



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και
των Υπολογιστών

Ειδίκευση Δικτύων Επικοινωνιών και Κατανεμημένων
Συστημάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αυτόνομα αυτοκίνητα: Σύγχρονες τεχνολογίες και καινοτομίες
στην κατασκευή τους

Ελευθέριος Μάσσας
A.M. MCSE19003

Εισηγητής: Δρ Αντώνιος Μπόγρης, Καθηγητής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αυτόνομα αυτοκίνητα: Σύγχρονες τεχνολογίες και καινοτομίες στην κατασκευή τους

**Ελευθέριος Μάσσας
Α.Μ. MCSE19003**

Εισηγητής:

Δρ Αντώνιος Μπόγρης, Καθηγητής

Εξεταστική Επιτροπή:

Δρ. Ιωάννης Χοχλιούρος, Δ/ντης Ερευνών Cosmote

Δρ. Νικόλαος Μυριδάκης, Επίκουρος Καθηγητής

Ημερομηνία εξέτασης

14 Ιουνίου 2023

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ελευθέριος Μάσσας του Γερμανού, με αριθμό μητρώου 19003 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και των Υπολογιστών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι 30 Ιουνίου 2023 και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Ο Δηλών

Ελευθέριος Μάσσας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώθηκε μετά από επίμονες προσπάθειες. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μπόγρη Α. για την εισήγηση του θέματος και για την συμβολή του στην συγγραφή ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος όπως είναι η αυτόνομη οδήγηση. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υποστήριξη και την παρότρυνση καθ' όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη των βασικών τεχνολογιών που συνθέτουν την αυτόνομη οδήγηση, με στόχο την διερεύνηση του επιπέδου ωριμότητας της τεχνολογίας για πλήρη εφαρμογή σε επιβατικά οχήματα. Η έννοια της αυτόνομης οδήγησης συνδέεται με την ικανότητα ενός ηλεκτρονικού συστήματος να λαμβάνει αποφάσεις και να εκτελεί ενέργειες οι οποίες συνθέτουν την οδήγηση ενός οχήματος, για την άφιξη σε συγκεκριμένο προορισμό. Πρόκειται για διεργασίες τις οποίες το σύνολο των οδηγών καλούνται να εκτελέσουν καθημερινά, βασιζόμενοι στην εμπειρία, τα αντανακλαστικά και την οξυδέρκειά τους, καθώς επίσης και τις δυνατότητες του οχήματός τους. Στο πλαίσιο αυτό η υιοθέτηση της αυτόνομης οδήγησης αποτελεί κομβικής σημασίας βήμα για την επίλυση βασικών προβλημάτων στην χωροταξία, την προστασία του περιβάλλοντος, την προστασία των ανθρώπων από ατυχήματα, και την βελτιστοποίηση των ψηφιακών υποδομών. Ως αποτέλεσμα η συγκεκριμένη τεχνολογία εξετάζεται διεξοδικά από εταιρείες και ακαδημαϊκά ιδρύματα με στόχο την βελτιστοποίησή της και την μείωση του κόστους εφαρμογής της.

Λέξεις Κλειδιά:

Αυτόνομη Οδήγηση, Μηχανική Μάθηση, Αυτοκίνητο, Εργονομία, Αυτοκινητοβιομηχανία

Abstract

The aim of this dissertation is the study of the basic technologies that compose autonomous driving, with the aim of investigating the level of maturity of the technology for full application in passenger vehicles. The concept of autonomous driving is related to the ability of an electronic system to make decisions and perform actions that compose the driving of a vehicle, to arrive at a specific destination. These are processes that all drivers are required to perform daily, based on their experience, reflexes, and perspicacity, as well as the capabilities of their vehicle. In this context, the adoption of autonomous driving is a key step in solving key problems in spatial planning, protecting the environment, protecting people from accidents, and optimizing digital infrastructure. As a result, this technology is thoroughly examined by companies and academic institutions in order to optimize it and reduce its implementation costs.

Keywords:

Autonomous Driving, Machine Learning, Car, Ergonomics, Automotive

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1 ^ο Βασικά Στοιχεία.....	3
1.1. Ιστορική αναδρομή.....	3
1.2. Η έννοια της «αυτονομίας» στην αυτοκίνηση.....	5
1.3. Η αυτόνομη οδήγηση και οι σύγχρονες προκλήσεις.....	6
Κεφάλαιο 2 ^ο Θεσμικό Πλαίσιο.....	9
2.1. Θεμελιώδεις αρχές αυτόνομης οδήγησης.....	9
2.2. Νομοθετικές προκλήσεις αυτόνομης οδήγησης.....	10
Κεφάλαιο 3 ^ο Τεχνολογίες επεξεργασίας εικόνας και Τεχνολογίες όρασης υπολογιστικών συστημάτων.....	15
3.1. Τεχνολογία LIDAR.....	15
3.2. Τεχνολογία RADAR.....	16
3.3. Βίντεο (κάμερα CCTV για συλλογή οπτικής κατάστασης).....	18
3.4. Αισθητήρες Υπερήχων.....	19
3.5. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αισθητήρων.....	20
Κεφάλαιο 4 ^ο Τεχνολογίες μηχανικής μάθησης.....	23
4.1. Βασικά στοιχεία μηχανικής μάθησης.....	23
4.2. Τεχνητή νοημοσύνη στην αυτόνομη οδήγηση.....	25
4.2.1. Επίπεδα μηχανικής μάθησης.....	25
4.2.2. Κατηγορίες Αλγορίθμων.....	28
Κεφάλαιο 5 ^ο Βασικές εφαρμογές αυτόνομης οδήγησης.....	33
5.1. Το ζήτημα της ενέργειας – ανατροφοδότησης.....	33
5.2. Τα οδηγικά ζητήματα.....	35
5.3. Επίπεδο αυτονομίας.....	38
Κεφάλαιο 6 ^ο Hardware για αυτόνομη οδήγηση.....	43
6.1. Είδη Hardware.....	43
6.2. Συστοιχίες Προγραμματιζόμενων Πυλών Πεδίου (FPGA).....	45
6.2.1. Αρχιτεκτονική FPGAs.....	45
6.2.2. Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα των FPGAs.....	46
6.2.3. Εφαρμογές των FPGAs στην αυτόνομη οδήγηση.....	47
6.2.4. Σύγκριση FPGAs με GPUs και ASICs.....	47
6.3. Tensor Processing Unit (TPU).....	49
6.4. Edge TPU.....	51
6.5. Μονάδα Οπτικής Επεξεργασίας - Vision Processing Unit (VPU).....	52

Κεφάλαιο 7° Επικοινωνίες και Πρωτόκολλα.....	55
7.1. Παραλλαγές του V2X.....	55
7.2. Επικοινωνία μεταξύ οχημάτων (V2V).....	57
7.3. Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (ITS)	58
7.4. Πρωτόκολλα ΙοT.....	60
7.4.1. Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)	60
7.4.2. Constrained Application Protocol (CoAP)	61
7.5. Dedicated Short-Range Communication (DSRC)	62
7.6. Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X)	64
Κεφάλαιο 8° Συμπεράσματα – Επίλογος.....	68
Βιβλιογραφία	70

Πίνακας Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΝΟΜΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΗΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ	13
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ LIDAR.....	15
ΕΙΚΟΝΑ 3 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΑΜΕΡΑΣ CCTV	19
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΣΕΩΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΟΧΗΜΑ.....	20
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΕΠΟΠΤΕΥΟΜΕΝΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ.....	26
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΜΗ-ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ	27
ΕΙΚΟΝΑ 7 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΜΗΤΡΑΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ	29
ΕΙΚΟΝΑ 8 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ	30
ΕΙΚΟΝΑ 9 ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ ΕΠΙΤΕΥΞΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΗΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ	39
ΕΙΚΟΝΑ 10 ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ FRGA	46
ΕΙΚΟΝΑ 11 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΓΙΑ ΑΠΟΦΥΓΗ ΕΜΠΟΔΙΟΥ.....	50
ΕΙΚΟΝΑ 12 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΩΝ ΑΙ ΟΣΩΝ ΑΦΟΡΑ ΤΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΟΥΣ	52
ΕΙΚΟΝΑ 13 ΤΥΠΟΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	56
ΕΙΚΟΝΑ 14 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ MQTT	62
ΕΙΚΟΝΑ 15 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ COAP	62
ΕΙΚΟΝΑ 16 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ DSRC ΚΑΙ C-V2X	63
ΕΙΚΟΝΑ 17 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ C-V2X	65

Εισαγωγή

Η αυτόνομη οδήγηση αποτελεί ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του σύγχρονου τομέα αυτοκίνησης, καθώς ολοένα και περισσότερες εταιρείες του τομέα πειραματίζονται και μελετούν την δυνατότητα εφαρμογής της αυτόνομης οδήγησης στα οχήματά τους. Ο λόγος για την επικέντρωση των εταιρειών με την αυτόνομη οδήγηση, αποτελούν οι εξελίξεις στους τομείς της μηχανικής μάθησης, και των τηλεπικοινωνιών, οι οποίες επιτρέπουν την συνεχή λειτουργία ενός υπολογιστικού συστήματος, το οποίο συλλέγει δεδομένα από το περιβάλλον του και άλλες πηγές, με σκοπό την εκτίμηση της εξωτερικής κατάστασης του οχήματος, και την βέλτιστη διαμόρφωση των παραμέτρων οδήγησης[1].

Η ιδέα της αυτόνομης οδήγησης, αποτελούσε ανέκαθεν ένα από τα στοιχεία που αφορούσαν τις επιστημονικές εξελίξεις του μέλλοντος, με τις βασικές εφαρμογές στον τομέα της οδήγησης να αποτελούν οι υπολογιστές ταξιδιού και οι ρυθμιστές ταχύτητας. Ωστόσο οι πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα έχουν δώσει κίνητρο για την έναρξη μίας ευρύτερης συζήτησης αναφορικά με το μέλλον της αυτοκίνησης. Συγκεκριμένα ένα από τα κύρια ζητήματα που προκύπτει κατά την χρήση των εφαρμογών της αυτόνομης οδήγησης αποτελεί το ζήτημα της ευθύνης. Δεδομένου πως ο οδηγός του οχήματος δεν διαθέτει τον έλεγχο του οχήματός του, ποιος φέρει την ευθύνη σε περίπτωση ατυχήματος[2].

Το παραπάνω ηθικό ερώτημα διευρύνεται στην περίπτωση συνυπολογισμού παραγόντων όπως η εφαρμογή της αυτόνομης οδήγησης στον τομέα των μεταφορών, η αυτόνομη οδήγηση εντός αστικού περιβάλλοντος και η περίπτωση ατυχήματος όπου εμπλέκονται περισσότερα από ένα οχήματα. Πρόκειται για ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα το οποίο δεν έχει επιλυθεί, με αποτέλεσμα να μην υφίσταται επαρκές νομοθετικό υπόβαθρο, για την διεύρυνση των εφαρμογών της αυτόνομης οδήγησης στο σύνολο των οχημάτων[3].

Η ανάπτυξη της αυτόνομης οδήγησης, ιδίως στο πεδίο των επιβατηγών οχημάτων, δημιουργεί προοπτικές συνολικής βελτιστοποίησης των υποδομών, σε αστικό, περιφερειακό ή κρατικό επίπεδο. Συγκεκριμένα στην περίπτωση της ευρείας υιοθέτησης της αυτόνομης οδήγησης το σύνολο των υποδομών θα πρέπει να είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν τις συγκεκριμένες ανάγκες, ενώ παράλληλα να δημιουργηθεί ένα σύστημα «συντονισμού» στις περιοχές υψηλής κυκλοφορίας[4].

Στόχος της παρούσας εργασίας αποτελεί η μελέτη των διαθέσιμων τεχνολογιών στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης, καθώς επίσης και των επιμέρους στοιχείων που συνθέτουν τον συγκεκριμένο τομέα. Συγκεκριμένα στα πλαίσια της εργασίας εξετάζονται οι τεχνολογίες επεξεργασίας και αναγνώρισης εικόνας, καθώς επίσης και οι εφαρμογές της τεχνολογίας μηχανικής μάθησης, με στόχο την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της συγκεκριμένης τεχνολογίας, καθώς επίσης και την διατύπωση μίας σειράς προτάσεων για την βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας της αυτόνομης οδήγησης.

Κεφάλαιο 1^ο Βασικά Στοιχεία

1.1. Ιστορική αναδρομή

Η αυτονόμηση της οδήγησης αποτελεί μία από τις πρώτες ιδέες που αναπτύχθηκαν στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας, ήδη από την ανάπτυξη της στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Η ιδέα προήλθε από τις προοπτικές που παρουσίασε η αυτοκίνηση, μέσω της απομακρυσμένης κατεύθυνσης οχημάτων, όπου η General Motors παρουσίασε το 1939 αυτοκίνητο το οποίο ελεγχόταν με ραδιοσήματα μέσω ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που δημιουργούνταν από ενσωματωμένα κυκλώματα στο οδόστρωμα[5].

Το «πρόβλημα» της αυτόνομης οδήγησης αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης καθ' όλη τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, ενώ υπήρξε σημαντική πρόοδος κατά το πρώτο κομμάτι του 21^{ου} αιώνα. Συγκεκριμένα οι πρώτες πειραματικές εφαρμογές άρχισαν να εξετάζονται κατά την δεκαετία του 50', όπου και πάλι η General Motors σε συνεργασία με την RCA (Radio Corporation of America) ανέπτυξαν το πρώτο αυτόνομο όχημα πλήρους μεγέθους και πειραματίστηκαν με το πώς τα ηλεκτρονικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την οδήγηση των οχημάτων και τη διατήρηση της απόστασης ασφαλείας με τα προπορευόμενα οχήματα.

Έπειτα από αρκετά χρόνια ερευνών τη δεκαετία του 70' ο δρ. Sadayuki Tsugawa και οι συνάδελφοί του στην Tsukuba Mechanical Engineering Company στην Ιαπωνία, έφτιαξαν το πρώτο όχημα βασισμένο σε υπολογιστική όραση, το οποίο μπορούσε μέσω δυο καμερών και ενός αναλογικού υπολογιστή να επιτύχει ταχύτητα 30χμ/ω για 50 μέτρα χωρίς παρεμβολές κάτι το οποίο για την εποχή αποτελούσε μια σημαντική ανακάλυψη[6].

Την δεκαετία του 80' το Αμερικανικό Υπουργείο Άμυνας χρηματοδότησε ένα μεγάλο αριθμό προγραμμάτων αυτόνομης οδήγησης σε συνεργασία με πανεπιστήμια και αυτοκινητοβιομηχανίες, με στόχο την αξιοποίηση της τεχνολογίας σε όλους τους κλάδους της άμυνας. Έτσι αναπτύχθηκε το ALV

(Autonomous Land driven Vehicle), ένα όχημα το οποίο χρησιμοποιούσε lidar, υπολογιστική όραση και ένα ρομποτικό μηχανισμό για την επίτευξη αυτόνομου ελέγχου. Το αυτοκίνητο ταξίδεψε πάνω από 610 μέτρα με ταχύτητα 3,1χμ/ω σε ανώμαλο έδαφος. Αυτή ήταν και η πρώτη επιβεβαιωμένη προσπάθεια οχήματος που ακολουθεί μόνο του το δρόμο κάτι που απέδειξε πέραν αμφιβολίας πως η αυτόνομη οδήγηση ως εφαρμογή είναι εφικτή[5].

Την δεκαετία του 90' ξεχωρίζουν οι προσπάθειες της Mercedes και του πανεπιστημίου του Carnegie Mellon. Η S-Class της Mercedes πέτυχε 95% αυτονομία στην οδήγηση σε ταξίδι 1590χμ με μέγιστη ταχύτητα τα 175χμ/ω χρησιμοποιώντας υπολογιστική όραση και μικροεπεξεργαστές κατάλληλους για παράλληλη επεξεργασία για να εκτελέσει ελιγμούς για να προσπεράσει άλλα αυτοκίνητα. Το ημιαυτόματο αυτοκίνητο που δημιούργησε το Carnegie Mellon και ονομάστηκε NavLab 5, πέτυχε οδηγική αυτονομία σε ποσοστό 98,2% έχοντας σαν εξοπλισμό μια φορητή υπολογιστική μονάδα, μια κάμερα και ένα δέκτη GPS και χρησιμοποιώντας νευρωνικά δίκτυα για τον έλεγχο του τιμονιού ενώ το γκάζι και το φρένο ελέγχονταν από τον οδηγό[5, 6].

Φτάνοντας στις δεκαετίες του 2000, 2010 και 2020 πολλές εταιρίες και αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν ασχοληθεί με το κομμάτι της αυτόνομης οδήγησης όπως είναι η Google, η Volkswagen, η Volvo, η Mercedes, η BMW, η Nissan, η Ford κ.α οι οποίες χρησιμοποίησαν όλες τις τεχνολογικές εξελίξεις που αφορούσαν στην μηχανική μάθηση, στις επικοινωνίες, στις συσκευές radar, lidar, cameras και στους σύγχρονους επεξεργαστές για να δημιουργήσουν τα δικά τους οχήματα. Τη μεγαλύτερη όμως πρόοδο στον τομέα την έχει κάνει η Tesla Motors όπου από το 2014 που ανακοίνωσε την πρώτη έκδοση του αυτόματου πιλότου της συνεχίζει να το εξελίσσει ενώ είναι η μοναδική η οποία έχει εμπορικό προϊόν (Model S) από το 2016 το οποίο κυκλοφορεί στους δρόμους και το οποίο αν και δεν παρέχει πλήρως αυτόνομη οδήγηση είναι ό,τι πιο κοντινό υπάρχει σε αυτήν και είναι προς πώληση προς το παρόν[7].

1.2. Η έννοια της «αυτονομίας» στην αυτοκίνηση

Η έννοια της αυτονομίας, δηλαδή της ελαχιστοποίησης της συμμετοχής του οδηγού στην διαδικασία της οδήγησης, αποτελεί μία σχετικά σύγχρονη προσέγγιση σε ένα από τα βασικά ζητήματα που προκύπτουν στους τομείς του πολεοδομικού σχεδιασμού, του σχεδιασμού υποδομών, και τον ευρύτερο τομέα της αυτοκίνησης. Λόγω του αυξημένου αριθμού οχημάτων εν κινήσει σε μεγάλα αστικά κέντρα και περιοχές με αυξημένη πυκνότητα πληθυσμού, τα ζητήματα που προκύπτουν από το κυκλοφοριακό πρόβλημα, την παρεμβολή των εφοδιαστικών αλυσίδων, και τον αριθμό των ατυχημάτων, αποτελούν ζητήματα των οποίων η επίλυση αποτελεί εν μέρει η εφαρμογή της αυτόνομης οδήγησης[1].

Πρόκειται επίσης για έννοια η οποία μέχρι και τις αρχές του 2000 και την κοινοποίηση των πρώτων εφαρμογών της Tesla, αποτελούσε αντικείμενο «επιστημονικής φαντασίας» για το ευρύ κοινό, όπου η γενική κατανόηση αφορούσε το γεγονός πως στο μέλλον η αυτοκίνηση θα είναι πλήρως αυτόνομη με τον οδηγό να συμμετέχει μόνο σε συγκεκριμένες συνθήκες, ή κατ' επιλογή. Ωστόσο πολλά από τα ζητήματα της αυτόνομης οδήγησης δεν αφορούν την τεχνολογία εντός του οχήματος, αλλά την τεχνολογία εκτός αυτού. Για παράδειγμα ένα από τα κυριότερα ζητήματα της αυτονομίας των οχημάτων αποτελεί η διαθεσιμότητα καυσίμου ή ενέργειας (ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα), ωστόσο παρά το γεγονός πως τα υπάρχοντα συστήματα αυτόνομης οδήγησης αναγνωρίζουν την διαθεσιμότητα ενέργειας στο όχημα, οι υποδομές για την τροφοδοσία δεν είναι σχεδιασμένες για την κάλυψη της συγκεκριμένης τεχνολογίας[8].

Επίσης σε περιβάλλοντα αυξημένης κυκλοφορίας οχημάτων, απαιτείται εκτός από την αναγνώριση του περιβάλλοντος και την προσαρμογή των συντελεστών οδήγησης, ο συντονισμός με τα υπόλοιπα οχήματα, για την επίτευξη της βέλτιστης ροής της κυκλοφορίας, και της διασφάλισης της ελαχιστοποίησης του σφάλματος και των ατυχημάτων. Ουσιαστικά σε αυτή την περίπτωση κατά την εισαγωγή των πληροφοριών διαδρομής από τον οδηγό στο σύστημα του οχήματος, το κεντρικό πληροφοριακό σύστημα προσαρμόζει

το σύνολο των σχεδιασμένων διαδρομών, προς την βέλτιστη κατανομή του κυκλοφοριακού, με βάση τον αριθμό οχημάτων, τον χρόνο μετάβασης, τους προορισμούς των οχημάτων και την κατάσταση των υποδομών. Για την υποστήριξη ενός συστήματος αυτής της κλίμακας, απαιτείται σημαντική πρόοδος στους τομείς της πληροφορικής, τηλεπικοινωνιών, τεχνολογιών ελέγχου νέφους (cloud control), και της τεχνολογίας της αυτόνομης οδήγησης. Παράλληλα ωστόσο απαιτείται αναδιαμόρφωση των υφιστάμενων φυσικών και ψηφιακών υποδομών στα μεγάλα αστικά κέντρα για την υποστήριξη του όγκου των οχημάτων, καθώς επίσης και των απαιτήσεων σε ενέργεια για την διεξαγωγή των απαραίτητων υπολογισμών, οι οποίοι θα πρέπει να διεξάγονται συνεχώς για την προσαρμογή της κυκλοφορίας[9].

1.3. Η αυτόνομη οδήγηση και οι σύγχρονες προκλήσεις

Η ανάδειξη των δυνατοτήτων της αυτόνομης οδήγησης στον σύγχρονο τομέα της αυτοκίνησης, έχει θέσει ερωτήματα ως προς τις προοπτικές της τεχνολογίας. Ένα από τα κύρια πεδία εφαρμογής όπου η τεχνολογία θα μπορούσε να αποδώσει σημαντικά οφέλη αποτελεί ο τομέας των μεταφορών, και συγκεκριμένα η μείωση του περιβαλλοντικού αντικτύπου του τομέα, μέσω της βελτιστοποίησης και της αύξησης της αποδοτικότητας των οχημάτων. Το ζήτημα αυτό είναι κεντρικό για την ανάπτυξη της ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής της ΕΕ, με βάση την οποία, η βελτιστοποίηση του τομέα μεταφορών μέσω της αξιοποίησης των τεχνολογιών ηλεκτροκίνησης και αυτόνομης οδήγησης αποτελεί προτεραιότητα για την Ευρωπαϊκή βιομηχανία[8].

