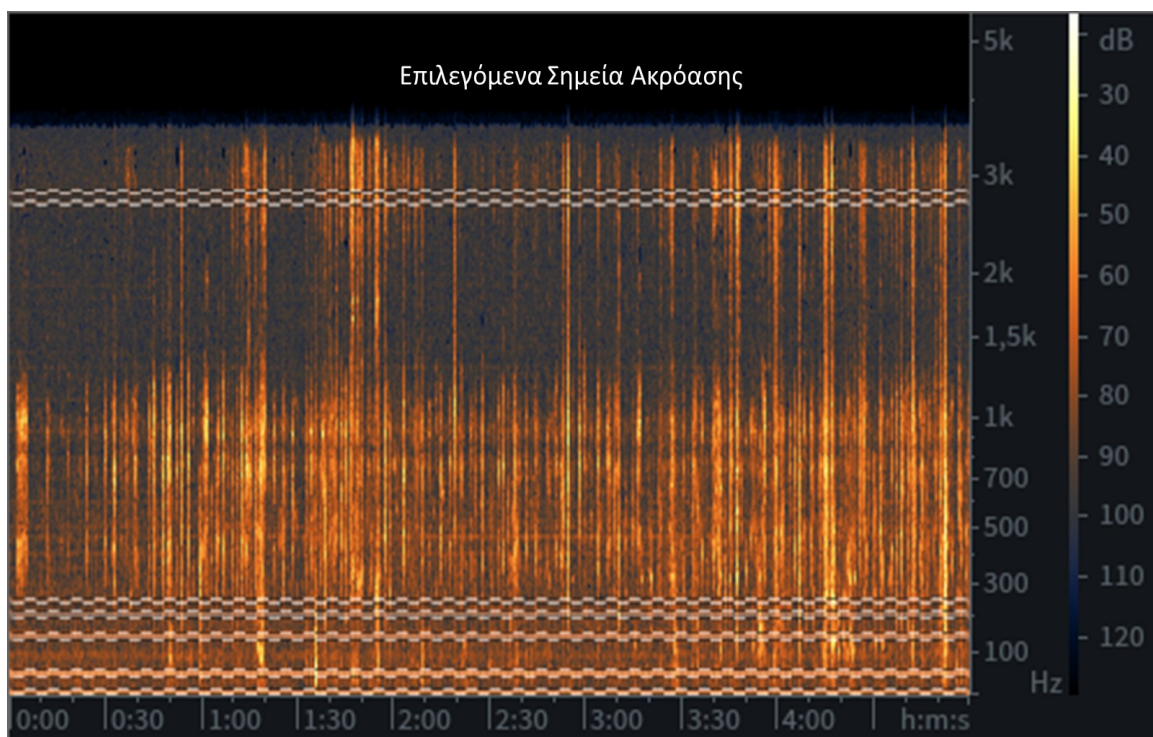
το οποίο δεν συνάδει με το θεώρημα “Shannon” και είτε πρόκειται για προϊόν εφαρμογής φιλτραρίσματος ή επαναδειγματοληψίας. Στη παρακάτω εικόνα (2-87) παρατηρείται ένα φασματογράφημα καταγραφής αρχείου τύπου wav (44.1kHz - CD) που πληροί τις προϋποθέσεις βάση του θεωρήματος “Nyquist”. Παρατηρείται δηλαδή πλήρης αποτύπωση αναπαράστασης του εύρους των συχνοτήτων στην καταγραφή περιεχομένου του αρχείου.



Εικόνα 2-87 Απεικόνιση φασματογραφήματος από ηχογράφιση σε αρχείο ήχου τύπου .Wav (44.1kHz - CD) που πληροί τις προϋποθέσεις θεωρήματος “Nyquist”

Κατά τη μείωση του ρυθμού δειγματοληψίας, κανονικά θα έπρεπε να υπάρχουν συχνότητες που δεν μπορούν να αναπαρασταθούν σύμφωνα με τον χαμηλότερο ρυθμό δειγματοληψίας αλλά να ήταν εμφανής στο φασματογράφημα. Αν αυτό δεν παρατηρείται, τότε δημιουργείται υπόνοια για επεξεργασία φιλτραρίσματος, ιδιαίτερα αν παρατηρηθούν συχνότητες πάνω από αυτό το σημείο. Αυτή η ψευδαίσθηση μπορεί να ακουστεί καθώς οι συχνότητες σε ένα μη ακουστικό εύρος μετατοπίζονται σε ένα άλλο παραπλήσιο συχνοτικό εύρος, προκαλώντας παραμόρφωση και θόρυβο. Επίσης, μπορεί να προσδιοριστεί η παρουσία τυχόν φιλτραρίσματος, επαναδειγματοληψίας ή αντιληπτικής κωδικοποίησης (.mp3 σε διάφορες τιμές kbps) με την διαδικασία της οπτικής επιθεώρησης. Επομένως, κατά την εξέταση του φασματογράμματος μιας εγγραφής, θα πρέπει να αναζητούνται τυχόν ασυνήθιστα μοτίβα ή “συμπεριφορές” που μπορεί να υποδηλώνουν τη χρήση αυτών των τεχνικών. Για παράδειγμα, αν παρατηρηθεί ένα κανονικό μοτίβο συχνοτήτων που λείπουν ή παραλείπονται, αυτό μπορεί να υποδηλώνει επαναδειγματοληψία κ.ά.

Επιπλέον, αν παρατηρηθεί μια ομαλή “απώλεια” στις υψηλές ή χαμηλές συχνότητες και κατά συνέπεια στα αντίστοιχα άκρα του φάσματος των συχνοτήτων, αυτό μπορεί να υποδεικνύει φιλτράρισμα. Εξετάζοντας προσεκτικά το φασματογράφημα, μπορούν να αποσπαστούν και διάφορες πληροφορίες για τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία της εγγραφής. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και ο τύπος της μορφής του αρχείου (.wav, .mp3, .acc κλπ.), αν είναι δηλαδή απωλεστικής συμπίεσης ή υπάρχει επανασυμπίεση κ.ά., σε συγκεκριμένα σημεία που εντοπίστηκαν με εφαρμογή των καθολικών τεχνικών. Εάν εντοπίζονται εμφανή “τεχνουργήματα” που δημιουργούνται από την συσκευή καταγραφής, τα επιλέγουμε και κατόπιν πραγματοποιείται εφαρμογή της τεχνικής κριτικής ακρόασης (Critical Listening) για να διαπιστωθεί η συνεχόμενη ροή βουητού και αν τυχόν υπάρχει μη αδικαιολόγητη παύση, ή αδικαιολόγητη διακύμανση του βουητού από τους αρμονικούς της συχνότητας και του ρεύματος που εισήχθη στην ηχογράφηση, (βλ. εικόνα 2-88).



Εικόνα 2-88 Απεικόνιση φασματογραφήματος στο λογισμικό RX - Izotope και επιλεγμένων σημείων που οφείλονται στην διακύμανση συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου αρμονικούς και συμπεριφοράς καταγραφής του χρησιμοποιούμενου μέσου

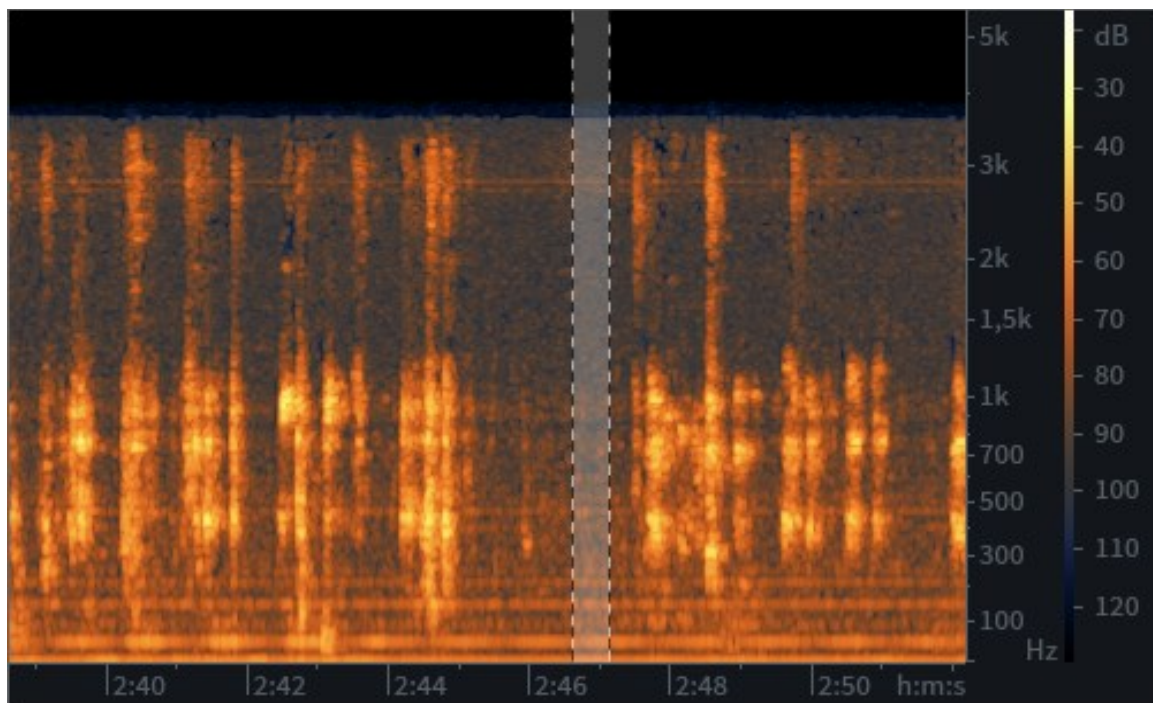
Φυσικά και η ανάλυση θορύβου βάθους (Background Noise Analysis) που αποτυπώνεται σε μία καταγραφή μπορεί να αποδώσει σημαντικές πληροφορίες, που θα συμβάλλουν στην αυθεντικοποίηση (authentication) της ηχογράφησης.

Ανάλυση Θορύβου Βάθους (Background Noise Analysis)

Για καλύτερη παρατήρηση θα επιλεγεί σημείο παύσης από ομιλίες, μόνο με την καταγραφή θορύβου βάθους (background noise) και εξαγωγή του, χρησιμοποιώντας “spectral Denoise” και ειδικά κατάλληλων φίλτρων. Η ημιαυτόματη εξαγωγή του “χαλιού”, κατά μήκος της ηχογράφησης, επιτυγχάνεται με επιλογή σημείου στο φασματογράφημα για εξαγωγή του λεγόμενου προφίλ θορύβου (noise profile), όπως παρατηρείται στην παρακάτω εικόνα (2-89). Πρέπει η επιλογή του σημείου να είναι με προσοχή και χωρίς την εμπλοκή άλλων ακουστικών γεγονότων, όπως ομιλίες κ.ά., εάν αυτό καθίσταται εφικτό.

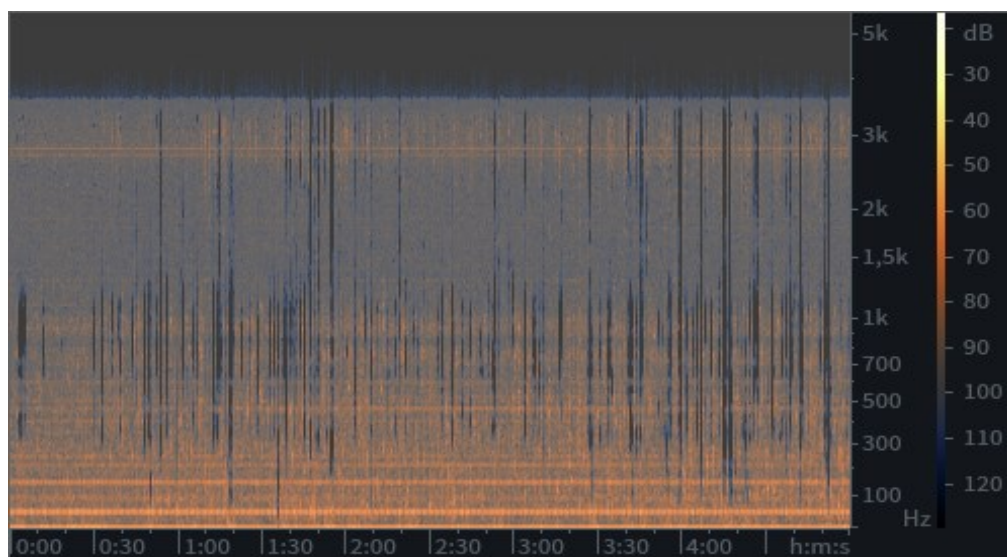
Στην συνέχεια θα πρέπει να μελετηθεί σε συνδυασμό με την τεχνική της κριτικής ακρόασης (critical listening) και να γίνουν σχετικές αντιληπτικές αναλύσεις, για το εάν παρατηρείτε ομαλότητα στα επίπεδα ηχητικής δραστηριότητας στο προφίλ θορύβου ή αποτελεί μέρος από άλλη ηχογράφηση.

Στην παρακάτω εικόνα (2-89) παρατηρείται η επιλογή της περιοχής με θόρυβο βάθους (background noise) χωρίς την εμπλοκή συνομιλιών.



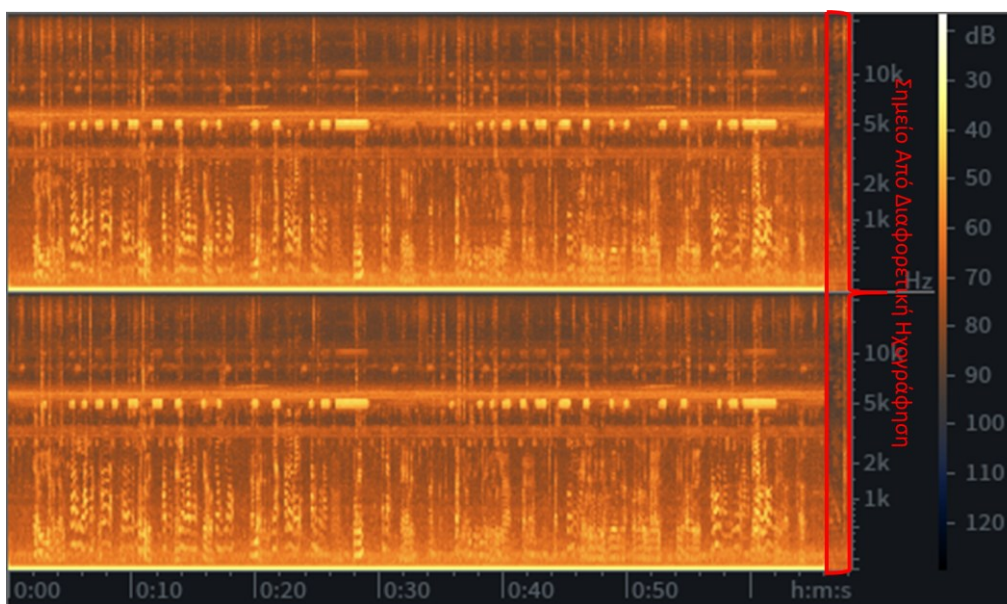
Εικόνα 2-89 Απεικόνιση επιλογής σημείου για το προφίλ θορύβου από την επιλεγόμενη περιοχή στο φασματογράφημα, στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope

Στην συνέχεια προκύπτει με εξαγωγή του χαλιού θορύβου και αφαίρεση της φωνητικής δραστηριότητας, το παρακάτω φασματογράφημα στην εικόνα (2-90).



Εικόνα 2-90 Εικόνα Απεικόνιση φασματογραφήματος προφίλ θορύβου κατά μήκος της καταγραφής στο αρχείο στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope

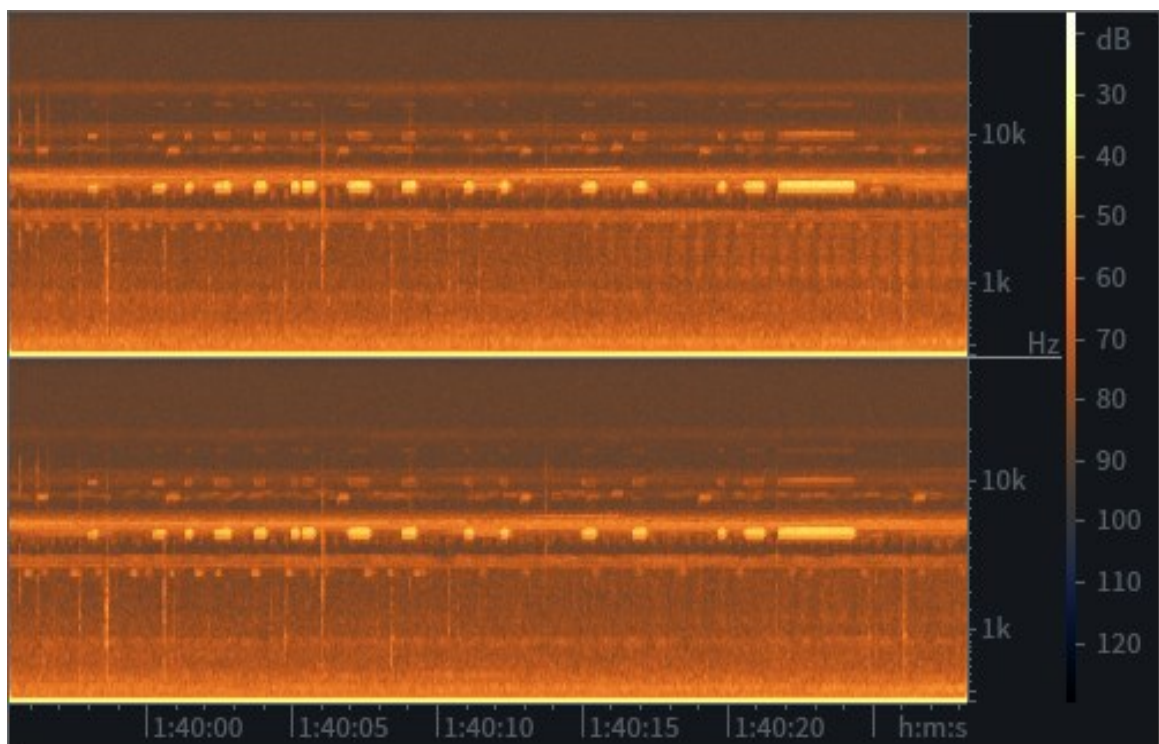
Παρατηρείται πως ο θόρυβος φόντου σύμφωνα με παρατηρήσεις και κατά την ακρόαση να κατέχει μία συνέπεια στα επίπεδα διακύμανσης στάθμης, χωρίς τα συμβάντα συνομιλιών κ.ά., και επομένως πιθανόν δεν αποτελεί μέρος από έτερη ηχογράφιση, καθώς επίσης δεν μπορεί να σταθεί μόνος του χωρίς τις διενέργειες συνομιλιών που είχαν καταγραφεί στο αρχείο. Επίσης, οι συχνότητες που εικάζεται να αντιστοιχούν στην ιδιότητα της συμπεριφοράς του μέσου και των αρμονικών που δημιουργούνται, φέρουν σταθερή ως ελάχιστη διακύμανση. Στην παρακάτω εικόνα (2-91) παρατηρείται με την ίδια μέθοδο ανάλυσης ο εντοπισμός μέρους από έτερη ηχογράφιση, στο παρασκήνιο θορύβου φόντου.



Εικόνα 2-91 Απεικόνιση επιλογής σημείου για το προφίλ θορύβου από την επιλεγόμενη περιοχή στο φασματογράφημα σε ηχογράφιση, στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope

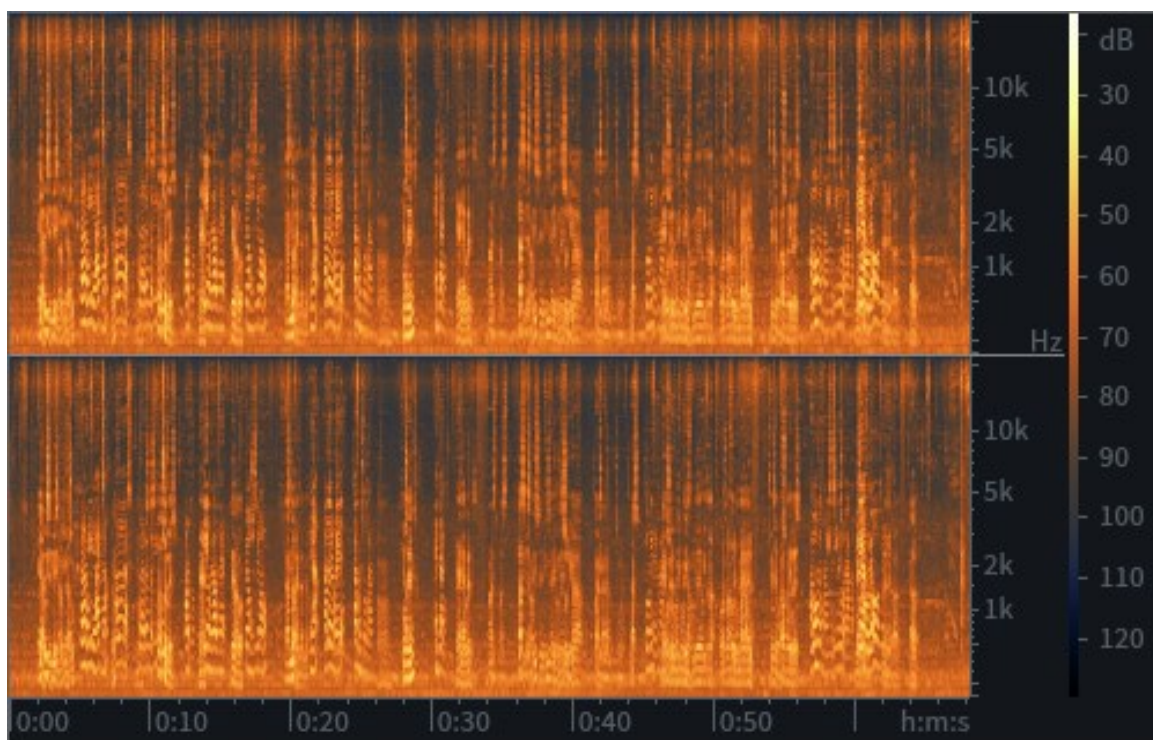
Με την ίδια μέθοδο, εξάγουμε τον θόρυβο βάθους (background noise) από την ηχογράφιση, επιλέγοντας σημείο αν υπάρχει στον θόρυβο φόντου και διαπιστώνεται να μην είναι συνεπής με το υπόλοιπο μέρος της ηχογράφησης. Στο εν λόγω σημείο διαπιστώνεται, στα επίπεδα θορύβου αυξομείωση κατά μήκος της διάρκειας της ηχογράφησης, που όμως κάτι τέτοιο δεν ξανά εντοπίστηκε να επαναλαμβάνεται στο περιεχόμενο, ούτως ώστε να αποτελεί πιθανόν προϊόν της συμπεριφοράς του μέσου που έγινε χρήση στα πλαίσια της ηχογράφησης.

Στην παρακάτω εικόνα (2-92) παρατηρείται η αφαίρεση του παρασκηνίου. Σύμφωνα με την κριτική ακρόαση (critical listening) μπορεί να σταθεί μόνο του σαν ηχογράφιση. Επιπλέον στην εικόνα (2-93) παρατηρείται διαφορετικός θόρυβος βάθους (background noise) σε επίπεδα στάθμης και παραπέμπει σε κλειστό χώρο, ενώ το εξαγόμενο σημείο παραπέμπει να διαδραματίζεται σε εξωτερικό χώρο κατά την ακρόαση.



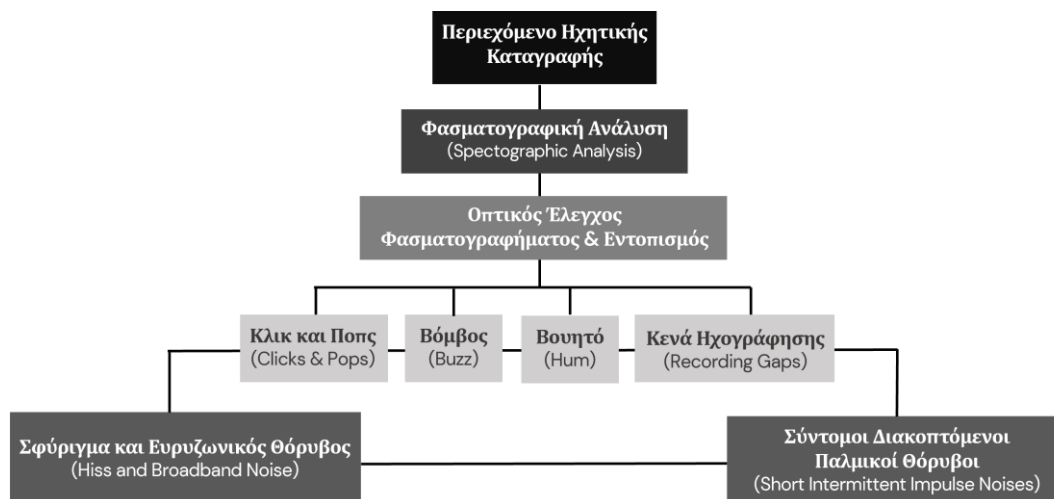
Εικόνα 2-92 Αφαίρεση φασματογραφήματος του παρασκηνίου που εντοπίστηκε στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope

Φυσικά η εν λόγω πρακτική δεν επιφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα πάντα, καθώς εναπόκειται στην δεξιότητα του εξεταστή - ερευνητή και το υπόβαθρο της τεχνογνωσίας του και συνδυαστικής εφαρμογής στην πράξη. Φυσικά και η διάθεση και η ορθή χρήση του ηχητικού εξοπλισμού, παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην αποφυγή εξαγωγής λαθεμένων συμπερασμάτων.



Εικόνα 2-93 Απεικόνιση φασματογραφήματος που απέμεινε στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope με τις συνομιλίες και τον θόρυβο βάθους (background noise) που παραπέμπει σε εσωτερικό χώρο

Παρακάτω στην εικόνα (2-94) απεικονίζονται σε μπλοκ διάγραμμα διάφορα χαρακτηριστικά ηχητικών προβλημάτων που παρέχουν με την ύπαρξη τους κατά μήκος της εγγραφής, είτε στο σύνολο καθ' όλης της διάρκειας του ηχητικού αρχείου, ενδείξεις για την γνησιότητα της εγγραφής. Αντίστοιχα με την απουσία τους προσδίδουν ενδείξεις για εσκεμμένη επεξεργασία ή προϊόν συρραφής, αλλά δεν πιστοποιούν απαραίτητα ότι η καταγραφή είναι παραποιημένη.



Εικόνα 2-94 Απεικόνιση μπλοκ διαγράμματος χαρακτηριστικών ηχητικών προβλημάτων

Γενικότερα μία τέλεια ηχογράφηση είναι δύσκολο να επιτευχθεί με τις ιδανικότερες συνθήκες και την καλύτερη αναπαράσταση των συμβάντων που διαδραματίζονται σε ένα φασματογράφημα. Κάτι τέτοιο θα πρέπει να μας απασχολήσει και να εξεταστεί λεπτομερώς, καθώς κάποια “τεχνουργήματα” θα έπρεπε να υπάρχουν, είτε από την συμπεριφορά των τεχνικών χαρακτηριστικών του μέσου που χρησιμοποιήθηκε, είτε από τα χαρακτηριστικά των συνομιλιών και του περιβάλλοντος που υλοποιήθηκε η ηχογράφηση, είτε στον τρόπο που αποτυπώθηκαν σε αυτή τα διάφορα γεγονότα που διαδραματίστηκαν την ώρα της εγγραφής.

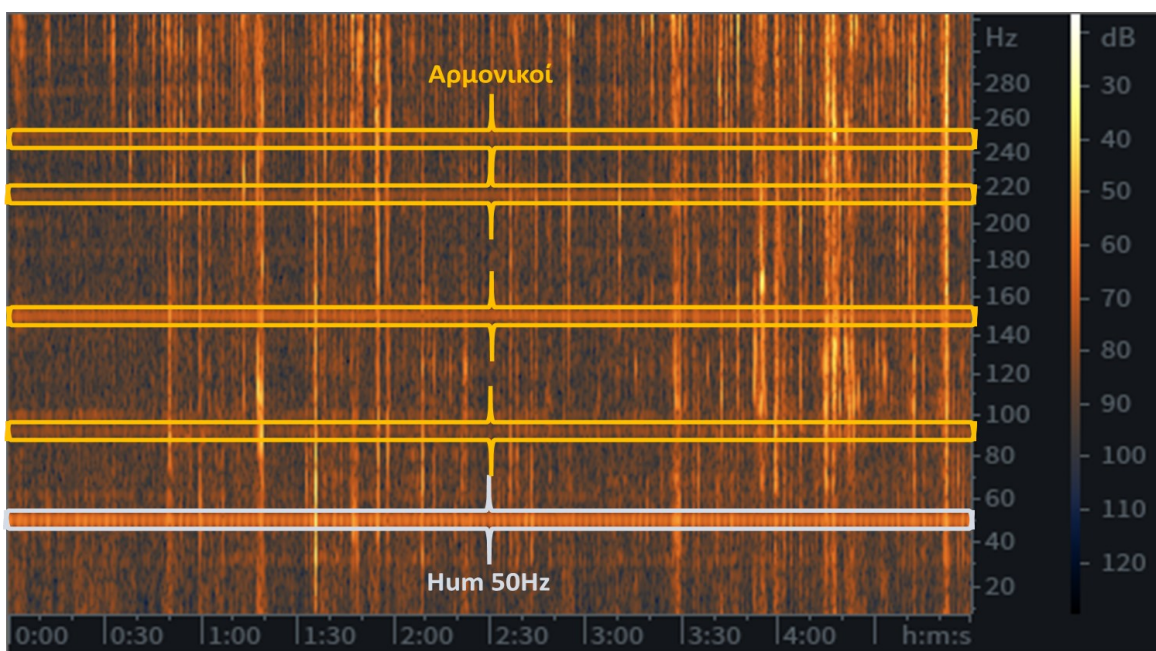
Κατά αυτόν τον τρόπο όλα τα “τεχνουργήματα” που αναφέρονται στην εικόνα (2-94) απεικόνισης του μπλοκ διαγράμματος, πρέπει να εντοπίζονται και να εξετάζονται, σαφώς εάν υπάρχουν. Στην συνέχεια ο εξεταστής θα πρέπει να διαπιστώσει εάν η παρουσία τους εντοπίζεται κατά μήκος ολόκληρης της ηχογράφησης, ειδάλλως η μεμονωμένη ύπαρξη σε συγκεκριμένα χρονικά σημεία της καταγραφής προς εξέταση και μόνο χωρίς την επανάληψη του “προβληματικού” αυτού μοτίβου, αποδεικνύει πιθανή συρραφή ηχητικού υλικού στην πηγαία ηχογράφηση.

Πλην όμως ο εξεταστής, δεν θα πρέπει να αρκείται μόνο σε αυτά, τα κατά κάποιο τρόπο “λάθη” που αποτυπώνονται κατά την διαδικασία καταγραφής. Σε μία εγγραφή θα πρέπει να αναζητά συνδυαστικές ενδείξεις ή αποδεικτικά στοιχεία μέσω καθολικών και τοπικών τεχνικών αναλύσεων που προ αναλύθηκαν.

Στη συνέχεια αναλύονται όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά ηχητικών προβλημάτων που αναφέρονται στην παραπάνω εικόνα (2-94) απεικόνισης του μπλοκ διαγράμματος. Σύμφωνα με τον διενεργούμενο οπτικό έλεγχο του φασματογραφήματος (spectrogram) και σε συνδυασμό με την τεχνική της κριτικής ακρόασης (critical listening), αν εντοπιστούν να απουσιάζουν τμηματικά σε μία εγγραφή, αλλά και σύμφωνα με διάφορες παρατηρήσεις, συνεισφέρουν στην διακρίβωση ενδείξεων παραποίησης, επεξεργασίας ή καθώς και πιθανής συρραφής στην εγγραφή. Με άλλα λόγια, “προβλήματα” που σχετίζονται με τον θόρυβο παίζουν καθοριστικό ρόλο και μπορούν να αποκαλύψουν στοιχεία που σχετίζονται με την επικύρωση ή μη αυθεντικότητας μιας ηχογράφησης.

Βουητό (Hum)

Το βουητό είναι συνήθως αποτέλεσμα ηλεκτρικού θορύβου που δημιουργείται και εισάγεται στην αλυσίδα του καταγεγραμμένου σήματος. Συνήθως, παρατηρείται και ακούγεται ως ήχος χαμηλής συχνότητας που βασίζεται είτε στα 50 Hz είτε στα 60 Hz, αναφερόμενο αλλιώς και ως “ENF” (βλ. ενότητα 2.5.8), οι διακυμάνσεις του είναι ανάλογες τοπογραφικά με το πού τελέστηκε η εν λόγω εγγραφή. Με μεγέθυνση στις χαμηλές συχνότητες, μπορεί να εντοπιστεί το βουητό (Hum) ως μια σειρά από οριζόντιες γραμμές, συνήθως με μια φωτεινή γραμμή περίπου στα 50 Hz ή 60 Hz και αρκετές λιγότερο έντονες γραμμές πάνω από αυτήν οι αρμονικές. Το παρακάτω παράδειγμα στην εικόνα (2-95) αποτυπώνει το εν λόγω φαινόμενο (Fechner & Kirchner, 2014).

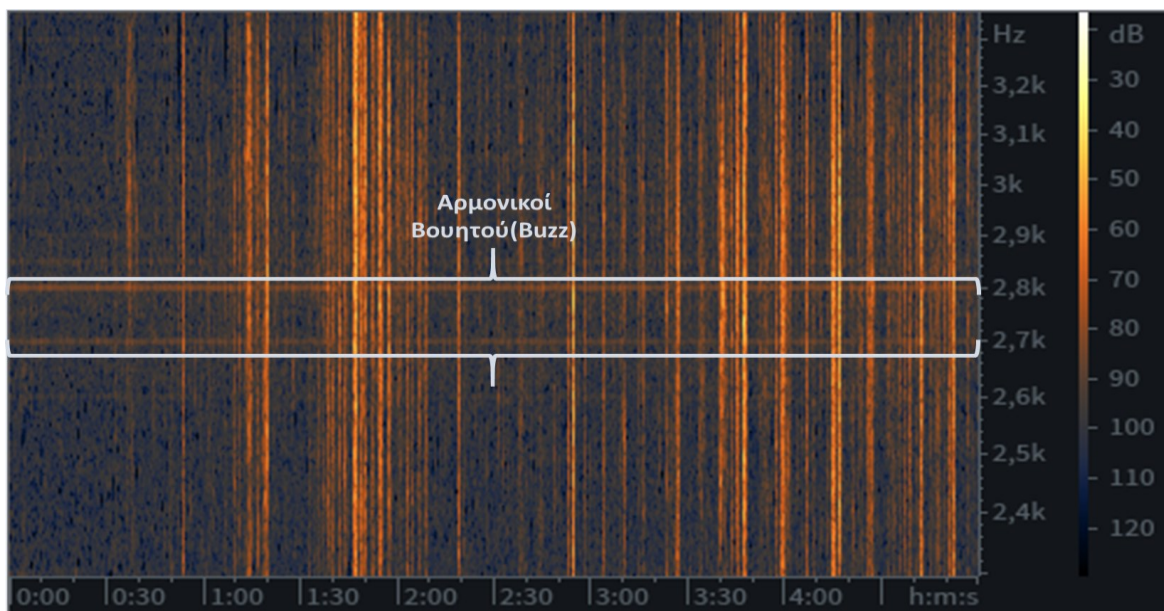


Εικόνα 2-95 Απεικόνιση φαινομένου βουητού (Hum) στο φασματογράφημα στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope

Στην ηχογράφηση που περιέχεται σε ένα ηχητικό αρχείο εάν εντοπιστεί να περιέχεται στο φασματογράφημα, καθαρός τόνος των 50 Hz κατά το μήκος όλης της πλειονότητας της εγγραφής, εκτός από ένα σύντομο μέρος π.χ. στη μέση της ηχογράφησης και είναι γνωστό ότι η εγγραφή έγινε με χρήση συσκευής που τροφοδοτείται από το δίκτυο σε ένα δωμάτιο στο οποίο δεν υπάρχουν άλλα ηλεκτρικά είδη, η περιοχή στην οποία αυτός ο τόνος δεν είναι ορατός μπορεί να αποτελέσει ένδειξη ότι το εν λόγω τμήμα δεν αποτελεί μέρος της αρχικής ηχογράφησης. Βέβαια πολλές αρμονικές παρατηρείται να εκτείνονται σε συχνότητες πάνω από τα 500 Hz. Όταν παρατηρείται το εν λόγω φαινόμενο, αυτό αποκαλείται βόμβος (Buzz).

Βόμβος (Buzz)

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο ηλεκτρικός θόρυβος θα επεκταθεί σε υψηλότερες συχνότητες και θα εκδηλωθεί ως βουητό φόντου. Εξετάζεται εάν εντοπιστεί, αν είναι συνεχόμενος ή αν διακόπτεται απότομα. Στην παρακάτω εικόνα (2-96) απεικονίζεται ένα παράδειγμα εμφάνισης με Βόμβο (Buzz) σε ηχογράφιση.

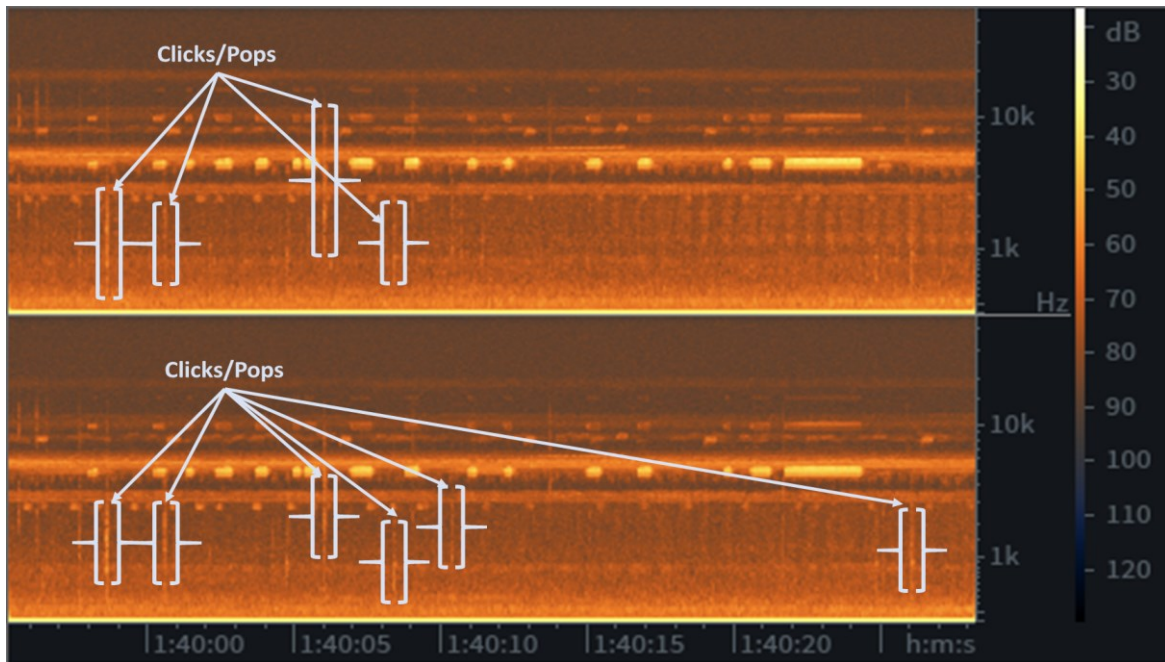


Εικόνα 2-96 Απεικόνιση φαινομένου βόμβου (Buzz) στο φασματογράφημα στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX – Izotope

Κλικ και Ποπς (Clicks & Pops)

Τα κλικ και τα pops είναι κοινά σε ηχογραφήσεις που γίνονται συνήθως από βινύλιο, καθώς και από άλλα μέσα που χρησιμοποιούν αυλακώσεις. Βέβαια μπορούν να εισαχθούν και από διάφορα ψηφιακά σφάλματα, όπως η εγγραφή σε DAW με ακατάλληλες ρυθμίσεις buffer. Ακόμη και οι στοματικοί θόρυβοι όπως τα κλικ της γλώσσας και των χειλιών κατά την ομιλία που διαδραματίζεται, εμπίπτουν στην εν λόγω κατηγορία εμφάνισης των κλικ. Αυτοί οι σύντομοι παλμικοί θόρυβοι εμφανίζονται συνήθως στο φασματογράφημα με κάθετες γραμμές ("RX Overview", 2024). Όσο πιο δυνατό είναι το κλικ ή το pop, τόσο πιο φωτεινή θα εμφανίζεται και η γραμμή αυτή, δηλώνοντας αντίστοιχα την έντονη παρουσία των συγκεκριμένων συμβάντων σε θέμα στάθμης στην εγγραφή. Στην παρακάτω εικόνα (2-97) απεικονίζεται ένα τέτοιο παράδειγμα εντοπισμού κλικ και ποπς (Clicks & Pops) στο φασματογράφημα στερεοφωνικής ηχογράφησης (Müller, 2015).

Στην παρακάτω εικόνα (2-97) επιλέχθηκαν τυχαία ενδεικτικά τμήματα απεικόνισης κλικ και ποπς (Clicks & Pops) στο φασματογράφημα για την επίδειξη του εν λόγω φαινομένου.



Εικόνα 2-97 Εικόνα Απεικόνιση φαινομένου κλικ και ποπς (Clicks & Pops) στο φασματογράφημα στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX – Izotope

Σύντομοι Διακοπόμενοι Παλμικοί Θόρυβοι (Short Intermittent Impulse Noises)

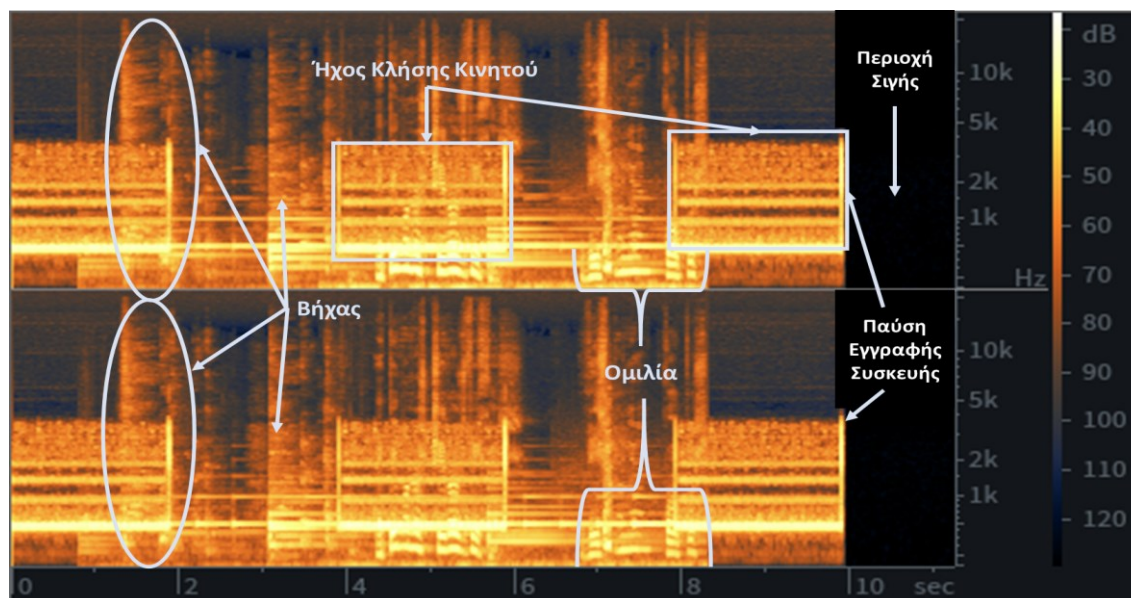
Οι διακοπόμενοι θόρυβοι που παρατηρούνται σε ένα φασματογράφημα διαφέρουν εντελώς από το σφύριγμα (Hiss) και το βουητό (Hum). Γενικότερα, εμφανίζονται σπάνια και δεν χαρακτηρίζονται από συνέπεια ως προς την ένταση της παρουσίας τους ή τη διάρκεια κατά μήκος της εγγραφής. Συνηθισμένα ηχητικά παραδείγματα περιλαμβάνουν βήχα, φτερνίσματα, βήματα, κόρνες αυτοκινήτου, κουδούνισμα κινητών τηλεφώνων κ.ά. (Henderson & Hamernik, 1986).

Στην παρακάτω εικόνα (2-98) απεικονίζεται ένα τέτοιο παράδειγμα εντοπισμού από σύντομους διακοπόμενους παλμικούς θορύβους (Short Intermittent Impulse Noises) στο φασματογράφημα στερεοφωνικής ηχογράφησης. Οι εν λόγω ήχοι που απεικονίζονται αφορούν ήχο κινητού που δέχεται κλήση και βήχας, ενώ την ίδια ώρα διαδραματίζονται άλλα γεγονότα, όπως μουσική υπόκρουση από πιάνο κλπ.

Κενά Ηχογράφησης (Recording Gaps)

Μερικές φορές σε μια εγγραφή μπορεί να εντοπιστούν μικρά τμήματα ήχου που λείπουν, είτε γιατί κάποια έχουν διαγραφεί εσκεμμένα, είτε επειδή έχουν αφαιρεθεί με διαφορετικό τρόπο ηχητικής επεξεργασίας, αλλά και μερικές φορές μπορεί να οφείλονται στο μέσο καταγραφής. Μερικές συσκευές ηχογράφησης ιδιαίτερα ηχογράφοι κλπ., έχει παρατηρηθεί να σταματούν στιγμιαία την ηχογράφηση κατά την παύση διενεργούμενης ομιλίας στο χώρο που διαδραματίζεται η ηχογράφηση.

Τα σημεία αυτά έχουν ως αποτέλεσμα να αφήνουν περιοχές απουσίας περιεχομένου ή να παραπέμπουν σε χειροκίνητη αφαίρεση τους, που όμως στην πραγματικότητα δεν υφίσταται. Εντοπίζονται συνήθως και κατά τον οπτικό έλεγχο του φασματογραφήματος, αλλά πολλές φορές και κατά την ακρόαση του ηχητικού υλικού προς εξέταση. Στην παρακάτω εικόνα (2-98) απεικονίζεται παράδειγμα παύσης της συσκευής ηχογράφησης.

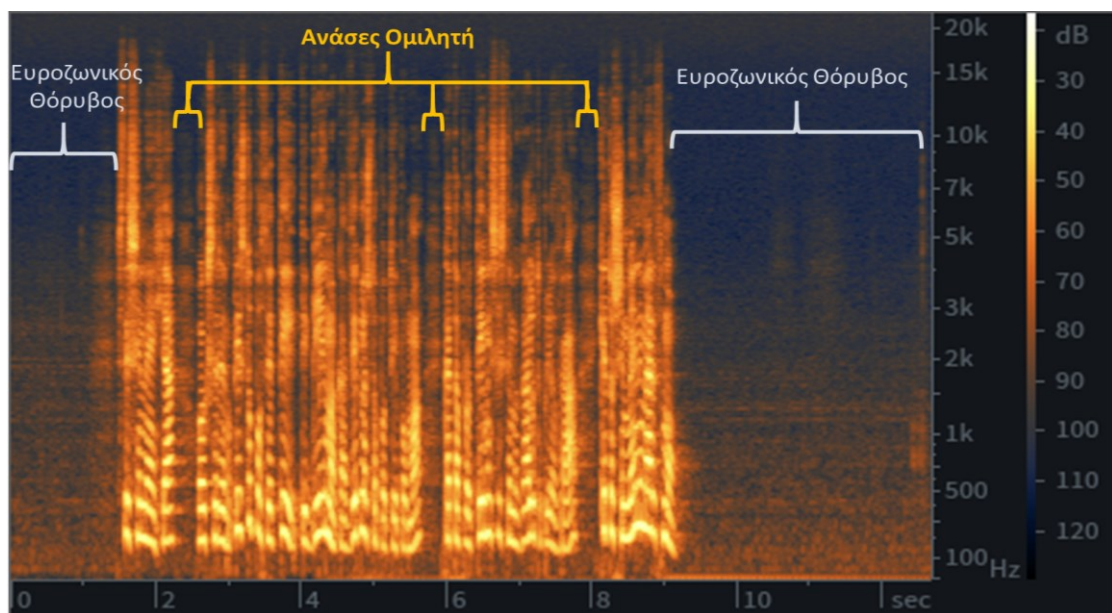


Εικόνα 2-98 Απεικόνιση σύντομων διακοπόμενων παλμικών θορύβων (Short Intermittent Impulse Noises) στο φασματογράφημα στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope

Στην παραπάνω εικόνα (2-98) απεικονίζονται και διάφορα ακουστικά γεγονότα, όπως για παράδειγμα ήχους κλήσης από κινητή συσκευή κλπ., ομιλίες που διαδραματίζονται κατά την ώρα της εγγραφής κ.ά., τα οποία σε συνδυασμό με την τεχνική της κριτικής ακρόασης (critical listening) και τον οπτικό έλεγχο του φασματογραφήματος, μπορεί να γίνει εκτίμηση για το εάν εναρμονίζονται με το “σκηνικό καταγραφής” ή όχι και να αποτελέσουν ενδείξεις επικύρωσης κατά κάποιο τρόπο αυθεντικότητας ή εάν πρόκειται για παραποιούμενη εγγραφή.

Σφύριγμα και Ευρυζωνικός Θόρυβος (Hiss and Broadband Noise)

Σε αντίθεση με το βουητό (Hum) και τον βόμβο (Buzz), ο Ευρυζωνικός θόρυβος, που μπορεί να καταγραφεί στο περιβάλλον τέλεσης της ηχογράφησης, συνήθως από ανεμιστήρες, κλιματιστικά κ.ά., εντοπίζεται να εξαπλώνεται σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων και δεν συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένες συχνότητες. Παρακάτω στην εικόνα (2-99) απεικονίζεται ένα τέτοιο παράδειγμα. Γενικότερα το σφύριγμα (Hiss) είναι αποτέλεσμα δημιουργίας από μία ηχογράφηση τύπου ταινίας, αλλά όχι απαραίτητα και παρατηρείται συνήθως (μεταξύ 300Hz και 10kHz) ("RX Overview", 2024).

