



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΗΟΥ-CS-UGP-2016-27

«Smart Shuffle: "Ευφυές" σύστημα μίξης
ηχητικών αρχείων βάσει μεταδεδομένων από
λίστες αναπαραγωγής»

ΗΛΙΑΣ ΤΣΟΥΡΑΠΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΗΣΤΟΣ-ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ



Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας

Πρόγραμμα Σπουδών Πληροφορική

Πτυχιακή Εργασία

Smart Shuffle: «Ευφύες» σύστημα μίξης ηχητικών αρχείων βάσει
μεταδεδομένων από λίστες αναπαραγωγής

Ηλίας Τσουραπάς

Επιβλέπων καθηγητής: Χρήστος-Νικόλαος Αναγνωστόπουλος

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2017

© Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2017

Η παρούσα Εργασία καθώς και τα αποτελέσματα αυτής, αποτελούν συνιδιοκτησία του ΕΑΠ και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης, αναπαραγωγής και αναδιανομής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο και το συγγραφέα της Εργασίας καθώς και το όνομα του ΕΑΠ όπου εκπονήθηκε.



Smart Shuffle: «Ευφρές» σύστημα μίξης ηχητικών αρχείων βάσει
μεταδεδομένων από λίστες αναπαραγωγής

Ηλίας Τσουραπάς

Επιτροπή Επίβλεψης Πτυχιακής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:
Δημήτριος Βέργαδος
Αναπληρωτής καθηγητής
Πανεπιστημίου Πειραιά

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:
Ιωάννης Αναγνωστόπουλος
Αναπληρωτής καθηγητής
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2017

Σε όσους τολμούν και κοιτούν μόνο μπροστά...

Περίληψη

Η ανάγκη για καλύτερη εμπειρία ακρόασης μουσικής κατ' απαίτηση χωρίς τη φυσική και διαρκή ενασχόληση του ακροατή με το χειρισμό της, και το γεγονός ότι οι υφιστάμενες τεχνολογίες τυχαίας αναπαραγωγής δεν προσφέρουν την καλύτερη δυνατή εμπειρία, οδήγησε στην ανάπτυξη ενός «ευφύους» συστήματος μίξης ηχητικών αρχείων. Ουσιαστικά, πρόκειται για έναν αλγόριθμο τεχνητής νοημοσύνης που βασίζεται σε έμπειρο σύστημα βάσει κανόνων, και που σκοπό έχει να παρουσιάζει στο χρήστη την καλύτερη δυνατή εμπειρία ακρόασης μουσικής.

Λέξεις – Κλειδιά

Μουσική, ψηφιακός ήχος, τεχνητή νοημοσύνη, «έξυπνος» αλγόριθμος, κανόνες, εμπειρικά συστήματα.

Abstract

The need for a better music listening experience on demand, without the listener's constant handling, and the fact that the existing technologies for shuffle playing do not offer the best experience, has led to the development of a «smart» sound mixing system. In essence, this is an artificial intelligence algorithm based on a rule-based empirical system, designed for the best music listening experience.

Keywords

Music, digital sound, artificial intelligence, «smart» algorithm, rules, empirical systems.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract	vi
Περιεχόμενα	vii
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων	viii
Κατάλογος Πινάκων.....	ix
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	x
1. Εισαγωγή.....	1
2. Τεχνολογία και ήχος.....	2
2.1 Βασικές έννοιες.....	2
2.1.1 Ψηφιοποίηση.....	2
2.1.2 Ψηφιακός ήχος.....	2
2.1.3 Κωδικοποίηση ήχου.....	2
2.1.4 Κυματομορφή.....	3
2.1.5 Μεταδεδομένα.....	4
2.1.6 Ρυθμός μετάδοσης.....	6
2.1.7 Tempo	6
2.1.8 Beatmatching.....	8
2.2 Ακούγοντας ψηφιακή μουσική	9
2.2.1 Αναπαραγωγή πολυμέσων	9
2.2.2 Λίστες αναπαραγωγής.....	12
2.3 Τυχαία αναπαραγωγή.....	13
2.3.1 Ο αλγόριθμος των Fisher-Yates.....	14
2.3.2 Ο αλγόριθμος των Durstenfeld και Knuth	14
2.3.3 Ο αλγόριθμος της Sattolo.....	15
3. Τεχνητή νοημοσύνη	17
3.1 Εισαγωγή.....	17
3.2 Επίλυση προβλημάτων.....	17
3.2.1 Προβλήματα.....	17
3.2.2 Αλγόριθμοι αναζήτησης.....	18
3.3 Έμπειρα συστήματα βάσει κανόνων.....	19
3.3.1 Βάση γνώσης.....	20
3.3.2 Μηχανή εξαγωγής συμπεράσματος	20
4. Smart Shuffle	22
4.1 Εισαγωγή.....	22
4.2 Λειτουργία.....	22
4.3 Κανόνες.....	23
4.4 Ο αλγόριθμος	24
4.5 Μέτρηση αποτελεσμάτων	26
5. Συμπεράσματα	27
Βιβλιογραφία.....	29
Παράρτημα: Δοκιμή αλγορίθμου.....	31

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 1 Κυματομορφές, όπως εμφανίζονται στο πρόγραμμα GarageBand	3
Εικόνα 2 Μεταδεδομένα αρχείου ήχου μορφής MP3	4
Εικόνα 3 Beatmatching δύο κομματιών στην εφαρμογή “djay by algoriddim” για iPad	9
Εικόνα 4 Το γραφικό περιβάλλον αναπαραγωγής της εφαρμογής Spotify για iPhone	11
Εικόνα 5 Γραφική απεικόνιση μιας λίστας αναπαραγωγής στο πρόγραμμα Spotify	13

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Περιεχόμενα IDv3 ετικέτας	5
Πίνακας 2 Περιεχόμενα εκτεταμένης ετικέτας	5
Πίνακας 3 Ρυθμός μετάδοσης για το πρότυπο MP3	6
Πίνακας 4 Εύρος BPM ανά είδος μουσικής (ορισμένα είδη)	7
Πίνακας 5 Ρυθμοί και το εύρος τους σε BPM	8
Πίνακας 6 Ο αλγόριθμος του Durstenfeld	15
Πίνακας 7 Ο αλγόριθμος του Durstenfeld (“ανάποδη” υλοποίηση)	15
Πίνακας 8 Μία υλοποίηση του αλγορίθμου της Sattolo σε Python	16
Πίνακας 1 Γενικός Αλγόριθμος αναζήτησης	19
Πίνακας 1 Αρχική λίστα αναπαραγωγής	33
Πίνακας 2 Τελική λίστα αναπαραγωγής	35

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ADC	Analog to Digital Converter
BPM	Beats Per Minute
DAC	Digital to Analog Converter
LAN	Local Accessed Network
MP3	MPEG-1 Audio Layer 3
OS	Operating System
ROM	Read Only Memory
WMA	Windows Media Audio

1. Εισαγωγή

Μέχρι σήμερα, ο αλγόριθμος τυχαίας αναπαραγωγής (shuffle play) που χρησιμοποιείται από το σύνολο των media players (όπως iTunes, Windows Media Players, Real Player, VLC Player, κλπ.), καθώς και υπηρεσιών streaming μουσικής (όπως Spotify, Apple Music, Google Play Music, Tidal, κλπ.) είναι ένας «τυφλός» αλγόριθμος ο οποίος από μία λίστα αναπαραγωγής, π.χ. 100 τραγουδιών, επιλέγει μια σειρά ηχητικών αρχείων προς αναπαραγωγή, παραβλέποντας σημαντικά μεταδεδομένα των αρχείων. Πριν την αναπαραγωγή «δημιουργεί» μία σειρά από αριθμούς που αντιστοιχούν στα αρχεία, βάσει της οποίας ο media player αναπαράγει τα τραγούδια (π.χ. 4-14-2-7-90-66-54-72-... κλπ., δηλαδή πρώτα το 4ο τραγούδι της λίστας θα αναπαραχθεί, μετά το 14ο, κ.ο.κ.).

Υπάρχουν αλγόριθμοι που πραγματοποιούν την τυχαία αναπαραγωγή, όπως είναι αυτός των Fisher-Yates [i], του Knuth [ii] και της Sattolo [iii]. Όμως, δεν επιτυγχάνουν πάντα τα βέλτιστα αποτελέσματα καθώς είναι αρκετά συχνό το φαινόμενο (ειδικά εάν υπάρχουν στην ίδια λίστα αναπαραγωγής περισσότερα του ενός τραγούδια του ίδιου καλλιτέχνη) να τύχει να εκτελεστούν το ένα μετά το άλλο, ή αν υπάρχουν περισσότερα του ενός είδη μουσικής (π.χ. Rock N' Roll, Blues, Jazz, Heavy Metal, Hard Rock, κλπ.) με διαφορετικά beats per minute (BPM), να τυχαίνει μετά από ένα τραγούδι Blues να ακολουθεί ένα Heavy Metal με τελείως διαφορετική διάθεση, κάνοντας την ακρόαση όχι ευχάριστη (ενώ π.χ. μια μετάβαση από Hard Rock σε Heavy Metal θα ήταν πιο ομαλή).

Αντικείμενο της Πτυχιακής Εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός «ευφύους» αλγορίθμου αναπαραγωγής με δομή Έμπειρου Συστήματος βάσει κανόνων για τη βέλτιστη μίξη τραγουδιών σε μία λίστα αναπαραγωγής. Το σύστημα θα πρέπει να αξιοποιεί όσο το δυνατόν περισσότερα μεταδεδομένα των ηχητικών κομματιών (είδος μουσικής, BPM, κυματομορφή, κ.α.) έτσι ώστε οι μεταβάσεις από τραγούδι σε τραγούδι να βελτιώνουν την εμπειρία ακρόασης του χρήστη και να αποφεύγονται φαινόμενα όπως ενδεικτικά αναφέρθηκαν παραπάνω.

2. Τεχνολογία και ήχος

2.1 Βασικές έννοιες

2.1.1 Ψηφιοποίηση

Η ψηφιοποίηση [1] είναι η διαδικασία μετατροπής από αναλογική σε ψηφιακή μορφή στοιχείων όπως εγγράφου, κειμένου, εικόνας, αντικειμένου ή σήματος για την εισαγωγή τους σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με σκοπό την αποθήκευσή τους και τη δυνατότητα επεξεργασίας τους από τον χρήστη.

2.1.2 Ψηφιακός ήχος

Ο ψηφιακός ήχος [2] αναφέρεται στην τεχνολογία εγγραφής, αποθήκευσης και αναπαραγωγής ήχου μέσω ψηφιακής κωδικοποίησης του αναλογικού σήματος. Η μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό [iv] διενεργείται από τη συσκευή ADC (Analog to Digital Converter), ενώ το αντίστροφο από τη συσκευή DAC (Digital to Analog Converter).