Οι βασικές προκλήσεις για την προώθηση της αυτόνομης οδήγησης και την ευρεία εφαρμογή της, μπορούν κατηγοριοποιηθούν σε εγγενείς και εξωγενείς. Οι εγγενείς προκλήσεις αφορούν την ωριμότητα της τεχνολογίας, η οποία περιορίζεται από το επίπεδο των επιμέρους τεχνολογιών που συνθέτουν τον τομέα της αυτόνομης οδήγησης. Συγκεκριμένα παρά την πρόοδο στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, και του γεωεντοπισμού, οι τομείς της μηχανικής μάθησης και της όρασης υπολογιστικών συστημάτων, χρίζουν σημαντικών βελτιώσεων[10].

Το πρόβλημα εντοπίζεται στον χρόνο ανταπόκρισης των εμποδίων, και δη των συγκυριακών εμποδίων, από το σύστημα οπτικής ανάλυσης του υπολογιστή. Παράλληλα τα συστήματα μηχανικής μάθησης, τείνουν να μην ανταποκρίνονται σε ικανοποιητικό χρόνο στις εναλλαγές του περιβάλλοντος, κάτι που σε υψηλές ταχύτητες μπορεί να αποτελέσει αφορμή για πρόκληση ατυχήματος[11].

Ως προς τους εξωγενείς παράγοντες, τα ζητήματα που προκύπτουν ποικίλουν από το επίπεδο και τις δυνατότητες του hardware, στην διαμόρφωση των ψηφιακών και φυσικών υποδομών, και στο νομοθετικό πλαίσιο το οποίο ορίζει τα επιτρεπόμενα όρια εφαρμογής της τεχνολογίας. Σε μία υποθετική περίπτωση πλήρους αυτόνομης οδήγησης του συνόλου των οχημάτων, η επεξεργαστική ισχύς που απαιτείται από τα κεντρικά συστήματα, ξεπερνά κατά πολύ τις υφιστάμενες ψηφιακές υποδομές, κάτι το οποίο αποτελεί αντικείμενο για την προώθηση της εξέλιξης στους τομείς των τηλεπικοινωνιών και υπολογιστικής ισχύος[12].

Κεφάλαιο 2^ο Θεσμικό Πλαίσιο

2.1. Θεμελιώδεις αρχές αυτόνομης οδήγησης

Η έννοια της αυτόνομης οδήγησης δεν αποτελεί αποκλειστική περιγραφή της πλήρους απουσίας ελέγχου από πλευράς οδηγού, αλλά ένα πολυεπίπεδο ζήτημα το οποίο αποτελείται από το σύνολο των σταδίων διαμοιρασμού του ελέγχου μεταξύ του ανθρώπου και του υπολογιστή. Τα επίπεδα αυτονομίας διακρίνονται ως εξής[13, 14]:

Επίπεδο 0 – Κανένας αυτοματισμός: Το σύνολο των συστημάτων ελέγχου και προειδοποιήσεων του οχήματος, χρησιμοποιούνται απευθείας για την λήψη αποφάσεων από τον οδηγό του οχήματος.

Επίπεδο 1 – Συγκεκριμένες λειτουργίες αυτοματισμού: Πρόκειται για μεταβατικό επίπεδο αυτονομίας καθώς ο οδηγός παρέχει ένα ποσοστό του ελέγχου στο όχημα το οποίο λαμβάνει τον έλεγχο συγκεκριμένων λειτουργιών όπως η ταχύτητα πορείας (cruise control), το σύστημα υποβοηθούμενης στάθμευσης (park assist), και το σύστημα ειδοποίησης αλλαγής λωρίδας.

Επίπεδο 2 – Συνδυασμός λειτουργιών αυτοματισμού: Το επίπεδο αυτό αυξάνει τις δυνατότητες των συστημάτων ελέγχου του οχήματος συνδυάζοντας δύο ή περισσότερες τεχνολογίες της ανωτέρω κατηγορίας.

Επίπεδο 3 – Περιορισμένη αυτόνομη οδήγηση: Πρόκειται για επίπεδο κατά το οποίο ο οδηγός παραχωρεί σχεδόν το σύνολο του ελέγχου στα συστήματα του οχήματος, χωρίς αυτό να σημαίνει πως δεν απαιτούνται παρεμβάσεις κατά την διαμόρφωση συνθηκών οι οποίες απαιτούν την συμμετοχή του οδηγού.

Επίπεδο 4 – Πλήρως αυτόνομη οδήγηση, εκτός ειδικών συνθηκών: Η διάκριση του εν λόγω επιπέδου με το παραπάνω, βρίσκεται στον αριθμό των περιπτώσεων κατά τις οποίες απαιτείται η παρέμβαση του οδηγού, και αυτές είναι οι ακραίες καιρικές συνθήκες, και οι ιδιαίτερες περιπτώσεις κυκλοφοριακού.

Επίπεδο 5 – Πλήρως αυτόνομη οδήγηση: Στο επίπεδο αυτό, ανεξαρτήτως του περιβάλλοντος, το όχημα διαθέτει τον αποκλειστικό έλεγχο του συνόλου των λειτουργιών, με τον οδηγό να εισάγει μόνο τον προορισμό. Πρόκειται για το τελικό επίπεδο αυτονομίας οδήγησης κατά το οποίο το όχημα μπορεί να κινηθεί ακόμα και αν επιβαίνει άτομο το οποίο δεν γνωρίζει οδήγηση, ή ακόμα και αν δεν επιβαίνει κανείς.

2.2. Νομοθετικές προκλήσεις αυτόνομης οδήγησης

Η επίτευξη του επιπέδου 5 στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης, προϋποθέτει πως το νομοθετικό σύστημα, του συνόλου των κρατών που προσδοκούν να την εφαρμόσουν θα προσαρμοστεί στις ιδιαίτερες συνθήκες που αφορούν το ζήτημα της αυτόνομης οδήγησης. Συγκεκριμένα η πλειονότητα των ερευνητών στον τομέα συγκλίνουν πως η επίτευξη του επιπέδου 5, απαιτεί την εφαρμογή ενός ευρύτερου πλαισίου συντονισμού, κάτι που σε πρακτικό επίπεδο απαιτεί δεκαετίες έρευνας και ανάπτυξης, καθώς και σημαντική πρόοδο στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και δικτύων νέφους[15].

Η βέλτιστη προσέγγιση στο ζήτημα θα αποτελούσε η επίτευξη επιπέδου 4 αυτόνομης οδήγησης, με το ποσοστό του συντονισμού μεταξύ των οχημάτων να είναι σημαντικά χαμηλότερο σε σύγκριση με το επίπεδο 5. Σε αυτή την περίπτωση ο οδηγός εξακολουθεί να είναι σε θέση να παρέμβει σε περίπτωση ανάγκης, κάτι που προσδίδει στον νομοθέτη την δυνατότητα αναλογισμού ευθύνης σε περίπτωση πρόκλησης ατυχήματος, με σωματική ή υλική βλάβη[16].

Λόγω της προόδου στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης, πολλά κράτη έχουν ήδη λάβει προβλέψεις στα νομοθετικά τους συστήματα, για τον επιμερισμό της ευθύνης σε περίπτωση ατυχήματος, αλλά και γενικότερα προσδιορίζουν τις ελάχιστες απαιτήσεις ελέγχου του οχήματος από τον οδηγό. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται το επίπεδο ελέγχου που απαιτείται να υπάρχει κατά την αυτόνομη οδήγηση με βάση τις 4 βασικές κατηγορίες του τομέα, ήτοι την ασφάλεια, την ευθύνη (σε περίπτωση ατυχήματος), την ιδιωτικότητα και την κυβερνοασφάλεια[15]:

Τύπος κιν- δύνου Χώρα	Ασφάλεια	Ευθύνη	Ιδιωτικότη α	Κυβερνο- ασφάλεια
ΗΠΑ	Ήπιος έλεγχος	Μηδενική απόκριση	Έλεγχος	Έλεγχος
Ηνωμένο Βασίλειο	Ήπιος έλεγχος	Ανοχή	Ήπιος έλεγχος	Προσαρμογή
Αυστραλία	Ήπιος έλεγχος, προσαρμογή	Ήπιος έλεγχος	Ήπιος έλεγχος, προσαρμογή	Μηδενική απόκριση
ΕΕ	Ήπιος έλεγχος	Μηδενική απόκριση	Έλεγχος	Ήπιος έλεγχος
Γερμανία	Έλεγχος	Ήπιος έλεγχος, έλεγχος	Ήπιος έλεγχος, έλεγχος	Μηδενική απόκριση
Κίνα	Πρόληψη, Ήπιος έλεγχος	Μηδενική απόκριση	Έλεγχος	Έλεγχος
Σιγκαπούρη	Έλεγχος	Ήπιος έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος, Προσαρμογή
Ιαπωνία	Πρόληψη	Ήπιος έλεγχος	Έλεγχος	Μηδενική απόκριση
Νότια Κορέα	Μηδενική απόκριση	Μηδενική απόκριση	Ήπιος έλεγχος	Μηδενική απόκριση

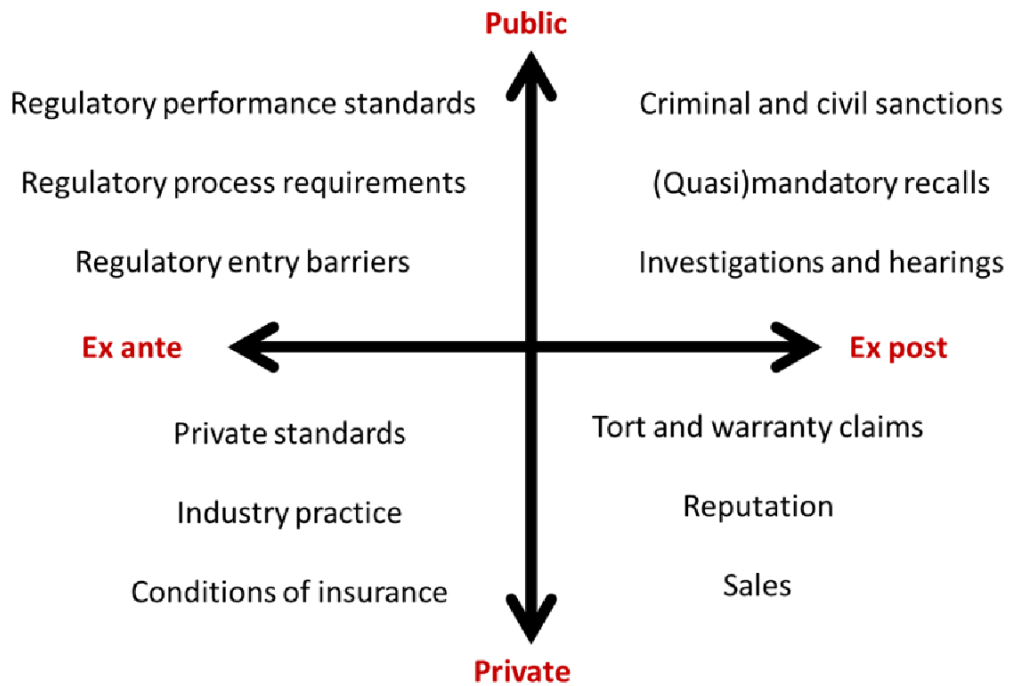
Σύμφωνα με την παραπάνω έρευνα, ενόψει των κινδύνων για την οδική ασφάλεια που δημιουργεί η αμελής συμπεριφορά των επιβατών και των χρηστών του δικτύου, λόγω αστοχιών του συστήματος, αλλά και λόγω κακής επίβλεψης των αλγορίθμων σύγκρουσης, οι περισσότερες κυβερνήσεις εξακολουθούν να αποφεύγουν τα υπερβολικά αυστηρά μέτρα ελέγχου. Με τη μορφή μη δεσμευτικής κατευθυντήριας γραμμής και ομάδας εργασίας για τους ελέγχους ασφαλείας για αυτόνομα οχήματα. Για τη διαχείριση των προκλήσεων ευθύνης και των ασφαλιστικών υποχρεώσεων που αφορούν χρήστες, κατασκευαστές και άλλα τρίτα μέρη στην αλυσίδα εφοδιασμού αυτόνομων οχημάτων, οι περισσότερες κυβερνήσεις μέχρι σήμερα έχουν υιοθετήσει μια προσέγγιση μηδενικής παρέμβασης ή μια στρατηγική ήπιου

ελέγχου, προτείνοντας επιλογές πριν θεσπίσουν σχετική νομοθεσία και διερευνήσουν εναλλακτικές[17].

Οι κυβερνητικές απαντήσεις σε απειλές για το απόρρητο των χρηστών με την αποθήκευση και αποκάλυψη προσωπικών δεδομένων σε τρίτα μέρη για διαφημίσεις, προφίλ χρηστών και παρακολούθηση τοποθεσίας περιλαμβάνουν τη θέσπιση νέας ή επιβολής υφιστάμενης νομοθεσίας περί απορρήτου δεδομένων έως και συστάσεις περί απορρήτου. Ωστόσο, έχει εμφανιστεί μια τάση υπέρ των ήπιων ρυθμιστικών στρατηγικών και της μελλοντικής ενίσχυσης των κρατικών ελέγχων για την προστασία της ιδιωτικής ζωής. Ένα κοινό χαρακτηριστικό της κυβερνοασφάλειας και των κακόβουλων τακτικών κυβερνοεπιθέσεων είναι ότι δεν αποτελούν αποκλειστικές λύσεις στον χώρο των αυτόνομων οχημάτων και διαφέρουν ευρέως μεταξύ των χωρών που συμμετείχαν στην έρευνα[17].

Περιλαμβάνουν την τροποποίηση ή υιοθέτηση νέων νομικών πλαισίων, τη δημιουργία ομάδων εργασίας, τη χρηματοδότηση έρευνας του ιδιωτικού τομέα σε θέματα κυβερνοασφάλειας και την ανάπτυξη κατευθυντήριων γραμμών για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο για κατασκευαστές. Αυτές οι προσεγγίσεις δείχνουν ότι οι κυβερνήσεις σκοπεύουν να διαμορφώσουν την ανάπτυξη του πεδίου της αυτόνομης κίνησης ταυτόχρονα με την τεχνολογική πρόοδο, και ως εκ τούτου έχουν επιφυλάξεις για βιαστικές ή πρόωρες πολιτικές αποφάσεις. Τέλος, με εξαίρεση την πρόθεση της Σιγκαπούρης να επανεκπαιδευτεί μέσω του συστήματος των επηρεαζόμενων εργαζομένων, οι περισσότερες χώρες δεν έχουν ακόμη ανταποκριθεί στις αλλαγές στο εργατικό δυναμικό που επιφέρει η αυτόνομη μετακίνηση κυρίως ανειδίκευτων, φυσικών και δημόσιων μεταφορών και θέσεων εργασίας στις μεταφορές[18].

Είναι σαφές ότι η ρυθμιστική παρέμβαση ήταν μέχρι στιγμής περιορισμένη, αναποφάσιστη και διφορούμενη. Εν συνεχεία, ο ΟΟΣΑ (Διεθνές Φόρουμ Μεταφορών - ΟΟΣΑ, 2015) τυποποιεί τα ρυθμιστικά εργαλεία στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης σε δύο άξονες, ανάλογα με το αν ο φορέας που τα υλοποιεί είναι δημόσιος ή ιδιωτικός και, αφετέρου, αν η δράση είναι προληπτική (ex ante) ή κατασταλτική (ex post)[18].



Εικόνα 1 Κατανομή νομικής ευθύνης με βάση το επίπεδο της αυτόνομης οδήγησης
 Πηγή [18]

Η επίτευξη υψηλού επιπέδου αυτόνομης οδήγησης, προϋποθέτει την προσαρμογή των νομοθετικών πλαισίων μεταξύ των κρατών σύμφωνα με τις ακόλουθες προδιαγραφές[16]:

- Ομοιογένεια μεταξύ του επιπέδου κατανομής ευθύνης.
- Παραγωγή προτύπων για την παραγωγή, διαχείριση, πώληση και κυκλοφορία των αυτόνομων οχημάτων.
- Επένδυση στις συσχετιζόμενες τεχνολογίες και στις τεχνολογίες υποδομών.
- Ομογενοποίηση των υποδομών για την δυνατότητα κυκλοφορίας των οχημάτων σε διάφορες χώρες.
- Συμπερίληψη του τομέα μεταφορών στην τεχνολογία αυτόνομης οδήγησης.
- Παραγωγή προτύπων ασφαλείας στον τομέα των μεταφορών.
- Παραγωγή προτύπων ασφαλείας και μέτρων στον τομέα της κυβερνοασφάλειας.

Ένα ακόμα ζήτημα το οποίο προκύπτει στον τομέα αποτελεί η ανάληψη του ασφαλιστικού ρίσκου. Με την γενική παραδοχή πως η αυτόνομη οδήγηση χρειάζεται αρκετές δεκαετίες για να επιτύχει το επίπεδο 5, ενώ προβλέπεται πως απαιτείται περισσότερος χρόνος για την πλήρη προσαρμογή των νομοθετικών συστημάτων και των καταναλωτικών συνηθειών για την επίτευξη του στόχου αυτού, τότε ο ασφαλιστικός τομέας καλείται να καλύψει την μεταβατική περίοδο, και να αναπτύξει πλαίσιο δράσης για την προσαρμογή του ασφαλιστικού ρίσκου[16].

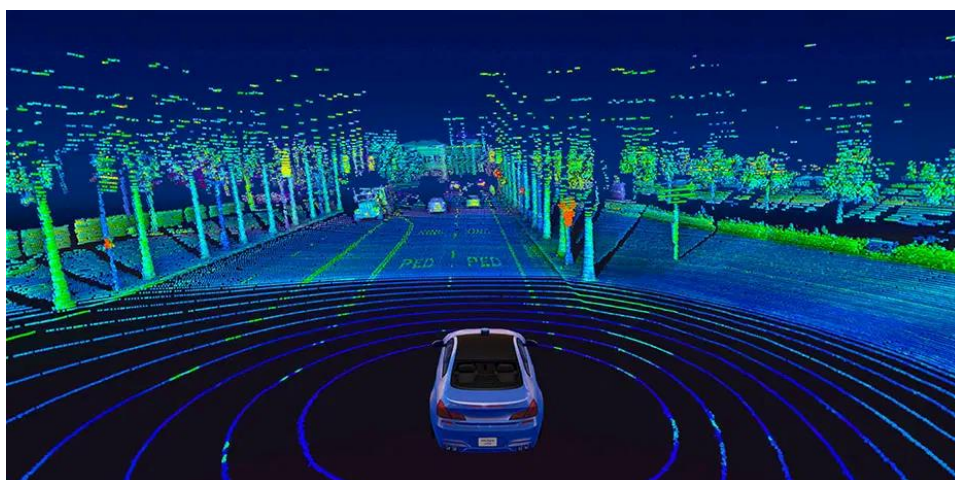
Συγκεκριμένα το ζήτημα της ασφαλιστικής ευθύνης είναι ιδιαίτερα σημαντικό κατά την επίτευξη επιπέδων 2 έως 4 αυτόνομης οδήγησης. Με την ψυχολογία του οδηγού να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το επίπεδο της ευθύνης που του αναλογεί ανά περίπτωση, υπάρχουν προβλέψεις πως η πιθανότητα σφάλματος θα αυξηθεί σε αναλογία με την μείωση του ελέγχου από πλευράς του οδηγού, δεδομένου πως υφίσταται αυξημένη πιθανότητα διάσπασης της προσοχής του οδηγού κατά την λειτουργία των συστημάτων αυτόνομης οδήγησης. Το γεγονός αυτό αποτελεί το θεμέλιο για την ανάπτυξη ενός ασφαλιστικού πλαισίου, το οποίο θα λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τις τεχνολογικές αλλά και τις ανθρώπινες διαστάσεις της αυτόνομης οδήγησης, και θα είναι σε θέση να προσφέρει την απαραίτητη προστασία στους οδηγούς, αλλά και στις ίδιες τις ασφαλιστικές εταιρείες κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας[19].

Κεφάλαιο 3^ο Τεχνολογίες επεξεργασίας εικόνας και Τεχνολογίες όρασης υπολογιστικών συστημάτων

Οι σύγχρονες τεχνολογίες επεξεργασίας εικόνας, επιτρέπουν την τρισδιάστατη αποτύπωση του εξωτερικού περιβάλλοντος του οχήματος, με στόχο την αναγνώριση εμποδίων, παρεμβολών και μεταβολών στο εγγύς περιβάλλον του οχήματος, προκειμένου να υπάρξει αναπροσαρμογή των παραμέτρων κίνησης και πορείας του οχήματος. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν οπτικά και μη μέσα για την αναγνώριση του εξωτερικού περιβάλλοντος, οι τεχνολογίες των οποίων αναλύονται παρακάτω.

3.1. Τεχνολογία LIDAR

Η τεχνολογία LIDAR (Light Detection and Ranging) αποτελεί την πλέον πρόσφατη ανάπτυξη των συστημάτων ανάγνωσης περιβαλλοντικών παραμέτρων, μέσω συνδυαστικού συστήματος καταγραφής του φωτός και των παραμέτρων θερμοκρασίας, ενώ σε πολλές περιπτώσεις το σύστημα συνδυάζεται με αισθητήρες υπεριώδους ακτινοβολίας για την βέλτιστη αποτύπωση του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα το σύστημα αναγνώρισης, συνδυάζει την παλμική ανάγνωση των ανακλάσεων φωτός από το περιβάλλον, εξετάζοντας τα οπισθοσκεδαζόμενα σήματα που προέρχονται από την αλληλεπίδραση του συστήματος laser με το περιβάλλον[20].



Εικόνα 2 Αποτύπωση περιβάλλοντος με την χρήση του συστήματος LIDAR

Πηγή [21]

Πρόκειται για πρωτοποριακή τεχνολογία, η οποία στη σύγχρονη εποχή βρίσκει εφαρμογές στον περιβαλλοντικό, κατασκευαστικό, πολιτικό και στρατιωτικό τομέα, για την καταγραφή του περιβάλλοντος και την βέλτιστη αναγνώριση των στοιχείων αυτού. Λόγω της χρήσης της τεχνολογίας laser για την αποτύπωση αυτή, η απαιτούμενη υπολογιστική ισχύς μειώνεται σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες οι οποίες περιλαμβάνουν αλγόριθμους αναγνώρισης και εντοπισμού αντικειμένων, με αποτέλεσμα την μείωση του χρόνου απόκρισης του συστήματος[22].

