



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΞΥΠΙΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ ΟΔΗΓΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αγγελική Ν. Κυριλλοπούλου

Επιβλέπων: Ευάγγελος Β. Χριστοφόρου
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάιος 2019



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΞΥΠΙΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ ΟΔΗΓΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κυριλλοπούλου Ν. Αγγελική

Επιβλέπων: Ευάγγελος Β. Χριστοφόρου
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 27^η Μαΐου 2019.

.....
Ευάγγελος Χριστοφόρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Κιαμάλ Πεκμεστζή
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2019

.....

Αγγελική Ν. Κυριλλοπούλου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών

Copyright © Αγγελική Κυριλλοπούλου, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Πρόλογος

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε κατά το Ακαδημαϊκό Έτος 2018-2019 στον Τομέα Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Ηλεκτρονικών Αισθητηρίων.

Υπεύθυνος για την διπλωματική εργασία ήταν ο Καθηγητής κ. Ευάγγελος Χριστοφόρου, τον οποίο οφείλω να ευχαριστήσω θερμά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εν λόγω εργασίας, καθώς και για την καθοδήγηση και τον χρόνο που μου παρείχε από την αρχή έως το τέλος. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους καθηγητές κ. Π. Τσαραμπάρη και κ. Κ. Πεκμεστζή, θεωρώντας ιδιαίτερη τιμή μου την συμμετοχή τους στην επιτροπή εξέτασης της παρούσας διπλωματικής.

Φυσικά, η διεκπεραίωση της εργασίας αυτής θα ήταν αδύνατον να ολοκληρωθεί χωρίς την καθοριστική συμβολή του υποψήφιου διδάκτορα Αγγελόπουλου Σπύρου, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την άψογη συνεργασία και τη συνεχή επικοινωνία που είχαμε, όπως επίσης και για τον χρόνο που αφιέρωσε ο ίδιος ώστε να επιτευχθεί το παρόν άρτιο αποτέλεσμα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου Ελπίδα, Ξένια, Μάριο και Γιώργο για την βοήθεια που μου παρείχαν κατά την διάρκεια των τελικών σταδίων της διπλωματικής, όπου δοκιμάστηκε η τελική διάταξη.

Ο σκοπός της διπλωματικής είναι να προτείνει ένα εύχρηστο και προσιτό σύστημα ανίχνευσης κόπωσης σε οδηγούς οχημάτων, έτσι ώστε να αποτρέπονται πιθανά ατυχήματα που οφείλονται σε αυτήν. Εύχομαι η δουλειά αυτή και τα αποτελέσματά της να συμβάλουν στον σκοπό αυτό.

Αθήνα, Μάιος 2019, Αγγελική Κυριλλοπούλου

Περίληψη

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει υπάρξει ραγδαία αύξηση των τεχνολογικών επιτευγμάτων. Η τεχνολογία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη πλέον με τις ζωές των ανθρώπων, με την υπόσχεση ότι θα βελτιώσει την ποιότητα ζωής τους. Σε μια κοινωνία όπου οι ρυθμοί της ζωής αυξάνονται ολοένα και περισσότερο, ο καθένας αναζητά ποιοτικές λύσεις ώστε να διευκολύνει την καθημερινότητά του και να αναβαθμίσει τον τρόπο διαβίωσής του.

Αναπόσπαστο βέβαια κομμάτι της καθημερινότητας του ανθρώπου αποτελεί πλέον το αυτοκίνητο. Παρά την ανάπτυξη των μέσων μαζικής μεταφοράς, η μετακίνηση με το προσωπικό όχημα του κάθε ατόμου δεν μπορεί να αντικατασταθεί εύκολα. Τα τελευταία χρόνια όμως, μαζί με την κατακόρυφη άνοδο του αριθμού των οχημάτων, εντοπίστηκε και σημαντική κλιμάκωση στον αριθμό των αυτοκινητιστικών ατυχημάτων, πολλά εκ των οποίων είχαν μη αναστρέψιμες συνέπειες για τους επιβάτες!

Μία από τις κύριες αιτίες πρόκλησης ατυχήματος αποτελεί η κόπωση του οδηγού. Αυτή τον καθιστά μη ικανό να ανταπεξέλθει αποτελεσματικά στις απαιτήσεις της οδήγησης καθώς μειώνει σημαντικά τους χρόνους αντίδρασής του, την ικανότητα συγκέντρωσής του και την αίσθηση του προσανατολισμού. Ένας κουρασμένος οδηγός είναι πιο πιθανό να αποσπαστεί εξαιτίας του κινητού του, να μην παρατηρήσει ένα κόκκινο φανάρι ή να ξεπεράσει τα όρια ταχύτητας.

Το γεγονός αυτό ήταν λοιπόν η έμπνευση της παρούσας πτυχιακής. Η σχεδίαση δηλαδή ενός αποτελεσματικού αυτόνομου συστήματος το οποίο θα ενσωματώνεται εύκολα σε οποιοδήποτε αυτοκίνητο και θα είναι σε θέση να ανιχνεύσει πιθανά σημάδια κόπωσης και να προειδοποιήσει έγκαιρα τον οδηγό για μια κατάσταση κινδύνου.

Επομένως, στην διπλωματική εργασία που ακολουθεί, έγινε αρχικά μια συνολική μελέτη της ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας που σχετίζεται με τα στοιχεία από τα οποία θα μπορούσε να αποτελείται το προαναφερθέν σύστημα, καθώς και έρευνα για τα υπάρχοντα παρόμοια προϊόντα. Στη συνέχεια, μετά από την τελική επιλογή αυτών (κάμερα, μικροϋπολογιστής, βιομετρικοί αισθητήρες, αλγόριθμος ανίχνευσης), σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε η πειραματική διάταξη, η οποία τελικά ενσωματώθηκε σε αυτοκίνητο και δοκιμάστηκε κάτω από συνθήκες πραγματικού χρόνου.

Ως επίλογο, ο αναγνώστης μπορεί να βρει τα τελικά συμπεράσματα και τις προτεινόμενες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Λέξεις κλειδιά: Ανίχνευση προσώπου, Raspberry Pi, Κάμερα υπερέυθρων, Αισθητήρας καρδιακών παλμών, Αυτοκίνητο, Internet of Things

Abstract

In the recent decades, it has been a rapid increase of technological achievements. Technology is indissolubly linked to people's lives, accompanied by a promise to improve their quality of life. In a society where life's rhythms are constantly rising, each and everyone is looking for quality solutions to make their daily life easier and to upgrade their lifestyle.

An indispensable part of everyday life is, of course, the car. Despite the growth of the public transport, moving with your personal vehicle cannot be easily replaced. However, the past years, along with the steep rise in the number of vehicles, there has also been a significant escalation of the number of car accidents, many of which had irreversible consequences for the passengers!

One of the main causes of an accident is driver's fatigue. This situation renders the driver unable to cope effectively with the driving requirements, as it significantly reduces its reaction times, concentration ability and sense of orientation. A tired driver is more likely to be distracted from his mobile, not observe a red traffic light or exceed the speed limits.

That fact was the inspiration of this thesis. The design of an effective autonomous system that will be easily integrated into any car and will be able to detect possible signs of fatigue and warn on time the driver in case of danger.

Therefore, in this diploma thesis, there was initially conducted a comprehensive study of Greek and international literature related to the elements, from which the above mentioned system could consist, as well as a research on the existing similar products. Subsequently, after the final selection of those parts (camera, microcomputer, biometric sensors, detection algorithm), the experimental setup was designed and implemented, and was eventually incorporated into a car and tested under real-time conditions.

At the end, the reader can find the final conclusions and the suggestions for future research.

Keywords: Face Detection, Raspberry Pi, Infrared Camera, Heart Rate Sensor, Car, Internet of Things

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1	Αντικείμενο της διπλωματικής.....	11
1.2	Στόχοι.....	12
1.3	Δομή εργασίας.....	12
2	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	15
2.1	Ανίχνευση/Αναγνώριση αντικειμένων.....	15
2.1.1	Οι δυσκολίες ανίχνευσης/αναγνώρισης ενός αντικειμένου.....	15
2.1.2	Μέθοδοι ανίχνευσης βασισμένες στην εμφάνιση του αντικειμένου.....	18
2.1.3	Μέθοδοι ανίχνευσης βασισμένες στα χαρακτηριστικά του αντικειμένου.....	27
2.1.4	Σημάδια κόπωσης στον άνθρωπο.....	31
2.2	Κάμερα υπερύθρων.....	31
2.2.1	Τρόπος λειτουργίας κάμερας υπερύθρων.....	33
2.3	Raspberry Pi.....	35
2.3.1	Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....	36
2.3.2	Πίνακας εισόδων/εξόδων (GPIO).....	39
2.3.3	Περιορισμοί.....	41
2.4	Βιομετρικοί αισθητήρες.....	42
2.4.1	Τύποι βιομετρικών αισθητήρων.....	42
2.4.2	Εφαρμογές των βιομετρικών αισθητήρων.....	45
2.5	Υπάρχοντα συστήματα σχετικά με την αναγνώριση του ανθρώπινου προσώπου και το αυτοκίνητο.....	47
2.5.1	Σε ερευνητικό επίπεδο.....	48
2.5.2	Στον χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας.....	49
2.5.3	Στο εμπόριο.....	52
3	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	59
3.1	Λογισμικό.....	59
3.1.1	Μέθοδος Ανίχνευσης.....	59
3.1.2	Κύριος Κώδικας.....	61
3.2	Προετοιμασία του Raspberry Pi 3 Model B+.....	71
3.2.1	Στοιχεία κυκλωματικής διάταξης.....	71
3.2.2	Διαμόρφωση της κάρτας μνήμης SD.....	72
3.2.3	Εισαγωγή Raspbian.....	76
3.2.4	Συνδεσμολογία.....	77
3.2.5	Εισαγωγή των απαραίτητων βιβλιοθηκών για την Python.....	77
3.3	Δοκιμή.....	80
3.4	Νέος κώδικας και εκ νέου δοκιμή.....	83
3.4.1	Μέθοδος Ανίχνευσης.....	83
3.4.2	Νέος Κώδικας.....	85
3.4.3	Δοκιμή.....	91
3.5	Συνδεσμολογία και επιμέρους στοιχεία.....	92
3.5.1	Επικοινωνία με το κινητό.....	92
3.5.2	Αισθητήρας Polar T31.....	96
3.5.3	Σύνδεση του ηχείου.....	102
3.5.4	Τελική δοκιμή.....	104
3.6	Ενσωμάτωση συστήματος στο αυτοκίνητο.....	104
3.6.1	Κατασκευή βάσεων.....	104
3.6.2	Δοκιμή μέσα στο αυτοκίνητο.....	107
3.6.3	Περαιτέρω δοκιμές.....	109

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ.....	113
4.1 Αξιολόγηση του τελικού προϊόντος.....	113
4.2 Μελλοντικές επεκτάσεις.....	114
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	117

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Το έτος 2016 υπολογίστηκε ότι υπάρχουν περίπου 1,32 δισεκατομμύρια αυτοκίνητα, φορτηγά και λεωφορεία, αριθμός που εξήχθη από την WardsAuto, με τη σημείωση ότι δεν περιλαμβάνει οχήματα εκτός δρόμου ή βαριά μηχανήματα. Ορισμένοι αναλυτές της βιομηχανίας πιστεύουν ότι ο αριθμός τους έχει πλέον ξεπεράσει τα 1,4 δισεκατομμύρια και συνεχίζει να αυξάνεται με εκπληκτικό ρυθμό.

Την ίδια στιγμή, σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία, κάθε ένα δευτερόλεπτο υπάρχουν 1,8 θάνατοι ανθρώπων, το 4% εκ των οποίων οφείλεται σε αυτοκινητιστικά ατυχήματα. Με έναν γρήγορο δηλαδή υπολογισμό, κάθε 25 δευτερόλεπτα πεθαίνει ένα άτομο λόγω ενός τροχαίου δυστυχήματος. Εδώ πρέπει να ληφθεί υπόψιν, ότι στα προαναφερθέντα νούμερα δεν περιλαμβάνονται ατυχήματα τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε μία απλή ζημιά του οχήματος ή και σε μη θανατηφόρες καταστάσεις για τους επιβάτες, όπως απλά χτυπήματα, απώλεια κάποιου άκρου κ.λπ. Φυσικά, με την πάροδο των χρόνων τα αυτοκίνητα εξελίσσονται και γίνονται όλο και πιο ασφαλή. Αυτό όμως δεν είναι αρκετό. Πιο συγκεκριμένα, η κόπωση των ίδιων των οδηγών η οποία έχει ως επακόλουθο και την μειωμένη προσοχή τους στο δρόμο καθώς και βραδύτερες ταχύτητες αντίδρασής τους, περιλαμβάνεται στις 15 πρώτες αιτίες αυτοκινητιστικών ατυχημάτων.

Τα συμπτώματα τα οποία μπορεί να σχετίζονται με την κούραση είναι ποίκιλα. Το χασμουρητό, τα κουρασμένα μάτια, η δυσκολία στην συγκέντρωση, οι χαμηλοί παλμοί, η δυσκολία στον προσανατολισμό είναι μερικά από αυτά. Οι οδηγοί που παρατηρούν ένα ή περισσότερα από αυτά θα πρέπει να σταματήσουν για λίγο την οδήγηση και ιδανικά να βγουν από το αυτοκίνητο και να τεντωθούν. Σε πιο ακραίες περιπτώσεις κόπωσης ωστόσο, ο οδηγός ίσως χρειαστεί να κοιμηθεί για λίγο και να ξεκουραστεί μέχρι να αισθάνεται ανανεωμένος και έτοιμος να κάνει το υπόλοιπο ταξίδι. Πολλοί μεγάλοι αυτοκινητόδρομοι παρέχουν στάσεις ανάπαυσης για αυτό το σκοπό.

Αντικείμενο λοιπόν της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη, η σχεδίαση και η υλοποίηση ενός πειραματικού πρωτότυπου συστήματος ανίχνευσης κόπωσης, το οποίο θα είναι ικανό να ενσωματωθεί σε ένα οποιοδήποτε όχημα, από ένα συμβατικό αυτοκίνητο έως ένα φορτηγό. Εντοπίζοντας ορισμένα σημάδια κούρασης στον οδηγό, θα τον ειδοποιεί σε πιθανή κατάσταση κινδύνου και θα τον ενημερώνει σε περίπτωση που κρίνει ότι είναι απαραίτητο να διακόψει την οδήγησή του για ξεκούραση.

Πιο συγκεκριμένα, ένας εκπαιδευμένος αλγόριθμος θα αναγνωρίζει τα χαρακτηριστικά του προσώπου του οδηγού, ώστε να διαπιστώνει την κατάσταση των ματιών του (ανοιχτά-κλειστά) και του στόματός του (πιθανό χασμουρητό). Αυτό θα επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλης κάμερας η οποία θα είναι συνδεδεμένη στο μικροϋπολογιστή Raspberry Pi, όπου και θα τρέχει το πρόγραμμα. Παράλληλα ένας αισθητήρας καρδιακών παλμών θα ελέγχει κάθε στιγμή την κατάσταση του οδηγού.

Η χρήση του παραπάνω συστήματος ασφαλείας καθίσταται πολύ χρήσιμη κυρίως κάτω από συνθήκες πολύωρων διαδρομών που πραγματοποιούν συχνά επαγγελματίες οδηγοί φορτηγών, λεωφορείων κ.λπ. αλλά και στην περίπτωση μακρινών ταξιδιών με το αυτοκίνητο. Παρ' όλα αυτά, συχνά παρατηρείται κόπωση και τις πολύ πρωινές ή βραδινές ώρες της ημέρας, κατά τις οποίες είναι πολύ πιθανό το άτομο να μην έχει κοιμηθεί επαρκώς όπως επίσης και μετά το πέρας του εργασιακού ωραρίου του εκάστοτε οδηγού.

1.2 Στόχοι

Η διπλωματική αυτή δημιουργήθηκε ώστε να δοθεί μια ολοκληρωμένη λύση η οποία θα προλαμβάνει και θα αποτρέπει πιθανά αυτοκινητιστικά ατυχήματα που οφείλονται στην κόπωση του οδηγού. Θα εξεταστεί κατά πόσο είναι δυνατό να κατασκευαστεί με τις υπάρχουσες τεχνολογίες ένα τέτοιο αυτόνομο, φθηνό και ακριβές σύστημα.

Ο πρώτος και κύριος στόχος αυτής της εργασίας, λοιπόν, είναι η σχεδίαση μια αυτόνομης πρωτότυπης πειραματικής διάταξης που θα αντιμετωπίζει και θα λύνει ζητήματα όπως το κόστος, την ακρίβεια, την ταχύτητα επεξεργασίας δεδομένων και την ευκολία στη χρήση. Προφανώς είναι αναγκαίο το σύστημα αυτό να είναι όσο το δυνατό λιγότερο επεμβατικό για τον οδηγό και οι αλλαγές, τόσο στο όχημα, όσο και στον ίδιο τον οδηγό, να είναι οι ελάχιστες δυνατές ώστε να λειτουργήσει.

Ο δεύτερος στόχος αφορά την παρουσίαση των σημαντικότερων στοιχείων σε υλικό, λογισμικό αλλά και λογική σχεδίασης, που είναι απαραίτητα για την δημιουργία μιας τέτοιας διάταξης και σύγκρισης αυτών των διαφορετικών στοιχείων με άλλα αντίστοιχα πιθανά, ώστε η διπλωματική αυτή να μπορεί να αποτελέσει οδηγό για την ανάπτυξη παρόμοιων διατάξεων.

Ο τρίτος στόχος έγκειται στην ίδρυση μιας στέρεας τεχνολογικής βάσης, πάνω στην οποία το πρωτότυπο μοντέλο το οποίο αναπτύσσει η συγκεκριμένη πτυχιακή να μπορεί να εξελιχθεί από μελλοντικούς ερευνητές σε μία βελτιωμένη, πιο αποδοτική και πολύπλευρη διάταξη.

1.3 Δομή εργασίας

Η παρούσα διπλωματική αποτελείται από 4 κεφάλαια ακολουθούμενα από τη βιβλιογραφία. Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί μια εισαγωγή της διπλωματικής εργασίας. Ο αναγνώστης μπορεί να σχηματίσει μια γενική εικόνα για την εργασία αλλά και των λόγων για τους οποίους εκπονήθηκε.

Το 2^ο κεφάλαιο περιέχει τις απαραίτητες θεωρητικές γνώσεις για την πλήρη κατανόηση ολόκληρης της εργασίας. Γίνεται εκτενής ανάλυση των κύριων στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν στην τελική διάταξη και δικαιολογούνται πλήρως τα αίτια επιλογής και προτίμησής τους. Επίσης διεξάγεται έρευνα σε σχέση με άλλα, ήδη υπάρχοντα προϊόντα παρόμοιου τύπου στη διεθνή αγορά.

Το 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζει την αναπτυχθείσα πειραματική διάταξη της παρούσας εργασίας, εξηγώντας σε βάθος τόσο το λογισμικό που δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της συγκεκριμένης υλοποίησης, όσο και το υλικό της διάταξης και τη λειτουργία του κάθε στοιχείου. Επιπροσθέτως, το τελικό προϊόν εφαρμόζεται και ελέγχεται μέσα στο ίδιο το αυτοκίνητο κάτω από συνθήκες πραγματικού χρόνου.

Τέλος, στο 4^ο κεφάλαιο, παρουσιάζονται συνοπτικά τα ευρήματα και τα συμπεράσματα που προκύπτουν. Πραγματοποιείται αξιολόγηση του τελικού προϊόντος και παρατίθενται προτάσεις για μελλοντική βελτίωσή του.

2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Ανίχνευση/Αναγνώριση αντικειμένων

Η αντίληψη είναι ίσως η βασικότερη γνωστική μας λειτουργία, υπό την έννοια ότι αποτελεί προϋπόθεση για όλες τις υπόλοιπες διεργασίες του γνωστικού μας συστήματος. Ένας οργανισμός που στερείται αντίληψης, δεν έχει τη δυνατότητα μάθησης, μνήμης κ.λπ. Η αντίληψη είναι ο βασικός τρόπος με τον οποίο παίρνουμε πληροφορίες για το περιβάλλον όπου ζούμε.

Ένας από τους σημαντικότερους μηχανισμούς που χρησιμοποιούμε για να αντιληφθούμε τα πράγματα γύρω μας είναι η όραση. Η αναγνώριση αντικειμένων είναι μια διαδικασία που πραγματοποιείται αυτόματα από τον εγκέφαλο σε όλα τα ζωντανά πλάσματα. Τα παιδιά, από πολύ νεαρή ηλικία, μπορούν να αναγνωρίσουν μια μεγάλη ποικιλία αντικειμένων στον περιβάλλοντα χώρο. Πτηνά, όπως ο αετός, έχουν 3,6 φορές καλύτερη όραση από τον άνθρωπο, απαραίτητο χαρακτηριστικό, ώστε να εντοπίζουν το θήραμά τους από ψηλά. Τα έντομα, όπως οι μέλισσες χρησιμοποιούν την οπτική αναγνώριση όχι μόνο για τον προσδιορισμό των μορφών των λουλουδιών αλλά και για τον προσανατολισμό τους. Είναι φανερό ότι ο μηχανισμός της οπτικής αναγνώρισης υπάρχει και είναι αναγκαίος στους ζωντανούς οργανισμούς, αλλά έχετε φανταστεί ποτέ πόσο περίπλοκο είναι για μια μηχανή να διακρίνει πράγματα όπως ένα σπίτι, ένα αυτοκίνητο, ένα λουλούδι ή ακόμα και ένα ανθρώπινο μάτι;

Στον κόσμο των μηχανών, η αναγνώριση αντικειμένων είναι μια τεχνολογία που ασχολείται με τον προσδιορισμό ενός αντικειμένου που παρατηρείται σε μια εικόνα ή σε μια ακολουθία εικόνων (βίντεο) [1]. Η σύγχρονη πραγματικότητα περικλείεται από γιγαντιαίες μάζες ψηφιακών οπτικών πληροφοριών. Η οργάνωση και η ανάλυση αυτών αποτελεί καίριο ζήτημα. Το χρονικό διάστημα που θα χρειαζόταν ένας άνθρωπος για να κατηγοριοποιήσει χειροκίνητα 1000 εικόνες είναι μη συγκρίσιμο με τον αντίστοιχο χρόνο που θα χρειαζόταν ένας υπολογιστής, εάν είχε την δυνατότητα. Πόσο μάλιστα εάν μπορούσε όχι μόνο να συνδέει τα αντικείμενα που βλέπει με τις πληροφορίες που γνωρίζει για αυτά, αλλά και να προσθέτει νέες πληροφορίες για αντικείμενα που είναι ήδη γνωστά.

2.1.1 Οι δυσκολίες ανίχνευσης/αναγνώρισης ενός αντικειμένου

Η εκτέλεση της οπτικής αναγνώρισης από ένα μηχανήμα είναι ένα πολύπλοκο υπολογιστικό πρόβλημα. Το βασικό εμπόδιο είναι ότι κάθε αντικείμενο στον κόσμο απεικονίζεται με άπειρους διαφορετικούς διαστάτους τρόπους. Αυτό συμβαίνει λόγω των διαφορετικών συνθηκών κάτω από τις οποίες απεικονίζεται κάθε φορά, οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Φωτισμός: Οι συνθήκες φωτισμού μπορεί να διαφέρουν κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου. Το πρωί έως το μεσημέρι υπάρχει άπλετο φως το οποίο πέφτει από διαφορετικό σημείο κάθε φορά, ενώ το βράδυ είναι σκοτεινά. Συνεπώς το πρόσωπο του οδηγού φωτίζεται από διαφορετικές κατευθύνσεις και έτσι μπορεί να επηρεαστεί από τυχόν σκιάσεις [2]. Επίσης, οι καιρικές συνθήκες ενδέχεται να επηρεάσουν τον φωτισμό μιας εικόνας. Η ομίχλη, η καταιγίδα, η ηλιοφάνεια, το χιόνι το οποίο αντανακλά πολύ φως,

προκαλούν ξεχωριστό φωτισμό κάθε φορά. Το Σχήμα 1 απεικονίζει το ίδιο αντικείμενο σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές.



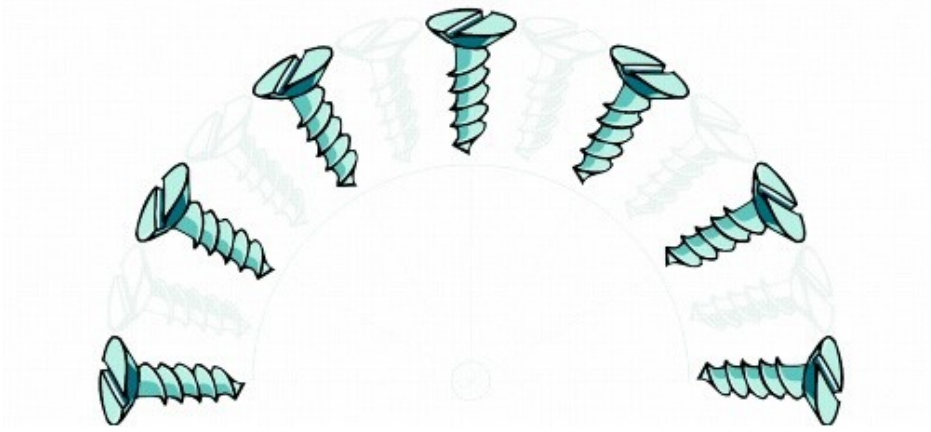
Σχήμα 1: Το ίδιο αντικείμενο κατά την ανατολή του ηλίου (αριστερά) και το μεσημέρι (δεξιά). [64]

2. Τοποθέτηση: Η θέση που βρίσκεται το αντικείμενο στην εικόνα (κεντρικά, δεξιά, πάνω κ.λπ.) μπορεί να διαφέρει. Το σύστημα θα πρέπει να χειρίζεται αυτές τις εικόνες ομοιόμορφα. Η συγκεκριμένη εργασία δεν αντιμετωπίζει τέτοιο πρόβλημα, καθώς η κάμερα θα τοποθετηθεί σε ένα σταθερό σημείο και η θέση του οδηγού είναι συγκεκριμένη και δεν αλλάζει.



Σχήμα 2: Το σκυλί μπορεί να είναι σε διαφορετικά σημεία πάνω στην εικόνα.

3. Περιστροφή: Το αντικείμενο στην εικόνα μπορεί να έχει περιστραφεί. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, η βίδα μπορεί να έχει διαφορετικό προσανατολισμό. Όμως ο προσανατολισμός της δεν θα πρέπει να επηρεάζει την αναγνώριση του αντικειμένου.



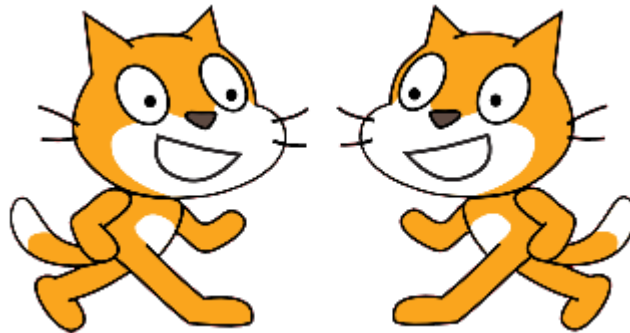
Σχήμα 3: Το ίδιο αντικείμενο στραμμένο κατά 180 μοίρες. [65]

4. Έμφραξη: Είναι η κατάσταση κατά την οποία το ζητούμενο προς αναγνώριση αντικείμενο δεν είναι εντελώς ορατό σε μια εικόνα. Ένα μέρος του μπορεί να κρύβεται λόγω κάποιου άλλου αντικειμένου ή λόγω των ορίων της εικόνας. Παραδείγματος χάριν είναι πολύ πιθανό το κεφάλι του οδηγού κάποιες φορές να βγαίνει στιγμιαία από το πλάνο της κάμερας σε περίπτωση πλάγιας δεξιάς ή αριστερής μεγάλης κίνησης.



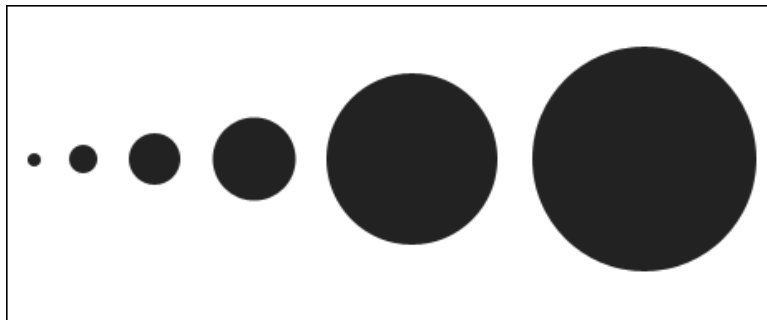
Σχήμα 4: Αντικείμενα τα οποία κρύβουν το ένα το άλλο [66].

5. Αντικατοπτρισμός: Η κατοπτρική εικόνα οποιουδήποτε αντικειμένου πρέπει να αναγνωρίζεται από το σύστημα αναγνώρισης αντικειμένων. Δυστυχώς, μία από τις μεγαλύτερες δυσκολίες που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι η πολύ συχνή περιστροφική κίνηση του κεφαλιού, κατά την διάρκεια της οποίας μπορεί να φαίνεται μόνο το ένα μάτι του οδηγού.



Σχήμα 5: Το ίδιο αντικείμενο καθρεπτισμένο στον κάθετο άξονα

6. Κλίμακα: Η αλλαγή μεγέθους του αντικειμένου δεν πρέπει να επηρεάζει το σύστημα αναγνώρισης. Είναι εμφανές ότι σε αυτή την εργασία δεν θα υπάρχει τέτοιο πρόβλημα.



Σχήμα 6: Ένας μαύρος κύκλος σε διαφορετικά μεγέθη. [67]

Όπως φαίνεται από τα προαναφερθέντα, η εικόνα του στόχου-αντικείμενο μπορεί να διαφέρει ελαφρώς σε διαφορετικές οπτικές γωνίες, σε πολλά διαφορετικά μεγέθη και κλίμακες, στην περιστροφή ή ακόμα και στην ένταση φωτισμού. Το αντικείμενο μπορεί επίσης να μην εμφανίζεται τελείως στην εικόνα, αλλά να φαίνονται κάποια μέρη του. Οι συνθήκες αυτές καθιστούν την αναγνώριση αντικειμένων μια πρόκληση για τα μηχανήματα και πολλές προσεγγίσεις έχουν εφαρμοστεί τις τελευταίες δεκαετίες.

2.1.2 Μέθοδοι ανίχνευσης βασισμένες στην εμφάνιση του αντικειμένου

Οι μέθοδοι αναγνώρισης αντικειμένων που βασίζονται στην εμφάνιση του αντικειμένου χρησιμοποιούν εικόνες/δείγματα όπου απεικονίζεται το αντικείμενο προς αναγνώριση κάτω από διαφορετικές συνθήκες, οι οποίες αναγράφηκαν παραπάνω (φωτισμός, μέγεθος, κλίση κ.λπ.). Ο αλγόριθμος συγκρίνει αυτές τις εικόνες με την εικόνα/δοκιμή, αναζητώντας την ύπαρξη του αντικειμένου σε αυτήν. Κάτι τέτοιο είναι αδύνατο να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας πολύ μικρό αριθμό εικόνων/δειγμάτων. Από την άλλη όμως πλευρά, είναι αδύνατο οι εικόνες/δείγματα να περιέχουν όλες τις δυνατές αναπαραστάσεις του αντικειμένου.

Από τη μία πλευρά λοιπόν, χρησιμοποιούνται ταξινομητές οι οποίοι ακολουθούν την φιλοσοφία του γενετικού μοντέλου, το οποίο περιγράφεται ως εξής:

Λαμβάνοντας υπόψιν μια είσοδο x (παρατηρήσιμη τιμή) και μια ετικέτα y (η έξοδος – μεταβλητή στόχος), ένας γενετικός ταξινομητής μαθαίνει ένα μοντέλο κοινής πιθανότητας $p(x, y)$ και ταξινομεί τα δεδομένα χρησιμοποιώντας τη δεσμευμένη πιθανότητα $p(y | x)$ [3], η οποία λαμβάνεται με τη χρήση του κανόνα Bayes:

$$P\left(\frac{Y}{X}\right) = P\left(\frac{X}{Y}\right) \frac{P(Y)}{P(X)} \quad (2.1.1)$$

Με άλλα λόγια, δεν χρησιμοποιείται εκ των προτέρων η γνώση για τα δεδομένα που υπάρχουν στην εικόνα.

Από την άλλη πλευρά, τα διακριτά μοντέλα, μέσω στατιστικής ανάλυσης προσπαθούν να βρουν μια κατάλληλη αναπαράσταση των αρχικών δεδομένων (προσεγγίζοντας τα αρχικά δεδομένα διατηρώντας όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες). Πιο συγκεκριμένα, μοντελοποιεί την δεσμευμένη πιθανότητα $p(y | x)$ απευθείας από τα δεδομένα.

Παρακάτω θα αναλυθούν οι κύριες μέθοδοι ανίχνευσης αντικειμένων που χρησιμοποιούν τόσο γενετικούς (PCA, ICA, NMF) όσο και διακριτούς (LDA, SVM) ταξινομητές.

I. Κύρια Ανάλυση Συνιστωσών – Principal Component Analysis (PCA)

Η Κύρια Ανάλυση Συνιστωσών μπορεί να μειώσει τα δεδομένα εισόδου πολλών διαστάσεων σε σύνολα δεδομένων χαμηλών διαστάσεων. Στην περίπτωση δεδομένων εικόνας αντικειμένου, λαμβάνοντας υπόψιν ότι σε ένα αντικείμενο είναι σχετικά δύσκολο να εξαχθούν τα χαρακτηριστικά του εξαιτίας της περιστροφικής του κίνησης και των άπειρων δυνατών απεικονίσεών του [4], πρέπει να εφαρμόζονται αλγόριθμοι που έχουν αποτελεσματική εξαγωγή χαρακτηριστικών και γρήγορη ταχύτητα αναγνώρισης.

Το PCA είναι μία στατιστική διαδικασία η οποία εφαρμόζει έναν ορθογώνιο μετασχηματισμό για να μετατρέψει τα δεδομένα σε ένα νέο σύστημα συντεταγμένων. Επιδιώκει να βρει τα βασικά διανύσματα (κύριες συνιστώσες) που περιγράφουν καλύτερα τα δεδομένα.

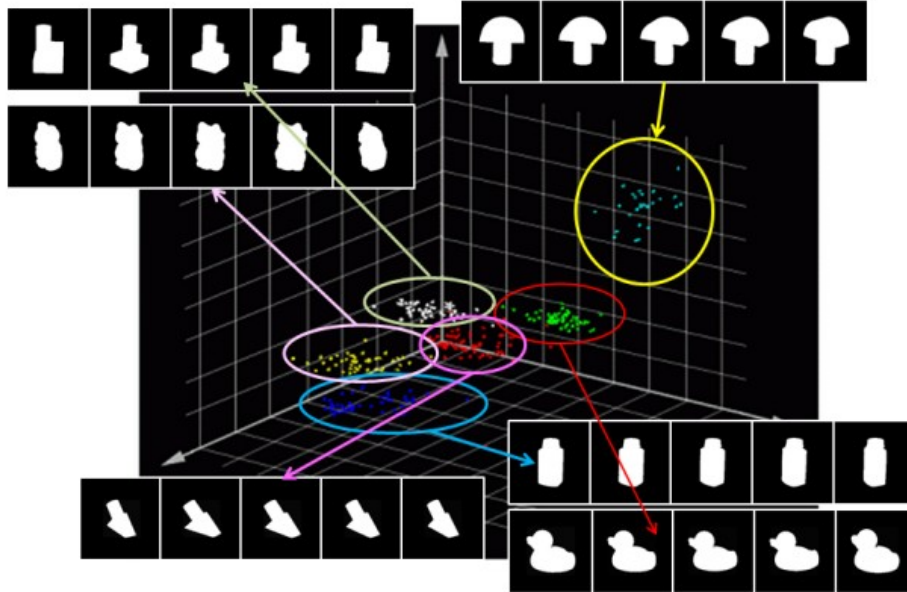
Έστω $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ N δείγματα από τις κλάσεις $M \{w_1, w_2, \dots, w_M\}$. Ο πίνακας:

$$X = N \cdot M \quad (2.1.2)$$

έχει κανονικοποιηθεί ώστε η μέση τιμή να ισούται με 0 και η διακύμανση με 1. Η εφαρμογή του PCA στον πίνακα X οδηγεί σε M κύριες συνιστώσες $\{v_i\}_{i=1}^m$ του X . Δηλαδή, η πρώτη συνιστώσα $i=1$ είναι ένα διάνυσμα που μεγιστοποιεί τη διακύμανση του γραμμικού συνδυασμού του X με το

$$v_i = \operatorname{argmax} \|X \cdot v\|, \text{ όπου } \|v\|=1 \quad (2.1.3)$$

Εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία στον υπολειπόμενο χώρο μεταξύ του X και της πρώτης συνιστώσας, λαμβάνεται η δεύτερη συνιστώσα [5].



Σχήμα 7: Το αποτέλεσμα προβολής 6 εικόνων αντικειμένων στον χώρο [4].

Θεωρητικά, κάθε κύρια συνιστώσα v_i θεωρείται ως ένα ιδιοδιάνυσμα του πίνακα:

$$Y = \frac{1}{t} X \cdot T \cdot X \quad (2.1.4)$$

και οι ιδιοτιμές των αντίστοιχων ιδιοδιανυσμάτων πληρούν τις παρακάτω σχέσεις:

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m \geq 0 \text{ και } \sum \lambda_i = m \quad (2.1.5)$$

Η ιδιοτιμή αντιπροσωπεύει την ποσότητα της διακύμανσης που περιέχει η κύρια συνιστώσα της. Συνεπώς, όσο μεγαλύτερο είναι το λ_i τόσο καλύτερα εκπροσωπούνται τα αρχικά δεδομένα από τη συνιστώσα. Γενικότερα, η πρώτη συνιστώσα (με το λ_1) παρουσιάζει την κυρίαρχη συμπεριφορά του συστήματος ενώ μια συνιστώσα με μικρότερο λ_i υποδεικνύει μια συγκεκριμένη συμπεριφορά των αρχικών δεδομένων.

Ένα πρόβλημα με την εφαρμογή του PCA σε ένα σύνολο δεδομένων είναι η επιλογή του αριθμού των συνιστωσών. Η μείωση των διαστάσεων είναι λιγότερο αποτελεσματική εάν επιλεχθούν πολλές συνιστώσες. Από την άλλη πλευρά, η εσωτερική συμπεριφορά του συστήματος υπάρχει περίπτωση να εξαφανιστεί με λιγότερες συνιστώσες [5].

Για να καλυφθούν οι συνεχώς αυξανόμενες υπολογιστικές ανάγκες, έχουν υπάρξει ποικίλες επεκτάσεις/παραλλαγές της προαναφερθείσας μεθόδου. Ενδεικτικά, η μέθοδος Kernel PCA

(KPCA), συνδυάζει το PCA με το μη γραμμικό τέχνασμα του πυρήνα (kernel-trick) [6]. Η βασική του ιδέα είναι αρχικά να χαρτογραφήσει τα αρχικά δεδομένα εισόδου με το τέχνασμα του πυρήνα σε έναν χώρο υψηλότερων διαστάσεων και στη συνέχεια να εκτελέσει το PCA στον νέο αυτό χώρο. Επίσης ο αλγόριθμος sparse PCA (SPCA) αποσκοπεί στον εξ αρχής περιορισμό των παραμέτρων πριν εφαρμοστεί ο PCA [7].

II. Ανάλυση Ανεξάρτητων Συνιστωσών – Independent Component Analysis (ICA)

Η Ανάλυση Ανεξάρτητων Συνιστωσών είναι μία τεχνική επεξεργασίας σήματος, η οποία αποσυνθέτει τα μίχτα σήματα σε μη γκαουσιανές, στατιστικά ανεξάρτητες υπομονάδες. Είναι μια διαδικασία διαχωρισμού, στόχος της οποίας είναι να εκφράσει ένα σύνολο τυχαίων μεταβλητών ως γραμμικούς συνδυασμούς στατιστικώς ανεξάρτητων μεταβλητών συνιστωσών [8].

Για τις εικόνες, το φόντο αντιστοιχεί γενικά στα περισσότερα εικονοστοιχεία (pixels) της εικόνας, ενώ τα εικονοστοιχεία - στόχοι καταλαμβάνουν μόνο ένα μικρό μέρος ολόκληρης της εικόνας. Υπό το πρίσμα αυτό, οι πληροφορίες φόντου εικόνας συχνά χαρακτηρίζονται από δεύτερης τάξης στατιστικά στοιχεία, ενώ τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της εικόνας, όπως λεπτομέρειες ακμών, είναι στενά συνδεδεμένα με πρώτης τάξεως στατιστικά στοιχεία [9]. Συνεπώς ο στόχος περιέχεται γενικά στα πρώτης-τάξης στοιχεία, χωρίς αυτό να σημαίνει απαραίτητα ότι όλο το φόντο της εικόνας χαρακτηρίζεται από δεύτερης-τάξης στοιχεία, αφού σε ορισμένες περιπτώσεις περιέχει πληροφορίες υψηλού ενδιαφέροντος.

Έστω ότι υπάρχουν m ανεξάρτητα στοιχεία τα οποία δηλώνονται ως $y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$. Τα παρατηρούμενα σήματα είναι τα $x = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ και το κλασικό μοντέλο της ICA είναι:

$$x = A \cdot y \quad (2.1.6)$$

όπου A είναι ο άγνωστος πίνακας. Το ICA προσπαθεί να εκτιμήσει τον πίνακα W που είναι ο αντίστροφος πίνακας του A :

$$\tilde{y} = W \cdot x \quad (2.1.7)$$

Έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι για την ανάκτηση του πίνακα W . Συνήθως εφαρμόζεται και ο αλγόριθμος φυσικής κλίσης (natural gradient algorithm) για να ελαχιστοποιηθεί η απόκλιση μεταξύ του φορέα σήματος πηγής s και της εκτίμησής του y , με αποτέλεσμα τους ακόλουθους κανόνες [10],

$$Q = I - g(y(n)) \cdot y^T(n) \quad (2.1.8)$$

$$W(n+1) = W(n) + \eta(n) \cdot Q \cdot W^T(n) \quad (2.1.9)$$

όπου I ο μοναδιαίος πίνακας και η ο ρυθμός εκμάθησης. Εφαρμόζοντας τις παραπάνω μαθηματικές σχέσεις, εξάγονται οι στατιστικά ανεξάρτητες εικόνες βάσης και στη συνέχεια να αναπαρίστανται στην εικόνα με τους συντελεστές της προβολής αυτών. Δεδομένου ότι ο ICA βασίζεται σε ένα γραμμικό μοντέλο, μπορεί να αποτύχει σε περίπτωση μη γραμμικότητας.

Το KICA (Kernel ICA) είναι μια επέκταση του ICA ο οποίος χρησιμοποιεί το τέχνασμα του πυρήνα για να ταξινομήσει τις εικόνες. Πρώτα χαρτογραφούνται τα δεδομένα εισόδου με το τέχνασμα του πυρήνα και στον καινούργιο χώρο που δημιουργείται εφαρμόζεται το ICA [11].

Όσον αφορά το PCA, τα στατιστικά στοιχεία δεύτερης τάξης καταγράφουν το φάσμα πλάτους των εικόνων αλλά όχι το φάσμα φάσης τους, σε αντίθεση με το ICA στο οποίο τα στατιστικά στοιχεία υψηλότερης τάξης καταγράφουν το φάσμα φάσης των εικόνων. Καθώς το φάσμα φάσης περιέχει της δομικές πληροφορίες που οδηγούν στην ανθρώπινη αντίληψη, το γεγονός ότι το PCA είναι ευαίσθητο μόνο στο φάσμα εύρους των εικόνων, το καθιστά ακατάλληλο για την αναπαράσταση γενικών εικόνων αντικειμένων [12].

III. Μη-αρνητική Παραγοντοποίηση Μήτρας – Non-negative Matrix Factorization (NMF)

Η μη αρνητική παραγοντοποίηση μήτρας επιβάλλει περιορισμούς μη αρνητικότητας σε εικόνες μαθησιακής βάσης. Οι τιμές των εικονοστοιχείων των εικόνων βάσης που προκύπτουν, καθώς και οι συντελεστές τους για την ανασυγκρότηση, είναι όλοι μη αρνητικοί. Με αυτόν τον τρόπο, επιτρέπονται μόνο μη αφαιρετικοί (ή αθροιστικοί) συνδυασμοί.