Η ψηφιακή τεχνολογία ήχου εφαρμόζεται στο χειρισμό, στη μαζική παραγωγή και στη διανομή ηχητικού υλικού. Σε αντίθεση με τον αναλογικό ήχο όπου η δημιουργία αντιγράφων επιφέρει μείωση της ποιότητας του σήματος, όταν χρησιμοποιείται ψηφιακός ήχος αμέτρητος αριθμός αντιτύπων μπορούν να δημιουργηθούν χωρίς να χαθεί η ποιότητα του σήματος [3].

2.1.3 Κωδικοποίηση ήχου

Η κωδικοποίηση ψηφιακού ήχου [4] αναφέρεται ως ένα μορφότυπο αποτύπωσης περιεχομένου για την αποθήκευση ή μετάδοση ψηφιακού ήχου. Η αποθήκευση του ήχου στον ηλεκτρονικό υπολογιστή γίνεται σε μορφή αρχείου ήχου [5] και μπορεί να είναι είτε σε ασυμπίεστο είτε σε συμπιεσμένο. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες αρχείων ήχου:

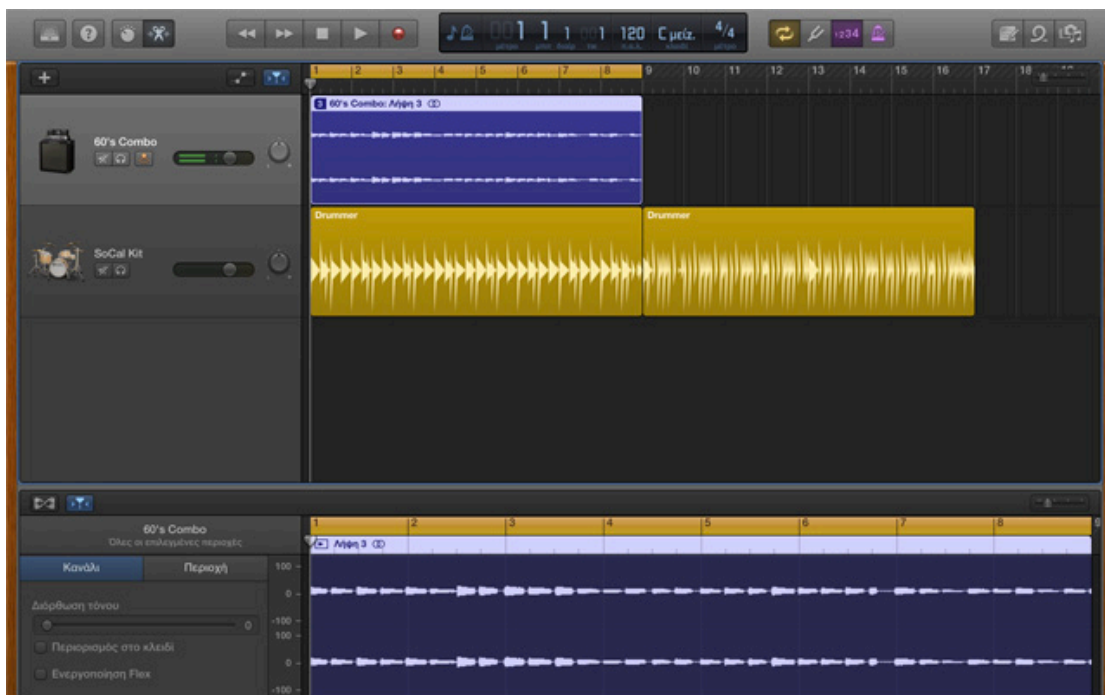
1. Ασυμπίεστες μορφές ήχου, όπως WAV, AIFF, AU ή LPCM.

2. Μορφές με συμπίεση χωρίς απώλειες, όπως FLAC, ATRAC Advanced Lossless, MPEG-4 ALS, MPEG-4 DST και WMA Lossless.
3. Μορφές με συμπίεση με απώλειες, όπως MP3, OGG-Vorbis, AAC, ATRAC και WMA.

Ένα δημοφιλές πρότυπο κωδικοποίησης ψηφιακού ήχου είναι το MPEG-1 Audio Layer 3 (MP3) [6], το οποίο βασίζεται στην αποτελεσματική συμπίεση αρχείων μέσω ενός αλγορίθμου σχεδιασμένου να μειώνει δραστικά το πλήθος των ψηφιακών δεδομένων που απαιτούνται για την αποθήκευση και ορθή αναπαραγωγή του ήχου, ο οποίος ωστόσο συνεχίζει να ακούγεται σαν πιστή αναπαραγωγή του αρχικού ασυμπίεστου περιεχομένου από τους περισσότερους ακροατές.

2.1.4 Κυματομορφή

Ως κυματομορφή [7] ορίζεται το σχήμα και η μορφή ενός σήματος. Τα ηχητικά σήματα φέρουν κυματομορφή η οποία δεν είναι ορατή από το ανθρώπινο μάτι παρά μόνο μέσα από γραφική απεικόνισή της σε υπολογιστή ή άλλη μηχανή (όπως παλμογράφος). Ουσιαστικά, μια κυματομορφή απεικονίζεται με ένα γράφημα που δείχνει τις μεταβολές του πλάτους ενός καταγεγραμμένου σήματος κατά τη διάρκεια της εγγραφής. Ένα παράδειγμα κυματομορφής φαίνεται στην εικόνα 1.

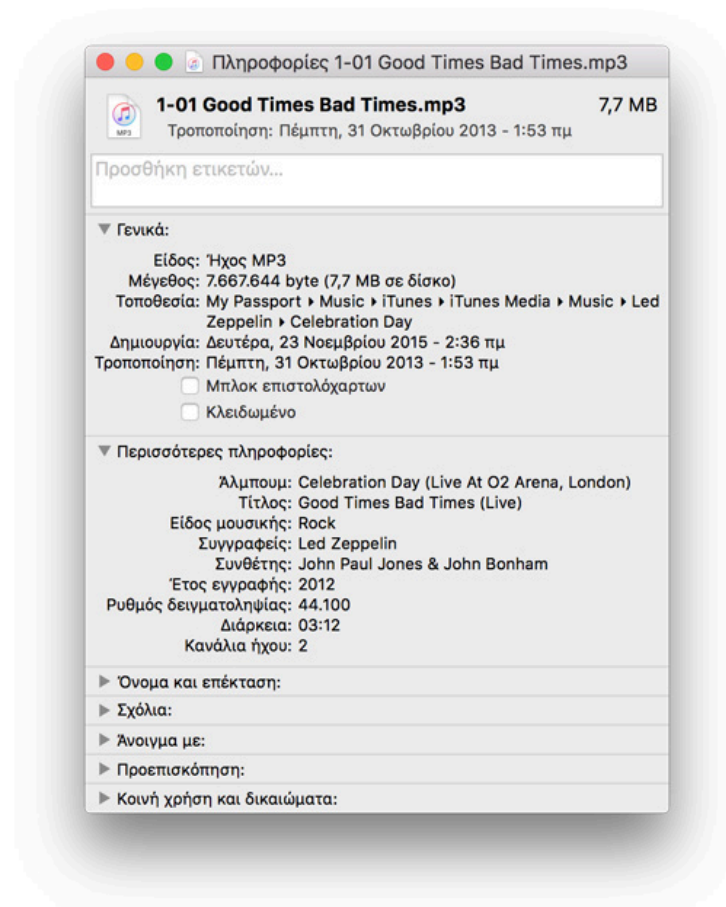


Εικόνα 1 Κυματομορφές, όπως εμφανίζονται στο πρόγραμμα GarageBand

2.1.5 Μεταδεδομένα

Τα μεταδεδομένα [8, 9] είναι δεδομένα τα οποία περιγράφουν άλλα δεδομένα. Κατά κανόνα, ένα σύνολο μεταδεδομένων περιγράφει ένα άλλο σύνολο δεδομένων, το οποίο αποτελεί μια πηγή.

Ένας τομέας που χρησιμοποιούνται τα μεταδεδομένα είναι η μουσική. Όπως γίνεται αντιληπτό, το να υπάρχουν αρχεία ήχου για τα οποία δεν γνωρίζουμε τίποτα παρά μόνο το όνομα του αρχείου, δεν είναι πρακτικό. Για το λόγο αυτό, εφαρμόζονται στα αρχεία ήχου ετικέτες. Μία ετικέτα μέσα σε ένα συμπιεσμένο αρχείο ήχου [10], είναι μία ενότητα του αρχείου που περιέχει μεταδεδομένα όπως ο τίτλος, ο καλλιτέχνης, το άλμπουμ, ο αριθμός του τραγουδιού και άλλες πληροφορίες που σχετίζονται με το τραγούδι (βλ. Εικόνα 2). Για παράδειγμα, μία ID3v1 ετικέτα έχει μήκος 128 bytes και περιλαμβάνει τα πεδία που φαίνονται στον πίνακα 1.



Εικόνα 2 Μεταδεδομένα αρχείου ήχου μορφής MP3

Πεδίο	Μήκος (bytes)	Περιγραφή
header	3	«TAG»
title	30	30 χαρακτήρες από τον τίτλο του κομματιού
artist	30	30 χαρακτήρες από το όνομα του καλλιτέχνη
album	30	30 χαρακτήρες από το όνομα του άλμπουμ
year	4	Το έτος κυκλοφορίας
comment	28 ή 30	Κάποιο σχόλιο σχετικά με το κομμάτι
zero-byte	1	Αν ο αριθμός του κομματιού είναι καταχωρημένος, αυτό το byte έχει το δυαδικό αριθμό 0.
track	1	Ο αριθμός του κομματιού στο άλμπουμ, ή 0. Δεν ισχύει, αν το προηγούμενο byte δεν έχει το δυαδικό αριθμό 0.
genre	1	Περιεχόμενο σε μία λίστα από είδη μουσικής, ή 255

Πίνακας 1 Περιεχόμενα IDv3 ετικέτας

Εκτός από τη βασική ετικέτα, χρησιμοποιείται και μία εκτεταμένη ετικέτα (extended tag) πριν από την IDEv1 ετικέτα, η οποία χρησιμεύει στο γεγονός ότι μπορούν να αποθηκευτούν περισσότερες πληροφορίες, όπως αποτυπώνονται στον πίνακα 2.