Τα κύρια πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι:

- Η δυνατότητα καταγραφής των ατμοσφαιρικών ρύπων.
- Δυνατότητα μέτρησης σε αποστάσεις άνω των 2000m ανάλογα με τον τύπο του συστήματος.
- Δυνατότητα τρισδιάστατης καταγραφής.
- Δυνατότητα καταγραφής περισσότερων του ενός ρυπαντών στο περιβάλλον.

Το σύνολο των ανωτέρω καθιστά την τεχνολογία ιδανική, όχι μόνο για την εφαρμογή σε επίπεδο οχήματος, αλλά και σε επίπεδο υποδομών. Αναπτύσσοντας ένα ολοκληρωμένο δίκτυο αισθητήρων LIDAR με μεγάλη εμβέλεια, δίνεται η δυνατότητα παράλληλης μετάδοσης δεδομένων του περιβάλλοντος στο σύνολο των οχημάτων που κινούνται εντός δικτύου, ενώ παράλληλα με την ανάπτυξη των τεχνολογιών τηλεπικοινωνιών, ο χρόνος απόκρισης θα μειωθεί σε επίπεδο τέτοιο που θα επιτρέπει επαρκή συντονισμό μεταξύ των οχημάτων για την επίτευξη επιπέδου 5 αυτόνομης οδήγησης. Τα κύρια μειονεκτήματα της τεχνολογίας είναι το κόστος το οποίο είναι υψηλό, το μεγάλο βάρος και η απόδοση η οποία επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες όπως το χιόνι και η ομίχλη[4].

3.2. Τεχνολογία RADAR

Η τεχνολογία RADAR αξιοποιείται σε πολλούς τομείς κατά τις τελευταίες 8 δεκαετίες, από την ανάπτυξη προ του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, όπου η αξιοποίησή της αφορούσε τον εντοπισμό στρατιωτικών αεροσκαφών, μέχρι και

στη σύγχρονη εποχή, όπου αξιοποιείται ως μέσο για τον εντοπισμό αντικειμένων σε όλα τα επίπεδα. Παρά την ευρεία χρήση της, η τεχνολογία RADAR προσδίδει κατά κύριο λόγο δισδιάστατα δεδομένα θέσης για την καταγραφή των άμεσα εγγύς εμποδίων. Στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης, η τεχνολογία RADAR αποτέλεσε μία από τις πρώτες επιλογές για την καταγραφή του περιβάλλοντος του οχήματος, ωστόσο παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα[6].

Δεν διαθέτει επαρκή ακρίβεια για τον εντοπισμό αντικειμένων μικρού μεγέθους τα οποία μπορούν να επηρεάσουν τις παραμέτρους οδήγησης. Ένα απλό παράδειγμα αποτελεί ο πεζός, καθώς η τεχνολογία βασίζεται στην μετάδοση ραδιοκυμάτων και την ανάγνωση της ανάκλασης αυτών πάνω σε υλικά διαφόρων τύπων, ωστόσο το οργανικό υλικό όπως π.χ. το ανθρώπινο δέρμα, ή ένα δέντρο, δεν παράγουν αντίστοιχη ανάκλαση, με αποτέλεσμα να μην «διαβάζονται» ως εμπόδια από το σύστημα[23].

Ως αποτέλεσμα η χρήση της τεχνολογίας στα πλαίσια της αυτόνομης οδήγησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με την παράλληλη χρήση άλλων οπτικών τεχνολογιών για την καταγραφή σωμάτων και εμποδίων τα οποία δεν έχουν καταγραφεί ή δεν μπορούν να καταγραφούν από το σύστημα RADAR. Παρά τις όποιες αδυναμίες της τεχνολογίας ωστόσο, έχει και ορισμένα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλου τύπου συστήματα όπως το LIDAR. Αφενός πρόκειται για σύστημα απόδοσης συντεταγμένων, σε συσχέτισμό με την κίνηση του οχήματος και λαμβάνοντας υπόψη το φαινόμενο Doppler, τότε η υπολογιστική ισχύς που απαιτείται για την επεξεργασία των δεδομένων αυτών είναι σημαντικά μικρότερη σε σύγκριση με το LIDAR[20].

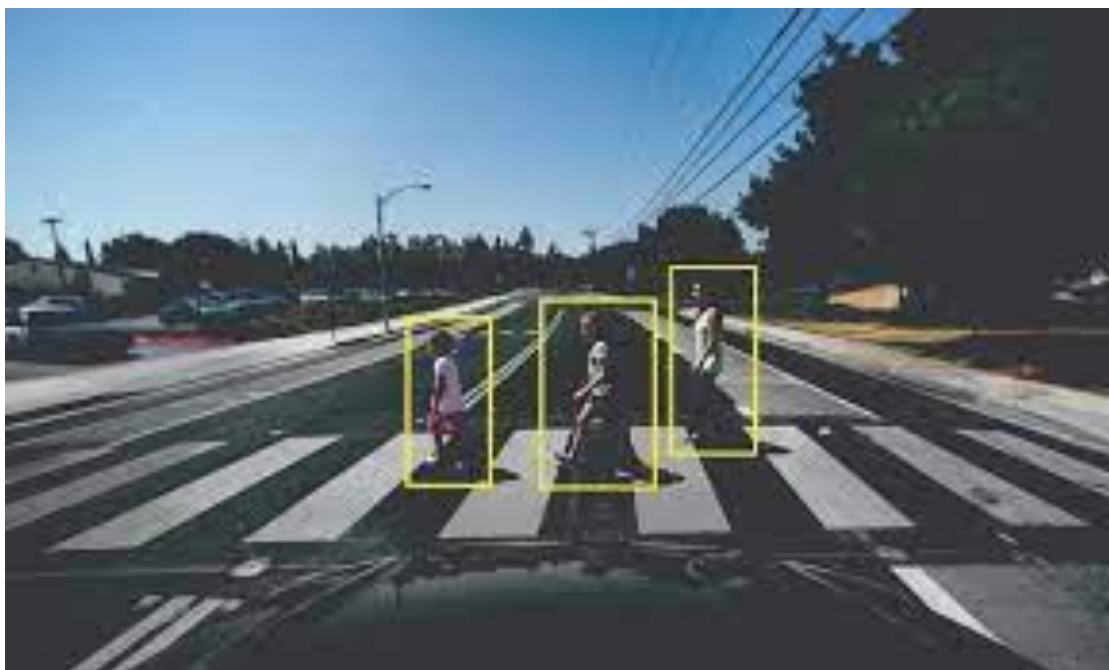
Αφετέρου, πρόκειται για μία από τις πλέον μελετημένες και ανεπτυγμένες τεχνολογίες αναγνώρισης χώρου, με τον τομέα πληροφορικής να διαθέτει εκτεταμένη εμπειρία ως προς την χρήση της και τις δυνατότητές της, κάτι που την καθιστά πιο πιθανό υποψήφιο για ευρεία και εμπορική εφαρμογή[22]. Τέλος το κόστος είναι μικρότερο και δεν επηρεάζεται από καιρικές συνθήκες εν συγκρίσει με το Lidar[20].

3.3. Βίντεο (κάμερα CCTV για συλλογή οπτικής κατάστασης)

Η κύρια μέθοδος η οποία αξιοποιείται στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης, είναι η οπτική καταγραφή βίντεο του περιβάλλοντος του οχήματος, και η επεξεργασία εικόνας για την βέλτιστη αναγνώριση των αντικειμένων του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα η τεχνολογία λαμβάνει την εικόνα από το εγγύς περιβάλλον του οχήματος, και το σύστημα ελέγχου την επεξεργάζεται με την χρήση πολύπλοκων αλγορίθμων[24].

Οι αλγόριθμοι αυτοί εξετάζουν την μορφή, την ταχύτητα και την θέση των αντικειμένων στο εγγύς περιβάλλον του οχήματος. Η επεξεργασία της εικόνας υλοποιείται με βάση την επεξεργαστική ισχύ του συστήματος ελέγχου, και ως αποτέλεσμα η ταχύτητα εξαγωγής των αποτελεσμάτων καθορίζει τον χρόνο απόκρισης του οχήματος. Με βάση το υφιστάμενο τεχνολογικό επίπεδο, σε ένα μέσο όχημα με δυνατότητα αυτόνομης οδήγησης επιπέδου 3, η ταχύτητα αυτή είναι αρκετά κάτω από 1", δίνοντας επαρκή χρόνο στον οδηγό να παρέμβει σε περίπτωση αστοχίας του συστήματος[20].

Το κύριο πλεονέκτημα της τεχνολογίας αποτελεί το γεγονός πως είναι εμπορικά αξιοποιήσιμη, χωρίς να απαιτείται η προσαρμογή της στις υποδομές, ή η ανάπτυξη υποδομών για την λειτουργία της. Σε πρακτικό επίπεδο η μείωση του χρόνου απόκρισης του συστήματος, σε συνδυασμό με την χρήση αισθητήρων εγγύτητας, και η διαμόρφωση των υποδομών με στόχο την ρύθμιση της κυκλοφορίας, μπορεί να αποτελέσει αφορμή για την επίτευξη επιπέδου 5 αυτόνομης οδήγησης σε μεγάλη κλίμακα. Ωστόσο ως τεχνολογία έχει ορισμένα μειονεκτήματα τα οποία σχετίζονται με το hardware, με το κύριο να αποτελεί το γεγονός πως οι κάμερες αυτού του τύπου είναι ευαίσθητες στις παρεμβολές και επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες, με αποτέλεσμα στην περίπτωση αυξημένης ομίχλης ή υγρασίας στην ατμόσφαιρα, να μην είναι σε θέση να λειτουργήσουν αποδοτικά, ενώ υπάρχουν προβλήματα και κατά την νυχτερινή λειτουργία[2].

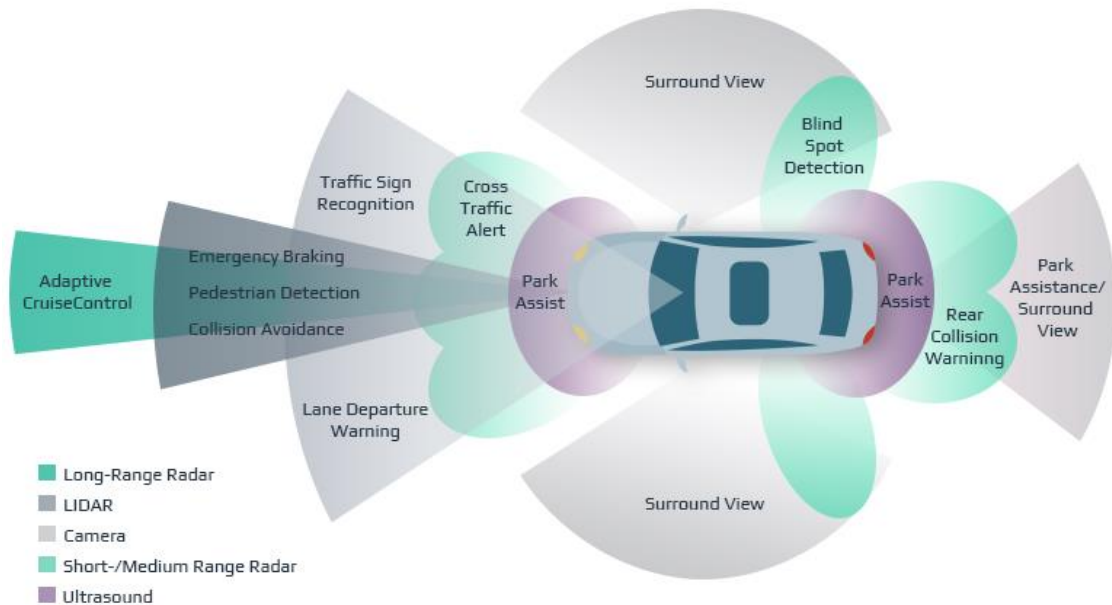


Εικόνα 3 Αποτύπωση του περιβάλλοντος με τη χρήση κάμερας CCTV

Πηγή [25]

3.4. Αισθητήρες Υπερήχων

Ο αισθητήρας υπερήχων βασίζεται σε υπερήχους, που έχουν συχνότητα μεγαλύτερη από 20kHz, για να εντοπίσει την απόσταση. Το μέγεθος δεδομένων του αισθητήρα υπερήχων είναι κοντά σε αυτό του RADAR, που είναι 10-100 KB ανά δευτερόλεπτο. Το κύριο πλεονέκτημα του είναι ότι έχει καλή απόδοση σε κακές καιρικές συνθήκες και περιβάλλον με χαμηλό φωτισμό. Ο αισθητήρας υπερήχων είναι πολύ φθηνότερος σε σχέση με την κάμερα και το RADAR ενώ το μεγάλο του μειονέκτημα είναι η μέγιστη εμβέλεια η οποία δεν ξεπερνά τα 20 μέτρα, περιορίζοντας την εφαρμογή του σε εφαρμογές ανίχνευσης αντικειμένων που βρίσκονται σε μικρή εμβέλεια, όπως η υποβοήθηση στάθμευσης[2].



Εικόνα 4 Παράδειγμα αποτύπωσης της θέσεως και του τύπου των αισθητήρων σε ένα αυτόνομο όχημα.

Πηγή [26]

3.5. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αισθητήρων

Όλοι οι παραπάνω τύποι αισθητήρων ονομάζονται εξωτερικοί αισθητήρες ή αλλιώς αισθητήρες εξωτερικής κατάστασης, οι οποίοι λαμβάνουν πληροφορίες όπως μετρήσεις αποστάσεων και έντασης φωτός από το περιβάλλον του αυτόνομου οχήματος. Αυτοί οι αισθητήρες χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τους παθητικούς και τους ενεργούς. Οι παθητικοί αισθητήρες λαμβάνουν την ενέργεια που εκπέμπεται από το περιβάλλον και παράγουν εξόδους όπως είναι οι κάμερες. Αντίθετα οι ενεργοί αισθητήρες όπως τα lidars, τα radars και οι αισθητήρες υπερήχων εκπέμπουν ενέργεια στο περιβάλλον και μετρούν την αντίδραση για να παράξουν εξόδους[27].

Για τους περισσότερους κατασκευαστές αισθητήρων, η παραγωγή αξιόπιστων και στιβαρών σχεδίων για ακριβείς μετρήσεις όπως και η βαθμονόμηση τους πριν την χρήση τους είναι μία απαιτητική εργασία. Για παράδειγμα τα lidars δεν παρέχουν πληροφορίες χρώματος των αντικειμένων που αναγνωρίζουν οπότε τα δεδομένα που συλλέγονται συγχωνεύονται με τα δεδομένα που παράγονται από άλλους αισθητήρες με την βοήθεια ειδικών αλγορίθμων[24].

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται συνοπτικά μια εικόνα των κυριότερων τεχνικών χαρακτηριστικών των παραπάνω αισθητήρων έτσι όπως προκύπτει από την σύγκριση διαφόρων μοντέλων από διαφορετικούς κατασκευαστές τα οποία είναι διαθέσιμα στην αγορά.

Πίνακας 1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αισθητήρων

Sensor Type	Specifications								
Cameras							Depth Information		
	Baseline (mm)	HFOV (°)	VFOV (°)	FPS (Hz)	Range (m)	Img Res (MP)	Range (m)	Res (MP)	FPS (Hz)
	50 - 250	61 - 115	40 - 68	48 max	20 max	4 max	0.105 min	0.03 - 2.7	0.8 - 90
Lidars	Channels of Layers	FPS (Hz)	Acc. (m)	Range (m)	VFOV (°)	HFOV (°)	HR (°)	VR (°)	λ (nm)
	4 - 128	5 - 50	+0.05	0.3 - 245	3.2 - 41.33	60 - 360	0.1 - 0.4	0.11 - 0.53	850 - 905
Radars	Freq (GHz)	HFOV (°)	VFOV (°)	Range (m)	Range Acc. (m)	Vel. Range (km/h)	IO Interfaces		
	76.5 - 81	-75 - +75	4.4 - 20	0.2 - 250	<0.5	-400 - +200	CAN/Ethernet, CAN, PCAN		
Ultrasonic Sensors	Horizontal Range (m)				Vertical Range (m)				
	0.15 - 6				Narrow				

Cameras: HFOV: Οριζόντιο οπτικό πεδίο; VFOV: Κατακόρυφο οπτικό πεδίο; FPS: Καρέ ανά δευτερόλεπτο; Img Res & Res: Ανάλυση εικόνας σε megapixels

Lidars: FPS: Καρέ ανά δευτερόλεπτο; Acc.: Ακρίβεια; Range: Απόσταση ανίχνευσης; VFOV: Κατακόρυφο οπτικό πεδίο; HFOV: Οριζόντιο οπτικό πεδίο; HR: Οριζόντια ανάλυση; VR: Κατακόρυφη ανάλυση; λ: Μήκος κύματος;

Radars: HFOV: Οριζόντιο οπτικό πεδίο; VFOV: Κατακόρυφο οπτικό πεδίο; Range Acc.: Ακρίβεια απόστασης; Vel. Range: Ταχύτητα

Πηγή [27, 28]

Οι κάμερες του συγκριτικού δείγματος από τον παραπάνω πίνακα είναι stereo, δηλαδή χρησιμοποιούνται 2 κάμερες για τη δημιουργία εικόνας και για τον υπολογισμό της απόστασης κάτι το οποίο αποτελεί πλεονέκτημα σε εφαρμογές αυτόνομης οδήγησης. Επίσης τα lidars που υπάρχουν στην αγορά χωρίζονται σε 2 μεγάλες κατηγορίες, τα Mechanical/Spinning και τα Solid State. Τα lidars της πρώτης κατηγορίας είναι τα πιο δημοφιλή για τη σάρωση περιβάλλοντος σε μεγάλη εμβέλεια με οριζόντια κάλυψη 360°. Για να επιτύχουν το σκοπό τους χρησιμοποιούν έναν ηλεκτρικό κινητήρα για να

κατευθύνουν τις ακτίνες laser. Από την άλλη μεριά τα solid state lidars δεν έχουν μηχανικά μέρη αλλά χρησιμοποιούν πολλαπλούς κυματοδηγούς για να κατευθύνουν τις ακτίνες laser πράγμα που τα καθιστά πιο αξιόπιστα και λιγότερο κοστοβόρα έχοντας όμως περιορισμένη οριζόντια κάλυψη η οποία δεν ξεπερνά τις 120°. Τέλος τα radars που χρησιμοποιούνται σε υλοποιήσεις αυτοκίνησης από τις αυτοκινητοβιομηχανίες κατηγοριοποιούνται σε μικρής, μέσης και μακράς εμβέλειας. Τα radars μικρής εμβέλειας χρησιμοποιούνται ως υποβοήθηση στο parking και προειδοποίηση εγγύτητας, τα μέσης εμβέλειας για αποφυγή πλευρικής/πίσω σύγκρουσης και τα μακράς εμβέλειας για έγκαιρη ανίχνευση[27].

Κεφάλαιο 4^ο Τεχνολογίες μηχανικής μάθησης.

Οι τεχνολογίες μηχανικής μάθησης αποτελούν τον θεμέλιο λίθο της αυτόνομης οδήγησης, καθώς πρόκειται για συστήματα επεξεργασίας των δεδομένων, και «λήψης των αποφάσεων» για την επίτευξη της οδήγησης, σε χρόνους τέτοιους που να επιτρέπουν την περιορισμένη ή την απουσία της συμμετοχής του οδηγού. Η κοινή αντίληψη των τεχνολογιών μηχανικής μάθησης, είναι πως πρόκειται για συστήματα νοημοσύνης, χωρίς την βασική κατανόηση πως πρόκειται για ένα σύνολο στατιστικών διεργασιών, το οποίο είναι σε θέση να βελτιώνει τις πιθανότητες έκβασης με βάση την εκάστοτε επανάληψη της διαδικασίας[29].

4.1. Βασικά στοιχεία μηχανικής μάθησης

Όπως προαναφέρθηκε η τεχνολογία μηχανικής μάθησης βασίζεται στην δυνατότητα του υπολογιστικού συστήματος, να επαναλαμβάνει τις διεργασίες με στόχο την παραγωγή ενός αποτελέσματος, με κάθε επανάληψη να αυξάνει την πιθανότητα κατάληξης στο συγκεκριμένο αποτέλεσμα. Για την επίτευξη του στόχου αυτού το σύστημα αξιοποιεί αλγορίθμους επεξεργασίας δεδομένων, τα οποία δεδομένα αντιστοιχίζονται σε βασικές λειτουργικές πηγές. Στην περίπτωση ενός οχήματος για παράδειγμα κάθε αισθητήρας έχει έναν σκοπό, και παρέχει δεδομένα τα οποία αφορούν τον σκοπό αυτό, το σύστημα μηχανικής μάθησης επεξεργάζεται τα δεδομένα ανά κατηγορία για να μεταβάλει τις παραμέτρους τις οποίες έχει ως στόχο, στην προκειμένη περίπτωση, τη γωνία κλίσης του τιμονιού, την ταχύτητα του οχήματος, και τον χρόνο υλοποίησης της μανούβρας[29].

Άλλο απλό παράδειγμα είναι η εκμάθηση ενός παιγνίου, το οποίο απαιτεί επαναληπτικές διαδικασίες για την επίτευξη του στόχου. Για παράδειγμα το σκάκι, κατά τον σχεδιασμό του αλγορίθμου φορτώνονται οι κανόνες του παιχνιδιού, δηλαδή ο αριθμός, η θέση, η μορφή και ο τρόπος κίνησης των

πιονιών. Στη συνέχεια ενεργοποιείται το σύστημα για την υλοποίηση δοκιμαστικών γύρων, το σύστημα κινεί τα πιόνια στο ταμπλό, και σε κάθε επανάληψη της διαδικασίας προστίθενται ορισμένοι περιορισμοί, ή μεταβάλλονται οι κανονισμοί για να ανταποκρίνονται στους κανόνες του παιχνιδιού. Για παράδειγμα μετά την πρώτη επανάληψη το σύστημα ενημερώνεται για την δυνατότητα κίνησης του στρατιώτη κατά δύο κουτιά στην πρώτη του κίνηση, στην δεύτερη για το γεγονός πως ο ίππος μπορεί να περάσει πάνω από άλλα πιόνια, στην τρίτη για την δυνατότητα εκτέλεσης της κίνησης ροκέ, και ούτω καθεξής[30].

Το ζήτημα στην προκειμένη περίπτωση είναι τι μπορεί να κάνει το σύστημα απέναντι σε έναν παίκτη ο οποίος όχι μόνο είναι απρόβλεπτος, αλλά μπορεί να προσαρμόσει την στρατηγική του με βάση τις κινήσεις του υπολογιστή. Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμος διεξάγει προβλεπτικά μοντέλα με βάση τα οποία προβλέπονται οι επόμενες X κινήσεις του παίκτη, και ανάλογα ο υπολογιστής προσαρμόζει την στρατηγική του. Η διαδικασία αυτή λειτουργεί σε ένα περιβάλλον όπως το σκάκι, όπου τόσο ο παίκτης όσο και ο υπολογιστής είναι υποχρεωμένοι να υπακούν στους ίδιους κανόνες, κάτι που ωστόσο δεν ισχύει κατά την αυτόνομη οδήγηση[30].