Έστω ότι ένα σύνολο εικόνων προς εκπαίδευση (training) N_T αντιπροσωπεύεται ως ένας πίνακας X ,

$$X_{n \cdot N_T} = [x_{ij}] \quad (2.1.10)$$

κάθε στήλη του οποίου περιέχει n μη αρνητικές τιμές εικονοστοιχείων [13].

Έστω και ένα σύνολο m εικόνων βάσης, $m \leq n$, με έναν πίνακα $W_{n \cdot m}$. Κάθε εικόνα μπορεί να αναπαρασταθεί ως ένας γραμμικός συνδυασμός των εικόνων βάσης (ιδιοδιανύσματα της μονάδας μήκους) και συνεπώς ο (κατά προσέγγιση) συντελεστής X :

$$X = W \cdot H \quad (2.1.11)$$

όπου H είναι η μήτρα $m \cdot N_T$ των συνεκτικών ή βαρών. Η μείωση της διάστασης επιτυγχάνεται όταν $m < n$.

Η μέθοδος NMF επιβάλλει τους περιορισμούς μη αρνητικότητας αντί της ορθογωνικότητας (PCA). Ως αποτέλεσμα, οι τιμές των στοιχείων των πινάκων W και H είναι όλες μη αρνητικές. Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπονται μόνο αθροιστικοί συνδυασμοί και δεν μπορεί να υπάρξουν αφαιρέσεις. Αυτό πιστεύεται ότι είναι συμβατό με την διαισθητική έννοια του συνδυασμού των τμημάτων για το σχηματισμό ενός συνόλου και είναι ο τρόπος με τον οποίο η NMF μαθαίνει μια αναπαράσταση με βάση τα μέρη [14].

IV. Γραμμική Διακριτή Ανάλυση – Linear Discriminant Analysis (LDA)

Η Γραμμική Διακριτή Ανάλυση (LDA) είναι μια κλασική διακριτή μέθοδος ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς ως ένας γραμμικός ταξινομητής. Είναι μία γενίκευση του κριτηρίου του

Fisher, μιας μεθόδου που χρησιμοποιείται στις στατιστικές, την αναγνώριση προτύπων και την εκμάθηση μηχανών, για να βρεθεί ένας γραμμικός συνδυασμός χαρακτηριστικών που χαρακτηρίζει ή διαχωρίζει δύο ή περισσότερες κατηγορίες αντικειμένων ή συμβάντων [15]. Ο προκύπτων συνδυασμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας γραμμικός ταξινομητής ή, πιο συχνά, για τη μείωση των διαστάσεων πριν από την μεταγενέστερη ταξινόμηση.

Η γραμμική διακριτή ανάλυση λειτουργεί υπό την προϋπόθεση ότι κάθε τάξη ακολουθεί μια κατανομή Gauss. Δηλαδή, για κάθε κλάση k , η κατανομή πιθανότητας μπορεί να διαμορφωθεί από τον τύπο:

$$f_k(x) = \frac{e^{-\frac{1}{2}(x-\mu_k)^T \Sigma_k^{-1}(x-\mu_k)}}{(2\pi)^{\frac{p}{2}} \left| \Sigma_k \right|^{\frac{1}{2}}} \quad (2.1.12)$$

Έστω ότι το π_k αντιπροσωπεύει τις πιθανότητες συμμετοχής της προηγούμενης τάξης. Η εφαρμογή του θεωρήματος του Bayes έχει ως αποτέλεσμα:

$$f_k(K=k|X=x) = \frac{f_k(x)\pi_k}{\sum_i f_i(x)\pi_i} \quad (2.1.13)$$

Σημειώνοντας ότι οι πιθανότητες είναι μηδενικές και ο φυσικός λογάριθμος αυξάνεται μονότονα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ταξινόμηση ο ακόλουθος κανόνας:

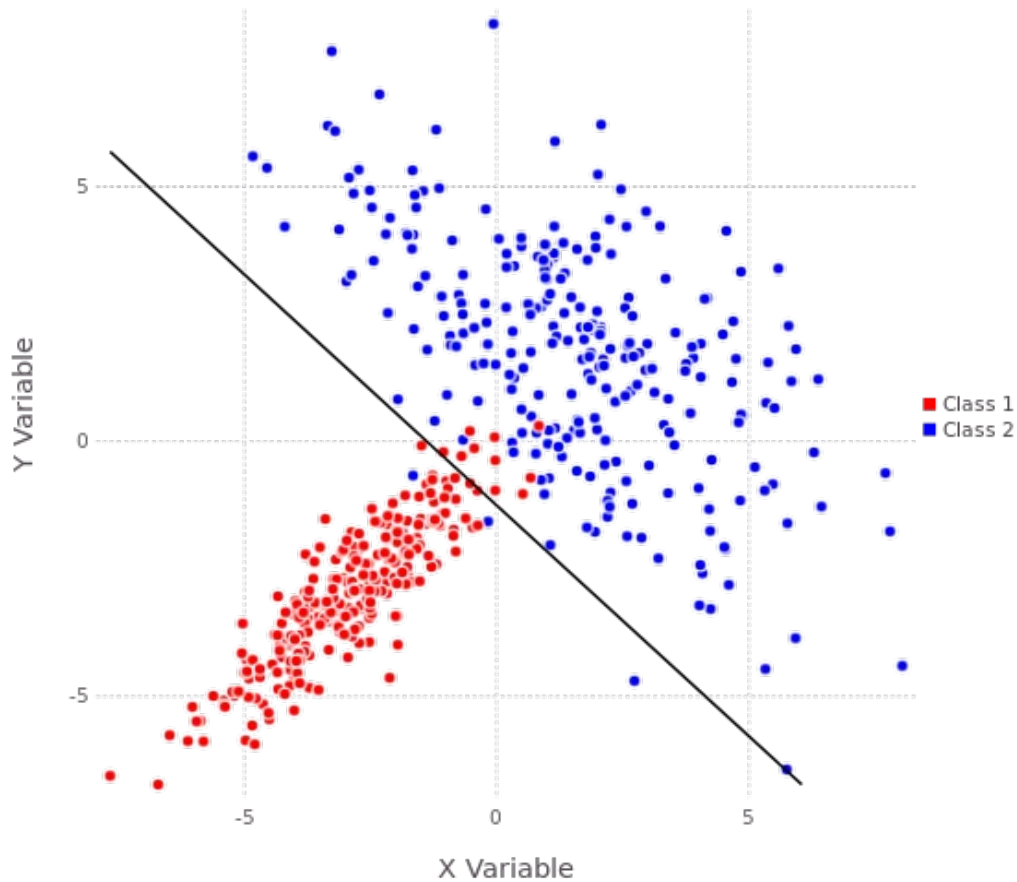
$$\arg \max_k \frac{f_k(x)\pi_k}{\sum_i f_i(x)\pi_i} = \arg \max_k \log(f_k(x)) + \log(\pi_k) \quad (2.1.14)$$

Η εφαρμογή του φυσικού λογαρίθμου συμβάλλει στην απλοποίηση του κανόνα ταξινόμησης στην περίπτωση που υπάρχει κατανομή Gauss. Οι προκύπτουσες συναρτήσεις δ_k είναι γνωστές ως συναρτήσεις διακρίσεως.

Η γραμμική διακριτή ανάλυση λειτουργεί υπό την απλουστευτική υπόθεση ότι $\Sigma_k = \Sigma$ για κάθε κλάση k . Με άλλα λόγια, οι τάξεις μοιράζονται ένα κοινό πλέγμα συνδιακύμανσης εντός κατηγορίας. Δεδομένου ότι ο όρος $x^T \Sigma x$ είναι σταθερός μεταξύ των κλάσεων, απλοποιεί την διακριτή συνάρτηση σε γραμμικό ταξινομητή:

$$\delta_k(x) = -\mu_k^T \Sigma^{-1} x + \frac{1}{2} \mu_k^T \Sigma^{-1} \mu_k + \log(\pi_k) \quad (2.1.15)$$

Η παρακάτω γραφική παράσταση παρουσιάζει τα όρια γραμμικής ταξινόμησης που προκύπτουν όταν ένα δείγμα συνόλου δεδομένων δύο μεταβλητών Gauss μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας γραμμική διακριτή ανάλυση:



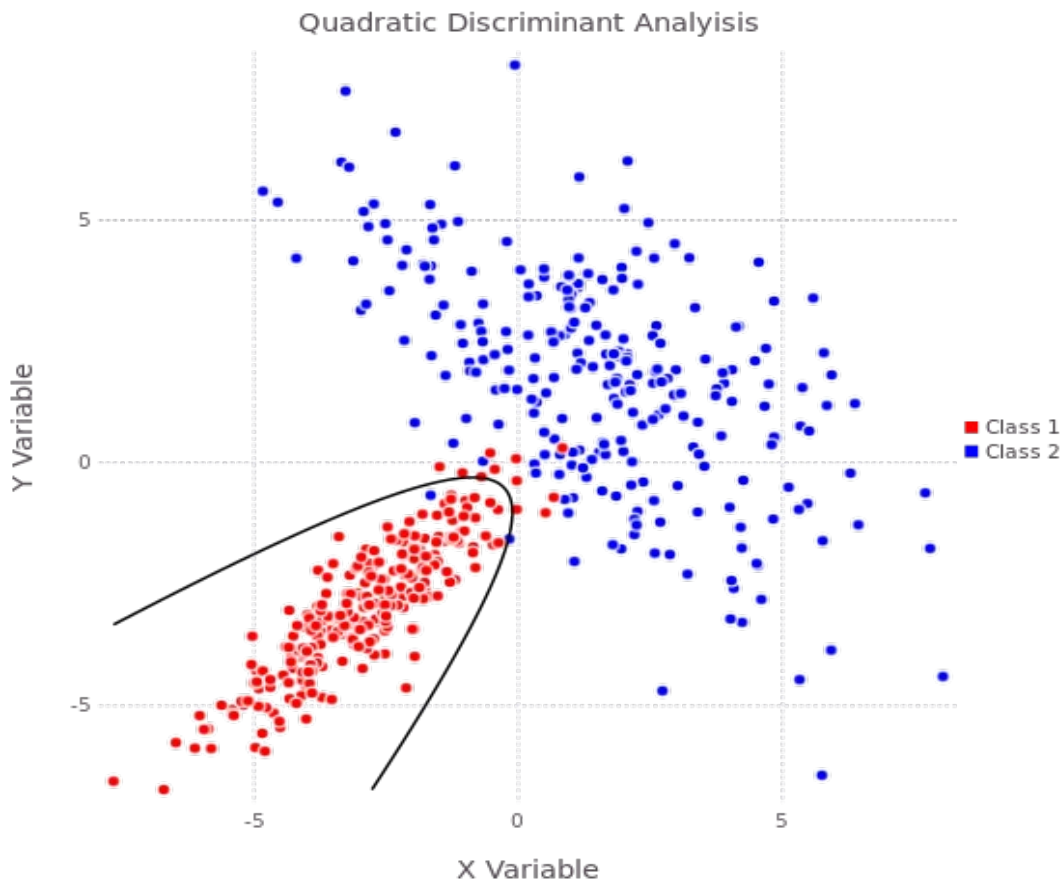
Σχήμα 8: LDA σε δύο μεταβλητές Gauss [68].

Το LDA σχετίζεται επίσης στενά με την κύρια ανάλυση συνιστωσών (PCA), που εξετάσαμε πιο πάνω, καθώς και οι δύο αναζητούν γραμμικούς συνδυασμούς μεταβλητών που εξηγούν καλύτερα τα δεδομένα. Η LDA προσπαθεί ρητά να μοντελοποιήσει τη διαφορά μεταξύ των κατηγοριών δεδομένων. Η PCA από την άλλη πλευρά δεν λαμβάνει υπόψη τυχόν διαφορά στην τάξη. Η μέθοδος LDA επιτυγχάνεται με τη μεγιστοποίηση της διασποράς μεταξύ κατηγοριών ενώ ελαχιστοποιείται η διασπορά εντός της κατηγορίας και έτσι μπορεί να επιτύχει καλύτερη απόδοση εξαγωγής χαρακτηριστικών από εκείνη του PCA λόγω της χρήσης των πληροφοριών της ετικέτας κλάσης [16]. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι η μέθοδος LDA λειτουργεί όταν οι μετρήσεις που έγιναν σε ανεξάρτητες μεταβλητές για κάθε παρατήρηση είναι συνεχείς ποσότητες!

Από την άλλη πλευρά, η Τετραγωνική Ανάλυση Διακρίσεων - Quadratic Discriminant Analysis (QDA) δεν κάνει την απλουστευτική υπόθεση ότι κάθε τάξη μοιράζεται τον ίδιο πίνακα συνδιασποράς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα έναν τετραγωνικό ταξινομητή στο x [17]:

$$\delta_k(x) = \frac{-1}{2}(x - \mu_k)^T \sum_k^{-1} (x - \mu_k) - \frac{1}{2} \log(|\Sigma_k|) + \log(\pi_k) \quad (2.1.16)$$

Η ακόλουθη γραφική παράσταση παρουσιάζει τα τετραγωνικά όρια ταξινόμησης που προκύπτουν όταν ένα δείγμα συνόλου δεδομένων δυο μεταβλητών Gauss μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας τετραγωνική ανάλυση διακρίσεων:



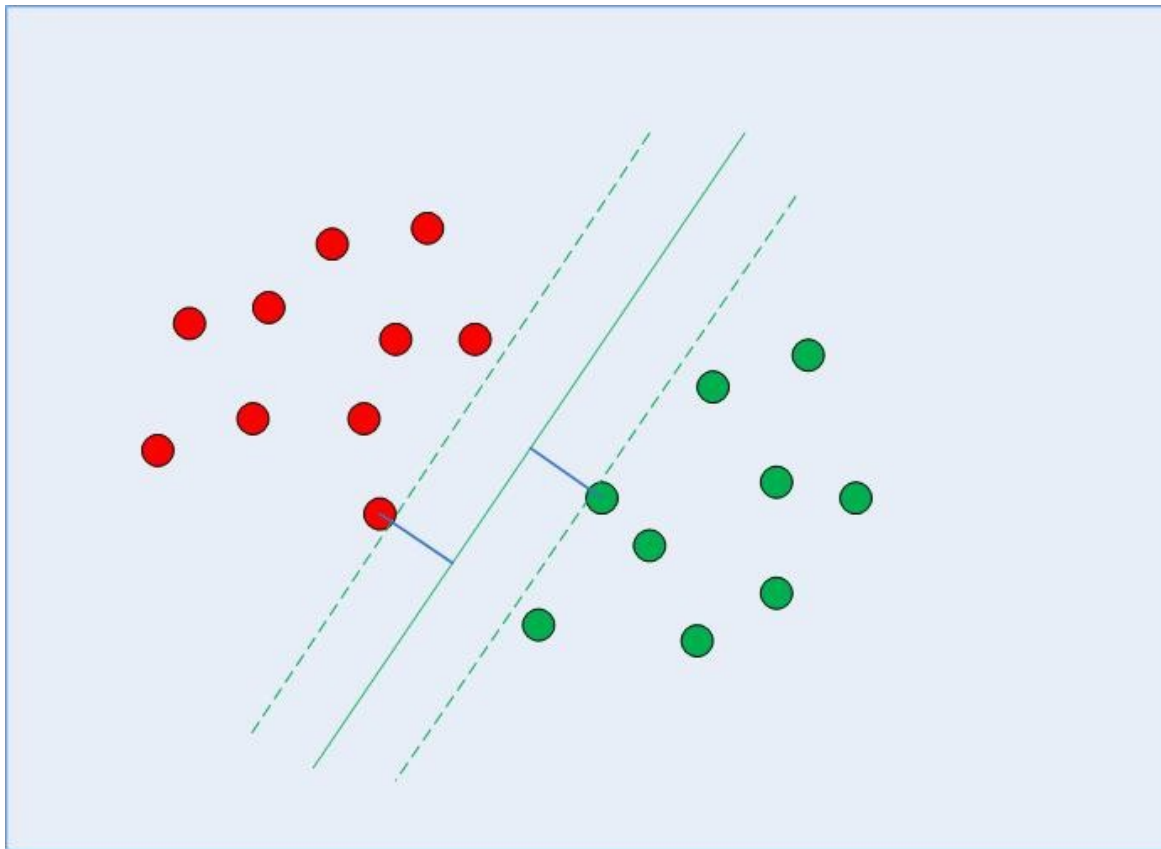
Σχήμα 9: QDA σε δύο μεταβλητές Gauss [68].

V. Διάνυσμα Μηχανικής Υποστήριξης – Support Vector Machine (SVM)

Στη μηχανική μάθηση, τα διανύσματα μηχανικής υποστήριξης (support vectors) είναι υπό εποπτεία μαθησιακά μοντέλα με αλγόριθμους εκμάθησης που αναλύουν δεδομένα που χρησιμοποιούνται για αναλύσεις ταξινόμησης και παλινδρόμησης [18].

Έστω ένα σύνολο παραδειγμάτων για την εκπαίδευση των ταξινομητών, όπου κάθε παράδειγμα έχει σηματοδοτηθεί ότι ανήκει σε μία από τις δύο κατηγορίες. Ένας αλγόριθμος κατάρτισης SVM δημιουργεί ένα μοντέλο που εκχωρεί νέα παραδείγματα στην μία ή την άλλη κατηγορία, καθιστώντας το έναν μη πιθανοτικό δυαδικό γραμμικό ταξινομητή. Ένα μοντέλο SVM αναπαριστά τα παραδείγματα ως σημεία στον χώρο, χαρτογραφημένα έτσι ώστε τα παραδείγματα των ξεχωριστών κατηγοριών να διαχωρίζονται με ένα σαφές διάστημα, όσο το δυνατόν μεγαλύτερο. Στη συνέχεια, νέα παραδείγματα χαρτογραφούνται στον ίδιο χώρο και η πρόβλεψη για την κατηγορία στην οποία ανήκουν γίνεται με βάση σε ποια πλευρά του χάσματος πέφτουν. Αναλυτικότερα, το SVM είναι μια μέθοδος δυαδικής ταξινόμησης που βρίσκει τη βέλτιστη γραμμική επιφάνεια

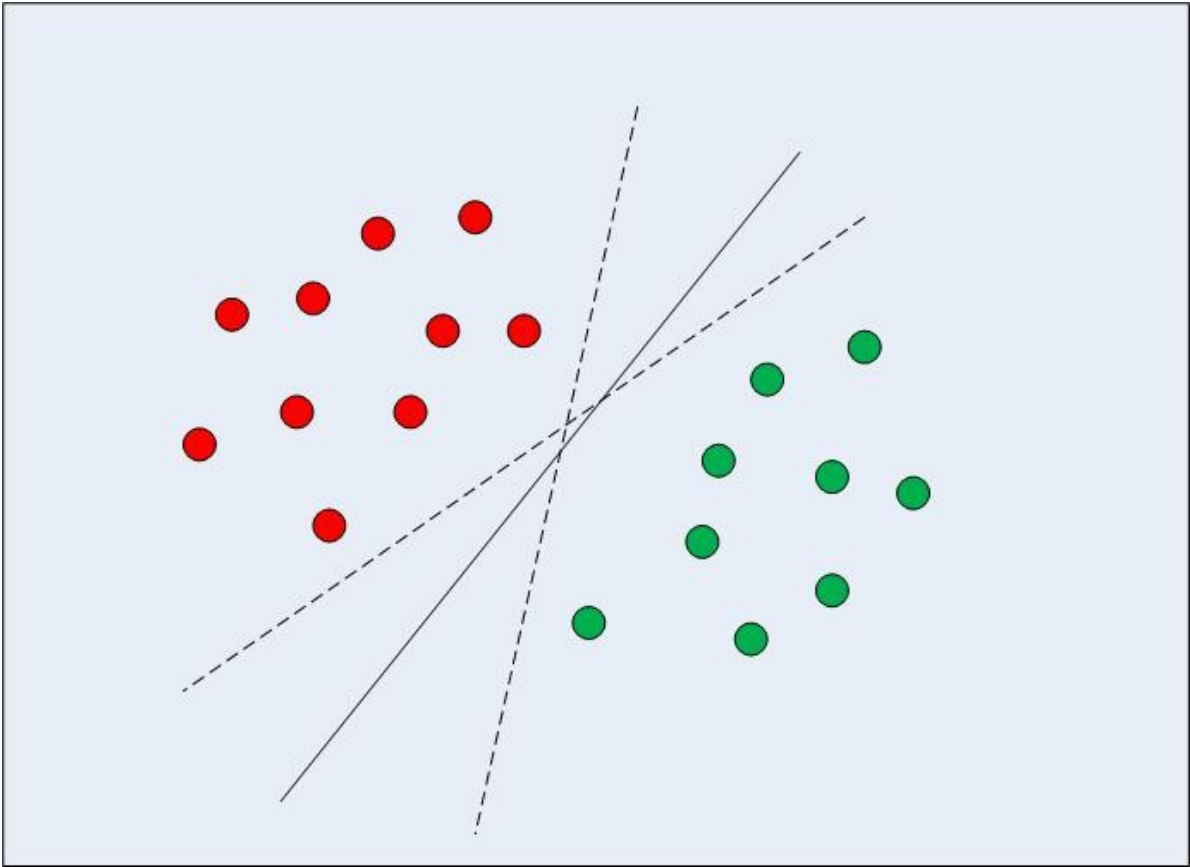
διαχωρισμού. Αυτή η επιφάνεια διαχωρισμού είναι ένας σταθμισμένος συνδυασμός στοιχείων από την ομάδα (σετ) εκπαίδευσης. Αυτά τα στοιχεία ονομάζονται φορείς υποστήριξης και χαρακτηρίζουν το όριο μεταξύ των δύο κατηγοριών [19].



Σχήμα 10: Γραμμικό SVM [69].

Εκτός από την εκτέλεση γραμμικής ταξινόμησης, τα SVM μπορούν να εκτελούν αποτελεσματικά και μια μη γραμμική ταξινόμηση χρησιμοποιώντας αυτό που ονομάζεται τέχνασμα του πυρήνα [20]. Στην περίπτωση των μη γραμμικά διαχωριζόμενων μοτίβων, το SVM πρόκειται να εκτελέσει μη γραμμική χαρτογράφηση του φορέα εισαγωγής σε ένα χώρο προϊόντων πολλαπλών διαστάσεων. Αυτό ονομάζεται χώρος χαρακτηριστικών. Σε αυτό το χώρο χαρακτηριστικών, μπορεί να γίνει χρήση του γραμμικού αλγορίθμου που αναφέρθηκε στο προηγούμενο μέρος, αλλά με μια διαφορά. Η διαχωριστική επιφάνεια ορίζεται πλέον ως μια γραμμική συνάρτηση των διανυσμάτων που προέρχονται από το χώρο των χαρακτηριστικών και όχι από τον αρχικό χώρο εισόδου. Σε γενικές γραμμές, ωστόσο, η διάσταση του χώρου χαρακτηριστικών είναι πολύ μεγάλη, έτσι εμφανίζεται το τεχνικό πρόβλημα του υπολογισμού χώρων μεγάλων διαστάσεων. Η μέθοδος πυρήνα δίνει τη λύση σε αυτό το πρόβλημα.

Βέβαια, όταν τα δεδομένα δεν έχουν επισημανθεί, η υπό εποπτεία μάθηση δεν είναι δυνατή και απαιτείται μια μη εποπτευόμενη μαθησιακή προσέγγιση, η οποία προσπαθεί να βρει φυσική ομαδοποίηση των δεδομένων σε ομάδες και στη συνέχεια να χαρτογραφήσει νέα δεδομένα σε αυτές τις σχηματισμένες ομάδες.



Σχήμα 11: SVM με Kernel [69].

2.1.3 Μέθοδοι ανίχνευσης βασισμένες στα χαρακτηριστικά του αντικειμένου

Το σύστημα αναγνώρισης αντικειμένων αναγνωρίζει ένα αντικείμενο στην υπό εξέταση εικόνα. Αν και έχει ερευνηθεί τις τελευταίες δεκαετίες, εξακολουθεί να είναι ένα δύσκολο πρόβλημα επειδή το αντικείμενο της εξεταζόμενης εικόνας μπορεί να επηρεαστεί από πολλές παραλλαγές, όπως ο προσανατολισμός της εικόνας, οι αλλαγές φωτισμού, το φόντο κ.λπ. Οι μέθοδοι αναγνώρισης αντικειμένων που βασίζονται στα χαρακτηριστικά του αντικειμένου είναι ουσιαστικά μια αναζήτηση η οποία αποσκοπεί στο να βρει σωστές αντιστοιχίες μεταξύ προκαθορισμένων χαρακτηριστικών του αντικειμένου και της υπό εξέταση εικόνας. Ο κύριος περιορισμός είναι ότι μία μοναδική θέση του αντικειμένου πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις δυνατές αντιστοιχίες.

Είναι γνωστό ότι μία εικόνα προσδιορίζεται από ένα πίνακα εικονοστοιχείων. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα, που έχουν οριστεί ανάλογα με το εκάστοτε πείραμα, αποτελούνται συνήθως από σημεία αναφοράς (key-points) και από περιγραφείς (descriptors). Τα σημεία αναφοράς υποδεικνύουν τη θέση του σημείου του χαρακτηριστικού, ενώ οι περιγραφείς περιέχουν τις πληροφορίες του εικονοστοιχείου που βρίσκεται σε εκείνη τη θέση [21]. Για παράδειγμα, ένα σημείο αναφοράς μπορεί να είναι τα μάτια και οι περιγραφείς αυτών να έχουν πληροφορίες σχετικά με χαρακτηριστικά, όπως το μέγεθος των ματιών και τα χρώμα τους [22].

Γενικότερα, η μέθοδος αναγνώρισης αντικειμένων βασιζόμενη σε χαρακτηριστικά γνωρίσματα ξεκινάει υπολογίζοντας έναν αριθμό χαρακτηριστικών της εικόνας εισόδου και συνδυάζοντάς τα σε ένα διάνυσμα χαρακτηριστικών. Ένα μοντέλο αντικειμένου είναι μια ομάδα από διανύσματα χαρακτηριστικών που σχετίζεται με ένα σύνολο αντιπροσωπευτικών εικόνων του αντικειμένου. Μια νέα εικόνα ταξινομείται με βάση τον υπολογισμό του διανύσματος χαρακτηριστικών της εικόνας και την απευθείας σύγκρισή της με τα αντίστοιχα διανύσματα. Η εικόνα αντιπροσωπεύει το αντικείμενο όταν αυτό το μοντέλο αντικειμένου περιέχει το διάνυσμα χαρακτηριστικών που είναι πιο κοντά στο διάνυσμα χαρακτηριστικών του αντικειμένου της εικόνας.

Γενικά, υπάρχουν δύο κύριες προσεγγίσεις για την αναγνώριση αντικειμένων, συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων που βασίζονται σε γενικά και τοπικά χαρακτηριστικά. Τα γενικά χαρακτηριστικά εξάγονται από όλο το περιεχόμενο του αντικειμένου, ενώ τα τοπικά χαρακτηριστικά εξάγονται από τα τοπικά κομμάτια του αντικειμένου [23]. Οι μέθοδοι που βασίζονται στα γενικά χαρακτηριστικά συνήθως χρησιμοποιούν χαρακτηριστικά σχήματος και χρώματος. Ωστόσο, η χρήση των γενικών χαρακτηριστικών για την αναγνώριση αντικειμένων απαιτεί την κατάτμηση αντικειμένων από την εξεταζόμενη εικόνα, κάτι το οποίο εξακολουθεί να είναι ένα δύσκολο πρόβλημα.

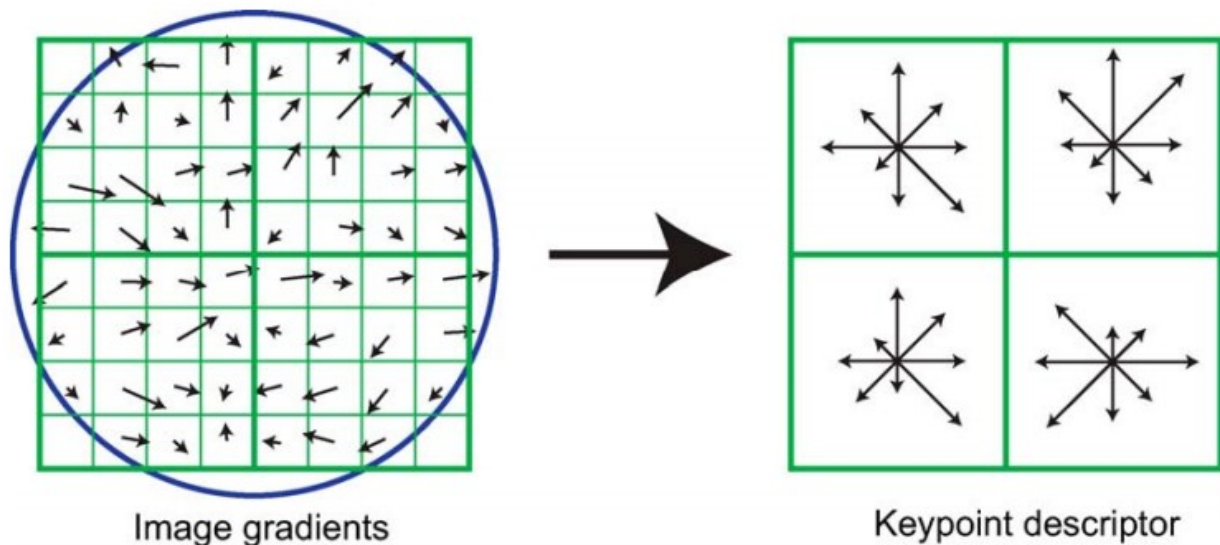
Όταν η μέθοδος εξετάζει τα γενικότερα χαρακτηριστικά του προς αναγνώριση αντικειμένου είναι απλούστερη και ταχύτερη από την τοπική προσέγγιση, αλλά δεν είναι αποτελεσματική σε περίπτωση που υπάρχουν συνθήκες όπως περιέργος φωτισμός και μη καθαρές εικόνες. Για το λόγο αυτό, θα μελετηθούν ορισμένες μέθοδοι αναγνώρισης αντικειμένων που βασίζονται σε τοπικά χαρακτηριστικά.

I. Μετασχηματισμός Κλίμακας-Αμετάβλητων Χαρακτηριστικών – Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)

Είναι ένας αλγόριθμος για τη δημιουργία ενός συνόλου τοπικών περιγραφικών στοιχείων από μια εικόνα, που περιλαμβάνει τόσο τον υπολογισμό των σημείων ενδιαφέροντος (σημεία DoG) όσο και έναν περιγραφέα SIFT. Τα DoG σημεία προκύπτουν από τον αλγόριθμο Διαφοράς των Γκαουσιανών – Difference of Gaussians. Μέσω της αφαίρεσης μιας θολής έκδοσης μιας πρωτότυπης εικόνας από μια άλλη, λιγότερο θολή έκδοση του πρωτοτύπου, επιτυγχάνει καλύτερη ανίχνευση των ζητούμενων χαρακτηριστικών. Στην απλή περίπτωση εικόνων σε κλίμακα του γκρι, οι θολές εικόνες αποκτώνται με τη συμπίεση των αρχικών εικόνων σε κλίμακα του γκρι με πυρήνες Gauss που έχουν διαφορετικές τυπικές αποκλίσεις. Η θόλωση μιας εικόνας χρησιμοποιώντας έναν πυρήνα Gauss καταστέλλει μόνο τις χωρικές πληροφορίες υψηλών συχνοτήτων. Η αφαίρεση μιας εικόνας από την άλλη διατηρεί χωρικές πληροφορίες που βρίσκονται μεταξύ του εύρους συχνοτήτων που διατηρούνται στις δύο θολές εικόνες. Έτσι, η διαφορά των Gaussians είναι ένα ζωνοπερατό φίλτρο που απορρίπτει όλες εκτός από μια χούφτα χωρικών συχνοτήτων που υπάρχουν στην αρχική εικόνα του γκρι [24].

Από την άλλη πλευρά ο περιγραφέας SIFT βασίζεται στη δημιουργία ενός ιστογράμματος των κλίσεων μέσα στην προσανατολισμένη υπό εξέταση περιοχή. Η περιοχή αυτή, μεγέθους 8×8 ,

χωρίζεται σε υποπεριοχές 4x4 (βλ. Σχήμα 12). Για κάθε υποπεριοχή, υπολογίζεται ένα ιστόγραμμα που περιλαμβάνει συνολικά 8 πιθανές διευθύνσεις (χωρισμένες κατά 45°).



Σχήμα 12: Οι περιγραφείς SIFT σχηματίζονται με υπολογισμό των διαβαθμίσεων της εικόνας για κάθε εικονοστοιχείο στην υπό εξέταση περιοχή. Το παράθυρο χωρίζεται σε υποπεριοχές. Για κάθε υποπεριοχή υπολογίζεται ένα ιστόγραμμα προσανατολισμών [70].

Συνδυάζοντας τα ιστογράμματα από όλες τις υποπεριοχές, υπολογίζεται ένα τελικό 128-διαστάσεων ιστόγραμμα. Το ιστόγραμμα κατόπιν κανονικοποιείται και το άθροισμα του τετραγώνου της συνιστώσας του ισούται με 1 [25].

Ενδεικτικά μερικές από τις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιείται ο SIFT αλγόριθμος περιλαμβάνουν αναγνώριση αντικειμένου, ρομποτική χαρτογράφηση και πλοήγηση, 3D μοντελοποίηση, αναγνώριση χειρονομίας και παρακολούθηση βίντεο.

II. Επιτάχυνση Δυνατών Χαρακτηριστικών - Speed Up Robust Features (SURF)

Ο SURF αλγόριθμος δημιουργήθηκε μεταγενέστερα του SIFT και αναφέρθηκε ως μια πιο αποτελεσματική υποκατάσταση του SIFT επειδή παράγει μικρότερο περιγραφικό στοιχείο καθώς και επιταχύνει το βήμα αντιστοίχισης [26]. Ο περιγραφέας του SURF βασίζεται επίσης σε μια ανάλυση των διαβαθμίσεων μέσα σε ένα προσανατολισμένο τμήμα, το οποίο χωρίζεται σε 4x4 υποπεριοχές. Εάν τα δομικά στοιχεία των διαβαθμίσεων μέσα σε κάθε υποπεριοχή ονομάζονται dx και dy , υπολογίζεται ένας περιγραφικός κατάλογος για την υποπεριοχή ως $(\Sigma dx, \Sigma dy, \Sigma |dx|, \Sigma |dy|)$. Δεδομένου ότι υπάρχουν 16 υποπεριοχές, ο πλήρης περιγραφέας SURF έχει 64 διαστάσεις.

III. Ιστόγραμμα Προσανατολισμένων Κλίσεων - Histogram of Oriented Gradients (HOG)

Η βασική ιδέα είναι ότι η τοπική εμφάνιση και το σχήμα ενός αντικειμένου μπορούν να προσδιοριστούν αρκετά καλά από την κατανομή των τοπικών διανυσμάτων κλίσης (γωνίας) της

έντασης ή των κατευθύνσεων ακμής, ακόμη και χωρίς ακριβή γνώση των αντίστοιχων θέσεων κλίσης ή ακμών. Στην πράξη αυτό υλοποιείται διαιρώντας την εικόνα σε μικρές περιοχές, τα αποκαλούμενα κύτταρα. Κάθε κύτταρο συσσωρεύει ένα τοπικό μονοδιάστατο (1-D) ιστογράμμα κατευθύνσεων κλίσης ή προσανατολισμών ακμής πάνω από τα εικονοστοιχεία του κυττάρου. Συνδυάζοντας τις συνολικές καταχωρήσεις των ιστογραμμάτων προκύπτει η επιθυμητή αναπαράσταση [27].

Για να υπάρχει σταθερότητα όσον αφορά τον φωτισμό, τη σκίαση κ.λπ, είναι επίσης χρήσιμη η κανονικοποίηση των τοπικών συντελεστών πριν από την χρήση τους. Αυτό μπορεί να γίνει με τη συσσώρευση ενός μέτρου του τοπικού ιστογράμματος "ενέργειας" σε κάπως μεγαλύτερες χωρικές περιοχές (μπλοκ) και χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα για την ομαλοποίηση όλων των κυττάρων στο μπλοκ. Τα κανονικοποιημένα αυτά μπλοκ ονομάζονται περιγραφείς του ιστογράμματος της προσανατολισμένης κλίσης (HOG).

Ο αλγόριθμος HOG συνδυάζεται πολύ καλά με άλλες μεθόδους όπως SIFT και SVM, οι οποίες έχουν αναλυθεί παραπάνω.

IV. Δυαδικά Στερεά Ανεξάρτητα Στοιχειώδη Χαρακτηριστικά - Binary Robust Independent Elementary Features (BRIEF)

Ο SIFT χρησιμοποιεί διάνυσμα 128-διαστάσεων για τους περιγραφείς. Δεδομένου ότι χρησιμοποιεί αριθμούς κινητής υποδιαστολής, χρειάζεται βασικά 512 byte μνήμης. Ομοίως, ο SURF παίρνει επίσης τουλάχιστον 256 byte (για 64-διαστάσεις). Η δημιουργία ενός τέτοιου περιγραφέα για χιλιάδες χαρακτηριστικά απαιτεί πολλή μνήμη, η οποία δεν είναι εφικτή για εφαρμογές που απαιτούν περιορισμό μνήμης, ειδικά για τα ενσωματωμένα συστήματα. Όσο μεγαλύτερη είναι η μνήμη, τόσο περισσότερος χρόνος χρειάζεται για να ολοκληρωθεί η αντιστοίχιση!

Αντιθέτως, ο αλγόριθμος BRIEF ερμηνεύει τις εικόνες ως δυαδικές συμβολοσειρές και προσφέρει μία σύντομη "παράκαμψη" για να εντοπίσει τις δυαδικές αυτές πληροφορίες χωρίς να βρει τους περιγραφείς. Παίρνει στην υπό εξέταση εικόνα ένα σύνολο από ζευγάρια τοποθεσίας $n_d(x,y)$ με έναν μοναδικό τρόπο [28]. Στη συνέχεια πραγματοποιούνται ποικίλες συγκρίσεις έντασης των εικονοστοιχείων σε αυτά τα ζεύγη θέσεως.

Για παράδειγμα: Έστω τα πρώτα ζεύγη θέσης να είναι p και q . Αν το $I(p) < I(q)$, τότε το αποτέλεσμα του είναι 1, αλλιώς είναι 0. Αυτό ισχύει για όλα τα ζευγάρια τοποθεσίας $n_d(x,y)$.

Αυτά τα $n_d(x,y)$ μπορεί να είναι 128, 256 ή 512 bits επομένως 16, 32 ή 64 bytes. Έτσι, μόλις αυτά υπολογιστούν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνική Hamming για την αντιστοιχία των περιγραφών [29]. Η τεχνική Hamming, μετρά τον ελάχιστο αριθμό αντικαταστάσεων που χρειάζονται ώστε να μετατραπεί η μία συμβολοσειρά στην άλλη, ή αλλιώς, τον αριθμό των λαθών που μετέτρεψαν την μία συμβολοσειρά στην άλλη [30].

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι το BRIEF είναι μόνο ένας περιγραφέας χαρακτηριστικών και δεν παρέχει καμία μέθοδο για την εύρεση των χαρακτηριστικών αυτών. Έτσι θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας οποιοσδήποτε άλλος ανιχνευτής χαρακτηριστικών όπως SIFT, SURF κτλ. Εν

ολίγοις, το BRIEF είναι απλά ένας ταχύτερος τρόπος υπολογισμού και αντιστοίχισης του περιγραφέα ενός χαρακτηριστικού.

2.1.4 Σημάδια κόπωσης στον άνθρωπο

Έως τώρα, έχουν παρουσιαστεί μέθοδοι μέσω των οποίων καθίσταται ικανή η μηχανική ανίχνευση ενός αντικειμένου. Στην παρούσα εργασία, ως αντικείμενα ορίζονται τα σημάδια κόπωσης στον άνθρωπο, τα οποία θα πρέπει να εντοπιστούν για να διαπιστωθεί εάν είναι σε θέση να οδηγήσει ή διατρέχει κίνδυνο.

Το πρώτο και πιο εμφανές χαρακτηριστικό κόπωσης και υπνηλίας είναι το χασμουρητό. Εάν και στον χώρο της έρευνας οι απόψεις δίστανται, η πιο ευρέως αναγνωρισμένη θεωρία συνίσταται στο γεγονός ότι μέσω αυτού, εισέρχεται περισσότερη ποσότητα οξυγόνου στον οργανισμό και απελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα. Αποτελεί μία αντίδραση του ανθρώπινου οργανισμού που προλαμβάνει τον ύπνο καθώς ανοίγει τους πνεύμονες και δίνει στιγμιαία ενέργεια [31]. Συνεπώς, τα συχνά χασμουρητά είναι ένδειξη κόπωσης.

Άλλο ένα κοινό χαρακτηριστικό κόπωσης είναι ο χαμηλότερος από τον κανονικό καρδιακός σφυγμός. Μελέτες έχουν δείξει ότι έτσι κι αλλιώς κατά την διάρκεια της πολύωρης οδήγησης μπορεί να παρατηρηθούν έως και 10 παλμοί ανά λεπτό λιγότεροι απ' ό,τι σε κανονικές συνθήκες [32]. Αυτό σε συνδυασμό με την επιπλέον πιθανή κόπωση του ατόμου θα οδηγούσε σε πολύ μικρότερο καρδιακό ρυθμό.

Η θερμοκρασία του σώματος και η πίεση του αίματος συνιστούν και αυτά σημάδια κόπωσης. Η μεταβολή τους βέβαια είναι πολύ μικρής τάξεως και έτσι χρειάζονται υψηλής ακρίβειας αισθητήρες για την αναγνώρισή τους. Επιπρόσθετα, υπάρχουν πολλοί βιοχημικοί δείκτες οι οποίοι υποδηλώνουν πιθανή κόπωση. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η αύξηση της τιμής της αδρεναλίνης [32].

Σε προχωρημένο στάδιο κόπωσης, σε σημείο πια που το άτομο είναι πολύ πιθανό να κοιμηθεί άθελά του, χρήσιμος είναι ο ρυθμός με τον οποίο ανοιγοκλείνει τα μάτια του σε συνδυασμό διάφορες κινήσεις του σώματός του. Παραδείγματος χάριν, μπορεί να έχει την τάση να κλείνει τα μάτια του και να κοιτάει προς τα κάτω για κάποια δευτερόλεπτα και στη συνέχεια να ξανασηκώνει απότομα το κεφάλι του. Τέτοιου είδους πιο πολύπλοκα χαρακτηριστικά είναι δυσκολότερο και πιο σύνθετο να ανιχνευθούν, όπως είναι αναμενόμενο.

Τέλος, πέρα από τα σωματικά χαρακτηριστικά, ένας άνθρωπος που είναι πολύ κουρασμένος παρουσιάζει και αλλαγές στην συμπεριφορά του. Ανάλογα τον οργανισμό, τείνει να είναι είτε πιο νευρικός είτε πιο ήρεμος, μπορεί να εμφανίζει διάσπαση προσοχής, διαφοροποίηση στον τρόπο ομιλίας του κ.λπ. Βέβαια, το πιο σοβαρό, ειδικά στην περίπτωση που οδηγεί, είναι η μείωση των χρόνων αντίδρασής του σε κάποιο οπτικό ή ακουστικό ερέθισμα!

2.2 Κάμερα υπερύθρων

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η χρήση μίας κάμερας υπερύθρων για τον προσδιορισμό ορισμένων αντιδράσεων ενός οδηγού αυτοκινήτου. Θα γίνει προσπάθεια αναγνώρισης του

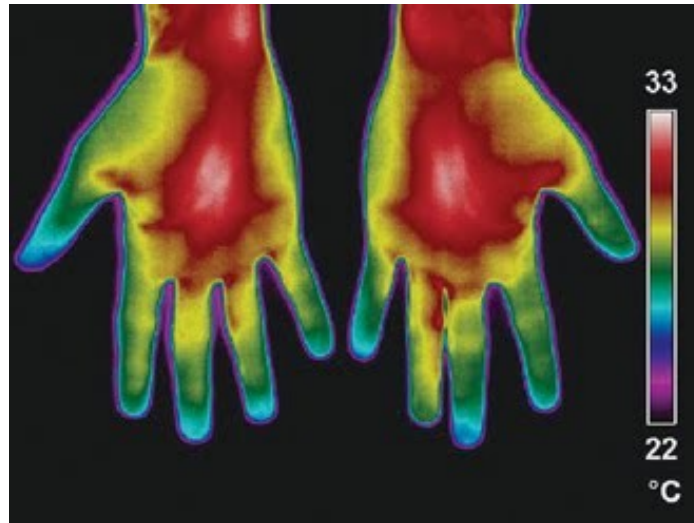
προσώπου του οδηγού, δίνοντας έμφαση στα μάτια και στο στόμα. Η κάμερα θα πρέπει να αναγνωρίζει πότε είναι κλειστά και πότε ανοιχτά, καθώς και την κατάσταση του στόματος του οδηγού. Η κάμερα υπέρυθρων παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι, επειδή ακριβώς διαχωρίζει τις θερμές από τις ψυχρές περιοχές της εικόνας στη φωτεινότητα των pixels της, δεν εξαρτάται τόσο όσο άλλα είδη κάμερας από τις καιρικές συνθήκες και τις συνθήκες φωτισμού.

