



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**Διαδίκτυο των Πραγμάτων και Ασφάλεια (safety): Η
περίπτωση ανίχνευσης αλκοόλ σε περιβάλλον
διασυνδεδεμένων αυτοκινήτων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Κωνσταντίνου Μπισμίκη

Επιβλέπουσα: Βασιλική Διαμαντοπούλου – Μόνιμη Επίκουρη Καθηγήτρια

Μέλη εξεταστικής επιτροπής:

Κωνσταντίνος Μαλιάτσος – Μόνιμος Επίκουρος Καθηγητής,

Σπυρίδων Κοκολάκης – Καθηγητής

Σάμος, Νοέμβριος 2025

Δήλωση Γνησιότητας

Δηλώνω ότι η παρούσα διπλωματική αποτελεί δική μου εργασία, η οποία γράφτηκε ειδικά για την εκπλήρωση των σκοπών και στόχων αυτής της διπλωματικής ενώ δεν έχει υποβληθεί στο παρελθόν σε καμία μορφή για άλλο πτυχίο ή δίπλωμα σε οποιοδήποτε άλλο Πανεπιστήμιο στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό. Οι πληροφορίες που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της διπλωματικής αναφέρονται στο σύνολο των πηγών τους, δίνοντας πλήρεις παραπομπές στους συγγραφείς τους, συμπεριλαμβανομένων των πηγών που μπορεί να έχουν χρησιμοποιηθεί από το διαδίκτυο.

Κωνσταντίνος Μπισμπίκης

Υπογραφή

Σάμος, Νοέμβριος 2025

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τις υλοποιήσεις και τις τεχνολογίες του Internet of Things (IoT), με ιδιαίτερη έμφαση στην ενίσχυση της οδικής ασφάλειας μέσω της ανάπτυξης ενός συστήματος ανίχνευσης αλκοόλ και της παρακολούθησης ζωτικών ενδείξεων των οδηγών. Στο πλαίσιο αυτό υλοποιήθηκε ένα πειραματικό πρωτότυπο βασισμένο στο Arduino Uno R3, το οποίο αξιοποιεί τον αισθητήρα MQ-3 για την ανίχνευση αλκοόλης και τον αισθητήρα ECG AD8232 για τη μέτρηση καρδιακών παλμών.

Το κίνητρο για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας προκύπτει από τον αυξημένο αριθμό ατυχημάτων που σχετίζονται με οδηγούς υπό την επήρεια αλκοόλ σε παγκόσμιο και τοπικό επίπεδο. Παράλληλα, η συνεχής ανάπτυξη του IoT τα τελευταία χρόνια δημιουργεί νέες δυνατότητες για την εφαρμογή έξυπνων συστημάτων πρόληψης και παρακολούθησης. Η μελέτη επικεντρώνεται στην ιστορική εξέλιξη του IoT, στους βασικούς τομείς εφαρμογής και στις τεχνολογίες επικοινωνίας που το υποστηρίζουν, με έμφαση στη χρήση τους στα έξυπνα αυτοκίνητα.

Το κύριο ερευνητικό ερώτημα είναι ο βαθμός αξιοπιστίας δύο αισθητήρων χαμηλού κόστους, όπως οι MQ-3 και ECG AD8232, σε πειραματικές εφαρμογές. Το τελικό πρωτότυπο έχει ερευνητικό χαρακτήρα και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για νομικούς σκοπούς ούτε να υποκαταστήσει πιστοποιημένες συσκευές. Παρ' όλα αυτά, αποτελεί βάση για μελλοντικές επεκτάσεις, όπου η χρήση πιο εξελιγμένων αισθητήρων θα μπορούσε να προσφέρει ακριβέστερα και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

© 2025

Κων/νος Μπισμπίκης

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων

Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις βαθύτερες ευχαριστίες μου στην καθηγήτρια μου, την κυρία Διαμαντοπούλου Βασιλική, για την ανεκτίμητη καθοδήγηση και προτάσεις που προσέφερε σε κάθε απορία ή δυσκολία που συνάντησα, την υπομονή που έδειξε και κυρίως τον επαγγελματισμό της καθ'όλη τη διάρκεια αυτής της Διπλωματικής Εργασίας. Η σχολαστική της προσοχή στη λεπτομέρεια και η αμέριστη υποστήριξή της συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της έρευνας.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στους γονείς μου και ιδιαίτερα τη μητέρα μου Αφροδίτη που με βοήθησε να φτάσω στον τελικό στόχο μου κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, την αδερφή μου Βασιλική για τη σημαντική υποστήριξη της σε αυτό το ταξίδι, τους φίλους και τους γνωστούς που με ενθάρρυναν όλα αυτά τα χρόνια.

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (INTERNET OF THINGS – IoT)	7
1.1 Εννοιολογικός ορισμός του IoT	7
1.2 Ιστορικά στοιχεία για τον όρο IoT	8
1.2.1 Πρώτα βήματα και παραδείγματα πειραμάτων IoT (1950 – 1999)	8
1.2.2 Σύγχρονες Τάσεις και Εξέλιξη του IoT (2000 – 2025)	10
1.3 Μεθοδολογία εντοπισμού άρθρων	13
1.4 Δομή της εργασίας	14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΩΝ IoT ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ	16
2.1 Τρόποι σύνδεσης συσκευών και οικοσυστημάτων	16
2.1.1 Τεχνολογίες συνδεσιμότητας για συσκευές IoT	16
2.1.2 Πειραματικές τεχνολογίες συνδεσιμότητας για IoT	22
2.2 Τομείς Εφαρμογής του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT)	24
2.3 Επισκόπηση και προκλήσεις των έξυπνων αυτοκινήτων	30
2.3.1 Τα 6 στάδια αυτοματοποίησης των έξυπνων αμαξιών	32
2.3.2 Παρούσα και μελλοντική εκτίμηση κατάστασης των έξυπνων αυτοκινήτων	35
2.4 Τεχνολογίες των έξυπνων αυτοκινήτων	36
2.4.1 Τεχνολογίες ενός "έξυπνου τιμονιού"	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	42
3.1. Οδικά ατυχήματα υπό την επίδραση αλκοόλ – Διεθνής και ελληνική εικόνα, τάσεις και παρεμβάσεις	42
3.2 Σύγκριση Arduino με Raspberry Pi	44
3.3 Σχεδιασμός και υλικά υλοποίησης	47
3.3.2 Αισθητήρας Καρδιακών Παλμών (AD8382 ECG)	50
3.3.3 Αισθητήρας Αλκοόλ (MQ3)	52
3.4 Κώδικας υλοποίησης του project	53
3.4.1 Κώδικας Αισθητήρα Αλκοόλ (MQ3)	53
3.4.2 Κώδικας Αισθητήρα Καρδιακών παλμών (AD8232 ECG)	61
3.4.3 Connected Vehicle και Monitor του οδηγού	67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο : ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

4.1 Επόμενα βήματα και εξελίξεις	69
4.2. Προκλήσεις και Περιορισμοί	71
Βιβλιογραφία	72

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Σύγκριση Arduino και Raspberry Pi.....	50
Πίνακας 2: Συνδεσμολογία Arduino με MQ-3.....	59
Πίνακας 3:Αποτελέσματα πειράματος με τη χρήση αλκοόλ.....	64
Πίνακας 4: Συνδεσμολογία Arduino με ECG AD8232.....	68

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Πωλήσεις έξυπνων αυτοκινήτων ανά τα χρόνια και μελλοντική εκτίμηση.....	32
Εικόνα 2: Τα 6 στάδια αυτοματοποίησης των αυτοκινήτων.....	35
Εικόνα 3: Η Περίπτωση του Αισθητήρα Αλκοόλ.....	46
Εικόνα 4: Η Περίπτωση του Αισθητήρα καρδιακών παλμών.....	46
Εικόνα 5: Arduino Uno R3 – Ανω όψη.....	52
Εικόνα 6: Σχηματική παρουσίαση των εξαρτημάτων του Arduino Uno.....	53
Εικόνα 7: AD8232 ECG – Ανω όψη.....	55
Εικόνα 8: Περιβάλλον Arduino IDE και Serial Monitor.....	57
Εικόνα 9: Συνδεσμολογία πειράματος στο breadboard.....	60
Εικόνα 10: Οθόνη μετρήσεων αισθητήρα αλκοόλ πριν και μετά την εκπνοή αλκοόλ.....	60
Εικόνα 11: Σημείο τοποθέτησης του αισθητήρα αλκοόλ.....	64
Εικόνα 12: Τελικό αποτέλεσμα συνδεσμολογίας στο breadboard.....	65
Εικόνα 13: Αποτελέσματα οθόνης αισθητήρα καρδιακών παλμών.....	69
Εικόνα 14: Σωστή τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο σώμα.....	70
Εικόνα 15: Οι σύνδεση των αισθητηρίων πάνω στο breadboard.....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (INTERNET OF THINGS – IoT)

1.1 Εννοιολογικός ορισμός του IoT

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (αγγλικά: Internet of things) ανά τα έτη αλλάζει συνεχώς ο ορισμός του, καθώς όσο εξελίσσεται και αναπτύσσεται, χρησιμοποιείται όλο και με περισσότερους και διαφορετικούς τρόπους. Δεν υπάρχει μοναδικός διαθέσιμος ορισμός για το Internet of Things που να είναι αποδεκτός από την παγκόσμια κοινότητα των χρηστών. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν πολλές διαφορετικές ομάδες, συμπεριλαμβανομένων ακαδημαϊκών, ερευνητών, επαγγελματιών, καινοτόμων, προγραμματιστών και εταιρικών ανθρώπων που έχουν ορίσει τον όρο, αν και η αρχική του χρήση έχει αποδοθεί από τον Kevin Ashton, ειδικό στην ψηφιακή καινοτομία. Αυτό που έχουν όλοι οι ορισμοί κοινό είναι η ιδέα ότι η πρώτη έκδοση του Διαδικτύου αφορούσε δεδομένα που δημιουργήθηκαν από ανθρώπους, ενώ η επόμενη έκδοση αφορά δεδομένα που δημιουργήθηκαν από πράγματα. Ο καλύτερος ορισμός για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων θα ήταν:

«Ένα ανοιχτό και ολοκληρωμένο δίκτυο έξυπνων αντικειμένων που έχουν την ικανότητα να οργανώνουν αυτόματα, να μοιράζονται πληροφορίες, δεδομένα και πόρους, να αντιδρούν και να ενεργούν μπροστά σε καταστάσεις και αλλαγές στο περιβάλλον». [1]

Αν και στο υπόλοιπο της παρούσας εργασίας θα χρησιμοποιήσουμε τον παραπάνω ορισμό, παρακάτω βλέπουμε κάποια ιδρύματα πως ορίζουν το διαδίκτυο των πραγμάτων.

- Η Ευρωπαϊκή επιτροπή CERP το εντάσσει στο τμήμα του Future Internet και το οριστεί ως μια δυναμική παγκόσμια υποδομή δικτύου με δυνατότητες αυτόματης ρύθμισης παραμέτρων που βασίζονται σε τυπικά και διαλειτουργικά πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπου τα φυσικά και εικονικά «πράγματα» έχουν ταυτότητες, φυσικά χαρακτηριστικά και εικονικές προσωπικότητες που χρησιμοποιούν έξυπνες διεπαφές και ενσωματώνονται απρόσκοπτα στο δίκτυο πληροφοριών.
- Το Εθνικό συμβούλιο πληροφοριών (NIC) εντάσσει το IoT σε μία γενική ιδέα των πραγμάτων, ειδικά των καθημερινών αντικειμένων τα οποία είναι ευανάγνωστα, αναγνωρίσιμα, που εντοπίζονται και/ή είναι ελεγχόμενα μέσω του Διαδικτύου, είτε μέσω RFID, ασύρματου LAN, δικτύου ευρείας περιοχής ή άλλων μέσων. Τα αντικείμενα περιλαμβάνουν όχι μόνο τις ηλεκτρονικές συσκευές, αλλά και πράγματα που συνήθως δεν θεωρούμε καθόλου ηλεκτρονικά όπως τρόφιμα, ρούχα και στέγη. [2]

1.2 Ιστορικά στοιχεία για τον όρο IoT

1.2.1 Πρώτα βήματα και παραδείγματα πειραμάτων IoT (1950 – 1999)

Το IoT δεν δημιουργήθηκε από τη μία μέρα στην άλλη. Υπήρξαν κάποια στάδια ώστε να φτάσουμε στη σημερινή ερμηνεία του. Το IoT άρχισε να υφίσταται σαν μία αόριστη σκέψη από το **1950**. Από τότε και έπειτα και με την ραγδαία εξέλιξη των τεχνολογιών βλέπουμε πως ο όρος παίρνει νέες μορφές και έννοιες. Για αυτό το λόγο, παρακάτω θα αναλύσουμε πως μέσα από άλλες τεχνολογίες, σιγά σιγά καταφέραμε να φτάσουμε σε αυτό που σήμερα ονομάζουμε διαδίκτυο των πραγμάτων.

- Η συνεχής ενασχόληση των μηχανικών της IBM με πειραματισμούς είχε ως αποτέλεσμα την ανακάλυψη των Barcodes. Αυτή η εφεύρεση δημιουργήθηκε λόγω της ανάγκης της εταιρείας να ορίσουν ταυτότητες σε κάθε αντικείμενο και μηχανήμα που χρησιμοποιούσαν στην επιχείρηση. Αυτή η ιδέα ενέπνευσε τους επόμενους επιστήμονες και μηχανικούς να περάσουν στο επόμενο επίπεδο δημιουργίας σε επίπεδο Hardware και φορητών συσκευών που θα μπορούσαν να φορεθούν στον καρπό. Η πρώτη wearable συσκευή δημιουργήθηκε από το Edward O. Thorp το **1995**, ένα ρολόι όπου μέσα από περίπλοκους αλγορίθμους προέβλεπε τους κύκλους που έκαναν οι ρουλέτες.
- Το **1967** δημιουργούνται τα πρώτα έξυπνα γυαλιά από τον Hubert Upton. Η συσκευή αυτή βοηθούσε τα άτομα με προβλήματα όρασης να μπορούν να διαβάζουν τα χείλη των συνομιλητών τους. Μάλιστα φαίνεται να είναι και η έμπνευση για τη google και το google glass όπου κυκλοφόρησε στην αγορά το 2014, όμως δεν κατάφερε να πετύχει. [3]
- Το **1969**, το ARPANET, ο πρόδρομος του σύγχρονου Διαδικτύου, αναπτύχθηκε και τέθηκε σε λειτουργία από την DARPA, την υπηρεσία Προηγμένων Ερευνών Αμυντικών Προγραμμάτων των ΗΠΑ. Στέλνοντας το πρώτο μήνυμα μέσω απομακρυσμένων υπολογιστών, μπαίνουμε στη νέα εποχή δικτύωσης. Αυτό είναι θεμελιώδες για το «Διαδίκτυο», μέρος του Internet of Things.
- Το **1973**, εφευρείται η τεχνολογία του RFID (Radio Frequency Identification) από το Mario W. Cardullo, όπου χρησιμοποιείται για πρώτη φορά σε στρατιωτικές εφαρμογές, όπως η αναγνώριση φιλικών αεροσκαφών στον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. [4] Αν και δεν βλέπουμε να χρησιμοποιείται αρκετά εκείνη την εποχή η τεχνολογία, το **2013** η εταιρεία Inditex είναι η πρώτη που θα το χρησιμοποιήσει σε όλα τα καταστήματά της ως αποτέλεσμα και άλλες εταιρείες να βλέπουν το όραμα του IoT.

Από τα πρώτα χρόνια που δημιουργήθηκε το Internet, το **1989**, η ιδέα της σύνδεσης 'Πραγμάτων' ξεκίνησε να γίνεται ένα ρεαλιστικό σενάριο στο μυαλό των ανθρώπων. Η πρώτη ιστορικά χρήση που έχουμε καταγεγραμμένη στο ιστορικό είναι αυτή του Quentin Stafford Fraser το **1991**. Συγκεκριμένα, ο επιστήμονας δημιούργησε το XCoffee, βάζοντας

μία συσκευή που τραβούσε βίντεο την καφετιέρα που χρησιμοποιούσε όλο το κτήριο. Ως σκοπό είχε να γνωρίζουν οι φοιτητές που τη χρησιμοποιούσαν αν υπάρχει διαθέσιμος καφές ανά πάσα στιγμή. Γράφοντας ένα server κώδικα που τρέχει στη μηχανή (frame-grabber) κατάφερε να κάνει όσους ήταν συνδεδεμένοι στο server μέσω ενός εύκολου client προγράμματος, να βλέπουν τη στάθμη του καφέ. [5]

Τα επόμενα χρόνια συνεχίζεται η ανάπτυξη με τον John Romkey να δημιουργεί την πρώτη 'ιντερνετική' συσκευή, μία τοστιέρα που μπορεί να ενεργοποιηθεί από έναν υπολογιστή μέσω ίντερνετ.

- Το **1994**, ο Steve Mann δημιουργεί τα WearCam, γυαλιά που λειτουργούν μέσω ενός 64 bit συστήματος που θα είχαν απόδοση σε πραγματικό χρόνο.
- Το **1995**, η Siemens κυκλοφόρησε το πρώτο της τσιπ που επέτρεπε στα βιομηχανικά συστήματα να επικοινωνούν μεταξύ τους ασύρματα και να εκτελούν εντολές μέσω του δικτύου GSM, ενώ η IEEE ξεκίνησε το πρώτο διεθνές φόρουμ για φορητούς υπολογιστές [6]. Επίσης, η πρώτη έκδοση του μακροχρόνιου δορυφορικού προγράμματος GPS που εκτελείται από την κυβέρνηση των ΗΠΑ ολοκληρώνεται, δίνοντας ένα μεγάλο βήμα σε ένα από τα πιο ζωτικά στοιχεία για πολλές συσκευές IoT: την τοποθεσία.
- Το **1998** το IPv6 γίνεται standard πρότυπο, επιτρέποντας σε περισσότερες συσκευές να συνδέονται στο διαδίκτυο από ό,τι επιτρεπόταν προηγουμένως από το IPv4. Ενώ το 32-bit IPv4 παρέχει μόνο αρκετά μοναδικά αναγνωριστικά για περίπου 4,3 δισεκατομμύρια συσκευές, το IPv6 128-bit διαθέτει αρκετά μοναδικά αναγνωριστικά για έως και 2^{128} ή 340×10^{36} . (Αυτό είναι 340 με 36 μηδενικά!)
- Μια μεγάλη χρονιά για το IoT είναι το **1999**, καθώς πρωτοχρησιμοποιήθηκε ο όρος Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Ο Kevin Ashton, ο επικεφαλής των εργαστηρίων Auto-ID του MIT, το συμπεριέλαβε σε μια παρουσίαση σε στελέχη της Proctor & Gamble ως έναν τρόπο να απεικονίσει τις δυνατότητες της τεχνολογίας παρακολούθησης RFID.

1.2.2 Σύγχρονες Τάσεις και Εξέλιξη του IoT (2000 – 2025)

Στον 21ο αναγνωρίζουμε πως το IoT παίρνει μεγαλύτερη διάσταση όσο αναπτύσσονται και οι διάφορες τεχνολογίες του Ίντερνετ. Επιστήμονες με έξυπνες και στοχευμένες ιδέες θέλουν να πάνε τον όρο ένα βήμα παραπέρα. Η σύγχρονη ιστορία του IoT γίνεται ενδιαφέρουσα λόγω των μεγάλων πολιτικών και κοινωνικών αλλαγών. Μεγάλος παράγοντας που επηρέασε και θα συνεχίζει να επηρεάζει τις εξελίξεις είναι η πανδημία του Covid-19, που έστρεψε το κόσμο να επικεντρωθεί στο κλάδο της υγείας. Παρόλα αυτά, βλέπουμε πως και οι τεχνολογίες του 5G και Bluetooth 5.0 βοήθησαν στο παρασκήνιο το IoT να γίνει πιο θελκτικό για τις επιχειρήσεις. Τέλος, το A.I φαίνεται πως θα γίνει η κατευθυντήρια οδό ως προς την τεχνολογία και το μέλλον του IoT και της ραγδαίας εξέλιξης του.

- Το **2000** ο Andy Stanford-Clark, υπάλληλο της IBM, δημοσιεύει το πρώτη version του πρωτοκόλλου MQTT (MQ Telemetry Transport). Το πρωτόκολλο αυτό πρόκειται για επικοινωνία Machine to Machine, για συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο Ίντερνετ. Ίσως να είναι και ένα από τα σημαντικότερα βήματα ως προς την ενίσχυση της ιδέας του IoT.
- Το **2004** η φράση «Internet of Things» αρχίζει να εμφανίζεται στους τίτλους βιβλίων και κάνει διάσπαρτες εμφανίσεις στα μέσα ενημέρωσης.
- Το **2005** δημιουργείται η πλατφόρμα του Arduino, από μέλη του προγράμματος Interaction Design Institute Ivrea, ως φθηνή λύση μικροελεγκτή για φοιτητές
- Το **2008** πραγματοποιείται το πρώτο διεθνές συνέδριο IoT στη Ζυρίχη της Ελβετίας. Η χρονιά είναι κατάλληλη, καθώς είναι επίσης η πρώτη χρονιά που ο αριθμός των συσκευών που συνδέονται στο Διαδίκτυο αυξήθηκε για να ξεπεράσει τον αριθμό των ανθρώπων στη γη.
- Το **2009** η Google ξεκινά δοκιμές των self-driving αυτοκινήτων και το ιατρικό κέντρο St. Jude κυκλοφορεί βηματοδότες συνδεδεμένους στο Διαδίκτυο. Η συσκευή του St. Jude θα συνεχίσει να γράφει ακόμη περισσότερη ιστορία, καθώς είναι η πρώτη ιατρική συσκευή IoT που υπέστη σημαντική παραβίαση ασφαλείας το **2016** (χωρίς θύματα, ευτυχώς). Επίσης, το Bitcoin ξεκινά τη λειτουργία του, ένας πρόδρομος των τεχνολογιών blockchain που είναι πιθανό να αποτελούν μεγάλο μέρος του IoT.
- Το **2010** η κινεζική κυβέρνηση ονομάζει το IoT ως τεχνολογία κλειδί για τη χώρας και ανακοινώνει ότι αποτελεί μέρος του μακροπρόθεσμου σχεδίου ανάπτυξής της. [7] Την ίδια χρονιά η Nest κυκλοφορεί έναν έξυπνο θερμοστάτη που μαθαίνει τις συνήθειές σας και προσαρμόζει αυτόματα τη θερμοκρασία του σπιτιού σας, θέτοντας την ιδέα του «έξυπνου σπιτιού» στο επίκεντρο.
- Το **2013** κυκλοφορεί το Google Glass – ένα επαναστατικό βήμα στην τεχνολογία IoT και φορητών συσκευών, αλλά πιθανώς να ήταν μπροστά από την εποχή του καθώς πέφτει θύμα των προσδοκιών και αποτυγχάνει παταγωδώς.

- Το **2016** το Bluetooth Special Interest Group (SIG) ανακοίνωσε το Bluetooth 5.0, μια σημαντική αναβάθμιση της τεχνολογίας ασύρματης επικοινωνίας μικρής εμβέλειας. Το Bluetooth 5.0 προσέφερε αυξημένη εμβέλεια, ταχύτητα και χωρητικότητα μετάδοσης δεδομένων, καθιστώντας το ιδανικό για εφαρμογές IoT. [8]. Επίσης, την ίδια χρονιά έχουμε την εδραίωση του LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) όπου άρχισε να υιοθετείται ευρέως για IoT συσκευές σε έξυπνες πόλεις και την αγροτεχνολογία.

Η σύνδεση του Federated Learning (FL) με το Internet of Things (IoT) ξεκίνησε να γίνεται πιο εμφανής μετά την πρώτη παρουσίαση του FL από τη Google το 2016-2017, όταν άρχισε να αναγνωρίζεται η ανάγκη για εκπαίδευση μοντέλων σε κατανεμημένα, ιδιωτικά δεδομένα όπως αυτά που παράγουν οι IoT συσκευές. Το FL παρουσιάστηκε αρχικά ως μέθοδος για την εκπαίδευση μοντέλων σε δεδομένα κινητών συσκευών, οι οποίες είναι βασικό μέρος του IoT οικοσυστήματος. [9]

- Το **2017** η Amazon λανσάρει το AWS IoT Analytics, δίνοντας τη δυνατότητα για cloud-based ανάλυση δεδομένων από IoT συσκευές.
- Το **2018** ενίσχυεται το Industrial IoT (IIoT), με τις μεγάλες βιομηχανίες (Siemens, GE) να επενδύουν σε πλατφόρμες για predictive maintenance. Η προγνωστική συντήρηση (predictive maintenance) είναι μια στρατηγική που χρησιμοποιεί δεδομένα και τεχνολογία για να προβλέψει και να προλάβει βλάβες σε μηχανήματα και εξοπλισμό, πριν αυτές συμβούν. Αντί να εκτελεί συντήρηση σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα ή μόνο όταν προκύψει βλάβη (όπως η προληπτική ή η διορθωτική συντήρηση), η προγνωστική συντήρηση στοχεύει στην εκτέλεση συντήρησης μόνο όταν είναι απαραίτητο, με βάση την πραγματική κατάσταση του εξοπλισμού.
- Το **2019** έρχεται το 5G να δείξει το μέλλον για τις IoT εφαρμογές, φέρνοντας μεγάλες αλλαγές καθώς πλέον έχουμε χαμηλό latency και μεγαλύτερο αριθμό συσκευών, κρίσιμα για το μέλλον του IoT (π.χ. αυτόνομα οχήματα, έξυπνες πόλεις). Εκείνη τη χρονιά έρχεται σαν επιτακτική ανάγκη να στραφούμε στο κλάδο της Ιατρικής και της επαφής μεταξύ των ανθρώπων(contact tracing), καθώς η ανθρωπότητα βρίσκεται σε Σοκ λόγω της πανδημίας του Covid-19.
- Το **2020** μπαίνει σε λειτουργία ο νόμος Cybersecurity Improvement Act των ΗΠΑ, είναι ένας νόμος που ψηφίστηκε με στόχο την ενίσχυση της κυβερνοασφάλειας των συσκευών Internet of Things (IoT) που χρησιμοποιούνται από τις ομοσπονδιακές υπηρεσίες. Ο νόμος αναθέτει στο NIST (Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας) να καθορίσει ελάχιστα πρότυπα ασφάλειας για αυτές τις συσκευές, όπως η διαχείριση ταυτότητας, οι ενημερώσεις λογισμικού και η αναφορά ευπαθειών. Εφαρμόστηκε λόγω των αυξανόμενων κυβερνοπειλών και της απουσίας ενιαίων προτύπων ασφαλείας στον τομέα των IoT, με στόχο την προστασία των κρίσιμων υποδομών της κυβέρνησης και την προώθηση καλύτερων πρακτικών στον ιδιωτικό τομέα. [10]

- Το **2021** καθιερώνεται η τεχνολογία Edge computing/Intelligent Edge σε βιομηχανίες και στον τομέα της υγείας. Το Edge Computing, ή «Intelligent Edge», αναφέρεται στη μεταφορά της υπολογιστικής ισχύος και της αποθήκευσης δεδομένων από το κεντρικό cloud στις συσκευές ή κόμβους του δικτύου που βρίσκονται πιο κοντά στις πηγές δεδομένων. Η τεχνολογία αυτή μειώνει τον χρόνο απόκρισης (latency), βελτιώνει την αποδοτικότητα και καθιστά δυνατή την επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας την ιδανική για κρίσιμες εφαρμογές στη βιομηχανία και την υγειονομική περίθαλψη (Shi et al., 2016). [11]
- Το **2022** η ασφάλεια στο IoT μετασχηματίζεται μέσω του μοντέλου Zero Trust, που απορρίπτει την προκαθορισμένη εμπιστοσύνη σε κάθε οντότητα μέσα ή έξω από το δίκτυο. Κάθε πρόσβαση απαιτεί επαλήθευση, ελάχιστα προνόμια και δυναμική πολιτική ασφαλείας, όπως περιγράφεται και στο μοντέλο NIST SP 800-207 (Rose et al., 2020). [12]

Την ίδια χρονιά κυκλοφορεί το Matter v1.0 ένα πρωτόκολλο ανοικτού κώδικα που αναπτύχθηκε από την Connectivity Standards Alliance (CSA) με τη συμμετοχή τεχνολογικών κολοσσών όπως η Apple, η Google, η Amazon και η Samsung. Κυκλοφόρησε επίσημα στις 4 Οκτωβρίου 2022, με στόχο να αντιμετωπίσει την πολυδιάσπαση του οικοσυστήματος των έξυπνων οικιακών συσκευών, προσφέροντας μια κοινή, ασφαλή και συμβατή πλατφόρμα επικοινωνίας. Το Matter βασίζεται σε πρωτόκολλα IP (όπως Wi-Fi και Thread), υποστηρίζει λειτουργία σε τοπικό επίπεδο (χωρίς ανάγκη για cloud), και καλύπτει κατηγορίες συσκευών όπως φωτισμός, αισθητήρες, κλειδαριές, θερμοστάτες και άλλες βασικές λειτουργίες smart home (CSA, 2022). [13]

- Το **2023** έχουμε το συνδυασμός Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) και Internet of Things (IoT), γνωστός ως AIoT που στοχεύει στην ενσωμάτωση συστήματος "έξυπνης" επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο κοντά στο σημείο συλλογής δεδομένων. Μέσω αυτής της σύζευξης, οι έξυπνες συσκευές δεν περιορίζονται πλέον απλώς στη συλλογή δεδομένων, αλλά αποκτούν τη δυνατότητα να τα επεξεργάζονται και να παίρνουν αποφάσεις τοπικά, βελτιώνοντας την απόδοσή τους και μειώνοντας την ανάγκη αποστολής πληροφοριών σε απομακρυσμένους διακομιστές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πιο αυτόνομων και αποδοτικών συστημάτων, ικανών να ανταποκρίνονται γρήγορα σε πραγματικές συνθήκες και να προσαρμόζονται στις ανάγκες των χρηστών. Η αξιοποίηση του AIoT βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς, από τα έξυπνα σπίτια μέχρι τη βιομηχανία και τις έξυπνες πόλεις, προωθώντας την ανάπτυξη μιας πιο συνδεδεμένης και ευφυούς καθημερινότητας. [14]

1.3 Μεθοδολογία εντοπισμού άρθρων

Το IoT περιέχει μία τεράστια γκάμα από τεχνολογίες και αναφορές σε εφαρμογές που εφαρμόζεται. Στην παρούσα έρευνα, πέραν του ότι κάνουμε μία γενική έρευνα πάνω στην εξέλιξη του IoT και στις τεχνολογίες του, επικεντρωνόμαστε περισσότερο στα έξυπνα αυτοκίνητα και στη χρήση των αισθητηρίων για την πρόληψη ατυχημάτων. Για να βελτιώσουμε την ποιότητα και τη χρησιμότητα των ευρημάτων μας, εφαρμόσαμε διάφορες μεθοδολογίες, συμπεριλαμβανομένης της βιβλιογραφικής κριτικές και έρευνες ειδικών. Η τρέχουσα έρευνα στο τομέα των IoT διερευνά ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών και μηχανισμών που άλλαξαν το πεδίο και την εξέλιξη των “έξυπνων” οικοσυστημάτων (σπίτια, αυτοκίνητα, βιομηχανία).

Η διαδικασία διεξαγωγής μιας συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης σε αυτή τη μελέτη περιλαμβάνει μια εστιασμένη προσέγγιση, χρησιμοποιώντας το Google Scholar, IEEE Xplore, ScienceDirect και σε επίσημους ιστότοπους τεχνολογικών εταιρειών και οργανισμών ως κύριες πηγές λόγω της εκτεταμένης βάσης δεδομένων ακαδημαϊκής βιβλιογραφίας. Αυτή η επιλογή καθοδηγείται από τον στόχο να επικεντρωθούμε σε επιστημονικά άρθρα που έχουν αξιολογηθεί από ομότιμους κριτές, που προσφέρουν εις βάθος ανάλυση και επικυρωμένα ευρήματα. Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας περιορίζεται σε επιστημονικά άρθρα που δημοσιεύονται σε περιοδικά και συνέδρια, διασφαλίζοντας ότι όλες οι πληροφορίες που συζητούνται βασίζονται σε ακαδημαϊκή έρευνα. Αυτή η προσέγγιση εγγυάται ότι η μελέτη ενημερώνεται από αξιόπιστες και έγκυρες πηγές, συμβάλλοντας στην ολοκληρωμένη κατανόηση της εξέλιξης του IoT. Ενώ οι διαδικτυακοί πόροι μπορούν να παρέχουν πολύτιμες βασικές γνώσεις, η έμφαση σε αυτή τη μελέτη είναι στη συλλογή άρθρων που προτείνουν και αναλύουν ρητά την εξέλιξη του IoT, ευθυγραμμίζονται με τον στόχο να αντληθούν γνώσεις από τις πιο αξιόπιστες και σχετικές ακαδημαϊκές συνεισφορές.