Ο λόγος έγκειται στο γεγονός πως εν κινήσει, το όχημα μπορεί να συναντήσει συμπεριφορές των άλλων οδηγών οι οποίες δεν περιλαμβάνονται στα προβλεπτικά μοντέλα, ή τον κώδικα οδικής κυκλοφορίας. Ως αποτέλεσμα εφαρμόζεται η επίλυση των συγκυριακών πιθανοτήτων, όπου ο υπολογιστής εξετάζει ανά χρονική στιγμή, κατά το δυνατόν περισσότερα σενάρια που μπορούν να λάβουν χώρα, εκτός των περιορισμών που έχουν θεσπιστεί από τον κώδικα οδικής κυκλοφορίας. Σε πρακτικό επίπεδο πρόκειται για προτεραιοποίηση των παραμέτρων εξέτασης των δεδομένων, με τα σεν να προσαρμόζονται ανά περίπτωση. Βασική προτεραιότητα κάθε λειτουργικού συστήματος σε αυτόνομο όχημα αποτελεί η προστασία του οδηγού, στην συνέχεια η τήρηση του Κ.Ο.Κ. και τέλος η προστασία των άλλων οδηγών[31].

Το κοινό αντιλαμβάνεται τα συστήματα μηχανικής μάθησης ή συστήματα τεχνητής νοημοσύνης, ως σκεπτόμενα συστήματα τα οποία μπορούν να λάβουν αποφάσεις όπως ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Ωστόσο με βάση το

σύγχρονο τεχνολογικό επίπεδο, τα συστήματα αυτά δεν διαθέτουν την απαραίτητη λογική για να διεξάγουν τέτοιου είδους αναλύσεις. Αντίθετα αναγνωρίζουν μοτίβα δεδομένων, η επανάληψη των οποίων οδηγεί σε συμπεράσματα αναφορικά με τις εφαρμοζόμενες παραμέτρους[31].

4.2. Τεχνητή νοημοσύνη στην αυτόνομη οδήγηση

4.2.1. Επίπεδα μηχανικής μάθησης

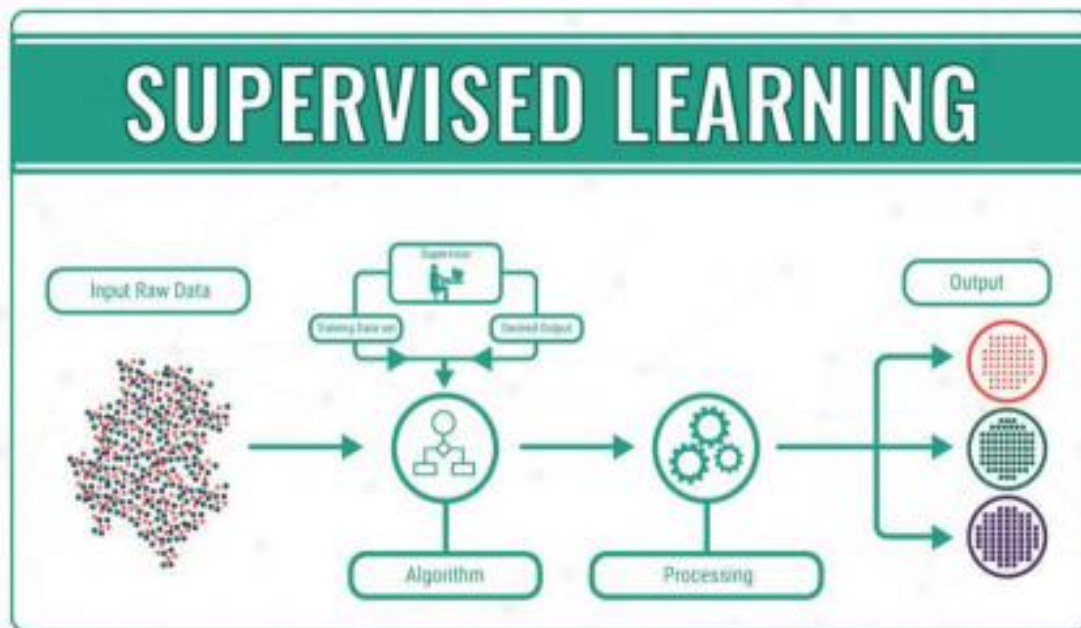
Όπως και στην περίπτωση της αυτόνομης οδήγησης, έτσι και στην περίπτωση των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, υπάρχουν επίπεδα λειτουργίας και κατανόησης. Συγκεκριμένα κάθε επίπεδο στον τομέα, αναφέρεται στην δυνατότητα του αλγορίθμου να προσαρμόζεται στις συνθήκες με βάση τα αποτελέσματα των προβλεπτικών μοντέλων, καθώς επίσης και τον βαθμό παρέμβασης του χρήστη για την προσαρμογή αυτή[32].

Συγκεκριμένα τα επίπεδα των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης είναι[32]:

- Αλγόριθμοι εποπτευόμενης μηχανικής μάθησης.
- Αλγόριθμοι μη εποπτευόμενης μάθησης.
- Αλγόριθμοι ημι-εποπτευόμενης μάθησης.
- Αλγόριθμοι ενισχυτικής μάθησης.

Ως προς τους εποπτευόμενους αλγορίθμους, ο χρήστης παρέχει τα παραδείγματα με βάση τα οποία λειτουργούν τα προβλεπτικά του μοντέλα, και στη συνέχεια παράγει και συγκρίνει το αποτέλεσμα με βάση το ενδεδειγμένο. Οι αλγόριθμοι αυτού του τύπου λειτουργούν στην περίπτωση συνεχών επαναληπτικών διαδικασιών, προκειμένου να εκτελεστούν ενέργειες οι οποίες αφορούν την ίδια διεργασία, αλλά παράλληλα αποτελούν επαρκώς ευέλικτα συστήματα για την συμμετοχή του χρήστη στη διαδικασία. Για τον λόγο αυτό, πρόκειται για αλγόριθμους οι οποίοι αξιοποιούνται στα πλαίσια των βιομηχανικών διεργασιών, προκειμένου οι χρήστες να είναι σε θέση να προσαρμόσουν τις παραμέτρους παραγωγής, αλλά παράλληλα να διαθέτουν

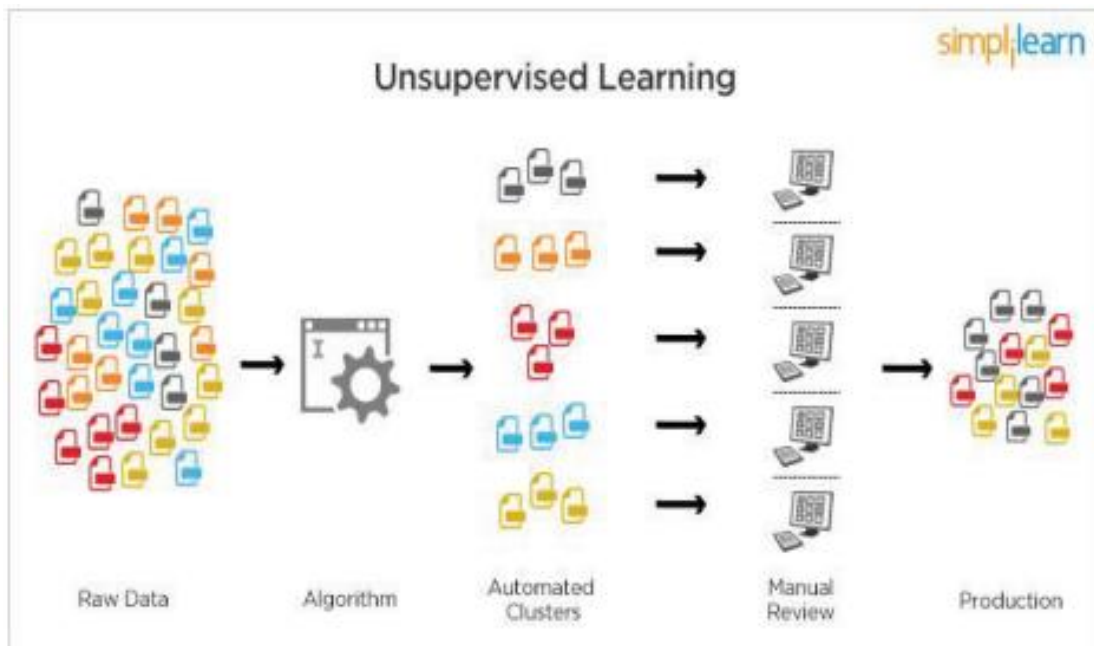
ένα αποδοτικό σύστημα το οποίο θα είναι σε θέση να «ελέγχει» το αποτέλεσμα των διεργασιών[33].



Εικόνα 5 Απεικόνιση της λειτουργίας των εποπτευόμενων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης

Πηγή [34]

Οι αλγόριθμοι μη εποπτευόμενης μάθησης είναι συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται στην περίπτωση όπου τα δεδομένα τα οποία εισάγονται δεν είναι ομαδοποιημένα ή ταξινομημένα. Συγκεκριμένα πρόκειται για αλγορίθμους οι οποίοι αξιοποιούνται στα πλαίσια κλινικών και στατιστικών μελετών προκειμένου να εντοπίσουν μοτίβα και ακολουθίες σε μεγάλα σύνολα δεδομένων, τα οποία δεν παρουσιάζουν λογικό συσχετισμό. Οι αλγόριθμοι αυτού τύπου απαιτούν υψηλή υπολογιστική ισχύ, προκειμένου να είναι σε θέση να εξάγουν αποτελέσματα σε μικρά χρονικά διαστήματα, ενώ παράλληλα απαιτούν και χρήστη ο οποίος θα αξιολογήσει τα αποτελέσματα αυτά, δεδομένου πως ο αλγόριθμος δεν είναι σε θέση να συγκρίνει το παραγόμενο με το «σωστό» αποτέλεσμα[35].



Εικόνα 6 Απεικόνιση της λειτουργίας των αλγορίθμων μη-αυτοματοποιημένης μάθησης

Πηγή [36]

Οι ημι-εποπτευόμενοι αλγόριθμοι μάθησης είναι συνδυασμός των δύο παραπάνω προσεγγίσεων, καθώς είναι σε θέση να επεξεργαστούν τόσο δομημένα όσο και μη δεδομένα, και να παράγουν αποτελέσματα με βάση τον συνδυασμό των δύο. Πρόκειται για την πλέον «κοινή» μορφή που λαμβάνουν οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, ιδίως αυτοί που αφορούν την εκτέλεση διεργασιών για εμπορικούς σκοπούς, και την επεξεργασία ωμών δεδομένων. Η εν λόγω μέθοδος αφορά την μερική συμμετοχή του χρήστη, ο οποίος καθορίζει τις παραμέτρους εισαγωγής, και αξιολογεί τα αποτελέσματα, χωρίς ωστόσο να προσαρμόζει τις παραμέτρους λειτουργίας, οι οποίες διαμορφώνονται από τον ίδιο τον αλγόριθμο[37].

Τέλος οι αλγόριθμοι ενισχυτικής μάθησης, είναι συστήματα τα οποία είναι σε θέση να αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον τους και να προσαρμόζουν τις πολιτικές τους. Συγκεκριμένα ο αλγόριθμος καλείται να επιλέξει μεταξύ εναλλακτικών, οι οποίες επιφέρουν τιμωρία ή ανταμοιβή ανάλογα με την περίπτωση. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι ο αλγόριθμος να σχηματίσει ένα πλαίσιο πολιτικών λειτουργίας, οι οποίες θα αφορούν τις σωστές επιλογές. Ο στόχος επιτυγχάνεται με ένα «σήμα ενίσχυσης» δηλαδή την εισαγωγή

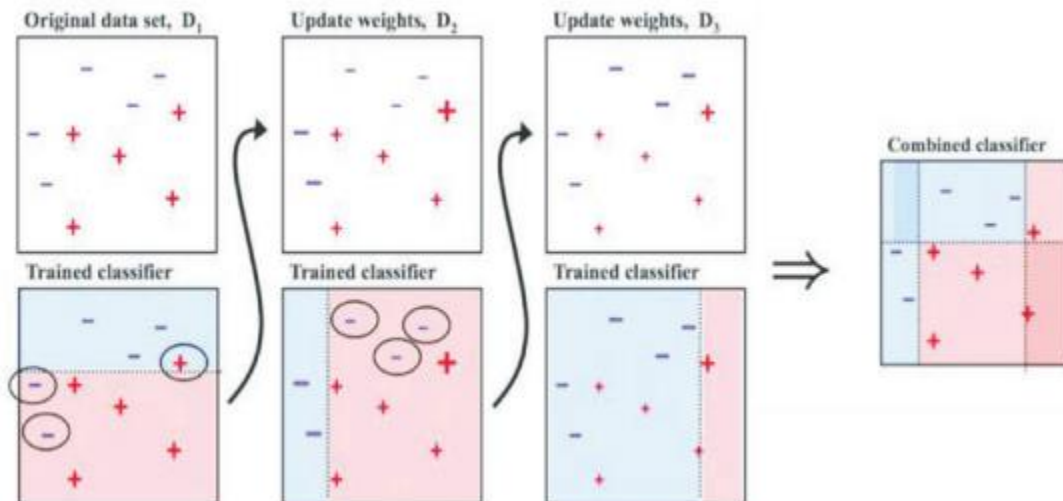
δεδομένων τα οποία έχουν συσχετιστεί με την ανταμοιβή, ενώ αντίστοιχα εφαρμόζεται και η τιμωριστική προσέγγιση. Η συμμετοχή του χρήστη είναι περιορισμένη, ωστόσο μέσω αυτού ορίζονται οι αρχικές παράμετροι του τι συνιστά «τιμωρία» και τι συνιστά «επιβράβευση»[37].

4.2.2. Κατηγορίες Αλγορίθμων

Τα παραπάνω επίπεδα αφορούν την εφαρμογή των αλγορίθμων και τον τρόπο λειτουργίας τους. Ωστόσο για την εκτέλεση διαφορετικών διεργασιών απαιτούνται διαφορετικοί αλγόριθμοι οι οποίοι λειτουργούν με βάση τις παραμέτρους και τον σκοπό σχεδιασμού. Συγκεκριμένα οι κύριες κατηγορίες αλγορίθμων είναι[38]:

- Οι αλγόριθμοι μήτρας αποφάσεων
- Οι αλγόριθμοι ομαδοποίησης
- Οι αλγόριθμοι αναγνώρισης προτύπων
- Οι αλγόριθμοι παλινδρόμησης

Οι αλγόριθμοι μήτρας αποφάσεων είναι αλγόριθμοι οι οποίοι συνδυάζουν ανεξάρτητα εκπαιδευμένα μοντέλα για την διατύπωση συμπερασμάτων αναφορικά με την βέλτιστη πιθανή λύση σε ένα πρόβλημα. Ως εργαλεία αξιοποιούνται στον τομέα της λήψης αποφάσεων για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται εκτενώς στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης, καθώς λειτουργούν με βάση πολλαπλά και διαφοροποιημένα μοντέλα μηχανικής μάθησης, τα οποία συνεργάζονται για την επιλογή του πιο πιθανού αποτελέσματος[38].

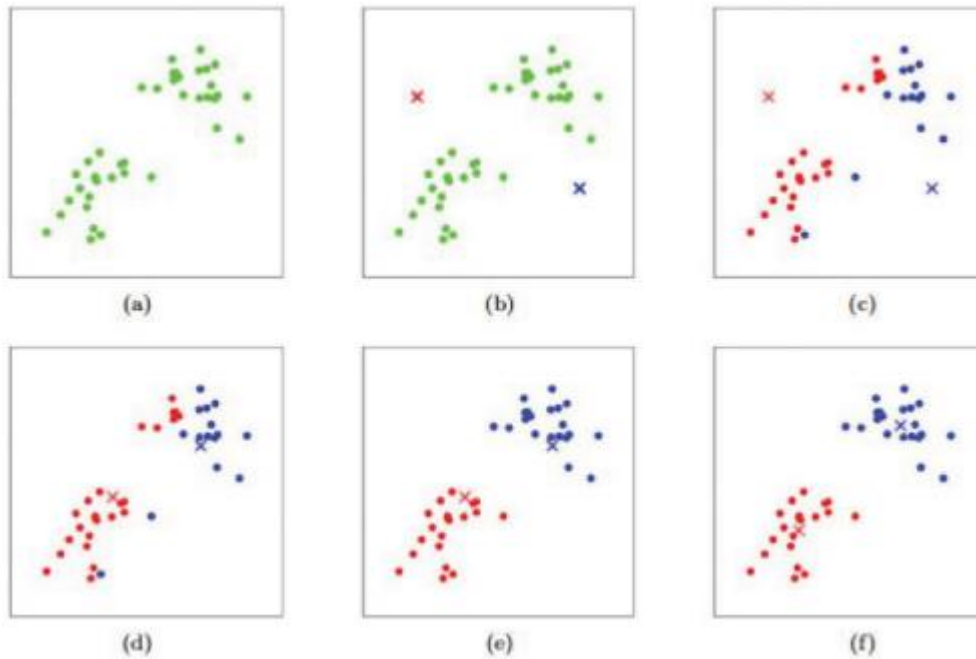


Εικόνα 7 Απεικόνιση της λειτουργίας ομαδοποίησης των αλγορίθμων μήτρας αποφάσεων

Πηγή [39]

Όπως απεικονίζεται και παραπάνω, τα μοντέλα λειτουργούν παράλληλα και συγκριτικά, εισάγοντας τα αποτελέσματά τους σε μία δεξαμενή αποτελεσμάτων, από την οποία εξαγονται συμπεράσματα από το επόμενο μοντέλο και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να προκύψει ένα ομοιογενές αποτέλεσμα. Στο πεδίο της αυτόνομης οδήγησης, η πρακτική αυτή επιτρέπει την παράλληλη επεξεργασία δεδομένων από διάφορες πηγές, με σκοπό την προσαρμογή των παραμέτρων λειτουργίας και οδήγησης του οχήματος.

Ως προς τους αλγόριθμους ομαδοποίησης, η αξιοποίησή τους αφορά κυρίως το πεδίο της επεξεργασίας εικόνας, με στόχο την βελτιστοποίηση της αντίληψης του συστήματος ελέγχου αναφορικά με τα αντικείμενα στο πεδίο όρασης. Οι αλγόριθμοι αυτού του τύπου εξετάζουν οπτικά στοιχεία για την αποτύπωση και την αναγνώριση της εικόνας, με βάση τις παραμέτρους εκπαίδευσης οι οποίες διατυπώθηκαν κατά το στάδιο της ανάπτυξης. Πρόκειται για εργαλεία τα οποία συνδυάζονται με άλλους αλγόριθμους για την παροχή δεδομένων οπτικής φύσεως, και λειτουργούν ως τα «μάτια» του συστήματος[38].



Εικόνα 8 Παράδειγμα λειτουργίας των αλγορίθμων ομαδοποίησης

Πηγή [40]

Ως προς τους αλγόριθμους αναγνώρισης προτύπων, πρόκειται για μοντέλα τα οποία βασίζουν την λειτουργία τους στα μοτίβα που σχηματίζονται και επαναλαμβάνονται από τα εισερχόμενα δεδομένα. Συγκεκριμένα οι αλγόριθμοι αυτού του τύπου είναι σχεδιασμένοι να αναγνωρίζουν βασικά στοιχεία του περιβάλλοντος εντός του οποίου λειτουργεί το σύστημα, και «αναγνωρίζουν» την επανάληψη αυτών. Σε πρακτικό επίπεδο στο πεδίο της αυτόνομης οδήγησης οι αλγόριθμοι αυτού του τύπου αναγνωρίζουν τα στοιχεία εκείνα του περιβάλλοντος, τα οποία παρέχουν πληροφορίες οι οποίες επηρεάζουν την λειτουργία του οχήματος. Συγκεκριμένα τα αντικείμενα αυτά αποτελούν οι σημάνσεις του Κ.Ο.Κ., τα οχήματα παντός τύπου, οι πεζοί, τα ζώα τα οποία ενδεχομένως να βρεθούν στο οδόστρωμα κ.λπ.. Τα πρότυπα αυτών των αντικειμένων, εισάγονται στο σύστημα κατά την εκπαίδευσή του, το οποίο έπειτα από συνεχείς επαναλήψεις της διαδικασίας μαθαίνει να τα αναγνωρίζει και να τα ταξινομεί ολόένα και ταχύτερα, με αποτέλεσμα να είναι σε θέση να παρέχει δεδομένα ακόμα και σε περιπτώσεις απότομης επαφής με κάποιο από αυτά τα αντικείμενα, ακόμα και κατά την πορεία σε υψηλή ταχύτητα[41].

Ως προς τους αλγορίθμους παλινδρόμησης, αυτοί είναι συστήματα πρόβλεψης γεγονότων, και συχνά χαρακτηρίζονται ως δίκτυα νευρώνων. Πρόκειται για αλγορίθμους οι οποίοι εξετάζουν φαινομενικά ασύνδετα δεδομένα, τα οποία προκύπτουν από τα παραπάνω μοντέλα, και παράγουν προβλέψεις για την πιθανή έκβαση του εκάστοτε σεναρίου. Στην περίπτωση της αυτόνομης οδήγησης, ο αλγόριθμος αποτελεί τον κεντρικό «εγκέφαλο» της διαδικασίας, καθώς πρόκειται για το τμήμα της λειτουργίας το οποίο αποτιμά την έκβαση της πορείας των αντικειμένων, καθώς επίσης και των συνθηκών του περιβάλλοντος που επικρατούν. Πρόκειται για το πλέον σημαντικό τμήμα της διαδικασίας δεδομένου πως αφορά την επίλυση του βασικού προβλήματος της αυτόνομης οδήγησης το οποίο και είναι η αδυναμία πρόβλεψης των κινήσεων των λοιπών οδηγών στο εγγύς περιβάλλον του οχήματος[41].

Κεφάλαιο 5^ο Βασικές εφαρμογές αυτόνομης οδήγησης

Η επίτευξη υψηλού επιπέδου αυτόνομης οδήγησης, όπως προαναφέρθηκε, ενέχει ορισμένες προϋποθέσεις, οι οποίες για να εκπληρωθούν, θα πρέπει να γίνουν αντιληπτά τα οφέλη της αυτόνομης οδήγησης από το ευρύ κοινό. Είναι γενική παραδοχή πως η αυτόνομη οδήγηση θα συνοδεύεται από ραγδαία εξάπλωση της ηλεκτροκίνησης, καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα τείνουν να ανταποκρίνονται καλύτερα ως συστήματα αυτόνομης οδήγησης. Τα κύρια ζητήματα στο πλαίσιο αυτό αποτελούν η φόρτιση των οχημάτων, δηλαδή η επάρκεια των υποδομών και της προμήθειας ενέργειας, οι υποδομές, τόσο ως προς την αναγνώριση του Κ.Ο.Κ. όσο και ως προς την εγκατάσταση συστημάτων διαμοιρασμού δεδομένων και το ίδιο το επίπεδο αυτονομίας[1, 42].