Πολλές ερευνητικές ομάδες έχουν ασχοληθεί με ένα ενσωματωμένο στο αμάξωμα (on board) σύστημα ποικίλων πραγμάτων με τη μέθοδο της όρασης. Τα παραδείγματα είναι πολλά: ανίχνευση άλλων οχημάτων στο δρόμο, ανίχνευση οδηγικής συμπεριφοράς του ίδιου του οδηγού, ανίχνευση των λωρίδων κυκλοφορίας κ.λπ. Ο στόχος αυτός αποτελεί εξαιρετική πρόκληση εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας των καταστάσεων που πρέπει να ληφθούν υπόψιν, όπως π.χ. η κινούμενη κάμερα, τα μερικώς επικαλυπτόμενα οχήματα, οι πολλές διαφορετικές κινήσεις του οδηγού, τα διαφορετικά χρώματα και σχήματα των αυτοκινήτων καθώς και η οδήγηση σε διαφορετικές καιρικές – και κατ' επέκταση οπτικές- συνθήκες.

Οι περισσότερες από τις ερευνητικές ομάδες βασίζονται στις προσεγγίσεις τους στην επεξεργασία εικόνων από μία μόνο κάμερα (monocular), ενώ άλλες εκμεταλλεύονται τη στερεοσκοπική όραση ή την ανάλυση οπτικών πεδίων ροής.

Πρόσφατα, χάρη στη διαθεσιμότητα υπέρυθρων συσκευών (Infra-Red devices, IR devices), η ανάλυση υπέρυθρων εικόνων γίνεται όλο και πιο κοινή. Η επεξεργασία υπέρυθρων εικόνων παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με την επεξεργασία εικόνων στον οπτικό τομέα. Το ανθρώπινο σώμα έχει μία συγκεκριμένη θερμοκρασία, συνήθως στους 36.6 °C. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επικέντρωση της προσοχής σε λίγες μικρές περιοχές της εικόνας που περιέχουν το ζητούμενο θερμό αντικείμενο, τον οδηγό. Φυσικά, δεν υπάρχει η ίδια θερμοκρασία σε ολόκληρο το ανθρώπινο σώμα. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 13, τα άκρα έχουν πολλές φορές μικρότερη θερμοκρασία λόγω της ασθενέστερης κυκλοφορίας του αίματος σε αυτά.

Επιπροσθέτως, οι υπέρυθροι αισθητήρες εξαρτώνται σε μικρότερο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες και το φωτισμό σε σχέση με τους συνηθισμένους. Εικόνες από την ίδια σκηνή κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας μοιάζουν πολύ μεταξύ τους, μειώνοντας έτσι τον αριθμό των διαφορετικών περιπτώσεων που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Δυστυχώς οι υπέρυθρες εικόνες παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα, όπως η δυσκολία στην επεξεργασία τους σε ζεστό και ηλιόλουστο καιρό.

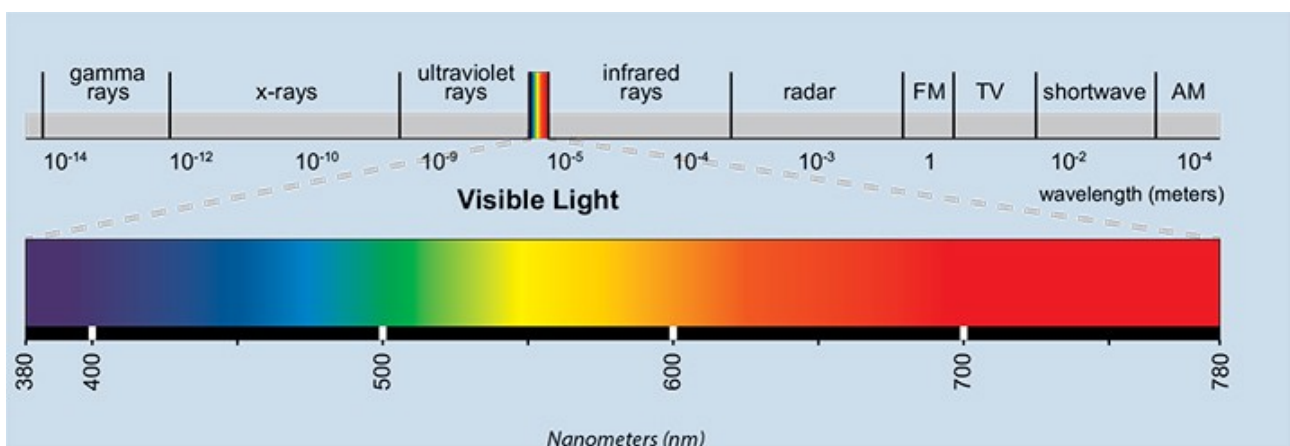


Σχήμα 13: Φωτογραφία των χεριών ενός ανθρώπου με χρήση κάμερας υπέρυθρων [71].

Παρόλα αυτά, το πιο ενδιαφέρον χαρακτηριστικό των υπέρυθρων συσκευών είναι το γεγονός ότι «εμπλουτίζουν» την εικόνα σε σχέση με τις συσκευές του οπτικού τομέα. Ειδικότερα, ενώ οι τελευταίες απλώς μιμούνται την ανθρώπινη όραση, οι υπέρυθρες κάμερες επεκτείνουν την όραση πέρα από τους συνήθεις περιορισμούς. Από την άλλη πλευρά, η τρέχουσα τεχνολογία υπέρυθρων παρέχει αισθητήρες με περιορισμένη ανάλυση [33].

2.2.1 Τρόπος λειτουργίας κάμερας υπέρυθρων

Η υπέρυθρη ενέργεια είναι μόνο ένα μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, το οποίο περιλαμβάνει: ακτινοβολία ακτίνων γάμμα, ακτίνες X, υπεριώδη, λεπτή περιοχή ορατού φωτός, υπέρυθρη ακτινοβολία, κύματα terahertz, μικροκύματα και ραδιοκύματα [34].



Σχήμα 14: Φάσμα ακτινοβολίας [72].

Όλα αυτά σχετίζονται και διαφοροποιούνται στο μήκος του κύματος. Όπως φαίνεται, το ορατό στα ανθρώπινα μάτια φως καταλαμβάνει ελάχιστο ποσοστό της συνολικής ακτινοβολίας.

Όλα τα αντικείμενα εκπέμπουν μια ορισμένη ποσότητα ακτινοβολίας μέλανος σώματος ως συνάρτηση της θερμοκρασίας τους. Σε γενικές γραμμές, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία ενός αντικειμένου, τόσο περισσότερη υπέρυθη ακτινοβολία εκπέμπεται ως ακτινοβολία μέλανος σώματος. Μια ειδική κάμερα μπορεί να ανιχνεύσει αυτήν την ακτινοβολία με τρόπο παρόμοιο με τον τρόπο που μια συνηθισμένη κάμερα ανιχνεύει ορατό φως. Λειτουργεί ακόμη και σε απόλυτο σκοτάδι, επειδή ο φωτισμός του περιβάλλοντος δεν έχει καμία σημασία.

Μια κάμερα υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι μια συσκευή χωρίς επαφή που ανιχνεύει την υπέρυθη ακτινοβολία (θερμότητα) και την μετατρέπει σε ένα ηλεκτρονικό σήμα, το οποίο στη συνέχεια επεξεργάζεται για να παράγει μια θερμική εικόνα σε μια οθόνη ενώ παράλληλα πραγματοποιεί υπολογισμούς θερμοκρασίας. Η θερμότητα που ανιχνεύεται από μια κάμερα υπέρυθρων μπορεί να ποσοτικοποιηθεί ή να μετρηθεί με ακρίβεια, επιτρέποντάς όχι μόνο την παρακολούθηση των θερμικών επιδόσεων, αλλά και τον προσδιορισμό και την αξιολόγηση της σοβαρότητας των προβλημάτων που σχετίζονται με τη θερμότητα.

Μια μεγάλη διαφορά με τις οπτικές κάμερες είναι ότι οι φακοί εστίασης δεν μπορούν να κατασκευαστούν από γυαλί. Πρέπει να χρησιμοποιηθούν ειδικά υλικά όπως οι κρύσταλλοι από Γερμάνιο (Ge) ή Ζαφείρι. Οι φακοί γερμανίου είναι επίσης αρκετά εύθραυστοι και έτσι συχνά έχουν σκληρή επίστρωση για προστασία από τυχαία επαφή. Το υψηλότερο κόστος αυτών των ειδικών φακών είναι ένας λόγος για τον οποίο οι θερμογραφικές φωτογραφικές μηχανές είναι πιο ακριβές.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εικόνες από τις υπέρυθρες κάμερες τείνουν να είναι μονόχρωμες επειδή χρησιμοποιούν έναν αισθητήρα εικόνας που δεν διακρίνει διαφορετικά μήκη κύματος υπέρυθρης ακτινοβολίας. Οι αισθητήρες χρώματος εικόνας απαιτούν πολύπλοκη κατασκευή για τη διάκριση των διαφορετικών μηκών κύματος και το χρώμα έχει λιγότερη σημασία εκτός του κανονικού ορατού φάσματος, επειδή τα διαφορετικά μήκη κύματος δεν χαρτογραφούνται ομοιόμορφα στο σύστημα της έγχρωμης όρασης που χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο. Μερικές φορές όμως αυτές οι μονοχρωματικές εικόνες εμφανίζονται σε ψευδοχρώματα, όπου χρησιμοποιούνται μεταβολές χρώματος και όχι μεταβολές έντασης για την εμφάνιση αλλαγών στο σήμα.

Οι θερμικές εικόνες ανιχνεύουν μικρές μεταβολές θερμοκρασίας έως το $1/20^\circ$ του βαθμού. Οι κάμερες θερμικής απεικόνισης πρέπει να μετατρέπουν αυτές τις λεπτές μεταβολές θερμοκρασίας - που αντιπροσωπεύουν 16.384 αποχρώσεις του γκρι - σε περίπου 250 κλίμακες του γκριζου χρώματος για να συμβαδίζουν περισσότερο με την ικανότητα της ανθρώπινης όρασης να αποκρυπτογραφούν αποχρώσεις του γκρι.

Οι παρακάτω εικόνες δείχνουν τη δυσκολία να υπάρξει σαφής διάκριση μεταξύ στενών επιπέδων γκριζου χρώματος:

Το Σχήμα 15 δείχνει έξι επίπεδα γκριζου τα οποία μπορεί να δει το μάτι.



Σχήμα 15: Έξι (6) αποχρώσεις του γκρι [73].

Το Σχήμα 16 δείχνει δεκαέξι αποχρώσεις του γκρι.



Σχήμα 16: Δεκαέξι (16) αποχρώσεις του γκρι [73].

Είναι προφανές πως είναι όλο και πιο δύσκολο για το ανθρώπινο μάτι να διακρίνει τη διαφορά χρώματος του ενός μπλοκ με το διπλανό του. Εάν αναλογιστεί κανείς το γεγονός ότι ένα θερμικό σύστημα απεικόνισης έχει 16.000 αποχρώσεις του γκρι, πάνω από 1000 φορές περισσότερες από αυτές που δείχνει το Σχήμα 16, τότε η σοβαρότητα του προβλήματος καθίσταται σαφέστερη.

2.3 Raspberry Pi

Αδιαμφισβήτητη εντυπωσιακή είναι η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας τις τελευταίες δεκαετίες σε όλους τους τομείς. Τα παραδείγματα είναι αμέτρητα: Αεροπλάνα και επιβατικά τρένα που τρέχουν με τεράστιες ταχύτητες εκμηδενίζοντας τις αποστάσεις, η εξερεύνηση του διαστήματος μέσω υπερσύγχρονων διαστημοπλοίων, η δημιουργία τόσο τεχνητών μελών, αλλά και μικροσκοπικών ρομπότ για την θεραπεία ποικίλων ανθρώπινων ασθενειών, τρισδιάστατα υπερηχογραφήματα και φυσικά η κατασκευή όλο και πιο ικανών και αποδοτικών ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Ο πρώτος υπολογιστής θεωρείται ότι ήταν ο ENIAC, οποίος κατασκευάστηκε το 1947 στην Αμερική. Καταλάμβανε 270 τετραγωνικά μέτρα και ζύγιζε 30 τόνους. Πέρα από τον δύσκολο χειρισμό του, ο ENIAC χαλούσε πολύ συχνά, έκανε πολλά λάθη και ήταν ικανός να κάνει μόνο 300 πολλαπλασιασμούς το δευτερόλεπτο [35]. Ερχόμενοι στο σήμερα εν έτει 2019, συναντάμε όχι μόνο τους κλασικούς φορητούς υπολογιστές που όλοι γνωρίζουμε, οι οποίοι έχουν ένα μέσο βάρος των 2 κιλών και πολύ μεγάλη υπολογιστική δύναμη, αλλά και τους λεγόμενους ηλεκτρονικούς υπολογιστές μονής πλακέτας με τους οποίους θα ασχοληθούμε και από εδώ και πέρα θα τους αποκαλούμε ως μικροϋπολογιστές.

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής μονής πλακέτας (single – board computer – SBC) είναι ένας πλήρης υπολογιστής που είναι χτισμένος σε ένα ενιαίο κύκλωμα [36]. Είναι τελειώς αυτόνομος, καθώς έχει όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά που απαιτούνται σε έναν λειτουργικό υπολογιστή όπως κάρτα μνήμης, μικροεπεξεργαστή και θύρες εισόδου και εξόδου. Το μέγεθός του πλέον είναι μικρότερο από την παλάμη του χεριού μας και ζυγίζει λιγότερο από 100 γραμμάρια!

Ένας από τους πιο διάσημους και ευρέως διαδεδομένους μικροϋπολογιστές είναι το Raspberry Pi. Το ίδρυμα Raspberry Pi δημιούργησε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή μονής πλακέτας πολύ μικρού μεγέθους που ονομάστηκε Raspberry Pi (Rpi). Πρωταρχικός στόχος της κατασκευής του ήταν η τόνωση της διδασκαλίας στα σχολεία και στις αναπτυσσόμενες χώρες [37]. Το έργο ξεκίνησε το 2006 από τον Βρετανό μηχανικό, Eben Upton, για να αντιμετωπίσει την έλλειψη υπολογιστών για παιδιά και το 2009 ιδρύθηκε επίσημα το ίδρυμα Raspberry Pi, ένας φιλανθρωπικός οργανισμός [38]. Σε λιγότερο από δύο χρόνια κυκλοφόρησε μια άλφα (Α) έκδοση του Raspberry Pi, που χρησιμοποιήθηκε κυρίως ως αναπτυξιακή πλατφόρμα και για σκοπούς επίδειξης. Ακολούθησε βήτα (Β) έκδοση τον Δεκέμβριο του 2011. Όταν οι ηλεκτρονικές πωλήσεις ξεκίνησαν στις 29 Φεβρουαρίου 2012, το ίδρυμα αιφνιδιάστηκε από την τεράστια ζήτηση! Αναφέρθηκε ότι οι πελάτες έπρεπε να περιμένουν ώρες για να υποβάλουν την παραγγελία τους.

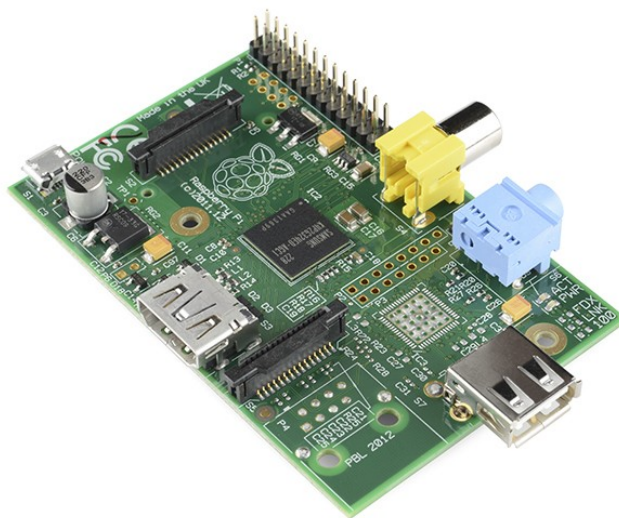
2.3.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Από τότε που βγήκαν τα πρώτα μοντέλα και έως σήμερα έχουν σχεδιαστεί πάνω από 10 διαφορετικά μοντέλα τα οποία ποικίλουν ως προς τα χαρακτηριστικά τους και τις διαθέσιμες λειτουργίες τους.

Οι κύριοι λόγοι για τους οποίους έγιναν τόσο δημοφιλή είναι:

- ✓ Το πολύ μικρό κόστος τους
- ✓ Η φορητότητά τους
- ✓ Η ευκολία στη χρήση τους
- ✓ Το λογισμικό τους
- ✓ Η δυνατότητα να προσαρμοστούν σε πολλών ειδών διαφορετικές εφαρμογές

Παρακάτω απεικονίζεται το παλαιότερο μοντέλο Raspberry Pi 1 Model A σε αντιδιαστολή με το πιο πρόσφατο μοντέλο, το Raspberry Pi 3 Model B+.



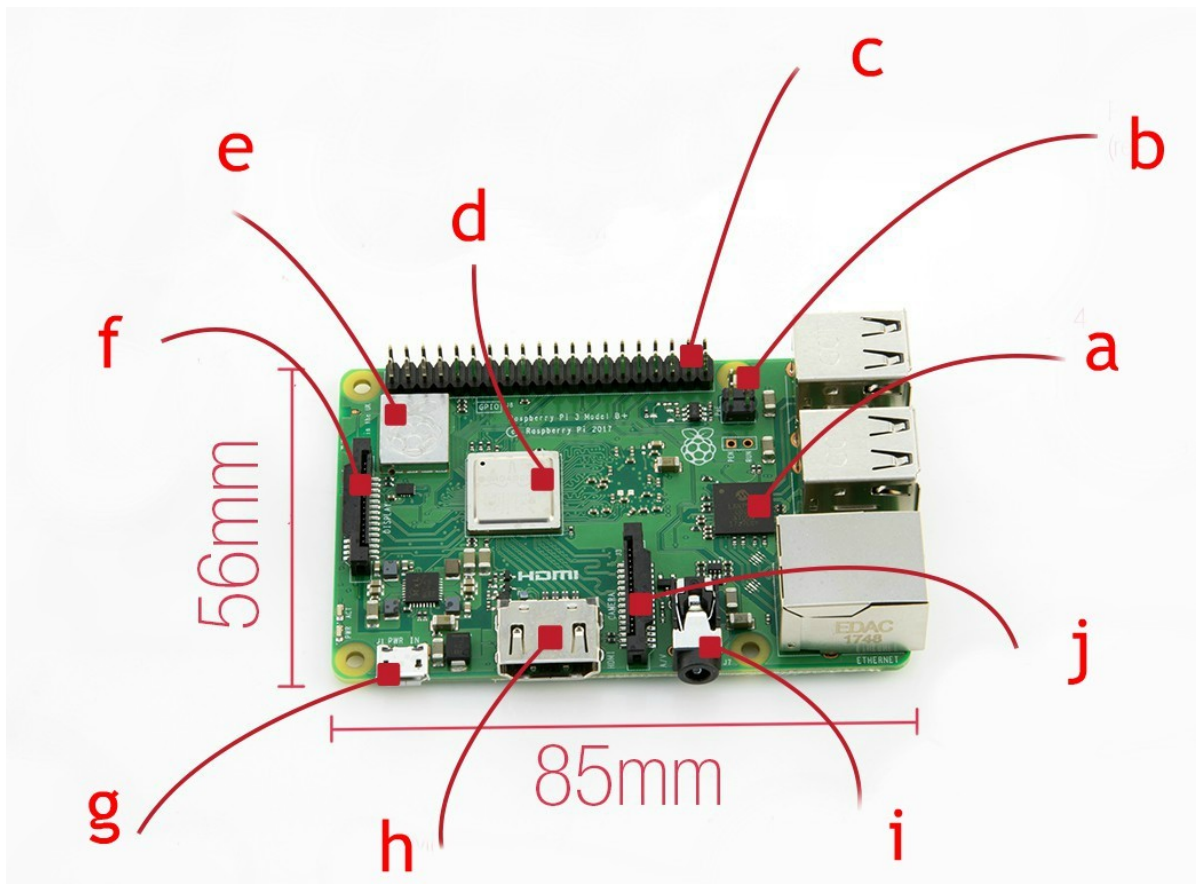
Σχήμα 17: Η εικόνα του Raspberry Pi 1 Model A [74].



Σχήμα 18: Η εικόνα του Raspberry Pi 3 Model B+ [75].

Θα αναλυθούν οι λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά του πιο πρόσφατου μοντέλου, Raspberry Pi 3 Model B+, το οποίο στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί και στο πειραματικό μέρος.

Παρουσιάζονται αναλυτικά τα κυριότερα μέρη αυτού του μικροϋπολογιστή, με τη σειρά που φαίνονται στο προσεχές Σχήμα.



Σχήμα 19: Raspberry Pi 3 Model B+.

- a) Τέσσερις (4) θύρες USB 2.0 και μία θύρα Ethernet με ταχύτητα έως και 300 Mbit/s.
- b) Δυνατότητα για Power over Ethernet (PoE). Αυτό επιτρέπει σε ένα μόνο καλώδιο να παρέχει τόσο ηλεκτρική ενέργεια στη συσκευή όσο και σύνδεση δεδομένων. Είναι απαραίτητο το Raspberry να συνδεθεί με την πλακέτα PoE HAT ώστε να είναι εφικτό το παραπάνω.
- c) Σαράντα (40) γενικού σκοπού συνδέσεις εισόδου /εξόδου (general purpose input/output – GPIO).
- d) Σύστημα επί ψηφίδα (System on a chip – SoC) Broadcom 2837B0, με 64-bit μικροεπεξεργαστή και 1GB δυναμικής μνήμης τυχαίας προσπέλασης (RAM). Όλα αυτά οδηγούν σε υψηλότερες συχνότητες ρολογιού, σε λειτουργία σε χαμηλότερες τάσεις ώστε να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας και στον ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας του τσιπ.
- e) Bluetooth 4.2 LS BLE και ασύρματη σύνδεση στο διαδίκτυο (Wireless LAN) στα 2.4 και 5 GHz.
- f) Σειριακή διεπαφή οθόνης LCD.
- g) Θύρα MicroUSB τροφοδοσίας 5V.
- h) Θύρα HDMI

- i) Υποδοχή τεσσάρων (4) πόλων, 3.5 χιλιοστών καλωδίου jack που περιλαμβάνει δυνατότητα σύνδεσης σήματος από βίντεο. Οι 4 αγωγοί μεταφέρουν το βίντεο, τον αριστερό ήχο, τον δεξί ήχο και τη γείωση. Επομένως από μία μόνο υποδοχή μεταφέρονται σήματα τόσο ήχου όσο και από βίντεο.
- j) Υποδοχή του καλωδίου της κάμερας.

Όσον αφορά το λογισμικό σύστημα, το ίδρυμα Raspberry συνιστά τη χρήση του Raspbian ως λειτουργικού συστήματος (Operating System - OS). Το Raspbian είναι μια παραλλαγή του γνωστού Linux Debian, με βελτιστοποιήσεις για το σύνολο εντολών του μικροεπεξεργαστή ARM. Για παράδειγμα, παρέχει καλύτερες επιδόσεις για αριθμητικές πράξεις με αριθμούς κινητής υποδιαστολής [39]. Επί του παρόντος, η Raspbian περιέχει περίπου 35.000 προεγκατεστημένα πακέτα, απλουστεύοντας τη διαδικασία εγκατάστασης λογισμικού σε ένα Raspberry Pi. Παράλληλα, για τους αρχάριους προτείνεται το λειτουργικό σύστημα NOOBS, το οποίο είναι πολύ εύκολο στην χρήση και στην εκμάθησή του.

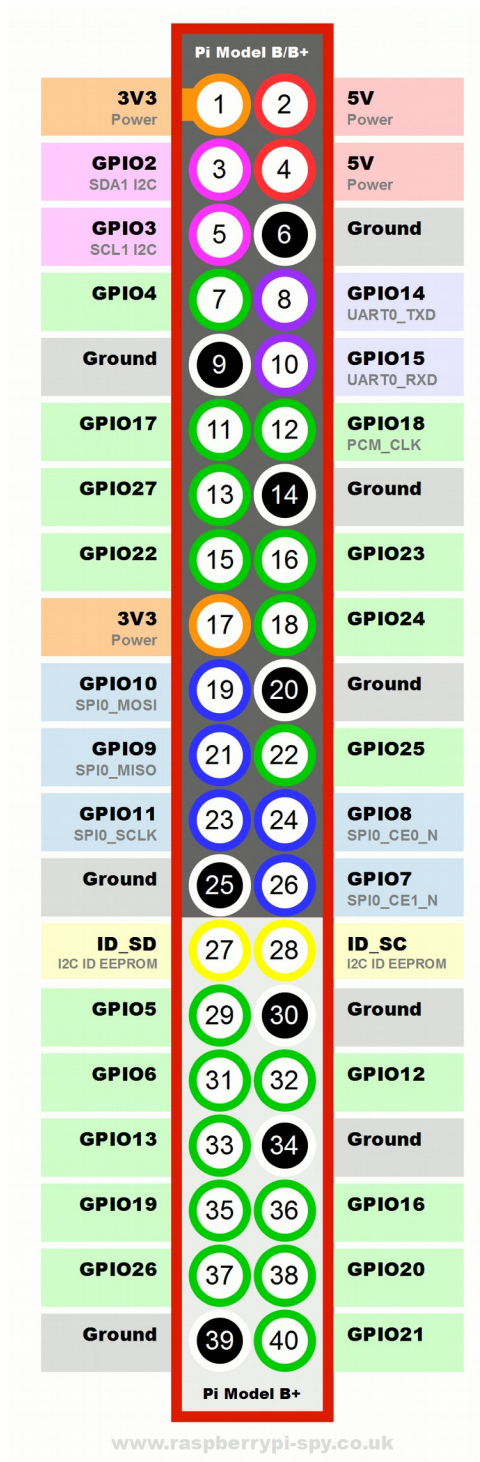
Άλλα λειτουργικά συστήματα τα οποία είναι διαθέσιμα για το Rpi είναι τα παρακάτω [40]:

- UBUNTU MATE
- SNAPPY UBUNTU CORE
- WINDOWS 10 IOT CORE
- OSMC
- LIBREELEC
- PINET
- ORACLE WEATHER STATION
- RISC OS
- ICHIGOJAM RPI

2.3.2 Πίνακας εισόδων/εξόδων (GPIO)

Οι παρακάτω ετικέτες του Σχήματος 20 είναι τα ονόματα των ακίδων στον πίνακα του Raspberry Pi στα οποία είναι φυσικά συνδεδεμένη η κάθε υποδοχή. Μεγάλο μέρος της σύγχυσης γύρω από τη σύνδεση των εισόδων/εξόδων οφείλεται σε αυτές τις ετικέτες, στη σχέση τους με τα νούμερα που τους αντιστοιχούν και στον τρόπο με τον οποίο αναφέρονται μέσα στον κώδικα.

Αξίζει να σημειωθεί ο τρόπος κατά τον οποίο αριθμούνται οι υποδοχές. Οι περιττοί αριθμοί βρίσκονται στην αριστερή στήλη ενώ οι άρτιοι αριθμοί στην δεξιά.



Σχήμα 20: Πίνακας εισόδων/εξόδων [76].

- ✓ Ο μικροελεγκτής παρέχει 5V στους ακροδέκτες 2 και 4 και 3.3V στους ακροδέκτες 1 και 17. Η παροχή 3.3V περιορίζεται στα 50mA. Η τροφοδοσία 5V αντλεί ρεύμα απευθείας από την τροφοδοσία microUSB, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιήσει ό,τι έχει απομείνει αότου η κύρια πλακέτα έχει τροφοδοτηθεί. Για παράδειγμα, μια τροφοδοσία ρεύματος 1A, θα μπορούσε να παρέχει μέχρι και 300mA εάν η πλακέτα χρησιμοποιεί 700mA.

- ✓ Υπάρχουν 17 υποδοχές που μπορούν να διαμορφωθούν ως είσοδοι και έξοδοι. Σαν προεπιλογή, όλες είναι διαμορφωμένες ως είσοδοι εκτός από τις υποδοχές 8 και 33 (GPIO14 και GPIO15) που είναι διαμορφωμένες ως έξοδοι. Για την ορθή χρήση αυτών, πρέπει να οριστεί εξαρχής στο πρόγραμμα αν πρόκειται για εισόδους ή εξόδους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους. Ο ευκολότερος τρόπος για τον έλεγχο των υποδοχών GPIO είναι με την εγκατάσταση της βιβλιοθήκης RPi.GPIO της Python.
- ✓ Υπάρχουν 8 υποδοχές που χρησιμεύουν ως γείωση.
- ✓ Τέλος, οι υποδοχές 27 και 28, με την ετικέτα ID_SD και ID_DC αντίστοιχα, είναι αποκλειστικά για την αναγνώριση της EEPROM, η οποία είναι ένα είδος προγραμματίσιμης μνήμης που προσφέρεται μόνο για ανάγνωση. Κατά την εκκίνηση του μικροεπεξεργαστή η διεπαφή θα διερευνηθεί για να αναζητήσει μια EEPROM που αναγνωρίζει τον ενσωματωμένο πίνακα και επιτρέπει την αυτόματη ρύθμιση των GPIO (και προαιρετικά, προγράμματα οδήγησης Linux). Κρίνεται ύψιστης σημασίας να μην γίνει χρήση αυτών των υποδοχών για οτιδήποτε άλλο εκτός από την τοποθέτηση ενός αναγνωριστικού μίας EEPROM. Σε κάθε άλλη περίπτωση πρέπει να παραμείνουν μη συνδεδεμένες.

2.3.3 Περιορισμοί

Πέρα από τα πλεονεκτήματα, όπως το μικρό μέγεθος και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας του Raspberry Pi, είναι λογικό να υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Όσον αφορά την απόδοση, υπάρχουν περιορισμοί στο τι μπορεί να επιτύχει ένα μόνο RPi. Το ίδρυμα Raspberry παρέχει κάποιες συγκρίσεις μεταξύ RPi και άλλων συσκευών. Η συνολική του απόδοση είναι σχεδόν συγκρίσιμη με έναν υπολογιστή που χρησιμοποιεί επεξεργαστή Intel Pentium 2 με συχνότητα στα 300MHz και οι δυνατότητες γραφικών είναι περίπου ίδιες με την αρχική κονσόλα παιχνιδιών Microsoft Xbox. Παρακάτω υπογραμμίζονται κάποια χαρακτηριστικά που έχουν διερευνηθεί στο πλαίσιο της απόδοσης.

- A) Ταχύτητα επεξεργαστή:** Ενώ αρχικά το RPi είχε κριθεί αρνητικά για τον ξεπερασμένο επεξεργαστή ARM11 με ρυθμό ρολογιού στα 700 MHz, τα νεότερα μοντέλα χρησιμοποιούν 4 επεξεργαστές Cortex-A53. Συγκεκριμένα το πλέον εξελιγμένο μοντέλο που εξετάσαμε παραπάνω πετυχαίνει ρυθμό ρολογιού 1.4GHz. Ο ρυθμός ρολογιού (clock rate) αναφέρεται στη συχνότητα με την οποία λειτουργεί ένα τσιπ σαν μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας (Central Processor Unit - CPU) και χρησιμοποιείται ως δείκτης της ταχύτητας του επεξεργαστή. Μετριέται σε κύκλους ρολογιού ανά δευτερόλεπτο ή ισοδύναμα σε μονάδα Hertz (Hz).
- B) Απόδοση κάρτας SD:** Η απόδοση της κάρτας SD ενός RPi είναι λίγο αργή [41]. Αυτό εξηγείται εν μέρει από τον γενικό σχεδιασμό μνήμης flash. Οι λειτουργίες ανάγνωσης / εγγραφής συνήθως έχουν πρόσβαση στη μνήμη σε μπλοκ (για παράδειγμα 128 KB το καθένα). Ακόμη και η αλλαγή ενός μοναδικού byte σημαίνει την ανάγνωση ολόκληρου του μπλοκ, την αλλαγή αυτού του byte και την επανεγγραφή ενός νέου μπλοκ (το οποίο πρέπει να προετοιμαστεί για εγγραφή). Επιπλέον, η διάρκεια ζωής μιας κάρτας SD μειώνεται

σημαντικά στην περίπτωση πολύ συχνών εγγραφών. Κατά συνέπεια, ορισμένοι χρήστες συνδέουν τους εξωτερικούς σκληρούς δίσκους με το RPi. Ωστόσο, αυτό αυξάνει την κατανάλωση ισχύος του συνολικού συστήματος.

Συμπερασματικά λοιπόν προκύπτει, πως η χρήση ενός (μοναδικού) RPi είναι δυνατή για χειρισμό ενός ελαφριού φόρτου εργασίας. Οι κύριοι λόγοι είναι ότι έρχεται σε πολύ μικρό μέγεθος, σε πολύ προσιτή τιμή και με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Σαφώς, το μειονέκτημα σε σύγκριση με έναν σύγχρονο επιτραπέζιο υπολογιστή ή με έναν φορητό υπολογιστή είναι η απόδοση, η οποία όμως έχει βελτιωθεί ασύλληπτα από το 2012 έως το σήμερα. Επιπροσθέτως, ένας τρόπος για να ξεπεραστεί και να αντιμετωπιστεί αυτή η αδυναμία είναι ο συνδυασμός πολλαπλώς μικροϋπολογιστών Raspberry Pi!

2.4 Βιομετρικοί αισθητήρες

Με τα τεχνολογικά και οικονομικά εμπόδια να αποτελούν πλέον παρελθόν, η βιομετρική τεχνολογία θα πρέπει να εξεταστεί ενδελεχώς και να γίνει κατανοητό μέχρι ποιον βαθμό και με ποιον τρόπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να εφαρμοστεί. Βιομετρικές συσκευές και αισθητήρες είναι οποιοδήποτε μηχανικό ή ηλεκτρονικό σύστημα που χρησιμοποιείται για την εγγραφή και τη σύλληψη ακατέργαστων βιομετρικών δειγμάτων σε μορφή που μπορεί να ψηφιοποιηθεί και να μετατραπεί σε βιομετρικό πρότυπο. Είτε πρόκειται για κάμερες υψηλής ευκρίνειας για τη λήψη βιομετρικών στοιχείων, υπέρυθρες κάμερες για σάρωση ίριδας, είτε συσκευές υπερήχων για τη σάρωση δακτυλικών αποτυπωμάτων ή συσκευές υποδερμικής απεικόνισης για τη χαρτογράφηση των φλεβών, αποτελούν βασική πτυχή ενός πλήρους βιομετρικού συστήματος.

Ο αισθητήρας είναι το μέρος μιας βιομετρικής λύσης με την οποία αλληλεπιδρά ένας χρήστης. Αυτό θα μπορούσε να σημαίνει ότι αγγίζει το κουμπί του τηλεφώνου του στο σπίτι για να σαρωθεί το δακτυλικό αποτύπωμά του ή ότι θα μιλάει και δίνοντας συγκεκριμένες φωνητικές εντολές θα ενεργοποιεί τον κλιματισμό ή θα κλείνει τα παράθυρα.

2.4.1 Τύποι βιομετρικών αισθητήρων

Οι βιομετρικοί αισθητήρες χωρίζονται κυρίως σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τους βιοϋποδοχείς (bioreceptors) και τους βιομετατροπείς (biotransducers). Αρχικά, θα παρουσιαστούν ορισμένοι βιομετρικοί αισθητήρες που ανήκουν στην κατηγορία των βιοϋποδοχών. Ο βιοϋποδοχέας έχει σχεδιαστεί για να αλληλεπιδρά με τον συγκεκριμένο αναλυτή που μας ενδιαφέρει ώστε να παράγει ένα μετρήσιμο αποτέλεσμα.

- Αισθητήρες βασισμένοι σε ένζυμα

Οι βιο-αισθητήρες που βασίζονται στα ένζυμα, χρησιμοποιούν τη βιολογική αναγνώριση. Για να λειτουργήσουν, τα ένζυμα πρέπει να είναι διαθέσιμα για να καταλύσουν μια συγκεκριμένη βιοχημική αντίδραση και να παραμείνουν σταθερά κάτω από τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας του αισθητήρα [42]. Ο πρώτος αισθητήρας με βάση τα ένζυμα αναφέρθηκε από τους Urdike και Hicks το 1967.

Ένας από τους κύριους λόγους για την κοινή χρήση των ενζύμων στους βιοαισθητήρες είναι η ικανότητά τους να καταλύουν ένα μεγάλο αριθμό αντιδράσεων. Επιπροσθέτως, η δυνατότητα ανίχνευσης μιας ομάδας αναλυτών (υποστρώματα, προϊόντα, αναστολείς και ρυθμιστές της καταλυτικής δραστηριότητας) σε συνδυασμό με την καταλληλότητά τους σε αρκετές διαφορετικές μεθόδους, τα καθιστούν πολύ δημοφιλή. Συγκεκριμένα, δεδομένου ότι τα ένζυμα δεν καταναλώνονται σε αντιδράσεις, ο βιο-αισθητήρας μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί συνεχώς. Η καταλυτική δραστηριότητα των ενζύμων επιτρέπει επίσης χαμηλότερα όρια ανίχνευσης σε σύγκριση με τις κοινές τεχνικές δέσμησης. Ωστόσο, ο χρόνος ζωής του αισθητήρα περιορίζεται από τη σταθερότητα του ενζύμου.

- Αισθητήρες βασισμένοι σε κύτταρα

Χρησιμοποιώντας τα ζωντανά κύτταρα ως στοιχεία ευαισθητοποίησης, οι αισθητήρες που βασίζονται σε κύτταρα ξεπερνούν πολλούς περιορισμούς. Σήμερα, η ανάπτυξη της τεχνολογίας, προσφέρει ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάλυση του κυτταρικού μικρο-περιβάλλοντος.

Οι βιοαισθητήρες που βασίζονται σε κύτταρα μπορούν να ανιχνεύσουν ποσοτικά τις αναλυτικές πληροφορίες. Με άλλα λόγια, μπορούν να ελέγξουν την παρουσία και τη συγκέντρωση ορισμένων ουσιών. Γενικά, μπορούν να διατηρήσουν τα ζωντανά κύτταρα υπό συνεχή παρακολούθηση για να μελετήσουν την κυτταρική φυσιολογική δράση τους όταν αυτά υποβάλλονται σε κάποιο ερέθισμα. Από τη σκοπιά της βιολογίας, μπορούν να διερευνήσουν την κυτταρική κατάσταση, τη λειτουργία και τη βασική δράση της ζωής [43].

Υπάρχουν όμως πολλά πολύπλοκα προβλήματα όταν τα ζωντανά κύτταρα αντιμετωπίζονται ως ο κύριος αισθητήρας, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής, της καλλιέργειας και της διατήρησης των ζωντανών κυττάρων. Επιπλέον, η σύζευξη των ζωντανών κυττάρων και του δευτερεύοντος αισθητήρα αποτελεί μία από τις προκλήσεις. Ωστόσο, οι βιο-αισθητήρες που βασίζονται σε κύτταρα μπορούν να εκτελούν βιολογικούς προσδιορισμούς σε πραγματικό χρόνο δυναμικά και γρήγορα και να έχουν πολλές εφαρμογές που κυμαίνονται από τη βιοϊατρική έως την περιβαλλοντική ανίχνευση.

Ευρέως διαδεδομένοι είναι όμως και οι αισθητήρες της κατηγορίας βιομετατροπέων. Αποτελείται από δύο στενά συνδεδεμένα μέρη: ένα στρώμα βιο-αναγνώρισης και ένα φυσικοχημικό μετατροπέα, τα οποία ενεργούν από κοινού και μετατρέπουν ένα βιοχημικό σήμα σε ένα ηλεκτρονικό ή οπτικό σήμα.

- Μαγνητικοί Βιομετρικοί Αισθητήρες

Οι αισθητήρες αυτοί είναι πολύ μικρού μεγέθους και έχουν την δυνατότητα να ανιχνεύουν μαγνητικά μικροσωματίδια και νανοσωματίδια σε ρευστά κανάλια χρησιμοποιώντας το φαινόμενο της μαγνητικής αντίστασης [44]. Μεταξύ των διαφόρων αισθητήρων, οι μαγνητικοί βιοαισθητήρες έχουν προσελκύσει σημαντικό ενδιαφέρον λόγω των αξιοσημείωτων πλεονεκτημάτων τους.

Πρώτον, οι μαγνητικοί ανιχνευτές είναι πιο σταθεροί με την πάροδο του χρόνου σε συνθήκες καλλιέργειας (κυττάρων, ιστών, βακτηρίων κ.λπ.) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μακροχρόνια πειράματα. Παράλληλα, η εφαρμογή ελεγχόμενων μαγνητικών πεδίων στην εξωτερική επιφάνεια παρέχει ένα μηχανισμό για την εξ αποστάσεως μέτρηση και ρύθμιση του βιολογικού περιβάλλοντος. Τέλος, η ευαισθησία των μαγνητικών ποσοτικών προσδιορισμών έχει αποδειχθεί ότι είναι μεγαλύτερη από πολλές άλλες μεθόδους, όπως αυτή του φθορισμού. Η υψηλή αυτή ευαισθησία επιτρέπει την ανίχνευση σε σημαντικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις π.χ. πρωτεϊνών, σε σύγκριση με τεχνικές που βασίζονται σε φθορισμό.

- Αισθητήρες με βάση την φωτοπληθυσμογραφία (Photoplethysmography - PPG)

Ο τρόπος που λειτουργεί η αρχή του PPG είναι η ακόλουθη: Το φως που ταξιδεύει μέσω του βιολογικού ιστού μπορεί να απορροφηθεί από διάφορες ουσίες, συμπεριλαμβανομένων των χρωστικών στο δέρμα, στα οστά και στο αρτηριακό και φλεβικό αίμα. Οι περισσότερες αλλαγές στη ροή του αίματος εμφανίζονται κυρίως στις αρτηρίες και στα αρτηρίδια (αλλά όχι στις φλέβες). Για παράδειγμα, οι αρτηρίες περιέχουν περισσότερο όγκο αίματος κατά τη διάρκεια της συστολικής φάσης του καρδιακού κύκλου παρά κατά τη διάρκεια της διαστολικής φάσης [45]. Οι αισθητήρες PPG ανιχνεύουν οπτικά τις μεταβολές αυτές στον όγκο ροής αίματος, δηλαδή μεταβολές στην ένταση φωτός που έχει ανιχνευθεί, στο μικροαγγειακό στρώμα του ιστού μέσω της ανάκλασης ή της διάδοσης μέσω του ιστού.

- Θερμικοί Βιομετρικοί Αισθητήρες

Σχεδόν όλες οι βιοχημικές αντιδράσεις είναι εξώθερμες, δηλαδή μια μετατροπή συνοδεύεται από παραγωγή θερμότητας. Τα τελευταία χρόνια, πολλά πειράματα περιγράφηκαν στη βιβλιογραφία χρησιμοποιώντας thermistor για μετρήσεις θερμοκρασίας στην περιοχή των mK. Τα thermistor είναι κεραμικές αντιστάσεις ημιαγωγών αρκετών Ohm, με μεγάλο αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας και παρουσιάζουν ποικίλα πλεονεκτήματα [46]. Λόγω της μη χημικής επαφής μεταξύ μετατροπέα και δείγματος, τα thermistor έχουν πολύ καλή μακροπρόθεσμη σταθερότητα. Επίσης είναι πολύ φθηνά προϊόντα και οι μετρήσεις τους δεν εξαρτώνται από διάφορα χαρακτηριστικά οπτικών ή ιοντικών δειγμάτων.