Κάθε επιλεγμένη πηγή, τόσο ακαδημαϊκή όσο και διαδικτυακή, υποβλήθηκε σε μια αυστηρή διαδικασία αξιολόγησης. Αυτό περιλάμβανε την αξιολόγηση όχι μόνο της αξιοπιστίας και της επικαιρότητας των πληροφοριών αλλά και της άμεσης συνάφειάς τους με τον στόχο της μελέτης για τον εντοπισμό αποτελεσματικών αναλύσεων του IoT και των τεχνολογιών του. Η περαιτέρω ανάλυση αυτών των πηγών συνεπαγόταν μια κριτική εξέταση του περιεχομένου τους για να εξακριβωθεί η συμβολή τους στη συνολική ανάπτυξη και βελτίωση του IoT. Για την αναζήτηση χρησιμοποιήθηκαν λέξεις-κλειδιά όπως:

- «Internet of Things»,
- «IoT applications»,
- «smart vehicles safety»,
- «alcohol detection sensors»,
- «health monitoring»,
- «MQ-3 sensor» και «ECG AD8232».

Τα αποτελέσματα περιορίστηκαν στα έτη 2015-2025 (με εξαίρεση 3 άρθρα), ώστε να συμπεριληφθούν μόνο πρόσφατες και επίκαιρες μελέτες. Αρχικά εντοπίστηκαν περίπου 100 άρθρα και πηγές. Τα κριτήρια αποκλεισμού περιλάμβαναν:

- Άρθρα που δεν ήταν στην αγγλική ή ελληνική γλώσσα.
- Μελέτες που δεν είχαν πλήρη πρόσβαση στα αποτελέσματα ή ήταν απλώς περίληψη.
- Πηγές που αφορούσαν τεχνολογίες μη σχετικές με οδική ασφάλεια ή παρακολούθηση οδηγών.
- Άρθρα που παρουσίαζαν παρωχημένα δεδομένα (πριν το 2015).

Με βάση αυτά τα κριτήρια, η τελική ανάλυση περιλάμβανε 55 αξιόπιστες πηγές, οι οποίες καλύπτουν τόσο το θεωρητικό υπόβαθρο του IoT, όσο και πρακτικές εφαρμογές σε συστήματα οδικής ασφάλειας και ανίχνευσης αλκοόλ και καρδιακών παλμών. Τα ευρήματα από τις πηγές αυτές υποστηρίζουν τη σκοπιμότητα και την τεχνική βάση του πρωτοτύπου που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία.

1.4 Δομή της εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT)

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική επεξήγηση της ορολογίας του IoT, περιλαμβάνοντας βασικούς όρους, έννοιες και χαρακτηριστικά που καθορίζουν το πεδίο. Επιπλέον, παρουσιάζεται μια ιστορική αναδρομή για την εξέλιξη των τεχνολογιών IoT, από τις πρώτες εφαρμογές μέχρι τις σύγχρονες τάσεις, αναδεικνύοντας τις εξελίξεις που έχουν αλλάξει τα δεδομένα στην καθημερινή ζωή και στις βιομηχανικές εφαρμογές. Τέλος, γίνεται αναφορά στη μεθοδολογία εντοπισμού των άρθρων καθώς και τη δομή της εργασίας

Κεφάλαιο 2 Τεχνολογίες των IoT και των Έξυπνων Αυτοκινήτων

Το δεύτερο κεφάλαιο αποτελεί μια βιβλιογραφική ανάλυση των τεχνολογιών IoT που έχουν εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς, με έμφαση στην αυτοκινητοβιομηχανία και στα έξυπνα οχήματα. Γίνεται αναφορά στις κύριες τεχνολογίες σύνδεσης καθώς και σε νέες λιγότερο διαδεδομένες και σε αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε συστήματα οδικής ασφάλειας

Κεφάλαιο 3

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η δημιουργία και η ανάλυση όλων των συστημάτων που χρησιμοποιούνται στο πρωτότυπο. Συγκεκριμένα, γίνεται λεπτομερής παρουσίαση των Arduino Uno R3, ως κεντρικού μικροϋπολογιστή για τη διαχείριση των δεδομένων, του αισθητήρα καρδιακών παλμών (ECG AD8232), με ανάλυση των λειτουργιών του και των δεδομένων που συλλέγει και του αισθητήρα αλκοόλ (MQ-3). Επιπλέον, δίνεται η υλοποίηση και ο κώδικας πάνω στον οποίο θα λειτουργούν οι αισθητήρες, με παραδείγματα και πειράματα.

Κεφάλαιο 4

Βιβλιογραφία

Η βιβλιογραφία αποτελεί τη συλλογή όλων των πηγών που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία, τόσο ακαδημαϊκών άρθρων όσο και αξιόπιστων διαδικτυακών πηγών. Κάθε πηγή παρέχει τα απαραίτητα στοιχεία για τον αναγνώστη ώστε να μπορεί να την εντοπίσει και να την αξιολογήσει. Στη βιβλιογραφία περιλαμβάνονται συγγράμματα, άρθρα, ιστότοποι, αλλά και τεχνικά εγχειρίδια που χρησιμοποιήθηκαν για την τεκμηρίωση των κεφαλαίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΩΝ IoT ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ

2.1 Τρόποι σύνδεσης συσκευών και οικοσυστημάτων

Η συνδεσιμότητα των IoT συστημάτων με τις υπόλοιπες συσκευές παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην επικοινωνία μεταξύ αυτών. Οι τεχνολογίες αυτές συνεχώς εξελίσσονται και αναπτύσσονται έχοντας βελτιωμένες εκδόσεις αυτών, με γνώμονα τη γρηγορότερη μεταφορά δεδομένων από τη μία συσκευή στην άλλη αλλά και τη μεγαλύτερη απόσταση που μπορούν να επικοινωνήσουν με τις λιγότερες μεταβολές που μπορούν να υπάρχουν. Αρχικά, στο κεφάλαιο αυτό θα αναφέρουμε κάποιες από τις πιο γνωστές τεχνολογίες συνδεσιμότητας των συστημάτων και κάποιες που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ακόμα και λόγω περιορισμών και αυξημένου κόστους υλοποίησης.

Οι βασικές τεχνολογίες επικοινωνίας μεταξύ συσκευών Internet of Things (IoT) είναι ουσιαστικές για την υλοποίηση συνδεδεμένων συστημάτων, καθώς επιτρέπουν τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ αισθητήρων, συσκευών, και δικτύων. Οι τεχνολογίες αυτές διακρίνονται με βάση διάφορους παράγοντες όπως η εμβέλεια, η κατανάλωση ενέργειας, και οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων. Παρακάτω είναι μια σύντομη περιγραφή των πιο σημαντικών τεχνολογιών επικοινωνίας μεταξύ συσκευών.

2.1.1 Τεχνολογίες συνδεσιμότητας για συσκευές IoT

1. Wi-Fi (Wireless Fidelity)

Το Wi-Fi (Wireless Fidelity) είναι μια ασύρματη τεχνολογία επικοινωνίας που επιτρέπει τη σύνδεση συσκευών σε δίκτυα δεδομένων χωρίς τη χρήση καλωδίων. Βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.11, το οποίο καθορίζει τις τεχνικές παραμέτρους για τη λειτουργία των ασύρματων τοπικών δικτύων (Wireless Local Area Networks, WLANs). Η τεχνολογία αυτή έχει εξελιχθεί από την πρώτη της εισαγωγή το 1997, με σημαντικές βελτιώσεις στην ταχύτητα και την ασφάλεια. [15]

Το Wi-Fi λειτουργεί μέσω ραδιοκυμάτων που εκπέμπονται από δρομολογητές (routers). Αυτοί οι δρομολογητές στέλνουν και λαμβάνουν δεδομένα χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες συχνότητες, κυρίως στα 2.4 GHz και 5 GHz, που είναι τυπικές για ασύρματα δίκτυα. Η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και του δρομολογητή γίνεται μέσω πακέτων δεδομένων, τα οποία μεταφέρονται ασύρματα.

Το Wi-Fi αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες ασύρματης σύνδεσης και διαθέτει αρκετά θετικά χαρακτηριστικά. Ένα βασικό του πλεονέκτημα είναι η υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, η οποία μπορεί να φτάσει μέχρι και 1 Gbps, ανάλογα με το πρότυπο και τις συνθήκες λειτουργίας. Επιπλέον, είναι αρκετά σταθερό και αξιόπιστο σε αποστάσεις μικρής ή μεσαίας εμβέλειας, κάτι που το καθιστά κατάλληλο για χρήση σε σπίτια, γραφεία και μικρές επιχειρήσεις. Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα είναι η ευκολία σύνδεσης: οι περισσότερες συσκευές μπορούν να συνδεθούν γρήγορα χωρίς τη χρήση καλωδίων, κάτι που διευκολύνει σημαντικά την καθημερινή χρήση.

Το πρότυπο IEEE 802.11ah (WiFi HaLow) εισήχθη το 2017 για την υποστήριξη του IoT με εκτεταμένη κάλυψη και απαιτήσεις χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Λειτουργεί στις μη αδειοδοτημένες ζώνες κάτω του 1 GHz (εξαιρουμένων των ζωνών του τηλεοπτικού λευκού χώρου) και το εύρος ζώνης του είναι συνήθως μόνο 1 MHz ή 2 MHz, ενώ σε ορισμένες χώρες επιτρέπονται επίσης ευρύτερα εύρη ζώνης έως 16 MHz. Σε σύγκριση με τις γενιές WiFi υψηλής ταχύτητας, το IEEE 802.11ah στοχεύει να παρέχει συνδεσιμότητα σε χιλιάδες συσκευές με κάλυψη έως και 1 km, αλλά ο μέγιστος ρυθμός δεδομένων του είναι περίπου 300Mbps χρησιμοποιώντας εύρος ζώνης 16MHz. [16]

Το Wi-Fi παίζει κρίσιμο ρόλο στην υποστήριξη των εφαρμογών IoT, διότι προσφέρει μια ευέλικτη και ευρέως διαδεδομένη μέθοδο για τη σύνδεση αυτών των συσκευών. Πολλές έξυπνες συσκευές, όπως οι έξυπνοι θερμοστάτες, οι κάμερες ασφαλείας και οι αισθητήρες περιβάλλοντος, χρησιμοποιούν Wi-Fi για να επικοινωνούν με άλλες συσκευές ή με κεντρικούς διακομιστές στο διαδίκτυο.

Παρά τα πλεονεκτήματά του, το Wi-Fi παρουσιάζει και ορισμένους περιορισμούς. Ένα από τα πιο γνωστά προβλήματα είναι η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας, ειδικά σε φορητές συσκευές, κάτι που επηρεάζει την αυτονομία τους. Επίσης, η εμβέλειά του είναι περιορισμένη, όπου συνήθως καλύπτει έως περίπου 100 μέτρα σε ανοιχτό χώρο και η απόδοσή του μειώνεται σημαντικά όταν υπάρχουν εμπόδια ή τοίχοι. Τέλος, είναι ευαίσθητο σε παρεμβολές, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου υπάρχουν πολλές άλλες ασύρματες συσκευές, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει διακοπές στη σύνδεση ή χαμηλότερες ταχύτητες.

2. Bluetooth Low Energy (BLE)

Το Bluetooth Low Energy (BLE), γνωστό και ως Bluetooth Smart, είναι ένα βιομηχανικό πρότυπο για ασύρματα προσωπικά δίκτυα υπολογιστών (Wireless Personal Area Network, WPAN) που σχεδιάστηκε από την Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG). Εισήχθη το 2006 από τη Nokia με την ονομασία Wibree και ενσωματώθηκε στο Bluetooth 4.0 το 2009. Σε ένα δίκτυο Bluetooth, μια «κύρια» συσκευή μπορεί να συνδεθεί με το πολύ επτά «σκλάβους», καθένα από τα οποία μπορεί στη συνέχεια να μεταδώσει δεδομένα σε μορφή πακέτου. Το Piconet είναι ο όρος για τη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική δικτύου. [17]

Το BLE παίζει κρίσιμο ρόλο στο οικοσύστημα του Internet of Things (IoT) λόγω της ικανότητάς του να συνδέει μικρές, χαμηλής κατανάλωσης συσκευές. Χρησιμοποιείται

ευρέως σε εφαρμογές όπως έξυπνες οικιακές συσκευές (θερμοστάτες), ιατρικές συσκευές παρακολούθησης υγείας, έξυπνες κλειδαριές, στη βιομηχανία για τη βελτίωση της παραγωγικότητας και της ασφάλειας κ.α.

Η ενσωμάτωσή της σε προσωπικές συσκευές, όπως τα smartphones, είναι απλή και διαδεδομένη, γεγονός που διευκολύνει την ανάπτυξη εφαρμογών με ασύρματη συνδεσιμότητα. Παρά τη χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση, το BLE παρέχει ικανοποιητικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (περίπου 1 Mbps), επαρκή για μικρής κλίμακας εφαρμογές, όπως αποστολή αισθητηριακών μετρήσεων ή ειδοποιήσεων.

Ωστόσο, το BLE παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς. Η εμβέλειά του είναι συνήθως περιορισμένη, φτάνοντας έως και τα 100 μέτρα υπό ιδανικές συνθήκες. Επιπλέον, οι ρυθμοί μετάδοσης που υποστηρίζει δεν επαρκούν για εφαρμογές που απαιτούν υψηλό όγκο ή συνεχή ροή δεδομένων, όπως streaming ή μετάδοση βίντεο. Συνεπώς, η χρήση του επικεντρώνεται κυρίως σε εφαρμογές όπου η εξοικονόμηση ενέργειας υπερτερεί της ταχύτητας μετάδοσης.

Το άρθρο των Al-Shareeda et al. (2023) αναλύει λεπτομερώς τις τεχνικές προκλήσεις και τη μελλοντική εξέλιξη του BLE στο IoT, επισημαίνοντας την ανάγκη για λύσεις που διατηρούν χαμηλή ισχύ και υψηλή ασφάλεια [18]

3. Zigbee

Το Zigbee είναι ένα ασύρματο πρωτόκολλο επικοινωνίας χαμηλής ισχύος, σχεδιασμένο για εφαρμογές που απαιτούν μικρές μεταφορές δεδομένων, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και δικτυακές συνδέσεις σε τοπικά δίκτυα. Λειτουργεί σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.15.4, το οποίο εστιάζει σε ασύρματα προσωπικά δίκτυα (Wireless Personal Area Networks - WPANs).

Στα βασικά χαρακτηριστικά του Zigbee είναι ότι λειτουργεί κυρίως στις ζώνες 2.4 GHz, 868 MHz και 915 MHz, επιτρέποντας την παγκόσμια χρήση του. Το Zigbee χρησιμοποιεί τοπολογίες όπως το star, tree και mesh, με το mesh να είναι το πιο διαδεδομένο για την επεκτασιμότητα και την ανθεκτικότητα του δικτύου. [19] Επίσης, οι συσκευές Zigbee είναι σχεδιασμένες να παραμένουν σε κατάσταση αναμονής για μεγάλα χρονικά διαστήματα, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών που τροφοδοτούν.

Ένα από τα βασικά του πλεονεκτήματα είναι η υποστήριξη του πρωτοκόλλου mesh, το οποίο ενισχύει την κάλυψη και την αξιοπιστία του δικτύου, καθώς οι συσκευές μπορούν να λειτουργούν ως ενδιάμεσοι κόμβοι για τη μετάδοση δεδομένων. Επίσης, το Zigbee παρουσιάζει σημαντική ανθεκτικότητα σε θορύβους και παρεμβολές, κάτι που το καθιστά κατάλληλο για χρήση σε περιβάλλοντα με πολλές συσκευές ή ασύρματα σήματα.

Παρά τα θετικά χαρακτηριστικά του, το Zigbee έχει περιορισμούς κυρίως στον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, ο οποίος φτάνει έως τα 250 Kbps. Η εμβέλειά του, αν και επαρκής για χρήση σε εσωτερικούς χώρους, περιορίζεται σε περίπου 100 μέτρα, καθιστώντας το

ακατάλληλο για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας χωρίς τη χρήση ενδιάμεσων κόμβων. Έτσι, η τεχνολογία αυτή προσαρμόζεται καλύτερα σε εφαρμογές τοπικών δικτύων αισθητήρων ή οικιακού αυτοματισμού. [20]

Σε μελέτη που έγινε από επιστήμονες, βλέπουμε να εστιάζουν στην αξιολόγηση της απόδοσης του Zigbee σε πραγματικά περιβάλλοντα ανάπτυξης, τόσο υπό καθεστώς ενεργής κρυπτογράφησης όσο και χωρίς αυτή. Οι συγγραφείς καταγράφουν βασικές μετρικές απόδοσης, όπως ο ρυθμός επιτυχούς παράδοσης πακέτων (packet delivery ratio - PDR), ο λανθάνων χρόνος (latency), η χωρητικότητα μετάδοσης (throughput) και η κατανάλωση ενέργειας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι, παρά τη μικρή επιβάρυνση στην καθυστέρηση λόγω της κρυπτογράφησης, η συνολική απόδοση του Zigbee παραμένει ικανοποιητική, καθιστώντας την τεχνολογία κατάλληλη για σενάρια όπου η ασφάλεια και η ενεργειακή απόδοση συνδυάζονται ως απαιτήσεις. [21]

4. LoRaWAN (Long Range Wide Area Network)

Το LoRaWAN είναι ιδανικό για εφαρμογές IoT που απαιτούν επικοινωνία μεγάλων αποστάσεων, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλό κόστος υλοποίησης. Γενικά, το LoRa θεωρείται ως το φυσικό επίπεδο, ενώ το LoRaWAN είναι το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC) της στοίβας LoRa που υιοθετεί μια τοπολογία αστεριού για να επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ πολλαπλών τελικών συσκευών (ED) και της πύλης δικτύου. Διαμορφωμένο ως star-of-stars δικτύωση, το LoRaWAN επιτρέπει τη σύνδεση μικροελεγκτών ή αισθητήρων με gateway σε μεγάλες αποστάσεις, ακόμη και χωρίς άμεση οπτική επαφή, χρησιμοποιώντας σήματα τύπου chirp spread spectrum. [22]

Οι προδιαγραφές του LoRaWAN ορίζουν τρεις τύπους κόμβων: τις κλάσεις A, B και C. Μια συσκευή κατηγορίας A στέλνει μηνύματα στη μονάδα Gateway κατά τη διάρκεια ορισμένων χρονικών περιόδων, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της εφαρμογής. Στη συνέχεια, ο κόμβος LoRa ανοίγει μια υποδοχή λήψης για να επιτρέψει στο Gateway να στέλνει μηνύματα ACK (επιβεβαίωσης ή acknowledge) ή άλλου τύπου εντολές. Ο κόμβος Gateway λαμβάνει τα μηνύματα από τον κόμβο LoRa και τα στέλνει στον διακομιστή δικτύου. Η κλάση B επεκτείνει την κατηγορία A προσθέτοντας προγραμματισμένες θέσεις στη λήψη μηνυμάτων. Η κλάση C παρατείνει την κλάση A, διατηρώντας πάντα ανοιχτή τη χρονική θυρίδα λήψης, εκτός από τις περιπτώσεις αποστολής πληροφοριών. Συνήθως, μια συσκευή κατηγορίας A ή κατηγορίας B τροφοδοτείται από μπαταρία. Εν τω μεταξύ ένας κόμβος τύπου C τροφοδοτείται από το ηλεκτρικό δίκτυο λόγω της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας.

Η τεχνολογία LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) εξειδικεύεται σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλες αποστάσεις κάλυψης με ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση. Παρέχει εμβέλεια έως και 15 χιλιομέτρων, ενώ συσκευές που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο αυτό μπορούν να λειτουργούν για χρόνια με μία μόνο μπαταρία, καθιστώντας το ιδανικό για κατανεμημένα δίκτυα αισθητήρων ή περιβαλλοντικές εφαρμογές. Χρησιμοποιείται ευρέως σε περιπτώσεις όπου η ασύρματη κάλυψη κινητής τηλεφωνίας είναι περιορισμένη ή μη

αποδοτική από πλευράς κόστους. Η τεχνολογία αυτή είναι κατάλληλη για περιπτώσεις όπου η ταχύτητα μετάδοσης δεν αποτελεί προτεραιότητα.

Παρά την ευρεία κάλυψη και χαμηλή κατανάλωση, το LoRaWAN παρουσιάζει χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων (από 0.3 έως 50 Kbps), περιορίζοντας τη χρήση του σε εφαρμογές που βασίζονται σε αραιά ή περιοδικά δεδομένα. Επιπλέον, αν και εφαρμόζει βασικά μέτρα ασφαλείας, θεωρείται λιγότερο ασφαλές σε σύγκριση με τεχνολογίες που βασίζονται σε υποδομές κινητής τηλεφωνίας, κάτι που μπορεί να αποτελέσει περιοριστικό παράγοντα σε εφαρμογές με αυξημένες απαιτήσεις ασφαλείας. [23]

5. NB-IoT (Narrowband IoT)

Το NB-IoT (Narrowband Internet of Things) είναι μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας χαμηλής ισχύος και μεγάλης εμβέλειας (LPWAN), σχεδιασμένη ειδικά για τη σύνδεση συσκευών IoT σε κυψελωτά δίκτυα. Βασίζεται στο πρότυπο του 3GPP (Third Generation Partnership Project) και αποτελεί μία από τις κύριες τεχνολογίες για το 5G IoT οικοσύστημα. Το NB-IoT αξιοποιεί στενή ζώνη συχνοτήτων (200 kHz), γεγονός που επιτρέπει την αποδοτική χρήση φάσματος και την εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού συσκευών. [24]

Το NB-IoT είναι μια από τις κυριότερες τεχνολογίες για την υλοποίηση εφαρμογών IoT σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Ενισχύει την ανάπτυξη του IoT σε εφαρμογές που απαιτούν οικονομική συνδεσιμότητα, μακροχρόνια λειτουργία και μεγάλη πυκνότητα συνδεδεμένων συσκευών. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται σε έξυπνους μετρητές παρακολούθησης υποδομών και σε έξυπνα οχήματα.

Οι τεχνικές Power Saving Mode (PSM) και extended Discontinuous Reception (eDRX) επιτρέπουν τις συσκευές να λειτουργούν έως και 10 χρόνια με μπαταρία, ενώ παράλληλα υποστηρίζουν εκατοντάδες συσκευές. Επίσης, μέσω μηχανισμών επανάληψης μετάδοσης (coverage enhancement), το NB-IoT μπορεί να εξασφαλίσει αποδοκτική συνδεσιμότητα ακόμη και σε περιβάλλοντα με πολύ χαμηλό σήμα. [25]

Παρόλα αυτά, το NB-IoT υποστηρίζει περιορισμένους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, έως περίπου 250 Kbps, γεγονός που το καθιστά ακατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη ή μαζική μεταφορά πληροφοριών. Επιπλέον, το κόστος εγκατάστασης ή χρήσης μπορεί να είναι υψηλότερο σε σχέση με άλλες τεχνολογίες LPWAN, ιδιαίτερα όταν απαιτείται πρόσβαση μέσω τηλεπικοινωνιακών παρόχων.

6. Sigfox

Το Sigfox είναι μια ασύρματη τεχνολογία επικοινωνίας χαμηλής ισχύος και μεγάλης εμβέλειας (LPWAN – Low Power Wide Area Network) που έχει σχεδιαστεί ειδικά για

εφαρμογές Internet of Things (IoT). Αποτελεί μια κλειστή, ιδιόκτητη πλατφόρμα που λειτουργεί σε μη αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων, όπως η ISM (Industrial, Scientific, Medical) στα 868 MHz στην Ευρώπη και 902 MHz στη Βόρεια Αμερική. Το Sigfox εστιάζει στη μετάδοση μικρών πακέτων δεδομένων, με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας, για μεγάλες αποστάσεις. [26]

Η τεχνολογία του Sigfox αποτελεί μια βασική τεχνολογία για το IoT, ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν αποστολή μικρών πακέτων δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε βιομηχανικούς τομείς, έξυπνες πόλεις και περιβαλλοντική παρακολούθηση, προσφέροντας μια απλή, οικονομική και αξιόπιστη λύση για τη σύνδεση συσκευών IoT παγκοσμίως. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για IoT εφαρμογές που απαιτούν αραιή επικοινωνία και μακροχρόνια αυτονομία. Η απλότητα και η ενεργειακή της αποδοτικότητα την καθιστούν ελκυστική επιλογή για συσκευές παρακολούθησης περιβάλλοντος, logistics και “έξυπνων” μετρητών.

Ωστόσο, το Sigfox υποστηρίζει εξαιρετικά χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων (έως 100 bps), κάτι που περιορίζει σοβαρά το εύρος εφαρμογών του. Επιπλέον, η κάλυψη δεν είναι καθολική σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς απαιτείται η ύπαρξη κατάλληλης υποδομής δικτύου από την εταιρεία Sigfox, γεγονός που ενδέχεται να περιορίσει τη διαθεσιμότητα ή να αυξήσει το κόστος σε ορισμένες περιοχές.

7. 5G (Fifth Generation Mobile Networks)

Το 5G είναι η τεχνολογία που αναμένεται να μεταμορφώσει το IoT, προσφέροντας βελτιωμένες δυνατότητες συνδεσιμότητας και επιτρέποντας την ανάπτυξη έξυπνων εφαρμογών σε ευρεία κλίμακα. Με τις δυνατότητές του, το 5G μπορεί να καλύψει τρία βασικά σενάρια χρήσης που συνδέονται άμεσα με το IoT:

1. mMTC (Massive Machine Type Communications)

Υποστηρίζει τη μαζική συνδεσιμότητα εκατομμυρίων συσκευών IoT που μεταδίδουν μικρές ποσότητες δεδομένων σε τακτά χρονικά διαστήματα. Αυτές οι συσκευές θα μπορούσαν να ήταν έξυπνοι μετρητές (smart metering) ή αισθητήρες περιβάλλοντος και βιομηχανικής παρακολούθησης.

2. uRLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communications)

Αφορά εφαρμογές που απαιτούν εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία και ελάχιστη καθυστέρηση, ιδανικό για IoT εφαρμογές κρίσιμης σημασίας. Αυτό αφορά συσκευές όπως αυτόνομα οχήματα, τη χειρουργική εξ' αποστάσεως και τη βιομηχανική αυτοματοποίηση.

3. eMBB (Enhanced Mobile Broadband)

Προσφέρει υψηλό εύρος ζώνης για εφαρμογές IoT που απαιτούν μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, όπως βίντεο υψηλής ανάλυσης. Οι εφαρμογές που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί είναι έξυπνες κάμερες ασφαλείας, υπηρεσίες επαύξησης (AR) και εικονικής πραγματικότητας (VR) κ.α. [27]

Η τεχνολογία πέμπτης γενιάς (5G) εισάγει σημαντικές καινοτομίες στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών, προσφέροντας πολυάριθμα πλεονεκτήματα. Χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, οι οποίοι μπορούν να φτάσουν έως και τα 10 Gbps, επιτρέποντας την απρόσκοπτη ροή περιεχομένου υψηλής ευκρίνειας και την ταχεία μεταφορά μεγάλων όγκων πληροφοριών. Επιπλέον, η καθυστέρηση (latency) μειώνεται δραστικά, έως το όριο του 1 χιλιοστού του δευτερολέπτου (1 ms), γεγονός που καθιστά το 5G ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν άμεση απόκριση, όπως η απομακρυσμένη ιατρική, η αυτοματοποιημένη οδήγηση και τα βιομηχανικά ρομποτικά συστήματα. Τέλος, η δυνατότητα υποστήριξης μαζικής συνδεσιμότητας επιτρέπει τη σύνδεση τεράστιου αριθμού συσκευών ανά μονάδα κυψέλης, στοιχείο καίριας σημασίας για την ανάπτυξη του Internet of Things.

Παρά τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα, η υιοθέτηση της τεχνολογίας 5G συνοδεύεται και από ορισμένες προκλήσεις και μειονεκτήματα. Η απαίτηση για υψηλότερη ενεργειακή κατανάλωση, τόσο από την πλευρά των υποδομών όσο και των τερματικών συσκευών, ενδέχεται να επιφέρει αυξημένες περιβαλλοντικές και λειτουργικές επιβαρύνσεις. Επιπλέον, το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας των απαιτούμενων δικτύων είναι ιδιαίτερα υψηλό, καθώς απαιτείται η πυκνή ανάπτυξη σταθμών βάσης και εκτεταμένες επενδύσεις σε εξειδικευμένο εξοπλισμό και τεχνογνωσία. Τα παραπάνω καθιστούν την πλήρη και καθολική εφαρμογή του 5G μια πρόκληση, ιδίως σε περιοχές με περιορισμένη τεχνολογική και οικονομική υποδομή.

2.1.2 Πειραματικές τεχνολογίες συνδεσιμότητας για IoT

Το σύγχρονο τοπίο του Internet of Things (IoT) εμφανίζει σταθερή καθιέρωση τεχνολογιών όπως όλα τα παραπάνω που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Ωστόσο, πληθαίνουν οι μελέτες που εξετάζουν νέες τεχνολογίες συνδεσιμότητας που δεν έχουν ακόμα υιοθετηθεί σε ευρεία κλίμακα αλλά υπόσχονται σημαντικά οφέλη για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, χαμηλής κατανάλωσης ή εξαιρετικής διασυνδεσιμότητας οικοσυστήματα. Η ανάγκη για νέες τεχνολογίες θα υπάρχει πάντα στην ανθρώπινη φύση και δε στο τομέα του IoT που βασίζεται σημαντικά σε αυτές ώστε να μπορέσουμε να υλοποιηθεί σε μεγάλη κλίμακα.

1. Ambient Backscatter Communication (Battery-Free IoT)

Το Ambient Backscatter Communication (AmBC) αποτελεί μια προηγμένη τεχνική επικοινωνίας που αξιοποιεί υπάρχοντα σήματα ραδιοσυχνοτήτων (RF), όπως αυτά της τηλεόρασης, του ραδιοφώνου, της κινητής τηλεφωνίας, του Wi-Fi κ.λπ., για τη μετάδοση δεδομένων χωρίς την ανάγκη εξωτερικής πηγής ενέργειας. Η βασική αρχή λειτουργίας του AmBC είναι ότι οι παθητικές συσκευές «αντανακλούν» και μετασχηματίζουν τα υπάρχοντα

ασύρματα σήματα, ενσωματώνοντας πληροφορία πάνω τους, ώστε να μπορούν να αναγνωρίσουν οι δέκτες αυτή τη διαφοροποίηση. [28]

Σύγχρονες μελέτες, όπως του Wu (2022), εξετάζουν ενισχυτικά σχήματα (NOMA, interference cancellation) σε Ambient IoT συστήματα, με στόχο τη βελτίωση του throughput και της ενεργειακής αποδοτικότητας σε δίκτυα πολλαπλών χρηστών. [29] Παράλληλα, οι ερευνητικές ομάδες ενσωματώνουν τεχνικές μηχανικής μάθησης για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας και της Απόδοσης του Ambient Backscatter Communication, αξιοποιώντας χαρακτηριστικά του 5G για μεγαλύτερη εμβέλεια και καλύτερη διαχείριση ενέργειας

Το AmbBC είναι ιδιαίτερα ελκυστικό για εφαρμογές IoT καθώς:

- Διευκολύνει μαζική εγκατάσταση αισθητήρων, ακόμα και σε απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες περιοχές, χωρίς ανησυχία για συντήρηση ή αλλαγή μπαταριών.
- Προσφέρει ουσιαστικά απεριόριστη διάρκεια ζωής συσκευής, επιτρέποντας την αυτοδύναμη λειτουργία passively for years, αξιοποιώντας απλώς περιβαλλοντική ενέργεια.
- Επιτρέπει το χαμηλό ή μηδενικό λειτουργικό κόστος (εξαιτίας της μη ανάγκης τροφοδοσίας ή συχνής συντήρησης).
- Υποστηρίζει εφαρμογές όπως: παρακολούθηση περιβάλλοντος, έξυπνα ράφια, loggers θερμοκρασίας/υγρασίας, ασύρματη αναγνώριση/ιχνηλάτηση κ.ά.

