



Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας  
Συστήματα Κινητού και Διάχυτου Υπολογισμού

Διπλωματική Εργασία

Επισκόπηση συστημάτων κινητού και διάχυτου υπολογισμού για  
την παρακολούθηση του άγχους και την ανίχνευση της κόπωσης  
των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή μεθοδολογίας  
αντίστοιχων πειραματικών μελετών

Μαρία Μπαρμποπούλου

Επιβλέπων καθηγητής: Θεόδωρος Παναγιωτακόπουλος

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2023

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, παρουσίασης 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.



Επισκόπηση συστημάτων κινητού και διάχυτου υπολογισμού για  
την παρακολούθηση του άγχους και την ανίχνευση της κόπωσης  
των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή μεθοδολογίας  
αντίστοιχων πειραματικών μελετών

Μαρία Μπαρμποπούλου

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Θεόδωρος Παναγιωτακόπουλος

Αχιλλέας Καμέας

Πανεπιστήμιο Πατρών

Πανεπιστήμιο Πατρών

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2023



*Μαρία Μπαρμποπούλου, Επισκόπηση συστημάτων κινητού και  
διάχυτου υπολογισμού για την παρακολούθηση του άγχους και την  
ανίχνευση της κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή  
μεθοδολογίας αντίστοιχων πειραματικών μελετών*

*Η παρούσα εργασία αφιερώνεται στη μητέρα μου Σοφία για τη βοήθεια και την ενθάρρυνσή  
της ώστε να ολοκληρώσω την διπλωματική εργασία.*

## Περίληψη

Η κόπωση και το άγχος κατά τη διάρκεια της οδήγησης συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση του αριθμού τροχαίων ατυχημάτων παγκοσμίως. Χάρη στην πρόοδο της τεχνητής νοημοσύνης και τις καινοτομίες στη βαθιά μάθηση και τα νευρωνικά δίκτυα, έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος στα συστήματα ανίχνευσης άγχους και κόπωσης κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Στον τομέα της ανίχνευσης κόπωσης του οδηγού, πραγματοποιείται συνεχής έρευνα και πολλά άρθρα προτείνουν πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα, αλλά απαιτείται ακόμη πολύ πρόοδος.

Αν και οι προσεγγίσεις ανίχνευσης έχουν ήδη διατεθεί στο εμπόριο και χρησιμοποιούνται από παραγωγούς αυτοκινήτων (και τρίτες εταιρείες), ωστόσο εξακολουθούν να υπάρχουν ανοιχτά ερευνητικά θέματα σε αυτόν τον τομέα που χρήζουν βελτιστοποίηση προκειμένου να αυξηθεί η αξιοπιστία σε αυτά τα συστήματα εντοπισμού.

Ο σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη και η περιγραφή των συστημάτων παρακολούθησης άγχους και ανίχνευσης κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων, καθώς και η συγκριτική επισκόπηση των συστημάτων που εμπίπτουν σε κάθε κατηγορία αναφορικά με τους αισθητήρες, τα φυσιολογικά σήματα, τον τύπο των οδηγών, τον τύπο των αυτοκινήτων, τις τεχνικές αναγνώρισης, την ακρίβεια ανίχνευσης άγχους/κόπωσης, τις ενέργειες/υπηρεσίες που ενεργοποιούνται ανάλογα με την αναγνωρισθείσα κατάσταση, κλπ.

Βασικός στόχος της συγκριτικής επισκόπησης είναι η ανάδειξη καλών πρακτικών, αδυναμιών και ερευνητικών ζητημάτων που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης στις δύο κατηγορίες συστημάτων.

Επιπρόσθετα, η παρούσα μελέτη προτείνει δύο μεθοδολογίες πειραματικής μελέτης, μία για ένα σύστημα αναγνώρισης άγχους οδηγών αυτοκινήτων και μία για ανίχνευση κόπωσης.

### Λέξεις – Κλειδιά

Ανίχνευση άγχους στην οδήγηση, ανίχνευση κόπωσης στην οδήγηση, βιοσήματα, συστήματα ανίχνευσης άγχους και κόπωσης, αισθητήρες, μέθοδοι ταξινόμησης

## **Abstract**

Driver fatigue and stress significantly contribute to higher number of car accidents worldwide. Thanks to advances in artificial intelligence and innovations in deep learning and neural networks, great progress has been made in field of driver stress and fatigue detection systems.

Although, different detection approaches have been already commercialized and used by car producers (and third party companies), there are still open research topics that need improvements in order to increase the reliability of these detection systems. In the field of driver fatigue detection, ongoing research is in progress and many articles offer promising results, but much progress is still needed.

The purpose of this work is to review the existing systems for monitoring and detection of driver stress and fatigue, as well as the comparative overview of the systems that fall into each category regarding the sensors, physiological signals, type of drivers, type of cars, classification techniques, accuracy of stress / fatigue detection, actions / services activated depending on the recognized situation, etc.

The main purpose of the comparative review is to highlight good practices, limitations and research issues that need further investigation in both categories of systems.

In addition, the present study proposes two methodologies for experimental study, one for a driver stress detection system and one for driver fatigue detection.

## **Keywords**

Driver stress, driver fatigue, physiological signal, driver stress detection, driver fatigue detection, machine learning, classification methods, driver-assistance systems.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract .....	vi
Περιεχόμενα .....	vii
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων .....	ix
Κατάλογος Πινάκων .....	xi
Συνοτομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xii
1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Αντικείμενο της εργασίας .....	2
1.2. Κίνητρα .....	2
1.3. Διάρθρωση της Διπλωματικής .....	3
2. Επισκόπηση Συστημάτων για ανίχνευση άγχους στην οδήγηση .....	5
2.1. Ορισμός του άγχους .....	5
2.2. Άγχος στην οδήγηση .....	6
2.3. Ανάγκη για ανίχνευση άγχους.....	7
2.4. Αρχιτεκτονική .....	9
2.4.1. Επίπεδο αίσθησης / αντίληψης.....	9
2.4.1.1. Τύποι δεδομένων.....	10
2.4.1.2. Αισθητήρες.....	15
2.4.1.3. Μικροελεγκτές .....	19
2.4.2. Επίπεδο δικτύου .....	21
2.4.2.1. Πρωτόκολλα Επικοινωνίας .....	21
2.4.2.2. Δικτυακός εξοπλισμός .....	21
2.4.3. Επίπεδο διαχείρισης δεδομένων.....	23
2.4.3.1. Εξαγωγή χαρακτηριστικών (Feature Extraction / Generation) .....	23
2.4.3.2. Επιλογή χαρακτηριστικών & Μείωση χαρακτηριστικών (Feature Selection & feature reduction) .....	26
2.4.3.3. Ταξινόμηση (Classification) .....	28
2.4.4. Επίπεδο εφαρμογής .....	34
2.4.4.1. Διεπαφές χρηστών.....	35
2.4.4.2. Υπηρεσίες.....	40
2.5. Προκλήσεις για τον εντοπισμό του άγχους σε συστήματα πραγματικού χρόνου....	43
3. Επισκόπηση Συστημάτων για ανίχνευση κόπωσης στην οδήγηση.....	45
3.1. Ορισμός της κόπωσης .....	45
3.2. Κόπωση στην οδήγηση .....	46

3.3. Ανάγκη για ανίχνευση κόπωσης .....	46
3.4. Αρχιτεκτονική .....	47
3.4.1. Επίπεδο αίσθησης/αντίληψης.....	48
3.4.1.1. Τύποι δεδομένων.....	48
3.4.1.2. Αισθητήρες.....	54
3.4.1.3. Μικροελεγκτές .....	56
3.4.2. Επίπεδο δικτύου .....	57
3.4.2.1. Πρωτόκολλα επικοινωνίας.....	57
3.4.3. Επίπεδο διαχείρισης δεδομένων.....	58
3.4.3.1. Εξαγωγή χαρακτηριστικών .....	58
3.4.3.2. Επιλογή χαρακτηριστικών και μείωση χαρακτηριστικών .....	59
3.4.3.3. Ταξινόμηση .....	60
3.4.4. Επίπεδο εφαρμογής .....	63
3.4.4.1. Διεπαφές χρηστών.....	63
3.4.4.2. Υπηρεσίες.....	66
3.5. Προκλήσεις για τον εντοπισμό της κόπωσης σε συστήματα πραγματικού χρόνου.....	68
4. Προτεινόμενες πειραματικές μεθοδολογίες .....	70
4.1. Πειραματική μεθοδολογία για ανίχνευση άγχους.....	70
4.2. Πειραματική μεθοδολογία για ανίχνευση κόπωσης.....	80
5. Συμπεράσματα και Μελλοντική έρευνα .....	86
5.1. Συμπεράσματα .....	86
5.2. Μελλοντική έρευνα.....	86
Βιβλιογραφία.....	88



## Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 1 Αρχιτεκτονική συστημάτων ανίχνευσης άγχους στην οδήγηση .....	9
Εικόνα 2 Αισθητήρες ενσωματωμένοι μέσα στο αυτοκίνητο για την ανίχνευση άγχους...	18
Εικόνα 3 Το δίκτυο αισθητήρων για την πλατφόρμα AffectiveRoad.....	19
Εικόνα 4 PIC microcontroller .....	20
Εικόνα 5 Arduino microcontroller .....	21
Εικόνα 6 Empatica communication protocol .....	22
Εικόνα 7 (a) Αρχική σελίδα της εφαρμογής (b) Απεικόνιση καρδιακών παλμών σε πραγματικό χρόνο .....	35
Εικόνα 8 Διεπαφή του διαχειριστή για την παρακολούθηση του προφίλ του οδηγού. ....	36
Εικόνα 9 Με την έλλειψη απεικονίζεται το γεγονός “Ένα αυτοκίνητο μπλοκάρει την λωρίδα του λεωφορείου”. Το ύψος των γραμμών αναπαριστά την ταχύτητα του λεωφορείου.....	37
Εικόνα 10 Χάρτης άγχους.....	38
Εικόνα 11 Οπτικοποίηση των ταχυτήτων και των οδηγιών οδήγησης χρησιμοποιώντας το Google Earth για τη μονάδα επικύρωσης .....	39
Εικόνα 12 Honda Driver Attention Monitor (a) Μήνυμα ότι ο οδηγός χρειάζεται αμέσως διάλειμμα καθώς το επίπεδο άγχους είναι υψηλό (b) Μήνυμα ότι το επίπεδο προσοχής του οδηγού αρχίζει να μειώνεται. ....	40
Εικόνα 13 Μήνυμα εντοπισμού άγχους και έναρξη της δράσης του έξυπνου καθίσματος	42
Εικόνα 14 Έξυπνο κάθισμα αυτοκινήτου (a) Χαλαρωτικό μασάζ για να ηρεμήσει τον οδηγό (b) Θερμός αερισμός για να ηρεμήσει τον οδηγό .....	42
Εικόνα 15 Αρχιτεκτονική για συστήματα ανίχνευσης κόπωσης .....	47
Εικόνα 16 Διάγραμμα με τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται στην ανίχνευση της κόπωσης .....	54
Εικόνα 17 (a) Αισθητήρες κάμερας και PPG. (b) PPG αισθητήρας.....	54
Εικόνα 18 OPTALERT : Ασύρματα γυαλιά.....	55
Εικόνα 19 Διόφθαλμη κάμερα .....	56
Εικόνα 20 Σύστημα καταγραφής του ECG βασισμένο στο μικροελεγκτή Arduino Nano.	57
Εικόνα 21 Μέθοδοι / μοντέλα ανίχνευσης της κόπωσης στην οδήγηση .....	62
Εικόνα 22 Ford Alert System : Προειδοποιητικό μήνυμα κατά την ανίχνευση κόπωσης του οδηγού. ....	64
Εικόνα 23 Ford Alert System : Προειδοποιητικό μήνυμα κατά την ανίχνευση κόπωσης του οδηγού, σε περίπτωση που ο οδηγός έχει αγνοήσει το πρώτο προειδοποιητικό μήνυμα. ..	64
Εικόνα 24 Ford Alert System : Προειδοποιητικό μήνυμα ότι ο οδηγός πλησιάζει σε περιοχή όπου μπορεί να κάνει στάση για ξεκούραση. ....	65
Εικόνα 25 Toyota Safety Sense (a) Το σύστημα έχει ανιχνεύσει κόπωση στον οδηγό. (b) Προειδοποιητικό μήνυμα και ηχητική ειδοποίηση. ....	66
Εικόνα 26 Το Rest Assist ενημερώνει τον οδηγό ότι πρέπει να κάνει ένα διάλειμμα όταν ανιχνευθεί η κόπωση .....	67



*Μαρία Μπαρμποπούλου, Επισκόπηση συστημάτων κινητού και  
διάχυτου υπολογισμού για την παρακολούθηση του άγχους και την  
ανίχνευση της κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή  
μεθοδολογίας αντίστοιχων πειραματικών μελετών*

Εικόνα 27 Το άτομο έχει ταξινομηθεί ως κουρασμένο και δημιουργείται η  
αυτοματοποιημένη ειδοποίηση .....68



*Μαρία Μπαρμποπούλου, Επισκόπηση συστημάτων κινητού και  
διάχυτου υπολογισμού για την παρακολούθηση του άγχους και την  
ανίχνευση της κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή  
μεθοδολογίας αντίστοιχων πειραματικών μελετών*

## **Κατάλογος Πινάκων**

Πίνακας 1 Κατηγορίες δεδομένων για τον εντοπισμού άγχους σε συστήματα ανίχνευσης άγχους.....	14
Πίνακας 2 Στοιχεία ταξινόμησης και αξιολόγησης ανά σύστημα .....	34



*Μαρία Μπαρμποπούλου, Επισκόπηση συστημάτων κινητού και  
διάχυτου υπολογισμού για την παρακολούθηση του άγχους και την  
ανίχνευση της κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή  
μεθοδολογίας αντίστοιχων πειραματικών μελετών*

## **Συνομογραφίες & Ακρωνύμια**

Ac	Accuracy Rate
ADC	Analog to Digital Converter
ANN	Artificial Neural Network
ANS	Autonomic Nervous System
ASV	Advanced safety vehicle
BLDA	Bayesian linear discriminant analysis
BN	Bayesian Networks
BP	Blood Pressure
CCD	charged coupled device
CCNN	Channel-wise convolutional neural network
CNN	Convolutional neural network
COM	Communication
ConNN	Convolutional Neural Network
DBN	Deep Relief Network
DBN	Dynamic Bayesian Network
DAS	Driving Assistance System
DT	Decision Tree
EAR	Eye Aspect Ratio
ECG	Electrocardiogram
EDA	electrodermal activity
EEG	Electroencephalogram
EKG	Electrocardiogram
ELM	Extreme Learning Machine
EMG	Electromyogram
EOG	Electrooculography
FAS	Fatigue Assessment Scale



*Μαρία Μπαρμποπούλου, Επισκόπηση συστημάτων κινητού και  
διάχτυου υπολογισμού για την παρακολούθηση του άγχους και την  
ανίχνευση της κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή  
μεθοδολογίας αντίστοιχων πειραματικών μελετών*

FCM Fuzzy C-Means  
FDDB Face Detection Data Set and Benchmark Home  
FES Fuzzy Expert System  
FFT Fast Fourier transform  
FGSR Foot Galvanic skin response  
FIS Fuzzy Inference System  
FLI Fuzzy Logic Inference  
 $F_n$  False Negatives  
FNR False Positive Rate  
FOM Frequency of mouth  
 $F_p$  False Positives  
FPR False Positive Rate  
GM Geometric Mean  
GPS Global Positioning System  
GSM Global System for Mobile Communication  
GSR Galvanic skin response  
HCI Human Computer Interaction  
HF High Frequency  
HGSR Hand Galvanic skin response  
HMM Hidden Markov Model  
HoG Histogram of Gradients  
HR Heart Rate  
HRV Heart rate variability  
IoT Internet of Things  
IR Infrared  
ISP Internet Service Provider  
ITS Intelligent Transportation Systems  
KSS Karolinska Sleepiness Scale  
LDA Linear Discriminant Analysis



*Μαρία Μπαρμποπούλου, Επισκόπηση συστημάτων κινητού και  
διάχυτου υπολογισμού για την παρακολούθηση του άγχους και την  
ανίχνευση της κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή  
μεθοδολογίας αντίστοιχων πειραματικών μελετών*

LF	Low Frequency
LRNN	Layer recurrent neural network
MI	Mutual Information
NFC	Near Field Communication
NIR	Near-infrared spectroscopy
OBD	On-board diagnostics
PCA	Principal Component Analysis
PD	Pupil Distance
PIC	Peripheral Interface Controller
PERCLOS	Percentage of eye closure
Pp	Positive predictivity
PPG	Photoplethysmography
PRV	Pulse Rate Variability
PWM	Pulse Width Modulation
RBF	Radial Basis Function
RESP	Respiration - Αναπνοή
ROI	Region Of Interest
rPPG	remote Photoplethysmography
SBL	Sparse Bayesian Learning
SBN	Static Bayesian Network
SBS	Sequential Backward Selection
SCL	skin conductance level
SCR	skin conductance response
SD	Standard Deviation
sEMG	Surface electromyography
SFS	Sequential Forward Selection
Sn	Sensitivity
SNS	Sympathetic Nervous System
SOFI	Swedish Occupational Fatigue Inventory



*Μαρία Μπαρμποπούλου, Επισκόπηση συστημάτων κινητού και  
διάχυτου υπολογισμού για την παρακολούθηση του άγχους και την  
ανίχνευση της κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή  
μεθοδολογίας αντίστοιχων πειραματικών μελετών*

Sp	Specificity
SPR	Skin Potential Response
ST	skin temperature
SVM	Support Vector Machine
SWA	Steering Wheel Angles
T <sub>n</sub>	True Negatives
T <sub>p</sub>	True Positives
USB	Universal Serial Bus
VAS	Visual Analogue Scale
WSN	Wireless Sensor Networks
YAWDD	Yawning Detection Dataset

## 1. Εισαγωγή

Κάθε χρόνο, εκατομμύρια θανατηφόρα τροχαία ατυχήματα συμβαίνουν και περισσότεροι από 25 χιλιάδες άνθρωποι πεθαίνουν σε ευρωπαϊκούς δρόμους. Οι προβλέψεις για το μέλλον δεν είναι αισιόδοξες - οι τραυματισμοί λόγω τροχαίων ατυχημάτων θα είναι η πιο κοινή αιτία θανάτου έως το 2030 (τώρα καταλαμβάνει την 8η θέση και θα ανέβει στην 7η θέση). Πολλές είναι οι αιτίες που μπορεί να οδηγήσουν σε τροχαία ατύχημα όπως η κόπωση, η υπνηλία, το άγχος, η απόσπαση της προσοχής, η ομιλία στο κινητό τηλέφωνο κατά την οδήγηση, η σωματική δυσφορία όπως η ακραία θερμοκρασία περιβάλλοντος, η άβολη θέση οδήγησης κτλ. (Nemcova et al., 2021)

Υπάρχουν αρκετές μελέτες που δείχνουν ότι το άγχος κατά την οδήγηση αυξάνει τον κίνδυνο ατυχήματος. Η οδήγηση αυτοκινήτου κάτω από συρρωρευμένο άγχος μειώνει την ικανότητα του οδηγού στον έλεγχο του αυτοκινήτου και περιορίζει τις δυνατότητες του ως προς την αξιολόγηση κινδύνου. Σύμφωνα με μελέτες το άγχος αποτελεί μία από τις κυριότερες αιτίες πρόκλησης θανατηφόρων ατυχημάτων παγκοσμίως.

Η κόπωση ανήκει σε μία από τις πέντε αιτίες που οδηγούν σε θανατηφόρα ατυχήματα. Η κόπωση μπορεί να προκληθεί από την έλλειψη ύπνου, την μακροχρόνια οδήγηση, την οδήγηση τη νύχτα, τη μονότονη οδήγηση, τα ναρκωτικά, τα προβλήματα υγείας, την υπερκόπωση, τη συναναστροφή με άλλους οδηγούς, την κατάσταση δρόμων, τους επιβάτες, την οδήγηση υπό πίεση χρόνου, την οδήγηση σε άγνωστο περιβάλλον κτλ. Το ποσοστό των θανατηφόρων ατυχημάτων που προκαλούνται από κόπωση μπορεί να φτάσει έως 30% (Nemcova et al., 2021).

Τα ατυχήματα έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην κοινωνία καθώς αυξάνουν τις κοινωνικοοικονομικές δαπάνες (αποκατάσταση ασθενών, υγειονομική περίθαλψη, υλικές ζημιές, αποζημίωση απώλειας παραγωγικότητας). Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας ανέφερε ότι τα τροχαία ατυχήματα κοστίζουν στις περισσότερες χώρες το 3 % του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος τους (Nemcova et al., 2021).



Πρόσφατα, πολλές εταιρείες αυτοκινήτων έχουν εγκαταστήσει τεχνολογίες υποστήριξης οδηγού ενώ τρίτες εταιρείες κατασκευάζουν διάφορες συσκευές ανίχνευσης άγχους και κόπωσης. Ωστόσο, απαιτείται πολύ έρευνα για βελτίωση. Στον τομέα της ανίχνευσης άγχους και κόπωσης του οδηγού, πραγματοποιείται συνεχής έρευνα και πολλά άρθρα προτείνουν πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα σε περιορισμένα περιβάλλοντα, αλλά απαιτείται ακόμη πολύ πρόοδος.

### **1.1. Αντικείμενο της εργασίας**

Το αντικείμενο της εργασίας είναι η μελέτη και η περιγραφή των συστημάτων παρακολούθησης άγχους και ανίχνευσης κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων, καθώς και η συγκριτική επισκόπηση των συστημάτων που εμπίπτουν σε κάθε κατηγορία αναφορικά με τους αισθητήρες, τα φυσιολογικά σήματα, τον τύπο των οδηγών, τον τύπο των αυτοκινήτων, τις τεχνικές αναγνώρισης, την ακρίβεια ανίχνευσης άγχους/κόπωσης, τις ενέργειες/υπηρεσίες που ενεργοποιούνται ανάλογα με την αναγνωρισθείσα κατάσταση, κλπ. Βασικός στόχος της συγκριτικής επισκόπησης είναι η ανάδειξη καλών πρακτικών, αδυναμιών και ερευνητικών ζητημάτων που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης στις δύο κατηγορίες συστημάτων.

Επιπρόσθετα, η εργασία έχει ως στόχο την πρόταση δύο μεθοδολογιών πειραματικής μελέτης, μία για ένα σύστημα αναγνώρισης άγχους οδηγών αυτοκινήτων και μία για ανίχνευση κόπωσης. Σε κάθε μια πειραματική μελέτη γίνεται αναφορά στις συνθήκες διεξαγωγής του πειράματος, στους συμμετέχοντες, στις οδηγίες που τους δίνονται πριν την διεξαγωγή του πειράματος, στο εξοπλισμό με το οποίο θα πρέπει να έχει εξοικειωθεί ο κάθε συμμετέχοντας κτλ. Βασικός στόχος της μελέτης των πειραματικών μελετών είναι η ανάδειξη καλών πρακτικών, περιορισμών και προκλήσεων.

### **1.2. Κίνητρα**

Ορισμένες δυσμενείς ψυχικές καταστάσεις, όπως η κόπωση, η υπνηλία, το άγχος, η απόσπαση της προσοχής, η ομιλία στο κινητό και γενικότερα η χρήση κινητού κατά την

οδήγηση είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε τροχαία ατυχήματα. Επιπλέον η σωματική δυσφορία όπως η ακραία θερμοκρασία περιβάλλοντος, η άβολη θέση οδήγησης και η μυϊκή κόπωση στην περιοχή του αυχένα/ώμου/πλάτης μπορεί να επηρεάσει την οδηγική συμπεριφορά. Το αποτέλεσμα είναι σημαντικός αριθμός τροχαίων ατυχημάτων, τραυματισμών και θανάτων ετησίως (Chen et al., 2017).

Συνεπώς, η δημόσια οδική ασφάλεια αποτελεί επείγον ζήτημα τόσο για τις κυβερνήσεις όσο και για τις αυτοκινητοβιομηχανίες. Είναι πολύ σημαντικό να αναπτυχθούν συστήματα που να εντοπίζουν έξυπνα την ακατάλληλη κατάσταση του οδηγού και να οδηγούν σε μια προειδοποίηση προς τον οδηγό όταν είναι απαραίτητη.

Το γεγονός ότι παγκοσμίως πολλοί άνθρωποι χρησιμοποιούν τα μέσα μαζικής μεταφοράς για την μετακίνησή τους, καθιστά αναγκαία την δυνατότητα ανίχνευσης άγχους και κόπωσης των οδηγών που δουλεύουν στις δημόσιες μεταφορές. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφάλεια τόσο του οδηγού όσο και των επιβατών είναι αναγκαία η ανάπτυξη συστημάτων που να ανιχνεύουν σε πραγματικό χρόνο το άγχος ή την κόπωση και να προειδοποιούν τον οδηγό για την αποφυγή σύγκρουσης ή ατυχήματος (Rodrigues et al., 2015).

### **1.3. Διάρθρωση της Διπλωματικής**

Ακολουθεί περιγραφή της διάρθρωσης της υπόλοιπης διπλωματικής.

Στο κεφάλαιο 2 πραγματοποιείται επισκόπηση συστημάτων για ανίχνευση άγχους στην οδήγηση. Αρχικά περιγράφεται η αναγκαιότητα του εντοπισμού του άγχους κατά την οδήγηση. Στην συνέχεια δίνεται έμφαση στην αρχιτεκτονική που ακολουθείται στα συστήματα εντοπισμού άγχους (επίπεδο αντίληψης, επίπεδο δικτύου, επίπεδο, επίπεδο διαχείρισης, επίπεδο εφαρμογής). Τέλος περιγράφονται οι πειραματικές μελέτες που προτείνονται στα συστήματα εντοπισμού άγχους (συμμετέχοντες, οδηγίες διεξαγωγής, πειράματος, τύπος οχήματος, περιβάλλον εκτέλεσης πειράματος)

Στο κεφάλαιο 3 πραγματοποιείται επισκόπηση συστημάτων για ανίχνευση κόπωσης στην οδήγηση. Αρχικά περιγράφεται η αναγκαιότητα του εντοπισμού της κόπωσης κατά την οδήγηση. Στην συνέχεια δίνεται έμφαση στην αρχιτεκτονική που ακολουθείται στα συστήματα εντοπισμού κόπωσης (επίπεδο αντίληψης, επίπεδο δικτύου, επίπεδο, επίπεδο διαχείρισης, επίπεδο εφαρμογής). Τέλος περιγράφονται οι πειραματικές μελέτες που προτείνονται στα συστήματα εντοπισμού κόπωσης (συμμετέχοντες, οδηγίες διεξαγωγής, πειράματος, τύπος οχήματος, περιβάλλον εκτέλεσης πειράματος).

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται βασικές πειραματικές μεθοδολογίες για σύστημα αναγνώρισης άγχους οδηγών αυτοκινήτων και για ανίχνευση κόπωσης.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη των συστημάτων εντοπισμού άγχους και κόπωσης και παρουσιάζονται κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

## **2. Επισκόπηση Συστημάτων για ανίχνευση άγχους στην οδήγηση**

Παρακάτω ακολουθεί μια επισκόπηση των συστημάτων που ανιχνεύουν το άγχος κατά την οδήγηση. Αρχικά γίνεται μια αναφορά στον ορισμό του άγχους και του άγχους κατά την οδήγηση και εξηγείται η αναγκαιότητα εντοπισμού του άγχους στην οδήγηση σε πραγματικό χρόνο. Περιγράφεται η αρχιτεκτονική που ακολουθείται στην ανάπτυξη των συστημάτων αυτών καθώς επίσης και η πειραματική διαδικασία που ακολουθείται. Στο τέλος γίνεται σύγκριση των συστημάτων ανίχνευσης άγχους καθώς και των μεθοδολογιών πειραματικής μελέτης.

### **2.1. Ορισμός του άγχους**

Το άγχος είναι μια φυσιολογική απόκριση σε σωματικές, συναισθηματικές ή νοητικές προκλήσεις λόγω αυξημένου γνωστικού φόρτου εργασίας. Το άγχος θεωρείται ως απάντηση σε συγκεκριμένα γεγονότα. Είναι μια φυσιολογική αντίδραση του ανθρώπινου σώματος που προετοιμάζεται απέναντι σε δυσκολίες που αφορούν κυρίως συγκέντρωση, δύναμη και εγρήγορση. Συνήθως, το άγχος μπορεί να είναι τόσο σωματικό όσο και ψυχικό (Kim et al., 2020).

Το άγχος συνήθως χαρακτηρίζεται ως συναίσθημα καταπόνησης και βάρους (Selvi, 2020).

Ωστόσο το άγχος δεν είναι πάντοτε αρνητικό. Υπάρχουν δύο κατηγορίες άγχους, το θετικό (eustress) και το αρνητικό (distress) άγχος. Το θετικό άγχος βοηθά τα άτομα να αντιμετωπίσουν καλύτερα προκλητικές καταστάσεις. Το αρνητικό άγχος επιβαρύνει και δυσκολεύει την καθημερινή ζωή του ατόμου (Chen et al., 2017; Nemcova et al., 2021).

Τα στρεσογόνα γεγονότα μπορούν να προκαλέσουν δυναμικές αλλαγές στο ANS. Οι αλλαγές αυτές αντικατοπτρίζονται ως αυξημένη δραστηριότητα στο συμπαθητικό νευρικό σύστημα και μειωμένη δραστηριότητα στο παρασυμπαθητικό νευρικό σύστημα (Chen et al., 2017). Η διέγερση του συμπαθητικού νευρικού συστήματος προετοιμάζει τον οργανισμό απέναντι σε κάθε κατάσταση που απειλεί την ομαλή και σταθερή κατάσταση

του. Η διέγερση του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος επιτελείται όταν ο οργανισμός θέλει να αποκαταστήσει ή να διατηρήσει τις εφεδρείες του.

Οι βασικοί παράγοντες που προκαλούν το άγχος είναι οι περιβαλλοντολογικοί, οι οργανωτικοί και οι προσωπικοί. Οι περιβαλλοντολογικοί παράγοντες είναι για παράδειγμα η εργασία σε ένα μέρος κάτω από δύσκολες κλιματολογικές συνθήκες, οι τεχνολογικές αλλαγές, οι νέες τεχνολογικές εξελίξεις. Στους οργανωτικούς παράγοντες ανήκει η πίεση για αποφυγή σφαλμάτων, η ολοκλήρωση της εργασίας σε περιορισμένο χρόνο, η υπερφόρτωση εργασίας, η κακή διαπροσωπική σχέση και η έλλειψη υποστήριξης από τους συναδέλφους. Ενδεικτικά κάποια παραδείγματα προσωπικών παραγόντων είναι οι συζυγικές δυσκολίες, τα οικογενειακά προβλήματα, τα οικονομικά προβλήματα, τα εγγενή χαρακτηριστικά προσωπικότητας, τα ιατρικά προβλήματα συγγενών και άλλοι (Rodrigues et al., 2015).

## **2.2. Άγχος στην οδήγηση**

Το άγχος εκδηλώνεται σε πολλές εκφάνσεις της καθημερινής ζωής. Πολλοί είναι οι παράγοντες, εσωτερικοί και εξωτερικοί που μπορεί να προκαλέσουν άγχος. Πολύ συχνά και κατά τη διάρκεια της οδήγησης μπορεί να συμβούν αρκετά γεγονότα που να προκαλέσουν άγχος στον οδηγό. Η οδήγηση σε περιβάλλοντα όπως η πόλη ή ο αυτοκινητόδρομος, η οδήγηση σε δύσκολο οδικό δίκτυο, η εμφάνιση εμποδίων κατά την διάρκεια οδήγησης, οι άσχημες καιρικές συνθήκες, η αύξηση πεζών, η αύξηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, η ρύπανση, το όριο ταχύτητας, οι απροσδόκητες καταστάσεις (π.χ. μηχανικές βλάβες, λάθη κατά την οδήγηση), οι συμπεριφορές άλλων οδηγών ή πεζών (π.χ. επικίνδυνες συμπεριφορές και έλλειψη ευγένειας), η οδήγηση τις βραδινές ώρες είναι κάποιοι από τους λόγους που προκαλούν άγχος στους οδηγούς.

Ειδικότερα για τους επαγγελματίες οδηγούς, από έρευνα που πραγματοποιήθηκε συγκεκριμένα σε οδηγούς λεωφορείων, έχει αποδειχθεί ότι είναι εκτεθειμένοι σε άγχος για πολύ μεγάλο διάστημα (Rodrigues et al., 2015).

Συγκεκριμένα το άγχος κατά την οδήγηση μπορεί να προκαλείται από πολλούς στρεσογόνους παράγοντες όπως: αλλαγές διάθεσης, βιορυθμός, κόπωση, πλήξη, ασθένεια, απειλή σωματικής βίας, έκθεση στο θόρυβο, εργονομία του οχήματος, ναρκωτικά, κυκλοφορική συμφόρηση (π.χ. πολυσύχναστη πόλη), καιρός, νυχτερινή οδήγηση, προβλήματα στην εργασία/οικογένεια, φόρτος εργασίας (Nemcova et al., 2021). Για επαγγελματίες οδηγούς, όπως για παράδειγμα οι οδηγοί λεωφορείων ή οι οδηγοί φορτηγών έχουν να αντιμετωπίσουν επιπλέον στρεσογόνους παράγοντες κατά την οδήγηση που σχετίζονται με τη φύση της εργασίας τους. Για παράδειγμα οι οδηγοί σε μέσα μαζικής μεταφοράς έχουν ευθύνη για την ασφάλεια των επιβατών. Άλλοι παράγοντες είναι η εργασία σε βάρδιες, οι μεγάλες περιόδους κοινωνικής απομόνωσης, η πώληση εισιτηρίων και ελέγχου, η αρνητική αλληλεπίδραση με τους επιβάτες σε αρκετές περιπτώσεις, ο υψηλός φόρτος εργασίας (Rodrigues et al., 2015).

### **2.3. Ανάγκη για ανίχνευση άγχους**

Η έλλειψη προσοχής έχει αποδειχθεί η κύρια αιτία τροχαίων ατυχημάτων στις ΗΠΑ. Συγκεκριμένα το 80% των ατυχημάτων οφείλεται σε έλλειψη προσοχής και το 65% όλων των μικρότερων ατυχημάτων (Keshan et al., 2015).

Σύμφωνα με την έκθεση του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO), ο συνολικός αριθμός των θανάτων που προκαλούνται από διάφορα τροχαία ατυχήματα έφτασε τα 1,3 εκατομμύρια κάθε χρόνο (Nemcova et al., 2021).

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτιμά ότι το κόστος των τροχαίων ατυχημάτων στην Ευρώπη έφτασε τα 160 δισεκατομμύρια ευρώ, εκ των οποίων το 60%-80% προήλθε από την ψυχοσωματική κατάσταση των οδηγών (Mou et al., 2021).