- Οπτικοί Βιομετρικοί Αισθητήρες

Οι οπτικοί βιοαισθητήρες αποτελούνται από μια πηγή φωτός, καθώς και πολυάριθμα οπτικά στοιχεία για να παράγουν μια δέσμη φωτός με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Είναι μια αναλυτική συσκευή που περιέχει ένα στοιχείο ανίχνευσης βιοανάγνωσης ενσωματωμένο σε ένα σύστημα οπτικών μορφοτροπέων. Ο βασικός στόχος ενός οπτικού βιοαισθητήρα είναι να παράγει ένα σήμα το οποίο είναι ανάλογο με τη συγκέντρωση μίας μετρούμενης ουσίας (αναλυόμενης ουσίας). Ο οπτικός βιοαισθητήρας μπορεί να χρησιμοποιεί διάφορα βιολογικά υλικά, συμπεριλαμβανομένων

των ενζύμων, αντισωμάτων, αντιγόνων, υποδοχέων, νουκλεϊνικών οξέων, ολόκληρων κυττάρων και ιστών, ως στοιχείων βιοανάγνωσης.

Ο οπτικός βιοαισθητήρας μπορεί γενικά να χωριστεί σε δύο γενικές λειτουργίες: χωρίς ετικέτα και με βάση την ετικέτα. Εν συντομία, σε κατάσταση χωρίς ετικέτα, το σήμα ου ανιχνεύεται παράγεται απευθείας από την αλληλεπίδραση του υλικού που αναλύεται με τον μορφοτροπέα. Η αντίθετη περίπτωση περιλαμβάνει τη χρήση μιας ετικέτας και το οπτικό σήμα που στη συνέχεια παράγεται με χρωματομετρική, φθορίζουσα ή φωταυγή μέθοδο. Απλά μόρια όπως η γλυκόζη μπορούν να ανιχνευθούν με ενζυμική οξειδωση χρησιμοποιώντας ανίχνευση με υποβοήθηση της ετικέτας. Η ανάλυση γλυκόζης αίματος είναι η πλέον εμπορικά επιτυχημένη (μέχρι στιγμής) εφαρμογή ενός τέτοιου βιοαισθητήρα [47].

- **Πιεζοηλεκτρικοί Βιομετρικοί Αισθητήρες**

Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο είναι ένα φυσικό φαινόμενο που αναφέρεται στην ικανότητα ενός υλικού να παράγει τάση όταν παραμορφωθεί μηχανικά. Το αποτέλεσμα λειτουργεί και αντίστροφα. Η τάση που δίνεται στην επιφάνεια ενός πιεζοηλεκτρικού υλικού προκαλεί μηχανική καταπόνηση ή ταλάντωση όταν η τάση εναλλασσόμενη. Οι ανισότροποι κρύσταλλοι, δηλαδή οι κρύσταλλοι χωρίς κέντρο συμμετρίας, είναι τυπικά υλικά που ασκούν πιεζοηλεκτρισμό.

Λαμβάνοντας υπόψιν την αναλυτική χημεία, ο πιεζοηλεκτρισμός είναι κατάλληλος για την κατασκευή φυσικών αισθητήρων και βιοαισθητήρων. Ο βιοαισθητήρας ή ο αισθητήρας διεγείρεται με εναλλασσόμενη τάση που δίνεται στην επιφάνεια από δύο ηλεκτρόδια. Η εναλλασσόμενη τάση προκαλεί μηχανικές ταλαντώσεις του κρυστάλλου και η συχνότητα των ταλαντώσεων μετράται καθώς ο κρύσταλλος τίθεται σε κύκλωμα ταλάντωσης. Ο αναλυτής ή οποιαδήποτε άλλη μάζα που συνδέεται στην επιφάνεια του κρυστάλλου ή ακριβέστερα στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων που βρίσκονται πάνω στον κρύσταλλο έχει ως αποτέλεσμα αυτή την αλλαγή συχνότητας της ταλάντωσης [48].

2.4.2 Εφαρμογές των βιομετρικών αισθητήρων

- Στο πεδίο της Ιατρικής επιστήμης

Στο πεδίο της ιατρικής επιστήμης, οι εφαρμογές των βιοαισθητήρων αυξάνονται ραγδαία. Στο σημείο αυτό θα αναφερθούν ελάχιστα μόνο παραδείγματα από τις συνολικές εφαρμογές τους.

Βιοαισθητήρες γλυκόζης χρησιμοποιούνται ευρέως σε κλινικές εφαρμογές για τη διάγνωση του σακχαρώδους διαβήτη, η οποία απαιτεί ακριβή έλεγχο των επιπέδων γλυκόζης αίματος [49]. Η χρήση βιοαισθητήρων γλυκόζης αίματος από το σπίτι αντιπροσωπεύει περίπου το 85% της παγκόσμιας αγοράς.

Σημαντικό κεφάλαιο αποτελούν και οι αισθητήρες που στοχεύουν στην αρωγή ανθρώπων με καρδιακή ανεπάρκεια. Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα σήμερα είναι η καρδιακή ανεπάρκεια, με περίπου ένα εκατομμύριο ανθρώπους να υποφέρουν από αυτήν. Τεχνικές ανίχνευσης καρδιαγγειακών παθήσεων περιλαμβάνουν μεθόδους ανοσοσυγγένειας, φθορομετρικής δυναμικής

και ανοσοπροσροφητικής ενζυμικής σύνδεσης. Αυτές είναι επίπονες, απαιτούν ειδικευμένο προσωπικό και είναι χρονοβόρες. Οι βιοαισθητήρες που είναι εγκατεστημένοι χρησιμοποιούν βιοχημική μοριακή αναγνώριση για επιθυμητή επιλεκτικότητα με συγκεκριμένο βιοδείκτη ενδιαφέροντος.

Ένας νέος βιοαισθητήρας, βασισμένος στο οξείδιο του hafnium (hafnium oxide - HfO_2), έχει χρησιμοποιηθεί για ανίχνευση πρώιμου σταδίου ανθρώπινης ιντερλευκίνης-10 [50]. Μελετάται η αλληλεπίδραση μεταξύ ανασυνδυασμένης ανθρώπινης ιντερλευκίνης-10 με αντίστοιχο μονοκλωνικό αντίσωμα για την έγκαιρη ανίχνευση κυτοκινών μετά από την εμφύτευση της συσκευής. Τα πρότυπα φθορισμού και η φασματοσκοπία ηλεκτρομηχανικής εμπέδησης χαρακτηρίζουν την αλληλεπίδραση μεταξύ του αντισώματος-αντιγόνου και η βιο-αναγνώριση της πρωτεΐνης επιτυγχάνεται με το πρότυπο του φθορισμού. Συνεπώς είναι σημαντική η χρήση του HfO_2 ως ενός πολύ ευαίσθητου τρανζίστορ.

Φυσικά, ευρεία είναι και η εφαρμογή τους για την αναγνώριση και αντιμετώπιση του καρκίνου. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται εξελιγμένα βιοσιπ τα οποία συμβάλλουν στη γρήγορη ανίχνευση πολλαπλών δεικτών καρκίνου.

- Στην επεξεργασία, την παρακολούθηση και την ποιότητα των τροφίμων

Μία δύσκολη διαδικασία στη βιομηχανία μεταποίησης τροφίμων είναι η ποιότητα, ασφάλεια, η επεξεργασία και η συντήρηση των προϊόντων. Οι παραδοσιακές τεχνικές που εκτελούν χημικά πειράματα και φασματοσκοπία βρίσκονται σε μειονεκτική θέση λόγω του γεγονότος ότι είναι δαπανηρές και χρονοβόρες και χρειάζονται μεγάλο ανθρώπινο δυναμικό. Είναι αναγκαίες λοιπόν εναλλακτικές λύσεις για την εξακρίβωση της γνησιότητας και την παρακολούθηση των τροφίμων με αντικειμενικές και ακριβείς μετρήσεις και με οικονομικά προσοδοφόρο τρόπο. Ως απάντηση στην ζήτηση για απλό, σε πραγματικό χρόνο, επιλεκτικό και ανέξοδο τρόπο αναπτύχθηκαν οι βιοαισθητήρες.

Οι βιοαισθητήρες χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση παθογόνων στα τρόφιμα. Η παρουσία του *Escherichia coli* στα λαχανικά είναι ένας βιοδείκτης της μόλυνσης των κοπράνων στα τρόφιμα [51]. Η *E. coli* έχει μετρηθεί ανιχνεύοντας μεταβολές στο pH που προκαλούνται από την αμμωνία χρησιμοποιώντας ποτενσιομετρικά εναλλασσόμενα συστήματα βιοαισθητήρα.

Ενζυμικοί βιοαισθητήρες χρησιμοποιούνται επίσης για την παρακολούθηση της γήρανσης του πληθυσμού της μπύρας, με βάση το κοβάλτιο φθαλοκυανίνης [52]. Αυτοί παρουσίασαν πολύ καλή ικανότητα και ακρίβεια κατά την αποθήκευση της μπύρας.

Ένα από τα δημοφιλέστερα πρόσθετα τροφίμων που χρησιμοποιούνται εκτενώς σήμερα είναι οι γλυκαντικές ουσίες, οι οποίες προκαλούν δυσμενείς ανεπιθύμητες ασθένειες όπως η τερηδόνα, οι καρδιαγγειακές παθήσεις, η παχυσαρκία και ο διαβήτης τύπου 2. Πιστεύεται ότι τα τεχνητά γλυκαντικά είναι εθιστικά και μας ωθούν να τρώμε περισσότερα τρόφιμα υψηλής ενέργειας ασυνείδητα, προκαλώντας ακούσια αύξηση βάρους. Επομένως, η ανίχνευση και η ποσοτικοποίησή τους είναι πρωταρχικής σημασίας. Οι παραδοσιακές μέθοδοι για τη διάκριση των δύο τύπων γλυκαντικών είναι μέθοδοι χρωματογραφίας ιόντων, οι οποίες είναι περίπλοκες και επίπονες. Μία

πιο αποτελεσματική μέθοδος, η οποία συνδύασε λιπιδικές μεμβράνες με ηλεκτροχημικές τεχνικές ως βιοαισθητήρες για ταχεία και ευαίσθητη διαλογή γλυκαντικών, έχει διερευνηθεί από πολυκαναλικό βιοαισθητήρα, ο οποίος ανιχνεύει τις ηλεκτροφυσιολογικές δράσεις του επιθηλίου της γεύσης. Τα σήματα αναλύονται χρησιμοποιώντας χωροχρονικές τεχνικές, στο MATLAB, όπου η γλυκόζη και η σακχαρόζη αντιπροσωπεύουν φυσικά σάκχαρα ενώ η σακχαρίνη και το κυκλαμικό περιλαμβάνουν τεχνητά γλυκαντικά.

- Στην μεταβολική μηχανική

Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες και η έλλειψη βιωσιμότητας των προερχόμενων από πετρέλαιο προϊόντων, παροτρύνουν σταδιακά την ανάγκη ανάπτυξης μικροβιακών κυτταρικών εργοστασίων για τη σύνθεση διαφόρων χημικών ουσιών. Οι ερευνητές θεωρούν ότι η μεταβολική μηχανική είναι η τεχνολογία που επιτρέπει τη βιώσιμη βιοοικονομία [53]. Έχουν επίσης προβλέψει ότι θα παράγεται ένα σημαντικό ποσοστό καυσίμων, χημικών προϊόντων και φαρμακευτικών προϊόντων από τις ανανεώσιμες πρώτες ύλες, εκμεταλλευόμενοι μικροοργανισμούς, χωρίς να επικεντρώνεται στη διύλιση πετρελαίου ή την εξόρυξη από τα φυτά. Η υψηλή ικανότητα παραγωγής γενετικής ποικιλίας απαιτεί επίσης αποτελεσματικές μεθόδους διαλογής για την επιλογή των ατόμων που φέρουν τον επιθυμητό φαινότυπο. Οι προηγούμενες μέθοδοι βασίστηκαν σε φασματοσκοπική ενζυμική ανάλυση, ωστόσο είχαν περιορισμένη απόδοση. Για να παρακάμψουν αυτό το εμπόδιο αναπτύχθηκαν γενετικά κωδικοποιημένοι βιοαισθητήρες οι οποίοι καθιστούν εφικτή την *in vivo* παρακολούθηση του κυτταρικού μεταβολισμού.

2.5 Υπάρχοντα συστήματα σχετικά με την αναγνώριση του ανθρώπινου προσώπου και το αυτοκίνητο

Έχετε σκεφτεί ποτέ πώς το Facebook αναγνωρίζει που βρίσκεται το πρόσωπο ή τα πρόσωπα σε κάθε φωτογραφία; Πώς βγαίνουν οι αναλύσεις για ποσοστά επισκεψιμότητας σε μεγάλα εμπορικά καταστήματα ή στατιστικά που αφορούν το πλήθος κόσμου σε κάποιο μουσικό φεστιβάλ; Πώς υπολογίζεται η ταχύτητα των οχημάτων από κάμερες στους αυτοκινητόδρομους; Σε όλα τα παραπάνω χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι ανίχνευσης αντικειμένων, πολλοί από τους οποίους έχουν αναφερθεί στην ενότητα 1.1.

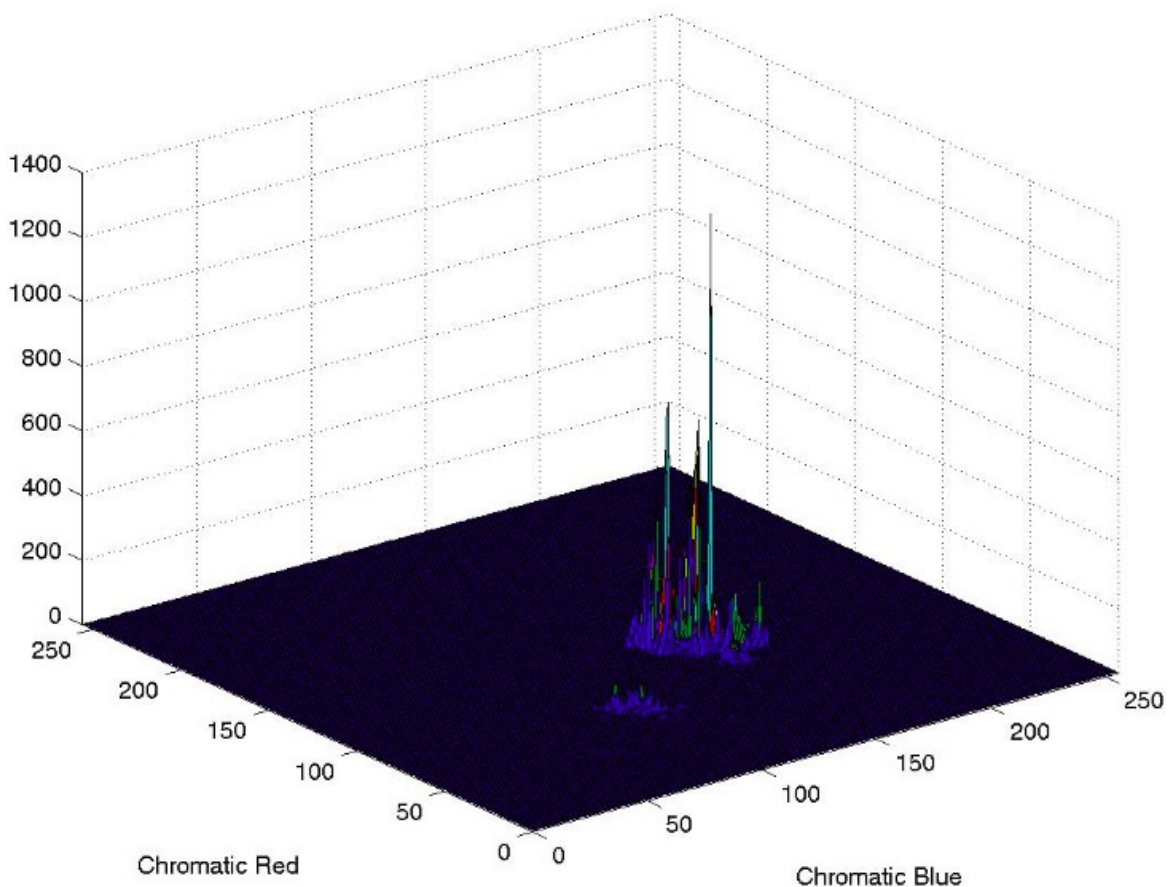
Φυσικά, γίνονται συνεχώς αυξανόμενες προσπάθειες και έρευνες σε αυτό το πεδίο. Σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες αναπτύσσονται ήδη συστήματα αναγνώρισης πλοίων ενώ αρκετά βιομηχανικά εργοστάσια αναβαθμίζονται καθώς εισάγονται μηχανήματα, με δυνατότητα αναγνώρισης αντικειμένων, κυρίως όμοιων σχημάτων, π.χ. ενός συστήματος ανίχνευσης στρογγυλών αντικειμένων. Επιπλέον, στο μέλλον μπορεί να υπάρχει η δυνατότητα να εντοπιστούν ανωμαλίες σε ένα περιβάλλον/τοπίο, όπως βόμβες ή εκρηκτικά!

Στην παρούσα εργασία όμως, δύο είναι οι κύριοι τομείς που θα εξεταστούν. Ο πρώτος είναι το κομμάτι της αναγνώρισης του ανθρώπινου προσώπου, δίνοντας έμφαση στα μάτια, ενώ ο δεύτερος αφορά έρευνες και συστήματα που βρίσκουν εφαρμογή στο αυτοκίνητο.

2.5.1 Σε ερευνητικό επίπεδο

Πολλές έρευνες έχουν διεξαχθεί ώστε να βρεθεί ένα αποτελεσματικό σύστημα το οποίο θα αναγνωρίζει ποικίλα χαρακτηριστικά στον οδηγό, αποτρέποντας έτσι τυχόν ατυχήματα. Μία από τους κυριότερες αιτίες απροσεξίας των οδηγών είναι η κόπωση. Υπάρχουν πολλοί δείκτες για την επικείμενη κόπωση, μερικές από τους οποίους είναι δυνατό να εντοπιστούν με τη χρήση κάμερας, έτσι λοιπόν είναι στην ευχέρεια του κάθε ερευνητή ποιον/ποιους θα επιλέξει.

Οι μικρής διάρκειας ύπνοι (σύντομες περίοδοι, 2-3 δευτερόλεπτα) καθώς και η προς τα εμπρός και πίσω κίνηση του κεφαλιού του οδηγού χρησιμοποιήθηκαν ήδη από το 1999 [54]. Με την χρήση της μεθόδου ανίχνευσης γωνιών, γίνεται ανίχνευση των ματιών. Καθώς η κόπωση του οδηγού αυξάνεται, τείνει να ανοιγοκλείνει όλο και πιο συχνά τα βλέφαρά του. Ο μικρής διάρκειας ύπνος ανιχνεύεται από τον προσδιορισμό του χρόνου που μένουν κλειστά τα μάτια του μετρώντας τον αριθμό των διαδοχικών πλαισίων/εικόνων στα οποία τα βλέφαρα παραμένουν κλειστά. Οι αλγόριθμοι βέβαιοι που βασίζονται στην ανίχνευση γωνιών και ιδιαίτερα αυτοί που δεν περιλαμβάνουν κάποιο μετασχηματισμό Gauss ή Laplace, όπως ο αλγόριθμος Sobel που χρησιμοποιήθηκε, είναι πολύ απλοί, αλλά παρουσιάζουν μεγάλα ποσοστά ανακρίβειας. Το κυριότερο μειονέκτημά τους είναι ότι είναι πάρα πολύ ευαίσθητοι στον θόρυβο.



Σχήμα 21: Κατανομή χρώματος του ανθρώπινου δέρματος [77].

Ένα άλλο σημάδι κούρασης είναι το πόσο κλειστό ή ανοιχτό είναι το μάτι του οδηγού [55]. Σε αυτή την έρευνα, μελετάται η απόσταση του άνω βλεφάρου από το κάτω. Ακόμα και αν δεν είναι τελείως

κλειστό το μάτι, το συνεχόμενο μερικό κλείσιμο των ματιών είναι δείκτης υπνηλίας. Σε αυτή την περίπτωση έχει χρησιμοποιηθεί η εφαρμογή της κατανομής Gauss για την εύρεση των ματιών και της παρακολούθησής τους. Συγκεκριμένα, επειδή το φόντο είναι σύνθετο και μεταβλητό, δεν μπορούν να βρεθούν άμεσα τα μάτια σε ολόκληρη την εικόνα. Έτσι εντοπίζεται αρχικά η θέση του προσώπου, μειώνοντας το εύρος που είναι δυνατό να βρίσκονται τα μάτια. Στη συνέχεια, αυτά ανιχνεύονται δημιουργώντας ένα μοντέλο βασισμένο στο χρώμα δέρματος, αφού η περιοχή των ματιών απεικονιστεί σε αποχρώσεις του γκρι [56]. Κυριαρχεί συχνά η πεποίθηση, ότι διαφορετικοί άνθρωποι έχουν διαφορετικά χρώματα δέρματος λόγω της ύπαρξης διαφορετικών φυλών. Ωστόσο, αυτό που πραγματικά συμβαίνει είναι μια μεγάλη διακύμανση στη φωτεινότητα/ένταση του δέρματος, αλλά όχι στο χρώμα. Επαληθεύεται ότι τα ανθρώπινα χρώματα του δέρματος συγκεντρώνονται σε έναν συγκεκριμένο χρωματικό χώρο [57].

Μέσω λοιπόν αυτού του χρωματικού μοντέλου διακρίνει κανείς τι ποσοστό του βλεφάρου καλύπτει τα μάτια, άρα κατ' επέκταση πόσο ανοιχτά ή κλειστά είναι.

Ένα άλλο σύνολο τεχνικών επικεντρώνεται στη μέτρηση των φυσιολογικών σημάτων του ανθρώπου, όπως ο καρδιακός παλμός και το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG) [58]. Έχει αναφερθεί από τους ιατρούς ότι καθώς το επίπεδο επαγρύπνησης μειώνεται, η ισχύς του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος στις ζώνες άλφα και θήτα αυξάνεται. Με τον τρόπο αυτό λαμβάνονται οι δείκτες της υπνηλίας. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος έχει μειονεκτήματα όσον αφορά την πρακτικότητα, δεδομένου ότι απαιτεί από ένα άτομο να φορέσει ένα “κράνος” ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος κατά την οδήγηση.

Επιπροσθέτως, έχουν γίνει έρευνες και για άλλα συστήματα που αφορούν την ασφάλεια του οδηγού. Για παράδειγμα, έχει χρησιμοποιηθεί κάμερα για την αναγνώριση του προσώπου του οδηγού. Όταν ο οδηγός αλλάζει, ή πάει να οδηγήσει στην αρχή, απαιτείται από τον αλγόριθμο να κάνει ένα αιματολογικό τεστ (αυτοματοποιημένα εκείνη τη στιγμή) σχετικά με την συγκέντρωση αλκοόλ στο αίμα του. Εάν κριθεί νηφάλιος, τότε επιτρέπεται να οδηγήσει. Μία τέτοια μέθοδος όμως είναι επίσης επεμβατική, γεγονός που την καθιστά ακατάλληλη.

2.5.2 Στον χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας

Τι όμως από τα προαναφερθέντα έχει στην πραγματικότητα κατασκευαστεί και είναι διαθέσιμο στην αγορά; Υπάρχουν συστήματα ασφαλείας τα οποία ενσωματώνονται επιτυχώς στο αυτοκίνητο και συμβάλλουν με κάποιον τρόπο στην ελάττωση των αυτοκινητιστικών ατυχημάτων; Αν ναι, χρησιμοποιούν τους ίδιους αλγόριθμους με αυτούς που εξετάσαμε παραπάνω; Τι κόστος έχουν; Ή γενικότερα υπάρχουν συστήματα αναγνώρισης και παρακολούθησης των ματιών τα οποία μπορεί ο καθένας να αγοράσει και να βελτιώσει την καθημερινότητά του; Όλα αυτά είναι εύλογα ερωτήματα που γεννιούνται στον καθένα, εφόσον τέτοιου είδους έρευνες και μελέτες οφείλουν να αποσκοπούν σε κάποιο πρακτικό αποτέλεσμα και όχι στην θεωρητική όψη των πραγμάτων.

Η κόπωση του οδηγού αποτελεί σημαντικό πρόβλημα ασφαλείας της κυκλοφορίας σε όλο τον κόσμο. Σύμφωνα με την N.H.T.S.A. (National Highway Traffic Safety Administration - Εθνική Αρχή Ασφάλειας της Οδικής Κυκλοφορίας) των Η.Π.Α., οι οδηγοί που κοιμούνται στο τιμόνι προκαλούν περίπου 100.000 ατυχήματα ετησίως μόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες, με αποτέλεσμα

1.500 θανάτους και περισσότερους από 70.000 τραυματίες οδηγούς και επιβάτες. Η κατάσταση είναι παρόμοια στην Ευρώπη. Η Γερμανική Ασφαλιστική Ένωση G.D.V. εκτιμά ότι περίπου το 25% όλων των θανατηφόρων ατυχημάτων στο γερμανικό αυτοκινητόδρομο προκαλείται από κόπωση του οδηγού.

Αρχικά πρέπει να τονιστεί ότι μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν ήδη ενσωματώσει συστήματα ασφαλείας σε κάποια μοντέλα αυτοκινήτων τους. Αναλυτικότερα:

- Mercedes: Βοήθεια απόκτησης προσοχής (Attention Assist - AA)

Κατά τη διάρκεια των πρώτων λεπτών οδήγησης, το σύστημα “Βοήθεια Προσοχής” δημιουργεί ένα ξεχωριστό προφίλ για το στυλ οδήγησης του οδηγού, το οποίο στη συνέχεια συγκρίνεται συνεχώς με τις τελευταίες ανατροφοδοτήσεις από τους αισθητήρες. Ένα ευαίσθητο σύστημα καταγράφει την ταχύτητα οδήγησης και τις κινήσεις του τιμονιού, με την παρακολούθηση των δεικτών των στροφών και των πηδαλίων καθώς και μέσω ορισμένων εισόδων ελέγχου για τις εξωτερικές επιδράσεις όπως οι πλευρικοί άνεμοι ή οι ανομοιότητες στον δρόμο. Η παρατήρηση της συμπεριφοράς του συστήματος διεύθυνσης έχει αποδειχθεί εξαιρετικά σημαντική, καθώς οι οδηγοί με μειωμένη προσοχή και συγκέντρωση δυσκολεύονται να διατηρήσουν μια ακριβή πορεία στη λωρίδα τους αλλά θα συνεχίσουν να κάνουν μικρά λάθη και να τα διορθώνουν.

Αν το σύστημα ανιχνεύσει αυτό το είδος συμπεριφοράς, θα συνεχίσει να ελέγχει περαιτέρω σχετικές παραμέτρους για να επαληθεύσει το αποτέλεσμα, για παράδειγμα για πόσο χρόνο ο οδηγός βρίσκεται στο τιμόνι. Εάν τα αποτελέσματα είναι ξεκάθαρα, το σύστημα θα ειδοποιήσει τον οδηγό με ένα σημάδι που υποδεικνύει ότι είναι ώρα για ένα διάλειμμα.

Οι εντατικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν από τους μηχανικούς της Mercedes, στις οποίες συμμετείχαν περισσότεροι από 550 οδηγοί, δείχνουν ότι αυτό το φαινόμενο συμβαίνει σε πολύ πρώιμο στάδιο όταν αρχίζει η νωθρότητα - συχνά πριν από την επικίνδυνη κατάσταση στην οποία ο οδηγός κοιμάται στιγμιαία. Το σύστημα είναι ενεργό σε ταχύτητες μεταξύ 80 και 180 km/h.

- Volvo: Έλεγχος προειδοποίησης οδηγού (Driver Alert Control - DAC)

Η ειδοποίηση οδηγού ενεργοποιείται όταν η ταχύτητα υπερβεί τα 65 km/h. Προορίζεται κυρίως για καταστάσεις όπου ο κίνδυνος απώλειας συγκέντρωσης είναι μεγαλύτερος και όπου ένα ατύχημα θα έχει σοβαρές συνέπειες. Για παράδειγμα, ένας ευθύς, ομαλός δρόμος δημιουργεί στον οδηγό σε μια αίσθηση χαλάρωσης και ο κίνδυνος να αποσπαστεί η προσοχή του ή να κοιμηθεί είναι υψηλότερος. Ο έλεγχος προειδοποίησης οδηγού μπορεί επίσης να καλύπτει περιπτώσεις στις οποίες ο οδηγός εστιάζει πολύ στο κινητό του τηλέφωνο ή στα παιδιά του στο αυτοκίνητο, οπότε δεν έχει πλήρη έλεγχο του οχήματος.

Ο έλεγχος προειδοποίησης οδηγού παρακολουθεί τις κινήσεις του αυτοκινήτου και αξιολογεί κατά πόσο το όχημα οδηγείται με ελεγχόμενο ή ανεξέλεγκτο τρόπο. Σε αντίθεση με την Mercedes δεν παρακολουθεί την ανθρώπινη συμπεριφορά - η οποία ποικίλλει από το

ένα άτομο στο άλλο - αλλά την επίδραση που έχει η κούραση ή η μειωμένη συγκέντρωση στην οδηγική συμπεριφορά. Ο επικεφαλής μηχανικός της Volvo, Daniel Levin, αναφέρει χαρακτηριστικά ότι επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος έναντι της παρακολούθησης των ματιών του οδηγού, γιατί πιστεύει ότι η τεχνολογία παρακολούθησης των ματιών δεν είναι ακόμη αρκετά ώριμη.

Χρησιμοποιώντας μια κάμερα, που είναι τοποθετημένη μεταξύ του παρμπρίζ και του εσωτερικού καθρέπτη, το σύστημα μετρά συνεχώς την απόσταση μεταξύ του αυτοκινήτου και των σημάτων της λωρίδας κυκλοφορίας. Οι αισθητήρες καταγράφουν τις κινήσεις του αυτοκινήτου. Η μονάδα ελέγχου αποθηκεύει τις πληροφορίες και υπολογίζει αν ο οδηγός κινδυνεύει να χάσει τον έλεγχο του οχήματος. Εάν ο κίνδυνος εκτιμάται ως υψηλός, ο οδηγός ειδοποιείται μέσω ακουστικού σήματος. Επιπλέον, εμφανίζεται ένα μήνυμα κειμένου στην οθόνη πληροφοριών του αυτοκινήτου, προειδοποιώντας τον/την με ένα σύμβολο φλιτζανιού καφέ να κάνει ένα διάλειμμα. Επιπλέον, ο οδηγός μπορεί να ανακτήσει συνεχώς πληροφορίες οδήγησης από τον υπολογιστή ταξιδιού του αυτοκινήτου.

Το επίπεδο συγκέντρωσης του οδηγού εμφανίζεται σε μία κλίμακα πέντε σημείων. Το σημείο εκκίνησης είναι πέντε ράβδοι. Όσο λιγότερο συνεπής είναι η οδήγηση, τόσο λιγότερες γραμμές παραμένουν.

- Nissan: Προειδοποίηση προσοχής οδηγού (Driver Attention Alert - DAA)

Όταν το όχημα ταξιδεύει πάνω από 60 km/h, το σύστημα παρακολουθεί τη συμπεριφορά του συστήματος διεύθυνσης για να ανιχνεύσει αλλαγές από το πρότυπο αναφοράς χρησιμοποιώντας μια στατιστική ανάλυση των σφαλμάτων διόρθωσης διεύθυνσης. Το σύστημα περιλαμβάνει επίσης λογική για να βοηθήσει στην αντιμετώπιση εσφαλμένων ανιχνεύσεων, όπως αλλαγές των λωρίδων, συμβάντα πέδησης και ακόμη κακές συνθήκες οδοστρώματος. Προσαρμόζεται σε κάθε οδηγό. Εάν εντοπίσει κούραση του οδηγού ή μείωση της προσοχής του, εμφανίζεται στην οθόνη πληροφοριών του οχήματος η ένδειξη "Κάνε ένα διάλειμμα". Το σύστημα επανέρχεται αυτόματα όταν ο κινητήρας σβήσει και μπορεί ακόμα να απενεργοποιηθεί πλήρως εάν το επιθυμεί ο οδηγός.

- Volkswagen - Σύστημα προειδοποίησης οδηγού (Driver Alert System – DAS)

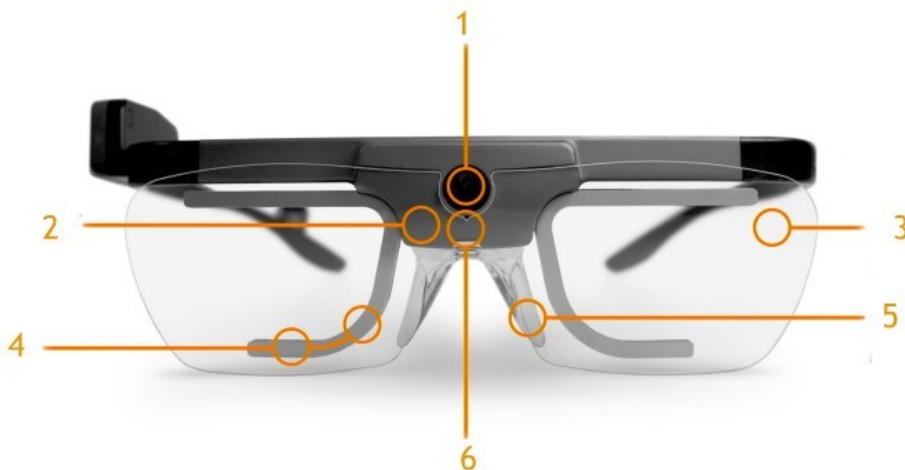
Ακολουθεί ακριβώς την ίδια λογική με τα παραπάνω. Παρακολουθεί τη συμπεριφορά του οδηγού σημειώνοντας, για παράδειγμα, τυχόν ακανόνιστες κινήσεις του τιμονιού και αποκλίσεις των λωρίδων - για να μπορέσει να κρίνει τη στιγμή που αρχίζει ο οδηγός να νιώθει υπνηλία. Επίσης, αξιολογεί συνεχώς τα σήματα κυκλοφορίας στο δρόμο όταν οδηγεί σε ταχύτητες άνω των 65 χλμ/ώρα και τον ειδοποιεί όταν είναι ώρα να κάνει διάλειμμα.

Είναι λοιπόν εμφανής η έμφαση που δίνουν μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες σε συστήματα ασφαλείας. Δυστυχώς όμως, η ανάπτυξη τέτοιου είδους ολοκληρωμένων προϊόντων βρίσκεται ακόμα στην αρχή. Εύκολα παρατηρεί κανείς πως και τα τέσσερα παραδείγματα πιο πάνω δεν

χρησιμοποιούν τεχνικές αναγνώρισης στις κινήσεις και τις εκφράσεις του οδηγού αλλά καταλαβαίνουν τότε κάποιος οδηγός έχει κουραστεί από μετρήσεις μέσω του αυτοκινήτου, δηλαδή από την οδηγική του συμπεριφορά, και ενδεχομένως από μία κάμερα η οποία κοιτάει στον δρόμο. Αυτή είναι σε θέση να αναγνωρίσει τις σημάνσεις στη λωρίδα κυκλοφορίας και να “ελέγχει” με τον τρόπο αυτό εάν ο οδηγός είναι σύμφωνος με τους κανόνες. Τέτοιου είδους συστήματα μπορεί να είναι χρήσιμα σε περιπτώσεις μεγάλων διαδρομών καθώς ο οδηγός όντως μπορεί να κουραστεί και αυτό να φανεί στην οδήγησή του. Τι γίνεται όμως σε περιπτώσεις που ο οδηγός μπορεί να αποσπαστεί στιγμιαία, είτε επειδή χτύπησε στο κινητό του, είτε επειδή του μίλησε ο συνοδηγός και γύρισε το κεφάλι του, είτε επειδή είδε μια αφίσσα στο δρόμο και προσπάθησε να τη διαβάσει;

2.5.3 Στο εμπόριο

Το πρώτο πράγμα που εμφανίζεται στις σελίδες αναζήτησης στο διαδίκτυο εάν πληκτρολογήσει κανείς τον όρο “eye tracking devices – συσκευές παρακολούθησης των ματιών” είναι τα προϊόντα και η ερευνητική δουλειά της εταιρίας Tobii. Η προαναφερθείσα θεωρείται η καλύτερη εταιρία παγκοσμίως, όσον αφορά την κατασκευή υλικού για την παρακολούθηση των ανθρώπινων ματιών, βάσει τον αριθμό δημοσιεύσεων που έχει. Οι δημοσιεύσεις περιλαμβάνουν ένα συνδυασμό από διπλώματα ευρεσιτεχνίας, επιστημονικά άρθρα και δοκιμές εξοπλισμού, οπότε δεν είναι απολύτως αντιπροσωπευτικά, αλλά είναι τουλάχιστον ενδεικτικά της ακαδημαϊκής εμβέλειας κάθε εταιρείας.



Σχήμα 22: Tobii Pro Glasses 2 [78].

Το πιο πρόσφατο προϊόν που έχει βγει στην αγορά και στοχεύει στην παρακολούθηση των οφθαλμών, σε πραγματικό περιβάλλον και όχι σε εικονικό, είναι τα γυαλιά Tobii Pro Glasses 2.

Τα συγκεκριμένα γυαλιά αποτελούνται από:

1. Υψηλής ανάλυσης και ευρείας γωνίας κάμερα για το περιβάλλον
2. Γυροσκόπιο και επιταχυνσιόμετρο
3. Αποσπώμενο προστατευτικό φακό για κάθε μάτι
4. Κάμερα για το κάθε μάτι

5. Αποσπώμενο μαξιλαράκι μύτης

6. Μικρόφωνο

Τα γυαλιά αυτά είναι ουσιαστικά ένας φορητός ιχνηλάτης ματιών που δείχνει ακριβώς τι βλέπει ένα άτομο σε πραγματικό χρόνο, ενώ κινείται ελεύθερα σε οποιοδήποτε πραγματικό περιβάλλον. Προσφέρει τη δυνατότητα ασύρματης ζωντανής προβολής και ανοίγει νέους δρόμους για την έρευνα της ανθρώπινης συμπεριφοράς σε περιβάλλοντα του πραγματικού κόσμου. Ο τρόπος σχεδιασμού του προσφέρει το μέγιστο οπτικό πεδίο, ενώ παράλληλα καταγράφει τις μεγάλες γωνίες του βλέμματος και ελαχιστοποιεί τις τυφλές περιοχές.

Το πεδίο χρήσης τους είναι πολύ ευρύ και εκτείνεται από εφαρμογές σε διάφορα παιχνίδια και σε μελέτες που στοχεύουν στην κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς, όπως παραδείγματος χάριν της συμπεριφοράς του καταναλωτή, μέχρι και την αντιμετώπιση ορισμένων σοβαρών ασθενειών. Για παράδειγμα, στατιστικά στοιχεία της εταιρίας υποδεικνύουν ότι ένα σημαντικό ποσοστό των αγοραστών είναι άτομα που πάσχουν από διαταραχή μετά-τραυματικού άγχους (PTSD – Posttraumatic stress disorder). Είναι μια διανοητική διαταραχή που μπορεί να αναπτυχθεί σε ένα άτομο που έχει εκτεθεί σε ένα τραυματικό γεγονός, όπως η σεξουαλική επίθεση, ο πόλεμος ή ένας θάνατος. Τα συμπτώματα μπορεί να περιλαμβάνουν ενοχλητικές σκέψεις, συναισθήματα ή όνειρα που σχετίζονται με τα γεγονότα, διανοητική ή σωματική δυσφορία σε συναισθήματα που σχετίζονται με τα τραύματα και αλλοιώσεις στον τρόπο σκέψης και αισθήματος ενός ατόμου. Μελέτες δείχνουν ότι τα άτομα που πάσχουν από PTSD εμφανίζουν σημαντικά μεγαλύτερη διαστολή της κόρης του ματιού σε ερεθίσματα σχετιζόμενα με το τραυματικό γεγονός σε σύγκριση με τα άτομα που δεν έχουν PTSD [59]. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε ανεξάρτητα από το χρονικό διάστημα που είχε μεσολαβήσει από το τραύμα. Καθώς λοιπόν ένα άτομο με PTSD διατρέχει μεγαλύτερο κίνδυνο αυτοκτονίας και τάση εσκεμμένου αυτοτραυματισμού, εάν ο παθών φοράει τα γυαλιά είναι πολύ εύκολος ο εντοπισμός τέτοιου είδους συμπτωμάτων και η πρόληψη δυσάρεστων καταστάσεων.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως το κόστος απόκτησης ενός τέτοιου προϊόντος δεν είναι αμελητέο. Τα συγκεκριμένα γυαλιά κοστίζουν περίπου 12.500 ευρώ, ποσό που δεν περιλαμβάνει την τιμή του λογισμικού, η οποία ανέρχεται στα 5.000-6.000 ευρώ. Επίσης, δεν είναι δυνατό να αγοράσει κανείς μόνο τα γυαλιά χωρίς τον κώδικα και αντίστροφα. Επομένως, το συνολικό κόστος ανέρχεται στα 18.000 ευρώ, κάτι το οποίο είναι ανέφικτο για το μεγαλύτερο ποσοστό του αγοραστικού κοινού. Βέβαια, υπάρχουν και άλλες εταιρίες που παράγουν παρόμοια προϊόντα αλλά οι τιμές παραμένουν πολύ υψηλές.

Εύκολα λοιπόν συμπεραίνει κανείς ότι η χρήση αυτών των γυαλιών κατά τη διάρκεια της οδήγησης για την πρόβλεψη πιθανών ατυχημάτων αποτελεί ουτοπία. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένες διαφορετικές λύσεις που πωλούνται στο εμπόριο αυτή τη στιγμή και στοχεύουν στην πρόληψη κακής οδηγικής συμπεριφοράς.

- Stop Sleep



Σχήμα 23: Stop Sleep Device [79].

Τοποθετείται στο δάχτυλο και μετρά συνεχώς τα επίπεδα ευαισθητοποίησης και συγκέντρωσης του οδηγού χρησιμοποιώντας οκτώ ενσωματωμένους αισθητήρες που παρακολουθούν την ηλεκτροδερματική δραστηριότητα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του δέρματος ποικίλλει ανάλογα με τη δραστηριότητα του εγκεφάλου. Ο αλγόριθμος επεξεργασίας του σήματος, ο οποίος χρησιμοποιείται στον συναγερμό κατά του ύπνου, χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των δύο ακόλουθων καταστάσεων: ύπνος (χαρακτηρίζεται από ισχυρή μείωση σήματος) και μείωση της αντίδρασης (η οποία μπορεί να καλείται από την έναρξη της υπνηλίας, βαθιά σκέψη ή πλήξη). Πριν από τον ύπνο, η αγωγιμότητα του δέρματος μειώνεται απότομα. Η συσκευή αποκρίνεται αμέσως, παρέχοντας προειδοποιήσεις με έντονους ήχους και δονήσεις.



Σχήμα 24: Advicy Drive [80].

- Advicy Drive

Είναι ένα βραχιόλι με έναν μικρό αισθητήρα Bluetooth που μετρά τους παλμούς της καρδιάς του οδηγού. Ανιχνεύει και αναλύει τον καρδιακό παλμό από το δέρμα μέσω της εφαρμογής AdvicyDrive που είναι εγκατεστημένη σε ένα κινητό. Για να ελέγξει αν η οδήγηση είναι ασφαλής, το Advicy Drive ανιχνεύει την τιμή προσοχής του οδηγού. Η απόδοση του οδηγού εμφανίζεται στη συνέχεια σε έναν κύκλο του γραφικού περιβάλλοντος και παρακολουθείται συνεχώς. Εάν η καμπύλη βρίσκεται στην πράσινη ζώνη, οδηγεί με ασφάλεια, αλλά αν η καμπύλη κινείται στην κόκκινη ζώνη, τότε η κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο οδηγός είναι κάτω από το κατώφλι ασφαλείας και ένας συναγερμός θα προειδοποιήσει τον οδηγό για να αποφευχθεί η πιθανότητα να αποκοιμηθεί.

- Warden



Σχήμα 25: Warden [81].

Αποτελεί ένα ακόμα σύστημα παρακολούθησης της εγρήγορσης του οδηγού που βασίζεται στον ρυθμό καρδιακής λειτουργίας. Το σύστημα χρησιμοποιεί μια σειρά αισθητήρων τοποθετημένων σε μια πλάτη καθίσματος για να ανιχνεύσει αλλαγές στο ηλεκτρικό δυναμικό στο ανθρώπινο σώμα. Ανιχνεύει τους ηλεκτρικές παλμούς της καρδιάς και επιστρέφει ένα ακριβές σήμα κορυφής R από το ηλεκτροκαρδιογράφημα των χρηστών που αυτό, με τη σειρά του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της διακύμανσης του καρδιακού ρυθμού (Heart Rate Variability - HRV). Η συσκευή παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση για υπνηλία ή προβλήματα υγείας μέσω της εφαρμογής του κινητού.