Παρά τις προσπάθειες όμως υπάρχουν και κάποιες προκλήσεις που καθιστούν δύσκολη την εφαρμογή του στο IoT. Αυτές οι προκλήσεις είναι η περιορισμένη ταχύτητα μετάδοσης, η εξάρτηση από την παρουσία κατάλληλων σημάτων στο περιβάλλον και τα θέματα παρεμβολών από άλλους ραδιοπομπούς ή πηγές. [30]

2. Τεχνολογίες 6G και Terahertz (THz)

Το 6G αντιπροσωπεύει την επόμενη γενιά κινητών επικοινωνιών, η οποία βρίσκεται ακόμη σε φάση έρευνας και διαμόρφωσης προτύπων, ωστόσο αναμένεται να ενισχύσει ριζικά τις δυνατότητες του Internet of Things (IoT), καθιστώντας το θεμέλιο του υπερσυνδεδεμένου κόσμου του μέλλοντος. Μία από τις πιο καινοτόμες τεχνολογίες που θα ενσωματωθούν στο

6G είναι οι επικοινωνίες στο φάσμα Terahertz (THz), προσφέροντας ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων που υπερβαίνουν κατά πολύ αυτές του 5G και εξυπηρετώντας τις ακραίες απαιτήσεις μαζικής, αξιόπιστης και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνίας που απαιτούν οι μελλοντικές εφαρμογές IoT.

Παρά τις θεαματικές προοπτικές, η ανάπτυξη του 6G–THz IoT αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις: φυσική εξασθένηση σήματος σε μεγάλες αποστάσεις, ανάγκη για νέα υποστρώματα υλικών και μικροηλεκτρονικής, εναρμόνιση με τα πρότυπα ασφαλείας και ενεργειακή αποδοτικότητα, αλλά και προσαρμογή των υπαρκτών IoT συσκευών στα νέα φασματικά πρότυπα [31]

3. Visible Light Communication (VLC) / Li-Fi

Το Visible Light Communication (VLC) και η τεχνολογία Li-Fi (Light Fidelity) αποτελούν καινοτόμες λύσεις ασύρματης επικοινωνίας, αξιοποιώντας το φάσμα του ορατού φωτός για τη μετάδοση δεδομένων μέσω LEDs. Ουσιαστικά, κάθε φωτιστικό LED μπορεί να μετατραπεί ταυτόχρονα σε πηγή φωτισμού και κόμβο μετάδοσης δεδομένων, κάτι που ταυτόχρονα αναβαθμίζει τις δυνατότητες υλοποίησης του Internet of Things (IoT).

Αν και δεν έχουν ακόμη υιοθετηθεί ευρέως για IoT, προσφέρουν ασφαλή, υψηλής ταχύτητας σύνδεση χωρίς παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων, ιδιαίτερα χρήσιμη σε ευάλωτα περιβάλλοντα (νοσοκομεία, αεροπλάνα, fab plants). Οι προκλήσεις που υπάρχουν στο VLC είναι η ανάγκη για οπτική γραμμή (line-of-sight) μεταξύ transmitter/receiver, η ευαισθησία στο φυσικό φωτισμό περιβάλλοντος, καθώς και η απαίτηση συνεχόμενης λειτουργίας των LEDs. [32]

2.2 Τομείς Εφαρμογής του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT)

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) αναδείχθηκε σε μια από τις πλέον σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων ετών, επιτρέποντας την αλληλεπίδραση και διασύνδεση μεταξύ φυσικών αντικειμένων και ψηφιακών πλατφορμών. Η υιοθέτηση του IoT επεκτείνεται σε πληθώρα τομέων, με σκοπό τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, την ενίσχυση της ασφάλειας, και τη διευκόλυνση της καθημερινότητας. Αν και υπάρχουν πολλά περιθώρια και εμπόδια σε αυτό το τεράστιο εγχείρημα, τα δείγματα για το μέλλον του IoT είναι ενθαρρυντικά, καθώς υπάρχουν πολλοί τομείς που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές κατηγορίες εφαρμογών του IoT, οι οποίες περιλαμβάνουν τα έξυπνα σπίτια, τη βιομηχανία (Industrial IoT), τις έξυπνες πόλεις, την υγειονομική περίθαλψη και τη γεωργία.

1. Έξυπνα Σπίτια (Smart Homes)

Τα έξυπνα σπίτια αποτελούν μία από τις πιο χαρακτηριστικές εφαρμογές του Internet of Things (IoT), ενσωματώνοντας αισθητήρες, συσκευές και δίκτυα που αλληλεπιδρούν αυτόματα και προσαρμόζουν το περιβάλλον διαβίωσης στις ανάγκες των ανθρώπων. Η επιστημονική έρευνα αποδεικνύει ότι τα IoT σπίτια φέρνουν σημαντικές βελτιώσεις στην αυτοματοποίηση, την ασφάλεια, την ενεργειακή αποδοτικότητα και την ποιότητα ζωής.

Οι βασικές λειτουργίες ενός έξυπνου σπιτιού περιλαμβάνουν τον έλεγχο του φωτισμού, της θερμοκρασίας, των οικιακών συσκευών, καθώς και των συστημάτων ασφαλείας. Για παράδειγμα, αισθητήρες κίνησης και κάμερες ασφαλείας μπορούν να ειδοποιούν τους χρήστες σε πραγματικό χρόνο, ενώ έξυπνα θερμοστάτες προσαρμόζουν τη θέρμανση ανάλογα με την άνεση των ενοίκων. Έρευνες δείχνουν ουσιαστική εξοικονόμηση ενέργειας μείωσης των καταναλώσεων έως και 30% με την κατάλληλη διαχείριση και ανάλυση δεδομένων που συλλέγονται από αισθητήρες και έξυπνα συστήματα.

Παράλληλα, η ενσωμάτωση wearables ή αισθητήρων υγείας ενισχύει την ευημερία και την αυτονομία, κυρίως σε ηλικιωμένους και άτομα με αυξημένες ανάγκες φροντίδας, μέσω της παρακολούθησης και της έγκαιρης ειδοποίησης φροντιστών. Η ανάγκη για διαλειτουργικότητα μεταξύ ετερόκλητων συσκευών, αλλά και οι ανησυχίες για την ασφάλεια και την προστασία των προσωπικών δεδομένων βρίσκονται στο επίκεντρο της επιστημονικής συζήτησης, με τη βιβλιογραφία να τονίζει τη σημασία κοινών προτύπων, προηγμένων λύσεων κρυπτογράφησης και ελέγχου πρόσβασης.

Η πρόοδος σε τομείς όπως το edge computing, η τεχνητή νοημοσύνη και η αποκεντρωμένη επεξεργασία υπόσχονται αποτελεσματικότερη και ασφαλέστερη διαχείριση των δεδομένων στον οικιακό χώρο. Η εξέλιξη των έξυπνων σπιτιών, σύμφωνα με τις επιστημονικές μελέτες, στηρίζεται στην εξισορρόπηση μεταξύ ωφελημάτων (άνεση, ενεργειακή οικονομία, ασφάλεια) και προκλήσεων (ασφάλεια, ιδιωτικότητα, διαλειτουργικότητα), καθώς και στη διαρκή υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών και πρακτικών. [33] [34]

2. Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Industrial IoT)

Το Industrial Internet of Things (IIoT) αποτελεί έναν εξειδικευμένο υποτομέα του IoT, με επίκεντρο την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών αισθητήρων, υπολογιστικών συστημάτων και διασυνδεδεμένων δικτύων σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Σε αντίθεση με το παραδοσιακό IoT, το οποίο έχει ως στόχο κυρίως τις καταναλωτικές εφαρμογές, το IIoT απευθύνεται σε κρίσιμους παραγωγικούς κλάδους, όπως η μεταποίηση, η ενέργεια, οι μεταφορές και η εφοδιαστική αλυσίδα. Η θεμελιώδης ιδέα του IIoT είναι η μετατροπή των φυσικών διαδικασιών σε ευφυή και ψηφιακά ελεγχόμενα συστήματα που μπορούν να παρακολουθούνται, να αναλύονται και να βελτιστοποιούνται σε πραγματικό χρόνο.

Στο τεχνικό επίπεδο, το IIoT βασίζεται στη χρήση ενσύρματων και ασύρματων τεχνολογιών επικοινωνίας, όπως Ethernet, 5G και δίκτυα χαμηλής ισχύος ευρείας περιοχής (LPWAN). Η αρχιτεκτονική του συστήματος περιλαμβάνει αισθητήρες που συλλέγουν κρίσιμα δεδομένα (όπως θερμοκρασία, πίεση, δόνηση), συσκευές ελέγχου όπως προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLCs) και πλατφόρμες επεξεργασίας δεδομένων στην περιφέρεια (edge computing) ή στο σύννεφο (cloud computing). Τα δεδομένα μεταφέρονται με ασφάλεια προς αναλυτικά συστήματα που χρησιμοποιούν τεχνικές μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης, με σκοπό την πρόβλεψη βλαβών, την πρόληψη καθυστερήσεων, καθώς και τη γενικότερη βελτιστοποίηση των επιχειρησιακών διεργασιών. [35]

Η εξέλιξη του IIoT είναι στενά συνδεδεμένη με τη φιλοσοφία της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης (Industry 4.0), η οποία προτείνει μια πλήρως διασυνδεδεμένη και ψηφιοποιημένη βιομηχανία. Οι σύγχρονες βιομηχανικές υποδομές ενσωματώνουν πλέον αισθητήρες, ενεργοποιητές, ψηφιακά δίδυμα (digital twins) και συνεργατικά ρομπότ, επιτρέποντας τη συνεχή αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπων, μηχανών και πληροφοριακών συστημάτων. Ο βιομηχανικός εξοπλισμός είναι πλέον σε θέση να επικοινωνεί μεταξύ του, να αναφέρει την κατάστασή του, να προβλέπει πιθανές δυσλειτουργίες και να ενεργοποιεί διαδικασίες αυτόνομης συντήρησης, περιορίζοντας έτσι τα ανεπιθύμητα διαστήματα αδράνειας και τις απώλειες στην παραγωγή. [36]

Τα οφέλη που προκύπτουν από την υιοθέτηση του IIoT είναι πολλαπλά και σημαντικά για την εξέλιξη της βιομηχανίας. Η αύξηση της παραγωγικότητας, η μείωση του κόστους συντήρησης, η βελτίωση της ποιότητας και η ευκολία στη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων αποτελούν τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα. Παράλληλα, οι επιχειρήσεις αποκτούν τη δυνατότητα διαφανούς παρακολούθησης της παραγωγής και ελέγχου σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας την ανταγωνιστικότητά τους.

Ωστόσο, η εφαρμογή του IIoT δεν είναι απαλλαγμένη από προκλήσεις. Ένα από τα βασικότερα ζητήματα είναι η ασφάλεια των βιομηχανικών συστημάτων, τα οποία λόγω της συνδεσιμότητάς τους καθίστανται πιο ευάλωτα σε κυβερνοεπιθέσεις. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών ασφαλείας, όπως κρυπτογράφηση, έλεγχος πρόσβασης και blockchain, καθίσταται απαραίτητη για την προστασία τόσο των συστημάτων όσο και των δεδομένων. Επιπλέον, ζητήματα όπως η διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών συσκευών και προτύπων, η πολυπλοκότητα στην ενσωμάτωση παλαιού εξοπλισμού, καθώς και η ανάγκη για εξειδικευμένο προσωπικό με ψηφιακές δεξιότητες, λειτουργούν συχνά ως ανασταλτικοί παράγοντες στην πλήρη υιοθέτηση του IIoT. [37]

3. Έξυπνες Πόλεις (Smart Cities)

Η έννοια των έξυπνων πόλεων (smart cities) έχει αναδειχθεί ως απάντηση στις προκλήσεις της αστικοποίησης, της περιβαλλοντικής υποβάθμισης και της ανάγκης για αποτελεσματικότερη διαχείριση των πόρων. Μια έξυπνη πόλη αξιοποιεί προηγμένες τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών (ICT), καθώς και τεχνολογίες του IoT, με στόχο

τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών, την ενίσχυση της βιωσιμότητας και την παροχή αποδοτικότερων και περισσότερο συμμετοχικών δημόσιων υπηρεσιών. [38]

Στην πράξη, μια έξυπνη πόλη συνδέει ένα πλήθος από αισθητήρες, ενεργοποιητές και έξυπνα συστήματα σε ένα ενιαίο ψηφιακό οικοσύστημα. Οι υποδομές αυτές παράγουν, μεταδίδουν και επεξεργάζονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, διευκολύνοντας την αποτελεσματική διαχείριση διαφόρων αστικών λειτουργιών. Εφαρμογές του IoT σε ένα αστικό περιβάλλον περιλαμβάνουν την παρακολούθηση της κυκλοφορίας, την έξυπνη διαχείριση απορριμμάτων, τα συστήματα ελέγχου φωτισμού και ενέργειας, την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα, καθώς και την αποδοτικότερη λειτουργία των δημόσιων συγκοινωνιών.

Η υλοποίηση των έξυπνων πόλεων δεν περιορίζεται μόνο στη χρήση τεχνολογιών. Η κοινωνική, θεσμική και οργανωτική διάσταση παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο. Οι πολίτες πρέπει να συμμετέχουν ενεργά στη διαμόρφωση και λειτουργία των υπηρεσιών, ώστε οι τεχνολογίες να είναι όχι μόνο αποδοτικές αλλά και κοινωνικά αποδεκτές. Οι διαδραστικές πλατφόρμες συμμετοχής πολιτών, οι εφαρμογές αναφορών προβλημάτων και οι ηλεκτρονικές δημοσκοπήσεις ενισχύουν τη διαφάνεια και την εμπιστοσύνη μεταξύ διοίκησης και πολιτών.

Τα θετικά που αποκομίζουμε από τις έξυπνες πόλεις είναι ευεργετικές και αναγκαίες για ένα καλύτερο μέλλον. Σε λειτουργικό επίπεδο, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας, βελτίωση της κυκλοφορίας, μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, και αύξηση της αποτελεσματικότητας των δημοτικών υπηρεσιών. Σε κοινωνικό επίπεδο, οι πολίτες αποκτούν πρόσβαση σε καλύτερες υπηρεσίες, μεγαλύτερη συμμετοχή στις αποφάσεις και υψηλότερα επίπεδα διαβίωσης. Επίσης, η ύπαρξη μιας ισχυρής ψηφιακής υποδομής καθιστά τις πόλεις πιο ανθεκτικές σε κρίσεις, όπως φυσικές καταστροφές ή πανδημίες, προσφέροντας ευελιξία και ταχύτητα αντίδρασης.

Η μετάβαση όμως σε ένα πλήρως λειτουργικό μοντέλο έξυπνης πόλης συνοδεύεται από σοβαρές προκλήσεις. Η διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών τεχνολογικών πλατφορμών, η ασφάλεια και η προστασία των προσωπικών δεδομένων, καθώς και το ψηφιακό χάσμα μεταξύ κοινωνικών ομάδων, αποτελούν βασικά ζητήματα που απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό και πολιτική ρύθμιση. Επιπλέον, το οικονομικό κόστος ανάπτυξης και συντήρησης των υποδομών, η πολυπλοκότητα του αστικού περιβάλλοντος και οι αντιστάσεις στην αλλαγή από παραδοσιακούς μηχανισμούς διοίκησης μπορούν να επιβραδύνουν την πρόοδο. [39]

4. Έξυπνη Υγεία (Smart Health)

Με την έλευση της πανδημίας Covid-19, η έξυπνη υγεία έδειξε την ανάγκη που υπάρχει για ένταξη της στο IoT. Η έννοια της «έξυπνης υγείας» (Smart Health) προκύπτει από τη διασταύρωση της ψηφιακής τεχνολογίας με την ιατρική επιστήμη, προσφέροντας νέα μέσα για την παρακολούθηση, την πρόληψη, τη διάγνωση και τη θεραπεία ασθενειών. Η

αξιοποίηση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης επιτρέπει τη συνεχή ροή πληροφοριών από ιατρικές συσκευές, αισθητήρες και εφαρμογές, παρέχοντας στους επαγγελματίες υγείας μια πιο πλήρη και άμεση εικόνα της κατάστασης του ασθενούς.

Η σύγχρονη προσέγγιση στην ιατρική φροντίδα μετατοπίζεται από το αντιδραστικό μοντέλο, όπου η θεραπεία εφαρμόζεται μόνο αφού εμφανιστεί ένα πρόβλημα— προς ένα πιο προληπτικό, διασυνδεδεμένο και προσωποποιημένο σύστημα περίθαλψης. Κεντρικό ρόλο σε αυτή τη μετάβαση διαδραματίζουν οι φορητές συσκευές υγείας (wearables), οι αισθητήρες φυσιολογικών παραμέτρων, οι απομακρυσμένες πλατφόρμες παρακολούθησης και οι υποδομές ανάλυσης μεγάλων δεδομένων (big data analytics).

Τεχνικά, τα έξυπνα συστήματα υγείας στηρίζονται σε δικτυακές υποδομές χαμηλής καθυστέρησης (όπως 5G), σε πρωτόκολλα ασφαλούς μετάδοσης δεδομένων και σε εφαρμογές cloud για αποθήκευση και επεξεργασία πληροφοριών. Για παράδειγμα, αισθητήρες που εφαρμόζονται στο σώμα ή ενσωματώνονται σε ιατρικές συσκευές μπορούν να μετρούν σε πραγματικό χρόνο ζωτικές ενδείξεις, όπως καρδιακό ρυθμό, πίεση αίματος, κορεσμό οξυγόνου ή επίπεδα γλυκόζης. Τα δεδομένα αυτά διαβιβάζονται είτε προς γιατρούς για άμεση αξιολόγηση είτε αναλύονται αυτόματα από αλγόριθμους, εντοπίζοντας παθολογικές μεταβολές και προτείνοντας προληπτικές ενέργειες.

Η εφαρμογή της έξυπνης υγείας δεν περιορίζεται σε ατομικές συσκευές. Ολόκληρα νοσοκομειακά συστήματα ενσωματώνουν πλέον IoT λύσεις, όπως «έξυπνες» κλίνες που ανιχνεύουν την κινητικότητα του ασθενούς, RFID ετικέτες για την παρακολούθηση ιατρικού εξοπλισμού και φαρμακευτικών προμηθειών, καθώς και πλατφόρμες που συγκεντρώνουν ηλεκτρονικούς ιατρικούς φακέλους σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα αυτά επιτρέπουν την ενοποιημένη και συνεχώς ενημερωμένη φροντίδα, ανεξαρτήτως τοποθεσίας ή φυσικής παρουσίας του ιατρού.

Ένα από τα πλέον σημαντικά οφέλη των έξυπνων τεχνολογιών στον τομέα της υγείας είναι η **τηλεϊατρική**, δηλαδή η παροχή ιατρικών υπηρεσιών εξ' αποστάσεως. Ειδικά σε περιόδους όπως η πανδημία COVID-19, οι απομακρυσμένες διαγνώσεις και συμβουλευτικές συνεδρίες συνέβαλαν καθοριστικά στη διατήρηση της πρόσβασης σε ιατρική φροντίδα, χωρίς να διακινδυνεύεται η υγειονομική ασφάλεια. [40]

Η ασφάλεια και ιδιωτικότητα των προσωπικών ιατρικών δεδομένων αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα, καθώς κάθε παραβίαση μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες για την εμπιστοσύνη των πολιτών και τη δεοντολογία του ιατρικού επαγγέλματος. Επιπλέον, η εξάρτηση από την τεχνολογία απαιτεί επενδύσεις σε υποδομές, αναβάθμιση δεξιοτήτων του προσωπικού και αντιμετώπιση ανισοτήτων πρόσβασης σε αγροτικές ή μειονεκτούσες περιοχές.

5. Έξυπνη Γεωργία (Smart Agriculture)

Η Έξυπνη Γεωργία (Smart Agriculture) αποτελεί έναν από τους πλέον υποσχόμενους τομείς εφαρμογής του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), καθώς απαντά στις σύγχρονες προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο αγροτικός τομέας: την ανάγκη για αύξηση της παραγωγικότητας, τη βιώσιμη διαχείριση των φυσικών πόρων και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Σε έναν κόσμο όπου η κλιματική αλλαγή, η πληθυσμιακή αύξηση και η αστικοποίηση ασκούν πίεση στα συστήματα τροφής, η τεχνολογία αποτελεί αναπόσπαστο εργαλείο για τον μετασχηματισμό της γεωργίας. [41]

Η Έξυπνη Γεωργία συνίσταται στην εφαρμογή αισθητήρων, συστημάτων αυτόματης λήψης αποφάσεων, τεχνητής νοημοσύνης και αναλύσεων μεγάλων δεδομένων, με σκοπό την ακριβή παρακολούθηση, διαχείριση και βελτιστοποίηση των γεωργικών διαδικασιών. Μέσω της τεχνολογίας IoT, επιτυγχάνεται η συνεχής συλλογή πληροφοριών για το μικροκλίμα, την υγρασία του εδάφους, τη θερμοκρασία, τα επίπεδα φωτισμού και τη θρέψη των καλλιεργειών, τα οποία επιτρέπουν την κατανόηση της κατάστασης κάθε αγροτεμαχίου με ακρίβεια που μέχρι πρόσφατα ήταν αδύνατη.

Τα βασικά τεχνικά εργαλεία περιλαμβάνουν ασύρματους αισθητήρες στο έδαφος και στα φυτά, αυτόματα αρδευτικά συστήματα, drones με πολυφασματικές κάμερες για εναέρια χαρτογράφηση, καθώς και φορητές ή σταθερές πλατφόρμες edge computing. Η χρήση drones, για παράδειγμα, παρέχει οπτικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης που συμβάλλουν στην πρόγνωση αποδόσεων και στον εντοπισμό ασθενειών ή ελλείψεων θρεπτικών συστατικών. Αντίστοιχα, αισθητήρες εδάφους μπορούν να ενεργοποιήσουν αυτοματοποιημένη άρδευση μόνο όταν απαιτείται, μειώνοντας σημαντικά την κατανάλωση νερού.

Η προσέγγιση της γεωργικής ακριβείας (precision agriculture), που ενσωματώνεται στην έξυπνη γεωργία, βασίζεται στη διαφοροποιημένη διαχείριση των αγροτεμαχίων, λαμβάνοντας υπόψη την τοπική διαφοροποίηση των συνθηκών καλλιέργειας. Αυτό σημαίνει ότι οι γεωργικές εισροές όπως νερό, λιπάσματα και φυτοφάρμακα εφαρμόζονται μόνο στα σημεία και στις ποσότητες που είναι αναγκαίες, μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και βελτιώνοντας την οικονομική αποδοτικότητα των αγροτών. [42]

Η εφαρμογή του IoT στη γεωργία αντιμετωπίζει και προκλήσεις όπως τη πρόσβαση σε αξιόπιστες δικτυακές υποδομές και το υψηλό αρχικό κόστος εξοπλισμού. Επίσης, η ανάγκη για εκπαίδευση των αγροτών αλλά και η προστασία των γεωργικών δεδομένων, παραμένουν κρίσιμα ζητήματα που χρήζουν συστηματικής αντιμετώπισης, ιδίως σε αναπτυσσόμενες χώρες.

Οριζόντια Επέκταση του IoT

Οι εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) εξελίσσονται διαρκώς και δεν περιορίζονται στους τομείς της κατοικίας, της βιομηχανίας, της πόλης, της υγείας ή της γεωργίας. Αντιθέτως, το IoT βρίσκει ήδη δυναμική εφαρμογή και σε άλλους καίριους τομείς, όπως τα έξυπνα κτίρια, όπου ενσωματώνεται σε συστήματα φωτισμού, θέρμανσης και ασφάλειας για την εξοικονόμηση ενέργειας και τη βελτίωση της λειτουργικότητας. Στα

έξυπνα δίκτυα ενέργειας (Smart Grids), η τεχνολογία IoT χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο και την ευφυή κατανομή ενέργειας. Στον κλάδο των μεταφορών, οι διασυνδεδεμένες υποδομές και τα οχήματα (Vehicle-to-Everything, V2X) βελτιώνουν την ασφάλεια και μειώνουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Αντίστοιχα, στο λιανεμπόριο, η χρήση έξυπνων ραφιών, αισθητήρων RFID και προσωποποιημένων υπηρεσιών ενισχύει την εμπειρία του καταναλωτή. Τέλος, το IoT αξιοποιείται και σε περιβαλλοντικές εφαρμογές, όπως η παρακολούθηση της ποιότητας αέρα και νερού ή η έγκαιρη προειδοποίηση για φυσικές καταστροφές.

Η τεχνολογία του IoT έχει ήδη μετασχηματίσει ποικίλους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, παρέχοντας καινοτόμες λύσεις σε καθημερινά προβλήματα. Είτε πρόκειται για την άνεση του οικιακού περιβάλλοντος, τη βελτίωση της παραγωγικότητας στη βιομηχανία, τη διαχείριση των πόλεων, την υγεία ή τη γεωργία, οι εφαρμογές του IoT συνεισφέρουν καθοριστικά στην ανάπτυξη ενός πιο διασυνδεδεμένου και ευφυούς κόσμου. Η προσεκτική αξιοποίηση των τεχνολογιών αυτών, σε συνδυασμό με κατάλληλα ρυθμιστικά και ηθικά πλαίσια, αναμένεται να προσφέρει σημαντικά οφέλη τόσο σε ατομικό όσο και σε συλλογικό επίπεδο.

2.3 Επισκόπηση και προκλήσεις των έξυπνων αυτοκινήτων

Με την ραγδαία αύξηση των τεχνολογιών αλλά και της ανάγκης του ανθρώπου να εξελίσσεται σε όλου τους τομείς (υγεία, εκπαίδευση, αποτελεσματικότητα), η έννοια του έξυπνου αυτοκινήτου αρχίζει να παίρνει μία ιδιόζουσα μορφή. Επίσης, λόγω της κλιματικής αλλαγής, η προστασίας του περιβάλλοντος για τις μελλοντικές γενιές έχει οδηγήσει σε μια παγκόσμια ώθηση για την ανάπτυξη καθαρών επιλογών μεταφοράς για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.

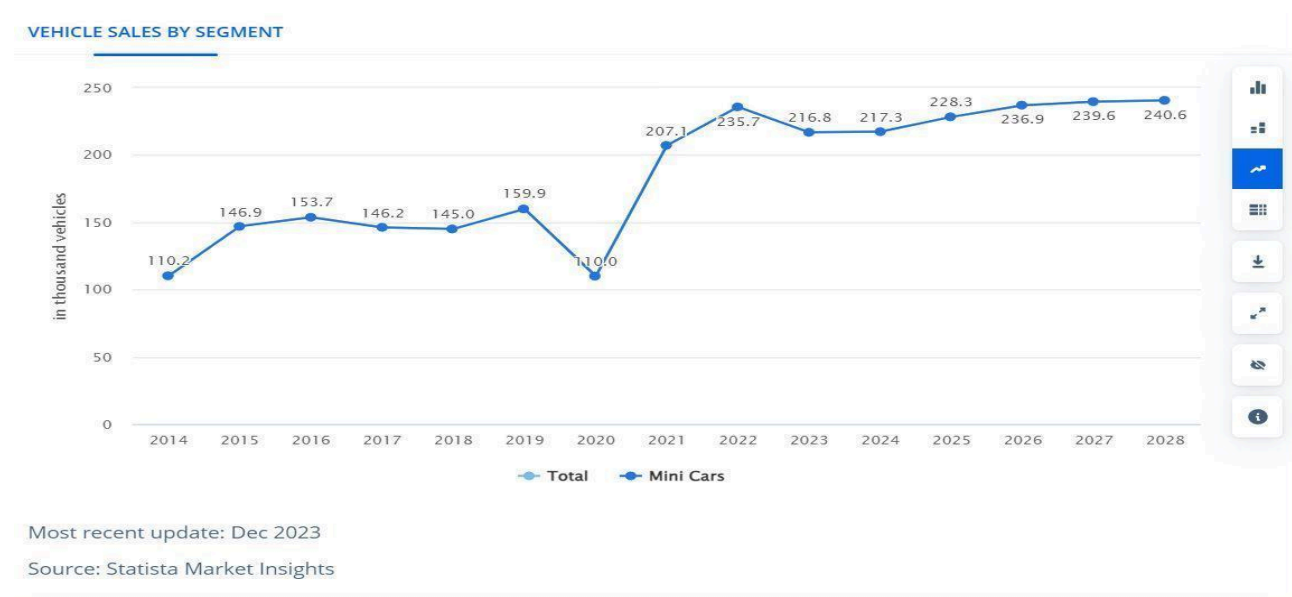
Η αυτοκινητοβιομηχανία βρίσκεται σε μια περίοδο έντονου μετασχηματισμού. Το όραμα για έξυπνα αυτοκίνητα συνδέεται στενά με την έννοια του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), δηλαδή της αλληλεπίδρασης συσκευών, υποδομών και δεδομένων με σκοπό τη βελτίωση της καθημερινής ζωής. Ενώ αρχικά τα οχήματα αποτελούσαν απομονωμένα μηχανικά συστήματα, σήμερα μετατρέπονται σε πλατφόρμες πληροφορικής, με δυνατότητες επικοινωνίας, ανάλυσης και προσαρμογής σε πραγματικό χρόνο. Η εξέλιξη αυτή δημιουργεί σημαντικές προοπτικές για την οδική ασφάλεια και τη βιώσιμη κινητικότητα, αλλά αναδεικνύει παράλληλα κρίσιμα ερωτήματα γύρω από την ασφάλεια δεδομένων, την ενεργειακή κατανάλωση και την κοινωνική αποδοχή.

Το έξυπνο αυτοκίνητο είναι «ένα αυτοκίνητο που συνδυάζει ηλεκτρικές, ηλεκτρονικές και επικοινωνιακές τεχνολογίες για την παροχή υψηλού επιπέδου ασφάλειας, άνεσης και ευκολίας». Σε μια ευρύτερη έννοια, αναφέρεται στην όλη διαδικασία ανάπτυξης

του αυτοκινήτου που εξελίσσεται με γνώμονα την ασφάλεια του περιβάλλοντος και βελτιώνει την ασφάλεια του οδηγού συλλέγοντας πληροφορίες για τις συσκευές εντός του οχήματος καθώς και το γύρω περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο. Σε βάθος χρόνου υπάρχει μεγάλη αισιοδοξία ότι αν όχι όλες, κάποιες από τις τεχνολογίες του μέλλοντος θα καθιστούν την αυτοκίνηση εύκολη και ασφαλή για όλους. Αυτός ο στόχος θα επιτευχθεί επειδή η εφαρμογή των πρόσφατων τεχνολογιών IoT στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας ανοίγει καινοτόμες ευκαιρίες για την αυτοκίνηση του μέλλοντος, όπου τα συνδεδεμένα αυτοκίνητα θα είναι όλο και πιο εμφανή στις έξυπνες πόλεις.

Τα στατιστικά δείχνουν μία σταδιακή αύξηση των αριθμών των έξυπνων αυτοκινήτων. Σύμφωνα με το statista, με εξαίρεση την χρονιά 2020 όπου ξεκίνησε η πανδημία, τα δεδομένα δείχνουν μία συνεχή αύξηση των έξυπνων αυτοκινήτων. Όσο θα αυξάνονται και θα δημιουργούνται καινούργια συστήματα, τόσο μεγαλύτερη θα γίνεται και η ζήτηση.