Πεδίο	Μήκος (bytes)	Περιγραφή
Header	4	«TAG+»
title	60	60 χαρακτήρες από τον τίτλο του κομματιού
artist	60	60 χαρακτήρες από το όνομα του καλλιτέχνη
album	60	60 χαρακτήρες από το όνομα του άλμπουμ
speed	1	0=unset, 1=slow, 2=medium, 3=fast, 4=hardcore
genre	30	Πεδίο ελεύθερου κειμένου για το είδος της μουσικής
start-time	6	Η έναρξη της μουσικής σε μορφή λλλ:δδ
end-time	6	Η λήξη της μουσικής σε μορφή λλλ:δδ

Πίνακας 2 Περιεχόμενα εκτεταμένης ετικέτας

2.1.6 Ρυθμός μετάδοσης

Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων μέσα από ένα επικοινωνιακό κανάλι [11, 12]. Στη σειριακή μεταφορά ψηφιακών δεδομένων χρησιμοποιείται ο όρος ρυθμός μετάδοσης δυαδικών ψηφίων. Ο ρυθμός μετάδοσης δυαδικών ψηφίων (bitrate) αναφέρεται στο πλήθος των bit που περνάνε από ένα σημείο του καναλιού δεδομένων σε ένα χρονικό διάστημα. Μετριέται σε bits ανα δευτερόλεπτο (bits per second, bps). Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται τα bitrates που μπορεί να έχει ένα αρχείο ήχου μορφής MP3.

Bitrate (σε kbps)	Περιγραφή
32	Κυρίως αποδεκτό μόνο για ομιλία
96	Χρησιμοποιείται για ομιλία και streaming χαμηλής ποιότητας
128 ή 160	Μεσαίας κατηγορίας ποιότητα
192	Μεσαία ποιότητα
256	Συχνά χρησιμοποιούμενη υψηλή ποιότητα
320	Το ανώτατο επίπεδο ποιότητας που υποστηρίζεται από το πρότυπο MP3

Πίνακας 3 Ρυθμός μετάδοσης για το πρότυπο MP3

2.1.7 Tempo

Ο όρος tempo, που στα ιταλικά σημαίνει χρόνος, στη μουσική ορολογία αποτελεί την ένδειξη η οποία δηλώνει το ρυθμικό χαρακτήρα με τον οποίο πρέπει να εκτελεστεί ένα μουσικό έργο [13]. Το tempo υπολογίζεται σε χτύπους ανά λεπτό (bits per minute, bpm) και φέρει μετρονομική ένδειξη [14], δηλαδή με πόσους χτύπους ανά λεπτό ισούται η βασική ρυθμική αξία στην οποία είναι γραμμένο το μουσικό κείμενο. Παραδείγματος χάρη, κείμενο με μετρική ένδειξη 4/4, δηλαδή η ρυθμική μονάδα είναι το τέταρτο, η μετρονομική ένδειξη θα δηλώνει πόσα τέταρτα χωρούν μέσα σε ένα λεπτό, π.χ. 120. Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται ενδεικτικά beats per minute για μερικά είδη μουσικής [14, 15].

Είδος μουσικής	Ενδεικτικό εύρος BPM
Dubstep	70-100
Hip-Hop	80-115
Triphop / Downtempo	90-110
House	120-128
Techno	120-160
Trance	125-150
Drum and bass	150-180
Psytrance	145
Gabber	180-220
Speedcore	200-1000+

Πίνακας 4 Εύρος BPM ανά είδος μουσικής (ορισμένα είδη)

Τέλος, στον πίνακα 5 παρουσιάζεται μία πλήρης λίστα με τους ρυθμούς και το εύρος των ρυθμών ανά λεπτό [13].

Ρυθμός	Περιγραφή	Εύρος σε BPM
Larghissimo	Πολύ, πολύ αργός	24
Grave	Πολύ αργός	25-45
Largo	Γενικός	40-60
Lento	Αργός	40-60
Larghetto	Μάλλον γενικός	60-66
Adagio	Αργός και μεγαλοπρεπής	66-76
Adagietto	Πιο αργός από τον andante	72-76
Andante	Σε ρυθμό βήματος	76-108
Andantino	Ελαφρώς πιο γρήγορος από τον andante	80-108
Marcia moderato	Μέτριος, με την έννοια της πορείας	83-85

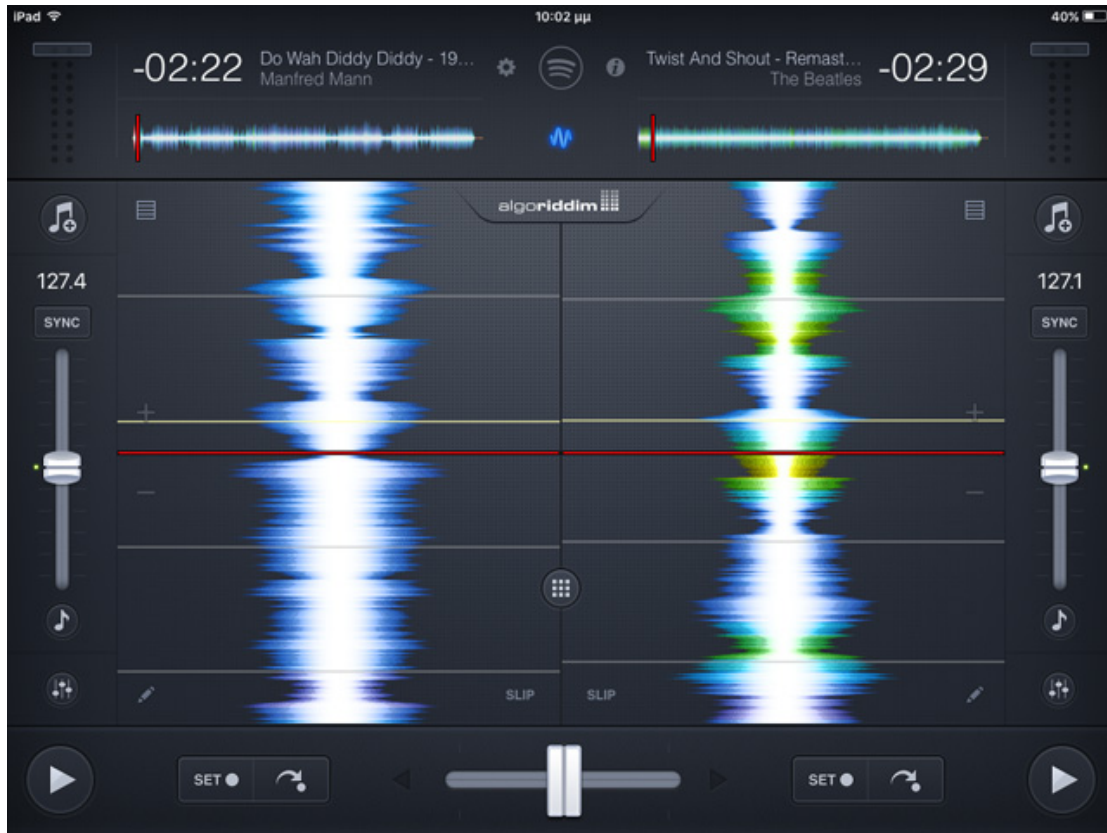
Ρυθμός	Περιγραφή	Εύρος σε BPM
Andante moderato	Μεταξύ andante και moderato	92-112
Moderato	Μέτριος	108-120
Allegretto	Μέτριος προς γρήγορος	112-120
Allegro moderato	Ένα σκαλί πιο κάτω από τον allegro	116-120
Allegro	Γρήγορος, ταχύς και οξύς	120-168
Vivace	Ζωντανός και γρήγορος	168-176
Vivacissimo	Πολύ γρήγορος και ζωντανός	172-176
Allegrissimo ή Allegro vivace	Πολύ γρήγορος	172-176
Presto	Πολύ, πολύ γρήγορος	168-200
Prestissimo	Ακόμα πιο γρήγορος από τον presto	200+

Πίνακας 5 Ρυθμοί και το εύρος τους σε BPM

2.1.8 Beatmatching

Στη μουσική κατά τη διάρκεια αναπαραγωγής κομματιών είναι σημαντικό να μπορεί ένας disc jockey (DJ) να συνδέει ένα κομμάτι με ένα άλλο, επιφέροντας μία ομαλή μετάβαση από το κομμάτι το οποίο παίζει στο επόμενο κομμάτι. Το beatmatching είναι μία τέτοια τεχνική [16]. Ουσιαστικά πρόκειται για μετατόπιση ή/και «χρονικό τέντωμα» (timestretching όπως είναι η διεθνής ορολογία) ενός επόμενου κομματιού έτσι ώστε να ταιριάζει με το ρυθμό του τρέχοντος κομματιού που αναπαράγεται, αλλά και προσαρμογή των κομματιών αυτών (τρέχοντος και επόμενου) έτσι ώστε τα beats τους να είναι όσο το δυνατόν συγχρονισμένα.

Ο λόγος που αρχικά είχε αναπτυχθεί η συγκεκριμένη τεχνική ήταν για να αποτρέπουν τον κόσμο να κατεβαίνει από την πίστα στο τέλος ενός τραγουδιού. Σήμερα, αυτή η τεχνική είναι διαδεδομένη και χρησιμοποιείται από το σύνολο των DJs, κυρίως σε κλαμπς όπου παίζουν χορευτικά είδη μουσικής με σκοπό να διατηρούν ένα σταθερό ρυθμό καθόλη τη διάρκεια λειτουργίας του κλαμπ (ακόμα και αν αλλάξει ο DJ). Είναι σημαντικό εδώ να τονιστεί ότι η τεχνική αυτή υιοθετείται και από DJs που παίζουν και άλλα είδη μουσικής, πέρα των χορευτικών. Ένα παράδειγμα beatmatching φαίνεται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3 Beatmatching δύο κομματιών στην εφαρμογή “djay by algoriddim” για iPad

2.2 Ακούγοντας ψηφιακή μουσική

2.2.1 Αναπαραγωγή πολυμέσων

Σήμερα, για να είναι σε θέση να ακούσει ένας άνθρωπος ψηφιακή μουσική, θα πρέπει να χρησιμοποιήσει κάποιον media player. Ο media player μπορεί να είναι είτε συσκευή, είτε λογισμικό. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες media player [17]:

1. Λογισμικό (software media player), όπως Apple iTunes, Windows Media Player, VLC player, Real Player, κλπ.
2. Φορητή συσκευή (portable media player), όπως Apple iPod, SanDisk Sansa, Sony Walkman, Creative NOMAD Jukebox, κλπ.
3. Ψηφιακή συσκευή (digital media player), όπως Apple TV, Google Chromecast & Chromecast Audio, Nvidia Shield, Roku, Amazon Fire, κλπ.

Σε κάθε περίπτωση οι κατηγορίες 2 και 3 βασίζονται σε κάποιο λογισμικό media player, το οποίο βρίσκεται εγκατεστημένο στη μνήμη ROM των συσκευών αυτών.