- Vigo



Σχήμα 26: *Vigo* [82].

Είναι ακουστικά Bluetooth τα οποία αναγνωρίζουν πότε τα μάτια ανοιγοκλείνουν και υπολογίζουν κατά πόσο οι χρήστες είναι σε επαγρύπνηση. Το *Vigo* παρακολουθεί τα μάτια και την κίνηση του κεφαλιού για να μετρήσει τα επίπεδα εγρήγορσης. Όταν το σύστημα αισθάνεται ότι ο οδηγός έχει υπνηλία, τον διεγείρει με ένα συνδυασμό δονήσεων, μουσικής ή αναλαμπής φωτός. Είναι επίσης δυνατό να ελεγχθούν τα επίπεδα επαγρύπνησης άλλων χρηστών από τη στιγμή που τα δεδομένα αποστέλλονται μέσω διαδικτύου. Η εφαρμογή *Vigo* μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δει κάποιος το ιστορικό της εγρήγορσης, των τάσεων και των προτάσεων του οδηγού για το πώς να παραμείνει συγκεντρωμένος κατά τη διάρκεια μεγάλων ταξιδιών.

Στο Σχήμα 26 φαίνονται αναλυτικά τα μέρη του *Vigo*.

1. Κάμερα υπερέυθρων που παρακολουθεί την κίνηση των βλεφάρων
2. Το φωτάκι (led) προειδοποίησης που αναβοσβήνει
3. Μικρός κινητήρας που προκαλεί τις δονήσεις/κραδασμούς
4. Μικρόφωνο
5. Επιταχυνσιόμετρο 6 αξόνων που παρακολουθεί την κίνηση του κεφαλιού
6. Μπαταρία 120 mAh
7. Στήριγμα από σιλικόνη
8. Ηχείο

Είναι φανερό ότι το *Vigo* είναι η πιο κοντινή συσκευή που έχει εξεταστεί έως τώρα, στο σύστημα που αποσκοπεί αυτή η εργασία. Είναι ένα κομψό εργαλείο, με αυτονομία περίπου στις 12 ώρες

χρήσης και κόστος 114 ευρώ. Παρ' όλα αυτά όμως παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα. Δεν παρακολουθεί το που κοιτάζουν τα μάτια αλλά μόνο την κίνηση των βλεφάρων. Επίσης καθώς ο οδηγός πρέπει να το φοράει κάθε φορά πριν ξεκινήσει την διαδρομή του, είναι πολύ εύκολο να ξεχαστεί ή να το αφήσει κατά λάθος σπίτι ή να έχει αποφορτιστεί η μπαταρία και να μην έχει προλάβει να το φορτίσει. Επίσης δυστυχώς δεν είναι εφικτό να βρεθούν πληροφορίες για τον αλγόριθμο αναγνώρισης ματιών που χρησιμοποιεί, καθώς η εταιρία δεν παρέχει τέτοιου είδους πληροφορίες για λόγους απορρήτου.

- Ασύρματα γυαλιά της εταιρίας Optialert

Ο βαθμός υπνηλίας του οδηγού εμφανίζεται σε μια οθόνη κινητού. Όταν οι οδηγοί φτάνουν σε υψηλά επίπεδα κινδύνου, ο οδηγός (και οι επόπτες εάν ο οδηγός εργάζεται για μια εταιρεία) προειδοποιούνται. Τα γυαλιά ανίχνευσης υπνηλίας της Optialert λειτουργούν μετρώντας την ταχύτητα του βλεφάρου του ατόμου που τα φοράει 500 φορές το δευτερόλεπτο χρησιμοποιώντας ένα led που είναι ενσωματωμένο στο πλαίσιο των γυαλιών. Υπάρχουν δύο βασικές μετρήσεις: Πόσο γρήγορα και σε πόσο εύρος ένα άτομο ανοίγει το βλέφαρό του. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στην Κλίμακα της Νωθρότητας του Johns (κλίμακα 10 σημείων όπου το σκορ 0 = 'μεγάλη εγρήγορση' και 10 = 'πολύ υπνηλία').



Σχήμα 27: Optialert ασύρματα γυαλιά [83].

3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 Λογισμικό

3.1.1 Μέθοδος Ανίχνευσης

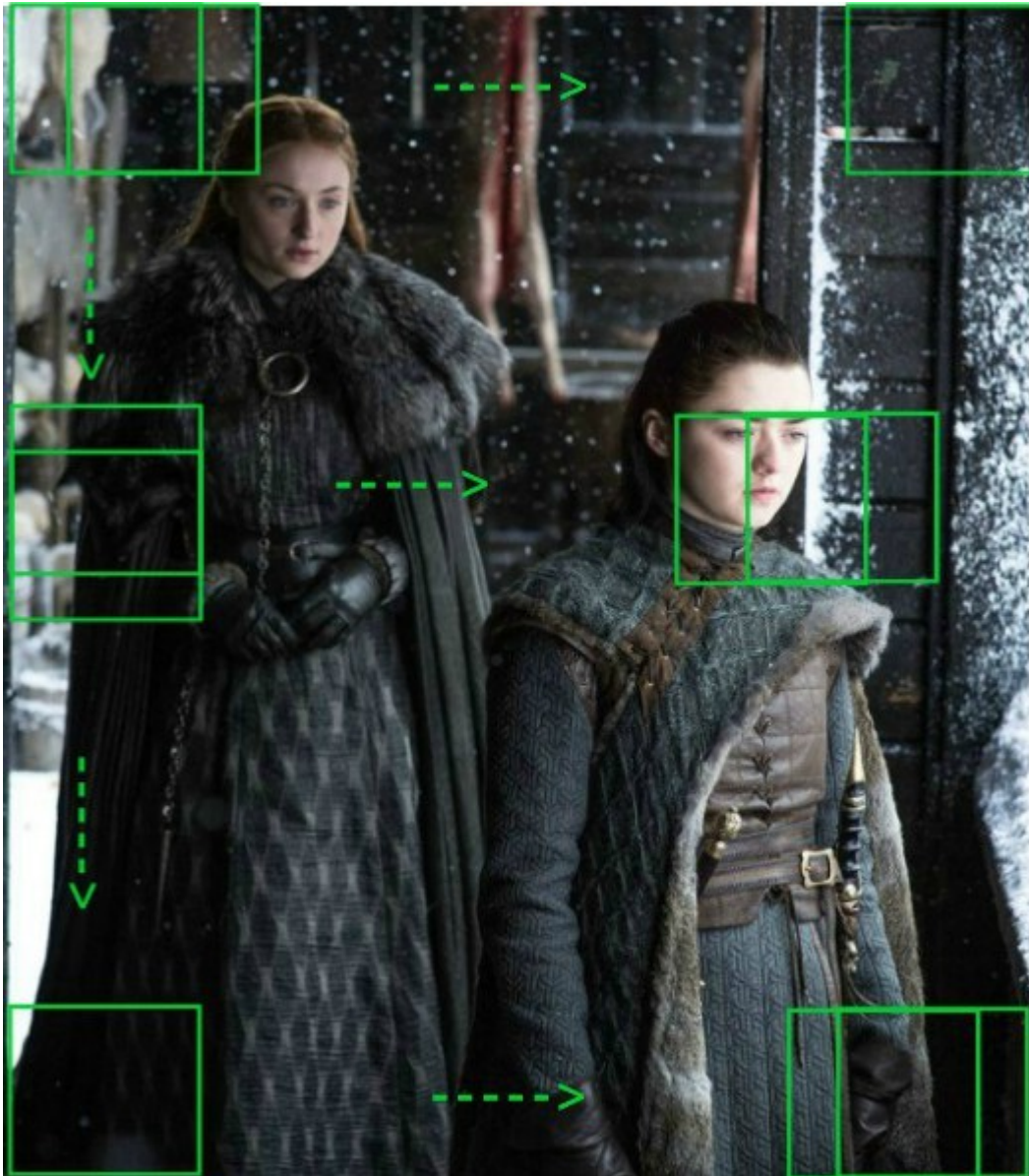
Ως ανιχνευτής προσώπου επιλέγεται αυτός της βιβλιοθήκης dlib. Ο προαναφερθείς υλοποιείται με τον συνδυασμό δύο μεθόδων:

- ✓ Ιστογράμματα Προσανατολισμένων Κλίσεων (HOG)
- ✓ Γραμμικό Διάνυσμα Μηχανικής Υποστήριξης (Linear SVM)

Η μέθοδος HOG προτάθηκε από τους Dalal και Triggs το 2005. Η μελέτη τους έδειξε ότι ένας περιγραφέας τύπου HOG μαζί με έναν περιγραφέα τύπου SVM αποτελούν πολύ ακριβείς ταξινομητές αντικειμένων - ή στο συγκεκριμένο πείραμά τους, ανιχνευτές ανθρώπων [27].

Καθώς η παρούσα διπλωματική εργασία δεν έχει σαν στόχο την κατασκευή ενός ανιχνευτή αντικειμένων (εδώ προσώπων), δεν υπάρχει λόγος να αναφερθεί λεπτομερώς η διαδικασία εκπαίδευσης ενός τέτοιου ανιχνευτή. Αξίζει όμως να σημειωθεί ο γενικός αλγόριθμος κατάρτισης ενός ανιχνευτή αντικειμένου, χρησιμοποιώντας την μέθοδο HOG + Linear SVM. Συνοπτικά τα βήματα είναι τα εξής:

1. Εξάγονται περιγραφείς HOG από ένα σύνολο Θ θετικών δειγμάτων από τα δεδομένα εκπαίδευσης του υπό αναγνώριση αντικειμένου.
2. Εξάγονται περιγραφείς HOG από ένα σύνολο A αρνητικών δειγμάτων από τα δεδομένα εκπαίδευσης που δεν περιέχουν πουθενά το αντικείμενο που πρέπει να ανιχνευθεί. Ισχύει η σχέση $A \gg \Theta$.
3. Εκπαιδεύεται ένας Linear SVM και για τα θετικά και για τα αρνητικά δείγματα.
4. Γίνεται εφαρμογή της τεχνικής που ονομάζεται hard-negative mining. Για κάθε εικόνα του αρνητικού σετ εκπαίδευσης και κάθε πιθανή κλίμακά της, δημιουργείται ένα παράθυρο συγκεκριμένων διαστάσεων το οποίο εφαρμόζεται σε κάθε σημείο της εικόνας, με τον τρόπο που απεικονίζεται στο Σχήμα 28 (από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω). Σε κάθε τέτοιο παράθυρο υπολογίζονται οι περιγραφείς HOG και ο ταξινομητής. Εάν ο ταξινομητής ταξινομήσει λάθος ένα δεδομένο παράθυρο ως αντικείμενο, τότε γίνεται καταγραφή του αντίστοιχου διανύσματος χαρακτηριστικών μαζί με την αντίστοιχη πιθανότητα ταξινόμησης.
5. Τα ψευδώς θετικά δείγματα που βρέθηκαν κατά τη διάρκεια του βήματος 4, ταξινομούνται σύμφωνα με την πιθανότητα ταξινόμησής τους και στη συνέχεια ανακατασκευάζεται ο ταξινομητής.



Σχήμα 28: Για την συγκεκριμένη κλίμακα της εικόνας, ένα παράθυρο την σαρώνει ξεκινώντας από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω [84].

Ακολουθώντας επαναληπτικά τα βήματα 4-5, είναι δυνατό να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια, αλλά στην πράξη ένα στάδιο hard-negative mining τείνει συνήθως (όχι πάντα) να είναι αρκετό. Το κέρδος της ακρίβειας στις επόμενες επαναλήψεις είναι πάρα πολύ μικρό.

6. Ο ταξινομητής είναι πλέον εκπαιδευμένος και μπορεί να εφαρμοστεί στο σύνολο των δεδομένων δοκιμής. Όπως και στο Βήμα 4, για κάθε εικόνα στο σετ δοκιμών και κάθε κλίμακά της, εφαρμόζεται hard-negative mining. Εάν ο ταξινομητής ανιχνεύσει ένα αντικείμενο με αρκετά μεγάλη πιθανότητα, καταγράφονται τα όρια αυτού του παραθύρου. Αφού τελειώσει η σάρωση της εικόνας, κρίνεται απαραίτητο να αφαιρεθούν οι περιττές και επικαλυπτόμενες θέσεις, καθώς πολλά παράθυρα μπορεί να δείχνουν το ίδιο αντικείμενο, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 29. Αυτό μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους οι οποίες ονομάζονται non-maximum suppression.

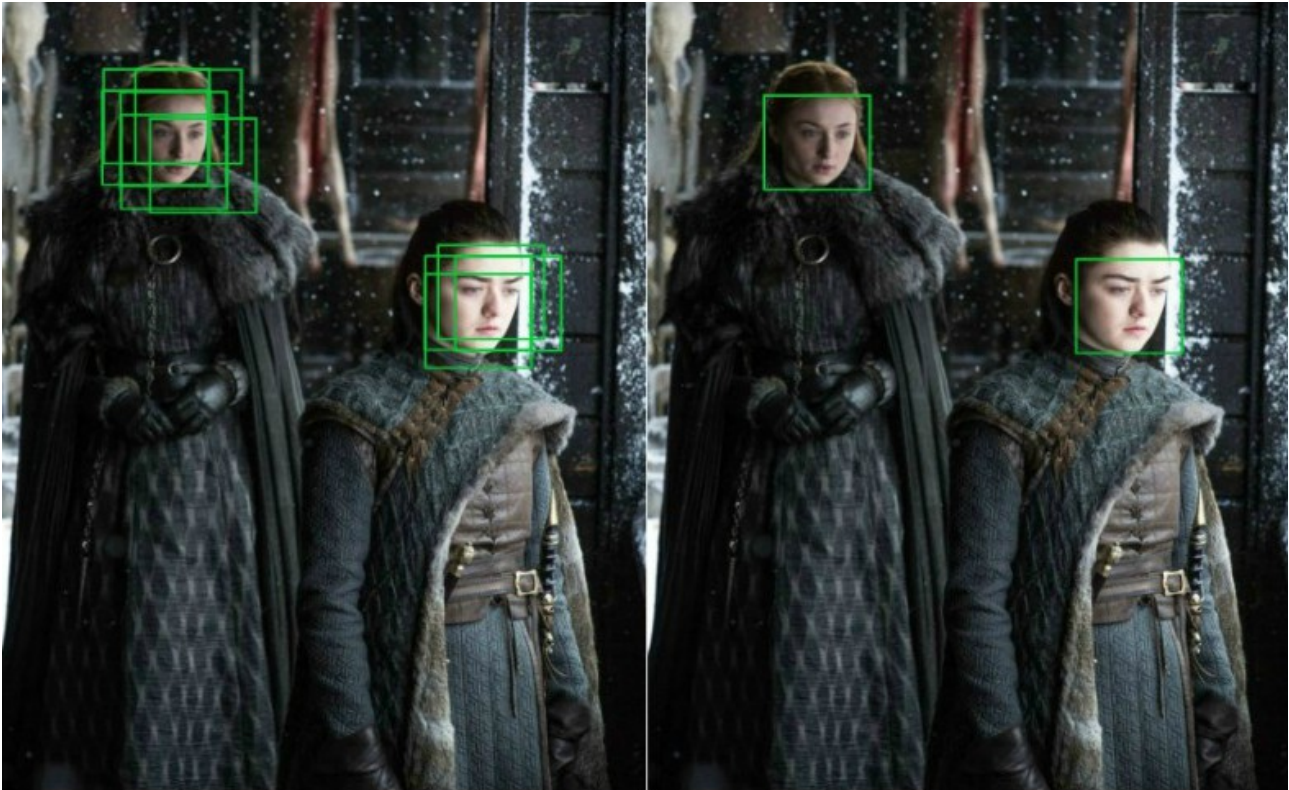


Illustration 29: Το αποτέλεσμα πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την εφαρμογή της μεθόδου non-maximum suppression. Αριστερά υπάρχουν πολλαπλά παράθυρα τα οποία αφορούν το ίδιο πρόσωπο ενώ δεξιά διατηρείται μόνο το παράθυρο με την μεγαλύτερη επιφάνεια οριοθέτησης.

3.1.2 Κύριος Κώδικας

Αρχικά θα γίνει η εισαγωγή των απαραίτητων πακέτων και βιβλιοθηκών.

```
# import the necessary packages
from scipy.spatial import distance
from imutils.video import VideoStream
from imutils import face_utils
from threading import Thread
import numpy as np
import playsound
import argparse
import imutils
import time
import dlib
import cv2
import pygame
import sys
```

Η χρησιμότητα και οι λειτουργίες ορισμένων εκ των παραπάνω εξηγούνται και στην ενότητα 2.2.3. Πιο συγκεκριμένα, το `scipy.spatial` περιέχει την συνάρτηση υπολογισμού της ευκλείδειας

απόστασης μεταξύ σημείων-κλειδιά που βρίσκονται στα μάτια, η οποία παίζει καθοριστικό ρόλο στο να προσδιοριστεί εάν το μάτι είναι ανοιχτό ή κλειστό.

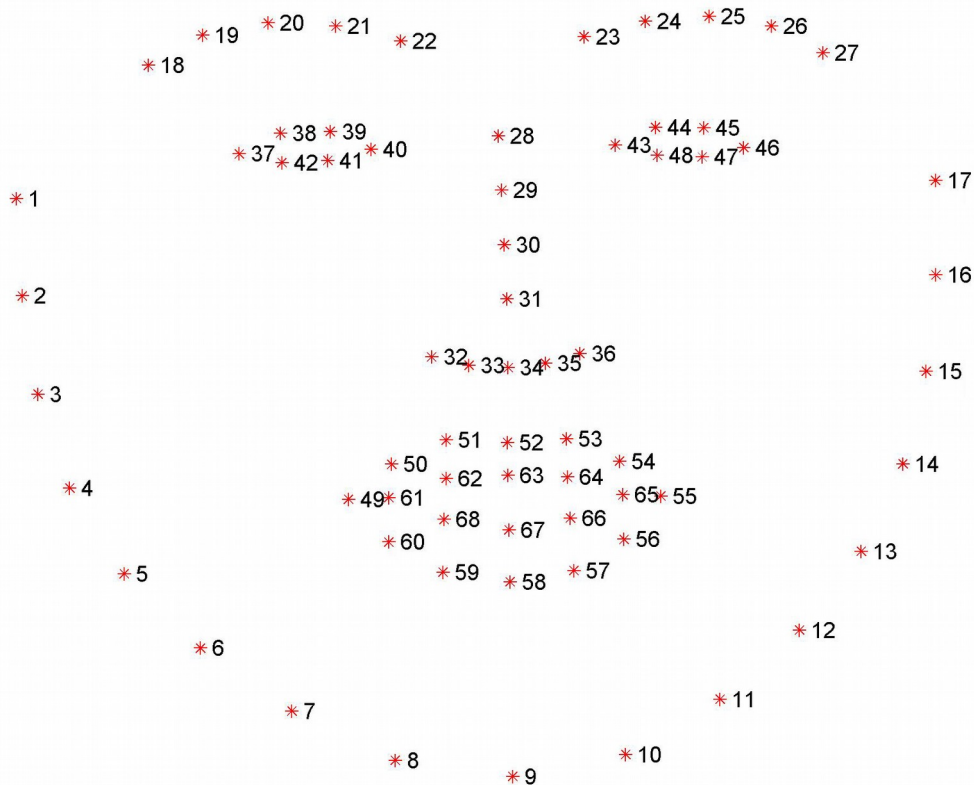
Η βιβλιοθήκη `imutils` περιέχει έτοιμες συναρτήσεις επεξεργασίας εικόνας.

Η κλάση `Thread`, δίνει την δυνατότητα να χτυπάει ο συναγερμός σε ένα ξεχωριστό νήμα από το κύριο, και έτσι διασφαλίζεται ότι το σύνολο των ενεργειών στον κώδικα δεν θα διακόψει την λειτουργία ενώ ηχεί ο συναγερμός, αλλά θα δουλεύουν παράλληλα.

Κρίνεται επίσης απαραίτητη και η βιβλιοθήκη `dlib` αφού μέσω αυτής θα ανιχνευθούν και θα αναγνωριστούν τα χαρακτηριστικά και το υπό εξέταση πρόσωπο.

Ο εκπαιδευμένος ανιχνευτής σημείων προσώπου την βιβλιοθήκης `dlib`, αναπαριστά το πρόσωπο με 68 δισδιάστατα (x, y) σημεία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 30.

Κάθε μάτι αντιπροσωπεύεται από 6 συντεταγμένες (x, y) , ξεκινώντας από την αριστερή γωνία του ματιού και στη συνέχεια προχωρώντας δεξιόστροφα γύρω από το υπόλοιπο της περιοχής. Υπάρχει όμως σχέση μεταξύ του πλάτους και του ύψους αυτών των συντεταγμένων.



Σχήμα 30: Ανιχνευτής προσώπου της βιβλιοθήκης `dlib` [85].

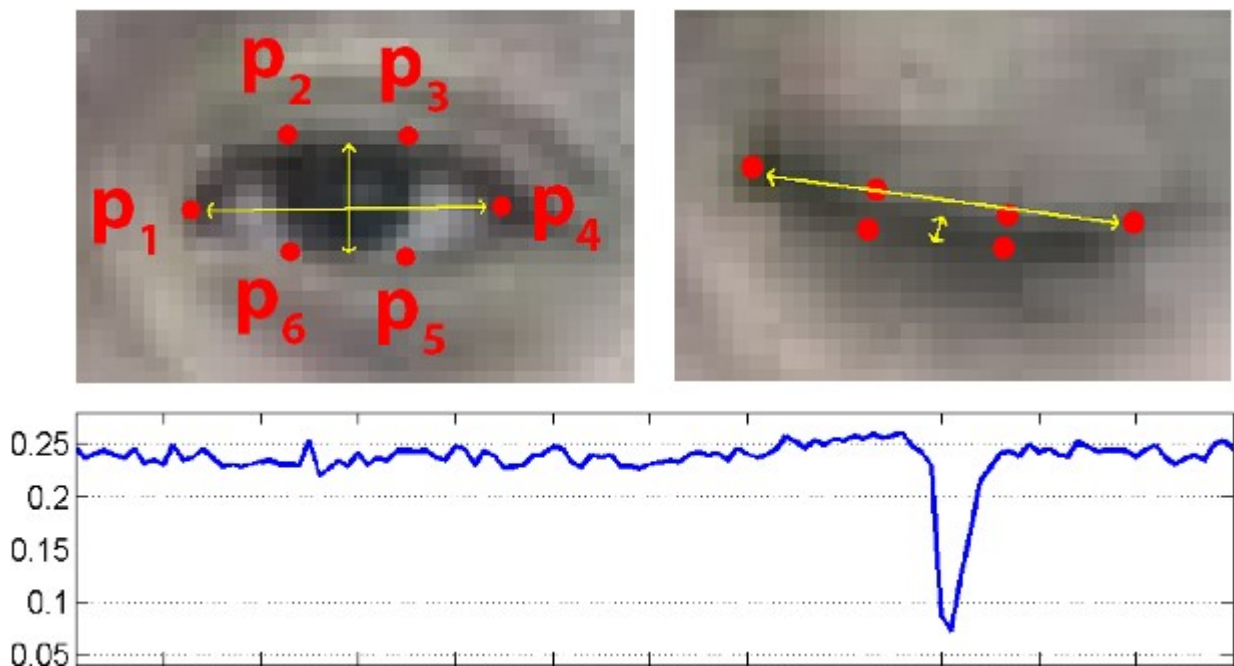
Με βάση το έργο του Soukuroná και του Čech το 2016 [60], η ανίχνευση των κλειστών-ανοιχτών οφθαλμών σε πραγματικό χρόνο με τη χρήση 6 σημείων μπορεί να γίνει με την παρακάτω εξίσωση που αντανακλά αυτή τη σχέση που ονομάζεται EAR (eye aspect ratio).

$$EAR = \frac{|p_2 - p_6| + |p_3 - p_5|}{2 * |p_1 - p_4|} \quad (3.1.1)$$

Ο αριθμητής αυτής της εξίσωσης υπολογίζει την απόσταση μεταξύ των κάθετων σημείων ενώ ο παρονομαστής υπολογίζει την απόσταση μεταξύ των οριζόντιων σημείων, σταθμίζοντας τον παρονομαστή κατάλληλα αφού υπάρχει μόνο μία ομάδα οριζόντιων σημείων αλλά δύο ομάδες κάθετων σημείων.

Γιατί αυτή η εξίσωση είναι τόσο ενδιαφέρουσα;

Παρατηρήθηκε ότι το EAR είναι σχεδόν σταθερό ενώ το μάτι είναι ανοιχτό, αλλά πέφτει γρήγορα στο μηδέν όταν το μάτι κλείνει. Χρησιμοποιώντας αυτή την απλή εξίσωση, αποφεύγονται οι τεχνικές επεξεργασίας εικόνας και αρκεί απλά η αναλογία των αποστάσεων για να καθοριστεί η κατάσταση του ματιού.



Σχήμα 31: Πείραμα Soukuroná και Čech [60].

Στην κορυφή-αριστερά φαίνεται ένα μάτι που είναι πλήρως ανοιχτό και το EAR είναι μεγάλο και σχετικά σταθερό με την πάροδο του χρόνου.

Ωστόσο, όταν το μάτι ανοιγοκλείνει (πάνω δεξιά) το EAR μειώνεται δραματικά, πλησιάζοντας το μηδέν.

Το Σχήμα 31 σκιαγραφεί ένα γράφημα του EAR με το χρόνο. Όπως φαίνεται, το EAR είναι σταθερό όσο το μάτι είναι ανοιχτό. Μόλις κλείσει, τότε πέφτει γρήγορα κοντά στο μηδέν, και στη συνέχεια αυξάνεται ξανά, δείχνοντας ότι έχει πραγματοποιηθεί ένα μόνο κλείσιμο.

Ορίζεται λοιπόν η συνάρτηση `eye_ar()` που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του λόγου των αποστάσεων μεταξύ των κάθετων ορόσημων και των αποστάσεων μεταξύ των οριζόντιων

ορόσημων.

```
def eye_ar(eye):  
  
    # find the eucl. distance between the horizontal eye landmark  
    a = distance.euclidean(eye[0], eye[3])  
  
    # find the eucl. distances between the vertical eye landmarks  
    b = distance.euclidean(eye[1], eye[5])  
    c = distance.euclidean(eye[2], eye[4])  
  
    # eye aspect ratio  
    ear = (b+c)/(2.0*a)  
  
    return ear
```

Η τιμή επιστροφής θα είναι περίπου σταθερή όταν το μάτι είναι ανοιχτό, αλλά θα μειωθεί κατά τη διάρκεια ενός κλεισίματος. Εάν το μάτι παραμείνει κλειστό, το ear θα παραμείνει και πάλι περίπου σταθερό, αλλά θα είναι πολύ μικρότερο από την τιμή που έχει όταν είναι ανοιχτό.

Παράλληλα ορίζεται η συνάρτηση υπολογισμού της διαμέτρου του στόματος mouth_ar(), ώστε να ανιχνευθεί άνοιγμα, τέτοιο ώστε να αντιστοιχεί σε πιθανό χασμουρητό.

```
def mouth_ar(mouth):  
    # find the eucl. distance between the upper and the lower lip  
    a = distance.euclidean(mouth[2], mouth[10])  
    b = distance.euclidean(mouth[4], mouth[8])  
  
    # find the eucl. horizontal distance between the lips' corners, because I do not  
    # want mar to depends on the distance between the camera and the driver's # face  
    c = distance.euclidean(mouth[0], mouth[6])  
  
    #mouth aspect ratio  
    mar = (a+b)/(2.0*c)  
  
    return mar
```

Εάν η θέση της κάμερας ήταν σταθερή σε σχέση με τη θέση του οδηγού δεν θα χρειαζόταν να διαιρεθεί ο συντελεστής με την οριζόντια απόσταση. Αλλά το γεγονός ότι ανάλογα με το ύψος του οδηγού αλλάζει και η απόστασή του από το τιμόνι και άρα και από την κάμερα, καθιστά απαραίτητη την προαναφερθείσα διαίρεση.

Τέλος, η συνάρτηση `sound_alarm()` ενεργοποιεί τον συναγερμό. Αυτή ενδέχεται να τροποποιηθεί, καθώς σε πρώτο στάδιο ο κώδικας θα τρέξει μέσω υπολογιστή και μετέπειτα θα δοκιμαστεί στο Raspberry Pi.

```
def sound_alarm(path):  
    # play an alarm sound  
    while ALARM_ON:  
        pygame.init()  
        pygame.mixer.init()  
        sounda= pygame.mixer.Sound("alarm.wav")  
  
        sounda.play()  
        time.sleep (20)
```

Το πρόγραμμα ορίζει ποιες εντολές απαιτεί και μέσω της `argparse` (argument parser) παράγει αυτόματα μηνύματα βοήθειας στον χρήστη και παρουσιάζει σφάλματα όταν οι χρήστες του δίνουν μη έγκυρες εντολές.

```
# argument parse  
argp = argparse.ArgumentParser()  
argp.add_argument("-sp", "--shape-predictor", required=True,  
                 help="set the path to facial landmark predictor")  
argp.add_argument("-a", "--alarm", type=str, default="",  
                 help="set the path to alarm .WAV file")  
argp.add_argument("-w", "--webcam", type=int, default=0,  
                 help="set which webcam you want to use")  
args = vars(argp.parse_args())
```

-shape predictor: Εδώ ορίζεται η διαδρομή προς τον ανιχνευτή προσώπου του `dlib`.

-alarm: Εδώ ορίζεται (προαιρετικά) η διαδρομή για ένα αρχείο εισόδου ήχου που θα χρησιμοποιηθεί ως συναγερμός.

-webcam: Αυτός ο ακέραιος αριθμός ελέγχει ποια κάμερα (ενσωματωμένη, κάμερα USB κ.λπ.) θα χρησιμοποιηθεί.

Τώρα που έχουν εξακριβωθεί οι γραμμές εντολών θα οριστούν μερικές σημαντικές μεταβλητές.

-BLINK_THRESH: Εάν το `EAR` πέσει κάτω από αυτό το όριο, θα αρχίσει η μέτρηση του αριθμού των συνεχόμενων πλαισίων στα οποία τα μάτια είναι κλειστά (`FRAME_COUNT_BLINK`).

-MOUTH_THRESH: Αντίστοιχα αν το `MAR` πέσει κάτω από αυτό το όριο, θα αρχίσει η μέτρηση του αριθμού των συνεχόμενων πλαισίων στα οποία είναι τόσο ανοιχτό το στόμα (`FRAME_COUNT_YAWN`).

-SLEEP_THRESH: Εάν το `FRAME_COUNT_BLINK` υπερβεί αυτό το όριο, τότε ο οδηγός έχει κλειστά τα μάτια.

```

# the threshold that indicates if the eye is closed (blink) or not
BLINK_THRESH = 0.2
# the threshold that indicates if the driver's mouth is opened enough or not
MOUTH_THRESH = 0.6

# the threshold that indicates if the alarm must ring calculating the
# number of consecutive frames with closed eyes
SLEEP_THRESH = 50
# the threshold that indicates if the break alarm must ring, calculating
# the number of yawns in a specific period of time
YAWN_THRESH = 145

ALLYAWNS_THRESH = 2150

# number of yawns
YAWN_COUNT = 0

FRAME_COUNT_BLINK = 0
FRAME_COUNT_YAWN = 0
FRAME_COUNT_ALLYAWNS = 0

ALARM_ON = False
YAWN_FLAG = False
ALARM_YAWN_FLAG = False

```

-YAWN_THRESH: Εάν το FRAME_COUNT_YAWN υπερβεί αυτό το όριο, τότε ο οδηγός χασμουριέται.

-ALLYAWNS_THRESH: Ορίζεται ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, μέσα στο οποίο δεν πρέπει ο οδηγός να ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο αριθμό χασμουρητών (YAWN_COUNT).

-FRAME_COUNT_ALLYAWNS: Μόλις πραγματοποιηθεί το πρώτο χασμουρητό, ξεκινάει να μετράει συνεχόμενα πλαίσια μέχρι το ALLYAWNS_THRESH.

-ALARM_ON: Ελέγχει πότε θα χτυπήσει ο συναγερμός για τα κλειστά μάτια.

-YAWN_FLAG: Ελέγχει αν έχει πραγματοποιηθεί το πρώτο χασμουρητό ώστε να αρχίσει το FRAME_COUNT_ALLYAWNS να μετράει.

-ALARM_YAWN_FLAG: Ελέγχει πότε θα χτυπήσει ο συναγερμός για το χασμουρητό.

Είναι προφανές ότι οι σταθερές που αντιπροσωπεύουν ένα χρονικό διάστημα μετρώντας κάθε φορά τον αριθμό των εκάστοτε διαδοχικών εικόνων έχουν υπολογιστεί εμπειρικά και ενδέχεται να αλλάξουν. Τα νούμερα αυτών έχουν οριστεί με κριτήριο τον υπολογιστή στον οποίο έχει δοκιμαστεί ο κώδικας. Αυτά είναι λογικό και αναμενόμενο να μεταβληθούν όταν ο κώδικας δοκιμαστεί στον μικροϋπολογιστή, καθώς λόγω των χαρακτηριστικών του (επεξεργαστής, RAM κ.λπ.) ενδέχεται να εκτελείται πιο αργά και ο ίδιος αριθμός διαδοχικών εικόνων να αντιστοιχεί πλέον σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

```

# initialize dlib's face detector (HOG-based)
# create the facial landmark predictor
print("Loading facial landmark predictor.....")
detector = dlib.get_frontal_face_detector()
predictor = dlib.shape_predictor(args["shape_predictor"])

```

Εν συνεχεία, φορτώνεται η βιβλιοθήκη dlib που συνοδεύεται από τον ανιχνευτή προσώπου με βάση ένα ιστόγραμμα (Histogram of Oriented Gradients) και ο predictor των σημείων του προσώπου.

Για να εξαχθούν οι επιθυμητές περιοχές - σε αυτή την εργασία τα μάτια και το στόμα - από ένα σύνολο σημείων προσώπου, απλά πρέπει να εφαρμοστούν οι κατάλληλοι δείκτες που γνωρίζουν που βρίσκονται οι περιοχές αυτές στον συνολικό πίνακα των σημείων του προσώπου.

```

# facial landmarks for the left and right eye
(lStart, lEnd) = face_utils.FACIAL_LANDMARKS_IDXS["left_eye"]
(rStart, rEnd) = face_utils.FACIAL_LANDMARKS_IDXS["right_eye"]

# facial landmarks for the mouth
(mStart, mEnd) = face_utils.FACIAL_LANDMARKS_IDXS["mouth"]

```

Στο σημείο αυτό, ξεκινάει το βίντεο.

Το VideoStream χρησιμοποιεί την κάμερα που έχει οριστεί από την γραμμή εντολών και εισάγεται μία μικρή καθυστέρηση για την αρχικοποίηση του αισθητήρα της κάμερας.

```

# start the video
print("Starting the video.....")
VidS = VideoStream(src=args["webcam"]).start()

# LOOP - check constantly the current frame
while True:
    # take the frame from the threaded video stream
    frame = VidS.read()

    # resize it
    frame = imutils.resize(frame, width=450)

    # convert it to grayscalechannels
    gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    #I need one face, the Driver
    rects = detector(gray, 0)

```

Το πρόγραμμα μπαίνει λοιπόν αέναα στον βρόχο, όπου επεξεργάζεται σε κάθε επανάληψη κατάλληλα την εικόνα – είσοδο και ανιχνεύει πιθανά πρόσωπα.

```

# check if there is at least one detected face
if len(rects) != 0:
    # extract the facial landmarks for the face region, then
    # convert them to a NumPy array
    shape = predictor(gray, rects[0])
    shape = face_utils.shape_to_np(shape)

    # extract the left and right eye coordinates
    leftEye = shape[lStart:lEnd]
    rightEye = shape[rStart:rEnd]
    # compute the eye aspect ratio for both eyes
    leftEAR = eye_ar(leftEye)
    rightEAR = eye_ar(rightEye)
    # average
    ear = (leftEAR+rightEAR)/2.0

    # extract the mouth coordinates
    mouth = shape[mStart:mEnd]
    # compute the mouth aspect ratio
    mar = mouth_ar(mouth)

```

Για το πρόσωπο που ανιχνεύθηκε, εφαρμόζεται ο ανιχνευτής σημείων προσώπου που έχει οριστεί προηγουμένως και μετέπειτα το αποτέλεσμα μετατρέπεται σε έναν πίνακα NumPy. Από εκεί εξάγονται οι συντεταγμένες (x, y) του αριστερού και του δεξιού ματιού καθώς και του στόματος. Βέβαια, εάν υπάρξει κάποιος συνεπιβάτης στο πίσω κάθισμα, το πρόσωπο του οποίου θα είναι ορατό στην κάμερα, τότε δεν είναι ξεκάθαρο ποιο από τα 2 πρόσωπα θα αποθηκευτεί στο `rects[0]`.

Καλώντας τις συναρτήσεις `eye_ar()` και `mouth_ar()`, γίνεται ο υπολογισμός των συντελεστών. Εδώ να σημειωθεί ότι για τον συντελεστή των ματιών υπολογίζεται ο μέσος όρος των συντελεστών του δεξιού και αριστερού ματιού.

```

# visualize the detected eyes
leftEyeHull = cv2.convexHull(leftEye)
rightEyeHull = cv2.convexHull(rightEye)
cv2.drawContours(frame, [leftEyeHull], -1, (255, 102, 102), 1)
cv2.drawContours(frame, [rightEyeHull], -1, (255, 102, 102), 1)

# visualize the detected mouth
mouthHull = cv2.convexHull(mouth)
cv2.drawContours(frame, [mouth], -1, (0, 0, 255), 1)

```

Στη συνέχεια, απεικονίζονται κάθε μια από τις περιοχές των ματιών και του στόματος χρησιμοποιώντας την συνάρτηση `cv2.drawContours()`. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο καθώς επαληθεύεται ότι τα μάτια εντοπίζονται σωστά.

Από το σημείο αυτό του κώδικα, ελέγχεται αν ο οδηγός εμφανίζει συμπτώματα κόπωσης ή όχι.

Αρχικά γίνεται έλεγχος για το χασμουρητό. Εάν ο οδηγός χασμουρηθεί x φορές μέσα σε ένα y χρονικό διάστημα τότε ενεργοποιείται ο συναγερμός.

```

# check to see if the mar is above the mouth threshold, and if so,
# increase the counter
if mar > MOUTH_THRESH:
    FRAME_COUNT_YAWN += 1
    # check if the mouth is open for a long time (yawn_thresh),
    # and if so, increase the counter
    if FRAME_COUNT_YAWN >= YAWN_THRESH:
        FRAME_COUNT_YAWN = 0
        if YAWN_COUNT == 0:
            YAWN_COUNT += 1
            YAWN_FLAG = True
        else:
            YAWN_COUNT +=1

if YAWN_FLAG == True:
    FRAME_COUNT_ALLYAWNS += 1

if FRAME_COUNT_ALLYAWNS <= ALLYAWNS_THRESH:
    if YAWN_COUNT >= 2:

```

Πρωτίστως θα ελεγχθεί εάν ο συντελεστής του στόματος `mar` είναι πάνω από το κανονικό όριο. Εάν είναι, τότε αυξάνεται ο δείκτης που αντιπροσωπεύει τις συνεχόμενες εικόνες στόματος με μεγάλο `mar`, και συγκρίνεται με τον χρονικό δείκτη, ο οποίος αν ξεπεραστεί σημαίνει πως το υπό εξέταση πρόσωπο χασμουριέται. Παράλληλα ενεργοποιείται και η σημαία που υποδηλώνει πως ανιχνεύθηκε ήδη ένα χασμουρητό, ώστε να ενεργοποιηθεί και ο δείκτης που σηματοδοτεί το συνολικό χρονικό διάστημα.

```

    ALARM_YAWN_FLAG = True
    if not ALARM_ON:
        ALARM_ON = True
        # activate the alarm
        if args["alarm"] != "":
            t = Thread(target=sound_alarm,
                       args=(args["alarm"],))
            #t.daemon = True
            t.start()

    # draw an alarm on the frame
    cv2.putText(frame, "TAKE A BREAK!", (10, 30),
               cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 0, 255), 2)

else:
    FRAME_COUNT_ALLYAWNS = 0
    YAWN_COUNT = 0

```

```

if ALARM_ON == True:
    ALARM_ON = False
    YAWN_COUNT = 0
    FRAME_COUNT_ALLYAWNS = 0
    ALARM_YAWN_FLAG = False

```

Το κείμενο “TAKE A BREAK!” που τυπώνεται στην οθόνη είναι χρήσιμο για την επαλήθευση των ενεργειών μας.

Εάν υπάρξουν περισσότερα χασμουρητά από το επιτρεπόμενο όριο μέσα στο χρονικό διάστημα που έχει οριστεί, τότε χτυπάει ο συναγερμός. Να τονιστεί πως αυτός τρέχει σε διαφορετικό νήμα από αυτό του κύριου προγράμματος, ώστε να μην διακοπεί η ομαλή λειτουργία των υπόλοιπων ενεργειών.

Ακολουθεί ο έλεγχος του συντελεστή ear ματιών. Εάν ξεπερνάει το όριο, αυξάνεται ο συνολικός αριθμός διαδοχικών πλαισίων που το άτομο έχει κλείσει τα μάτια του, ο οποίος στη συνέχεια συγκρίνεται με το SLEEP_THRESH, που είναι ορισμένο στην αρχή του κώδικα. Αν το έχει υπερβεί, ενεργοποιείται ο συναγερμός.

Επίσης αξίζει να αναφερθεί ο έλεγχος που γίνεται για να διαπιστωθεί αν ο συναγερμός είναι ενεργοποιημένος ήδη. Στην περίπτωση που δεν είναι, μόνο τότε ενεργοποιείται. Η ενεργοποίησή του γίνεται όπως πριν.

Το κείμενο “DROWSINESS ALERT!” που τυπώνεται στην οθόνη είναι χρήσιμο για την επαλήθευση των ενεργειών μας.

Όταν τα μάτια ανοίξουν ξανά, ο FRAME_COUNT_BLINK μηδενίζεται και ο συναγερμός απενεργοποιείται.

```

# check to see if the eye aspect ratio is below the blink
# threshold, and if so, increase the counter
if ear < BLINK_THRESH:
    FRAME_COUNT_BLINK += 1

# check if the eyes were closed for a long time (sleep_thresh),
# and if so, sound the alarm
if FRAME_COUNT_BLINK >= SLEEP_THRESH:
    # if the alarm is not on, turn it on
    if not ALARM_ON:
        ALARM_ON = True

    # activate the alarm
    if args["alarm"] != "":
        t = Thread(target=sound_alarm,
                    args=(args["alarm"],))
        #t.deamon = True
        t.start()

```



```

# draw an alarm on the frame
cv2.putText(frame, "OPEN YOUR EYES!", (10, 30),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 0, 255), 2)

# otherwise, the eye aspect ratio is not below the blink
# threshold, so reset the counter and alarm
else:
    FRAME_COUNT_BLINK = 0
    ALARM_ON = False

```

Τέλος, το τελικό κομμάτι κώδικα είναι υπεύθυνο για την εικόνα εξόδου στην οθόνη. Όταν εκτελεστεί στο Raspberry Pi, δεν θα είναι απαραίτητο αλλά τώρα χρειάζεται για την επαλήθευση της σωστής λειτουργίας και την ευκολότερη εύρεση πιθανών σφαλμάτων.

```

# draw the computed eye aspect ratio on the frame
cv2.putText(frame, "EAR: {:.2f}".format(ear), (300, 30),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (255, 102, 102), 2)

# draw the computed mouth aspect ratio on the frame
cv2.putText(frame, "MAR: {:.2f}".format(mar), (300, 50),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 0, 255), 2)

# draw the yawn count on the frame
cv2.putText(frame, str(YAWN_COUNT), (300, 100),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 0, 255), 2)

# show the frame
cv2.imshow("Frame", frame)
key = cv2.waitKey(1) & 0xFF

# cleanup
cv2.destroyAllWindows()
VidS.stop()

```

3.2 Προετοιμασία του Raspberry Pi 3 Model B+

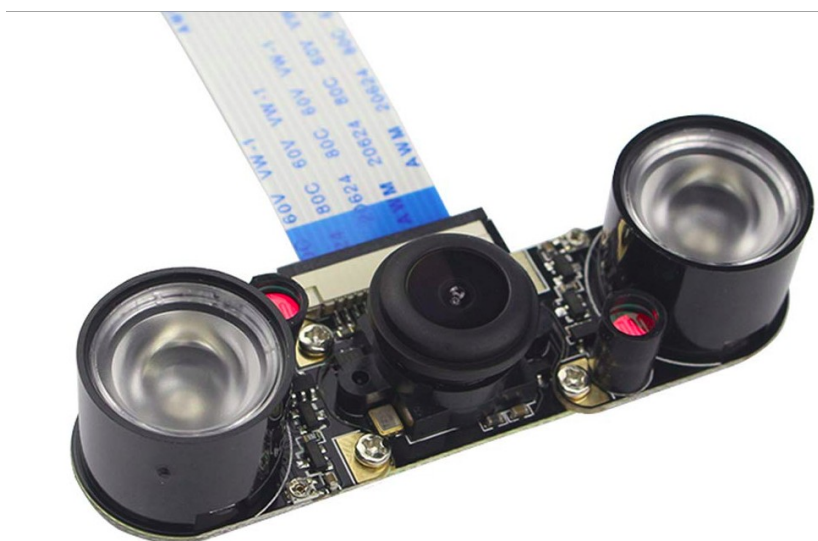
3.2.1 Στοιχεία κυκλωματικής διάταξης

Ως μικροϋπολογιστής επιλέχθηκε το τελευταίο μοντέλο του Raspberry Pi, το οποίο είναι το Raspberry Pi 3 Model B+. Ενώ στην αγορά κυκλοφορεί ένα μεγάλο πλήθος μικροϋπολογιστών, το παραπάνω μοντέλο θεωρήθηκε το πλέον κατάλληλο.