5.1. Το ζήτημα της ενέργειας – ανατροφοδότησης

Για την ανάπτυξη ενός επαρκούς δικτύου τροφοδοσίας ηλεκτρικών οχημάτων σε μία χώρα όπως η Ελλάδα, απαιτούνται επενδύσεις μεγάλης κλίμακας στον τομέα της παραγωγής ενέργειας, της αποδοτικότητας δικτύου και την ηλεκτροκίνηση. Συγκεκριμένα, υποθέτοντας πως το σύνολο των ιδιοκτητών, δημόσιων και εμπορικών οχημάτων στην Ελλάδα μετατρέπονταν σε ηλεκτρικά και διέθεταν δυνατότητες αυτονομίας από επίπεδο 4 έως 5, τότε οι απαιτήσεις του ηλεκτρικού δικτύου της χώρας θα αυξάνονταν δραματικά σε σχέση με τα υφιστάμενα επίπεδα ζήτησης, κάτι που θα καθιστούσε το εγχείρημα ιδιαίτερα κοστοβόρο χωρίς την λήψη μέτρων για την χρηματοδότησή του[8].

Ένα από τα κύρια ζητήματα που εγείρεται κατά τον σχεδιασμό σεναρίων που αφορούν την αυτόνομη οδήγηση αποτελεί το ζήτημα της τροφοδοσίας των οχημάτων, καθώς με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, τόσο στην Ελλάδα όσο και στην ΕΕ γενικότερα, τα υφιστάμενα δίκτυα δεν επαρκούν για να καλύψουν μία πιθανή αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων, και ως αποτέλεσμα το δίκτυο θα πρέπει να επεκταθεί σημαντικά κατά την επόμενη δεκαετία. Παράλληλα προκύπτει το ζήτημα της επάρκειας των υφιστάμενων υποδομών, καθώς σε

περίπτωση συνεχούς κίνησης ηλεκτρικών οχημάτων, οι υφιστάμενοι σταθμοί φόρτισης θα πρέπει να αυξηθούν σημαντικά[8].

Η αντιμετώπιση των προκλήσεων αυτού του τύπου αποτελεί αντικείμενο συνεχούς μελέτης στον τομέα, όπου εξετάζονται συνεχώς τα ζητήματα που προκύπτουν κατά την προσπάθεια εξέλιξης της αυτόνομης οδήγησης. Σε πρακτικό επίπεδο για την επίτευξη επιπέδου 5, το όχημα θα πρέπει να ξεκινά από το σημείο A, με προορισμό το σημείο B, ενδιάμεσα ωστόσο θα πρέπει να διαθέτει πρόσβαση τόσο σε σταθμούς τροφοδοσίας, όσο και σε σταθμούς εκτάκτου ανάγκης. Λαμβάνοντας δε υπόψιν πως σε περίπτωση ανάπτυξης των εφαρμογών της αυτόνομης οδήγησης σε επίπεδο 5, η συλλογική οδηγική εμπειρία θα μειωθεί, τότε τα οχήματα θα πρέπει να είναι σε θέση να φτάσουν σε σταθμούς εκτάκτου ανάγκης, προκειμένου να αποκατασταθεί η όποια βλάβη παρουσιάσουν κατά την πορεία του οχήματος, με περιορισμένη τη συμμετοχή του οδηγού[43].

Στην περίπτωση αυτή οι υφιστάμενες υποδομές θα πρέπει να επεκταθούν σημαντικά, ακόμα και σε περιοχές με μικρής κλίμακας οδικά δίκτυα (π.χ. επαρχιακές περιοχές) προκειμένου να διασφαλιστεί η πρόσβαση σε αυτά. Στο πλαίσιο αυτό έχουν υλοποιηθεί πολλαπλές επενδύσεις στην Ελλάδα και στην ΕΕ, για την ανάπτυξη του δικτύου φόρτισης των οχημάτων, ενώ σημαντικές είναι και οι παρεμβάσεις για την αύξηση της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, προκειμένου το εγχείρημα να είναι οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμο[44].

Το ζήτημα της φόρτισης των οχημάτων, δεν αποτελεί πρόβλημα αποκλειστικά για τις δύσβατες, ή απομακρυσμένες περιοχές και τα μεγάλα οδικά δίκτυα, αλλά και για τους αστικούς ιστούς. Με βάση το υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα, κάθε κάτοχος ηλεκτρικού οχήματος διαθέτει την δυνατότητα να εγκαταστήσει φορτιστή χαμηλής τάσης στο ισόγειο της διαμένουσας κατοικίας, χωρίς ωστόσο αυτό να αποτελεί μέτρο το οποίο καλύπτει το σύνολο των ενδεχομένων. Λόγω της διαμόρφωσης των κτιρίων εντός του αστικού ιστού, οι κατοικίες και πολυκατοικίες οι οποίες πληρούν τα κριτήρια για την εγκατάσταση αυτού του τύπου φορτιστή, δεν καλύπτουν επαρκές ποσοστό του κτιριακού κεφαλαίου. Ως αποτέλεσμα πολλοί υποψήφιοι αγοραστές ηλεκτρικών

οχημάτων, αδυνατούν να προχωρήσουν στην απόκτησή τους, λόγω της αδυναμίας εγκατάστασης φορτιστή στην κατοικία τους, γιατί μπορεί η δομή του κτιρίου να είναι τέτοια ώστε να μην έχει πρακτικότητα, δηλαδή ακόμα και σε περίπτωση εγκατάστασης του φορτιστή, το αυτοκίνητο να μην μπορεί να πλησιάσει λόγω του ιδιοκτησιακού καθεστώτος της κατοικίας, π.χ. η κατοικία να είναι σε κτίριο ή περιοχή με διατηρητέα, η οποία απαγορεύει την εγκατάσταση αντίστοιχων συστημάτων στο εξωτερικό του κτιρίου[42].

5.2. Τα οδηγικά ζητήματα

Στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης, ένα από τα κύρια ζητήματα που προκύπτουν είναι τα καθημερινά «οδηγικά» προβλήματα τα οποία κάθε άνθρωπος οδηγός αντιμετωπίζει καθημερινά. Συγκεκριμένα το ζήτημα αυτό αφορά το ερώτημα «πως θα αναγνωρίζει το όχημα τον Κ.Ο.Κ. με βάση τις ιδιαίτερες επικρατούσες συνθήκες. Όπως προαναφέρθηκε η επίτευξη υψηλού επιπέδου αυτόνομης οδήγησης προϋποθέτει την «αναβάθμιση» των υφιστάμενων υποδομών οδήγησης, ούτως ώστε τα ηλεκτρονικά συστήματα να είναι σε θέση να ανταποκριθούν στον βέλτιστο δυνατό χρόνο. Για την επίτευξη του αποτελέσματος αυτού, οι παρεμβάσεις θα πρέπει να περιλαμβάνουν και την δυνατότητα ανταπόκρισης στον Κ.Ο.Κ. σε περιπτώσεις όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο[12].

Για την βαθύτερη κατανόηση του ζητήματος παρατίθενται τα κάτωθι σενάρια.

Σενάριο 1: Περίπτωση οχήματος το οποίο κινείται σε λωρίδα αστικής περιοχής, με αυξημένο όγκο κυκλοφορίας, από την οποία πρέπει να διέλθει ασθενοφόρο[45]

Υπό κανονικές συνθήκες ο οδηγός του οχήματος θα κινηθεί προς τα δεξιά ή αριστερά, ανάλογα με την κατεύθυνση του ασθενοφόρου, ούτως ώστε να δώσει τον απαραίτητο χώρο στο όχημα να τον προσπεράσει. Λόγω της αυξημένης κυκλοφορίας το σύνολο των οδηγών καλείται να πράξει παρόμοια κίνηση, με ενδεχόμενη την παραβίαση φωτεινής ή άλλης σήμανσης, ούτως ώστε να δημιουργηθεί ο αντίστοιχος «διάδρομος» εντός της κυκλοφορίας.

Στην περίπτωση επίτευξης αυτόνομης οδήγησης υψηλού επιπέδου (4 ή 5), η αντίστοιχη εφαρμογή του σεναρίου απαιτεί είτε την διατήρηση κενής λωρίδας ασφαλείας, μέσω της εισαγωγής «απαγόρευσης» εισόδου στην συγκεκριμένη λωρίδα από το σύστημα προγραμματισμού, είτε μέσω της εκπομπής σήματος εκτάκτου ανάγκης στο όχημα, από το δίκτυο ρύθμισης της κυκλοφορίας. Στην πρώτη περίπτωση το όχημα δεν θα χρησιμοποιεί την λωρίδα ασφαλείας, εκτός αν παρίστανται ιδιαίτερες συνθήκες, όπως έκτακτο υγειονομικό γεγονός ή μηχανική βλάβη. Στην δεύτερη περίπτωση εντός του αστικού ιστού λειτουργεί σύστημα συντονισμού και διαχείρισης της κυκλοφορίας, το οποίο ρυθμίζει βασικές λειτουργίες των οχημάτων όπως η ταχύτητα και το δρομολόγιο, για την επίτευξη βέλτιστης ροής, σε αυτή την περίπτωση απαιτούνται εκτενείς παρεμβάσεις στις υποδομές, καθώς επίσης και την αντίστοιχη προσαρμογή του Κ.Ο.Κ., του νομοθετικού συστήματος, και του προγραμματισμού των οχημάτων.

Σενάριο 2: Περίπτωση οχήματος το οποίο κινείται σε εθνική οδό, υπό ακραίες συνθήκες χιονόπτωσης[1]

Με βάση το παραπάνω σενάριο ένας άνθρωπος οδηγός ο οποίος βρίσκεται σε αυτή την κατάσταση, θα επιλέξει είτε να σταματήσει το όχημα, και να ειδοποιήσει τις αρχές, είτε να σταθμεύσει στην πλησιέστερη πόλη μέχρι να υποχωρήσουν οι συνθήκες, είτε να συνεχίσει την πορεία του μέχρι τον προορισμό του με βάση την εμπειρία του και τις δυνατότητες του οχήματος. Το κύριο ζήτημα που προκύπτει σε αυτό το σενάριο αποτελεί το γεγονός πως μεγάλος αριθμός οδηγών θα επιλέξει να συνεχίσει την πορεία του, καθώς διαθέτει την αυτοπεποίθηση πως θα καταφέρει να φτάσει στον προορισμό του, κάτι που στην πλειονότητα των περιπτώσεων οδηγεί σε ατύχημα ή μηχανική βλάβη του οχήματος.

Στην περίπτωση επίτευξης αυτονομίας υψηλού επιπέδου, το όχημα θα λαμβάνει σε πραγματικό χρόνο καιρικά και μετεωρολογικά δεδομένα, τα οποία θα αξιοποιεί κατά την διαμόρφωση της διαδρομής. Αν για οποιοδήποτε λόγο δεν υπάρχει η δυνατότητα αποφυγής των καιρικών φαινομένων τότε ο «εγκέφαλος» του οχήματος, θα λαμβάνει απόφαση με βάση τις εναλλακτικές ασφαλείας κατά προτεραιότητα. Πρώτη προτεραιότητα αποτελεί η άφιξη σε

ασφαλή προορισμό, ενώ τελευταία προτεραιότητα η άφιξη στον τελικό προορισμό. Παράλληλα το όχημα θα έχει την δυνατότητα μετάδοσης της θέσης και της πορείας του στις αντίστοιχες αρχές, με σκοπό την προστασία του οδηγού από τις καιρικές συνθήκες, και το ενδεχόμενο παραμονής εντός αυτού σε περίπτωση αποκλεισμού στην εθνική οδό.

Σενάριο 3: Περίπτωση οχήματος το οποίο κινείται σε επαρχιακή οδό με ελλιπή σήμανση[9]

Σε αυτό το σενάριο ο άνθρωπος οδηγός καλείται να βασιστεί στην εμπειρία του, στα ηλεκτρονικά μέσα (π.χ. GPS) ή στην επαφή με άλλους ανθρώπους, προκειμένου να μάθει τη θέση του. Ωστόσο η πρακτική αυτή δεν μπορεί να βοηθήσει στην περίπτωση ελλιπούς σήμανσης σε σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος όπως διασταυρώσεις, χαλασμένα φανάρια, ή κατεστραμμένου οδοστρώματος, στα οποία θα πρέπει να βασιστεί κατ' αποκλειστικότητα στην προσωπική του οδηγική πείρα για την εξεύρεση λύσης. Στην περίπτωση επίτευξης αυτόνομης οδήγησης, ωστόσο, το ζήτημα αφορά πλέον το σύστημα μηχανικής μάθησης, το οποίο θα πρέπει να είναι σε θέση να κατανοεί την κατάσταση των σημείων αυτών, και να λαμβάνει αποφάσεις με βάση την πρότερη εμπειρία, σε συνδυασμό με τα δεδομένα που λαμβάνονται από άλλα συστήματα όπως το σύστημα γεωεντοπισμού, το σύστημα οπτικής πληροφόρησης, και λοιπούς αισθητήρες της κατάστασης του οχήματος. Κατά αυτό τον τρόπο το όχημα θα διαμορφώσει τις παραμέτρους οδήγησης με βάση την ακόλουθη λογική ακολουθία:

- Κατεστραμμένο οδόστρωμα → μείωση της ταχύτητας και κατά το δυνατόν αποφυγής των ρωγμών.
- Απουσία ή κατεστραμμένος φωτεινός σηματοδότης → επιλογή της διαδρομής η οποία βρίσκεται εντός του σχεδίου πορείας, μείωση της ταχύτητας σε επίπεδο που επιτρέπει ελιγμούς αποφυγής, και παρακολούθηση για το ενδεχόμενο διέλευσης άλλων οχημάτων από τους παράλληλους και κάθετους δρόμους.

- Κίνηση σε επαρχιακό δρόμο χωρίς σηματοδότηση, στον οποίο οι ντόπιοι δεν τηρούν την προτεραιότητα → σε αυτή την περίπτωση το όχημα διαμορφώνει παραμέτρους οδήγησης τέτοιες οι οποίες δεν θέτουν σε κίνδυνο τον οδηγό του οχήματος ή των άλλων οχημάτων, μειώνοντας την ταχύτητα και κινούμενο στην δεξιά (ή αριστερή ανάλογα με την χώρα) πλευρά του δρόμου, προκειμένου να είναι ορατό από όλες τις πλευρές και να επιτρέπει την προσπέραση από άλλους οδηγούς.

5.3. Επίπεδο αυτονομίας

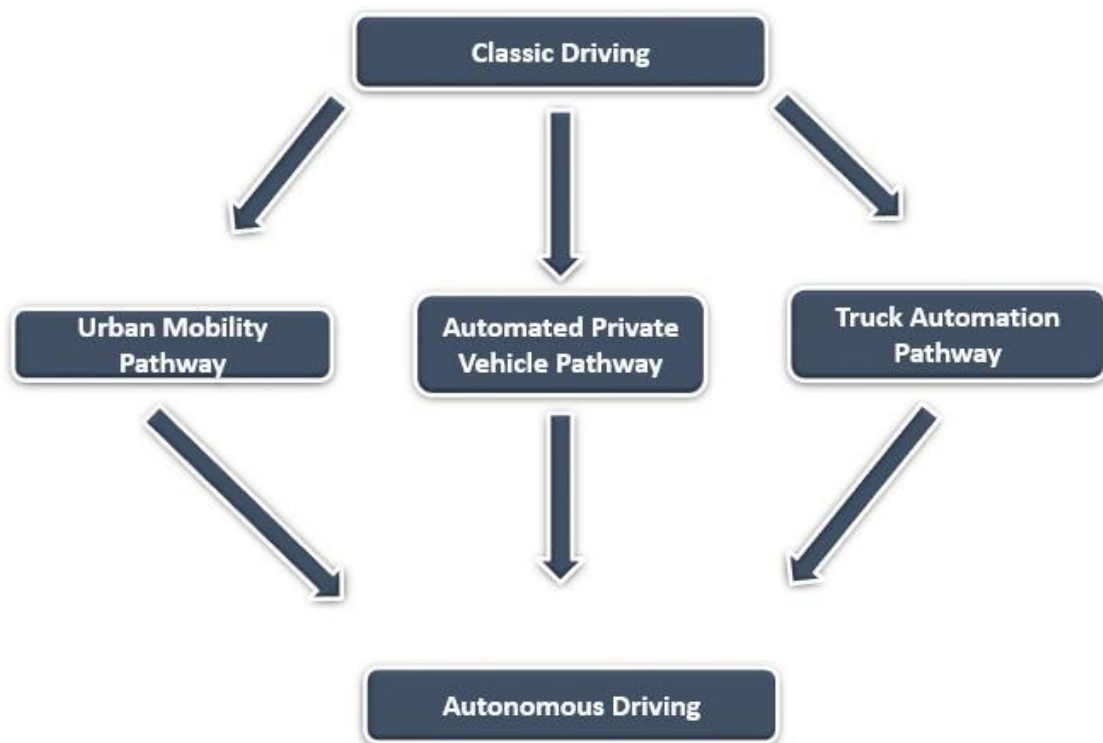
Η επίτευξη υψηλού επιπέδου αυτονομίας αποτελεί ένα ακόμα ζήτημα στην διαμόρφωση των κατάλληλων συνθηκών για την εφαρμογή της αυτόνομης οδήγησης. Όπως προαναφέρθηκε τα επίπεδα αυτονομίας είναι 5, με το πέμπτο να είναι το τελικό επίπεδο. Ωστόσο σύμφωνα με τις έρευνες οι πιθανότητες για την επίτευξη επιπέδων 3 ή 4, είναι υψηλότερες, λόγω της διαμόρφωσης της αγοράς στον τομέα της αυτοκίνησης. Συγκεκριμένα η οδήγηση αποτελεί υπό την γενική έννοια, μία ένδειξη αυτονομίας για τον οδηγό του οχήματος, με τις σχετικές έρευνες να υποδεικνύουν πως ένας από τους λόγους για τους οποίους οι οδηγοί δεν εμπιστεύονται την αυτόνομη οδήγηση, είναι η στέρση της ελευθερίας που τους προσφέρει ο έλεγχος του οχήματος[46].

Ως αποτέλεσμα η επίτευξη υψηλού επιπέδου αυτόνομης οδήγησης προϋποθέτει όχι μόνο την διαμόρφωση των κατάλληλων συνθηκών και υποδομών, αλλά και την αλλαγή της νοοτροπίας των καταναλωτών στον τομέα. Ο λόγος βρίσκεται στο γεγονός πως για την επένδυση στην βελτίωση της αυτόνομης οδήγησης, και της αναγωγής της από «βοηθητικό σύστημα» σε βασικό στοιχείο της οδήγησης, θα πρέπει να υφίσταται το ενδιαφέρον του κοινού, καθώς οι επενδύσεις τόσο για την ανάπτυξη όσο και την εφαρμογή των αντίστοιχων συστημάτων, είναι εκτενείς και δεν δύνανται να υλοποιηθούν αν το επενδυτικό ρίσκο είναι υψηλό[47].

Ένα ακόμα ζήτημα στο πλαίσιο αυτό αποτελεί ο καθορισμός του συσχετισμού αρχών – οδηγών, για την επίτευξη της αυτόνομης οδήγησης. Συγκεκριμένα μία

από τις βασικές λειτουργικές δυνατότητες των συστημάτων αυτών, αποτελεί η υπακοή στις υποδείξεις και τους νόμους, οι οποίοι εισάγονται ως ηλεκτρονικοί περιορισμοί στην κωδικοποίηση του συστήματος. Σε πρακτικό επίπεδο ένα πλήρως αυτόνομο όχημα δεν είναι σε θέση να αναγνωρίσει το σήμα των αρχών για να σταματήσει, λόγω του ότι «δεν γνωρίζει» πως να κάνει κάτι τέτοιο[48].

Το γεγονός αυτό είναι θεμελιώδες για την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος αυτόνομης οδήγησης, αλλά και για την διαμόρφωση προδιαγραφών κατά την παραγωγή των οχημάτων αυτού του τύπου. Τυπολογικά, κάθε όχημα θα πρέπει να υπακούει πλήρως στην αντίστοιχη εφαρμοζόμενη νομοθεσία και στις υποδείξεις των αρχών, ωστόσο υφίστανται περιπτώσεις όπου αυτό δεν είναι απαραίτητο, ή μπορεί να αποβεί επικίνδυνο (π.χ. εξαπάτηση, ή κατάχρηση εξουσίας). Η επίλυση του προβλήματος ανήκει στο πεδίο του ηθικού ή νομολογικού τομέα, και όχι στο προγραμματιστικό, ωστόσο αποτελεί επίσης ζήτημα επιρροής της αγοράς, κάτι που θα ενέχει μελλοντικές συνέπειες στην προσπάθεια εφαρμογής[3].



Εικόνα 9 Μονοπάτια επίτευξης αυτόνομης οδήγησης

Παράλληλα κατά την εφαρμογή επιπέδου 5 αυτόνομης οδήγησης, εγείρονται ζητήματα ασφαλείας τα οποία αφορούν τα προσωπικά δεδομένα του οδηγού, καθώς επίσης και το ενδεχόμενο παρεμβολής στην λειτουργία των οχημάτων. Το ενδεχόμενο των παρεμβολών αυτών (κοινώς hacking) είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς η πρόσφατη εμπειρία ψηφιοποίησης κρατικών λειτουργιών και υποδομών, και τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν κατά την εμπλοκή δόλιων ομάδων στην λειτουργία αυτών, καθιστούν το ζήτημα της ασφάλειας κομβικής σημασίας στην εφαρμογή της αυτόνομης οδήγησης[1].