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί δραματικά το streaming μουσικής, δηλαδή η αναπαραγωγή αρχείων ήχου χωρίς αυτά να είναι αποθηκευμένα τοπικά στη συσκευή αλλά στο cloud, δηλαδή σε απομακρυσμένους servers και και είναι προσβάσιμα μέσω του διαδικτύου. Το σύστημα αυτό λειτουργεί χρησιμοποιώντας το μοντέλο της συνδρομής, δηλαδή ένας χρήστης γίνεται συνδρομητής -συνήθως επί πληρωμή- σε κάποια υπηρεσία streaming μουσικής (όπως Spotify, Apple Music, Google Play Music, Tidal, Deezer, κλπ.), αποκτώντας έτσι πρόσβαση στον πλήρη κατάλογο με αρχεία μουσικής και άλλων πολυμέσων που διαθέτουν οι υπηρεσίες αυτές, τα οποία μπορεί να αναπαράγει κατά το δοκούν και καθόλη τη διάρκεια ισχύος της συνδρομής του, χρησιμοποιώντας τις εφαρμογές (apps) των υπηρεσιών αυτών στον υπολογιστή ή στις φορητές συσκευές (όπως smartphone, tablet) που διαθέτει. Για την χρήση αυτών των υπηρεσιών είναι αναγκαία η σύνδεση με το διαδίκτυο, ενώ ορισμένες υπηρεσίες προσφέρουν και δυνατότητα αποθήκευσης ορισμένων τραγουδιών στις συσκευές των συνδρομητών για χρήση εκτός σύνδεσης.

2.2.1.1 Λογισμικό αναπαραγωγής πολυμέσων

Ως media player [18] λογίζεται ένα πρόγραμμα υπολογιστή το οποίο αναπαράγει αρχεία πολυμέσων, όπως βίντεο, ταινίες και μουσική. Φέρει διαδραστικά εικονίδια για το χειρισμό της αναπαραγωγής των πολυμέσων, παρόμοια με τα φυσικά κουμπιά που υπάρχουν σε συσκευές αναπαραγωγής CD και DVD, δηλαδή «αναπαραγωγή», «παύση», «επόμενο», «προηγούμενο» και «στοπ».

Όλα τα λειτουργικά συστήματα διαθέτουν τουλάχιστον έναν προεγκατεστημένο media player. Τα Windows διαθέτουν τον Windows Media Player, τα Mac OS διαθέτουν τα iTunes και QuickTime, τα Linux διαθέτουν συνήθως τον VLC player (αναλόγως τη διανομή του OS), το Android OS διαθέτει το Google Play Music, ενώ το iOS διαθέτει τις εφαρμογές «Μουσική» και «Βίντεο». Φυσικά, δεκάδες media players είναι διαθέσιμοι προς εγκατάσταση και χρήση σε όλα τα παραπάνω λειτουργικά συστήματα, είτε δωρεάν είτε επί πληρωμή.

Τέλος, δικούς τους media players έχουν δημιουργήσει και προσφέρουν στους χρήστες/συνδρομητές τους και οι υπηρεσίες streaming μουσικής, για την πρόσβαση στον πλήρη κατάλογο μουσικής τους. Ένα παράδειγμα λογισμικού media player σε φορητή συσκευή φαίνεται στην εικόνα 4.



Εικόνα 4 Το γραφικό περιβάλλον αναπαραγωγής της εφαρμογής Spotify για iPhone

2.2.1.2 Φορητή συσκευή αναπαραγωγής πολυμέσων

Μία φορητή συσκευή αναπαραγωγής πολυμέσων [19] είναι μία φορητή ψηφιακή συσκευή ή οποία -συνήθως- βασίζεται σε τροφοδοσία ρεύματος μέσω μπαταρίας και είναι σε θέση να αποθηκεύει και να αναπαράγει αρχεία πολυμέσων, όπως βίντεο, ταινίες και μουσική.

Στη συγκεκριμένη κατηγορία ανήκουν πλέον και οι έξυπνες τηλεφωνικές συσκευές (smartphones) αλλά και τα tablets, οι οποίες εκτός των άλλων χρήσεων, είναι ικανές να αναπαράγουν και αρχεία πολυμέσων, τα οποία είτε είναι αποθηκευμένα τοπικά είτε προσπελούνται από το διαδίκτυο.

2.2.1.3 Ψηφιακή συσκευή αναπαραγωγής πολυμέσων

Μία ψηφιακή συσκευή αναπαραγωγής πολυμέσων [20] είναι μία συσκευή οικιακής ψυχαγωγίας η οποία συνδέεται στο τοπικό δίκτυο (LAN) του σπιτιού και είναι σε θέση να

αναπαράγει αρχεία πολυμέσων, όπως βίντεο, ταινίες και μουσική. Αυτό γίνεται με τη σύνδεσή της με καλώδιο σε κάποια τηλεόραση ή/και σε ηχεία. Σε αντίθεση με τις φορητές συσκευές, δεν διαθέτει μπαταρία για τη λειτουργία της, κάτι που σημαίνει ότι θα πρέπει να είναι μόνιμα συνδεδεμένη στο ρεύμα. Συνήθως συνοδεύεται από τηλεχειριστήριο για το χειρισμό της από τον χρήστη, ενώ αρκετές από αυτές διαθέτουν και εφαρμογή για έξυπνες φορητές συσκευές (smartphones, tablets) που μπορεί ο χρήστης να χρησιμοποιήσει αντί του τηλεχειριστηρίου.

Στη συγκεκριμένη κατηγορία ανήκουν και οι Smart TVs οι οποίες εκτός της κλασικής τους χρήσης ως τηλεόρασης, διαθέτουν λειτουργικό σύστημα και εφαρμογές για την αναπαραγωγή πολυμέσων κατά το δοκούν.

2.2.2 Λίστες αναπαραγωγής

Λίστα αναπαραγωγής είναι μία λίστα που αποτελείται από τραγούδια. Οι λίστες αναπαραγωγής μπορούν να αναπαραχθούν είτε με τη σειρά κατά την οποία περιέχουν τα τραγούδια, είτε με τυχαία σειρά. Οι λίστες αναπαραγωγής χρησιμοποιούνται σε αρκετούς τομείς της μουσικής [21], όπως το ραδιόφωνο, οι υπολογιστές και το διαδίκτυο, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορούν να αφορούν και μία σειρά από βίντεο (δεν χρησιμοποιούνται δηλαδή μόνο για μουσική).

Αυτό που μας ενδιαφέρει εδώ είναι η χρήση των λιστών αναπαραγωγής που περιέχουν τραγούδια, σε υπολογιστές και διαδίκτυο. Ο όρος λίστα αναπαραγωγής υιοθετήθηκε από το σύνολο σχεδόν των λογισμικών media players (βλ. 1.2.1.1), με σκοπό την καλύτερη οργάνωση και το χειρισμό της μουσικής που βρίσκεται αποθηκευμένη σε έναν υπολογιστή. Σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα έχει αναπτυχθεί και μία λειτουργία των προγραμμάτων αυτών που επιτρέπει τη δημιουργία τυχαίων λιστών αναπαραγωγής. Ως συνήθως, οι λίστες αυτές δημιουργούνται με βάση ένα επιθυμητό μουσικό ύφος του χρήστη, και ενημερώνονται διαρκώς, χωρίς να χρειάζεται η παρέμβαση του χρήστη.

Οι λίστες αναπαραγωγής έχουν σήμερα υιοθετηθεί και από σχεδόν το σύνολο των υπηρεσιών streaming μουσικής, όπως το Spotify ή το Apple Music, όπου επιτρέπουν στο χρήστη/συνδρομητή να δημιουργεί, να κατηγοριοποιεί, να επεξεργάζεται και να ακούει λίστες αναπαραγωγής μέσω διαδικτύου (online).



Εικόνα 5 Γραφική απεικόνιση μιας λίστας αναπαραγωγής στο πρόγραμμα Spotify

2.3 Τυχαία αναπαραγωγή

Τυχαία ή ανακατεμένη αναπαραγωγή (shuffle play), όπως εκφράζει και το όνομά της, είναι η δυνατότητα αναπαραγωγής τραγουδιών που περιέχονται σε μία λίστα αναπαραγωγής με ανακατεμένη σειρά, η οποία καθορίζεται πριν την αναπαραγωγή της λίστας. Η δυνατότητα αυτή συναντάται σε CD και MP3 συσκευές αναπαραγωγής, σε digital audio players και σε λογισμικό media players [22]. Η τυχαία αναπαραγωγή έχει ως σκοπό την αποφυγή επανάληψης ίδιων κομματιών, κάτι που την κάνει διαφορετική ως λειτουργία από την γενική τυχαία αναπαραγωγή (random playback) η οποία απλώς διαλέγει τυχαία τραγούδια από το σύνολο της αποθηκευμένης μουσικής σε έναν υπολογιστή, χωρίς να λαμβάνει υπόψη αν έχει αναπαραχθεί ξανά ένα κομμάτι ή όχι.

Το shuffle play το συναντάμε στο σύνολο σχεδόν των συσκευών αναπαραγωγής πολυμέσων, όπως υπολογιστές, digital/portable media players, smartphones, tablets, κλπ. Υπάρχει μάλιστα και μία συσκευή, το Apple iPod Shuffle, η οποία βασίζεται αποκλειστικά στη λειτουργία shuffle play για την αναπαραγωγή των τραγουδιών που είναι αποθηκευμένα στη συσκευή. Το shuffle play έχει εξελιχθεί τόσο ώστε να είναι σε θέση πλέον να αναπαράγει σε τυχαία σειρά όχι μόνο άλμπουμ, αλλά και τραγούδια από ένα συγκεκριμένο είδος μουσικής, ή ακόμα και το σύνολο των τραγουδιών που υπάρχει

αποθηκευμένο σε μία συσκευή. Οι χρήστες μπορούν να δημιουργούν λίστες αναπαραγωγής και να χρησιμοποιούν τη λειτουργία αυτή έτσι ώστε να ακούν τα τραγούδια της λίστας που έφτιαξαν κάθε φορά με διαφορετική σειρά.

Ένα μεγάλο μειονέκτημα του shuffle play είναι ότι μπορεί κάποιο ή κάποια κομμάτια να ξανααναπαραχθούν ακόμα και πριν την αναπαραγωγή των μισών τραγουδιών μιας λίστας αναπαραγωγής, αν η συσκευή δεν διαθέτει μνήμη τελευταίας θέσης και indexing.

2.3.1 Ο αλγόριθμος των Fisher-Yates

Ένας από τους γνωστότερους αλγορίθμους που χρησιμοποιούνται για την τυχαία αναπαραγωγή είναι αυτός των Fisher-Yates [i]. Η διαδικασία είναι η εξής:

1. Γράφουμε σε ένα κομμάτι χαρτί τους αριθμούς από 1 μέχρι N.
2. Διαλέγουμε ένα τυχαίο αριθμό k μεταξύ του 1 και του αριθμού των υπόλοιπων αριθμών που περιέχονται στη λίστα.
3. Μετρώντας από το τέλος της λίστας, αφαιρούμε τον k-οστό αριθμό, εφόσον υπάρχει ακόμα στη λίστα, και τον γράφουμε στο τέλος μιας ξεχωριστής λίστας.
4. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 2-3 μέχρι όλοι οι αριθμοί να έχουν αφαιρεθεί από τη λίστα.
5. Η ακολουθία των αριθμών όπως είναι γραμμένοι στο βήμα 3 είναι πλέον μία τυχαία μετάθεση των αρχικών αριθμών.