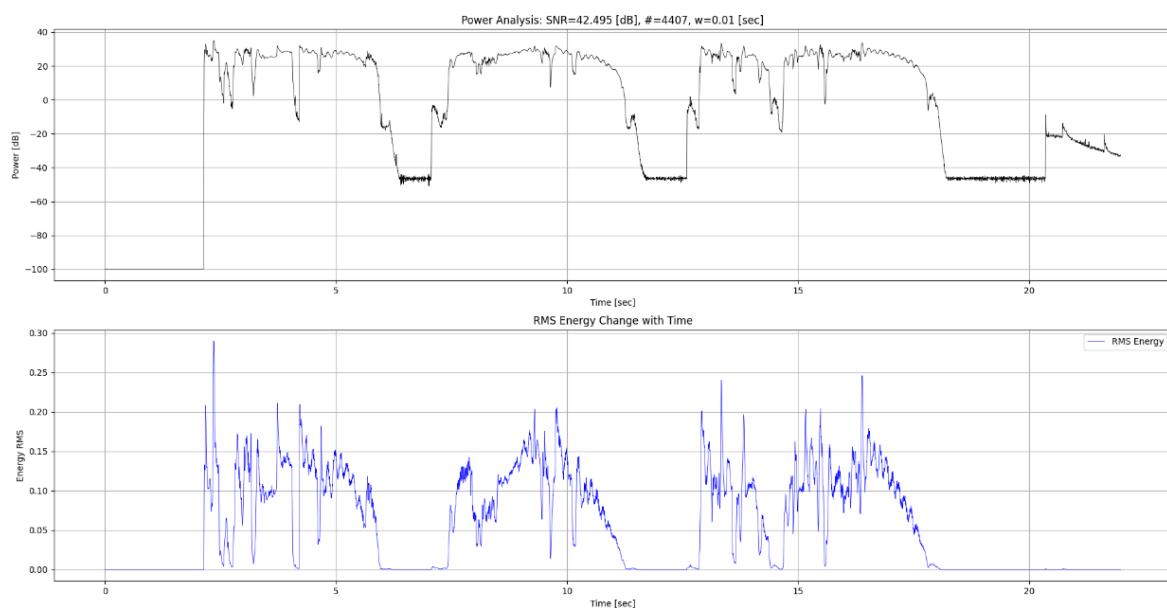


Εικόνα 2-99 Απεικόνιση φαινομένου ευρυζωνικού θορύβου (Broadband Noise) στο φασματογράφημα στο λογισμικό επεξεργασίας ήχου RX - Izotope

Όλα τα παραπάνω “ελαττώματα” που εντοπίζονται σε μία καταγραφή κατά την οπτική επιθεώρηση φασματογραφήματος, δεν αποτελούν αποκλειστική πιστοποίηση αυθεντικότητας του ηχητικού υλικού προς εξέταση. Βέβαια, μπορούν να προσφέρουν σχετικές πληροφορίες για τις συνθήκες που έλαβε χώρα η εν λόγω καταγραφή και τα μέσα που ενδέχεται να χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και αν τυχόν πρόκειται για προϊόν επεξεργασίας ή παραποίησης, με την έλλειψη των ανωτέρω τεχνουργημάτων που αναλύθηκαν. Σαφώς, στις επιθεωρήσεις των φασματογραφημάτων κύριο λόγο κατέχει η ερμηνευτική ικανότητα και εμπειρία του εξεταστή, ώστε να αποδώσει την ορθότερη ανάλυση των δεδομένων που προκύπτουν. Όλα τα ανωτέρω σφάλματα επικυρώνουν κατά περίπτωση εάν μία εγγραφή έχει δεχθεί ή όχι παραποίηση, αν αποτελεί προϊόν συρραφής ή αντίστοιχα προϊόν επεξεργασίας.

2.6.3 Ανάλυση Ισχύος Σήματος (Signal Power Analysis)

Γενικότερα η ισχύς ενός ηχητικού σήματος μπορεί να υπολογιστεί σε μικρά χρονικά πλαίσια. Δηλαδή, να εμφανίζεται ως η τροχιά της ισχύος σε ολόκληρο το σήμα και να χρησιμοποιηθεί για να αποκαλύψει πιθανές πληροφορίες που λείπουν από το ακουστικό σήμα λόγω μηχανικής βλάβης του μέσου καταγραφής, τεχνουργημάτων συμπίεσης ή εισαγωγής σιωπής. Η ισχύς του σήματος βασίζεται σε παρατηρήσεις και μετρήσεις. Η αβεβαιότητα της διενεργούμενης μέτρησης που μπορεί να προκύψει, εξαρτάται από την παραμόρφωση στο σήμα και το μήκος παραθύρου που χρησιμοποιείται. Στην παρακάτω εικόνα (2-100) παρατηρείται ένα παράδειγμα ανάλυσης ισχύος του σήματος σε μία εγγραφή προς εξέταση.



Εικόνα 2-100 Απεικόνιση ανάλυσης ισχύος (μαύρο γράφημα) & μεταβολή ενέργειας RMS στο χρόνο (μπλέ γραμμή). Δημιουργία εικόνας από κώδικα παραρτήματος IB

Στο πάνω σχήμα της εικόνας (2-100) υπολογίζεται το SNR ως η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της μέσης τιμής της ισχύος σε dB, που μπορεί να είναι μια πιο σταθερή μέτρηση σε περιπτώσεις όπου η τυπική απόκλιση μπορεί να είναι μηδενική ή και πολύ μικρή. Στον τίτλο του γραφήματος παρέχονται πληροφορίες για την ανάλυση ισχύος όπως το Signal-to-Noise Ratio (SNR) (Σήμα προς Θόρυβο) που υπολογίστηκε ως 42.495 dB, υποδεικνύοντας την αναλογία της ισχύος του σήματος προς την ισχύ του θορύβου. Έπειτα ο αριθμός #=4407 αντιπροσωπεύει τον αριθμό των δειγμάτων ή αλλιώς των παραθύρων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση. Τέλος, η υπόδειξη w=0.01 [sec] αποτελεί το μήκος του παραθύρου που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση. Η μαύρη γραμμή δείχνει την τροχιά της ισχύος του σήματος σε dB κατά τη διάρκεια του χρόνου. Μπορούμε επομένως, να

παρατηρήσουμε διάφορες διακυμάνσεις στην ισχύ, οι οποίες μπορεί να οφείλονται σε αλλαγές στο σήμα, σε θόρυβο, ή σε στιγμές σιωπής. Σε πολλά σημεία, η ισχύς του σήματος μειώνεται απότομα, υποδεικνύοντας πιθανές στιγμές σιωπής ή αποκοπής του σήματος. Τα εν λόγω σημεία όπου η ισχύς είναι πολύ χαμηλή (κοντά ή κάτω από -60 dB) μπορεί να αντιπροσωπεύουν θόρυβο ή απώλεια σήματος. Οι διακυμάνσεις στην ισχύ δείχνουν την μεταβλητότητα του σήματος σε όλο το χρονικό διάστημα. Το σήμα αποδεικνύεται ότι έχει υψηλό SNR (42.495 dB), που υποδηλώνει καλή ποιότητα σήματος σε σχέση με το θόρυβο. Οι στιγμές σιωπής ή αποκοπής είναι σαφώς έντονα ορατές.

Η ανάλυση ισχύος παρέχει μια καλή εικόνα της δυναμικής του σήματος κατά τη διάρκεια του χρόνου. Η μπλε γραμμή στο δεύτερο γράφημα της εικόνας (2-100) δείχνει τη μεταβολή της ενέργειας RMS του σήματος σε dB κατά τη διάρκεια του χρόνου. Η ενέργεια RMS είναι ένα μέτρο της μέσης ισχύος του σήματος και δίνει μια καλή ένδειξη της "έντασης" του σήματος. Ειδικότερα, οι κορυφές στο γράφημα αντιπροσωπεύουν στιγμές όπου η ενέργεια του σήματος είναι υψηλή. Τα χαμηλά σημεία (κοντά στο 0) αντιπροσωπεύουν στιγμές σιωπής ή χαμηλής έντασης στο σήμα. Μπορούμε δηλαδή να δούμε ότι υπάρχουν πολλαπλές κορυφές και χαμηλά σημεία, που δείχνουν τη δυναμική φύση του σήματος σε όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Συνοψίζοντας, η RMS ενέργεια παρέχει μια διαφορετική οπτική του σήματος σε σχέση με την ισχύ σε dB, όπου η ανάλυση RMS ενέργειας είναι χρήσιμη για την ανίχνευση στιγμών υψηλής και χαμηλής ενέργειας στο σήμα. Μπορούμε να δούμε δηλαδή τη γενική μορφή του σήματος και πώς η έντασή του μεταβάλλεται με τον χρόνο, όπου και θα επισημανθούν σημεία προς περεταίρω διερεύνηση είτε με την οπτική επιθεώρηση ή την κριτική ακρόαση ή και με τον συνδυασμό και των δύο για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Μέσω αυτής της τεχνικής μπορούν να εντοπιστούν ακόμα και σημεία που προέρχονται από διαφορετική καταγραφή ή ακόμα και επεξεργασίες που ενδέχεται να έχει υποστεί το σήμα. Ειδικότερα, τέτοια σημεία μπορούν να ερμηνευτούν κατά αυτόν τον τρόπο όταν παρατηρούνται και εντοπίζονται μεμονωμένα με έντονες διακυμάνσεις χωρίς την επανάληψη του ίδιου μοτίβου ενδιαφέροντος, είτε να απουσιάζουν ή να βρίσκονται πολύ πιο πάνω από τον μέσο όρο κατά μήκος της εγγραφής, αδικαιολόγητα.

3 Ανάλυση

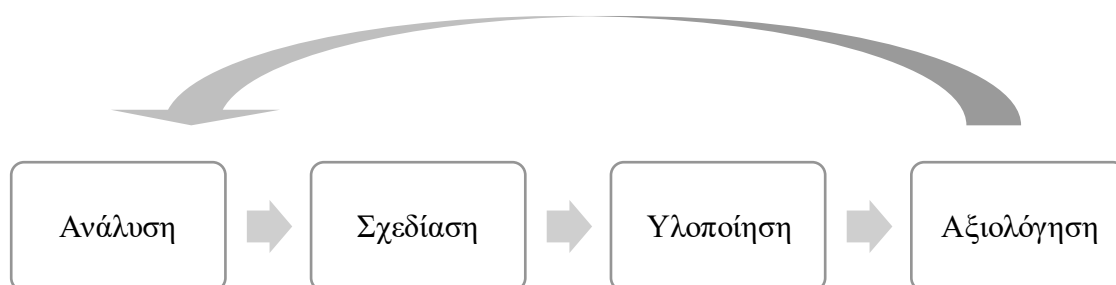
3.1 Φάσεις ανάπτυξης εφαρμογής

Στα πλαίσια των τεχνικών που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 2, οι οποίες εφαρμόζονται κατά τον έλεγχο της αυθεντικότητας στην εγκληματολογική ανάλυση του ήχου, προκύπτει η ανάγκη δημιουργίας ενός εργαλείου που θα συγκεντρώνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες και λειτουργίες για την εξαγωγή πληροφοριών που έως τώρα γίνονται με την παράλληλη χρήση διαφόρων εφαρμογών και λογισμικών ήχου.

Η αρχική ιδέα αφορά τη δημιουργία μιας διαδικτυακής εφαρμογής (web application) με ονομασία “Digital Forensic Audio tools” (DFA tools) στην οποία οι χρήστες μπορούν να κάνουν «εγγραφή» και «σύνδεση» (sign up/log in), με τη χρήση κωδικών ταυτοποίησης.

Η εφαρμογή θα αποτελεί ένα πολυεργαλείο ελέγχου και συλλογής πληροφοριών ανοικτού κώδικα για επεξεργασία ηχητικών αρχείων. Επιπλέον, το κοινό θα πρέπει να είναι σχετικό με την ακουστική επιστήμη (Acoustics) και την εγκληματολογική ανάλυση ήχου (Audio Forensics), ή να ανήκει στον ευρύτερο τομέα της μουσικής επιστήμης (Sound Technology).

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της εφαρμογής βασίστηκε στο μοντέλο Ανάλυση – Σχεδίαση – Υλοποίηση - Αξιολόγηση (βλ. εικόνα 3-1), που χρησιμοποιείται ευρέως κατά τη διαδικασία ανάπτυξης συστημάτων και εφαρμογών (Παναγιωτακόπουλος, 2020; Standing, 2002).



Εικόνα 3-1 Απεικόνιση φάσεων ανάπτυξης εφαρμογής

Στους παρακάτω πίνακες (3-1, 3-2, 3-3 & 3-4) αποτυπώνονται οι δραστηριότητες που έχουν οριστεί για κάθε φάση ανάπτυξης της εφαρμογής.

Για τη φάση της Ανάλυσης:

Ανάλυση
Κατά το στάδιο της Ανάλυσης
Ορίστηκαν οι στόχοι και η ανάγκη ανάπτυξης της εφαρμογής και το κοινό-στόχος που απευθύνεται
Ορίστηκε ένα αρχικό πλάνο/χρονοδιάγραμμα των φάσεων ανάπτυξης της εφαρμογής και των αντίστοιχων δραστηριοτήτων που περιλαμβάνουν
Καθορίστηκαν οι επιθυμητές βασικές λειτουργίες της εφαρμογής
Καταγράφηκαν και αναλύθηκαν παραδείγματα αντίστοιχων διαθέσιμων εφαρμογών προς σύγκριση
Διερευνήθηκε ανάλογη βιβλιογραφία για την ανάπτυξη διαδικτυακών (web) εφαρμογών

Πίνακας 3-1 Δραστηριότητες φάσης Ανάλυσης

Για τη φάση της Σχεδίασης:

Σχεδίαση
Κατά το στάδιο της Σχεδίασης
Επιλέχθηκαν τα εργαλεία ανάπτυξης της διαδικτυακής (Web) εφαρμογής (Τεχνολογίες, Περιβάλλον ανάπτυξης/διεπαφής, Γλώσσες ανάπτυξης-προγραμματισμού)
Καθορίστηκαν οι αναλυτικές δραστηριότητες ανάπτυξης και υλοποίησης της εφαρμογής και το σχετικό χρονοδιάγραμμα
Δημιουργήθηκε χάρτης πλοήγησης χρηστών
Έγινε αναφορά στους περιορισμούς της εφαρμογής
Καθορίστηκαν οι τεχνικές προδιαγραφές της εφαρμογής

Πίνακας 3-2 Δραστηριότητες φάσης Σχεδίασης

Για τη φάση της Υλοποίησης:

Υλοποίηση
Κατά το στάδιο της Υλοποίησης
Αναπτύχθηκε ο απαραίτητος κώδικας
Παραμετροποιήθηκε το Σύστημα Διαχείρισης Περιεχομένου (ΣΔΠ)
Ενσωματώθηκε ο κώδικας στη διαδικτυακή εφαρμογή
Έγινε επισκόπηση και έλεγχος της λειτουργίας του συστήματος

Πίνακας 3-3 Δραστηριότητες φάσης Υλοποίησης

Για τη φάση της Αξιολόγησης:

Αξιολόγηση
Κατά το στάδιο της Αξιολόγησης
Έγινε αξιολόγηση της εφαρμογής από ένα δείγμα χρηστών για τη λήψη ανατροφοδότησης
Εφαρμόστηκαν βελτιώσεις

Πίνακας 3-4 Δραστηριότητες φάσης Αξιολόγησης

3.2 Αρχικό χρονοδιάγραμμα

Στο παρακάτω σχήμα της εικόνας (3-2) απεικονίζεται το αρχικό πλάνο υλοποίησης των τεσσάρων φάσεων ανάπτυξης της εφαρμογής, με τις επιμέρους δραστηριότητες που περιλαμβάνονται σε κάθε φάση.



Εικόνα 3-2 Αρχικό χρονοδιάγραμμα ανάπτυξης εφαρμογής

3.3 Βασικές λειτουργίες εφαρμογής

Οι βασικές λειτουργίες της εφαρμογής DFA tools που απευθύνεται σε εξουσιοδοτημένους χρήστες περιλαμβάνουν:

1. Εγγραφή χρήστη
2. Είσοδος χρήστη με τη χρήση ταυτοποίησης
3. Επεξεργασία προφίλ χρήστη
4. Υπολογισμός αλγόριθμων κατακερματισμού (Hash values) ηχητικού αρχείου
5. Σύγκριση τιμών Hash
6. Αναγνώριση ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου (μορφής .wav και .mp3)
7. Επεξεργασία δεκαεξαδικών δεδομένων
8. Επεξεργασία ηχητικών αρχείων
9. Αναπαραγωγή και οπτικοποίηση ηχητικών αρχείων
10. Επικοινωνία για υποστήριξη χρήστη
11. Εγχειρίδιο χρήσης της εφαρμογής
12. Έξοδος Χρήστη

3.4 Διαθέσιμες εφαρμογές

Παρακάτω παρουσιάζονται παραδείγματα διαθέσιμων desktop εφαρμογών και έξυπνων αλγορίθμων που εκτελούν τις παραπάνω λειτουργίες, οι οποίες στην πλειοψηφία τους δε συγκεντρώνουν το σύνολο των παραπάνω δυνατοτήτων σε μια μόνο εφαρμογή και απαιτείται παράλληλη και συνδυαστική χρήση τους. Οι εφαρμογές που παρουσιάζονται παρακάτω αποτελούν τις πιο σύγχρονες και αποδοτικότερες ανοιχτού κώδικα εφαρμογές/αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται ευρέως και δεν υστερούν σε τίποτα από άλλες εμπορικές λύσεις.

Μια πολύ γνωστή εφαρμογή που κυκλοφορεί και σε ανοιχτό κώδικα αλλά και για εμπορική χρήση αποτελεί το “MD5 and SHA Checksum Utility”, με το οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί έλεγχος και εμφάνιση των αλγορίθμων κατακερματισμού. Η εφαρμογή είναι διαθέσιμη στον ακόλουθο σύνδεσμο: ([MD5-SHA](#)).

Ένα άλλο πρόσθετο της ίδιας κατηγορίας ανοιχτού κώδικα και πολύ δυνατό εργαλείο για τον έλεγχο των τιμών κατακερματισμού (Hash values) και συγκεκριμένα για τους αλγόριθμους ελέγχου του ψηφιακού δακτυλικού αποτυπώματος των ηχητικών αρχείων αποτελεί το “HashTab”. Το εν λόγω πρόσθετο εκμεταλλεύεται το περιβάλλον των Windows διαμορφώνοντας κατάλληλα την επιλογή των ιδιοτήτων του αρχείου παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για ένα αρχείο ήχου και όχι μόνο. Είναι διαθέσιμο στον ιστότοπο ([Softonic.com](#)), ενώ άλλα αντίστοιχα όπως το HashCheck, Open HashTab, HashIt, RapidCRC Unicode, MultiHasher, FCIV, μπορούν να βρεθούν και στη σελίδα ([Implbits.com](#)). Λογισμικά όπως “Hex Editors” δεκαεξαδικών επεξεργασιών των αρχείων, υπάρχουν εξίσου πάρα πολλά διαθέσιμα.

Οι Hex Editors ανοιχτού κώδικα προσφέρουν ακριβώς τα ίδια με αυτά που προορίζονται για εμπορική χρήση. Βρίσκονται διαθέσιμα στη σελίδα ([Superuser](#)) και μερικά από αυτά είναι το frhed, ([Notepad](#)) ++ “/”, UltraEdit, ZTreeWin, PSPad, Vim, Winhex, κ.ά. Λοιπά λογισμικά που αφορούν την εύρεση των πληροφοριών και επεξεργασίας μεταδεδομένων, αλλά και ιδιοτήτων όπως εμφανίζονται στα αρχεία των Windows αποτελούν τα ExifTool, TigoTago, Exif Date Changer, MP4 Video & Audio Tag Editor, Metadata++, κ.ά. Οι εφαρμογές που αναφέρθηκαν διαθέτουν και έκδοση εμπορικής χρήσης. Από τις παραπάνω εκδόσεις εφαρμογών υπολογισμού των “Hash values”, οι περισσότερες δεν υπολογίζουν όλες τις αναγκαίες τιμές κατακερματισμού και άλλες δεν παρέχουν την δυνατότητα

σύγκρισης μια προς μια για την κάθε τιμή και ειδικότερα δεν παρέχουν σύγκριση πάνω από μια τιμή ταυτόχρονα.

Αντίστοιχες διαδικτυακές εφαρμογές με τις παραπάνω αναφερόμενες που προσφέρουν αξιοπιστία αποτελεσμάτων και ελεύθερη πρόσβαση αποτελούν τα εργαλεία “All hash generator” από το [Fileformat info](#) και [Pelock.com](#), [Fileformat.info](#), [Hash file online](#), [Dencode](#), [Hashing service](#), [Yttags hashing calculator](#), [Text utils hash calculator](#), που αφορούν επίσης τη δημιουργία αλγορίθμων “Hash”.

Ως προς τα λογισμικά που εκτελούν επεξεργασία μουσικής και ηχητικών αρχείων διατίθεται πληθώρα επιλογών σε desktop και διαδικτυακές εφαρμογές στο διαδίκτυο με τα πιο ευρέως διαδεδομένα να είναι τα ακόλουθα:

Desktop: [Mixcraft 8](#), [Audacity](#), [WavePad](#), [Adobe Audition](#), [Acoustica Standard Edition](#) κ.ά.

Online: [TwistedWave Online](#), [Bear](#), [Audiomass.co](#), [Veed.io](#), [Invideo.io](#), [Myedit.online](#), [Voice.ai](#), [Podcastle](#), κ.ά.

Γενικότερα, η επιλογή μεταξύ “desktop” και “online” λογισμικών - εφαρμογών φέρει πολλά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα “Desktop” λογισμικά προσφέρουν ανεξαρτησία, ισχύ, ασφάλεια και προσαρμογή, ενώ απαιτείται συνήθως αγορά άδειας, χειροκίνητες ενημερώσεις και απαιτείται μεγάλος χώρος αποθήκευσης από το λειτουργικό σύστημα του υπολογιστή.

Αντίστοιχα τα “Online” λογισμικά παρέχουν εύκολη πρόσβαση, ενημερώνονται αυτόματα, λειτουργούν σε διάφορες πλατφόρμες και δεν απαιτείται εγκατάσταση. Πλην όμως εξαρτάται ο τρόπος επιτυχής λειτουργίας τους από την σύνδεση δικτύου που διαθέτει ο εκάστοτε χρήστης. Επιπλέον, παρέχεται πιο εύκολη και μεγάλη σε αριθμό πρόσβαση από ενδιαφερόμενους χρήστες, κάτι το οποίο μπορεί να προσφέρει πιο ολοκληρωμένη συλλογή πληροφοριών που αφορούν τον τρόπο λειτουργίας και αξιολόγησης ενός εργαλείου ή εφαρμογής έρευνας που σχετίζεται με την συνεισφορά του ανάλογου μέσου.

4 Σχεδίαση

4.1 Εργαλεία ανάπτυξης

Στην πρώτη φάση του σχεδιασμού της εφαρμογής “Digital Forensic Audio tools” (DFA tools) επιλέχθηκε το επιθυμητό μοντέλο ανάπτυξης της (διαδικτυακή/web ή παραδοσιακή εφαρμογή/λογισμικό). Μετά από μελέτη και σύγκριση των παραμέτρων που διαφοροποιούν τα δυο μοντέλα επικράτησε η λύση της διαδικτυακής εφαρμογής, ή εφαρμογής ιστού όπως επίσης συναντάται, η οποία φέρει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα όπως παρουσιάζονται στον πίνακα (4-1) (Hannerfors, 2009; Henrich et al., 2010; Pop, 2002).

Μειωμένο έως και μηδενικό κόστος ανάπτυξης, καθώς αποφεύγονται τα κόστη αγοράς servers και πρόσθετων λογισμικών

Συμβατότητα με όλα τα λειτουργικά συστήματα, καθώς η εφαρμογή φιλοξενείται σε περιηγητές (browsers), με τη μόνη προϋπόθεση να είναι συμβατοί με την εφαρμογή

Δεν απαιτεί μεγάλο χώρο στο δίσκο

Διευκολύνεται η διανομή και πρόσβαση της εφαρμογής στους χρήστες

Οι ενημερώσεις της εφαρμογής γίνονται άμεσα διαθέσιμες σε όλους τους χρήστες χωρίς την ανάγκη αποστολής fix-packs εκδόσεων

Πρόσβαση και χρήση από μεγάλο εύρος συσκευών (smartphones, laptops, tablets, σταθερούς υπολογιστές) λόγω της ιδιότητας της αποκριτότητας τέτοιου είδους εφαρμογών

Πίνακας 4-1 Πλεονεκτήματα διαδικτυακής εφαρμογής

Τα μειονεκτήματα μιας διαδικτυακής εφαρμογής συγκριτικά με μια παραδοσιακή (desktop) εφαρμογή δεν είναι αμελητέα αλλά η παραδοσιακή επιλογή δε δύναται να αξιοποιηθεί περαιτέρω στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής λόγω των χρονικών και οικονομικών περιορισμών εκπόνησής της:

- Η ανάγκη διαθεσιμότητας σύνδεσης internet για τη λειτουργία της εφαρμογής
- Χρήση εξωτερικού server, το οποίο προϋποθέτει λιγότερο έλεγχο σε σφάλματα και δυσλειτουργίες του διακομιστή του παρόχου (dns server)

Στη συνέχεια, μετά από διερεύνηση των διαθέσιμων τεχνολογιών και εργαλείων ανάπτυξης μιας διαδικτυακής εφαρμογής ορίστηκε το περιβάλλον διεπαφής της εφαρμογής και οι γλώσσες προγραμματισμού και σήμανσης που θα χρησιμοποιηθούν για τη συγγραφή του κώδικα.

4.1.1 Περιβάλλον διεπαφής

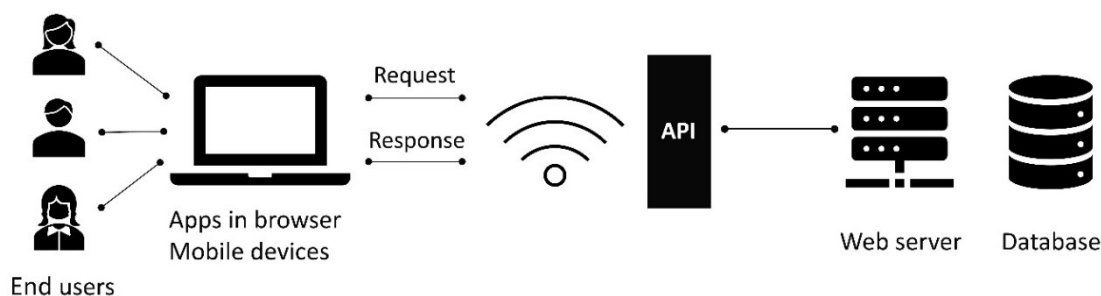
Η ανάπτυξη του περιβάλλοντος διεπαφής της εφαρμογής “Digital Forensic Audio tools” (DFA tools) θα υλοποιηθεί αξιοποιώντας ένα Σύστημα Διαχείρισης Περιεχομένου (ΣΔΠ) – Content Management System (CMS). Η επιλογή του συγκεκριμένου συστήματος έγινε για τις ανάγκες σχεδιασμού της εφαρμογής DFA tools στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες:

- Κόστος υλοποίησης του περιβάλλοντος διεπαφής
- Χρόνος υλοποίησης του περιβάλλοντος διεπαφής
- Ανάγκη τεχνικών ικανοτήτων για την υλοποίηση του περιβάλλοντος διεπαφής

Ένα Σύστημα Διαχείρισης Περιεχομένου (ΣΔΠ) ανοιχτού κώδικα δίνει τη δυνατότητα διαχείρισης του περιεχομένου μιας ιστοσελίδας, διαμόρφωσης του γραφιστικού της περιβάλλοντος, ενσωμάτωσης επεκτάσεων και διαχείρισης χρηστών. Το σύστημα «ανοικτού τύπου» επιλέχθηκε για την υλοποίηση της παρούσας εφαρμογής γιατί αποτελεί μια δωρεάν επιλογή φιλοξενίας ιστοσελίδας, με δυνατότητα χρήσης επιπλέον επεκτάσεων επί πληρωμή και διαθέτει φιλικό περιβάλλον προς το χρήστη χωρίς να είναι απαραίτητες επιπλέον τεχνικές γνώσεις. Αποτελεί μια έτοιμη λύση σχεδίασης του περιβάλλοντος διεπαφής μεταξύ του χρήστη και της εφαρμογής καθώς διαθέτει επιλογές παραμετροποίησης και διαμόρφωσης του προτύπου χωρίς να απαιτείται ανάπτυξη κώδικα για τη σχεδίασή του. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση ανάγκης επέκτασης των λειτουργιών της εφαρμογής επιτρέπει την εισαγωγή επεκτάσεων με κώδικα που έχει αναπτύξει ο χρήστης και στις περισσότερες περιπτώσεις ένα ΣΔΠ διαθέτει ισχυρή αρχιτεκτονική ασφαλείας για την προστασία του περιεχομένου της ιστοσελίδας (Barker, 2016; Eden, 2006; Lăzărică et al., 2013).

Για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας ενός ΣΔΠ είναι σημαντικό να γίνει κατανοητή η αρχιτεκτονική στην οποία έχει βασιστεί. Η αρχιτεκτονική ενός συστήματος ΣΔΠ

βασίζεται σε μια σειρά τεχνολογιών που συνθέτουν α) το περιβάλλον που βλέπουν οι χρήστες, β) το περιβάλλον που βλέπει και διαχειρίζεται ο δημιουργός. Απαραίτητη για την ύπαρξη ενός ΣΔΠ είναι η επικοινωνία μεταξύ ενός λειτουργικού συστήματος, ενός εξυπηρετητή ιστού (web server), μιας βάσης δεδομένων με τη χρήση μιας γλώσσας προγραμματισμού και ενός προγραμματιστικού πλαισίου (web framework) όπως απεικονίζονται στην εικόνα (4-1). Αυτή η επικοινωνία μεταξύ των μερών του συστήματος ονομάζεται Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών (API) (Biehl, 2015; Singh et al., 2023).



Εικόνα 4-1 Αρχιτεκτονική Συστήματος Διαχείρισης Περιεχομένου (ΣΠΔ)

Για την υλοποίηση της εφαρμογής DFA tools επιλέχθηκε το σύστημα ανοιχτού κώδικα [Wix](https://wix.com) ανάμεσα σε πληθώρα συστημάτων όπως το WordPress, Drupal, Joomla, Weebly κ.ά. Το Wix παρέχει πληθώρα έτοιμων προτύπων που μπορούν να φιλοξενήσουν μια ιστοσελίδα ενώ δίνει δυνατότητα, συνδυαστικά με τη χρήση της πλατφόρμας Velo by Wix (εικόνα 4-2), ανάπτυξης και διαχείρισης διαδικτυακών εφαρμογών. Με αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η διαδικασία του σχεδιασμού του περιβάλλοντος της εφαρμογής και δίνεται έμφαση στην ανάπτυξη του περιεχομένου. Η πλατφόρμα Wix διαθέτει πρότυπα τεχνολογίας HTML5 το οποίο συνεπάγεται ότι το περιεχόμενο των σελίδων που δημιουργείται προσαρμόζεται αυτόματα με ελάχιστες προσαρμογές κατά περίπτωση στις περισσότερες οθόνες συσκευών.



Εικόνα 4-2 Εφαρμογή Wix (Ιστότοπος: wix.com)

Η περιήγηση στο περιβάλλον διαχείρισης μιας σελίδας του Wix είναι φιλική προς το χρήστη δίνοντας επιλογές προσαρμογής της σελίδας, όπως επεξεργασία περιεχομένου και κειμένου, αλλαγή θέσης κειμένου, στοιχείων μενού και εικονοστοιχείων, προσθήκη στοιχείων πλοήγησης, εισαγωγή φορμών, επεξεργασίας χρωμάτων, προσθήκη επιλογών

εξουσιοδότησης χρηστών κ.ά. Οι επιλογές διαμόρφωσης είναι πάρα πολλές παρόλα αυτά όπως και στις περισσότερες δωρεάν υπηρεσίες ιστού, το Wix παρουσιάζει τους παρακάτω περιορισμούς:

- Η δυνατότητα σύνδεσης με προσωπικό domain του δημιουργού δεν παρέχεται δωρεάν
- Ο αποθηκευτικός χώρος που παρέχεται για τη δωρεάν έκδοση δεν ξεπερνά τα 500MB
- Δεν παρέχεται η δυνατότητα πρόσβασης στον κώδικα της σελίδας
- Δεν παρέχεται η δυνατότητα εξαγωγής της σελίδας σε άλλη μορφή

4.1.2 Γλώσσες ανάπτυξης

Για τη σχεδίαση της δομής της εφαρμογής DFA tools επιλέχθηκε η χρήση της γλώσσας σήμανσης HTML και των γλωσσών προγραμματισμού JavaScript και CSS. Παρακάτω παρατίθενται κάποιες βασικές πληροφορίες για την κάθε τεχνολογία οι οποίες βοηθούν στην κατανόηση της συγγραφής του κώδικα κάθε εργαλείου της εφαρμογής στο στάδιο της Υλοποίησης.

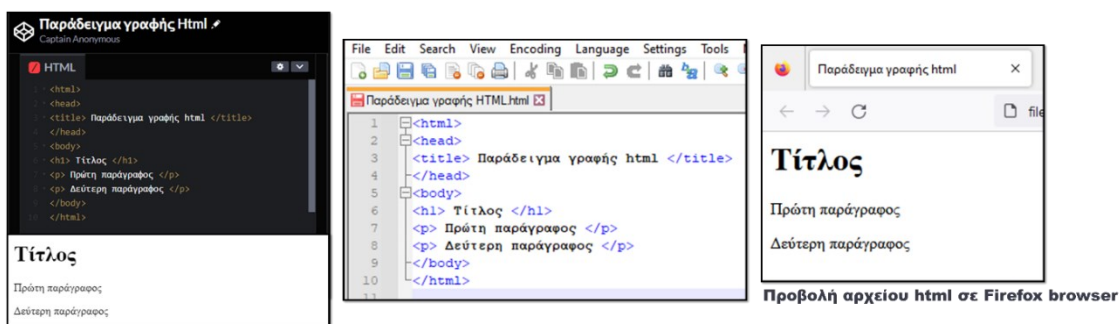
HTML

Στη γλώσσα Hyper Text Markup Language, κοινώς HTML, βασίζεται ο προγραμματισμός και δημιουργία σελίδων ιστού (web pages). Η γλώσσα αυτή είναι γλώσσα σήμανσης που σημαίνει ότι η βασική της λειτουργία είναι να επηρεάζει την εμφάνιση και συμπεριφορά των διαφόρων στοιχείων από τα οποία αποτελείται μια ιστοσελίδα (Goodman, 2002; Lawson et al., 2011).

Η τελευταία έκδοση της HTML είναι η HTML 5.0, η οποία χρησιμοποιείται και στα πρότυπα της πλατφόρμας Wix στην οποία υλοποιήθηκε η εφαρμογή DFA tools. Ένας φυλλομετρητής (browser) διαβάζει ένα σύνολο εγγράφων HTML και τα συνθέτει σε σελίδες με τη χρήση ετικετών (tags) που υποδεικνύουν στον εκάστοτε φυλλομετρητή τον τρόπο με τον οποίο πρέπει το κάθε στοιχείο να εμφανιστεί στην οθόνη. Κάθε tag περικλείεται μεταξύ των συμβόλων < και > (Hickson et al., 2008; Lawson et al., 2011).

Στον πίνακα (4-2) παρουσιάζονται οι διαφορετικοί τύποι περιεχομένου τα οποία μπορούν να διαμορφωθούν με τη χρήση HTML καθώς και οι βασικές εντολές. Η δημιουργία/συγγραφή εντολών σε HTML μπορεί να γίνει με τη χρήση ενός επεξεργαστή κειμένου (Robbins, 2012; W3schools.com, 2023).

Για τις ανάγκες της παρούσας εφαρμογής οι εντολές συντάχθηκαν με τη χρήση του επεξεργαστή κειμένου Notepad ++ και του λογισμικού [Codepen](#) και ελέγχθηκαν τόσο μέσω των οθονών του Codepen, όσο και απευθείας πάνω στην πλατφόρμα Wix. Ένα αρχείο HTML έχει κατάληξη “.htm” ή “.html”. Ένα παράδειγμα γραφής σε γλώσσα HTML παρουσιάζεται στην εικόνα (4-3).



Εικόνα 4-3 Παράδειγμα γραφής σε HTML

Τύποι περιεχομένων	Βασικές εντολές		Επεξήγηση βασικών εντολών
Heading Paragraph Address Anchor List Image Table Style Script Audio Video Canvas	<head>	</head>	περιέχει τις πληροφορίες για τον τίτλο του εγγράφου
	<body>	</body>	περιέχει τις πληροφορίες για το κύριο μέρος του εγγράφου
	<p>	</p>	ορίζει μια νέα παράγραφο
	<title>	</title>	περιέχει τον τίτλο του εγγράφου
	<h1>	</h1>	ορίζει το μέγεθος των γραμμμάτων από h1-h6
	 	</br>	προωθεί το κείμενο στην επόμενη σειρά
	<center>	</center>	ορίζει κεντρική στοίχιση
			ορίζει έντονη γραφή (bold)
	<i>	</i>	ορίζει πλάγια γραφή (italics)
	<u>	</u>	ορίζει υπογράμμιση (underline)
	<a>		το περιεχόμενο γίνεται υπερσύνδεσμος
	href= “ “		ορίζει τη θέση του αρχείου html
	imgsrc= “ “		ορίζει μια εικόνα ως σύνδεσμο

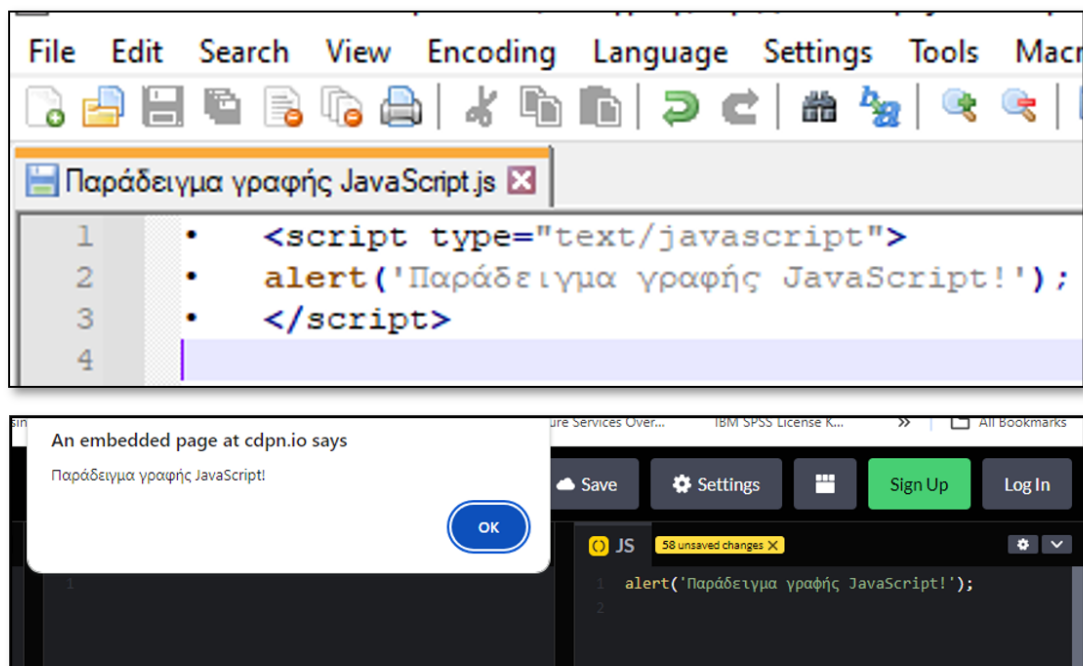
Πίνακας 4-2 Πίνακας εντολών σε HTML

JAVASCRIPT

Συνδυαστικά με τη χρήση της HTML, χρησιμοποιήθηκαν σύνολα εντολών σε γλώσσα JavaScript τα οποία ενσωματώθηκαν στα έγγραφα HTML. Η JavaScript είναι μια γλώσσα προγραμματισμού που επηρεάζει με τη σειρά της τη συμπεριφορά μιας ιστοσελίδας. Χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάπτυξη περίπλοκων και περισσότερο δυναμικών χαρακτηριστικών (όπως π.χ. γραφικά). Επιπλέον με τη χρήση JavaScript μπορούν να υλοποιηθούν αυτόματες εργασίες δηλώνοντας τα διαφορετικά πιθανά σενάρια. Η συγγραφή κώδικα σε JavaScript για την παρούσα εφαρμογή έγινε στον ίδιο επεξεργαστή κειμένου Notepad++ και Codepen, κατόπιν ελέγχθηκε μέσω του Wix, όπως και η HTML, ενώ παράλληλα έχει τη δυνατότητα να ενσωματώνεται σε σελίδες HTML προσδίδοντάς τους περαιτέρω χαρακτηριστικά.

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής DAF tools έγινε χρήση και έτοιμου κώδικα σε JavaScript ο οποίος διατίθεται δημόσια σε βιβλιοθήκες JavaScript, και στον οποίο έγιναν προσαρμογές για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής.

Ένα παράδειγμα γραφής σε γλώσσα JavaScript από τα δύο εργαλεία Notepad++ και Codepen που χρησιμοποιήθηκαν, παρουσιάζεται στην εικόνα (4-4).



Εικόνα 4-4 Παράδειγμα γραφής σε JavaScript

Στον πίνακα (4-3) παρουσιάζονται οι διαφορετικοί τύποι περιεχομένου τα οποία μπορούν να διαμορφωθούν με τη χρήση JavaScript καθώς και οι βασικές εντολές. Ένα αρχείο JavaScript έχει κατάληξη “.js” (Ambler et al., 2015; Robins, 2012; W3schools.com, 2023).

Τύποι περιεχομένων	Βασικές εντολές
String Number Bigint Boolean Undefined Null Symbol Object	// Numbers: let length = 7; let weight = 9;
	// Strings: let color = "Pink"; let lastName = "Kantoutsis";
	// Booleans let x = true; let y = false;
	// Object: const person = {firstName:"Christos", lastName:"Kantoutsis"};
	// Array object: const cars = ["Saab", "Volvo", "BMW"];
	// Date object: const date = new Date("2023-10-28");

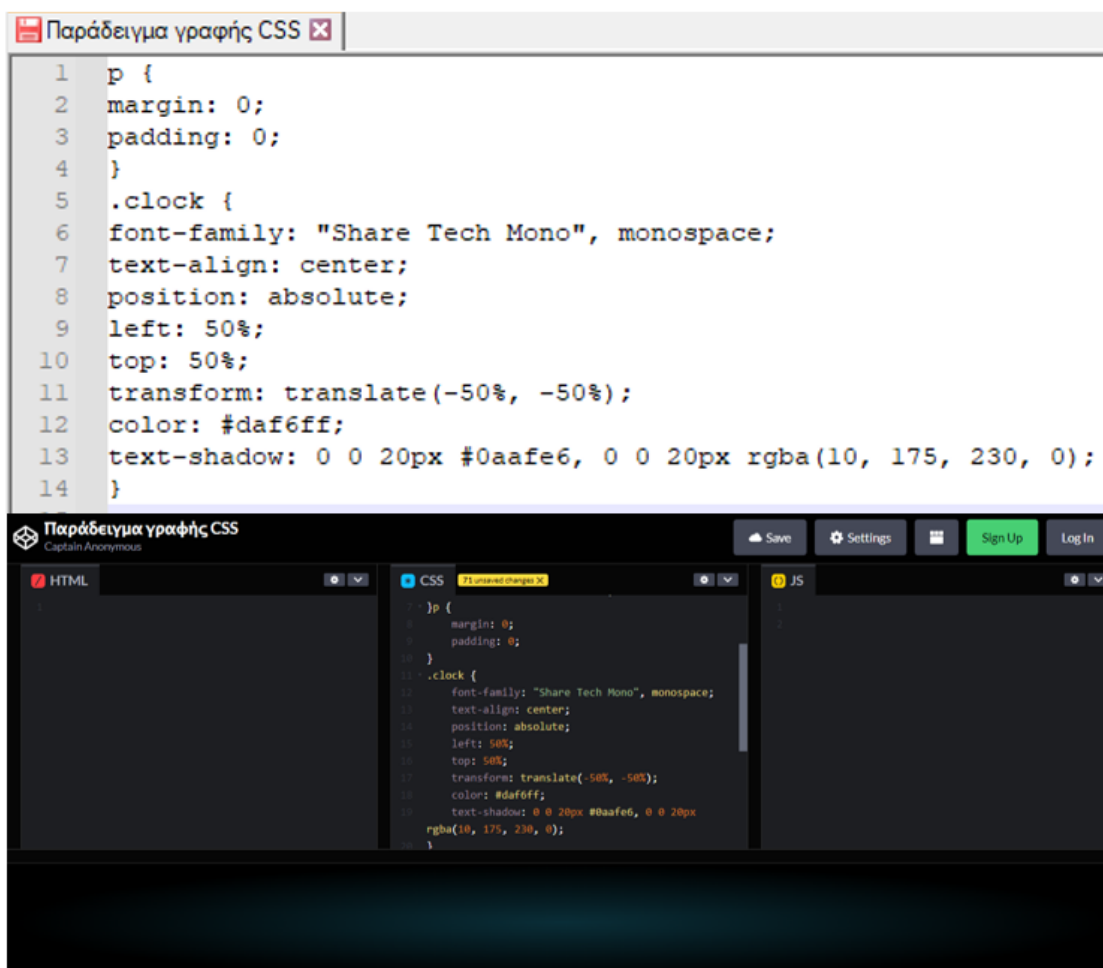
Πίνακας 4-3 Πίνακας εντολών σε JavaScript

CSS

Μια τρίτη τεχνολογία που αξιοποιήθηκε για τη δημιουργία της εφαρμογής DFA tools, είναι η γλώσσα προγραμματισμού Cascading Style Sheets (CSS). Η CSS λειτουργεί συμπληρωματικά με τις δυο προηγούμενες γλώσσες και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της εμφάνισης εγγράφων που έχουν δημιουργηθεί σε γλώσσα HTML. Ένα αρχείο σε γλώσσα CSS αποτελεί ένα ηλεκτρονικό αρχείο που περιλαμβάνει όλους τους κανόνες μορφοποίησης μιας ιστοσελίδας.

Στην εικόνα (4-5) παρουσιάζονται παραδείγματα συγγραφής κώδικα σε CSS. Τα αρχεία που έχουν συνταχτεί σε γλώσσα CSS έχουν κατάληξη “.css”. Υπάρχει η δυνατότητα να δηλωθεί ο κώδικας CSS στο head μέρος μιας ιστοσελίδας, είτε σαν εξωτερικό αρχείο, είτε εισάγοντας ολόκληρο τον κώδικα. Επίσης υπάρχει και η επιλογή να γίνει η συγγραφή του

κώδικα απευθείας στο αρχείο HTML. Όπως και στις προηγούμενες δυο γλώσσες η συγγραφή του κώδικα σε CSS για την παρούσα εφαρμογή έγινε στον ίδιο επεξεργαστή κειμένου Notepad++ και Codepen καθώς υποστηρίζει τις περισσότερες γλώσσες προγραμματισμού. Επιπλέον, όπως έγινε και στην περίπτωση της HTML και της JavaScript ο κώδικας δοκιμάστηκε και ελέγχθηκε απευθείας στο περιβάλλον της πλατφόρμας Wix και του Codepen (Meyer, 2006; Nixon, 2014; W3schools.com, 2023).



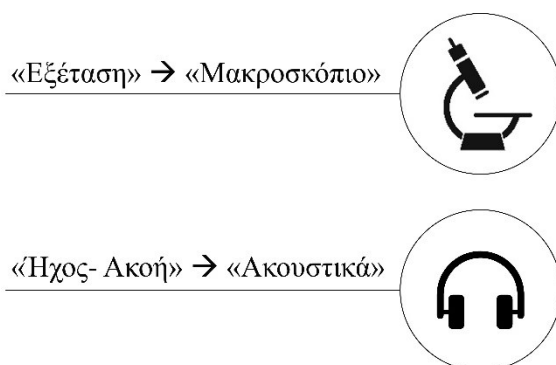
Εικόνα 4-5 Παράδειγμα γραφής σε CSS

Επιπλέον, για την γρήγορη αναζήτηση και εκμάθηση διαφόρων εντολών γλώσσας προγραμματισμού, αξιοποιήθηκε σύστημα τεχνητής νοημοσύνης ανοικτού κώδικα (Chat – GPT - 3.5). Η αξιοποίηση της πρόσβασης στην παροχή πληροφοριών σε επίπεδο εντολών γλώσσας προγραμματισμού, διαμέσου τεχνολογίας νέας γενιάς κρίθηκε αναγκαία προκειμένου να ενισχυθεί περισσότερο η δημιουργική διαδικασία στο πλαίσιο του προγραμματισμού και να περιοριστούν οι όποιες ελλείψεις τεχνικών δεξιοτήτων.

4.2 Όνομα και σχεδίαση λογότυπου εφαρμογής

Η ιδέα του ονόματος της εφαρμογής προέκυψε από το σκοπό χρήσης των εργαλείων που επρόκειτο να παρέχει. Η παρούσα εφαρμογή έχει σκοπό να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο κατά τη διαδικασία εφαρμογής των τεχνικών για τον πρωταρχικό γρήγορο έλεγχο και συλλογής πληροφοριών ηχητικών αρχείων κατά τη διαδικασία αυθεντικότητας στην εγκληματολογική ανάλυση του ήχου. Γι' αυτό το λόγο η εφαρμογή ονομάστηκε Digital Forensic Audio tools, ενώ για σκοπούς συντομογραφίας, ευκολίας ανάγνωσης και λογοτύπησης θα αναφέρεται με το ακρωνύμιο DFA tools.

Η ιδέα του λογότυπου της εφαρμογής προέκυψε από τις έννοιες «Εξέταση», «Ήχος-Ακοή» οι οποίες στη συνέχεια αποδόθηκαν με τους παρακάτω συμβολισμούς όπως απεικονίζονται στην εικόνα (4-6).