Εικόνα 1: Πωλήσεις έξυπνων αυτοκινήτων ανά τα χρόνια και μελλοντική εκτίμηση



Παρά τα σημαντικά οφέλη, τα έξυπνα αυτοκίνητα αντιμετωπίζουν πέντε κεντρικές προκλήσεις. Την κοινωνική αποδοχή, την ενεργειακή διάσταση, την κυβερνοασφάλεια, το νομικό πλαίσιο και το οικονομικό κόστος. Αυτές οι προκλήσεις σταδιακά και με το χρόνο θα εξαλείφονται ή θα αναδεικνύουν ακόμα περισσότερο το πρόβλημα. Όσο οι επιστήμονες θα βρίσκουν λύσεις στα προβλήματα, το μόνο σίγουρο είναι πως θα υπάρξει και περισσότερη αξιοπιστία χωρίς να είναι βέβαιο αν θα καταφέρουμε να φτάσουμε ένα επιθυμητό αποτέλεσμα.

Καθοριστικός είναι ο παράγοντας της κοινωνικής αποδοχής. Παρά τις θετικές προσδοκίες, μερίδα χρηστών παραμένει επιφυλακτική ως προς την ιδιωτικότητα και την ασφάλεια των δεδομένων τους, ενώ άλλοι είναι πρόθυμοι να πληρώσουν παραπάνω για υπηρεσίες που εγγυώνται καλύτερη προστασία προσωπικών πληροφοριών. Έτσι, οι

κατασκευαστές και οι πάροχοι υπηρεσιών καλούνται να αποδείξουν ότι οι τεχνολογίες αυτές προσφέρουν σαφή και χειροπιαστή αξία στην καθημερινότητα.

Καθώς τα οχήματα αποτελούν πλέον κόμβους συνδεδεμένους στο διαδίκτυο, καθίστανται ευάλωτα σε επιθέσεις που μπορεί να στοχεύουν είτε την ιδιωτικότητα των χρηστών είτε την ίδια τη λειτουργικότητα των οχημάτων. Η πρόσβαση ενός κακόβουλου χρήστη στο λογισμικό του οχήματος μπορεί να οδηγήσει σε επικίνδυνα σενάρια: από την παρακολούθηση των κινήσεων του οδηγού, έως την εξ αποστάσεως ακινητοποίηση ή αλλοίωση κρίσιμων λειτουργιών, όπως τα φρένα και το τιμόνι. Σύμφωνα με μελέτες, η πολυπλοκότητα του οικοσυστήματος (αισθητήρες, εφαρμογές, δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, cloud) αυξάνει εκθετικά τα πιθανά σημεία ευπάθειας. Η ανάπτυξη διεθνών προτύπων ασφάλειας, η χρήση κρυπτογράφησης και η τακτική αναβάθμιση λογισμικού αποτελούν βασικά εργαλεία, ωστόσο η πλήρης εξάλειψη του κινδύνου θεωρείται αδύνατη. Αυτό σημαίνει ότι η ασφάλεια πρέπει να αντιμετωπίζεται ως διαρκής διαδικασία και όχι ως στατική λύση.

Η συνεχής ροή δεδομένων και οι ανάγκες επεξεργασίας δημιουργούν σημαντική κατανάλωση ενέργειας. Ειδικά για τα ηλεκτρικά οχήματα, η βέλτιστη διαχείριση φόρτισης και η υιοθέτηση τεχνικών ενεργειακής βελτιστοποίησης είναι κρίσιμες

2.3.1 Τα 6 στάδια αυτοματοποίησης των έξυπνων αμαξιών

Μέσα από την εξέλιξη των έξυπνων αυτοκινήτων, υπήρξε η ανάγκη να εμβαθύνουμε περισσότερο στο επίπεδο που θέλουμε να κατατάξουμε την αλληλεπίδραση του επιβάτη με το όχημα. Τα 2 προφανή επίπεδα που θα μπορούσαμε να πούμε ότι υπάρχουν είναι όταν δεν υπάρχει καθόλου αυτοματοποίηση μεταξύ του οδηγού και του αμαξίου και όλα εξαρτώνται από την ικανότητα του οδηγού. Το τελευταίο επίπεδο θα ήταν ο πλήρης έλεγχος του αυτοκινήτου να είναι στο αμάξι και να μην χρειάζεται να παρέμβει καθόλου ο οδηγός. Οι επιστήμονες όλα αυτά τα χρόνια κατάφεραν να κατηγοριοποιήσουν όλα αυτά τα χρόνια τα στάδια αυτοματοποίησης σε 6 επίπεδα. [43]

Επίπεδο 0: No Automation

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει οχήματα στα οποία οι οδηγοί πρέπει να αναλάβουν τον πλήρη χειροκίνητο έλεγχο του αυτοκινήτου. Τα χαρακτηριστικά του οχήματος σε αυτό το επίπεδο είναι ότι δεν υπάρχει καμία υποβοήθεια ή δευτερεύουσα εργασία. Σε αυτό το επίπεδο, τα συστήματα ειδοποίησης υποστηρίζουν τον οδηγό OEDR (Object and Event Detection and Response) και συστήματα που παρεμβαίνουν στιγμιαία στον πλευρικό και διαμήκη έλεγχο του οχήματος για την πρόληψη ή τον μετριασμό συγκρούσεων όπως συστήματα πέδησης σε επικείμενη σύγκρουση. Ο ηλεκτρονικός έλεγχος ευστάθειας

(electronic stability control) περιλαμβάνεται σε αυτό το επίπεδο αυτοματισμού, καθώς δεν αυτοματοποιεί κανένα μέρος του DDT σε σταθερή βάση.

Επίπεδο 1: Driver Assistance

Τα οχήματα επιπέδου 1 περιέχουν ορισμένες ιδιαίτερες δυνατότητες ελέγχου που βοηθούν τον οδηγό να λειτουργεί. Αυτά τα οχήματα έχουν ορισμένα αυτόματα συστήματα, αλλά οι οδηγοί πρέπει να έχουν πρόσβαση σε αυτά χειροκίνητα. Αυτός ο βαθμός αυτοματισμού αποτελείται από:

Αισθητήρες ενεργοποίησης αερόσακων - Ένα σύστημα αερόσακων αποτελείται από τέσσερα βασικά στοιχεία: τον αισθητήρα, το φουσκωτό, τον σάκο, και το εσωτερικό του αυτοκινήτου. Εάν υπάρχει σενάριο ενεργοποίησης αερόσακου, τα συστήματα ανίχνευσης εκκινούν ένα σήμα ή έναν μηχανισμό ενεργοποίησης για να ξεκινήσει η αντίδραση του φουσκωτού. Τα αέρια παράγονται από το φουσκωτό και ρέουν προς τα έξω για να γεμίσουν τη σακούλα. Μετά το φούσκωμα, η τσάντα λειτουργεί ως μαξιλάρι, απορροφώντας την κινητική ενέργεια του επιβάτη. Το εσωτερικό του αυτοκινήτου, όπως το τιμόνι και ταμπλό οργάνων, έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει την εγκατάσταση του αερόσακου. Αερόσακοι, μαζί με άλλες συσκευές συγκράτησης όπως οι ζώνες ασφαλείας και οι προεντατήρες, αποτελούν τη βάση ενός ολοκληρωμένου συστήματος συγκράτησης. Αυτό το επίπεδο περιλαμβάνει επίσης ανίχνευση υπερθέρμανσης κινητήρα, σύστημα παρακολούθησης πίεσης ελαστικών, βοηθός διατήρησης λωρίδας, προσαρμοστικό cruise control, χαμηλό υγρό πλύσης παρμπρίζ και άλλα προβλήματα κινητήρα.

Επίπεδο 2: Partial Automation

Λειτουργίες όπως το τιμόνι, η επιτάχυνση/επιβράδυνση και το φρενάρισμα μπορούν να ελεγχθούν από τα οχήματα, αλλά εάν το σύστημα αποτύχει, ο οδηγός πρέπει να είναι έτοιμος να αναλάβει τον έλεγχο χειροκίνητα. Αυτό το επίπεδο αυτοματισμού περιλαμβάνει τεχνολογίες όπως το Lane Detection και τα αυτόματα Emergency Brakes.

Επίπεδο 3: Conditional Automation

Σε περιπτώσεις όπου η αυτοοδήγηση είναι περιορισμένη, το αυτοκίνητο διατηρεί τον απόλυτο έλεγχο και ειδοποιεί τον οδηγό να τον ανακτήσει εάν απαραίτητος. Επί του παρόντος, υπάρχουν ορισμένες εταιρείες όπως η Tesla και η Audi που κατασκευάζουν αυτοκίνητα 3ο επιπέδου.

Επίπεδο 4: High Automation

Ο οδηγός δεν χρειάζεται να βρίσκεται στη θέση του οδηγού ή να προσέχει το δρόμο. Ωστόσο, ο οδηγός μπορεί να αναλάβει τον έλεγχο σε ασυνήθιστες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει πρωτότυπα αυτοκινήτων της Google. Αυτός ο αυτοματισμός εκτελεί καθήκοντα όπως ο εντοπισμός διαφορετικών τύπων οχημάτων όπως ασθενοφόρα και σχολικά λεωφορεία, ο καθορισμός εάν είναι δυνατές αλλαγές λωρίδας και προσπέραση, και κοινοποίηση του κινδύνου ατυχήματος, μεταξύ άλλων με αποτέλεσμα στην αυτόματη ειδοποίηση προς τον οδηγό σχετικά με την κατάσταση. Επί του παρόντος, δεν υπάρχουν πολλά οχήματα που έχουν αυτές τις λειτουργίες και βρίσκεται ακόμη υπό ανάπτυξη.

Επίπεδο 5: Full Automation

Σε αυτό το επίπεδο, οι οδηγοί δεν έχουν πρόσβαση στη λειτουργία του οχήματός τους. Τα αυτοματοποιημένα ταξί θα εμπίπτουν σε αυτήν την κατηγορία στο μέλλον, όπως και κάθε όχημα που θα είναι εντελώς αυτόνομο. Οι λειτουργίες που περιλαμβάνονται σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνουν τον εντοπισμό ακατάλληλων οδηγών, την καταμέτρηση των επιβατών στο όχημα κ.λπ. επί. Προς το παρόν, αυτό είναι απλώς μια ιδέα γιατί κανένα εντελώς αυτόνομο όχημα δεν έχει καταφέρει να πετύχει χωρίς την εμπλοκή του οδηγού.

Εικόνα 2: Τα 6 στάδια αυτοματοποίησης των αυτοκινήτων

					
0	1	2	3	4	5
No Automation Zero autonomy; the driver performs all driving tasks.	Driver Assistance Vehicle is controlled by the driver, but some driving assist features may be included in the vehicle design.	Partial Automation Vehicle has combined automated functions, like acceleration and steering, but the driver must remain engaged with the driving task and monitor the environment at all times.	Conditional Automation Driver is a necessity, but is not required to monitor the environment. The driver must be ready to take control of the vehicle at all times with notice.	High Automation The vehicle is capable of performing all driving functions under certain conditions. The driver may have the option to control the vehicle.	Full Automation The vehicle is capable of performing all driving functions under all conditions. The driver may have the option to control the vehicle.

Τα 6 επίπεδα αυτοματισμού προσφέρουν μια ολοκληρωμένη προοπτική σχετικά με την εξέλιξη των αυτόνομων οχημάτων. Ως αποτέλεσμα, τα οχήματα του μέλλοντος αναμένεται να προσφέρουν αυξημένη ασφάλεια και αναβαθμισμένες υπηρεσίες ψυχαγωγίας στους χρήστες, αξιοποιώντας τις δυνατότητες του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), ενώ ταυτόχρονα θα επιτυγχάνουν τις προδιαγραφές των επιπέδων 4 και 5 του προτύπου SAE. Παρά τα πλεονεκτήματα, η ερμηνεία δεδομένων από συστήματα τεχνητής νοημοσύνης

ενδέχεται να οδηγήσει σε σφάλματα, όπως εσφαλμένη εντολή για αλλαγή λωρίδας ή επιβράδυνση, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει ατυχείς καταστάσεις. Επιπλέον, το θεσμικό πλαίσιο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια για την ευρεία υιοθέτηση των αυτόνομων οχημάτων, καθώς παραμένει αναπάντητο το ερώτημα της νομικής ευθύνης σε περίπτωση ατυχήματος μεταξύ αυτοκινούμενων αυτοκινήτων.

2.3.2 Παρούσα και μελλοντική εκτίμηση κατάστασης των έξυπνων αυτοκινήτων

Η έννοια των «έξυπνων αυτοκινήτων» έχει απασχολήσει έντονα την επιστημονική και βιομηχανική κοινότητα τις τελευταίες δεκαετίες, καθώς η τεχνολογική πρόοδος στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη συστημάτων συνδεσιμότητας, αυτοματοποίησης και υποστήριξης του οδηγού. Στη σύγχρονη εποχή, η συνδυαστική αξιοποίηση αισθητήρων, τεχνητής νοημοσύνης και υπολογιστικών συστημάτων σε πραγματικό χρόνο έχει αναβαθμίσει τον ρόλο του οχήματος από ένα απλό μέσο μεταφοράς σε μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα κινητικότητας. Τα περισσότερα νέα αυτοκίνητα ενσωματώνουν ήδη τεχνολογίες επιπέδου SAE 2, όπως προσαρμοζόμενο έλεγχο ταχύτητας, υποβοήθηση διατήρησης λωρίδας και αυτόματη πέδηση, δημιουργώντας το υπόβαθρο για την περαιτέρω εξέλιξη προς υψηλότερα επίπεδα αυτονομίας. [44]

Η τρέχουσα κατάσταση της αγοράς χαρακτηρίζεται από αυξανόμενη διείσδυση των συστημάτων προηγμένης υποστήριξης οδηγού (ADAS), τα οποία λειτουργούν ως ενδιάμεσο στάδιο προς τα αυτόνομα οχήματα. Ενδεικτικά, σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, περίπου το ένα τρίτο των νέων οχημάτων που κυκλοφορούν στις μεγαλύτερες αγορές παγκοσμίως διαθέτει τέτοια συστήματα, ενώ έως το 2030 εκτιμάται ότι το ποσοστό αυτό θα φτάσει στο 50%. [44] Η τάση αυτή αποδεικνύει ότι η κοινωνική και θεσμική αποδοχή των «έξυπνων» τεχνολογιών αυξάνεται, αν και η πλήρης αυτοματοποίηση παραμένει περιορισμένη σε πιλοτικά έργα και εξειδικευμένες αγορές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι υπηρεσίες “ρομποτ ταξί” που έχουν εισαχθεί σε ορισμένες πόλεις των ΗΠΑ, οι οποίες προσφέρουν μετακινήσεις χωρίς οδηγό, χρησιμοποιώντας συστήματα επιπέδου SAE 4. [45]

Παράλληλα, η συνδεσιμότητα μέσω του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και ειδικότερα μέσω του Internet of Vehicles (IoV) έχει αναβαθμίσει ριζικά τη λειτουργικότητα των αυτοκινήτων. Τα οχήματα δεν περιορίζονται πλέον στη συλλογή δεδομένων για εσωτερική χρήση, αλλά ανταλλάσσουν πληροφορίες με άλλα οχήματα (V2V), με τις υποδομές (V2I), καθώς και με πεζούς και δίκτυα (V2X). Αυτή η αλληλεπίδραση συμβάλλει στην πρόληψη ατυχημάτων, στη βελτίωση της κυκλοφοριακής ροής και στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου μέσω πιο ορθολογικής διαχείρισης της κίνησης. Σε συνδυασμό με την ανάπτυξη δικτύων 5G και μελλοντικά 6G, οι δυνατότητες επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο καθίστανται όλο και πιο αξιόπιστες και αποδοτικές. [46]

Ωστόσο, η πρόοδος αυτή συνοδεύεται από σημαντικές προκλήσεις. Η κυβερνοασφάλεια αποτελεί ίσως το πιο κρίσιμο ζήτημα, καθώς η συνεχής διασύνδεση των

οχημάτων αυξάνει την έκθεσή τους σε πιθανές κυβερνοεπιθέσεις. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα έξυπνα αυτοκίνητα μπορούν να αποτελέσουν στόχο για κακόβουλες παρεμβάσεις που θέτουν σε κίνδυνο τόσο τα δεδομένα των χρηστών όσο και την ίδια τη σωματική τους ακεραιότητα. [47] Παράλληλα, τα νομοθετικά πλαίσια παραμένουν ετερογενή διεθνώς, με αποτέλεσμα οι κατασκευαστές να βρίσκονται αντιμέτωποι με διαφορετικές απαιτήσεις ανάλογα με την αγορά στην οποία δραστηριοποιούνται.

Όσον αφορά το μέλλον, οι επιστημονικές και βιομηχανικές εξελίξεις δείχνουν ότι η αυτοκινητοβιομηχανία κατευθύνεται προς την ενσωμάτωση συστημάτων επιπέδου SAE 3 και 4 σε εμπορική κλίμακα εντός της επόμενης δεκαετίας. Η ανάπτυξη υπολογιστικών δυνατοτήτων του edge computing θεωρείται κλειδί για την επεξεργασία του τεράστιου όγκου δεδομένων που απαιτείται για την ασφαλή λειτουργία αυτόνομων οχημάτων, καθώς μειώνει την εξάρτηση από απομακρυσμένα κέντρα δεδομένων και εξασφαλίζει μικρότερους χρόνους απόκρισης. Επιπλέον, η ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης θα προσφέρει δυνατότητες πρόβλεψης και βελτιστοποίησης, τόσο σε επίπεδο ασφάλειας όσο και σε θέματα βιώσιμης διαχείρισης ενέργειας και κίνησης.

Συνολικά, η μετάβαση στα έξυπνα αυτοκίνητα δεν περιορίζεται σε τεχνολογικό ζήτημα, αλλά εμπεριέχει κοινωνικές, οικονομικές και πολιτικές διαστάσεις. Η ασφάλεια, η εμπιστοσύνη των χρηστών, οι νομικές ρυθμίσεις και η συνεργασία με τις υποδομές των έξυπνων πόλεων θα καθορίσουν τον ρυθμό και το εύρος της υιοθέτησης. Αν και η πλήρης αυτονομία επιπέδου 5 παραμένει ακόμη μακροπρόθεσμος στόχος, η τρέχουσα δυναμική αποδεικνύει ότι τα έξυπνα αυτοκίνητα θα αποτελέσουν θεμέλιο λίθο της μελλοντικής κινητικότητας, συνδυάζοντας καινοτομία, ασφάλεια και βιωσιμότητα.

2.4 Τεχνολογίες των έξυπνων αυτοκινήτων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε σε όλες αυτές τις τεχνολογίες που ήδη εφαρμόζονται στα σημερινά αυτοκίνητα. Πολλά από αυτά τα συστήματα θεωρούνται δεδομένα για τη συγχρονη αυτοκίνηση, ενώ άλλα είναι βοηθητικά και λιγότερο γνωστά στο ευρύ κοινό. Τέλος, θα αναφερθούν κάποιες από τις λειτουργίες που βρίσκονται στα σύγχρονα τιμόνια και κάνουν την ζωή του οδηγού ευκολότερη και καλύτερη.

Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)

Τα Συστήματα Προηγμένης Υποβοήθησης Οδηγού (ADAS) αποτελούν θεμελιώδη τεχνολογία στην πορεία προς την αυτόνομη οδήγηση. Βασίζονται στη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων μέσω αισθητήρων, καμερών, ραντάρ και συστημάτων lidar, τα οποία συνεργάζονται για να ενισχύσουν την επίγνωση του οδηγού και να παρέχουν έγκαιρες προειδοποιήσεις ή ακόμη και αυτόνομες παρεμβάσεις. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν το αυτόματο φρενάρισμα έκτακτης ανάγκης (ABS), η προσαρμοζόμενη ρύθμιση

ταχύτητας (adaptive cruise control), η υποβοήθηση διατήρησης λωρίδας (lane keeping assist) και η παρακολούθηση τυφλών σημείων. Τα συστήματα αυτά δεν αντικαθιστούν πλήρως τον οδηγό, αλλά λειτουργούν συμπληρωματικά, περιορίζοντας τα ανθρώπινα λάθη που αποτελούν την κύρια αιτία τροχαίων ατυχημάτων. Σύμφωνα με έρευνες, η χρήση ADAS μπορεί να μειώσει σημαντικά τη σοβαρότητα των συγκρούσεων και να συμβάλει στην επίτευξη ασφαλέστερων συνθηκών οδήγησης, ιδίως σε συνθήκες υψηλής κυκλοφοριακής πυκνότητας. [48] Όλες οι παρακάτω τεχνολογίες που θα αναφερθούν μπορούν να μπου στην κατηγορία του ADAS.

Park Assist

Το Park Assist, γνωστό και ως Parking Assistance, αναφέρεται σε μια τεχνολογία που έχει σχεδιαστεί για να βοηθά τους οδηγούς να παρκάρουν τα οχήματά τους με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Αυτό το χαρακτηριστικό έχει γίνει ολοένα και πιο συνηθισμένο στα σύγχρονα οχήματα, αξιοποιώντας αισθητήρες και προηγμένους αλγόριθμους που βοηθούν τους οδηγούς στην πλοήγηση τους σε χώρους στάθμευσης. Στην Ελλάδα, όπως και σε πολλές άλλες χώρες, τα συστήματα Park Assist ενσωματώνονται στα αυτοκίνητα για να βελτιώσουν τη συνολική οδηγική εμπειρία και να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις που σχετίζονται με τη στάθμευση σε αστικά περιβάλλοντα.

Τα βασικά στοιχεία του Park Assist περιλαμβάνουν:

1. Αισθητήρες υπερήχων (**Ultrasonic Sensors**): Αυτοί οι αισθητήρες τοποθετούνται συχνά στον μπροστινό και τον πίσω προφυλακτήρα του οχήματος. Χρησιμοποιούν υπερηχητικά κύματα για να ανιχνεύουν κοντινά εμπόδια, όπως άλλα οχήματα, τοίχους ή αντικείμενα, και παρέχουν ανάδραση σε πραγματικό χρόνο στον οδηγό.
2. Συστήματα κάμερας (**Camera systems**): Ορισμένα συστήματα υποβοήθησης στάθμευσης είναι εξοπλισμένα με κάμερες, οι οποίες παρέχουν οπτικά βοηθήματα στον οδηγό. Αυτές οι κάμερες μπορούν να προσφέρουν θέα 360 μοιρών γύρω από το όχημα, διευκολύνοντας τον οδηγό να εκτιμήσει το χώρο στάθμευσης και να αποφύγει τις συγκρούσεις.
3. Σύστημα καθοδηγούμενης στάθμευσης (**Parking Guidance System**). Αυτή η δυνατότητα βοηθά τον οδηγό παρέχοντας καθοδήγηση στην οθόνη ή ηχητική καθοδήγηση κατά τη διαδικασία στάθμευσης. Μπορεί να περιλαμβάνει οπτικές ενδείξεις, όπως έγχρωμες γραμμές ή σύμβολα, για να δείξει την ιδανική διαδρομή για στάθμευση.
4. Αυτοματοποιημένη στάθμευση (**Automated Parking**) : Σε πιο προηγμένα συστήματα, η δυνατότητα Park Assist μπορεί να έχει δυνατότητες αυτοματοποιημένης στάθμευσης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το όχημα μπορεί να αναλάβει ορισμένες πτυχές της διαδικασίας στάθμευσης, όπως το τιμόνι, η

επιτάχυνση και το φρενάρισμα. Ο οδηγός συνήθως διατηρεί τον έλεγχο άλλων λειτουργιών, όπως η αλλαγή ταχυτήτων και η παρακολούθηση του περιβάλλοντος χώρου.

5. Διεπαφή χρήστη (**User Interface**): Το σύστημα υποβοήθησης στάθμευσης επικοινωνεί με τον οδηγό μέσω μιας φιλικής προς τον χρήστη διεπαφής, η οποία εμφανίζεται συχνά στην οθόνη ενημέρωσης και ψυχαγωγίας του οχήματος. Αυτή η διεπαφή παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την εγγύτητα των εμποδίων και τους προτεινόμενους ελιγμούς για επιτυχή στάθμευση.

[49]

Night Vision Systems

Τα συστήματα νυχτερινής όρασης χρησιμοποιούν υπέρυθρες κάμερες για να επεκτείνουν την ορατότητα του οδηγού σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Ο εξοπλισμός αυτός μπορεί να εντοπίζει πεζούς, ζώα ή αντικείμενα πολύ πριν αυτά γίνουν αντιληπτά από τα συμβατικά φώτα. Η τεχνολογία αυτή, αν και συναντάται κυρίως σε πολυτελή οχήματα, αναμένεται να διαδοθεί ευρύτερα λόγω της μείωσης του κόστους. Μελέτες υποστηρίζουν ότι τέτοιες εφαρμογές βελτιώνουν τον χρόνο αντίδρασης του οδηγού, γεγονός που μπορεί να αποτρέψει σοβαρά ατυχήματα κατά τη νυχτερινή οδήγηση. [49]

Traffic Sign Recognition

Το Traffic Sign Recognition (TSR) είναι ένα σύστημα που επιτρέπει στο όχημα να αναγνωρίζει την οδική σήμανση, όπως πινακίδες ταχύτητας, πινακίδες STOP, πινακίδες προτεραιότητας και άλλες πινακίδες κυκλοφορίας. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως μέσω χρήσης καμερών και επεξεργασίας εικόνας. Το σύστημα TSR λειτουργεί παρακολουθώντας συνεχώς το περιβάλλον του οχήματος για την ανίχνευση οδικών σημάτων. Όταν εντοπίζει μια οδική πινακίδα, αναγνωρίζει το είδος της πινακίδας και τη σημασία της, όπως το όριο ταχύτητας ή ένα προειδοποιητικό σήμα.

Το TSR μπορεί να είναι χρήσιμο για τους οδηγούς σε πολλούς τρόπους, συμπεριλαμβανομένου του να τους βοηθήσει να τηρούν τους κανονισμούς ταχύτητας και να προσαρμόζουν την οδήγησή τους ανάλογα με τις συνθήκες κυκλοφορίας. Επίσης, μπορεί να λειτουργήσει συμπληρωματικά με άλλα συστήματα όπως το Adaptive Cruise Control και το Lane Assist για μια πιο ολοκληρωμένη εμπειρία οδήγησης και αύξηση της ασφάλειας. [50]

Head-Up Displays (HUD)

Τα Head-Up Displays (HUD) έχουν σχεδιαστεί ώστε να μειώνουν την απόσπαση προσοχής του οδηγού, προβάλλοντας τις βασικές πληροφορίες απευθείας στο οπτικό του πεδίο, πάνω στο παρμπρίζ. Με αυτόν τον τρόπο, ο οδηγός δεν χρειάζεται να μετακινεί το βλέμμα του προς τον πίνακα οργάνων, διατηρώντας συνεχώς την προσοχή του στο δρόμο. Η τεχνολογία αυτή αρχικά προήλθε από τον χώρο της αεροναυπηγικής, αλλά τα τελευταία χρόνια έχει ενσωματωθεί σε οχήματα, συμβάλλοντας στη βελτίωση της οδηγικής εμπειρίας και της ασφάλειας. Οι πληροφορίες που προβάλλονται μπορεί να περιλαμβάνουν την ταχύτητα, οδηγίες πλοήγησης, σήματα κυκλοφορίας που έχουν ανιχνευθεί, καθώς και ειδοποιήσεις από τα ADAS.

Electronic Stability Control (ESC)

Το Electronic Stability Control (ESC) αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες ασφάλειας που έχουν υιοθετηθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Το σύστημα ανιχνεύει αποκλίσεις στην πορεία του οχήματος και επεμβαίνει επιλεκτικά στα φρένα ή στη ροπή του κινητήρα ώστε να διατηρείται η σταθερότητα, αποτρέποντας φαινόμενα όπως η υπερστροφή ή η υποστροφή. Η τεχνολογία αυτή είναι ιδιαίτερα κρίσιμη σε ολισθηρούς δρόμους ή κατά τη διάρκεια απότομων ελιγμών αποφυγής.

Adaptive Lighting Systems

Η τεχνολογία προσαρμοζόμενου φωτισμού (adaptive headlights) συμβάλλει καθοριστικά στη βελτίωση της ορατότητας του οδηγού σε ποικίλες συνθήκες οδήγησης. Σε αντίθεση με τους συμβατικούς προβολείς, οι προσαρμοζόμενοι προβολείς ρυθμίζουν τη δέσμη φωτός ανάλογα με την κατεύθυνση του τιμονιού, την ταχύτητα και την κλίση του δρόμου.

Driver Monitoring Systems (DMS)

Τα Συστήματα Παρακολούθησης Οδηγού (Driver Monitoring Systems) αποτελούν μια από τις πλέον καινοτόμες εφαρμογές, εστιάζοντας άμεσα στον ανθρώπινο παράγοντα. Μέσω καμερών που παρακολουθούν τα μάτια, το κεφάλι και την κατεύθυνση του βλέμματος, αλλά και μέσω βιομετρικών αισθητήρων, τα DMS μπορούν να ανιχνεύουν σημάδια κόπωσης, υπνηλίας ή απόσπασης προσοχής. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το όχημα μπορεί να εκδίδει προειδοποιητικά σήματα ή ακόμη και να αναλάβει αυτόνομη δράση, όπως μείωση ταχύτητας ή στάση. Δεδομένου ότι η κόπωση και η απόσπαση προσοχής συγκαταλέγονται στις κύριες αιτίες ατυχημάτων, τα DMS θεωρούνται κρίσιμα για τη μείωση αυτών των

περιστατικών και αναμένεται να αποτελέσουν βασικό στοιχείο στη μελλοντική εξέλιξη των αυτόνομων οχημάτων.

Το συγκεκριμένο σύστημα ήταν η αφορμή για τη δημιουργία των δύο αισθητήριων οργάνων της παρούσας εργασίας, ενός συστήματος που θα μπορούσε να συνδυαστεί με το (DMS) και να τελειοποιήσει τη φόρμουλα.

2.4.1 Τεχνολογίες ενός "έξυπνου τιμονιού"

Η ιδέα ενός “έξυπνου τιμονιού” έχει ως βασικό γνώμονα ότι είναι το κοντινότερο και πιο άμεσο όργανο επικοινωνίας μεταξύ αυτοκινήτου και οδηγού. Η επικοινωνία αυτή μέσω των τεχνολογιών του IoT μπορεί να γίνει αποδοτικότερη και πιο άμεση, καθώς μέσω της επαφής που έχουμε με το τιμόνι, όπου μπορούν να συλλέγονται πληροφορίες για την κατάσταση του οδηγού. Το τιμόνι των σύγχρονων οχημάτων έχει εξελιχθεί σημαντικά, ενσωματώνοντας προηγμένες τεχνολογίες που ενισχύουν την ασφάλεια, την άνεση και την οδηγική εμπειρία. Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

1. Ενσωματωμένα Χειριστήρια και Διασυνδεσιμότητα

- **Πλήκτρα Ελέγχου Πολυμέσων:** Επιτρέπουν στον οδηγό να ρυθμίζει την ένταση του ήχου, να αλλάζει σταθμούς ή κομμάτια, χωρίς να αποσπάται η προσοχή του από τον δρόμο.
- **Διαχείριση Κλήσεων:** Κουμπιά που διευκολύνουν την απάντηση ή τον τερματισμό τηλεφωνικών κλήσεων μέσω συστημάτων Bluetooth, προάγοντας την ασφάλεια κατά την οδήγηση.
- **Φωνητικές Εντολές:** Επιτρέπουν στον οδηγό να ελέγχει λειτουργίες του οχήματος, όπως η πλοήγηση ή η αναπαραγωγή μουσικής, χρησιμοποιώντας φωνητικές εντολές, μειώνοντας την ανάγκη για χειροκίνητες ρυθμίσεις.
- **Συστήματα Διασύνδεσης:** Τεχνολογίες όπως το Apple CarPlay και το Android Auto επιτρέπουν την απρόσκοπτη ενσωμάτωση των smartphone με το σύστημα ψυχαγωγίας του οχήματος, προσφέροντας πρόσβαση σε εφαρμογές και υπηρεσίες μέσω του τιμονιού.