Το άγχος συχνά οδηγεί σε κακή ψυχοσωματική κατάσταση που μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο ατυχημάτων. Αυτό το ποσοστό έχει δεκαπλασιαστεί σύμφωνα με το Τεχνολογικό Ινστιτούτο Μεταφορών της Κοινοπολιτείας της Βιρτζίνια (Brown et al., 2016).

Εθνικές αναφορές έχουν δείξει ότι το αίσθημα άγχους είναι ένας κρίσιμος παράγοντας σε θανατηφόρα ατυχήματα στην Αυστραλία (Mou et al., 2021).

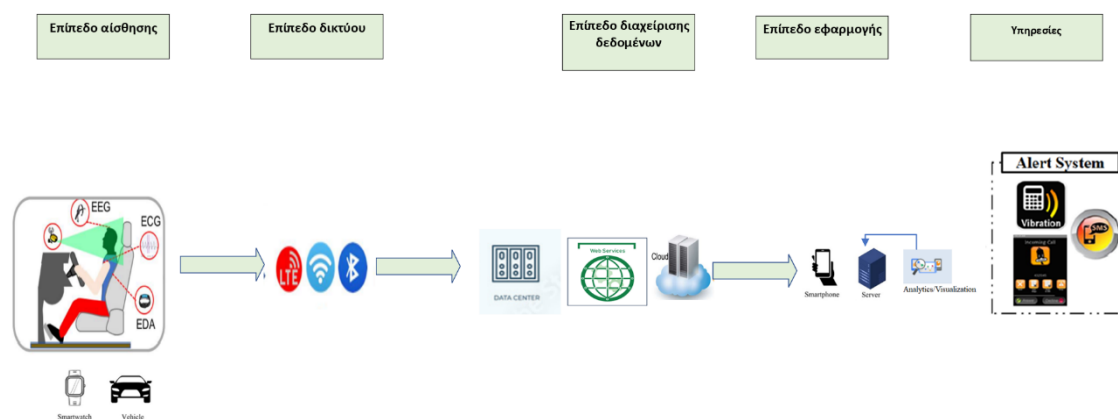
Το γεγονός ότι υπάρχει συσχέτιση του άγχους με την πρόκληση ατυχημάτων καθιστά την ανίχνευση άγχους κατά την οδήγηση επιτακτική ανάγκη. Με την έγκαιρη ανίχνευση του άγχους και την παροχή μηχανισμών εγρήγορσης του ατόμου θα επιτευχθεί μείωση των ατυχημάτων άρα και μείωση του ποσοστού θνησιμότητας. Επιπλέον οι οικονομικές απώλειες που επιφέρουν τα ατυχήματα θα αποφευχθούν σε περίπτωση δυνατότητα ανίχνευσης του άγχους σε πραγματικό χρόνο. Δεδομένου ότι τα λεωφορεία είναι από τα πιο δημοφιλή μέσα μαζικής μεταφοράς παγκοσμίως, η συμπεριφορά των οδηγών λεωφορείων και της επαγγελματικής τους υγείας γίνεται κρίσιμη προτεραιότητα στη συνολική οδική ασφάλεια. Επομένως όταν ελαχιστοποιείται το άγχος κατά την διάρκεια της οδήγησης προκαλούνται λιγότερα ατυχήματα και κατα συνέπεια εξασφαλίζει η ασφάλεια των επιβατών (Rodrigues et al., 2015).

Για όλους τους παραπάνω λόγους κρίνεται επιτακτική η ανάγκη ανίχνευσης του άγχους κατά τη διάρκεια της οδήγησης και για αυτό έχουν δημιουργηθεί πολλά **συστήματα υποβοήθησης οδηγού (DAS)**. Τα συστήματα αυτά στοχεύουν στην εξάλειψη των σφαλμάτων του οδηγού και στην μείωση των επιπέδων άγχους του οδηγού. Τέτοια συστήματα μπορεί να χρησιμοποιούν διάφορους τύπους αισθητήρων, όπως αισθητήρες υπερήχων (ultrasonic sensors), αισθητήρες ραντάρ (radar sensor) και σαρωτές λέιζερ (laser scanner), οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στο όχημα για τη λήψη δεδομένων από το περιβάλλον. Εκτός από τα DAS έχουν αναπτυχθεί και τα **συστήματα ειδοποίησης (notification alert)**. Υπάρχουν δύο τύποι πιθανών συστημάτων ειδοποίησης: συστήματα ειδοποίησης φυσιολογικής κατάστασης του οδηγού και συστήματα ειδοποίησης οδικής κατάστασης. Στα συστήματα ανίχνευσης άγχους ο οδηγός θα ειδοποιηθεί όταν τα επίπεδα άγχους του ενδέχεται να είναι υψηλά. Το μήνυμα ειδοποίησης μπορεί να ζητήσει από τον οδηγό να μειώσει την ταχύτητα οδήγησης και να οδηγήσει με ασφάλεια. Τα συστήματα ειδοποίησης έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνουν την επίγνωση της κατάστασης του οδηγού και μειώνουν αποτελεσματικά το άγχος του οδηγού κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Τέλος

έχουν αναπτυχθεί και τα **συστήματα environment soothing** επικεντρώνεται κυρίως στην ανακούφιση του φυσιολογικού στρες του οδηγού αλλάζοντας την περιβαλλοντική κατάσταση του οχήματος. Για την ανίχνευση του άγχους του οδηγού, συχνά χρησιμοποιούνται φυσιολογικοί αισθητήρες για την παρακολούθηση της ψυχικής και σωματικής κατάστασης του οδηγού. Μόλις εντοπιστεί επίπεδο υψηλού άγχους, εκκινείται μια εφαρμογή που “καταπραΰνει” το περιβάλλον για να ανακουφίσει το άγχος του οδηγού χωρίς καμία ενόχληση στον οδηγό (Chung et al., 2019).

## 2.4. Αρχιτεκτονική

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής για την ανάπτυξη συστημάτων ανίχνευσης άγχους κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Συγκεκριμένα αναλύονται τα επίπεδα αντίληψης, δικτύου, διαχείρισης δεδομένων, εφαρμογής και Υπηρεσιών. Στην Εικόνα 1 απεικονίζεται η αρχιτεκτονική των συστημάτων ανίχνευσης άγχους.



Εικόνα 1 Αρχιτεκτονική συστημάτων ανίχνευσης άγχους στην οδήγηση

### 2.4.1. Επίπεδο αίσθησης / αντίληψης

Το επίπεδο της αίσθησης / αντίληψης περιλαμβάνει τους αισθητήρες και τους μικροελεγκτές. Μέσω των αισθητήρων / μικροελεγκτών γίνεται η συλλογή των



πληροφοριών από το περιβάλλον και μέσω των δικτύων μεταφέρονται στο επόμενο επίπεδο, αυτό του διαδικτύου.

Η κύρια δουλειά ενός συστήματος IoT γίνεται σε αυτό το επίπεδο καθώς εδώ συλλέγονται οι πληροφορίες από τους αισθητήρες ή τις RFID ετικέτες. Στη συνέχεια μετατρέπονται σε ψηφιακά σήματα τα οποία μπορούν να μεταδοθούν μέσω του διαδικτύου ευκολότερα (Καρύκας, 2020).

#### **2.4.1.1. Τύποι δεδομένων**

Για την ανάπτυξη ενός αυτόματου συστήματος εντοπισμού άγχους των οδηγών και την ανίχνευση της εσωτερικής τους κατάστασης, είναι σημαντικό να καταγραφούν τα κατάλληλα δεδομένα. Αυτά τα δεδομένα δηλώνουν άμεσα ή έμμεσα την ύπαρξη άγχους. Επομένως πρέπει να επιλέγονται αποτελεσματικά και αξιόπιστα δεδομένα που θα οδηγήσουν προς αυτή την κατεύθυνση. Για την ανίχνευση του άγχους χρησιμοποιούνται ευρέως τα **φυσιολογικά δεδομένα / βιοσήματα**. Πρόκειται για τα χαρακτηριστικά που εξάγονται από τα φυσιολογικά σήματα όπως το EKG, το GSR, η αναπνοή, το EMG και το EEG. Τα σήματα αυτά δίνουν σχετικά υψηλά ποσοστά ανίχνευσης του άγχους του οδηγού.

**Η αγωγιμότητα του δέρματος** είναι ένα άλλο αξιόπιστο μέτρο για την ανίχνευση του άγχους. Η αυξημένη αγωγιμότητα του δέρματος δηλώνει ότι το άτομο βρίσκεται υπό πίεση ενώ η μειωμένη αγωγιμότητα του δέρματος υποδηλώνει ότι το άτομο βρίσκεται σε κατάσταση λιγότερου άγχους. Επιπλέον το HRV αποτελεί κύριο μέτρο για την ανίχνευση του άγχους σε πολλά συστήματα παρακολούθησης. Αποτελεί επίσης μη επεμβατικό δείκτη για την ανίχνευση δραστηριοτήτων στο αυτόνομο νευρικό σύστημα. Το HRV μπορεί να αντικατοπτρίζει δυναμικά τη συσσώρευση ψυχικού άγχους που το καθιστά έναν καλό δείκτη μέτρησης του άγχους. Η βραχυπρόθεσμη μειωμένη HRV υποδηλώνει οξύ άγχος, αντανακλώντας ότι τα στρεσογόνα γεγονότα επηρεάζουν αρνητικά το HRV (Chen et al., 2017). Το μειονέκτημα αυτών των μετρήσεων είναι ότι απαιτούν αισθητήρες και καλώδια συνδεδεμένα στο σώμα του οδηγού, γεγονός που περιορίζει τη συμπεριφορά των οδηγών σε κάποιο βαθμό. Οι λύσεις ασύρματης και φορητής απόκτησης επιτρέπουν στα άτομα να συμμετέχουν στην οδήγηση πιο άνετα. Αυτά τα φυσιολογικά μέτρα θα μπορούσαν να

χρησιμοποιηθούν αυτόματα από έξυπνα συστήματα επί του οχήματος για να βοηθήσουν τους οδηγούς να διαχειρίζονται καλύτερα την αρνητική τους οδηγική συμπεριφορά. Στις φυσιολογικές μεθόδους, οι μη φυσιολογικές συνθήκες παρακολουθούνται κατά την αλλαγή των σημάτων στα ανάλογα με τις συνθήκες. Αυτές οι μέθοδοι δεν είναι ευαίσθητες σε περιβαλλοντικές συνθήκες όπως ο φωτισμός και η χρήση γυαλιών (Subbiah, N, 2019). Δεδομένα που σχετίζονται με τα μάτια ανήκουν επίσης στα φυσιολογικά μέτρα. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων των ματιών και της συμπεριφοράς του οδηγού. Η απόκριση κόρης (από τα δεδομένα των ματιών) έχει αποδειχθεί ότι είναι φυσιολογικό δεδομένο για την ανίχνευση του άγχους του οδηγού. Το ANS μπορεί να ρυθμίζει συνεχώς το μέγεθος της κόρης. Όταν ένας οδηγός είναι υπό πίεση, οι κόρες των ματιών διαστέλλονται λόγω της διέγερσης του SNS. Επομένως, το PD μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση άγχους στην οδήγηση. Εκτός από το PD, το ανοιγόκλειμα των βλεφαρίδων και το βλέμμα του ματιού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση των συναισθημάτων των οδηγών.

Επιπλέον για την ανίχνευση του άγχους χρησιμοποιούνται **δεδομένα που σχετίζονται με τη συμπεριφορά του οχήματος**. Κάποια από τα δεδομένα αυτά είναι η ταχύτητα οχήματος, η επιτάχυνση, η απόκλιση θέσης λωρίδας, το τιμόνι, το φρενάρισμα και οι αλλαγές ταχυτήτων. Αυτά τα δεδομένα είναι εύκολο να ληφθούν, ωστόσο εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του οχήματος και την οδηγική ικανότητα του οδηγού. Επιπρόσθετα, ορισμένα χαρακτηριστικά του οχήματος, όπως η τεχνολογία παρακολούθησης λωρίδας, είναι επιρρεπής σε απώλεια δεδομένων υπό συγκεκριμένες συνθήκες όπως για παράδειγμα αν οι γραμμές λωρίδας είναι ανύπαρκτες, αν ο καιρός είναι κακός ή αν η οδήγηση γίνεται στο σκοτάδι (Chen et al., 2017). Υπό στρεσογόνες καταστάσεις, οι οδηγοί αντιδρούν σωματικά για να ελέγξουν το όχημα και να αποφύγουν μια ενδεχόμενη σύγκρουση. Ανάλογα με τους τύπους της αντίδρασης, ο χρόνος αντίδρασης μπορεί να κυμαίνεται από χιλιοστά του δευτερολέπτου έως δευτερόλεπτα.

Άλλη μία πηγή που βοηθάει στην ανίχνευση του άγχους είναι τα **περιβαλλοντικά δεδομένα**. Πρόκειται για δεδομένα του περιβάλλοντος όπως οι καιρικές συνθήκες, η

ορατότητα, η ώρα της ημέρας που γίνεται η οδήγηση, οι οδικές καταστάσεις και άλλες συμπεριφορές οδηγού (Mou et al., 2021).

Επιπλέον για τον εντοπισμό του άγχους μπορούν να χρησιμοποιηθούν **δεδομένα που βασίζονται σε βίντεο**. Ένας άλλος τρόπος να ανιχνευτεί το άγχος κατά τη διάρκεια της οδήγησης είναι μέσω της καταγραφής των κινήσεων του οδηγού μέσω βίντεου. Οι ανιχνευτές που βασίζονται σε βίντεο παρακολουθούν τις κινήσεις του κεφαλιού, παρακολουθούν την κατάσταση του βλέμματος, των ματιών και ερμηνεύουν την έκφραση του προσώπου. Ωστόσο, τα οπτικά χαρακτηριστικά δεν μπορούν πάντα να αποδώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα, ειδικά σε συνθήκες κακού φωτισμού, νυχτερινής οδήγησης και όταν ο οδηγός φοράει γυαλιά. Επιπλέον, ανακριβής ερμηνεία της έκφρασης του προσώπου μπορεί να εντοπιστεί όταν ορισμένα εσωστρεφή άτομα προσπαθούν να ελέγξουν τα συναισθήματά τους κατά τη διαδικασία της οδήγησης υπό επιτήρηση. Σε πειραματική μελέτη για ανίχνευση άγχους, χρησιμοποιήθηκαν 3 ψηφιακές κάμερες, μια μικρή κάμερα Elmo τοποθετήθηκε στο τιμόνι, μια ψηφιακή βιντεοκάμερα Sony με ευρυγώνιο φακό (0,42) τοποθετήθηκε στο ταμπλό και μια τρίτη κάμερα χρησιμοποιήθηκε για την παρακολούθηση συμβάντων. Δύο κωδικοποιητές βίντεο βαθμολόγησαν αυτές τις εγγραφές βίντεο με βάση τη συχνότητα εμφάνισης ορισμένων συμπεριφορών τόσο στα οχήματα όσο και στους οδηγούς. Αυτοί οι παρατηρήσιμοι δείκτες περιελάμβαναν στροφή οχήματος, κρούση, σύγκρουση και στροφή του κεφαλιού του οδηγού και αλλαγές στο βλέμμα. Συνήθως, το βλέμμα των ματιών παρέχει σημαντική πληροφορία σχετικά με την εστίαση της προσοχής του οδηγού και επιτρέπει την κατανόηση της συναισθηματικής κατάστασης και των προθέσεων του οδηγού. Τα χαρακτηριστικά χρόνου/συχνότητας του βλέμματος συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με τα επίπεδα του άγχους (Chen et al., 2017).

Επιπρόσθετα η **αξιολόγηση ερωτηματολογίου αυτοαναφοράς** (self-report questionnaire Assessment) χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό του άγχους. Το ερωτηματολόγιο μελετά τη συμπεριφορά του οδηγού. Οι οδηγοί αντιδρούν διαφορετικά σε διαφορετικά είδη αγχωτικών γεγονότων. Επιπλέον, το άγχος του οδηγού είναι το αποτέλεσμα ενός συνδυασμού χαρακτηριστικών του οδηγού, όπως η ηλικία, η εμπειρία οδήγησης και το

ιστορικό (Chung et al. (2019)). Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους με χρήση φορητής συσκευής, οι αυτοαναφορές του οδηγού χρησιμοποιούνται ως αναφορά για την πρόβλεψη του επιπέδου άγχους του οδηγού. Το αποτέλεσμα της αξιολόγησης επιβεβαίωσε ότι οι παράγοντες που προκαλούν άγχος στον οδηγό είναι οι εξής: υψηλή ένταση, λιγότερη συγκέντρωση, ερεθισμός, απόσπαση της προσοχής κατά την οδήγηση (Rathan, n.d.).

Τέλος με τα **υβριδικά δεδομένα** μπορεί να ανιχνευθεί το άγχος. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό του άγχους του ατόμου μπορεί να προέρχονται συνδυαστικά από τα δεδομένα που αναλύθηκαν παραπάνω. Για παράδειγμα θα μπορούσε να είναι δεδομένα που προέρχονται από φυσιολογικά και δεδομένα που έχουν καταγραφεί μέσω βίντεο (Mou et al., 2021). Επίσης σε καποιες περιπτώσεις έχουν συνδυαστεί δεδομένα παραπάνω κατηγοριών για παράδειγμα υπάρχουν συστήματα εντοπισμού άγχους που βασίζονται σε δεδομένα ματιών, σε δεδομένα οχηματος και σε δεδομένα περιβάλλοντος (Chen et al., 2017).

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται όλες οι κατηγορίες που χρησιμοποιούνται σε συστήματα εντοπισμού άγχους.

Κατηγορία δεδομένων	Σήματα ανά κατηγορία / Χαρακτηριστικά
Φυσιολογικά δεδομένα	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Καρδιακή δραστηριότητα (HRV)               <ul style="list-style-type: none"> <li>• PPG &amp; ECG or EKG</li> <li>• Αναπνοή (RESP)</li> </ul> </li> <li>• Εγκεφαλική δραστηριότητα (EEG, EMG)</li> <li>• Ηλεκτροδερμική δραστηριότητα (EDA, GSR, SCL, SCR, HGSR, FGSR )</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Θερμοκρασία σώματος (ST)</li> <li>• Πίεση αίματος (BP)</li> </ul>
Συμπεριφορά του οχήματος	Ταχύτητα οχήματος, επιτάχυνση, απόκλιση θέσης λωρίδας, τιμόνι, φρενάρισμα και οι αλλαγές ταχυτήτων, μετρήσεις διεύθυνσης ή διατήρησης λωρίδας, χρησιμοποίηση των πεντάλ επιτάχυνσης και φρένων ή της πίεσης, πεντάλ επιτάχυνσης, ποσοστό εκτροπής, παρακολούθηση του δρόμου μέσω κάμερας, εντοπισμός GPS
Περιβαλλοντικά δεδομένα	Καιρικές συνθήκες, ορατότητα, ώρα της ημέρας που γίνεται η οδήγηση, οι οδικές καταστάσεις
Δεδομένα βασισμένα σε βίντεο	Κινήσεις του κεφαλιού, κατάσταση του βλέμματος, των ματιών, έκφραση του προσώπου
Αξιολόγηση ερωτηματολογίου αυτοαναφοράς	<ul style="list-style-type: none"> <li>• αξιολογήσεις πριν το πείραμα (pre-experiment)</li> <li>• αξιολογήσεις μετά το πείραμα (post-experiment assessments)</li> </ul>

**Πίνακας 1 Κατηγορίες δεδομένων για τον εντοπισμού άγχους σε συστήματα ανίχνευσης άγχους.**

#### **2.4.1.2. Αισθητήρες**

Η αποτελεσματική συλλογή δεδομένων ξεκινά με τη χρήση αισθητήρων. Οι αισθητήρες είναι συσκευές που ανταποκρίνονται σε εισόδους από τον φυσικό κόσμο και στη συνέχεια λαμβάνουν αυτές τις εισόδους και τις εμφανίζουν, τις μεταδίδουν για πρόσθετη επεξεργασία ή τις χρησιμοποιούν σε συνδυασμό με την τεχνητή νοημοσύνη για τη λήψη αποφάσεων (Guerrero-Ibáñez et al., 2018).

Στις περισσότερες εφαρμογές IoT γίνεται χρήση αισθητήρων που είναι ενσωματωμένοι σε κάθε συσκευή που συμμετέχει στο δίκτυο, όπως το κινητό τηλέφωνο, οι ηλεκτρικές συσκευές και σχεδόν οτιδήποτε συναντάμε στην καθημερινή μας ζωή. Καθώς η πρωτοβουλία IoT επεκτείνεται, όλο και περισσότεροι αισθητήρες πρόκειται να χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και τη συλλογή δεδομένων για ανάλυση και επεξεργασία. (Καρύκας, 2020)

Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό και στην περίπτωση των συστημάτων ανίχνευσης άγχους. Κάποιες από τις βασικές κατηγορίες αισθητήρων που χρησιμοποιούνται είναι οι φορητοί αισθητήρες (portable sensors), οι φορετοί αισθητήρες (wearable sensors) και οι εμφυτεύσιμοι αισθητήρες (implantable sensors). Οι αισθητήρες στις εφαρμογές της ανίχνευσης άγχους εφαρμόζονται κυρίως για την καταγραφή των βιοσημάτων.

Σε σύστημα βοήθειας οδηγού, το οποίο είναι ικανό να αντιλαμβάνεται το άγχος σε πραγματικό χρόνο, έγινε χρήση φορετών αισθητήρων για την καταγραφή των βιοσημάτων GSR και PPG. Οι αισθητήρες αυτοί ήταν τοποθετημένοι στο σώμα. Συγκεκριμένα υπήρχε παλμικό οξύμετρο φορετό στο σώμα, ζώνη κοιλιακής αναπνοής, GSR ηλεκτρόδια και μία φορητή μονάδα που συγκέντρωνε τα σήματα (Singh et al., 2013).

Σε σύστημα που χρησιμοποιεί αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για την ανίχνευση άγχους σε οδηγούς χρησιμοποιούνται διάφοροι φορετοί αισθητήρες για την καταγραφή του βιοσήματος ECG (Keshan et al., 2015).

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους για τους οδηγούς λεωφορείων χρησιμοποιήθηκε μια φορητή πλατφόρμα βιοπαρακολούθησης σε μορφή t-shirt, η οποία παρείχε σε πραγματικό

χρόνο ECG. Μέσω του αισθητήρα που ήταν ενσωματωμένος στο γιλέκο γίνεται η καταγραφή του βιοσήματος ECG (Rodrigues et al., 2015).

Σε άλλο σύστημα ανίχνευσης άγχους που βασίστηκε σε φυσιολογικές μετρήσεις των σημάτων EKG/ECG, αναπνοή, και GSR χρησιμοποιήθηκαν επίσης αισθητήρες. Συγκεκριμένα αισθητήρες συνδέθηκαν σε έναν μετατροπέα FlexComp, ο οποίος συνδέθηκε με έναν ενσωματωμένο υπολογιστή σε ένα αυτοκίνητο της σειράς Volvo S70. Τ. Η αγωγιμότητα του δέρματος καταγράφηκε σε δύο θέσεις: στην παλάμη του αριστερού χεριού, συγκεκριμένα ως HGSR και στην εσωτερική σόλα του αριστερού ποδιού ως FGSR. Τέλος χρησιμοποιήθηκε ελαστικός αισθητήρας Hall Effect που δένεται γύρω από το διάφραγμα του ατόμου για τη μέτρηση της αναπνοής (Chen et al., 2017).

Στην περίπτωση ανάπτυξης μοντέλου για την ταξινόμηση του άγχους χρησιμοποιήθηκε το βιοσήμα GSR. Ο αισθητήρας GSR είχε ενσωματωθεί ο GSR αισθητήρας σε βραχιόλι Empatica στον αριστερό καρπό του οδηγού (Kim et al., 2020).

Ο Subbiah (2019) προτείνει σύστημα ανίχνευσης άγχους όπου συμμετέχουν ένας αισθητήρας καρδιακού ρυθμού και ένας αισθητήρας βλεφαρίδων. Ο αισθητήρας καρδιακού ρυθμού είναι ενσωματωμένος σε φορητή συσκευή κλιπ χεριού ενώ ο αισθητήρας που ανιχνεύει το ανοιγόκλειμα των ματιών σε φορετά γυαλιά.

Οι Rathanl et al. (n.d.) στο προτεινόμενο σύστημα για την ανίχνευση άγχους στους οδηγούς κάνουν χρήση ενός αισθητήρα καρδιακού παλμού, ενός αισθητήρα θερμοκρασίας και ενός αισθητήρα υπερύθρων (IR). Ο αισθητήρας καρδιακού παλμού τοποθετείται στο γάντι που φοράει ο οδηγός για τη μέτρηση του καρδιακού παλμού. Στην Εικόνα 1 απεικονίζονται οι αισθητήρες αυτοί.

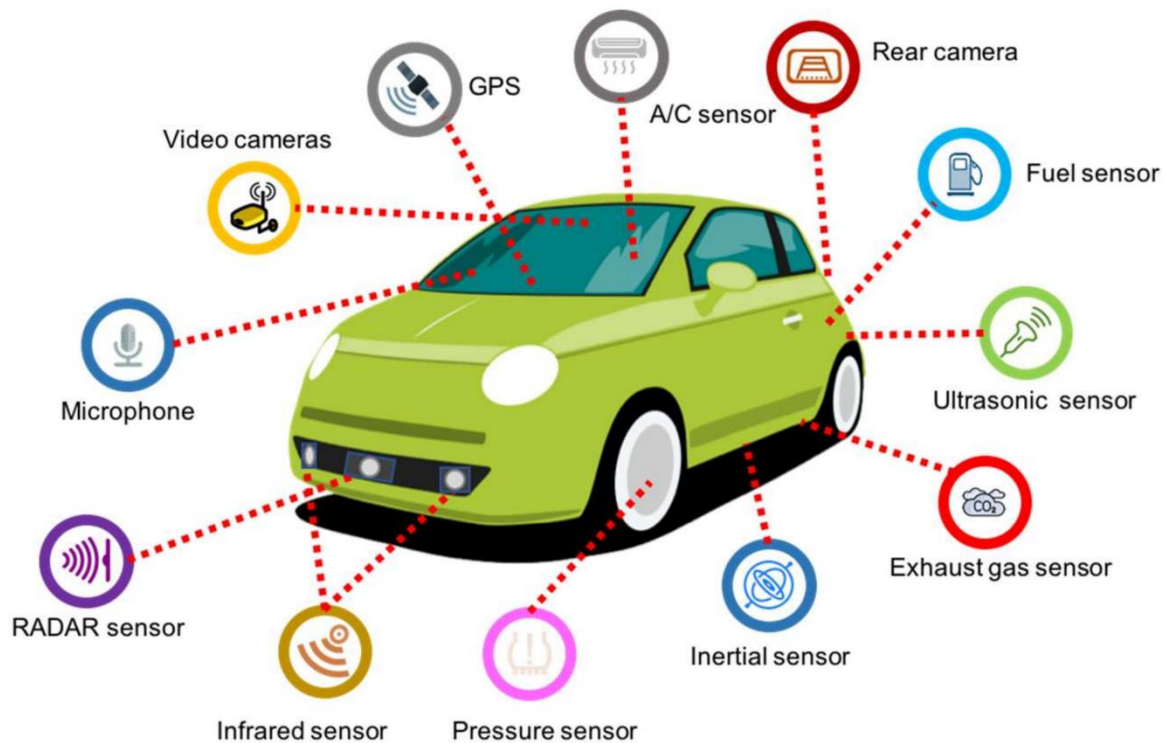
Οι αισθητήρες GSR έχουν γίνει δημοφιλείς στις μέθοδος ανίχνευσης άγχους λόγω των λιγοστών απαιτήσεών τους σε σχέση με το EEG και ECG. Το σήμα GSR αποκαλύφθηκε να είναι πρακτικό, οικονομικό και εξαιρετικά διακριτικό και ακριβές μέτρο. Το σήμα EEG ή το ECG απαιτεί ηλεκτρόδια τύπου γέλης τοποθετημένα σε συγκεκριμένα σημεία επαφής στο ανθρώπινο δέρμα για καλύτερη αγωγιμότητα. Τα ηλεκτρόδια GSR, ωστόσο, δεν

απαιτούν πάντα ένα τζελ, οπότε τα ηλεκτρόδια GSR τοποθετούνται απευθείας στο δέρμα. Αυτό το καθιστά βολικό και χρήσιμο για μακροχρόνια παρακολούθηση. Η έρευνα έχει δείξει ότι η μέτρηση του GSR στον καρπό παρέχει ακρίβεια στα αποτελέσματα (Kim et al., 2020).

Η χρήση ενός μόνου αισθητήρα είναι βολική στην εφαρμογή, αλλά μερικές φορές μπορεί να οδηγήσει σε ανακριβή αποτελέσματα επειδή εστιάζει μόνο σε μια συγκεκριμένη πτυχή του ανθρώπινου οργανισμού. Η ανάλυση από πολλούς αισθητήρες είναι ευνοϊκή για την αξιολόγηση της κατάστασης του οδηγού με μεγαλύτερη αξιοπιστία και ακρίβεια (Chen et al., 2017).

Στο σύστημα ανίχνευσης άγχους που προτείνει ο Selvi (2020) τα δεδομένα συλλέγονται από τους αισθητήρες καρδιακού παλμού και βλεφαρίδων. Ο αισθητήρας των βλεφαρίδων αποτελείται από πομπό υπέρυθρων και δέκτη υπέρυθρων. Ο πομπός μεταδίδει ακτίνες IR στα μάτια. Αν τα μάτια είναι κλειστά η έξοδος θα είναι υψηλή ενώ αν τα μάτια είναι ανοιχτά, τότε η έξοδος θα είναι χαμηλή. Ο αισθητήρας καρδιακού παλμού αποτελείται από εκπομπή φωτός. Το φως εκπέμπεται μέσω LED, είτε αντανακλά είτε μεταδίδει το φως.





Εικόνα 2 Αισθητήρες ενσωματωμένοι μέσα στο αυτοκίνητο για την ανίχνευση άγχους

Οι Haouiij et al. (2018) προτείνουν την πλατφόρμα AffectiveROAD, που ανιχνεύει τις ανθρώπινες φυσιολογικές αλλαγές, το περιβάλλον μέσα στο όχημα και την ταχύτητα του οχήματος και μπορεί να αξιολογήσει το άγχος του οδηγού. Η πλατφόρμα βασίζεται σε δίκτυα αισθητήρων (SN) που μετρούν τα φυσιολογικά σήματα και τις πληροφορίες του περιβάλλοντος. Για την απόκτηση των φυσιολογικών σημάτων χρησιμοποιούνται οι φυσιολογικοί αισθητήρες Two Empatica E4 και Zephyr Bioharness. Ο αισθητήρας E4 είναι ένα έξυπνο περικάρπιο και καταγράφει τα σήματα EDA, ST, HR και την κίνηση του χεριού. Ο αισθητήρας Zephyr Bioharness είναι και αυτό μια φορητή συσκευή και καταγράφει τον ρυθμό αναπνοής, το HR και το ST. Για την απόκτηση των πληροφοριών περιβάλλοντος χρησιμοποιείται ο αισθητήρας Grove luminance και ο αισθητήρας Adafruit BME 280. Ο Grove luminance καταγράφει τη φωτεινότητα ενώ ο Adafruit BME 280 την θερμοκρασία, την πίεση και την υγρασία. Επίσης χρησιμοποιούνται και δύο εξωτερικοί αισθητήρες

περιβάλλοντος, ο Sound meter PCE-322A και ο Roland CS-10EM για την καταγραφή των ηχητικών σημάτων. Για την εγγραφή βίντεο χρησιμοποιούνται δύο Go Pro κάμερες. Τέλος για τη συλλογή των GPS δεδομένων χρησιμοποιείται το smartphone Samsung S4.

Στην Εικόνα 3 φαίνονται οι αισθητήρες της πλατφόρμας AffectiveROAD.



Εικόνα 3 Το δίκτυο αισθητήρων για την πλατφόρμα AffectiveRoad

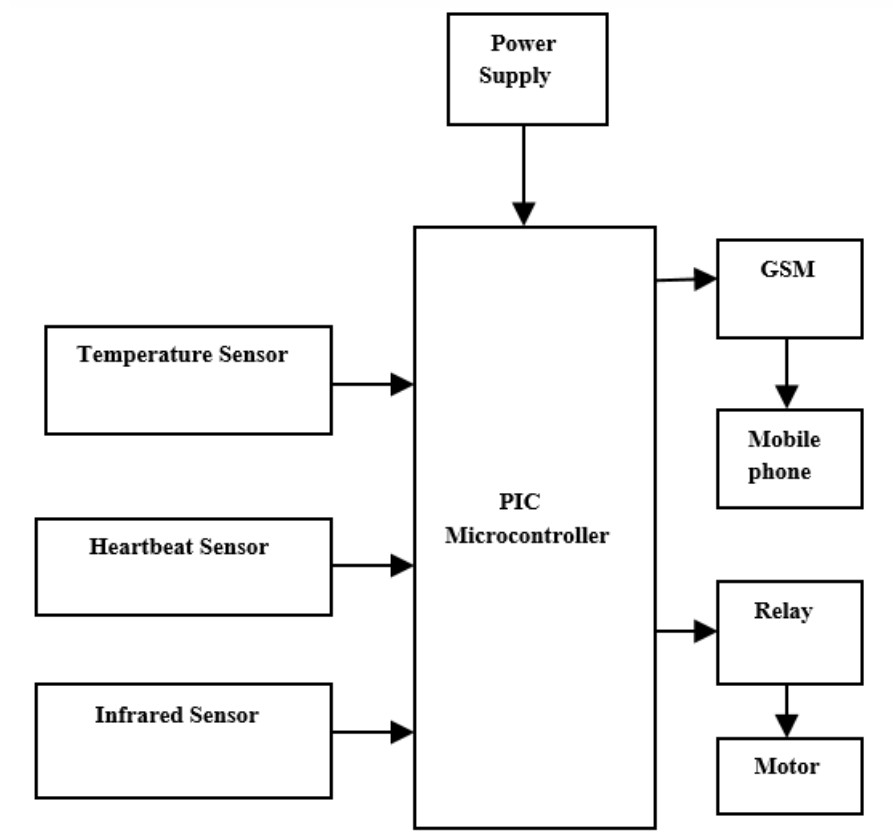
#### 2.4.1.3. Μικροελεγκτές

Σύστημα ανίχνευσης άγχους χρησιμοποιεί τον αισθητήρα καρδιακού παλμού για τη μέτρηση του εύρους καρδιακών παλμών και τον αισθητήρα θερμοκρασίας για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του σώματος του οδηγού. Ο μικροελεγκτής συγκρίνει τις τιμές με τα φυσιολογικά επίπεδα και όταν φτάσει σε μη φυσιολογικό επίπεδο το όχημα σβήνει αυτόματα. Ο αισθητήρας υπερύθρων ανιχνεύει τα εμπόδια μπροστά από το όχημα. (Rathan1 et al., n.d.).