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω ζητημάτων, καθώς επίσης και των περιορισμών που εγείρονται από το επενδυτικό ρίσκο, οι ερευνητές έχουν αναπτύξει τρεις «οδούς ή μονοπάτια» για την επίτευξη της αυτόνομης οδήγησης. Διαιρώντας τις τρεις βασικές πτυχές της οδήγησης, δηλαδή την αστική μεταφορά, την ιδιωτική οδήγηση και την κίνηση βαρέων οχημάτων, προκύπτουν τα ακόλουθα μονοπάτια[18]:

- *Αυτονόμηση των αστικών μεταφορών:* πρόκειται για την πρακτική μετατροπής των οχημάτων δημόσιων μεταφορών (π.χ. ΜΜΜ, ταξί) σε αυτόνομα ηλεκτρικά οχήματα, τα οποία θα επιτρέπουν στους επιβαίνοντες να φθάνουν στους προορισμούς τους χωρίς την παρέμβαση οδηγού. Η πρακτική αυτή περιορίζει το ηθικό ζήτημα που προκύπτει από την αυτόνομη οδήγηση, καθώς πρόκειται για τομέα στον οποίο οι επιβάτες δεν διαθέτουν κανένα έλεγχο στην οδήγηση των αντίστοιχων οχημάτων.
- *Αυτόνομη οδήγηση των ιδιωτικών οχημάτων:* πρόκειται για πρακτική όπου η αυτόνομη οδήγηση εφαρμόζεται στα Ι.Χ. και όχι στα βαρέως τύπου ή τα αστικά μέσα μεταφοράς. Η περίπτωση αυτή εξετάστηκε διεξοδικά παραπάνω, και εγείρεται το σύνολο των ζητημάτων που αφορούν την αυτόνομη οδήγηση.
- *Αυτονόμηση βαρέων οχημάτων:* πρόκειται για την εφαρμογή της πρακτικής σε οχήματα που εκτελούν δρομολόγια και εργασίες, και μπορούν να γίνουν επικίνδυνα κατά την κίνησή τους σε επαρχιακές οδούς και εθνικά δίκτυα. Ως αποτέλεσμα η αυτονόμησή τους βελτιώνει

τις δυνατότητες των εφοδιαστικών αλυσίδων και μειώνει σημαντικά το ενδεχόμενο πρόκλησης ατυχήματος, ωστόσο αυξάνει τον κίνδυνο hacking στην περίπτωση των εταιρειών που πρόκειται να εφαρμόσουν την πρακτική.

Κεφάλαιο 6^ο Hardware για αυτόνομη οδήγηση

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, δύο από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό στην αυτόνομη οδήγηση είναι η μηχανική μάθηση (ML) και η υπολογιστική όραση (CV). Οι συγκεκριμένες τεχνολογίες για να είναι σε θέση να λειτουργήσουν αποτελεσματικά και απρόσκοπτα έχουν δημιουργήσει τις ανάγκες για δημιουργία hardware ειδικού σκοπού ώστε να μπορέσουν να καλυφθούν οι μεγάλες απαιτήσεις για πολύ γρήγορη επεξεργασία δεδομένων, μικρούς χρόνους απόκρισης, έχοντας παράλληλα χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Εκτός των παραδοσιακών επεξεργαστικών μονάδων που υπάρχουν αρκετές δεκαετίες, δημιουργήθηκαν και νέες μονάδες, οι επιταχυντές υλικού (hardware accelerators), οι οποίοι είναι σε θέση να καλύψουν τις αυξημένες απαιτήσεις που υπάρχουν στην αυτόνομη οδήγηση και στο σύγχρονο τεχνολογικό πεδίο εν γένει.

6.1. Είδη Hardware

Η ανάπτυξη των εφαρμογών της μηχανικής μάθησης και κατ' επέκταση της τεχνητής νοημοσύνης, δεν θα ήταν δυνατές χωρίς την πρόοδο στον τομέα των ψηφιακών ηλεκτρονικών επεξεργαστών. Οι επεξεργαστές είναι ολοκληρωμένα κυκλώματα τα οποία παρέχουν την υπολογιστική ισχύ ενός υπολογιστικού συστήματος. Κοινώς αναφέρονται ως ο «εγκέφαλος» του συστήματος, με την ονομασία ωστόσο να μην ανταποκρίνεται επακριβώς στις βασικές τους λειτουργίες[49].

Οι κύριοι τύποι επεξεργαστικών μονάδων παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας – Central Processing Unit (CPU)

Την πλέον κοινή μορφή επεξεργαστή στην αγορά αποτελούν οι CPUs, οι οποίες κατασκευάζονται από πυρίτιο, και διατίθενται για την λειτουργία μεγάλου εύρους ηλεκτρονικών συσκευών[49]. Η CPU είναι το βασικό μέρος ενός υπολογιστικού συστήματος και είναι υπεύθυνη για να εκτελεί μαθηματικούς υπολογισμούς[50]. Σε ανώτερα επίπεδα ωστόσο, όπως για

παράδειγμα στην διαδικασία λειτουργίας ενός αυτόνομου οχήματος, απαιτείται η χρήση διαφορετικού τύπου υπολογιστικών μονάδων, οι οποίες είναι σε θέση να επεξεργαστούν τον υψηλό όγκο δεδομένων για την υλοποίηση της διαδικασίας[52].

Μονάδα Επεξεργασίας Γραφικών – Graphics Processing Unit (GPU)

Η GPU είναι ένα ειδικά σχεδιασμένο κύκλωμα για την επεξεργασία εικόνας όπου είναι έως και 250 φορές πιο γρήγορη από την CPU σε εργασίες που έχουν να κάνουν με μηχανική μάθηση[50]. Οι GPUs σχεδιάστηκαν στην αρχή για την επεξεργασία γραφικών αλλά οι σύγχρονες GPUs είναι ικανές να επεξεργαστούν παράλληλα δεδομένα σε πολύ υψηλό ρυθμό. Οι τρεις παράγοντες που παίζουν ρόλο στην επιλογή των GPUs για μηχανική μάθηση είναι η κατανάλωση ενέργειας, η υπολογιστική απόδοση και η αποδοτικότητα της μνήμης. Λόγω των μεγάλων απαιτήσεων σε ενέργεια δεν ενδείκνυνται και δεν προτιμώνται σε εφαρμογές που απαιτούν όσο το δυνατόν λιγότερη κατανάλωση όπως συσκευές IoT[53].

Συστοιχίες Προγραμματιζόμενων Πυλών Πεδίου – Field Programmable Gate Arrays (FPGA)

Τα FPGAs είναι ενσωματωμένα κυκλώματα τα οποία μπορούν να επαναπρογραμματίζονται δυναμικά, υποστηρίζουν την υλοποίηση διεργασιών μηχανικής μάθησης και έχουν μικρότερη καθυστέρηση από τις CPUs σε επεξεργασία αναλογικών σημάτων, με μικρότερη κατανάλωση ενέργειας[50, 54].

Λόγω της ευρείας χρησιμοποίησης των FPGAs σε εφαρμογές και συστήματα των αυτόνομων οχημάτων θα εμβαθύνουμε περαιτέρω σε αυτά, δίνοντας επιπλέον πληροφορίες, στην επόμενη ενότητα.

Ενσωματωμένα Κυκλώματα Ειδικών Εφαρμογών – Application-Specific Integrated Circuits (ASICs)

Τα ASICs είναι μη επαναπρογραμματιζόμενα ενσωματωμένα κυκλώματα ειδικού σκοπού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και σε εφαρμογές μηχανικής μάθησης χωρίς να έχουν την ευελιξία που έχουν οι CPUs, GPUs και τα FPGAs. Ωστόσο μπορούν να προσφέρουν τη μέγιστη δυνατή

αποδοτικότητα σε σχέση με όλες τις άλλες πλατφόρμες[50, 54]. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι hardware accelerators ενώ οι δύο βασικοί τύποι τους που χρησιμοποιούνται στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης αποτελούν οι TPUs / Edge TPUs, και οι VPUs[52].

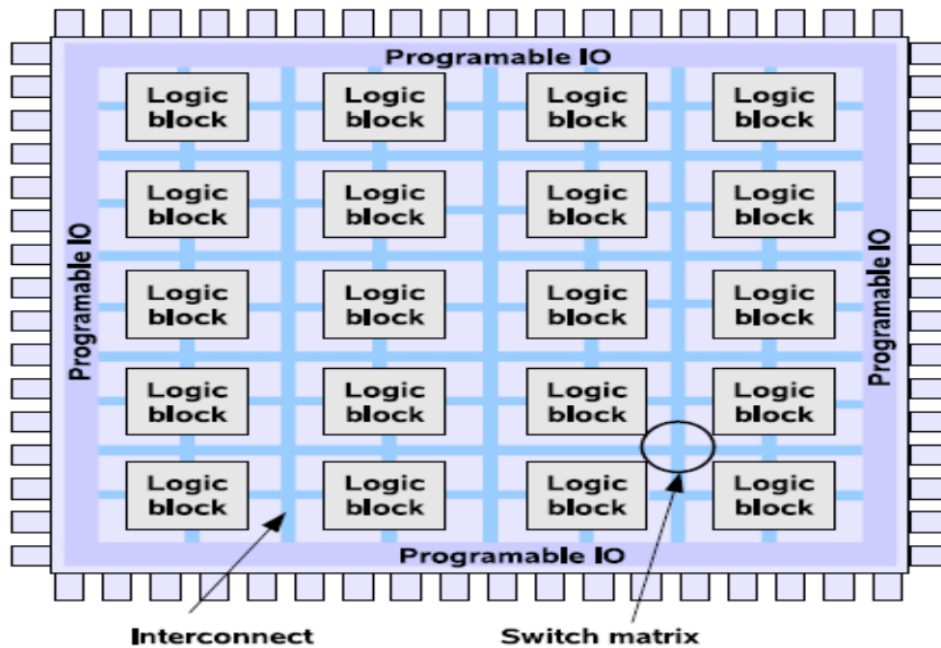
Στο σχεδιασμό ενός ASIC υπάρχουν σημαντικές δυνατότητες για σμίκρυνση και βελτιστοποίηση αυτών των chips για μεγάλη απόδοση και μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Το μικρό μέγεθος, η μεγάλη ταχύτητα επεξεργασίας, η σχεδίαση για ενεργειακή αποδοτικότητα και η ισχυρή παράλληλη επεξεργασία είναι τα κύρια χαρακτηριστικά ενός επιταχυντή τεχνητής νοημοσύνης (AI). Ωστόσο στην περίπτωση του σχεδιασμού τσιπ μικρού μεγέθους, η υπερβολική απαγωγή ισχύος οδηγεί σε αυξημένη θερμοκρασία στην πλακέτα και κόστος ψύξης, καθώς και πιθανά προβλήματα αξιοπιστίας[55].

6.2. Συστοιχίες Προγραμματιζόμενων Πυλών Πεδίου (FPGA)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα FPGAs είναι ολοκληρωμένα κυκλώματα ειδικού σκοπού, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στο πεδίο των ψηφιακών κυκλωμάτων καθώς και στην αυτόνομη οδήγηση λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών που διαθέτουν.

6.2.1. Αρχιτεκτονική FPGAs

Τα FPGAs αποτελούνται από ένα σύνολο προγραμματιζόμενων λογικών κελιών, τα οποία ονομάζονται *ρυθμιζόμενα λογικά μπλοκ* (Configurable Logic Blocks - CLB), ένα προγραμματιζόμενο δίκτυο διασύνδεσης αυτών, και ένα σύνολο προγραμματιζόμενων κελιών εισόδου και εξόδου. Επιπρόσθετα, περιλαμβάνουν ένα σύνολο ενσωματωμένων κυκλωμάτων, όπως μπλοκ επεξεργασίας ψηφιακού σήματος (DSP) που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση συγκεκριμένων αριθμητικών πράξεων, μπλοκ μνήμης RAM (BRAMs), πίνακες αναζήτησης (LUTs), flip flops (FFs), μονάδα διαχείρισης ρολογιού, συνδέσεις I/O υψηλής ταχύτητας και άλλα[56].



Εικόνα 10 Βασική δομή ενός FPGA

Πηγή [56]

6.2.2. Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα των FPGAs

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των FPGAs είναι η δυνατότητά τους να επαναπρογραμματίζονται γεγονός που επιτρέπει τη δημιουργία – διαμόρφωση κυκλωμάτων που υλοποιούν αλγόριθμους και συστήματα για την επίτευξη διαφόρων σκοπών, με σχετικά χαμηλό κόστος. Για το λόγο αυτό τα FPGAs χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλούς τομείς και εφαρμογές[57]. Ακόμη τα FPGAs παρέχουν τη δυνατότητα για παράλληλη επεξεργασία δεδομένων χρησιμοποιώντας παράλληλα pipelines. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουν μικρότερη καθυστέρηση κατά την επεξεργασία διαφόρων διεργασιών[57].

Ένα επίσης σημαντικό πλεονέκτημα των FPGAs είναι η μεγιστοποίηση της απόδοσης ανά watt κατανάλωσης ενέργειας, έχοντας ως αποτέλεσμα την μείωση του κόστους λειτουργίας σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Αυτό τα καθιστά μια εξαιρετική επιλογή για χρήση ως επιταχυντές σε συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία ή με περιορισμένους πόρους ενέργειας (όπως τα αυτόνομα οχήματα), αλλά και για διεργασίες που εκτελούνται σε servers στο νέφος (cloud)[56].

6.2.3. Εφαρμογές των FPGAs στην αυτόνομη οδήγηση

Σημαντικό ρόλο στην αυτόνομη οδήγηση παίζουν τα συστήματα οπτικής αναγνώρισης του περιβάλλοντος (για παράδειγμα προπορευόμενα οχήματα, εμπόδια, πεζοί), τα οποία στηρίζονται σε αλγορίθμους επεξεργασίας εικόνας, υπολογιστικής όρασης και αναγνώρισης αντικειμένων, με βάση τα δεδομένα που συλλέγουν οι αντίστοιχοι αισθητήρες.

Μια κατηγορία αλγορίθμων που έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικοί στην επεξεργασία εικόνας καθώς και σε διάφορες εφαρμογές αναγνώρισης αντικειμένων αποτελούν τα *συνελικτικά νευρωνικά δίκτυα* (Convolutional Neural Networks – CNNs)[56]. Τα CNNs είναι ένας τύπος νευρωνικών δικτύων βαθιάς μάθησης (deep learning), κατάλληλων για επεξεργασία οπτικών δεδομένων και αναγνώριση αντικειμένων.

Ωστόσο τα CNNs έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ και μνήμη τις οποίες οι CPUs γενικού σκοπού δεν παρέχουν με τα επιθυμητά επίπεδα απόδοσης. Συνεπώς στην περίπτωση των αυτόνομων οχημάτων υλοποιούνται με κατάλληλους επιταχυντές υλικού που χρησιμοποιούν είτε κυκλώματα ειδικού σκοπού (ASICs), ή συστοιχίες προγραμματιζόμενων πυλών πεδίου (FPGAs) ή μονάδες επεξεργασίας γραφικών (GPUs)[56]. Τα FPGAs έχουν αρχίσει να προτιμώνται εξαιτίας της ικανότητας τους για παράλληλη επεξεργασία, χαμηλή κατανάλωση και δυνατότητα επαναπρογραμματισμού [57]. Συγκεκριμένα, η φύση των αλγορίθμων βαθιάς μάθησης (και των CNNs) δίνει στα FPGAs πλεονέκτημα αναφορικά με τη δημιουργία προσαρμοσμένων κυκλωμάτων που είναι pipelined και multithreaded. Τα FPGAs παρέχουν επίσης τη δυνατότητα μερικής διαμόρφωσης δυναμικά, γεγονός που επιτρέπει μέρος του FPGA να επαναδιαμορφωθεί ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιείται[56].

6.2.4. Σύγκριση FPGAs με GPUs και ASICs

Σύμφωνα με τους Saif Al-Sultan et al [58], τα κύρια πλεονεκτήματα χρήσης FPGA σε σχέση με τη χρήση GPUs είναι τα ακόλουθα.

- Τα FPGAs παρέχουν σημαντικά βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση σε σχέση με τις GPUs, ιδίως σε εφαρμογές CNNs που χρησιμοποιούνται

ευρέως στην αυτόνομη οδήγηση. Τυπικά οι GPUs έχουν τη μισή ή ακόμα και μικρότερη ενεργειακή απόδοση από τα FPGAs[57].

- Μπορούν να χειριστούν προσαρμοσμένους τύπους δεδομένων και εξειδικευμένους παράλληλους υπολογισμούς που είναι δύσκολο να χειριστούν οι GPUs. Για παράδειγμα τα FPGAs μπορούν να εκτελούν παράλληλα μεγάλο αριθμό πολλαπλασιασμών πινάκων, ενώ αντίθετα στις GPUs αυτό γίνεται σχεδόν μη παράλληλα.
- Τα εργαλεία σχεδίασης FPGAs υποστηρίζουν προγραμματισμό υψηλού επιπέδου κάτι το οποίο τα καθιστά προσιτά στους developers.

Ωστόσο, τα FPGAs έχουν λιγότερη μνήμη, I/O bandwidth και υπολογιστικούς πόρους εν συγκρίσει με τις GPUs. Για παράδειγμα:

- οι GPUs επιτυγχάνουν πολύ υψηλό bandwidth (μέχρι και 700GBps) ενώ τα FPGAs περίπου 10-20 GBps,
- οι GPUs διαθέτουν πολύ περισσότερες μονάδες επεξεργασίας, on-chip μνημών, και υψηλότερο bandwidth των μνημών[58].

Οι παραπάνω περιορισμοί των FPGAs γεννούν την ανάγκη για διαφορετική σχεδίαση των κυκλωμάτων που υλοποιούν τους αλγόριθμους βαθιάς μάθησης σε σχέση με εκείνων των GPUs, έτσι ώστε να εκμεταλλεύονται τα προτερήματά τους και να αποφεύγουν τους περιορισμούς τους. Μολαταύτα τα FPGAs έχουν βελτιωθεί σημαντικά σε επιδόσεις και αριθμό μονάδων επεξεργασίας, κλείνοντας έτσι το χάσμα με τις GPUs[58].

Εστιάζοντας τώρα στα κυκλώματα ειδικού σκοπού (ASICs) διαπιστώνουμε ότι παρέχουν επιδόσεις συγκρίσιμες με των FPGAs, τόσο σε επεξεργαστική ισχύ όσο και σε κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο το υψηλό κόστος και η μεγάλη περίοδος ανάπτυξης των ASICs καθώς και η έλλειψη ευελιξίας (δεν είναι επαναπρογραμματιζόμενα), είναι παράγοντες που μπορούν να περιορίσουν τη χρήση τους σε εφαρμογές deep learning, καθώς είναι δύσκολο να ενημερώνονται με τις γρήγορες αλλαγές που συμβαίνουν στα CNNs. Όμως οι επιταχυντές που βασίζονται σε FPGAs παρέχουν υψηλό throughput, χαμηλή κατανάλωση και δυνατότητα επαναπρογραμματισμού, σε σχετικά χαμηλή τιμή [56, 59].

Επιπλέον η διάθεση υψηλού επιπέδου προγραμματιστικών εργαλείων (HLS) από τους κατασκευαστές επιταχυντών με FPGA, που χρησιμοποιούν C ή C++ για την υλοποίησή τους, μικραίνει σημαντικά το χρόνο υλοποίησής τους. Ακόμη, η υιοθέτηση προτύπων όπως το OpenCL (open computing language) τα καθιστούν πιο προσιτά στη χρήση σε εφαρμογές deep learning[56].

Στις επόμενες ενότητες δίνονται παραδείγματα κυκλωμάτων και εφαρμογών που βασίζονται σε ASICs και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αυτόνομη οδήγηση, όπως οι Tensor Processing Units (TPUs), Edge TPUs, και Visual Processing Units (VPUs).

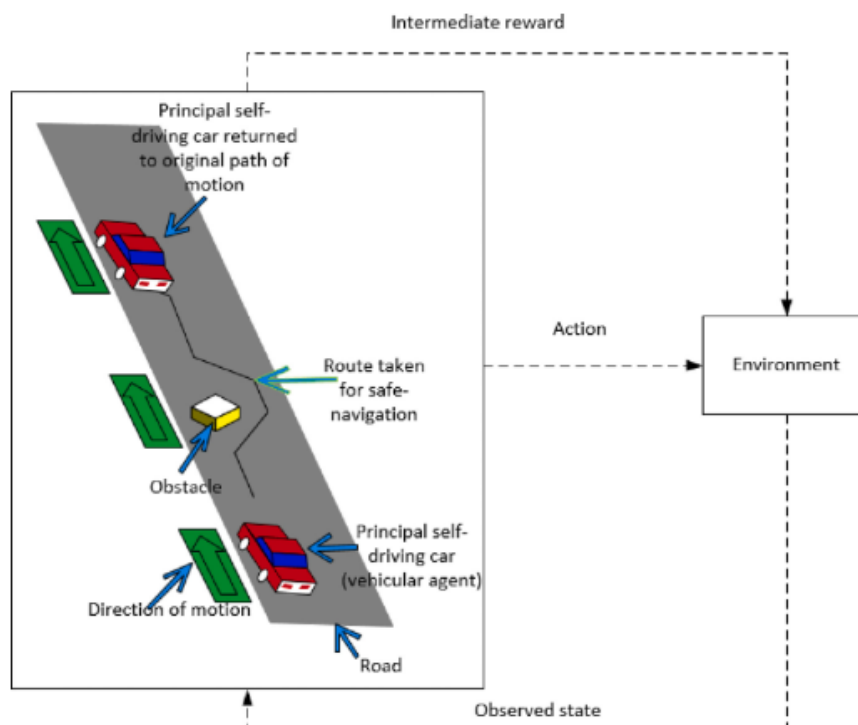
6.3. Tensor Processing Unit (TPU)

Οι TPU είναι επιταχυντές AI – ASIC που αποτελούν μονάδες οι οποίες αναπτύχθηκαν από την Google το 2015 και πρόκειται για πλατφόρμες νέφους με δυνατότητες μηχανικής μάθησης. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για εσωτερική χρήση στα κέντρα δεδομένων της Google όμως το 2018 τους έκανε διαθέσιμους για χρήση σε τρίτους. Ουσιαστικά πρόκειται για μονάδες μηχανικής μάθησης οι οποίες λαμβάνουν μέρος της υπολογιστικής ισχύος τους, καθώς επίσης και μέρος των δεδομένων τους από τις εφαρμογές νέφους. Στην περίπτωση της αυτόνομης οδήγησης, η χρήση των TPU προσδίδει σημαντική υπολογιστική ισχύ στα οχήματα, ενώ παράλληλα διευκολύνει στην βελτιστοποίηση των αλγορίθμων οι οποίοι επεξεργάζονται τα δεδομένα οδήγησης[52, 60, 61].

Στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης, η αξιοποίηση των TPU αφορά την Proximal Policy Optimization (PPO), δηλαδή την διαδικασία λήψης αποφάσεων, αναφορικά με την εκτέλεση ενεργειών, ως προς την αποφυγή εμπλοκής με εμπόδια κατά την κίνηση του οχήματος. Η διαδικασία αυτή αποτελεί τον κεντρικό «σκελετό» της κωδικοποίησης των αυτόνομων οχημάτων, ιδίως αυτών τα οποία λειτουργούν με βάση την τεχνολογία νέφους. Η χρήση των TPU στο πλαίσιο αυτό προσφέρει αυξημένη αποδοτικότητα ως προς τον χρόνο απόκρισης, κάτι που οδηγεί σε επιτάχυνση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων[62].