2. Προηγμένα Συστήματα Διεύθυνσης

- **Steer-by-Wire (SbW):** Αντικαθιστά τους παραδοσιακούς μηχανικούς συνδέσμους μεταξύ του τιμονιού και των τροχών με ηλεκτρονικά σήματα. Αυτό προσφέρει

ακριβέστερο έλεγχο, μειωμένο βάρος και ευελιξία στον σχεδιασμό του εσωτερικού χώρου. Η τεχνολογία αυτή έχει υιοθετηθεί από οχήματα όπως το NIO ET9 και το Toyota bZ4X.

- **Προσαρμοζόμενη Διάμετρος Τιμονιού:** Η Toyota έχει αναπτύξει ένα τιμόνι που μπορεί να αλλάζει διάμετρο ανάλογα με τις συνθήκες οδήγησης, βελτιώνοντας την απόκριση και την ασφάλεια.

3. Τεχνολογίες Ασφάλειας και Υποβοήθησης

- **Ανίχνευση Χεριών:** Συστήματα που διασφαλίζουν ότι ο οδηγός έχει τα χέρια του στο τιμόνι, ιδιαίτερα σημαντικά σε οχήματα με δυνατότητες αυτόνομης οδήγησης.
- **Ανατροφοδότηση μέσω Δόνησης:** Το τιμόνι μπορεί να δονείται για να προειδοποιήσει τον οδηγό σε περιπτώσεις όπως η ακούσια αλλαγή λωρίδας, ενισχύοντας την επίγνωση και την ασφάλεια.
- **Θερμαινόμενο Τιμόνι:** Προσφέρει αυξημένη άνεση σε ψυχρές καιρικές συνθήκες, επιτρέποντας στον οδηγό να διατηρεί ζεστά τα χέρια του.

4. Οθόνες και Ψηφιακές Ενδείξεις

- **Head-Up Display (HUD):** Προβάλλει κρίσιμες πληροφορίες, όπως η ταχύτητα και οι οδηγίες πλοήγησης, απευθείας στο παρμπρίζ, μειώνοντας την ανάγκη του οδηγού να απομακρύνει το βλέμμα του από τον δρόμο.
- **Ενσωματωμένες Οθόνες:** Ορισμένα σύγχρονα τιμόνια διαθέτουν ενσωματωμένες οθόνες αφής ή LED, παρέχοντας πληροφορίες και επιτρέποντας τον έλεγχο διαφόρων λειτουργιών του οχήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

3.1. Οδικά ατυχήματα υπό την επίδραση αλκοόλ - Διεθνής και ελληνική εικόνα, τάσεις και παρεμβάσεις

Η κατανάλωση αλκοόλ συνιστά έναν από τους πλέον τεκμηριωμένους παράγοντες κινδύνου για θανατηφόρα και σοβαρά οδικά ατυχήματα. Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας αναγνωρίζει τη μέθη κατά την οδήγηση ως βασική αιτία θνησιμότητας και επισημαίνει ότι οι πολιτικές ελέγχου της οδήγησης υπό την επήρεια (π.χ. καθορισμός ορίων BAC, συστηματικοί έλεγχοι) αποτελούν κρίσιμο σκέλος των εθνικών στρατηγικών οδικής ασφάλειας. Το Global status report on road safety 2023 υπογραμμίζει ότι χώρες με χαμηλά νομικά όρια BAC και ενεργητική αστυνόμευση έχουν χαμηλότερους δείκτες θανάτων από τροχαία συγκριτικά με χώρες όπου οι έλεγχοι είναι αποσπασματικοί. [51]

Στην Ευρώπη, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναφέρει ότι ένα σημαντικό ποσοστό των θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων οφείλεται στην κατανάλωση αλκοόλ πριν την οδήγηση, παρά το γεγονός ότι την τελευταία δεκαετία έχουν σημειωθεί βελτιώσεις. Επιπλέον, τονίζεται ότι υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση ανάμεσα στα κράτη-μέλη όσον αφορά τα όρια αλκοόλ στο αίμα και τα μέτρα ελέγχου, κάτι που αποτυπώνεται και στις διαφορές των εθνικών στατιστικών. Αντίστοιχες μελέτες στη Βόρεια Αμερική δείχνουν πως περίπου το ένα τρίτο των θανατηφόρων τροχαίων περιστατικών περιλαμβάνει οδηγούς με επίπεδα BAC $\geq 0,08\%$, ενώ ιδιαίτερα ανησυχητικό είναι το ποσοστό των περιστατικών που αφορούν οδηγούς με ακόμη υψηλότερες μετρήσεις ($\geq 0,15\%$). Παρότι τα στοιχεία αυτά προέρχονται από διαφορετικό νομοθετικό πλαίσιο, αναδεικνύουν τη σοβαρότητα του προβλήματος και την ανάγκη για αποτελεσματικές παρεμβάσεις. [52]

Η διεθνής βιβλιογραφία επιβεβαιώνει συστηματικά την ισχυρή σχέση μεταξύ αλκοόλ και κινδύνου. Μέτα-αναλύσεις για τους ελέγχους νηφαλιότητας (sobriety checkpoints) δείχνουν μειώσεις της τάξης του 9–26% σε θανατηφόρα ατυχήματα που σχετίζονται με αλκοόλ, όταν οι έλεγχοι είναι συστηματικοί και δημοσιοποιημένοι. Αντίστοιχα, προγράμματα τυχαίων ελέγχων αλκοόλης (Random Breath Testing, RBT) έχουν συνδεθεί με άμεσες και διατηρούμενες μειώσεις στα ατυχήματα, ιδίως σε χώρες με μακρά παράδοση εφαρμογής τους. Επιπλέον, παρεμβάσεις όπως η μείωση του νόμιμου ορίου BAC σε 0,05 g/dl έχουν τεκμηριωθεί ότι μειώνουν σημαντικά τους δείκτες θανάτων και σοβαρών τραυματισμών, ενώ οι αλκοολικές διακοπές ανάφλεξης (ignition interlocks) για παραβάτες μειώνουν ουσιαστικά την υποτροπή όσο παραμένουν εγκατεστημένες. [53]

Στην Ελλάδα, το νομικό όριο συγκέντρωσης αλκοόλης στο αίμα είναι 0,5 g/L για τους περισσότερους οδηγούς και 0,2 g/L για νέους/άπειρους και επαγγελματίες οδηγούς. Το

ισχύον πλαίσιο προβλέπει κλιμακωτές κυρώσεις (χρηματικά πρόστιμα, διοικητικές αφαιρέσεις άδειας, και για πολύ υψηλά BAC και υποτροπές, ποινικές κυρώσεις).

Ως προς τα μεγέθη, τα επίσημα στοιχεία που συνοψίζει ο European Transport Safety Council αναφέρουν 36 θανάτους σχετιζόμενους με αλκοόλ το 2018 (σε σύνολο 700) και 34 το 2019 (σε σύνολο 688). Ο ίδιος φορέας σημειώνει ότι, όπως και στα περισσότερα κράτη, η πραγματική συμβολή του αλκοόλ στα θανατηφόρα ατυχήματα είναι πιθανότατα υψηλότερη από ό,τι καταγράφουν οι διοικητικές θέσεις λόγω ατελών ελέγχων και μεθοδολογικών διαφορών, και εκτιμάται συχνά στην περιοχή 23–25%. Το πρόβλημα της υποκαταγραφής αναδεικνύεται και από ελληνικές πηγές: μέρος των εμπλεκόμενων οδηγών σε ατυχήματα δεν υποβάλλεται συστηματικά σε βιολογικούς ή εκπνεόμενους ελέγχους, γεγονός που οδηγεί σε υποεκτίμηση του φαινομένου στα επίσημα στατιστικά. [54]

Συμπληρωματικά, ελληνικές μελέτες νεκροτομικού/τοξικολογικού προφίλ δείχνουν σημαντική συμμετοχή του αλκοόλ (και/ή άλλων ψυχοδραστικών ουσιών) στους θανάτους από τροχαία, ιδίως σε μητροπολιτικές περιοχές. Για παράδειγμα, παλαιότερη έρευνα στην Αττική κατέδειξε ότι περίπου το ένα τρίτο των θανατηφόρων συγκρούσεων συνδέεται με αλκοόλ και/ή ουσίες, με υψηλότερη προνοσοκομειακή θνησιμότητα στους θετικούς τοξικολογικά. Νεότερη ελληνική μελέτη (2011–2017) επιβεβαιώνει τη σταθερή παρουσία αλκοόλ σε σημαντικό ποσοστό θανατηφόρων περιστατικών και υπογραμμίζει την ανάγκη για πιο συστηματικές τοξικολογικές διερευνήσεις. [55]

Στην Ελλάδα, η Ελληνική Αστυνομία διενεργεί ελέγχους αλκοόλης (συμπεριλαμβανομένων τυχαίων ελέγχων), ωστόσο η δημοσιοποίηση συνήθως περιορίζεται στον αριθμό των παραβάσεων, ενώ δεν εφαρμόζεται καθολικός και συστηματικός έλεγχος σε όλους τους εμπλεκόμενους. Η πρακτική αυτή αφήνει περιθώρια ενίσχυσης ως προς τη συχνότητα, τη μεθοδολογία και την επικοινωνία των ελέγχων. Σε επίπεδο πολιτικής, το Εθνικό Στρατηγικό Σχέδιο Οδικής Ασφάλειας προβλέπει στοχευμένους ελέγχους και εκστρατείες ευαισθητοποίησης, ιδίως σε τουριστικές περιοχές και περιόδους υψηλού κινδύνου, ενώ εξετάζεται η αξιοποίηση αλκοολικών διακοπών σε σχήματα αποκατάστασης για υποτροπιάζοντες. Στον άξονα της εκπαίδευσης/ευαισθητοποίησης, το Ινστιτούτο Οδικής Ασφάλειας «Πάνος Μυλωνάς» υλοποιεί επί σειρά ετών προγράμματα πρόληψης (π.χ. European Night Without Accidents, εκπαιδευτικές δράσεις σε εφήβους), τα οποία συνεισφέρουν στην αλλαγή στάσεων και προθέσεων, ιδίως όταν συνδυάζονται με ορατή αστυνόμευση. [56]

Σε επίπεδο τεχνολογίας οχημάτων, το ευρωπαϊκό κανονιστικό πλαίσιο επιβάλλει σταδιακά τη διασύνδεση για εγκατάσταση alcohol interlock σε νέα οχήματα (υποχρεωτική «διεπαφή» από το 2022 για νέους τύπους και, μεταγενέστερα, για όλα τα νέα οχήματα), γεγονός που διευκολύνει την εφαρμογή προγραμμάτων σε εθνικό επίπεδο για οδηγούς που χαρακτηρίζονται υψηλού κινδύνου. Η οριζόντια αυτή απαίτηση δεν ισοδυναμεί με αυτόματη εγκατάσταση, αλλά αίρει τεχνικά εμπόδια και δημιουργεί ένα εργαλείο πολιτικής για τα κράτη-μέλη.

Η ακριβής εκτίμηση του ποσοστού τροχαίων που σχετίζονται με την κατανάλωση αλκοόλ επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο με τον οποίο ορίζεται το «αλκοοληπτό ατύχημα», αλλά και από το πόσο διαθέσιμα και πλήρη είναι τα τοξικολογικά στοιχεία.

Διεθνείς φορείς επισημαίνουν ότι τα περιστατικά συχνά υπο καταγράφονται, ιδιαίτερα όταν δεν πραγματοποιούνται συστηματικοί έλεγχοι σε όλους τους εμπλεκόμενους οδηγούς ή όταν οι τοξικολογικές εξετάσεις γίνονται με καθυστέρηση. Για να υπάρχει συγκρισιμότητα μεταξύ χωρών και μελετών, προτείνεται η χρήση κοινών, σαφών κριτηρίων—όπως ο χαρακτηρισμός ενός ατυχήματος όταν τουλάχιστον ένας οδηγός έχει BAC πάνω από 0,5 g/L ή 0,8 g/dL—καθώς και η ενίσχυση των διαδικασιών ελέγχου ώστε τα δεδομένα να είναι πιο αξιόπιστα.

Η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι ο συνδυασμός χαμηλών ορίων BAC, πυκνών και δημοσιοποιημένων ελέγχων, στοχευμένων κυρώσεων και τεχνολογικών μέτρων (π.χ. alcohol interlocks για παραβάτες) επιφέρει μετρήσιμες μειώσεις στα ατυχήματα που σχετίζονται με αλκοόλ. Για την Ελλάδα, οι προτεραιότητες που αναδύονται είναι: ενίσχυση της συστηματικότητας και της δημοσιότητας των ελέγχων (ώστε να αυξηθεί η αποτρεπτική ισχύς), πληρέστερη τοξικολογική διερεύνηση σε σοβαρά/θανατηφόρα συμβάντα (για καλύτερη παρακολούθηση του δείκτη), και πιλοτική/στοχευμένη εφαρμογή διακοπών ανάφλεξης σε σχήματα αποκατάστασης υψηλού κινδύνου, σε συνδυασμό με συνεχιζόμενες εκπαιδευτικές δράσεις. Η ευθυγράμμιση με τις ευρωπαϊκές τεχνολογικές απαιτήσεις διευκολύνει τον πρακτικό σχεδιασμό τέτοιων προγραμμάτων.

3.1.1 Οδηγική συμπεριφορά και αλλαγές στο σύστημα οδήγησης

Η οδηγική συμπεριφορά καθορίζεται από έναν συνδυασμό γνωστικών, φυσιολογικών και περιβαλλοντικών παραγόντων: προσοχή, κόπωση, χρήση αλκοόλ ή άλλων ουσιών, απόσπαση προσοχής και τη γενική φυσική κατάσταση του οδηγού. Τις τελευταίες δεκαετίες, η εμφάνιση τεχνολογιών υποβοήθησης οδήγησης (γνωστών ως ADAS) και πρώτων επιπέδων αυτοματοποίησης έχει μεταβάλει σημαντικά αυτό το μοντέλο: οι οδηγοί πλέον εμπιστεύονται μέρος της οδήγησης στο όχημα, κάτι που μπορεί να μειώσει το φόρτο εργασίας αλλά ταυτόχρονα να αυξήσει τον κίνδυνο αδράνειας ή υπερβολικής εμπιστοσύνης στο σύστημα.

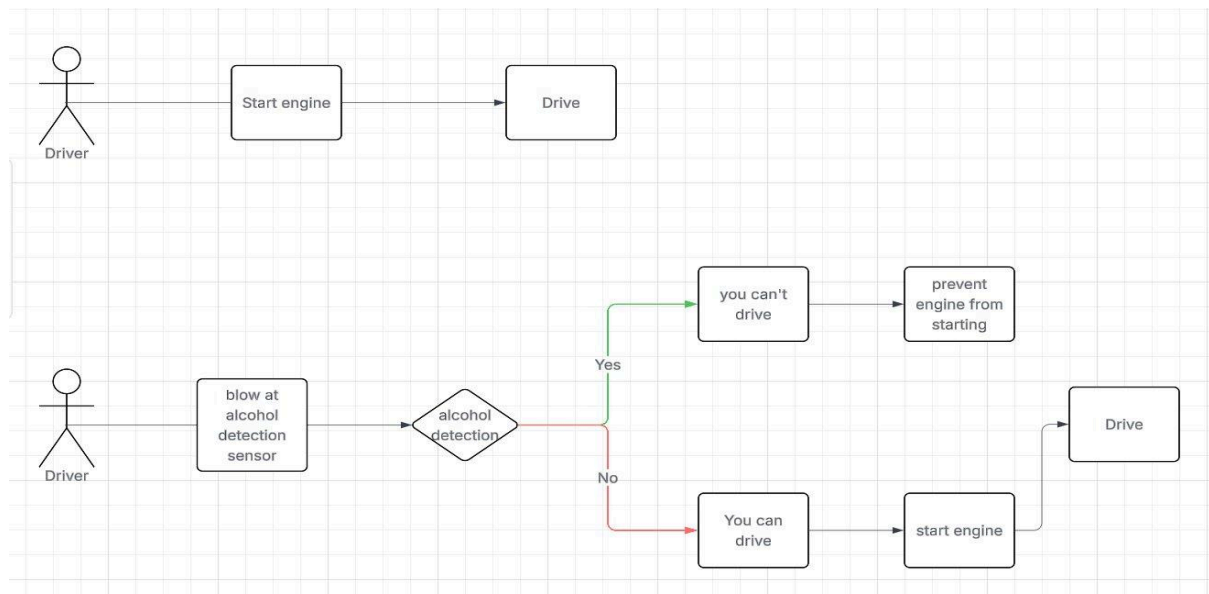
Ένα φυσικό επακόλουθο αυτής της αλλαγής είναι η χρήση συστημάτων παρακολούθησης οδηγού (Driver Monitoring Systems, DMS), τα οποία χρησιμοποιούν πολυαισθητήρια δεδομένα, όπως κάμερες που παρακολουθούν το πρόσωπο και τα μάτια του οδηγού, δεδομένα από το όχημα (τάση διατήρησης λωρίδας, επιτάχυνση, στάση) και βιομετρικές μετρήσεις (καρδιακοί παλμοί, μεταβλητότητα καρδιακού ρυθμού) για να εκτιμούν ανά πάσα στιγμή την κατάσταση του οδηγού (κόπωση, μέθη, συγκέντρωση).

Ιδιαίτερα στον τομέα της ανίχνευσης μέθης, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για λύσεις που δεν απαιτούν παθητική συμμετοχή του οδηγού: για παράδειγμα, αισθητήρες ενσωματωμένοι στο τιμόνι, συσκευές αναπνοής μέσα στο αυτοκίνητο ή έμμεσες εκτιμήσεις μέσω της ανάλυσης της συμπεριφοράς οδήγησης και των βιοσημάτων. Παρά το γεγονός ότι τα νομικά αλκοτέστ (αναπνευστικά ή αιματολογικά) παραμένουν το «χρυσό πρότυπο», έρευνες δείχνουν ότι η συνδυαστική χρήση μοντέλων συμπεριφοράς οδήγησης και

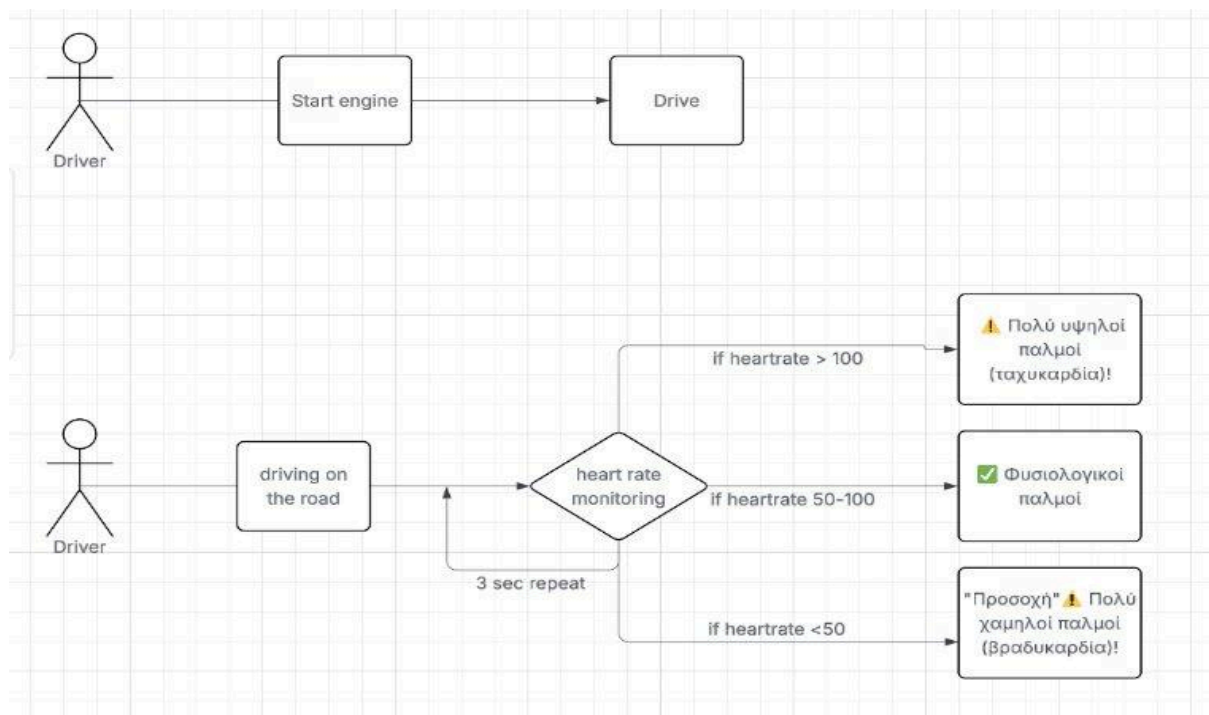
βιοσημάτων μπορεί να βελτιώσει την έγκαιρη ανίχνευση μέθης σε περιβάλλοντα πειραματικής αξιολόγησης.

Μέσα από τα παρακάτω διαγράμματα UML προσδιορίζουμε τις αλλαγές που θέλουμε να φέρουμε και τη συνεισφορά μας στο έργο για μεγαλύτερη ασφάλεια των οδηγών στο δρόμο. Ουσιαστικά έχουμε την τωρινή συνθήκη και την περίπτωση με τους αισθητήρες μας. Αυτό γίνεται κυρίως για να προσδιορίσουμε το τι θέλουμε να επιλύσουμε καθώς και με ποιόν τρόπο θα λειτουργεί το σύστημα μας.

Εικόνα 3: Η Περίπτωση του Αισθητήρα Αλκοόλ



Εικόνα 4: Η Περίπτωση του Αισθητήρα καρδιακών παλμών



3.1.2 Connected Vehicle και Monitor του οδηγού

Η έννοια του «Connected Vehicle» (συνδεδεμένου οχήματος) αναφέρεται σε οχήματα που διαθέτουν δυνατότητες αμφίδρομης επικοινωνίας με άλλες οντότητες (π.χ. δίπλα οχήματα, υποδομές, cloud υπηρεσίες) και μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για βελτίωση της ασφάλειας, της απόδοσης και της εμπειρίας του χρήστη. Η ενσωμάτωση βιοϊατρικών αισθητήρων εντός του οχήματος και η δυνατότητα αποστολής των μετρούμενων δεδομένων στο περιβάλλον (π.χ. σε άλλους χρήστες ή σε υποδομές) αποτελεί ένα σημαντικό επόμενο βήμα για την ενίσχυση της ασφάλειας και της πρόληψης ατυχημάτων.

Ο βασικός στόχος μιας τέτοιας λύσης είναι η συνεχής παρακολούθηση της κατάστασης του οδηγού: με τη χρήση του ECG AD8232 μπορούμε να παρακολουθούμε τις μεταβολές στον καρδιακό ρυθμό (π.χ. ταχυκαρδία λόγω άγχους ή καρδιολογικού επεισοδίου) ή τη παρουσία αλκοόλ στο αναπνεόμενο σύστημα του MQ-3. Ο συνδυασμός των αισθητήρων MQ-3 και ECG μπορεί να προσφέρει πληροφορίες ζωτικής σημασίας για την ασφάλεια του οδηγού.

Ένα όχημα εξοπλισμένο με τέτοιους αισθητήρες θα μπορούσε να λειτουργεί ως εξής: όταν ο οδηγός ανάβει τη μηχανή, τα βιοσήματα συλλέγονται σε διαστήματα (κάθε λίγα δευτερόλεπτα). Εάν ο αισθητήρας ECG καταγράψει ότι ο οδηγός έχει ξαφνική και επίμονη ταχυκαρδία (π.χ. > 100 bpm για πάνω από μερικά δευτερόλεπτα), το σύστημα θα μπορούσε να στείλει μια ειδοποίηση σε γειτονικά οχήματα ή σε υποδομές (V2V / V2I) ότι ενδέχεται να υπάρχει πρόβλημα υγείας του οδηγού. Με αυτό τον τρόπο, άλλα οχήματα θα μπορούσαν να αυξήσουν την επαγρύπνησή τους ή να κρατήσουν απόσταση ασφαλείας.

Η χρήση αυτών των δεδομένων εντός ενός Connected Vehicle πλαισίου επιτρέπει επίσης την αποθήκευση και αναλυτική επεξεργασία σε επίπεδο cloud ή οπτικών υποδομών. Τα δεδομένα υγείας του οδηγού μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα σύστημα Vehicle Health Record (VHR), όπου θα καταγράφονται είτε με προστασία ιδιωτικότητας είτε με κρυπτογράφηση. Μία αρχιτεκτονική που έχει προταθεί βασίζεται σε blockchain για την ασφαλή και αποκεντρωμένη διαχείριση αυτών των δεδομένων, επιτρέποντας ασφαλή κοινή χρήση τους μεταξύ κατασκευαστών, ασφαλιστικών εταιρειών και παρόχων υπηρεσιών, χωρίς να θίγεται η εμπιστευτικότητα των δεδομένων του οδηγού. [57]

Το βασικό ζητούμενο στην πρακτική υλοποίηση είναι η αξιοπιστία και η ασφάλεια των μετρήσεων. Το σήμα ECG μέσα σε όχημα υπό συνθήκες κίνησης υπόκειται σε παρεμβολές ηλεκτρικού θορύβου, κραδασμούς και ηλεκτροστατικές παρεμβολές. Γι' αυτό, η χρήση φίλτρων, ομαλοποίησης και επεξεργασίας σήματος σε πραγματικό χρόνο (π.χ. φίλτρα κατωδιαβατικά, κινητοί μέσοι όροι) είναι απαραίτητη. Επίσης, οι συναγερμοί πρέπει να ενεργοποιούνται μόνο εφόσον η ανωμαλία παραμένει για ένα ελάχιστο χρονικό διάστημα, ώστε να αποφευχθούν ψευδή θετικά από μεταβαλλόμενες συνθήκες (π.χ. απότομη επιτάχυνση, τρόμος χεριών). Σε έργο πρότυπου συστήματος παρακολούθησης του οδηγού, έχει αποδειχθεί ότι η συνεχή παρακολούθηση του καρδιακού ρυθμού και της αναπνοής εντός του οχήματος μπορεί να επιτευχθεί με χαμηλό κόστος υλικού και αποδεκτή ακρίβεια. [58]

Με αυτόν τον τρόπο, η συγκέντρωση και αξιοποίηση μετρήσεων από τον MQ-3 και τον ECG εντός του Connected Vehicle δεν λειτουργεί απλώς ως επιπλέον “κομμάτι” υγείας, αλλά ως ενεργός παράγοντας ασφάλειας και συνεργατικής αντίδρασης εντός του ευρύτερου δικτύου αυτοκινήτων και υποδομών.

Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν την ολοένα και αυξανόμενη ανάγκη για τη χρήση ενός συστήματος παρακολούθησης των οδηγών. Έχοντας τα δεδομένα σαν κινητήριο μοχλό έμπνευσης, στο υπόλοιπο της εργασίας θα αναλύσουμε όλες τις λειτουργίες και συστήματα που θα προστεθούν στο πρωτότυπο καθώς και την τεχνολογική διάσταση ως προς την ανάπτυξη του συστήματος. [59]

3.2 Σύγκριση Arduino με Raspberry Pi

Η επιλογή της κατάλληλης πλατφόρμας μικροελεγκτή ή μικροϋπολογιστή αποτελεί κρίσιμο βήμα στον σχεδιασμό ενός συστήματος αισθητήρων για τη σωστή και αποδοτική λειτουργία του “έξυπνου” τιμονιού. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται δύο ευρέως χρησιμοποιούμενες πλατφόρμες, το Arduino και το Raspberry Pi, με σκοπό την αξιολόγηση της καταλληλότητάς τους με βάση τις λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος.

1. Arduino

Το Arduino αποτελεί μια πλατφόρμα μικροελεγκτών ανοικτού κώδικα, η οποία έχει γνωρίσει μεγάλη διάδοση τόσο στην εκπαίδευση όσο και στην έρευνα. Ο λόγος για τη δημοφιλία του σχετίζεται με τον χαμηλό οικονομικό του χαρακτήρα, την ευκολία στον προγραμματισμό, καθώς και τη δυνατότητα σύνδεσης με ένα πλήθος αισθητήρων και ενεργοποιητών. Αν και στη βιομηχανική κλίμακα η αυτοκινητοβιομηχανία χρησιμοποιεί πιο εξειδικευμένα και ισχυρά συστήματα, το Arduino έχει καθιερωθεί ως βασικό εργαλείο για την ανάπτυξη πρωτοτύπων και την προσομοίωση λειτουργιών έξυπνων οχημάτων. [60]

Στο πλαίσιο των έξυπνων αυτοκινήτων, το Arduino μπορεί να αξιοποιηθεί για την υλοποίηση βασικών λειτουργιών που σχετίζονται με την αυτόνομη οδήγηση και το IoT. Ερευνητικά έργα έχουν δείξει ότι μέσω της ενσωμάτωσης αισθητήρων υπερήχων ή υπέρυθρων, το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανίχνευση εμποδίων και αυτόματη στάθμευση. Παράλληλα, με τη διασύνδεση με GPS modules και συστήματα ασύρματης επικοινωνίας (Wi-Fi ή Bluetooth), δίνεται η δυνατότητα καταγραφής της θέσης και αποστολής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σε πλατφόρμες cloud, όπου μπορούν να αναλυθούν για σκοπούς πλοήγησης ή παρακολούθησης κυκλοφοριακών συνθηκών.

Η εκπαιδευτική και ερευνητική αξία του Arduino είναι επίσης καθοριστική. Σε πανεπιστημιακά εργαστήρια, χρησιμοποιείται ευρέως για την κατασκευή μικρών αυτόνομων οχημάτων, τα οποία προσομοιώνουν πραγματικές λειτουργίες έξυπνων αυτοκινήτων. Μέσα από τέτοιες εφαρμογές, οι φοιτητές και οι ερευνητές έχουν τη δυνατότητα να πειραματιστούν

με αλγορίθμους αυτόνομης οδήγησης, έξυπνα συστήματα φωτισμού, καθώς και διαχείριση ενέργειας σε μικρή κλίμακα. Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα είναι η διασύνδεση του Arduino με IoT πλατφόρμες, οι οποίες επιτρέπουν την αποθήκευση και την επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, κάτι που καθιστά δυνατή τη δοκιμή σεναρίων που σχετίζονται με τις μελλοντικές έξυπνες πόλεις. [61]

Συνολικά, το Arduino δεν αποτελεί τελικό προϊόν που θα συναντήσει κανείς σε εμπορικά έξυπνα οχήματα, αλλά ένα **εργαλείο-γέφυρα** ανάμεσα στην θεωρητική γνώση και την πρακτική εφαρμογή. Μέσα από αυτό, είναι δυνατή η ανάπτυξη πρωτοτύπων και η εξοικείωση με βασικές αρχές που αργότερα μεταφέρονται σε πιο σύνθετες και βιομηχανικές πλατφόρμες. Με τον τρόπο αυτό, το Arduino συμβάλλει καθοριστικά στην εκπαίδευση της επόμενης γενιάς μηχανικών και ερευνητών στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης και του Διαδικτύου των Πραγμάτων.

Τέλος, μικρή κατανάλωση ισχύος και το χαμηλό κόστος το καθιστούν εξαιρετική επιλογή για ενσωματωμένα συστήματα χαμηλής πολυπλοκότητας.

2. Raspberry Pi

Το Raspberry Pi είναι ένας μικρού μεγέθους, χαμηλού κόστους υπολογιστής, ο οποίος αναπτύχθηκε αρχικά για εκπαιδευτικούς σκοπούς, αλλά σταδιακά απέκτησε εφαρμογές σε πληθώρα τομέων, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων IoT και της αυτόνομης οδήγησης. Σε αντίθεση με το Arduino, το οποίο βασίζεται κυρίως σε μικροελεγκτές με περιορισμένη επεξεργαστική ισχύ, το Raspberry Pi λειτουργεί ως ένας ολοκληρωμένος υπολογιστής με δυνατότητα εκτέλεσης λειτουργικών συστημάτων όπως το Linux, παρέχοντας έτσι μεγαλύτερη υπολογιστική δύναμη και ευελιξία.