Αρχικά, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το κόστος του. Καθώς ο τελικός σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η κατασκευή ενός αυτόνομου συστήματος ανίχνευσης κόπωσης οδηγού ενός αυτοκινήτου, κρίνεται αναγκαίο το χαμηλό τελικό του κόστος. Ο συγκεκριμένος μικροϋπολογιστής

στοιχίζει 41,90 ευρώ. Παρόμοιες συσκευές, με αισθητά υψηλότερες αποδόσεις από αυτόν, όπως τα μοντέλα TK1 και TX1 της Nvidia Jetson, κοστίζουν 170 και 440 ευρώ αντίστοιχα, γεγονός που τα καθιστά μη επιθυμητά. Από την άλλη πλευρά, πλακέτες με μικροελεγκτές της ίδιας τάξεως τιμής, όπως το Arduino, παρουσιάζει μικρότερη απόδοση και ενδείκνυται κυρίως για πιο απλές και επαναλαμβανόμενες χρήσεις, όπως για παράδειγμα το άνοιγμα και το κλείσιμο ενός διακόπτη ή την μέτρηση της εξόδου ενός αισθητήρα και όχι για την αναγνώριση και επεξεργασία ενός ανθρώπινου προσώπου σε πραγματικό χρόνο.

Όσον αφορά την κάμερα, επιλέγεται μία κάμερα υπερύθρων για τους λόγους που παρατίθενται αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο. Έχει ανάλυση 5MP, καταγράφει βίντεο ποιότητας FullHD (1080p) και κοστίζει 26,90 ευρώ.



Σχήμα 32: Κάμερα υπερύθρων (5MP, 1080p) [86].

Στο σημείο αυτό, πρωταρχικός στόχος είναι να ελεγχθεί η συμβατότητα και η απόδοση του αρχικού κώδικα στον μικροϋπολογιστή. Για το λόγο αυτό θα χρησιμοποιηθεί και μία οθόνη ώστε να απεικονίζει την έξοδο του Raspberry, ένα πληκτρολόγιο και ένα ποντίκι για τον εύκολο χειρισμό του.

3.2.2 Διαμόρφωση της κάρτας μνήμης SD



Σχήμα 33: SD-card πριν γίνει format.

Η κάρτα μνήμης SD που θα χρησιμοποιηθεί έχει μέγεθος 16GB. Για τον λόγο ότι δεν χρησιμοποιείται πρώτη φορά, αλλά περιέχει ήδη παλαιότερης έκδοσης λογισμικό για το Raspberry, κρίνεται απαραίτητη η αρχική διαμόρφωσή της (format).

Μέσω ενός προσαρμογέα SD, συνδέεται σε υπολογιστή με λειτουργικό Linux Ubuntu. Η κάρτα είναι χωρισμένη σε 3 μέρη, διαφορετικής χωρητικότητας το καθένα.

Για να δημιουργηθεί ένας ενιαίος χώρος των 16GB, εκτελούνται οι ακόλουθες εντολές στο τερματικό:

- `mount`

Η εντολή αυτή εντοπίζει τα συστήματα αρχείων που είναι συνδεδεμένα με τον εκάστοτε υπολογιστή και σε αυτή την περίπτωση εμφανίζει τα ακόλουθα:

```
/dev/mmcblk0p1 on /media/aggeliki/boot type vfat .....
```

```
/dev/mmcblk0p2 on /media/aggeliki/rootfs type ext4 .....
```

Όλα τα αρχεία που είναι προσβάσιμα σε ένα σύστημα Unix είναι διατεταγμένα σε ένα μεγάλο δέντρο, του οποίου η ρίζα βρίσκεται στο /. Αυτά τα αρχεία μπορούν να εξαπλωθούν σε διάφορες συσκευές. Εδώ, είναι φανερό, ότι η κάρτα μνήμης είναι χωρισμένη σε 2 μέρη, τα οποία βρίσκονται σε 2 διαφορετικά σημεία του δέντρου. Για την αποσύνδεσή τους από το σύστημα αρχείων του υπολογιστή εκτελούνται διαδοχικά:

- `umount /media/aggeliki/boot`
- `umount /media/aggeliki/rootfs`

Στην συνέχεια, διαμορφώνεται κάρτα:

- `sudo fdisk /dev/mmcblk0`

όπου `mmcblk0` το σημείο που βρίσκεται η κάρτα μνήμης. Εμφανίζεται λοιπόν το παρακάτω menu με τις εξής επιλογές:

```
DOS (MBR)
a  toggle a bootable flag
b  edit nested BSD disklabel
c  toggle the dos compatibility flag

Generic
d  delete a partition
F  list free unpartitioned space
l  list known partition types
n  add a new partition
p  print the partition table
t  change a partition type
v  verify the partition table
i  print information about a partition

Misc
m  print this menu
u  change display/entry units
x  extra functionality (experts only)

Script
I  load disk layout from sfdisk script file
O  dump disk layout to sfdisk script file

Save & Exit
w  write table to disk and exit
q  quit without saving changes

Create a new label
g  create a new empty GPT partition table
G  create a new empty SGI (IRIX) partition table
o  create a new empty DOS partition table
s  create a new empty Sun partition table
```

Σχήμα 34: Όλες οι επιλογές της εντολής fdisk.

Με βάση το παραπάνω, γίνεται διαγραφή του κάθε διαμερίσματος (partition) πατώντας “d”.

Πατώντας “x”, εμφανίζεται ένα νέο menu με τις εντολές:

```
Expert command (m for help): m
Help (expert commands):

DOS (MBR)
b  move beginning of data in a partition
i  change the disk identifier

Geometry
c  change number of cylinders
h  change number of heads
s  change number of sectors/track

Generic
p  print the partition table
v  verify the partition table
d  print the raw data of the first sector from the device
D  print the raw data of the disklabel from the device
f  fix partitions order
m  print this menu

Save & Exit
q  quit without saving changes
r  return to main menu
```

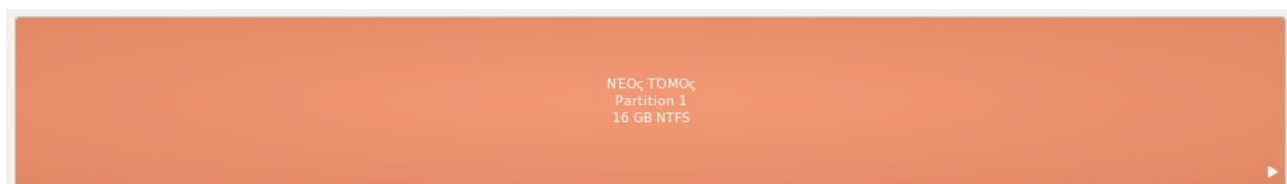
Σχήμα 35: Νέο μενού.

Εκτελούνται με την σειρά οι εντολές “h”, “s” και “c” και επιλέγονται σε όλες οι προεπιλεγμένες τιμές που εμφανίζονται.

Με την εντολή “r” γίνεται επιστροφή στο πρώτο menu, όπου με τις εντολές “n” και στη συνέχεια “p” καθίσταται το πρώτο μέρος ως κύριο (primary). Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται και για το δεύτερο μέρος. Έτσι, στο τερματικό εμφανίζεται το μήνυμα: “No free sectors available”.

Τέλος με την εντολή “w” φορτώνονται στην κάρτα μνήμης τα καινούργια δεδομένα, αποθηκεύονται και επιστρέφει στο κύριο τερματικό.

Πλέον, η κάρτα μνήμης είναι ένας ενιαίος αποθηκευτικός χώρος!

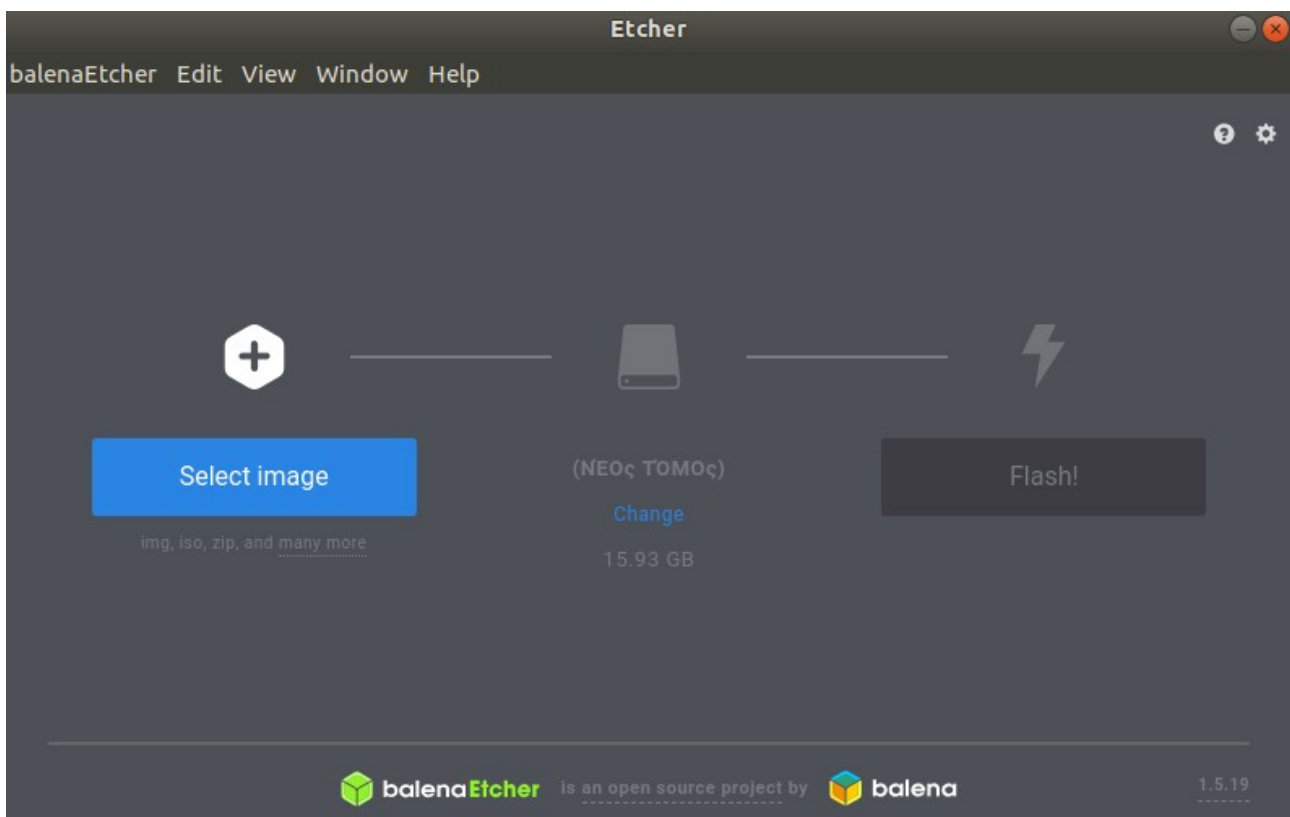


Σχήμα 36: Η κάρτα μνήμης μετά το format.

3.2.3 Εισαγωγή Raspbian

Στην επίσημη σελίδα του Raspberry Pi (<https://www.Raspberrypi.org/>), στον τομέα των Λήψεων (Downloads), υπάρχει η δυνατότητα να κατεβάσει κανείς το λογισμικό που επιθυμεί να τρέξει στον μικροϋπολογιστή του. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί το Raspbian, το οποίο είναι και το επίσημο λειτουργικό σύστημα που προτείνει η ίδια εταιρία. Είναι διαθέσιμες πολλές διαφορετικές εκδόσεις. Εδώ θα χρησιμοποιηθεί το Raspbian Stretch with desktop and recommended software το οποίο είναι πολύ εύκολο στην χρήση και έχει προεγκατεστημένα ποικίλα λογισμικά και βιβλιοθήκες, όπως την Python.

Το Raspbian που επιλέχθηκε θα περαστεί στην κάρτα μνήμης μέσω ενός προγράμματος που λέγεται Etcher. Από την ιστοσελίδα <https://www.techspot.com/downloads/6931-etcher.html> επιλέγεται η έκδοση που είναι συμβατή με τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε υπολογιστή. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγεται η έκδοση για Linux 64-bit.



Σχήμα 37: Πρόγραμμα Etcher.

Μόλις έχει εγκατασταθεί επιτυχώς το πρόγραμμα, είναι σε θέση να εγκατασταθεί το επιθυμητό λογισμικό στην κάρτα μνήμης χωρίς να υπάρξουν σφάλματα.

Πατώντας το “Select image” εισάγεται το επιθυμητό λογισμικό, στο μεσαίο τμήμα επιλέγεται το μέσο όπου πρέπει να εγγραφεί το λογισμικό (εδώ στην κάρτα μνήμης) και τέλος πατώντας “Flash!” ξεκινάει η εγγραφή.

Όταν ολοκληρωθεί η εγγραφή, η κάρτα μνήμης τοποθετείται στο Raspberry, το οποίο μόλις τροφοδοτηθεί με ρεύμα θα εκτελέσει το λογισμικό. Την πρώτη φορά που θα εκτελεστεί, θα ζητηθεί

από τον χρήστη να πραγματοποιήσει ορισμένες αρχικές ρυθμίσεις (π.χ. username, password, Wi-Fi).

3.2.4 Συνδεσμολογία

Η συνδεσμολογία είναι πολύ απλή και φαίνεται στο Σχήμα 38.



Σχήμα 38: Συνδεσμολογία του Raspberry με την κάμερα.

Αφού έχει εισαχθεί η κάρτα μνήμης στην πλακέτα, συνδέεται η κάμερα με το ειδικό καλώδιο της στην ειδική εσοχή η οποία έχει ήδη εξηγηθεί στο 2.3.1. Η οθόνη συνδέεται με HDMI, ενώ το πληκτρολόγιο και το ποντίκι με USB. Τέλος, συνδέεται το καλώδιο τροφοδοσίας, και το Raspberry είναι έτοιμο για λειτουργία.

3.2.5 Εισαγωγή των απαραίτητων βιβλιοθηκών για την Python

Για να εκτελεστεί ο κώδικας στο Raspberry Pi είναι απαραίτητο να εισαχθούν οι παρακάτω βιβλιοθήκες, μέσω των ακόλουθων εντολών στο τερματικό του μικροϋπολογιστή.

- Python3.5: Το Raspberry Pi έχει ήδη προεγκατεστημένη την Python αλλά το πιο πιθανό είναι να μην έχει την τελευταία έκδοση. Για το λόγο αυτό γίνεται ενημέρωση και

εγκαθίσταται η επιθυμητή έκδοση.

Εντολή: `sudo apt-get update`

```
sudo apt-get install python3.5
```

- **PyQt5:** Το PyQt αποτελείται από βιβλιοθήκες C++ πολλαπλών πλατφορμών που υλοποιούν την διεπαφή προγραμματιστικών εφαρμογών, υψηλού επιπέδου, για την πρόσβασή τους σε πολλές πτυχές των σύγχρονων επιτραπέζιων και κινητών συστημάτων. Αυτά περιλαμβάνουν υπηρεσίες εντοπισμού θέσης, σύνδεση NFC (Near Field Communication) και Bluetooth, πρόγραμμα περιήγησης με βάση το Chromium, καθώς και τη διεπαφή του χρήστη (UI).

Εντολή: `sudo apt-get install python3-pyqt5`

- **Raspi-config:** Το Raspi-config είναι ένα αυτοματοποιημένο script που καθιστά δυνατό να γίνουν πολλές χρήσιμες αρχικές ρυθμίσεις χωρίς την πληκτρολόγηση με μη αυτόματο τρόπο όλων των εντολών στο τερματικό.

Εντολή: `sudo apt-get install raspi-config`

- **Packages OpenCV-Python:** Πριν από την εγκατάσταση του OpenCV κρίνεται αναγκαίο να εισαχθούν τα ακόλουθα πακέτα ώστε να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία του.

```
Εντολή: sudo apt install libatlas3-base libwebp6 libtiff5
libjasper1 libilmbase12 libopenexr22 libilmbase12
libgstreamer1.0-0 libavcodec57 libavformat57 libavutil55
libswscale4 libqtgui4 libqt4-test libqtcore4
```

- **OpenCV:** Το OpenCV είναι ένας ανοιχτός κώδικας που περιλαμβάνει βιβλιοθήκες λογισμικού για την όραση του υπολογιστή και την εκμάθηση μηχανών. Το OpenCV δημιουργήθηκε για να παρέχει μια κοινή υποδομή για εφαρμογές όρασης υπολογιστών και για να επιταχύνει τη χρήση της αντίληψης της μηχανής στα εμπορικά προϊόντα. Όντας προϊόν με άδεια BSD, το OpenCV διευκολύνει τις επιχειρήσεις να χρησιμοποιούν και να τροποποιούν τον κώδικα. Η βιβλιοθήκη έχει περισσότερους από 2500 βελτιστοποιημένους αλγόριθμους, η οποία περιλαμβάνει ένα πλήρες σύνολο κλασικών και σύγχρονων αλγορίθμων για τους προαναφερθείς σκοπούς. Αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση και αναγνώριση προσώπων, τον εντοπισμό αντικειμένων, την ταξινόμηση των ανθρώπινων ενεργειών σε βίντεο, την παρακολούθηση των κινήσεων των φωτογραφικών μηχανών, την παρακολούθηση κινούμενων αντικειμένων, την εξαγωγή τρισδιάστατων μοντέλων αντικειμένων, την παραγωγή πινάκων 3D από στερεοφωνικές κάμερες κ.λπ.

Έχει περισσότερους από 47.000 χρήστες στην κοινότητα και εκτιμώμενο αριθμό λήψεων άνω των 14 εκατομμυρίων. Η βιβλιοθήκη χρησιμοποιείται εκτενώς σε εταιρείες, ερευνητικές ομάδες και κυβερνητικούς φορείς. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αναπτυγμένες χρήσεις του καλύπτουν ένα φάσμα όπως τη συρραφή των εικόνων του Google Streetview, την παρακολούθηση του εξοπλισμού των ορυχείων στην Κίνα, τη βοήθεια των ρομπότ στην πλοήγηση και την συγκομιδή αντικειμένων στο Willow Garage, τον εντοπισμό ατυχημάτων πνιγμού σε πισίνες στην Ισπανία και τη Νέα Υόρκη, την επιθεώρηση ετικετών σε προϊόντα σε εργοστάσια σε ολόκληρο τον κόσμο και την ταχεία ανίχνευση προσώπου στην Ιαπωνία!

Διαθέτει διεπαφές C++, Python, Java και MATLAB και υποστηρίζει Windows, Linux, Android και Mac OS. Το OpenCV βασίζεται κυρίως σε εφαρμογές όρασης σε πραγματικό χρόνο.

Εντολή: `sudo python3.5 -m pip install opencv-python`

- **Scipy:** Το SciPy (Scientific Python) είναι ένα σύνολο επιστημονικών και αριθμητικών εργαλείων ανοικτού κώδικα για την Python. Υποστηρίζει επί του παρόντος ειδικές συναρτήσεις, δυνατότητα λύσεων απλών διαφορικών εξισώσεων, βελτιστοποίηση κλίσης, παράλληλα εργαλεία προγραμματισμού, μεταγλωττιστή έκφρασης για C++ για γρήγορη εκτέλεση και άλλα.

Εντολή: `sudo apt-get install python3-scipy`

- **Imutils:** Είναι μια σειρά από συναρτήσεις που διευκολύνουν τις βασικές λειτουργίες επεξεργασίας εικόνας όπως η περιστροφή, η αλλαγή μεγέθους και η εμφάνιση των εικόνων από το Matplotlib με το OpenCV και την Python 2.7 και Python 3.

Εντολή: `sudo pip install imutils`

- **Dlib:** Το Dlib είναι ένα σύγχρονο εργαλείο C++ που περιέχει αλγόριθμους μηχανικής μάθησης και εργαλεία για τη δημιουργία σύνθετου λογισμικού στην C++ για την επίλυση πραγματικών προβλημάτων στον κόσμο. Χρησιμοποιείται τόσο στον κλάδο της βιομηχανίας όσο και στον ακαδημαϊκό χώρο σε ένα ευρύ φάσμα τομέων, όπως η ρομποτική, οι ενσωματωμένες συσκευές, τα κινητά τηλέφωνα και τα μεγάλα υπολογιστικά περιβάλλοντα υψηλής απόδοσης. Η αδειοδότηση ανοικτού κώδικα της Dlib επιτρέπει την χρήση της σε οποιαδήποτε εφαρμογή, δωρεάν.

Εντολή: `sudo pip install dlib`

- **bcm2835-v4l2:** Είναι απαραίτητη η εισαγωγή του για την ορθή λειτουργία της κάμερας.

Εντολή: `sudo modprobe bcm2835-v4l2`

3.3 Δοκιμή

Στην επιφάνεια εργασίας του Raspberry Pi δημιουργείται ένας φάκελος με το όνομα “master_thesis”. Εκεί αποθηκεύονται τα παρακάτω αρχεία:

- ✓ Ο κύριος κώδικας “drowsiness_alert_system.py”.
- ✓ Ο ήδη εκπαιδευμένος ανιχνευτής προσώπου “shape_predictor_dlib.dat”.
- ✓ Το αρχείο ήχου “alarm_sound.wav”, το οποίο στη συνέχεια δεν θα χρειαστεί.

Για να τρέξει ο κώδικας χωρίς σφάλματα η μοναδική αλλαγή που πρέπει να γίνει είναι στο κομμάτι όπου διασαφηνίζονται τα ορίσματα των εντολών. Το όρισμα από το οποίο εξαρτάται το μονοπάτι για τον εκπαιδευμένο ανιχνευτή προσώπου πρέπει να οριστεί με -p και όχι με -sp, όπως φαίνεται παρακάτω:

```
# argument parse
argp = argparse.ArgumentParser()
argp.add_argument("-p", "--shape-predictor", required=True,
                  help="set the path to facial landmark predictor")
argp.add_argument("-a", "--alarm", type=str, default="",
                  help="set the path to alarm .WAV file")
argp.add_argument("-w", "--webcam", type=int, default=0,
                  help="set which webcam you want to use")
args = vars(argp.parse_args())
```

Επίσης για να βρεθεί πόσα διαδοχικά πλαίσια αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ορίζονται στην αρχή του επαναληπτικού βρόχου 4 χρονικές μεταβλητές, η διαφορά των οποίων θα τυπώνεται σε κάθε επανάληψη.

Η πρώτη μεταβλητή “then1” συμβολίζει την στιγμή που μόλις έχει εισέλθει ο κώδικας στην επανάληψη.

Η πρώτη μεταβλητή “then2” συμβολίζει την στιγμή ακριβώς πριν ξεκινήσει να εκτελείται η εντολή που αφορά τον predictor.

Η μεταβλητή “now2” πραγματοποιεί μέτρηση του χρόνου μόλις έχει ολοκληρώσει ο detector την ανίχνευση, επομένως η διαφορά “now2-then2” αντιπροσωπεύει τον συνολικό χρόνο που χρειάζεται ο detector για να εντοπίσει κάποιο πιθανό πρόσωπο.

Η μεταβλητή “now1” πραγματοποιεί μέτρηση του χρόνου μόλις η επανάληψη φτάσει στο τέλος της. Καθώς σε κάθε επανάληψη γίνεται επεξεργασία ενός μόνο πλαισίου, η διαφορά “now1-then1” αντιπροσωπεύει τον χρόνο που καταναλώνεται σε μία μόνο εικόνα. Με αναγωγή βρίσκεται εύκολα πόσα διαδοχικά πλαίσια αντιστοιχούν σε ένα δευτερόλεπτο.

```

while True:

    then1 = time.time()

    # take the frame from the threaded video stream
    frame = VidS.read()

    # resize it
    frame = imutils.resize(frame, width=450)

    # convert it to grayscalechannels
    gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    # I need one face, the driver's face
    then2 = time.time()
    rects = detector(gray, 0)
    now2 = time.time()
    print ("The Detector needed: ",now2-then2,"sec")

    # check if there is at least one detected face
    if len(rects) != 0:
        .
        .
        . # same code
        .

# show the frame
cv2.imshow("Frame", frame)
key = cv2.waitKey(1) & 0xFF

now1 = time.time()
print ("The whole iteration lasted: ",now1-then1,"sec")

```

Στο σημείο αυτό, είναι όλα έτοιμα ώστε να εκτελεστεί ο κώδικας στο Raspberry. Ανοίγοντας το τερματικό του και εκτελώντας τις εντολές:

```

cd Desktop/master_thesis
python3 drowsiness_alert_system.py -p shape_predictor_dlib.da
t -a alarm_sound.WAV~

```

Εμφανίζονται τα εξής αποτελέσματα:

```
The Detector needed: 0.23308253288269043 sec
The whole iteration lasted: 0.29813623428344727 sec
The Detector needed: 0.22185230255126953 sec
The whole iteration lasted: 0.28244638442993164 sec
The Detector needed: 0.2218799591064453 sec
The whole iteration lasted: 0.2841458320617676 sec
The Detector needed: 0.22177362442016602 sec
The whole iteration lasted: 0.2839782238006592 sec
The Detector needed: 0.22182488441467285 sec
The whole iteration lasted: 0.2844412326812744 sec
```

Σχήμα 39: Τα αποτελέσματα στο Raspberry Pi.

Υπολογίζεται λοιπόν ότι κάθε επανάληψη διαρκεί κατά μέσο όρο 0.29 δευτερόλεπτα. Αυτό συνεπάγεται ότι το πρόγραμμα θα επεξεργάζεται και θα ελέγχει μόλις 3.5 στιγμιότυπα από το βίντεο κάθε στιγμή, γεγονός που καθιστά απαγορευτική την χρήση του σε ένα πραγματικού χρόνου σύστημα ασφαλείας.

Αντίθετα, αν εκτελεστεί ακριβώς ο ίδιος κώδικας σε έναν υπολογιστή, εμφανίζονται τα ακόλουθα αποτελέσματα.

```
('The Detector needed: ', 0.020147085189819336, 'sec')
('The whole iteration lasted: ', 0.02863907814025879, 'sec')
('The Detector needed: ', 0.02065110206604004, 'sec')
('The whole iteration lasted: ', 0.028923988342285156, 'sec')
('The Detector needed: ', 0.01992511749267578, 'sec')
('The whole iteration lasted: ', 0.027267932891845703, 'sec')
('The Detector needed: ', 0.021566152572631836, 'sec')
('The whole iteration lasted: ', 0.029978036880493164, 'sec')
('The Detector needed: ', 0.02051401138305664, 'sec')
('The whole iteration lasted: ', 0.02892589569091797, 'sec')
```

Σχήμα 40: Τα αποτελέσματα σε υπολογιστή με επεξεργαστή i5.

Το πρόγραμμα εκτελείται σχεδόν 10 φορές πιο γρήγορα, καθώς κάθε επανάληψη διαρκεί περίπου 0.029 δευτερόλεπτα, άρα επεξεργάζεται και ελέγχει κάθε δευτερόλεπτο περίπου 34.5 στιγμιότυπα.

Δεδομένου ότι το παρόν, υπό κατασκευή, σύστημα έχει ως στόχο να ενσωματωθεί σε αυτοκίνητο, είναι πρακτικά αδύνατο να τρέχει σε υπολογιστή. Η μόνη λύση είναι να βρεθεί ένας εναλλακτικός κώδικας ο οποίος θα είναι πιο γρήγορος.

Είναι εμφανές ότι το πρόγραμμα καθυστερεί σε τόσο μεγάλο βαθμό εξαιτίας του detector της βιβλιοθήκης dl1b, ο οποίος ανιχνεύει τα πιθανά πρόσωπα σε κάθε στιγμιότυπο. Η διαδικασία αυτή διαρκεί περίπου τα 4/5 του συνολικού χρόνου της κάθε επανάληψης.

Επομένως κρίνεται απαραίτητο να βρεθεί ένας νέος, πιο γρήγορος ανιχνευτής προσώπων.

3.4 Νέος κώδικας και εκ νέου δοκιμή

3.4.1 Μέθοδος Ανίχνευσης

Κατά κύριο λόγο πρέπει να τονιστεί ότι είναι ουτοπικό να αναμένει κανείς αποδόσεις συγκρίσιμες με αυτές ενός υπολογιστή, εφόσον δεν είναι συγκρίσιμη και η υπολογιστική ισχύς ανάμεσα σε αυτόν και σε έναν τέτοιου είδους μικροϋπολογιστή. Οι κατά μέσο όρο όμως 3 εικόνες ανά δευτερόλεπτο του προηγούμενου κώδικα είναι πάρα πολύ λίγες και φαίνεται ακόμα και σε έναν εξωτερικό παρατηρητή ότι αργεί η έξοδος του βίντεο. Η προσπάθεια λοιπόν που θα γίνει είναι έστω να διπλασιαστεί ο αριθμός των στιγμιότυπων/δευτερόλεπτο, ώστε να μπορεί να είναι αξιόπιστο το σύστημα. Φυσικά για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να θυσιαστεί η ακρίβεια του ανιχνευτή.

Το 2001 οι ερευνητές Viola και Jones πρότειναν τους Haar cascade ταξινομητές, οι οποίοι πλέον υπάρχουν στην βιβλιοθήκη OpenCV. Αυτοί, δεν ήταν η πρώτη επιλογή εξαρχής, καθώς εμφανίζουν διάφορα προβλήματα. Αδιαμφισβήτητα, αποδείχθηκαν πολύ καινοτόμοι για την εποχή τους και αποτέλεσαν τεράστια κινητήρια δύναμη πίσω από τις απίστευτες μεθόδους ανίχνευσης αντικειμένων που υπάρχουν σήμερα, δύο δεκαετίες μετά. Συνεχίζουν να είναι εξαιρετικά γρήγοροι αλλά δυστυχώς παρουσιάζουν πολλές ανακρίβειες.

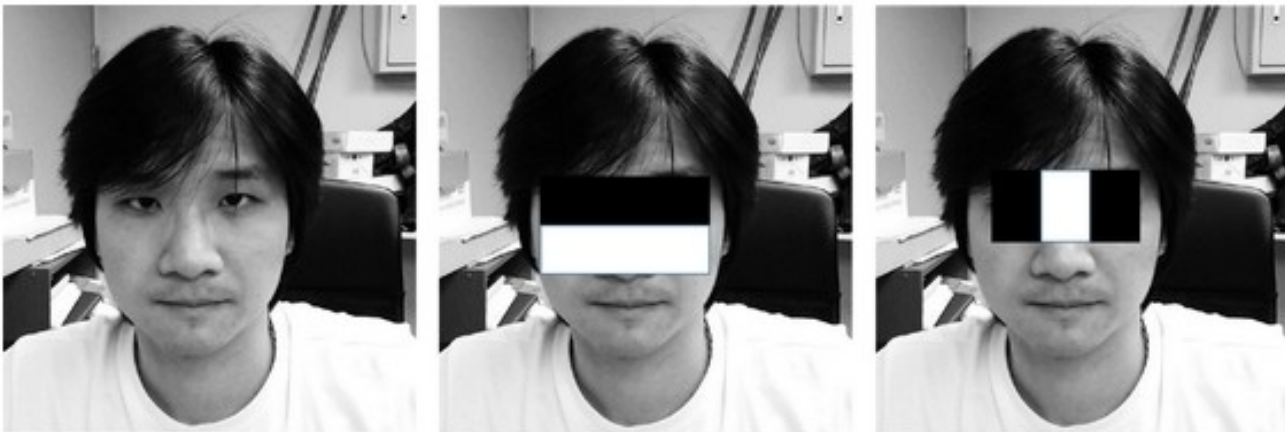


Σχήμα 41: Παραδείγματα λανθασμένης ανίχνευσης προσώπων με χρήση Haar cascade ταξινομητών [87].

Για την ανίχνευση προσώπων/ανθρώπων/αντικειμένων στο OpenCV και τον αποκλεισμό των ψευδώς θετικών αποτελεσμάτων, είναι υπεύθυνη η συνάρτηση `cv2.detectMultiScale`, στην οποία πρέπει να συντονιστούν οι τιμές των παραμέτρων της. Και πάλι, δεν υπάρχει καμία εγγύηση ότι οι ίδιες ακριβώς παράμετροι θα λειτουργούν από εικόνα σε εικόνα. Αυτό καθιστά τα μεγάλα σύνολα δεδομένων για ανίχνευση προσώπου μια κουραστική εργασία δεδομένου ότι απλά λόγω των κακών παραμετρικών επιλογών από εικόνα σε εικόνα είναι πολύ πιθανό είτε να ανιχνεύονται ψευδώς πρόσωπα είτε να λείπουν εξ ολοκλήρου!

Στην παρούσα εργασία όμως, ο κώδικας πρέπει να ανιχνεύει ένα μόνο πρόσωπο, αυτό του οδηγού. Είναι λοιπόν πιθανό να απαλειφθεί μεγάλο ποσοστό των προαναφερθέντων σφαλμάτων. Επίσης καθώς το περιβάλλον θα είναι σχετικά πανομοιότυπο κάθε φορά, εάν γίνει επιτυχώς η αρχικοποίηση των παραμέτρων, ίσως να υπάρξει αύξηση της ακρίβειας.

Ο πυρήνας ενός Haar ταξινομητή για την ανίχνευση αντικειμένου είναι τα χαρακτηριστικά Haar που χρησιμοποιεί. Αυτά τα χαρακτηριστικά, αντί να χρησιμοποιούν τις τιμές έντασης ενός εικονοστοιχείου, χρησιμοποιούν τη μεταβολή των τιμών αντίθεσης μεταξύ γειτονικών ορθογώνιων ομάδων εικονοστοιχείων. Οι διαφορές της αντίθεσης μεταξύ των ομάδων, χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των περιοχών αυτών ως φωτεινές ή σκοτεινές. Δύο ή τρεις γειτονικές ομάδες με μια σχετική διαφορά αντίθεσης σχηματίζουν ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα Haar [61]. Τα χαρακτηριστικά Haar μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν σύμφωνα με τις ανάγκες της κάθε ανίχνευσης, αυξάνοντας ή μειώνοντας το μέγεθος της υπό εξέταση ομάδας εικονοστοιχείων. Αυτό επιτρέπει τη χρήση λειτουργιών για την αναγνώριση αντικειμένων διαφόρων μεγεθών.



Σχήμα 42: Το πρώτο χαρακτηριστικό (εικόνα 2) μετρά τη διαφορά έντασης μεταξύ της περιοχής των ματιών και μιας περιοχής κατά μήκος της άνω περιοχής από τα μάγουλα. Το χαρακτηριστικό αυτό αξιοποιεί το γεγονός ότι η περιοχή των ματιών είναι συνήθως πιο σκούρα από τα μάγουλα. Το δεύτερο χαρακτηριστικό (εικόνα 3) συγκρίνει τις εντάσεις στις περιοχές των ματιών με την ένταση κατά μήκος της πάνω πλευράς της μύτης [88].

Τα απλά αυτά ορθογώνια χαρακτηριστικά μιας εικόνας υπολογίζονται χρησιμοποιώντας μια ενδιάμεση αναπαράσταση της εικόνας, που ονομάζεται ολοκληρωμένη εικόνα [62]. Η ολοκληρωμένη εικόνα είναι μια συστοιχία που περιέχει τα αθροίσματα των τιμών έντασης των εικονοστοιχείων που βρίσκονται από τα αριστερά του εικονοστοιχείου και πάνω από αυτό, συμπεριλαμβάνοντας το ίδιο το εικονοστοιχείο.

Έτσι, εάν $E[x,y]$ είναι η αρχική εικόνα και $Eo[x,y]$ είναι η ολοκληρωμένη εικόνα, τότε αυτή υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο.

$$Eo[x,y]=\sum_{x'\leq x,y'\leq y} E[x',y'] \quad (3.1.2)$$

Υπάρχουν βέβαια και πιο περίπλοκα χαρακτηριστικά όπως αυτά που περιστρέφονται π.χ. κατά 45 μοίρες και απαιτούν μια άλλη ενδιάμεση αναπαράσταση εικόνας που ονομάζεται περιστρεφόμενη ολοκληρωμένη εικόνα ή περιστρεφόμενη βοηθητική εικόνα [63], στα οποία όμως δεν θα γίνει περαιτέρω ανάλυση.



Σχήμα 43: Η σκιασμένη περιοχή είναι αυτή που αθροίζεται για την δημιουργία της ολοκληρωμένης εικόνας.

Ευτυχώς, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στην ανοιχτού κώδικα βιβλιοθήκη OpenCV υπάρχουν ήδη τέτοιου τύπου εκπαιδευμένοι ταξινομητές. Για την εκπαίδευση αυτών χρησιμοποιήθηκαν δύο ομάδες εικόνων. Η μία ομάδα περιλαμβάνει εικόνες που δεν περιέχουν το επιθυμητό αντικείμενο, στην περίπτωση αυτή ένα χαρακτηριστικό του προσώπου, το οποίο πρόκειται να ανιχνευθεί. Αυτό το σύνολο εικόνων ορίζεται ως αρνητικές εικόνες. Το άλλο σύνολο εικόνων, οι θετικές εικόνες, περιέχουν μία ή περισσότερες παρουσίες του αντικειμένου. Η θέση των αντικειμένων μέσα στις θετικές εικόνες καθορίζεται από: το όνομα της εικόνας, το επάνω αριστερό εικονοστοιχείο και το ύψος και το πλάτος του αντικειμένου. Για την εκπαίδευση των χαρακτηριστικών του προσώπου χρησιμοποιήθηκαν 5.000 αρνητικές εικόνες με ανάλυση της τάξεως τουλάχιστον mega-pixel.

3.4.2 Νέος Κώδικας

Ο κορμός του νέου κώδικα είναι όμοιος με αυτόν του πρώτου κώδικα της ενότητας 2.1.2, οπότε παρακάτω παρατίθενται αποκλειστικά τα σημεία που άλλαξαν.

1. Αλλαγή του ανιχνευτή προσώπου

Όπως ήταν αναμενόμενο, στην θέση του dlib ανιχνευτή εισάγεται ο ανιχνευτής του OpenCV, θυσιάζοντας την ακρίβεια του προγράμματος. Στην συνέχεια καλείται στην αρχή της κάθε επανάληψης, μαζί με την συνάρτηση detectMultiScale, της οποίας οι παράμετροι έχουν αρχικοποιηθεί κατάλληλα.

Πιο συγκεκριμένα:

- image – Πίνακας που περιέχει την εικόνα όπου ανιχνεύονται αντικείμενα.
- objects - Διανύσματα των ορθογώνιων όπου κάθε ορθογώνιο περιέχει το εντοπισμένο αντικείμενο. Εδώ αφήνεται ως default.
- scaleFactor - Παράμετρος που καθορίζει πόσο μειώνεται το μέγεθος της εικόνας σε κάθε κλίμακα.
- minNeighbors - Παράμετρος που καθορίζει τον αριθμό των γειτόνων που κάθε υποψήφιο ορθογώνιο (πρόσωπο) θα πρέπει να διατηρήσει.
- minSize - Ελάχιστο μέγεθος αντικειμένου. Αντικείμενα μικρότερα από αυτά αγνοούνται.
- maxSize - Μέγιστο μέγεθος αντικειμένου. Αντικείμενα μεγαλύτερα από αυτά αγνοούνται. Εδώ δεν θα χρησιμοποιηθεί.
- flags - Παράμετρος με το ίδιο νόημα για παλαιότερους ταξινομητές, όπως στη συνάρτηση cvHaarDetectObjects. Δεν χρησιμοποιείται για νέους.

```
# load OpenCV's Haar cascade detector
# create the facial landmark predictor
print("Loading facial landmark predictor....")
detector = cv2.CascadeClassifier(args["cascade"])
predictor = dlib.shape_predictor(args["shape_predictor"])

.
. # same code
.

# the size of all the detected faces will be saved here
arrayRects=np.empty(5,dtype=int)

while True:

.
. # same code
.
# detect the face
rects = detector.detectMultiScale(gray, scaleFactor=1.1,minNeighbors=5, minSize=(30,30),
    flags=cv2.CASCADE_SCALE_IMAGE)

driver = 0
length = len(rects)

# if there are more than one face detected, I check their
# dimensions and I only keep the bigger one
if(length>1):
    i = 0
    for i in range(length):
        (x,y,w,h) = rects[i]
        arrayRects[i] = int(w)
```



```

max = arrayRects[0]
i = 1
for i in range(length):
    if (arrayRects[i]>max):
        driver = i

# check if there is at least one detected face
if length != 0:
    # The first detected face rects[0] will be the driver's face,
    # as it will be closer to the camera than the others
    (x,y,w,h) = rects[0]
    # construct a dlib rectangle object from the Haar cascade
    # bounding box
    rect = dlib.rectangle(int(x), int(y), int(x+w), int(y+h))
    shape = predictor(gray, rects[driver])
    shape = face_utils.shape_to_np(shape)

```

Μόλις έχουν ανιχνευθεί κατάλληλα τα πρόσωπα, εφαρμόζεται ένας έλεγχος, ώστε να καταλάβει το πρόγραμμα ποιο είναι το πρόσωπο του οδηγού. Προφανώς, το πρόσωπο του οδηγού θα είναι αυτό με τις μεγαλύτερες διαστάσεις, καθώς θα βρίσκεται ακριβώς μπροστά από την κάμερα. Άλλα πιθανά πρόσωπα θα είναι αυτά των συνεπιβατών στα πίσω καθίσματα τα οποία θα βρίσκονται πιο μακριά από την κάμερα.

Αρχικά ορίζεται σαν πρόσωπο του οδηγού αυτό που ανιχνεύθηκε πρώτο, δηλαδή το `rects[0]`. Εάν έχουν εντοπιστεί παραπάνω από ένα πρόσωπα, εξάγονται οι διαστάσεις τους, συγκρίνονται και το μεγαλύτερο αποθηκεύεται στην μεταβλητή `driver`.

Η συνέχεια είναι όμοια με τον πρώτο κώδικα. Αφού εξαχθούν οι συντεταγμένες του κατάλληλου προσώπου, κατασκευάζεται ένα ορθογώνιο αντικείμενο `dlib` χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες από τον Haar cascade ταξινομητή. Από εκεί, προσδιορίζονται τα σημεία του προσώπου ακριβώς όπως πριν.

2. Προσθήκη ορίσματος στον Argument parser

```

# argument parse
argp = argparse.ArgumentParser()
argp.add_argument("-c", "--cascade", required=True,
    help = "path to where the face cascade resides")
argp.add_argument("-p", "--shape-predictor", required=True,
    help="set the path to facial landmark predictor")
argp.add_argument("-w", "--webcam", type=int, default=0,
    help="set which webcam you want to use")
args = vars(argp.parse_args())

```

Ορίζεται η διαδρομή προς το αρχείο XML του Haar cascade που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση προσώπου.