2.3.2 Ο αλγόριθμος των Durstenfeld και Knuth

Το 1964 ο Richard Durstenfeld [v] παρουσίασε μια πιο μοντέρνα εκδοχή του αλγορίθμου των Fisher-Yates, η οποία όμως έγινε γνωστή στο ευρύ κοινό από τον Donald E. Knuth ως «Αλγόριθμος P» [ii]. Το αξιοσημείωτο εδώ είναι ότι κανένας εκ των Durstenfeld και Knuth δεν γνώριζε τότε την ύπαρξη του αλγορίθμου των Fisher-Yates [24].

Ο αλγόριθμος του Durstenfeld διαφέρει -ελάχιστα μεν, σημαντικά δε- σε σχέση με αυτόν των Fisher-Yates. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι σε αντίθεση με τον αλγόριθμο των Fisher-Yates όπου στο βήμα 3 υπάρχει περίπτωση να ξοδεύουμε άσκοπα χρόνο μετρώντας τους εναπομείναντες αριθμούς, ο αλγόριθμος αυτός μεταφέρει τους επιλεγμένους αριθμούς στο τέλος της λίστας ανταλλάσσοντάς τους με τον τελευταίο εναπομείναντα αριθμό σε κάθε επανάληψη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου

πολυπλοκότητας του αλγορίθμου σε $O(n)$ από $O(n^2)$ που είναι στον αλγόριθμο των Fisher-Yates. Ο αλγόριθμος του Durstenfeld αποτυπώνεται στον πίνακα 6.

```
-- To shuffle an array a of n elements (includes 0..n-1):  
for i from n-1 downto 1 do  
    j ← random integer such that 0 ≤ j ≤ i  
    exchange a[j] and a[i]
```

Πίνακας 6 Ο αλγόριθμος του Durstenfeld

Μία παρόμοια εκδοχή του αλγορίθμου του Durstenfeld στην οποία το ανακάτεμα της λίστας γίνεται από την αντίθετη κατεύθυνση, αποτυπώνεται στον πίνακα 7.

```
-- To shuffle an array a of n elements (includes 0..n-1):  
for i from 0 to n-2 do  
    j ← random integer such that 0 ≤ j ≤ n  
    exchange a[i] and a[j]
```

Πίνακας 7 Ο αλγόριθμος του Durstenfeld (“ανάποδη” υλοποίηση)

Ο αλγόριθμος λοιπόν των Fisher-Yates, όπως έχει υλοποιηθεί από τον Durstenfeld, είναι ένα ανακάτεμα επί τόπου [24], δηλαδή δοθέντος ενός προ-αρχικοποιημένου πίνακα, ανακατεύει τα στοιχεία του εσωτερικά, αντί να δημιουργήσει ένα ανακατεμένο αντίγραφο του πίνακα. Αυτό μπορεί να είναι ένα πλεονέκτημα του αλγορίθμου, ειδικά σε περιπτώσεις μεγάλων πινάκων.

2.3.3 Ο αλγόριθμος της Sattolo

Ένας παρόμοιος αλγόριθμος αναπτύχθηκε από την Sandra Sattolo [iii] το 1986 για τη δημιουργία ομοιόμορφα κατανομημένων κύκλων (μέγιστου) μήκους n . Η μόνη διαφορά μεταξύ των αλγορίθμων του Durstenfeld και της Sattolo έγκειται στο γεγονός ότι ο αλγόριθμος της Sattolo ο τυχαίος αριθμός j επιλέγεται από το εύρος μεταξύ του 1 και $i-1$ (αντί για 1 και i , δηλαδή) [25]. Αυτή η απλή διαφοροποίηση τροποποιεί τον αλγόριθμο έτσι ώστε η μετάθεση που προκύπτει να αποτελείται πάντοτε από ένα και μόνο κύκλο. Μία υλοποίηση του αλγορίθμου της Sattolo παρουσιάζεται στον πίνακα 8.

```
from random import randrange

def sattoloCycle(items):
    i = len(items)
    while i > 1:
        i = i - 1
        j = randrange(i) # 0 <= j <= i-1
        items[j], items[i] = items[i], items[j]
    return
```

Πίνακας 8 Μία υλοποίηση του αλγορίθμου της Sattolo σε Python

3. Τεχνητή νοημοσύνη

3.1 Εισαγωγή

Ως τεχνητή νοημοσύνη ορίζεται η ικανότητα ηλεκτρονικού υπολογιστή ή κυβερνώμενου από υπολογιστή αυτομάτου να επιτελεί έργα τα οποία συνήθως συναρτώνται προς τα νοήμοντα όντα [vi]. Ο όρος συχνά εφαρμόζεται για τη δραστηριότητα της ανάπτυξης συστημάτων προικισμένων με τις χαρακτηριστικές για τον άνθρωπο νοητικές διεργασίες, όπως η ικανότητα συλλογισμού, ανακάλυψης σημασιών, γενίκευσης ή μάθησης από προηγούμενη εμπειρία.

Η τεχνητή νοημοσύνη χωρίζεται σε συμβατική και υπολογιστική [26]. Η συμβατική τεχνητή νοημοσύνη εμπλέκει μεθόδους μηχανικής μάθησης και διακρίνεται σε:

- Έμπειρα συστήματα (πάνω στα οποία βασίζεται ο αλγόριθμος smart shuffle που θα αναπτυχθεί στο επόμενο κεφάλαιο).
- Λογική κατά περίπτωση.
- Μπαϋεσιανά δίκτυα.
- Συμπεριφορική τεχνητή νοημοσύνη.

Από την άλλη, η υπολογιστική τεχνητή νοημοσύνη βασίζεται στη μάθηση μέσω επαναληπτικών διαδικασιών και διακρίνεται σε:

- Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.
- Συστήματα ασφαλούς λογικής.
- Εξελικτική υπολογιστική.

3.2 Επίλυση προβλημάτων

3.2.1 Προβλήματα

Ένα πρόβλημα είναι ένα σύνολο αντικειμένων, ιδιοτήτων και σχέσεων το οποίο ορίζεται από μία αρχική κατάσταση, μία επιθυμητή τελική κατάσταση και τις επιτρεπτές ενέργειες στα αντικείμενα του προβλήματος [27].

Για να επιλυθεί ένα πρόβλημα μέσω αναζήτησης πρέπει πρώτα να προσδιοριστεί ο χώρος μέσα στον οποίο θα γίνει η αναζήτηση [vii]. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να σχεδιαστεί η δομή για την αναπαράσταση των διαφόρων καταστάσεων του προβλήματος. Ακολούθως, θα πρέπει να διατυπωθούν οι ενέργειες που οδηγούν από μία κατάσταση σε μία άλλη, με άλλα λόγια οι τελεστές που μετατρέπουν μία κατάσταση σε μία άλλη. Τα παραπάνω, προσδιορίζουν το χώρο αναζήτησης.

Επόμενο βήμα είναι να προσδιοριστεί ο μηχανισμός με τον οποίο θα γίνει η πλοήγηση, με στόχο να καταλήξουμε από το σημείο που βρισκόμαστε στο επιθυμητό τελικό σημείο.

3.2.2 Αλγόριθμοι αναζήτησης

Υπάρχουν πάρα πολλά προβλήματα, πραγματικά ή συνθετικά, απλά ή πολύπλοκα τα οποία αναπαρίστανται με χώρο καταστάσεων. Σε κάθε πρόβλημα το μόνο που αλλάζει ουσιαστικά είναι οι λεπτομέρειες. Για να είναι σε θέση ένα πρόγραμμα να επιλύσει ένα τέτοιο πρόβλημα θα πρέπει να μπορεί να αναπαραστήσει κατάλληλα και να κατασκευάσει ένα δέντρο καταστάσεων μέχρι να φτάσει σε μία τελική κατάσταση.

Υπάρχει ένας γενικός αλγόριθμος αναζήτησης που εκτελεί αυτή την διερεύνηση, αλλά υπάρχουν και παραλλαγές του κυρίως ως προς τα βήματα 7 και 8, όπως φαίνονται στον πίνακα 9. Στον αλγόριθμο αυτό Μέτωπο Αναζήτησης (M.A.) είναι το σύνολο των καταστάσεων που έχουμε επισκεφθεί αλλά δεν έχουμε επεκτείνει και Κλειστό Σύνολο (Κ.Σ.) το σύνολο των καταστάσεων που και έχουμε επισκεφθεί και έχουμε επεκτείνει.

```
1. M.A. = NULL; Κ.Σ. = NULL;
2.   Insert root to M.A.
3.   while (K=Κεφαλή(M.A.)) != NULL {
4.       if K περιέχεται στο Κ.Σ. then goto 3
5.       if K είναι τελική κατάσταση then {
           return K(μη εξαντλητική αναζήτηση ή
           insertToSolutions(K) (εξαντλητική αναζήτηση); goto 3}
6.   Επέκταση του K, Εισαγωγή των παιδιών του στο M.A., Εισαγωγή
   του K στο Κ.Σ.
7.   Αφαίρεση κάποιων καταστάσεων από το M.A. με κάποιο κριτήριο
   («κλάδεμα» του δένδρου, γίνεται για εξοικονόμηση χρόνου όταν
   θεωρείται απίθανο το υποδένδρο που ξεκινά από κάποια
   κατάσταση να οδηγήσει σε λύση)
```

8.	Αναδιοργάνωση του Μ.Α. με κάποιο κριτήριο
9.	}

Πίνακας 1 Γενικός Αλγόριθμος αναζήτησης

Οι παραλλαγές του γενικού αλγορίθμου αναζήτησης χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες [27]:

- Τυφλή αναζήτηση: οι σπουδαιότεροι αλγόριθμοι τυφλής αναζήτησης είναι η αναζήτηση κατά βάθος (Depth-First Search, DFS) και αναζήτηση κατά πλάτος (Breadth-First Search, BFS). Επίσης, υπάρχουν και ο αλγόριθμος επαναληπτικής εκβάθυνσης (Iterative Deepening, ID) ο οποίος αποτελεί συμβιβασμό μεταξύ των δύο πρώτων, αλλά και ο αλγόριθμος τυφλής αναζήτησης επέκτασης και οριοθέτησης (Branch and Bound, B&B).
- Ευρετική αναζήτηση: ξεχωρίζουν ο αλγόριθμος αναρρίχησης λόφων (Hill Climbing, HC) που μοιάζει με τον DFS και ο αλγόριθμος προσομοιωμένης απάντησης (Simulated Annealing, SA). Άλλοι αλγόριθμοι σε αυτή την κατηγορία είναι ο αλγόριθμος ακτινωτής αναζήτησης (Beam Search), ο αλγόριθμος αναζήτησης πρώτα στο καλύτερο (Best First Search, BestFS), ο A* που αποτελεί τροποποίηση του BestFS και είναι πλήρης και βέλτιστος, και ο IDA* (παραλλαγή του A* με επαναληπτική εκβάθυνση).
- Παίγνια: είναι μία ειδική κατηγορία προβλημάτων τεχνητής νοημοσύνης, όπου έχουμε δύο διαφορετικά σύνολα τελεστών μετάβασης που εφαρμόζονται εναλλάξ από δύο ανταγωνιστικά ενεργά συστήματα. Σπουδαιότερος αλγόριθμος αυτής της κατηγορίας είναι ο Minimax (αναζήτηση ελαχίστου-μεγίστου).
- Ικανοποίηση περιορισμών: ο απλούστερος αλγόριθμος της κατηγορίας είναι ο AC-3, ο οποίος μπορεί να χειριστεί μόνο δυαδικούς περιορισμούς.