Στο πλαίσιο των έξυπνων αυτοκινήτων, το Raspberry Pi χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάπτυξη πρωτοτύπων που απαιτούν εντατική επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Ενδεικτικά, μπορεί να ενσωματωθεί σε μικρά αυτόνομα οχήματα ως κεντρική μονάδα επεξεργασίας, επιτρέποντας την ανάλυση εικόνας μέσω καμερών, την εφαρμογή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, αλλά και την επικοινωνία με αισθητήρες και άλλα υποσυστήματα του οχήματος. Έρευνες έχουν δείξει ότι το Raspberry Pi μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με βιβλιοθήκες τεχνητής νοημοσύνης, όπως το TensorFlow, για την υλοποίηση λειτουργιών αυτόματης αναγνώρισης εμποδίων και λήψης αποφάσεων οδήγησης. [62]

Ένα άλλο σημαντικό πεδίο εφαρμογής είναι η συνδεσιμότητα με το IoT. Μέσω της χρήσης Wi-Fi ή LTE modules, το Raspberry Pi μπορεί να αποστέλλει δεδομένα σε cloud πλατφόρμες για περαιτέρω ανάλυση ή αποθήκευση. Αυτό καθιστά δυνατή τη δημιουργία ολοκληρωμένων συστημάτων τηλεματικής, τα οποία παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο την κατάσταση του οχήματος, την κατανάλωση καυσίμου, καθώς και τις οδηγικές συνθήκες. Παράλληλα, επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων (V2V) και μεταξύ οχήματος και υποδομών (V2I), στοιχεία που θεωρούνται καθοριστικά για την ανάπτυξη των μελλοντικών «έξυπνων πόλεων».

Η χρήση του Raspberry Pi έχει επίσης σημαντική εκπαιδευτική διάσταση. Πολλά πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα αξιοποιούν το Raspberry Pi για την ανάπτυξη μικρών αυτόνομων οχημάτων που προσομοιώνουν την πραγματική λειτουργία των έξυπνων αυτοκινήτων. Μέσα από αυτά τα πειράματα, οι φοιτητές μπορούν να εκπαιδευτούν σε τεχνολογίες όπως η επεξεργασία εικόνας, οι αλγόριθμοι πλοήγησης και η κυβερνοασφάλεια, σε περιβάλλοντα χαμηλού κόστους που αναπαριστούν με ακρίβεια προκλήσεις της βιομηχανίας. [63]

Σε αντίθεση με το Arduino, το Raspberry Pi προσφέρει μια πιο «υπολογιστικά εντατική» προσέγγιση, καθιστώντας το κατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν μεγαλύτερη ισχύ και πιο σύνθετους αλγορίθμους. Αν και δεν αποτελεί το ίδιο το τεχνολογικό υπόβαθρο των εμπορικών έξυπνων αυτοκινήτων, έχει καθιερωθεί ως πολύτιμο εργαλείο για την έρευνα, την εκπαίδευση και την ανάπτυξη πρωτοτύπων, λειτουργώντας ως γέφυρα ανάμεσα στη θεωρία και στις βιομηχανικές εφαρμογές.

3. Συνδυαστική Λύση

Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται και ακριβής έλεγχος φυσικών αισθητήρων και υψηλού επιπέδου επεξεργασία, ενδείκνυται η υλοποίηση υβριδικού συστήματος. Στην προσέγγιση αυτή, το Arduino αναλαμβάνει την ανάγνωση και διαχείριση των αισθητήρων, ενώ το Raspberry Pi επεξεργάζεται τα δεδομένα και επικοινωνεί με εξωτερικά συστήματα.

Πίνακας 1: Σύγκριση Arduino και Raspberry Pi

Λειτουργία / Χαρακτηριστικό	Arduino	Raspberry Pi
Επεξεργασία Αναλογικών Σημάτων	✓ Ναι	✗ Όχι (μόνο ψηφιακά)
Απόκριση Πραγματικού Χρόνου	✓ Άριστη	✗ Περιορισμένη
Υποστήριξη Κάμερας / AI / ML	✗ Όχι	✓ Ναι
Κατανάλωση Ενέργειας	✓ Πολύ Χαμηλή	✗ Υψηλή
Λειτουργικό Σύστημα / Δικτύωση / WiFi / Cloud	✗ Όχι	✓ Ναι

Συμπεράσματα

Η επιλογή μεταξύ Arduino και Raspberry Pi εξαρτάται κυρίως από τη φύση της εφαρμογής. Για πραγματικού χρόνου διαχείριση αισθητήρων με περιορισμένες απαιτήσεις επεξεργασίας, το Arduino είναι η πλέον κατάλληλη λύση. Αντιθέτως, για προηγμένες εφαρμογές επεξεργασίας και δικτύωσης, το Raspberry Pi υπερτερεί. Σε υλοποιήσεις που συνδυάζουν τις δύο προσεγγίσεις, μία αρχιτεκτονική που περιλαμβάνει και τις δύο πλατφόρμες μπορεί να προσφέρει το καλύτερο αποτέλεσμα.

Στην περίπτωση μας θα χρησιμοποιήσουμε το Arduino, καθώς αρχικά θέλουμε να εκμεταλλευτούμε την γρήγορη επεξεργασία αναλογικών σημάτων και την απόκριση σε πραγματικό χρόνο ώστε να έχουμε άμεσες ενδείξεις και σωστότερες μεταβολές στο αποτέλεσμα. Ως προς την δικτύωση του στο μέλλον μπορούμε να προσθέσουμε ένα module για WiFi με σκοπό την σύνδεση του στο δίκτυο ενός IoT αλλά αυτό θα μπορούσε να υλοποιηθεί σε ένα επόμενο στάδιο. Στα επόμενα κεφάλαια θα γίνει μία εκτενής αναφορά στα συστήματα που θα χρησιμοποιήσουμε, το κώδικα που υλοποιήσαμε και τα αποτελέσματα των δοκιμών μας.

3.3 Σχεδιασμός και υλικά υλοποίησης

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφέρουμε τα 3 βασικά εξαρτήματα που θα χρησιμοποιήσουμε για τη δημιουργία του αισθητήρα αλκοόλ. Αυτά δεν είναι άλλα από το ίδιο το Arduino Uno R3 καθώς και τους δύο αισθητήρες μας, τον αισθητήρα καρδιακών παλμών (AD8382 ECG) και τον αισθητήρα αλκοόλ (MQ3 Alcohol sensor).

Το Arduino Uno R3 (η κλασική, αυθεντική έκδοση) δεν έχει ενσωματωμένο Wi-Fi ούτε Bluetooth. Παρόλα αυτά υπάρχουν modules τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στο παράδειγμα μας. Για wi-fi το πιο αξιόπιστο module είναι το ESP8266 και για bluetooth έχουμε το HC-05 (Classic Bluetooth). Στην παρούσα εργασία δεν θα χρησιμοποιηθεί κάποια από αυτά τα δύο, όμως παίζουν σημαντικό παράγοντα στο μέλλον για τη σύνδεση του συστήματος μας στο οικοσύστημα του IoT. Μεγάλο παράγοντα σε αυτό θα παίζει η τελική χρήση του συστήματος μας και θα πρέπει να γίνει μία μικρή σύγκριση τόσο στην ταχύτητα των δεδομένων που μεταδίδονται, όσο και στη χρήση αυτών των δεδομένων.

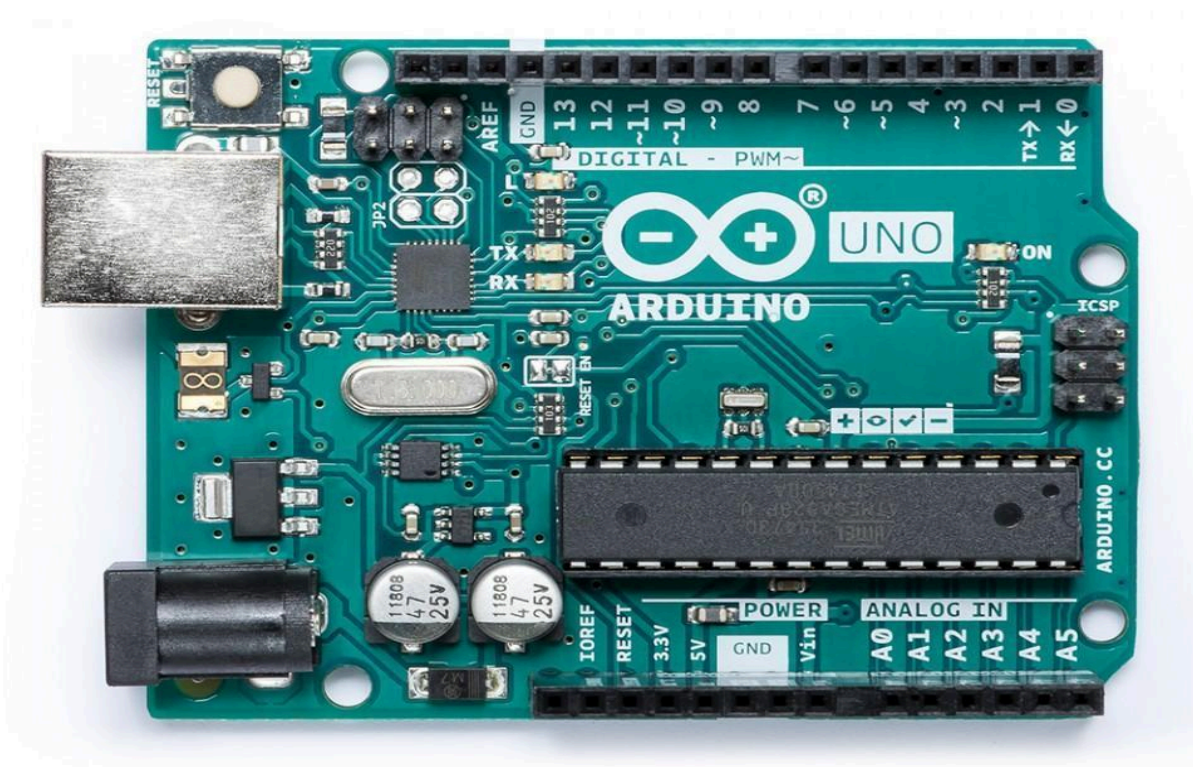
Για παράδειγμα, αν η συσκευή χρησιμοποιηθεί σε συνεχόμενη ροή, το καλύτερο σενάριο θα ήταν το bluetooth όπου δεν θα είχαμε συνεχείς διακοπές και θα υπάρχει καλύτερο σήμα. Σε περίπτωση που θέλουμε να καταγράφετε το επίπεδο αλκοόλης του οδηγού πριν πάρει το αυτοκίνητο, το wifi θα ήταν μία λύση ώστε να συνδέεται στο ίντερνέτ και να καταγράφονται τα επίπεδα αλκοόλης μέσω της κινητής συσκευής του χρήστη ή μέσω ενός app μέσα από το σύστημα του αυτοκινήτου (αν υποστηρίζεται).

3.3.1 Arduino Uno R3

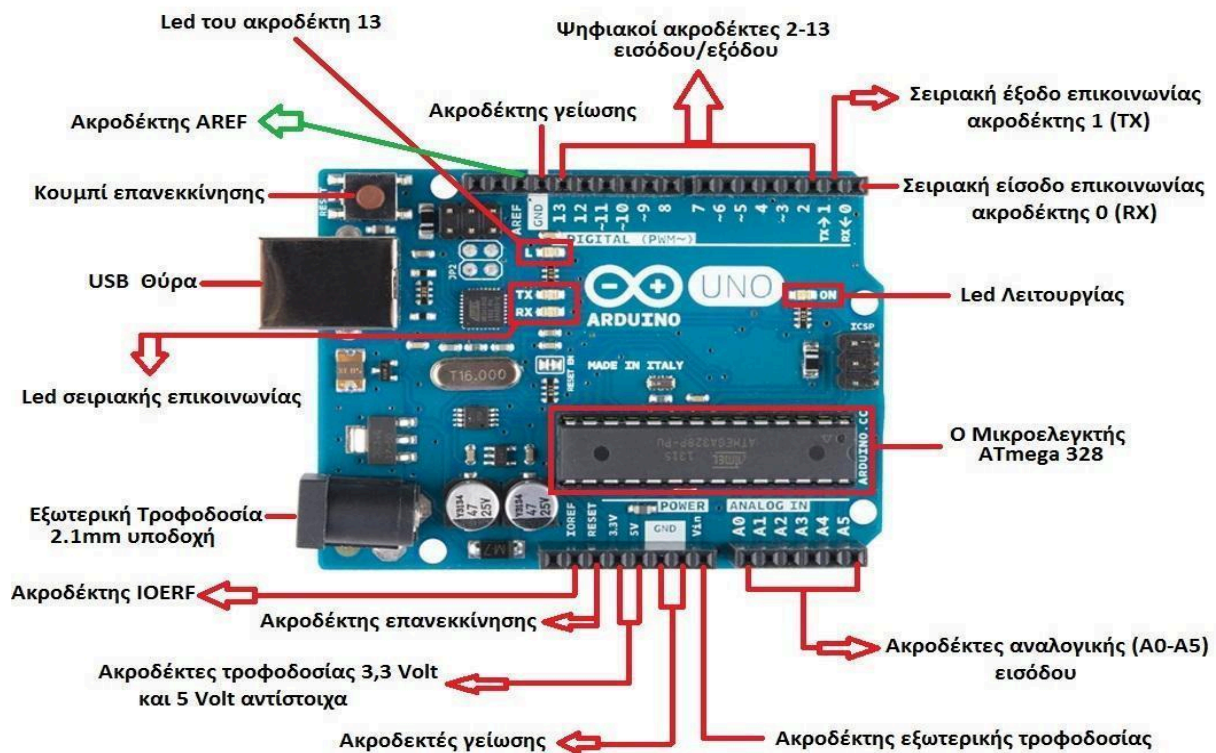
Το Arduino Uno R3 είναι μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες πλακέτες μικροελεγκτών, σχεδιασμένη για εκπαιδευτικούς, ερασιτέχνες και ερευνητές. Η πλατφόρμα επιτρέπει τη σύνδεση ηλεκτρονικών στοιχείων, την επεξεργασία δεδομένων αισθητήρων και την αλληλεπίδραση με το φυσικό περιβάλλον μέσω προγραμματισμένου ελέγχου. Η απλότητα χρήσης, η εκτενής τεκμηρίωση και η κοινότητα που τη στηρίζει έχουν συμβάλει στη μαζική διάδοσή της.

Το Arduino Uno R3 βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328P και λειτουργεί στα 5V, με προτεινόμενη τάση εισόδου 7–12V. Διαθέτει 14 ψηφιακές εισόδους/εξόδους (εκ των οποίων 6 υποστηρίζουν PWM) και 6 αναλογικές εισόδους, καλύπτοντας τις βασικές ανάγκες για μικρά και μεσαίας κλίμακας projects. Η μνήμη του περιλαμβάνει 32 KB Flash, 2 KB SRAM και 1 KB EEPROM, ενώ η συχνότητα λειτουργίας του είναι 16 MHz. Επιπλέον, υποστηρίζει βασικά πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως UART, SPI και I2C, καθώς και σύνδεση μέσω USB, γεγονός που το καθιστά εύκολο στη χρήση και συμβατό με πλήθος αισθητήρων και περιφερειακών.

Εικόνα 5: Arduino Uno R3 – Ανω όψη



Εικόνα 6: Σχηματική παρουσίαση των εξαρτημάτων του Arduino Uno



Το Arduino Uno R3 βρίσκει εκτεταμένη εφαρμογή στον εκπαιδευτικό τομέα, ιδιαίτερα σε σχολικές και πανεπιστημιακές δραστηριότητες STEM. Επιτρέπει στους μαθητές και φοιτητές να εκμάθουν βασικές αρχές ηλεκτρονικής και προγραμματισμού μέσω πρακτικών εφαρμογών. Για παράδειγμα, μαθητές λυκείου μπορούν να κατασκευάσουν ένα σύστημα συναγερμού με αισθητήρα κίνησης PIR, το οποίο ενεργοποιεί έναν βομβητή και ένα LED όταν ανιχνεύεται παρουσία. Σε πανεπιστημιακό επίπεδο, το Arduino συχνά ενσωματώνεται σε εργαστήρια ρομποτικής ή συστημάτων αυτοματισμού, επιτρέποντας στους φοιτητές να πειραματιστούν με πιο σύνθετες εφαρμογές.

Το Arduino χρησιμοποιείται επίσης στην ανάπτυξη πρωτοτύπων. Με τη βοήθειά του μπορούν να κατασκευαστούν μετεωρολογικοί σταθμοί, συστήματα αυτόματου φωτισμού, έλεγχος κινητήρων και διάφοροι αυτοματισμοί χαμηλού κόστους, με γρήγορη και αξιόπιστη υλοποίηση. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ανάπτυξη μιας έξυπνης κλειδαριάς με δακτυλικά αποτυπώματα, όπου το Arduino συνδέεται με έναν αισθητήρα βιομετρίας και έναν σερβοκινητήρα, ανοίγοντας την πόρτα μόνο όταν γίνει επιτυχημένη αναγνώριση.

Στον τομέα των περιβαλλοντικών μετρήσεων, το Arduino χρησιμοποιείται για τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και ρύπων. Τέτοιες εφαρμογές είναι χρήσιμες για ερευνητικούς σκοπούς, επιτρέποντας τη δημιουργία αυτόνομων συστημάτων παρακολούθησης του περιβάλλοντος. Ένα παράδειγμα αποτελεί ένας μετεωρολογικός σταθμός που μετρά θερμοκρασία, υγρασία και ατμοσφαιρική πίεση και αποστέλλει τα δεδομένα μέσω LoRa για ανάλυση και καταγραφή. [64]

Τέλος, το Arduino χρησιμοποιείται σε καλλιτεχνικές και διαδραστικές εφαρμογές. Εγκαταστάσεις που αντιδρούν σε φως, ήχο ή κίνηση μπορούν να ελεγχθούν μέσω της πλατφόρμας, ενσωματώνοντας την τεχνολογία στη σύγχρονη τέχνη. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ένα διαδραστικό γλυπτό φωτός που αλλάζει χρώματα ανάλογα με τον ήχο στο περιβάλλον, χρησιμοποιώντας μικρόφωνο και RGB LED.

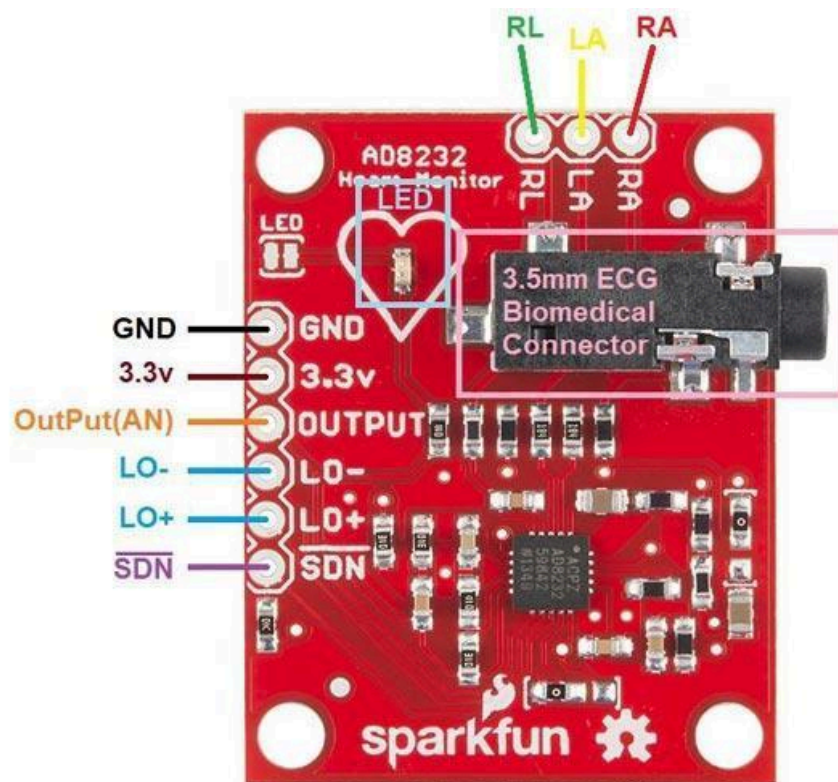
Το Arduino Uno R3 παραμένει μέχρι σήμερα ένας σταθερός πυλώνας για την εισαγωγή στην τεχνολογία των ενσωματωμένων συστημάτων. Αποτελεί ιδανικό εργαλείο για διδασκαλία, ερευνητικές εφαρμογές χαμηλού κόστους και ταχύτατη πρωτοτυποποίηση. Η ευελιξία του, σε συνδυασμό με την τεράστια υποστήριξη από την κοινότητα, διασφαλίζει τη βιωσιμότητα και τη συνεχή του αξιοποίηση.

3.3.2 Αισθητήρας Καρδιακών Παλμών (AD8382 ECG)

Ο αισθητήρας AD8232 ECG είναι μια εξειδικευμένη πλακέτα front-end καταγραφής ηλεκτροκαρδιογραφήματος (ECG), βασισμένη στον ολοκληρωμένο AD8232 της Analog Devices, σχεδιασμένη για χρήση σε φορητές ή ενσωματωμένες εφαρμογές (Analog Devices, 2012). Η πλακέτα διευκολύνει την ενίσχυση, φιλτράρισμα και αναλογική έξοδο ενός καθαρού ECG σήματος, ώστε να επιλεγεί από μικροελεγκτή όπως το Arduino.

Ο αισθητήρας AD8232 καταγράφει τις πολύ μικρές διαφορικές ηλεκτρικές τάσεις που παράγονται στην επιφάνεια του σώματος και τις ενισχύει σε επίπεδο κατάλληλο για επεξεργασία, ενώ παράλληλα εφαρμόζει τα απαραίτητα φίλτρα ώστε να απομονώνεται το χρήσιμο σήμα του καρδιογραφήματος. Η έξοδος δίνεται ως αναλογικό σήμα, κατάλληλο για ανάγνωση από μικροελεγκτές. Επιπλέον, διαθέτει λειτουργία ανίχνευσης αποσυνδεδεμένων ηλεκτροδίων μέσω των ακροδεκτών LO+ και LO- και περιλαμβάνει επιλογές χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας για οικονομική λειτουργία.

Εικόνα 7: AD8232 ECG – Άνω όψη



Ο αισθητήρας καρδιακών παλμών **ECG AD8232** είναι ένα συμπαγές μοντέλο καταγραφής ηλεκτροκαρδιογραφήματος, σχεδιασμένο για χαμηλή κατανάλωση και καθαρή ανίχνευση καρδιακού σήματος. Λειτουργεί συνήθως στα **3.3 V** (αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε πλατφόρμες 5 V) και παράγει **αναλογική έξοδο** που αντιστοιχεί στο ECG σήμα. Ενσωματώνει βασικά φίλτρα υψηλής και χαμηλής διέλευσης, καθώς και notch φίλτρο για την απομάκρυνση θορύβου, ώστε να βελτιώνει την ποιότητα του σήματος πριν την επεξεργασία. Η κατανάλωση ισχύος είναι ιδιαίτερα χαμηλή, περίπου **170 μ A**, καθιστώντας τον κατάλληλο για φορητές εφαρμογές. Ο αισθητήρας χρησιμοποιεί τρεις ακροδέκτες ηλεκτροδίων (**RA, LA, RL**) για τη συλλογή του βιοηλεκτρικού σήματος, ενώ η πλακέτα του έχει μικρό μέγεθος, περίπου **3 × 3 cm**, διευκολύνοντας την ενσωμάτωσή του σε μικρά συστήματα και πειραματικές κατασκευές.

Στον τομέα των φορητών ιατρικών συσκευών και των wearables, η πλακέτα χρησιμοποιείται για συνεχή παρακολούθηση ηλεκτροκαρδιογραφημάτων (ECG). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ανάπτυξη ενός «έξυπνου» ρολογιού με AD8232 σε συνδυασμό με ESP32 και Bluetooth, το οποίο μετρά τον καρδιακό ρυθμό και αποστέλλει τα δεδομένα σε κινητό τηλέφωνο για άμεση παρακολούθηση.

Στην ακαδημαϊκή διδασκαλία, ο αισθητήρας χρησιμοποιείται ευρέως σε εργαστήρια βιοϊατρικών συστημάτων σε συνδυασμό με Arduino. Μέσω της τριών-ηλεκτροδίων καλωδίωσης και της πλατφόρμας Arduino, οι φοιτητές μπορούν να καταγράψουν τα βασικά κύματα του ECG, όπως P, QRS και T. Επιπλέον, ο AD8232 ενσωματώνεται σε συστήματα τηλεϊατρικής και απομακρυσμένης παρακολούθησης, όπου τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω Wi-Fi για συνεχή monitoring. Ένα παράδειγμα είναι η σύνδεση του AD8232 με ESP8266,

όπου όταν ανιχνευθεί ανωμαλία στον καρδιακό ρυθμό, στέλνεται άμεσα ειδοποίηση στον γιατρό, επιτρέποντας άμεση παρέμβαση.

3.3.3 Αισθητήρας Αλκοόλ (MQ3)

Ο αισθητήρας MQ-3 είναι ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος ηλεκτρονικός αισθητήρας ανίχνευσης αλκοόλ, σχεδιασμένος να εντοπίζει την παρουσία αλκοολικών ατμών στον αέρα. Η βασική του χρήση εντοπίζεται σε εφαρμογές όπως αλκοολομετρητές (breathalyzers), συστήματα ασφάλειας οδηγών και ελεγκτές ποιότητας αέρα σε εσωτερικούς χώρους.

Ο πυρήνας λειτουργίας του MQ-3 βασίζεται σε ένα ευαίσθητο στοιχείο από οξείδιο του κασσιτέρου (SnO_2), το οποίο παρουσιάζει μεταβολή της ηλεκτρικής του αντίστασης όταν έρχεται σε επαφή με συγκεκριμένα αέρια. Υπό κανονικές συνθήκες (σε καθαρό αέρα), η αντίσταση του υλικού είναι υψηλή. Όταν όμως ανιχνευτεί αιθανόλη (αλκοόλη), τα μόρια της αλκοόλης αλληλεπιδρούν με την επιφάνεια του SnO_2 και μειώνουν την αντίστασή του. Η μεταβολή αυτή μπορεί να μετρηθεί από το μικρο ελεγκτικό σύστημα (όπως το Arduino) και να μεταφραστεί σε ένδειξη συγκέντρωσης αλκοόλης στον αέρα.

Ο MQ-3 διαθέτει τόσο αναλογική έξοδο (AO) όσο και ψηφιακή έξοδο (DO). Η αναλογική έξοδος παράγει μια συνεχόμενη μεταβλητή τάση ανάλογη με την ποσότητα αλκοόλης που ανιχνεύτηκε. Αντίθετα, η ψηφιακή έξοδος ενεργοποιείται όταν η συγκέντρωση αλκοόλης ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο, το οποίο ρυθμίζεται μέσω ενός ενσωματωμένου ποτενσιόμετρου.

Για να λειτουργήσει σωστά, ο αισθητήρας απαιτεί ένα διάστημα προθέρμανσης (συνήθως 1 λεπτού ή και περισσότερο), ώστε να σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία του θερμαντικού στοιχείου. Το θερμαντικό αυτό στοιχείο διατηρεί τη χημικά ενεργή επιφάνεια σε κατάλληλες θερμοκρασίες, επιτρέποντας έτσι τη συνεχή ανίχνευση ατμών αλκοόλης.

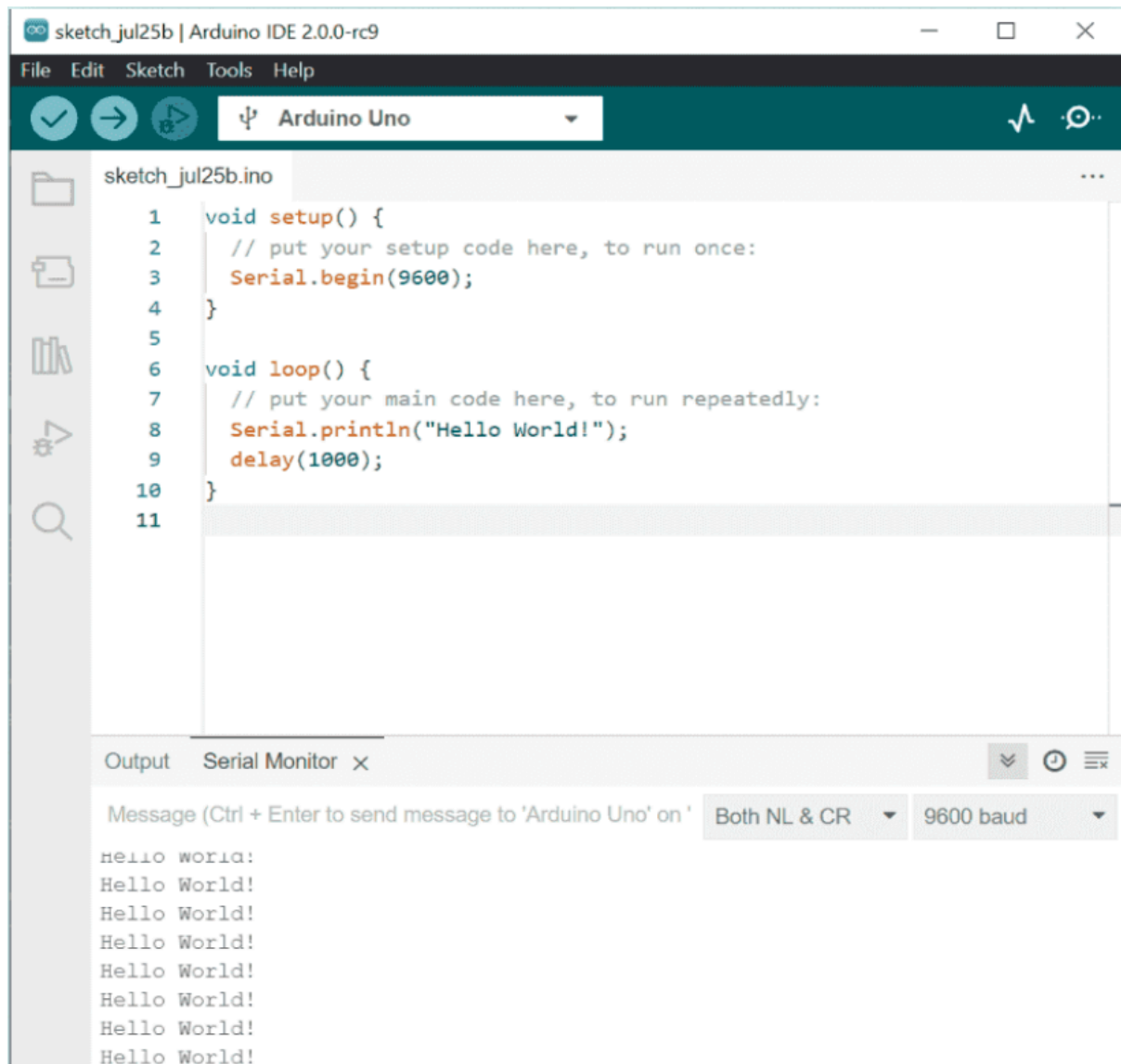
Συνοψίζοντας, ο MQ-3 είναι ένας αξιόπιστος και οικονομικός αισθητήρας για εφαρμογές ανίχνευσης αλκοόλης, με εύκολη διασύνδεση σε μικροελεγκτές και δυνατότητα χρήσης σε φορητές ή σταθερές διατάξεις. Η απόκρισή του είναι ταχεία και αρκετά σταθερή, καθιστώντας τον κατάλληλο για βασική ποσοτική ή ποιοτική αξιολόγηση της παρουσίας αλκοόλης στο περιβάλλον.

3.4 Κώδικας υλοποίησης και χρήσης του project

Το Arduino χρησιμοποιεί τη γλώσσα Wiring, η οποία είναι μια παραλλαγή της γλώσσας C++ με επιπλέον βιβλιοθήκες και έχει μια απλοποιημένη σύνταξη για την ευκολότερη δημιουργία προγραμμάτων για μικροελεγκτές. Ουσιαστικά, τα προγράμματα για Arduino γράφονται σε αυτή την C-όμοια γλώσσα και μεταγλωττίζονται (compile) σε γλώσσα μηχανής που μπορεί να εκτελέσει ο μικροελεγκτής της πλακέτας.