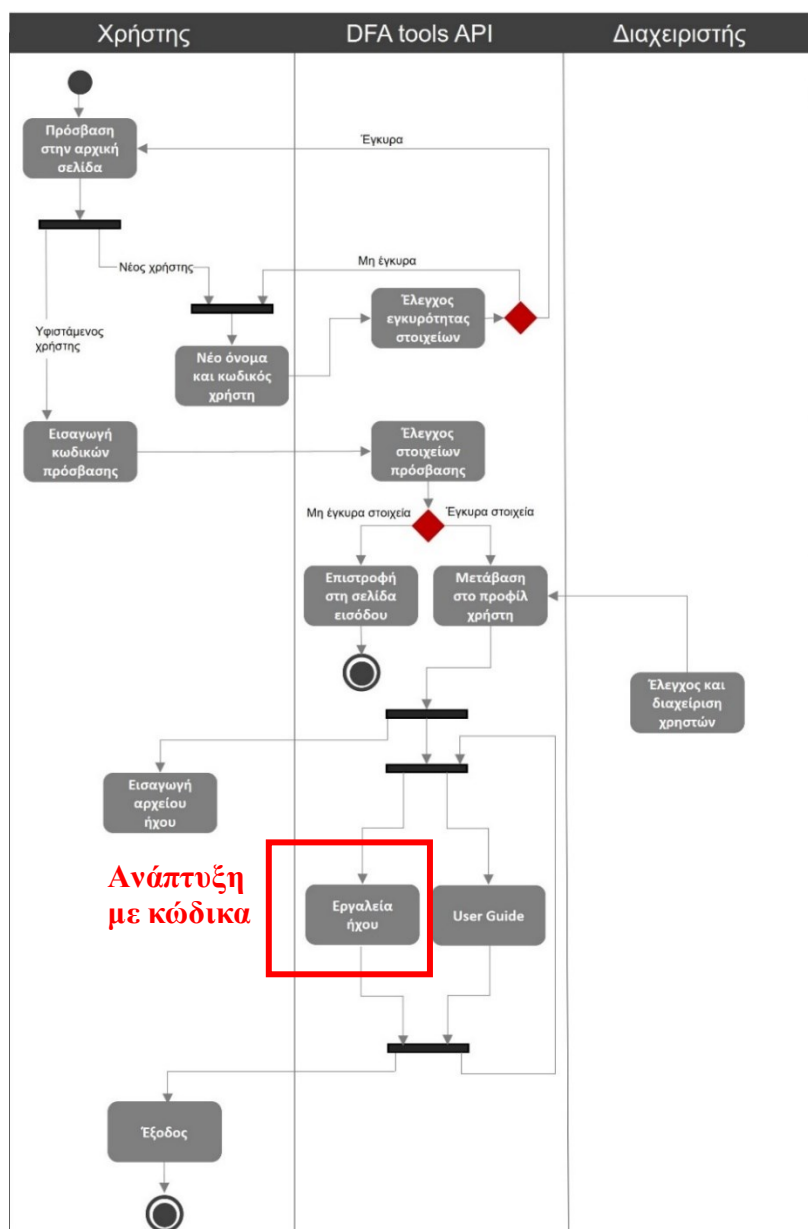


Εικόνα 4-6 Logo design brainstorming

Το λογότυπο της εφαρμογής σχεδιάστηκε με τη χρήση του λογισμικών Adobe Illustrator το οποίο αποτελεί εργαλείο γραφικού σχεδιασμού. Το Adobe Illustrator συγκεκριμένα, επιτρέπει την επεξεργασία και σχεδίαση διανυσματικών γραφικών, και την εξαγωγή τους σε μορφή vector αρχείου (ανοιχτού τύπου), όπως το SVG, μορφή που υποστηρίζει η πλατφόρμα Wix για τη χρήση λογοτύπου στην ιστοσελίδα.

4.3 Καθορισμός και διάγραμμα δραστηριοτήτων

Προτού γίνει ο προγραμματισμός των δραστηριοτήτων για την ανάπτυξη των βασικών λειτουργιών της εφαρμογής, δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα δραστηριοτήτων (UML activity diagram) με τις λειτουργίες που αφορούν το Χρήστη, το API της εφαρμογής DFA tools και το Διαχειριστή της εφαρμογής, προκειμένου να γίνει μια αρχική μοντελοποίηση των απαιτήσεων του συστήματος και καταγραφή των λειτουργιών που απαιτείται α) ανάπτυξη κώδικα και β) παραμετροποίηση και μορφοποίηση μέσα από την πλατφόρμα Wix (Escalona, 2003).



Εικόνα 4-7 Διάγραμμα δραστηριοτήτων (UML activity diagram)

Το σχήμα της εικόνας (4-7) περιγράφει τις ενέργειες που ακολουθεί ο χρήστης με την είσοδό του στην εφαρμογή, τις ενέργειες απόκρισης του συστήματος καθώς και τις ενέργειες που μπορεί να εκτελέσει ο διαχειριστής όσον αφορά το λογαριασμό του χρήστη. Στο διάγραμμα γίνεται εμφανές ότι για την πρόσβαση του χρήστη στα εργαλεία της εφαρμογής DFA tools, απαιτείται αρχικά η δημιουργία λογαριασμού και η είσοδος με τα διαπιστευτήρια που έχει δηλώσει ο χρήστης κατά την εγγραφή του.

Αν γίνει λανθασμένη καταχώρηση των στοιχείων εισόδου, ο χρήστης ανακατευθύνεται στη σελίδα εισόδου. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση που δε συμπληρωθούν σωστά τα στοιχεία κατά την εγγραφή του χρήστη, οπότε δεν ολοκληρώνεται η διαδικασία της εγγραφής.

Εφόσον ολοκληρωθεί η σύνδεση με επιτυχία το σύστημα επιτρέπει στο χρήστη να έχει πρόσβαση α) στη σελίδα των εργαλείων της εφαρμογής και δυνατότητα χρήσης τους και β) στη σελίδα του εγχειριδίου της εφαρμογής. Ο διαχειριστής μπορεί μέσα από το σύστημα να διαχειρίζεται την πρόσβαση των εγγεγραμμένων χρηστών.

Προτού υλοποιηθούν οι βασικές δραστηριότητες της εφαρμογής DFA tools αρχική μέριμνα ήταν να σχεδιαστεί το λογότυπο της εφαρμογής και να γίνει η εξαγωγή του σε μορφές αρχείων που να υποστηρίζονται από την πλατφόρμα Wix.

Έπειτα, προτεραιοποιήθηκαν οι δραστηριότητες για τις οποίες ήταν απαραίτητη η συγγραφή κώδικα, η ενσωμάτωση του κώδικα στη σελίδα και η διαμόρφωση του εντός της πλατφόρμας Wix, οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα (4-4). Αυτές οι δραστηριότητες αποτελούν τα κύρια εργαλεία ήχου της εφαρμογής DFA tools τα οποία κατηγοριοποιούνται κάτω από τις ακόλουθες ομάδες εργαλείων.

Βασικά εργαλεία ήχου της εφαρμογής DFA tools
Ομάδα εργαλείων υπολογισμού αλγόριθμων κατακερματισμού
Εργαλείο υπολογισμού αλγόριθμων κατακερματισμού (Hash values) ηχητικού αρχείου
Εργαλείο σύγκρισης τιμών Hash (Μια προς μια και πολλαπλή σύγκριση σε πίνακες)

Ομάδα εργαλείων αναγνώρισης ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου
Εργαλείο αναγνώρισης ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου μορφής .wav
Εργαλείο αναγνώρισης ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου μορφής .mp3
Ομάδα εργαλείων επεξεργασίας δεκαεξαδικών δεδομένων
Εργαλείο μετατροπής κειμένου σε δεκαεξαδικό κώδικα και αντίστροφα
Εργαλείο εντοπισμού κεφαλίδας και τέλους δεκαεξαδικού κώδικα ηχητικού αρχείου
Εργαλείο γρήγορου ελέγχου κεφαλίδας και τέλους σε δεκαεξαδικό αριθμητικό σύστημα ηχητικών αρχείων
Ομάδα εργαλείων επεξεργασίας ηχητικών αρχείων
Εργαλείο εμφάνισης μονοφωνικής κυματομορφής ηχητικού αρχείου με και χωρίς τη σιγή
Εργαλείο μετατροπής ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου (σε mono ή stereo και επιλογή συχνότητας δειγματοληψίας και βάθους)
Εργαλείο υπολογισμού χρονικών διαρκειών ενός ηχητικού αρχείου με και χωρίς τη σιγή
Εργαλείο αφαίρεσης σιγής από ηχητικό αρχείο
Ομάδα εργαλείων αναπαραγωγής και οπτικοποίησης ηχητικών αρχείων
Αναπαραγωγέας ήχου (player) και οπτικοποίηση φασματογραφήματος
Εργαλείο προσομοίωσης φίλτρων κατά την αναπαραγωγή
Εργαλείο εμφάνισης φάσματος συχνοτήτων ηχητικού αρχείου σε πραγματικό χρόνο

Πίνακας 4-4 Δραστηριότητες που απαιτούν ανάπτυξη κώδικα

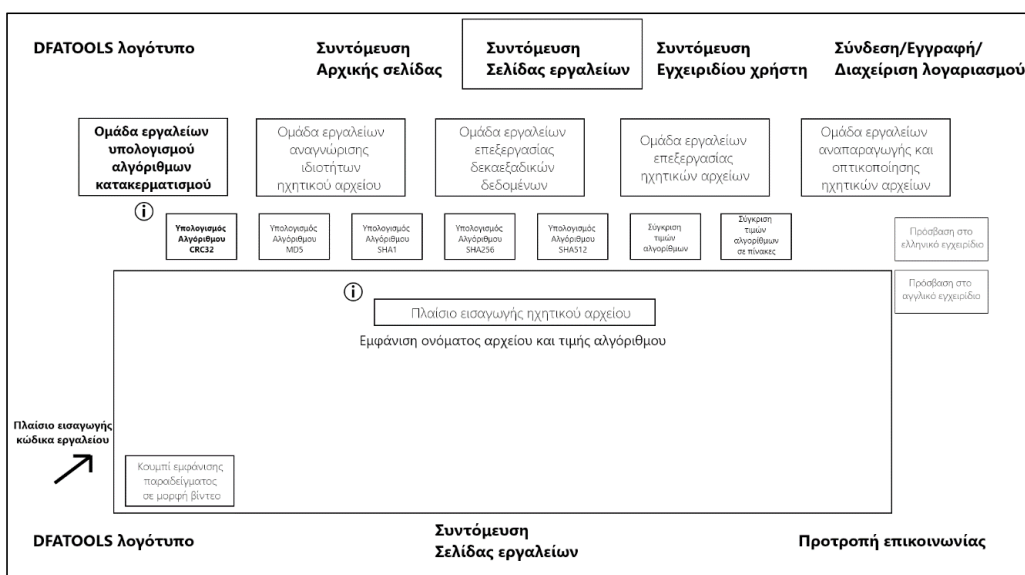
Στον πίνακα (4-5) παρουσιάζονται οι δραστηριότητες που υλοποιήθηκαν με έτοιμα εργαλεία/εφαρμογές που παρέχει η πλατφόρμα Wix:

Επιπλέον δραστηριότητες της εφαρμογής DFA tools
Δημιουργία λογαριασμού στο σύστημα Wix
Επιλογή θέματος
Ονομασία domain: Το Wix παρέχει δωρεάν τη δυνατότητα ονομασίας του domain: dfatools
Δημιουργία της αρχικής σελίδας (Home) που θα φιλοξενήσει την εφαρμογή
Διαμόρφωση Header (Διαμόρφωση μενού πλοήγησης, Λογοτύπου, επιλογή, εισαγωγή κειμένου και μορφοποίηση)
Διαμόρφωση Footer (anchor επιστροφής στο πάνω μέρος της σελίδας, φόρμα επικοινωνίας, συντόμευση μενού εργαλείων)
Δημιουργία σελίδας εργαλείων του πίνακα 4-3-1
Εισαγωγή και διαμόρφωση επιλογής Login/sign up /logout και εμφάνιση επιλογής α) στην αρχική σελίδα, β) κατά την είσοδο στη σελίδα των εργαλείων
Διαμόρφωση σελίδας προφίλ χρήστη
Εισαγωγή και διαμόρφωση στοιχείων επικοινωνίας, διαθέσιμη στο Footer
Ενσωμάτωση κώδικα στη σελίδα εργαλείων, διαμόρφωση & μορφοποίηση (Πίνακας 4-4)
Δημιουργία εγχειριδίου χρήστη
Έλεγχος και διορθώσεις
Δημοσίευση εφαρμογής

Πίνακας 4-5 Δραστηριότητες που υλοποιήθηκαν στο Wix χωρίς ανάπτυξη κώδικα

4.4 Πρότυπα χαμηλής πιστότητας

Για την αρχική σχεδίαση και απεικόνιση των λειτουργιών και των οθονών των καθορισμένων εργαλείων της εφαρμογής DFA tools δημιουργήθηκαν πρότυπα χαμηλής πιστότητας, διαθέσιμα στο Παράρτημα ΣΤ, τα οποία διευκόλυναν τον τελικό σχεδιασμό των οθονών και τη διαμόρφωση του κώδικα μορφοποίησης κατά την υλοποίηση. Για τη δημιουργία των προτύπων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Adobe XD, το οποίο υποστηρίζει το σχεδιασμό διεπαφών χρήστη και προσχεδίων. Ακολουθούν παραδείγματα των προτύπων στις εικόνες (4-8) και (4-9).



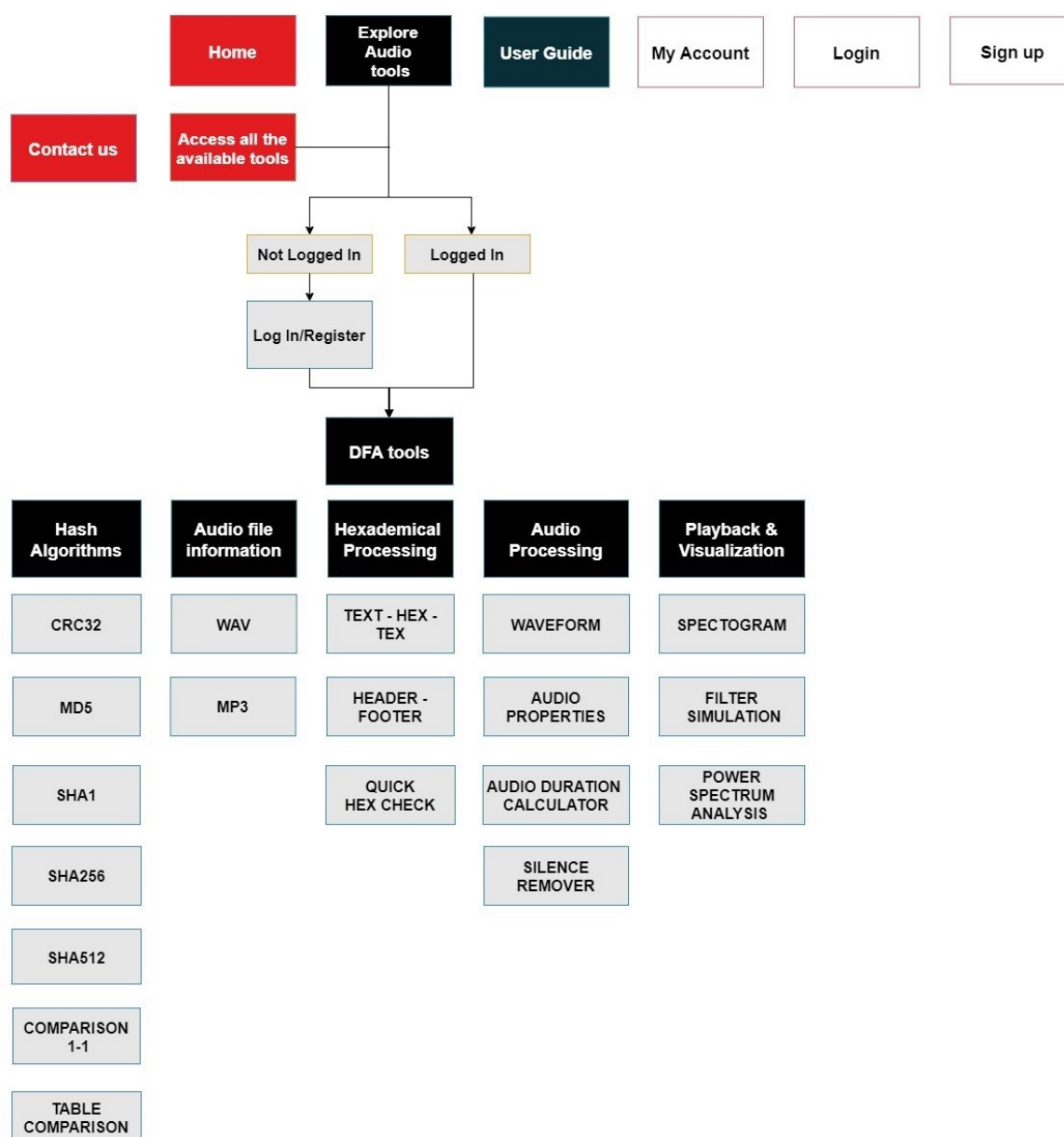
Εικόνα 4-8 Παράδειγμα προτύπου χαμηλής πιστότητας της εφαρμογής DFA tools



Εικόνα 4-9 Παράδειγμα προτύπου χαμηλής πιστότητας της εφαρμογής DFA tools

4.5 Χάρτης πλοήγησης χρηστών

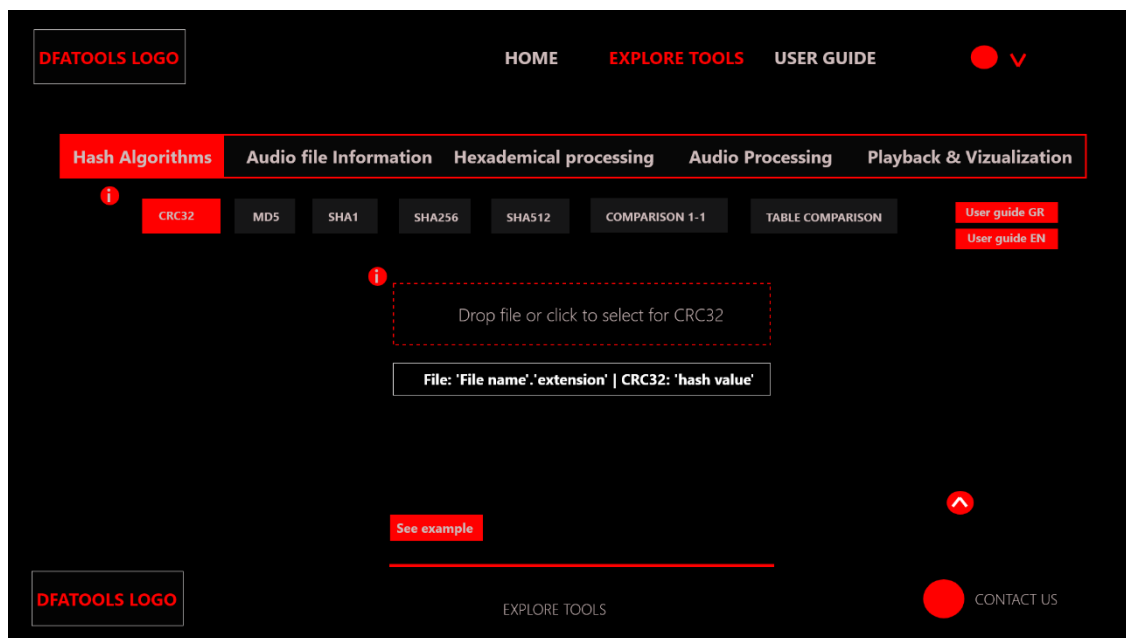
Στο παρακάτω σχήμα της εικόνας (4-10) απεικονίζεται ο χάρτης πλοήγησης (Sitemap) των χρηστών/επισκεπτών της εφαρμογής. Όπως είναι εμφανές, ο χρήστης θα έχει πρόσβαση στη σελίδα των εργαλείων ήχου της εφαρμογής μέσα από την αρχική σελίδα πατώντας την επιλογή “Access all the available tools”, είτε από το μενού της σελίδας με την επιλογή “Explore Audio tools”. Η πρόσβαση στα εργαλεία της εφαρμογής καθίσταται εφικτή μετά από τη δημιουργία λογαριασμού χρήστη, είτε σύνδεσης του χρήστη δηλώνοντας τα διαπιστευτήρια του.



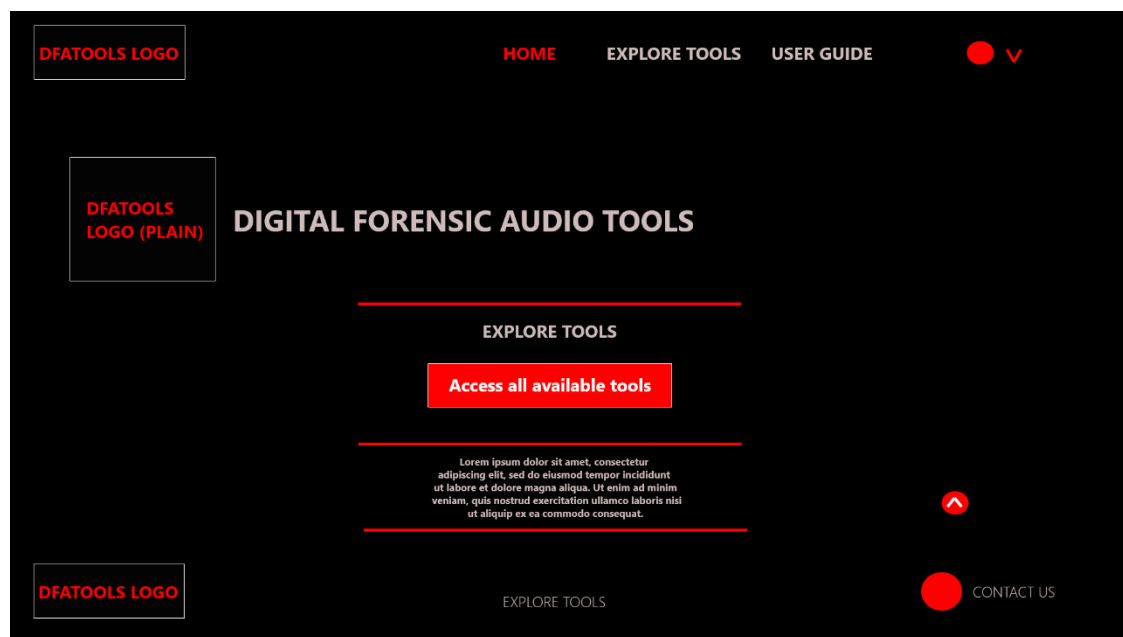
Εικόνα 4-10 Χάρτης πλοήγησης χρηστών

4.6 Mockups εφαρμογής

Προτού αναπτυχθεί ο αντίστοιχος κώδικας κάθε εργαλείου, επιλέχθηκαν τα επιθυμητά πλαίσια, χρώματα, πλήκτρα και ενέργειες χρήστη τα οποία σχεδιάστηκαν και αποτέλεσαν τον οδηγό για την τελική διαμόρφωση των οθονών της εφαρμογής. Το σύνολο των τελικών οθονών είναι διαθέσιμο στο Παράρτημα Ζ. Ακολουθούν παραδείγματα των mock ups της εφαρμογής στις εικόνες (4-11) και (4-12).



Εικόνα 4-11 Παράδειγμα mockup της εφαρμογής DFA tools



Εικόνα 4-12 Παράδειγμα mockup της εφαρμογής DFA tools

4.7 Περιορισμοί

Οι προβλεπόμενοι περιορισμοί στη σχεδίαση αυτής της εφαρμογής αφορούν κυρίως χρονικούς και οικονομικούς περιορισμούς. Λόγω χρονικών περιορισμών, δεν ήταν πρακτικά δυνατή η επέκταση του χρόνου ανάλυσης και σχεδίασης της εφαρμογής η οποία θα εξασφάλιζε α) ανάπτυξη περισσότερων λειτουργιών και δυνατοτήτων στην εφαρμογή όπως η συνδυαστική λειτουργία των παρεχόμενων εργαλείων και κοινή λειτουργία drag and drop για όλα τα εργαλεία β) χρήση περισσότερων τεχνικών άντλησης των τεχνικών προδιαγραφών της εφαρμογής γ) επέκταση του χρόνου δοκιμών και αξιολόγησης της εφαρμογής δ) υλοποίηση του συστήματος εξολοκλήρου με τη χρήση κώδικα.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι περιορισμοί στο κόστος υλοποίησης της εφαρμογής, όπως η χρήση συνδρομής στο περιβάλλον της Wix, δεν επέτρεψαν την ενσωμάτωση περισσότερων δυνατοτήτων στις λειτουργίες της.

Όσον αφορά τις τεχνικές δεξιότητες που απαιτήθηκαν για την ανάπτυξη της εφαρμογής, αποτέλεσαν περιορισμό σε συνάρτηση με το χρόνο που ήταν διαθέσιμος να αφιερωθεί στην εκμάθηση των γλωσσών προγραμματισμού και των διαφόρων εργαλείων ανάπτυξης.

Προβλήματα που άπτονται της προστασίας προσωπικών δεδομένων των χρηστών και ηθικοί περιορισμοί δεν προβλέπονται κατά τη χρήση της παρούσας εφαρμογής καθώς διασφαλίζονται από τις πολιτικές δεδομένων και ασφάλειας πληροφοριών της Wix (“Privacy and security hub”, 2024).

4.8 Τεχνικές προδιαγραφές

Στο στάδιο της σχεδίασης, έχοντας προσδιορίσει τις τεχνολογίες που θα αξιοποιηθούν για την υλοποίηση της εφαρμογής (περιβάλλον και γλώσσες ανάπτυξης) και αφού έχουν καταγραφεί όλες οι βασικές λειτουργίες της και οι δραστηριότητες για την υλοποίησή της, καθορίστηκαν οι τεχνικές προδιαγραφές και απαιτήσεις της εφαρμογής DFA tools. Οι τεχνικές προδιαγραφές που παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες ορίζουν τα ελάχιστα χαρακτηριστικά που απαιτούνται για την υπό ανάπτυξη εφαρμογή ώστε να ανταποκρίνεται στη χρήση για την οποία προορίζεται και να εκτελεί τις βασικές της λειτουργίες χωρίς σφάλματα, με ορθότητα, ακρίβεια και ασφάλεια.

Λειτουργικό Σύστημα	Φυλλομετρητής (browser)
Συσκευές desktop	Συσκευές desktop
Windows Vista ή νεότερη έκδοση Mac OS X Linux or Ubuntu Google Chrome OS	Google Chrome (έκδοση 92 ή νεότερη) Safari για Mac (έκδοση 14 ή νεότερη) Microsoft Edge (έκδοση 100 ή νεότερη) Firefox (έκδοση 91 ή νεότερη)
Tablets, iPad	Tablets, iPad
Google Chrome Safari	iPads: iOS 14 ή νεότερη Android: 9.0 ή νεότερη
Κινητές συσκευές	
Google Chrome για Android Google Chrome για iPhone Safari (έκδοση 14 ή νεότερη)	
Τόσο τα λειτουργικά συστήματα όσο και οι φυλλομετρητές πρέπει να υποστηρίζονται από την πλατφόρμα Wix και να υποστηρίζουν JavaScript. Για όλες τις συσκευές απαιτείται να διαθέτουν σύνδεση στο Internet	

Πίνακας 4-6 Συμβατότητα συσκευών με DFA tools

Στον πίνακα (4-6) συγκεντρώνονται τα λειτουργικά συστήματα και οι περιηγητές τα οποία είναι συμβατά με την εφαρμογή, και στα οποία επιτυγχάνεται η ομαλή λειτουργία της.

Απαιτήσεις εφαρμογής DFA tools	
<p>Να υποστηρίζει όλες τις μορφές αρχείων ήχου για εξαγωγή “Hash Values”: .wav/.flac/.p3/.aac/.ogg/.aiff/.wma/.m4a/.midi/.rmi/.ra/.riff/.ac3/.mp3pro *Για τη λειτουργία πληροφοριών μορφής του αρχείου υποστηρίζονται μόνο οι μορφές .wav/.mp3</p>	<p>*διασφαλίζονται από το περιβάλλον Wix</p>
Δυνατότητα εξαγωγής αρχείων ήχου σε μορφή: .wav	Έλεγχος πεδίων για την ορθότητα μη καταχώρησης π.χ. όνομα και κωδικός χρήστη, αρχείο ήχου που δεν υποστηρίζεται κλπ.
Αρχεία κώδικα σε μορφή HTML, JavaScript και CSS που υποστηρίζονται από την πλατφόρμα Wix.	Δυνατότητα ελεγχόμενης πρόσβασης, μέσω των διαδικασιών ταυτοποίησης χρήστη εφαρμογής.
Μέγιστη υποστηριζόμενη χωρητικότητα (Storage) έως 500MB για παραμονή στη δωρεάν έκδοση Wix	Δυνατότητα τροποποίησης και επέκτασης: Θα πρέπει να εξασφαλίζεται η εύκολη συντήρηση και επέκταση της λειτουργικότητάς της εφαρμογής με την προσθήκη επιπλέον
Μέγιστο υποστηριζόμενο εύρος ζώνης (Bandwidth) έως 500MB για παραμονή στη δωρεάν έκδοση Wix	λειτουργιών/εργαλείων για την κάλυψη μελλοντικών αναγκών ενός εργαστηρίου ήχου.
Να γίνει αναφορά σκοπού δημιουργίας και χρήσης της παρούσας εφαρμογής (στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας)	Δυνατότητα διαχείρισης της πρόσβασης των χρηστών στα εργαλεία της εφαρμογής.
Δημιουργία εκπαιδευτικού εγχειρίδιου χρήσης των εργαλείων ήχου (Manual)	Το σύστημα που θα υλοποιηθεί η εφαρμογή να φέρει πιστοποίηση ISO 27001 - Διαχείριση Ασφάλειας Πληροφοριών.
Η ομαλή λειτουργία της εφαρμογής είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την οριστική κοινοποίησή της	Ευχρηστία του περιβάλλοντος Wix
Ελκυστικότητα του γραφικού τους περιβάλλοντος	

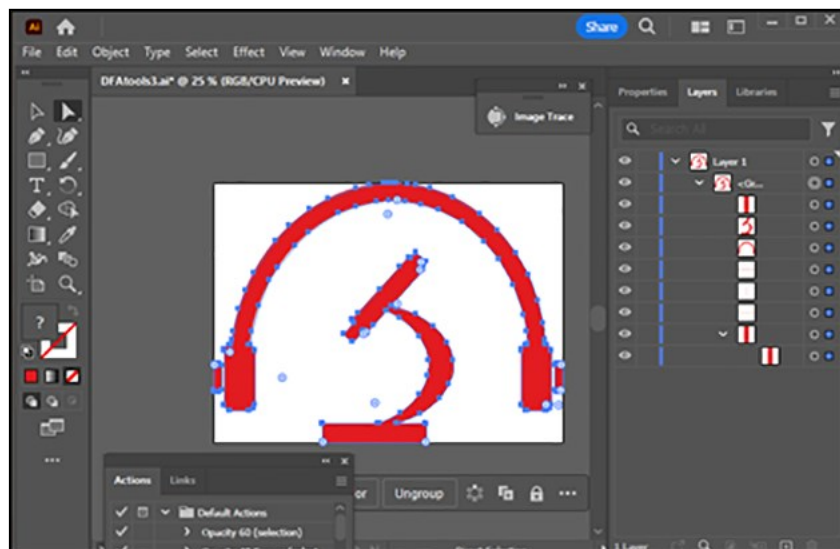
Πίνακας 4-7 Απαιτήσεις εφαρμογής DFA tools

Στον πίνακα (4-7) καταγράφονται όλες οι απαιτήσεις που πρέπει να πληρεί η εφαρμογή DFA tools. Στην αριστερή στήλη του πίνακα αναγράφονται όλα τα χαρακτηριστικά που καθιστούν την εφαρμογή αποτελεσματική και τα οποία θα διασφαλιστούν κατά την ανάπτυξη του κώδικα και κατά τη διαμόρφωση της εφαρμογής στο περιβάλλον Wix. Στη δεξιά στήλη του πίνακα αναφέρονται όλες οι απαιτήσεις οι οποίες καλύπτονται από προεπιλογή στις έτοιμες λύσεις και εργαλεία τα οποία παρέχει η πλατφόρμα Wix. Όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά που αναλύθηκαν καλύπτουν τις βασικές κατηγορίες των τεχνικών προδιαγραφών μιας διαδικτυακής εφαρμογής, σύμφωνα με την διαδικασία της Τεχνολογίας απαιτήσεων (Requirements engineering), οι οποίες συνθέτουν: απαιτήσεις δεδομένων (περιεχομένου και χωρητικότητας), απαιτήσεις διεπαφής (αλληλεπίδρασης με το χρήστη), απαιτήσεις πλοήγησης, απαιτήσεις προσαρμογής συστήματος, απαιτήσεις συναλλαγών (εσωτερικές λειτουργικές απαιτήσεις), μη λειτουργικές (απαιτήσεις φορητότητας, επαναχρησιμοποίησης) (Markopoulos, 2001; Escalona 2003).

5 Υλοποίηση εφαρμογής

5.1 Λογότυπο

Το λογότυπο της εφαρμογής σχεδιάστηκε με τη χρήση του λογισμικού Adobe Illustrator. Αρχικά σχεδιάστηκαν τα βασικά σχήματα/σύμβολα όπως τα ακουστικά και το μακροσκόπιο με τη βοήθεια «μονοπατιών» ή αλλιώς paths, και έγινε η σύνθεση των διαφορετικών σχημάτων σε επίπεδα. Η εξαγωγή του λογότυπου έγινε σε μορφή vector αρχείου (ανοιχτού τύπου), και συγκεκριμένα σε SVG που υποστηρίζει η πλατφόρμα Wix. Το λογότυπο επίσης εξήχθη στις μορφές .png και .jpeg για να χρησιμοποιηθεί και στη δημιουργία του εγχειριδίου χρήστη της εφαρμογής καθώς και για την εισαγωγή του στην παρούσα διπλωματική εργασία (βλ. εικόνες 5-1 και 5-2).



Εικόνα 5-1 Περιβάλλον Adobe illustrator

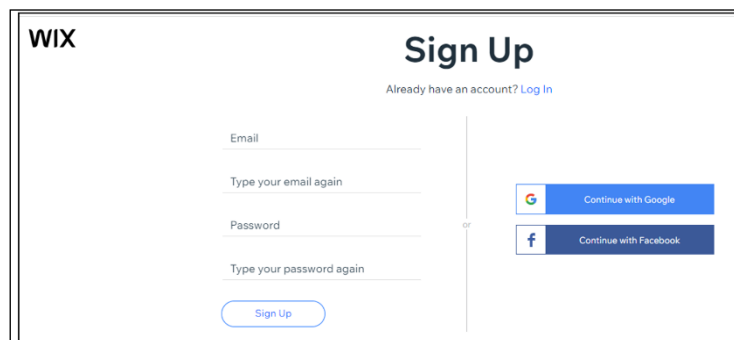


Εικόνα 5-2 DFA tools logo

5.2 Διαμόρφωση πλατφόρμας Wix

5.2.1 Δημιουργία λογαριασμού στο σύστημα Wix

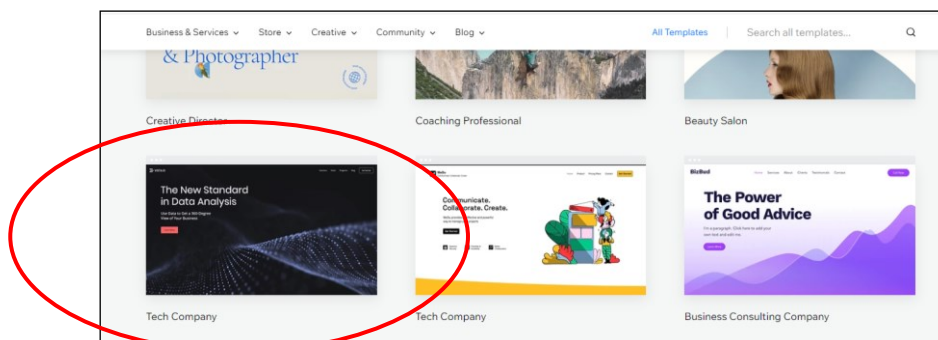
Για την δημιουργία και διαμόρφωση του γραφικού περιβάλλοντος και φιλοξενίας της εφαρμογής ήταν αρχικά απαραίτητη η δημιουργία λογαριασμού στην πλατφόρμα της Wix με τη χρήση email και κωδικού πρόσβασης (βλ. εικόνα 5-3). Έτσι δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας ενός ή περισσότερων ιστοσελίδων που θα μπορεί ο χρήστης να διαχειρίζεται από ένα σύστημα συγκεντρωτικά.



Εικόνα 5-3 Εγγραφή στο σύστημα Wix

5.2.2 Επιλογή θέματος

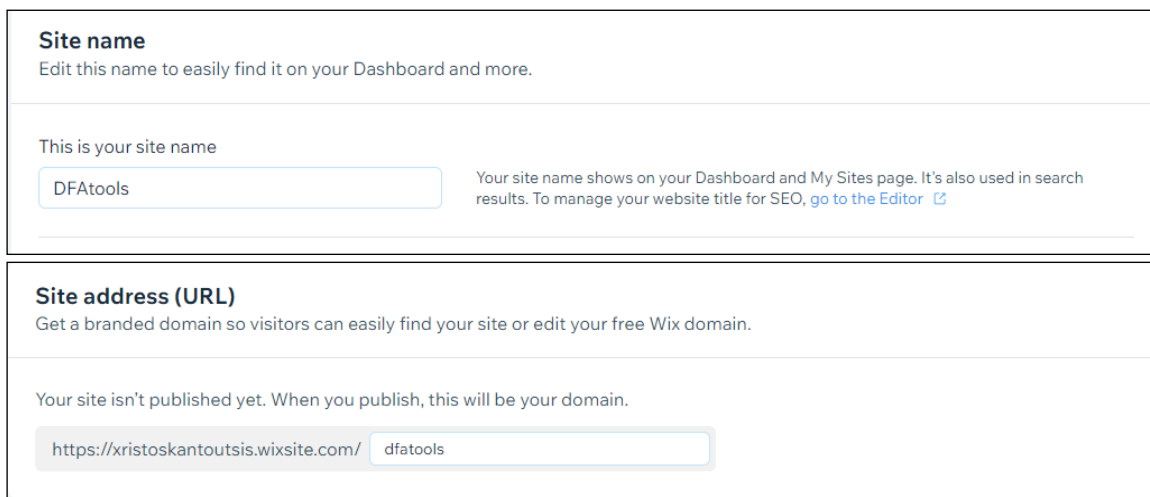
Αρχικά η πλατφόρμα Wix ζητάει από τη χρήστη να επιλέξει ανάμεσα σε πολλά διαθέσιμα υποδείγματα (templates), εκείνο που ανταποκρίνεται καλύτερα στις ανάγκες της ιστοσελίδας του ως προς το γραφικό περιβάλλον, το ύφος και τη λειτουργικότητά του, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να επεξεργαστεί και να διαμορφώσει κατάλληλα. Έτσι για την παρούσα εφαρμογή επιλέχθηκε ως καταλληλότερο πρότυπο το “Tech Company” όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα (5-4).



Εικόνα 5-4 Επιλογή προτύπου Wixsite

5.2.3 Ονομασία domain

Το επόμενο βήμα ήταν να δοθεί το όνομα της διαδικτυακής εφαρμογής καθώς και η κατάληξη του url για το δωρεάν domain που παρέχει η πλατφόρμα Wix. Ένας περιορισμός της δωρεάν χρήσης του Wix είναι ότι ο δημιουργός μιας σελίδας μπορεί να αλλάξει μόνο το μέρος που αφορά την κατάληξη, όχι ολόκληρο το url. Έτσι, το όνομα της σελίδας ορίστηκε ως “DFA tools” ομοίως και η κατάληξη του url της σελίδας και το url διαμορφώθηκε σε: <https://xristoskantoutsis.wixsite.com/dfatools> όπως απεικονίζεται στην εικόνα (5-5).



The screenshot shows two sections of the Wix website creation interface. The first section, titled 'Site name', has a subtitle 'Edit this name to easily find it on your Dashboard and more.' Below this, it says 'This is your site name' and shows a text input field containing 'DFAtools'. To the right of the input field, there is a note: 'Your site name shows on your Dashboard and My Sites page. It's also used in search results. To manage your website title for SEO, [go to the Editor](#).' The second section, titled 'Site address (URL)', has a subtitle 'Get a branded domain so visitors can easily find your site or edit your free Wix domain.' Below this, it says 'Your site isn't published yet. When you publish, this will be your domain.' At the bottom of this section, there is a text input field showing the URL 'https://xristoskantoutsis.wixsite.com/' followed by a smaller input field containing 'dfatools'.

Εικόνα 5-5 Όνομα site και domain

5.2.4 Δημιουργία της αρχικής σελίδας

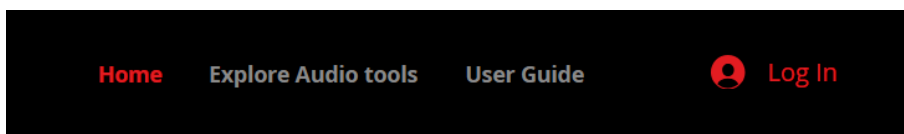
Καθορίζοντας τα παραπάνω στοιχεία και έχοντας πλέον πρόσβαση στην επεξεργασία της σελίδας διαμορφώθηκε η Αρχική σελίδα της εφαρμογής. Η βασική χρωματική παλέτα που επιλέχθηκε για την εφαρμογή αποτελείται από τρία χρώματα: Μαύρο (Hex: #000000), Κόκκινο (Hex: #E21C21), Σκούρο κυανό (Hex: #0A2E38), τα οποία παρουσιάζονται στην εικόνα (5-6).



Εικόνα 5-6 Βασική χρωματική παλέτα

Διαμόρφωση Header

Επιλέχθηκε το βασικό μενού τη εφαρμογής και έγινε η κατάλληλη μορφοποίηση (βλ. εικόνα 5-7).



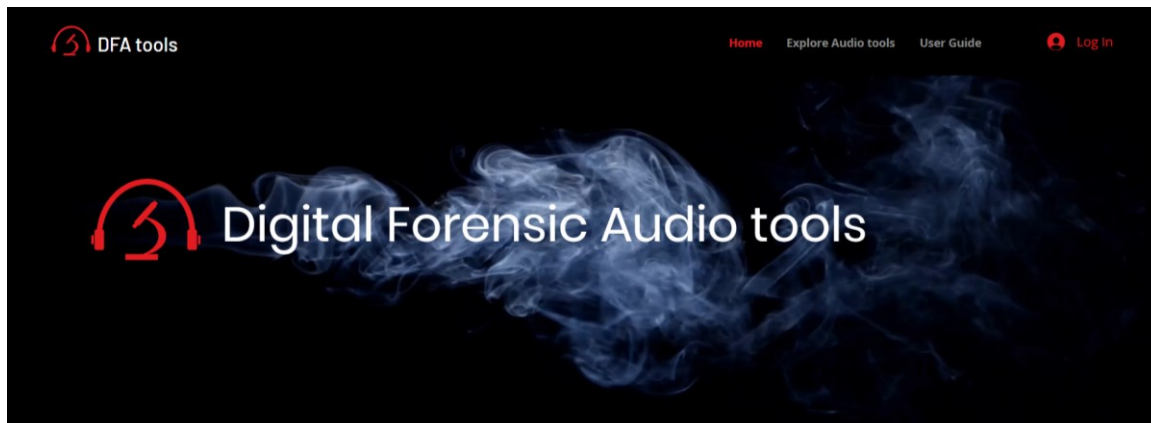
Εικόνα 5-7 Βασικό μενού DFA tools

Τοποθετήθηκε στη σελίδα το λογότυπο της εφαρμογής πάνω αριστερά (βλ. εικόνα 5-8).



Εικόνα 5-8 Λογότυπο αρχικής σελίδας

Επιλέχθηκε και μορφοποιήθηκε ο Τίτλος της αρχικής σελίδας και εισήχθη το φόντο της ενότητας που περιλαμβάνει τον Τίτλο (βλ. εικόνα 5-9). Το φόντο της ενότητας αποτελεί αρχείο βίντεο που φορτώθηκε μέσω της βιβλιοθήκης της πλατφόρμας το οποίο ήταν διαθέσιμο για δωρεάν χρήση στην παρακάτω ιστοσελίδα GitHub/smoke effect.

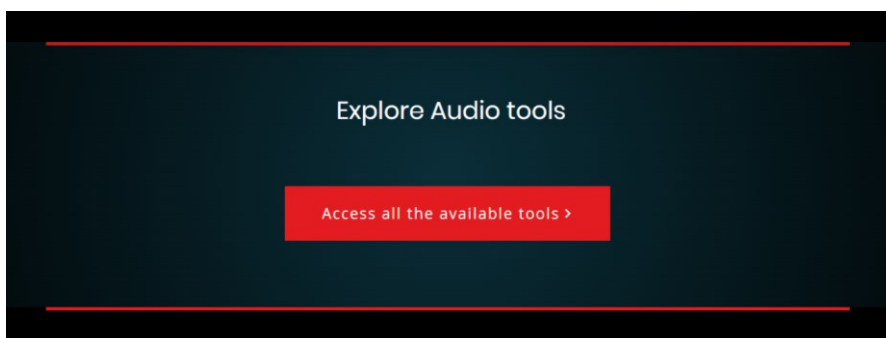


Εικόνα 5-9 Βασικό banner αρχικής σελίδας

Διαμόρφωση Body

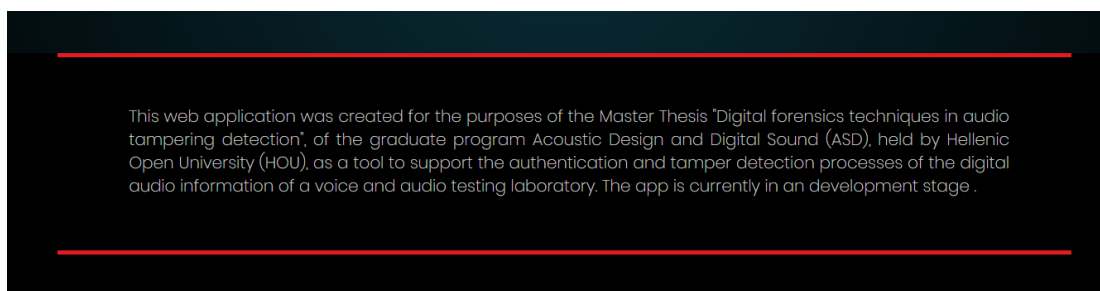
Στο κυρίως μέρος της Αρχικής σελίδας εντάχθηκαν δυο επιπλέον ενότητες:

Η μια περιλαμβάνει ένα Call To Action button (CTA) το οποίο αποτελεί προτροπή για ενέργεια και συγκεκριμένα για τη σελίδα της εφαρμογής που αναλύεται στις παρακάτω ενότητες (βλ. εικόνα 5-10).



Εικόνα 5-10 CTA button

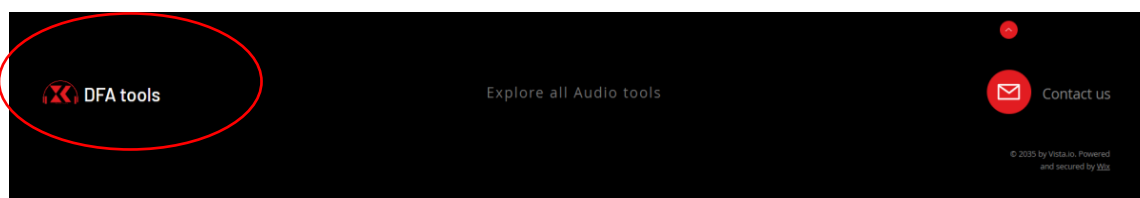
Η δεύτερη περιλαμβάνει ένα κείμενο ενημέρωσης των επισκεπτών της σελίδας για το σκοπό της δημιουργίας της εφαρμογής (βλ. εικόνα 5-11).



Εικόνα 5-11 Ενημερωτικό κείμενο

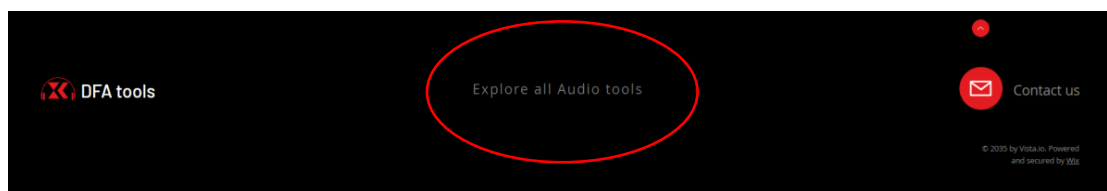
Διαμόρφωση Footer

Τοποθετήθηκε το λογότυπο κάτω αριστερά (βλ. εικόνα 5-12), το οποίο λειτουργεί ως Link/συντόμευση της Αρχικής σελίδας (Home).



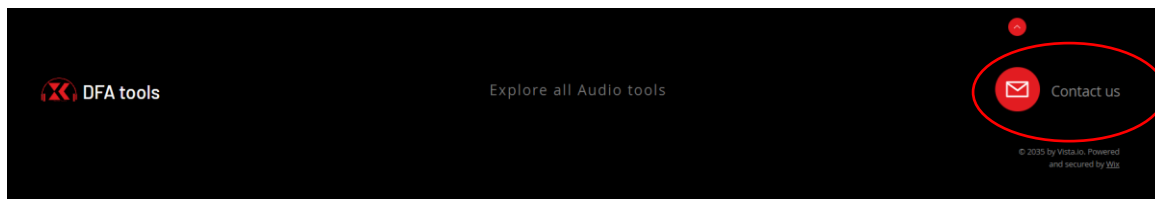
Εικόνα 5-12 Συντόμευση αρχικής σελίδας Ενημερωτικό κείμενο

Τοποθετήθηκε συντόμευση της σελίδας των εργαλείων σε μορφή κειμένου με λειτουργία συνδέσμου (βλ. εικόνα 5-13).



Εικόνα 5-13 Συντόμευση σελίδας εργαλείων

Τοποθετήθηκε κουμπί το οποίο ανοίγει αλληλογραφία επικοινωνίας του χρήστη με τον κάτοχο της σελίδας (βλ. εικόνα 5-14).



Εικόνα 5-14 Email επικοινωνίας

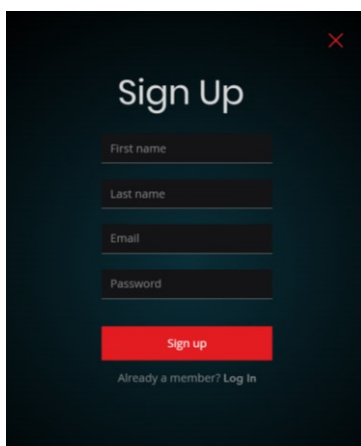
Τοποθετήθηκε anchor σε σχήμα βέλους για τη διευκόλυνση του χρήστη να επιστρέψει χωρίς κύληση/scroll στο πάνω μέρος της σελίδας (βλ. εικόνα 5-15).