3. Αλλαγή της συνάρτησης υπολογισμού της ευκλείδειας απόστασης

Στον πρώτο κώδικα η μέτρηση της απόστασης μεταξύ δύο σημείων γινόταν με τη χρήση μιας έτοιμης συνάρτησης που βρισκόταν στην βιβλιοθήκη `scipy.spatial`. Έπειτα από αρκετά πειράματα διαπιστώθηκε ότι αυτός ο τρόπος είναι πιο χρονοβόρος σε σύγκριση με την κλήση της παρακάτω συνάρτησης.

```
def eucl_dist(A, B):  
    # compute and return the euclidean distance between the two  
    # points  
    return np.linalg.norm(A - B)
```

Τα μοναδικά σημεία που χρειάζονται αυτή την συνάρτηση, είναι οι συναρτήσεις στις οποίες υπολογίζονται οι συντελεστές EAR και MAR. Επομένως ο κώδικας μετατρέπεται ως εξής:

```
def eye_ar(eye):  
  
    # find the eucl. distance between the horizontal eye landmark  
    a = eucl_dist(eye[0], eye[3])  
    # find the eucl. distances between the vertical eye landmarks  
    b = eucl_dist(eye[1], eye[5])  
    c = eucl_dist(eye[2], eye[4])  
  
    # eye aspect ratio  
    ear = (b+c)/(2.0*a)  
  
    return ear  
  
def mouth_ar(mouth):  
    # find the eucl. distance between the upper and the lower lip  
  
    a = eucl_dist(mouth[2], mouth[10])  
    b = eucl_dist(mouth[4], mouth[8])  
  
    # find the eucl. horizontal distance between the lips' corners, because I do not  
    # want mar to depends on the distance between the camera and the driver's face  
    c = eucl_dist(mouth[0], mouth[6])  
  
    #mouth aspect ratio  
    mar = (a+b)/(2.0*c)  
  
    return mar
```

4. Βελτίωση των αλγορίθμων ανίχνευσης των χασμουρητών

Οι νέες σταθερές αρχικοποιούνται ως εξής:

```
# number of yawns
YAWN_COUNT = 0

FRAME_COUNT_BLINK = 0
FRAME_COUNT_YAWN = 0
FRAME_COUNT_ALLYAWNS = 0

BUZZER_ALARM = False

ALARM_ON = False
YAWN_FLAG = False
ALARM_YAWN = 0
SINGLE_YAWN = False
```

Προφανώς όλες οι σημαίες τίθενται λανθασμένες και όλοι οι μετρητές μηδέν.

Στην συνέχεια η λογική είναι παρόμοια με του πρώτου κώδικα, περιλαμβάνοντας ορισμένες επεκτάσεις.

```
#-----YAWNING-----

# make sure not to measure the ending of the previous yawning
if SINGLE_YAWN == True:
    if mar <= MOUTH_THRESH:
        SINGLE_YAWN=False
        FRAME_COUNT_YAWN=0

# check to see if the mar is above the mouth threshold, and if so,
# increase the counter
elif mar > MOUTH_THRESH:
    FRAME_COUNT_YAWN += 1

# check if the mouth is open for a long time (yawn_thresh),
# and if so, increase the counter
if FRAME_COUNT_YAWN >= YAWN_THRESH:
    SINGLE_YAWN =True
    if YAWN_COUNT == 0:
        YAWN_COUNT += 1
        YAWN_FLAG = True
    elif YAWN_COUNT == 1:
        YAWN_COUNT +=1
        YAWN_SECOND = FRAME_COUNT_ALLYAWNS
    elif YAWN_COUNT == 2:
        YAWN_COUNT +=1

# the driver was maybe singing/talking/screaming
else:
    FRAME_COUNT_YAWN=0
```

Πρέπει να δοθεί προσοχή στον τρόπο που ανιχνεύεται το χασμουρητό, καθώς πολλές φορές ο οδηγός μπορεί να ανοίξει το στόμα του για να μιλήσει, τραγουδήσει κ.λπ. Ακόμα, καθώς η διάρκεια του χασμουρητού δεν είναι συγκεκριμένη, δεν πρέπει το τέλος ενός χασμουρητού να χρησιμοποιηθεί ως η αρχή ενός επόμενου!

Επίσης καθώς το όριο έχει οριστεί ως 3 χασμουρητά μέσα σε 2 λεπτά, εάν ο οδηγός χασμουρηθεί έστω στο 1^ο sec και στην συνέχεια στο 60^ο δευτερόλεπτο, όταν περάσουν τα 2 λεπτά θα πρέπει να έχει διαγράψει το πρόγραμμα από την μνήμη του το χασμουρητό του 1^{ου} δευτερολέπτου αλλά να έχει ακόμα το δεύτερο χασμουρητό! Αυτή η λογική υλοποιείται μέσω του χρονικού μετρητή YAWN_SECOND.

```
if YAWN_FLAG == True:
    FRAME_COUNT_ALLYAWNS += 1

    if FRAME_COUNT_ALLYAWNS <= ALLYAWNS_THRESH:
        if YAWN_COUNT == 3:
            YAWN_FLAG = False
            YAWN_COUNT = 0
            FRAME_COUNT_ALLYAWNS = 0

            #An alarm must be activated

        elif YAWN_COUNT == 2:
            FRAME_COUNT_ALLYAWNS = FRAME_COUNT_ALLYAWNS - YAWN_SECOND
            YAWN_COUNT = 1

        else:
            FRAME_COUNT_ALLYAWNS = 0
            YAWN_COUNT = 0
            YAWN_FLAG = False
```

5. Εμφάνιση των επιθυμητών μεταβλητών στην οθόνη

```
# draw the computed eye aspect ratio on the frame
cv2.putText(frame, "EAR: {:.2f}".format(ear), (300, 30),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (255, 0, 0), 2)

# draw the computed mouth aspect ratio on the frame
cv2.putText(frame, "MAR: {:.2f}".format(mar), (300, 50),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 0, 255), 2)

# draw the yawn count on the frame
cv2.putText(frame, str(YAWN_COUNT), (300, 70),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 0, 255), 2)

# draw the ηεαρτ ρατε on the frame
cv2.putText(frame, str(FRAME_NUMBER), (300, 90),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 255, 255), 2)
```

Τέλος, εισάγεται ένα χρονόμετρο στον κώδικα για το διάστημα όπου πραγματοποιείται ο υπολογισμός του συντελεστή EAR, όπως φαίνεται παρακάτω, ώστε να εμφανιστούν τα ακόλουθα αποτελέσματα.

```
then=time.time()
leftEAR = eye_ar(leftEye)
rightEAR = eye_ar(rightEye)
now5=time.time()
print ("The EAR needed: ",now-then,"sec to be computed")
```

```
The EAR needed 0.0009932518005371094 sec to be computed
The EAR needed 0.000949859619140625 sec to be computed
The EAR needed 0.0011453628540039062 sec to be computed
The EAR needed 0.0008223056793212891 sec to be computed
The EAR needed 0.0010006427764892578 sec to be computed
The EAR needed 0.0008535385131835938 sec to be computed
The EAR needed 0.0008752346038818359 sec to be computed
The EAR needed 0.0009732246398925781 sec to be computed
The EAR needed 0.0009701251983642578 sec to be computed
The EAR needed 0.0008831024169921875 sec to be computed
The EAR needed 0.0008609294891357422 sec to be computed
```

Σχήμα 44: Υπολογισμός της ευκλείδειας απόστασης με χρήση της έτοιμης συνάρτησης *distance* από την *scipy* βιβλιοθήκη .

```
The EAR needed: 0.0004971027374267578 sec to be computed
The EAR needed: 0.000682830810546875 sec to be computed
The EAR needed: 0.0004303455352783203 sec to be computed
The EAR needed: 0.00046181678771972656 sec to be computed
The EAR needed: 0.0006349086761474609 sec to be computed
The EAR needed: 0.0004153251647949219 sec to be computed
The EAR needed: 0.0005142688751220703 sec to be computed
The EAR needed: 0.0005846023559570312 sec to be computed
The EAR needed: 0.0005478858947753906 sec to be computed
The EAR needed: 0.0005898475646972656 sec to be computed
The EAR needed: 0.000492095947265625 sec to be computed
```

Σχήμα 45: Υπολογισμός της ευκλείδειας απόστασης με χρήση της νέας συνάρτησης *eucl_dist*.

Διαπιστώνεται λοιπόν πως από τα 0.00095 sec που χρειαζόταν ο υπολογισμός το EAR, πλέον χρειάζεται 0.00055 sec (κατά μέσο όρο). Ενώ εκ πρώτης όψεως μπορεί να φανεί αμελητέα η διαφορά αυτή, δεν είναι. Αρκεί κανείς να αναλογιστεί πόσες επαναλήψεις γίνονται ανά δευτερόλεπτο και ότι αντίστοιχα αυτή η βελτίωση θα υπάρχει κάθε φορά και στον υπολογισμό του συντελεστή MAR.

3.4.3 Δοκιμή

Πλέον, στην επιφάνεια εργασίας του Raspberry Pi ο φάκελος με το όνομα “master_thesis” περιέχει τα παρακάτω αρχεία:

- ✓ Τον κύριο κώδικα “drowsiness_alert_system_faster.py”.
- ✓ Τον Haar cascade ταξινομητή “haarcascade_detector.xml”
- ✓ Τον ήδη εκπαιδευμένο ανιχνευτή προσώπου “shape_predictor_dlib.dat”.
- ✓ Το αρχείο ήχου “alarm_sound.WAV”, το οποίο στη συνέχεια δεν θα χρειαστεί.

Ανοίγοντας το τερματικό του και εκτελώντας τις εντολές:

```
cd Desktop/master_thesis

python3 drowsiness_alert_system_faster.py -c haarcascade_d
etector.xml -p shape_predictor_dlib.dat -a alarm_sound.WAV~
```

εμφανίζονται τα παρακάτω αποτελέσματα, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με πριν.

```
The Detector needed 0.13268327713012695 sec
The whole iteration lasted: 0.19559621810913086 sec
The Detector needed 0.13426780700683594 sec
The whole iteration lasted: 0.1988215446472168 sec
The Detector needed 0.13368010520935059 sec
The whole iteration lasted: 0.1955416202545166 sec
The Detector needed 0.13503241539001465 sec
The whole iteration lasted: 0.19898676872253418 sec
The Detector needed 0.1293795108795166 sec
```

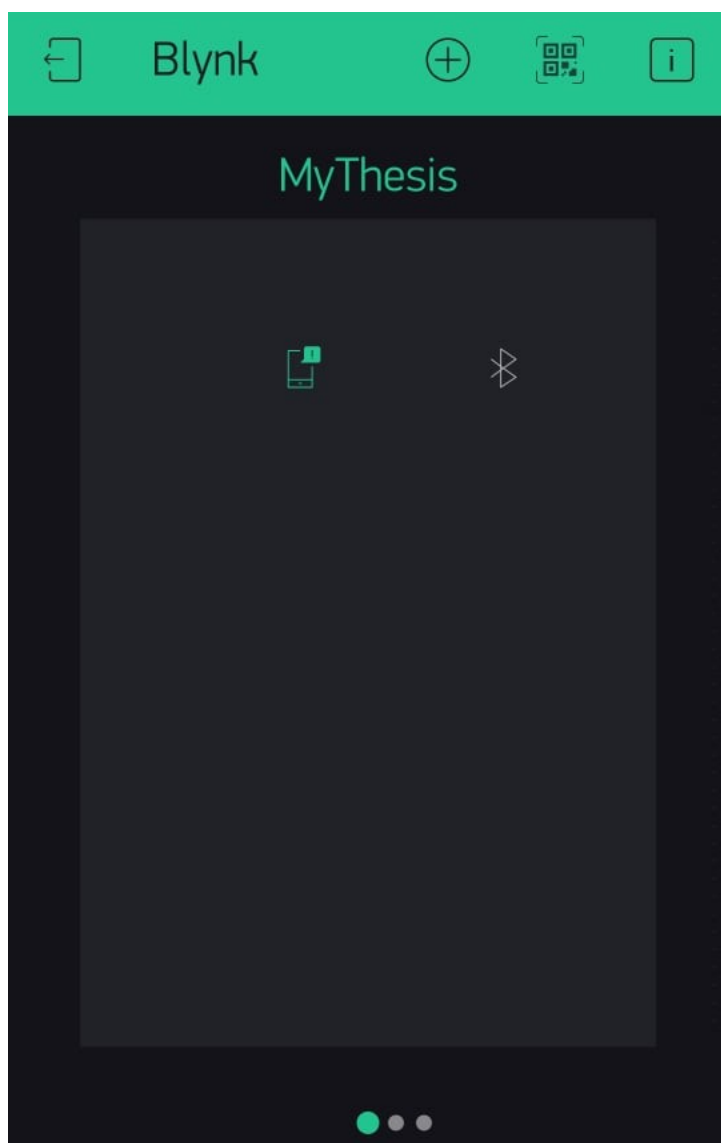
Σχήμα 46: Τα αποτελέσματα στο Raspberry Pi με τον νέο, πιο γρήγορο αλγόριθμο.

Υπολογίζεται λοιπόν ότι κάθε επανάληψη διαρκεί κατά μέσο όρο 0.195 δευτερόλεπτα. Αυτό συνεπάγεται ότι κάθε δευτερόλεπτο, τουλάχιστον 5 στιγμιότυπα από το βίντεο θα επεξεργάζονται και θα ελέγχονται. Αν και η βελτίωση αυτή δεν είναι ραγδαία, η έξοδος του βίντεο φαίνεται πλέον συνεχόμενη και χωρίς να υπάρχουν διακοπές.

3.5 Συνδεσμολογία και επιμέρους στοιχεία

3.5.1 Επικοινωνία με το κινητό

Για να επικοινωνεί το Raspberry Pi με το κινητό του οδηγού θα χρησιμοποιηθεί η εφαρμογή Blynk. Αυτή η εφαρμογή είναι δωρεάν και μπορεί εύκολα να την κατεβάσει κανείς στο κινητό του. Στην συγκεκριμένη δοκιμή, το μοντέλο του κινητού είναι το Huawei P9 Lite, στο οποίο βρίσκεται ήδη εγκατεστημένο το Blynk.



Σχήμα 47: Η εφαρμογή Blynk εγκατεστημένη στο κινητό, έχοντας δημιουργήσει κατάλληλα το “My Thesis”.

Όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει, έχει δημιουργηθεί ένα νέο project με όνομα “My Thesis”, μέσα στο οποίο έχουν εισαχθεί:

1. Η δυνατότητα του Raspberry να στέλνει ειδοποίηση στο κινητό
2. και το Bluetooth, για την μεταξύ τους συνδεσιμότητα.

Εν συνεχεία, ανοίγοντας το τερματικό του Raspberry, γίνεται η ακόλουθη προετοιμασία:

- Γίνεται εγκατάσταση του git-core καθώς μέσω αυτού θα εγκατασταθεί η βιβλιοθήκη Blynk.
`sudo apt-get install git-core`
- Εισαγωγή της βιβλιοθήκης Blynk.

```
git clone https://github.com/blynkkk/blynk-library.git
```

- Εκκαθάριση περιττών στοιχείων.

```
cd blynk-library/linux
```

```
make clean all target=Raspberry
```

- Ολοκλήρωση της εγκατάστασης.

```
./build.sh Raspberry
```

Μόλις ολοκληρωθεί η εγκατάστασή του, το Raspberry είναι έτοιμο να συνδεθεί με το κινητό. Στην αρχή του κύριου κώδικα, προσθέτονται οι παρακάτω εντολές.

```
import BlynkLib
```

```
BLYNK_AUTH='c010b26f2e80408b8b7db27dfef84fb2'
```

```
blynk=BlynkLib.Blynk(BLYNK_AUTH)
```

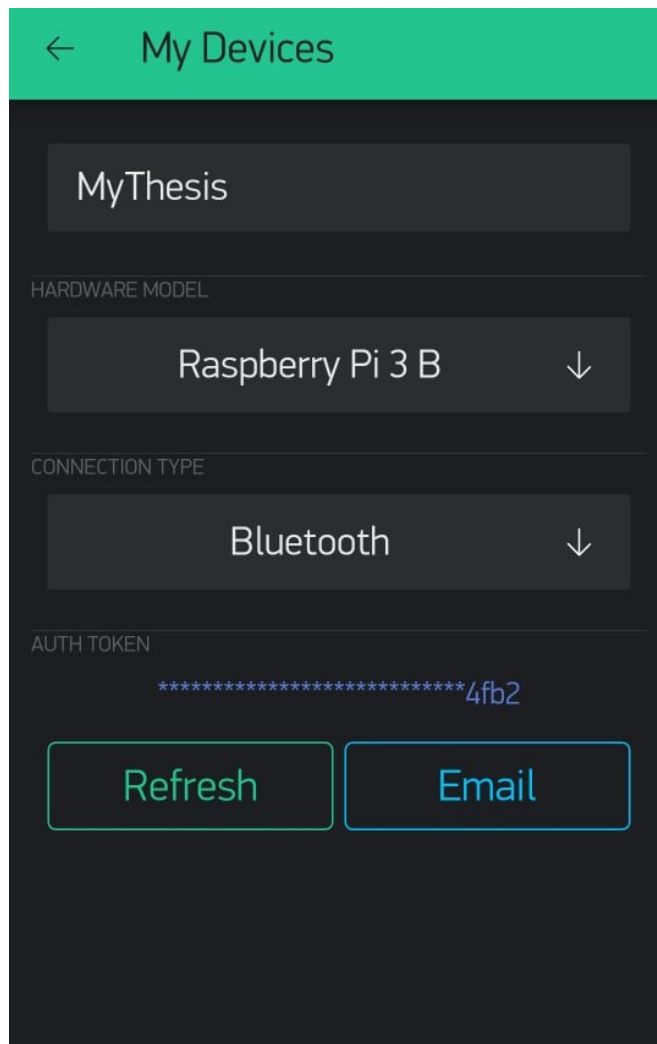
Αρχικά γίνεται η εισαγωγή της βιβλιοθήκης η οποία περιέχει τις απαραίτητες συναρτήσεις για το Blynk.

Η μεταβλητή “BLYNK_AUTH” αντιπροσωπεύει την ταυτότητα του εκάστοτε project με το οποίο χρειάζεται το Raspberry να συνδεθεί. Ο μοναδικός αυτός κωδικός βρίσκεται από τις ρυθμίσεις του ίδιου του project (σε αυτή την περίπτωση του “My Thesis”) στην εφαρμογή Blynk του κινητού και για τη διασφάλισή του δεν εμφανίζεται ολόκληρος, παρά μόνο μέσω email σε προεπιλεγθείσα διεύθυνση.

Έτσι λοιπόν, στην μεταβλητή “blynk”, βρίσκεται αποθηκευμένη η σύνδεση του Raspberry με το κινητό τηλέφωνο.

Να σημειωθεί πως ενώ έχει αναφερθεί ότι το μοντέλο μικροϋπολογιστή που χρησιμοποιείται είναι το Raspberry Pi 3 B+, στα χαρακτηριστικά στο Σχήμα 48 αναγράφεται το μοντέλο Raspberry Pi 3 B. Αυτό συμβαίνει γιατί το χρησιμοποιούμενο μοντέλο είναι σχετικά καινούργιο στην αγορά και έτσι η εφαρμογή Blynk δεν έχει ακόμα αναβαθμιστεί ώστε να το συμπεριλάβει στις επιλογές της.

Η παραπάνω κατάσταση δεν δημιουργεί κάποιο πρόβλημα στη συγκεκριμένη υλοποίηση γιατί οι λειτουργίες που χρησιμοποιούνται είναι πανομοιότυπες και στα δύο μοντέλα.



Σχήμα 48: Τα χαρακτηριστικά του project "My Thesis".

Καθώς το Raspberry, ανάλογα με την κατάσταση του οδηγού, θα στέλνει τις κατάλληλες ειδοποιήσεις, δημιουργείται συνάρτηση η οποία σαν όρισμα θα λαμβάνει το επιθυμητό μήνυμα μαζί με τον προορισμό του.

```
def notify(msg,blynk):
```

```
    blynk.notify(msg)
    blynk.run()
```

Τέλος, εισάγεται η κλήση της παραπάνω συνάρτησης, στα επιθυμητά σημεία του κώδικα μαζί με το σχετικό μήνυμα.

Στην περίπτωση που ο οδηγός έχει χασμουρηθεί τουλάχιστον 3 φορές μέσα σε 2 λεπτά:

```
msg='You look tired. You should get some rest before continue driving!'
notify(msg,blynk)
```

Στην περίπτωση που είχε κλείσει τα μάτια του:

```
msg='You closed your eyes. Please, be careful.'  
notify(msg,blynk)
```

Στην περίπτωση που οι παλμοί του δεν είναι φυσιολογικοί:

```
msg='Your heartbeat is not normal. Please stop the car and take a break!'  
notify(msg,blynk)
```

Στην περίπτωση που οι παλμοί του δεν ήταν φυσιολογικοί, αλλά έπειτα επανήλθαν στα επιτρεπόμενα όρια:

```
msg='Your heartbeat is normal again. Although I suggest you to take a break!'  
notify(msg,blynk)
```

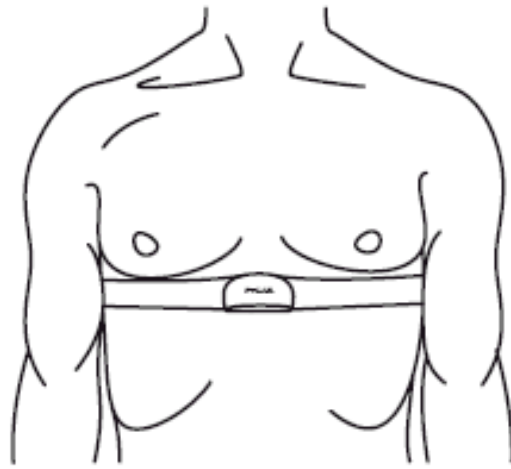
Επομένως κάθε φορά, πριν ξεκινήσει η οδήγηση, ο οδηγός θα πρέπει απλά να ανοίγει το Bluetooth στο κινητό του και πηγαίνοντας στην εφαρμογή “My Thesis” να πατάει το σήμα “Play”.

Το μοναδικό μειονέκτημα της χρήσης του Blynk είναι το γεγονός ότι για να πραγματοποιηθεί κάθε φορά η σύνδεση του Raspberry με το κινητό πρέπει και οι δύο συσκευές να είναι συνδεδεμένες σε κάποιο δίκτυο. Η λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα ήταν η δημιουργία Hotspot από το ίδιο το κινητό και η σύνδεση του Raspberry σε αυτό.

3.5.2 Αισθητήρας Polar T31

Καθώς το συγκεκριμένο σύστημα έχει ως στόχο να εφαρμοστεί σε οδηγό αυτοκινήτου, είναι πολύ σημαντικό ο βιομετρικός αισθητήρας που χρησιμοποιείτε να είναι μη επεμβατικός και εύκολος στην χρήση του. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε ο Polar T31. Ο αισθητήρας καρδιακού ρυθμού είναι συνδεδεμένος σε έναν ρυθμιζόμενο ελαστικό ιμάντα (61-137cm), ώστε ο καθένας να το φοράει άνετα και να το προσαρμόζει ανάλογα με τον σωματότυπό του. Τοποθετείται στο σημείο του θώρακα, στο ύψος κάτω από το στήθος. Ο ελαστικός ιμάντας είναι αφαιρούμενος και αυτό προσφέρει την δυνατότητα να πλυθεί στο πλυντήριο και να διατηρεί το σύστημα απαλλαγμένο από βακτήρια.

Ο παραπάνω ανήκει στην κατηγορία των αισθητήρων PPG που αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.4.1. Λειτουργούν ανιχνεύοντας τους παλμούς όγκου αίματος κάνοντας χρονική ανάλυση της οπίσθιας διάχυτης ή απορροφημένης οπτικής ακτινοβολίας του ιστού. Η τεχνική αυτή έχει επίσης γενικά σημαντικές δυνατότητες για διάγνωση καρδιοαγγειακών παθολογιών, καθώς και για παρακολούθηση της αγγειακής κατάστασης.



Σχήμα 49: Τρόπος εφαρμογής τους polar t31 [89].

Παράλληλα, σε αντίθεση με πολλούς αισθητήρες, ο Polar T31 δεν χρειάζεται αγωγίμο ζελέ για να ανιχνεύσει τον παλμό. Επιπροσθέτως, η μπαταρία διαρκεί για έως και 2.500 ώρες συνεχόμενης χρήσης. Η ανθεκτικότητά του στο νερό σε βάθος έως και 30 μέτρα, τον καθιστά ανθεκτικό σε ακραία περιβάλλοντα, γεγονός πολύ εντυπωσιακό, που όμως δεν επηρεάζει την παρούσα εργασία.



Σχήμα 50: Όλα τα στοιχεία του αισθητήρα Polar T31.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 50, αποτελείται από:

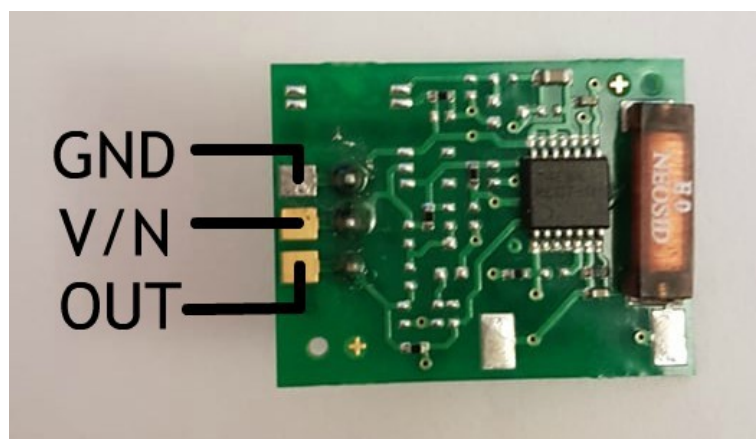
- ✓ Πομπό καρδιακών παλμών Polar T31 ενσωματωμένο σε μία ζώνη θώρακα
- ✓ Δέκτη καρδιακών παλμών Polar WearLink+

- ✓ Υποδοχή 2 μπαταριών AA
- ✓ Μικρό breadboard
- ✓ Κόκκινο LED 10mm
- ✓ Αντίσταση 1KΩ
- ✓ 6 ακροδέκτες σύνδεσης

Ο Polar T31 είναι ένας μη κωδικοποιημένος πομπός καρδιακών παλμών, ο οποίος παρακολουθεί και στη συνέχεια μεταδίδει ασύρματα τα δεδομένα του καρδιακού ρυθμού. Ο δέκτης καρδιακών παλμών έχει σχεδιαστεί για να λαμβάνει σήματα καρδιακών παλμών από συμβατούς πομπούς καρδιακών παλμών, όπως ο T31. Είναι ουσιαστικά ένα αυτόνομο στοιχείο, με ενσωματωμένες συνδέσεις για τροφοδοσία (από 3,3V έως 5V), γείωση και σήμα. Η σύνδεσή του γίνεται ασύρματα με τον κωδικοποιημένο ή μη πομπό. Ο ακροδέκτης εξόδου απλώς στέλνει σήμα HIGH όταν ανιχνεύεται καρδιακός παλμός. Μαζί, ο αισθητήρας και ο δέκτης παρέχουν ένα βολικό και χαμηλού κόστους σύστημα παρακολούθησης του καρδιακού ρυθμού που μπορεί να συνδεθεί με αρκετούς μικροελεγκτές. Επιπροσθέτως, ο πομπός αυτός μπορεί να έχει εφαρμογή σε ποικίλες καθημερινές δραστηριότητες όπως το γυμναστήριο, όπου μπορεί να συνδυαστεί με τον εξοπλισμό άσκησης εάν είναι συμβατός με το Polar WearLink+.

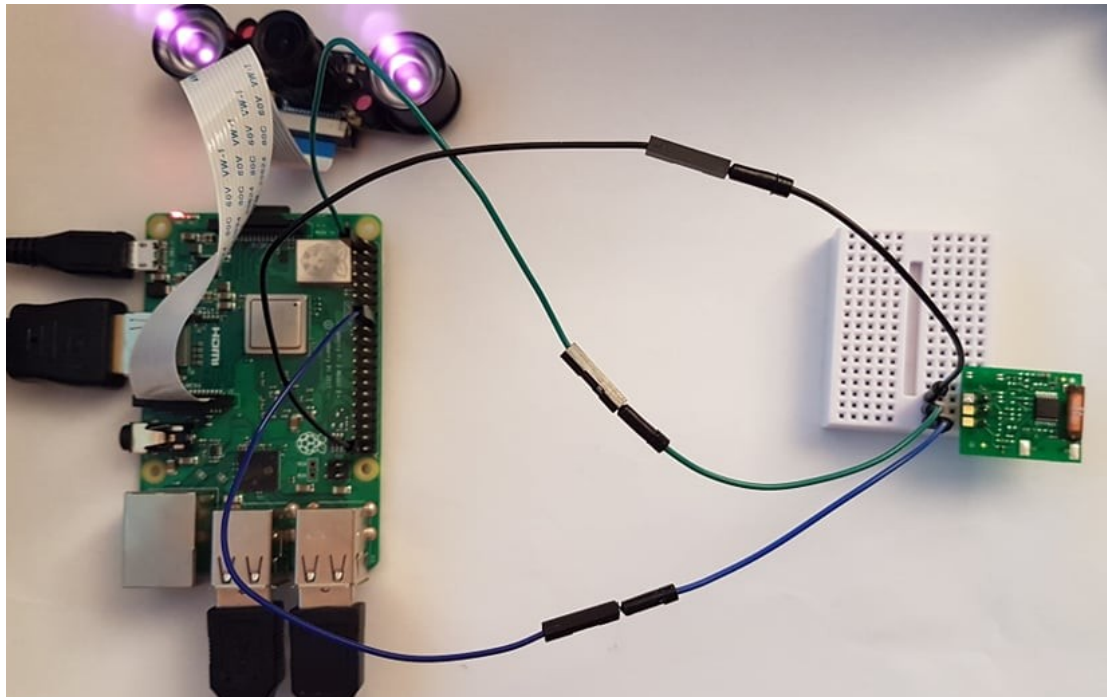
Το λαμπάκι και η αντίσταση δεν θα χρησιμοποιηθούν, καθώς χρησιμοποιούνται για οπτικούς λόγους. Μέσω ενός σύντομου κώδικα, καθίσταται εύκολο κάθε φορά που ανιχνεύεται ένας παλμός, το led να ανάβει, κάτι το οποίο δεν είναι αναγκαίο εδώ. Επιπροσθέτως, δεν θα γίνει χρήση των μπαταριών γιατί η τροφοδοσία του δέκτη θα γίνεται απευθείας από το Raspberry Pi.

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 51 έχουν ήδη κολληθεί οι 3 ακροδέκτες στην πλακέτα του δέκτη.



Σχήμα 51: Η πλακέτα του δέκτη.

Στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι η σύνδεση του δέκτη με το Raspberry Pi μπορεί να γίνει είτε μέσω breadboard, είτε απευθείας με καλώδιο. Η συνδεσμολογία είναι η ακόλουθη:



Σχήμα 52: Η συνδεσμολογία του Raspberry Pi με τον δέκτη καρδιακών παλμών polar t31.

- Η έξοδος του δέκτη συνδέεται με τον ακροδέκτη του Raspberry Pi που έχει οριστεί ως είσοδος. Εδώ επιλέγεται ο ακροδέκτης με το νούμερο 16, δηλαδή το GPIO23.
- Η τροφοδοσία του δέκτη (3,3V ή 5V) συνδέεται με τον ακροδέκτη νούμερο 1 του Raspberry Pi, ο οποίος παρέχει 3,3V.
- Τέλος, η γείωση του δέκτη συνδέεται με μία από τις γειώσεις του Raspberry Pi. Εδώ επιλέγεται ο ακροδέκτης με το νούμερο 39.

Τα φυσιολογικά όρια των καρδιακών παλμών είναι 60-100 παλμοί ανά λεπτό. Για να μην μετράει όμως ο κώδικας ανά λεπτό θα γίνει αναγωγή από τα 10 δευτερόλεπτα. Επομένως πρέπει ο αισθητήρας να ανιχνεύει 10-17 παλμούς ανά 10 δευτερόλεπτα.

Το πιο κρίσιμο σημείο του κώδικα είναι το γεγονός ότι ο κύριος κώδικας που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.4.2 αποτελείται από ένα αέναο while, στο οποίο η κάθε επανάληψη διαρκεί περίπου 0,2 δευτερόλεπτα. Ο κώδικας όμως που παρακολουθεί τον αισθητήρα καρδιακών παλμών είναι απαραίτητο να τρέχει συνεχώς. Επομένως είναι αδύνατο να ενσωματωθεί σε αυτό while.

Η λύση για το παραπάνω είναι η εξής: Ο κώδικας για τον αισθητήρα θα βρίσκεται σε ένα ξεχωριστό αρχείο με όνομα “polar.py”, το οποίο θα βρίσκεται και αυτό στον φάκελο “master_thesis”. Τα 2 αρχεία θα τρέχουν παράλληλα και ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Η επικοινωνία τους θα γίνεται μέσω του αρχείου “heart_rate.txt”. Το “polar.py” θα γράφει στο αρχείο 0, εάν όλα είναι φυσιολογικά και 1, εάν έχει χαμηλότερους ή υψηλότερους παλμούς από το φυσιολογικό.

Το “polar.py” περιλαμβάνει τον ακόλουθο κώδικα:

```

import time
import io
import os
import RPi.GPIO as GPIO

# polar t34 receiver settings
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setwarnings(False)

GPIO.cleanup()

GPIO.setup(23, GPIO.IN)

previous_input = 0
timer=1
heart_beats=0

```

Αφού εισαχθούν οι απαραίτητες βιβλιοθήκες, αρχικοποιούνται οι υποδοχές του Raspberry και ορίζονται κατάλληλα η είσοδος και η έξοδος, όπως επίσης γίνεται και η αρχικοποίηση των μεταβλητών.

```

# heart_rate.txt file settings
# delete already existed file, from previous tests
os.remove("heart_rate.txt")

# create a new one
f=open("heart_rate.txt","w+")
f.close()

```

Στη συνέχεια, διαγράφεται το αρχείο “heart_rate.txt”, το οποίο μπορεί να έχει παραμείνει από την προηγούμενη λειτουργία του προγράμματος και πιθανόν να περιέχει μη έγκυρες πληροφορίες και δημιουργείται ξανά.

```

while True:

    if(timer==1):
        # start the timer
        before = time.time()
        timer=0
        # check the input
        current_input = GPIO.input(23)

        # there was a heartbeat
        if current_input==1 and previous_input==0:
            heart_beats = heart_beats + 1
            previous_input=1

        elif current_input==0 and previous_input==1:
            previous_input=0

```

Ο πομπός `rolar t31` στέλνει 0 όταν δεν υπάρχει παλμός, και 1 όταν υπάρξει. Κάθε 10 δευτερόλεπτα μετράται ο αριθμός των παλμών. Εάν είναι μέσα στα φυσιολογικά όρια γράφει 0 στο αρχείο, ενώ αν είναι μη φυσιολογικά τα αποτελέσματα, γράφει 1.

```
now = time.time()
if(now-before >= 10.0):
    if(heart_beats>=10 and heart_beats<=17):
        #if everything is normal, it writes to the txt "0"
        f=open("heart_rate.txt","w")
        f.write("0")
        f.close()

    else:
        #if the number of heartbeats is not normal, it writes to the txt "1"
        f=open("heart_rate.txt","w")
        f.write("1")
        f.close()

timer=1
heart_beats=0
```

Τα σημεία του κώδικα που αλλάζουν στο κύριο μέρος είναι:

1. Εισαγωγή της `io` βιβλιοθήκης στην αρχή

```
import io
```

2. Εισαγωγή του κώδικα επικοινωνίας με το αρχείο

Αφού ανοίξει το αρχείο και διαβάσει το περιεχόμενό του, ενεργοποιεί τον συναγερμό εάν λάβει 1.

```
#new entry
f=open("heart_rate.txt","r")
contents=f.read()
if (contents==1):
    # activate the alarm
    if args["alarm"] != "":
        t = Thread(target=sound_alarm,
            args=(args["alarm"],))
        #t.deamon = True
        t.start()

f.close()
```

3.5.3 Σύνδεση του ηχείου

Το μοναδικό κομμάτι του συστήματος το οποίο δεν έχει υλοποιηθεί ακόμα είναι η αναπαραγωγή ενός ήχου, έτσι ώστε όταν ο οδηγός έχει κλειστά τα μάτια του, να τα ανοίγει κατευθείαν.

Η αρχική σκέψη ήταν το Raspberry να στέλνει κατάλληλο σήμα στο κινητό, το οποίο με τη σειρά του να παίζει έναν δυνατό, διαπεραστικό ήχο. Δυστυχώς αυτή η δυνατότητα δεν υπάρχει μέχρι στιγμής στο Blynk. Η πλησιέστερη εναλλακτική θα ήταν να στέλνεται πάλι σε μορφή ειδοποίησης, της οποίας ο ήχος θα είχε αντικατασταθεί με τον επιθυμητό. Υπάρχουν όμως δύο βασικοί περιορισμοί:

1. Δεν γίνεται να οριστεί διαφορετικός ήχος για κάθε ειδοποίηση, με αποτέλεσμα οι απλές ειδοποιήσεις που ορίστηκαν στο 3.5.1 να πρέπει να έχουν και αυτές τον ίδιο ήχο, πράγμα που δεν θα ήταν καθόλου ευχάριστο για τον χρήστη.
2. Κάθε ειδοποίηση μπορεί να στέλνεται με χρονικό διάστημα τουλάχιστον 5 δευτερολέπτων η μία από την άλλη.

Για τις παραπάνω αιτίες επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί δοκιμαστικά το απλό ηχείο της φωτογραφίας.



Σχήμα 53: Το ηχείο που χρησιμοποιήθηκε.

Οι προσθήκες που πρέπει να γίνουν στον κώδικα είναι οι εξής:


```
# buzzer
from gpiozero import Buzzer
import RPi.GPIO as GPIO
GPIO.setmode(GPIO.BCM)

# initial settings
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.cleanup()
```

Αρχικά εισάγεται η κατάλληλη βιβλιοθήκη που περιέχει τις συναρτήσεις για τον έλεγχο του ηχείου και αρχικοποιούνται οι υποδοχές του Raspberry Pi.

```
def buzzer_ring():

    a=0
    while BUZZER_ALARM:

        if(a==0):
            GPIO.setup(25, GPIO.OUT)
            GPIO.output(25,1)
            Buzzer(25).on()
            a=1

        Buzzer(25).on()

    Buzzer(25).off()
```

Έπειτα, ορίζεται η συνάρτηση η οποία όταν καλείται ενεργοποιείται το ηχείο και χτυπάει. Ως έξοδος ορίζεται ο ακροδέκτης νούμερο 22 (GPIO 25), ο οποίος καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας του έχει την τιμή 1. Η εντολή Buzzer(25).on() σηματοδοτεί την έναρξη αναπαραγωγής ήχου, ενώ η εντολή Buzzer(25).off() την παύση του.

```
if FRAME_COUNT_BLINK >= SLEEP_THRESH:
    # if the alarm is not on, turn it on

    BUZZER_ALARM = True
    #buzzer
    t = Thread(target=buzzer_ring)
    t.start()
```

Τέλος, στο σημείο του κώδικα όπου ανιχνεύονται τα κλειστά μάτια, δημιουργείται ένα καινούργιο νήμα το οποίο θα τρέχει αυτόνομα χωρίς να εμποδίζει την λειτουργία των επιμέρους προγραμμάτων, και σε αυτό καλείται να τρέξει η συνάρτηση του ηχείου για όσο διάστημα είναι αναγκαίο.

Η γείωση του ηχείου επιλέγεται να συνδεθεί με το πινάκι νούμερο 20.

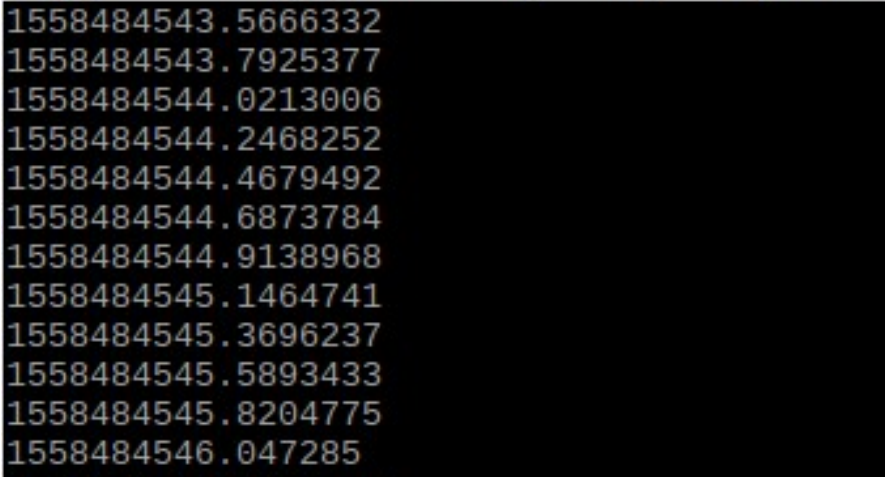
Αυτή η προσωρινή λύση του ηχείου στοχεύει στην επαλήθευση της πειραματικής διάταξης και δεν θα αποτελούσε σε καμία περίπτωση μέρος ενός ολοκληρωμένου τελικού προϊόντος.

3.5.4 Τελική δοκιμή

Έχοντας λοιπόν όλα τα απαραίτητα στοιχεία ορθά συνδεδεμένα και ανοίγοντας το τερματικό του Raspberry, γράφονται οι παρακάτω εντολές:

- `cd Desktop/master_thesis`
- `python3 drowsiness_alert_system_faster.py -c haarcascade_detector.xml -p shape_predictor_dlib.dat & python3 polar.py`

Παρακάτω παρουσιάζεται σε ποια χρονική στιγμή εισέρχεται ξανά ο κύριος κώδικας ανίχνευσης στο `while`, δηλαδή κάθε πότε εξετάζει μία νέα εικόνα από το βίντεο.



```
1558484543.5666332
1558484543.7925377
1558484544.0213006
1558484544.2468252
1558484544.4679492
1558484544.6873784
1558484544.9138968
1558484545.1464741
1558484545.3696237
1558484545.5893433
1558484545.8204775
1558484546.047285
```

Σχήμα 54: Τα χρονικά αποτελέσματα του Raspberry κατά την παράλληλη εκτέλεση των 2 προγραμμάτων.

Είναι εμφανές ότι κατά μέσο όρο επεξεργάζονται 4.5 εικόνες ανά δευτερόλεπτο. Όπως ήταν αναμενόμενο, η απόδοση του προγράμματος μειώθηκε λίγο αλλά παραμένει το σύστημα λειτουργικό!

3.6 Ενσωμάτωση συστήματος στο αυτοκίνητο

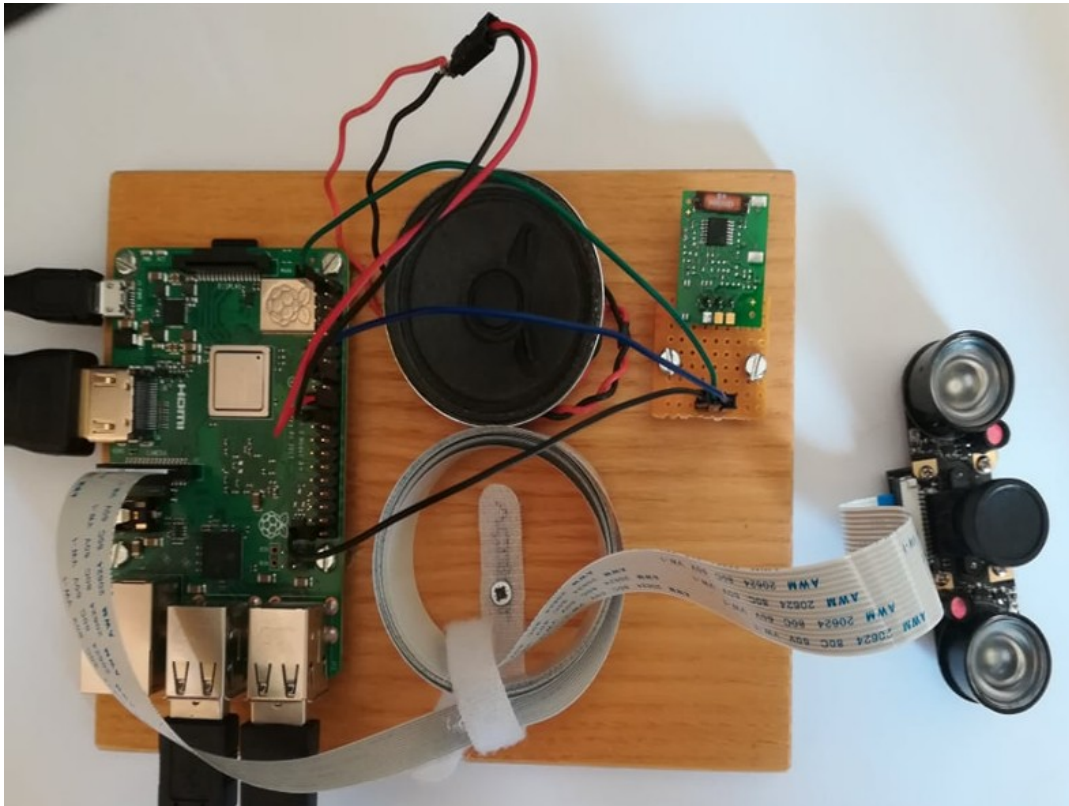
3.6.1 Κατασκευή βάσεων

Για την ενσωμάτωση του παραπάνω συστήματος στο αυτοκίνητο, είναι αναγκαία η κατασκευή μίας εύχρηστης, ενιαίας βάσης, πάνω στην οποία θα στερεώνονται όλα τα επιμέρους στοιχεία. Σε ένα κατάλληλων διαστάσεων κομμάτι ξύλου, έγινε η παρακάτω επεξεργασία:

- Δημιουργήθηκαν 4 οπές έτσι ώστε να στερεωθεί σε αυτές το Raspberry Pi, έχοντας όμως μία απόσταση 4mm από το ξύλο, ώστε να διέρχεται αέρας, για την αποφυγή της υπερθέρμανσης.