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους, κόπωσης και υπνηλίας χρησιμοποιείται το Arduino Uno. Το Arduino Uno διαθέτει 14 ψηφιακές ακίδες εισόδου/εξόδου (εκ των οποίων 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εξόδοι PWM), 6 αναλογικές ακίδες εισόδου χρησιμοποιούνται για την είσοδο καρδιακών παλμών και μια ακίδα που χρησιμοποιείται για τους αισθητήρες βλεφαρίδων. Ο μετατροπέας ADC στο Arduino Uno χρησιμοποιείται για τη μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό σήμα (Subbiah, 2019).

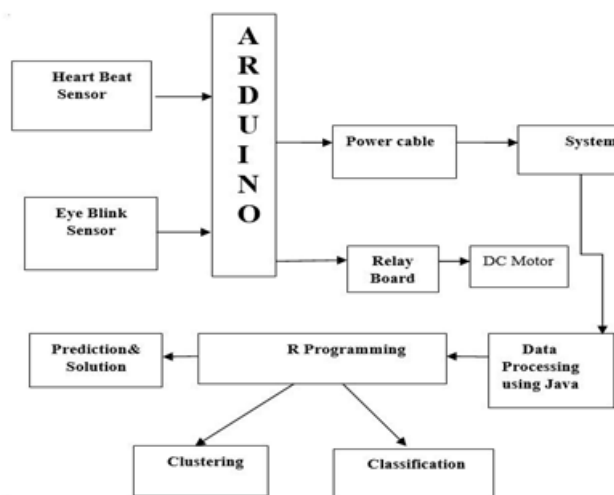
Ο Selvi (2020) προτείνει ένα σύστημα ανίχνευσης άγχους για οδηγούς, όπου χρησιμοποιείται ο μικροελεγκτής Arduino. Το Arduino δέχεται ως είσοδο, τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες καρδιακού παλμού και βλεφάρων και χρησιμοποιείται για την επικοινωνία και τον έλεγχο των λειτουργιών πολλών συσκευών. Το Arduino έχει και μία πόρτα USB η οποία μπορεί να συνδεθεί με οποιαδήποτε συσκευή.

Στην Εικόνα 4 φαίνεται ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιήθηκε για το σύστημα ανίχνευσης άγχους με το φορετό γάντι (Rathan1 et al., n.d.)



Εικόνα 4 PIC microcontroller

Στην Εικόνα 5 φαίνεται ο μικροελεγκτής Arduino που χρησιμοποιήθηκε για το σύστημα ανίχνευσης άγχους με τους αισθητήρες καρδιακού παλμού και βλεφαρίδων (Selvi, 2020)



Εικόνα 5 Arduino microcontroller

#### 2.4.2. Επίπεδο δικτύου

Το επίπεδο του δικτύου είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία των δεδομένων που έχουν ληφθεί από το πρώτο στάδιο, εκείνο της αίσθησης/ αντίληψης. Ο ρόλος του είναι να μεταφέρει τις πληροφορίες στο επόμενο επίπεδο, το επίπεδο εφαρμογής, μέσω διαφόρων τεχνολογιών του διαδικτύου όπως ενσύρματα ή ασύρματα αλλά και τοπικά δίκτυα (Καρύκας, 2020).

##### 2.4.2.1. Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

Οι συσκευές που συμμετέχουν σε ένα σύστημα ανίχνευσης άγχους έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνήσουν με πολλούς τύπους δικτύων. Χρησιμοποιούνται διαφόρων ειδών πρωτόκολλα επικοινωνίας ούτως ώστε να γίνει εφικτή η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών, των αισθητήρων και του δικτύου σε ένα σύστημα ανίχνευσης άγχους. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι το WiFi, το Bluetooth, 3G/4G/5G και Zigbee.

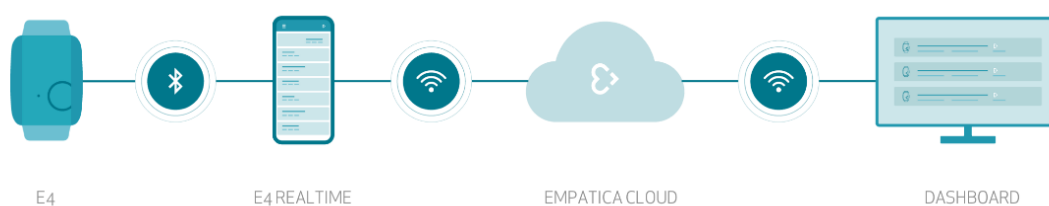
##### 2.4.2.2. Δικτυακός εξοπλισμός

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους για οδηγούς λεωφορείων οι συσκευές που συμμετέχουν στο σύστημα είναι ένα Vital Jacket το οποίο είναι μια φορητή πλατφόρμα βιοπαρακολούθησης

σε μορφή γιλέκου που παρέχει ECG σε πραγματικό χρόνο, ένα επιταχυνσιόμετρο, αναλώσιμα ηλεκτρόδια, ένα GPS και έναν υπολογιστή netbook. Τα δεδομένα που συλλέγονται από το Vital Jacket μεταδίδονται στο netbook μέσω Bluetooth από ένα μικρό κουτί που βρίσκεται σε μια εύκολα προσβάσιμη τσέπη στο γιλέκο. Το GPS είναι Bluetooth Bluemax που τοποθετήθηκε κοντά στο παράθυρο λεωφορείου και μεταδίδει πληροφορίες GPS στο netbook μέσω Bluetooth. Το netbook επιλέχθηκε για τη φορητότητα του και λειτουργεί ως μονάδα συγκέντρωσης (gather unit). Η απαιτούμενη σύνδεση στο Διαδίκτυο παρέχεται από προσαρμογέα δικτύου 3G (3G network adapter). Ο 3G network adapter χρησιμοποιείται επίσης για πρόσβαση στο Google Earth και ανανέωση των χαρτών και για συγχρονισμό των δεδομένων του οδηγού στον διακομιστή (Rodrigues et al., 2015).

Σε σύστημα ανάπτυξης στατιστικού μοντέλου για την ανίχνευση άγχους σε οδηγούς με βάση το σήμα HGSR που προτείνουν οι Kim et al. (2020), έγινε χρήση της φορητής συσκευής E4, Empatica Inc., Boston, MA. Στην συσκευή αυτή έχει ενσωματωθεί ο GSR αισθητήρας. Τα σήματα GPS του οχήματος και οι πληροφορίες που σχετίζονται με τον χρόνο συλλέγονται με τη χρήση αισθητήρα on-board diagnostics (OBD) που είναι ενσωματωμένος στο όχημα. Τα δεδομένα από το OBD ανακτώνται είτε μέσω καλωδίων USB αντάπτορα είτε μέσω Bluetooth ανταπτόρων που είναι συνδεδεμένοι στην υποδοχή OBD του αυτοκινήτου.

Στην Εικόνα 6 φαίνεται η επικοινωνία της φορητής συσκευής με το κινητό τηλέφωνο και με το cloud. Συγκεκριμένα τα δεδομένα από το Empatica E4 μεταφέρονται μέσω bluetooth στο κινητο τηλέφωνο και από μέσω WiFi στο empatica cloud. Τέλος τα δεδομένα απεικονίζονται μέσω Wifi στο dashboard (E4 Wristband, 2019).



Εικόνα 6 Empatica communication protocol

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους σε οδηγούς χρησιμοποιώντας τα βιοσήματα PPG και GSR χρησιμοποιούνται οι παρακάτω συσκευές, ένα tablet ( HP Compaq Tablet PC), ένα παλμικό οξύμετρο φορετό στο σώμα (Nonin Pulse Oximeter), μία ζώνη κοιλιακής αναπνοής, GSR ηλεκτρόδια και μία φορητή μονάδα που συγκεντρώνει τα σήματα (Mind media B V's Nexus-10device). Τα δείγματα των σημάτων PPG και GSR μεταφέρονται ενσύρματα στην μονάδα Nexus. Τα φιλτραρισμένα δεδομένα από τους αισθητήρες μεταδίδονται ασύρματα μέσω μιας σύνδεσης Bluetooth (IEEE 802.15.1) στο HP Compaq Tablet PC (Singh et al., 2013).

Οι Haouij et al. (2018) προτείνουν την πλατφόρμα AffectiveROAD για την ανίχνευση του άγχους κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Το σύστημα αποτελείται από δύο φορητές συσκευές Empatica E4 και από την φορητή συσκευή Zephyr Bio-Harness 3.0. Οι δύο φορητές συσκευές είναι εξοπλισμένες με τεχνολογία Bluetooth για τη διασφάλιση της επικοινωνίας με smartphone ή tablet. Επιπλέον στο σύστημα συμμετέχει και το Intel Edison developer kit2 το οποίο είναι εξοπλισμένο με συνδεσιμότητα Wi-Fi και Bluetooth. Η συσκευή E4 έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί με την πλατφόρμα Intel Edison developer kit2 μέσω Bluetooth. Έτσι, ο οδηγός μπορεί να γυρίσει στην πλατφόρμα από το βραχιολάκι E4 που είναι τοποθετημένο στο χέρι του. Με αυτόν τον τρόπο ο οδηγός μπορεί να ελέγχει από το χέρι του την πλατφόρμα και τα δεδομένα να είναι συγχρονισμένα μετά από κάθε οδήγηση.

#### **2.4.3. Επίπεδο διαχείρισης δεδομένων**

Στο επίπεδο διαχείρισης δεδομένων γίνονται οι απαραίτητες ενέργειες και εφαρμόζονται κατάλληλοι μηχανισμοί ώστε τα δεδομένα που έχουν συλλεγεί από το επίπεδο της αίσθησης να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο επίπεδο εφαρμογής.

##### **2.4.3.1. Εξαγωγή χαρακτηριστικών (Feature Extraction / Generation)**

Η εξαγωγή χαρακτηριστικών αποτελεί μια προσέγγιση για τη μείωση του αριθμού των χαρακτηριστικών σε σύνολα δεδομένων. Οι τεχνικές εξαγωγής χαρακτηριστικών παράγουν νέα χαρακτηριστικά συνδυάζοντας τα υπάρχοντα και στη συνέχεια απορρίπτοντας τα

αρχικά χαρακτηριστικά. Οι τεχνικές εξαγωγής χαρακτηριστικών καθιστούν δυνατό τον χειρισμό της πολυπλοκότητας των δεδομένων υψηλών διαστάσεων.

Μετά το βήμα της εξαγωγής χαρακτηριστικών για ένα σύστημα ανίχνευσης άγχους βασισμένο στα βιοσήματα GSP και PPG προκύπτουν οι παρακάτω τρεις κατηγορίες χαρακτηριστικών (Singh et al., 2013). Η πρώτη κατηγορία αφορά τα **στατιστικά χαρακτηριστικά** (statistical features), όπου είναι ο μέσος όρος, ενέργεια σήματος, χρονική διάρκεια, εύρος ζώνης. Η δεύτερη κατηγορία είναι τα **συντακτικά χαρακτηριστικά** (syntactic features). Όπως φαίνεται για καθένα σήμα προκύπτουν και άλλα χαρακτηριστικά. Για το GSR προκύπτει το άθροισμα χρόνου ανόδου αιχμής GSR, το άθροισμα πλάτους κορυφής GSR και το μισό ποσό ανάκτησης GSR. Για το PPG προκύπτει ύψος παλμού, ο χρόνος ανόδου PPG και ο χρόνος πτώσης PPG. Η τρίτη κατηγορία είναι τα χαρακτηριστικά που βασίζονται σε **τεχνικές μετασχηματισμού σήματος** (Transform based features).

Σε σύστημα ανίχνευσης του άγχους το οποίο βασίζεται στο βιοσήμα ECG, εξάγονται τα παρακάτω χαρακτηριστικά: μέσα κανονικά-προς-κανονικά (NN) διαστήματα, τυπική απόκλιση αυτών των διαστημάτων NN, χαμηλή συχνότητα, φασματική ισχύς μεταξύ 0,04 Hz και 0,15 Hz, υψηλή ισχύς συχνότητας, ratio LF/HF. Αποδείχθηκε ότι το LF και η αναλογία LF/HF, είναι οι δύο μετρήσεις που σχετίζονται περισσότερο με το άγχος, επομένως στο συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιήθηκε το LF power ως ο δείκτης ένδειξης άγχους (Rodrigues et al., 2015).

Σε σύστημα εντοπισμού άγχους βασισμένο στα βιοσήματα HGSR, FGSR, EKG, RESP (Chen et al., 2017) χρησιμοποιήθηκαν τρεις τεχνικές: Η πρώτη είναι η **ανάλυση χρόνου** (time analysis). Για τα τέσσερα σήματα (HGSR, FGSR, EKG, RESP) υπολογίζονται ο κανονικοποιημένος μέσος όρος  $N$  και η τυπική απόκλιση. Στην περίπτωση της αγωγιμότητας του δέρματος, έχουν χρησιμοποιηθεί πιο πολύπλοκα χαρακτηριστικά. Επιπλέον, τέσσερα πρόσθετα χαρακτηριστικά, δηλαδή το άθροισμα του αριθμού κορυφής, το άθροισμα του μεγέθους του ξαφνιάσματος, το άθροισμα της διάρκειας ανόδου και το άθροισμα της περιοχής ανόδου υπολογίζονται για να περιγράψουν τα χαρακτηριστικά των χρονοσειρών GSR. Η δεύτερη τεχνική είναι η **ανάλυση συχνότητας** (frequency analysis)

Στον τομέα συχνότητας, τα φασματικά χαρακτηριστικά υπολογίζονται για τα σήματα RESP και EKG. Όσον αφορά το RESP, τέσσερα φασματικά χαρακτηριστικά που βασίζονται σε FFT υπολογίζονται. Οι καρδιακοί παλμοί λαμβάνονται με εξαγωγή των διαστημάτων R-R από τα σήματα EKG. Υπολογίζεται η ενέργεια ισχύος στην περιοχή LF και στην περιοχή HF. Σε αυτή την έρευνα, υπολογίζεται το άθροισμα ισχύος σε LF, το άθροισμα ισχύος σε HF, ο λόγος LF/HF, ο λόγος LF/AF και ο λόγος HF/AF. Η τρίτη τεχνική είναι η **αποσύνθεση κυματιδίων** (wavelet decomposition). Συνολικά 73 χαρακτηριστικά, τα οποία περιλαμβάνουν 18 χαρακτηριστικά FGSR, 18 χαρακτηριστικά HGSR, 18 χαρακτηριστικά RESP και 19 χαρακτηριστικά EKG, χρησιμοποιούνται.

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους βασισμένο στο βιοσήμα HGSR, το (κατακόρυφο πλάτος (OM) και η οριζόντια διάρκεια (OD) ήταν γνωστά ως σημαντικά χαρακτηριστικά που συνδέθηκαν σημαντικά με το άγχος κατά την οδήγηση. Επομένως επιλέχθηκαν ως βασικά βιομετρικά στοιχεία για την ταξινόμηση του στρες κατά την οδήγηση (Kim et al., 2020). Από το στάδιο της εξαγωγής χαρακτηριστικών 12 χαρακτηριστικά εξήχθησαν για τα δύο χαρακτηριστικά OD και OM: ελάχιστο (minOD και minOM), μέγιστο (maxOD και maxOM), μέσος όρος (meanOD και meanOM), τυπική απόκλιση (SDOD και SDOM), άθροισμα OD και OM (sumOD και sumOM) και τον αριθμό των εμφανίσεων διάρκειας και πλάτους (nOD και nOM).

Λαμβάνοντας υπόψη το σήμα SPR, εξάγονται τα παρακάτω χαρακτηριστικά: η διασπορά διαστήματος (interval variance), η ενέργεια (energy), η μέση απόλυτη (mean absolute value), η μέση απόλυτη παράγωγος (mean absolute derivative) και η μέγιστη απόλυτη παράγωγος (max absolute derivative).

Σε άλλο σύστημα ανίχνευσης άγχους βασισμένο στα βιοσήματα SPR και ECG προκύπτουν διαφορετικά χαρακτηριστικά για καθένα από τα δύο βιοσήματα. Λαμβάνοντας υπόψη το σήμα SPR, εξάγονται τα χαρακτηριστικά: η διασπορά διαστήματος, η ενέργεια, η μέση απόλυτη, η μέση απόλυτη παράγωγος και η μέγιστη απόλυτη παράγωγος. Λαμβάνοντας υπόψη το σήμα ECG, εξάγονται τα χαρακτηριστικά: η μέση τιμή των κανονικών προς κανονικών διαστημάτων RR ή NN, η απόκλιση των διαστημάτων RR, η τυπική απόκλιση των διαδοχικών διαφορών διαστήματος RR, η ρίζα του μέσου όρου του τετραγώνου των



διαδοχικών διαφορών διαστήματος RR, ο αριθμός των διαδοχικών διαστημάτων RR που διαφέρουν περισσότερο από 50 ms και η αντίστοιχη τιμή σε ποσοστό (PNN50), η μέση τιμή του καρδιακού παλμού και η μέση τιμή παραγώγου του παλμού καρδιάς (HR) (Zontone et al., 2019).

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους, κόπωσης και υπνηλίας πραγματοποιήθηκε εξαγωγή διαφορετικών χαρακτηριστικών από τα σήματα καρδιακού παλμού και ανοιγοκλείματος των ματιών χρησιμοποιώντας το NetBeans Java Platform (Subbiah, 2019).

#### **2.4.3.2. Επιλογή χαρακτηριστικών & Μείωση χαρακτηριστικών (Feature Selection & feature reduction)**

Η επιλογή χαρακτηριστικών, όπως και η εξαγωγή χαρακτηριστικών αποτελεί μια προσέγγιση για τη μείωση του αριθμού των χαρακτηριστικών σε σύνολα δεδομένων. Η επιλογή χαρακτηριστικών είναι μια διαδικασία κατά την οποία ένα υποσύνολο του χώρου του χαρακτηριστικού επιλέγεται ανάλογα με τη συνάφεια με την έξοδο του ταξινομητή. Ο απώτερος στόχος είναι η απόκτηση του πιο αποτελεσματικού υποσυνόλου των υπαρχόντων χαρακτηριστικών χωρίς τη δημιουργία νέων χαρακτηριστικών. Οι μέθοδοι επιλογής χαρακτηριστικών είναι αποτελεσματικές για την αφαίρεση περιττών χαρακτηριστικών.

Οι βασικές μέθοδοι επιλογής κατηγοριοποιούνται σε τρεις μεθόδους: Η πρώτη μέθοδος είναι τα **φίλτρα** (filters). Οι μέθοδοι φιλτραρίσματος απλώς επιλέγουν το υποσύνολο χαρακτηριστικών ανεξάρτητα από τον ταξινομητή υπολογίζοντας μία βαθμολογία συνάφειας. Για παράδειγμα, η διακύμανση κάθε χαρακτηριστικού υπολογίζεται με βάση ένα ορισμένο όριο χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η σχέση μεταξύ των χαρακτηριστικών και του ταξινομητή. Αυτή η μέθοδος είναι απλή και γρήγορη αλλά αποδίδει μικρότερη ακρίβεια σε σύγκριση με τους wrappers και τις υβριδικές μεθόδους. Οι πιο δημοφιλείς μέθοδοι φιλτραρίσματος είναι η βαθμολογία του συντελεστή συσχέτισης, το Chi squared test και το T-test. Η δεύτερη μέθοδος είναι τα **wrappers**. Οι μέθοδοι wrapper λειτουργούν ως προγνωστικό μοντέλο επιλέγοντας το υποσύνολο χαρακτηριστικών και υπολογίζουν το σφάλμα στη συνάρτηση του ταξινομητή. Η μέθοδος αυτή υπερτερεί της μεθόδου φιλτραρίσματος επειδή συμβάλει στην βελτιστοποίηση της απόδοσης της ταξινόμησης υπολογίζοντας το σφάλμα μέχρι να επιλεγεί το βέλτιστο υποσύνολο χαρακτηριστικών.

Ωστόσο, δεν είναι τόσο απλό και γρήγορο όσο η μέθοδος φιλτραρίσματος, καθώς απαιτεί μεγαλύτερη υπολογιστική πολυπλοκότητα και περισσότερο χρόνο. Η τρίτη κατηγορία είναι οι **υβριδικές** μέθοδοι. Οι υβριδικές μέθοδοι λειτουργούν παρόμοια με τους wrappers από την άποψη ότι εξαρτώνται από τον ταξινομητή. Ωστόσο, απαιτούν λιγότερο υπολογιστική πολυπλοκότητα. Οι υβριδικές μέθοδοι διαφέρουν από τους wrappers, καθώς η επιλογή των χαρακτηριστικών εξαρτάται από τον τύπο του ταξινομητή και ενδέχεται να μην λειτουργεί με άλλους ταξινομητές.

Προκειμένου να μειωθεί η διάσταση των χαρακτηριστικών έχουν προταθεί κάποιες βασικές μέθοδοι :

- Η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PC)
- Η Γραμμική Διακριτική Ανάλυση (LDA)
- Οι Μέθοδοι Αμοιβαίας Πληροφόρησης (MI)
- Μέθοδοι που βασίζονται σε Μπεϋζιανά μοντέλα
  - Η Μπεϋζιανή Γραμμική Διακριτική Ανάλυση (BLDA)
  - Η αραιή Μπεϋζιανή Μάθηση (SBL)

Σε μελέτη για την ανίχνευση άγχους σε οδηγούς με τη χρήση των βιοσημάτων GSR και PPG, η επιλογή των χαρακτηριστικών βασίστηκε στην μέθοδο φιλτραρίσματος και συγκεκριμένα έγινε χρήση του φίλτρου διακύμανσης (variance filter) και του φίλτρου εντροπίας (entropy filter). Παράλληλα έγινε και δοκιμή για την επιλογή των χαρακτηριστικών που βασίστηκε σε wrappers και συγκεκριμένα έγινε χρήση της μεθόδου Διαδοχική επιλογή προς τα εμπρός (SFS) και της μεθόδου Διαδοχική επιλογή προς τα πίσω (SBS)(Singh et al., 2013).

Σε μελέτη για την ανίχνευση άγχους σε οδηγούς με τη χρήση των βιοσημάτων EKG/ECG, RESP και GSR η μέθοδος PCA χρησιμοποιείται για τη μείωση της διάστασης των χαρακτηριστικών ή την αφαίρεση ανεπιθύμητων χαρακτηριστικών από το σύνολο των βασικών μέτρων. Το PCA έχει εφαρμοστεί για τη μείωση των χαρακτηριστικών στα σήματα EKG για τον προσδιορισμό του επιπέδου άγχους. Σε αυτήν την έρευνα, έχουν επιλεγεί πρώτα τα καλύτερα σύνολα χαρακτηριστικών με βάση το SBL και μετα επιτυγχάνεται

περαιτέρω μείωση της διάστασης των χαρακτηριστικών χρησιμοποιώντας PCA. Όταν ο αριθμός των επιλεγμένων χαρακτηριστικών ήταν μικρός, το SBL παρουσίασε μεγαλύτερη ακρίβεια από τη συνδυασμένη μέθοδο SBL\_PCA. Με την αύξηση των επιλεγμένων χαρακτηριστικών, το SBL\_PCA έδειξε καλύτερη απόδοση αναγνώρισης (Chen et al., 2017).

#### **2.4.3.3. Ταξινόμηση (Classification)**

Η ταξινόμηση/ομαδοποίηση αποτελεί το τελευταίο βήμα της μεθοδολογίας ανίχνευσης του άγχους που σκοπό έχει να εντάξει τα στοιχεία μιας συλλογής σε κατηγορίες ή κλάσεις-στόχους. Ο στόχος της ταξινόμησης είναι να προβλέψει με ακρίβεια την κατηγορία για κάθε περίπτωση στα δεδομένα. Στην περίπτωση των συστημάτων ανίχνευσης άγχους σκοπός είναι να προκύψουν οι κλάσεις που θα σηματοδοτούν τα επίπεδα του άγχους.

Οι βασικές μέθοδοι ταξινόμησης που χρησιμοποιούνται σε συστήματα ανίχνευσης άγχους είναι οι **μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (SVMs)**, τα **τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANNs)**, τα **μοντέλα που βασίζονται στην ασαφή λογική (FLI)**, τα **μπεϋζιανά δίκτυα (BNs)**, τα **δέντρα απόφασης (DT)**, οι **διακριτικοί αναλυτές (DA)** και η **extreme μηχανή μάθησης (ELM)**.

Σε μελέτη για την ανίχνευση άγχους σε οδηγούς με τη χρήση των βιοσημάτων GSR, PPG χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ταξινόμησης LRNN (Singh et al., 2013). Η LRNN ανήκει στις μεθόδους των τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Είναι παρόμοια με τα feed forward δίκτυα αλλά κάθε επίπεδο έχει μια επαναλαμβανόμενη σύνδεση. Μια τέτοια ανάδραση παρέχει ανάλυση κινούμενων παραθύρων (moving windows) και είναι χρήσιμη για τη σωστή αξιολόγηση της κατάστασης, επειδή η έξοδος τέτοιων δικτύων εξαρτάται όχι μόνο από την τρέχουσα είσοδο αλλά και από προηγούμενες καταστάσεις. Η επανάληψη που εμπλέκεται στη σχεδίαση ενός τέτοιου δικτύου θα επέτρεπε τον σχεδιασμό ενός δυναμικά σταθερού ταξινομητή(classifier). Τα στοιχεία καθυστέρησης μπορούν να εξηγήσουν την λανθάνουσα απόκριση που παρατηρείται, όταν ο οδηγός υποβάλλεται σε αγχωτικές καταστάσεις κατά την οδήγηση.

Σε άλλη μελέτη για την ανίχνευση άγχους με τη χρήση των βιοσημάτων EKG/ECG, RESP και GSR πραγματοποιείται σύγκριση δύο διαφορετικών μεθόδων ταξινόμησης, του SVM και του ELM (Chen et al., 2017). Σε αυτή την έρευνα χρησιμοποιούνται και συγκρίνονται SVM με τρία είδη συναρτήσεων πυρήνα (kernel functions), σιγμοειδές (sigmoid), γραμμική (linear) και ακτινική συνάρτηση βάσης (radial basis function). Ανάλογη σύγκριση με βάση τα παραπάνω τρία είδη συναρτήσεων πραγματοποιείται και στην μέθοδο ELM.

Σε άλλη μελέτη για την ανίχνευση άγχους με τη χρήση των βιοσημάτων SPR και ECG χρησιμοποιείται ο ταξινομητής SVM και ο ταξινομητής ANN (Zontone et al., 2019). Ο ταξινομητής SVM έχει σεταριστεί με τη Matlab και χρησιμοποιεί έναν πυρήνα RBF. Για τη διαδικασία της εκπαίδευσης /προπονησης (training) χρησιμοποιείται η βελτιστοποίηση Bayes. (Bayesian optimization). Το ANN αποτελείται από ένα μόνο στρώμα εισόδου, δύο κρυφά επίπεδα και ένα μόνο επίπεδο εξόδου. Ο αριθμός των κόμβων στο επίπεδο εισόδου είναι ίσος με τον αριθμό των επιλεγμένων χαρακτηριστικών. Η διαδικασία βελτιστοποίησης επιτρέπει την επιλογή του αριθμού των κόμβων και στα δύο κρυφά επίπεδα. Στο τέλος, υπάρχει μόνο ένας κόμβος στο επίπεδο εξόδου, του οποίου η τιμή είναι ίση με "1" για αναγνώριση του άγχους και "0" για την αναγνώριση όχι άγχους. Χρησιμοποιήθηκε η διαδικασία «leave-one-person-out». Έγινε η εκπαίδευση και για τους δύο ταξινομητές (SVM, ANN) με όλα τα δεδομένα, αφήνοντας ένα έξω, το οποίο θα είναι αυτό στο οποίο ο ταξινομητής θα δοκιμαστεί, δηλαδή θα είναι το test σύνολο δεδομένων. Αυτό επαναλαμβάνεται για κάθε ένα, και η τελική απόδοση υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων της δοκιμής που προέρχονται από όλους τους οδηγούς που συμμετείχαν στο πείραμα.

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους, κόπωσης και υπνηλίας για την ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Naïve Bayes (Subbiah, 2019).

Στο σύστημα ανίχνευσης άγχους που προτείνει ο Selvi (2020), η ομαδοποίηση και η ταξινόμηση γίνεται μέσω του R studio. Συγκεκριμένα για την ομαδοποίηση χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος k means ενώ για το στάδιο της ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος naïve bayes.

### **Κλάσεις / Επίπεδα άγχους**

Η ταξινόμηση στα συστήματα ανίχνευσης άγχους για οδήγηση έχει σκοπό την παραγωγή κλάσεων που θα σηματοδοτούν τα επίπεδα άγχους. Οι κλάσεις μπορεί να είναι δύο βασικές (Άγχος - Όχι Άγχος), αλλά υπάρχουν και συστήματα που καταλήγουν σε περισσότερα επίπεδα άγχους για παράδειγμα (**Χαμηλό άγχος**, **Μέτριο άγχος**, **Υψηλό άγχος**).

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους με χρήση των βιοσημάτων GSR και PPG, η ταξινόμηση οδήγησε σε τρεις κλάσεις (**Χαλαρός οδηγός - Μέτρια αγχωμένος οδηγός - Αγχωμένος οδηγός**) (Singh et al., 2013).

Παρόμοια με παραπάνω, σε άλλο σύστημα ανίχνευσης άγχους με χρήση του βιοσήματος ECG, η ταξινόμηση οδήγησε σε τρεις κλάσεις (**Class 0 - Χαμηλό άγχος - Class 1 - Μέτριο άγχος - Class 2 - Υψηλό άγχος**) (Keshan et al., 2015).

Σε τρεις επίσης κλάσεις ταξινόμησης (**Χαμηλό - Μέτριο - Υψηλό**) οδήγησε και το σύστημα ανίχνευσης άγχους που βασίστηκε σε υβριδικά δεδομένα, δεδομένα ματιών, δεδομένα οχηματος και δεδομένα περιβάλλοντος (Mou et al., 2021).

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους με χρήση του βιοσήματος HGSR, η ταξινόμηση οδήγησε σε δύο κλάσεις (**Χαμηλό άγχος - Υψηλό άγχος**). Το γεγονός ότι στην συγκεκριμένη έρευνα προέκυψαν δύο μόνο κλάσεις ταξινόμησης οφείλεται στα δεδομένα εκπαίδευσης. Επειδή τα δεδομένα εκπαίδευσης που παρέχονται στο PHYSIONET δεν έχουν την δυνατότητα ταξινόμησης σε πολλαπλά επίπεδα άγχους (π.χ. πολύ χαμηλό, χαμηλό ή ελαφρώς χαμηλό άγχος), το μοντέλο που αναπτύχθηκε μπορεί να ταξινομήσει μόνο δύο κατηγορίες (χαμηλό άγχος / υψηλό άγχος) (Kim et al., 2020).

Σε δύο επίσης κλάσεις ταξινόμησης (**Κατάσταση άγχους “1” - Κατάσταση όχι άγχους”0”**) οδήγησε και σύστημα ανίχνευσης άγχους με χρήση των βιοσημάτων SPR και ECG (Zontone et al., 2019).

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους, κόπωσης και υπνηλίας όπου γίνεται χρήση των αισθητήρων καρδιακού παλμού και βλεφαρίδων οι κλάσεις ταξινόμησης είναι δύο (**Ο οδηγός μπορεί να οδηγήσει - Ο οδηγός δεν μπορεί να οδηγήσει**) (Subbiah, 2019).

### **Αξιολόγηση του ταξινομητή και Επίδοση**

Για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός μοντέλου ανίχνευσης άγχους πραγματοποιείται η αξιολόγηση του ταξινομητή. Τα πιο γνωστά μέτρα που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση ενός ταξινομητή είναι η **ακρίβεια** (precision), η **ευαισθησία** (sensitivity) και η **ειδικότητα** (specificity). Η ακρίβεια είναι το μέτρο της ακρίβειας ή της πιστότητας. Η ευαισθησία είναι η ικανότητα ενός τέστ να εντοπίζει σωστά τα θετικά αποτελέσματα. Η ειδικότητα είναι η ικανότητα ενός τεστ να εντοπίζει σωστά τα αρνητικά αποτελέσματα. Για να εκτιμηθούν τα παραπάνω τρία μέτρα συνήθως απαιτείται αρχικά ο υπολογισμός των τεσσάρων παραμέτρων, αληθή θετικά ( $T_p$ ), αληθή αρνητικά ( $T_n$ ), ψευδή θετικά ( $F_p$ ) και ψευδή αρνητικά ( $F_n$ ).

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους με χρήση των βιοσημάτων GSR, PPG εκτός από τα παραπάνω τρία μέτρα για την αξιολογηση του ταξινομητή (ακρίβεια, ευαισθησία και ειδικότητα), χρησιμοποιήθηκαν και τα μετρα f-measure & g-mean. Το μέτρο F είναι το μέτρο της ακρίβειας μιας δοκιμής με τον υπολογισμό του σταθμισμένου μέσου όρου ακρίβειας και ευαισθησίας. Μια υψηλή τιμή F-measure υποδεικνύει μια σημαντικά υψηλή ακρίβεια και ευαισθησία. Ενώ η μέση τιμή G μετρά την ισορροπημένη απόδοση ενός ταξινομητή μεταξύ ευαισθησίας, ειδικότητας και ακρίβειας μεγιστοποιώντας την ακρίβεια απόδοσης ενός ταξινομητή (Singh et al., 2013).

Σε μελέτη όπου αναπτύχθηκε στατιστικό μοντέλο για την ταξινόμηση του άγχους στην οδήγηση χρειάστηκαν επιπρόσθετες μετρήσεις. Παραδοσιακά, η σχετική απόδοση των προγνωστικών μοντέλων μετρείται με το **ποσοστό ακρίβειας** (accuracy rate  $A_c$ ). Υπάρχει όμως ένα θέμα που σχετίζεται με την ανομοιομορφία του συνόλου δεδομένων. Τα σηματα που σχετίζονται με το υψηλό άγχος είναι πολύ περισσότερα από τα σήματα που σχετίζονται με το χαμηλό άγχος. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της ανομοιομορφίας του συνόλου δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν τρεις πρόσθετες μετρήσεις για σωστή αξιολόγηση: **ευαισθησία** ( $S_n$ ), **θετική προβλεψιμότητα** ( $P_p$ ) και **ειδικότητα** ( $S_p$ ). Για να υπολογιστούν οι μετρικές  $A_c$ ,  $S_n$ ,  $S_p$  και  $P_p$  χρησιμοποιήθηκαν οι 4 τιμές  $F_p$ ,  $F_n$ ,  $T_p$  και  $T_n$  (Kim et al., 2020).