Εικόνα 5-15 Anchor arrow

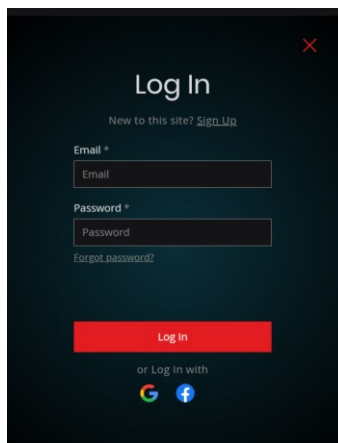
5.2.5 Εισαγωγή και διαμόρφωση επιλογής Login/sign up/logout

Κατά την είσοδο στη σελίδα των εργαλείων, στην οποία ο χρήστης έχει πρόσβαση είτε από το κεντρικό μενού “Explore Audio tools” του Header, είτε από τις δυο συντομεύσεις τις αρχικής σελίδας “Explore Audio tools” του Footer και το CTA button “Access all the available tools”. Από το εν λόγω επιλέχθηκε να ζητείται από το χρήστη η δημιουργία νέου λογαριασμού στην περίπτωση που δεν είναι ήδη εγγεγραμμένος χρήστης, όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (5-16).

A dark-themed modal window titled 'Sign Up' with a red close button in the top right corner. It contains four input fields: 'First name', 'Last name', 'Email', and 'Password'. Below these fields is a red 'Sign up' button. At the bottom, there is a link that says 'Already a member? Log In'.

Εικόνα 5-16 Δημιουργία νέου λογαριασμού

Είτε η σύνδεσή του με υπάρχων λογαριασμό (βλ. εικόνα 5-17). Το Wix δίνει τη δυνατότητα εγγραφής ή σύνδεσης του χρήστη και με εναλλακτικούς τρόπους, όπως είναι η σύνδεση με υπάρχων λογαριασμό Google ή Facebook, για να διευκολύνει την πρόσβαση του χρήστη.



Εικόνα 5-17 Σύνδεση σε υπάρχων λογαριασμό

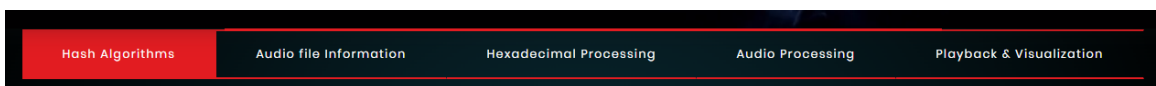
5.2.6 Διαμόρφωση σελίδας προφίλ χρήστη

Στη σελίδα “My account”, η οποία είναι διαθέσιμη στο βασικό μενού του Header κάθε σελίδας όταν ο χρήστης είναι συνδεδεμένος, δίνεται η δυνατότητα στον επισκέπτη να επεξεργαστεί και να αλλάξει βασικά στοιχεία και επιλογές που αφορούν το λογαριασμό του (βλ. εικόνα 5-18).

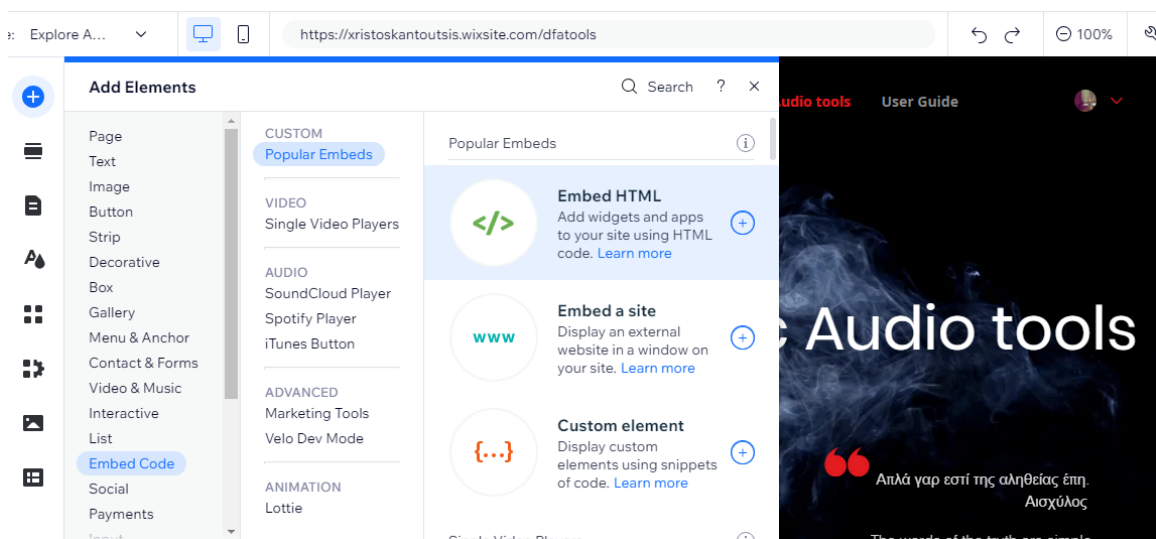
Εικόνα 5-18 Προφίλ χρήστη

5.3 Συγγραφή κώδικα και ενσωμάτωση στη σελίδα εργαλείων, διαμόρφωση & μορφοποίηση

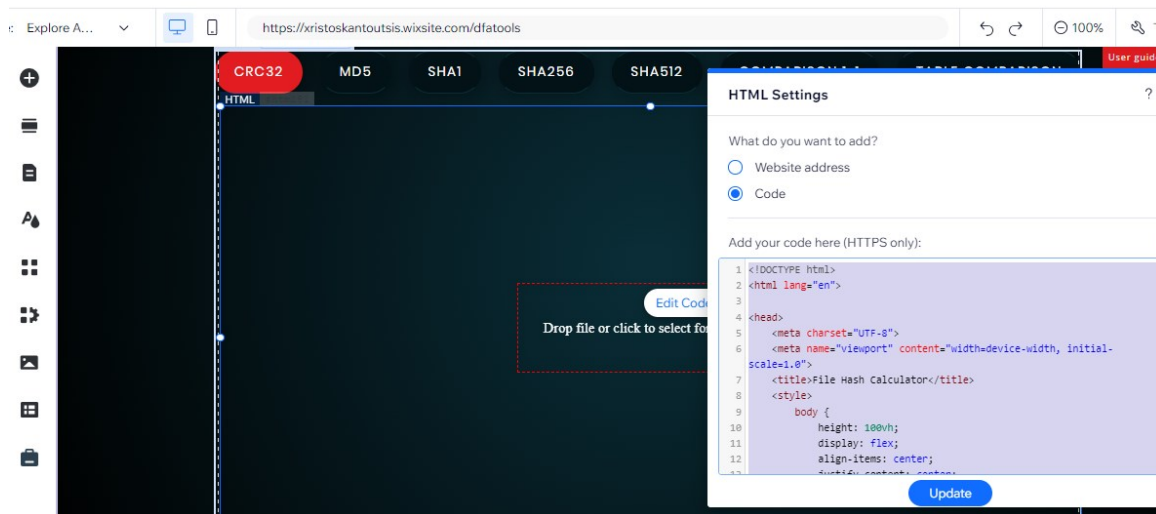
Για την εισαγωγή του κώδικα που δημιουργήθηκε για την εφαρμογή DFA tools ήταν απαραίτητη η δημιουργία “Tabs”/ Καρτελών εντός των οποίων έγινε εισαγωγή πλαισίων Html όπως παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες (5-19, 5-20 και 5-21).



Εικόνα 5-19 Δημιουργία Tabs



Εικόνα 5-20 Εισαγωγή πλαισίου HTML

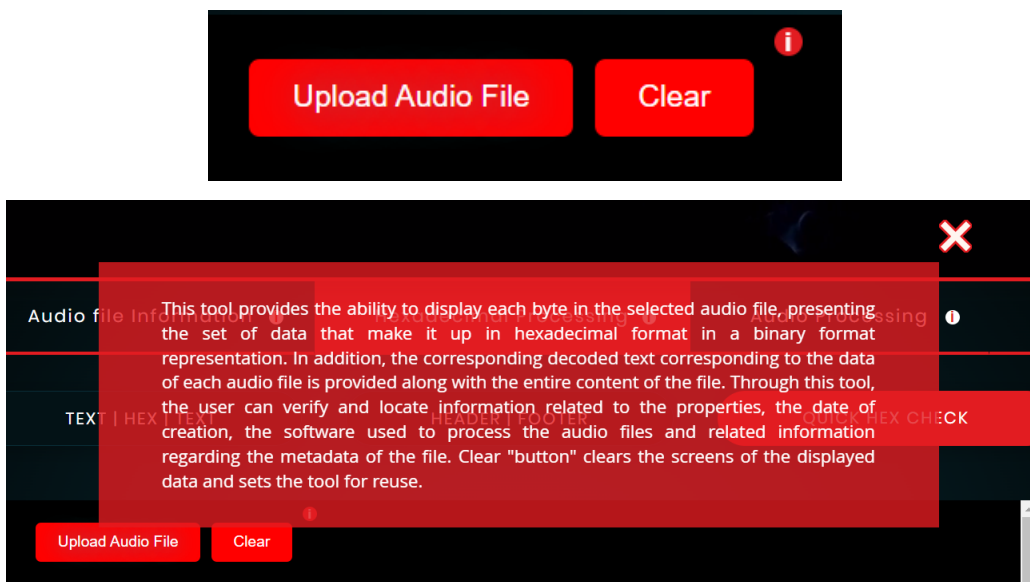


Εικόνα 5-21 Εισαγωγή κώδικα HTML στο πλαίσιο

Επιπλέον, σε κάθε ομάδα εργαλείων και κάθε μεμονωμένο εργαλείο προστέθηκαν οι παρακάτω λειτουργίες:

Κουμπί σύντομης πληροφόρησης

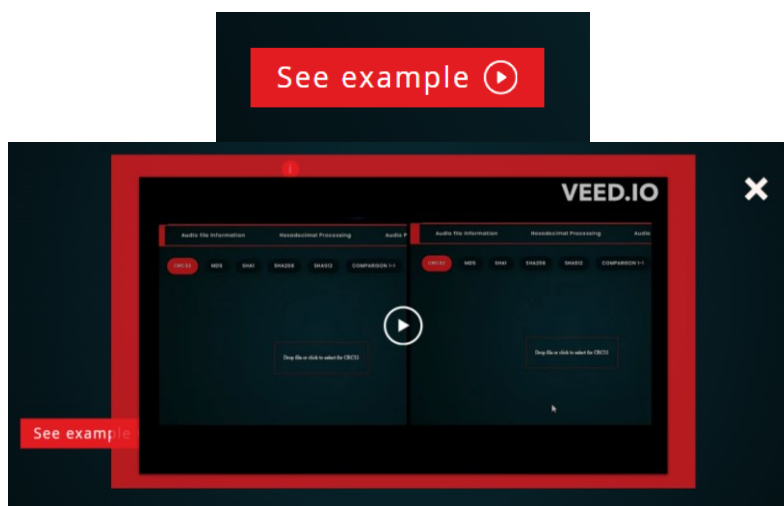
Με αυτή τη λειτουργία ο χρήστης πατώντας το κουμπί με την ένδειξη “i” λαμβάνει μια σύντομη περιγραφή για τη συγκεκριμένη ομάδα εργαλείων ή εργαλείο στο οποίο περιηγείται (βλ. εικόνα 5-22).



Εικόνα 5-22 Παράδειγμα λειτουργίας σύντομης πληροφόρησης

Κουμπί παραδείγματος

Με αυτή τη λειτουργία πατώντας το κουμπί με την ένδειξη “See example” εμφανίζεται ένα σύντομο demo video πώς λειτουργεί το εκάστοτε εργαλείο το οποίο επισκέφτηκε ο χρήστης (βλ. εικόνα 5-23).



Εικόνα 5-23 Παράδειγμα λειτουργίας παραδείγματος

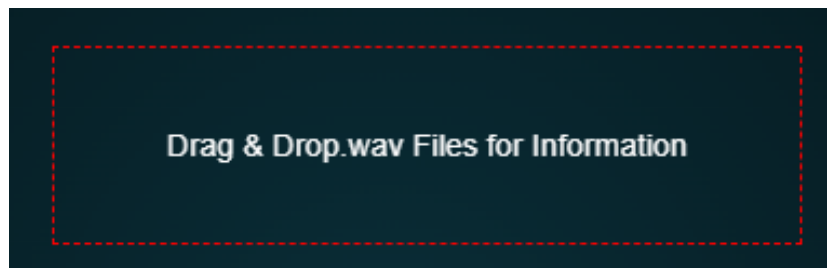
5.3.1 Κοινές εντολές κώδικα της εφαρμογής

Τεχνική σύρετε και αποθέστε (Drag & Drop)

Όλα τα εργαλεία της εφαρμογής DFA tools περιλαμβάνουν τις παρακάτω εντολές κώδικα (5-1) σε HTML για να δημιουργηθεί η λειτουργία «Σύρετε και Αποθέστε» (Drag & Drop).

```
var dropArea = document.getElementById('dropArea');
dropArea.addEventListener('dragover', function (e) {
e.preventDefault();
dropArea.style.backgroundColor = '#e0e0e0';
});
dropArea.addEventListener('dragleave', function (e) {
e.preventDefault();
dropArea.style.backgroundColor = 'black';
});
dropArea.addEventListener('drop', function (e) {
e.preventDefault();
dropArea.style.backgroundColor = 'black';
handleFiles(e.dataTransfer.files);
});
```

Κώδικας 5-1 Λειτουργία Drag & Drop σε HTML της εφαρμογής DFA tools (Πηγή: Ιστότοπος [W3schools](#))



Εικόνα 5-24 Λειτουργία Drag & Drop της εφαρμογής DFA tools

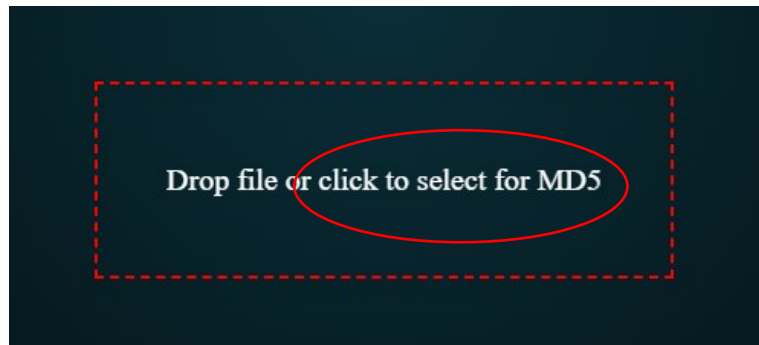
Τεχνική εισαγωγής αρχείου (Upload file)

Αντίστοιχα με τη λειτουργία «Σύρετε και αποθέστε», η εισαγωγή αρχείου από τον υπολογιστή υλοποιείται με τις παρακάτω εντολές κώδικα HTML (5-2).

```
<div id="dropArea" onclick="openFilePicker()">
  Drop file or click to select for CRC32
  <input type="file" multiple accept="*"
  onchange="handleFiles(this.files)">
</div>
```

Κώδικας 5-2 Λειτουργία Εισαγωγής αρχείου (Upload file) σε HTML της εφαρμογής DFA tools (Πηγή: Ιστότοπος [W3schools](#))

Με την παραπάνω λειτουργία παρέχεται η δυνατότητα επιλογής του αρχείου από οποιαδήποτε διαδρομή του υπολογιστή, επιλέγοντας “κλικ” όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (5-25).

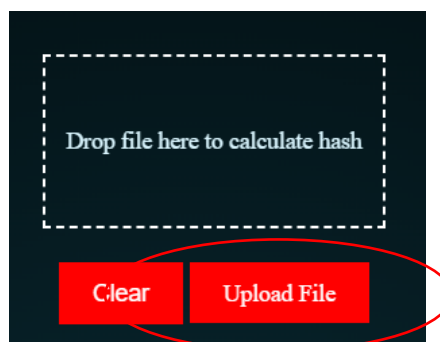


Εικόνα 5-25 Λειτουργία Upload file της εφαρμογής DFA tools

Σε κάποιες περιπτώσεις της εφαρμογής η επιλογή εισαγωγής αρχείου (Upload file) εμφανίζεται εκτός της οριοθετημένης περιοχής Drag & Drop σε πλήκτρο με την αντίστοιχη ονομασία “Upload file”. Η εν λόγω λειτουργία επιτυγχάνεται με τροποποίηση του παρακάτω κώδικα (5-3) με εισαγωγή πλήκτρου, όπως παρουσιάζεται στο παράδειγμα της εικόνας (5-26). Ο κώδικας τροποποιείται κατά περίπτωση, σύμφωνα με τις ανάγκες μορφοποίησης του εκάστοτε εργαλείου.

```
<div class="container">
  <div id="dropArea">Drag & Drop.wav Files for Information</div>
  <button id="fileInputButton">Upload File</button>
  <input type="file" id="fileInput" accept=".wav" />
  <table id="fileInfoTable">
    <tr>
      <th>Property</th>
      <th>Value</th>
    </tr>
  </table>
</div>
```

Κώδικας 5-3 Τροποποίηση λειτουργίας Εισαγωγής αρχείου (Upload file) σε HTML της εφαρμογής DFA tools. (Πηγή: Ιστότοπος [W3schools](http://W3schools.com))



Εικόνα 5-26 Λειτουργία Upload file με button της εφαρμογής DFA tools

5.3.2 Ομάδα εργαλείων υπολογισμού αλγόριθμων κατακερματισμού

Όλες οι παρακάτω συναρτήσεις υπολογισμού για τις τιμές κατακερματισμού δημιουργήθηκαν με τροποποίηση των παραδειγμάτων που δίνονται από τις αντίστοιχες πηγές.

Οι τιμές κατακερματισμού (hash values) CRC32 της εφαρμογής χρησιμοποιούν την κάτωθι λογική html κώδικα (5-4) που είναι διαθέσιμος στο παράρτημα Γ (Αρχείο CRC23_Hash.html).

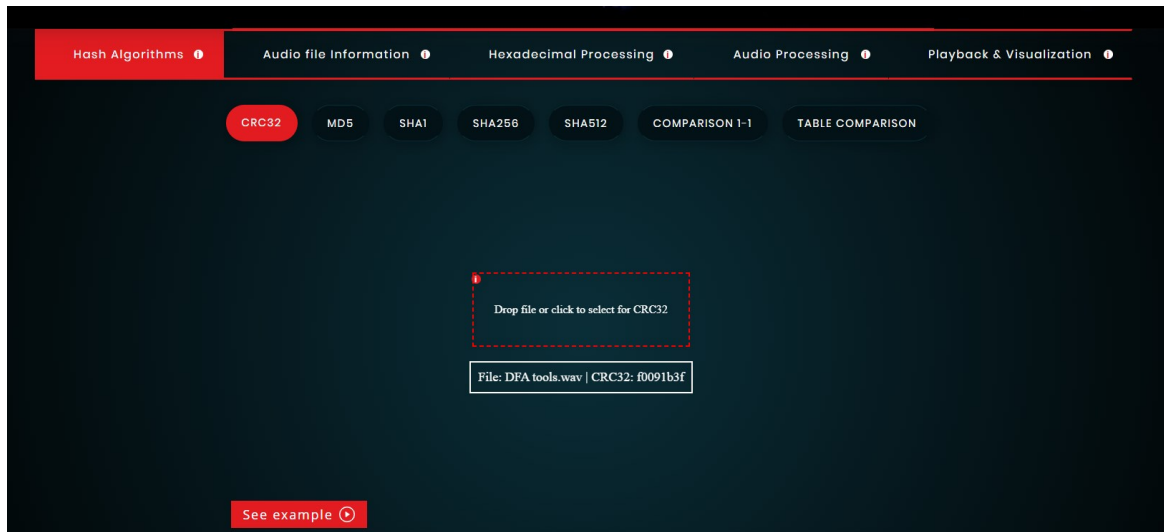
```
var crc32 = crc32hash(fileData);
var resultElement = document.getElementById('result');
var hashElement = document.createElement('div');
hashElement.innerText = 'File: ' + file.name + ' | CRC32: ' + crc32;
resultElement.appendChild(hashElement);
};
reader.readAsArrayBuffer(file);
}
function crc32hash(data) {
var crc = -1;
var view = new DataView(data);
var byte, i, c;
for (i = 0; i < view.byteLength; i++) {
byte = view.getUint8(i);
c = byte ^ (crc >>> 8);
c ^= (c >>> 4) & 0xf;
c ^= (c >>> 2) & 0x3;
c ^= (c >>> 1) & 0x1;
crc = (crc << 8) ^ c;
}
return (crc >>> 0).toString(16);
}
```

Κώδικας 5-4 Ενδεικτικές εντολές υπολογισμού και εμφάνισης Hash value CRC32 (Πηγή: Ιστότοπος [W3schools](#))

Ο παραπάνω κώδικας (5-4) επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει ένα αρχείο, έπειτα υπολογίζει το CRC32 hash του αρχείου που επιλέχθηκε χρησιμοποιώντας την συνάρτηση «function crc32hash(data)» και το εμφανίζει στην σελίδα. Για κάθε byte δεδομένων του αρχείου, η συνάρτηση εφαρμόζει μια σειρά λογικών λειτουργιών XOR ([Exclusive OR](#)) με το CRC για να δημιουργήσει ένα μοναδικό hash. Κάθε byte των δεδομένων επεξεργάζεται ένα προς ένα με τον ίδιο τρόπο.

Το τελικό CRC32 hash επιστρέφεται ως θετικός ακέραιος αριθμός με τη χρήση του «.toString(16)», που το μετατρέπει σε δεκαεξαδική μορφή προκειμένου να μπορεί να εμφανιστεί ως κείμενο. Η έκφραση «(crc >>> 0)» διασφαλίζει ότι ο αριθμός είναι θετικός, αφού πρόκειται για αναπαράσταση 32-bit unsigned integer. Έπειτα το hash που υπολογίστηκε εμφανίζεται στην HTML σελίδα και αναγράφεται το όνομα του αρχείου και

ο υπολογισμένος CRC-32 hash, όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (5-27) που ακολουθεί.



Εικόνα 5-27 Υπολογισμός και εμφάνιση Hash value CRC32

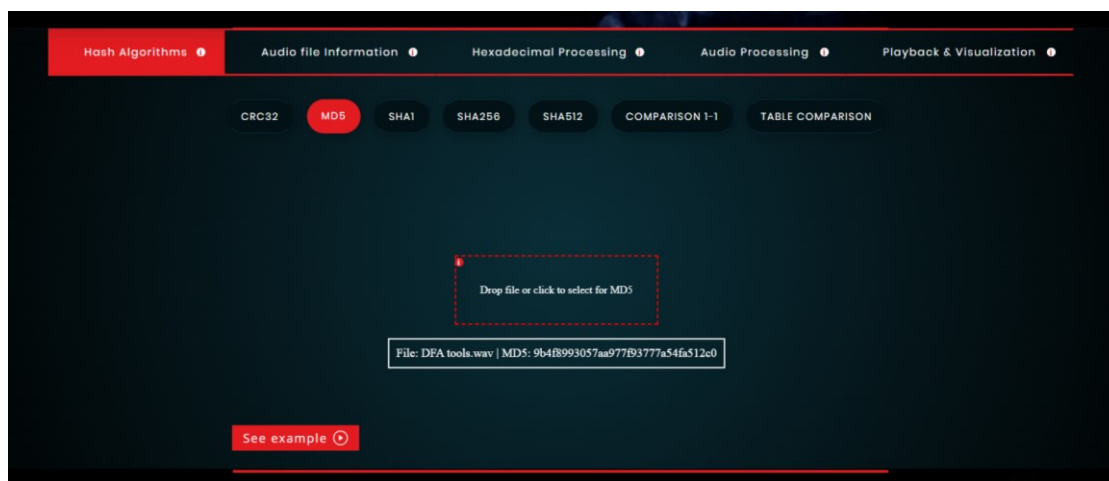
Αντίστοιχα οι τιμές κατακερματισμού (hash values) MD-5 της εφαρμογής χρησιμοποιούν την κάτωθι λογική html κώδικα (5-5) που είναι διαθέσιμος στο παράρτημα Γ (Αρχείο MD5_Hash.html).

```
var md5 = CryptoJS.MD5(wordArray).toString();  
var resultElement = document.getElementById('result');  
var hashElement = document.createElement('div');  
hashElement.innerText = 'File: ' + file.name + ' | MD5: ' + md5;  
resultElement.appendChild(hashElement);  
};
```

Κώδικας 5-5 Ενδεικτικές εντολές υπολογισμού και εμφάνισης Hash value MD5 (Πηγή: Ιστότοπος [W3schools](#))

Η διαδικασία για τον υπολογισμό του MD5 hash είναι πιο σύνθετη από ό,τι η διαδικασία για τον υπολογισμό του CRC32 hash. Η μεταβλητή «wordArray» στον κώδικα (5-5) περιέχει τα δεδομένα προς υπολογισμό του MD5 hash για το αρχείο. Χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη [JavaScriptCryptoJS](#) στη μέθοδο «CryptoJS.MD5(wordArray)» του κώδικα, εφαρμόζεται ο αλγόριθμος MD5 για τα δεδομένα στο «wordArray» για τον υπολογισμό του hash.

Το αποτέλεσμα του hash αποθηκεύεται στη μεταβλητή md5. Το hash που υπολογίστηκε εμφανίζεται στην HTML σελίδα, μέσω του «element» που αναγράφεται στον κώδικα περιέχοντας το όνομα του αρχείου και τον υπολογισμένο MD5 hash, όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (5-28) που ακολουθεί.



Εικόνα 5-28 Υπολογισμός και εμφάνιση Hash value MD5

Ομοίως και οι τιμές κατακερματισμού (hash values) SHA-1 της εφαρμογής χρησιμοποιούν την κάτωθι λογική html κώδικα (5-6) που είναι διαθέσιμος στο παράρτημα Γ (Αρχείο SHA1_Hash.html).

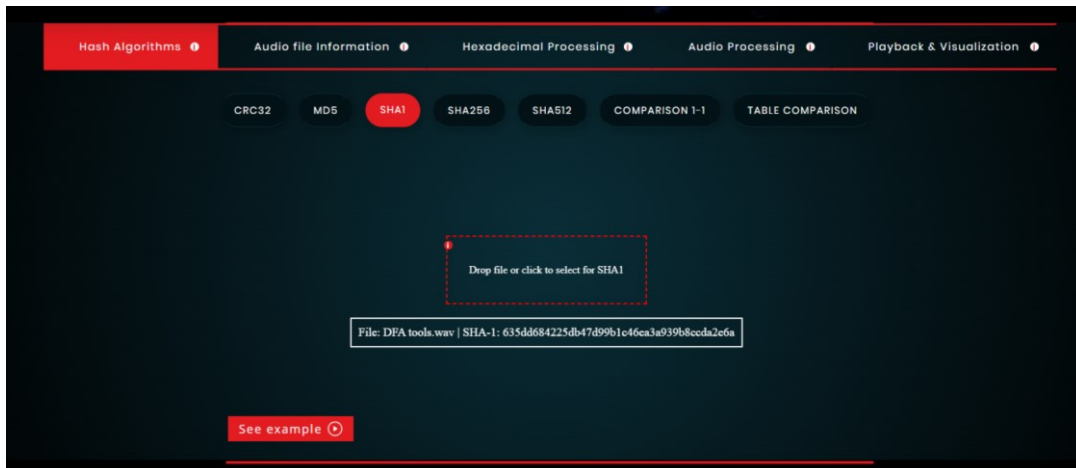
```
function calculateSHA1(file) {
    var reader = new FileReader();
    reader.onload = function (event) {
        var fileData = event.target.result;
        // Convert ArrayBuffer to WordArray
        var wordArray = CryptoJS.lib.WordArray.create(fileData);
        // Calculate SHA-1 hash
        var sha1 = CryptoJS.SHA1(wordArray).toString();
        // Display the result
        var resultElement = document.getElementById('result');
        var hashElement = document.createElement('div');
        hashElement.innerHTML = 'File: ' + file.name + ' | SHA-1: ' + sha1;
        resultElement.appendChild(hashElement);
    };
    reader.readAsArrayBuffer(file);
}
```

Κώδικας 5-6 Ενδεικτικές εντολές υπολογισμού και εμφάνισης Hash value SHA1 (Πηγή: Ιστότοπος W3schools)

Ο παραπάνω κώδικας (5-6) ακολουθεί την λογική δημιουργίας μέσω ενός «FileReader object» που χρησιμοποιείται για την ανάγνωση του περιεχομένου του αρχείου που περνάει ως παράμετρος (file). Έπειτα, ορίζεται μια συνάρτηση ως «callback» για το γεγονός «onload» του «FileReader» και στη συνέχεια η συνάρτηση εκτελείται όταν ολοκληρωθεί η ανάγνωση των δεδομένων του αρχείου.

Μέσα στη συνάρτηση «callback», το περιεχόμενο του αρχείου που διαβάστηκε αποθηκεύεται στη μεταβλητή «fileData». Το περιεχόμενο του αρχείου μετατρέπεται από «ArrayBuffer» σε «WordArray» χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη JavaScriptCryptoJS. Το

SHA-1 hash υπολογίζεται για το «WordArray» που δημιουργήθηκε, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση «CryptoJS.SHA1()». Το hash που υπολογίστηκε εμφανίζεται στην HTML σελίδα, μέσω του «element» που αναγράφεται στον κώδικα περιέχοντας το όνομα του αρχείου και τον υπολογισμένο SHA-1 hash, όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (5-29) που ακολουθεί.



Εικόνα 5-29 Υπολογισμός και εμφάνιση Hash value SHA1

Στην ίδια λογική βασίζεται για τον υπολογισμό κατακερματισμού (hash values) SHA-256 της εφαρμογής html κώδικα (5-7) που είναι διαθέσιμος στο παράρτημα Γ (Αρχείο SHA256_Hash.html).

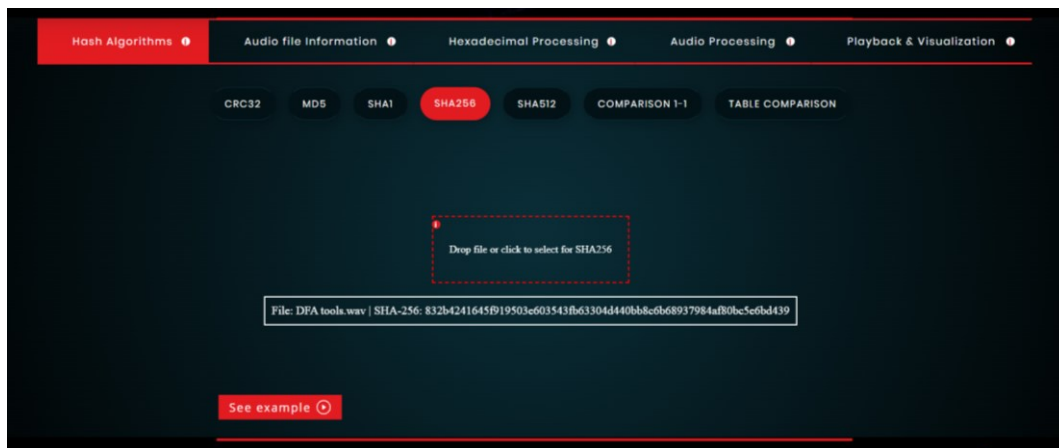
```
function calculateSHA256(file) {
    var reader = new FileReader();
    reader.onload = function (event) {
        var fileData = event.target.result;
        var wordArray = CryptoJS.lib.WordArray.create(fileData);
        var sha256 = CryptoJS.SHA256(wordArray).toString();
        var resultElement = document.getElementById('result');
        var hashElement = document.createElement('div');
        hashElement.innerText = 'File: ' + file.name + ' | SHA-
256: ' + sha256;
        resultElement.appendChild(hashElement);
    };
    reader.readAsArrayBuffer(file);}
```

Κώδικας 5-7 Ενδεικτικές εντολές υπολογισμού και εμφάνισης Hash value SHA256 (Πηγή: Ιστότοπος [Precisely](#))

Ο παραπάνω κώδικας (5-7) κινείται στην ίδια λογική με τη λογική υπολογισμού του SHA-1. Δηλαδή δημιουργεί ένα «FileReader object» για την ανάγνωση του περιεχομένου του αρχείου που περνάει ως παράμετρος (file). Ορίζει συνάρτηση «callback» για το γεγονός «onload» του «FileReader». Έπειτα εκτελείται αποθήκευση στη συνάρτηση «callback», του περιεχομένου του αρχείου που διαβάστηκε στη μεταβλητή «fileData». Το περιεχόμενο αυτό

μετατρέπεται από «ArrayBuffer» σε «WordArray» χρησιμοποιώντας και εδώ τη βιβλιοθήκη [JavaScriptCryptoJS](#) και στη συνέχεια υπολογίζεται το SHA-256 hash, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση «CryptoJS.SHA256()».

Στη συνέχεια και εδώ το hash που υπολογίστηκε εμφανίζεται στην HTML σελίδα, μέσω του «element» που αναγράφεται στον κώδικα περιέχοντας το όνομα του αρχείου και τον υπολογισμένο SHA-256 hash, όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (5-30) που ακολουθεί.



Εικόνα 5-30 Υπολογισμός και εμφάνιση Hash value SHA256

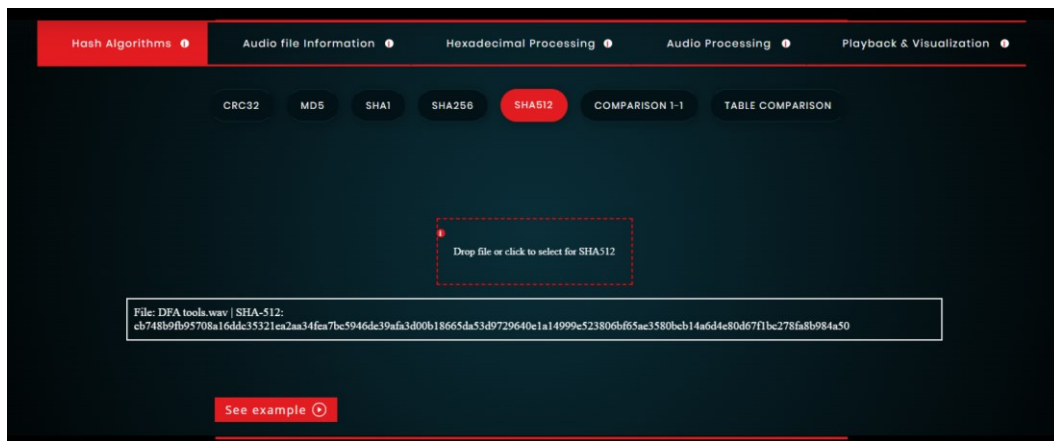
Όμοια και κατά την περίπτωση των τιμών κατακερματισμού (hash values) SHA-512 της εφαρμογής χρησιμοποιείται η παρακάτω λογική html κώδικα (5-8) που είναι διαθέσιμος στο παράρτημα Γ (Αρχείο SHA512_Hash.html).

```
var sha512 = CryptoJS.SHA512(wordArray).toString();  
var resultElement = document.getElementById('result');  
var hashElement = document.createElement('div');  
hashElement.innerHTML = 'File: ' + file.name + ' | SHA-  
512: ' + sha512;  
resultElement.appendChild(hashElement);
```

Κώδικας 5-8 Ενδεικτικές εντολές υπολογισμού και εμφάνισης Hash value SHA512 (Πηγή: Ιστότοπος [Data World](#))

Ο παραπάνω κώδικας (5-8) κινείται και αυτός στη ίδια λογική υπολογισμού αλγόριθμου κατακερματισμού με τον SHA-1 και SHA-256 χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη [JavaScriptCryptoJS](#). Το «WordArray» που δίνεται ως όρισμα στη συνάρτηση «CryptoJS.SHA512()» περιέχει τα δεδομένα για τα οποία υλοποιείται ο υπολογισμός του SHA-512 hash. Το υπολογισμένο hash μετατρέπεται σε «string» χρησιμοποιώντας τη μέθοδο «toString()», και η τιμή κατακερματισμού (hash value) συνδυάζεται με πληροφορίες για το αρχείο (όπως το όνομά του) και ενσωματώνεται σε ένα διαμορφωμένο

κείμενο. Το διαμορφωμένο κείμενο εμφανίζεται στη σελίδα HTML μέσω της εντολής «element», δίνοντας το όνομα του αρχείου και τον υπολογισμένο SHA-512 hash, όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (5-31) που ακολουθεί.



Εικόνα 5-31 Υπολογισμός και εμφάνιση Hash value SHA512

Εργαλείο σύγκρισης 1-1 (COMPARISON 1-1)

Παρακάτω ακολουθεί τμήμα του κώδικα (5-9) Html δημιουργίας εφαρμογής σύγκρισης τιμών Hash Values με τη βοήθεια τροποποίησης κώδικα js (javascript). Ο παρακάτω κώδικας είναι διαθέσιμος στο παράρτημα Γ (Αρχείο Compare_Hash.html).

```
function compareHash() {
    var hash1 = document.getElementById('hash1').value;
    var hash2 = document.getElementById('hash2').value;
    var resultDiv = document.getElementById('result');
    if (hash1 === hash2) {
        resultDiv.textContent = 'Hashes are the same!';
        resultDiv.className = 'result correct';
    } else {
        resultDiv.textContent = 'Hashes are different!!!';
        resultDiv.className = 'result incorrect';
    }
}
```

Κώδικας 5-9 Ενδεικτικές εντολές υπολογισμού σύγκρισης δεδομένων Hash (Πηγή: Ιστότοπος [W3schools](#))

Ο παραπάνω κώδικας (5-9) χρησιμοποιεί τη συνάρτηση, «compareHash()», υλοποιώντας τη σύγκριση δύο τιμών hash που παρέχονται από το χρήστη μέσω δύο πεδίων εισαγωγής δεδομένων. Η εν λόγω συνάρτηση παίρνει τις τιμές των δύο πεδίων που εισάγονται με id "hash1" και "hash2" χρησιμοποιώντας την «getElementById()» και αποθηκεύει τις τιμές τους στις μεταβλητές hash1 και hash2 αντίστοιχα. Στη συνέχεια, η συνάρτηση παίρνει το DOM «element» με id "result" και το αποθηκεύει στη μεταβλητή «resultDiv». έπειτα το «element» χρησιμοποιείται για την εμφάνιση του αποτελέσματος.

Η συνάρτηση συγκρίνει τις δύο hash τιμές που έχουν παραληφθεί. Αν είναι ίσες, τότε εμφανίζει το μήνυμα "Hashes are the same!" με πράσινο χρώμα και ορίζει την κλάση του αποτελέσματος ως "correct". Αν δεν είναι ίσες, τότε εμφανίζει το μήνυμα "Hashes are different!!!" με κόκκινο χρώμα και ορίζει την κλάση του αποτελέσματος ως "incorrect", όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (5-32) που ακολουθεί.



Εικόνα 5-32 Εργαλείο σύγκρισης 1-1

Εργαλείο δημιουργίας και σύγκρισης τιμών σε πίνακα (TABLE COMPARISON)

Δημιουργείται πίνακας με περιεχόμενο σύμφωνα με τον παρακάτω κώδικα (5-10) ο οποίος θα εκτελεί όλες τις παραπάνω λειτουργίες αλγορίθμων κατακερματισμού και εμφάνισης αντίστοιχων τιμών (hash values). Καθώς επίσης και σύγκριση μεταξύ ομώνυμων τιμών. Ο ακόλουθος ολοκληρωμένος κώδικας του εργαλείου είναι διαθέσιμος στο παράρτημα Γ (Αρχείο Table_Compare_Hash.html).

```
<div class="scrollable-table" id="hashResults1">
  <table>
    <tr>
      <th>Algorithm</th>
      <th>Hash Value</th>
      <td>MD5</td>
      <td id="md5_1"></td>
      <td>SHA-1</td>
      <td id="sha1_1"></td>
      <td>SHA-256</td>
      <td id="sha256_1"></td>
      <td>SHA-512</td>
      <td id="sha512_1"></td>
      <td>CRC32</td>
      <td id="crc32_1"></td>
    </tr>
  </table>
</div>
```

Κώδικας 5-10 Ενδεικτικές εντολές δημιουργίας περιεχόμενου στον πίνακα (Πηγή: Ιστότοπος [W3schools](#))

Ο παραπάνω κώδικας (5-10) παρουσιάζει τα αποτελέσματα των αλγορίθμων κατακερματισμού (MD5, SHA-1, SHA-256, SHA-512 και CRC32) χρησιμοποιώντας το

Στη συνέχεια πραγματοποιεί συγκρίσεις μια προς μια για την κάθε τιμή κατακερματισμού (hash value) που προκύπτει (π.χ., τιμής md5 του πρώτου πίνακα με την αντίστοιχη τιμή στον δεύτερο πίνακα). Το αποτέλεσμα της σύγκρισης εμφανίζεται κάτω από το κουμπί "Compare", επισημαίνοντας εάν οι τιμές hash είναι ίδιες ή διαφορετικές, με πράσινο χρώμα για ίδιες και κόκκινο χρώμα για διαφορετικές, όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (5-33) που ακολουθεί. Επιπλέον, εάν οι τιμές hash είναι διαφορετικές, το εργαλείο χρησιμοποιεί κόκκινο χρώμα για να επισημάνει τις διαφορές μεταξύ των τιμών των hash στους πίνακες. Το εν λόγω εργαλείο αποτελεί συνδυασμό όλων των εργαλείων υπολογισμού και σύγκρισης των τιμών κατακερματισμού (hash values) που παρουσιάστηκαν προηγουμένως, κρατώντας την ίδια λογική υπολογισμού κλπ.

Drop file here to calculate hash

Clear

Upload File

Algorithm	Hash Value
MD5	ee6ca2b0c38d547c78ddae234738c80e
SHA-1	54541396a571179121798c041d106d299c5a2935
SHA-256	208c2fd30c9b6d2cbb790b0acbf1c6da34e92da7d8c30f6431c681c236a096a7
SHA-512	af8ee27548698a7822b15ccab79aef94c2296a61f4b239d20855c5a631c45379ada43ca09cb21f6b3897718573c850f33cd955bcb3d7b8591955c86c753c9
CRC32	1c809ca5

Drop file here to calculate hash

Clear

Upload File

Algorithm	Hash Value
MD5	83602618724289f4a470730725d94091
SHA-1	ec6772b4da89659aafb310876ca0796c5cc5bed01
SHA-256	8a746d4308ffbae22510d2ba0903f5526b178a038cb010796c34877494e0f53
SHA-512	c9f305083ba17c43936a901e281c7302858710297e95a779529f244f2ae09634e65d28118f75afacdb8c34e08491bd0bae0290159299a0f5ca7068f444d3
CRC32	ab09a008

Compare

Hashes are different!!!

Εικόνα 5-33 Εργαλείο σύγκρισης τιμών σε πίνακα.

5.3.3 Ομάδα εργαλείων αναγνώρισης ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου

Εργαλείο αναγνώρισης ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου μορφής .wav και .mp3

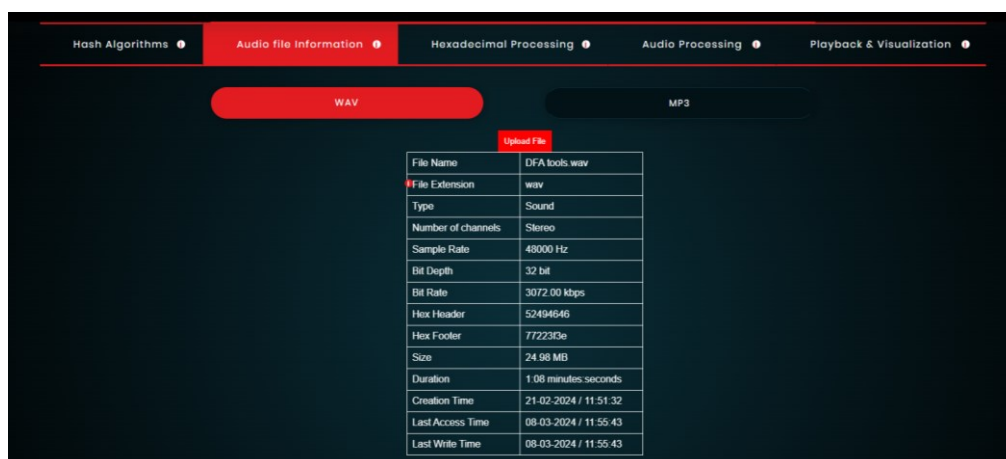
Κατά την ίδια λογική δημιουργίας πίνακα που υλοποιήθηκε με τροποποίηση του κώδικα (5-10) δημιουργείται αντίστοιχα πίνακας για το εργαλείο της εφαρμογής υπολογισμού ιδιοτήτων και σχετικών πληροφοριών που αφορούν το αρχείο ήχου. Το παρακάτω τμήμα js εντολών του κώδικα (5-11) υπολογίζει και εμφανίζει τις σχετικές πληροφορίες για αρχεία μορφής wav και mp3 επικαλώντας τις συναρτήσεις υπολογισμού από τον κώδικα [Moment.js](#). Ο κώδικας είναι διαθέσιμος στο παράρτημα Γ (Αρχεία Mp3.html, Wav.html, Mp3_Information_Extract.js, Wav_Information_Extract.js).

```
function handleFiles(files) {
  const file = files[0];
  const fileSizeKB = (file.size / 1024).toFixed(2);
  const fileSizeMB = (file.size / (1024 * 1024)).toFixed(2);
  const reader = new FileReader();
  reader.onload = function (e) {const arrayBuffer = e.target.result;
  const view = new DataView(arrayBuffer);
  const channels = view.getUint16(22, true);
  const sampleRate = view.getUint32(24, true);
  const bitDepth = view.getUint16(34, true);
  const bitRate = ((sampleRate * channels * bitDepth) / 1000).toFixed(2);
  const headerHex = Array.from(new Uint8Array(arrayBuffer.slice(0,
  4))).map(b => b.toString(16).padStart(2, '0')).join('');
  const footerHex = Array.from(new Uint8Array(arrayBuffer.slice(-
  4))).map(b => b.toString(16).padStart(2, '0')).join('');const
  durationInSeconds=view.byteLength/sampleRate*channels*(bitDepth/8));
  const duration = `${Math.floor(durationInSeconds /
  60)}:${Math.floor(durationInSeconds % 60).toString().padStart(2, '0')}`;
  const fileName = file.name;
  const fileExtension = fileName.split('.').pop();
  const isSoundFile = fileExtension.toLowerCase() === 'mp3' ||
  fileExtension.toLowerCase() === 'wav' || fileExtension.toLowerCase() ===
  'ogg';
  const creationTime = moment(file.lastModified).format('DD-MM-YYYY /
  HH:mm:ss');
  const lastAccessTime = moment().format('DD-MM-YYYY / HH:mm:ss');
  const lastWriteTime = moment().format('DD-MM-YYYY /HH:mm:ss');
```

Κώδικας 5-11 Ενδεικτικές εντολές δημιουργίας περιεχόμενου στον πίνακα (Πηγή: Ιστότοπος [W3schools](#))

Ο παραπάνω κώδικας (5-11) λαμβάνει ένα αρχείο ήχου που εισάγετε μέσω επιλογής από ένα παράθυρο διαλόγου ή με την τεχνική “drag and drop” από τον πίνακα και με την συνάρτηση «function handleFiles(files)», υπολογίζει το μέγεθος του αρχείου σε kilo και megabytes με τη βοήθεια χρήσης της συνάρτησης «const fileSizeKB» & «const fileSizeMB». Στη συνέχεια, χρησιμοποιεί έναν «FileReader» για να διαβάσει τα

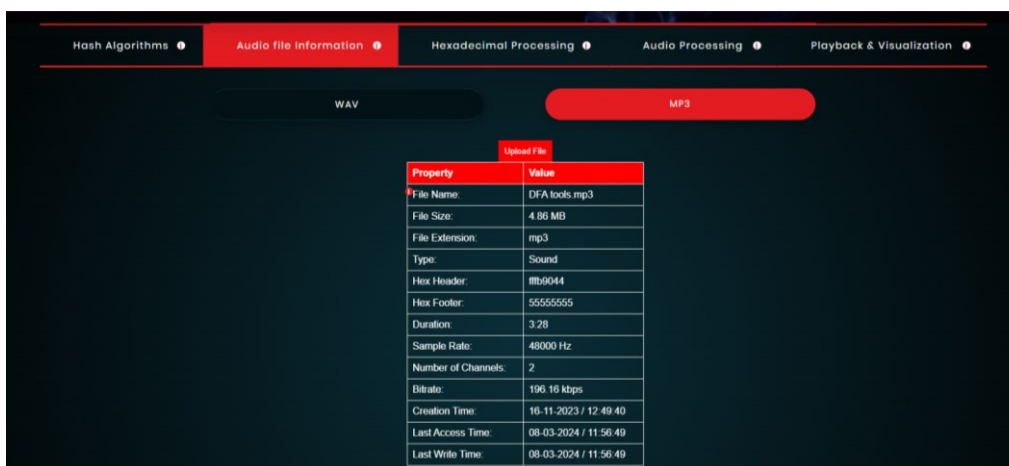
δεδομένα του αρχείου ως ένα «ArrayBuffer». Αφού αποκτήσει πρόσβαση στα δεδομένα του αρχείου μέσω του ArrayBuffer, χρησιμοποιεί ένα «DataView» για να διαβάσει τις αναγκαίες πληροφορίες από τα δεδομένα. Για παράδειγμα, χρησιμοποιεί τις μεθόδους «getUint16» και «getUint32» για να διαβάσει τον αριθμό των καναλιών, το sample rate και το bit depth του ήχου από συγκεκριμένες θέσεις στα δεδομένα. Στη συνέχεια, υπολογίζει το bit rate του ήχου βασιζόμενο στις πληροφορίες που έχει ήδη λάβει. Τέλος, χρησιμοποιεί τη βιβλιοθήκη [Moment.js](#) για να μορφοποιήσει τις ημερομηνίες υποτιθέμενης δημιουργίας, πρόσβασης και τροποποίησης του αρχείου. Όλες οι πληροφορίες αυτές εμφανίζονται στην ιστοσελίδα σε πίνακα όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (5-34) αντίστοιχα για τα αρχεία της μορφής τύπου .wav.



Property	Value
File Name	DFA tools.wav
File Extension	wav
Type	Sound
Number of channels	Stereo
Sample Rate	48000 Hz
Bit Depth	32 bit
Bit Rate	3072.00 kbps
Hex Header	52494646
Hex Footer	772233e
Size	24.98 MB
Duration	1.08 minutes seconds
Creation Time	21-02-2024 / 11:51:32
Last Access Time	08-03-2024 / 11:55:43
Last Write Time	08-03-2024 / 11:55:43

Εικόνα 5-34 Εργαλείο αναγνώρισης ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου μορφής .wav

Αντίστοιχα εμφανίζεται σε πίνακα με τις σχετικές πληροφορίες ανάλογος πίνακας, για τα ηχητικά αρχεία της μορφής τύπου .mp3 όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (5-35) που ακολουθεί.