3.3 Έμπειρα συστήματα βάσει κανόνων

Στην τεχνητή νοημοσύνη ένα έμπειρο σύστημα είναι ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο μιμείται την ικανότητα ενός εμπειρογνώμονα στη λήψη αποφάσεων [viii]. Σκοπός των έμπειρων συστημάτων είναι να λύνουν πολύπλοκα προβλήματα συλλογιζόμενα με βάση τη διαθέσιμη γνώση σε ένα πεδίο, σε αντίθεση με τα «κλασσικά» προγράμματα τα οποία

ακολουθούν μία συγκεκριμένη διαδικασία επίλυσης ενός προβλήματος όπως το έχει ορίσει ο προγραμματιστής του.

Η δομή ενός έμπειρου συστήματος χαρακτηρίζεται μοναδική, διαφορετική από τα παραδοσιακά προγράμματα. Χωρίζεται σε σταθερό και μεταβλητό. Το σταθερό του κομμάτι περιλαμβάνει τη μηχανή εξαγωγής συμπερασμάτων, ενώ το μεταβλητό τη βάση γνώσης. Η μηχανή αξιοποιεί τη βάση γνώσης, «σκεφτόμενη» όπως ένας άνθρωπος, έτσι ώστε να εξάγει συμπεράσματα για ένα δεδομένο πρόβλημα [ix].

3.3.1 Βάση γνώσης

Η βάση γνώσης χρησιμοποιεί κανόνες φυσικής γλώσσας, δηλαδή εκφράσεις του τύπου «EAN ισχύει το χ ΤΟΤΕ ψ », «EAN $\chi = \psi$ ΤΟΤΕ ζ », «EAN ισχύει το χ ΚΑΙ ισχύει το ψ ΚΑΙ δεν ισχύει το ζ ΤΟΤΕ συμπέρασμα β », κλπ. Με άλλα λόγια δηλαδή, είναι ένας κανόνας παραγωγής, μία πρόταση δηλαδή της μορφής «Εάν-τότε (If-then)». Το αριστερό μέρος (Εάν) δίνει το προκείμενο ή τη συνθήκη του κανόνα και το δεξιό μέρος (Τότε) το συμπέρασμα ή την ενέργεια. Όπως είναι λογικό, και τα δύο μέρη μπορούν να είναι σύνθετα, αποτελούμενα από συζεύξεις προτάσεων [x].

Οι κανόνες αυτοί εκφράζουν τη γνώση που μπορεί να αξιοποιηθεί από τα έμπειρα συστήματα. Ωστόσο δεν είναι οι μοναδικοί. Υπάρχουν και κανόνες που δεν ανήκουν στην απλή καθομιλουμένη και χρησιμοποιούνται από έμπειρα συστήματα [28].

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι εφαρμογής των κανόνων, η ορθή αλυσίδωση και η ανάστροφη αλυσίδωση, οι οποίοι μπορούν να συνδυαστούν. Στην ορθή αλυσίδωση οι συμβολικές εκφράσεις στα προκείμενα των κανόνων ταυτίζονται με συμβολικές εκφράσεις στη μνήμη εργασίας.

3.3.2 Μηχανή εξαγωγής συμπεράσματος

Η μηχανή εξαγωγής συμπεράσματος αποτελεί ένα πρόγραμμα υπολογιστή σχεδιασμένο για να παράγει έναν συλλογισμό σε κανόνες, μία παραγωγή που βασίζεται στη λογική. Η λογική μπορεί να είναι προτασιακή, τροπική, χρονική, ασαφής, κλπ.

Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους μπορεί να εκτελεστεί η μηχανή. Είτε με διαδικασία επεξεργασίας ενός συνόλου δεδομένων (όπως συμβαίνει και στην περίπτωση του

αλγορίθμου Smart Shuffle που αναπτύσσεται στο επόμενο κεφάλαιο), είτε με τη διαδικασία του διαλόγου. Η μηχανή εξαγωγής συμπεράσματος λειτουργεί λαμβάνοντας τα δεδομένα από το χρήστη, κάνοντας έναν «αόρατο» συλλογισμό (δηλαδή ο χρήστης δεν γνωρίζει πώς πραγματοποιείται αυτός) και εξάγει τα αποτελέσματα στο χρήστη. Πρακτικά, για το χρήστη η μηχανή εξαγωγής συμπεράσματος λειτουργεί όπως και ένα παραδοσιακό πρόγραμμα (δηλαδή ο χρήστης εισάγει δεδομένα και λαμβάνει αποτελέσματα).

4. Smart Shuffle

4.1 Εισαγωγή

Οι αλγόριθμοι που παρουσιάστηκαν στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας, και οι οποίοι χρησιμοποιούνται σχεδόν από το σύνολο των προγραμμάτων αναπαραγωγής μουσικής (βλ. 2.2.1) λειτουργούν με τρόπο τελείως τυχαίο, κάτι που σημαίνει ότι η εμπειρία χρήσης τους μπορεί να μην είναι η καλύτερη δυνατή. Η ανάγκη για καλύτερη εμπειρία χρήσης, «γέννησε» την ιδέα για την ανάπτυξη ενός «ευφυούς» αλγορίθμου που θα χρησιμοποιεί κανόνες προκειμένου να ταξινομεί τα προς αναπαραγωγή ηχητικά αρχεία με τέτοιο τρόπο που η ακρόαση της μουσικής από το χρήστη να είναι όσο το δυνατόν ομαλότερη.

4.2 Λειτουργία

Ο αλγόριθμος λειτουργεί με την εξής φιλοσοφία. Δέχεται αρχικά ως είσοδο το αρχείο με τα μεταδεδομένα μιας λίστας αναπαραγωγής. Από αυτή τη λίστα, επιλέγει εντελώς τυχαία ένα από τα καταχωρημένα τραγούδια της λίστας και το τοποθετεί πρώτο στην ουρά αναπαραγωγής.

Στη συνέχεια, αντλεί τα μεταδεδομένα του επιλεγμένου τραγουδιού. Παράλληλα, επιλέγει πάλι με τυχαίο τρόπο το επόμενο τραγούδι για να μπει στην ουρά αναπαραγωγής. Εδώ όμως, αρχίζει πλέον για το δεύτερο επιλεγμένο τραγούδι και συγκεκριμένα για τα μεταδεδομένα του, να εφαρμόζει έναν έναν τους κανόνες που θα αναλυθούν στην επόμενη ενότητα. Ο αλγόριθμος έχει τη δυνατότητα να εφαρμόσει περισσότερους του ενός κανόνες τη φορά αλλά και παράλληλα.

Με την εφαρμογή των κανόνων, πρακτικά ο αλγόριθμος αναζητάει το καλύτερο δυνατό ταίριασμα μεταξύ προηγούμενου και επόμενου τραγουδιού. Αυτό το κάνει με τη βοήθεια των μεταδεδομένων του κάθε τραγουδιού, όπως ο τίτλος του, ο καλλιτέχνης, το είδος της μουσικής, το bitrate του και άλλα.

Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν άλλα διαθέσιμα τραγούδια από τη λίστα αναπαραγωγής που να ταιριάζουν μεταξύ τους, τότε ο αλγόριθμος ξεκινάει από την αρχή και

συμπληρώνει την ουρά αναπαραγωγής με τα υπόλοιπα τραγούδια κατά την ίδια διαδικασία.

4.3 Κανόνες

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του αλγορίθμου, εφαρμόζονται κάποιοι κανόνες που σκοπό έχουν να βοηθήσουν στην εξαγωγή του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος.

Συνολικά, εφαρμόζονται έξι (6) κανόνες, κατά το δεύτερο βήμα εκτέλεσης του αλγορίθμου. Οι κανόνες αυτοί παρουσιάζονται παρακάτω.

Κανόνας 1. Το αμέσως επόμενο τραγούδι δεν θα πρέπει να είναι του ίδιου καλλιτέχνη. Αν δεν υπάρχει άλλο τραγούδι με διαφορετικό καλλιτέχνη στη λίστα αναπαραγωγής τότε επέλεξε τραγούδι με τυχαίο τρόπο.

Κανόνας 2. Το αμέσως επόμενο τραγούδι δεν θα πρέπει να αποτελεί διαφορετική έκδοση του προηγούμενου.

Ουσιαστικά ο κανόνας αυτός αναφέρεται σε ύπαρξη π.χ. ενός τραγουδιού και μίας ή περισσότερων διασκευών του από διαφορετικό καλλιτέχνη στην ίδια λίστα αναπαραγωγής (π.χ. title(1) = Cat People, artist(1) = David Bowie, title(2) = Cat People, artist(2) = Shooter Jennings).

Κανόνας 3. Αν υπάρχουν περισσότερα του ενός τραγούδια του ίδιου καλλιτέχνη στη λίστα αναπαραγωγής, θα πρέπει να αναπαράγονται με απόσταση τουλάχιστον 10 τραγούδια μεταξύ τους.

Κανόνας 4. Το αμέσως επόμενο τραγούδι δεν θα πρέπει διαφέρει X ρυθμό BPM από το προηγούμενο. Αν δεν υπάρχει διαθέσιμο τραγούδι με αυτό το κριτήριο στη λίστα αναπαραγωγής, αύξησε το X κατά Ψ μονάδες και επανάλαβε. Αν και πάλι δεν υπάρχει διαθέσιμο τραγούδι, αύξησε κατά Z μονάδες και επανάλαβε. Αν και πάλι δεν υπάρχει διαθέσιμο τραγούδι, εφάρμοσε τον κανόνα 5.

Κανόνας 5. Αν το επιλεγμένο τραγούδι φέρει είδος μουσικής = X, τότε επέλεξε τραγούδι από τη λίστα αναπαραγωγής με το ίδιο είδος μουσικής. Αν δεν υπάρχει άλλο τραγούδι με το ίδιο είδος μουσικής τότε εφάρμοσε τον κανόνα 6.

Κανόνας 6. Αν το επιλεγμένο τραγούδι φέρει είδος μουσικής = X, τότε δες σε ποια ομάδα ειδών μουσικής ανήκει και με βάση αυτό, επέλεξε τραγούδι από τη λίστα αναπαραγωγής που το πεδίο «είδος μουσικής» ανήκει σε ένα από τα περιεχόμενα της ομάδας αυτής.