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους με την χρήση των βιοσημάτων SPR και ECG επειδή τα δεδομένα των δοκιμών είναι προκατειλημμένα (περισσότερα διαστήματα χωρίς άγχος από ότι με άγχος), δύο επιπλέον παράμετροι είναι σημαντικές, η **ισορροπημένη Ακρίβεια** (balanced accuracy) και η **Γεωμετρική Μέση (GM)**. Η ακρίβεια και η ισορροπημένη ακρίβεια είναι παρόμοια στους 2 ταξινομητές SVM και ANN, με το ANN να είναι ελαφρώς καλύτερο και στις δύο παραμέτρους. Η ευαισθησία του SVM είναι μεγαλύτερη από αυτή του ANN, και η ειδικότητα στο SVM είναι χειρότερη από ό,τι στο ANN. Όσον αφορά τη παραμετρο GM οι τιμές είναι συγκρίσιμες τόσο στο SVM όσο και στο ANN. Για να αναγνωριστεί το άγχος πιο αξιόπιστα, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος εκ νέου επισήμανσης στους ταξινομητές (re-label method to classifiers). Η σύμβαση είναι ότι το άγχος θεωρείται υπαρκτό αν τουλάχιστον τέσσερα διαδοχικά επικαλυπτόμενα διαστήματα επισημαίνονται ως θετικά. Μετά τη διαδικασία επανασήμανσης(re-label) οι παράμετροι είναι ελαφρώς καλύτερες από πριν (Zontone et al., 2019).

#### **Υπολογιστική πλατφόρμα**

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους, υπνηλίας και κόπωσης τα δεδομένα που συγκεντρώνονται από τους αισθητήρες καρδιακού ρυθμού και βλεφαρίδων αποθηκεύονται σε δημόσιο χώρο αποθήκευσης cloud, το Cloud Me. Το Cloud Me περιλαμβάνει λύση αποθήκευσης και συγχρονισμού που επιτρέπει στους χρήστες να αποθηκεύουν, να έχουν πρόσβαση και να μοιράζονται το περιεχόμενό μεταξύ διαφόρων χρηστών εκτός της υπηρεσίας (Subbiah, 2019).

Στο σύστημα ανίχνευσης άγχους, τα δεδομένα συλλέγονται από τους αισθητήρες καρδιακού παλμού και βλεφαρίδων και περνάνε στον μικροελεγκτή. Τα δεδομένα αυτά μέσω της πόρτας επικοινωνίας (COM port) αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων SQL. Έπειτα τα δεδομένα αυτά μέσω το R studio προωθούνται για ανάλυση δεδομένων. Τα τελικά στοιχεία του οδηγού συλλέγονται και αποθηκεύονται σε ιδιωτικό cloud για εύκολη πρόσβαση (Selvi, 2020).

Στο σύστημα ανίχνευσης άγχους σε οδηγούς λεωφορείων, που προτείνουν οι Rodrigues et al. (2015), η επεξεργασία δεδομένων γίνεται σε έναν διακομιστή cloud για να επιτευχθεί μεγαλύτερη ταχύτητα επεξεργασίας.

Στην πλατφόρμα AffectiveROAD (Haouij et al., 2018) τα δεδομένα που συγκεντρώνονται από το Empratica E4 μεταφορτώνονται στην cloud πλατφόρμα της Empratica. Επομένως οι χρήστες μπορούν εύκολα να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα αυτά.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται συγκεντρωμένα οι μέθοδοι ταξινόμησης, οι κλάσεις και η απόδοση για τα συστήματα ανίχνευσης άγχους.

Συγγραφείς	Expert System	Ταξινόμηση / Κλάσεις	Μετρικές απόδοσης	Υπολογιστική πλατφόρμα
Rodrigues et al.		Καθόλου αγχωτικό Εξαιρετικά αγχωτικό		cloud
Singh et al.	LRNN	Relaxed Moderate Stressed	Ακρίβεια Ευσαιθησία Ειδικότητα	
Keshan and Parimi	Μέθοδοι Μηχανικής Μάθησης <sup>1</sup>	Κλάση 0 - Χαμηλό άγχος Κλάση 1 - Μέτριο άγχος Κλάση 2 - Υψηλό άγχος	Ακρίβεια	

<sup>1</sup> Έγινε χρήση του λογισμικού Weka το οποίο είναι μια συλλογή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης για εργασίες εξόρυξης δεδομένων. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν ως ταξινομητές είναι οι εξής : Naïve Bayes, Regression, Multilayer Perceptron, SMO, IB1, (1-nearest neighbor), IBK (K-nearestneighbors), ZeroR, J48 (decision tree), RandomForest και RandomTree



Chen et al.	SVM ELM	Χαμηλό άγχος Μέτριο άγχος Υψηλό άγχος	Ακρίβεια	
Kim et al.	Binary Logistic Regression Analysis MINITAB®	Χαμηλό άγχος Υψηλό άγχος	Ακρίβεια	cloud
Zantone et al.	SVM (10fold cross validation) ANN (batch size) leave-one- person-out	Κατάσταση άγχους (1) Κατάσταση όχι άγχους (0)	Ισορροπημένη Ακρίβεια	
Rastgoo et. al	Deep learning (CNN-LSTM) network	Χαμηλό άγχος Μέτριο άγχος Υψηλό άγχος	Accuracy Sensitivity Specificity Precision	
Mou et al.	CNN-LSTM network	Χαμηλό άγχος Μέτριο άγχος Υψηλό άγχος	Ακρίβεια	

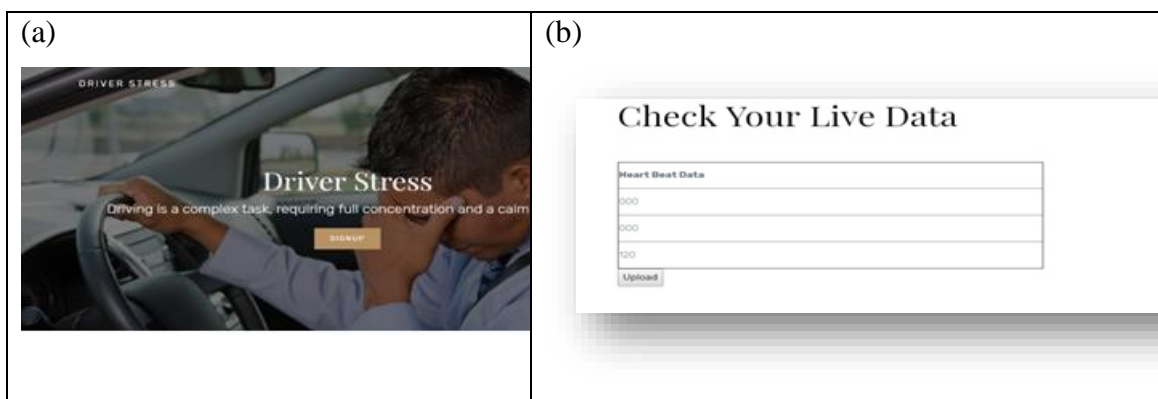
Πίνακας 2 Στοιχεία ταξινόμησης και αξιολόγησης ανά σύστημα

#### 2.4.4. Επίπεδο εφαρμογής

Το επίπεδο της εφαρμογής είναι αυτό που χρησιμοποιεί τα επεξεργασμένα δεδομένα που προέρχονται από το επίπεδο του δικτύου. Αποτελεί το επίπεδο που είναι πιο κοντά στον τελικό χρήστη και μέσω αυτού ουσιαστικά γίνεται αντιληπτό στον άνθρωπο η χρησιμότητα και οι δυνατότητες του Internet of Things (Καρύκας, 2020).

#### 2.4.4.1. Διεπαφές χρηστών

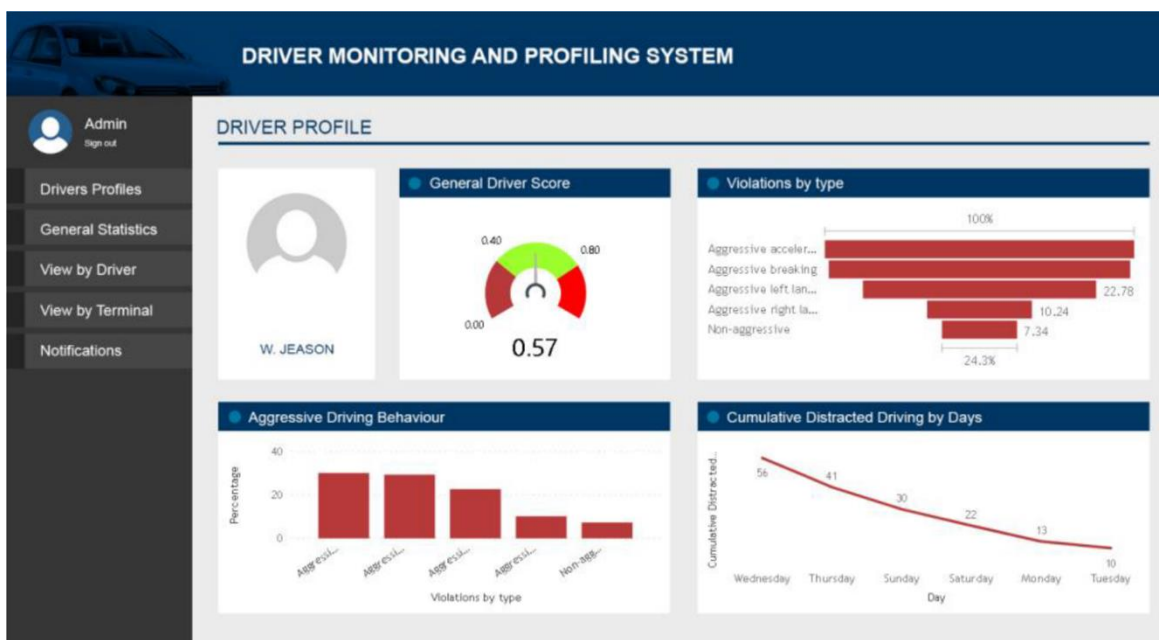
Στο σύστημα ανίχνευσης άγχους που προτείνει ο Selvi (2020) έχει δημιουργηθεί μια web εφαρμογή. Στην αρχική σελίδα της εφαρμογής υπάρχουν δύο επιλογές. Ο χρήστης μπορεί είτε να συνδεθεί με τους κωδικούς του, αν είναι εγγεγραμμένος χρήστης είτε να κάνει εγγραφή συμπληρώνοντας μια φόρμα με τα πεδία όνομα, κωδικός, τηλέφωνο και ηλεκτρονική διεύθυνση. Αφού ο χρήστης συνδεθεί μπορεί να δει τα δεδομένα του καρδιακού παλμού σε πραγματικό χρόνο. Αυτός ο ιστότοπος δίνει μια σαφή εικόνα των οδηγικών επιδόσεων των οδηγών, των δεξιοτήτων τους και επίσης ο πελάτης θα μπορούσε δει τα σχόλια που δόθηκαν από τις προηγούμενες διαδρομές που ο οδηγός έχει πραγματοποιήσει. Στην Εικόνα 7 φαίνονται κάποιες οθόνες από την web εφαρμογή.



Εικόνα 7 (α) Αρχική σελίδα της εφαρμογής (β) Απεικόνιση καρδιακών παλμών σε πραγματικό χρόνο

Ο Al-Rakhami et al. (2021) προτείνουν ένα framework που βασίζεται σε υπολογιστικό περιβάλλον edge-fog-cloud για την παρακολούθηση της οδηγικής συμπεριφοράς. Ο διαχειριστής της εφαρμογής μπορεί να περιηγηθεί στο προφίλ του οδηγού. Ο οδηγός μπορεί επίσης να έχει πρόσβαση σε αρμόμια εφαρμογή μέσω του κινητού του τηλεφώνου. Η διεπαφή παρουσιάζει πληροφορίες για το προφίλ του οδηγού, τη γενική βαθμολογία του (score), παραβάσεις ανά κατηγορία, οδηγική συμπεριφορά και συνολικά τους περισπασμούς κατά τη διάρκεια της εβδομάδας.

Στην Εικόνα 8 παρουσιάζεται η διεπαφή χρήστη που προτείνεται στο σύστημα των Al-Rakhami et al.

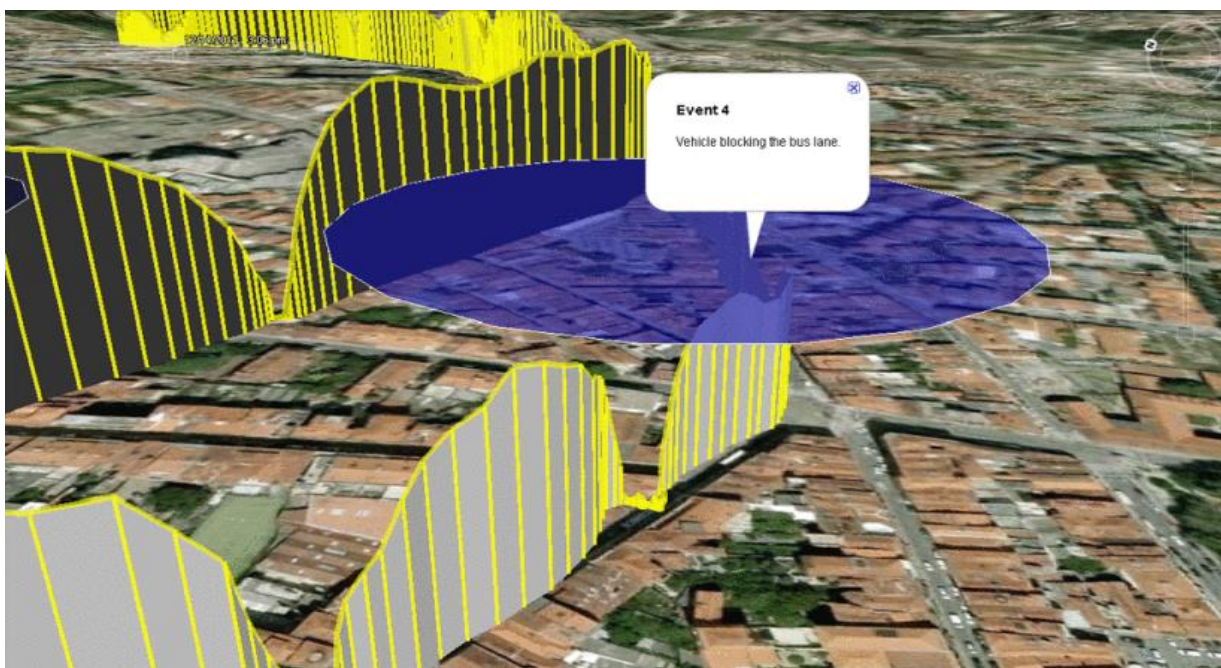


Εικόνα 8 Διεπαφή του διαχειριστή για την παρακολούθηση του προφίλ του οδηγού.

Στο σύστημα ανίχνευσης άγχους σε οδηγούς λεωφορείων, που προτείνουν οι Rodrigues et al. (2015), τα δεδομένα που συλλέγονται από το ECG σήμα μαζί με τα δεδομένα από το GPS χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθεί ένας χάρτης άγχους (stress map). Ο χάρτης οπτικοποιήθηκε χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα Google Earth. Πάνω στον χάρτη αναπαρίσταται η ταχύτητα ως ύψος γραμμικών τμημάτων. Η εμφάνιση της ταχύτητας για κάθε δευτερόλεπτο, βοηθάει ώστε ο οδηγός και ο ερευνητής του πειράματος να αναγνωρίσουν εύκολα τις στάσεις λεωφορείων και πληροφορίες για συμβάντα οδήγησης, όπως επιθετικό φρενάρισμα, επιταχύνσεις και άλλα, βοηθώντας τους να ανακαλούν και να χαρακτηρίζουν τα γεγονότα. Στον χάρτη, τα αγχωτικά γεγονότα που εντοπίστηκαν, αναπαριστώνται ως ελλείψεις που εκτείνονται πάνω από την περιοχή που διανύθηκε κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Οι περιοχές με λίγο σκούρο χρώμα αντιπροσωπεύουν λιγότερο άγχος και οι πιο σκοτεινές περιοχές αντιπροσωπεύουν μέρη με πολύ άγχος. Επίσης, πιο σκούρα σύμβολα δηλώνουν τα αγχωτικά γεγονότα, ενώ λιγότερο σκούρα δηλώνουν

γεγονότα που ανακλήθηκαν στο τέλος της ημέρας. Οι αριθμοί αντιστοιχούν στη κατηγορία του στρεσογόνου παράγοντα<sup>2</sup>.

Στην Εικόνα 9 φαίνεται η οπτικοποίηση ενός γεγονότος που θεωρείται στρεσογόνο καθώς πρόκειται για ένα όχημα που έχει μπλοκάρει την λωρίδα που κινείται το λεωφορείο.



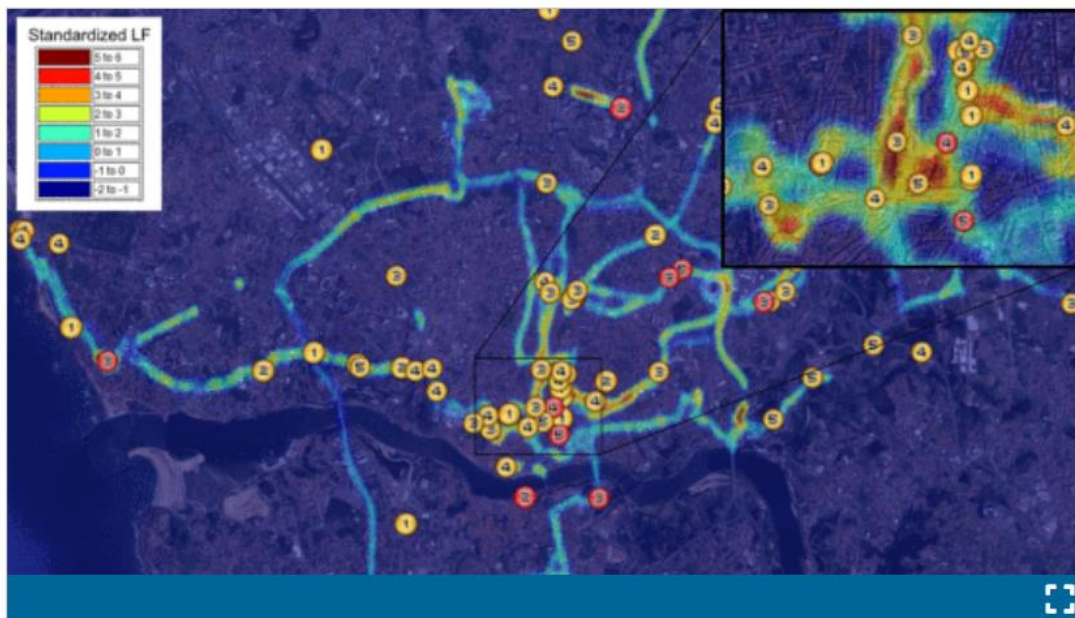
**Εικόνα 9** Με την έλλειψη απεικονίζεται το γεγονός “Ένα αυτοκίνητο μπλοκάρει την λωρίδα του λεωφορείου”. Το ύψος των γραμμών αναπαριστά την ταχύτητα του λεωφορείου

Στην Εικόνα 10 φαίνεται ο χάρτης άγχους όπως προκύπτει ύστερα από την ολοκλήρωση του πειράματος.

---

<sup>2</sup> **Κατηγορία 1** - Κοινωνικές αλληλεπιδράσεις, **Κατηγορία 2** - Απροσδόκητες καταστάσεις, **Κατηγορία 3** - Συμπεριφορές άλλων οδηγών ή πεζών, **Κατηγορία 4** - Συμβάντα που επηρεάζουν το χρονοδιάγραμμα, **Κατηγορία 5** - Δύσκολη οδήγηση λόγω πολεοδομικού σχεδιασμού

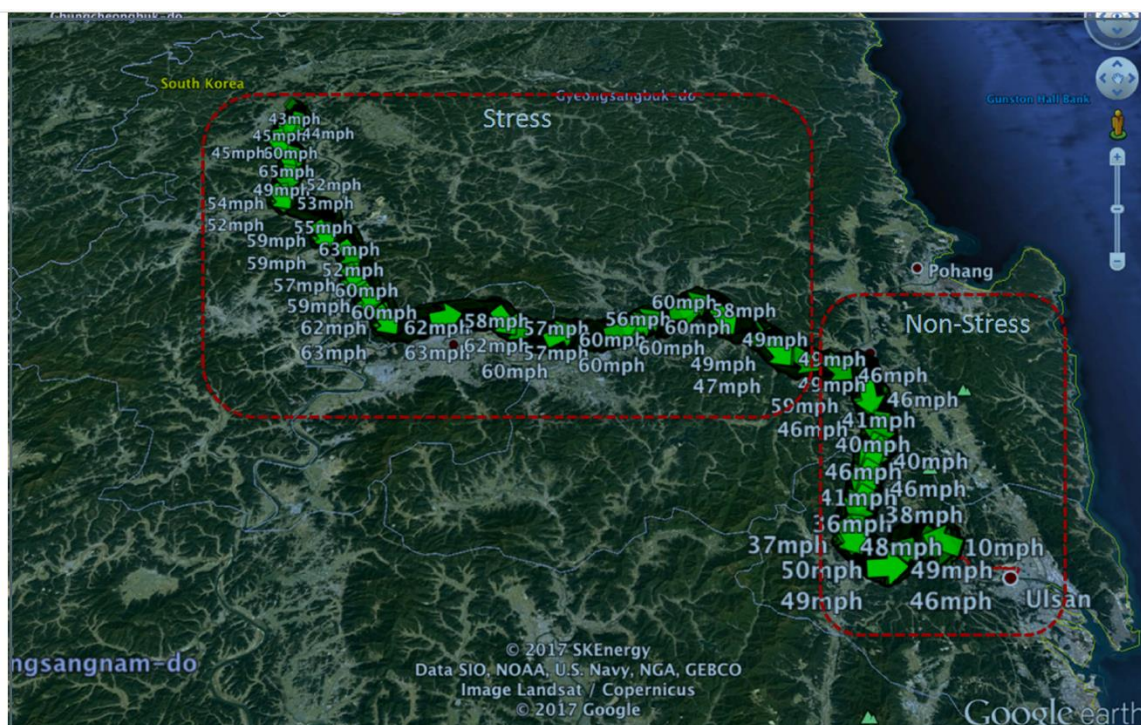
Μαρία Μπαρμποπούλου, Επισκόπηση συστημάτων κινητού και διάχυτου υπολογισμού για την παρακολούθηση του άγχους και την ανίχνευση της κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή μεθοδολογίας αντίστοιχων πειραματικών μελετών



Εικόνα 10 Χάρτης άγχους

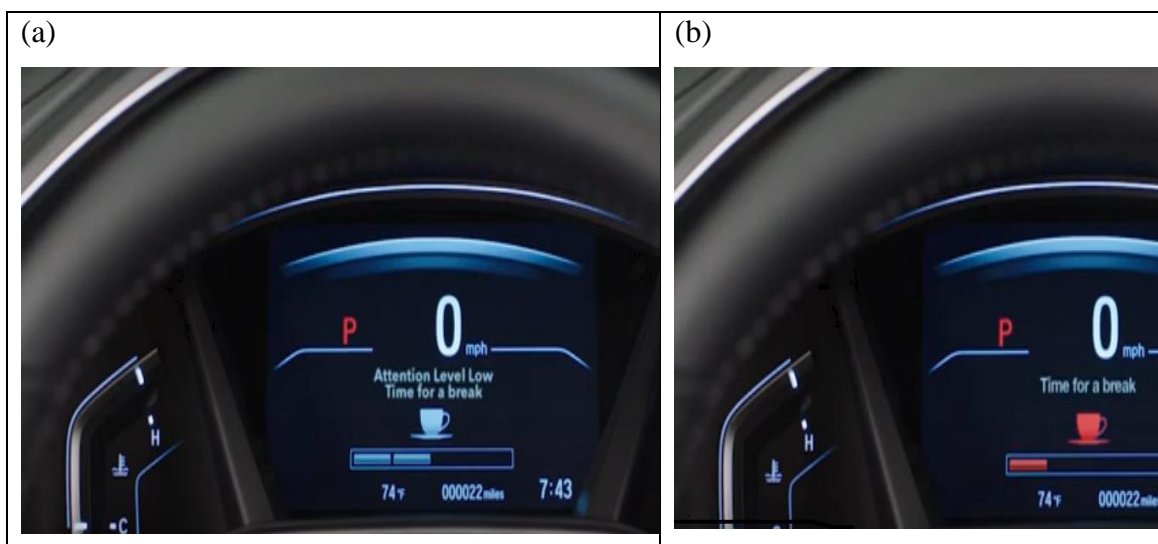
Σε σύστημα ανάπτυξης στατιστικού μοντέλου για την ανίχνευση άγχους σε οδηγούς με βάση το σήμα HGSR που προτείνουν οι Kim et al. (2020), παράγεται χάρτης μέσω Google Earth με τις πραγματικές διαδρομές οδήγησης, συμπεριλαμβανομένης της ταχύτητας οδήγησης και της κατεύθυνσης. Στην Εικόνα 11 φαίνεται αυτός ο χάρτης

Μαρία Μπαρμποπούλου, Επισκόπηση συστημάτων κινητού και διάχυτου υπολογισμού για την παρακολούθηση του άγχους και την ανίχνευση της κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή μεθοδολογίας αντίστοιχων πειραματικών μελετών



Εικόνα 11 Οπτικοποίηση των ταχυτήτων και των οδηγών οδήγησης χρησιμοποιώντας το Google Earth για τη μονάδα επικύρωσης

Τα περισσότερα νέα οχήματα είναι εξοπλισμένα με συστήματα προειδοποίησης για την προσοχή του οδηγού. Το σύστημα παρακολούθησης Honda Driver Attention Monitor εάν διαπιστώσει ότι ο οδηγός δεν προσέχει, θα μεταβεί αυτόματα σε μια εναλλακτική οθόνη. Το σύστημα βασίζεται σε αισθητήρα γωνίας, ο οποίος παρακολουθεί τον βαθμό των διορθώσεων του τιμονιού του οδηγού για να διατηρεί σταθερή τη θέση της λωρίδας. Θα εμφανίσει μία ή δύο γραμμές και ένα μήνυμα που τον ενημερώνει να κάνει ένα διάλειμμα. Εάν το επίπεδο προσοχής που ανιχνεύεται χειροτερεύει, το σύστημα θα παράγει μια πιο αισθητή οπτική προειδοποίηση. Επιπλέον, θα δώσει ηχητική ειδοποίηση και θα δονήσει το τιμόνι για να ενθαρρύνει την προσοχή του οδηγού. Στην Εικόνα 12 φαίνονται οι περιπτώσεις όπου το σύστημα έχει ανιχνεύσει υψηλά επίπεδα άγχους.



Εικόνα 12 Honda Driver Attention Monitor (a) Μήνυμα ότι ο οδηγός χρειάζεται αμέσως διάλειμμα καθώς το επίπεδο άγχους είναι υψηλό (b) Μήνυμα ότι το επίπεδο προσοχής του οδηγού αρχίζει να μειώνεται.

#### 2.4.4.2. Υπηρεσίες

Οι υπηρεσίες παρέχονται από τα συστήματα ανίχνευσης άγχους στους τελικούς χρήστες σαν επιπλέον ενέργειες ώστε ο τελικός χρήστης να ενημερωθεί για το αυξημένο επίπεδο άγχους.

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους με χρήση φορητής συσκευής, αν το σύστημα εντοπίσει οποιαδήποτε μη φυσιολογική κατάσταση στον καρδιακό παλμό, ο κινητήρας θα σβήσει αυτόματα. Στη συνέχεια, η τρέχουσα κατάσταση του ατόμου θα σταλεί στο νοσοκομείο μέσω μηνύματος χρησιμοποιώντας GSM. Η υπηρεσία του αυτόματος σβησίματος κινητήρα αποτρέπει τις οδικές τραγωδίες (Rathan, n.d.).

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους, κόπωσης και υπνηλίας όταν εντοπιστούν μη φυσιολογικά επίπεδα άγχους, υπνηλίας και κόπωσης, το σύστημα αναπαραγωγής του οχήματος παίζει μουσική. Ο οδηγός ειδοποιείται μέσω μουσικής και όχι μέσω κάποιου άλλου συναγερμού ώστε να μην πανικοβληθεί ο οδηγός. (Subbiah, 2019)

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους, ο καρδιακός παλμός καταγράφεται μέσω ενός κλιπ που φοράει ο οδηγός στον αντίχειρα του. Ο οδηγός επιπλέον φοράει γυαλιά οπου ο αισθητήρας

βλεφάρων καταγράφει την κίνηση των ματιών. Εάν ο καρδιακός παλμός του οδηγού είναι μη φυσιολογικός, αυτόματα ο κινητήρας του αυτοκινήτου επιβραδύνεται. Αν τα μάτια του οδηγού είναι κλειστά, ξεκινάει να χτυπάει ο συναγερμός. Ο συναγερμός συνεχίζει να χτυπά μέχρι ο οδηγός να μπορέσει να πάρει να αναλάβει τον έλεγχο του αυτοκινήτου. Αν ο οδηγός αδυνατεί να αναλάβει τον έλεγχο του οχήματος, τότε ο μικροελεγκτής που συνδέεται με το σύστημα του φρεναρίσματος επιβραδύνει το όχημα (Selvi, 2020).

Σε σύστημα ανίχνευσης άγχους οδηγών λεωφορείου παρέχεται ως υπηρεσία η δημιουργία οπτικοποιημένου χάρτη άγχους. Στον χάρτη φαίνονται λεπτομερείς πληροφορίες διαφόρων στρεσογόνων παραγόντων που βιώνουν οι οδηγοί λεωφορείων και παρέχεται και η συγκεκριμένη θέση τους μέσα στην πόλη. Επιπλέον, οι σημάνσεις μπορούν να κλικαριστούν στο Google Earth, επιτρέποντας στους αρμόδιους να δουν λεπτομερείς πληροφορίες για κάθε στρεσογόνο γεγονός (ένταση και περιγραφή) και ενδεχομένως να προβούν σε βελτιστοποιήσεις αν πρόκειται για στρεσογόνα γεγονότα που οφείλονται σε πολεοδομικό σχεδιασμό (π.χ. στενοί δρόμοι και στενές γωνίες) (Rodrigues et al., 2015).

Το έξυπνο κάθισμα αυτοκινήτου (intelligent car seat) έχει προταθεί ως λύση για τον εντοπισμό άγχους του οδηγού από την Innovation Europe, Faurecia Automobile Seating. Το έξυπνο κάθισμα είναι ενσωματωμένο στο αυτοκίνητο χωρίς να προκαλεί καμία ενόχληση στον οδηγό. Το κάθισμα μετρά ενεργά και παρακολουθεί τη φυσιολογική κατάσταση του οδηγού. Η αναπνοή και οι καρδιακοί παλμοί αναλύονται από έναν σχεδιασμένο αλγόριθμο για την ανίχνευση του άγχους του οδηγού και του επιπέδου ενέργειας. Μόλις το σύστημα εντοπίσει ότι ο οδηγός βρίσκεται σε κατάσταση υψηλού άγχους, ενεργοποιείται ένα χαλαρωτικό μασάζ και ένας θερμός αερισμός που είναι ενσωματωμένοι στο κάθισμα του οδηγού για να ηρεμήσει τον οδηγό (Chung et al., 2019).

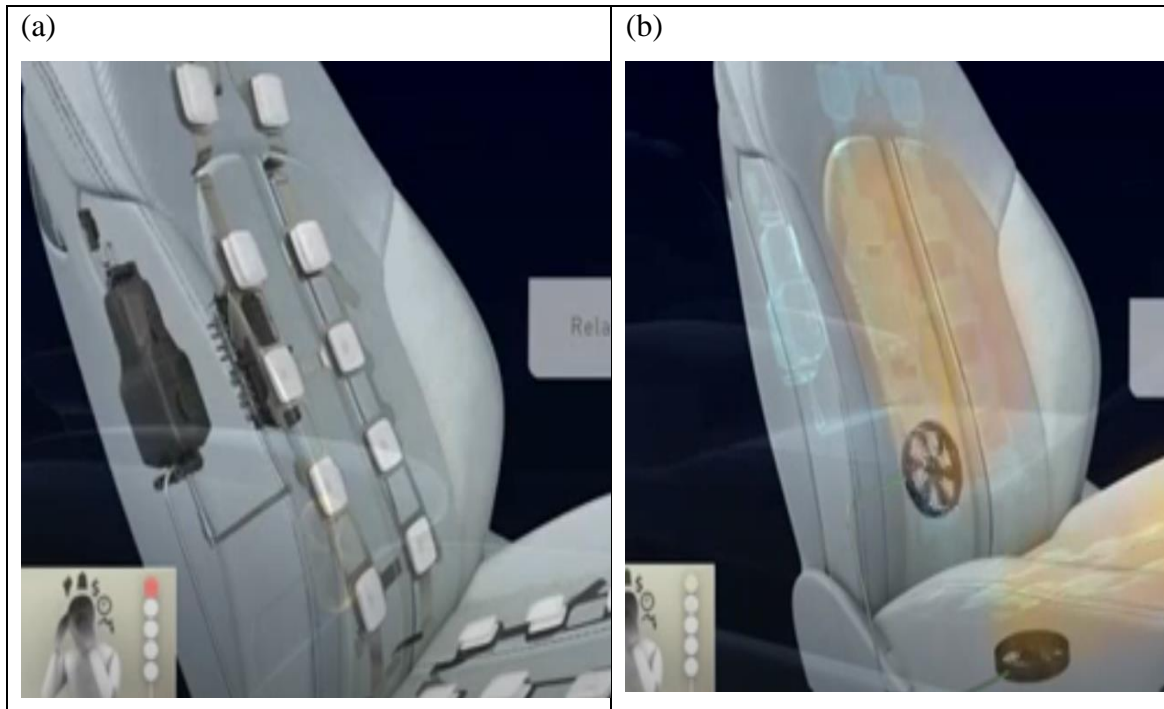
Στην Εικόνα 13 φαίνεται η οθόνη που εμφανίζεται στο χρήστη όταν έχουν εντοπιστεί υψηλά επίπεδα άγχους. Στην Εικόνα 14 (a) και (b) φαίνονται οι ενέργειες που εκτελούνται όταν εντοπιστούν τα υψηλά επίπεδα άγχους (χαλαρωτικό μασάζ και θερμός αερισμός).



Μαρία Μπαρμποπούλου, Επισκόπηση συστημάτων κινητού και διάχυτου υπολογισμού για την παρακολούθηση του άγχους και την ανίχνευση της κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή μεθοδολογίας αντίστοιχων πειραματικών μελετών



Εικόνα 13 Μήνυμα εντοπισμού άγχους και έναρξη της δράσης του έξυπνου καθίσματος



Εικόνα 14 Έξυπνο κάθισμα αυτοκινήτου (a) Χαλαρωτικό μασάζ για να ηρεμήσει τον οδηγό (b)

Θερμός αερισμός για να ηρεμήσει τον οδηγό

Η μουσικοθεραπεία είναι γνωστή ως μία από τις πιθανές μεθόδους για τη μείωση του άγχους του οδηγού. Παρατηρήθηκε ότι η ακρόαση της προτιμώμενης μουσικής μειώνει τον καρδιακό ρυθμό και μειώνει το άγχος κατά την οδήγηση. Ένα έξυπνο πρόγραμμα αναπαραγωγής μουσικής που είναι σε θέση να αναγνωρίζει την ταυτότητα του οδηγού και να επιλέγει εξατομικευμένη μουσική που προτιμά ο οδηγός θα μπορούσε να βοηθήσει στη μείωση του άγχους του οδηγού (Chung et al., 2019).