Property	Value
File Name	DFA tools.mp3
File Size	4.86 MB
File Extension	mp3
Type	Sound
Hex Header	00b6044
Hex Footer	55555555
Duration	3.28
Sample Rate	48000 Hz
Number of Channels	2
Bitrate	196.16 kbps
Creation Time	16-11-2023 / 12:49:40
Last Access Time	08-03-2024 / 11:56:49
Last Write Time	08-03-2024 / 11:56:49

Εικόνα 5-35 Εργαλείο αναγνώρισης ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου μορφής .mp3

5.3.4 Ομάδα εργαλείων επεξεργασίας δεκαεξαδικών δεδομένων

Εργαλείο μετατροπής κειμένου σε δεκαεξαδικό κώδικα και αντίστροφα

Το εν λόγω εργαλείο με χρήση του παρακάτω κώδικα (5-12) παρέχει δύο καρτέλες, μία για την εισαγωγή και την μετατροπή κειμένου σε δεκαεξαδική μορφή και μία για την αποκωδικοποίηση δεκαεξαδικών δεδομένων και απόδοση σε κείμενο. Το σύνολο του κώδικα είναι διαθέσιμο στο παράρτημα Γ (Αρχείο Text_Hex_Text.html)

```
<script>
function convertToHex() {
var textInput = document.getElementById('textInput').value;
var hexView = stringToHex(textInput);
document.getElementById('hexView').innerText = hexView;
}
function stringToHex(str) {
var hex = '';
for (var i = 0; i < str.length; i++) {
var charCode = str.charCodeAt(i);
hex += charCode.toString(16).padStart(2, '0') + ' ';
}
return hex.trim().toUpperCase();
}
function decodeHex() {
var hexInput = document.getElementById('hexInput').value;
var decodedText = hexToString(hexInput);
document.getElementById('decodedText').innerText =
decodedText;
}
function hexToString(hex) {
var str = '';
for (var i = 0; i < hex.length; i += 2) {
var charCode = parseInt(hex.substr(i, 2), 16);
str += String.fromCharCode(charCode);
}
return str;
}
}
</script>
```

Κώδικας 5-12 Ενδεικτικές εντολές δημιουργίας μετατροπής κειμένου σε δεκαεξαδικό κώδικα και αντίστροφα. (Πηγή: Ιστότοπος [Hex_Text.js](#))

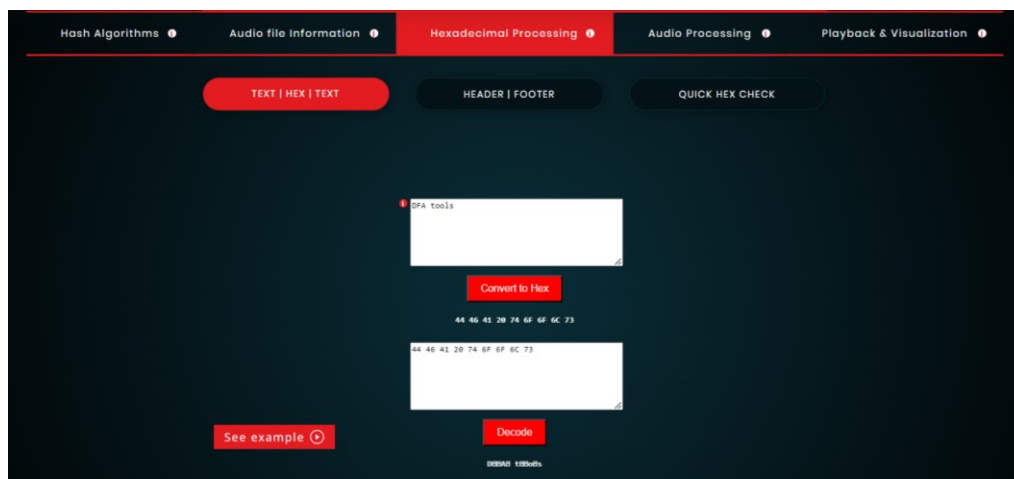
Ο παραπάνω κώδικας (5-12) προβαίνει σε μετατροπή κειμένου σε δεκαεξαδική μορφή και αντίστροφα. Αρχικά, όταν ο χρήστης εισάγει κείμενο στο πρώτο πλαίσιο "textarea" και επιλέξει το πλήκτρο "Convert to Hex", καλείται η συνάρτηση «convertToHex()». Αυτή η συνάρτηση παίρνει το κείμενο από το πλαίσιο "textarea" που έχει εγγραφεί, και μέσω της συνάρτησης «stringToHex(str)» εμφανίζει το αποτέλεσμα.

Η συνάρτηση «stringToHex(str)» επεξεργάζεται το κείμενο γράμμα προς γράμμα. Κάθε γράμμα μετατρέπεται σε αντίστοιχο δεκαεξαδικό αριθμό χρησιμοποιώντας τη μέθοδο δια

της εντολής «`charCodeAt()`» του JavaScript. Η μετατροπή γίνεται με τη χρήση της συνάρτησης «`toString(16)`» για να ληφθεί η δεκαεξαδική αναπαράσταση του αριθμού, και μετά επικαλείται η «`padStart(2, '0')`» για να εξασφαλιστεί ότι ο δεκαεξαδικός αριθμός θα έχει τουλάχιστον δύο ψηφία.

Τέλος, τα διάφορα δεκαεξαδικά ψηφία της κάθε λέξης συγκεντρώνονται σε μία συνάρτηση «`function hexToString(hex)`». Αντίστοιχα, όταν ο χρήστης εισάγει δεκαεξαδικό κείμενο στο δεύτερο πλαίσιο «`textarea`» και επιλέξει το πλήκτρο «Decode» (βλ. εικόνα 5-36), η συνάρτηση «`decodeHex()`» παίρνει το δεκαεξαδικό κείμενο από το πλαίσιο «`textarea`», καλεί τη συνάρτηση «`hexToString(hex)`» και εμφανίζει το αποτέλεσμα, δηλαδή το αποκωδικοποιημένο κείμενο με την χρήση της εντολής «`('decodedText')`».

Η εν λόγω συνάρτηση «`hexToString(hex)`» διαβάζει τους δεκαεξαδικούς χαρακτήρες του κειμένου, χαρακτήρα προς χαρακτήρα, ανά δύο ψηφία. Κατόπιν εφαρμόζεται αναπαράσταση του ανάλογου δεκαεξαδικού αριθμού, ο οποίος μετατρέπεται σε γράμμα χρησιμοποιώντας τη μέθοδο «`String.fromCharCode()`». Το αποτέλεσμα είναι η ανάκτηση του αρχικού κειμένου από τους δεκαεξαδικούς αριθμούς.



Εικόνα 5-36 Εργαλείο μετατροπής κειμένου σε δεκαεξαδικό κώδικα και αντίστροφα

Εργαλείο εντοπισμού κεφαλίδας και τέλους δεκαεξαδικού κώδικα ηχητικού αρχείου

Το εν λόγω εργαλείο με χρήση του παρακάτω κώδικα (5-13) επιτρέπει στον χρήστη να διαβάσει τα δεκαεξαδικά δεδομένα των κεφαλίδων (headers) και των τελειωμάτων (footers) ενός επιλεγμένου αρχείου. Ο εν λόγω κώδικας είναι διαθέσιμος στο παράρτημα Γ (Αρχείο `Header_Footer.html`)

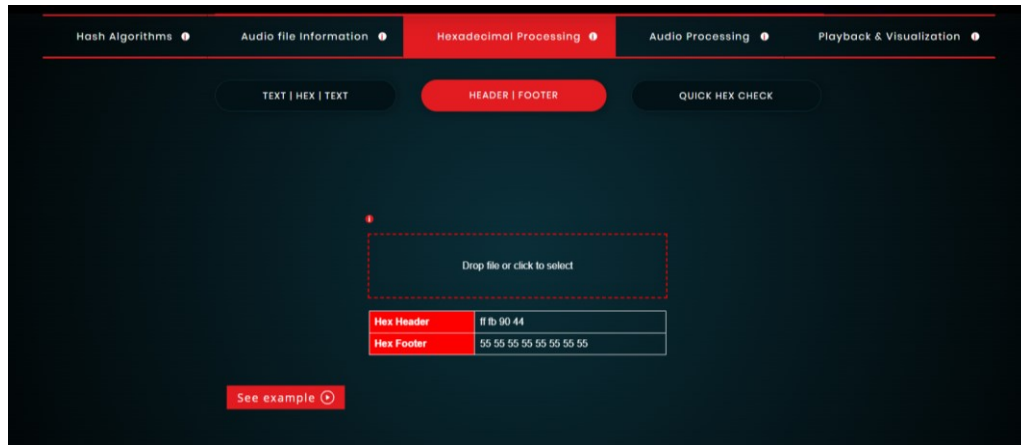

```
<script>
const dropArea = document.getElementById('dropArea');
const fileInput = document.getElementById('fileInput');
dropArea.addEventListener('dragover', function(event) {
    event.preventDefault();
    dropArea.classList.add('dragover');
});
dropArea.addEventListener('dragleave', function(event) {
    event.preventDefault();
    dropArea.classList.remove('dragover');
});
dropArea.addEventListener('drop', function(event) {
    event.preventDefault();
    dropArea.classList.remove('dragover');
    const file = event.dataTransfer.files[0];
    handleFile(file);
});
function handleFile(file) {
    const reader = new FileReader();
    reader.onloadend = function() {
        const arrayBuffer = reader.result;
        const uint8Array = new Uint8Array(arrayBuffer);
        const headerBytes = uint8Array.subarray(0, 4);
        document.getElementById('hexHeader').textContent =
arrayBufferToHex(headerBytes);

        const footerBytes =
uint8Array.subarray(uint8Array.length - 8);
        document.getElementById('hexFooter').textContent =
arrayBufferToHex(footerBytes);
    };
    reader.readAsArrayBuffer(file);
}
function arrayBufferToHex(buffer) {
    const hexArray = [];
    for (let i = 0; i < buffer.length; i++) {
        const hex = buffer[i].toString(16).padStart(2, '0');
        hexArray.push(hex);
    }
    return hexArray.join(' ');
}
function openFilePicker() {
    fileInput.click();
}
}
</script>
```

Κώδικας 5-13 Ενδεικτικές εντολές εντοπισμού δεκαεξαδικής κεφαλίδας και τέλους ηχητικού αρχείου (Πηγή: Ιστότοπος [Node.js](https://node.js.org))

Όταν ο χρήστης εισάγει ένα ηχητικό αρχείο στο εν λόγω εργαλείο της εφαρμογής, τότε ο παραπάνω κώδικας (5-13) εκτελεί τη συνάρτηση «handleFile(file)». Η εν λόγω συνάρτηση «handleFile(file)» δημιουργεί έναν «FileReader» και χρησιμοποιεί την εντολή «readAsArrayBuffer(file)» για να διαβάσει τα περιεχόμενα του αρχείου. Όταν το αρχείο διαβαστεί επιτυχώς, εκτελείται η συνάρτηση «reader.onloadend= function()», όπου τα πρώτα 4 bytes αποθηκεύονται στο “headerBytes” και τα τελευταία 8 bytes στο “footerBytes”,

μέσω των συναρτήσεων αντίστοιχα «const headerBytes» για την κεφαλίδα του αρχείου και «const footerBytes» για το τέλος εμφάνισης των δεδομένων του φακέλου στο αρχείο. Τα αποτελέσματα εισάγονται στον πίνακα σε δεκαεξαδική μορφή με τη χρήση της συνάρτησης «function arrayBufferToHex(buffer)». Οι δεκαεξαδικές τιμές εμφανίζονται στον πίνακα με τις αντίστοιχες ετικέτες "hexHeader" και "hexFooter", όπως απεικονίζεται και στο παρακάτω παράδειγμα εκτέλεσης στην εικόνα (5-37).



Εικόνα 5-37 Εργαλείο εντοπισμού κεφαλίδας και τέλους δεκαεξαδικού κώδικα ηχητικού αρχείου

Εργαλείο γρήγορου ελέγχου δεκαεξαδικών δεδομένων ηχητικών αρχείων

Το εν λόγω εργαλείο με τη χρήση του παρακάτω κώδικα (5-14) παρέχει τη δυνατότητα εμφάνισης του κάθε byte στο αρχείο, παρουσιάζοντας το σύνολο των δεδομένων κατά δεκαεξαδική μορφή σε αναπαράσταση δυαδικής μορφής. Επιπρόσθετα, παρέχεται μαζί και το ανάλογο αποκωδικοποιημένο κείμενο που αναλογεί στα δεδομένα του εκάστοτε ηχητικού αρχείου. Ο παρακάτω κώδικας είναι διαθέσιμος στο παράρτημα Γ (Αρχείο Quick_Hex_Check.html)

```
<script>
  async function handleFile(file) {
    const reader = new FileReader();
    reader.onload = async function(event) {
      const audioData = event.target.result;
      const byteArray = new Uint8Array(audioData);
      let hexData = '';
      let decodedText = '';
      for (let i = 0; i < byteArray.length; i++) {
        hexData += ('0' + byteArray[i].toString(16)).slice(-
2).toUpperCase() + ' ';
      }
      document.getElementById('hexData').value = hexData;
      decodedText = hexToString(hexData);
    }
  }

```

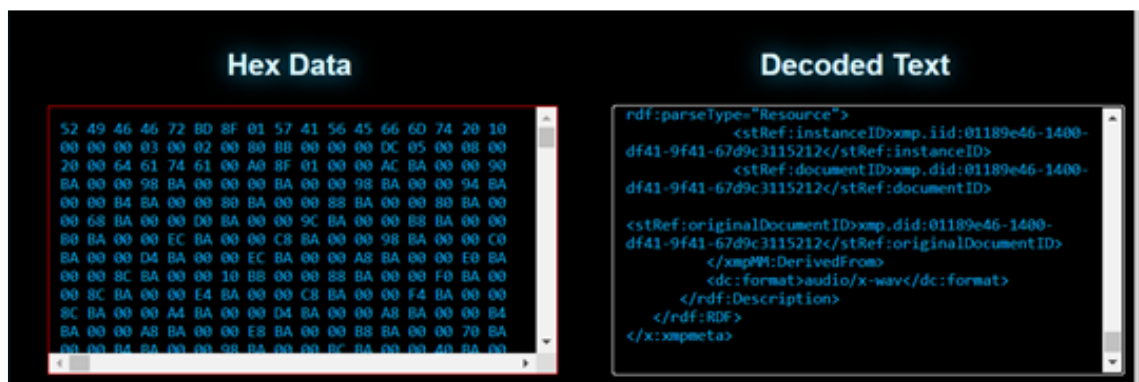
```
document.getElementById('decodedText').value =  
decodedText;  
    reader.readAsArrayBuffer(file);  
    function hexToString(hex) {  
        let hexArray = hex.split(/\s+/);  
        let str = '';  
        for (let i = 0; i < hexArray.length; i++) {  
            let hexValue = parseInt(hexArray[i], 16);  
            str += String.fromCharCode(hexValue);  
        }  
        return str;  
    }  
    function clearFields() {  
        document.getElementById('hexData').value = '';  
        document.getElementById('decodedText').value = '';  
    }  
</script>
```

Κώδικας 5-14 Ενδεικτικές εντολές εμφάνισης δεκαεξαδικών δεδομένων και αποκωδικοποίηση κειμένου. (Πηγή: Ιστότοπος [Hex info](#))

Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα JavaScript όταν ο χρήστης επιλέγει ένα αρχείο ήχου, η συνάρτηση «`async function handleFile(file)`» ενεργοποιεί την οριζόμενη συνάρτηση «`handleFile`» μέσω του πλήκτρου "Upload Audio File", που καλείται, λαμβάνοντας το εισερχόμενο αρχείο ως παράμετρο. Έπειτα με την βοήθεια της εντολής «`const reader = new FileReader();`», δημιουργείται ένα νέο αντικείμενο «`FileReader`». `reader.onload = async function(event)` που με τη σειρά του ορίζει την εν λόγω συνάρτηση που θα εκτελεστεί όταν ολοκληρωθεί η ανάγνωση του αρχείου. Στη συνέχεια με τη χρήση της «`const audioData = event.target.result;`», αποθηκεύει τα δεδομένα του αρχείου που διαβάστηκαν στη μεταβλητή «`audioData`». `const byteArray = new Uint8Array(audioData);`. Η εν λόγω μεταβλητή δημιουργεί με τη σειρά της ένα πίνακα από "[unsigned 8-bit integers](#)" που αντιστοιχούν στα δεδομένα του ηχητικού αρχείου. Έπειτα με τη χρήση της εντολής «`let hexData = '';`» δημιουργείται η μεταβλητή "hexData" για να αποθηκευτούν τα δεδομένα από το ηχητικό αρχείο σε δεκαεξαδική μορφή κατά αναπαράστασης δυαδικών ψηφίων. Κατόπιν η εντολή «`let decodedText = '';`» δημιουργεί τη μεταβλητή «`decodedText`» για να αποθηκευτεί το αποκωδικοποιημένο κείμενο. Η «`for (let i = 0; i < byteArray.length; i++)`» πραγματοποιεί εκκίνηση ενός βρόχου που διανύει όλα τα στοιχεία του πίνακα "byteArray". Η απεικονιζόμενη εντολή «`hexData+=('0'+byteArray[i].toString(16)).slice(-2).toUpperCase() + ' ';`», προβαίνει σε μετατροπή κάθε στοιχείου του `byteArray` σε δεκαεξαδικούς αριθμούς και προστίθεται στη μεταβλητή `hexData` με κατάλληλο formatting εμφάνισης χρώματος κλπ.

Ακολουθεί η εντολή «`document.getElementById('hexData').value = hexData;`» που εμφανίζει τα δεκαεξαδικά δεδομένα στο πεδίο εισόδου με id "hexData". Το «`decodedText`

= hexToString(hexData);» πραγματοποιεί μετατροπή των δεκαεξαδικών δεδομένων σε αναγνώσιμο κείμενο χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση «hexToString». Στη συνέχεια το «document.getElementById('decodedText').value=decodedText;» πραγματοποιεί εμφάνιση του αποκωδικοποιημένου κειμένου στο πεδίο εισόδου με id "decodedText". Στην εντολή «reader.readAsArrayBuffer(file);» απλά το αρχείο διαβάζεται ως ArrayBuffer από τον «FileReader. function hexToString(hex)» που ορίζεται η συνάρτηση «hexToString» που δέχεται ένα δεκαεξαδικό «string» ως παράμετρο. Με τη βοήθεια της «let hexArray = hex.split(/\\s+/);» το εν λόγω δεκαεξαδικό «string» διασπάται σε έναν πίνακα με ξεχωριστά δεκαεξαδικά ψηφία και με τη μεταβλητή «let str = '';» αποθηκεύεται το αποκωδικοποιημένο κείμενο. Με την εισαγωγή της «let hexValue = parseInt(hexArray[i], 16);» κάθε δεκαεξαδικό ψηφίο μετατρέπεται σε αντίστοιχη δεκαδική τιμή και με την εντολή «str += String.fromCharCode(hexValue);» η δεκαδική τιμή μετατρέπεται σε αντίστοιχο χαρακτήρα "ASCII" που προστίθεται με τη σειρά του στη μεταβλητή «str. return str;». Η εν λόγω μεταβλητή επιστρέφει το αποκωδικοποιημένο κείμενο. Τέλος, η συνάρτηση «function clearFields()» καθαρίζει τα πεδία "hexData" και "decodedText", με τη χρήση των αναγραφόμενων μεταβλητών, «document. getElementById('hexData').value = '';» που αφορά το πεδίο εισόδου "hexData" και αντίστοιχα της μεταβλητής που αφορά το πεδίο εισόδου "decodedText" η «document. getElementById('decodedText').value = '';». Στην παρακάτω εικόνα (5-38) απεικονίζεται το εν λόγω εργαλείο και το αποτέλεσμα που εμφανίζεται σε δύο πλαίσια αντίστοιχα, ένα για τα δεκαεξαδικά δεδομένα κατά αναπαράσταση δυαδικών στην αριστερή πλευρά, ενώ δεξιά το αποκωδικοποιημένο κείμενο που αντιστοιχεί στους χαρακτήρες της δομής στο αρχείο που επιλέγεται.



Εικόνα 5-38 Εργαλείο γρήγορου ελέγχου δεκαεξαδικών δεδομένων κεφαλίδας ηχητικών αρχείων

5.3.5 Ομάδα εργαλείων επεξεργασίας ηχητικών αρχείου

Εργαλείο εμφάνισης μονοφωνικής κυματομορφής ηχητικού αρχείου με και χωρίς σιγή

Το συγκεκριμένο εργαλείο με τη βοήθεια του παρακάτω κώδικα του Παραρτήματος Γ (Αρχείο κώδικα: Waveform.html) παρέχει, τη δυνατότητα ανάλυσης ενός αρχείου ήχου που επιλέγει ο χρήστης και εμφανίζει την κυματομορφή του συνολικά σε δύο καμβάδες. Ο ένας καμβάς εμφανίζει την αρχική κυματομορφή του ήχου με μπλε χρώμα, ενώ ο άλλος καμβάς μπορεί να εμφανίσει την κυματομορφή μετά την αφαίρεση της σιωπής με πράσινο χρώμα (Making an Audio Waveform Visualizer with Vanilla JavaScript, n.d.).

Πιο συγκεκριμένα στον παραπάνω κώδικα ο χρήστης επιλέγει ένα αρχείο ήχου πατώντας το κουμπί "Upload File". Τότε εκτελείται η συνάρτηση «`handleFile(event)`» όπου με τη βοήθεια της διαβάζεται το επιλεγμένο αρχείο και στη συνέχεια αποκωδικοποιεί τα δεδομένα του, η ανάλυση του ήχου γίνεται με τη χρήση της μεθόδου «`decodeAudioData`» του «`AudioContext`», η οποία αποκωδικοποιεί τα δεδομένα του ήχου που έχουν διαβαστεί από το αρχείο ήχου και στη συνέχεια με τη βοήθεια της συνάρτησης «`drawWaveform`» σχεδιάζει την μορφή της κυματομορφής σε δύο καμβάδες.

Η κυματομορφή του ήχου που περιέχεται στο αρχείο απεικονίζεται στον πρώτο καμβά με μπλε χρώμα. Όταν ο χρήστης επιλέξει το κουμπί "Toggle Silence Removal", τότε ενεργοποιείται η συνάρτηση «`toggleSilence()`» που με τη σειρά της αλλάζει την τιμή της μεταβλητής «`silenceRemoved`» και εκτελεί τη διαδικασία ανανέωσης της κυματομορφής του ήχου στον δεύτερο καμβά. Η συνάρτηση «`removeSilence(frames)`» αφαιρεί τα κομμάτια σιωπής από τα frames του ήχου.

Αναλυτικότερα η συνάρτηση «`removeSilence(frames)`» επιτυγχάνει την αφαίρεση των κομματιών σιωπής από τα frames του ήχου, υπολογίζοντας το μέγιστο απόλυτο πλάτος του ήχου για κάθε frame, παίρνοντας το μέγιστο από τις τιμές των δειγμάτων. Χρησιμοποιείται δηλαδή η «`Math.max()`» για να βρει το μέγιστο απόλυτο πλάτος. Η μέθοδος «`Math.max()`» δέχεται μια λίστα αριθμών ως ορίσματα και επιστρέφει τη μέγιστη τιμή από αυτήν τη λίστα.

Η λίστα αριθμών είναι τα δείγματα του frame, και έτσι επιλέγεται το μέγιστο από αυτά τα δείγματα, που αντιπροσωπεύει το μέγιστο απόλυτο πλάτος του ήχου για το συγκεκριμένο frame. Στη συνέχεια δημιουργεί έναν πίνακα «`m_amp`» που περιέχει τα μέγιστα απόλυτα πλάτη που αναλογούν για κάθε frame.

Επίσης δημιουργεί έναν πίνακα «id» που περιλαμβάνει τους δείκτες των frames που δεν είναι σιωπή. Αν η τιμή απόλυτου πλάτους ενός frame είναι μεγαλύτερη από ένα κατώφλι (σε αυτή την περίπτωση έχει επιλεγθεί κατόπιν αρκετών πειραματισμών το κατώφλι (threshold 0.03), τότε θεωρείται ότι δεν είναι σιωπή. Ο πίνακας «id» δημιουργείται αρχικά υπολογίζοντας το απόλυτο πλάτος για κάθε frame του ήχου και αποθηκεύεται στον προηγούμενο πίνακα «m_amp», όπως προαναφέρθηκε.

Στη συνέχεια, για κάθε frame, εάν το απόλυτο πλάτος του είναι μεγαλύτερο από το κατώφλι 0.03, τότε ο δείκτης του frame προστίθεται στον πίνακα. Στην ουσία, αυτό σημαίνει ότι ο πίνακας περιέχει τους δείκτες των frames που δεν θεωρούνται σιωπή, δηλαδή αυτά τα οποία έχουν μεγαλύτερο απόλυτο πλάτος από το κατώφλι 0.03 που έχει οριστεί.

Έπειτα φιλτράρεται ο πίνακας ώστε να αφαιρέσει τα στοιχεία που έχουν τιμή -1, δηλαδή τα frames που θεωρήθηκαν σιωπή. Κατόπιν επιστρέφει τα frames που δεν θεωρούνται σιωπή, χρησιμοποιώντας τους ανάλογους δείκτες που περιλαμβάνονται στον πίνακα «id». Στη συνέχεια με τη μέθοδο αυτή εφαρμόζεται η αφαίρεση της σιωπής στον ήχο που έχει εισαχθεί.

Η συνάρτηση «drawWaveform(audioBuffer, canvas, removeSilenceFlag)» λαμβάνει τα δεδομένα του ήχου που περιέχονται στο πίνακα που παρέμειναν και δεν αφαιρέθηκαν ως σιωπή και τα σχεδιάζει στον καμβά. Η παράμετρος «removeSilenceFlag» καθορίζει εάν η σιωπή έχει αφαιρεθεί από τον ήχο ή όχι. Δηλαδή χρησιμοποιείται κατά την κλήση της συνάρτησης «drawWaveform(audioBuffer, canvas, removeSilenceFlag)».

Αν η παραμέτρος «removeSilenceFlag» είναι “true”, τότε η «drawWaveform()» θα σχεδιάσει την κυματομορφή του ήχου χωρίς τη σιωπή. Αντίθετα, αν η «removeSilenceFlag» είναι “false”, η σιωπή θα παραμείνει στην κυματομορφή που σχεδιάζεται. Αυτό υλοποιείται με τη χρήση της παραμέτρου «removeSilenceFlag» μέσα στη συνάρτηση «drawWaveform()», όπου λαμβάνει υπόψη της αυτή την παράμετρο για να αποφασίσει αν θα εφαρμόσει τη διαδικασία αφαίρεσης της σιωπής πριν σχεδιάσει την κυματομορφή του ήχου. Η χρήση του [Web.Audio.Visualizations](#) βοήθησε στην δημιουργία του ανωτέρω εργαλείου οπτικοποίησης ήχου.

Έπειτα, η συνάρτηση υπολογίζει τα δεδομένα του ήχου, σχηματίζει την κυματομορφή και σχεδιάζει το γράφημα επιλέγοντας το αριστερό κανάλι του ήχου σε περίπτωση που είναι στερεοφωνικό. Το χρώμα της κυματομορφής που σχεδιάζεται γίνεται με πράσινο χρώμα,

όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (5-39) εφαρμογής παραδείγματος στο εν λόγω εργαλείο.



Εικόνα 5-39 Εργαλείο αφαίρεσης σημείων σιωπής και σχεδίασης κυματομορφής ηχητικών αρχείων

Εργαλείο μετατροπής ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου

Το εργαλείο αυτό είναι ένας απλός μετατροπέας ήχου που επιτρέπει στον χρήστη να μετατρέπει αρχεία ήχου (.wav, .ogg και .mp3). Ο χρήστης μπορεί να ανεβάσει ένα αρχείο ήχου πατώντας το κουμπί "Upload File" ή σύροντας και αφήνοντας το αρχείο στην περιοχή ("drop area"). Όταν ο χρήστης εισάγει το ηχητικό αρχείο, το πρόγραμμα αναγνωρίζει αυτό το αρχείο και εκτελεί τις αντίστοιχες ενέργειες για την επεξεργασία του, που θα επιλέξει ο χρήστης από το προσφερόμενο μενού. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τον αριθμό των καναλιών, το βάθος bit και το ποσοστό δειγματοληψίας από τα αντίστοιχα πεδία εισόδου.

Μετά την επιλογή των παραμέτρων, ο χρήστης πατάει το κουμπί "Convert" για να γίνει η μετατροπή του αρχείου ήχου όπως έχει ορίσει από τις προσφερόμενες επιλογές. Κατά τη διαδικασία μετατροπής, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί το Web Audio API για να διαβάσει το αρχείο ήχου, να το αποκωδικοποιήσει και να το επεξεργαστεί σύμφωνα με τις επιλεγμένες παραμέτρους. Μετά την επεξεργασία του ήχου, το πρόγραμμα δημιουργεί ένα νέο αρχείο ήχου WAV με τις επιθυμητές παραμέτρους. Το νέο αρχείο WAV παίζεται αυτόματα στον προεπιλεγμένο αναπαραγωγέα ήχου του προγράμματος και το όνομα του αρχείου εμφανίζεται κάτω από τον αναπαραγωγέα ήχου. Κατά συνέπεια, το εργαλείο αυτό παρέχει έναν εύκολο τρόπο για τους χρήστες να μετατρέψουν τα αρχεία ήχου τους σε μορφή WAV

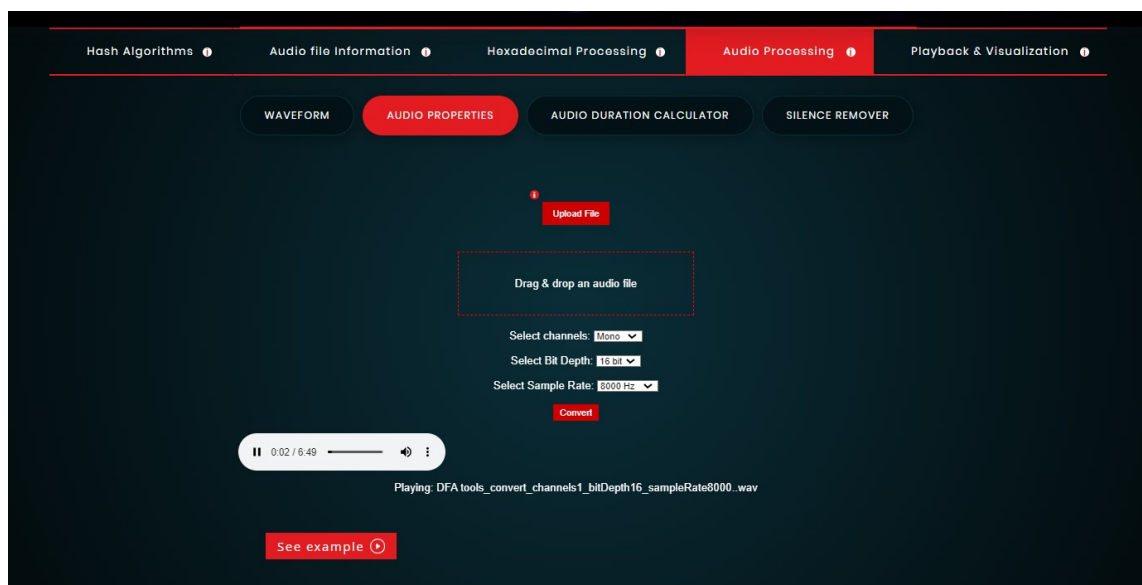
με διαφορετικές ρυθμίσεις καναλιών, βάθους bit και ποσοστού δειγματοληψίας. Ο κώδικας απεικόνισης εντολών δημιουργίας μετατροπέα ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου, που είναι αναρτημένος στο Παράρτημα Γ (Αρχείο κώδικα: Audio_Properties.html), εμφανίζει τις βασικές εντολές που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί η λειτουργία του εν λόγω εργαλείου μετατροπέα που περιγράφηκε και παραπάνω. Στον παραπάνω κώδικα η συνάρτηση «`async function convertAudio()`» αναλαμβάνει να μετατρέψει ένα αρχείο ήχου από μια οποιαδήποτε από τις τρεις μορφές (.wav, .ogg και .mp3) ηχητικών αρχείων που δέχεται προς εισαγωγή από τον χρήστη, σε μορφή ηχητικού αρχείου .wav. Η εφαρμογή της εντολής που ακολουθεί, παρέχει τη δυνατότητα επιλογής του ηχητικού αρχείου προς επεξεργασία που επιθυμεί ο χρήστης «`var audioFile = document.getElementById('audioFile').files[0];`». Έπειτα με την εντολή «`var channels = parseInt document. getElementById ('channels') . value);`» ανακτάται ο αριθμός των καναλιών ήχου που έχει επιλέξει ο χρήστης. Με την εντολή «`var bitDepth = parseInt (document.getElementById ('bitDepth').value);`» ανακτάται το βάθος bit που έχει επιλεγεί σύμφωνα με τις επιλεγόμενες προτιμήσεις. Η εντολή «`var sampleRate = parseInt (document. getElementById('sampleRate').value;`» ανακτά την πληροφορία που αφορά την συχνότητα δειγματοληψίας που επιλέγεται. Πολύ βασική εφαρμογή αποτελεί η εντολή «`const context = new (window. AudioContext || window.webkitAudioContext)();`» που δημιουργεί ένα νέο αντικείμενο «`AudioContext`» που θα χρησιμοποιηθεί για την αποκωδικοποίηση του ήχου. Ακολουθεί η «`const fileBuffer = await readFile(audioFile);`» εντολή που διαβάζει το αρχείο ήχου ως «`ArrayBuffer`» χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση «`readFile`».

Στη συνέχεια η εντολή «`const audioBuffer = await context .decodeAudioData (fileBuffer);`» αποκωδικοποιεί τα δεδομένα ήχου που περιέχονται στο «`fileBuffer`» σε μορφή «`AudioBuffer`» του ηχητικού αρχείου. Η εντολή «`const interleaved = interleave(audioBuffer, channels);`» τοποθετεί τα δεδομένα του ήχου που αφορά τις ρυθμίσεις αριθμού των καναλιών που επιλέγονται. Η εντολή «`const wavBlob = await encodeToWav(interleaved, channels, bitDepth, sampleRate);`» κωδικοποιεί τα δεδομένα του ήχου σε μορφή wav και επιστρέφει ένα “Blob” που περιέχει τα δεδομένα του ήχου σε αυτή τη μορφή. Η εφαρμογή της εντολής «`const originalFileName = audioFile.name;`» παίρνει το αναγραφόμενο όνομα του πηγαίου ηχητικού αρχείου. Οι

παρακάτω εντολές που ακολουθούν `«const convertedFileName = originalFileName.replace(/\.([^/\.]+)$/ _convert_channels${channels}_bitDepth${bitDepth}_sampleRate${sampleRate}.&);»` δημιουργούν το όνομα για το μετατρεπόμενο αρχείο της μορφής .wav, περιέχοντας τις πληροφορίες που επιλέχθηκαν.

Η εντολή `«const convertedWavBlob = new Blob([wavBlob], { type: audioFile.type });»` προσφεύγει στη δημιουργία “Blob” που περιέχονται τα δεδομένα του ηχητικού αρχείου που μετατράπηκε. Η εντολή `«const convertedWavUrl = URL.createObjectURL (convertedWavBlob);»` κατασκευάζει ένα “URL” για το αρχείο που μετατράπηκε και με την εφαρμογή της εντολής `«const audioPlayer = document.getElementById ('audioPlayer');»` επιλέγεται το στοιχείο που θα χρησιμοποιηθεί για την αναπαραγωγή του ήχου.

Η εντολή `«audioPlayer.style.display = 'block';»` εμφανίζει τον αναπαραγωγέα του ηχητικού αρχείου στη σελίδα της εφαρμογής και με τη σειρά της η εντολή `«audioPlayer.play();»` πραγματοποιεί την αναπαραγωγή του ήχου. Η εντολή `«audioFileName.innerText = 'Playing: ' + convertedFileName;»` ορίζει το κείμενο που θα εμφανίζεται στο στοιχείο με το id “audioFileName”. Το κείμενο περιέχει τη φράση “Playing:” ακολουθούμενη από το όνομα του μετατρεπόμενου ηχητικού αρχείου, το οποίο αποθηκεύεται στη μεταβλητή «convertedFileName». Στην παρακάτω εικόνα (5-40) απεικονίζεται το εργαλείο μετατροπής των ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου στην πράξη.



Εικόνα 5-40 Εργαλείο διαμόρφωσης ιδιοτήτων ηχητικών αρχείων

Εργαλείο υπολογισμού χρονικών διαρκειών ενός ηχητικού αρχείου με και χωρίς τη σιγή

Το εν λόγω εργαλείο παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα επιλογής ενός ηχητικού αρχείου πατώντας το κουμπί "Upload File". Όταν ο χρήστης επιλέξει το αρχείο ήχου που επιθυμεί, το πρόγραμμα φορτώνει το αρχείο και το αναλύει για να υπολογίσει τη διάρκειά του. Η μέθοδος "Remove Silence" χρησιμοποιείται για να αφαιρέσει τη σιωπή από τον ήχο. Αυτό γίνεται εφαρμόζοντας ένα κατώφλι (0.01 στην παρούσα περίπτωση) στις τιμές των δειγμάτων ήχου που περιέχονται στο επιλεγμένο αρχείο του χρήστη. Οποιαδήποτε τιμή που είναι μικρότερη από αυτό το κατώφλι θεωρείται ως σιωπή και αφαιρείται από τον ήχο.

Μετά την αφαίρεση της σιωπής, η εφαρμογή υπολογίζει τη διάρκεια του ήχου μετά την επεξεργασία και την εμφανίζει στην οθόνη μαζί με την αρχική διάρκεια του αρχείου για σύγκριση, εφόσον πρώτα ο χρήστης επιλέξει το πλήκτρο "Calculate Durations". Το πλήκτρο "Clear Console" καθαρίζει τα αποτελέσματα που εμφανίστηκαν από τον προηγούμενο υπολογισμό για επανυπολογισμό στο επόμενο ηχητικό αρχείο που θα επιλεγεί. Συνολικά, η εφαρμογή παρέχει έναν απλό τρόπο για την ανάλυση της διάρκειας ενός αρχείου ήχου με και χωρίς τη σιωπή σε αυτό. Το παρακάτω τμήμα εντολών από τον κώδικα (5-15) δημιουργίας του εν λόγω εργαλείου είναι διαθέσιμο στο Παράρτημα Γ (Αρχείο Audio_Duration_Calculator.html).

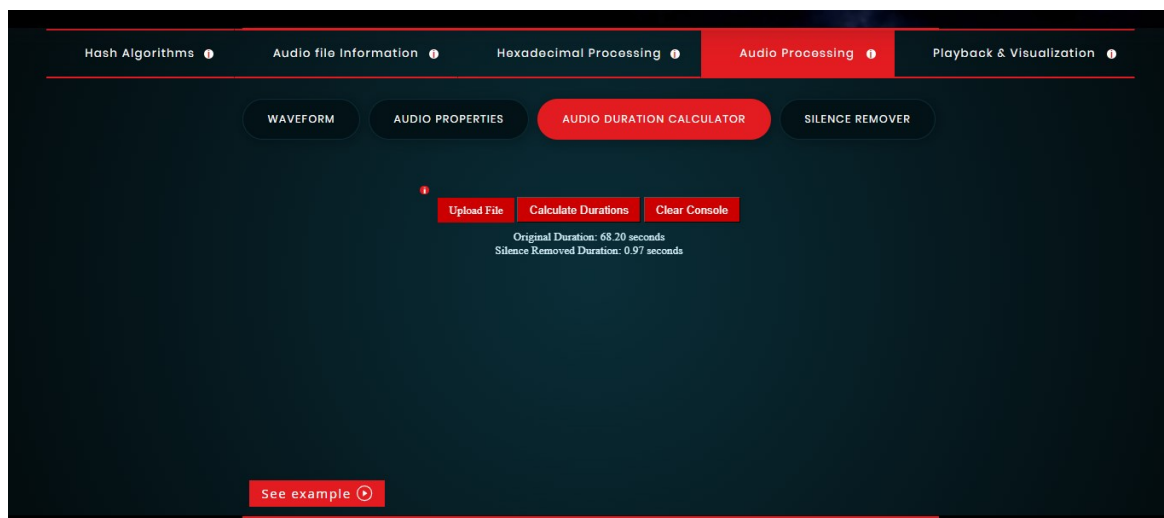
```
<script>
function calculateDurations() {
    var fileInput = document.getElementById('uploadFile');
    if (!fileInput.files[0]) {
        alert('Please select a file first.');
```

```
var durationElement = document.getElementById('duration');
durationElement.innerText = '';
}
function writeToConsole(message) {
    var durationElement = document.getElementById('duration');
    durationElement.innerText = message;
}
function removeSilence(buffer, audioContext) {
    var channelData = buffer.getChannelData(0);
    var nonSilentSamples = channelData.filter(function (sample)
{
    return Math.abs(sample) > 0.01; // Adjust the threshold
as needed
});
    var silentRemovedBuffer = audioContext.createBuffer(1,
nonSilentSamples.length, buffer.sampleRate);
    silentRemovedBuffer.copyToChannel(new
Float32Array(nonSilentSamples), 0);
    return silentRemovedBuffer.duration;}
</script>
```

Κώδικας 5-15 Απεικόνιση βασικών εντολών υπολογισμού χρονικών διαρκειών ενός ηχητικού αρχείου με και χωρίς τη σιγή. (Πηγή: Ιστότοπος [Remove.Silence](#))

Σε γενικές γραμμές ο παραπάνω κώδικας (5-15), χρησιμοποιεί τον «FileReader» για να διαβάσει το αρχείο ως ένα «ArrayBuffer» και στη συνέχεια χρησιμοποιεί τη μέθοδο «decodeAudioData» του «AudioContext» για να αποκωδικοποιήσει τα δεδομένα του ήχου στο αρχείο. Έπειτα, καλεί τη συνάρτηση «removeSilence()» που αφαιρεί τη σιωπή από τον ήχο και υπολογίζει τη νέα διάρκεια του ήχου μετά την αφαίρεση της σιωπής. Η οθόνη με τις πληροφορίες διάρκειας που όπως προαναφέραμε εμφανίζει το αρχικό και το νέο χρονικό διάστημα του αρχείου και υλοποιείται μέσω της εντολής «writeToConsole()». Η συνάρτηση «removeSilence()» λαμβάνει τα δεδομένα του ήχου από τον “buffer” και επεξεργάζεται τα δεδομένα του ηχητικού αρχείου για να αφαιρέσει τη σιωπή, βασιζόμενη στο κατώφλι (Threshold) θορύβου που ορίζεται ως 0.01. Αναλυτικότερα, η εντολή «var nonSilentSamples = channelData.filter(function (sample) { return Math.abs(sample) > 0.01; });» δημιουργεί έναν νέο πίνακα «nonSilentSamples» που περιέχει μόνο τα δείγματα του ήχου που δεν θεωρούνται σιωπή. Αυτό γίνεται με τη χρήση της μεθόδου «filter()», η οποία εφαρμόζει μια συνάρτηση πάνω σε κάθε δείγμα φιλτράροντας και εντοπίζοντας τις τιμές κάτω από το κατώφλι που έχει οριστεί. Η συνάρτηση που βρίσκεται στο «filter()» ελέγχει εάν η απόλυτη τιμή του δείγματος είναι μεγαλύτερη από το καθορισμένο κατώφλι θορύβου, που εδώ ορίζεται όπως προαναφέραμε ως 0.01. Όλα τα δείγματα που έχουν απόλυτη τιμή μεγαλύτερη από αυτό το κατώφλι θεωρούνται πως δεν ανήκουν σε σιωπή και περιλαμβάνονται στον νέο πίνακα με την χρήση της εντολής «nonSilentSamples». Έπειτα, με την χρήση της παρακάτω

εντολής `varsilentRemovedBuffer=audioContext.createBuffer(1,nonSilentSamples.length,buffer.sampleRate);`» δημιουργείται το νέο buffer που περιέχει τα δεδομένα του ηχητικού αρχείου που δεν περιέχουν σιωπή. Έπειτα, πραγματοποιείται ο υπολογισμός της διάρκειας με και χωρίς σιωπή των δειγμάτων που προέκυψαν από τις παραπάνω διεργασίες. Στην παρακάτω εικόνα (5-41) παρατηρείται το αποτέλεσμα της εφαρμογής και υλοποίησης, των βασικών εντολών υπολογισμού χρονικής διάρκειας ενός ηχητικού αρχείου με και χωρίς τη σιγή.



Εικόνα 5-41 Εργαλείο υπολογισμού χρονικών διαρκειών ενός ηχητικού αρχείου με και χωρίς τη σιγή

Εργαλείο αφαίρεσης σιγής από ηχητικό αρχείο

Ο χρήστης στο εργαλείο αφαίρεσης σιγής, μπορεί να επιλέξει ένα αρχείο ήχου πατώντας το κουμπί "Upload File". Όταν ο χρήστης επιλέξει το ηχητικό αρχείο, φορτώνεται το αρχείο και αναλύονται τα δεδομένα του. Στον παρακάτω κώδικα (5-16) αναφέρονται ενδεικτικά οι εντολές των βασικών διεργασιών για την επίτευξη των παραπάνω λειτουργιών που αναλύθηκαν. Το σύνολο των εντολών του παρακάτω κώδικα είναι διαθέσιμο στο Παράρτημα Γ (Αρχείο Silence_Remover.html)

```
function playAudio() {  
    var fileInput = document.getElementById('uploadFile');  
    var audioPlayer = document.getElementById('audioPlayer');  
    if (!fileInput.files[0]) {  
        alert('Please select a file first.');        return;  
    }  
    var audioContext = new (window.AudioContext ||  
window.webkitAudioContext)();  
    var reader = new FileReader();
```



```
reader.onload = function (e) {
    audioContext.decodeAudioData(e.target.result, function
(buffer) {
        var nonSilentSamples = removeSilence(buffer,
audioContext);
        var nonSilentBuffer = audioContext.createBuffer(1,
nonSilentSamples.length, buffer.sampleRate);
        nonSilentBuffer.copyToChannel(new
Float32Array(nonSilentSamples), 0);
        audioPlayer.src =
URL.createObjectURL(bufferToWave(nonSilentBuffer, 1));
        audioPlayer.style.display = 'block';
        audioPlayer.controls = true;
    });
};
reader.readAsArrayBuffer(fileInput.files[0]);
}
function removeSilence(buffer, audioContext) {
    var channelData = buffer.getChannelData(0);
    var nonSilentSamples = channelData.filter(function (sample){
        return Math.abs(sample) > 0.01;
    });
    return nonSilentSamples;
function bufferToWave(buffer, channels) {
    var data = new DataView(new ArrayBuffer(44 + buffer.length *
2));
    var sampleRate = buffer.sampleRate;
    writeString(data, 0, 'RIFF');
    data.setUint32(4, 32 + buffer.length * 2, true);
    writeString(data, 8, 'WAVE');
    writeString(data, 12, 'fmt ');
    data.setUint32(16, 16, true);
    data.setUint16(20, 1, true);
    data.setUint16(22, channels, true);
    data.setUint32(24, sampleRate, true);
    data.setUint32(28, sampleRate * 2 * channels, true);
    data.setUint16(32, channels * 2, true);
    data.setUint16(34, 16, true);
    writeString(data, 36, 'data');
    data.setUint32(40, buffer.length * 2, true);
    floatTo16BitPCM(data, 44, buffer.getChannelData(0));
    return new Blob([data], { type: 'audio/wav' });
function writeString(view, offset, string) {
    for (var i = 0; i < string.length; i++) {
        view.setUint8(offset + i, string.charCodeAt(i));
    }
function floatTo16BitPCM(output, offset, input) {
    for (var i = 0; i < input.length; i++, offset += 2) {
        var s = Math.max(-1, Math.min(1, input[i]));
        output.setInt16(offset, s < 0 ? s * 0x8000 : s * 0x7FFF,
true);
    }
};
```

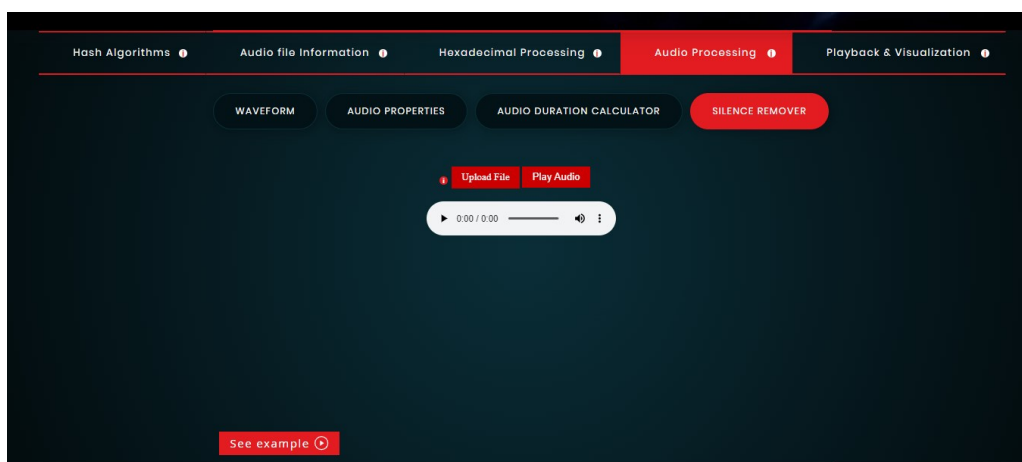
Κώδικας 5-16 Ενδεικτικές εντολές κώδικα javascript για την δημιουργία του εργαλείου αφαίρεσης σιγής από ηχητικό αρχείο και εμφάνισης του προς αναπαραγωγή χωρίς την σιγή (Πηγή: Ιστότοπος [Remove.Silence](#))

Στον παραπάνω κώδικα (5-16) η μέθοδος «Remove Silence» χρησιμοποιείται για να αφαιρεθεί η “σιωπή” από τον ήχο. Αυτό επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας ένα κατώφλι όμοιο και με τις παραπάνω περιπτώσεις που αναλύθηκαν με τιμή 0.01 στις τιμές των δειγμάτων

ήχου. Οποιαδήποτε τιμή που είναι μικρότερη από αυτό το κατώφλι θεωρείται ως σιωπή και αφαιρείται. Αναλυτικότερα, η συνάρτηση «removeSilence()» παίρνει τον πίνακα δεδομένων του ηχητικού αρχείου και αφαιρεί τα δείγματα που είναι κάτω από το οριζόμενο κατώφλι. Αυτό γίνεται με τη χρήση της μεθόδου «filter()» στον πίνακα «channelData». Τα δείγματα που θεωρούνται "σιωπή" αφαιρούνται, και ο νέος πίνακας με τα μη σιωπηλά δείγματα επιστρέφεται. Η συνάρτηση «bufferToWave()» παίρνει τον δημιουργούμενο πίνακα με τα ηχητικά δεδομένα και τα μετατρέπει σε αρχείο “wav”. Αυτό γίνεται με τη δημιουργία ενός νέου «DataView», στο οποίο αναγράφονται στη συνέχεια οι κατάλληλες πληροφορίες που αναλογούν σε αρχείο της μορφής wav.