Ένα πιθανό σενάριο χρήσης της TPU στην αυτόνομη οδήγηση περιγράφεται το εξής. Τα αυτοκίνητα συλλέγουν δεδομένα μέσω των αισθητήρων που διαθέτουν. Στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά τα στέλνουν στο cloud όπου και τροφοδοτούν συγκεκριμένους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης οι οποίοι τρέχουν σε υποδομές βασισμένες σε TPUs. Με αυτό τον τρόπο εκπαιδεύονται οι αλγόριθμοι και στέλνονται πίσω στα αυτοκίνητα ή σε άλλα συστήματα από τα οποία εξαρτάται η αυτοκίνηση όπως τα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας, τα αποτελέσματα της επεξεργασίας.

Η αποτύπωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων αποτυπώνεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 11 Διαδικασία λήψης απόφασης για αποφυγή εμποδίου

Πηγή [62]

Η επεξεργασία βασισμένη σε TPU έτσι όπως παρουσιάστηκε παραπάνω γίνεται σε cloud υποδομές και όχι τοπικά στα αυτοκίνητα. Για αυτό το λόγο απαιτείται η ύπαρξη πολύ γρήγορων και αξιόπιστων δικτύων όπως για παράδειγμα με 5G.

6.4. Edge TPU

Το 2018, ένα χρόνο μετά την παρουσίαση των TPUs, η Google δημιούργησε τις Edge TPUs οι οποίες είναι ενσωματωμένα κυκλώματα που προσφέρουν επιτάχυνση υψηλής απόδοσης σε καταστάσεις όπου η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας σε συνδυασμό με το μικρό χώρο που απαιτείται για εφαρμογές μηχανικής μάθησης, είναι υψίστης και προτεραιότητας. Αποτελούν ιδανική επιλογή για χρήση σε νευρωνικά δίκτυα και μπορούν να επεξεργαστούν και να αναλύσουν δεδομένα σε διεργασίες υπολογιστικής όρασης (computer vision) [61, 63]. Σε αντίθεση με τις TPU, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης τρέχουν τοπικά και όχι στο cloud. Πολλές εταιρίες τις έχουν ενσωματώσει σε κάμερες γιατί είναι ικανές να επεξεργαστούν απευθείας τις εικόνες που λαμβάνουν, να απομακρύνουν το θόρυβο που πιθανόν ενυπάρχει σε αυτές και να δώσουν πληροφορίες για τα αντικείμενα που ανιχνεύουν[63]. Υποστηρίζουν μια ελαφριά εκδοχή του Tensorflow, του framework που χρησιμοποιεί το TPU η οποία έχει περιορισμούς στον αριθμό των νευρωνικών δικτύων που υποστηρίζονται[64].

Εκτός από την Google αντίστοιχες λύσεις έχουν αναπτύξει και άλλοι κατασκευαστές όπως η NVIDIA οποία έχει δημιουργήσει SoCs (Systems on Chip) τα οποία περιλαμβάνουν επιταχυντές μηχανικής μάθησης και computer vision όπως το Xavier[65].

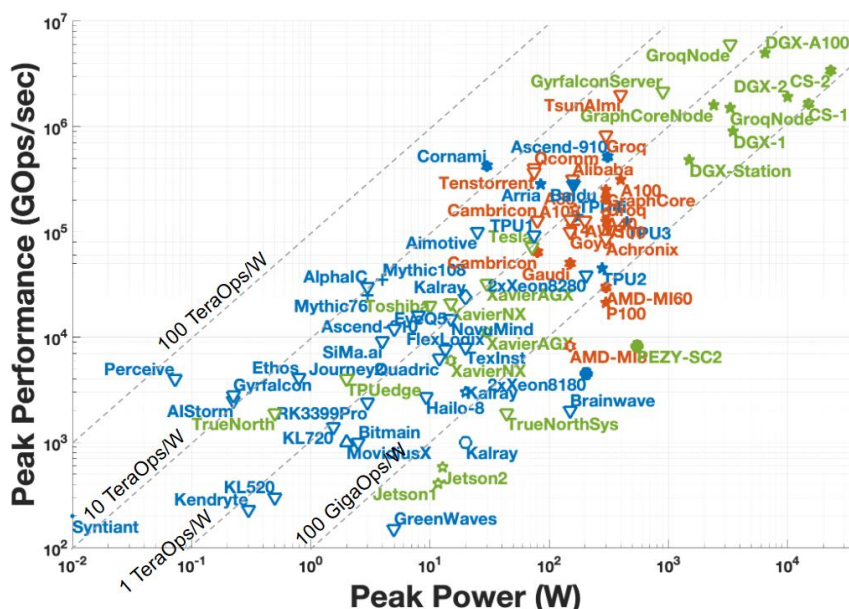
Ένα πιθανό σενάριο χρήσης των Edge TPU στην αυτόνομη οδήγηση θα αποτελούσε η συλλογή δεδομένων από τους αισθητήρες του αυτοκινήτου, η εν συνεχεία εκπαίδευση των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης τοπικά στο όχημα και η λήψη απόφασης με τη μικρότερη δυνατή καθυστέρηση.

Μια εκτίμηση που μπορεί να γίνει για το μέλλον έχει να κάνει με την υβριδική περίπτωση χρήσης των TPU / Edge TPU όπου οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης εκπαιδεύονται τοπικά από την Edge TPU αλλά και από αλγόριθμους που τρέχουν στο cloud έχοντας σαν πλεονεκτήματα την καλύτερη ή ταχύτερη εκμάθηση.

6.5. Μονάδα Οπτικής Επεξεργασίας - Vision Processing Unit (VPU)

Οι VPU αποτελούν μονάδες οι οποίες εξειδικεύονται στην οπτική διάσταση της διαδικασίας μηχανικής μάθησης. Αντίθετα από τις κοινές Video Processing Units και τις GPU, οι VPUs διαθέτουν την δυνατότητα απευθείας επεξεργασίας εικόνας από τα δεδομένα καμερών, χωρίς την ανάγκη αποτύπωσης αυτών. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι VPUs παρέχουν υψηλότερη ταχύτητα επεξεργασίας σε σύγκριση με διαφορετικού τύπου οπτικές μονάδες[52]. Επιπλέον, η αποδοτικότητα συστημάτων που χρησιμοποιούν VPUs αυξάνεται με βέλτιστο τρόπο σε σχέση με συστήματα που βασίζονται σε CPUs και GPUs[66].

Εξάλλου, οι VPUs επιτυγχάνουν επιδόσεις συγκρίσιμες με των CPUs και GPUs αλλά με σημαντικά μικρότερη κατανάλωση ενέργειας[66]. Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η τοποθέτηση (positioning) διάφορων τύπων επιταχυντών και επεξεργαστών AI, όσον αφορά τη μέγιστη απόδοσή τους σε σχέση με την κατανάλωσή τους[67]. Παρατηρείται ότι οι πιο σύγχρονοι επιταχυντές, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αυτόνομη οδήγηση αλλά και σε κέντρα δεδομένων ξεπερνούν σε κατανάλωση τα 100W, όπως για παράδειγμα η TPU 3 της Google.



Εικόνα 12 Τοποθέτηση επεξεργαστών και επιταχυντών AI όσον αφορά τη Μέγιστη Απόδοση και Μέγιστη Κατανάλωσή τους

Πηγή [66]

Η χρήση συστημάτων επεξεργασίας οπτικών δεδομένων στο πλαίσιο της αυτόνομης οδήγησης είναι κομβικής σημασίας για την ορθή αποτύπωση του περιβάλλοντος και τη γρήγορη λήψη αποφάσεων για την προσαρμογή των παραμέτρων οδήγησης[68]. Ως αποτέλεσμα, η χρήση των VPU έναντι των GPU αποτελεί μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση στο ζήτημα, καθώς τα συστήματα με VPUs επιτρέπουν τόσο την ανάγνωση προτύπων από τα οπτικά δεδομένα (όπως αυτά προκύπτουν από αισθητήρες CCTV), καθώς επίσης και την τρισδιάστατη αποτύπωση περιβαλλοντικών δεδομένων (όπως αυτά προκύπτουν από το σύστημα LIDAR). Το τελικό αποτέλεσμα είναι η αναγνώριση των σχημάτων και των όγκων του εγγύς περιβάλλοντος του οχήματος, σε πραγματικό χρόνο, καθώς επίσης και η παράλληλη αξιοποίηση των δεδομένων που προκύπτουν από την προσαρμογή των παραμέτρων οδήγησης, με στόχο την βελτίωση της αποδοτικότητας του αλγορίθμου μηχανικής μάθησης[69]. Η επεξεργασία δε των δεδομένων γίνεται εξ' ολοκλήρου τοπικά και όχι στο cloud, πράγμα που σημαίνει μικρότερη καθυστέρηση και περισσότερη ιδιωτικότητα.

Δύο γνωστές VPU είναι οι Myriad 2 και η πιο προηγμένη Myriad X της Movidius, μιας εταιρείας που ανήκει στην Intel. Η Myriad X έχει δέκα φορές υψηλότερη απόδοση σε εφαρμογές που χρησιμοποιούν ταυτόχρονα πολλαπλά νευρωνικά δίκτυα σε σχέση Myriad 2, όπως για παράδειγμα σε επεξεργασία εικόνας και computer vision. Παράλληλα έχει πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας που αγγίζει το πολύ τα 2W κάτι που την καθιστά ιδανική για χρήσεις σε φορητές συσκευές και αυτόνομα οχήματα[70].

Η συνδυαστική χρήση των VPUs για την επεξεργασία των οπτικών δεδομένων, TPU για την επεξεργασία των αισθητηριακών και ιστορικών δεδομένων, και CPU για την επεξεργασία των λοιπών δεδομένων, δημιουργεί ένα αποτελεσματικό δίκτυο μηχανικής μάθησης, το οποίο είναι σε θέση να προσαρμοστεί στο σύνολο των συνθηκών, είτε μέσω της απευθείας συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων από το άμεσο περιβάλλον του, είτε μέσω της συλλογής ιστορικών δεδομένων, μέσω των εφαρμογών ψηφιακού νέφους. Σε κάθε περίπτωση η δημιουργία των συστημάτων αυτού του τύπου, αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την λειτουργία ενός αυτόνομου οχήματος[71].

Κεφάλαιο 7^ο Επικοινωνίες και Πρωτόκολλα

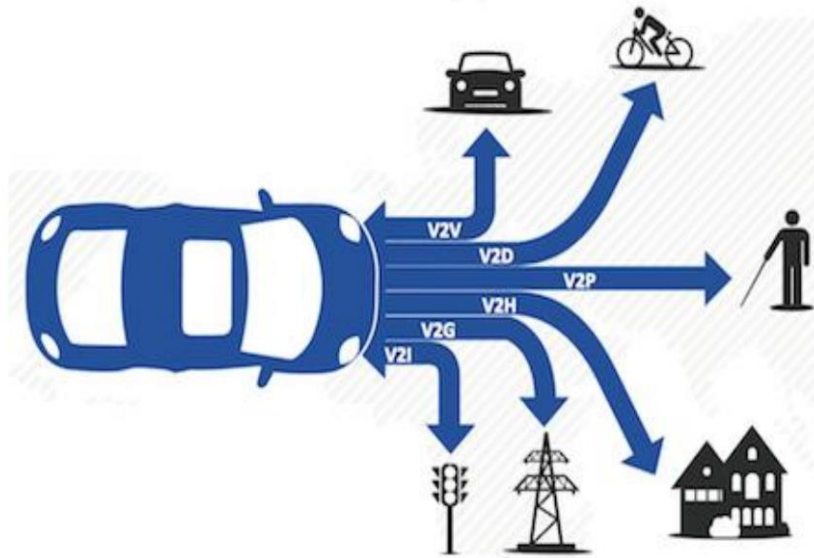
Ο όρος Vehicle-to-Everything (V2X) χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις επικοινωνίες που υποστηρίζουν τη μεταφορά πληροφοριών από ένα όχημα σε άλλα οχήματα, καθώς και σε πεζούς, μονάδες του συστήματος κυκλοφορίας (όπως ο δρόμος, τα φανάρια και οι πινακίδες σήμανσης) ή άλλες υποδομές. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να επηρεάσουν το όχημα άμεσα ή έμμεσα.

Οι κύριοι σκοποί του V2X είναι η βελτίωση της οδικής ασφάλειας, η εξοικονόμηση ενέργειας, η μείωση της ρύπανσης και η αποδοτικότερη διαχείριση της κυκλοφορίας[72]. Αυτά τα επιτυγχάνει επιτρέποντας τη δημιουργία και λειτουργία Ευφυών Συστημάτων Μεταφορών (Intelligent Transport System; ITS), τα οποία μέσω κατάλληλων εφαρμογών και υπηρεσιών οδηγούν στην επίτευξη των προαναφερθέντων σκοπών.

Σε ένα σύστημα επικοινωνίας V2X οι πληροφορίες μεταφέρονται από τους αισθητήρες του οχήματος, μέσω ευρυζωνικών συνδέσεων υψηλής αξιοπιστίας, στα ενδιαφερόμενα μέρη. Επιπλέον, πληροφορίες από εξωτερικές πηγές μεταδίδονται προς το όχημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι εφικτή η επικοινωνία με άλλα οχήματα αλλά και μονάδες της κυκλοφοριακής υποδομής[73].

7.1. Παραλλαγές του V2X

Εκτός από τον όρο V2X (Vehicle-to-Everything) που περιγράφει γενικά την επικοινωνία μεταξύ οχήματος και τρίτων μερών, στη βιβλιογραφία αναφέρονται και μια σειρά από όρους που εξειδικεύουν σε συγκεκριμένους τύπους επικοινωνίας. Το ακόλουθο διάγραμμα απεικονίζει όλους τους τρόπους που χρησιμοποιούνται σήμερα.



Εικόνα 13 Τύποι επικοινωνίας οχημάτων

Πηγή [74]

Vehicle-to-Vehicle (V2V): Αφορά την επικοινωνία ανάμεσα σε οχήματα τα οποία χρησιμοποιούν ένα ασύρματο δίκτυο για να ανταλλάσσουν σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες για την κατάσταση τους (όπως κατεύθυνση, ταχύτητα και θέση) αλλά και προειδοποιήσεις, με σκοπό την αποφυγή σύγκρουσης.

Vehicle-to-Infrastructure (V2I): Περιγράφει την αμφίδρομη και σε πραγματικό χρόνο επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και μονάδων του οδικού δικτύου (όπως κάμερες, σημάνσεις, φανάρια, λωρίδες κυκλοφορίας). Τα οχήματα εκπέμπουν δεδομένα που συλλέγουν απ' τους αισθητήρες τους ενώ οι μονάδες του οδικού δικτύου παρέχουν προειδοποιήσεις και οδηγίες διαχείρισης της κυκλοφορίας.

Vehicle-to-Pedestrian (V2P): Περιγράφει την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων με πεζούς (όπως άτομα που περπατούν κοντά στο όχημα, που επιβιβάζονται ή αποβιβάζονται σε λεωφορείο, ατόμων σε αναπηρικά αμαξίδια), ώστε να γνωρίζουν τη θέση τους και να τους εφιστούν την προσοχή, έτσι ώστε να αποφεύγονται ατυχήματα με πεζούς.

Vehicle-to-Network (V2N): Αναφέρεται στην επικοινωνία των οχημάτων με το σύστημα διαχείρισης κυκλοφορίας (ενός ITS), όπου λαμβάνουν

ειδοποιήσεις για ατυχήματα και καιρικές συνθήκες καθώς και οδηγίες διαχείρισης της κυκλοφορίας.

Vehicle-to-Device (V2D): Είναι η επικοινωνία μεταξύ οχήματος και οποιασδήποτε ηλεκτρονικής συσκευής που μπορεί να συνδεθεί στο όχημα.

Vehicle-to-Grid (V2G): Αναφέρεται στη διασύνδεση των οχημάτων με το δίκτυο ενέργειας προκειμένου να ανταλλάσσουν ενέργεια ανάλογα με την κατάσταση του κάθε οχήματος και τις συνθήκες του δικτύου. Συγκεκριμένα, τα οχήματα μπορούν να παρέχουν στο δίκτυο την περίσσια ενέργεια τους, όταν οι ανάγκες του δικτύου είναι αυξημένες, ενώ αντίστροφα όταν οι ανάγκες του δικτύου είναι χαμηλές (για παράδειγμα τη νύχτα) τα οχήματα μπορούν να λαμβάνουν ενέργεια απ' το δίκτυο και να φορτίζουν τις μπαταρίες τους. Η διασύνδεση αυτή περιλαμβάνει και ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τη διαθέσιμη ενέργεια[74].

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε περαιτέρω την επικοινωνία V2V καθώς είναι η πλέον απαραίτητη για την ΑΟ.

7.2. Επικοινωνία μεταξύ οχημάτων (V2V)

Η επικοινωνία από Όχημα σε Όχημα (Vehicle to Vehicle; V2V) περιλαμβάνει ένα ασύρματο δίκτυο μέσω του οποίου τα οχήματα ανταλλάσσουν μηνύματα και πληροφορίες με σκοπό την οργάνωση και τη συνεργασία μεταξύ τους. Η επικοινωνία V2V στηρίζεται κατά βάση σε ad hoc (αυτοσχέδια) δίκτυα¹. Αυτός ο τύπος επικοινωνίας χρησιμοποιείται κυρίως για εφαρμογές ασφάλειας, διαχείρισης της κυκλοφορίας, έγκαιρης προειδοποίησης (για τυχόν εμπόδια, σύγκρουση κλπ).

¹ Μοντέλο λειτουργίας δικτύων το οποίο δεν στηρίζεται σε εκ των προτέρων γνωστή υποδομή (π.χ. δρομολογητές, σε ενσύρματα δίκτυα, σημεία πρόσβασης). Αντίθετα κάθε κόμβος συμμετέχει στη δρομολόγηση, προωθώντας δεδομένα σε γειτονικούς κόμβους, τους οποίους προσδιορίζει δυναμικά με βάση κάποιον αλγόριθμο δρομολόγησης 75. Zanjireh, M.M., A. Shahrabi, and H. Larjani. *ANCH: A New Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks*. in *2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*. 2013. Barcelona: IEEE.

Στην επικοινωνία V2V κάθε όχημα είναι εξοπλισμένο με σύστημα GPS, αισθητήρες, συσκευές δικτύωσης, ψηφιακό χάρτη που έχει πληροφορίες για τα τμήματα του δρόμου και υπολογιστικές συσκευές. Έτσι, τα οχήματα συλλέγουν τις πληροφορίες που μπορούν να τους παρουσιάσουν στο δρόμο και στην συνέχεια επικοινωνούν με τα γειτονικά οχήματα ή την κυκλοφοριακή υποδομή μέσω μίας συσκευής που μεταδίδει ένα συνεχές ραδιοσήμα[58].

Η επικοινωνία V2V χρησιμοποιεί τεχνικές προώθησης των πληροφοριών μέσω unicast και multicast πακέτων μεταξύ του οχήματος προέλευσης και του προορισμού. Η προώθηση unicast σημαίνει ότι ένα όχημα μπορεί να στείλει και να λάβει πληροφορίες μόνο με κάποιο κοντινό (γειτονικό) όχημα ή κόμβο, ενώ η προώθηση μέσω multicast επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών με πολλά και απομακρυσμένα οχήματα, χρησιμοποιώντας ένα ενδιάμεσο όχημα/κόμβο ως πομπό και δέκτη ταυτόχρονα για μεγαλύτερη εμβέλεια[73].

Κάποιες εφαρμογές ασφαλείας V2V περιλαμβάνουν προειδοποιήσεις για την ασφάλεια των οδηγών. Τέτοιες προειδοποιήσεις είναι:

- ένδειξη για φρενάρισμα έκτακτης ανάγκης (διότι ένα από τα προπορευόμενα οχήματα φρέναρε απότομα),
- σύγκρουση ενός από τα προπορευόμενα οχήματα,
- προειδοποίηση σε περίπτωση που το όχημα βρίσκεται σε διασταύρωση,
- προειδοποίηση τυφλού σημείου,
- αλλαγή λωρίδας,
- ένδειξη να μην προσπεράσει ο οδηγός

7.3. Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (ITS)

Οι εξελίξεις στις ασύρματες επικοινωνίες και τις εποχούμενες συσκευές έχουν ωθήσει την εξέλιξη των Ευφυών Συστημάτων Μεταφορών (ITS). Οι λύσεις ITS στοχεύουν στη μείωση των ρίσκων, της κυκλοφοριακής συμφόρησης, της μόλυνσης τους αέρα, πέραν από την ασφάλεια και την αξιοπιστία, ενσωματώνοντας υπολογιστικούς και επικοινωνιακούς πόρους[76].

Γενικά, όποτε είναι διαθέσιμες, οι πληροφορίες κυκλοφορίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια ποικιλία υπηρεσιών που εκτείνονται από την παρακολούθηση του μήκους της ουράς οχημάτων κοντά σε ένα φανάρι έως τον προσδιορισμό της καλύτερης διαδρομής προς τον προορισμό με βάση τις ιστορικές και τρέχουσες συνθήκες κυκλοφορίας. Ορισμένες κεντρικές λύσεις ITS, όπου όλα τα οχήματα στέλνουν περιοδικές αναφορές σχετικά με τις τοπικές συνθήκες κυκλοφορίας σε μια κεντρική μονάδα ελέγχου ITS, συμπεριλαμβανομένων υπηρεσιών που βασίζονται στην Google και αναδυόμενων εφαρμογών που βασίζονται στο crowd-sourcing, είναι ήδη διαθέσιμες και αρκετά δημοφιλείς, όπως για παράδειγμα το Waze²[77].

Ωστόσο, αυτές οι κεντρικές λύσεις ITS βασίζονται στη συνδεσιμότητα κινητής τηλεφωνίας, η οποία μεταφράζεται σε μη αμελητέο κόστος για τη χρήση του εύρους ζώνης ενώ παράλληλα απαιτεί υψηλή αξιοπιστία της κεντρικής υπηρεσίας παρακολούθησης ITS. Τα Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs), τα οποία επιτρέπουν σε οχήματα, όπως αυτοκίνητα, λεωφορεία και μοτοσικλέτες, να διασυνδέονται και να σχηματίζουν αυτοσχέδιες (ad hoc) ομάδες, αντιπροσωπεύουν μια από τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες στον χώρο του ITS, ικανή να ξεπεράσει τους παραπάνω περιορισμούς[57, 77].