## **2.5. Προκλήσεις για τον εντοπισμό του άγχους σε συστήματα πραγματικού χρόνου**

Η σημαντικότερη πρόκληση σε συστήματα ανίχνευσης άγχους είναι η έγκαιρη ανίχνευση του άγχους ώστε να μπορέσει να αποφευχθεί κάποιο ατύχημα στον οδηγό.

Μια άλλη πολύ σημαντική πρόκληση είναι η επεμβατικότητα του εξοπλισμού. Ο οδηγός κατά την οδήγηση σε πραγματικές συνθήκες θα πρέπει να είναι άνετος και να μην νιώθει ότι υπάρχει κάτι που τον ενοχλεί και τον παρεμποδίζει στην οδήγηση. Σε περίπτωση που ο εξοπλισμός είναι παρεμβατικός μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την ασφάλεια των οδηγών.

Άλλη μία πρόκληση είναι οι αισθητήρες. Τα ιδανικά συστήματα αισθητήρων θα πρέπει να είναι ελαφριά και μικροσκοπικά σε μέγεθος για μείωση της παρεμβατικότητας, αλλά ταυτόχρονα να παρέχουν αξιοπιστία και να έχουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Επιπρόσθετα, η ακρίβεια και η κατανάλωση ενέργειας είναι άμεσα συνδεδεμένα, δηλαδή, το σύστημα αισθητήρων υψηλής απόδοσης συχνά απαιτεί μια σημαντική ποσότητα ενέργειας για επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων.

Τα περισσότερα συστήματα ανίχνευσης άγχους βασίζονται στα φυσιολογικά σήματα. Ωστόσο πολλοί παράγοντες μπορεί να επηρεάσουν τα φυσιολογικά σήματα, όπως δημογραφικοί παράγοντες (ηλικία, φύλο), εργασιακή εμπειρία (επαγγελματίας, έμπειρος, άπειρος), άγχος, ορισμένες καταστάσεις υγείας και φάρμακα (π.χ. καρδιαγγειακή υγεία). Για αυτό είναι πολλοί σημαντικό στις μελέτες να λαμβάνονται υπόψιν πολλές παράμετροι που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του ατόμου.

Εξίσου σημαντική πρόκληση είναι η ασφάλεια. Οι αισθητήρες και οι συσκευές IoT μπορούν να λαμβάνουν δεδομένα και πληροφορίες, τα οποία για κάποιους χρήστες ίσως είναι

προσωπικά και δεν επιθυμούν να τα μοιραστούν. Μία συνεχόμενη καταγραφή μπορεί να αποτρέψει κάποιους χρήστες από το να εμπιστευτούν τα συστήματα, εκτός εάν υπάρχει πλήρη διασφάλιση και προστασία υπέρ τους. Επομένως είναι αναγκαία η χρήση πρωτοκόλλων ασφάλειας και απορρήτου στις συσκευές επικοινωνίας που υποστηρίζονται από τα δίκτυα επικοινωνίας για την προστασία του απορρήτου των οδηγών ή των επιβατών. Η ανάπτυξη αποτελεσματικότερων και βελτιστοποιημένων αλγορίθμων μάθησης που ανιχνεύουν και προβλέπουν το άγχους αποτελεί επιπλέον μια πρόκληση. Όταν συλλέγονται δείγματα δεδομένων από διαφορετικές πηγές (όπως κάμερα και αισθητήρες) και μεταδίδονται από διαφορετικά μέσα (μέσω ενσύρματες/ασύρματες συνδέσεις), η πρόκληση είναι ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη αλγορίθμων που αναλύουν τα δεδομένα προκειμένου: (i) να εκτελεστεί καθαρισμός δεδομένων για την αφαίρεση μη φυσιολογικών δεδομένων (ii) να αφαιρεθούν ορισμένα περιττά χαρακτηριστικά αλλά ταυτόχρονα να διατηρηθεί η ερμηνευσιμότητα του και (iii) να γίνει σύγκριση και σύντηξη των δεδομένων από διαφορετικές πηγές.

Είναι επίσης σημαντικό η βέλτιστη διεπαφή για την ειδοποίηση του οδηγού σε περίπτωση ανίχνευσης άγχους. Αποτελεί πρόκληση η δημιουργία μηχανισμών για τη βελτίωση της εστίασης των οδηγών στην οδήγηση και της ελαχιστοποίησης της απόσπασης προσοχής.

Μία επιπλέον πρόκληση σε συστήματα ανίχνευσης άγχους είναι η δυνατότητα ταξινόμησης σε πολλαπλά επίπεδα άγχους (π.χ. πολύ χαμηλό, χαμηλό ή ελαφρώς χαμηλό στρες) και όχι μόνο σε δύο κατηγορίες (χαμηλο άγχος/υψηλό άγχος).

### **3. Επισκόπηση Συστημάτων για ανίχνευση κόπωσης στην οδήγηση**

Παρακάτω ακολουθεί μια επισκόπηση των συστημάτων που ανιχνεύουν την κόπωση κατά την οδήγηση. Αρχικά γίνεται μια αναφορά στον ορισμό της κόπωσης και της κόπωσης κατά την οδήγηση και εξηγείται η αναγκαιότητα εντοπισμού της κόπωσης στην οδήγηση. Περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθείται στην ανάπτυξη των συστημάτων αυτών καθώς επίσης και η πειραματική διαδικασία που ακολουθείται. Στο τέλος γίνεται συγκριτική των συστημάτων ανίχνευσης κόπωσης καθώς και των μεθοδολογιών πειραματικής μελέτης.

#### **3.1. Ορισμός της κόπωσης**

Η κόπωση ορίζεται ως ψυχική ή σωματική εξάντληση λόγω της οποίας είτε νιώθει υπνηλία είτε δεν μπορεί να ανταποκριθεί σε μια κατάσταση. Η κόπωση μπορεί να ταξινομηθεί σε **ενεργή, παθητική, και κόπωση που σχετίζεται με τον υπνηλία**. Η ενεργή κόπωση προκαλείται από ενασχόληση με μονότονη δραστηριότητα. Η παθητική κόπωση προκαλείται από την ενασχόληση με μία μονότονη δραστηριότητα ή από απροσεξία. (Sikander and Anwar, 2019).

Η κόπωση σαν γενικός όρος περιλαμβάνει την έλλειψη ύπνου (Nemcova et al., 2021).

Με τον όρο κόπωση περιγράφεται η κατάσταση κατά την οποία το άτομο νιώθει εξάντληση και δεν έχει ενέργεια να πραγματοποιήσει κάποιες δραστηριότητες της καθημερινότητας.

Οι παράγοντες που προκαλούν την κόπωση μπορεί να είναι πολλοί. Κάποιοι από αυτούς είναι η έλλειψη ύπνου, η οδήγηση πολλές ώρες, η οδήγηση κατά τη διάρκεια της νύχτας, η οδήγηση σε μονότονα περιβάλλοντα, η λήψη ναρκωτικών ουσιών, τα προβλήματα υγείας, η οδήγηση σε άγνωστο περιβάλλον, η οδήγηση υπό πίεση, το οδικό δίκτυο, η συμπεριφορά των υπολοίπων οδηγών ή των πεζών (Nemcova et al., 2021).

### **3.2. Κόπωση στην οδήγηση**

Οι επαγγελματίες οδηγοί που δουλεύουν πολλές ώρες βιώνουν την ενεργή κόπωση κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Έρευνες έχουν δείξει ότι η οδήγηση σε αυτοκινητόδρομους είναι πιο πιθανό να προκαλέσει κόπωση στους οδηγούς σε σχέση με την οδήγηση σε στροφές, καθώς η οδήγηση σε αυτοκινητόδρομους είναι μονότονη και προκαλεί παθητική κόπωση στους οδηγούς. Ο κερκάρδιος ρυθμός, στον ανθρώπινο οργανισμό, ορίζεται ως ο ημερήσιος κύκλος που επηρεάζεται από διάφορους βιοχημικούς δείκτες. Ο άνθρωπος συνήθως νιώθει υπνηλία την ίδια περίοδο μέσα στον κερκάρδιο ρυθμό. Επομένως αν η οδήγηση πραγματοποιείται, σε εκείνη την περίοδο, είναι πολύ πιθανό ο οδηγός να αντιμετωπίσει την κόπωση που σχετίζεται με την υπνηλία (Sikander and Anwar, 2019).

Κάποια από τα συμπτώματα της κόπωσης είναι το χασμουρητό, η αργή αντίδραση σε ερεθίσματα, το κλείσιμο των ματιών, η χαλαρή λαβή στο τιμόνι κτλ (Sikander and Anwar, 2019).

Η κόπωση στην οδήγηση συνδέεται άμεσα με την μείωση της έλλειψης του ελέγχου, την αύξηση της ανησυχίας και της επιθετικότητας (Nemcova et al., 2021).

### **3.3. Ανάγκη για ανίχνευση κόπωσης**

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ), εκατομμύρια ανθρώπους χάνουν τη ζωή τους σε τροχαία ατυχήματα κάθε χρόνο. Οι στατιστικές υποστηρίζουν ότι τα περισσότερα από τα θανατηφόρα ατυχήματα οφείλονται σε κούραση και απροσεξία του οδηγού (Savas and Becerikli, 2020).

Η Automobile Association αναφέρει ότι το 7% όλων των ατυχημάτων και το 21% των θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων προκαλούνται από κουρασμένους οδηγούς (Savas and Becerikli, 2020).

Το ποσοστό των θανατηφόρων ατυχημάτων που προκαλούνται από την κόπωση ανέρχεται στο 30%. (Nemcova et al., 2021)

Ο αυξανόμενος αριθμός τροχαίων ατυχημάτων λόγω κόπωσης ή χαμηλού επιπέδου επαγρύπνησης αποτελεί σοβαρό πρόβλημα για την κοινωνία. Οι στατιστικές αποκαλύπτουν

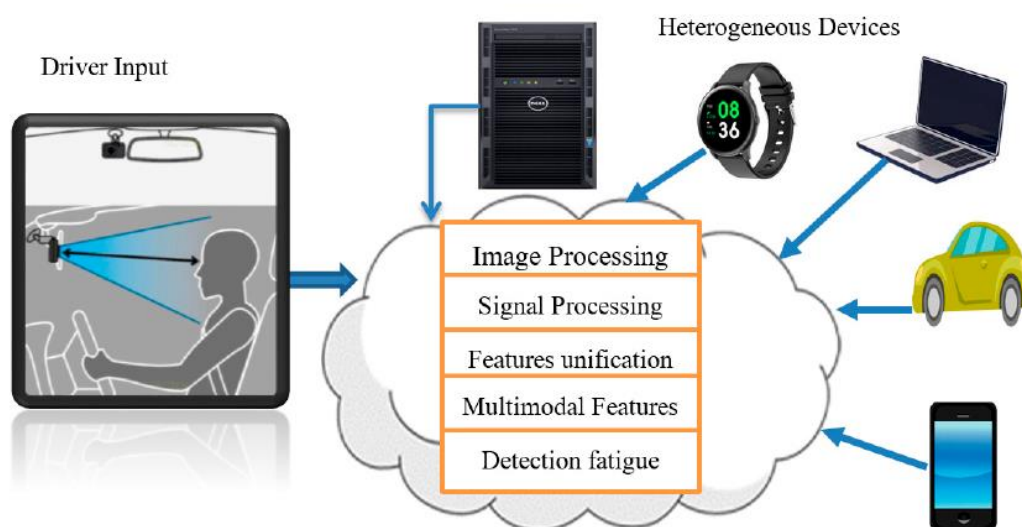
ότι το 10% έως 20% των τροχαίων ατυχημάτων οφείλονται σε οδηγούς με μειωμένο επίπεδο επαγρύπνησης. Έρευνες στο Πακιστάν απέδειξαν ότι το 34% των τροχαίων ατυχημάτων σχετίζονται με την κόπωση. Σύμφωνα με έρευνες στις Ηνωμένες Πολιτείες, το 20% των θανατηφόρων ατυχημάτων οφείλονται στην κούραση των οδηγών. Στην Ευρώπη, το 20% των ατυχημάτων που σχετίζονται με εμπορικές μεταφορές, οφείλονται σε υψηλά επίπεδα κόπωσης (Sikander and Anwar, 2019).

Τα παραπάνω νούμερα και στατιστικά είναι ανησυχητικά και χρήζουν την προσοχή και την περαιτέρω διερεύνηση της ερευνητικής κοινότητας για την έγκαιρη και ακριβή ανίχνευση της κόπωσης κατά την οδήγηση.

### 3.4. Αρχιτεκτονική

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής για την ανάπτυξη συστημάτων ανίχνευσης κόπωσης κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Συγκεκριμένα αναλύονται τα επίπεδα αντίληψης, δικτύου, διαχείρισης και εφαρμογής.

Η αρχιτεκτονική περιγράφεται από την Εικόνα 15



Εικόνα 15 Αρχιτεκτονική για συστήματα ανίχνευσης κόπωσης

### **3.4.1. Επίπεδο αίσθησης/αντίληψης**

Το επίπεδο της αντίληψης περιλαμβάνει τους αισθητήρες και τα δίκτυα των αισθητήρων. Μέσω των αισθητήρων συλλέγει τις πληροφορίες από το περιβάλλον και μέσω των δικτύων τις μεταφέρει στο επόμενο επίπεδο, αυτό του διαδικτύου.

#### **3.4.1.1. Τύποι δεδομένων**

Για να επιτευχθεί η ανίχνευση της κόπωσης κατά την οδήγηση πρέπει να συλλεχθούν τα κατάλληλα δεδομένα εισόδου. Η κόπωση μπορεί να ανιχνευθεί μέσω των **φυσικών χαρακτηριστικών**. Τα φυσικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν τις κινήσεις του κεφαλιού και του προσώπου του οδηγού. Προκειται για οπτικές συμπεριφορές που εντοπίζονται από αλλαγές στα μάτια, το κεφαλι και το πρόσωπο του οδηγού. Μερικά παραδείγματα φυσικών χαρακτηριστικών είναι η συχνότητα που ο οδηγός ανοιγοκλείνει τα μάτια (blinking), το ποσοστό κλεισίματος ματιών (PERCLOS), το χασμουρητό, η μεγαλύτερη διάρκεια βλεφαρίσματος, η αργή κίνηση των βλεφάρων, ο μικρότερος βαθμός του ανοίγματος των ματιών (ή ακόμα και κλειστού), το βλέμμα (στενότητα στην οπτική γωνία), η υποτονική έκφραση του προσώπου και η πεσμένη στάση. Μπορούν να διακριθούν σε χαρακτηριστικά που αφορούν τα **μάτια**, το **στόμα** και το **κεφάλι/πρόσωπο**. Οι **οφθαλμικές παράμετροι** είναι παράμετροι όπως ο ρυθμός κλεισίματος των ματιών, η απόσταση βλεφάρων, το ποσοστό ανοίγματος ματιού κτλ. Τα συστήματα που βασίζονται στις οφθαλμικές παραμέτρους ενδέχεται να αποτύχουν να προβλέψουν την πραγματική κατάσταση σε περίπτωση που τα μάτια δεν ανιχνεύονται λόγω κακών συνθηκών φωτισμού ή των κραδασμών σε πραγματικό σενάριο οδήγησης. Τα συστήματα που βασίζονται σε οπτικές παραμέτρους είναι λιγότερο παρεμβατικά, αλλά αντιμετωπίζουν την πρόκληση να επιλέξουν τον σωστό αριθμό και συνδυασμό παραμέτρων για να επιτύχουν ακριβή ανίχνευση. Παράδειγμα τετοιου συστηματος αποτελεί το FaceLAB. Οι **παράμετροι που σχετίζονται με το στόμα** αφορούν το χασμουρητό και το άνοιγμα του στόματος. Το χασμουρητό μετριέται με τον προσδιορισμό της κατάστασης του στόματος των οδηγών. Η υπολογιστική επιβάρυνση μειώνεται περιορίζοντας την περιοχή αναζήτησης για το στόμα και τις κόρες των ματιών. Οι **παράμετροι που σχετίζονται με το πρόσωπο / κεφάλι**

αφορούν κυρίως το πρόσωπο και εξάγονται συνήθως από εικόνες προσώπου ή απο ακολουθίες βίντεο. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα φυσικά χαρακτηριστικά θεωρούνται πιο αξιόπιστα για την ανίχνευση της κόπωσης σε σχέση με τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά που αφορούν το όχημα. (Sikander and Anwar, 2019 ; Nemcova et al., 2021) .

Υπάρχουν συστήματα ανίχνευσης κόπωσης όπου εφαρμόζεται **συνδυασμός φυσικών χαρακτηριστικών**. Γίνεται έρευνα ώστε να συνδυαστούν οπτικές παράμετροι όπως η διάρκεια κλεισίματος των ματιών, η συχνότητα με την οποία ανοιγοκλείνουν τα μάτια, η συχνότητα νεύματος, η θέση προσώπου, το σταθερό βλέμμα και το χασμουρητό για την παρακολούθηση του επιπέδου κόπωσης και επαγρύπνησης. Η σωστή επιλογή του αριθμού και του συνδυασμού των παραμέτρων αυξάνει την ακρίβεια της ανίχνευσης της κόπωσης (Sikander and Anwar, 2019).

Εκτός από τα φυσικά χαρακτηριστικά για την ανίχνευση της κόπωσης χρησιμοποιούνται και τα **φυσιολογικά / βιολογικά μέτρα**. Τα φυσιολογικά/βιολογικά μέτρα εντοπίζουν την πρόωμη έναρξη της κόπωσης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την έγκαιρη αποτροπή των ατυχημάτων. Παραδείγματα βιολογικών σημάτων είναι τα εγκεφαλικά κύματα, ο καρδιακός ρυθμός, ο ρυθμός σφυγμού, η αναπνοή κτλ. Τα βιολογικά σήμερα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε **σήματα καρδιάς, εγκεφάλου, ματιών και επιδερμίδας**. Στα **σήματα καρδιάς** ανήκουν το ECG και η PPG τα οποία θεωρούνται αξιόπιστα μέτρα για την ανίχνευση της κόπωσης στην οδήγηση. Οι πιο σημαντικές παράμετροι που εξάγονται από το ECG είναι ο παλμός καρδιάς και η μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού. Συγκεκριμένα η μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού αυξάνεται με την κόπωση. Επίσης από το PPG εξάγεται η μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού. Στα **σήματα εγκεφάλου** ανήκει το EEG το οποίο αποτελεί το βασικό σήμα για την μέτρηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας και αποτελεί αξιόπιστη ένδειξη για τον εντοπισμό της κόπωσης. Για να εξαχθεί EEG απαιτούνται επίπεδα ηλεκτρόδια τα οποία προσκολλώνται στο τριχωτό της κεφαλής. Οι αλλαγές στο EEG έχουν υψηλή συσχέτιση με την κόπωση. Ωστόσο αποτελεί παρεμβατική μέθοδο και προς το παρόν δεν έχει προταθεί μη παρεμβατική μέθοδο για την εξαγωγή του EEG. Στα **σήματα επιδερμίδας** ανήκει το EMG και το EMG επιφάνειας τα



οποία χρησιμοποιούνται για την καταγραφή του ηλεκτρικού δυναμικού που δημιουργείται από τους μύες στην επιφάνεια του δέρματος. Ωστόσο οι αισθητήρες αυτοί είναι αρκετά παρεμβατικοί και για αυτο το λόγο η εφαρμογή τους στην ανίχνευση της κόπωσης είναι περιορισμένη. Στα **σήματα ματιού** ανήκει η ηλεκτροοφθαλμογραφία (EoG) που ορίζεται ως η μέτρηση της διαφοράς δυναμικού κερατοειδούς αμφιβληστροειδούς μεταξύ του μπροστινού και του πισινού μέρους του ματιού. Αυτή η μέθοδος είναι επίσης παρεμβατική καθώς για την μετρηση του EoG απαιτείται η τοποθέτηση ηλεκτροδίων κοντά στο μάτι. Παρότι έχει προταθεί μια καλύτερη μέθοδος για την μέτρηση του EoG, με τη χρήση ηλεκτροδίων στο μέτωπο (και όχι στο μάτι), παρόλα αυτά δεν προτείνεται για την ανίχνευση της κόπωσης σε πραγματικό χρόνο. (Sikander and Anwar, 2019 ; Nemcova et al., 2021) .

Πολλές μελέτες προτείνουν τη χρήση **συνδυασμού βιολογικών σημάτων** για την ανίχνευση της κόπωσης. Με τη χρήση πολλαπλών βιολογικών σημάτων επιτυγχάνεται καλύτερη απόδοση. Ένα παράδειγμα αποτελεί η καταγραφή της δραστηριότητας των βλεφάρων, του EEG και της μεταβλητότητας του καρδιακού ρυθμού. Τα φυσιολογικά μέτρα αποτελούν την πιο αξιόπιστη μέθοδο ανίχνευσης της κόπωσης. Οι φυσιολογικές παράμετροι συλλέγονται είτε με αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι στο αυτοκινητο είτε με αισθητήρες που είναι φορητοί στους οδηγούς. Ωστόσο αυτές οι τεχνικές είναι παρεμβατικές, καθώς απαιτούν από τους οδηγούς να φορούν αισθητήρες στο σώμα τους. Εξαιτίας της ανάπτυξης στον τομέα των μη παρεμβατικών αισθητήρων, οι πρόσφατοι αισθητήρες μπορούν να ενσωματωθούν στο τιμόνι ή στη ζώνη ασφαλείας. Αξίζει να σημειωθεί ότι εξαιτίας της ανάπτυξης της μέτρησης του καρδιακού παλμού χωρίς επαφή, είναι πλέον εφικτή η μέτρησης της απομακρυσμένης PPG. Η μέτρηση αυτή έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί αξιόπιστο μέτρο στην ανίχνευση της κόπωσης (Sikander and Anwar, 2019 ; Nemcova et al., 2021) .

Η ανίχνευση της κόπωσης επιτυγχάνεται και μέσω των παραμέτρων που σχετίζονται με τη **συμπεριφορά του οχήματος**. Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει τη χρήση έμμεσων συμπεριφορών οχημάτων όπως η πλάγια θέση, οι κινήσεις του τιμονιού, η γωνία τιμονιού, η απόκλιση λωρίδας, η στάση του σώματος για να ανιχνεύσει το επίπεδο εγρήγορσης και

κόπωσης του οδηγού. Αν και αυτές οι τεχνικές δεν είναι παρεμβατικές, υπόκεινται σε αρκετούς περιορισμούς όπως ο τύπος του οχήματος, η εμπειρία του οδηγού, η κατάσταση του δρόμου κλπ. Αυτές οι διαδικασίες απαιτούν επίσης σημαντικό χρόνο για την ανάλυση των συμπεριφορών των χρηστών. Επίσης υπάρχει περίπτωση ο οδηγός να αποκοιμηθεί για λίγα δευτερόλεπτα σε πολύ ευθύ οδικό τμήμα, χωρίς αλλαγή της πλευρικής θέσης του οχήματος. Στην κατηγορία αυτή έχουν δημιουργηθεί διαφορετικά πειραματικά πρωτότυπα από την Toyota και τη Mitsubishi αλλά κανένα από αυτά δεν έχει διατεθεί στην αγορά. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το όχημα μπορεί εύκολα να επηρεαστούν από προσωπικά χαρακτηριστικά οδήγησης, από τον καιρό και από τις συνθήκες κίνησης. Το τιμόνι και η απόκλιση λωρίδας μπορεί να γίνουν ακανόνιστα κατά την οδήγηση σε αστική περιοχή και η τυπική απόκλιση θα αυξηθεί ακόμη και χωρίς την εμφάνιση κόπωσης (Sikander and Anwar, 2019 ; Nemcova et al., 2021) .

Προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στην ανίχνευση της κόπωσης κατά την οδήγηση, μπορεί να γίνει **συνδυασμός των παραμέτρων που σχετίζονται με το όχημα**. Δηλαδή πολλαπλά χαρακτηριστικά που αφορούν το όχημα επιλέγονται για την ανίχνευση της κόπωσης. Ένα παράδειγμα είναι η επιλογή πολλαπλών χαρακτηριστών όπως η ταχύτητα του οχήματος, το φρένο, το γκάζι και η απόσταση από το προπορευόμενο αυτοκίνητο (Sikander and Anwar, 2019 ; Nemcova et al., 2021) .

Η **υποκειμενική αναφορά** μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση της κόπωσης. Η κλίμακα υπνηλίας Karolinska αποτελεί μια τεχνική αξιολόγησης της υπνηλίας. Πρόκειται για ένα ερωτηματολόγιο αυτοαξιολόγησης για να εντοπιστούν τα επίπεδα κόπωσης στους οδηγούς μεταφορών. Το 1 της κλίμακας δηλώνει υψηλό επίπεδο ετοιμότητας ενώ το 9 το χαμηλότερο επίπεδο ετοιμότητας, δηλαδή υψηλότερο επίπεδο κόπωσης. Η υποκειμενική αναφορά μπορεί να ανιχνεύσει και να ταξινομήσει την κόπωση αλλά απαιτεί από τον οδηγό να καταγράψει την κατάσταση του, το οποίο επηρεάζει την οδήγηση και μπορεί να οδηγήσει και σε λάθος κατά την καταγραφή.(Sikander and Anwar, 2019)

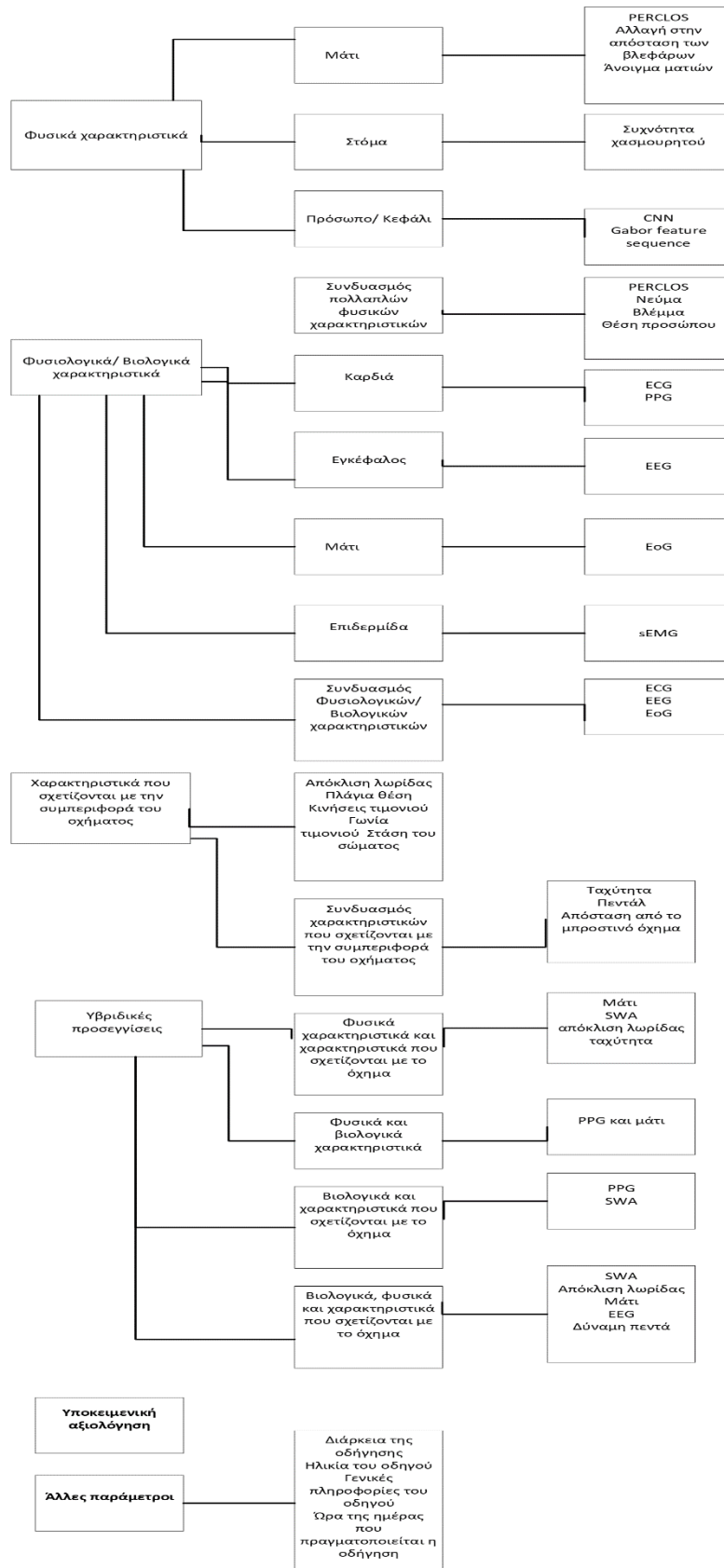
Στην **υβριδική προσέγγιση** συνδυάζονται χαρακτηριστικά από τις παραπάνω κατηγορίες, δηλαδή από τα βιολογικά μέτρα, τα φυσικά μέτρα και την συμπεριφορά του οχήματος. Μία προσέγγιση είναι ο **συνδυασμός φυσικών μέτρων και χαρακτηριστικών που αφορούν**

**το όχημα.** Αποδεικνύεται ότι η ακρίβεια στην υβριδική προσέγγιση αυξάνεται. Από πείραμα αποδεικνύεται ότι η μέτρηση της ακρίβειας μεμονωμένα στα φυσικά χαρακτηριστικά και η ακρίβεια στα χαρακτηριστικά του οχήματος είναι μικρότερη από την ακρίβεια που προκύπτει ύστερα από την σύντηξη των χαρακτηριστικών και των δύο κατηγοριών. Μία άλλη προσέγγιση είναι ο **συνδυασμός φυσικών και βιολογικών μέτρων.** Ένα παράδειγμα που ανήκει σε αυτή την κατηγορία είναι η παρακολούθηση της κατάστασης του ματιών και του PPG. Και σε αυτή την περίπτωση τα αποτελέσματα είναι καλύτερα κατά τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών των δύο κατηγοριών παρά για κάθε κατηγορία ξεχωριστά. Επιπλέον μπορεί να γίνει **συνδυασμός βιολογικών μέτρων και χαρακτηριστικών που αφορούν το όχημα.** Ένα παράδειγμα που ανήκει σε αυτή την κατηγορία είναι η παρακολούθηση της κίνησης του τιμονιού και του PPG. Τέλος μπορεί να γίνει **συνδυασμός φυσικών , βιολογικών μέτρων και χαρακτηριστικών που αφορούν το όχημα.** Ένα παράδειγμα που ανήκει σε αυτή την κατηγορία είναι η παρακολούθηση της κατάστασης ματιών, της πλάγιας θέσης, της γωνίας τιμονιού, του ECG, του EEG και του EMG. Σε σχέση με τις παραπάνω υβριδικές προσεγγίσεις παρουσιάζει μικρότερη ακρίβεια στον εντοπισμό της κόπωσης. Οι υβριδικές μέθοδοι χρησιμοποιούν τις οπτικές συμπεριφορές για να παρατηρήσουν τις συμπεριφορές του οδηγού και στη συνέχεια συνδυάζουν περαιτέρω αυτές τις πληροφορίες με τις έμμεσες πληροφορίες συμπεριφοράς οχήματος για την πρόβλεψη της κατάστασης του οδηγού (Sikander and Anwar, 2019 ; Nemcova et al., 2021) .

Τέλος **άλλες παράμετροι** μπορεί να συμβάλλουν στην ανίχνευση της κόπωσης, σε συνδυασμό με τα βιολογικά, φυσικά και χαρακτηριστικά του οχήματος. Τέτοιες παράμετροι είναι η διάρκεια της οδήγησης, η ηλικία του οδηγού, γενικές πληροφορίες του οδηγού, η ώρα της ημέρας που πραγματοποιείται η οδήγηση. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε αποδείχθηκε ότι τα αποτελέσματα ήταν καλύτερα όταν συνδυαστηκαν τα φυσικά χαρακτηριστικά με την ώρα της οδήγησης και τις πληροφορίες των συμμετεχόντων.(Sikander and Anwar, 2019)

Στη Εικόνα 16 αναφέρονται όλες οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της κόπωσης στην οδήγηση.

Μαρία Μπαρμποπούλου, Επισκόπηση συστημάτων κινητού και διάχυτου υπολογισμού για την παρακολούθηση του άγχους και την ανίχνευση της κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή μεθοδολογίας αντίστοιχων πειραματικών μελετών



Εικόνα 16 Διάγραμμα με τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται στην ανίχνευση της κόπωσης

### 3.4.1.2. Αισθητήρες

Τα περισσότερα συστήματα ανίχνευσης κόπωσης βασίζονται σε **αισθητήρες** οι οποίοι επεξεργάζονται τα σήματα. Ένα πολύ διαδεδομένο είναι το σύστημα ανίχνευσης κόπωσης με βάση το EEG. Στο συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιούνται τα σήματα EEG που βοηθούν στην ανάλυση της κόπωσης (Manna, 2022).

Υπάρχουν πολλά συστήματα ανίχνευσης κόπωσης που βασίζονται στην **κάμερα** και χρησιμοποιούν μεθόδους επεξεργασίας εικόνας, αναγνώρισης προσώπου και ανίχνευσης κατάστασης των ματιών προκειμένου να ανιχνεύσουν την κόπωση του οδηγού. Επιπλέον η κόπωση ανιχνεύεται από το αίμα και τον καρδιακό ρυθμό του οδηγού. Σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιείται η ειδική **κάμερα RGB** (Manna, 2022).

Σε σύστημα ανίχνευσης κόπωσης χρησιμοποιείται ο αισθητήρας PPG (CMS50EW) και μια κάμερα Logitech C920. (Tsai et al., 2020)

Στην Εικόνα 17 φαίνονται οι δύο αισθητήρες.



Εικόνα 17 (a) Αισθητήρες κάμερας και PPG. (b) PPG αισθητήρας

Πολλές εταιρείες τρίτων έχουν αναπτύξει προϊόντα για την αναγνώριση της κόπωσης στους οδηγούς. Η εταιρία Sleep Diagnostics σχεδίασε το OPTALERT για την ανίχνευση της κόπωσης. Χρησιμοποιεί ασύρματα γυαλιά για την παρακολούθηση της δραστηριότητας του βλεφάρου και της κόρης. Στην Εικόνα 18 φαίνονται τα ασύρματα γυαλιά που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της κόπωσης. Η GuardVant σχεδίασε το OpGuard, το οποίο χρησιμοποιεί κάμερα υπερύθρων για να παρακολουθεί τα βλεφαρα, τις κινήσεις του

*Μαρία Μπαρμποπούλου, Επισκόπηση συστημάτων κινητού και διάχυτου υπολογισμού για την παρακολούθηση του άγχους και την ανίχνευση της κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή μεθοδολογίας αντίστοιχων πειραματικών μελετών*

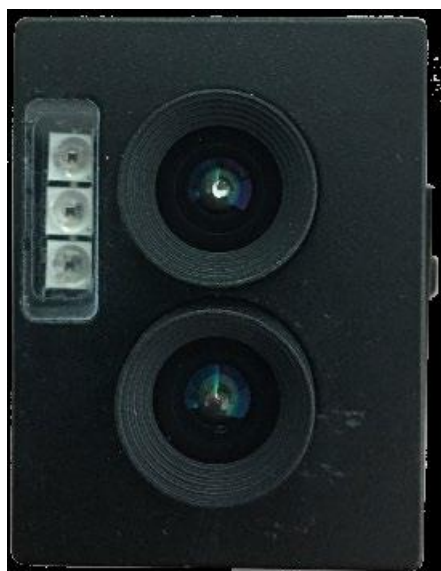
κεφαλιού και του προσώπου του οδηγού καθώς επίσης και τη συμπεριφορά του οδηγού (Sikander and Anwar, 2019).