Οι υπόλοιπες βοηθητικές συναρτήσεις «writeString()» και «floatTo16BitPCM()» χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του αρχείου wav, και κυρίως για τη μετατροπή των αριθμητικών δεδομένων από τον πίνακα σε ηχητικά δεδομένα, όπως προαναφέραμε. Μετά την αφαίρεση της σιωπής, εμφανίζεται ένας προσαρμοσμένος αναπαραγωγέας ήχου (audio player) που επιτρέπει στον χρήστη να ακούσει τον επεξεργασμένο ήχο, να κάνει λήψη και να ρυθμίσει την ταχύτητα αναπαραγωγής του. Όλη η παραπάνω διαδικασία αφαίρεσης της σιωπής και εμφάνισης του αρχείου προς αναπαραγωγή εκτελείται κατόπιν επιλογής του πλήκτρου “Play Audio”.

Στην παρακάτω εικόνα (5-42) απεικονίζεται το εργαλείο αφαίρεσης σιγής από επιλεγόμενο ηχητικό αρχείο και τα αποτελέσματα που εμφανίζονται στην σελίδα της εφαρμογής.



Εικόνα 5-42 Εργαλείο αφαίρεσης σιγής από ηχητικό αρχείο

Το αρχείο που εμφανίζεται για αναπαραγωγή, μετά την αφαίρεση της σιωπής, φέρει προδιαγραφές μονοφωνικού αρχείου, με ρυθμό δειγματοληψίας στα 48 kHz σε σχέση με το αρχικό που επιλέχθηκε και η ευκρίνεια κβαντισμού του να είναι πάντα στα 16 bits.

5.3.6 Ομάδα εργαλείων αναπαραγωγής και οπτικοποίησης ηχητικών αρχείων

Αναπαραγωγέας ήχου (player) και οπτικοποίηση φασματογραφήματος

Το εργαλείο αυτό επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργήσει ένα φασματογράφημα (spectrogram) από ένα ηχητικό αρχείο που εισάγετε κατόπιν επιλογής του πλήκτρου Press to Choose από ένα παράθυρο διαλόγου, ή με την εναπόθεση του αρχείου στη περιοχή του προγράμματος “drag and drop an audio file”. Όταν το αρχείο φορτώνεται, δημιουργείται ένας αναλυτής (analyser), ο οποίος είναι υπεύθυνος για την ανάλυση του ηχητικού σήματος. Ο αναλυτής αυτός συλλέγει τα διάφορα δεδομένα που αφορούν τις συχνότητες στα διάφορα γεγονότα που καταγράφηκαν και υπάρχουν στο αρχείο.

Ο χρήστης μπορεί να πατήσει το κουμπί "Play" για να αναπαράγει το ηχητικό αρχείο. Κατά την αναπαραγωγή, εμφανίζεται παράλληλα και το φασματογράφημα, ενώ με την επιλογή διακοπή της αναπαραγωγής επιλέγοντας το κουμπί "Stop" διακόπτεται η αναπαραγωγή του ηχητικού αρχείου και καθαρίζει η οθόνη από το προηγούμενο φασματογράφημα, για επαναχρησιμοποίηση του εργαλείου. Οι παρακάτω εντολές του κώδικα “js” περιγράφουν τον τρόπο λειτουργίας και δημιουργίας του φασματογραφήματος (spectrogram). Το σύνολο του παρακάτω κώδικα βρίσκεται αναρτημένο στο Παράρτημα Γ (Αρχείο Spectrogram.html)

```
        id="spectrogram"
        height="710"
        width="1024"
    ></canvas>
    <script>
        var audioCtx;
        var analyser;
        var source;
        var bufferLength;
        var dataArray;
        var canvas;
        var canvasCtx;
        var animationFrameId;
        function handleDrop(event) {
            event.preventDefault();
            document.getElementById('dropArea').style.border = '2px
dashed #ccc';
            loadAudioFile(event.dataTransfer.files[0]);
        }
        function handleDragOver(event) {
            event.preventDefault();
            document.getElementById('dropArea').style.border = '2px
dashed #aaa';
        }
        function spectrogram() {
            var audioInput = document.createElement("input");
            audioInput.type = "file";
```

```

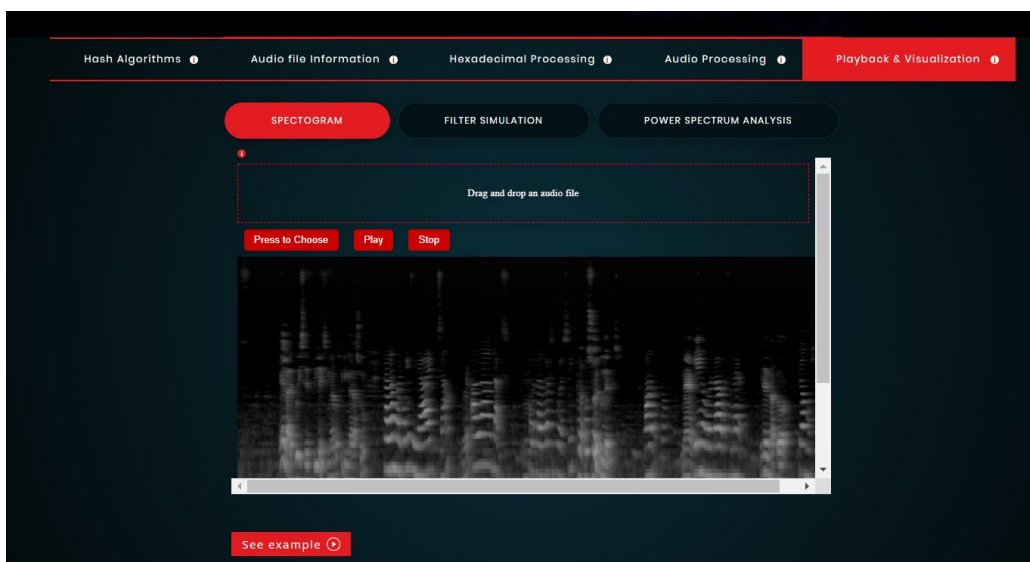
        audioInput.accept = "audio/*";
        audioInput.addEventListener("change", function () {
            loadAudioFile(audioInput.files[0]);
        });
        audioInput.click();
    }
    function loadAudioFile(file) {
        if (audioCtx) {
            audioCtx.close();
        }
        audioCtx = new (window.AudioContext ||
window.webkitAudioContext)();
        analyser = audioCtx.createAnalyser();
        analyser.fftSize = 2048;
        bufferLength = analyser.frequencyBinCount;
        dataArray = new Uint8Array(bufferLength);
        canvas = document.getElementById("spectrogram");
        canvasCtx = canvas.getContext("2d");
        var fileReader = new FileReader();
        fileReader.onload = function(e) {
function(buffer) {
            audioCtx.decodeAudioData(e.target.result,
                function(buffer) {
                    source = audioCtx.createBufferSource();
                    source.buffer = buffer;
                    source.connect(analyser);
                    analyser.connect(audioCtx.destination);
                    canvas.style.display = "block";
                });
            };
            fileReader.readAsArrayBuffer(file);
        }
        function playAudio() {
            if (source) {
                source.start();
                draw();
            }
        }
        function stopAudio() {
            if (source) {
                source.stop();
            }
            cancelAnimationFrame(animationFrameId);
            clearScreen();
        }
        function draw() {
            analyser.getByteFrequencyData(dataArray);
            for (var y = 1; y <= bufferLength; y++) {
                var intensity = dataArray[y - 1];
                canvasCtx.fillStyle =
`rgb(${intensity},${intensity},${intensity})`;
                var rectY = canvas.height - (bufferLength/10) * Math.log(y);
                var rectYNext = canvas.height - (bufferLength/10)* Math.log(y+1);
                var rectHeight = rectYNext - rectY;
                canvasCtx.fillRect(canvas.width - 1, rectY, 1, rectHeight);
                canvasCtx.drawImage(canvasCtx.canvas, -1, 0);
                animationFrameId = requestAnimationFrame(draw);
            }
            function clearScreen() {
                canvasCtx.clearRect(0, 0, canvas.width, canvas.height);
            }
        }
    }

```

Κώδικας 5-17 Απεικόνιση ενδεικτικών εντολών “javascript” δημιουργίας φασματογραφήματος ηχητικού αρχείου (Πηγή: Ιστότοπος [Spectrogram.example](#))

Ο κώδικας “JavaScript” (5-17) δημιουργεί ένα απλό φασματογράφημα ήχου χρησιμοποιώντας το HTML5 Canvas και το Web Audio API, με την βοήθεια της εντολής “canvas” με το id “spectrogram” και με ύψος που καθορίζεται στα 710 “pixels” και πλάτος στα 1024 “pixels”. Στη συνέχεια δηλώνονται, οι μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν στον κώδικα, όπως η μεταβλητή “audioCtx” για τον ήχο, η “analyser” για την ανάλυση του ήχου, κ.λπ, που προηγούνται του στοιχείου “var”.

Επιπλέον οι συναρτήσεις “function” ορίζουν το που θα χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση διαφόρων λειτουργιών, όπως η φόρτωση του ηχητικού αρχείου, η αναπαραγωγή και η παύση του, καθώς και η ανίχνευση εναπόθεσης με εισαγωγή των συρόμενων αρχείων με την τεχνική “drag and drop”. Η συνάρτηση «function loadAudioFile(file) { /* */ }» φορτώνει ένα αρχείο ήχου και αποκωδικοποιεί τα δεδομένα του χρησιμοποιώντας το Web Audio API. Έπειτα τα δεδομένα ήχου συνδέονται με έναν αναλυτή (analyser), ο οποίος στη συνέχεια συνδέεται με την έξοδο ήχου. Στη συνέχεια η συνάρτηση «function playAudio() { /* */ }» εκκινεί την αναπαραγωγή του ήχου κατόπιν επιλογής και επιπλέον εμφανίζει το φασματογράφημα (spectrogram). Το φασματογράφημα (spectrogram) εμφανίζεται με τη βοήθεια της συνάρτησης «function draw() { /* */ }» με τα δεδομένα συχνότητας που λαμβάνονται από τον αναλυτή ήχου, με αριθμό σημείων “2048”. Έπειτα η συνάρτηση «function clearScreen() { /* */ }» καθαρίζει την κονσόλα της εφαρμογής. Γενικότερα, με την αξιοποίηση του [Web.Audio.Visualizations](#) δημιουργήθηκε τον εν λόγω εργαλείο οπτικοποίησης. Στη παρακάτω εικόνα (5-43) παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εκτέλεσης του εν λόγω εργαλείου.



Εικόνα 5-43 Εργαλείο αναπαραγωγής και εμφάνισης φασματογραφήματος

Εργαλείο προσομοίωσης φίλτρων κατά την αναπαραγωγή

Το εργαλείο αυτό είναι ένα απλό ηχητικό εφέ με δυνατότητα επεξεργασίας ήχου μέσω ενός ψηφιακού “Biquad” φίλτρου. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα αρχείο ήχου από τον υπολογιστή του χρησιμοποιώντας το κουμπί "Upload File". Με τη χρήση των στοιχείων ελέγχου (Select, Range Inputs), ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει το είδος (Type) του φίλτρου, τη συχνότητα (Frequency), την ποιότητα (Q) και την ενίσχυση (Gain) του φίλτρου. Κάθε φορά που ο χρήστης αλλάζει μια από αυτές τις ρυθμίσεις, το φίλτρο αναπροσαρμόζεται στις νέες τιμές και η εικόνα του φίλτρου επανασχεδιάζεται στο “canvas”. Ο χρήστης μπορεί να αναπαράγει τον ήχο του επιλεγμένου αρχείου πατώντας το κουμπί "Play". Ο ήχος περνά από το “Biquad” φίλτρο κατά την αναπαραγωγή, εφαρμόζοντας τις ρυθμίσεις που έχουν οριστεί από τον χρήστη.

Το κουμπί "Clear All" επιτρέπει στον χρήστη να επαναφέρει όλες τις ρυθμίσεις του φίλτρου στις προεπιλεγμένες τιμές και να διαγράψει την επιλεγμένη εικόνα που εμφανίζεται και προσομοιάζει την καμπύλη του φίλτρου. Συνολικά, το εργαλείο αυτό παρέχει μια εύκολη διεπαφή για την εφαρμογή “Biquad” φίλτρων σε ήχους και την αναπαραγωγή τους με διαφορετικές ρυθμίσεις, ενώ παρέχει οπτική προσομοίωση αναπαράστασης της απόκρισης συχνότητας του φίλτρου. Οι παρακάτω εντολές του κώδικα (5-18) “javascript” που εμφανίζονται παρακάτω πραγματοποιούν τα παραπάνω προαναφερόμενα. Ο κώδικας είναι διαθέσιμος στο Παράρτημα Γ (Αρχείο Filter_Simulation.html).

```
Frequency<br>
<input id='Frequency' type='range' max=10000 value=800
oninput='UICallback()'><br>Q<br>
<input id='Q' type='range' min=-50 max=50 value=1 step='any'
oninput='UICallback()'><br>Gain<br>
<input id='Gain' type='range' min=1 max=20 value=1
oninput='UICallback()'><br>
<input type="file" id="audioFileInput" accept="audio/*"
style="display: none" onchange="loadAudioFile()">
<button id="uploadFile"
onclick="document.getElementById('audioFileInput').click()">Upload
File</button>
<p id="selectedFileName" style="color: white; margin-top: 10px;"></p>
</div>
</div>
<script src='biquad.js'></script>
<script>
var audioContext = new (window.AudioContext ||
window.webkitAudioContext) ();
var canvasContext =
document.getElementById('canvas').getContext('2d');
var nFreqs = 100,
Freqs = new Float32Array(nFreqs),
```



```
Mags = new Float32Array(nFreqs),
Phases = new Float32Array(nFreqs);
for (var i = 0; i < nFreqs; ++i) Freqs[i] = 20000 / nFreqs * (i + 1);
var biquadFilter = new BiquadFilterNode(audioContext, { frequency: 1000,
Q: 1, gain: 1 });
var source;
var isPlaying = false;
var startTime = 0;
function UICallback() {
    biquadFilter.frequency.value = Frequency.value;
    biquadFilter.Q.value = Q.value;
    biquadFilter.gain.value = Gain.value;
    biquadFilter.type = Type.value;
    biquadFilter.getFrequencyResponse(Freqs, Mags, Phases);
    canvasContext.clearRect(0, 0, canvas.width, canvas.height);
    canvasContext.beginPath();
    for (let i = 0; i < nFreqs; ++i)
        canvasContext.lineTo(canvas.width * i / nFreqs,
canvas.height - Mags[i] * 90);
    canvasContext.strokeStyle = 'red';
    canvasContext.lineWidth = 2;
    canvasContext.stroke();
    playPause.onclick = () => {
        audioContext.resume().then(() => {
            if (isPlaying) {
                source.stop();
                playPause.textContent = "Play";
            } else {
                playAudio();
                playPause.textContent = "Pause";
            }
            isPlaying = !isPlaying;});
        function playAudio() {
            if (source) {source.stop();}
            source = audioContext.createBufferSource();
            source.buffer = audioBuffer;
            var currentTime = audioContext.currentTime;
            var offset = isPlaying ? currentTime - startTime : 0;
            source.connect(biquadFilter).connect(audioContext.destination);
            source.start(0, offset);
            startTime = currentTime - offset;
        }
        var audioBuffer;
        function loadAudioFile() {
            var fileInput = document.getElementById('audioFileInput');
            var selectedFileName =
document.getElementById('selectedFileName');
            if (fileInput.files.length > 0) {
                selectedFileName.textContent = 'Selected File: ' +
fileInput.files[0].name;
            } else {selectedFileName.textContent = '';}
            var file = fileInput.files[0];
            var reader = new FileReader();
            reader.onload = function (e) {
                audioContext.decodeAudioData(e.target.result, function (buffer) {
                    audioBuffer = buffer;
                    playPause.disabled = false;});});
            reader.readAsArrayBuffer(file);
        }
    }
}
```

Κώδικας 5-18 Ενδεικτικό απόσπασμα εργαλείου προσομοίωσης φίλτρων και αναπαραγωγέας ήχου
(Πηγή: Ιστότοπος [Web.Biquad.Filter](#), [BiQuad.Designer](#), [Biquad.Filter Node](#))

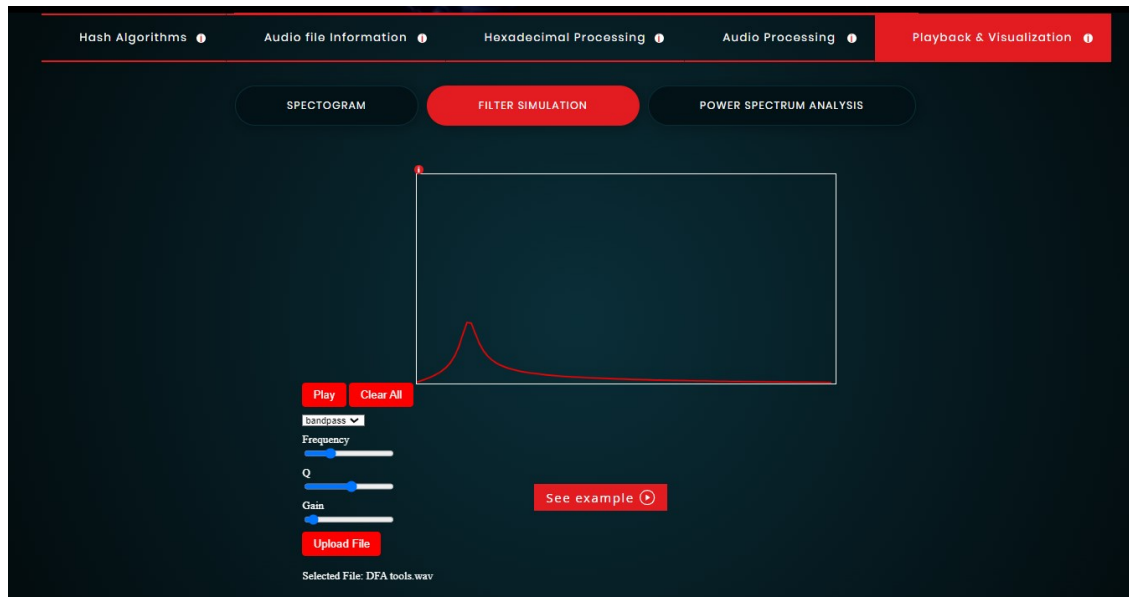
Στις εντολές του παραπάνω κώδικα (5-18) η συνάρτηση «loadAudioFile» χρησιμοποιείται για να φορτώσει έναν ήχο, από τη συσκευή του χρήστη και να τον αποκωδικοποιήσει για αναπαραγωγή. Έπειτα, δημιουργείται ένας αναπαραγωγέας ήχου και ένας καμβάς σχεδίασης για οπτικοποίηση, όπου με τη βοήθεια της συνάρτησης «playAudio» θα ξεκινήσει την αναπαραγωγή του ήχου με εικονική αναπαράσταση του εφαρμοσμένου φίλτρου. Επιπλέον, αρχικοποιεί πίνακες για την αποθήκευση συχνοτήτων, μεγεθών και φάσεων. Γενικότερα δημιουργεί έναν κόμβο «BiquadFilter» με παραμέτρους. Κατόπιν, ορίζεται μια συνάρτηση «UICallback» που ενημερώνει τις παραμέτρους του φίλτρου βάσει τις επιλογές εισόδου που έχει επιλέξει ο χρήστης και οπτικοποιεί την απόκριση συχνότητας.

Η συνάρτηση «clearAll» επαναφέρει την κατάσταση της εφαρμογής, συμπεριλαμβανομένου του καθαρισμού του καμβά, τη διακοπή της αναπαραγωγής και την εκκαθάριση του φορτωμένου αρχείου ήχου, για επαναχρησιμοποίηση του εργαλείου. Αναλυτικότερα, η συχνότητα (Frequency) αποτελεί ένα πεδίο εισόδου τύπου "range", που επιτρέπει στο χρήστη να ρυθμίσει τη συχνότητα του φίλτρου. Η τιμή του ξεκινά από 0 Hz και φτάνει έως 10 kHz, με προεπιλεγμένη τιμή στα 800 Hz. Κάθε φορά που ο χρήστης μετακινεί τον δείκτη επιλογής της συχνότητας, καλείται η συνάρτηση «UICallback()», που ενημερώνει το φίλτρο με τη νέα επιλεγόμενη τιμή.

Η παράμετρος (Q) στο πεδίο εισόδου, επιτρέπει στο χρήστη να ρυθμίσει την ποιότητα του φίλτρου. Η τιμή (Q), (πλάτος της απόκρισης συχνότητας του φίλτρου σε σχέση με την κεντρική συχνότητα), του μπορεί να είναι από -50 έως 50, με προεπιλεγμένη τιμή το 1. Κάθε φορά που ο χρήστης μετακινεί τον δείκτη, καλείται η συνάρτηση «UICallback()» για να ενημερώσει τις επιλεγόμενες τιμές για το φίλτρο. Όσον αφορά την παράμετρο του κέρδους (Gain), επιτρέπεται στο χρήστη να ρυθμίσει το κέρδος του φίλτρου. Οι τιμές του κινούνται από 1 έως 20 (αναπαριστούν τον παράγοντα ενίσχυσης ή μείωσης του ήχου που περνά από το φίλτρο), με προεπιλεγμένη την τιμή 1 (σημαίνει ότι δεν υπάρχει καμία αλλαγή στην ένταση του ήχου).

Για παράδειγμα, μια τιμή κέρδους 2 σημαίνει ότι ο ήχος θα ενισχυθεί κατά το διπλάσιο της αρχικής έντασης, ενώ μια τιμή κέρδους 0.5 σημαίνει ότι ο ήχος θα μειωθεί στο μισό της αρχικής έντασης. Κάθε φορά που ο χρήστης μετακινεί τον δείκτη, καλείται η συνάρτηση «UICallback()» για να πραγματοποιηθεί ενημέρωση του φίλτρου. Η επίτευξη σχεδιασμού του εν λόγω εικονικού φίλτρου υλοποιήθηκε με την βοήθεια του [Web.Audio.Api](https://www.audiolibrary.com/).

Στη παρακάτω εικόνα (5-44) απεικονίζεται το εργαλείο προσομοίωσης φίλτρων και αναπαραγωγής ήχου που διατυπώνεται με την χρήση των παραπάνω εντολών κώδικα.



Εικόνα 5-44 Εργαλείο προσομοίωσης φίλτρων και αναπαραγωγής ήχου

Εργαλείο εμφάνισης φάσματος συχνοτήτων ηχητικού αρχείου σε πραγματικό χρόνο

Το παρακάτω εργαλείο επιτρέπει στον χρήστη να ανεβάσει δύο αρχεία ήχου και να προβάλει το φάσμα συχνοτήτων τους σε πραγματικό χρόνο πατώντας το κουμπί "Upload File". Κατόπιν, το εργαλείο αναλύει το φάσμα του ήχου χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό Fourier (Real-Time Fourier Transform). Η συχνότητα και η ένταση του ήχου παρουσιάζονται ως γράφημα που δείχνει τη συχνότητα και την ένταση του ήχου για κάθε συχνότητα. Οι συχνότητες εμφανίζονται στον οριζόντιο άξονα του καμβά, ενώ η ένταση του ήχου σε κάθε συχνότητα εμφανίζεται στον αριστερό κάθετο άξονα. Η γραφική αναπαράσταση ενημερώνεται συνεχώς όταν ο ήχος αναπαράγεται. Συνολικά, το εργαλείο αυτό παρέχει μια εύκολη και οπτική αναπαράσταση του φάσματος συχνοτήτων μεταξύ δύο ηχητικών αρχείων για σύγκριση μεταξύ του περιεχομένου στο φάσμα των συχνοτήτων. Ο παρακάτω κώδικας (5-19) με εντολές "Javascript" που είναι διαθέσιμος στο Παράρτημα Γ (Αρχείο Power_Spectrum_Analysis.html) πραγματώνει τα παραπάνω προαναφερόμενα.

```
let sound;
let fft;
function setup() {
  createCanvas(windowWidth, windowHeight);
  fft = new p5.FFT();
}
function handleFileSelect() {
  const fileInput = document.getElementById('audioFileInput');
```

```
const file = fileInput.files[0];
if (file) {sound = loadSound(URL.createObjectURL(file), () => {
  sound.play();});}}
function draw() {background(0);if (sound && sound.isPlaying()) {
  const spectrum = fft.analyze();
  const powerSpectrum = spectrum.map((value, index) => map(index,
0, spectrum.length - 1, 0, width));
  stroke(255, 0, 0);
  strokeWeight(2);
  beginShape();
  for (let i = 0; i < powerSpectrum.length; i++) {
    let xPos = powerSpectrum[i];
    let yPos = map(spectrum[i], 0, 255, height, 0);
vertex(xPos, yPos);}endShape();
  stroke(255);
  strokeWeight(1);
  line(0, height, width, height);line(0, 0, 0, height);
  fill(255);
  textSize(12);
  textAlign(CENTER);for (let i = powerSpectrum.length - 1; i >= 0;
i -= Math.floor(powerSpectrum.length / 20)) {
    let freq = map(i, 0, powerSpectrum.length - 1, 20, 20000);
    let xPos = map(i, 0, powerSpectrum.length - 1, 0, width);
    let yPos = height - 20;
    text(freq.toFixed(0) + ' Hz', xPos, yPos);}fill(255);
  textSize(18);text('', width / 2, 20);textSize(12);
  text('Frequency (Hz)', width / 2, height + 30);fill(255);
  textSize(12);textAlign(RIGHT);text('dB', 10, 10);
  for (let i = 0; i <= 5; i++) {
    let yPos = map(i * height / 5, 0, height, height, 0);
    fill(255);
    textAlign(RIGHT);
    textSize(12);
    text(i * 20 + ' dB', width - 10, yPos)}}}
function windowResized() {resizeCanvas(windowWidth, windowHeight);}
```

Κώδικας 5-19 Ενδεικτικές εντολές εργαλείου αναλυτή φάσματος συχνοτήτων (Πηγή: Ιστότοπος [Web.Biquad.Filter](#), [BiQuad.Designer](#), [Biquad.Filter Node](#))

Το εν λόγω εργαλείο δημιουργήθηκε με τροποποίηση και επίκληση των παραδειγμάτων του κώδικα “JavaScript” ([libs/p5.js/1.4.0/p5.js](#), [addons/p5.sound.min.js](#)). Στον παραπάνω κώδικα (5-19) η εντολή «`setup()`» δημιουργεί έναν καμβά (canvas) χρησιμοποιώντας την εντολή «`createCanvas(windowWidth, windowHeight);`». Στην συνέχεια μέσω “FFT” (Fast Fourier Transform) με τη γραμμή «`fft = new p5.FFT();`» η “FFT” θα χρησιμοποιηθεί για να αναλύσει το φάσμα του ήχου και η εντολή «`handleFileSelect()`», εκτελείται όταν ο χρήστης επιλέγει ένα αρχείο ήχου. Φορτώνεται ο ήχος χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση «`loadSound()`» και αναπαράγεται το ηχητικό αρχείο όταν ολοκληρωθεί η φόρτωση του αρχείου. Με τη βοήθεια της εντολής «`draw()`» εκτελείται σε κάθε κύκλο ανανέωσης του καμβά και στην ουσία εμφανίζεται το φάσμα του ήχου στον καμβά με αντίστοιχο χρώμα και εμφάνιση ονόματος ανά αρχείο, με κόκκινο και μπλε χρωματισμό. Η

μέθοδος «analyze()» του αντικειμένου “FFT” χρησιμοποιείται για να αναλύσει το φάσμα του ήχου και να το απεικονίσει ως γράφημα πραγματικού χρόνου στον καμβά. Επισημαίνεται, πώς οι συχνότητες εμφανίζονται στον άξονα των “x” και η στάθμη έντασης του ήχου στον άξονα των “y”. Με τη χρήση της εντολής «vertex(xPos, yPos);», κάθε σημείο του φάσματος απεικονίζεται στον καμβά με τις συντεταγμένες (xPos, yPos). Ειδικότερα, η εντολή «const spectrum = fft.analyze();» χρησιμοποιεί τη μέθοδο «analyze()» του αντικειμένου “FFT” για να αναλύσει το φάσμα του ήχου που αναπαράγεται σε πραγματικό χρόνο. Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στον πίνακα “spectrum”. Έπειτα, με χρήση της εντολής «const powerSpectrum = spectrum.map((value, index) => map(index, 0, spectrum.length - 1, 0, width));» μετασχηματίζεται το φάσμα του ήχου σε ένα εύρος από 0 έως το εύρος του εμφανιζόμενου πλάτους του καμβά. Αυτό γίνεται για να μπορέσει η αναπαράσταση του φάσματος να γίνει σωστά στον καμβά. Η εντολή «stroke(255, 0, 0);» ορίζει το χρώμα της γραμμής που θα χρησιμοποιηθεί για την απεικόνιση του φάσματος του ήχου. Σε αυτή την περίπτωση, το χρώμα είναι κόκκινο με τη χρήση της εντολής «(RGB: 255, 0, 0)» ή αντίστοιχα μπλε για το δεύτερο αρχείο. Με τη χρήση της εντολής «strokeWeight(2);» ορίζεται το πάχος της γραμμής που θα χρησιμοποιηθεί για την απεικόνιση του φάσματος του ήχου. Σε αυτή την περίπτωση, το πάχος είναι 2 pixels. Η εντολή «beginShape();» ενεργοποιεί το σχήμα για την απεικόνιση του φάσματος του ήχου. Από την άλλη η εντολή for «(let i = 0; i < powerSpectrum.length; i++) { ... }», αποτελεί εντολή επανάληψης και διατρέχει τον πίνακα «powerSpectrum», ο οποίος περιέχει το μετασχηματισμένο φάσμα του ήχου.

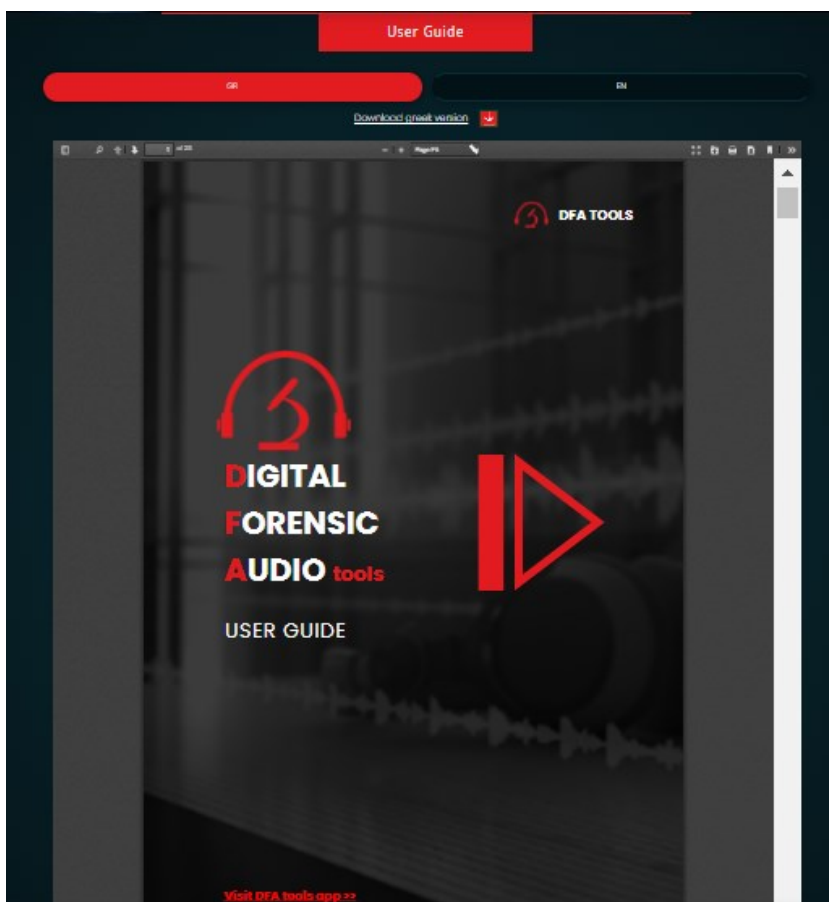


Εικόνα 5-45 Εργαλείο αναλυτή φάσματος συχνοτήτων ηχητικών αρχείων σε πραγματικό χρόνο

5.4 Δημιουργία εγχειριδίου χρήστη

Ο σχεδιασμός και η δημιουργία του εγχειριδίου χρήστη έγινε με τη χρήση του λογισμικού Adobe XD και ακολούθησε η εξαγωγή του αρχείου σε μορφή PDF η οποία υποστηρίζεται και από την πλατφόρμα WIX.

Το συγκεκριμένο λογισμικό επιτρέπει τη δημιουργία επικοινωνιακού υλικού με τη χρήση προτύπων, και τη διαμόρφωσή τους σύμφωνα με τις ανάγκες του υλικού προς σχεδίαση. Για το εγχειρίδιο δημιουργήθηκε ξεχωριστή σελίδα στον ιστότοπο της εφαρμογής με το όνομα **“User Guide”**, η οποία περιλαμβάνει tab (καρτέλες) για την ελληνική και την αγγλική εκδοχή του εγχειριδίου. Ο χρήστης έχει πρόσβαση στη σελίδα μέσω του μενού της αρχικής σελίδας, όπου το εγχειρίδιο ενσωματώθηκε με τη χρήση πλαισίου PDF viewer που παρέχει η πλατφόρμα Wix, η οποία δίνει τη δυνατότητα ανάγνωσης του εντύπου στη σελίδα, εκτύπωσης, και λήψης του αρχείου τοπικά στον υπολογιστή.



Εικόνα 5-46 Εγχειρίδιο χρήστη στη σελίδα User Guide

Οι σύνδεσμοι για τις δυο εκδόσεις του εγχειριδίου της εφαρμογής είναι διαθέσιμοι στο Παράρτημα Β.

5.5 Έλεγχος, διορθώσεις & δημοσίευση εφαρμογής

Κατά την εισαγωγή του κώδικα του συνόλου των εργαλείων, στην πλατφόρμα Wix, η κάθε ομάδα εργαλείων ελέγχθηκε ως προς τη μορφοποίηση και τη λειτουργικότητα. Σύμφωνα και με την ενότητα 4.1.1 του κεφαλαίου 4, όπου τίθενται κάποιοι περιορισμοί λειτουργικότητας της πλατφόρμας Wix, οι οποίοι σε θέματα μορφοποίησης, δεν επέτρεψαν τη δημιουργία περεταίρω βελτιώσεων σε θέματα μορφολογίας των εργαλείων διαμέσου κώδικα “css”. Λόγω των ιδιαίτερων περιορισμών αποτέλεσε μονόδρομο επιλογής ουδέτερων χρωμάτων και διαμόρφωσης στοιχείων γραμματοσειράς, μέγεθος πλήκτρων, στοίχισης κ.ά., μέσω των διαθέσιμων επιλογών της πλατφόρμας όπου φιλοξενήθηκε η εφαρμογή. Κάποιες ενδεικτικές διορθώσεις που έγιναν στον κώδικα για θέματα μορφοποίησης είναι:

- Αλλαγή χρώματος φόντου των εργαλείων. Το χρώμα φόντου των εργαλείων καθορίστηκε απευθείας από την πλατφόρμα Wix και όχι από εντολή μέσα στον κώδικα όπως αρχικά είχε επιλεχθεί, για λόγους συνοχής χρώματος των εργαλείων.
- Αλλαγή στοίχισης αντικειμένων, όπως π.χ. πινάκων, τίτλων κλπ., έγιναν μέσω του κώδικα από αριστερή σε κεντρική στοίχιση, και η τελική θέση των αντικειμένων / εργαλείων έγινε συνδυαστικά μέσω του κώδικα εργαλείου και του Wix, καθώς αυτό εξυπηρετούσε καλύτερα την απόκριση των σελίδων σε διαφορετικά μεγέθη desktop οθονών.

Όσον αφορά τη λειτουργικότητα των εργαλείων, έγιναν τροποποιήσεις στον κώδικα που αφορούσαν τον τρόπο παραγωγής των σχετικών αποτελεσμάτων, καθώς και των τρόπων αποθήκευσης και εξαγωγής τους από το χρήστη. Ορισμένα εργαλεία θα μπορούσαν να διαθέσουν αποτελέσματα για το σύνολο του αρχείου π.χ. εικόνα φασματογραφήματος για τη συνολική διάρκεια του αρχείου, ή την αποθήκευση μεταδεδομένων και ιδιοτήτων όπως και τιμών κατακερματισμού με τη χρήση συνδέσμου. Όμως λόγω περιορισμών του Wix, αυτό περιορίστηκε σε αποτελέσματα διαμόρφωσης των εργαλείων σε πραγματικού χρόνου επεξεργασίας και περισυλλογής των αποτελεσμάτων κατά βούληση του χρήστη.

Μετά από τις παραπάνω βελτιώσεις η εφαρμογή δημοσιεύθηκε στο δημόσιο και δωρεάν domain της πλατφόρμας Wix και κοινοποιήθηκε στο δείγμα για την έρευνα αξιολόγησης. Αυτό πραγματοποιήθηκε για να αντληθούν περαιτέρω προτάσεις προς βελτίωση των εργαλείων που διατίθενται προς αξιοποίηση στον χρήστη.

6 Αξιολόγηση

6.1 Μέθοδος συλλογής δεδομένων

Για την αξιολόγηση της εφαρμογής DFA tools ακολουθήθηκε ποσοτική μέθοδος συλλογής δεδομένων, και πιο συγκεκριμένα η Έρευνα κοινού, μέσω της αποστολής ηλεκτρονικού ερωτηματολογίου στο επιλεγμένο δείγμα.

Αυτή η μέθοδος, σύμφωνα με τον Denscombe (2010, σελ. 171), είναι η πιο ενδεδειγμένη μέθοδος προσέγγισης ενός ευρύτερου κοινού/χρηστών, χωρίς γεωγραφικό περιορισμό και με εξ αποστάσεως αλληλεπίδραση. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν με τη χρήση του ηλεκτρονικού ερωτηματολογίου αφορούν τις απόψεις των χρηστών για την παρούσα εφαρμογή.

Επιπλέον τα σχετικά κόστη δημιουργίας και αποστολής των ερωτηματολογίων με τη χρήση της ηλεκτρονικής τους μορφής είναι μηδενικά, συγκριτικά με άλλες μεθόδους συλλογής απόψεων όπως συνεντεύξεις, focus groups που αποτελούν ποιοτικές μεθόδους συλλογής δεδομένων (Denscombe, 2010, σελ. 172).

Το ερωτηματολόγιο που παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α σχεδιάστηκε για να αξιολογήσει τη συνολική εμπειρία χρήσης της εφαρμογής DFA tools από τους χρήστες, και διατίθεται στην αγγλική αλλά και την ελληνική γλώσσα.

Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας θα χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά για τις απαιτήσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας και προορίζονται μόνο για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Το ερωτηματολόγιο διαμοιράστηκε μέσω email στο επιλεγμένο δείγμα, κάτω από πλήρη ανωνυμία.

Το ερωτηματολόγιο περιλαμβάνει 21 ερωτήσεις ανοικτού τύπου/συμπλήρωσης και πολλαπλής επιλογής χωρισμένες σε τέσσερις (4) ενότητες. Η πρώτη ενότητα εστιάζει στην ικανοποίηση με το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής, η δεύτερη εστιάζει στην ικανοποίηση με τις λειτουργίες και την ευκολία χρήσης της εφαρμογής, η τρίτη στην ικανοποίηση με τα αποτελέσματα από τη χρήση της εφαρμογής και η τέταρτη ενότητα επιδιώκει να καταγράψει τα κοινωνικό-δημογραφικά χαρακτηριστικά των χρηστών.

Οι ερωτήσεις λαμβάνουν υπόψη τις απαιτήσεις του συστήματος και των δυνητικών χρηστών της εφαρμογής. Ο εκτιμώμενος χρόνος για τη συμπλήρωση αυτής της έρευνας είναι λιγότερο από 10 λεπτά.

Οι περισσότερες ερωτήσεις είναι κλειστού τύπου, με απαντήσεις πολλαπλής επιλογής, και κλίμακας/διαβάθμισης. Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτό το είδος ερωτήσεων ήταν η διευκόλυνση του αποκρινόμενου και η αποφυγή ακατάλληλων και μη σχετικών απαντήσεων.

Για την υλοποίηση αυτής της έρευνας, αξιοποιήθηκε η πλατφόρμα Google forms, καθώς αποτελεί ένα δωρεάν εργαλείο ανάπτυξης και αποστολής ηλεκτρονικού ερωτηματολογίου και καταγραφής των απαντήσεων. Η συλλογή των απαντήσεων ξεκίνησε την 15η Μαρτίου 2024 και ολοκληρώθηκε την 15η Απριλίου 2024. Ο συνολικός αριθμός των ερωτηθέντων ήταν 100 και ο συνολικός αριθμός των αποκρινόμενων ήταν 50.

Για την απάντηση του ερωτηματολογίου δεν απαιτήθηκαν προσωπικές πληροφορίες από το δείγμα. Απαντώντας σε αυτήν την έρευνα, ο ερωτώμενος συναίνεσε στη χρήση των απαντήσεων της έρευνας για τους σκοπούς αυτής της μελέτης, υπό πλήρη ανωνυμία και εχεμύθεια, ενώ διατηρεί το δικαίωμα να αποσύρει τη συγκατάθεσή του, επικοινωνώντας με τον ερευνητή μέσω email.

6.2 Δείγμα

Οι συμμετέχοντες αυτής της έρευνας ανήκουν στις ακόλουθες κατηγορίες: α) επιστημονικό προσωπικό και φοιτητές του ΕΑΠ στο τμήμα Ακουστικού σχεδιασμού και Ψηφιακού ήχου, β) σπουδαστές του ΔΙΕΚ Χαϊδαρίου στο τμήμα Μουσικής τεχνολογίας και ηχοληψίας, γ) Πραγματογνώμονες/Εμπειρογνώμονες σε εργαστήριο εξέτασης του ήχου καθώς και ερευνητές σε θέματα παραποίησης ήχου.

Οι ερωτώμενοι αποτέλεσαν ένα διερευνητικό δείγμα λόγω των εκπαιδευτικών σκοπών της παρούσας έρευνας και των χρονικών περιορισμών που την ακολούθησαν. Για τους χρονικούς περιορισμούς αυτής της έρευνας, στόχος ήταν να συλλεχθούν και να αναλυθούν πενήντα (50) απαντήσεις ώστε να αποκτηθούν τα επιθυμητά δεδομένα. Το λεπτομερές δημογραφικό προφίλ των ερωτηθέντων που συμμετείχαν θα περιγραφεί αναλυτικά στα ευρήματα αυτής της έρευνας.

Για τους σκοπούς εμπιστευτικότητας αυτής της έρευνας, οι συμμετέχοντες διαβεβαιώθηκαν ότι καμία πληροφορία που συλλέγεται μέσω αυτών των ερωτηματολογίων δε θα δημοσιοποιηθεί και δόθηκαν όλες οι απαραίτητες οδηγίες και πληροφορίες. Όλα τα στοιχεία των ερωτηθέντων χρησιμοποιήθηκαν μόνο για τους σκοπούς αυτής της έρευνας.

Κάθε ερωτώμενος πρέπει:

- Να είναι γνώστης του ευρύτερου πεδίου του Ήχου και της Ακουστικής
- Να έχει πρόσβαση σε σταθερό υπολογιστή ή laptop για τη χρήση της εφαρμογής
- Να έχει σύνδεση στο διαδίκτυο
- Να κατέχει βασική γνώση της αγγλικής γλώσσας
- Να απαντήσει σε αυτό το ερωτηματολόγιο ατομικά και υπεύθυνα

Η ανωνυμία των ερωτώμενων αυτής της έρευνας προστατεύεται βάσει σχεδιασμού.

6.3 Μέθοδος ανάλυσης δεδομένων

Για την ανάλυση των δεδομένων που θα συλλέχθηκαν από τα ερωτηματολόγια αξιολόγησης της εφαρμογής συνδυάστηκαν μέθοδοι ποσοτικής ανάλυσης (όπως η περιγραφική στατιστική) και ποιοτικής ανάλυσης (κατηγοριοποίηση/εννοιοποίηση).

Ο σκοπός της χρήσης αυτής της μεθόδου ανάλυσης δεδομένων ήταν να γίνει καλύτερη κατανόηση των απόψεων των συμμετεχόντων για το ερευνητικό πρόβλημα (Αξιολόγηση της εφαρμογής DFA tools) και το γεγονός ότι ο όγκος των δεδομένων που συλλέγονται με τη χρήση ενός διαδικτυακού ερωτηματολογίου είναι μεγάλος και μετρήσιμος.

Η Ποσοτική ανάλυση ήταν χρήσιμη για την καλύτερη οργάνωση, ανάλυση και ερμηνεία των απαντήσεων. Επιπλέον, το σύνολο των δεδομένων που ελήφθησαν από τους ερωτηθέντες αναλύθηκε ποιοτικά και υποβλήθηκε σε επεξεργασία με στατιστικές μεθόδους (Byrne, 2022).

Τα εργαλεία στατιστικής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν για αυτήν την έρευνα ήταν το Google forms, ένας διαδικτυακός δημιουργός ερωτηματολογίων, μέσω των οποίων δίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθούν έρευνες με πολλούς τύπους ερωτήσεων και ανάλυση αποτελεσμάτων σε πραγματικό χρόνο, καθώς και το Microsoft Office Excel, το οποίο είναι ένα πρόγραμμα λογισμικού υπολογιστικών φύλλων με δυνατότητες ανάλυσης και οπτικοποίησης. Οι στατιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν ήταν η Περιγραφική Στατιστική (Ποσοστά/Συχνότητες, Μέσοι όροι, Ταξινόμηση).

6.4 Ερευνητική δεοντολογία

Σε αυτή την έρευνα πληρούνται όλες οι βασικές αρχές των ερευνητικών πρακτικών οι οποίες καλύπτουν τις πτυχές της ερευνητικής δεοντολογίας, οι οποίες περιλαμβάνουν (Denscombe, 2010; Tracy, 2010):

- Εμπιστευτικότητα πληροφοριών
- Άδεια χρήσης δεδομένων
- Ευαισθησία δεδομένων
- Ανωνυμία
- Μη χρήση κατευθυνόμενων ερωτήσεων
- Συμπερίληψη της τοπικής νομοθεσίας
- Εθελοντική συμμετοχή

Προτού απαντήσουν το ερωτηματολόγιο οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν για το σκοπό αυτής της έρευνας, τη χρήση των δεδομένων τους, το βαθμό ανωνυμίας και εμπιστευτικότητας καθώς και το δικαίωμα να αποσύρουν τη συγκατάθεσή τους να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα τους για τους προαναφερόμενους σκοπούς.

6.5 Ανάλυση δεδομένων και αποτελέσματα έρευνας

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν μέσα από τις απαντήσεις των συμμετεχόντων στο Google forms εξήχθησαν στη μορφή .csv και επεξεργάστηκαν με την εφαρμογή MS Excel Datasheet. Αρχικά, όλες οι απαντήσεις εξετάστηκαν μεμονωμένα και ελέγχθηκαν για πιθανά σφάλματα και ανακρίβειες.

Στη συνέχεια, για κάθε ερώτηση αυτού του ερωτηματολογίου, δημιουργήθηκαν πίνακες συχνοτήτων και σχετικά γραφήματα οπτικοποίησης των πινάκων τα οποία θα παρουσιαστούν παρακάτω στα αποτελέσματα αυτής της έρευνας. Συγκεκριμένα για τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας χρησιμοποιήθηκαν τα εξής είδη γραφημάτων:

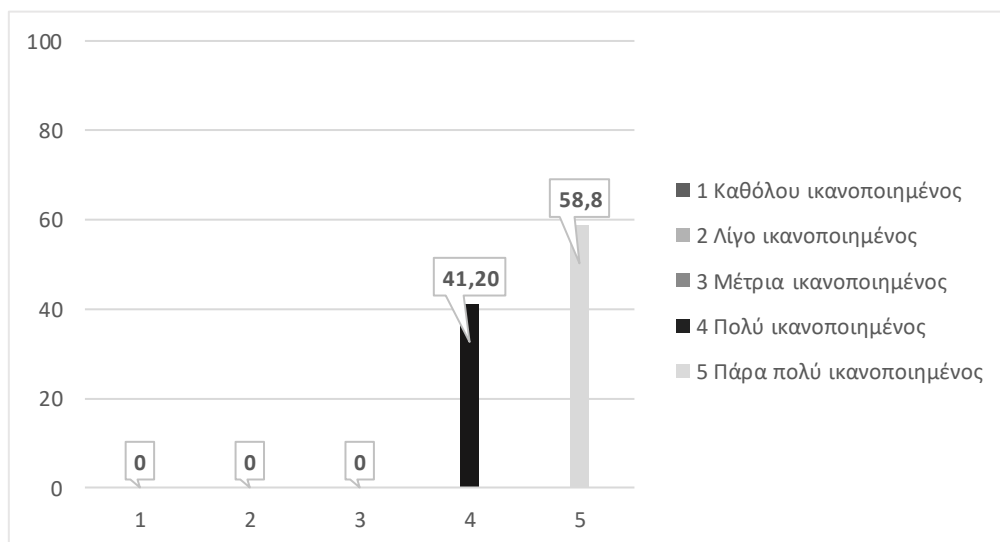
- *Διάγραμμα πίτας*: Ένα γράφημα πίτας είναι ίσως ο πιο περιγραφικός τρόπος παρουσίασης των ποσοτήτων ως ποσοστών μιας δεδομένης τιμής. Στην πραγματικότητα χρησιμοποιούνται για την παρουσίαση συχνοτήτων κατηγορικών δεδομένων.
- *Ραβδόγραμμα*: Χρησιμοποιείται είτε οριζόντια είτε κάθετα και επικεντρώνεται στην παρουσίαση κατηγορικών δεδομένων χωρίς έμφαση στο ποσοστό του συνόλου που αντιπροσωπεύει κάθε κατηγορία.