- Δημιουργήθηκε μία μεγάλη κυκλική οπή κατάλληλου βάθους, μέσα στην οποία τοποθετήθηκε ένας μικρός μαγνήτης πάνω στον οποίο στερεώνεται το ηχείο.
- Καρφώθηκε δίπλα από το ηχείο μία ταινία Velcro, στην οποία θα αποθηκεύεται το περισσευόμενο καλώδιο της κάμερας.
- Δημιουργήθηκαν 2 οπές, με την βοήθεια των οποίων στερεώθηκε μία μικρή πλακέτα, πάνω στην οποία κολλήθηκε η πλακέτα του δέκτη του αισθητήρα Polar t31.

Μετά την τοποθέτηση όλων των στοιχείων, το αποτέλεσμα είναι το ακόλουθο:



Σχήμα 55: Η ξύλινη βάση της πειραματικής διάταξης.

Όσον αφορά την βάση της κάμερας, χρησιμοποιήθηκε ένα συμπαγές χαρτόνι. Αυτό κόπηκε καταλλήλως σε 2 σημεία. Ένα στην πάνω πλευρά όπου δημιουργήθηκε μία εσοχή για να στηρίζεται η κάμερα, και ένα στην πλάγια επιφάνεια, όπου δημιουργήθηκε μία εσοχή για να περνά με ασφάλεια το καλώδιο της κάμερας, του οποίου η άλλη άκρη καταλήγει στο Raspberry.



Σχήμα 56: Η βάση για την κάμερα.

Αυτό στερεώθηκε με 2 σφιγκτήρες πάνω από το κάλυμμα οργάνων που βρίσκεται πίσω από το τιμόνι, όπως φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 57: Η ενσωμάτωση της κάμερας στο αυτοκίνητο μαζί με τη βάση της.

3.6.2 Δοκιμή μέσα στο αυτοκίνητο

Αφού έχουν ενσωματωθεί όλα τα απαραίτητα στοιχεία του συστήματος, παρέχεται τροφοδοσία στο Raspberry. Τα αποτελέσματα των δοκιμών απεικονίζονται παρακάτω και φαίνεται με ποιον τρόπο αναπαρίστανται οι κύριες καταστάσεις του οδηγού μέσω της κάμερας.



Σχήμα 58: Με ανοιχτά μάτια.



Σχήμα 59: Με κλειστά μάτια.



Σχήμα 60: Όταν χασμουριέται.



Σχήμα 61: Όταν χασμουριέται.

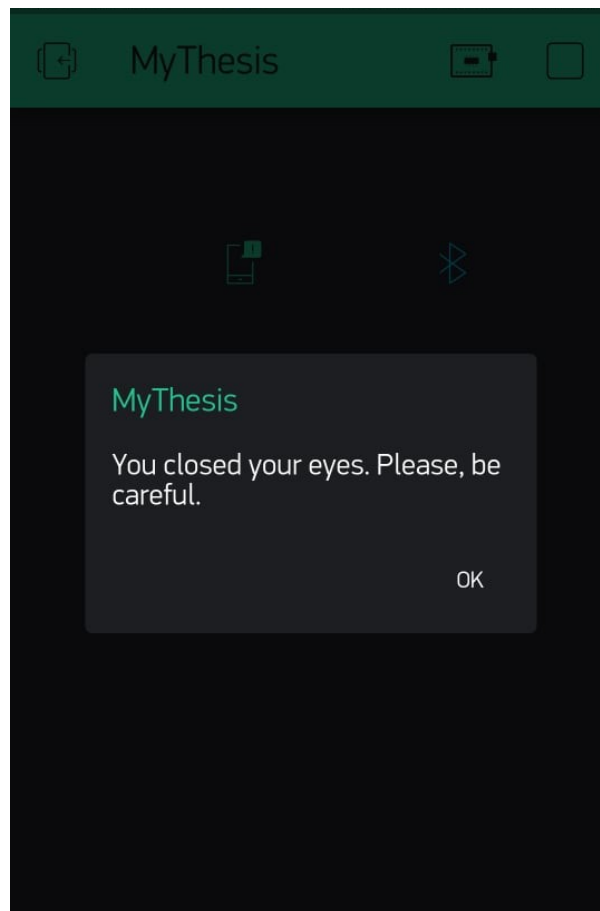
Κάθε φορά είναι ευδιάκριτη η μεταβολή των συντελεστών EAR και MAR, οι οποίοι καθορίζουν το άνοιγμα των ματιών και του στόματος, αντίστοιχα, με τον τρόπο που έχει αναλυθεί στα προηγούμενα σημεία στον κώδικα.

Επίσης, αναγνωρίζεται κάθε φορά ένα μόνο πρόσωπο, αυτό του οδηγού. Πιθανοί συνεπιβάτες στα πίσω καθίσματα, δεν επηρεάζουν καθόλου το σύστημα!



Σχήμα 62: Όταν υπάρχει και άλλος επιβάτης στο οπτικό πεδίο της κάμερας.

Οι ειδοποιήσεις στο κινητό εμφανίζονται όπως φαίνεται παρακάτω, συνοδευόμενες από έναν ήχο. Ενδεικτικά αναφέρεται μόνο η περίπτωση στην οποία ο οδηγός έκλεισε τα μάτια του για πολλή



Σχήμα 63: Εμφάνιση ειδοποίησης στο κινητό, στην περίπτωση που ο οδηγός έκλεισε τα μάτια.

ώρα.

Η σταθερά “Heart rate” επιστρέφει συνεχώς την τιμή 0, πράγμα που υποδηλώνει φυσιολογικούς καρδιακούς παλμούς.

3.6.3 Περαιτέρω δοκιμές

Στην παρούσα φάση έχει ολοκληρωθεί το σύστημα ανίχνευσης κόπωσης. Το λογισμικό παράγει πολύ έμπιστα αποτελέσματα και δεν υπάρχει κάποιο αδύναμο σημείο του. Όσον αφορά το υλικό, αυτό παρουσιάζει αρκετά αποδοτικά αποτελέσματα βάσει του κόστους του, των χρονικών περιθωρίων και των υπαρχουσών τεχνικών γνώσεων.

Ωστόσο, θα γίνει μία τελική δοκιμή κατά την οποία θα δοκιμαστεί να ανεξαρτητοποιηθεί το Raspberry από την τροφοδοσία μέσω πρίζας, και να τροφοδοτηθεί μέσα από το αυτοκίνητο.

Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητα:

- ✓ 1 μετατροπέας σε θύρα USB που τοποθετείται στο αυτοκίνητο, στην θέση του αναπτήρα
- ✓ 1 καλώδιο, του οποίου το ένα άκρο να είναι USB και το άλλο microUSB

Η σύνδεση θα γίνει όπως φαίνεται παρακάτω:



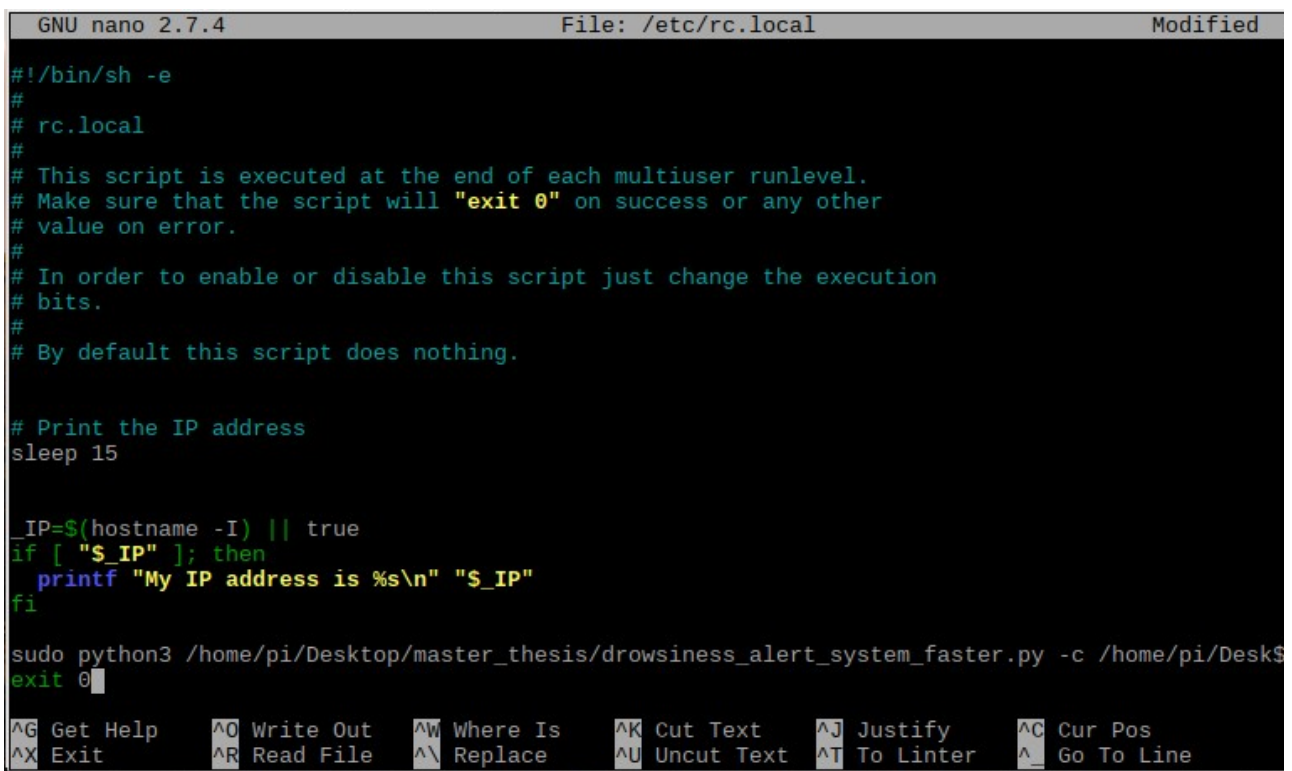
Σχήμα 64: Η σύνδεση του Raspberry με το αμάξι μέσω της θύρας του αναπτήρα.

Για να ανεξαρτητοποιηθεί και από το πληκτρολόγιο και το ποντίκι γίνονται οι παρακάτω ρυθμίσεις ώστε με το που τίθεται σε λειτουργία το Raspberry να ξεκινάει να εκτελεί το πρόγραμμα ανίχνευσης κόπωσης.

- `sudo nano /etc/rc.local`

Ανοίγει το αρχείο `rc.local`, το οποίο εκτελείται κάθε φορά κατά την έναρξη του μικροεπεξεργαστή και προστίθενται οι εντολές:

- `sleep 15` ώστε να προλάβει το Raspberry να συνδεθεί πρώτα στο WiFi.
- `python3 /home/pi/Desktop/master_thesis/drowsiness_alert_system_faster.py -c /home/pi/Desktop/master_thesis/haarcascade_detector.xml -p /home/pi/Desktop/master_thesis/shape_predictor_dlib.dat`



```
GNU nano 2.7.4 File: /etc/rc.local Modified
#!/bin/sh -e
#
# rc.local
#
# This script is executed at the end of each multiuser runlevel.
# Make sure that the script will "exit 0" on success or any other
# value on error.
#
# In order to enable or disable this script just change the execution
# bits.
#
# By default this script does nothing.

# Print the IP address
sleep 15

_IP=$(hostname -I) || true
if [ "$_IP" ]; then
  printf "My IP address is %s\n" "$_IP"
fi

sudo python3 /home/pi/Desktop/master_thesis/drowsiness_alert_system_faster.py -c /home/pi/DeskS
exit 0
```

Σχήμα 65: Αρχείο `/etc/rc.local`.

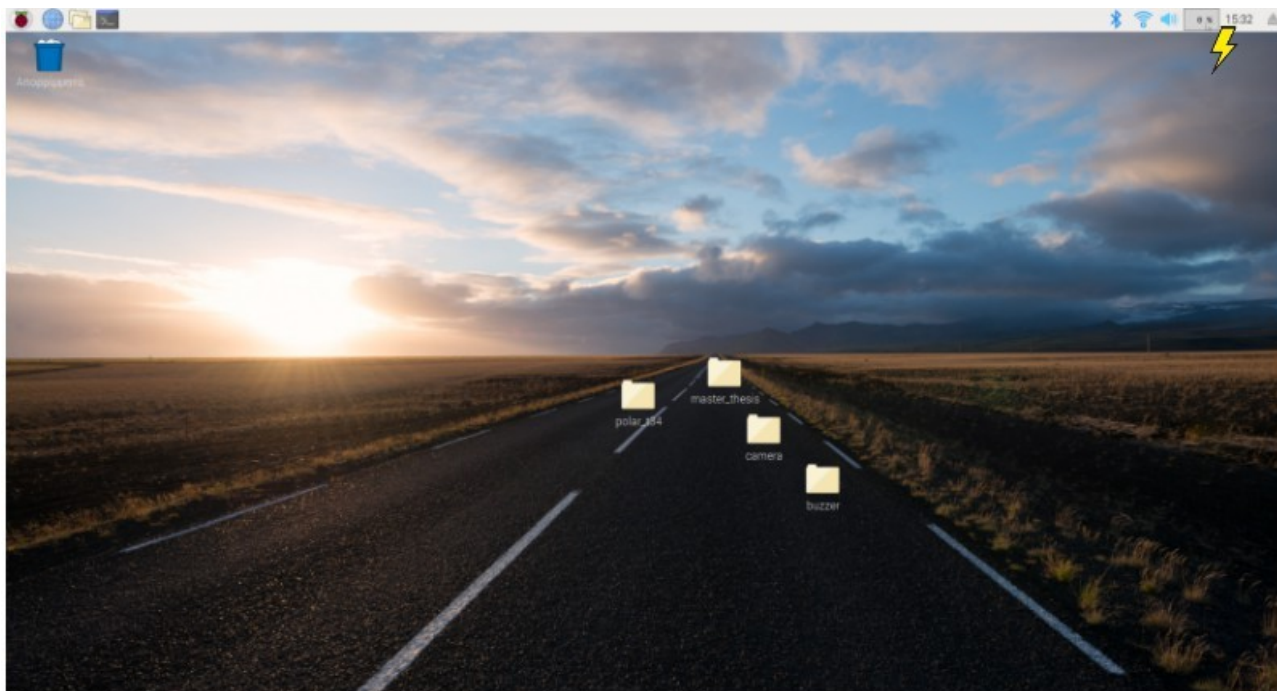
- Στη συνέχεια το αρχείο αποθηκεύεται.

Εν συνεχεία, ενεργοποιείται το bluetooth στο κινητό όπως επίσης και το project “My thesis” στην εφαρμογή Blynk. Εφόσον είναι όλα συνδεδεμένα και έτοιμα να τεθούν σε λειτουργία, ο οδηγός του αυτοκινήτου εκκινεί την μηχανή.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αρχική φόρτωση του προγράμματος, καθώς εμφανιζόταν ως ειδοποίηση στο Blynk ότι το “My thesis” ήταν ενεργοποιημένο, αλλά μετά από κάποια δευτερόλεπτα αυτό γινόταν ξανά ανενεργό.

Με σκοπό να διαπιστωθεί πού υπάρχει το πρόβλημα ξανασυνδέονται κατάλληλα το πληκτρολόγιο, το ποντίκι και μία επιπρόσθετη οθόνη για να υπάρχει οπτική επαφή.

Ξεκινώντας ξανά την μηχανή, ανοίγει το Raspberry το οποίο αφού έχει φορτώσει το λογισμικό του εμφανίζει την παρακάτω οθόνη.



Σχήμα 66: Η αρχική οθόνη του Raspberry όταν τροφοδοτείται μέσω του αυτοκινήτου.

Ο κεραυνός πάνω δεξιά στην εικόνα υποδηλώνει ότι δεν του παρέχεται επαρκές ρεύμα και για το λόγο αυτό, υπολειτουργεί. Έτσι καθώς τρέχει το πρόγραμμα, ο μικροεπεξεργαστής “αρνείται” να ενεργοποιήσει και την κάμερά του για να μην καταναλώσει παραπάνω ενέργεια.

Το παραπάνω πρόβλημα θα μπορούσε να επιλυθεί χρησιμοποιώντας ένα αρκετά καλό powerbank. Επίσης, σε περίπτωση ενός ολοκληρωμένου προϊόντος, η δημιουργία αυτόνομου συστήματος τροφοδότησης, είτε μέσω του αυτοκινήτου, είτε ξεχωριστά από αυτό.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

4.1 Αξιολόγηση του τελικού προϊόντος

Κατά την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας έγινε προσπάθεια δημιουργίας μίας ολοκληρωμένης διάταξης, ικανής να καταλαβαίνει εάν είναι κουρασμένος ο οδηγός και να τον ειδοποιεί εγκαίρως, η οποία και ολοκληρώθηκε επιτυχώς.

Το τελικό σύστημα είναι σε θέση να αναγνωρίζει την κούραση εντοπίζοντας στον οδηγό τα ακόλουθα:

- ✓ Πολλά χασμουρητά σε μικρό χρονικό διάστημα
- ✓ Χαμηλοί παλμοί καρδιάς

Επίσης σε ακραίες καταστάσεις κόπωσης διακρίνει:

- ✓ Το παρατεταμένο κλείσιμο των ματιών

Ο τελευταίος αλγόριθμος ανίχνευσης του προσώπου και των χαρακτηριστικών του, ενώ είναι πιο γρήγορος από τον πρώτο και παραμένει αρκετά ακριβής και έμπιστος, όταν τρέχει παράλληλα με το πρόγραμμα του αισθητήρα των καρδιακών παλμών, παρουσιάζεται μείωση της ταχύτητάς του. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο καθώς ο μικροεπεξεργαστής που χρησιμοποιήθηκε δεν παρέχει την υπολογιστική ισχύ για την παράλληλη εκτέλεση δύο προγραμμάτων, ειδικά στην περίπτωση όπου το ένα είναι πάρα πολύ απαιτητικό. Επίσης, η εύρεση μιας ακόμα γρηγορότερης μεθόδου αναγνώρισης θα ήταν άστοχη, καθώς η ακρίβεια θα μειωνόταν παραπάνω, γεγονός που δεν είναι επιθυμητό. Καθίσταται λοιπόν σαφής η ανάγκη για έναν γρηγορότερο αλλά ταυτόχρονα σχετικά οικονομικό μικροϋπολογιστή.

Από την άλλη πλευρά, η χρήση της κάμερας υπερύθρων, ανεξαρτητοποίησε την απόδοση του συστήματος από τις συνθήκες φωτισμού, αφού έχει την δυνατότητα να λειτουργεί άψογα τόσο κατά τη διάρκεια τη μέρας, όσο και της νύχτας. Η ύπαρξη όμως μίας μοναδικής κάμερας, ακριβώς μπροστά από το κεφάλι του οδηγού, ενώ είναι πολύ λογική ιδέα έχει έναν περιορισμό. Κατά την διάρκεια της οδήγησης πολύ συχνά ο εκάστοτε οδηγός στρέφει το κεφάλι του δεξιά και αριστερά ώστε να ελέγξει τον δρόμο, τους καθρέφτες κ.λπ. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τον σχετικά “ελαφρύ” αλγόριθμο ανίχνευσης, καταλήγει στην απουσία αναγνώρισης του προσώπου.

Ενώ εκ πρώτης όψεως αυτό το μειονέκτημα θα αξιολογούνταν ως πάρα πολύ σοβαρό, αρκεί κανείς να αναρωτηθεί το εξής: Πόση ώρα συνεχόμενη έχει κανείς στραμμένο το κεφάλι του ενώ οδηγεί; Η απάντηση είναι ελάχιστα δευτερόλεπτα. Η λεγόμενη κατάσταση ισορροπίας του οδηγού είναι στην θέση όπου κοιτάει μπροστά, δηλαδή εκεί όπου το πρόσωπό του είναι ευθυγραμμισμένο με την κάμερα. Σε αυτή τη θέση λοιπόν είναι και πιο πιθανό να εμφανιστούν και τα συμπτώματα κόπωσης.

Επιπροσθέτως, η παρούσα υλοποίηση είναι πολύ εύχρηστη, καθώς μπορεί να παραμένει μόνιμα μέσα στο αυτοκίνητο και να τροφοδοτείται τη στιγμή που ξεκινάει ο κινητήρας. Επίσης, η επικοινωνία του Raspberry με το κινητό μπορεί να τεθεί σε λειτουργία με ένα κουμπί. Είναι εμφανές ότι το παρόν σύστημα δεν είναι καθόλου επεμβατικό, με εξαίρεση τον βιομετρικό αισθητήρα, ο οποίος όμως σε επόμενο στάδιο θα μπορούσε να αντικατασταθεί με έναν άλλου τύπου αισθητήρα, περισσότερο διακριτικό.

Συμπερασματικά, σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, το σύστημα λειτουργεί σε άρτιο βαθμό και εκπληρώνει επιτυχώς τις αρχικές του προδιαγραφές!

4.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Τα περιθώρια ανάπτυξης και βελτίωσης της διάταξης είναι πολλά, κυρίως επειδή αποτελεί ένα πειραματικό πρωτότυπο. Έτσι κι αλλιώς, σε μια εποχή όπου παρατηρείται ταχεία τεχνολογική πρόοδος, θα ήταν ουτοπικό να ισχυριζόταν κανείς την απουσία περιθωρίων αναβάθμισης.

Παρακάτω, θα παρατεθούν προτάσεις για μελλοντικές έρευνες και υλοποιήσεις, που θα συμβάλουν στην αρτιότερη ανάπτυξη του παρόντος συστήματος.

- ◆ Εφαρμογή πιο εξελιγμένης μεθόδου αναγνώρισης

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η παρούσα διάταξη αδυνατεί να ανιχνεύσει τα συμπτώματα κόπωσης, τις στιγμές που ο οδηγός δεν βρίσκεται σε ευθεία θέση. Η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου, ο οποίος θα είναι σε θέση να αναγνωρίζει το πρόσωπο και τα χαρακτηριστικά του και όντας στραμμένο υπό γωνία έως και 90 μοιρών, θα καθιστούσε το σύστημα πιο αποτελεσματικό και έμπιστο.

- ◆ Χρήση τριών υπέρυθρων καμερών.

Χρησιμοποιώντας τον ήδη υπάρχοντα αλγόριθμο, η γενική ιδέα είναι η εξής: Σε κατάλληλα σημεία, διαγώνια του οδηγού, θα τοποθετηθούν 2 επιπλέον κάμερες, η μία από την αριστερή πλευρά και η άλλη από την δεξιά πλευρά. Συνεπώς η μία θα “βλέπει” πλήρως την δεξιά πλευρά του προσώπου, και η άλλη την αριστερή. Και οι 3 κάμερες θα επικοινωνούν και θα ελέγχονται από ένα κύριο πρόγραμμα, το οποίο κάθε φορά θα αποφασίζει ποια να ενεργοποιήσει ανάλογα με την κατεύθυνση που θα έχει το κεφάλι του οδηγού. Με τον τρόπο αυτό, αν π.χ. ο οδηγός κοιτάξει δεξιά, θα ενεργοποιηθεί η δεξιά κάμερα η οποία πλέον θα παρακολουθεί όλο το πρόσωπό του.

- ◆ Ενσωμάτωση του αισθητήρα καρδιακών παλμών στο τιμόνι

Για την αποφυγή της διαδικασίας τοποθέτησης του αισθητήρα-ζώνης Polar T31 πριν από την οδήγηση, θα ήταν ιδανική η δυνατότητα ανίχνευσης του καρδιακού παλμού μέσω της επαφής με το τιμόνι. Η δημιουργία ενός φθηνού και ανθεκτικού αισθητήρα ο οποίος π.χ. θα μπορούσε να είναι σε μορφή καλύμματος, ώστε να περικλείει όλη την επιφάνεια του τιμονιού, αποτελεί το πλέον κατάλληλο στοιχείο για την παρούσα διπλωματική.

- ◆ Εναλλακτικός τρόπος ειδοποίησης

Το παρόν πειραματικό σύστημα χρησιμοποιεί απλά ένα μικρό ηχείο. Σε μελλοντικές υλοποιήσεις ο ήχος θα μπορούσε να προέρχεται είτε από το κινητό του οδηγού είτε σε περίπτωση εμπορευματοποίησης του προϊόντος από μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες, από το ίδιο το ηχοσύστημα του οχήματος. Παράλληλα, όπως ήδη χρησιμοποιείται σε αυτοκίνητα πιο εξελιγμένης τεχνολογίας, θα μπορούσε η ηχητική ειδοποίηση να αντικατασταθεί από ένα σύστημα δόνησης, το οποίο θα βρίσκεται ενσωματωμένο στο κάθισμα του οδηγού.

- ◆ Περαιτέρω χρήση των δυνατοτήτων του κινητού τηλεφώνου

Η σύνδεση με το κινητό τηλέφωνο του κάθε οδηγού είναι πάρα πολύ εύκολη και υποκρύπτει πολλές ακόμα δυνατότητες. Ένα παράδειγμα θα ήταν, η εύρεση κάθε στιγμή της τοποθεσίας του οχήματος και η αποστολή της μέσω μηνύματος σε κάποια επαφή, η οποία θα είχε οριστεί εκ των προτέρων ως “επαφή εκτάκτου ανάγκης”.

Όλα τα προαναφερθέντα, είτε ξεχωριστά είτε σε συνδυασμό, θα ήταν σε θέση να δομήσουν ένα πολύ ακριβές και πολύπλευρο σύστημα ανίχνευσης της κούρασης. Όσον αφορά το οικονομικό κομμάτι, παραμένει αρκετά ακριβή η κατασκευή ενός τέτοιου προϊόντος καθώς όπως διαπιστώθηκε κρίνεται αναγκαίος ένας μικροεπεξεργαστής με μεγάλη υπολογιστική δύναμη.

Σε επόμενο στάδιο, το παρόν σύστημα θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντικό μέρος ενός μεγαλύτερου συστήματος το οποίο θα είναι δυνατό να ανιχνεύει πότε βρίσκεται γενικά σε κίνδυνο ο οδηγός. Αναλυτικότερα, το σύστημα θα μπορούσε να αναγνωρίζει κατά πόσο κοιτάει τον δρόμο ο οδηγός ή έχει στραμμένη αλλού την προσοχή του (π.χ. να μιλάει και να κοιτάει τον συνοδηγό του), την κατάσταση και τη θέση του ίδιου του οχήματος σε σχέση με τα υπόλοιπα οχήματα ή με τις διαγραμμίσεις και τις σημάνσεις του δρόμου, ακόμα και το ποσοστό αλκοόλ στο σώμα του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] K. Kim, S. Kang, J. Kim, J. Lee, J. Kim, and J. Kim, "Multiple objects recognition for industrial robot applications," in *2013 10th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, 2013, pp. 257–259.
- [2] Guangfu Zhou, Chenglin Wen, and Jingli Gao, "Object recognition based on reconstruction of light field," 2015, pp. 82–87.
- [3] P. M. Roth and M. Winter, "SURVEY OF APPEARANCE-BASED METHODS FOR OBJECT RECOGNITION," May 2018.
- [4] J. M. Kim and M. A. Kang, "Appearance-based object recognition using higher correlation feature information and PCA," in *2011 Eighth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2011, vol. 3, pp. 1874–1878.
- [5] K. Fukuda, T. Hirotsu, O. Akashi, and T. Sugawara, "A PCA Analysis of Daily Unwanted Traffic," in *2010 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, 2010, pp. 377–384.
- [6] J. f Yang, M. Song, and M. a Li, "Efficient robot object recognition technique based on distance Kernel PCA," in *2010 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, 2010, pp. 1212–1216.
- [7] "Sparse Principal Component Analysis: Journal of Computational and Graphical Statistics: Vol 15, No 2." [Online]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1198/106186006X113430>. [Accessed: 16-May-2018].
- [8] H. Chaabouni-Chouayakh, D. d l Mata-Moya, and M. Datcu, "TerraSAR-X Image Analysis using PCA, ICA and SVM," in *7th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, 2008, pp. 1–4.
- [9] X. Lu, P. Han, and R. Wu, "Research on mixed PCA/ICA for SAR image feature extraction," in *2008 9th International Conference on Signal Processing*, 2008, pp. 2465–2468.
- [10] S. Y. Fu, G. S. Yang, and Z. G. Hou, "Multiple kernel learning with ICA: Local discriminative image descriptors for recognition," in *The 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 2010, pp. 1–6.
- [11] L. Bai, A. Xu, P. Guo, and Y. Jia, "Kernel ICA Feature Extraction for Spectral Recognition of Celestial Objects," in *2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2006, vol. 5, pp. 3922–3926.
- [12] M. Kalra, S. Das, and A. Datta, "Generic Object Recognition Using a Combination of ICA and Shape Cues," in *2006 IEEE International Conference on Video and Signal Based Surveillance*, 2006, pp. 14–14.
- [13] D. Guillaumet and J. Vitrià, "Non-negative Matrix Factorization for Face Recognition," in *Topics in Artificial Intelligence*, vol. 2504, M. T. Escrig, F. Toledo, and E. Golobardes, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002, pp. 336–344.
- [14] Xiangrong Chen, Lie Gu, S. Z. Li, and Hong-Jiang Zhang, "Learning representative local features for face detection," (*:unav*).
- [15] J. Tian and T. Zhang, "Sparse Null space LDA for object recognition," in *2017 IEEE 2nd International Conference on Cloud Computing and Big Data Analysis (ICCCBDA)*, 2017, pp. 316–320.
- [16] J. Yu and X. Lu, "Wafer Map Defect Detection and Recognition Using Joint Local and Nonlocal Linear Discriminant Analysis," *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 29, no. 1, pp. 33–43, Feb. 2016.
- [17] P. Juszczak, D. M. J. Tax, S. Verzakov, and R. P. W. Duin, "Domain Based LDA and QDA," (*:unav*), 2006.

- [18] S. V. M. Vishwanathan and M. Narasimha Murty, "SSVM: a simple SVM algorithm," in *Proceedings of the 2002 International Joint Conference on Neural Networks. IJCNN'02 (Cat. No.02CH37290)*, Honolulu, HI, USA, 2002, pp. 2393–2398.
- [19] Hyungkeun Jee, Kyunghee Lee, and Sungbum Pan, "Eye and Face Detection Using SVM," (*:unav*).
- [20] C. Shavers, R. Li, and G. Lebbby, "An SVM-based Approach to Face Detection," (*:unav*).
- [21] J. Feng, C. Zhang, B. Sun, and Y. Song, "A fusion algorithm of visual odometry based on feature-based method and direct method," pp. 1854–1859, Oct. 2017.
- [22] C. T. Kuo, L. Y. Tsai, M. Y. Feng, C. M. Wang, and J. H. Liou, "Real Time Non-rigid Surface Detection Based on Binary Robust Independent Elementary Features," in *2014 International Symposium on Computer, Consumer and Control*, Taichung, Taiwan, 2014, pp. 352–355.
- [23] "(PDF) A REVIEW ON OBJECT RECOGNITION TECHNIQUES FOR PRACTICAL APPLICATION Index Terms: Object Recognition, Model Based Object Recognition Approach, View Based Object Recognition Approach, Feature Based Object Recognition," *ResearchGate*. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/272503547_A_REVIEW_ON_OBJECT_RECOGNITION_TECHNIQUES_FOR_PRACTICAL_APPLICATION_Index_Terms_Object_Recognition_Model_Based_Object_Recognition_Approach_View_Based_Object_Recognition_Approach_Feature_Based_Object_R. [Accessed: 21-Nov-2018].
- [24] F. Akram, M. A. Garcia, and D. Puig, "Active contours driven by difference of Gaussians," *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, p. 14984, Nov. 2017.
- [25] P. Loncomilla, J. Ruiz-del-Solar, and L. Martínez, "Object recognition using local invariant features for robotic applications: A survey," *Pattern Recognit.*, vol. 60, pp. 499–514, Dec. 2016.
- [26] H. Bay, T. Tuytelaars, and L. Van Gool, "SURF: Speeded Up Robust Features," in *Computer Vision – ECCV 2006*, vol. 3951, A. Leonardis, H. Bischof, and A. Pinz, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006, pp. 404–417.
- [27] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection," in *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)*, San Diego, CA, USA, 2005, vol. 1, pp. 886–893.
- [28] D. Hutchison *et al.*, "BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features," in *Computer Vision – ECCV 2010*, vol. 6314, K. Daniilidis, P. Maragos, and N. Paragios, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, pp. 778–792.
- [29] F. Zhang, F. Ye, and Z. Su, "A modified feature point descriptor based on binary robust independent elementary features," in *2014 7th International Congress on Image and Signal Processing*, Dalian, China, 2014, pp. 258–263.
- [30] H. Yang and Y. Wang, "A LBP-based Face Recognition Method with Hamming Distance Constraint," in *Fourth International Conference on Image and Graphics (ICIG 2007)*, Chengdu, Sichuan, China, 2007, pp. 645–649.
- [31] R. R. Provine, H. B. Hamernik, and B. C. Curchack, "Yawning: Relation to Sleeping and Stretching in Humans," *Ethology*, vol. 76, no. 2, pp. 152–160, Apr. 2010.
- [32] S. Milosevic, "Drivers' fatigue studies," *Ergonomics*, vol. 40, no. 3, pp. 381–389, Mar. 1997.
- [33] L. Andreone, P. C. Antonello, M. Bertozzi, A. Broggi, A. Fascioli, and D. Ranzato, "Vehicle detection and localization in infra-red images," pp. 141–146.
- [34] Y. Sang, Z. Zhao, M. Zhao, P. Hao, Y. Leng, and H. Liu, "From UV to Near-Infrared, WS₂ Nanosheet: A Novel Photocatalyst for Full Solar Light Spectrum Photodegradation," *Adv. Mater.*, vol. 27, no. 2, pp. 363–369, Jan. 2015.
- [35] A. W. Burks and A. R. Burks, "First General-Purpose Electronic Computer," *IEEE Ann. Hist. Comput.*, vol. 3, pp. 310–389, Oct. 1981.

- [36] N. Alee, M. Rahman, and R. B. Ahmad, "Performance comparison of Single Board Computer: A case study of kernel on ARM architecture," in *2011 6th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*, Singapore, Singapore, 2011, pp. 521–524.
- [37] M. Dyvak and V. Tymets, "Emulation of programming environment for single-board computer Raspberry Pi at Monitoring the recurrent laryngeal nerve," pp. 35–37, Apr. 2017.
- [38] "Raspberry Pi Foundation - About Us," *Raspberry Pi*.
- [39] "RaspbianFAQ - Raspbian." [Online]. Available: <http://www.raspbian.org/RaspbianFAQ#I>. [Accessed: 23-Nov-2018].
- [40] "Raspberry Pi Downloads - Software for the Raspberry Pi," *Raspberry Pi*.
- [41] P. Abrahamsson *et al.*, "Affordable and Energy-Efficient Cloud Computing Clusters: The Bolzano Raspberry Pi Cloud Cluster Experiment," pp. 170–175, Dec. 2013.
- [42] G. Rocchitta *et al.*, "Enzyme Biosensors for Biomedical Applications: Strategies for Safeguarding Analytical Performances in Biological Fluids," *Sensors*, vol. 16, no. 6, May 2016.
- [43] P. Wang, G. Xu, L. Qin, Y. Xu, Y. Li, and R. Li, "Cell-based biosensors and its application in biomedicine," *Sens. Actuators B Chem.*, vol. 108, no. 1–2, pp. 576–584, Jul. 2005.
- [44] V. Nabaei, R. Chandrawati, and H. Heidari, "Magnetic biosensors: Modelling and simulation," *Biosens. Bioelectron.*, vol. 103, pp. 69–86, Apr. 2018.
- [45] T. Tamura, Y. Maeda, M. Sekine, and M. Yoshida, "Wearable Photoplethysmographic Sensors—Past and Present," *Electronics*, vol. 3, no. 2, pp. 282–302, Apr. 2014.
- [46] F. Lammers and T. Scheper, "Thermal Biosensors in Biotechnology," in *Thermal Biosensors, Bioactivity, Bioaffinity*, vol. 64, P. K. Bhatia, B. Danielsson, P. Gemeiner, S. Grabley, F. Lammers, A. Mukhopadhyay, K. Ramanathan, M. Saleemuddin, T. Scheper, V. Stefuca, R. Thiericke, and B. Xie, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1999, pp. 35–67.
- [47] P. Damborsky, J. vitel, and J. Katrlík, "Optical biosensors," *Essays Biochem.*, vol. 60, no. 1, pp. 91–100, Jun. 2016.
- [48] M. Pohanka, "Overview of Piezoelectric Biosensors, Immunosensors and DNA Sensors and Their Applications," *Materials*, vol. 11, no. 3, p. 448, Mar. 2018.
- [49] E.-H. Yoo and S.-Y. Lee, "Glucose biosensors: an overview of use in clinical practice," *Sensors*, vol. 10, no. 5, pp. 4558–4576, 2010.
- [50] M. Lee *et al.*, "A novel biosensor based on hafnium oxide: Application for early stage detection of human interleukin-10," *Sens. Actuators B Chem.*, vol. 175, pp. 201–207, Dec. 2012.
- [51] "Escherichia coli detection in vegetable food by a potentiometric biosensor - ScienceDirect." [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925400503000832>. [Accessed: 27-Apr-2019].
- [52] "Biosensing technology for sustainable food safety - ScienceDirect." [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165993614001642>. [Accessed: 27-Apr-2019].
- [53] B. M. Woolston, S. Edgar, and G. Stephanopoulos, "Metabolic Engineering: Past and Future," *Annu. Rev. Chem. Biomol. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 259–288, Jun. 2013.
- [54] S. Singh and N. P. Papanikolopoulos, "Monitoring driver fatigue using facial analysis techniques," in *Proceedings 199 IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems (Cat. No.99TH8383)*, Tokyo, Japan, 1999, pp. 314–318.
- [55] Wenhui Dong and Xiaojuan Wu, "Driver fatigue detection based on the distance of eyelid," pp. 365–368.
- [56] Zutao Zhang and Jia-shu Zhang, "Driver Fatigue Detection Based Intelligent Vehicle Control," pp. 1262–1265, 2006.
- [57] "RGB-H-CbCr Skin Colour Model for Human Face Detection.pdf."

- [58] T. Pallavi and G. Harish, "Implementation of EEG based driver's attention tracking and habitats monitoring system," in *2016 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, 2016, pp. 1–4.
- [59] M. Cascardi, D. Armstrong, L. Chung, and D. Paré, "Pupil Response to Threat in Trauma-Exposed Individuals With or Without PTSD: Pupil Response to Threat," *J. Trauma. Stress*, vol. 28, no. 4, pp. 370–374, Aug. 2015.
- [60] T. Soukupova, "Real-Time Eye Blink Detection using Facial Landmarks," p. 8.
- [61] P. I. Wilson and D. J. Fernandez, "FACIAL FEATURE DETECTION USING HAAR CLASSIFIERS," p. 7, 2006.
- [62] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," in *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001*, Kauai, HI, USA, 2001, vol. 1, pp. I-511-I-518.
- [63] R. Lienhart and J. Maydt, "An extended set of Haar-like features for rapid object detection," in *Proceedings. International Conference on Image Processing*, Rochester, NY, USA, 2002, vol. 1, pp. I-900-I-903.
- [64] "Goteborg | 'C' for Creativity Expression." .
- [65] "CorelDRAW Help & Tutorials - Rotating and mirroring objects in CorelDRAW." [Online]. Available: <http://photoshop-flash-coreldraw-seo-help.com/coreldraw-help-tutorials/rotating-and-mirroring-objects-in-coreldraw.html>. [Accessed: 15-May-2018].
- [66] <http://www.meikearts.com/3d-art>
- [67] "How To Use Size, Scale, And Proportion In Web Design - Vanseo Design." [Online]. Available: <https://vanseodesign.com/web-design/size-scale-proportion/>. [Accessed: 15-May-2018].
- [68] "Introduction — Discriminant Analysis 1 documentation." [Online]. Available: <https://discriminantanalysis.readthedocs.io/en/latest/>. [Accessed: 26-Mar-2019].
- [69] "Implementing SVM and Kernel SVM with Python's Scikit-Learn," *Stack Abuse*, 17-Apr-2018. [Online]. Available: <https://stackabuse.com/implementing-svm-and-kernel-svm-with-pythons-scikit-learn/>. [Accessed: 27-Mar-2019].
- [70] D. G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 60, no. 2, pp. 91–110, Nov. 2004.
- [71] <http://lumpsbreast.com/2010/12/complex-regional-pain-syndrome-crps/>
- [72] <https://eyelighting.com/lighting-technology-education/general-lighting-basics/light-spectrum>
- [73] "How Thermal Cameras Work." [Online]. Available: <https://www.sightlogix.com/how-thermal-cameras-work/>. [Accessed: 24-Nov-2018].
- [74] <https://www.zdnet.com/pictures/photos-of-the-raspberry-pi-through-the-ages-from-the-prototype-to-pi-3/3/>
- [75] <https://www.sparkfun.com/products/14643>
- [76] "Simple Guide to the Raspberry Pi GPIO Header and Pins," *Raspberry Pi Spy*, 09-Jun-2012.
- [77] "Skin Color Model." [Online]. Available: <http://www-cs-students.stanford.edu/~robles/ee368/skincolor.html>. [Accessed: 05-Dec-2018].
- [78] <https://www.newequipment.com/plant-operations/line-sight-eye-tracking-cuts-training-boosts-safety-factory-floor>
- [79] "StopSleep : the best solution against drowsiness." [Online]. Available: <https://www.stopsleep.co.uk/>. [Accessed: 05-Dec-2018].
- [80] <https://medium.com/vorm/technology-against-drowsy-driving-72ede9265b84>
- [81] "PS25515 Warden Automotive Driver Alertness Monitoring System (\$0.00) : Saelig Online Store." [Online]. Available: <http://www.saelig.com/product/ps25515.htm>. [Accessed: 05-Dec-2018].

- [82] “Vigo Smart Headset,” *Vigo Smart Headset*. [Online]. Available: <https://www.wearvigo.com>. [Accessed: 05-Dec-2018].
- [83] optalert, “Fatigue Management | Drowsiness Detection System | Driver Fatigue Detection -,” *Optalert*. .
- [84] <https://www.slashfilm.com/sansa-and-arya-plan-hidden-in-plain-sight/>
- [85] <https://es.stackoverflow.com/questions/233826/lista-de-puntos-3d-a-partir-de-2d>
- [86] “Amazon.com: Raspberry Pi 3 Model B Plus Camera Fisheye Wide Angle 5MP 1080p Night Vision Camera Module: Computers & Accessories.” [Online]. Available: <https://www.amazon.com/Raspberry-Pi-Camera-Module-Megapixel/dp/B07HMH1C59>. [Accessed: 07-May-2019].
- [87] <https://ew.com/tv/2018/01/04/game-thrones-2019/>
- [88] https://www.researchgate.net/figure/The-example-of-applying-the-boosted-cascade-detectors-with-the-Haar-like-features-on_fig18_270671012
- [89] https://support.polar.com/en/support/tips/How_to_wear_a_heart_rate_sensor_with_textile_strap