**Εικόνα 18 OPTALERT : Ασύρματα γυαλιά**

Οι Sun et al. (2020) προτείνουν ένα σύστημα ανίχνευσης κόπωσης οδηγού βασισμένο σε σύντηξη χαρακτηριστικών ματιών που προέρχονται από έγχρωμες και υπέρυθρες λήψεις. Συγκεκριμένα οι εικόνες του προσώπου του οδηγού καταγράφονται από μια **διόφθαλμη κάμερα** που περιέχει έναν έγχρωμο φακό και έναν υπέρυθρο φακό. Η κάμερα είναι τοποθετημένη πάνω από το ταμπλό. Οι παραδοσιακές κάμερες RGB μπορούν να τραβήξουν αρκετά καλές εικόνες υπό ιδανικές συνθήκες φωτισμού. Ωστόσο, το φως στην καμπίνα είναι συνήθως πολύ αμυδρό, γεγονός που θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του θορύβου και τη μείωση της ευκρίνειας. Για αυτό το λόγο γίνεται χρήση της διόφθαλμης κάμερας. Επίσης χρησιμοποιείται και ένας **φωτοευαίσθητος αισθητήρας** (photosensitive sensor)ε για προσαρμόσει τις τιμές βάρους σε συνθήκες διαφορετικού φωτισμού.

Στην Εικόνα 19 φαίνεται η διόφθαλμη κάμερα που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια του πειράματος.

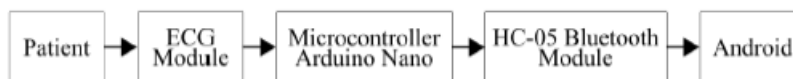


Εικόνα 19 Διόφθαλμη κάμερα

Οι Zhang et al. (2018) προτείνουν ένα αυτόνομο φορητό σύστημα ανίχνευσης κόπωσης σε ένα έξυπνο ρολόι. Ένας ανιχνευτής που “τρέχει” στο smartwatch συλλέγει δεδομένα από τους ενσωματωμένους αισθητήρες. Οι αισθητήρες αυτοί είναι το επιταχυνσιόμετρο, το γυροσκόπιο και ο αισθητήρας καρδιακών παλμών. Προκειμένου να διασταυρωθεί η επικύρωση των δεδομένων των αισθητήρων κίνησης, χρησιμοποιείται μια κάμερα για την καταγραφή των χειρονομιών.

#### 3.4.1.3. Μικροελεγκτές

Οι Hendra et al. (2019) προτείνουν ένα σύστημα ανίχνευσης κόπωσης χρησιμοποιώντας το HRV βασισμένο σε μονάδα μικροελεγκτή Arduino Nano. Το ECG σήμα που συλλέγεται από τους συμμετέχοντες προωθείται στο Arduino Nano. Το Arduino Nano είναι μία πλήρης, μικρή πλακέτα βασισμένη στο Atmega168. Αυτός ο μικροελεγκτής έχει 14 ψηφιακά ακίδες που μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι ή έξοδοι και 8 αναλογικές εισόδους/εξόδους που παρέχουν ανάλυση 10 bits (1024 διαφορετικές τιμές). Το Arduino Nano διαθέτει ακροδέκτες RX και TX για μετάδοση και λήψη σειριακών δεδομένων TTL. Στην Εικόνα 20 φαίνεται το σύστημα καταγραφής του ECG.



Εικόνα 20 Σύστημα καταγραφής του ECG βασισμένο στο μικροελεγκτή Arduino Nano

### 3.4.2. Επίπεδο δικτύου

Το επίπεδο του δικτύου είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία των δεδομένων που έχουν ληφθεί από το πρώτο στάδιο, εκείνο της αίσθησης/ αντίληψης. Ο ρόλος του είναι να μεταφέρει τις πληροφορίες στο επόμενο επίπεδο, το επίπεδο εφαρμογής, μέσω διαφόρων τεχνολογιών του διαδικτύου όπως ενσύρματα ή ασύρματα αλλά και τοπικά δίκτυα (Καρύκας, 2020).

#### 3.4.2.1. Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Οι συσκευές που συμμετέχουν σε ένα σύστημα ανίχνευσης κόπωσης έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνήσουν με πολλούς τύπους δικτύων. Χρησιμοποιούνται διάφορων ειδών τεχνολογίες ούτως ώστε να γίνει εφικτή η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών, των αισθητήρων και του δικτύου σε ένα σύστημα ανίχνευσης κόπωσης. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι το Bluetooth, το Z-Wave και το ZigBee . Επίσης είναι σύνηθες η **επικοινωνία κοντινού πεδίου** (NFC). Το NFC χρησιμοποιείται για να επικοινωνήσουν οι κινητές συσκευές μεταξύ τους όταν όμως βρίσκονται σε απόσταση λίγων εκατοστών. Προσφέρει μια επικοινωνία ασύρματα και με μικρή εμβέλεια. Στον **ενεργό** τρόπο λειτουργίας και οι δύο συσκευές παράγουν μαγνητικά πεδία ενώ στον **παθητικό** τρόπο λειτουργίας μόνο η μία συσκευή δημιουργεί το πεδίο και η άλλη χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των δεδομένων. Το **ασύρματο δίκτυο αισθητήρων** (WSN) αποτελείται από πολλούς κόμβους αισθητήρων συνδεδεμένους ασύρματα. Είναι σε θέση να αποθηκεύουν τα δεδομένα και μέσω των συσκευών τα μεταφέρουν στην cloud υπηρεσία. Η τεχνολογία **Bluetooth** έχει αναπτυχθεί και χρησιμοποιείται σε κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, ασύρματα ακουστικά και φορητές συσκευές όπως το smartwatch. Η λειτουργία του επιτρέπει σε ψηφιακές ή αναλογικές συσκευές να δημιουργούν αυτόματα το ασύρματο δίκτυο μέσα σε μικρά πεδία. Το **WiFi χαμηλής ισχύος**



καταναλώνει λιγότερη ενέργεια από το κανονικό WiFi και μπορεί να μεταδώσει σε μεγαλύτερη απόσταση. Το **ZigBee** έχει τη δυνατότητα να επικοινωνήσει με συσκευές μέχρι και εκατό μέτρα μακριά και να στείλει δεδομένα με ρυθμό μετάδοσης 250 kb/s. Έχει μικρότερο κόστος και απλούστερη σύνδεση από άλλες διαθέσιμες τεχνολογίες.

### **3.4.3. Επίπεδο διαχείρισης δεδομένων**

Στο επίπεδο διαχείρισης δεδομένων γίνονται οι απαραίτητες ενέργειες και εφαρμόζονται κατάλληλοι μηχανισμοί ώστε τα δεδομένα που έχουν συλλεγεί από το επίπεδο της αίσθησης να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο επίπεδο εφαρμογής.

#### **3.4.3.1. Εξαγωγή χαρακτηριστικών**

Οι Balasundaram et al. (2020) χρησιμοποιούν τα χαρακτηριστικά του προσώπου για να ανιχνεύσουν την κόπωση του οδηγού. Συγκεκριμένα από τα χαρακτηριστικά του ματιού εξάγεται η αναλογία διαστάσεων ματιών (EAR) με βάση το οποίο καθορίζεται το επίπεδο κόπωσης του οδηγού. Πιο συγκεκριμένα από το βίντεο εισόδου γίνεται η μετατροπή σε καρέ βίντεο, εφαρμόζεται grayscale και τα εφέ φωτισμού και τέλος γίνεται απομάκρυνση και φιλτράρισμα του θορύβου. Στη συνέχεια από τα επεξεργασμένα καρέ εφαρμόζεται η τεχνική της αναγνώρισης προσώπου και της περιοχής των ματιών και υπολογίζεται το EAR. Οι Tsai et al. (2020) προτείνουν σύστημα ανίχνευσης κόπωσης που βασίζεται στην απομακρυσμένη φωτοπληθυσμογραφία (rPPG). Πρώτον, το σύστημα καταγράφει την εικόνα του προσώπου του οδηγού από μια κάμερα και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο ανίχνευσης προσώπου, μαρκάρει τη θέση του προσώπου. Αυτές οι συντεταγμένες καθορίζουν την περιοχή ενδιαφέροντος (ROI) που θα υπολογίσει το φυσιολογικό σήμα. Δεύτερον, το σύστημα μετατρέπεται τα δεδομένα εικόνας στο ROI σε σήματα rPPG. Τρίτον, το σύστημα συλλέγει περισσότερα από 5 λεπτά δεδομένων, λαμβάνει τα χαρακτηριστικά πεδίου χρόνου και συχνότητας του σήματος rPPG και τα μετατρέπει σε HR και σε μεταβλητότητα παλμού (PRV). Τα χαρακτηριστικά HR και PRV χρησιμεύουν ως δείκτες της κόπωσης. Επιπλέον, οι εκφράσεις του προσώπου είναι επίσης σημαντικές για τον προσδιορισμό της κόπωσης, και έτσι, συμπεριφορές όπως π.χ χασμουρητό ανιχνεύονται και χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό της κόπωσης. Τέλος, το σύστημα

χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένων των HR, HRV και συμπεριφοράς, ως είσοδο για την εκπαίδευση του μοντέλου ANN.

Οι Sun et al. (2020) προτείνουν ένα σύστημα ανίχνευσης κόπωσης οδηγού βασισμένο σε σύντηξη χαρακτηριστικών ματιών που προέρχονται από έγχρωμες και υπέρυθρες λήψεις. Αφού αποκτηθούν τα διπλά βίντεο (έγχρωμες και υπέρυθρες λήψεις) γίνεται ανίχνευση προσώπου και επισήμανση χαρακτηριστικών προσώπου. Για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών του προσώπου χρησιμοποιείται η Dlib-Library καθώς είναι σε θέση να επιτύχει ιδανική ταχύτητα επεξεργασίας διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την ακρίβεια εντοπισμού. Το επόμενο βήμα είναι ο προσδιορισμός της περιοχής των ματιών και ο υπολογισμός της αναλογίας διαστάσεων και του ανοιγοκλεισίματος των ματιών ως χαρακτηριστικά για την ανίχνευση κόπωσης.

Οι Zhang et al. (2018) προτείνουν ένα αυτόνομο φορητό σύστημα ανίχνευσης κόπωσης σε ένα έξυπνο ρολόι. Ο ανιχνευτής που λειτουργεί στο έξυπνο ρολόι συλλέγει δεδομένα από τους ενσωματωμένους αισθητήρες, το επιταχυνσιόμετρο, το γυροσκόπιο και τον αισθητήρα καρδιακού παλμού. Από τα δεδομένα καρδιακού παλμού, εξάγονται δύο χαρακτηριστικά τα οποία είναι ο μέσος καρδιακός ρυθμός και η τυπική παραγωγή της διακύμανσης του καρδιακού ρυθμού. Από το επιταχυνσιόμετρο και το γυροσκόπιο εξάγονται τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την κίνηση. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η μέση τιμή, η μέση ισχύς και η τυπική απόκλιση της γωνιακής ταχύτητας και της γραμμικής επιτάχυνσης.

#### **3.4.3.2. Επιλογή χαρακτηριστικών και μείωση χαρακτηριστικών**

Η επιλογή ενός καλού χαρακτηριστικού βοηθάει στην εκμάθηση μοντέλων και στη μείωση του υπολογιστικού κόστους για την επεξεργασία του θορύβου στα δεδομένα (Tsai et al., 2020).

Οι Tsai et al. (2020) προτείνουν σύστημα ανίχνευσης κόπωσης που βασίζεται στην απομακρυσμένη φωτοπληθυσμογραφία (rPPG). Ύστερα από την εξαγωγή των χαρακτηριστικών προκύπτουν έντεκα χαρακτηριστικά τα οποία εξήχθησαν από το σήμα για την εκτίμηση του επιπέδου της κόπωσης. Το σύστημα συνδυάζει τα χαρακτηριστικά από το

φυσιολογικά σήματα, τη συμβατική μέθοδο οπτικοποίησης και τις προσωπικές παραμέτρους.

Οι Sun et al. (2020) προτείνουν ένα σύστημα ανίχνευσης κόπωσης οδηγού βασισμένο σε σύντηξη χαρακτηριστικών ματιών που προέρχονται από έγχρωμες και υπέρυθρες λήψεις. Τα χαρακτηριστικά που εξάγονται και χρησιμοποιούνται ως είσοδος στο μοντέλο ταξινόμησης κόπωσης είναι χαρακτηριστικά ματιών τόσο από έγχρωμες όσο και από υπέρυθρες λήψεις. Συγκεκριμένα τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα εξής: διάρκεια κλεισίματος ματιών (DEC), συχνότητα που ανοιγοκλείνουν τα μάτια (FB), ποσοστό κλεισίματος βλεφάρων πάνω από την κόρη με την πάροδο του χρόνου (PCT). Ταυτόχρονα το χαρακτηριστικό που λαμβάνεται υπόψη από την φωτοευαίσθητη συσκευή: είναι η ένταση φωτός (LI).

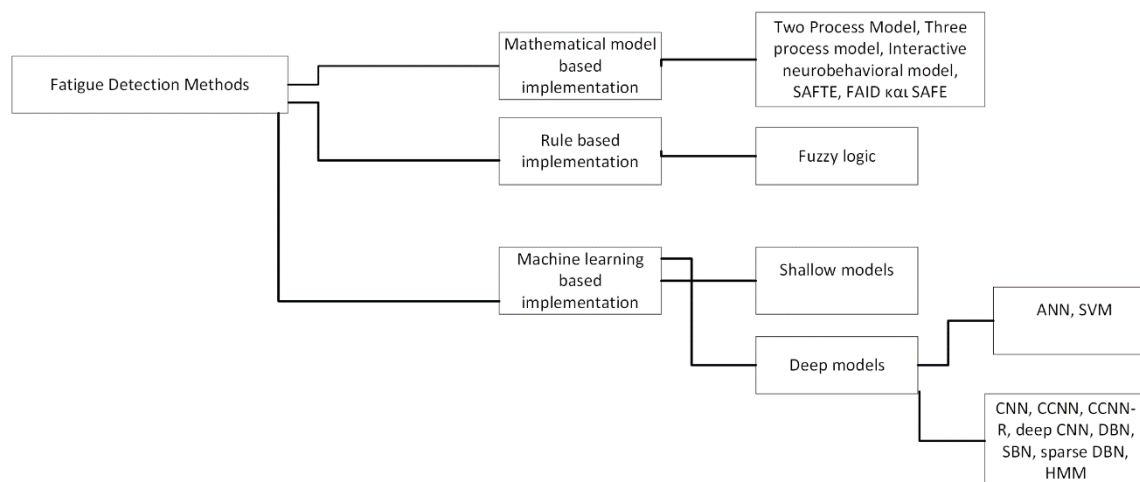
### **3.4.3.3. Ταξινόμηση**

Η ταξινόμηση/ομαδοποίηση αποτελεί το τελευταίο βήμα της μεθοδολογίας ανίχνευσης της κόπωσης που σκοπό έχει να εντάξει τα στοιχεία μιας συλλογής σε κατηγορίες ή κλάσεις-στόχους. Στην περίπτωση των συστημάτων ανίχνευσης κόπωσης σκοπός είναι να προκύψουν οι κλάσεις που θα σηματοδοτούν τα επίπεδα της κόπωσης.

Οι Sikander and Anwar (2019) προτείνουν τρία βασικά μοντέλα / μεθόδους ανίχνευσης της κόπωσης. Τα **μαθηματικά μοντέλα** τα οποία λαμβάνουν υπόψιν παραμέτρους όπως ο κικκάδιος ρυθμός, η διάρκεια του ύπνου, η διάρκεια της αγρυπνίας και το ιστορικό του ύπνου για να προβλέψουν το ρίσκο της κόπωσης. Κάποια γνωστά μαθηματικά μοντέλα είναι το Two Process Model, Three process model, Interactive neurobehavioral model, SAFTE, FAID και SAFE. Τα **μοντέλα που βασίζονται σε κανόνες** (rule based) είναι η δεύτερη κατηγορία. Τα ασαφή συστήματα συμπερασμάτων (FIS) θεωρούνται συστήματα που βασίζονται σε κανόνες και προτείνονται για την ανάπτυξη πολύπλοκων συστημάτων. Τα ασαφή συστήματα συμπερασμάτων παρέχον υψηλό βαθμό ευελιξίας και είναι χρήσιμα για εφαρμογές που βασίζονται σε οπτικές παραμέτρους. Επιπλέον τα συστήματα αυτά παρέχουν παράλληλη επεξεργασία καθώς όλοι οι κανόνες εφαρμόζονται ταυτόχρονα. Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης είναι αλγόριθμοι που βασίζονται σε δεδομένα και έχουν

εκπαιδευτεί σε εκτεταμένα δεδομένα οδήγησης που έχουν αποκτηθεί από οδικές δοκιμές και δοκιμές εργαστηρίου. Τα **μοντέλα μηχανικής μάθησης** χωρίζονται σε **ρηχά** (shallow models) και **βαθιά** μοντέλα (deep models). Τα ρηχά μοντέλα παρέχουν ικανότητα πρόβλεψης με ελάχιστη πολυπλοκότητα. Τα μοντέλα αυτά αποτελούνται από λίγα επίπεδα και απαιτούν περιορισμένο αριθμό δεδομένων εκπαίδευσης. Κάποια γνωστά ρηχά μοντέλα είναι το ANN με ένα κρυμμένο επίπεδο και το SVM. Το ANN επεξεργάζεται πληροφορίες μιμούμενο τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Το ANN χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα ανίχνευσης της κόπωσης. Μπορεί να εκπαιδευτεί σε διάφορες παραμέτρους όπως το EEG, τη γωνία του τιμονιού, το ποσοστό ανοίγματος των ματιών για να προβλέψει την κατάσταση του οδηγού. Το SVM έχει σχεδιαστεί κυρίως για προβλήματα ταξινόμησης δύο ομάδων. Διάφοροι παράμετροι όπως το EEG, το ECG, το EoG και το ποσοστό ανοίγματος των ματιών, χρησιμοποιούνται παράλληλα με το SVM για την ταξινόμηση της κατάστασης της κόπωσης. Τα βαθιά μοντέλα, σε αντίθεση με τα ρηχά, έχουν την ικανότητα να εξάγουν τα χαρακτηριστικά από τα δεδομένα εκπαίδευσης. Τα CNN αποτελούν μοντέλα βαθιάς μάθησης που έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση της κόπωσης. Άλλα μοντέλα που ανήκουν στην κατηγορία βαθιάς μάθησης είναι το CCNN, το CCNN-R και το deep CNN. Το CCNN-R έχει δείξει καλύτερα αποτελέσματα στην ανίχνευση της κόπωσης των οδηγών σε σχέση με το CCNN. Το **δίκτυο βαθιάς πεποίθησης** (deep belief network) και το **αραιό δίκτυο βαθιάς πεποίθησης** (sparse deep belief network) αποτελούν επίσης μοντέλα βαθιάς μάθησης. Από πειράματα αποδείχθηκε ότι η ακρίβεια στον εντοπισμό της κόπωσης είναι υψηλότερη στο μοντέλο sparse-DBN σε σχέση με τους DBN ταξινομητές. Το στατικό bayesian δίκτυο και το δυναμικό bayesian δίκτυο αποτελούν μοντέλα βαθιάς μάθησης για τον εντοπισμό της κόπωσης και τη μοντελοποίηση της κατάστασης των οδηγών. Το απλούστερο δυναμικό bayesian δίκτυο είναι το **κρυφό μοντέλο markov** (HMM), το οποίο είναι ένα στατιστικό μοντέλο.

Στην Εικόνα 21 παρουσιάζονται ταξινομημένα τα μοντέλα / μέθοδοι σύμφωνα με τους Sikander and Anwar (2019).



Εικόνα 21 Μέθοδοι / μοντέλα ανίχνευσης της κόπωσης στην οδήγηση

Οι Sun et al. (2020) προτείνουν ένα σύστημα ανίχνευσης κόπωσης οδηγού βασισμένο σε σύντηξη χαρακτηριστικών ματιών που προέρχονται από έγχρωμες και υπέρυθρες λήψεις. Προκειμένου να πετύχουν ευρωστία της ανίχνευσης κόπωσης με βάση ένα μεμονωμένο χαρακτηριστικό, υιοθέτησαν ένα μοντέλο SVM που βασίζεται σε προ-εξαγόμενη σύντηξη πολλαπλών χαρακτηριστικών το οποίο είναι ταχύτερο από τα CNN.

### **Κλάσεις / Επίπεδα κόπωσης**

Σύστημα ανίχνευσης κόπωσης χρησιμοποιεί αλγόριθμο ανίχνευσης κόπωσης που βασίζεται στην ανάλυση εκφράσεων προσώπου. Εντοπίζει με ακρίβεια τα μάτια και το στόμα της εικόνας προσώπου του οδηγού έτσι ώστε να εξάγει τις παραμέτρους κατάστασης των ματιών και του στόματος και στη συνέχεια υπολογίζει το PERCLOS και τη συχνότητα χασμουρητού για να περιγράψει την κόπωση του οδηγού. Το σύστημα προσδιορίζει τρία επίπεδα καταστάσεων κόπωσης: **φυσιολογικό (T1)**, **μικρή κόπωση (T2)** και **σοβαρή κόπωση (T3)** (Liu et al., 2020).

Οι Tsai et al. (2020) προτείνουν σύστημα ανίχνευσης κόπωσης που βασίζεται σε στην μέτρηση του PPG με οπτικές μεθόδους. Το σύστημα προσδιορίζει δύο επίπεδα κόπωσης **Κανονική και Στέρηση Ύπνου**.

Οι Balasundaram et al. (2020) προτείνουν μια απλή και αυτοματοποιημένη προσέγγιση για τον προσδιορισμό της κόπωσης του ατόμου χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του

προσώπου. Τα ειδικά χαρακτηριστικά των ματιών εξάγονται και υπολογίζεται το EAR. Με βάση την τιμή του EAR, το σύστημα καθορίζει εάν το άτομο έχει κόπωση ή όχι. Σε αυτή την περίπτωση οι κλάσεις είναι δύο “**Κόπωση**” και “**Όχι κόπωση**”.

Οι Sun et al. (2020) προτείνουν ένα σύστημα ανίχνευσης κόπωσης οδηγού βασισμένο σε σύντηξη χαρακτηριστικών ματιών που προέρχονται από έγχρωμες και υπέρυθρες λήψεις. Χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο SVM για την ταξινόμηση και το σύστημα προσδιορίζει δύο επίπεδα καταστάσεων κόπωσης: “**Κουρασμένος Οδηγός**” και “**Όχι κουρασμένος οδηγός**”.

Οι Zhang et al. (2018) προτείνουν ένα αυτόνομο φορητό σύστημα ανίχνευσης κόπωσης σε ένα έξυπνο ρολόι. Χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο SVM με RBF για την ταξινόμηση και το σύστημα προσδιορίζει δύο επίπεδα καταστάσεων κόπωσης: “**Ξύπνιος**” και “**Νυσταγμένος**”. Στην πρώτη κατάσταση ο οδηγός είναι πλήρως ξύπνιος και ανταποκρίνεται στις αλλαγές γρήγορα. Στην κατάσταση “Νυσταγμένος” είναι λιγότερο συγκεντρωμένος, είναι πιθανό να κοιμηθεί και περιλαμβάνει τη μετάβαση από την εγρήγορση στην υπνηλία. Για την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος χρησιμοποιούνται τρεις μετρικές, η ακρίβεια, ο ψευδώς αρνητικό ποσοστό (FNR) και το ψευδώς θετικό ποσοστό (FPR).

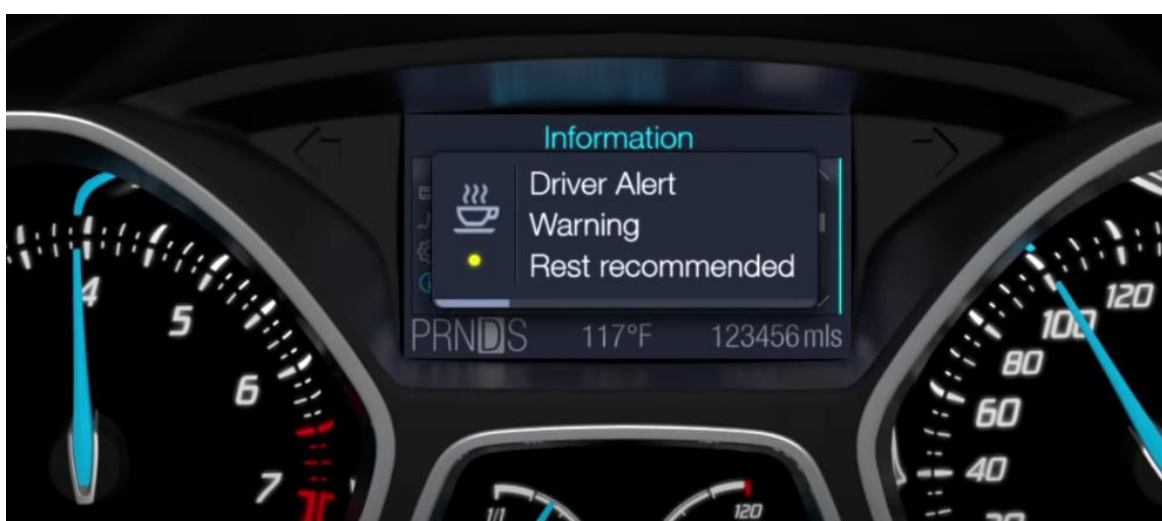
Οι Min et. al (2017) προτείνουν ένα σύστημα ανίχνευσης κόπωσης που βασίζεται σε EEG. Το σύστημα προσδιορίζει δύο επίπεδα καταστάσεων κόπωσης: “**Κανονικό**” και “**Κόπωση**”. Σε αυτή τη μελέτη, εφαρμόστηκαν τέσσερις ταξινομητές, συγκεκριμένα, SVM, Back propagation neural network (BP), Random forest (RF) και K-nearest neighbor (KNN). Για την αξιολόγηση των ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες απόδοσης ευαισθησίας  $S_n$ ,  $S_p$  και  $A_c$ .

### 3.4.4. Επίπεδο εφαρμογής

#### 3.4.4.1. Διεπαφές χρηστών

Η Ford έχει δημιουργήσει το σύστημα Ford Driver Alert System. Πρόκειται για ένα σύστημα ειδοποίησης οδηγού το οποίο χρησιμοποιεί μια κάμερα τοποθετημένη στο επάνω μέρος του παρμπρίζ για να παρακολουθεί το δρόμο μπροστά από το όχημα. Οι εικόνες από

την κάμερα αναλύονται συνεχώς για την ανίχνευση της κόπωσης του οδηγού και τα σημάδια λωρίδας, για να βοηθήσουν τον οδηγό να παραμείνει εντός της προβλεπόμενης λωρίδας. Αν το σύστημα συμπεράνει ότι ο οδηγός δεν οδηγεί προσεκτικά, τότε εμφανίζεται ένα μήνυμα στο ταμπλό, το οποίο τον προτρέπει να κάνει ένα διάλειμμα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 22.



Εικόνα 22 Ford Alert System : Προειδοποιητικό μήνυμα κατά την ανίχνευση κόπωσης του οδηγού.

Σε περίπτωση που ο οδηγός αγνοήσει το προειδοποιητικό μήνυμα και το σύστημα ακόμα αναγνωρίζει σημάδια κόπωσης, το μήνυμα εμφανίζεται με κόκκινη ένδειξη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 23, και παράλληλα ακούγεται και ένας ήχος.



Εικόνα 23 Ford Alert System : Προειδοποιητικό μήνυμα κατά την ανίχνευση κόπωσης του οδηγού, σε περίπτωση που ο οδηγός έχει αγνοήσει το πρώτο προειδοποιητικό μήνυμα.

Επιπλέον υπάρχει η ένδειξη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 24, όταν ο χρήστης πλησιάζει σε περιοχή που μπορεί να ξεκουραστεί και το σύστημα κρίνει ότι απαιτείται η ξεκούραση του.

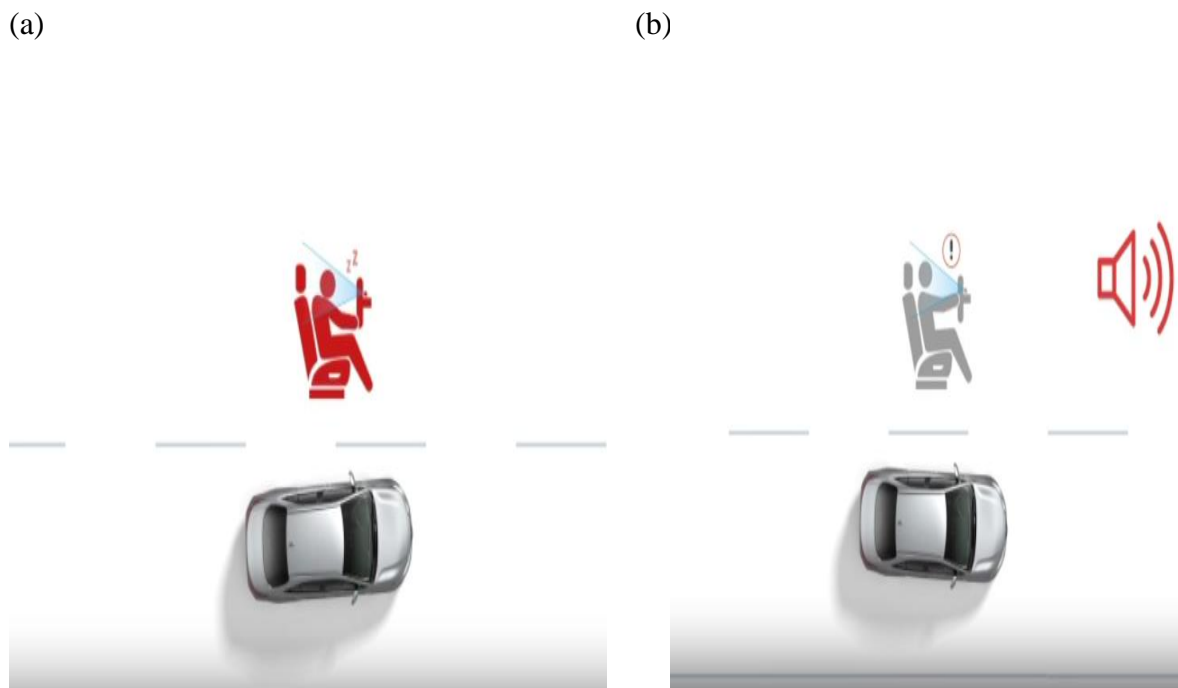


**Εικόνα 24 Ford Alert System : Προειδοποιητικό μήνυμα ότι ο οδηγός πλησιάζει σε περιοχή όπου μπορεί να κάνει στάση για ξεκούραση.**

Ο χρήστης ανά πάσα στιγμή μπορεί από το μενού να αλλάξει τις ρυθμίσεις ώστε να μην ενημερώνεται με προειδοποιητικά μηνύματα. Τα δεδομένα επανέρχονται όταν ο χρήστης σταματήσει με το αυτοκίνητο, όταν κλείσει την μηχανή ή όταν ανοίξει την πόρτα.

Η Toyota προσφέρει μια ολοκληρωμένη σειρά συστημάτων ενεργητικής ασφάλειας Toyota Safety Sense (TSS) και Υποβοήθησης του Οδηγού (Advanced Driver Assistance Systems - ADAS), σχεδιασμένα να υποστηρίζουν και να κάνουν την οδήγηση ακόμα πιο ασφαλή. Το σύστημα ανίχνευσης κόπωσης οδηγού συμβάλλει σε μία πιο άνετη οδήγηση. Το σύστημα χρησιμοποιεί μία κάμερα που βρίσκεται τοποθετημένη πάνω από το τιμόνι για να παρακολουθεί την εγρήγορση και την κατάσταση του οδηγού. Εάν το σύστημα ανιχνεύσει ασυνήθιστη συμπεριφορά, όπως κούραση, ανάβει μια προειδοποίηση στον ψηφιακό πίνακα οργάνων και μία ηχητική ειδοποίηση για να επαναφέρει τον οδηγό στην κανονική του κατάσταση. Στην Εικόνα 25 φαίνονται στιγμιότυπα από σύστημα ανίχνευσης κόπωσης οδηγού.





Εικόνα 25 Toyota Safety Sense (a) Το σύστημα έχει ανιχνεύσει κόπωση στον οδηγό. (b)

Προειδοποιητικό μήνυμα και ηχητική ειδοποίηση.

#### 3.4.4.2. Υπηρεσίες

Σε σύστημα ανίχνευσης της κόπωσης το οποίο μετρά το EOG ( κερατοειδείς που υπάρχουν στο μπροστινό και πίσω μέρος του ανθρώπινου ματιού) μεταδίδει αυτό το σήμα στο τηλέφωνο. Με βάση την πρόβλεψη, σε περίπτωση που εντοπίσει μη φυσιολογικά επίπεδα κόπωσης, το σύστημα ειδοποιεί τον χρήστη χτυπώντας συναγερμό στο τηλέφωνο (Ma et al., 2016).

Πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες όπως η Toyota, η Volkswagen και η Nissan πραγματοποιούν έρευνα για τον εντοπισμό της κόπωσης και της απροσεξίας κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Το σύστημα **Safety Sense P** της Toyota περιλαμβάνει ανίχνευση οχήματος, παρέκκλιση λωρίδας και ανίχνευση πεζών. Η Nissan έχει αναπτύξει ένα σύστημα προειδοποίησης του οδηγού όταν παρατηρηθεί ασυνήθιστη δραστηριότητα του οδηγού στο τιμόνι. Η Volkswagen ανέπτυξε το **Rest Assist** το οποίο όταν εντοπίσει κόπωση στον

οδηγο, τον προειδοποιεί με οπτικό μήνυμα, ακουστικό μήνυμα και με κραδασμούς στο τιμόνι (Sikander and Anwar, 2019). Στην Εικόνα 26 φαίνεται το σύστημα ειδοποίησης οδηγού (Rest Assist). Παρακολουθεί προσεκτικά τη συμπεριφορά του οδηγού - σημειώνοντας, για παράδειγμα, τυχόν ασταθείς κινήσεις του τιμονιού και αποκλίσεις λωρίδας - ώστε να μπορεί να κρίνει τη στιγμή που ο οδηγός αρχίζει να νυστάζει και πρέπει να σταματήσει.