6.5.1 Ευρήματα

Οι απαντήσεις κάθε ερώτησης ομαδοποιήθηκαν και παρουσιάστηκαν σε γραφική μορφή, για να διευκολυνθεί η παρατήρηση, η ερμηνεία και η εξαγωγή συμπερασμάτων. Τα αποτελέσματα αυτής της πρώτης αρχικής ανάλυσης παρουσιάζονται παρακάτω:

Αξιολόγηση γραφικού περιβάλλοντος

Στη ερώτηση «Πόσο ικανοποιημένοι μείνατε από το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής» το σύνολο των συμμετεχόντων δήλωσε πολύ έως πάρα πολύ ικανοποιημένο με το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό της εφαρμογής όπως απεικονίζεται στο παρακάτω γράφημα της εικόνας (6-1).



Εικόνα 6-1 Ικανοποίηση με το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής DFA tools

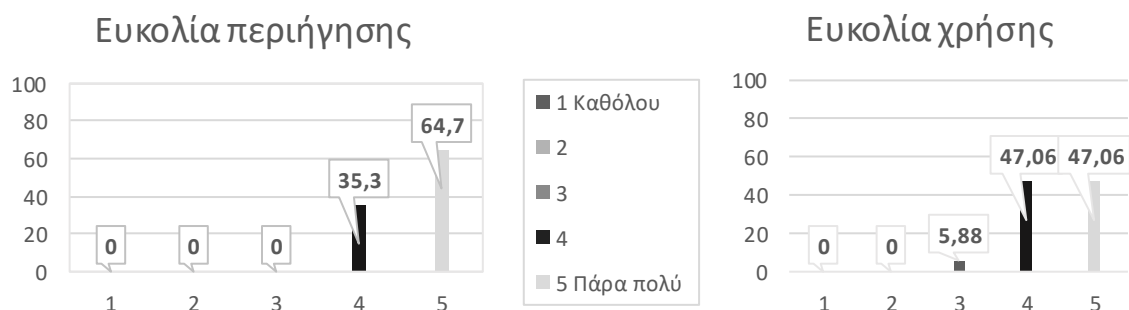
Όταν οι συμμετέχοντες ερωτήθηκαν αν υπάρχουν αλλαγές προς βελτίωση του γραφικού περιβάλλοντος της εφαρμογής, πάνω από το 50% αποκρίθηκε ότι δε θα επιθυμούσε καμία αλλαγή, ενώ ένα 10% τόνισε την ανάγκη καλύτερης απόκρισης της εφαρμογής σε κινητές συσκευές (responsiveness). Μεμονωμένες υπήρξαν επίσης και οι προτάσεις βελτίωσης ως προς την ομοιομορφία της γραμματοσειράς, ενοποίηση εργαλείων και στοίχιση στοιχείων στη σελίδα. Στο γράφημα της εικόνας (6-2) παρουσιάζεται το σύνολο των προτεινόμενων βελτιώσεων από τους ερωτηθέντες.



Εικόνα 6-2 Προτάσεις βελτίωσης του γραφικού περιβάλλοντος της εφαρμογής DFA tools

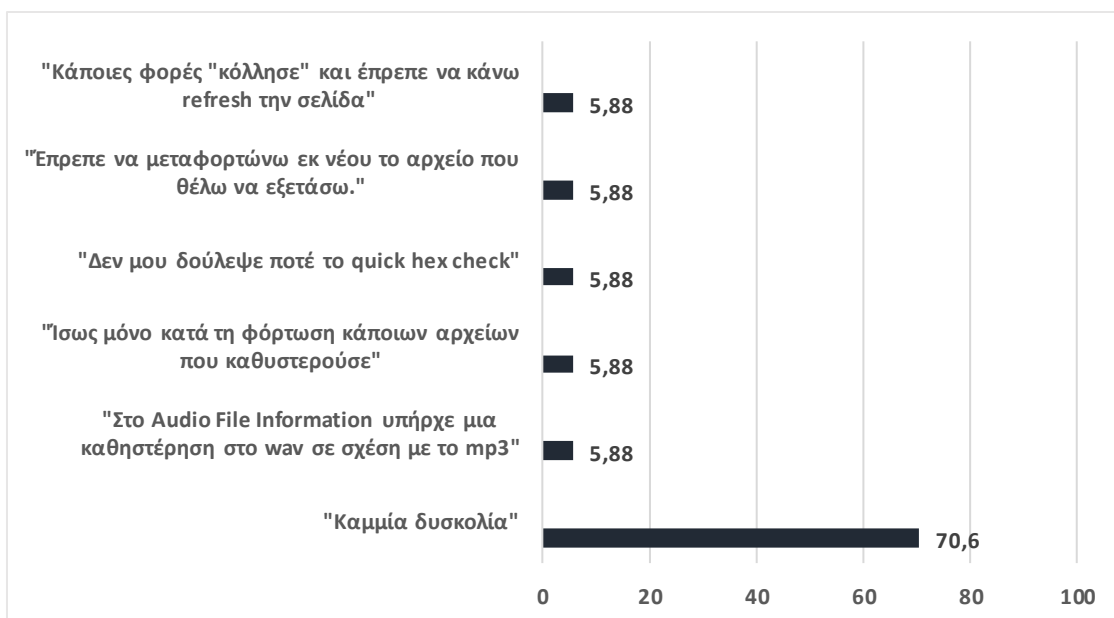
Λειτουργικότητα και ευκολία χρήσης της εφαρμογής

Οι συμμετέχοντες σε γενικές γραμμές βρήκαν εύκολη την περιήγηση τους στη σελίδα της εφαρμογής καθώς και τη χρήση των διαφόρων λειτουργιών της όπως είναι εμφανές στα παρακάτω γραφήματα της εικόνας (6-3).



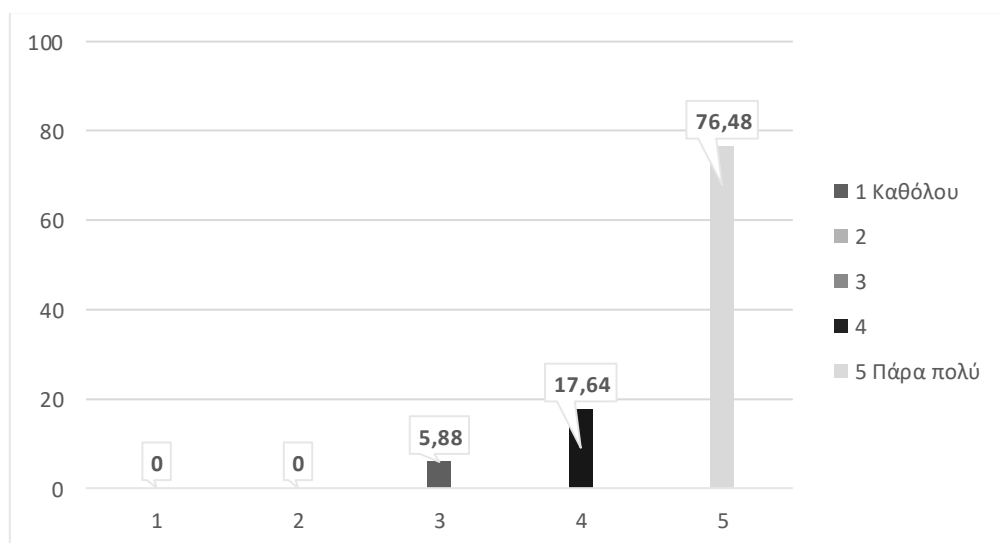
Εικόνα 6-3 Ικανοποίηση με την ευκολία περιήγησης και την ευκολία χρήσης των λειτουργιών της εφαρμογής DFA tools

Πάνω από το 70% των ερωτηθέντων δεν αντιμετώπισε κάποια δυσκολία κατά τη χρήση των διαφόρων λειτουργιών της εφαρμογής. Παρόλα αυτά ένα 30% περίπου δήλωσε ότι χρειάστηκε να διαχειριστεί προβλήματα καθυστέρησης φόρτωσης σελίδας ή αρχείων, επαναλαμβανόμενων ενεργειών που καλό θα ήταν να ενοποιηθούν, ή μη λειτουργία ενός εργαλείου και συγκεκριμένα του εργαλείου της ομάδας Audio processing QUICK-HEX-CHECK. Αναλυτικά τα αναφερόμενα προβλήματα παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα (6-4).



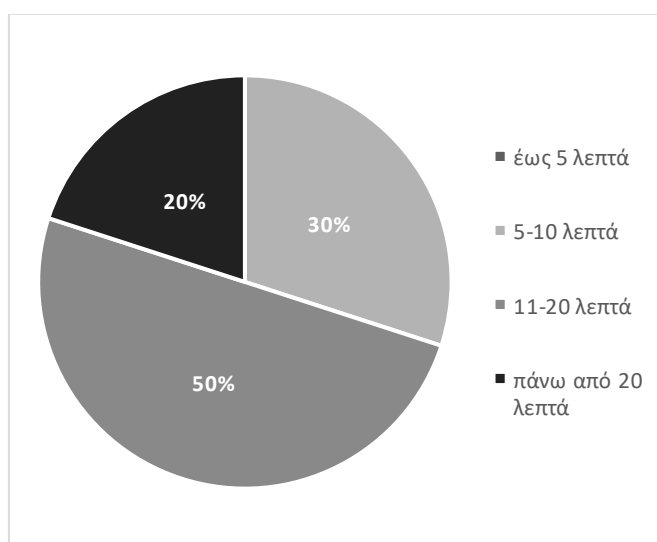
Εικόνα 6-4 Δυσκολίες κατά τη χρήση των λειτουργιών της εφαρμογής DFA tools

Σύμφωνα με το παρακάτω γράφημα της εικόνας (6-5) το σύνολο των συμμετεχόντων πιστεύει ότι η γλώσσα και τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στην οθόνη της εφαρμογής είναι κατανοητά.



Εικόνα 6-5 Κατανόηση της γλώσσας και τα συμβόλων που χρησιμοποιούνται στην οθόνη της εφαρμογής DFA tools

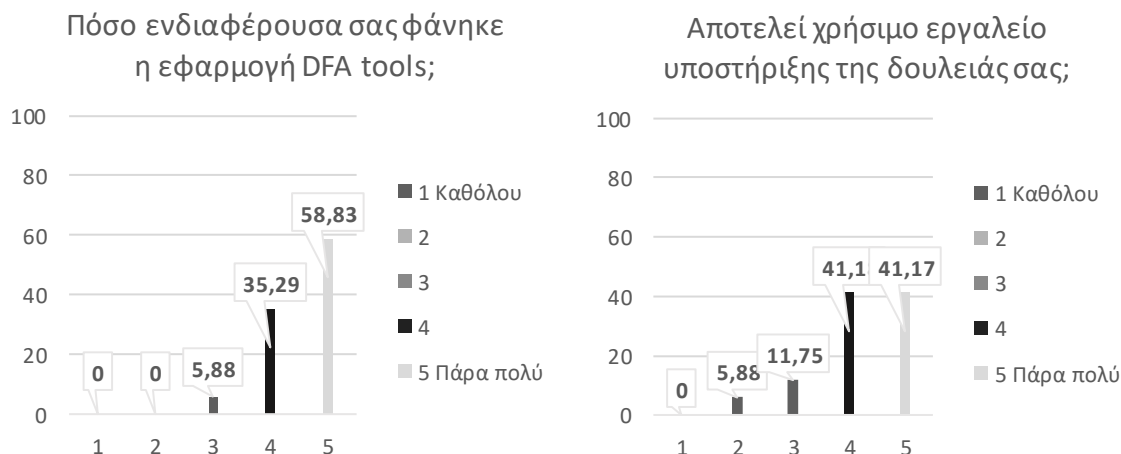
Μια ακόμη παρατήρηση αποτελεί ο χρόνος που αφιέρωσαν συνολικά οι συμμετέχοντες για την περιήγηση/εξοικείωση με τα εργαλεία της εφαρμογής. Στο παρακάτω γράφημα πίτας της εικόνας (6-6) γίνεται εμφανές ότι οι μισοί συμμετέχοντες χρειάστηκαν 11 με 20 λεπτά, το 30% δαπάνησε 5-10 λεπτά, και το ένα τέταρτο χρειάστηκε πάνω από 20 λεπτά για τη συγκεκριμένη διαδικασία.



Εικόνα 6-6 Χρόνος που αφιερώθηκε για την περιήγηση/εξοικείωση με την εφαρμογή DFA tools

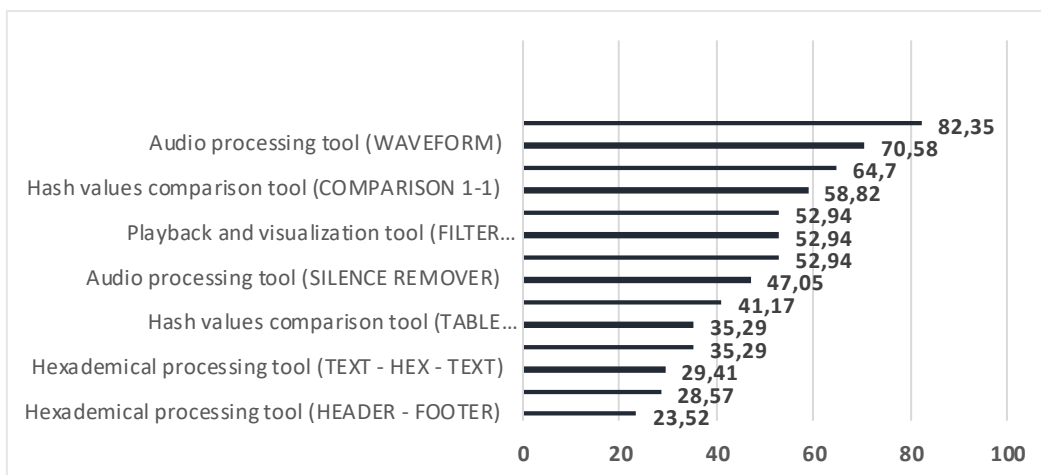
Αποτελέσματα επεξεργασίας

Στην ερώτηση «Πόσο ενδιαφέρουσα σας φάνηκε η παρούσα εφαρμογή;» οι συμμετέχοντες αποκρίθηκαν θετικά, ενώ η πλειοψηφία συμφωνεί ότι αποτελεί χρήσιμο εργαλείο υποστήριξης της δουλειάς τους, όπως απεικονίζεται και στα παρακάτω γραφήματα της εικόνας (6-7).



Εικόνα 6-7 Αξιολόγηση της εφαρμογής DFA tools

Παρακάτω ακολουθεί η προτίμηση των ερωτηθέντων σχετικά με τα εργαλεία της εφαρμογής που κατά τη δική τους άποψη θεωρούν περισσότερο χρήσιμα. Στο παρακάτω γράφημα της εικόνας (6-8) παρατηρείται ότι οι συμμετέχοντες βρίσκουν μεγαλύτερη χρησιμότητα στα εργαλεία 1. Οπτικοποίησης φασματογραφήματος (Spectrogram), 2. Εμφάνισης μονοφωνικής κυματομορφής ηχητικού αρχείου με και χωρίς τη σιγή (Waveform) και 3. Στο εργαλείο αναγνώρισης ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου μορφής .wav και .mp3.



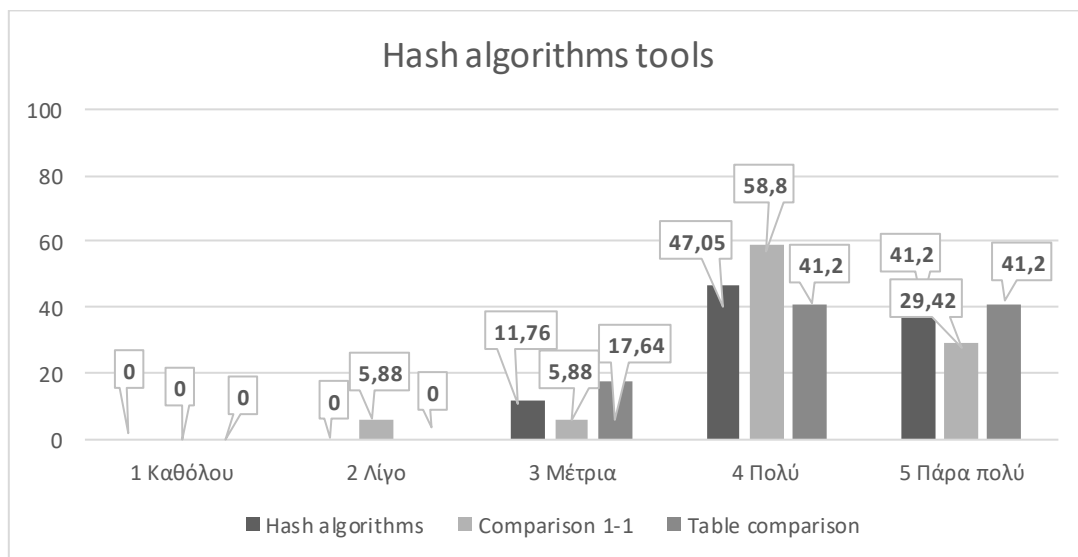
Εικόνα 6-8 Χρησιμότητα των εργαλείων της εφαρμογής DFA tools

Τη μικρότερη χρησιμότητα βρίσκουν στο εργαλείο εντοπισμού κεφαλίδας και τέλους δεκαεξαδικού κώδικα ηχητικού αρχείου (Header-Footer).

Παρακάτω ακολουθεί η ικανοποίηση του κοινού με καθένα από τα εργαλεία της εφαρμογής DFA tools:

- **Ομάδα εργαλείων υπολογισμού αλγόριθμων κατακερματισμού**

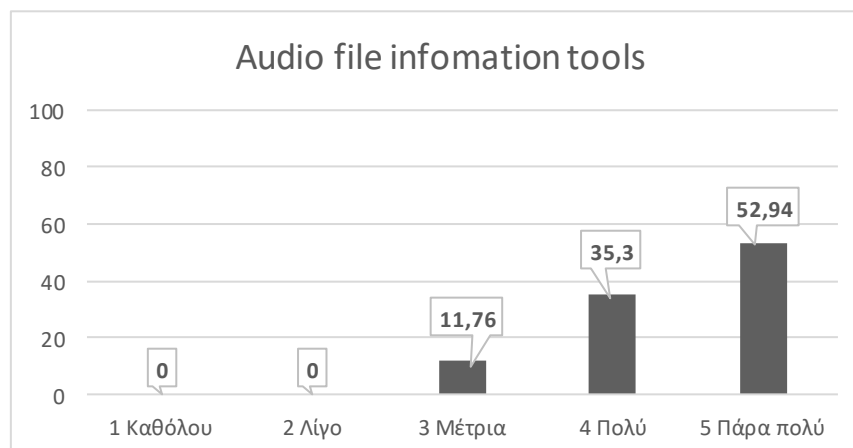
Στο ακόλουθο διάγραμμα της εικόνας (6-9) είναι προφανής η σχετική ικανοποίηση με όλα τα εργαλεία της ομάδας υπολογισμού αλγόριθμων κατακερματισμού.



Εικόνα 6-9 Ικανοποίηση με τα εργαλεία 'Hash algorithms tools'

- **Ομάδα εργαλείων αναγνώρισης ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου .wav & .mp3**

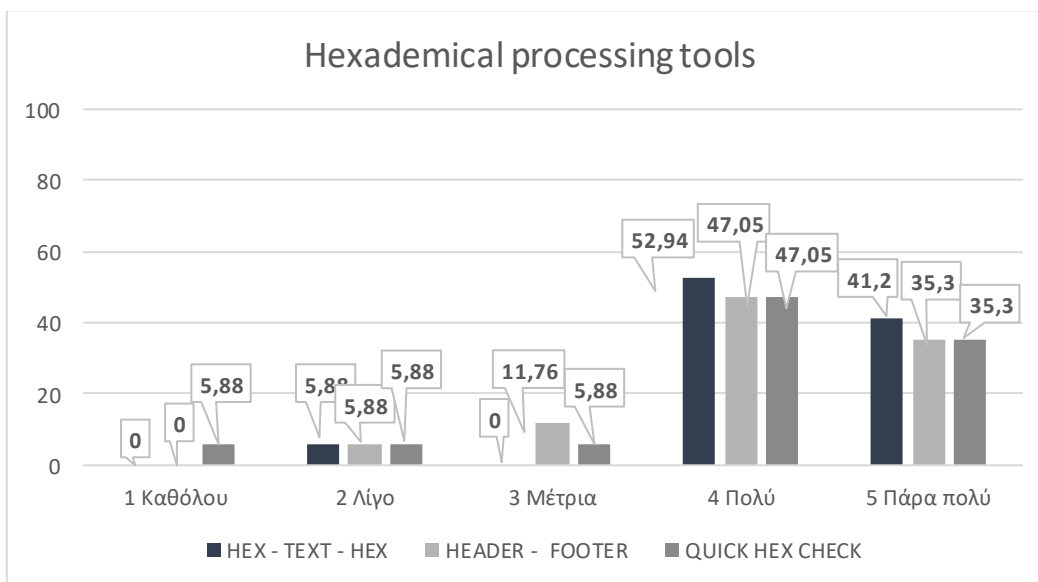
Ομοίως το εργαλείο αναγνώρισης ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου μορφής .wav & .mp3 φαίνεται να ικανοποίησε την πλειοψηφία των συμμετεχόντων.



Εικόνα 6-10 Ικανοποίηση με τα εργαλεία 'Audio file information tools'

- Ομάδα εργαλείων επεξεργασίας δεκαεξαδικών δεδομένων

Σε μεγάλο ποσοστό περίπου 90% των ερωτηθέντων έμειναν ικανοποιημένοι με τα εργαλεία της ομάδας επεξεργασίας δεκαεξαδικών δεδομένων. Ένα ποσοστό 10-20% να αξιολογεί αρνητικά το εργαλείο εντοπισμού κεφαλίδας και τέλους δεκαεξαδικού κώδικα ηχητικού αρχείου (Header – Footer). Ομοίως και για το γρήγορου ελέγχου κεφαλίδας και τέλους σε δεκαεξαδικό αριθμητικό σύστημα (Quick Hex Check). Στο παρακάτω γράφημα (6-11) συνοψίζεται η ικανοποίηση για όλα τα εργαλεία της συγκεκριμένης ομάδας.

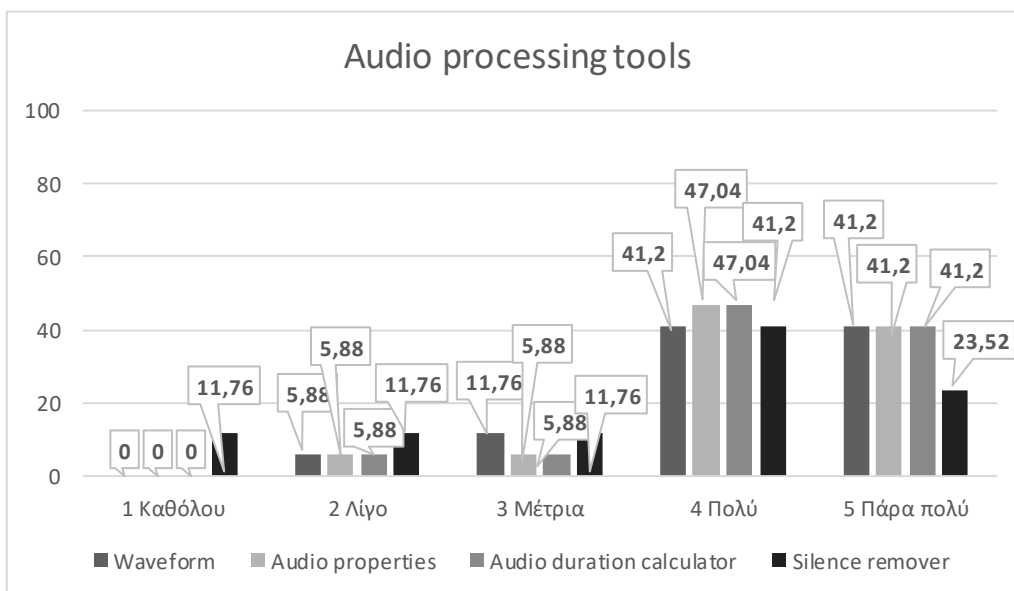


Εικόνα 6-11 Ικανοποίηση με τα εργαλεία 'Hexademical processing tools'

- Ομάδα εργαλείων επεξεργασίας ηχητικών αρχείων

Στη συγκεκριμένη ομάδα εργαλείων παρατηρείται μεγαλύτερο ποσοστό μη ικανοποίησης στο εργαλείο αφαίρεσης σιγής (Silence remover) από ηχητικό αρχείο, ενώ η συνολική εικόνα παραμένει θετική.

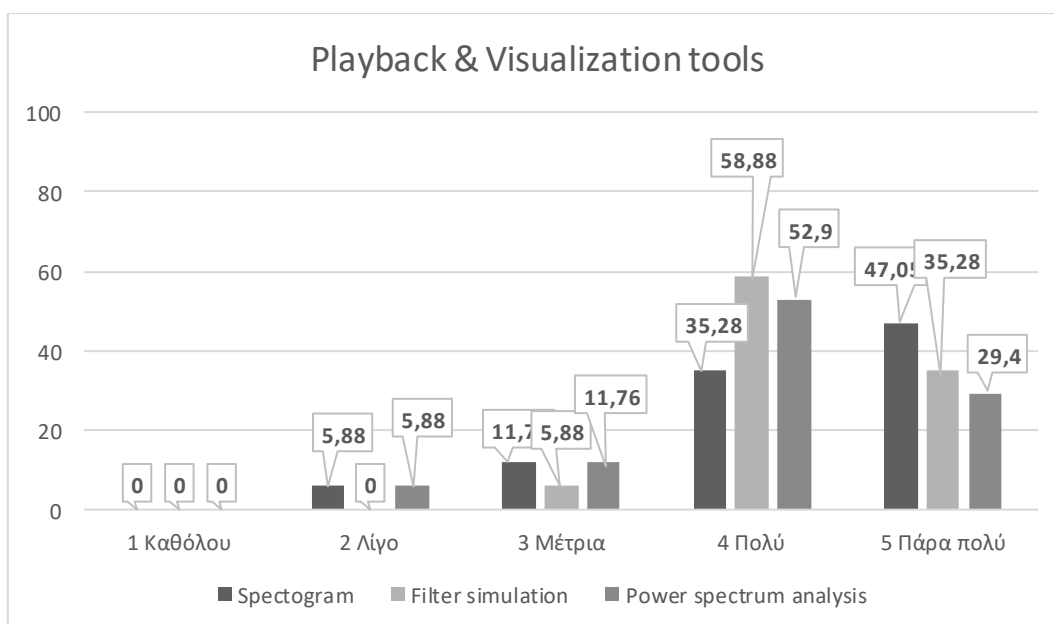
Μεγαλύτερη ικανοποίηση, όπως φαίνεται από την εικόνα (6-12), έλαβαν από τα εργαλεία μετατροπής ιδιοτήτων ηχητικού αρχείου (Audio properties) και υπολογισμού χρονικών διαρκειών ενός ηχητικού αρχείου με και χωρίς τη σιγή (Audio duration calculator).



Εικόνα 6-12 Ικανοποίηση με τα εργαλεία 'Audio processing tools'

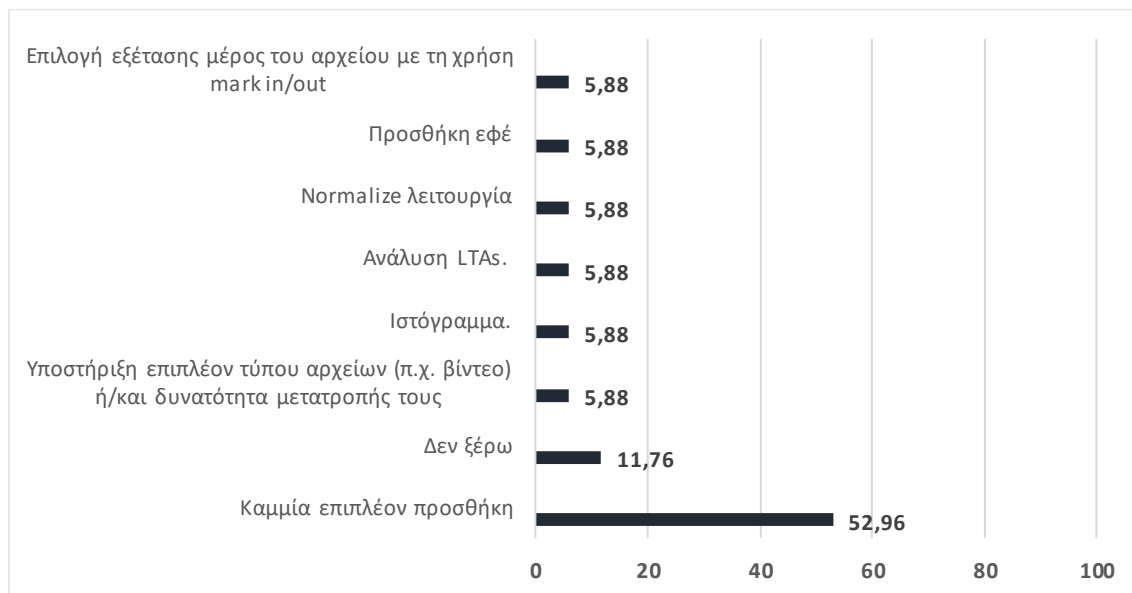
- Ομάδα εργαλείων αναπαραγωγής και οπτικοποίησης ηχητικών αρχείων

Το εργαλείο προσομοίωσης φίλτρων κατά την αναπαραγωγή αξιολογήθηκε θετικότερα συγκριτικά με τα άλλα δυο εργαλεία αναπαραγωγής και οπτικοποίησης ηχητικών αρχείων. Συνολικά, ένα ποσοστό περίπου 20% δήλωσε μη ικανοποιημένο ή μέτρια ικανοποιημένο με τα εργαλεία οπτικοποίησης φασματογραφήματος (spectrogram) και εμφάνισης φάσματος συχνοτήτων ηχητικού αρχείου σε πραγματικό χρόνο (power spectrum analysis).



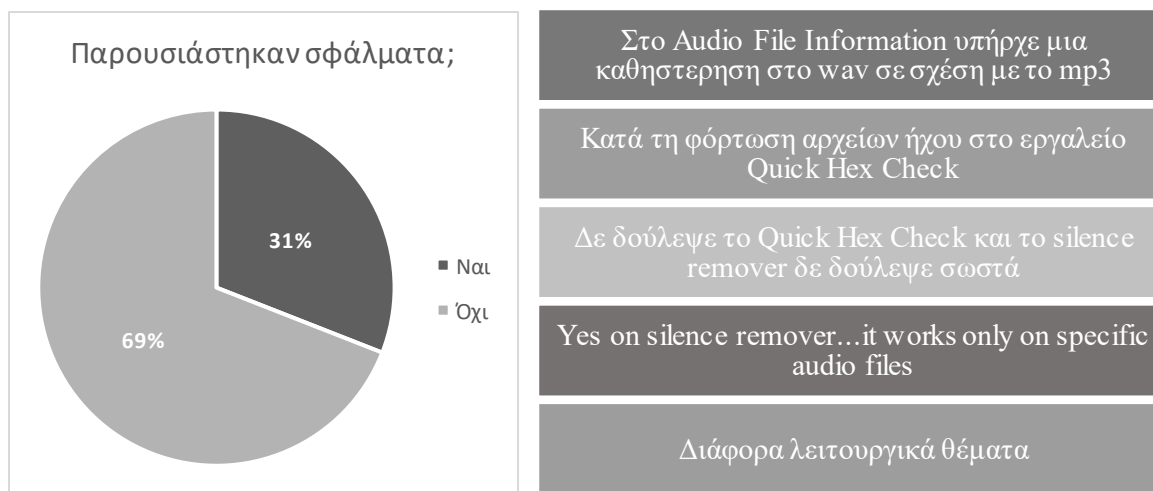
Εικόνα 6-13 Ικανοποίηση με τα εργαλεία 'Playback & Visualization tools'

Στην ερώτηση «εάν θα προσθέτατε επιπλέον λειτουργίες, ποιες θα ήταν;» συγκεντρώνονται στην εικόνα (6-14) οι ακόλουθες παρατηρήσεις. Πάνω από τους μισούς συμμετέχοντες δε θα έκαναν κάποια επιπλέον προσθήκη στις λειτουργίες της εφαρμογής, ενώ μέρος αυτών προτείνει επέκταση των υπάρχουσών λειτουργιών με τα παρακάτω χαρακτηριστικά.



Εικόνα 6-14 Ανάγκη για επιπλέον λειτουργίες εντός της εφαρμογής DFA tools

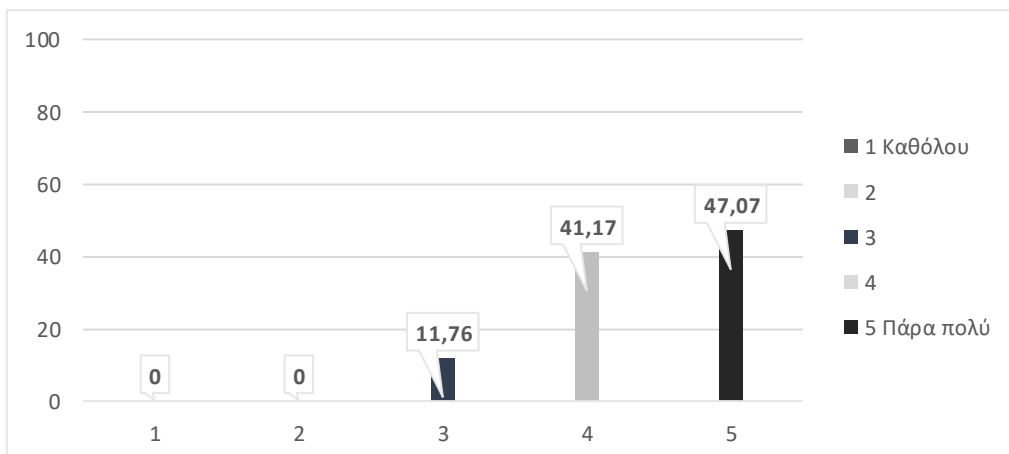
Λιγότερο από το 1/3 των ερωτηθέντων δήλωσε ότι παρουσιάστηκαν σφάλματα κατά τη χρήση των εργαλείων της εφαρμογής. Τα αναφερόμενα σφάλματα παρουσιάζονται στην ακόλουθη εικόνα (6-15).



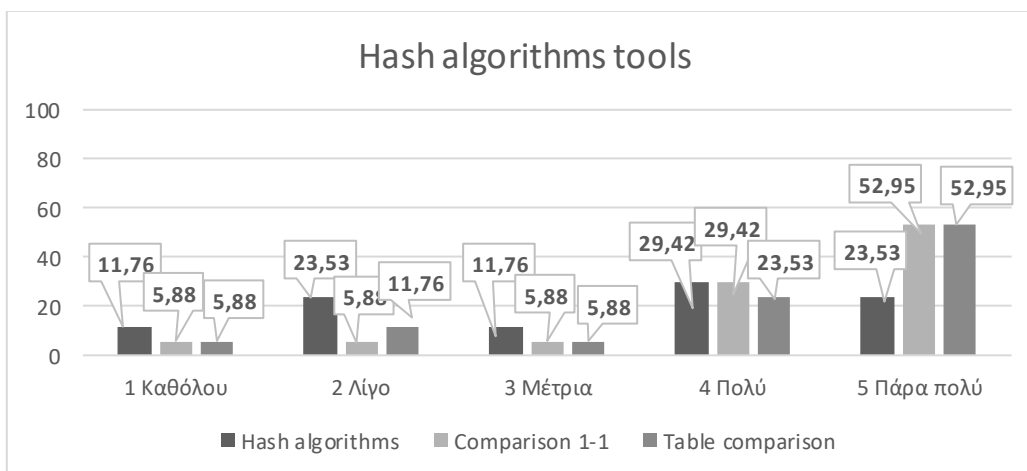
Εικόνα 6-15 Σφάλματα κατά τη χρήση της εφαρμογής DFA tools

Οι περισσότεροι συμμετέχοντες συμφωνούν ότι τα αποτελέσματα από την επεξεργασία κάθε εργαλείου ανταποκρίνονται ορθά στις απαιτούμενες πληροφορίες (βλ. εικόνα 6-16),

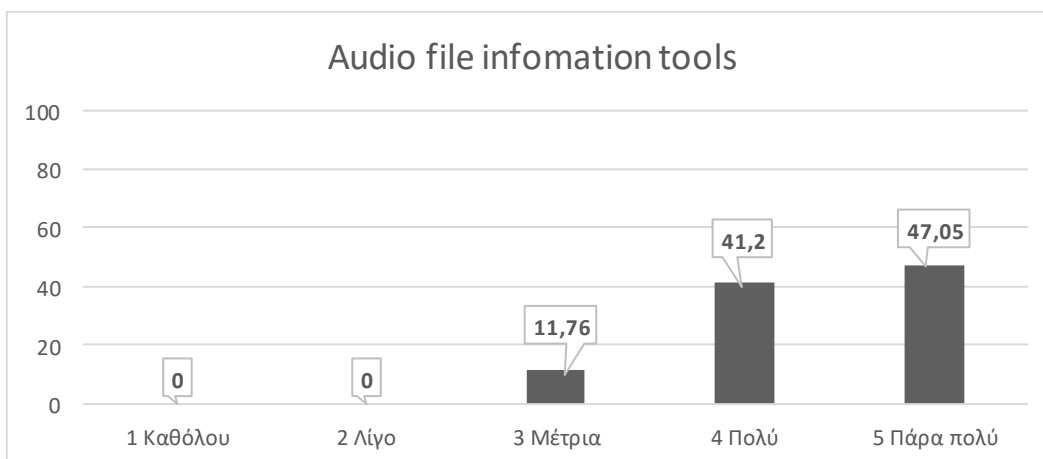
ενώ στις εικόνες από (6-17) έως και (6-21) απεικονίζεται ο βαθμός δυνητικής αξιοποίησης των αποτελεσμάτων του κάθε εργαλείου για τις ανάγκες της εργασίας τους.



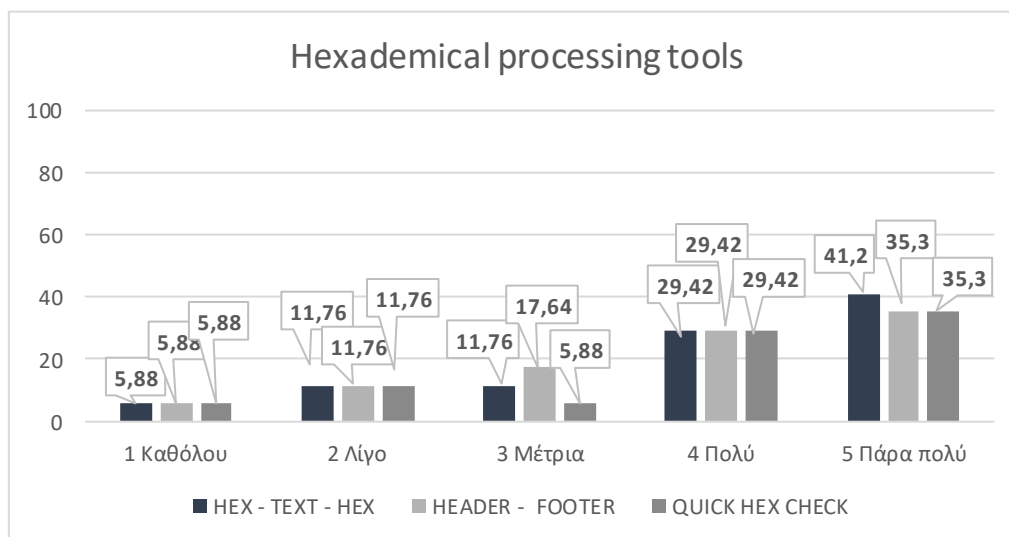
Εικόνα 6-16 Αξιολόγηση απόκρισης των εργαλείων της εφαρμογής DFA tools



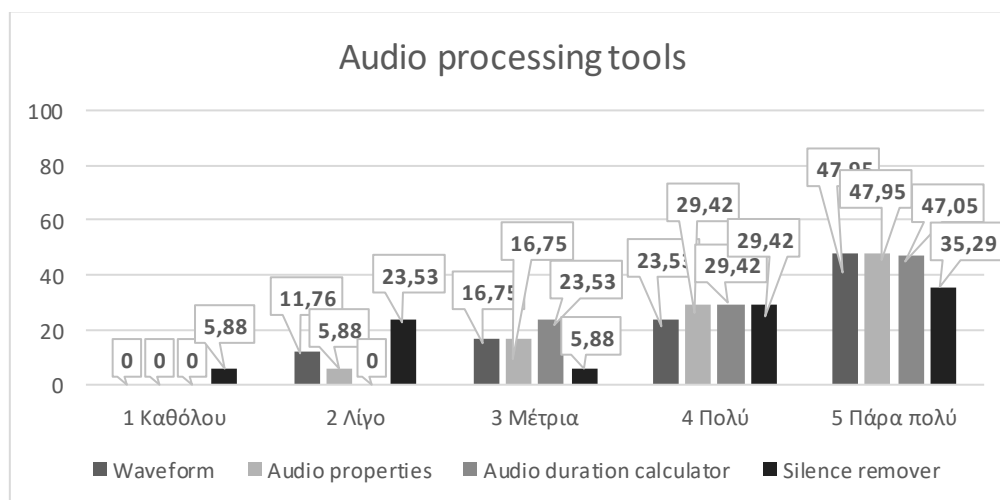
Εικόνα 6-17 Δυνητική αξιοποίηση 'Hash algorithms tools'



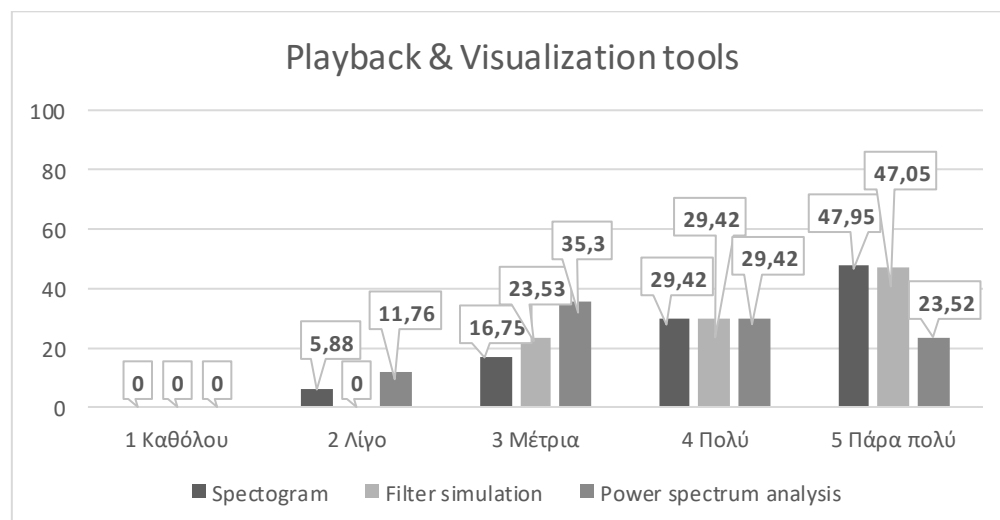
Εικόνα 6-18 Δυνητική αξιοποίηση 'Audio file information tools'



Εικόνα 6-19 Δυναμική αξιοποίηση 'Hexadecimal processing tools'

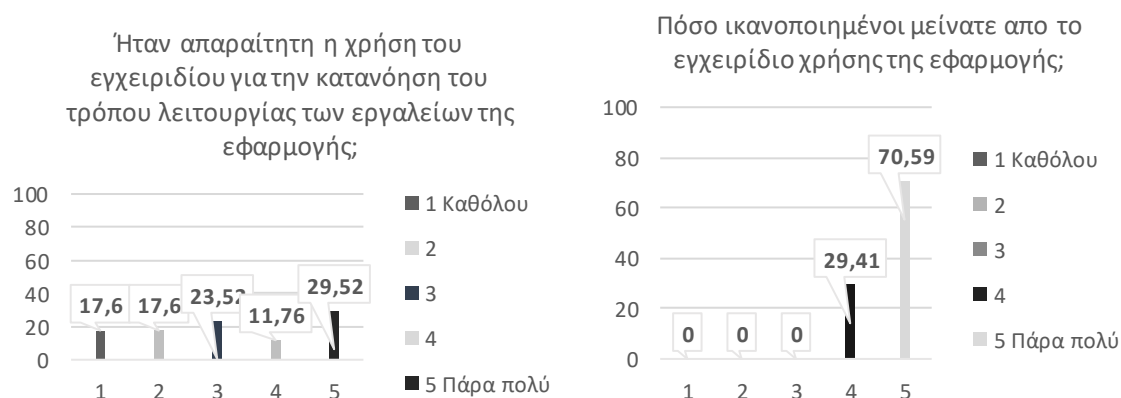


Εικόνα 6-20 Δυναμική αξιοποίηση 'Audio Processing tools'



Εικόνα 6-21 Δυναμική αξιοποίηση 'Playback & Visualization tools'

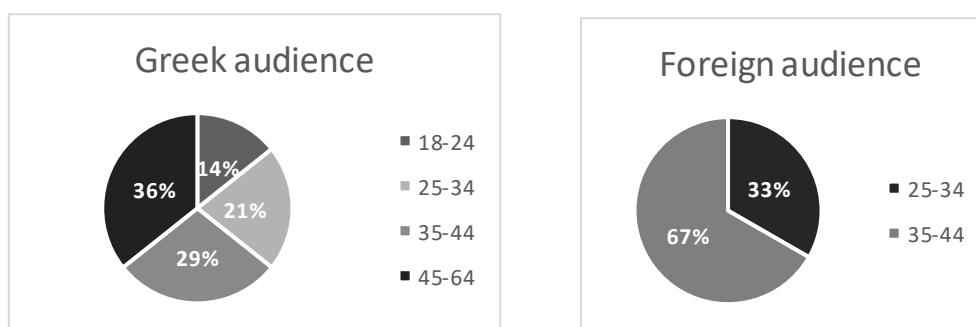
Τέλος στην ερώτηση αν κρίθηκε απαραίτητη η χρήση του εγχειριδίου για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των εργαλείων της εφαρμογής, οι απαντήσεις των ερωτώμενων ποικίλουν όπως γίνεται εμφανές και στην εικόνα (6-22), παρόλα αυτά το σύνολο των συμμετεχόντων δήλωσε πολύ ικανοποιημένο με το παραπάνω εγχειρίδιο.



Εικόνα 6-22 Αξιολόγηση εγχειριδίου εφαρμογής DFA tools

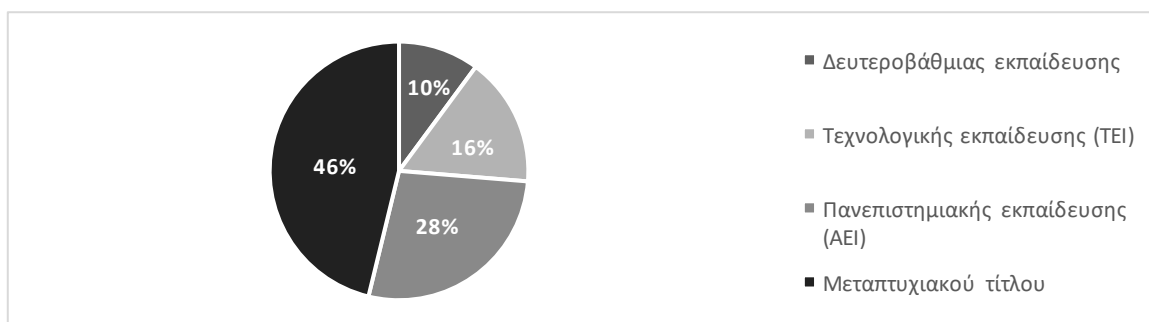
Δημογραφικά

Ηλικιακό γκρουπ:



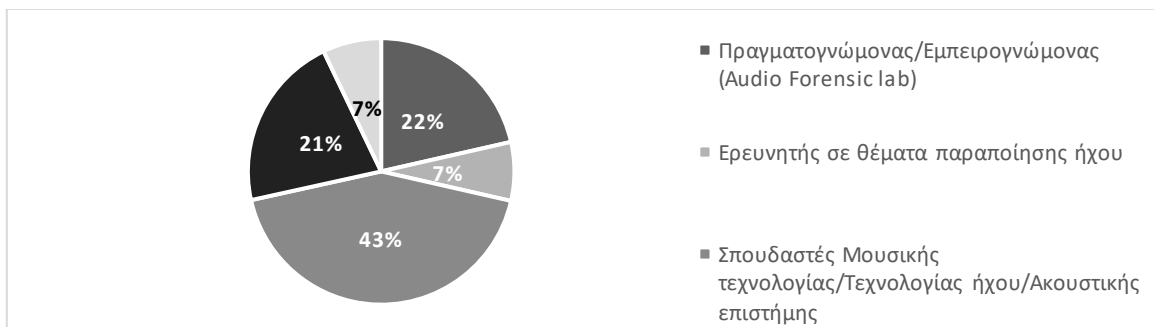
Εικόνα 6-23 Ηλικιακό γκρουπ

Μορφωτικό επίπεδο:



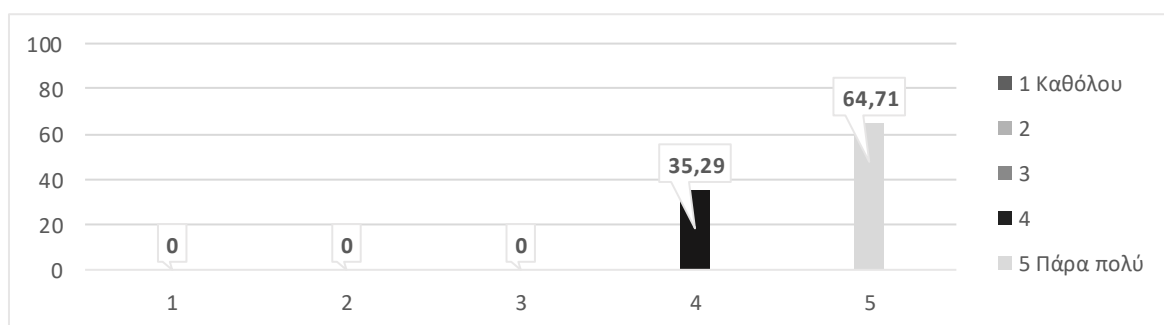
Εικόνα 6-24 Μορφωτικό επίπεδο

Πεδίο ενασχόλησης:



Εικόνα 6-25 Πεδίο ενασχόλησης

Εξοικείωση με τη χρήση Η/Υ:



Εικόνα 6-26 Εξοικείωση με τη χρήση Η/Υ

Παρατηρήσεις

Οι συμμετέχοντες σε αυτή την έρευνα αξιολόγησαν συνολικά θετικά το περιβάλλον, την περιήγηση, τη χρήση και τις επιμέρους λειτουργίες της εφαρμογής DFA tools. Σημαντική επισήμανση που μπορεί να φανεί χρήσιμη στη βελτίωση και την εξέλιξη της εφαρμογής είναι η διάσταση της απόκρισης της εφαρμογής και σε κινητές συσκευές (responsiveness). Αυτό μπορεί να επιλυθεί μέσα από την ίδια την πλατφόρμα Wix, προσαρμόζοντας το περιεχόμενο των σελίδων ξεχωριστά για κάθε είδος οθόνης (mobile, desktop, tablet κλπ.). Προβλήματα καθυστέρησης στη φόρτωση σελίδων οφείλονται στην υποδομή της συγκεκριμένης πλατφόρμας που φιλοξενεί την εφαρμογή. Επιπλέον καλό θα ήταν να ληφθούν υπόψη προτάσεις όπως ενοποίηση εργαλείων, κοινή φόρτωση αρχείου και δυνατότητα χρήσης του από όλα τα εργαλεία. Το γεγονός ότι οι χρήστες έδειξαν μεγαλύτερη προτίμηση σε εργαλεία που παρέχουν δυνατότητες οπτικοποίησης είναι κάτι που επίσης είναι σημαντικό να συμπεριληφθεί σε μελλοντικό επανασχεδιασμό της εφαρμογής.