Εδώ και για τις ανάγκες της εφαρμογής του έκτου κανόνα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο αλγόριθμος δέχεται ως είσοδο και μία λίστα με ομάδες ειδών μουσικής. Πρόκειται για μία λίστα που περιέχει ομαδοποιημένα είδη μουσικής, όπως για παράδειγμα «Ομάδα 1» → Blues;Rock;Punk, κλπ. (έστω ότι υπάρχει στον αλγόριθμο ομαδοποιημένη λίστα με είδη μουσικής, π.χ. “Blues-Rock-Punk-Stoner” το ένα group, “RnB-Hip Hop-Trip Hop” το δεύτερο group κλπ, δηλαδή group με παρόμοια είδη μουσικής, τα οποία θα είναι εξαρχής ορισμένα στον αλγόριθμο και δεν θα μεταβάλλονται).

4.4 Ο αλγόριθμος

Ακολουθεί η ανάπτυξη του «ευφύους» συστήματος μίξης ηχητικών αρχείων βάσει μεταδεδομένων από λίστες αναπαραγωγής σε ψευδογλώσσα. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί συνολικά 15 βήματα (ορισμένα εκ των οποίων «σπάνε» σε μέρη), πολλά εκ των οποίων επαναλαμβάνονται αρκετές φορές, σε συνάρτηση με το περιεχόμενο της λίστας αναπαραγωγής που έχει λάβει. Τερματίζει δε στο ΒΗΜΑ 5.2 αν δεν υπάρχουν άλλα διαθέσιμα τραγούδια στη λίστα αναπαραγωγής.

ΒΗΜΑ 0. Εισαγωγή λίστας αναπαραγωγής --πίνακας με στήλες τα μεταδεδομένα κάθε τραγουδιού--

ΒΗΜΑ 1. Επέλεξε τυχαία από τη λίστα αναπαραγωγής ένα τραγούδι.

ΒΗΜΑ 2. Τοποθέτησε το επιλεγμένο τραγούδι στην ουρά αναπαραγωγής.

ΒΗΜΑ 3. Δημιούργησε μία κενή λίστα με τις ίδιες παραμέτρους της λίστας αναπαραγωγής που έλαβες ως είσοδο.

--Εφαρμογή κανόνα 3 – μέρος 1--

ΒΗΜΑ 4.1. Δημιούργησε έναν πίνακα Καλλιτέχνες[2,x].

ΒΗΜΑ 4.2. Για κάθε διαφορετικό καλλιτέχνη, μέτρα πόσες φορές εμφανίζεται στη στήλη του πίνακα της λίστας αναπαραγωγής με τίτλο «Καλλιτέχνης» και τοποθέτησε το αποτέλεσμα στον πίνακα Καλλιτέχνες[2,x].

ΒΗΜΑ 5.1. Επίλεξε τυχαία από τη λίστα αναπαραγωγής ένα τραγούδι. Αν δεν υπάρχουν άλλα διαθέσιμα τραγούδια στη λίστα αναπαραγωγής πήγαινε στο βήμα 5.2.

ΒΗΜΑ 5.2. Επίλεξε τυχαία από τη νέα λίστα αναπαραγωγής ένα τραγούδι. Αν δεν υπάρχουν άλλα διαθέσιμα τραγούδια στη νέα λίστα αναπαραγωγής, τότε τερμάτισε.

--Εφαρμογή κανόνα 1--

ΒΗΜΑ 6. Είναι το επιλεγμένο τραγούδι του ίδιου καλλιτέχνη σε σχέση με το τελευταίο τραγούδι της ουράς; Αν ναι, τότε πήγαινε στο βήμα 5.1 και τοποθέτησε το επιλεγμένο τραγούδι στη νέα λίστα.

--Εφαρμογή κανόνα 3 – μέρος 2--

ΒΗΜΑ 7. Ο καλλιτέχνης του επιλεγμένου τραγουδιού εμφανίστηκε ξανά στις τελευταίες 10 εγγραφές της ουράς αναπαραγωγής; Αν ναι, τότε πήγαινε στο βήμα 5.1 και τοποθέτησε το επιλεγμένο τραγούδι στη νέα λίστα.

--Εφαρμογή κανόνα 2--

ΒΗΜΑ 8. Πρόκειται για διαφορετική εκτέλεση του ίδιου τραγουδιού που έχει ήδη επιλεγεί στο βήμα 1; Αν ναι, τότε πήγαινε στο βήμα 5.1 και τοποθέτησε το επιλεγμένο τραγούδι στη νέα λίστα.

--Εφαρμογή κανόνα 4--

ΒΗΜΑ 9. Το επιλεγμένο τραγούδι διαφέρει -5 έως +5 μονάδες ως προς το BPM σε σχέση με το τελευταίο τραγούδι που βρίσκεται στην ουρά αναπαραγωγής; Αν όχι, τότε πήγαινε στο βήμα 5.1 και τοποθέτησε το επιλεγμένο τραγούδι στη νέα λίστα. Αν δεν υπάρχει άλλο διαθέσιμο τραγούδι που να καλύπτει τον συγκεκριμένο κανόνα, τότε αύξησε τη διαφορά κατά 5 μονάδες εκατέρωθεν και επανάλαβε.

--Εφαρμογή κανόνα 5--

Βήμα 10.1. Το επιλεγμένο τραγούδι ανήκει στο ίδιο είδος μουσικής με το τελευταίο τραγούδι που βρίσκεται στην ουρά αναπαραγωγής; Αν όχι, τότε πήγαινε στο βήμα 5.1 και τοποθέτησε το επιλεγμένο τραγούδι στη νέα λίστα. Αν δεν υπάρχουν άλλα τραγούδια με το ίδιο είδος αλλά υπάρχουν τραγούδια στη νέα λίστα αναπαραγωγής, τότε πήγαινε στο βήμα 10.2.

--Εφαρμογή κανόνα 6--

ΒΗΜΑ 10.2. Έλεγξε αν το επιλεγμένο τραγούδι ανήκει στην ίδια ομάδα ειδών μουσικής με το τελευταίο τραγούδι της ουράς αναπαραγωγής. Αν όχι, τότε πήγαινε στο βήμα 5.1 και τοποθέτησε το επιλεγμένο τραγούδι στη νέα λίστα.

ΒΗΜΑ 11. Τοποθέτησε στο επιλεγμένο τραγούδι στην ουρά αναπαραγωγής και πήγαινε στο βήμα 5.1.

4.5 Μέτρηση αποτελεσμάτων

Ο αλγόριθμος τον οποίο πραγματεύεται η παρούσα πτυχιακή εργασία και αναπτύχθηκε στην ενότητα 4.4, έχει την ιδιαιτερότητα ότι τα αποτελέσματά του δεν μπορούν να μετρηθούν ποσοτικά. Δεν υπάρχει κάποιο μοντέλο μέτρησης που να μπορεί να εφαρμοστεί.

Πρόκειται για αλγόριθμο τα αποτελέσματα του οποίου μπορούν να μετρηθούν καθαρά και μόνο ποιοτικά από τον τελικό χρήστη. Δηλαδή, κατά πόσο ευχαριστημένος ή όχι είναι ο τελικός χρήστης από το άκουσμα των τραγουδιών της λίστας αναπαραγωγής που έχει επιλέξει να ακούσει με τυχαία αλλά «έξυπνη» σειρά.

5. Συμπεράσματα

Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε στις σελίδες της παρούσας πτυχιακής εργασίας, είναι σε θέση να λάβει μία οποιαδήποτε λίστα αναπαραγωγής τραγουδιών και να δώσει ως αποτέλεσμα, μία «βελτιστοποιημένη» ουρά αναπαραγωγής, με σκοπό την καλύτερη δυνατή ακρόαση από το χρήστη.

Πρόκειται για έναν ευέλικτο αλγόριθμο που μπορεί να εφαρμοστεί στο σύνολο των υπάρχοντων προγραμμάτων ψηφιακής αναπαραγωγής μουσικής που υπάρχουν σήμερα στην αγορά, προσθέτοντας σε αυτά ένα ακόμα εργαλείο στον «πόλεμο» της επιλογής τους προς χρήση από τον τελικό χρήστη.

Σαφώς και ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δεν είναι τέλειος και έχει προοπτικές βελτίωσης/βελτιστοποίησης στο μέλλον. Ένα παράδειγμα είναι το γεγονός ότι αρκετά μεταδεδομένα δεν είναι σωστά γραμμένα ή περιέχουν εσφαλμένες πληροφορίες. Ο αλγόριθμος βασίζεται καθαρά και μόνο στα μεταδεδομένα που λαμβάνει από τη λίστα αναπαραγωγής, όποια και αν είναι αυτά. Πράγμα που σημαίνει ότι σφάλματα θα υπάρξουν και κανόνες ίσως να μην εφαρμοστούν ορθά.

Για παράδειγμα, συχνό φαινόμενο αποτελεί το γεγονός ότι στους τίτλους των τραγουδιών αναγράφονται και επιπλέον πληροφορίες (π.χ. “song 1” και “song 1 – remastered”, που στην πράξη είναι το ίδιο τραγούδι ελαφρώς «βελτιωμένο» χωρίς ωστόσο να είναι επιθυμητό να το ακούσει ο χρήστης δύο φορές συνεχόμενα). Θα μπορούσε σε αυτή την περίπτωση να τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να μπορεί να ελέγχει τμήματα των μεταδεδομένων, δηλαδή τμήμα του τίτλου του τραγουδιού.

Ακόμα, θα μπορούσε να εξελιχθεί και σε βαθμό ελέγχου της κυματομορφής των ηχητικών αρχείων της λίστας αναπαραγωγής και να συγκρίνει τις κυματομορφές μεταξύ τους για να διαπιστώνει αν πρόκειται για ίδιο ή παρόμοιο τραγούδι.

Ένα ακόμα στοιχείο που θα μπορούσε να προστεθεί στον αλγόριθμο είναι κατά την ολοκλήρωση της διαδικασίας να ζητάει από το χρήστη να αξιολογεί το αποτέλεσμα (καθώς όπως είπαμε και στην ενότητα 4.5 υπάρχει μόνο ποιοτική μέτρηση) και με βάση την απάντηση του χρήστη (π.χ. επιλογή μεταξύ «μου αρέσει» και «δεν μου αρέσει» ή «ουδέτερος») να λαμβάνει το feedback και να μπορεί να παράγει καλύτερο αποτέλεσμα

στο επόμενο «τρέξιμό» του ως προς τη συγκεκριμένη λίστα αναπαραγωγής για την οποία έγινε η αξιολόγηση.