**Εικόνα 26 Το Rest Assist ενημερώνει τον οδηγό ότι πρέπει να κάνει ένα διάλειμμα όταν ανιχνευθεί η κόπωση**

Οι Balasundaram et al. (2020) προτείνουν ένα σύστημα για τον προσδιορισμό της κόπωσης του ατόμου χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του προσώπου. Όταν το άτομο εντοπιστεί ότι είναι κουρασμένο τότε το σύστημα ενεργοποιεί αυτόματα μια ειδοποίηση για να ενημερώσει το άτομο για την κούρασή του. Στην Εικόνα 27 φαίνεται η περίπτωση όπου κατά το πείραμα εντοπιστεί ότι το άτομο είναι κουρασμένο.

Μαρία Μπαρμποπούλου, Επισκόπηση συστημάτων κινητού και διάχυτου υπολογισμού για την παρακολούθηση του άγχους και την ανίχνευση της κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή μεθοδολογίας αντίστοιχων πειραματικών μελετών



Εικόνα 27 Το άτομο έχει ταξινομηθεί ως κουρασμένο και δημιουργείται η αυτοματοποιημένη ειδοποίηση

Οι Zhang et al. (2018) προτείνουν ένα αυτόνομο φορητό σύστημα ανίχνευσης κόπωσης σε ένα έξυπνο ρολόι. Συγκεκριμένα το σύστημα ανιχνεύει την κόπωση του οδηγού και προειδοποιεί μέσω δόνησης, κάτι που είναι ένας διακριτικός και χωρίς περισπασμούς τρόπος βελτίωσης της οδηγικής ασφάλειας.

### **3.5. Προκλήσεις για τον εντοπισμό της κόπωσης σε συστήματα πραγματικού χρόνου**

Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις στα συστήματα εντοπισμού κόπωσης είναι η **ακριβής και έγκαιρη** ανίχνευση της κόπωσης. Το κρίσιμο ζήτημα είναι η ανίχνευση της κόπωσης σε πρώιμο στάδιο. Αυτό απαιτείται επειδή εάν η προειδοποίηση εμφανιστεί αρκετά νωρίς στο στάδιο της ανάπτυξης της κόπωσης, τότε μπορεί το σύστημα ασφαλείας να ενισχύσει την εγρήγορση του οδηγού και κατά αυτό τον τρόπο να αποφευχθεί η σύγκρουση. Επιπρόσθετα ζωτικής σημασίας είναι ο προσδιορισμός σωστού συνδυασμού παραμέτρων ώστε το σύστημα να ανιχνεύσει την κόπωση. Ένα μόνο μέτρο δεν είναι αρκετά αξιόπιστο για να ποσοτικοποιήσει την κόπωση του οδηγού. Μπορεί να υπάρχει δυσκολία όταν το απαιτούμενο χαρακτηριστικό δεν μπορεί να αποκτηθεί με ακρίβεια. Για

παράδειγμα, στην περίπτωση που ο οδηγός φοράει γυαλιά είναι δύσκολη η ανίχνευση των χαρακτηριστικών των ματιών. Ως εκ τούτου, υπάρχει ανάγκη **προσδιορισμού σωστού αριθμού και συνδυασμού παραμέτρων**. Μία επιπλέον πρόκληση αποτελεί ο **φωτισμός**. Οι συνθήκες φωτισμού ενδέχεται να διαφέρουν λόγω διαφορετικών καιρικών συνθηκών (ηλιοφάνεια, καταιγίδα, συννεφιά, κ.λπ.) και διαφορετικών ωρών μέσα στην ημέρα (νυχτερινή ώρα, ημερήσια ώρα). Για την ελαχιστοποίηση της επίδρασης από τις εξωτερικές συνθήκες, έχει προταθεί η χρήση IR κάμερας. Η IR κάμερα βοηθάει στην ανίχνευση της κόρης του ματιού. Ωστόσο η υπέρυθη κάμερα δεν προκαλεί φωτεινή κόρη κάτω από κάθε φωτισμό. Ένα επιπλέον πολύ σημαντικό θέμα είναι οι **αισθητήρες**. Είναι πολύ σημαντικό οι αισθητήρες να μην είναι παρεμβατικοί και να μην επηρεάζουν την οδήγηση. Η διαδικασία ανίχνευσης της κόπωσης πρέπει να είναι αυτόνομη και να παρέχει υποστήριξη επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο. Ένα επιπλέον ζήτημα που αφορά τους αισθητήρες είναι το κόστος. Οι αισθητήρες για τα βιολογικά σήματα είναι αρκετά πολύπλοκοι και ακριβοί, καθώς τα βιολογικά σήματα απαιτούν περισσότερη προ επεξεργασία καθώς περιέχουν θόρυβο. Η αλλαγή φόντου αποτελεί επίσης πρόκληση για τα συστήματα εντοπισμού της κόπωσης κατά την οδήγηση. Η **αλλαγή του φόντου** είναι σύνηθες φαινόμενο καθώς ο οδηγός υπόκειται σε αλλαγές επειδή το αυτοκίνητο συνεχώς κινείται στο δρόμο. Οι **κραδασμοί του αυτοκινήτου** μπορεί επίσης να αποτελέσουν εμπόδιο στη συλλογή των οπτικών δεδομένων και στη διαδικασία επεξεργασίας. Τέλος μία επιπλέον πρόκληση στα συστήματα ανίχνευσης κόπωσης είναι η περίπτωση που ο οδηγός φοράει γυαλιά και δεν είναι εύκολο να ανιχνευθεί η κατάσταση του ματιού.

## **4. Προτεινόμενες πειραματικές μεθοδολογίες**

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πειραματικές μεθοδολογίες που ακολουθούνται σε συστήματα ανίχνευσης άγχους και κόπωσης. Περιγράφονται αναλυτικά όλη η διαδικασία του πειράματος και όλες οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψιν. Κάποιες παράμετροι είναι ο αριθμός συμμετεχόντων και δημογραφικά στοιχεία αυτών (ηλικία, φύλο, εθνικότητα, επάγγελμα, έτη οδηγικής εμπειρίας). Ακόμα δίνεται έμφαση στις οδηγίες που δίνονται στους συμμετέχοντες, στο περιβάλλον διεξαγωγής του πειράματος (πραγματικό ή περιβάλλον προσομοίωσης) και στο χρόνο διεξαγωγής του πειράματος. Επιπλέον περιγράφονται τα σενάρια που θα πρέπει να εκτελέσουν οι συμμετέχοντες κατά τη διεξαγωγή του πειράματος καθώς επίσης και εισαγωγή στρεσογόνων παραγόντων.

### **4.1. Πειραματική μεθοδολογία για ανίχνευση άγχους**

Οι Rodrigues et al. (2015) προτείνουν ένα σύστημα ανίχνευσης άγχους και ενεργοποίησης μνήμης για τους οδηγούς λεωφορείων που εξυπηρετούν το κοινό με τις μετακινήσεις τους. Το πείραμα έγινε στο Πόρτο της Πορτογαλίας και οι συμμετέχοντες είναι 36 άνδρες οδηγοί λεωφορείων ηλικίας 29-55 ετών με εμπειρία οδήγησης 3-25 ετη. Η διεξαγωγή του πειράματος πραγματοποιήθηκε σε πραγματικές συνθήκες, στην βάρδια εργασίας των οδηγών των λεωφορείων. Οι συμμετέχοντες που προσφέρθηκαν εθελοντικά να συμμετάσχουν στη μελέτη έλαβαν οδηγίες να μην πραγματοποιήσουν αλλαγές στην καθημερινή τους ρουτίνα πριν την διεξαγωγή του πειράματος, όπως π.χ. αθλητικές δραστηριότητες και κατανάλωση καφεΐνης, νικοτίνης και φαγητού. Από το πείραμα αποκλείστηκαν συμμετέχοντες που έχουν ιστορικό καρδιαγγειακής νόσου ή λαμβάνουν συνταγογραφούμενα φάρμακα που είναι γνωστό ότι επηρεάζουν την καρδιαγγειακή λειτουργία. Μία ημέρα πριν τη διεξαγωγή του πειράματος οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν ερωτηματολόγια με ερωτήσεις υγείας και δημογραφικών στοιχείων και έλαβαν έντυπα ενημερωμένης συγκατάθεσης πριν από τη συμμετοχή τους. Επίσης έλαβαν ένα κιτ που περιέχει τον απαιτούμενο εξοπλισμό. Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει ένα να Vital Jacket, ηλεκτρόδια μιας χρήσης, έναν δέκτη GPS και ένα netbook PC. Ο χρόνος διεξαγωγής είναι

5 ώρες όπου οι οδηγοί συμμετέχουν σε δύο ημερήσιες βάρδιες μεταξύ 8 το πρωί και 8 το βράδυ. Την ημέρα του πειράματος, ο οδηγός του λεωφορείου φόρεσε το VitalJacket και ενεργοποίησε το netbook και το GPS στην αρχή της βάρδιας του. Ο οδηγός έλαβε την οδηγία να πατήσει το κουμπί (push button) στο Vital Jacket σε περίπτωση που βίωνε καποιο αγχωτικό γεγονός κατά τη διάρκεια της βάρδιας του, που θα επηρέαζε την ευημερία του ή των επιβατών. Τα αγχωτικά γεγονότα ανήκουν σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες.

- Κοινωνικές αλληλεπιδράσεις (π.χ. με επιβάτες ή φίλους). “Κατηγορία 1”
- Απροσδόκητες καταστάσεις (π.χ. μηχανικές βλάβες, λάθη κατά την οδήγηση, απροσδόκητες αλλαγές). “Κατηγορία 2”
- Συμπεριφορές άλλων οδηγών ή πεζών (π.χ επικίνδυνες συμπεριφορές και έλλειψη ευγένειας). “Κατηγορία 3”
- Συμβάντα που επηρεάζουν το χρονοδιάγραμμα (π.χ κυκλοφοριακή συμφόρηση) “Κατηγορία 4”
- Δύσκολη οδήγηση λόγω πολεοδομικού σχεδιασμού (π.χ στενοί δρόμοι και στενές γωνίες) “Κατηγορία 5”

Στο τέλος της βάρδιας, ο ερευνητής συνάντησε τον οδηγό στο σταθμό και έτρεξε τους αλγόριθμους επεξεργασίας στα δεδομένα που είχαν συλλεχθεί κατά την διάρκεια της ημέρας. Σε αυτο το σημείο παράγεται ο χάρτης τους άγχους (stress map). Για τις περιπτώσεις που ο οδηγός είχε πατήσει το push button στο φορητό γιλέκο, του ζητήθηκε να θυμηθεί τη συγκεκριμένη κατάσταση και να παρέχει μια σύντομη περιγραφή σχετικά με την ένταση του άγχους. Η περιγραφή του γεγονότος και η αξιολόγηση της έντασης του άγχους ολοκληρώθηκαν στο netbook, αλλά αποθηκεύονται και συγχρονίζονται με τα φυσιολογικά δεδομένα στον διακομιστή cloud.

Όταν ολοκληρώθηκε το πείραμα βρέθηκε ότι από τους 36 οδηγούς 2 είχαν τοποθετήσει λάθος τα patches επομένως δεν μπορούσαν να καταγραφούν τα ECG δεδομένα και 2 οδηγοί είχαν ξεχάσει να ανοίξουν την συσκευή GPS. Επίσης 29 γεγονότα σηματοδοτήθηκαν (πατώντας το push button του φορητού γιλέκου) ως στρεσογόνα απο 11 οδηγούς. Κάποιοι οδηγοί ξεχασαν να πατήσουν το κουμπί όταν βρεθηκαν σε μια στρεσογόνο κατάσταση και

κάποιοι αφαιρέθηκαν όταν βίωσαν μια τέτοια κατάσταση με αποτέλεσμα να μην πατήσουν το κουμπί.

Σε σύστημα ανάπτυξης στατιστικού μοντέλου για την ανίχνευση άγχους σε οδηγούς με βάση το σήμα HGSR που προτείνουν οι Kim et al. (2020), ο συμμετέχον στο πείραμα ήταν ένας άνδρας από την Κορέα, 39 ετών με 14 χρόνια εμπειρία οδήγησης. Ο χρόνος της οδήγησης ήταν 2 ώρες. Συγκεκριμένα μία ώρα οδήγησης πραγματοποιήθηκε στον αυτοκινητόδρομο, 30 λεπτά της διαδρομής δαπανήθηκαν στον υπό κατασκευή αυτοκινητόδρομο, και τα υπόλοιπα 30 λεπτά δαπανήθηκαν σε αγροτικούς δρόμους. Το σήμα GSR κατά την οδήγηση στις αγροτικές οδικές περιοχές θεωρήθηκε ότι αντιπροσωπεύει την κλάση “χαμηλού άγχους”, ενώ η οδήγηση σε αυτοκινητόδρομους και αυτοκινητόδρομοι υπό κατασκευή αντιπροσωπεύει την κλάση “υψηλού άγχους”. Το πείραμα διεξήχθη σε τέσσερα βήματα:

1. Το πείραμα εξηγήθηκε πλήρως στον συμμετέχοντα και ένα έντυπο συγκατάθεσης συμπληρώθηκε.
2. Το περικάρπιο Empatica E4 στο οποίο είναι ενσωματωμένος ο αισθητήρας GSR τοποθετήθηκε στον αριστερό καρπό του συμμετέχοντα και η συσκευή μέτρησε τα σήματα GSR του συμμετέχοντος καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος με ρυθμό δειγματοληψίας στα 4 Hz.
3. Ζητήθηκε από τον συμμετέχοντα να οδηγήσει τους δρόμους από την πόλη Gumi προς την πόλη Ulsan.
4. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, τα σήματα GPS του οχήματος συλλέχθηκαν με τη χρήση ενσωματωμένου αισθητήρα στο όχημα. Με αυτό τον τρόπο έγινε η συσχέτιση των GSR δεδομένων που μετρήθηκαν από τον καρπό και τις σχετικές συνθήκες του δρόμου. Επιτεύχθηκε οπτικοποίηση των ταχυτήτων και των διαδρομών που επιλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της οδήγησης χρησιμοποιώντας το Google Earth.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από το ένα άτομο (πειραματικά δεδομένα) χρησιμοποιήθηκαν για την επικύρωση του αναπτυγμένου μοντέλου. Για τα

δεδομένα που χρειάστηκαν για την ανάπτυξη του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η test βάση **Physionet 2010** όπου χρησιμοποιήθηκαν GSR δεδομένα που συλλέχθηκαν από 10 διαδρομές οδήγησης. Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το FlexComp System. Το FlexComp είναι ένα σύστημα για την παρακολούθηση φυσιολογικών δεδομένων και την απόκτηση αυτών. Τα δεδομένα καταγράφηκαν από εννέα συμμετέχοντες που οδηγούσαν σε αυτοκινητόδρομους και δρόμους της πόλης στη Βοστώνη Μασαχουσέτης. Τρεις όπου αξιοποιήθηκαν δεδομένα άγχους. Τελικά οδηγοί επανέλαβαν το πείραμα πολλές φορές και έξι άτομα οδήγησαν μόνο μία φορά. Αυτά τα δεδομένα συλλέχθηκαν σε τρεις διαφορετικές συνθήκες οδήγησης—ανάπαυση, αυτοκινητόδρομος και πόλη (rest, highway and city). Τα σημάτια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ECG, EMG, RESP και GSR που καταγράφηκε από την παλάμη και το πέλμα του οδηγού.

Στο σύστημα ανίχνευσης άγχους που προτείνουν οι Singh et al. (2013), το πείραμα πραγματοποιήθηκε στην Ινδία και θα πρέπει να σημειωθεί ότι μια αναπτυσσόμενη χώρα σε σχέση με μια αναπτυγμένη έχει σημαντικές διαφορές στην υποδομή των οδικών δικτύων, στην οδηγική συμπεριφορά κτλ.

Σε αυτό το πείραμα δεν συμμετείχαν γυναίκες καθώς δεν είναι ενεργές στο εργασιακό τομέα της Ινδίας. Στο πείραμα συμμετείχαν 20 Ινδοί άνδρες, οι οποίοι κλήθηκαν να φορέσουν τον απαραίτητο εξοπλισμό (παλμικό οξύμετρο, ζώνη κοιλιακής αναπνοής, GSR ηλεκτρόδια και η φορητή μονάδα που συγκεντρώνει τα σήματα). Ωστόσο τελικά τα δεδομένα που αναλύθηκαν ήταν από τους 19 οδηγούς καθώς παρουσιάστηκε δυσλειτουργία του εξοπλισμού σε έναν από τους οδηγούς. Ο συνολικός χρόνος οδήγησης για κάθε οδηγό διήρκεσε σχεδόν 24 λεπτά καλύπτοντας μια απόσταση περίπου 11,5 km. Πριν από την έναρξη των πειραμάτων, όλοι οι οδηγοί συνομίλησαν με τον υπεύθυνο του πειράματος ώστε να εξοικειωθούν με τη διαδικασία του πειράματος και με τον εξοπλισμό ανίχνευσης και απόκτησης δεδομένων που έπρεπε να φορέσουν. Επίσης τους δόθηκαν οδηγίες για την διαδρομή οδήγησης και τις σχετικές οδηγίες ασφαλείας. Οι οδηγοί και ο υπεύθυνος πειράματος ήταν διαθέσιμοι είτε τις βραδινές είτε τις πρωινές ώρες. Ωστόσο έγινε η υπόθεση ότι κατά τις πρωινές ώρες (08:00-11:00) οι οδηγοί θα είναι σχετικά χαλαροί, ενώ



κατά τις βραδινές ώρες (15:00-19:00) θα έχουν κάποιο βαθμό άγχους λόγω της εργασιακής τους ρουτίνας. Ο υπεύθυνος πειράματος θα ήταν μαζί με τον οδηγό κατά την διάρκεια της οδήγησης.

Δεν επιβλήθηκαν περιορισμοί στους οδηγούς σχετικά με τις ώρες ύπνου, αλκοόλ και καφεΐνης, αλλά θεωρήθηκαν ως παράμετροι του τρόπου ζωής που επηρεάζουν την κατάσταση του οδηγού. Πριν την έναρξη του πειράματος δόθηκαν οι παρακάτω οδηγίες στους συμμετέχοντες:

- Οι οδηγοί θα πρέπει να ενημερώνουν τον υπεύθυνο του πειράματος για κάθε είδους κατάχρηση ουσιών.
- Οι οδηγοί έλαβαν οδηγίες να χειρίζονται προσεκτικά τους αισθητήρες και τον εξοπλισμό απόκτησης δεδομένων.
- Οι οδηγοί θα πρέπει να διατηρούν ταχύτητα μεταξύ 30 και 35 km/h εντός της πανεπιστημιούπολης (μέγιστο επιτρεπόμενο όριο 40 km/h) ενώ κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε πολυσύχναστη περιοχή έπρεπε να διατηρήσουν την ταχύτητα μεταξύ 40 και 45 km/h.
- Οι οδηγοί θα πρέπει να διατηρούν ήρεμο τρόπο οδήγησης, ωστόσο ο υπεύθυνος πειράματος πρέπει να παρατηρεί τη συμπεριφορά του και να παρακολουθεί προσεκτικά τυχόν περιπτώσεις μη συμμόρφωσης με αυτές τις οδηγίες κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Τα σενάρια που δόθηκαν στους οδηγούς είναι τα παρακάτω πέντε :

- pre-driving : Συλλογή φυσιολογικών δεδομένων 10 λεπτά πριν ξεκινήσει η οδήγηση. Σε αυτό το σενάριο ζητήθηκε από τους οδηγούς να χαλαρώσουν για λίγα λεπτά πριν ξεκινήσει η πραγματική συλλογή δεδομένων.
- relaxed driving: Αρχική φάση της οδήγησης διάρκειας 8-10 λεπτών σε περιοχή με χαμηλή κίνηση. Λόγω του χαμηλού όγκου κυκλοφορίας και της εξοικείωσης με την περιοχή, οι οδηγοί ήταν συνήθως χαλαροί και άνετοι. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι σε ορισμένα άτομα παρατηρήθηκε αρχικό άγχος και δυσφορία λόγω του φορτετού εξοπλισμού.

- busy driving : Οδήγηση σε περιοχή με αυξανόμενη κίνηση διάρκειας 7-9 λεπτών. Η διαδρομή επιλέχθηκε προσεκτικά ώστε να περιλαμβάνει μια πολυσύχναστη περιοχή της αγοράς, αμμώδεις περιοχές, πολυσύχναστες διαβάσεις τεσσάρων κατευθύνσεων και επαρχιακούς δρόμους. Η αυξημένη κυκλοφορία, η συμφόρηση και η ρύπανση προκάλεσαν σημαντική αύξηση του επιπέδου άγχους του οδηγού.
- return driving : Μετάβαση από περιοχή με αυξημένη κίνηση σε περιοχή με χαμηλή κίνηση
- post driving : Στο τέλος της οδήγησης τα δεδομένα συλλέγονται για 5 με 6 λεπτά

Δεν λήφθηκαν υπόψη τα μεγαλύτερα και πιο επίπονα σενάρια οδήγησης λόγω του κινδύνου ατυχήματος.

Μετά από πλήρη συμφωνία του οδηγού για τη διεξαγωγή του πειράματος, υπογράφηκε ένα έντυπο συγκατάθεσης.

Μετά την λήξη του πειράματος οι οδηγοί κλήθηκαν να απαντήσουν σε ορισμένες ερωτήσεις για να κατανοήσουν πώς αισθάνονται για το πείραμα και σε ποια σενάρια οδήγησης ήταν αγχωμένοι ή άνετοι. Συγκεκριμένα ζητήθηκε από τους οδηγούς να βαθμολογήσουν το άγχος που βίωσαν στα σενάρια οδήγησης με βάση τη Σημαιολογική Κλίμακα Likert 6 βαθμών (1- Λιγότερο άγχος έως 6- Περισσότερο άγχος). Επίσης και ο υπευθυνος του πειράματος που ήταν μαζί με τον οδηγό, στο τέλος του πειράματος καλείται να απαντήσει σε ερωτήσεις σχετικά με τον συνολικό χρόνο του πειράματος, τον τρόπο οδήγησης του οδηγού, με το πόσο άνετος ήταν ο οδηγός με τον εξοπλισμό και τι τύπος οχήματος χρησιμοποιήθηκε.

Σε σύστημα για την ανίχνευση άγχους σε οδηγούς με τη χρήση των βιοσημάτων EKG/ECG, RESP και GSR που προτείνουν οι Chen et al. (2017) το πείραμα εκτελέστηκε σε πραγματικό περιβάλλον. Τα test data συλλέχθηκαν από τις βάσεις PhysioNet από τη Healey & Picard. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε σύνολο πολλαπλών φυσιολογικών δεδομένων από υγιή άτομα όταν οδηγούσαν σε μια καθορισμένη διαδρομή μέσα και γύρω από τη Βοστώνη. 14 πλήρεις σύνολα δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν. Οι οδηγοί που συμμετείχαν στο πείραμα είναι εννιά και κατέχουν δίπλωμα οδήγησης. Ο χρόνος διεξαγωγής της οδήγησης είναι 50

λεπτα - 1,5 ώρα. Το πείραμα εκτελείται σε πραγματικά περιβάλλοντα οδήγησης υπό καθημερινές συνθήκες μετακίνησης.

Όσον αφορά τον εξοπλισμό οι οδηγοί καλούνται να φορέσουν ηλεκτρόδια αυτοκόλλητα EKG και έναν ελαστικό αισθητήρα Hall Effect που δένεται γύρω από το διάφραγμα τους για τη μέτρηση του RESP. Η αγωγιμότητα του δέρματος καταγράφηκε σε δύο θέσεις: στην παλάμη του αριστερού χεριού, συγκεκριμένα ως HGSR και στην εσωτερική σόλα του αριστερού ποδιού ως FGSR. Οι παραπάνω αισθητήρες συνδέθηκαν σε έναν μετατροπέα FlexComp (από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα), ο οποίος συνδέθηκε με έναν ενσωματωμένο υπολογιστή σε ένα αυτοκίνητο της σειράς Volvo S70.

Τα σενάρια οδήγησης αποτελούνται από τις παρακάτω 6 περιοχές: Rest1, City1, Highway1, Highway2, City2, Rest2, Toll1, Toll2, Toll3, Toll4. Οι περίοδοι ανάπαυσης (Rest1 & Rest2) σχεδιάστηκαν ως η βασική γραμμή όλης της διαδικασίας οδήγησης. Στην πραγματικότητα, οι οδηγοί δεν μπορούν να είναι εντελώς απαλλαγμένοι από το άγχος στην αρχή και στο τέλος κάθε δοκιμής, επομένως η περίοδος ανάπαυσης μπορεί να θεωρηθεί ως μια κατάσταση σχετικά χαμηλής πίεσης. Στην πόλη (City1 & City2), τα άτομα οδήγησαν σε έναν πολυσύχναστο κεντρικό δρόμο στο κέντρο της πόλης, όπου οι οδηγοί θα έπρεπε συχνά να σταματούν και να ξεκινούν και να αντιμετωπίζουν απρόβλεπτες καταστάσεις έκτακτης ανάγκης που πιθανότατα δημιουργούνται από πεζοπόρους και ποδηλάτες. Αυτή η κυκλοφοριακή κατάσταση οδήγησε εύκολα σε κατάσταση υψηλής πίεσης. Όλες οι διαδρομές πραγματοποιήθηκαν το μεσημέρι για να αποφευχθεί η συμφόρηση στον αυτοκινητόδρομο, με αποτέλεσμα τα άτομα να αντιμετωπίσαν κατάσταση μέτριας πίεσης κατά τη διάρκεια της συνεχόμενης οδήγησης στον αυτοκινητόδρομο. Επιπλέον, οι οδηγοί έπρεπε να επικεντρωθούν σε ορισμένα ειδικά γεγονότα, όπως τα διόδια εισόδου και εξόδου (Toll1 & Toll2), τα οποία επισημάνθηκαν επίσης ως καταστάσεις υψηλής πίεσης.

Πριν από την έναρξη δόθηκαν οδηγίες στους οδηγούς για τη διαδρομή και άλλες οδηγίες όπως τα όρια ταχύτητας.

Μετά το τέλος κάθε οδήγησης οι οδηγοί έλαβαν υποκειμενικό ερωτηματολόγιο. Τα ερωτηματολόγια οδήγησης περιλάμβαναν τρία μέρη, ερωτήσεις για το background των οδηγών, τη σημερινή οδηγική εμπειρία και γενικές ερωτήσεις. Χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη

βαθμολόγησης: μια ελεύθερη κλίμακα για συναισθήματα άγχους και μια αναγκαστική βαθμολογία για αγχωτικά γεγονότα. Τα αποτελέσματα και από τις δύο αξιολογήσεις δείχνουν ότι οι οδηγοί θεωρούν την περίοδο ανάπαυσης ως τη λιγότερο αγχωτική κατάσταση, την οδήγηση στον αυτοκινητόδρομο ως πιο αγχωτική κατάσταση και την οδήγηση στην πόλη ως το πιο αγχωτικό σενάριο.

Οι Mou et al. (2021) προτείνουν ένα σύστημα ανίχνευσης άγχους που βασίζεται σε μη επεμβατικά δεδομένα. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται δεδομένα ματιών, δεδομένα οχήματος και δεδομένα περιβάλλοντος. Το πείραμα διεξάγεται σε προσομοιωμένο περιβάλλον. Ο προσομοιωτής οδήγησης αποτελείται από λογισμικό στούντιο SCANeR™, υπολογιστές, προτζέκτορες, μια πραγματική καμπίνα και μια πλατφόρμα που επιτρέπει κίνηση έξι βαθμών ελευθερίας (6DOF). Ο προσομοιωτής οδήγησης μπορεί να κινηθεί και να στρίψει σε τρισδιάστατο χώρο και με αυτό τον τρόπο προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό το πραγματικό περιβάλλον οδήγησης. Το προσομοιωμένο περιβάλλον περιλαμβάνει μπροστινή όψη 180 μοιρών, εικόνες πίσω όψης, κινητήρα και διάφορους ήχους περιβάλλοντος και κινήσεις οχημάτων. Επομένως, ο προσομοιωτής οδήγησης μπορεί να προσομοιώσει πραγματικές οπτικές σκηνές, γύρω από το περιβάλλον, ήχους και ανατροφοδότηση κίνησης του οχήματος, κάνοντας τον οδηγό να νιώθει ότι οδηγεί σε πραγματικό όχημα. Στο πείραμα συμμετείχαν 22 συμμετέχοντες για τη συλλογή δεδομένων, ηλικίας 21–40 ετών (55% άνδρες). Όλοι οι συμμετέχοντες ήταν υποχρεωτικό να έχουν δύο έτη εμπειρία οδήγησης και δίπλωμα οδήγησης.

Τα δεδομένα συλλέχθηκαν με την βοήθεια του προσομοιωτή οδήγησης SCANeR™ και με το FaceLAB™. Το FaceLAB™ χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη δεδομένων ματιών όπως η διάμετρος της κόρης, η διασπορά βλέμματος (gaze dispersion) στους άξονες X και Y και συχνότητα ανοιγοκλεισίματος του ματιού.

Τα δεδομένα του οχήματος και τα περιβαλλοντικά δεδομένα συλλέχθηκαν από SCANeR™. Τα δεδομένα του οχήματος περιλαμβάνουν το τιμόνι, τη γωνία τροχού, το πεντάλ φρένου και το πεντάλ γκαζιού. Τα περιβαλλοντικά δεδομένα περιλαμβάνουν την απόσταση από το προηγούμενο όχημα, το πλάτος της λωρίδας, τον αριθμός λωρίδων, την ώρα της ημέρας, τις καιρικές συνθήκες (ηλιοφάνεια, πυκνότητα βροχών) και την

ορατότητα (ομίχλη). Όλα τα δεδομένα από το FaceLAB™ και το στούντιο SCANeR™ συλλέχθηκαν συγχρονισμένα.

Πριν από την έναρξη του πειράματος, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να εξοικειωθούν με τις λεπτομέρειες του πειράματος, όπως π.χ να αποφύγουν το αλκοόλ και τα καφεϊνούχα ποτά για μια εβδομάδα πριν από το πείραμα.

Για το πείραμα ορίστηκαν 6 διαφορετικά σενάρια οδήγησης. Κάθε σενάριο οδήγησης περιέχει πολλούς διαφορετικούς στρεσογόνους παράγοντες που προκαλούν διαφορετικά επίπεδα άγχους στους συμμετέχοντες. Σε κάθε σενάριο, οι συμμετέχοντες καλούνται κάθε δύο λεπτά να δώσουν τις απαντήσεις τους προφορικά σε ένα σύντομο ερωτηματολόγιο σχετικά με το άγχος τους. Τους ζητήθηκε να εκφράσουν τα επίπεδα άγχους τους μεταξύ 0 και 3 (0- Χωρίς άγχος σε 3- Υψηλό στρες) κατά τη διάρκεια κάθε σεναρίου. Αυτοί οι αριθμοί συσχετίζονται με τρία διαφορετικά επίπεδα άγχους (0.1–1 = Χαμηλό, 1.1–2 = Μέτριο, 2.1–3 = Υψηλό). Τα έξι σενάρια είναι τα εξής: απλός δρόμος, αστική ζώνη 1 (urban1), αστική ζώνη 2 (urban2), αυτοκινητόδρομος (highway), CBD1 και CBD2.

Οι στρεσογόνοι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα είναι οι εξής: κυκλοφοριακή συμφόρηση, οδικές καταστάσεις, συμπεριφορά των άλλων οδηγών, ο καιρός και η ώρα της ημέρας.

Εφόσον η κυκλοφοριακή συμφόρηση προκαλεί άγχος, αυτή η μελέτη σχεδίασε διαφορετικές πυκνότητες οχημάτων ανά χιλιόμετρο για κάθε σεναριο οδήγησης. Στενοί δρόμοι, δρόμοι με καμπύλες και απότομες στροφές χρησιμοποιήθηκαν για να προκαλέσουν άγχος στους οδηγούς. Οι συμπεριφορές άλλων οδηγών μπορούν επίσης να προκαλέσουν άγχος, όπως η προσπέραση, η αλλαγή λωρίδας, η υπερβολική ταχύτητα και οπισθοδρόμηση. Στα σενάρια Highway, CBD1 και CBD2, ορίστηκαν αρκετές παράμετροι (παραμονή στη λωρίδα, παρατήρηση πινακίδων, τήρηση προτεραιότητας, χρόνος ασφαλείας, κίνδυνος ορίου ταχύτητας και κίνδυνος προσπέρασης) στον προσομοιωτή για την προσομοίωση των παραπάνω συμπεριφορών. Αυτή η μελέτη σχεδίασε πυκνότητα βροχής (0–1) και ομίχλης και προσομοίωσαν το περιβάλλον οδήγησης κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας.