Τις τιμές των αποτελεσμάτων θα τις πάρουμε από το πρόγραμμα Arduino IDE, στο serial monitor που εμπεριέχεται στο πρόγραμμα. Αυτό κυρίως για να δούμε αν οι τιμές συμβαδίζουν με το αποτέλεσμα που θέλουμε να έχουμε με σκοπό να λειτουργεί σωστά η συσκευή μας. Παρακάτω έχουμε και μία εικόνα από το γραφικό περιβάλλον του Arduino IDE.

Εικόνα 8: Περιβάλλον Arduino IDE και Serial Monitor



3.4.1 Κώδικας Αισθητήρα Αλκοόλ (MQ-3)

Πριν παραθέσουμε το κώδικα, έχουμε παραμετροποιήσει τον αισθητήρα στα δεδομένα που χρειάζεται ώστε να λειτουργεί σωστά. Συγκεκριμένα, οι οδηγίες αναφέρουν πως θα πρέπει να υπάρξει προθέρμανση της συσκευής για 24-48 ώρες σε “καθαρό” αέρα. Κάθε αισθητήρας έχει μικροδιαφορές λόγω της φτηνής κατασκευής και το αποτέλεσμα του

αισθητήρα μας σε καθαρό αέρα βγάζει 300-400 μονάδες. Με αυτό γνώμονα, το πρώτο πείραμα θα είναι αν η συσκευή δουλεύει με τέτοιο τρόπο ώστε να πιάνει το αλκοόλ την στιγμή που φουσά ο χρήστης. Ο κώδικας προέκυψε σύμφωνα με τους πίνακες UML που δώσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο και με γνώμονα την χρήση ως προς την ασφάλεια του οδηγού.

```
#define Sober 450    // Μέγιστη τιμή που θεωρούμε νηφάλιο
#define Drunk 451    // Ελάχιστη τιμή που θεωρούμε μεθυσμένο

#define MQ3pin A0    // Είσοδος A0 για τον αισθητήρα MQ-3
#define LED_PIN 13    // LED συνδεδεμένο στο pin 13 (με αντίσταση ~220Ω)

float sensorValue;    // Μεταβλητή για αποθήκευση της τιμής του αισθητήρα

void setup() {
    Serial.begin(9600); // Ρύθμιση σειριακής επικοινωνίας στα 9600
    Serial.println("MQ3 warming up!");

    pinMode(MQ3pin, INPUT);    // Ορισμός του pin του αισθητήρα ως είσοδος
    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);    // Ορισμός του pin LED ως έξοδος

    delay(60000); // Χρόνος προθέρμανσης για τον MQ-3 (1 λεπτό)
}

void loop() {
    sensorValue = analogRead(MQ3pin); // Ανάγνωση αναλογικής τιμής από το
    pin A0

    Serial.print("Sensor Value: ");
    Serial.print(sensorValue);

    // Έλεγχος κατάστασης
    if (sensorValue < Sober) {
        Serial.println(" | Status: No Alcohol Detected ");
        digitalWrite(LED_PIN, LOW); // LED Σβηστό
    }
}
```

```

else if (sensorValue >= Drunk) {
    Serial.println(" | Status: Alcohol Detected ");
    digitalWrite(LED_PIN, HIGH); // LED Αναμμένο σταθερά
}

delay(5000); // Αναμονή 5 δευτ. πριν την επόμενη μέτρηση
}

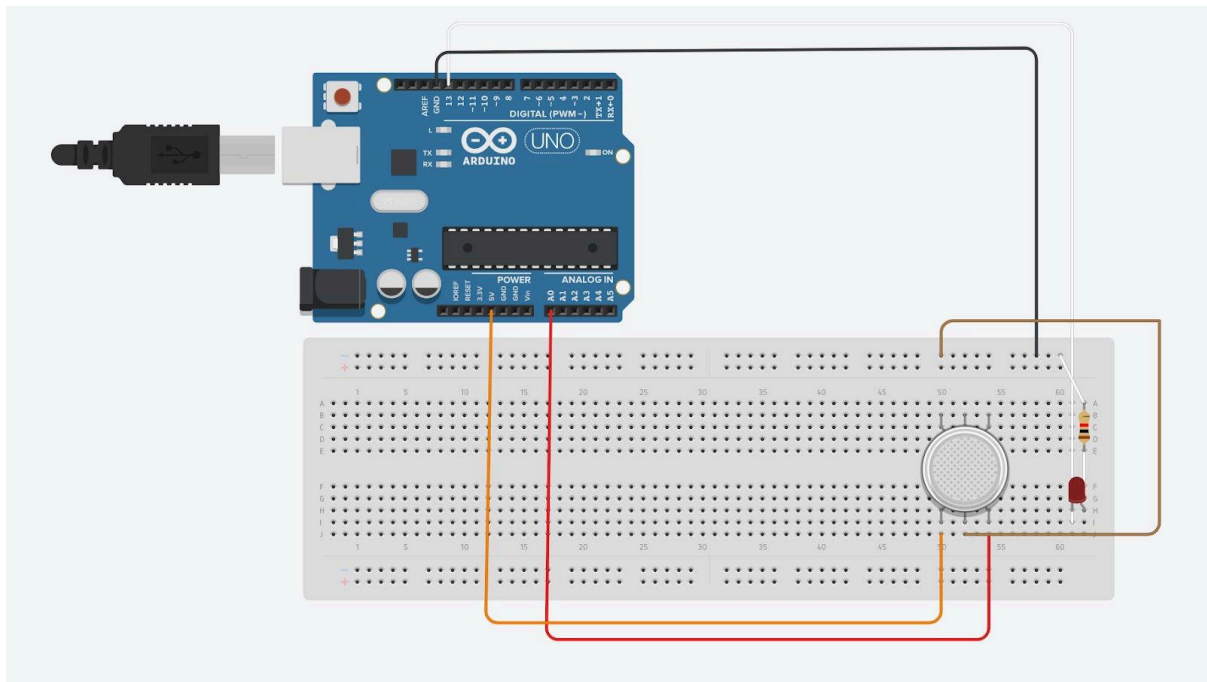
```

Ο παραπάνω κώδικας αποτελεί ένα πρόγραμμα για το Arduino, το οποίο χρησιμοποιεί τον αισθητήρα αλκοόλ τύπου MQ-3 για την αξιολόγηση της παρουσίας αλκοόλ στην ανάσα του οδηγού και κατηγοριοποιεί την κατάσταση του σε δύο κατηγορίες: στον αν βρέθηκε αλκοόλ στην αναπνοή του ή όχι. Αρχικά, ορίζονται σταθερές τιμές που καθορίζουν τα όρια μεταξύ των κατηγοριών, συγκεκριμένα μια μέγιστη τιμή κάτω από την οποία θεωρείται ότι το άτομο είναι νηφάλιο και μια ελάχιστη τιμή πάνω από την οποία θεωρείται ότι υπάρχει αλκοόλ στον οργανισμό του. Ο αισθητήρας συνδέεται στο αναλογικό pin A0 του Arduino, ενώ ένα LED στο ψηφιακό pin 13 χρησιμοποιείται ως οπτική ένδειξη της κατάστασης.

Πίνακας 2: Συνδεσμολογία Arduino με MQ-3

Συσκευή / Σύνδεση	Pin Arduino	Περιγραφή / Σύνδεση
MQ-3 VCC	5V	Τροφοδοσία αισθητήρα
MQ-3 GND	GND	Γείωση αισθητήρα
MQ-3 A0	A0	Αναλογική έξοδος αισθητήρα
LED (+)	13	Μακρύ πόδι LED στο ψηφιακό pin 13
LED (-)	Αντίσταση 220Ω	Σύνδεση στη γείωση (GND) μέσω αντίστασης για προστασία

Εικόνα 9: Συνδεσμολογία πειράματος στο breadboard



Κατά την εκκίνηση του προγράμματος, ενεργοποιείται η σειριακή επικοινωνία για την εμφάνιση των τιμών του αισθητήρα στον υπολογιστή και ορίζεται το LED ως έξοδος. Στη συνέχεια, γίνεται η προθέρμανση του αισθητήρα για 1 λεπτό καθώς προαπαιτείται ώστε να λειτουργεί όπως αναφέρουν οι οδηγίες χρήσης. Στον κύριο βρόγχο εκτέλεσης γίνεται ανάγνωση της αναλογικής τιμής από τον αισθητήρα και η τιμή αυτή εμφανίζεται στον σειριακό παρατηρητή. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται λογική σύγκρισης για τον καθορισμό της κατάστασης: εάν η τιμή είναι κάτω από το όριο της νηφαλιότητας, η κατάσταση θεωρείται "no alcohol detected" και το LED παραμένει σβηστό. Εάν η τιμή υπερβαίνει το όριο, η κατάσταση χαρακτηρίζεται ως "alcohol detected" και το LED παραμένει αναμμένο σταθερά. Το πρόγραμμα ενσωματώνει καθυστερήσεις ώστε να επιτρέπει την παρατήρηση των ενδείξεων πριν από την επόμενη μέτρηση. Η οθόνη μας θα έχει την παρακάτω μορφή:

Εικόνα 10: Οθόνη μετρήσεων αισθητήρα αλκοόλ πριν και μετά την εκπνοή αλκοόλ

```
MQ3 warming up!  
Sensor Value: 275.00 | Status: No Alcohol Detected  
Sensor Value: 275.00 | Status: No Alcohol Detected  
Sensor Value: 273.00 | Status: No Alcohol Detected  
Sensor Value: 274.00 | Status: No Alcohol Detected  
Sensor Value: 273.00 | Status: No Alcohol Detected  
Sensor Value: 273.00 | Status: No Alcohol Detected  
Sensor Value: 273.00 | Status: No Alcohol Detected
```

Sensor Value: 685.00		Status: Alcohol Detected
Sensor Value: 599.00		Status: Alcohol Detected
Sensor Value: 499.00		Status: Alcohol Detected
Sensor Value: 448.00		Status: No Alcohol Detected
Sensor Value: 418.00		Status: No Alcohol Detected
Sensor Value: 397.00		Status: No Alcohol Detected
Sensor Value: 381.00		Status: No Alcohol Detected
Sensor Value: 369.00		Status: No Alcohol Detected

Το PPM είναι συντομογραφία του "Parts Per Million", δηλαδή "μέρη ανά εκατομμύριο". Είναι μονάδα μέτρησης συγκέντρωσης, που δείχνει πόσα μέρη μιας ουσίας υπάρχουν μέσα σε ένα εκατομμύριο μέρη αέρα (ή άλλου μέσου). Ο αισθητήρας MQ-3 ανιχνεύει αιθανόλη (C_2H_5OH) στον αέρα που περνάει την ώρα που ο χρήστης φυσάει. Η τιμή PPM που δείχνει το Arduino σημαίνει πόση αιθανόλη υπάρχει στον αέρα που εντόπισε ο αισθητήρας. Όσο μεγαλύτερη η τιμή σε ppm, τόσο περισσότερη αλκοόλη έχει στον οργανισμό του ο χρήστης, άρα και υψηλότερο BAC (Blood Alcohol Concentration). Η εξίσωση για το ppm που θα χρησιμοποιήσουμε στον κώδικα προέρχεται από το datasheet του αισθητήρα MQ-3 και τη γενική χαρακτηριστική καμπύλη R_s/R_0 vs PPM που δίνει ο κατασκευαστής (Hanwei Electronics / Winsen). [61]

Ο αισθητήρας αλκοόλης MQ-3 λειτουργεί με βάση την αρχή μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης (R_s) του ευαίσθητου υλικού (SnO_2) σε παρουσία ατμών αιθανόλης. Το datasheet του κατασκευαστή (Hanwei Electronics) παρουσιάζει γραφικά τη σχέση μεταξύ του λόγου R_s/R_0 , όπου R_0 είναι η αντίσταση του αισθητήρα σε καθαρό αέρα και της συγκέντρωσης αλκοόλης σε ppm (parts per million) σε λογαριθμική κλίμακα. Η καμπύλη R_s/R_0 – PPM για την αλκοόλη προσεγγίζεται από ευθεία γραμμή σε log-log σύστημα και περιγράφεται από τη σχέση:

$$\log_{10}(PPM) = (\log_{10}(R_s/R_0) - b) / m$$

ή ισοδύναμα:

$$PPM = 10^{((\log_{10}(R_s/R_0) - b) / m)}$$

όπου m είναι η κλίση της γραμμής και b η τετμημένη της αρχής.

Με βάση τα δεδομένα του κατασκευαστή ($R_s/R_0 \approx 0.5$ στα 2000 ppm και $R_s/R_0 \approx 2.0$ στα 200 ppm) προκύπτουν περίπου $m = -0.66$ και $b = 0.25$. Αυτές οι παράμετροι χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα του Arduino για να εκτιμηθεί η συγκέντρωση αλκοόλης από την αναλογική τάση που παράγει ο αισθητήρας, καθώς ο MQ-3 δεν δίνει απευθείας τιμή σε ppm και απαιτείται η λογαριθμική εξίσωση για τη μετατροπή της μέτρησης σε συγκέντρωση.

Η τελική μορφή του κώδικα μας με τις παραπάνω τιμές θα είναι:

```
const int MQ3_PIN = A0;      // αναλογική είσοδος MQ-3
const int LED_PIN = 13;      // pin για LED (13)
float R0 = 10.0;             // Rs/R0 στον καθαρό αέρα
float sensorValue = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
  Serial.println("MQ-3 Alcohol Sensor Test");
  delay(60000);
}

void loop() {
  sensorValue = analogRead(MQ3_PIN);
  float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);
  float RS = (5.0 - voltage) / voltage; // με φορτίο 1kΩ
  float ratio = RS / R0;

  // Εξίσωση για υπολογισμό ppm (αλκοόλη)
  float m = -0.66;
  float b = 0.25;
  float ppm = pow(10, ((log10(ratio) - b) / m));

  Serial.print("Ανάγνωση: ");
  Serial.print(sensorValue);
  Serial.print(" | Τάση: ");
  Serial.print(voltage, 2);
  Serial.print("V | PPM: ");
  Serial.print(ppm, 1);
  Serial.print(" ppm");

  if (ppm < 200) {
    Serial.println(" -> OK για οδήγηση ✅");
  }
}
```

```

    digitalWrite(LED_PIN, LOW); // LED σβηστό
}
else if (ppm >= 200 && ppm < 400) {
    Serial.println(" -> Προσοχή ⚠");
    blinkLED(LED_PIN, 300); // LED αναβοσβήνει
}
else {
    Serial.println(" -> ΜΗΝ ΟΔΗΓΗΣΕΙΣ 🚫");
    digitalWrite(LED_PIN, HIGH); // LED αναμμένο συνεχώς
}

delay(2000);
}

// Συνάρτηση για αναβόσβημα LED
void blinkLED(int pin, int delayTime) {
    digitalWrite(pin, HIGH);
    delay(delayTime);
    digitalWrite(pin, LOW);
    delay(delayTime);
}

```

Το παραπάνω πρόγραμμα μας δίνει περισσότερες πληροφορίες για την κατάσταση του οδηγού και μετά από πειράματα, παρατηρούμε πως έχουμε καλύτερες και ακριβέστερες ενδείξεις στην οθόνη μας. Δεδομένου ότι ο αισθητήρας δεν «ξέρει» αν η μέτρηση προέρχεται από εκπνοή οδηγού ή από τον γενικό αέρα περιβάλλοντος, οι τιμές ppm που θα λάβουμε εξαρτώνται κυρίως από την ποσότητα αλκοόλης που έχει καταναλώσει ο χρήστης. Για παράδειγμα, μετά την κατανάλωση 1, 2 ή 3 ποτών μπύρας (5%), η συγκέντρωση αλκοόλης στο αίμα αυξάνεται και μέσω της ανταλλαγής αερίων με τους πνεύμονες ένα μέρος της αιθανόλης περνά σε βακτηριακή μορφή (BrAC), που με τη σειρά της θα μπορούσε να ανιχνευθεί ως ppm μέσω της εκπνοής. Υπό αυτές τις συνθήκες και με βάση τη καμπύλη μετατροπής, μπορεί κανείς να υποθέσει ότι όσο περισσότερα ποτά καταναλώθηκαν, τόσο υψηλότερη θα είναι η ένδειξη ppm.

Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει τις τιμές ppm που κατέγραψε το σύστημα μας υπό ιδανικές συνθήκες (με εκπνοή από το χρήστη σε σταθερή απόσταση 3-5 εκατοστών) για τις περιπτώσεις κατανάλωσης 0 έως 3 ποτών μπύρας. Τα πειράματα που έγιναν είχαν ποσοστό αλκοόλ 5% και τα αποτελέσματα που είχαμε είναι καταγράφονται στο παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3: Αποτελέσματα πειράματος με τη χρήση αλκοόλ

Περίπτωση	Εκτίμηση PPM (αισθητήρας)	Ένδειξη στο LED	Εμφάνιση στο Serial Monitor
Καθόλου Αλκοόλ	20 - 50 ppm	● OFF	“ΟΚ για οδήγηση ✓”
1 μύρα 5%	150 - 250 ppm	⚠ Αναβοσβήνει	“Προσοχή ⚠”
2 μύρες 5%	300 - 500 ppm	● Σταθερά αναμμένο	“ΜΗΝ ΟΔΗΓΗΣΕΙΣ ⊘”
3 μύρες 5%	600 – 900 ppm	● Σταθερά αναμμένο	“ΜΗΝ ΟΔΗΓΗΣΕΙΣ ⊘”

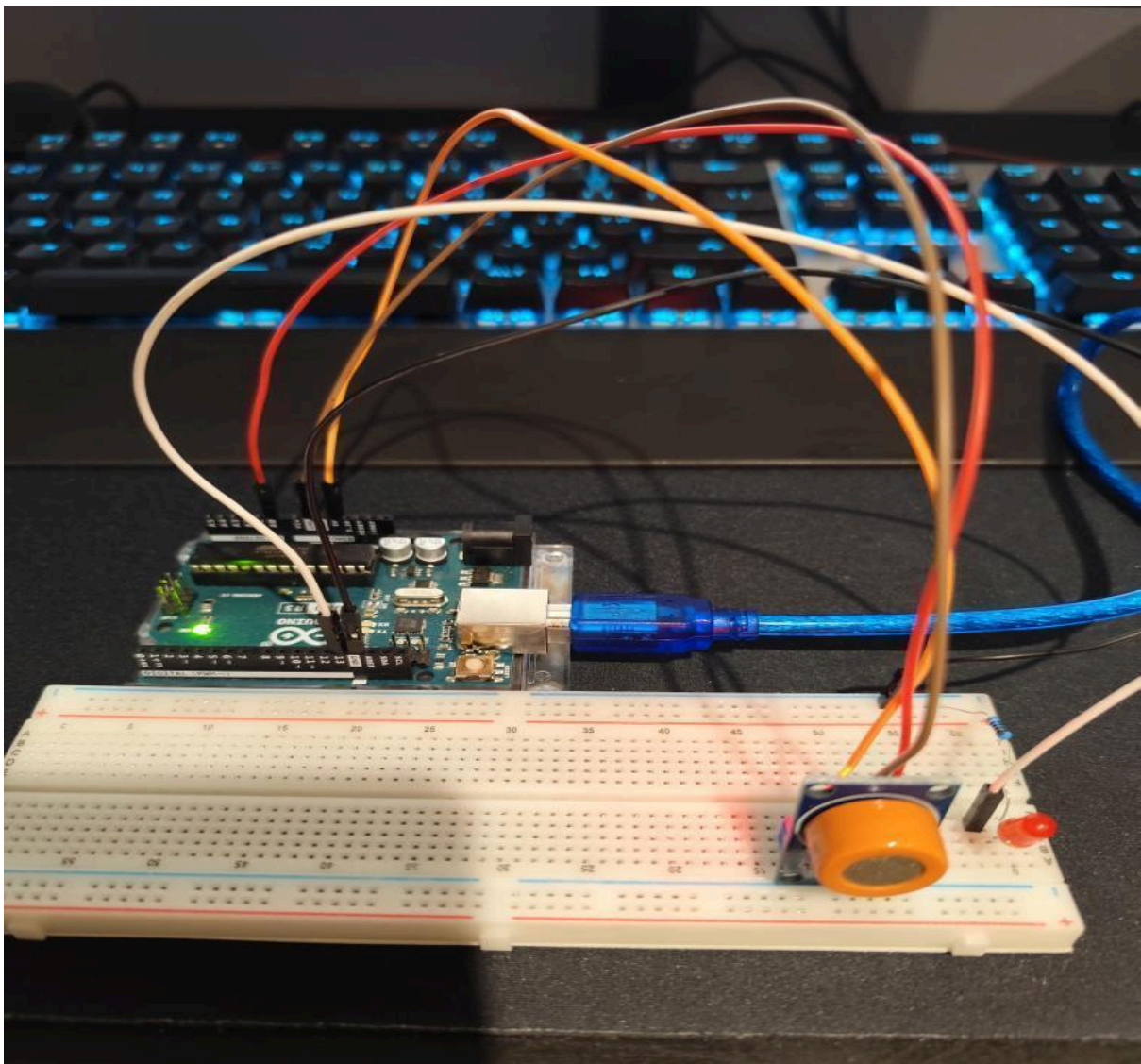
Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν πως ο αισθητήρας μας παρόλο που δεν μπορούμε να τον λάβουμε νομικά, μας επιτρέπει να δούμε ακριβή αποτελέσματα και υπάρχει μία σωστή εκτίμηση της κατάστασης του οδηγού. Για καλύτερα αποτελέσματα θα πρέπει να γίνουν περισσότερα πειράματα με διαφορετικά ποτά σε ποσοστά αλκοόλ καθώς και με καλύτερους και με περισσότερη ακρίβεια αισθητήρες (π.χ. Figaro TGS822 / TGS2620).

Εικόνα 11: Σημείο τοποθέτησης του αισθητήρα αλκοόλ



Η τοποθέτηση του αισθητήρα θα βρίσκεται κοντά στο σημείο του τιμονιού και θα χρησιμοποιείται σε απόσταση 3-5 εκατοστών στη βάση του τιμονιού. Λόγω της φύσης του αισθητήρα ο έλεγχος θα γίνεται πριν ξεκινήσει την οδήγηση ο χρήστης. Αν ο οδηγός είναι υπό την επήρεια μέθης, το αυτοκίνητο θα μπλοκάρει το γκάζι και δεν θα αφήνει τον οδηγό να ξεκινήσει. Η παραπάνω εικόνα μας δείχνει το σημείο που θα θέλαμε να τοποθετηθεί ιδανικά ο αισθητήρας μας, κοντά στη βάση τοποθέτησης του τιμονιού. Έτσι, ο οδηγός θα βρίσκεται σε καλή απόσταση ώστε με μία μικρή κίνηση να βρεθεί σε κοντινή απόσταση από τον αισθητήρα και να έχουμε σωστές μετρήσεις.

Εικόνα 12: Τελικό αποτέλεσμα συνδεσμολογίας στο breadboard



Η τοποθέτηση του αισθητήρα θα βρίσκεται κοντά στο σημείο του τιμονιού και θα χρησιμοποιείται σε απόσταση 3-5 εκατοστών στη βάση του τιμονιού. Λόγω της φύσης του αισθητήρα ο έλεγχος θα γίνεται κατά την εκκίνηση του οδηγού. Αν ο οδηγός είναι υπό την επήρεια μέθης, το αυτοκίνητο θα μπλοκάρει το γκάζι και δεν θα αφήνει τον οδηγό να

ξεκινήσει. Η παρακάτω εικόνα μας δείχνει το σημείο που θα θέλαμε να τοποθετηθεί ιδανικά ο αισθητήρας μας.

3.4.2 Κώδικας Αισθητήρα Καρδιακών παλμών (AD8232 ECG)

Ως προς τον κώδικα του αισθητήρα καρδιακών παλμών ξεκινάμε με τη βασική λειτουργία που θέλουμε να μας εμφανίζει τους καρδιακούς παλμούς του οδηγού.

```
// Σκοπός: Ανάγνωση καρδιακών παλμών και έλεγχος αν βρίσκονται σε
// φυσιολογικά όρια
// Συνδέσεις:
// - OUTPUT του AD8232 στο A1
// - LO+ στο pin 11
// - LO- στο pin 10

int ECGPin = A1;
int LOPlus = 11;
int LOMinus = 10;
int LEDPin = 7;

unsigned long lastBeatTime = 0;

int threshold = 520; // Όριο για ανίχνευση QRS (ρυθμίστε ανάλογα με τον
// αισθητήρα)

int heartRate = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(LOPlus, INPUT);
  pinMode(LOMinus, INPUT);
  Serial.println("Σύστημα ECG - Καρδιακοί παλμοί οδηγού");
}

void loop() {
  if ((digitalRead(LOPlus) == 1) || (digitalRead(LOMinus) == 1)) {
    Serial.println("⚠ Ηλεκτρόδια δεν είναι σωστά συνδεδεμένα!");
    delay(1000);
  }
}
```

```

} else {
    int ecgValue = analogRead(ECGPin);

    if (ecgValue > threshold) {
        unsigned long currentTime = millis();
        unsigned long diff = currentTime - lastBeatTime;

        if (diff > 300) { // φιλτράρει ψεύτικες κορυφές
            heartRate = 60000 / diff;
            lastBeatTime = currentTime;

            Serial.print("Καρδιακοί παλμοί: ");
            Serial.print(heartRate);
            Serial.println(" bpm");

            // Έλεγχος αν οι παλμοί είναι φυσιολογικοί
            if (heartRate < 50) {
                Serial.println("⚠ Πολύ χαμηλοί παλμοί (βραδυκαρδία!)");
                // LED αναβοσβήνει
                digitalWrite(LEDPin, HIGH);
                delay(200);
                digitalWrite(LEDPin, LOW);
                delay(200);
            }
            else if (heartRate > 100) {
                Serial.println("⚠ Πολύ υψηλοί παλμοί (ταχυκαρδία!)");
                // LED παραμένει αναμμένο
                digitalWrite(LEDPin, HIGH);
            }
            else {
                Serial.println("✅ Φυσιολογικοί παλμοί.");
                // LED σβηστό
                digitalWrite(LEDPin, LOW);
            }
        }
    }
}

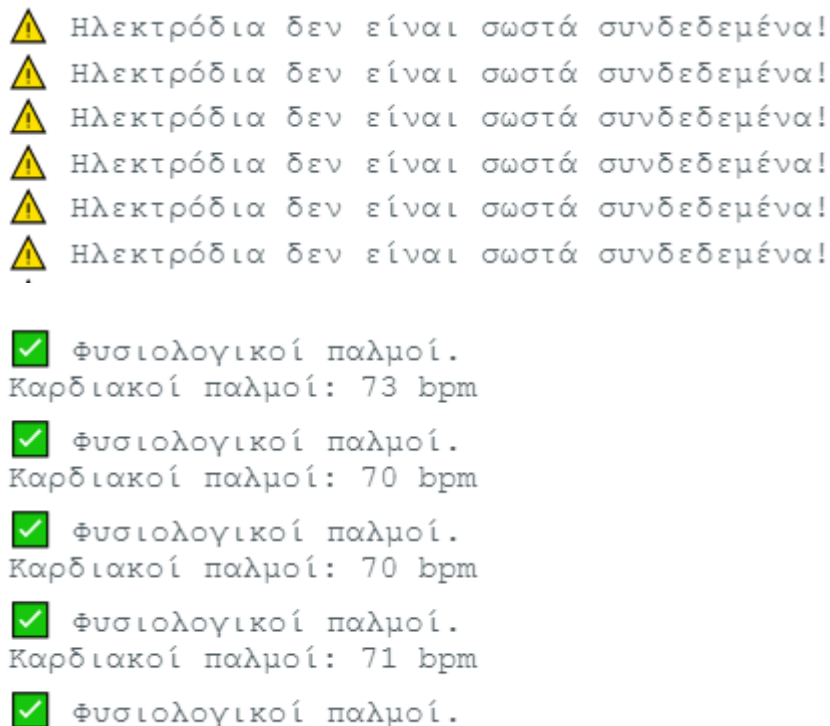
```

Πίνακας 4: Συνδεσμολογία Arduino με ECG AD8232

Συσκευή / Σύνδεση	Pin Arduino	Περιγραφή / Σύνδεση
AD8232 VCC	3.3V ή 5V	Τροφοδοσία του αισθητήρα καρδιακού σήματος
AD8232 GND	GND	Γείωση αισθητήρα
AD8232 OUTPUT	A0	Αναλογική έξοδος του ECG προς το Arduino
AD8232 LO+	11	Ανίχνευση αποσύνδεσης ηλεκτροδίου (Left Off +)
AD8232 LO-	10	Ανίχνευση αποσύνδεσης ηλεκτροδίου (Left Off -)
LED (+)	8	Μακρύ πόδι LED στο ψηφιακό pin 8 (ένδειξη καρδιακού ρυθμού)
LED (-)	Αντίσταση 220Ω → GND	Σύνδεση στη γείωση μέσω αντίστασης 220Ω για προστασία του LED

Η συνδεσμολογία του αισθητήρα AD8232 με το Arduino πραγματοποιείται ως εξής: ο ακροδέκτης VCC του AD8232 συνδέεται στην τροφοδοσία των 3.3V ή 5V του Arduino, ενώ ο ακροδέκτης GND συνδέεται στη γείωση. Η αναλογική έξοδος του αισθητήρα (OUTPUT) οδηγείται στο pin A0 για τη λήψη του σήματος ECG. Επιπλέον, οι ακροδέκτες LO+ και LO- συνδέονται στα ψηφιακά pins 11 και 10 αντίστοιχα, ώστε να επιτρέπεται η ανίχνευση αποσύνδεσης των ηλεκτροδίων. Για την οπτική ένδειξη του καρδιακού παλμού, το θετικό άκρο του LED συνδέεται στο ψηφιακό pin 8, ενώ το αρνητικό άκρο του οδηγείται στη γείωση μέσω αντίστασης 220Ω, η οποία εξασφαλίζει την ασφαλή λειτουργία του LED.