Γενικώς, υπάρχουν προοπτικές βελτίωσης και εξέλιξης του αλγορίθμου «smart shuffle». Προοπτικές που μπορούν να κάνουν τον εν λόγω αλγόριθμο ένα ισχυρό εργαλείο, αλλάζοντας τα δεδομένα στον τρόπο με τον οποίο ακούμε μουσική σήμερα. Φτιάχνοντας με άλλα λόγια έναν «ευφυή» ηλεκτρονικό deejay που θα διαμορφώνει τις λίστες προς αναπαραγωγή αυτόματα και κατ' απαίτηση του χρήστη, χωρίς να χρειάζεται τη διαρκή αλληλεπίδραση του χρήστη.

Βιβλιογραφία

Ακολουθούν οι βιβλιογραφικές αναφορές (πηγές) της Εργασίας.

- i. R. A. Fisher, F. Yates: ‘*Statistical tables for biological and medical research*’ (Oliver & Boyd, London, 1938, pp. 26-27)
- ii. D. E. Knuth: ‘*Seminumerical algorithms. The Art of Computer Programming, 2*’ (MA: Addison-Wesley, Reading, 1969, pp. 139-140)
- iii. S. Sattolo: ‘*An algorithm to generate a random cyclic permutation*’, Information Processing Letters, Vol. 22 / Issue 6 (1986), pp. 315-317
- iv. Γ. Φούσκας: ‘*Βασικά Ζητήματα Δικτύων Η/Υ: Ψηφιακές Επικοινωνίες Ι*’ (Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα, 2008, σ. 21)
- v. R. Durstenfeld: (1964). ‘*Algorithm 235: Random permutation*’, Communications of the ACM, 7 / 7, p. 420
- vi. Διάφοροι: (2007). ‘*Νοημοσύνη, Τεχνητή*’ (Πάπυρος Larousse Britannica, Αθήνα, 2007, Τόμος 39, σ. 161)
- vii. Ε. Κερανού: ‘*Τεχνητή Νοημοσύνη – Εφαρμογές: Τεχνητή Νοημοσύνη και Έμπειρα Συστήματα*’ (Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα, 2000, σ. 35)
- viii. P. Jackson: ‘*Introduction to Expert Systems*’ (Addison Wesley, 1998, p. 2)
- ix. S. Nwigbo, O.C. Agbo: (2011). ‘*Expert System: A Catalyst In Educational Development In Nigeria*’, 1st International Technology, Education and Environment Conference, African Society for Scientific Research, 2011, p. 566
- x. Ε. Κερανού: ‘*Τεχνητή Νοημοσύνη – Εφαρμογές: Τεχνητή Νοημοσύνη και Έμπειρα Συστήματα*’ (Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα, 2000, σ. 141)
- xi. Di Stefano, F. Gangemi, C. Santoro: 2005 ACM SIGPLAN workshop on Erlang, 2005, Tallinn, Estonia, σελ. 62-71.

Διαδικτυακές πηγές

1. <https://el.wikipedia.org/wiki/Ψηφιοποίηση>
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_audio
3. https://el.wikipedia.org/wiki/Ψηφιακός_ήχος
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Audio_coding_format
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Audio_file_format
6. <https://el.wikipedia.org/wiki/MP3>

7. <https://en.wikipedia.org/wiki/Waveform>
8. <https://en.wikipedia.org/wiki/Metadata>
9. <https://el.wikipedia.org/wiki/Μεταδεδομένα>
10. <https://en.wikipedia.org/wiki/ID3>
11. https://el.wikipedia.org/wiki/Ρυθμός_μετάδοσης
12. https://en.wikipedia.org/wiki/Bit_rate
13. <https://el.wikipedia.org/wiki/Tempo>
14. https://en.wikipedia.org/wiki/Tempo#Beats_per_minute
15. <http://music.stackexchange.com/questions/4525/list-of-average-genre-tempo-bpm-levels>
16. <https://en.wikipedia.org/wiki/Beatmatching>
17. https://en.wikipedia.org/wiki/Media_player
18. [https://en.wikipedia.org/wiki/Media_player_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Media_player_(software))
19. https://en.wikipedia.org/wiki/Portable_media_player
20. https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_media_player
21. <https://en.wikipedia.org/wiki/Playlist>
22. https://en.wikipedia.org/wiki/Shuffle_play
23. https://en.wikipedia.org/wiki/Fisher–Yates_shuffle
24. https://en.wikipedia.org/wiki/Fisher–Yates_shuffle#The_modern_algorithm
25. https://en.wikipedia.org/wiki/Fisher–Yates_shuffle#Sattolo.27s_algorithm
26. https://el.wikipedia.org/wiki/Τεχνητή_νοημοσύνη
27. [https://el.wikipedia.org/wiki/Επίλυση_προβλημάτων_\(τεχνητή_νοημοσύνη\)](https://el.wikipedia.org/wiki/Επίλυση_προβλημάτων_(τεχνητή_νοημοσύνη))
28. https://el.wikipedia.org/wiki/Εμπειρα_συστήματα

Παράρτημα: Δοκιμή αλγορίθμου

Ακολουθεί, σε νέα σελίδα, το παράρτημα της Εργασίας.

Για τη δοκιμή του αλγορίθμου χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη λίστα 40 τραγουδιών:

No.	Title	Artist	Genre	BPM
1	Back In Black	AC/DC	Hard Rock	188
2	For Those About To Rock	AC/DC	Hard Rock	134
3	Stay The Night	Chicago	Rock	84
4	Turn The Page	Metallica	Heavy Metal	149
5	Kasmir	Led Zeppelin	Rock	81
6	Black Dog	Led Zeppelin	Rock	81
7	Stairway to Heaven	Led Zeppelin	Rock	82
8	Don't Talk To Strangers	Dio	Heavy Metal	122
9	Wish I Could Fly	Roxette	Pop	80
10	Infinite Sun	Kula Shaker	Alternative	120
11	The Unforgiven	Metallica	Heavy Metal	139
12	Here Comes The Sun	The Beatles	Pop	129
13	I Walk The Line	Live	Rock	96
14	I Want It All	Queen	Rock	92
15	Rock The Night	Europe	Rock	105
16	Symphony of Destruction	Megadeth	Heavy Metal	140
17	Storytime	Nightwish	Symphonic Metal	156
18	Lay Lady Lay	Bob Dylan	Folk	156
19	I Walk The Line – Live	Live	Rock	95
20	Friends & Traitors	Raised Fist	Hard Punk	130
21	Electric Worry	Clutch	Stoner	165
22	South Of Heaven	Slayer	Thrash Metal	139
23	Drive My Car	The Beatles	Pop	122

No.	Title	Artist	Genre	BPM
24	Sleepwalking Man	Sivert Hoyem	Rock	145
25	Goodbye Forever	Volbeat	Heavy Metal	112
26	Seal The Deal	Volbeat	Heavy Metal	106
27	Here Comes Revenge	Metallica	Heavy Metal	132
28	The Sound Of Silence	Simon & Garfunkel	Pop	108
29	Children Of The Sun	Nightstalker	Stoner	130
30	Midnight Blues	Gary Moore	Blues	169
31	Bird Of Paradise	Snowy White	Ballad	144
32	High Hopes	Pink Floyd	Progressive Rock	75
33	Angie	The Rolling Stones	Rock	136
34	Faint	Linkin Park	Nu Metal	135
35	Left Hand Free	Alt-j	Alternative	102
36	Sleeping My Day Away	D-A-D	Rock	146
37	Riders On The Storm	The Doors	Rock	104
38	Miss You	Etta James	Blues	117
39	Lonely Day	System Of A Down	Nu Metal	113
40	Down With The Sickness	Disturbed	Nu Metal	90

Πίνακας 1 Αρχική λίστα αναπαραγωγής

Η συγκεκριμένη λίστα αποτέλεσε την είσοδο του αλγορίθμου. Αφού ο αλγόριθμος έτρεξε όλα τα βήματά του και αφού εξάνλησε όλα τα πιθανά σενάρια (κανόνες), έδωσε ως έξοδο την ακόλουθη προς αναπαραγωγή νέα λίστα:

No.	Title	Artist	Genre	BPM
1	Symphony of Destruction	Megadeth	Heavy Metal	140

No.	Title	Artist	Genre	BPM
2	The Unforgiven	Metallica	Heavy Metal	139
3	Don't Talk To Strangers	Dio	Heavy Metal	122
4	Goodbye Forever	Volbeat	Heavy Metal	112
5	Lonely Day	System Of A Down	Nu Metal	113
6	South Of Heaven	Slayer	Thrash Metal	139
7	Storytime	Nightwish	Symphonic Metal	156
8	Faint	Linkin Park	Nu Metal	135
9	Down With The Sickness	Disturbed	Nu Metal	90
10	Here Comes Revenge	Metallica	Heavy Metal	132
11	Friends & Traitors	Raised Fist	Hard Punk	130
12	For Those About To Rock	AC/DC	Hard Rock	134
13	Seal The Deal	Volbeat	Heavy Metal	106
14	Children Of The Sun	Nightstalker	Stoner	130
15	Electric Worry	Clutch	Stoner	165
16	Back In Black	AC/DC	Hard Rock	188
17	Turn The Page	Metallica	Heavy Metal	149
18	I Walk The Line	Live	Rock	96
19	I Want It All	Queen	Rock	92
20	Stay The Night	Chicago	Rock	84
21	Stairway to Heaven	Led Zeppelin	Rock	82
22	Wish I Could Fly	Roxette	Rock	80
23	Riders On The Storm	The Doors	Rock	104
24	Rock The Night	Europe	Rock	105
25	Angie	The Rolling Stones	Rock	136

No.	Title	Artist	Genre	BPM
26	Drive My Car	The Beatles	Rock	122
27	Sleeping My Day Away	D-A-D	Rock	146
28	Kasmir	Led Zeppelin	Rock	81
29	I Walk The Line – Live	Live	Rock	95
30	The Sound Of Silence	Simon & Garfunkel	Rock	108
31	Sleepwalking Man	Sivert Hoyem	Rock	145
32	Bird Of Paradise	Snowy White	Ballad	144
33	High Hopes	Pink Floyd	Progressive Rock	75
34	Black Dog	Led Zeppelin	Rock	81
35	Here Comes The Sun	The Beatles	Rock	129
36	Infinite Sun	Kula Shaker	Alternative	120
37	Left Hand Free	Alt-j	Alternative	102
38	Lay Lady Lay	Bob Dylan	Folk	156
39	Midnight Blues	Gary Moore	Blues	169
40	Miss You	Etta James	Blues	117

Πίνακας 2 Τελική λίστα αναπαραγωγής

Όπως φαίνεται και παραπάνω, ο αλγόριθμος έδωσε μία «βελτιστοποιημένη» και ομαλή λίστα αναπαραγωγής. Το βελτιστοποιημένη μέσα σε εισαγωγικά, καθώς τα αποτελέσματα του αλγορίθμου δεν είναι ποσοτικά αλλά ποιοτικά με βάση τα ακούσματα του κάθε χρήστη του συστήματος.

Υπέθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον.