Οι Haouij et al. (2018) προτείνουν την πλατφόρμα AffectiveROAD, για την ανίχνευση της κόπωσης του οδηγού. Οι οδηγοί που συμμετέχουν στο πείραμα συνήθως οδηγούν κάθε μέρα και έχουν τουλάχιστον πέντε χρόνια οδηγικής εμπειρίας. Κάθε συμμετέχων χρησιμοποίησε το δικό του/της αυτοκίνητο για να είναι εξοικειωμένος και για να αποφευχθεί το άγχος της οδήγησης ενός νέου αυτοκινήτου. Δόθηκε οδηγία στον υπεύθυνο του πειράματος να μην αλληλεπιδρά με τον οδηγό εκτός εάν κάνει λάθος στη διαδρομή ή προκύψει πρόβλημα σε κάποιον αισθητήρα. Κάθε οδηγός έπρεπε να συναινέσει να συμμετέχει εθελοντικά στο πείραμα και να έχει τα φυσιολογικά σήματα, το βίντεο και τον ήχο που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τα δύο περικάρπια Empatica E4 τοποθετούνται στον αριστερό και στον δεξιό βραχίονα του οδηγού. Το Zephyr Bioharness 3 τοποθετείται, αφού το βρέξει, επάνω στο στήθος του, σε άμεση επαφή με το δέρμα του. Η πλατφόρμα που ελέγχει τις περιβαλλοντικές παραμέτρους τοποθετείται στο πίσω κάθισμα του αυτοκινήτου, ακριβώς πίσω από τον πειραματιστή, για να βεβαιωθεί ότι η συλλογή δεδομένων γίνεται σωστά. Δύο GoPro που καταγράφουν τις εσωτερικές και τις εξωτερικές σκηνές τοποθετούνται στο παρμπρίζ του αυτοκινήτου. Συνολικά, πραγματοποιήθηκαν 14 πειράματα οδήγησης από 10 συμμετέχοντες: 5 γυναίκες και 5 άνδρες. Εκτός από έναν συμμετέχοντα (με ηλικία 59 ετών), η ηλικία των υπολοίπων κυμαινόταν μεταξύ 24 και 34 ετών. Όλοι τους είχαν έγκυρη άδεια οδήγησης και η εμπειρία τους στην οδήγηση κυμαινόταν από 5 έως 37 χρόνια. Το πείραμα αποτελείται από ένα σύνολο διαδρομών που καλύπτουν 31χλμ. Σε καθημερινή κανονική κυκλοφορία, ολόκληρο το πείραμα διαρκεί περίπου 1 ώρα και 26 λεπτά με 30 λεπτά περιόδους ανάπαυσης. Το πείραμα ξεκινά με 15 λεπτά ξεκούρασης στο πάρκινγκ. Ο οδηγός κάθεται στο αυτοκίνητό του, κλείνοντας τα μάτια του/της και η μηχανή του αυτοκινήτου λειτουργεί. Μετά από την περίοδο ανάπαυσης, ο συμμετέχων φεύγει από το πάρκινγκ και περνά διάφορους δρόμους. Η οδήγηση σε αυτήν την περιοχή θεωρείται ότι προκαλεί υψηλό επίπεδο πίεσης λόγω των στενών δρόμων, των δύο κόκκινων φαναριών, των πολλών οχημάτων, των πεζών, των μοτοσυκλετών και των ποδηλάτων. Ακολουθώντας την έξοδο της λεωφόρου, ο οδηγός βγαίνει σε μεγάλη διαδρομή κοντά σε αυτοκινητόδρομο. Ξοδεύει περίπου 8 λεπτά σε μια ομαλή διαδρομή που έχει σχεδιαστεί για να παρέχει συνεχή οδήγηση. Στη συνέχεια, ο

οδηγός φτάνει σε έναν κυκλικό κόμβο πριν ξεκινήσει πάλι οδήγηση περίπου 10 λεπτών μέσα στην πόλη. Αυτή η διαδρομή χαρακτηρίζεται από πολλά σταθμευμένα οχήματα μπροστά από εστιατόρια και καταστήματα και δεν υπάρχουν φανάρια. Ο οδηγός φτάνει στον πρώτο κυκλικό κόμβο όπου παίρνει την ίδια διαδρομή για να επιστρέψει στο σημείο εκκίνησης που είναι το πάρκινγκ. Κατά τη διάρκεια κάθε οδήγησης, ο πειραματιστής βρισκόταν στο πίσω κάθισμα και σημειώνει το άγχος, αξιολογώντας την πολυπλοκότητα της σκηνής οδήγησης και του φόρτου εργασίας. Το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι ένα σήμα που κυμαίνεται από 0 (χωρίς άγχος) έως 1 (εξαιρετικά αγχωτικό). Επειδή η μέτρηση του άγχους είναι υποκειμενική και εξαρτάται από την αντίληψη του πειραματιστή, προτείνεται ένα πρωτόκολλο επικύρωσης. Μετά από κάθε οδήγηση, ο οδηγός έπρεπε να επικυρώσει αυτή τη μέτρηση άγχους η οποία εξομαλύνθηκε χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο Hanning με παράθυρο διάρκειας 100 δευτερολέπτων.

## **4.2. Πειραματική μεθοδολογία για ανίχνευση κόπωσης**

Σύστημα ανίχνευσης κόπωσης χρησιμοποιεί αλγόριθμο ανίχνευσης κόπωσης που βασίζεται στην ανάλυση εκφράσεων προσώπου. Εντοπίζει με ακρίβεια τα μάτια και το στόμα της εικόνας προσώπου του οδηγού έτσι ώστε να εξάγει τις παραμέτρους κατάστασης των ματιών και του στόματος και στη συνέχεια υπολογίζει το PERCLOS και τη συχνότητα χασμουρητού για να περιγράψει την κόπωση του οδηγού. Τα πειραματικά δεδομένα προέρχονται από 400 εργαστήρια που προσομοίωσαν το περιβάλλον οδήγησης (κανονική, ελαφριά κόπωση, έντονη κόπωση) σε διαφορετικές καταστάσεις. Τα δεδομένα προέρχονται από τη βάση Fddb. Κάθε βίντεο διαρκεί 10 λεπτά και έχει ανάλυση 640 × 480. Το σύνολο δεδομένων περιέχει διαφορετικές περιπτώσεις (οδηγοί διαφορετικών ηλικιών και διαφορετικές συνθήκες φωτισμού). Μεταξύ αυτών, 200 βίντεο χρησιμοποιούνται για την ανάλυση του κατωφλίου PERCLOS των ματιών και του στόματος σε τρεις καταστάσεις και τα υπόλοιπα 200 βίντεο χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή της ακρίβειας του ασαφούς συστήματος προσδιορισμού κόπωσης. Οι τρεις διακριτές καταστάσεις των ματιών και του στόματος είναι: χαμηλή συχνότητα, ενδιάμεση συχνότητα και υψηλή συχνότητα. Το σύστημα προσδιορίζει τρία επίπεδα καταστάσεων κόπωσης: φυσιολογικό (T1), μικρή

κόπωση (T2) και σοβαρή κόπωση (T3) (Liu et al., 2020). Τα 200 από τα 400 βίντεο χρησιμοποιήθηκαν από το FIS για να ανιχνεύσει την κατάσταση κόπωσης. Το σύνολο δεδομένων περιέχει 57 βίντεο όπου έχει καταγραφεί φυσιολογική κόπωση, 94 βίντεο όπου έχει καταγραφεί μικρή κόπωση και 49 βίντεο με έντονη κόπωση.

Οι Tsai et al. (2020) προτείνουν σύστημα ανίχνευσης κόπωσης που βασίζεται σε στην μέτρηση του PPG με οπτικές μεθόδους χωρίς να παρεμβαίνουν στον οδηγό κατά την οδήγηση. Στο πείραμα συμμετείχαν 32 άτομα ηλικίας 20 - 50 ετών. Από τα 32 άτομα τα 12 ήταν άνδρες και τα 20 γυναίκες. Οι συμμετέχοντες έχουν άδεια οδήγησης και τους ζητήθηκε να συνεργαστούν με τους περιορισμούς των κλινικών δοκιμών. Όλοι οι συμμετέχοντες έδωσαν τη συγκατάθεσή τους πριν από τη συμμετοχή τους στο πείραμα. Οι συμμετέχοντες δεν έπασχαν από σοβαρές ασθένειες όπως άπνοια ύπνου, δεν είχαν ιατρικό ιστορικό, δεν έκαναν χρήση ψυχοτρόπων φαρμάκων, καπνού και αλκοόλ και δεν είχαν εθισμό στα ναρκωτικά. Στους συμμετέχοντες ζητήθηκε να ακολουθήσουν τους παρακάτω κανόνες:

- Να μην καταναλώσουν ποτά και αλκοολούχα τρόφιμα 24 ώρες πριν από το πείραμα.
- Τα ποτά με καφεΐνη όπως το τσάι ή ο καφές απαγορεύονταν για 4 ώρες πριν από το πείραμα.
- Ήταν υποχρεωμένοι να ολοκληρώσουν το γεύμα τους 1 ώρα πριν το πείραμα.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε προσομοιωμένο περιβάλλον. Ο πειραματικός χώρος τοποθετήθηκε σε εσωτερικούς χώρους με αρκετό φως για να αποφευχθούν παρεμβολές από το εξωτερικό περιβάλλον και το φως του περιβάλλοντος, Η συνολική διάρκεια του πειράματος για κάθε άτομο ήταν δύο εβδομάδες. Οι συμμετέχοντες θα έπρεπε να έχουν κοιμηθεί για περισσότερες από οκτώ ώρες πριν από το πείραμα για την εξασφάλιση επαρκούς ύπνου την πρώτη εβδομάδα. Στη δεύτερη εβδομάδα του πειραματισμού στέρησης ύπνου, οι συμμετέχοντες μείωσαν τον χρόνο ύπνου τους κατά τέσσερις ώρες σε σύγκριση την προηγούμενη εβδομάδα, έτσι ώστε να είναι κουρασμένοι κατά τη διάρκεια του πειράματος. Την ημέρα του πειράματος, κάθε άτομο συμπλήρωσε τα ερωτηματολόγια SOFI και FAS σε 5 λεπτά πριν ξεκινήσει το πείραμα οδήγησης. Ο οδηγός θα διαρκούσε για 60 λεπτά το πρωί και το απόγευμα. Κατά την οδήγηση, τα άτομα κλήθηκαν να εκτελούν την



έρευνα ερωτηματολογίου VAS κάθε 10 λεπτά για να επιβεβαιώνουν την κατάσταση κόπωσης. Μετά την εκτέλεση του πειράματος το πρωί, οι συμμετέχοντες είχαν ένα διάλειμμα 60 λεπτών. Ζητήθηκε από τα άτομα να μην αποκοιμηθούν κατά τη διάρκεια του διαλείμματος.

Οι Savas and Becerikli (2020) προτείνουν ένα σύστημα ανίχνευσης κόπωσης βασισμένο σε συνελεκτικό νευρωνικό δίκτυο (ConNN). Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την βάση δεδομένων σχετικά με την ανίχνευση χασμουρητού (YawDD). Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δύο σύνολα δεδομένων (βίντεο). Στο πρώτο σύνολο δεδομένων, μια κάμερα τοποθετήθηκε κάτω από τον μπροστινό καθρέφτη του αυτοκινήτου. Κάθε βίντεο είχε διαφορετικές συνθήκες στόματος όπως κανονική ομιλία / τραγούδι και τέντωμα. Σε αυτό το σύνολο δεδομένων, υπάρχουν 322 βίντεο από οδηγούς διαφορετικών εθνοτήτων, διαφορετικών φύλων (γυναίκες και άνδρες), με ή χωρίς γυαλιά ηλίου. Στο δεύτερο σύνολο δεδομένων, η κάμερα είναι εγκατεστημένη στο οπτικό πεδίο του οδηγού. Σε αυτό το σύνολο δεδομένων υπάρχουν 29 βίντεο από οδηγούς διαφορετικών εθνοτήτων, διαφορετικών φύλων (γυναίκες και άνδρες), με ή χωρίς γυαλιά ηλίου. Εκτός από τα παραπάνω δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν και δεδομένα από την βάση δεδομένων NTHU-DDD. Κάθε καρέ στο βίντεο φέρει την ένδειξη "κόπωση" ή "όχι κόπωση". Τα σύνολα δεδομένων χρησιμοποιούνται για εκπαίδευση (training dataset), επικύρωση (validation dataset) και έλεγχο (test dataset). Οι λήψεις από τα βίντεο είναι την ημέρα και τη νύχτα. Συγκεκριμένα γίνεται χρήση της βιβλιοθήκης Dlib (βιβλιοθήκη της C++) για να ανιχνευθούν το πρόσωπο, το στόμα και η περιοχή των ματιών. Όταν το στόμα ή τα μάτια είναι ανοιχτά μαρκάρονται με την ένδειξη ανοιχτά (ένδειξη "1") ενώ όταν το στόμα ή τα μάτια είναι κλειστά μαρκάρονται με την ένδειξη κλειστά (ένδειξη "0"). Το σύστημα εκπαιδεύεται με το μοντέλο multi-task ConNN για να καθοριστούν οι παράμετροι της κόπωσης, οι οποίες είναι το PERCLOS και η συχνότητα του στόματος (FOM).

Οι Balasundaram et al. (2020) προτείνουν ένα σύστημα για τον προσδιορισμό της κόπωσης του ατόμου χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του προσώπου. Τα ειδικά χαρακτηριστικά των ματιών εξάγονται και υπολογίζεται το EAR. Σε αυτό το πείραμα, το όριο EAR ορίστηκε ως 55% (0,55). Όταν η τιμή EAR σε οποιαδήποτε στιγμή είναι πάνω από 0,55, θεωρείται

ότι το άτομο είναι ενεργό. Ωστόσο, όταν η τιμή EAR πέσει κάτω από 0,55, θεωρείται ότι το άτομο είναι κουρασμένο και το σύστημα ενεργοποιεί αυτόματα μια ειδοποίηση για να ενημερώσει το άτομο για την κούρασή του. Όταν κατά την εκτέλεση του πειράματος τα μάτια είναι ορθάνοιχτα τότε το άτομο είναι ενεργό ενώ όταν τα μάτια είναι κλειστά για ένα χρονικό διάστημα τότε το άτομο είναι κουρασμένο και δημιουργείται μια αυτοματοποιημένη ειδοποίηση για αυτό το σενάριο. Επιπλέον το παραπάνω πείραμα δοκιμάστηκε επίσης σε δύσκολα σενάρια όπως όταν ένα άτομο που φοράει γυαλιά. Αποδείχθηκε ότι στην περίπτωση όπου το μάτι ενός ατόμου είναι κλειστό ενώ φοράει γυαλιά, το πείραμα παρήγαγε αυτοματοποιημένη ειδοποίηση ακαριαία.

Οι Sun et al. (2020) προτείνουν ένα σύστημα ανίχνευσης κόπωσης οδηγού βασισμένο σε σύντηξη χαρακτηριστικών ματιών που προέρχονται από έγχρωμες και υπέρυθρες λήψεις. Μέσα στο όχημα δοκιμής υπάρχει η διόφθαλμη κάμερα που περιέχει έναν έγχρωμο φακό και έναν υπέρυθρο φακό. Πριν από την εκπαίδευση του μοντέλου, καταγράφονται τα βίντεο στο όχημα δοκιμής. Τόσο τα έγχρωμα όσο και τα υπέρυθρα κανάλια καταγράφονται ταυτόχρονα. Οι οδηγοί που συμμετέχουν σε αυτό το πείραμα είναι όλοι Κινέζοι με αρκετή εμπειρία οδήγησης. Τέσσερις άνδρες και τέσσερις γυναίκες οδηγοί συμμετέχουν στο πείραμα ως εθελοντές, πέντε εκ των οποίων φορούν γυαλιά. Προκειμένου να ληφθεί το σύνολο δεδομένων με συμπτώματα κόπωσης, ζητήθηκε από τους οδηγούς να παραμείνουν ξύπνιοι για περισσότερες από 15 ώρες και να οδηγήσουν το όχημα από και προς μια περιοχή με λιγότερη κίνηση. Οι εκφράσεις του προσώπου των οδηγών καταγράφηκαν σε βίντεο. Στη συνέχεια έγινε επεξεργασία και συγχώνευση των βίντεο κλιπ με απόδοση κόπωσης μέσω χειροκίνητου φιλτραρίσματος. Προκειμένου να βελτιωθεί η ευρωστία του μοντέλου, τα δείγματα λήφθηκαν σε διαφορετικές ώρες της ημέρας. Όλα τα δείγματα τοποθετήθηκαν στο μοντέλο για εκπαίδευση αλλά όχι σε πραγματικό χρόνο. Μετά την επεξεργασία του συνόλου δοκιμής από το μοντέλο, το αποτέλεσμα συγκρίθηκε με το αποτέλεσμα που σχολιάστηκε χειροκίνητα.

Οι Zhang et al. (2018) προτείνουν ένα αυτόνομο φορητό σύστημα ανίχνευσης κόπωσης σε ένα έξυπνο ρολόι. Η διεξαγωγή του πειράματος γίνεται σε προσομοίωση οδήγησης σε εσωτερικό περιβάλλον. Το έξυπνο ρολόι που χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το πείραμα είναι το

Huawei Watch 2. Το λογισμικό προσομοίωσης οδήγησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Euro Truck Simulator 2. Το τιμόνι είναι Logitech Driving Force Pro. Τοποθετείται μια κάμερα για την παρακολούθηση του προσώπου και της οδηγικής συμπεριφοράς του οδηγού, η οποία χρησιμεύει ως η βασική αλήθεια του επιπέδου κόπωσης του οδηγού. Ο οδηγός καλείται να οδηγήσει από τις 13:00 έως τις 17:00 για πέντε συνεχόμενες ημέρες. Ο οδηγός καλείται να εξοικειωθεί με το εργαλείο προσομοίωσης οδήγησης και να υπακούσει στους κανόνες οδικής κυκλοφορίας, όπως ο περιορισμός ταχύτητας, ο περιορισμός λωρίδας κυκλοφορίας και το φανάρι. Κατά την διάρκεια της οδήγησης ένας εκπαιδευμένος χρήστης κάθεται δίπλα στον οδηγό και καταγράφει τη φυσική κατάσταση του οδηγού. Μετά την ολοκλήρωση της συλλογής των δεδομένων, τρεις εκπαιδευμένοι χρήστες κρίνουν το επίπεδο κόπωσης του οδηγού με βάση το καταγεγραμμένο βίντεο και τα δευτερεύοντα στοιχεία. Στο πείραμα συμμετέχουν τρεις άνδρες και μία γυναίκα. Σε κάθε συμμετέχοντα παρέχεται ένα έξυπνο ρολόι με εγκατεστημένες βασικές εφαρμογές για την καταγραφή των δεδομένων των αισθητήρων κίνησης και του αισθητήρα καρδιακού ρυθμού. Στο πείραμα εκτελούνται δύο διαφορετικά σενάρια οδήγησης. Στο πρώτο σενάριο ζητήθηκε από μία γυναίκα οδηγό και έναν άνδρα οδηγό να οδηγήσουν σε πόλη και εθνική οδό αντίστοιχα χρησιμοποιώντας το εργαλείο προσομοίωσης οδήγησης. Ο άνδρας και η γυναίκα κλήθηκαν να οδηγήσουν 15 λεπτά στον αυτοκινητόδρομο και 15 λεπτά στην πόλη. Το συγκεκριμένο σενάριο εκτελέστηκε για να αξιολογηθεί αν οι αισθητήρες κίνησης “αντανακλούν” την κατάσταση του δρόμου. Στο δεύτερο σενάριο ζητήθηκε από έναν άνδρα οδηγό να οδηγήσει στην πόλη και στην εθνική οδό. Το συγκεκριμένο σενάριο εκτελέστηκε για να αξιολογηθεί αν τα χαρακτηριστικά καρδιακού παλμού αντανακλούν” την κατάσταση του δρόμου. Το αποτέλεσμα αποδεικνύει ότι η μέση τιμή καρδιάς στην πόλη είναι μεγαλύτερη από αυτή του αυτοκινητόδρομου.

Οι Min et. al (2017) προτείνουν ένα σύστημα ανίχνευσης κόπωσης που βασίζεται σε EEG. Στο πείραμα συμμετέχουν δώδεκα νέοι, υγιείς άνδρες, των οποίων οι ηλικίες κυμαίνονταν από  $19 \pm 24$  ετών και η οδήγηση γίνεται σε αυτοκινητόδρομο σε περιβάλλον προσομοιωτή. Στους συμμετέχοντες ζητήθηκε να απέχουν από κάθε είδους φάρμακο και ουσίες, όπως το αλκοόλ ή καφέ, κατά τη διάρκεια του πειράματος. Οι συμμετέχοντες ήταν ικανά άτομα και

είχαν φυσιολογική ώρα για ύπνο. Πριν από το πείραμα, οι συμμετέχοντες εξασκήθηκαν στην οδήγηση για 5 λεπτά ώστε να εξοικειωθούν με τις πειραματικές διαδικασίες. Όλες οι πειραματικές διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν με στατικό προσομοιωτή οδήγησης σε ελεγχόμενο εργαστηριακό περιβάλλον. Εκτός από το στατικό προσομοιωτή οδήγησης στο πείραμα υπήρχε και μια ευρεία οθόνη που αποτελείται από τρεις οθόνες 24 ιντσών. Το περιβάλλον οδήγησης που επιλέχθηκε ήταν ένας αυτοκινητόδρομος με χαμηλή πυκνότητα κυκλοφορίας. Η οδήγηση ξεκίνησε στις 9 π.μ. Μετά από 5 λεπτά εξάσκησης, σε κάθε άτομο δόθηκαν 10 λεπτά μακριά από τον προσομοιωτή. Στη συνέχεια, οι συμμετέχοντες ξεκίνησαν περίπου  $1 \pm 2$  ώρες οδήγησης. Κάθε συμμετέχοντας έχει δώσει γραπτή συγκατάθεση (έντυπο συγκατάθεσης PLOS) για τη δημοσίευση των στοιχείων του πειράματος. Για την επικύρωση της εμφάνισης κόπωσης οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο κόπωσης που περιλαμβάνει την κλίμακα κόπωσης Chalder και την υποκειμενική κλίμακα κόπωσης του Li. Το ερωτηματολόγιο περιελάμβανε 24 ερωτήσεις, συμπεριλαμβανομένων “Έχετε προβλήματα με την κούραση;”, “Χρειάζεστε να ξεκουραστείτε περισσότερο;”, “Δυσκολεύεστε να συγκεντρωθείτε;”, “Αισθάνεστε θολή όραση;”, “Αισθάνεστε ότι δεν ανταποκρίνεστε;” Και “Αισθάνεστε να αλλάζει η ταχύτητα οδήγησης συχνά;”. Κάθε ερώτηση είχε τέσσερις επιλογές που βαθμολογήθηκαν σε μια κλίμακα τεσσάρων βαθμών (-1, 0, 1, 2), όπου το -1 σημαίνει καλύτερο από το συνηθισμένο, όχι καλύτερο από το συνηθισμένο (0), χειρότερο από το συνηθισμένο (1) και πολύ χειρότερο από το συνηθισμένο (2). Το υψηλό σκορ κόπωσης σηματοδεί υψηλό επίπεδο κόπωσης στην οδήγηση.

## **5. Συμπεράσματα και Μελλοντική έρευνα**

### **5.1. Συμπεράσματα**

Η εμπειρία του οδηγού είναι ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη στα συστήματα ανίχνευσης άγχους. Παραδόξως, ακόμη και η ηλικία, η οποία σχετίζεται με τα χρόνια εμπειρίας, δεν συσχετίζεται σημαντικά με τις φυσιολογικές μετρήσεις. Αυτό υποδηλώνει ότι, αν και η καρδιακή ανταπόκριση είναι γνωστό ότι μειώνεται με την ηλικία, οι πιο έμπειροι οδηγοί (όχι απαραίτητα τα μεγαλύτερα) έχουν λιγότερη καρδιακή ανταπόκριση σε στρεσογόνα γεγονότα. Αυτή η διαπίστωση μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι οι έμπειροι εργαζόμενοι έχουν αναπτύξει προστατευτικούς μηχανισμούς έναντι των επιβλαβών επιπτώσεων του άγχους για την προστασία της ψυχικής τους υγείας. Στους προσομοιωτές οδήγησης οι καταστάσεις άγχους μπορούν να αναπαραχθούν και να ελεγχθούν. Από την άλλη οι πραγματικές συνθήκες οδήγησης δεν μπορούν να ελεγχθούν και να προβλεφθούν. Ωστόσο, τα πειράματα που εκτελούνται σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας έχουν αρκετούς περιορισμούς, όπως η απόκτηση δεδομένων και ζητήματα που εξαρτώνται από τον οδηγό.

Για να επιτευχθεί πιο αξιόπιστη ανίχνευση της κατάστασης του οδηγού, είναι προτιμότερο να η ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων ανίχνευσης άγχους και κόπωσης λαμβάνοντας υπόψη τη συμπεριφορά του οχήματος, τα φυσιολογικά μέτρα και τους δείκτες που βασίζονται στην εικόνα. Όσο περισσότερα βιοσήματα (άρα περισσότεροι δείκτες στρες) συνδυάζονται, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα επιτυχούς ανίχνευσης του επιπέδου άγχους.

### **5.2. Μελλοντική έρευνα**

Για τη διαχείριση του άγχους στην οδήγηση, θα μπορούσε να ενεργοποιούνται διάφορες υπηρεσίες από το όχημα. Αυτές οι υπηρεσίες θα παρότρυναν τον οδηγό να κάνει ενέργειες που θα τον χαλαρώσουν. Εάν ανιχνευτούν υψηλά ποσοστά άγχους ή κόπωσης, μια υπηρεσία θα μπορούσε να προσπαθήσει να μειώσει το άγχος προτείνοντας διάφορες

επιλογές, όπως προτροπή για ένα σύντομο διάλειμμα για καφέ παρέχοντας πληροφορίες για τα πλησιέστερα μαγαζιά ή παρέχοντας μουσική χαλάρωσης. Ωστόσο, επειδή η συναισθηματική κατάσταση ενός οδηγού επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, απαιτείται ανάλυση όλων των σχετικών παραγόντων ώστε να σχεδιαστεί καλά και να αναπτυχθεί ένα αποτελεσματικό σύστημα μετριασμού του στρες (stress mitigation system). Όσον αφορά τα συστήματα ανίχνευσης κόπωσης θα πρέπει να δοθεί έμφαση στην περίπτωση που ο οδηγός φοράει γυαλιά.

Θα πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη προσοχή στα συστήματα προειδοποίησης και βοήθειας. Είναι επιτακτική η ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων εντός του οχήματος χρησιμοποιώντας φυσιολογικά μέτρα, για παράδειγμα, διαχείριση συναισθημάτων οδηγών και διεπαφές ανθρώπου-υπολογιστή (HCI). Η τεχνική HCI μπορεί να ερμηνεύσει έξυπνα την ψυχική και συναισθηματική κατάσταση των οδηγών και να βοηθήσει τους οδηγούς να διαχειριστούν καλύτερα την αρνητική κατάσταση οδήγησης. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια οδικών συνθηκών υψηλής πίεσης, το σύστημα αναπαραγωγής μουσικής εντός του οχήματος θα μπορούσε να μειώσει αυτόματα την ένταση και να μεταβεί σε ένα πιο χαλαρωτικό κομμάτι μουσικής έτσι ώστε να βοηθήσει τον οδηγό να απαλλαγεί από την ένταση. Αλλά συστήματα όπως το ραδιόφωνο και η φωνητική πλοήγηση, θα μπορούσαν επίσης να προσαρμόσουν τον τρόπο λειτουργίας για να δημιουργήσουν ένα καλύτερο περιβάλλον μέσα στο αυτοκίνητο. Επιπλέον, με βάση τη συνεχή αξιολόγηση της κατάστασης των οδηγών κατά τη διάρκεια της καθημερινής μετακίνησης, οι πολεοδόμοι θα μπορούσαν να βελτιστοποιήσουν τη διαχείριση της διάταξης των δρόμων, ειδικά σε σημεία που αποδεδειγμένα προκαλούν μεγάλη πίεση και κόπωση στον οδηγό.

Επιπλέον θα μπορούσε να γίνει έρευνα για συγκεκριμένες κατηγορίες οδηγών πχ επαγγελματίες οδηγοί που μετακινούνται με φορτηγά και ταξιδεύουν πολλές ώρες, διανομείς που μετακινούνται με επαγγελματικά οχήματα, οδηγοί σε σχολικά λεωφορεία, οδηγοί ταξί κτλ.

## Βιβλιογραφία

Ακολουθούν οι βιβλιογραφικές αναφορές (πηγές) της Εργασίας.

Abbas, Q., & Alsheddy, A. (2020). Driver fatigue detection systems using multi-sensors, smartphone, and cloud-based computing platforms: A comparative analysis.

*Sensors*, 21(1), 56. <https://doi.org/10.3390/s21010056>

Al-Rakhami, M. S., Gumaiei, A., Hassan, M. M., Alamri, A., Alhussein, M., Razzaque, Md. A., & Fortino, G. (2021). A deep learning-based edge-fog-cloud framework for driving behavior management. *Computers & Electrical Engineering*, 96, 107573. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107573>

Balasundaram, A., Ashokkumar, S., Kothandaraman, D., kora, S., Sudarshan, E., & Harshaverdhan, A. (2020). Computer vision based fatigue detection using facial parameters. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 981(2), 022005. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/981/2/022005>

Brown, T. G., Ouimet, M. C., Eldeb, M., Tremblay, J., Vingilis, E., Nadeau, L., Pruessner, J., & Bechara, A. (2016). Personality, executive control, and neurobiological characteristics associated with different forms of risky driving. *PLOS ONE*, 11(2), e0150227. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150227>

Chen, L., Zhao, Y., Ye, P., Zhang, J., & Zou, J. (2017). Detecting driving stress in physiological signals based on multimodal feature analysis and kernel classifiers.

*Expert Systems with Applications*, 85, 279–291.

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.01.040>

Chung, W.-Y., Chong, T.-W., & Lee, B.-G. (2019). Methods to detect and reduce driver stress: A review. *International Journal of Automotive Technology*, 20(5), 1051–1063. <https://doi.org/10.1007/s12239-019-0099-3>

Guerrero-Ibáñez, J., Zeadally, S., & Contreras-Castillo, J. (2018). Sensor technologies for intelligent transportation systems. *Sensors*, 18(4), 1212.

<https://doi.org/10.3390/s18041212>

Haouij, N. E., Poggi, J.-M., Sevestre-Ghalila, S., Ghozi, R., & Jaïdane, M. (2018, April 9). AffectiveROAD system and database to assess driver's attention. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on Applied Computing*.

<http://dx.doi.org/10.1145/3167132.3167395>

Hendra, M., Kurniawan, D., Vina Chrismiantari, R., Pambudi Utomo, T., & Nuryani, N. (2019). Drowsiness detection using heart rate variability analysis based on microcontroller unit. *Journal of Physics: Conference Series*, 1153, 012047.

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1153/1/012047>

Keshan, N., Parimi, P. V., & Bichindaritz, I. (2015, October). Machine learning for stress detection from ECG signals in automobile drivers. *2015 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*.

<http://dx.doi.org/10.1109/bigdata.2015.7364066>



- Kim, J., Park, J., & Park, J. (2020). Development of a statistical model to classify driving stress levels using galvanic skin responses. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 30(5), 321–328.  
<https://doi.org/10.1002/hfm.20843>
- Liu, Z., Peng, Y., & Hu, W. (2020). Driver fatigue detection based on deeply-learned facial expression representation. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 71, 102723. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2019.102723>
- Ma, Z., Li, B. C., & Yan, Z. (2016, January). Wearable driver drowsiness detection using electrooculography signal. *2016 IEEE Topical Conference on Wireless Sensors and Sensor Networks (WiSNet)*. <http://dx.doi.org/10.1109/wisnet.2016.7444317>
- Manna, A. (2022). Driver Drowsiness and Fatigue Detection System : A Review. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 7(3).
- Min, J., Wang, P., & Hu, J. (2017). Driver fatigue detection through multiple entropy fusion analysis in an EEG-based system. *PLOS ONE*, 12(12), e0188756.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188756>
- Mou, L., Zhou, C., Zhao, P., Nakisa, B., Rastgoo, M. N., Jain, R., & Gao, W. (2021). Driver stress detection via multimodal fusion using attention-based CNN-LSTM. *Expert Systems with Applications*, 173, 114693.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114693>

N Rathan, N Vinodhini, & A Venkatesh. (n.d.). *A SMART WEARABLE SENSOR DEVICE FOR DETECTING COGNITIVE STRESS TO AVOID ACCIDENTS.*

Nemcova, A., Svozilova, V., Bucshazy, K., Smisek, R., Mezl, M., Hesko, B., Belak, M., Bilik, M., Maxera, P., Seidl, M., Dominik, T., Semela, M., Sucha, M., & Kolar, R. (2021). Multimodal features for detection of driver stress and fatigue: Review. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(6), 3214–3233.  
<https://doi.org/10.1109/tits.2020.2977762>

Rastgoo, M. N., Nakisa, B., Maire, F., Rakotonirainy, A., & Chandran, V. (2019). Automatic driver stress level classification using multimodal deep learning. *Expert Systems with Applications*, 138, 112793.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.07.010>

Rodrigues, J. G. P., Kaiseler, M., Aguiar, A., Silva Cunha, J. P., & Barros, J. (2015). A mobile sensing approach to stress detection and memory activation for public bus drivers. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(6), 3294–3303. <https://doi.org/10.1109/tits.2015.2445314>

Savas, B. K., & Becerikli, Y. (2020). Real time driver fatigue detection system based on multi-task connn. *IEEE Access*, 8, 12491–12498.  
<https://doi.org/10.1109/access.2020.2963960>

- Selvi R, S. (2020). Stress Monitoring System using Sensors for Drivers. *Bioscience Biotechnology Research Communications*, 13(13), 317–322.  
<https://doi.org/10.21786/bbrc/13.13/48>
- Sikander, G., & Anwar, S. (2019). Driver fatigue detection systems: A review. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(6), 2339–2352.  
<https://doi.org/10.1109/tits.2018.2868499>
- Singh, R. R., Conjeti, S., & Banerjee, R. (2013). A comparative evaluation of neural network classifiers for stress level analysis of automotive drivers using physiological signals. *Biomedical Signal Processing and Control*, 8(6), 740–754.  
<https://doi.org/10.1016/j.bspc.2013.06.014>
- Subbiah, N. (2019, February 1). *IoT based wearable device monitoring driver's stress, fatigue and drowsiness*. Unknown.  
[https://www.researchgate.net/publication/360878146\\_IoT\\_Based\\_Wearable\\_Device\\_Monitoring\\_Driver's\\_Stress\\_Fatigue\\_and\\_Drowsiness](https://www.researchgate.net/publication/360878146_IoT_Based_Wearable_Device_Monitoring_Driver's_Stress_Fatigue_and_Drowsiness)
- Sun, Y., Yan, P., Li, Z., Zou, J., & Hong, D. (2020). Driver fatigue detection system based on colored and infrared eye features fusion. *Computers, Materials & Continua*, 63(3), 1563–1574. <https://doi.org/10.32604/cmc.2020.09763>
- Tsai, Y.-C., Lai, P.-W., Huang, P.-W., Lin, T.-M., & Wu, B.-F. (2020). Vision-Based instant measurement system for driver fatigue monitoring. *IEEE Access*, 8, 67342–67353. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2986234>

Μαρία Μπαρμποπούλου, Επισκόπηση συστημάτων κινητού και διάχυτου υπολογισμού για την παρακολούθηση του άγχους και την ανίχνευση της κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή μεθοδολογίας αντίστοιχων πειραματικών μελετών

Zhang, S., He, H., Wang, Z., Gao, M., & Mao, J. (2018). Low-Power listen based driver drowsiness detection system using Smartwatch. In *Cloud Computing and Security* (pp. 453–464). Springer International Publishing. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-00018-9\\_40](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-00018-9_40)

Zontone, P., Affanni, A., Bernardini, R., Piras, A., & Rinaldo, R. (2019, September). Stress detection through electrodermal activity (EDA) and electrocardiogram (ECG) analysis in car drivers. *2019 27th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*. <http://dx.doi.org/10.23919/eusipco.2019.8902631>

Καρύκας, Π. (2020). ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ INTERNET OF THINGS. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Μπαμπάτσικου, Ρ. (2020). Internet of Things: Τεχνολογίες, Πρωτόκολλα και Εφαρμογές. Πανεπιστήμιο Πάτρας.

E4 Wristband. (2019). Retrieved from: <https://www.empatica.com/research/e4/>

Toyota Safety System (2023) Retrieved from <https://www.toyota.gr/discover-toyota/safety>



*Μαρία Μπαρμποπούλου, Επισκόπηση συστημάτων κινητού και  
διάχυτου υπολογισμού για την παρακολούθηση του άγχους και την  
ανίχνευση της κόπωσης των οδηγών αυτοκινήτων και κατασκευή  
μεθοδολογίας αντίστοιχων πειραματικών μελετών*

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.