7 Συμπεράσματα

7.1 Αποτελέσματα: Παραδοτέα και γενικά συμπεράσματα της εργασίας

Η παρούσα εργασία είχε ως στόχο να παρουσιάσει το σύνολο των τεχνικών που χρησιμοποιούνται πρακτικά για τον έλεγχο αυθεντικότητας των ψηφιακών αρχείων ήχου και την περαιτέρω ανάπτυξη των επιμέρους μεθοδολογιών για τον εντοπισμό φαινομένων παραποίησης, με τη χρήση εργαλείων ανοιχτού κώδικα ή λογισμικών εμπορικού σκοπού. Επιπλέον έγινε προσπάθεια ανάπτυξης διαδικτυακής εφαρμογής ανοικτού κώδικα, που θα παρέχει συγκεντρωτικά μέρος των απαιτούμενων εργαλείων, λειτουργώντας υποστηρικτικά είτε σε ακουστικό επίπεδο στο περιεχόμενο αρχείων ήχου, είτε εξαγωγής χαρακτηριστικών, ιδιοτήτων και δεδομένων σε θέματα παροχής πληροφοριών κ.ά. Επιπρόσθετα, μέσα στις τεχνικές δημιουργήθηκαν και σενάρια κώδικα για πιο γρήγορη και αυτοματοποιημένη ανάλυση και εφαρμογή των τεχνικών εντοπισμού παραποίησης και εξαγωγής πληροφοριών. Επισημαίνεται πως οι εν λόγω τεχνικές βρίσκουν εφαρμογή σε διάφορες μορφές ηχητικών αρχείων, όπως βρίσκουν και τα εργαλεία της εφαρμογής εξαγωγής τιμών κατακερματισμού (Hash values). Οι διάφορες τεχνικές που αξιοποιούνται και παρουσιάστηκαν στην παρούσα εργασία μπορούν συνδυαστικά μεταξύ τους να αποδώσουν, κατά τον πρακτικό έλεγχο, ασφαλή συμπεράσματα και αποδείξεις για τυχόν παραποίηση, επεξεργασία ή συρραφή σε μία εγγραφή. Για πιο ασφαλή και αξιόπιστα συμπεράσματα, συστήνεται η συνδυαστική εφαρμογή του συνόλου των τεχνικών, εκτός και εάν είναι κάτι αδιαμφισβήτητο και προφανές και εντοπίζεται μεμονωμένα. Επιπλέον, διαπιστώνεται η αναγκαιότητα του εξεταστή ή αλλιώς εμπειρογνώμονα σε θέματα τεχνογνωσίας και εφαρμογής στην πράξη, στον τομέα που σχετίζεται με την ηχητική ή ακουστική επιστήμη και τις εγκληματολογικές προσεγγίσεις. Κοινώς, αποτελεί τον κύριο αναλυτή των αποτελεσμάτων, ανεξαρτήτως του διαθέσιμου εξοπλισμού, ειδικών εφαρμογών, και της διαθέσιμης τεχνολογίας, καθώς η κριτική ακρόαση (Critical Listening) και ο οπτικός έλεγχος στο περιεχόμενο των ηχητικών αρχείων αποτελεί αδιαμφισβήτητά τον βασικό πυλώνα εξαγωγής, ερμηνείας και εντοπισμού παραποιήσεων που μπορεί να έχουν υποστεί τα αρχεία, μέχρι και σήμερα συνδυαστικά με το επίπεδο κατάρτισης του εξεταστή.

7.2 Συνεισφορά εργασίας

Η παρούσα εργασία αναδεικνύει τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε παγκόσμιο επίπεδο στην δικανική επιστήμη του ήχου (Audio Forensics), καθώς στον ελλαδικό χώρο οι κύριες τεχνικές που χρησιμοποιούνται περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό σε βασικές τεχνικές τοπικών αναλύσεων (Local Analysis) που επίσης αναλύθηκαν εκτενώς. Η χρήση τόσο των τοπικών (Local) αλλά και των καθολικών (Global) τεχνικών, λειτουργεί συμπληρωματικά καθώς αλληλοπεριχωρούνται επιφέροντας πιο ασφαλή και έγκυρα συμπεράσματα σε θέματα που σχετίζονται με την αυθεντικότητα των ψηφιακών ηχητικών αρχείων, καθώς η συνεισφορά της ΔΕ απευθύνεται ιδιαίτερα στον τομέα της δικανικής επιστήμης του ήχου (Audio Forensics) και την ψηφιακή επεξεργασία του ήχου.

Επιπρόσθετα, εισάγεται η χρησιμότητα γλώσσας προγραμματισμού σε επίπεδο επεξεργασίας του ήχου και συλλογής πληροφοριών κατά την εγκληματολογική προσέγγιση του ήχου, καθώς διάφορες τεχνικές, όπως η εξαγωγή και ανάλυση συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF) είναι αδύνατον να εφαρμοστεί χωρίς την χρήση κώδικα στο ακέραιο.

Η πιλοτική εφαρμογή που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας αποτελεί ένα προτεινόμενο εργαλείο προς περαιτέρω ανάπτυξη που θα συγκεντρώνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με τις ιδιότητες, το ψηφιακό δακτυλικό αποτύπωμα και τον ακουστικό έλεγχο κ.ά., και θα λειτουργεί υποστηρικτικά με την εφαρμογή όλων των τεχνικών αναλύσεων εντοπισμού παραποίησης που αναλύθηκαν.

Η έρευνα της παρούσας ΔΕ στον τομέα της “Audio Forensics” έχει τη δυνατότητα να συμβάλει σημαντικά στη διασφάλιση της ακεραιότητας και τον εντοπισμό παραποίησης των ψηφιακών αποδεικτικών στοιχείων. Με τις αναφερόμενες τεχνικές που παρουσιάζονται στην παρούσα ΔΕ πραγματικά σενάρια εγκληματικής έρευνας ή δικαστικής διαδικασίας, όπου η ψηφιακή ανάλυση ήχου μπορεί να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο, δύναται να εξεταστούν.

7.3 Προτάσεις για μελλοντικές επεκτάσεις

Λόγω έλλειψης διαθέσιμης εξειδικευμένης έρευνας στον τομέα της δικανικής επιστήμης του ήχου, χρονικών περιορισμών και πόρων που διατίθενται, η διερεύνηση και η περαιτέρω ανάπτυξη των αναφερόμενων τεχνικών και εργαλείων περιορίστηκε σε βασικές τεχνικές και εμπειρικές πρακτικές. Γι' αυτό το σκοπό παρατίθενται παρακάτω προτάσεις προς μελλοντική έρευνα που θα συνεισφέρει ακόμα περισσότερο στις πρακτικές που χρησιμοποιούνται στον ευρύτερο χώρο της εγκληματολογίας του ήχου (Audio Forensics).

Η τεχνική *Ανάλυσης Ηλεκτρικού Δικτύου (ENF)* αποτελεί το παρελθόν το παρόν και το μέλλον, καθώς χρησιμοποιείται και για την επικύρωση της ημερομηνίας που έχει εκτελεστεί μία ηχογράφιση αλλά και στον εντοπισμό συρραφής, συναρμογής κ.ά. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να είναι γνωστοποιημένες οι μικροδιακυμάνσεις του στοιχείου συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF - Electric Network Frequency) για να μπορέσουν να υλοποιηθούν φασματικές συγκρίσεις διακυμάνσεων της συχνότητας δικτύου. Επομένως, η δημιουργία βάσης δεδομένων, καταγραφής από έξοδο πρίζας ρεύματος AC 24 ώρες την ημέρα, όλες τις ημέρες της εβδομάδας στο χρόνο αποτελεί αναγκαίο εργαλείο προς ανάπτυξη μελλοντικά. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση υπολογιστή, μιας διεπαφής ήχου και έναν μετασχηματιστή ούτως ώστε να μειωθεί στην έξοδο το επίπεδο ρεύματος στο δίκτυο, αποτρέποντας έτσι τη ζημιά που μπορεί να προκληθεί στην ηχητική διεπαφή που χρησιμοποιείται.

Φυσικά για την αποφυγή απώλειας δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα συστήνεται η δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας με αλγοριθμική καταχώρηση κατακερματισμού των δεδομένων που προκύπτουν από την βάση δεδομένων καταγραφής της συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου. Για την ανάλυση των αποδεικτικών στοιχείων μεταξύ των σημάτων που προκύπτουν από την βάση δεδομένων και των ηχητικών αρχείων προς εξέταση, κρίνεται αναγκαία η προετοιμασία βελτιστοποίησης των αρχείων, ούτως ώστε να διασφαλιστεί η παροχή ακριβών και αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Δυστυχώς ακριβής καταγραφή της συμπεριφοράς συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF) στην Ελλάδα ανά περιοχές δεν υπάρχει.

Επομένως, συνίσταται η ανάπτυξη λογισμικού ή διαδικτυακής εφαρμογής αυτοματοποιημένης αποτύπωσης της παραπάνω διαδικασίας κατά την εισαγωγή ηχογράφησης προς εξέταση. Δηλαδή, θα εξάγονται αυτόματα σχετικά γραφήματα και

εικόνες, καθώς και χρονικές πληροφορίες ανά αρχείο ήχου για ακρόαση και οπτική επιθεώρηση διαμέσου της συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF). Έπειτα, μέσω σύγκρισης ανάλυσης χρόνου - συχνότητας των αρχείων προς εξέταση και των εγγραφών από την βάση δεδομένων θα επικυρώνονται χρονικές πληροφορίες και θα εντοπίζονται διάφορα σημεία συρραφής κ.ά.

Για την εφαρμογή DFA tools, που αποτελεί μια προτεινόμενη πλατφόρμα εργαλείων εξέτασης ηχητικών αρχείων στην παρούσα εργασία, συνίσταται -πέρα των περιορισμών της παρούσας διπλωματικής- η περαιτέρω βελτιστοποίησή της ως προς τη λειτουργικότητα μεμονωμένων εργαλείων ή/και ανάπτυξης νέων και ενσωμάτωσης του εργαλείου που αναλύθηκε παραπάνω για την εξαγωγή και ανάλυσης συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF) κλπ. Σε μελλοντική έρευνα, ο αριθμός των συμμετεχόντων στην αξιολόγηση της εφαρμογής θα πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερος και το δείγμα επίσης ευρύτερο, απευθυνόμενο σε σύνολο ειδικών εμπειρογνομόνων στον τομέα του ήχου και της ακουστικής. Αυτό απαιτεί τη συμμετοχή περισσότερων ερευνητών και μεγαλύτερη χρονική περίοδο.

Η μελλοντική έρευνα προτείνεται να συνδυάζει ερωτηματολόγια και συνεντεύξεις καθώς θα μπορούσαν να είναι μέθοδοι συλλογής δεδομένων που θα συνδυάζουν τόσο την ανάλυση ποιοτικών όσο και ποσοτικών δεδομένων και θα αυξάνουν την αξιοπιστία της έρευνας (Denscombe, 2010, σελ.299). Επιπλέον, για την καλύτερη κατανόηση των αντιλήψεων των συμμετεχόντων, θα πρέπει να γίνουν περαιτέρω έρευνες, όπως συνεντεύξεις και πρόσθετα ερωτηματολόγια, καθώς και μια πιο ποσοτική ανάλυση για τον εντοπισμό συσχετίσεων και σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών που σχηματίζονται από την ανάλυση δεδομένων. Μια προτεινόμενη πρόσθετη μέθοδος έρευνας θα μπορούσε να είναι οι σε βάθος συνεντεύξεις με τους συμμετέχοντες ή ακόμα και η κατασκευή μιας δεύτερης σειράς ερωτήσεων που θα εστιάζονται σε αυτούς για την καλύτερη κατανόηση των στατιστικά σημαντικών σχέσεων που προέκυψαν μέσα σε συγκεκριμένες μεταβλητές.

Τέλος, η μελλοντική αξιοποίησή τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης, για την ανάπτυξη αλγορίθμων που μπορούν να εντοπίζουν πιο περίπλοκες μορφές παραποίησης, καθώς και η συνεργασία με νομικά όργανα και ερευνητικά κέντρα για την ανάπτυξη εργαλείων και πρωτοκόλλων, για τον εντοπισμό παραποίησης, σε δικαστικές υποθέσεις, αλλά και με οργανισμούς μέσω ενημέρωσης καθίσταται αναγκαία.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Ελληνόγλωσσες

Ζαρούχας, Θ., Χατζηαντωνίου, Π. & Τσιλφίδης, Α. (2013). *Ειδικά Θέματα Ακουστικού Σχεδιασμού Και Πολυμέσων (Τόμος Β')*. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Μαρκόπουλος, Ε., & Σύμβουλος, Δ. (2001). Practical Requirements Elicitation Management. [In Greek::Η Τεχνολογία Απαιτήσεων (Requirements Engineering) στην Διασφάλιση Ποιότητας Συστημάτων Πληροφορικής]. *5th Quality Forum, Νοεμβρίου 2001. Αθήνα*

Μουρτζόπουλος, Γ. (2011). *Ψηφιακή Τεχνολογία Ήχου*. Ελλάδα: Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών.

Παπαϊωάννου, Σ., & Βοζίκης, Χ. (2016). Αριθμητική Παρεμβολή.

Παναγιωτακόπουλος, Χ., Καρατράντου, Α., & Άντζακας, Κ. (2020). Η διαδικτυακή εφαρμογή «Ελληνική Νοηματική Γλώσσα-1»: Θέματα σχεδίασης, κατασκευής και αξιολόγησης. Στο *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση* (Vol. 13). Ανακτήθηκε από <http://sign.ilsp.gr/signilsp-site/index.php/el/noima/>

Τι είναι ένα αρχείο WAV;. (n.d.). Ανακτήθηκε από WAV - Μορφή αρχείου ήχου κυματομορφής (fileformat.com)

Τσιλφίδης Α. (2013). *Ακουστική και Αρχιτεκτονική (Τόμος Β')*. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Φλώρος, Α. (2013). *Ήχος και Ακουστική στη Μουσική (Τόμος Α')*. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Χριστοπούλου, Ζ., & Σακκά, Ε. (2015). *Υλοποίηση σταδίων κωδικοποίησης ηχητικών σημάτων στο προγραμματιστικό περιβάλλον matlab*. Πύργος: Τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Δυτικής Ελλάδος

Ξενόγλωσσες

- Advanced Web Development (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://www.wix.com/velo>
- Ambler, T. & Cloud, T. (2015). *JavaScript frameworks for modern web dev*. New York: Apress, 2015. Doi: 10.1007/978-1-4842-0662-1
- Badiye, A., Kapoor, N., & Menezes, R. G. (2019). Chain of custody.
- Bagulaya-Abogaa, J. (2017). Simplified Theorem in Number System Conversion. *International Journal of Computer Applications, Vol 160* (No3).
- Bansal, P., & Mehtre, V. V. (2019). Binary Number System. *International Journal of Journal of Innovative Research in Technology, Vol 6* (No5), 2349-6002.
- Barker, D. (2016). *Web content management: Systems, features, and best practices*, O'Reilly Media, Inc.
- Bhalshankar, S., & Gulve, A. K. (2015). Audio steganography: LSB technique using a pyramid structure and range of bytes.
- Biehl, M. (2015). *API Architecture* (Vol. 2). API-University Press.
- BiQuadDesigner. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://arachnoid.com/BiQuadDesigner/>
- BiquadFilterNode. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/BiquadFilterNode>
- BiquadFilterNode: Q property. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/BiquadFilterNode/Q>
- Bose, T. & Meyer, F. (2003). *Digital signal and image processing*. John Wiley & Sons, Inc.
- Böck, H., & Böck, H. (2011). Properties. *The Definitive Guide to NetBeans Platform Vol 7*, 235-239.
- Boyarov, A. G., & Siparov, I. S. (2019). Forensic investigation of MP3 audio recordings. *Теория и практика судебной экспертизы, Vol 14* (No4), 125-136.
- Bracewell, R. (1989). Ο μετασχηματισμός Fourier. *Scientific American*, Vol 260 (No6), 86-95.

- Brandenburg, K. (1999). MP3 and AAC explained. In *Audio Engineering Society Conference: 17th International Conference: High-Quality Audio Coding*. Audio Engineering Society.
- Brixen, E. B. (2007). Techniques for the authentication of digital audio recordings. In *Audio Engineering Society Convention, Vol 122*. Audio Engineering Society.
- Byrne, D. (2022). How Do I Analyze and Interpret Quantitative Data? Project Planner. Doi: 10.4135/9781526408570
- Byrne, D. (2022). What Are Quantitative Methods? Project Planner. Doi: 10.4135/9781526408563
- Byte Conversion. (n.d.). Ανακτήθηκε από [https://learn.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windowspowershell1.0/ee692684\(v=technet.10\)?redirectedfrom=MSDN](https://learn.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windowspowershell1.0/ee692684(v=technet.10)?redirectedfrom=MSDN)
- Chalmers, R. (1997). The Broadcast Wave Format. *EBU Technical Review*, 3-6
- Chapter 9 - Functions. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://learn.microsoft.com/en-us/powershell/scripting/learn/ps101/09-functions?view=powershell-7.4>
- Chaudhari, S. R. (2020). Number Systems.
- Chowdhury, D., & Sarkar, M. (2019). Location forensics analysis using enf sequences extracted from power and audio recordings.
- CSS Tutorial. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://www.w3schools.com/css/default.asp>
- Covariance and Correlation. (n.d.). In *Probability Course*. Retrieved June 27, 2024, from <https://math.arizona.edu/~jwatkins/covariance.pdf>
- Convert-String. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://learn.microsoft.com/en-us/powershell/module/microsoft.powershell.utility/convert-string?view=powershell-5.1>
- Copy-Item. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://learn.microsoft.com/en-us/powershell/module/microsoft.powershell.management/copy-item?view=powershell-7.4>
- Cuccovillo, L., & Aichroth, P. (2019). Inverse Decoding of PCMA-law and μ -law. In *Audio Engineering Society Conference: 2019 AES International Conference on Audio Forensics*. Audio Engineering Society.

Custom date and time format strings Chapter 9. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/standard/base-types/custom-date-and-time-format-strings?redirectedfrom=MSDN>

Covariance and Correlation. (n.d.). In *Probability Course*. Retrieved June 27, 2024, from https://www.probabilitycourse.com/chapter5/5_3_1_covariance_correlation.php

Dutoit, T., & Maragos, P. (2021). Introduction to Speech Processing. Aalto University. Retrieved from https://speechprocessingbook.aalto.fi/Representations/Zero-crossing_rate.html#zero-crossing-rate

DC-Offset_Tracking (n.d.). Ανακτήθηκε από [://www.mathworks.com/search.html?q=DC%20offset%20&page=1](https://www.mathworks.com/search.html?q=DC%20offset%20&page=1)

Deggeller, K. (2022). From “Sound” to “Sound and Audiovisual”. *International Association of Sound and Audiovisual Archives (IASA) Journal*, Vol 52, 7-13.

Denscombe, M. (2010). *The Good Research Guide: For Small-scale Social Research Projects, 4th Edition*. Open University Press.

Devi, R., & Pugazhenth, D. (2016). Ideal sampling rate to reduce distortion in audio steganography. *Procedia Computer Science*, Vol 85, 418-424.

Donzellini, G., Oneto, L., Ponta, D., Anguita, D., Donzellini, G., Oneto, L. & Anguita, D. (2019). Numeral systems and binary arithmetic. *Introduction to Digital Systems Design*, 79-113.

Djukanović, S., Popović, T., & Mitrović, A. (2016, November). Precise sinusoid frequency estimation based on parabolic interpolation. In *2016 24th Telecommunications Forum (TELFOR)* (pp. 1-4). IEEE.

Eden, B. L. (2006). *Content management systems*, Vol. 24 (No1). Emerald Group Publishing.

Endelina, E. (2021). Implementasi Digital Signature Pada File Audio Menerapakan Metode SHA-256. *Journal of Informatics Management and Information Technology*, Vol 1 (No2), 60-67.

Escalona, M. J. & Koch, N. (2003). Requirements Engineering for Web Applications: A Comparative Study. *Journal of Web Engineering*, Vol 2 (No3), 193-212.

Fechner, N., & Kirchner, M. (2014). The humming hum: Background noise as a carrier of ENF artifacts in mobile device audio recordings. In *2014 Eighth International Conference on IT Security Incident Management & IT Forensics* (pp. 3-13). IEEE.

ffprobe Documentation. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://ffmpeg.org/ffprobe.html>

Format-Hex. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://github.com/MicrosoftDocs/PowerShell-Docs/blob/main/reference/5.1/Microsoft.PowerShell.Utility/Format-Hex.md>

Fortuna, A. (2017, October 6). *MACB times in Windows forensic analysis*. Andrea Fortuna's Blog. <https://andreafortuna.org/2017/10/06/macb-times-in-windows-forensic-analysis/>

Fuller, D. B. (2013). *Analysis of DC Offset for iOS Devices for Use in Audio Forensic Examinations*. University of Colorado at Denver.

Gabriel, J. (n.d.). *Mp3 Info Tag rev 1 specifications - draft 0*. Retrieved August 18, 2024, from <http://gabriel.mp3-tech.org/mp3infotag.html#versionstring>

Gangwar, D. P., Pathania, A., DFSS, M., & India, G. O. (2020). Authentication of digital audio recording using file's signature and metadata properties. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, Vol 5 (No3), 162-165.

Get-Content. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://learn.microsoft.com/en-us/powershell/module/microsoft.powershell.management/get-content?view=powershell-7.4>

Get-FileHash. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://learn.microsoft.com/en-us/powershell/module/microsoft.powershell.utility/get-filehash?view=powershell-7.4>

GFF Format Summary: Microsoft RIFF. (n.d.). Ανακτήθηκε από Netghost.narod.ru. <https://netghost.narod.ru/gff/graphics/summary/micriff.htm>

Get-ItemProperty. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://learn.microsoft.com/en-us/powershell/module/microsoft.powershell.management/get-itemproperty?view=powershell-7.4>

GitHubGist - remove_silence.ts. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://gist.github.com/smashah/fb7bd9a57dd2181d4142886888f99b92>

Goodman, D. (2002). *Dynamic HTML: The Definitive Reference, 2nd Edition*. O'Reilly & Associates, Inc.

- Grigoras, C., Rappaport, D., & Smith, J. M. (2012). Analytical framework for digital audio authentication. In *Audio Engineering Society Conference: 46th International Conference: Audio Forensics*. Audio Engineering Society.
- Hannerfors, M. A. (2009). Comparison between Web Applications and Desktop Applications. In *Umea 's 13th Student Conference in Computer Science* (p. 61). Umea
- Hajj-Ahmad, A., Garg, R., & Wu, M. (2013). ENF based location classification of sensor recordings. In *2013 IEEE International Workshop on Information Forensics and Security (WIFS)* (pp. 138-143). IEEE.
- Henderson, D., & Hamernik, R. P. (1986). Impulse noise: critical review. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol 80 (No2), 569-584.
- Henrich, V., Hinrichs, E., Hinrichs, M., & Zastrow, T. (2010). Service-oriented architectures: From desktop tools to web services and web applications. *Multilinguality and Interoperability in Language Processing with Emphasis on Romanian*. University of Tübingen, Bucuresti.
- Hickson, I., & Hyatt, D. (2008). Html5. *W3C Working Draft*. Ανακτήθηκε από <https://www.w3.org/TR/2008/WD-html5-20080122/>
- Hicsonmez, S., Husrev T. & Avcibas, I. (2013) Audio codec identification from coded and transcoded audios. *Digital Signal Processing*, Vol 23 (No5), 1720-1730, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2013.04.005>.
- How TO - File Upload Button. (n.d.). Ανακτήθηκε από https://www.w3schools.com/howto/howto_html_file_upload_button.asp
- HTML DOM Document getElementById(). (n.d.). Ανακτήθηκε από https://www.w3schools.com/jsref/met_document_getelementbyid.asp#gsc.tab=0HTML
- HTML Drag and Drop API. (n.d.). Ανακτήθηκε από https://www.w3schools.com/html/html5_draganddrop.asp
- HTML Tutorial. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://www.w3schools.com/html/default.asp>
- Hua, G., Zhang, Y., Goh, J., & Thing, V. L. (2016). Audio authentication by exploring the absolute-error-map of ENF signals. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, Vol 11, (No5), 1003-1016.

- ISO/IEC. (1993). *Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5 Mbit/s - Part 3: Audio* (ISO/IEC Standard No. 11172-3). <https://csclub.uwaterloo.ca/~pbarfuss/ISO11172-3.pdf>
- Iqbal, K. (2019). *MP3 - Μορφή αρχείου ήχου*. Ανακτήθηκε απο Docs.fileformat.com. <https://docs.fileformat.com/el/audio/mp3/>
- Iqbal, K. (2019). *WAV - Waveform Audio File Format*. Docs.fileformat.com. Ανακτήθηκε απο <https://docs.fileformat.com/audio/wav/>
- Jackson, W. (2015). *Digital audio editing fundamentals*. Apress.
- JavaScript Tutorial. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://www.w3schools.com/js/default.asp>
- JavaScript Const. (n.d.). Ανακτήθηκε από https://www.w3schools.com/js/js_const.asp
- JavaScript Spectrogram Library. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://www.arc.id.au/Spectrogram.html>
- Javaux, L. (2024). Libhum. Ανακτήθηκε από <https://github.com/RaphaelJ/libhum>
- Kessler, G. (2024). *GCK'S File Signatures Table*. Ανακτήθηκε από https://www.garykessler.net/library/file_sigs.html
- Khodadadi, A. & Teimouri, M. (2020). Classification of Audio Codecs with Variable Bit-Rates. In *2020 10th International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCCKE)* (pp. 050-054). IEEE.
- Koenig, B. E., & Lacey, D. S. (2015). Forensic authentication of digital audio and video files. *Handbook of digital forensics of multimedia data and devices*, 133-181.
- Korycki, R. (2014). Authenticity examination of compressed audio recordings using detection of multiple compression and encoders' identification. *Forensic science international, Vol 238*, 33-46.
- Lamba, J. S., Sachdeva, K., Sinha, V., & Singh, N. (2016). Differential pulse code modulation in audio steganography. In *2016 International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer and Optimization Techniques (ICEECCOT)* (pp. 131-135). IEEE.
- LaMeres, B. J. (2023). Number Systems. In *Introduction to Logic Circuits & Logic Design with Verilog* (pp. 7-41). Cham: Springer International Publishing.

- Latif, S., Qayyum, J., Lal, M., & Khan, F. (2011). Novel approach to the learning of various number systems. *International Journal of Computer Applications*, Vol 975
- Lawson, B., & Sharp, R. (2011). *Introducing html5*. New Riders.
- Lăzărică, M., & Dediu, F. (2013). Content management systems (CMS) open-source websites. *Management Strategies Journal*, Vol 19 (No1), 75-82
- Lin, C. Y., Tseng, B. L., & Smith, J. R. (2002). Universal MPEG content access using compressed-domain system stream editing techniques. In *Proceedings. IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, Vol 2, pp. 73-76). IEEE.
- List of Voltages & Frequencies (Hz) by Country - Electric Power Around the Globe*. (2021). Generatorsource.com.
https://www.generatorsource.com/Voltages_and_Hz_by_Country.aspx
- Mean absolute deviation (MAD) review. (n.d.). In *Khan Academy*. Retrieved June 27, 2024, from <https://www.khanacademy.org/math/statistics-probability/summarizing-quantitative-data/other-measures-of-spread/a/mean-absolute-deviation-mad-review>
- Mains frequency. (n.d.). *Online-measurement of the utility frequency*. Retrieved July 15, 2024, from https://www.mainsfrequency.com/frequ_info_en.php
- Mahat, M. S. S. (2021). Number System Conversion for Beginners (Decimal to Binary, Octal and Hexadecimal Conversion). *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, Vol 12 (No14), 1445-1458.
- Making an Audio Waveform Visualizer with Vanilla JavaScript. (n.d.) Ανακτήθηκε από <https://css-tricks.com/making-an-audio-waveform-visualizer-with-vanilla-javascript/>
- Manz, O., & Manz, O. (2021). *Quantization* (pp.37-45). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Mark, H., & Workman Jr, J. (2022). Decimal Versus Binary Representation of Numbers in Computers.
- Martínez, V.G., Álvarez, F.H. & Encinas, L.H. (2014). State of the Art in Similarity Preserving Hashing Functions. *Computer Science*.
- Maher, RC. (2009). Audio Forensic Examination. *IEEE Signal Processing Magazine*. Ανακτήθηκε από https://www.montana.edu/rmaher/publications/maher_ieeespmag_0309_84-94.pdf

- Meyer, E. A. (2006). *CSS: The Definitive Guide, 3rd Edition*. O'Reilly Media, Inc.
- Michalek, M. (2016). Test audio recordings and their use in authenticity examinations. Database of properties of digital audio recorders and recordings. *Problems of Forensic Sciences, Vol 105*, 355-369.
- Microsoft RIFF. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://netghost.narod.ru/gff/graphics/summary/micriff.htm>
- MPGedits. (n.d.). *MPEG header format*. Retrieved August 19, 2024, from http://www.mpgedit.org/mpgedit/mpeg_format/mpeghdr.htm
- MP3 AUDIO. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://docs.fileformat.com/el/audio/mp3/>
- Müller, M. (2015). *Fundamentals of music processing: Audio, analysis, algorithms, applications, Vol 5*, p. 62. Cham: Springer.
- Nixon, R. (2014). *Learning PHP, MySQL & JavaScriptm, CSS & HTML5, 3rd Edition*. O'Reilly Media, Inc.
- Node.js v21.7.2 documentation. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://nodejs.org/api/buffer.html#static-method-bufferisencodingencoding>
- Orfanidis, S.J. (2010). *Introduction to Signal Processing*. Ανακτήθηκε από <http://www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/intro2sp/>
- Oppenheim, A. V., & Schaffer, R. W. (2009). *Discrete-Time Signal Processing* (3rd ed.). Pearson.
- OSTechNix. (n.d.). *Linux file timestamps explained with examples*. OSTechNix. Retrieved August 7, 2024, from <https://ostecnix.com/linux-file-timestamps-explained-with-examples/>
- Paar, C., Pelzl, J., Paar, C., & Pelzl, J. (2010). Hash functions. *Understanding Cryptography: A Textbook for Students and Practitioners*, 293-317.
- Pedapudi, S. M., & Vadlamani, N. (2023). Digital forensics approach for handling audio and video files. *Measurement: Sensors, Vol 29*.
- PHP crc32() Function. (n.d.). Ανακτήθηκε από https://www.w3schools.com/php/func_string_crc32.asp

PHP md5() Function. (n.d.). Ανακτήθηκε από

https://www.w3schools.com/php/func_string_md5.asp

PHP sha1() Function. (n.d.). Ανακτήθηκε από

https://www.w3schools.com/php/func_string_sha1.asp

Pieprzyk, J., & Sadeghiyan, B. (Eds.). (1993). *Design of hashing algorithms*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Pop, P. (2002). *Comparing web applications with desktop applications: An empirical study*. Linköping University, Linköping.

Por, E., van Kooten, M., & Sarkovic, V. (2019). Nyquist–Shannon sampling theorem. *Leiden University, Vol 1* (No 1), 5.

Quadratic Interpolation of Spectral Peaks. (n.d.). Ccrma.stanford.edu. Retrieved June 21, 2024, from https://ccrma.stanford.edu/~jos/sasp/Quadratic_Interpolation_Spectral_Peaks.html

Rappaport, D. L. (2000). *Establishing a standard for digital audio authenticity: A critical analysis of tools, methodologies, and challenges* (B.A. thesis). University of Virginia.

Resner, D., & Fröhlich, A. A. (2016). Tstp mac: A foundation for the trustful space-time protocol. In *2016 IEEE Intl Conference on Computational Science and Engineering (CSE) and IEEE Intl Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC) and 15th Intl Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering (DCABES)* (pp. 40-47). IEEE.

Robbins, J. N. (2012). *Learning web design: A beginner's guide to HTML, CSS, JavaScript, and web graphics, 4th Edition*. O'Reilly Media, Inc.

Roszkiewicz, R. (2005). Upstream metadata and the impact of the IPTC schema for XMP and Adobe Bridge. *Journal of Digital Asset Management, Vol 1*, 298-302.

RX Overview. (n.d.). Ανακτήθηκε από

<https://s3.amazonaws.com/izotopedownloads/docs/rx9/en/rx-overview/index.html>

Spendiff-Smith, M. (2022, November 2). *Single-Phase and Three-Phase Voltage by Country - EVESCO*. Power Sonic. <https://www.power-sonic.com/blog/single-phase-and-three-phase-voltage-by-country/>

- Standard built-in objects - parseInt(). (n.d.). Ανακτήθηκε από https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference/Global_Objects/parseInt
- Schuller, G., & Schuller, G. (2020). Quantization. *Filter Banks and Audio Coding: Compressing Audio Signals Using Python*, 105-107.
- Seadle, M. (2006). Content management systems. *Library Hi Tech*, Vol 24 (No1), 5–7. Doi: Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1108/07378830610652068>
- Sharma, N., & Deep, E. G. (2015). To Study Scope of Data Hiding in MP3 Files. *International Journal of Science, Engineering and Computer Technology*, Vol 5 (No6), 138.
- SHA-256 Checksums Explained. (n.d.). Ανακτήθηκε από https://docs.precisely.com/docs/sftw/spectrum/ProductUpdateSummary/ProductUpdateSummary/source/about_sha256.html
- SHA-512 Checksums Explained. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://docs.data.world/documentation/sql/reference/functions/sha512.html>
- Shrestha, B., Manandhar, B., Dhakal, S., Kumal, D., & Bista, S. (2020). Audio Steganography. *Nce Journal of Science and Engineering (NJSE)*, Vol 1 (I).
- Singh, A., Chaudhary, A., & Chaudhary, K. (2023). Content Management System. *Global Journal of Enterprise Information System*, Vol 15 (No1), 87-92. Ανακτήθηκε από <https://gjeis.com/index.php/GJEIS/article/view/713>
- SPECTRAL AUDIO SIGNAL PROCESSING*. (n.d.). Ccrma.stanford.edu. <https://ccrma.stanford.edu/~jos/sasp/>
- Sourabh, S., & Chauhan, M. (2021). Computer File Signature Analysis Through Hexadecimal Editor Software. In *Proceedings of 3rd International Conference on Computing Informatics and Networks: ICCIN 2020* (pp. 89-100). Springer Singapore.
- Standing, C. (2002). Methodologies for developing Web applications. *Information and software technology*, Vol 44 (No3), 151-159. Doi: 10.1016/S0950-5849(02)00002-2
- Stone, B. (2023). *Distinguishing High-Quality Audio: The Unique Contribution of Bit-Depth Resolution?*. Masters Theses, JMU Scholarly Commons. JMU. Ανακτήθηκε από <https://commons.lib.jmu.edu/masters202029/247>

Stuart, B. (2015). Sound Board: High-Resolution Audio. *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol 63 (No10), 831-832.

Stuart, J. R., & Craven, P. G. (2019). The Gentle Art of Dithering. *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol 67 (No5), 278-299.

Szabó, R. & Gontean, A. (2013). Human Voice Signal Synthesis and Coding, IFAC Proceedings Volumes, Vol 46 (No28), 336-341. Doi: <https://doi.org/10.3182/20130925-3-CZ-3023.00036>

Talati, S., Etezadifar, P., Hassani Ahangar, M. R., & Molazade, M. (2023). Investigation of Steganography Methods in Audio Standard Coders: LPC, CELP, MELP. *Majlesi Journal of Telecommunication Devices*, Vol 12 (No1), 7-15.

timeanddate.com. (n.d.). UTC: Coordinated Universal Time. timeanddate.com. Retrieved August 8, 2024, from <https://www.timeanddate.com/time/aboututc.html>

Toft, R. (2024). Digital Audio: Bit Depth and Sampling.

Tomić, S. & Drljača, D. (2023). Digitalization of Sound Using Pulse Code Modulation (PCM). *JITA-APEIRON*, Vol 25 (No1), 42-47

The Geek Diary. (n.d.). *Understanding MAC file timestamps*. Retrieved August 7, 2024, from https://www.thegeekdiary.com/understanding-mac-file-timestamps/#google_vignette

Tracy, S.J. (2010). Qualitative quality: Eight ‘big-tent’ criteria for excellent qualitative research. *Qualitative Inquiry*, Vol 16 (No10), 837–851. Ανακτήθηκε από <https://doi.org/10.1177/1077800410383121>.

UTF-8 Latin Extended A. (n.d.). Ανακτήθηκε από https://www.w3schools.com/charsets/ref_utf_latin_extended_a.asp

Urone, P. P., & Hinrichs, R. (2020, March 26). *13.3 Wave Interaction: Superposition and Interference - Physics | OpenStax*. <https://openstax.org/books/physics/pages/13-3-wave-interaction-superposition-and-interference?query=Constructive%20Interference&target=%7B%22type%22%3A%22search%22%2C%22index%22%3A0%7D#fs-id1167066960883>

Van Hoey, J., & Van Hoey, J. (2019). Binary Numbers, Hexadecimal Numbers, and Registers. *Beginning x64 Assembly Programming: From Novice to AVX Professional*, 13-19.

Vaseghi, S.V. (2007). *Multimedia Signal Processing: Theory and Applications in Speech, Music and Communications*. UK: John Wiley & Sons, Ltd.

Verma, J., Shahrukh, M., Krishna, M., & Goel, R. (2021). A critical review on cryptography and hashing algorithm SHA-512. *International Research Journal of Modernization in Engineering*.

Vryzas, N., Katsaounidou, A., Kotsakis, R., Dimoulas, C. A., & Kalliris, G. (2019). Audio-driven multimedia content authentication as a service. In *Audio Engineering Society Convention 146*. Audio Engineering Society.

Wales, G. S., Smith, J. M., Lacey, D. S., & Grigoras, C. (2023). Multimedia stream hashing: A forensic method for content verification. *Journal of Forensic Sciences*, Vol 68 (No1), 289-300.

Watkinson, J. (2012). *The MPEG handbook*. Routledge.

Watkinson, J. (2013). *Art of Digital Audio* (3rd ed.). Taylor and Francis. Retrieved from <https://www.perlego.com/book/1625559/art-of-digital-audio-pdf> (Original work published 2013)

WAVE File Format. (n.d.). Ανακτήθηκε από <http://web.archive.org/web/19991115123323/http://www.borg.com/~jglatt/tech/wave.htm>

Windszus, K. (2007, April 12). *MPEG audio frame header*. CodeProject. <https://www.codeproject.com/Articles/8295/MPEG-Audio-Frame-Header>

Wix Learn: New Skills To Boost Your Online Success. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://www.wix.com/learn>

Wix Privacy and security hub. (n.d.). <https://www.wix.com/manage/privacy-security-hub>

W3Schools Tryit Editor. (n.d.). Ανακτήθηκε από https://www.w3schools.com/html/tryit.asp?filename=tryhtml_table_id1

World Time Server. (n.d.). Everything you should know about Coordinated Universal Time (UTC). World Time Server. Retrieved August 8, 2024, from <https://www.worldtimeserver.com/learn/coordinated-universal-time-utc/>

Xenya, M. C., & Quist-Aphetsi, K. (2019). A cryptographic technique for authentication and validation of forensic account audit using SHA256. In *2019 International Conference on Cyber Security and Internet of Things (ICSIoT)* (pp. 11-14). IEEE.

Yoo, B., Park, J., Lim, S., Bang, J., & Lee, S. (2012). A study on multimedia file carving method. *Multimedia Tools and Applications, Vol 61*, 243-261.

Yu, J., & Hu, Z. (2010). Replaying lecture recordings on handheld devices. In *2010 International Conference on Networking and Digital Society Vol. 2*, 109-112. IEEE.

Zakariah, M., Khan, M. K., Malik, H., & Choo, K. K. R. (2018). A novel audio forensic data-set for digital multimedia forensics. *Australian Journal of Forensic Sciences, Vol 50* (No5), 525-542.

Zhao, H., & Malik, H. (2013). Audio recording location identification using acoustic environment signature. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security, Vol 8* (No11), 1746-1759.

Zhang, L., Zhou, Y., & Fan, J. (2014). The forensic analysis of encrypted Truecrypt volumes. In *2014 IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing* (pp. 405-409). IEEE.

(n.d.) . (2003-2016). *010 Editor Reference Manual*. Canada: SweetScape Software

(n,d). (2018). *Best Practices for Digital Audio Authentication*: SWGDE. Ανακτήθηκε από: <https://www.swgde.org/15-a-001/>

8.57 spectralstats. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html#spectralstats>

Παράρτημα Α: Ερωτηματολόγιο αξιολόγησης της εφαρμογής

Το ερωτηματολόγιο είναι διαθέσιμο στο Google forms στην ελληνική γλώσσα μέσω του συνδέσμου <https://forms.gle/jH1Fc8B3xgri83HK9> και στην αγγλική γλώσσα μέσω του συνδέσμου <https://forms.gle/MxvrSYm8GgLfbNwv6>.

Παράρτημα Β: Εγχειρίδιο χρήσης της εφαρμογής (User Guide)

Παρακάτω παρατίθενται οι σύνδεσμοι για το εγχειρίδιο της εφαρμογής:

<p>Ελληνική γλώσσα</p> <p>User guide_gr</p>	<p>Αγγλική γλώσσα</p> <p>User guide_en</p>
---	--

Εγχειρίδιο χρήσης της εφαρμογής στην ελληνική γλώσσα



Παράρτημα Γ: Αρχεία κώδικα εφαρμογής DFA tools

Παρακάτω παρατίθενται τα αρχεία κώδικα που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των επιμέρους εργαλείων της εφαρμογής. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για αρχεία μορφής .html και .js/.css.

Όλο το υλικό είναι αναρτημένο στον παρακάτω σύνδεσμο:

[Αρχείο κώδικα εφαρμογής](#)

Παράρτημα Δ: Λογισμικά και εργαλεία διεκπεραίωσης της ΔΕ

Λογισμικά	Είδος Χρήσης
Adobe Audition 2024	Κλειστού Κώδικα Πρόγραμμα επεξεργασίας ήχου και μίξης για επαγγελματική χρήση
Adobe Photoshop 2024	Κλειστού Κώδικα Πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας
Adobe XD 2024	Κλειστού Κώδικα Πρόγραμμα δημιουργίας μακετών ιστοσελίδων
Artificial Intelligence ChatGPT 3.5	Ανοικτού Κώδικα Σύστημα τεχνητής νοημοσύνης για γρήγορη αναζήτηση εντολών κώδικα
Command Prompt	Ανοικτού Κώδικα Το γραφικό περιβάλλον εντολών στα Windows
CodePen (για HTML, JS, CSS)	Ανοικτού Κώδικα Πλατφόρμα δημιουργίας και κοινοποίησης κώδικα HTML, CSS και JavaScript
FFmpeg / FFprobe	Ανοικτού Κώδικα Εργαλείο για την επεξεργασία πολυμέσων και τη μετατροπή μορφών αρχείων
iZotope RX-9	Κλειστού Κώδικα Πρόγραμμα επεξεργασίας ήχου με ειδικές λειτουργίες για επαγγελματική χρήση
Laptop	Pavilion HP/15.6"/Intel Core i7/16 GB/NVIDIA GeForce RTX 3050 4GB VRAM/4GB/ Λειτουργικό Σύστημα: Windows 10 Home (64bit)
Libhum	Ανοικτού Κώδικα Βιβλιοθήκη για φυσική γλώσσα επεξεργασίας στην Python
MATLAB	Κλειστού Κώδικα Περιβάλλον ανάπτυξης και εκτέλεσης για τεχνικούς υπολογισμούς και ανάλυση δεδομένων
Notepad++	Ανοικτού Κώδικα Επεξεργαστής κειμένου με πολλές λειτουργίες για προγραμματιστές
PowerShell-ISE	Ανοικτού Κώδικα Ενσωματωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) για το PowerShell στα Windows
Python 3.11	Ανοικτού Κώδικα Γλώσσα προγραμματισμού γενικής χρήσης με ευρεία εφαρμογή σε επιστημονικούς υπολογισμούς, ανάλυση δεδομένων, και ανάπτυξη λογισμικού
wix	Πλατφόρμα δημιουργίας ιστοσελίδων με εμπορικές δυνατότητες
Web Audio API	Ανοικτού Κώδικα Πρότυπο API του προγραμματιστικού ιστού για την επεξεργασία, οπτικοποίηση και αναπαραγωγή ήχου στον περιηγητή
Hex - Editor	Ανοικτού Κώδικα Το Hex Editor αποτελεί ένα εργαλείο λογισμικού που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία αρχείων σε δυαδική μορφή, επιτρέποντας στους χρήστες να επεξεργαστούν τα δεδομένα αρχείων σε επίπεδο byte

Παράρτημα Ε: Αρχείο εικόνων

Παρακάτω παρατίθεται το αρχείο των εικόνων που δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας μορφής .jpeg και .png. Όλο το υλικό είναι αναρτημένο στον παρακάτω σύνδεσμο:

[Αρχείο εικόνων](#)

Παράρτημα ΣΤ: Πρότυπα χαμηλής πιστότητας της εφαρμογής DFA tools

Παρακάτω παρατίθεται ο σύνδεσμος για τα πρότυπα χαμηλής πιστότητας της εφαρμογής:

[DFA tools prototypes](#)

Παράρτημα Ζ: Mockups της εφαρμογής DFA tools

Παρακάτω παρατίθεται ο σύνδεσμος για τα mock ups της εφαρμογής:

[DFA tools mock ups](#)

Παράρτημα Η: Αρχείο κώδικα ENF

Παρακάτω παρατίθεται το αρχείο κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή στιγμιότυπων φασματογραφήματος (εικόνες 2-35, 2-36, 2-39, 2-40) και αποτύπωσης της συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου, καθώς και εξαγωγής και εμφάνισης αρμονικών (εικόνες 2-44, 2-45).

<u>Αρχείο κώδικα Εξαγωγής ENF</u>	<u>Αρχείο κώδικα Αρμονικών ENF</u>
---	--

Παράρτημα Θ: Αρχείο κώδικα CRC32

Παρακάτω παρατίθεται το αρχείο κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή τιμών κατακερματισμού CRC32 (Hash value) μέσω PowerShell-ISE στα windows.

[Αρχείο κώδικα CRC32](#)

Παράρτημα Ι: Αρχείο κώδικα εικόνας 2-81 & 2-84

Παρακάτω παρατίθεται το αρχείο κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία της (εικόνας 2-81) απεικόνιση αναπαράστασης Ενισχυτικής Συμβολής (Constructive Interference), καθώς και Αποδυναμωτικής Συμβολής (Destructive Interference). Επιπλέον, βρίσκεται και ο κώδικας ελέγχου μέσω 1^{ης} & 2^{ης} παραγώγου (εικόνα 2-84).

.

<u>Αρχείο κώδικα εικόνας 2-81</u>	<u>Αρχείο κώδικα εικόνας 2-84</u>
---	---

Παράρτημα ΙΑ: Αρχείο Μέτρησης Dc_Bias

Παρακάτω παρατίθεται το αρχείο κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή στιγμιότυπων υπολογισμού Dc_Bias (εικόνες 2-30, 2-31).

[Αρχείο κώδικα Εξαγωγής Dc Bias](#)

Παράρτημα IB: Αρχείο Ανάλυσης Rms_Power

Παρακάτω παρατίθεται το αρχείο κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή στιγμιότυπων και υπολογισμού Rms_Power_Signal_Analysis (εικόνα 2-100).

[Αρχείο κώδικα Εξαγωγής Rms Power Signal Analysis](#)

Παράρτημα ΙΓ: Αρχείο Εξαγωγής & Σύγκρισης (ENF) Audio_DataBase

Παρακάτω παρατίθεται το αρχείο κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή δημιουργίας διαδραστικών στιγμιότυπων και υπολογισμού συχνότητας ηλεκτρικού δικτύου (ENF) από αρχείο ήχου και DataBase για σύγκριση, (εικόνες 2-50, 2-51 & 2-53).

[Αρχείο κώδικα Εξαγωγής & Σύγκρισης \(ENF\) Audio DataBase](#)

[Αρχείο κώδικα Σύγκρισης \(ENF\) Audio DataBase CC & MQD](#)

Παράρτημα ΙΔ: Αρχείο Υπολογισμού Μηδενικών Διασταυρώσεων & Αυτοσυσχέτισης

Παρακάτω παρατίθεται το αρχείο κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή δημιουργίας στιγμιότυπων και υπολογισμού μηδενικών διασταυρώσεων και αυτοσυσχέτισης του σήματος, (εικόνα 2-69).

[Μηδενικές διασταυρώσεις & Αυτοσυσχέτιση](#)

Παράρτημα ΙΕ: Αρχείο Κώδικα Εξαγωγής Πληροφοριών από “.mp3”

Παρακάτω παρατίθεται το αρχείο κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή, σχετικών πληροφοριών από την κεφαλίδα ηχητικού αρχείου της μορφής “.mp3” με CBR, XING, VBR (I) Header (Πίνακες 2-14 & 2-15).

[Εξαγωγή Πληροφοριών “.mp3” με CBR, XING, VBR \(I\) Header](#)

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.