Εικόνα 13: Αποτελέσματα οθόνης αισθητήρα καρδιακών παλμών

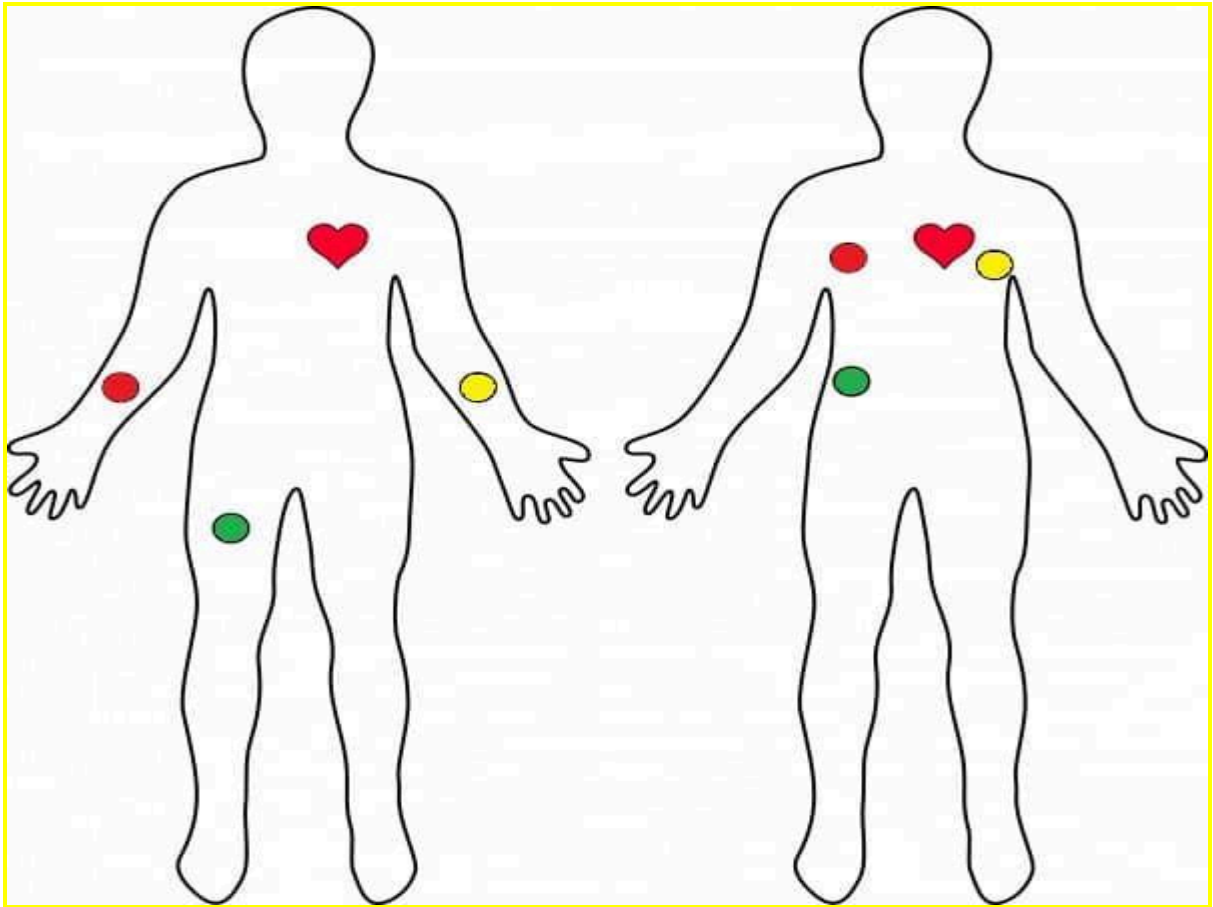


Ο παρεχόμενος κώδικας υλοποιεί ένα σύστημα ανίχνευσης καρδιακών παλμών χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα AD8232 συνδεδεμένο στη πλατφόρμα του Arduino. Ακόμη, αρχικοποιούνται μεταβλητές για την αποθήκευση του χρόνου του τελευταίου ανιχνευμένου καρδιακού παλμού, το όριο (threshold) ανίχνευσης της κορυφής QRS και για τον υπολογισμό των καρδιακών παλμών σε beats per minute (bpm). Στη συνάρτηση setup() πραγματοποιείται η εκκίνηση της σειριακής επικοινωνίας και η ρύθμιση των κατάλληλων pins ως είσοδοι, ενώ εκτυπώνεται ένα αρχικό μήνυμα ενημέρωσης του χρήστη σχετικά με τη λειτουργία του συστήματος.

Η κύρια λειτουργία του συστήματος υλοποιείται στη συνάρτηση loop(), όπου πρώτα ελέγχει την κατάσταση των ηλεκτροδίων μέσω των pins LO+ και LO-. Εάν οποιοδήποτε από τα δύο pins διαβάζει υψηλή τιμή, θεωρείται ότι τα ηλεκτρόδια δεν έχουν σωστή επαφή, εκτυπώνεται σχετική προειδοποίηση και η εκτέλεση καθυστερεί για ένα δευτερόλεπτο ώστε να αποφευχθούν λανθασμένες μετρήσεις. Σε περίπτωση ορθής σύνδεσης, το πρόγραμμα διαβάζει την τρέχουσα αναλογική τιμή από το pin του σήματος ECG. Εάν η τιμή αυτή υπερβαίνει το προκαθορισμένο threshold, θεωρείται ότι ανιχνεύεται μια κορυφή QRS. Ο χρόνος που μεσολάβησε από την προηγούμενη κορυφή υπολογίζεται και εάν είναι μεγαλύτερος από 300 ms, υπολογίζονται οι καρδιακοί παλμοί σε bpm ως το πηλίκο 60000 διαιρεμένο με το διάστημα σε χιλιοστά του δευτερολέπτου, ενώ η μεταβλητή lastBeatTime ενημερώνεται με τον τρέχοντα χρόνο για μελλοντικούς υπολογισμούς. Στη συνέχεια, εκτυπώνεται η τιμή των καρδιακών παλμών και αξιολογείται η φυσιολογικότητά τους σύμφωνα με τρία διαστήματα: εάν οι παλμοί είναι μικρότεροι των 50 bpm, χαρακτηρίζονται ως βραδυκαρδία, εάν υπερβαίνουν τους 100 bpm, ως ταχυκαρδία, ενώ τιμές εντός του εύρους 50–100 bpm θεωρούνται φυσιολογικές. Η εκτέλεση της loop() επαναλαμβάνεται συνεχώς,

εξασφαλίζοντας συνεχή παρακολούθηση του σήματος ECG και ενημέρωση του χρήστη σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση των ηλεκτροδίων γίνεται όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα με το παράδειγμα μας να εφαρμόζει την αριστερή τοποθέτηση των αισθητήρων.

Εικόνα 14: Σωστή τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο σώμα

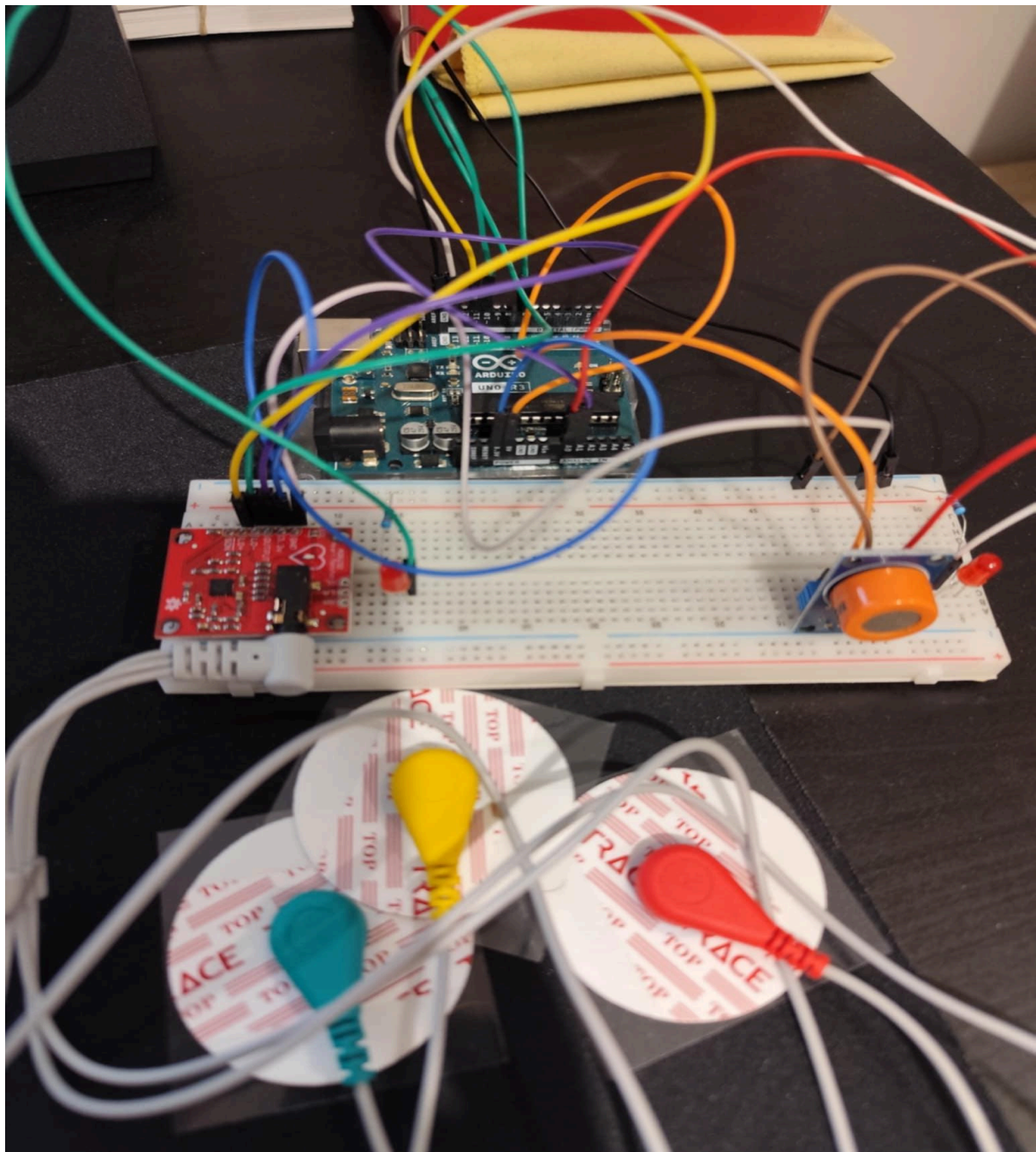


Ο καρδιακός ρυθμός αποτελεί βασικό δείκτη της λειτουργίας του καρδιαγγειακού συστήματος και αντικατοπτρίζει την ισορροπία μεταξύ συμπαθητικού και παρασυμπαθητικού του νευρικού συστήματος. Στους ενήλικες, οι φυσιολογικές τιμές καρδιακών παλμών σε κατάσταση ηρεμίας κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 60 και 100 παλμών ανά λεπτό (bpm). Τιμές κάτω των 60 bpm μπορεί να υποδηλώνουν βραδυκαρδία, ενώ τιμές άνω των 100 bpm χαρακτηρίζονται ως ταχυκαρδία, καταστάσεις που ενδέχεται να έχουν κλινική σημασία ανάλογα με το άτομο και το πλαίσιο. Στους αθλητές ή σε άτομα με καλή φυσική κατάσταση, συχνά παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές (40–60 bpm) χωρίς να υποδηλώνουν παθολογία. Η αξιολόγηση του καρδιακού ρυθμού αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε οδηγούς, όπου οι απότομες μεταβολές ή οι μη φυσιολογικές τιμές μπορεί να συνδέονται με αυξημένο κίνδυνο κόπωσης ή αιφνίδιας αδιαθεσίας κατά την οδήγηση.

Σε τεστ που έγινε υπό φυσιολογικές συνθήκες τα αποτελέσματα αν και προσέγγιζαν σωστές τιμές, υπήρχαν συνεχόμενες μικρές αυξομειώσεις λόγω θορύβου. Επειδή όσο ο οδηγός χρησιμοποιεί το τιμόνι υπάρχει κίνηση, τα αποτελέσματα δεν θα είναι ποτέ αυτά που

χρειάζεται για την ομαλή λειτουργία της συσκευής . Επίσης, αν το αυτοκίνητο έχει ταχύτητες ο οδηγός δεν θα μπορεί να επεκτείνει το χέρι του μέχρι το μοχλό λόγω των καλωδίων. Για αυτό το λόγο, τα αισθητήρια θα πρέπει να βρίσκονται μέσα στο τιμόνι και οι ενδείξεις να παίρνονται από την παλάμη των χεριών. Έτσι εξαλείφονται τα προβλήματα αποστασης των καλωδίων και έχουμε καλύτερα αποτελέσματα. Αν μπορούσαμε να το συγκρίνουμε με κάτι, θα ήταν οι μεταλλικές λαβές που χρησιμοποιούνται στα μηχανήματα επιτόπιου τρεξίματος (treadmill) για να καταγράφονται οι καρδιακοί παλμοί. Το τελικό αποτέλεσμα του πειράματος πάνω στο breadboard έχει την παρακάτω μορφή.

Εικόνα 15: Οι σύνδεση των αισθητηρίων πάνω στο breadboard



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο : ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

4.1 Επόμενα βήματα και εξελίξεις

Η ανάπτυξη ενός συστήματος ανίχνευσης αλκοόλ με τη χρήση της πλατφόρμας Arduino και η ενσωμάτωσή του στο ευρύτερο πλαίσιο του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) αποτελεί ένα πρώτο βήμα προς την κατεύθυνση δημιουργίας έξυπνων εφαρμογών με κοινωνική χρησιμότητα. Αν και το προτεινόμενο σύστημα επιτελεί αποτελεσματικά τη βασική λειτουργία του, δηλαδή την ανίχνευση αλκοόλ, υπάρχουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης και εξέλιξης, τόσο σε τεχνικό όσο και σε λειτουργικό επίπεδο. Οι μελλοντικές κατευθύνσεις που προκύπτουν από την παρούσα εργασία μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις βασικούς άξονες: τεχνολογικές επεκτάσεις, βελτίωση αξιοπιστίας και κοινωνικοοικονομική αξιοποίηση.

Σε τεχνολογικό επίπεδο, μια από τις σημαντικότερες προοπτικές είναι η πλήρης διασύνδεση του συστήματος με διαδικτυακές πλατφόρμες. Η αποθήκευση και ανάλυση των δεδομένων σε cloud υποδομές θα επέτρεπε όχι μόνο την απομακρυσμένη παρακολούθηση, αλλά και την εξαγωγή χρήσιμων στατιστικών. Με τον τρόπο αυτό, οι μετρήσεις δεν θα περιορίζονταν στη στιγμή της χρήσης, αλλά θα μπορούσαν να συγκεντρώνονται και να αναλύονται μακροπρόθεσμα, οδηγώντας σε ασφαλέστερα συμπεράσματα. Παράλληλα, η δημιουργία ενός φιλικού προς τον χρήστη περιβάλλοντος μέσω εφαρμογής για κινητά τηλέφωνα ή διαδικτυακής πλατφόρμας θα καθιστούσε το σύστημα πιο προσιτό και πιο ελκυστικό για τον τελικό χρήστη.

Η ενσωμάτωση επιπλέον αισθητήρων αποτελεί επίσης μια σημαντική προοπτική εξέλιξης. Εκτός από τον ανιχνευτή αλκοόλης, η προσθήκη αισθητήρων όπως ο μετρητής καρδιακών παλμών, ο αισθητήρας θερμοκρασίας ή ακόμη και το GPS θα μπορούσαν να προσδώσουν μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης του χρήστη. Ένα τέτοιο πολυπαραμετρικό σύστημα θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την έγκαιρη πρόβλεψη επικίνδυνων καταστάσεων, για παράδειγμα αν ο χρήστης συνδυάζει κατανάλωση αλκοόλ με κόπωση ή αυξημένο στρες.

Σημαντική κατεύθυνση αποτελεί επίσης η βελτίωση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας του συστήματος. Αν και οι αισθητήρες αλκοόλης που χρησιμοποιούνται στο Arduino παρέχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα για ερευνητικούς σκοπούς, η μετάβαση σε πιο εξελιγμένους και πιστοποιημένους αισθητήρες θα εξασφάλιζε μετρήσεις υψηλότερης ακρίβειας, κατάλληλες για πραγματικές εφαρμογές. Επιπλέον, η εφαρμογή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και τεχνικών επεξεργασίας σήματος θα μπορούσε να βοηθήσει στη μείωση των ψευδών ενδείξεων, βελτιώνοντας έτσι την αξιοπιστία του συστήματος σε περιβάλλοντα με ποικίλες συνθήκες.

Ένας άλλος άξονας αφορά τη διάσταση της ασφάλειας και της πρόληψης. Η δυνατότητα αποστολής ειδοποιήσεων σε τρίτους, όπως μέλη οικογένειας ή διαχειριστές

στόλων οχημάτων, θα μπορούσε να ενισχύσει τον προληπτικό χαρακτήρα της συσκευής. Επιπλέον, η διασύνδεση με συστήματα οχημάτων, όπως το immobilizer, θα καθιστούσε δυνατή την αυτόματη αποτροπή εκκίνησης του οχήματος σε περίπτωση ανίχνευσης υψηλής συγκέντρωσης αλκοόλ. Μια τέτοια δυνατότητα, αν και τεχνικά πιο σύνθετη, θα μπορούσε να συμβάλει ουσιαστικά στη μείωση των τροχαίων ατυχημάτων που σχετίζονται με την κατανάλωση αλκοόλ.

Η φορητότητα και η ενεργειακή απόδοση αποτελούν επιπλέον παράγοντες που αξίζει να διερευνηθούν στο μέλλον. Η ανάπτυξη μιας συσκευής χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, με δυνατότητα τροφοδοσίας από επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ή ακόμη και μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θα ενίσχυε τη χρησιμότητα και την καθημερινή της εφαρμογή. Αντίστοιχα, η σμίκρυνση του υλικού σε μορφή φορητής συσκευής (π.χ. ένα μικρό gadget που θα μπορούσε να φέρει μαζί του ο οδηγός) θα αύξανε την εμπορική απήχηση και την πρακτική χρησιμότητα.

Τέλος, δεν πρέπει να παραγνωρίζεται η κοινωνική και ηθική διάσταση. Η ευρεία χρήση ενός τέτοιου συστήματος εγείρει ερωτήματα σχετικά με την προστασία των προσωπικών δεδομένων και την ιδιωτικότητα. Είναι απαραίτητο να εξεταστεί προσεκτικά ποιος έχει πρόσβαση στα δεδομένα του χρήστη και με ποιον τρόπο αυτά αξιοποιούνται. Παράλληλα, προκύπτουν ενδιαφέρουσες νομικές και κανονιστικές προεκτάσεις, καθώς μια τέτοια συσκευή θα μπορούσε στο μέλλον να αποτελέσει εργαλείο πρόληψης σε ελέγχους τροχαίας ή να ενταχθεί σε υποχρεωτικές διαδικασίες για συγκεκριμένες κατηγορίες οδηγών, όπως οι επαγγελματίες μεταφορείς.

4.2. Προκλήσεις και Περιορισμοί

Η μελλοντική εξέλιξη του συστήματος συνοδεύεται από μια σειρά προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Σε τεχνικό επίπεδο, η ακρίβεια των αισθητήρων αποτελεί κρίσιμο ζήτημα, καθώς οι οικονομικοί αισθητήρες Arduino έχουν περιορισμούς ως προς την αξιοπιστία τους. Η ενσωμάτωση πιο εξελιγμένων αισθητήρων συνεπάγεται υψηλότερο κόστος, γεγονός που ενδέχεται να περιορίσει τη μαζική διάδοση της συσκευής.

Μια ακόμη πρόκληση αφορά την κατανάλωση ενέργειας και τη φορητότητα. Η δημιουργία μιας μικρής και αυτόνομης συσκευής απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό ως προς τη διαχείριση της ισχύος, ώστε να εξασφαλίζεται μακροχρόνια λειτουργία χωρίς συχνή φόρτιση. Στο ίδιο πλαίσιο, η ανάπτυξη ενός αξιόπιστου και ασφαλούς λογισμικού για τη συλλογή και μετάδοση δεδομένων είναι απαραίτητη, αλλά ταυτόχρονα προϋποθέτει σημαντική τεχνογνωσία σε θέματα κυβερνοασφάλειας.

Οι προκλήσεις επεκτείνονται και στο κοινωνικό και θεσμικό επίπεδο. Η αποδοχή μιας τέτοιας τεχνολογίας από το κοινό δεν είναι δεδομένη, καθώς οι χρήστες ενδέχεται να εμφανίσουν επιφυλάξεις σε σχέση με την καταγραφή και μετάδοση προσωπικών δεδομένων. Η θέσπιση σαφούς νομικού πλαισίου για τη χρήση συστημάτων ανίχνευσης αλκοόλ είναι αναγκαία, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα θα αξιοποιούνται αποκλειστικά για

σκοπούς πρόληψης και όχι καταστολής. Επιπλέον, η τεχνολογική ετοιμότητα των κρατικών και ιδιωτικών φορέων να υιοθετήσουν τέτοιες λύσεις αποτελεί έναν ακόμη περιορισμό που πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Τέλος, πρέπει να αναγνωριστεί ότι η μετάβαση από ένα πειραματικό πρωτότυπο σε μια ευρέως διαθέσιμη εμπορική εφαρμογή είναι μια διαδικασία που απαιτεί σημαντικούς οικονομικούς πόρους, πολυεπιστημονική συνεργασία και δοκιμές μεγάλης κλίμακας. Οι ερευνητές και οι μελλοντικοί φορείς υλοποίησης θα κληθούν να ισορροπήσουν ανάμεσα στην τεχνολογική καινοτομία, την οικονομική βιωσιμότητα και την κοινωνική αποδοχή.

Βιβλιογραφία

- [1] Ray, P. P. (2015). Internet of things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(5), 164–173. https://www.scirp.org/html/56616_56616.htm
- [2] Postscapes. (2019, November 1). *IoT Overview Handbook*. Postscapes. <https://www.postscapes.com/iot/>
- [3] Google. (χωρίς ημερομηνία). *Google Glass – Photography*. Ανάκτηθηκε στις 17 Νοεμβρίου 2025, από <https://www.google.com/glass/photography/>
- [4] Landt, J. (2005). The History of RFID. *IEEE Potentials*, 24(4), 8–11. <https://doi.org/10.1109/MPOT.2005.1464906>
- [5] University of Cambridge. (n.d.). *Quantum Software Framework*, from <https://www.cl.cam.ac.uk/coffee/qsf/coffee.html>
- [6] Press, G. (n.d.). *Gil Press | Forbes*. Forbes. Retrieved June 18, 2014, from <https://www.forbes.com/sites/gilpress/>
- [7] Zhou, J., Leung, V. C. M., & Yang, L. T. (2013). Cloud Computing for Future Internet of Things: A Survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 31–44. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328>
- [8] Chen, Y., & Zhao, X. (2018). An Energy-Efficient Routing Protocol for IoT Based on Clustering Algorithm. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(6), 4816–4827. https://www.researchgate.net/publication/325701659_An_energy-efficient_clustering_routing_algorithm_for_WSN-assisted_IoT
- [9] Yang, Q., Liu, Y., Chen, T., & Tong, Y. (2019). Federated Machine Learning: Concept and Applications. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 10(2), 12. <https://doi.org/10.1145/3298981>
- [10] U.S. Congress. (2020). *Internet of Things Cybersecurity Improvement Act of 2020*, Pub. L. No. 116-207, 134 Stat. 1001 (Dec. 4, 2020).

- [11] Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge Computing: Vision and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637–646. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2579198>
- [12] Rose, S., Borchert, O., Mitchell, S., & Connelly, S. (2020). *Zero Trust Architecture (NIST SP 800-207)*. National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-207>
- [13] Perez, S. (2022, October 4). Matter's Internet of Things standard, certification ready for developers. *TechCrunch*. <https://techcrunch.com/2022/10/04/matters-internet-of-things-standard/>
- [14] Mohamed, E. (2020). *The relation of artificial intelligence with Internet of Things: A survey*. *Journal of Cybersecurity and Information Management*, 1(1), 30–34. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Esraa-Mohamed-38/publication/340006839_The_Relation_Of_Artificial_Intelligence_With_Internet_Of_Things_A_survey/links/5e72b428299bf1571848ad94/The-Relation-Of-Artificial-Intelligence-With-Internet-Of-Things-A-survey.pdf
- [15] IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange Between Systems—Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements—Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications—Redline, IEEE Standard 802.11-2007, Jun. 2007, pp. 1–1238.
- [16] Baños-Gonzalez, V., Afaqui, M. S., Lopez-Aguilera, E., & Garcia-Villegas, E. (2016). IEEE 802.11ah: A technology to face the IoT challenge. *Sensors*, 16(11), 1960. <https://doi.org/10.3390/s16111960>
- [17] Al-Shareeda, M. A., Saare, M. A., & Manickam, S. (2023). Bluetooth low energy for internet of things: review, challenges, and open issues. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 31(2), 1182–1189. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v31.i2.pp1182-1189>
- [18] Bluetooth SIG. (2023). Bluetooth Core Specification: Version 5.4. The Bluetooth Special Interest Group. <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/>

- [19] Dymora, P., Mazurek, M., & Smalara, K. (2021). Modeling and fault tolerance analysis of ZigBee protocol in IoT networks. *Energies*, 14(24), 8264. <https://doi.org/10.3390/en14248264>
- [20] Zigbee Alliance. (2022). Zigbee Specification: 2022 Revision. Connectivity Standards Alliance. <https://csa-iot.org/>
- [21] Haque, K. F., Hasanuzzaman, M., & Sarker, M. L. (2022). Comprehensive performance analysis of Zigbee in both encrypted and unencrypted modes in real-world IoT deployments. *Communications in Computer and Information Science*, 193, 112–129. <https://doi.org/10.1155/2022/2144702>
- [22] Lavric, A., & Popa, V. (2018). Performance evaluation of LoRaWAN communication scalability in large-scale wireless sensor networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018, Article ID 6730719. <https://doi.org/10.1155/2018/6730719>
- [23] LoRa Alliance. (2023). LoRaWAN® Specification v1.0.4. https://lora-alliance.org/resource_hub/lorawan-specification-v1-0-4/
- [24] Zhou, W., Zhang, D., & Li, X. (2021). Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications. arXiv preprint arXiv:2104.10536. <https://arxiv.org/abs/2104.10536>
- [25] Lauridsen, M., Kovacs, I. Z., Nguyen, H. T., & Mogensen, P. E. (2021). Coverage and capacity analysis of LTE-M and NB-IoT in a rural area. *Sensors*, 21(16), 5284. <https://doi.org/10.3390/s21165284>
- [26] Alqurashi, H., et al. (2023). SCAP SigFox: A Scalable Communication Protocol for Low-Power Wide-Area IoT Networks. *Sensors (Basel)*, 23(7), 3732. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10099352/>
- [27] Navarro-Ortiz, J., Ramos-Munoz, J. J., Delgado-Ferro, F., Canellas, F., Camps-Mur, D., Emami, A., & Falaki, H. (2024). Combining 5G new radio, Wi-Fi, and LiFi for industry 4.0: performance evaluation. *Sensors*, 24(18), 6022. <https://doi.org/10.3390/s24186022>

- [28] Nguyen Van Huynh, Dinh Thai Hoang, Xiao Lu, Dusit Niyato, Ping Wang, & Dong In Kim. (2018). Ambient Backscatter Communications: A Contemporary Survey. arXiv preprint arXiv:1712.04804. <https://arxiv.org/pdf/1712.04804.pdf>
- [29] Wu, W. (2022). A survey on ambient backscatter communications: Principles and recent advances. *Computer Networks*. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.109235>
- [30] Duan, R., Wang, X., Yigitler, H., Sheikh, M. U., Jantti, R., & Han, Z. (2020). Ambient Backscatter Communications for Future Ultra-Low-Power Machine Type Communications: Challenges, Solutions, Opportunities, and Future Research Trends. *IEEE Communications Magazine*, 58(2), 42-47. <https://par.nsf.gov/servlets/purl/10172974>
- [31] Zheng, K., Xu, R., Mei, J., Yang, H., Lei, L., & Wang, X. (2024). Ambient IoT toward 6G: Standardization, potentials and challenges. *IEEE Access*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10705318>
- [32] ScienceDirect. (2023). Light Fidelity for Internet of Things: A survey. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1573427723000036>
- [33] Alaa, M., Zaidan, A., Zaidan, B., Talal, M., & Kiah, M. (2017). A review of smart home applications based on Internet of Things. *Journal of Network and Computer Applications*, 97, 48–65. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.08.017>
- [34] Rock, L. Y. et al. (2022). Usage and impact of the internet-of-things-based smart home technology. *Heliyon*, 8(11), e11404. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10209-022-00937-0>
- [35] Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T. (2018). The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry*, 101, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.015>
- [36] Mourtzis, D., Vlachou, E., & Milas, N. (2016). Industrial Big Data as a result of IoT adoption in manufacturing. *Procedia CIRP*, 55, 290–295. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.042>

- [37] Sadeghi, A. R., Wachsmann, C., & Waidner, M. (2015). Security and privacy challenges in industrial internet of things. In *Proceedings of the 52nd ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conference* (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1145/2744769.2747942>
- [38] Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22–32. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328>
- [39] Kitchin, R. (2014). The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*, 79(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10708-013-9516-8>
- [40] Javaid, M., & Khan, I. H. (2021). *Internet of Things (IoT) enabled healthcare helps to take the challenges of COVID-19 Pandemic. Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 11, 209–214. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2021.02.002>
- [41] Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- [42] Ray, P. P. (2017). Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(4), 395–420. <https://doi.org/10.3233/AIS-170440>
- [43] Arena, F., Pau, G., & Severino, A. (2020). An overview on the current status and future perspectives of smart cars. *Infrastructures*, 5(7), 53. <https://doi.org/10.3390/infrastructures5070053>
- [44] [45] Shladover, S. E. (2018). Connected and automated vehicle systems: Introduction and overview. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 22(3), 190–200. <https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1336053>
- [46] Biswas, A., & Wang, H.-C. (2023). Autonomous vehicles enabled by the integration of IoT, edge intelligence, 5G, and blockchain. *Sensors*, 23(4), 1963. <https://doi.org/10.3390/s23041963>
- [47] Zhang, J., & Letaief, K. B. (2019). Mobile edge intelligence and computing for the Internet of Vehicles. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/1906.00400>

- [48] Islam, M. A., & Alqahtani, S. (2023). Autonomous vehicles: An overview on system, cyber security, risks, issues, and a way forward. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2309.14213>
- [49] Piao, J., McDonald, M., & Hounsell, N. (2016). Potential impacts of intelligent transport systems on road safety and traffic efficiency. *Transport Reviews*, 36(1), 77–98. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1077286>
- [50] Bagloee, S. A., Tavana, M., Asadi, M., & Oliver, T. (2016). Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies. *Journal of Modern Transportation*, 24(4), 284–303. <https://doi.org/10.1007/s40534-016-0117-3>
- [51] Fu, M.-Y., & Huang, Y.-S. (2010, August). A survey of traffic sign recognition. In *2010 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICWAPR.2010.5576425>
- [52] World Health Organization. (2023). *Global status report on road safety 2023*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240066661>
- [53] National Highway Traffic Safety Administration. (2012). *Prevalence of high BAC in alcohol-impaired-driving fatal crashes* (DOT HS 811 654). U.S. Department of Transportation. <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/documents/811654.pdf>
- [54] Bergen, G., Pitan, A., Qu, S., Shults, R. A., Chattopadhyay, S. K., Elder, R. W., Sleet, D. A., Coleman, H. L., Compton, R. P., Nichols, J. L., Clymer, J. M., Calvert, W. B., & Community Preventive Services Task Force. (2014). Publicized sobriety checkpoint programs: A Community Guide systematic review. *American Journal of Preventive Medicine*, 46(5), 529–539. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2014.01.018>
- [55] International Transport Forum (ITF). (2020). *Road safety report 2020: Greece*. OECD Publishing. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/greece-road-safety.pdf>
- [56] Karampela, I., Founta, A., Papoutsis, G., & Spiliopoulou, C. (2019). Incidence of fatalities of road traffic accidents associated with alcohol and psychoactive drugs in Attica region, Greece (2011–2017). *Experimental and Therapeutic Medicine*, 18(3), 2299–2306. <https://doi.org/10.3892/etm.2019.7787>

[57] Bechtel, M. G., McElhiney, E., Kim, M., & Yun, H. (2017). *DeepPicar: A low-cost deep neural network-based autonomous car*. arXiv preprint arXiv:1712.08644.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8607229>

[58] SparkFun. (n.d.). *Technical Data MQ-3 Gas Sensor* [PDF]. Retrieved from <https://cdn.sparkfun.com/assets/6/a/1/7/b/MQ-3.pdf>

[59] Hsiao, F., Chen, H., & Wu, C. (2020). *Monitoring driver health status in real time using low-cost ECG sensors*. *Review of Scientific Instruments*, 91(3), 035110. https://pubs.aip.org/aip/rsi/article-abstract/91/3/035110/1033567/Monitoring-driver-health-status-in-real-time?redirectedFrom=fulltext&utm_source=chatgpt.com

[60] European Transport Safety Council. (2025). *Drink-Driving in Greece*. Retrieved September 5, 2025, from <https://etsc.eu/issues/drink-driving/drink-driving-in-greece>

[61] Sharma, A., Kumar, S., & Kumar, S. (2016). *Obstacle avoidance robot using Arduino*. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 6(5), 123–126. <https://www.ijarcse.com/docs/papers/May2016/6.pdf>

[62] Hussain, M., Jhanjhi, N. Z., & Humayun, M. (2021). *Development of Arduino applications for IoT applications in software engineering education: a systematic literature review*. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 13(3), 1824–1831. <https://doi.org/10.11591/eei.v13i3.4506>

[63] Shetty, N. A., Mohan, K., & Kaushik, K. (2019). *Autonomous self-driving car using Raspberry Pi model*. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 7(8). <https://shorturl.at/UzAp9>

[64] Yang, J., Chen, W., & Lee, J. (2020). *Blockchain-based connected vehicle data sharing architecture*. arXiv preprint, arXiv:2007.13647. <https://arxiv.org/abs/2007.13647>