Ένα ITS κάνει χρήση των ενσωματωμένων αισθητήρων, των On-Board Units (OBU) και των Roadside Units (RSU). Τα VANETs επιτρέπουν την δημιουργία επικοινωνίας μεταξύ των οχημάτων και μεταξύ των οχημάτων μέσω των OBU και των RSU. Τα OBU παίρνουν όλη την πληροφορία από τους διάφορους αισθητήρες του οχήματος και είναι υπεύθυνα για την πολύ γρήγορη διαχείριση και επεξεργασία της, ενώ μπορεί να εμφανίζει πιθανές προειδοποιήσεις και συναγερμούς στις επικοινωνίες ανάμεσα σε οχήματα. Τα RSU μπορούν να συνδεθούν στα δίκτυα υποδομών ή ακόμα και στο internet, επιτρέποντας στα OBUs να έχουν πρόσβαση σε αυτά τα δίκτυα ή να επικοινωνούν με άλλα οχήματα χρησιμοποιώντας δίκτυα κινητής (GSM, GPRS, WIMAX, 4G, 5G)[58, 77].

² <https://www.waze.com/live-map/>

7.4. Πρωτόκολλα IoT

Οι τεχνολογίες στις εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things; IoT) επιτρέπουν την απευθείας σύνδεση πολλαπλών συσκευών μεταξύ τους αλλά και με το διαδίκτυο. Τα αυτόνομα οχήματα χρησιμοποιούν αυτή τη δυνατότητα για να ενημερώνουν τα δεδομένα των αλγορίθμων τους, να αλληλεπιδρούν με την κυκλοφοριακή υποδομή, να λαμβάνουν πληροφορίες από το περιβάλλον και να επικοινωνούν με άλλα οχήματα. Επιπλέον οι πληροφορίες αυτές μπορούν να φορτωθούν σε υποδομές cloud ή edge για περαιτέρω ανάλυση και για βελτίωση των λειτουργιών αυτόνομης οδήγησης που παρέχονται απ' την υποδομή (π.χ. ένα ITS)[78].

Τα δύο κυριότερα πρωτόκολλα δεδομένων που χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές για επικοινωνία Μηχανής προς Μηχανή (M2M), ή αυτοματισμών, ή κόμβων του IoT είναι, το Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), και το Constrained Application Protocol (CoAP)[79].

7.4.1. Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

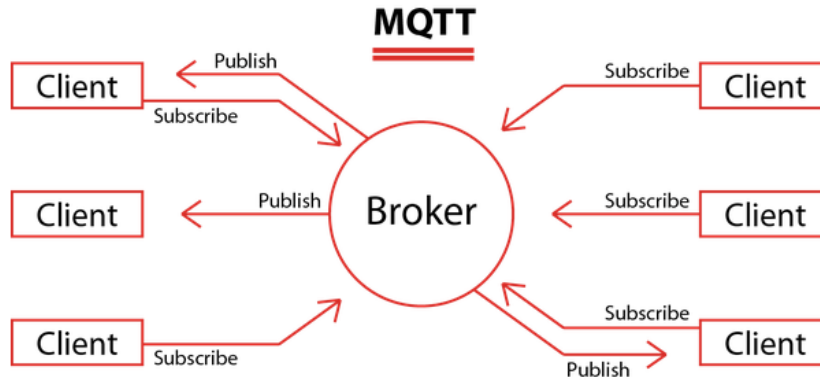
Το MQTT είναι ένα Client/Server πρωτόκολλο με Publish/Subscribe μεταφορά μηνυμάτων. Είναι ελαφρύ, απλό και σχεδιασμένο για εύκολη εφαρμογή. Είναι ιδανικό για συστήματα σε περιορισμένα περιβάλλοντα όπως για επικοινωνία μεταξύ μηχανών (M2M) ή για εφαρμογές IoT, όπου ο απαιτούμενος κώδικας είναι λίγος και η διαθεσιμότητα εύρους ζώνης δικτύου είναι υψηλή.

Τα publish/subscribe πρωτόκολλα όπως το MQTT αποτελούν μια εναλλακτική της κλασικής Server-Client επικοινωνίας, καθώς διαχωρίζει τους Clients σε Publishers – που στέλνουν ένα μήνυμα βάσει κάποιων δεδομένων εισόδου– και τους Subscribers που δέχονται τα μηνύματα που τους ενδιαφέρουν. Στη μεταξύ τους επικοινωνία μεσολαβεί ο λεγόμενος “broker” που είναι υπεύθυνος για διάφορες διαχειριστικές διαδικασίες που αφορούν τα μηνύματα αυτά[80].

7.4.2. Constrained Application Protocol (CoAP)

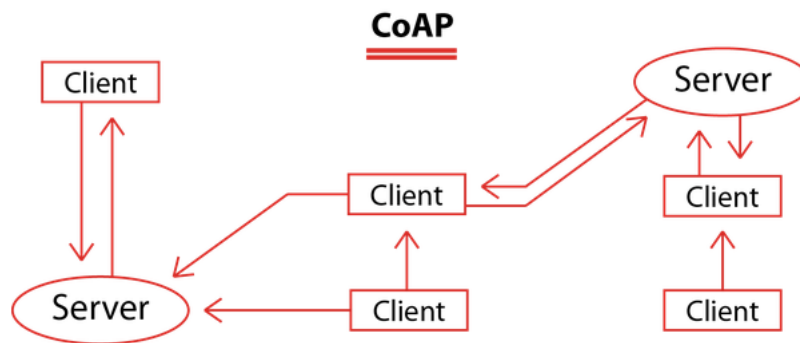
Το CoAP είναι ένα πρωτόκολλο στο επίπεδο εφαρμογής (σύμφωνα με το μοντέλο OSI) που προορίζεται για χρήση με δικτυακές συσκευές που χαρακτηρίζονται ως “constrained” («περιορισμένες»), δηλαδή περιορισμένων δυνατοτήτων, κάτι που συνήθως χαρακτηρίζει και το δίκτυο στο οποίο λειτουργούν (για παράδειγμα χαμηλής ισχύος, με απώλειες). Είναι ένα πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων πελάτη σε διακομιστή που βασίζεται στο Web/Internet παρόμοιο με το πρωτόκολλο HTTP. Το CoAP μπορεί να αντιμετωπίσει τα προβλήματα που προκύπτουν κατά την σύνδεση και επικοινωνία συσκευών και αισθητήρων που συνδέονται σε ένα δίκτυο με πιθανές μεγάλες απώλειες σε δεδομένα (Lossy Network). Η επικοινωνία ανάμεσα στους πελάτες και στο διακομιστή είναι ασύγχρονη οπότε οι συσκευές που θα πάρουν μέρος σε ένα τέτοιο δίκτυο θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα εντοπισμού των γειτονικών κόμβων χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες μεθόδους ανταλλαγής πακέτων. [79] Σε αντίθεση με το MQTT παρόλο που χρησιμοποιεί ένα publish/subscribe μοντέλο, το CoAP χρησιμοποιεί URIs (Universal Resource Identifier) μέσω της μεθόδου GET[81].

Τόσο το MQTT όσο και το CoAP λειτουργούν καλά σε συσκευές χαμηλής κατανάλωσης και περιορισμένων δυνατοτήτων δίκτυα. Επομένως η επιλογή εξαρτάται από την περίπτωση της εφαρμογής. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 14, αν υπάρχει ένα δίκτυο M2M και τα μηνύματα στέλνονται από έναν κεντρικό κόμβο σε πολλούς άλλους κόμβους, τότε ενδείκνυται η χρήση του MQTT πρωτοκόλλου. Αν από την άλλη, σε ένα M2M δίκτυο οι εντολές μεταφέρονται από κόμβο σε κόμβο, τότε το CoAP είναι η πιο κατάλληλη επιλογή. (Εικόνα 15). Κάνοντας μια σύγκριση στα δύο πρωτόκολλα παρατηρείται ότι το μέγεθος του μηνύματος που ανταλλάσσουν οι κόμβοι μεταξύ τους όσο και η κατανάλωση ενέργειας των κόμβων που χρησιμοποιούν CoAP είναι χαμηλότερα σε σχέση με το MQTT. Επίσης η ασφάλεια που παρέχει το CoAP είναι καλύτερη ωστόσο το MQTT χρησιμοποιείται πολύ περισσότερο[79].



Εικόνα 14 Πρωτόκολλο επικοινωνίας MQTT

Πηγή: <https://www.pickdata.net/news/mqtt-vs-coap-best-iot-protocol>

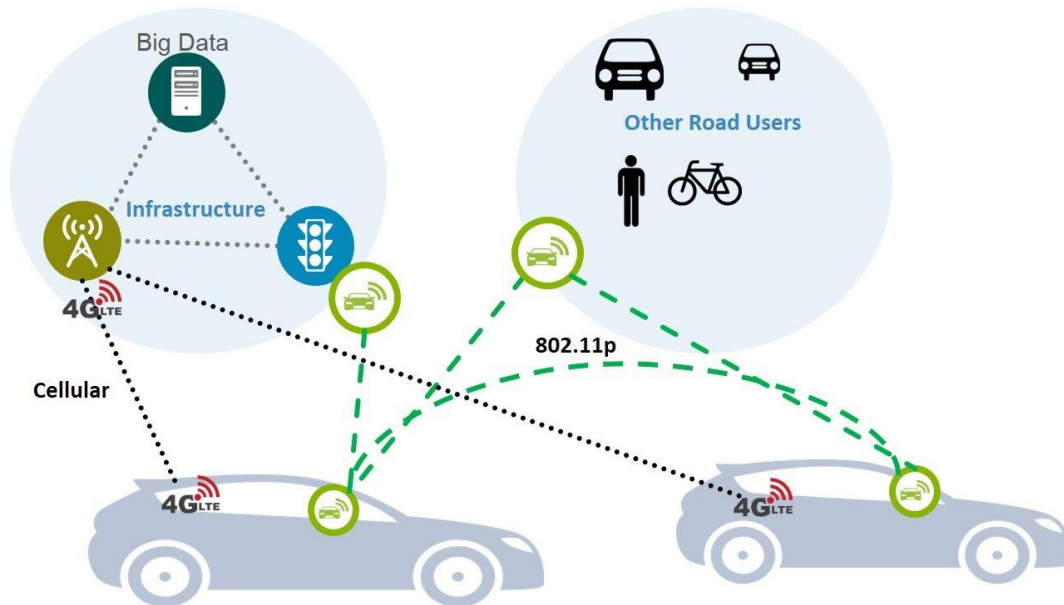


Εικόνα 15 Πρωτόκολλο επικοινωνίας CoAP

Πηγή: <https://www.pickdata.net/news/mqtt-vs-coap-best-iot-protocol>

7.5. Dedicated Short-Range Communication (DSRC)

Το DSRC εισήχθη ως τεχνολογία V2X με το πρότυπο 802.11p του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE). Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας οχημάτων για την ασύρματη πρόσβαση σε περιβάλλοντα οχημάτων (WAVE). Ως το πρώτο πρότυπο επικοινωνίας για το V2X, το WAVE χρησιμοποιεί τεχνολογία WLAN για τη δημιουργία αποκλειστικών καναλιών επικοινωνίας μικρής εμβέλειας (DSRC), έτσι ώστε τα οχήματα να μπορούν να επικοινωνούν απευθείας με άλλα οχήματα και οντότητες σε μικρή έως μεσαία εμβέλεια[55, 82].



Εικόνα 16 Επικοινωνία DSRC και C-V2X

Πηγή: <https://www.eenewsautomotive.com/en/why-802-11p-beats-lte-and-5g-for-v2x/>

Παρά το γεγονός ότι το WAVE είναι το επίσημο όνομα του πρωτοκόλλου, πολλοί εξακολουθούν να αναφέρονται στην τεχνολογία ως DSRC για να περιγράψουν τον υποκείμενο μηχανισμό. Στην πραγματικότητα, πολλοί ειδικοί του κλάδου θα χρησιμοποιούσαν τους όρους DSRC, 802.11p, WAVE ή V2X που βασίζεται σε WLAN για να αναφέρονται στο ίδιο πράγμα[55, 82].

Το DSRC είναι ουσιαστικά μια τροποποίηση του Wi-Fi. Η τεχνολογία θεωρήθηκε μια τεράστια ανακάλυψη στην αυτοκινητοβιομηχανία, επειδή επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ δύο συσκευών χωρίς μεσάζοντες, καθιστώντας την ιδιαίτερα χρήσιμη για αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές χωρίς τηλεπικοινωνιακή υποδομή. Αυτό είναι σαν να στέλνεται ένα μήνυμα κειμένου σε ένα άλλο τηλέφωνο που βρίσκεται ακόμα και εκατοντάδες μέτρα μακριά, χωρίς την ανάγκη κάλυψης δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Επιπλέον, το DSRC είναι γνωστό ότι έχει πολύ χαμηλό λανθάνοντα χρόνο λόγω της εξάλειψης του ενδιάμεσου[56].

Μετά την αρχική του έγκριση το 2010, το DSRC πέρασε από χρόνια δοκιμών πριν εγκατασταθεί για πρώτη φορά σε επιλεγμένα οχήματα Toyota που κατασκευάστηκαν στην Ιαπωνία το 2015, ενώ αργότερα υιοθετήθηκε από ορισμένα μοντέλα Cadillac στις ΗΠΑ το 2017. Το 2019, το Volkswagen Golf 8,

ένα από τα πιο δημοφιλή αυτοκίνητα στην Ευρώπη, έγινε το αυτοκίνητο με τις περισσότερες πωλήσεις V2X στην αγορά[83].

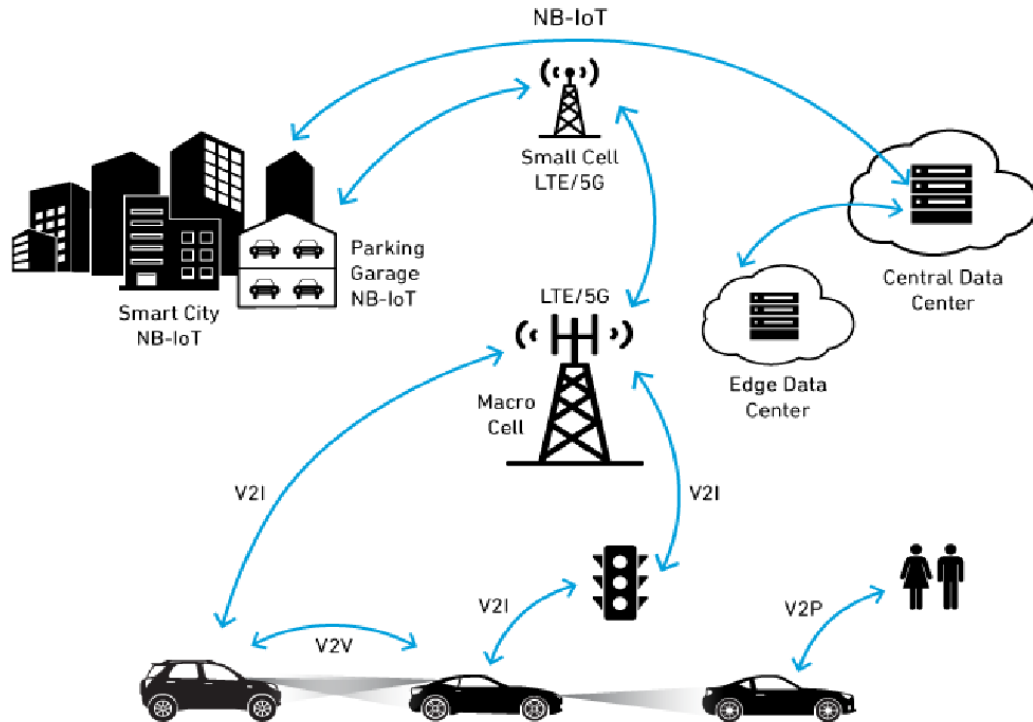
7.6. Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X)

Το C-V2X, το οποίο παρουσιάστηκε αμέσως μετά το DSRC, είναι ένα άλλο πρωτόκολλο επικοινωνίας οχημάτων V2X. Καθορισμένο από τα 3rd Generation Partnership Projects³ (3GPP), το C-V2X χρησιμοποιεί κυψελοειδή δίκτυα επικοινωνίας αντί για WLAN, που σημαίνει ότι χρησιμοποιεί την ίδια τεχνολογία κυψελοειδούς ραδιοεπικοινωνίας με τα κινητά τηλέφωνα. Η κύρια διαφορά του C-V2X από το DSRC είναι ότι επιτρέπει τόσο την άμεση όσο και την έμμεση επικοινωνία. Στο άμεσο C-V2X, τα οχήματα επικοινωνούν απευθείας με άλλα οχήματα (V2V) και οδικές μονάδες (V2I) με τον ίδιο τρόπο όπως το DSRC. Στο έμμεσο C-V2X, τα οχήματα επικοινωνούν με άλλες οντότητες έμμεσα, μέσω του δικτύου κινητής (V2N), κάτι που δεν μπορεί να κάνει το DSRC[82].

Το έμμεσο C-V2X είναι χρήσιμο επειδή το κυψελοειδές δίκτυο μπορεί να συλλέξει δεδομένα από πολλά οχήματα και επομένως μπορεί να συμβάλει αποτελεσματικά στη διαχείριση της κυκλοφορίας σε μεγαλύτερη κλίμακα. Αρχικά σχεδιάστηκε στην Έκδοση 14 για να χρησιμοποιεί το πρότυπο LTE, ενώ το 3GPP πρόσθεσε αργότερα συμβατότητα για 5G και 5G NR στις Εκδόσεις 15,16 και 17[84].

Παρόλο που το DSRC είχε κερδίσει έδαφος στην Ιαπωνία και την Ευρώπη, το C-V2X γίνεται όλο και πιο δημοφιλές στις ΗΠΑ, την Κίνα και άλλες περιοχές του κόσμου. Επιπλέον, το C-V2X έχει κερδίσει υποστήριξη από πολλούς επαγγελματικούς οργανισμούς όπως το 5G Automotive Association (5GAA) με βάση τα πλεονεκτήματά του για το DSRC[84].

³ <https://www.3gpp.org/>



Εικόνα 17 Επικοινωνία C-V2X

Πηγή [74]

Οι υποστηρικτές του C-V2X θεωρούν ότι τα κυψελοειδή δίκτυα έχουν καλύτερες δυνατότητες ανάπτυξης, όσον αφορά την ταχύτητα και την αξιοπιστία. Αυτό μακροπρόθεσμα σημαίνει ότι το C-V2X είναι πιο βιώσιμο, καθώς θα λαμβάνει συνεχείς βελτιώσεις. Επιπλέον, η δυνατότητα σύνδεσης στο κυψελοειδές δίκτυο θα μπορούσε να δημιουργήσει ένα πιο έξυπνο σύστημα μεταφοράς[84].

Επιπλέον, το C-V2X προσφέρει πλεονεκτήματα απόδοσης σε σχέση με το DSRC όσον αφορά τους πόρους που απαιτούνται για τις ζεύξεις, την υψηλότερη ανθεκτικότητα στις παρεμβολές και τις καλύτερες δυνατότητες όταν δεν υπάρχει οπτική επαφή καθώς επίσης καλύτερη απόδοση στο throughput, στην ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων και στο χρόνο απόκρισης[55, 82]. Όμως η χρήση του C-V2X έχει κόστος για αυτόν που την χρησιμοποιεί εξαιτίας της χρησιμοποίησης του δικτύου και των υποδομών του παρόχου κινητής, σε αντίθεση με το DSRC όπου οι επικοινωνίες μεταξύ οχημάτων είναι δωρεάν ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί πιο αποτελεσματικά σε περιβάλλον όπου οι υποδομές δεν είναι επαρκείς[55].

Εν συνεχεία δίνεται μια συνοπτική σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών των δύο συστημάτων.

Πίνακας 2 Σύγκριση τεχνικών χαρακτηριστικών C-V2X και DSRC

Parameters	C-V2X	DSRC	Parameters	C-V2X	DSRC
Standards	3GPP	IEEE 802.11p	Broadcast support	Yes	Yes
Specification completion	Expected to be completed within 2019	Completed	Multimedia services support	Yes	No
Operating frequency range	30 GHz-300GHz	5.85GHz-5.925 GHz	MIMO	Yes	No
RF channel bandwidth	10/20/40/60/80 /100...MHz	10MHz or 20MHz	Throughput	Very high	Moderate
RF transmit power	Maximum 33dBm	N/A	Reliability	Very high	Moderate
End to end latency	<10ms	<10ms	Synchronization	Synchronous	Asynchronous
Link establishment latency	1ms	Very small	Resource multiplexing across vehicles	TDM and FDM	TDM only
Bitrate	>7Gbps	3Mbps-27Mbps	Data channel coding	Turbo coding and LDPC	Convolutional code
Out of network operation	Yes	Yes	Waveform	SC-FDMA and OFDMA	OFDM
V2P support	Yes	Yes	Modulation	Supports up to 256 QAM	Supports up to 64 QAM
V2I support	Yes	Limited	Covering distance	>450 meters using direct mode and very large area using cellular infrastructure	Up to 225 meters
V2V support	Yes	Yes	Coverage	Ubiquitous	Intermittent
Network coverage support	Yes	Limited			

Πηγή [85]

Οι εξελίξεις στις επικοινωνίες των οχημάτων και κυρίως η ενοποίηση των πληροφοριών και η αυτοματοποίηση που αυτές φέρνουν, θα οδηγήσουν σε βελτιωμένη οδική ασφάλεια, μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και χαμηλότερη συμφόρηση στις αστικές περιοχές όπου το παραδοσιακό σύστημα μεταφορών γίνεται όλο και πιο αναποτελεσματικό. Επιπλέον επιτρέπουν και υποστηρίζουν την ανάπτυξη και λειτουργία ευφυών συστημάτων μεταφορών (ITS), τα οποία

επίσης στοχεύουν στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας και στην παροχή ποικίλων υπηρεσιών στους χρήστες τους.

Κεφάλαιο 8^ο Συμπεράσματα – Επίλογος

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν οι βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην αυτόνομη οδήγηση. Στην αρχή έγινε μια ιστορική αναδρομή και επεξηγήθηκαν η έννοια της αυτοκίνησης και οι σύγχρονες προκλήσεις της. Στη συνέχεια εξετάστηκαν συνοπτικά οι αρχές και το νομοθετικό πλαίσιο της και παρουσιάστηκαν οι κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στο σύγχρονο πεδίο όπως Lidar, Radar και μηχανική μάθηση. Αφού έγινε αναφορά σε κρίσιμα ζητήματα που απασχολούν το χώρο, έγινε παρουσίαση των πιο πρόσφατων επιτευγμάτων στο πεδίο του hardware που χρησιμοποιείται και που είναι απαραίτητο για την ύπαρξη της. Τέλος έγινε αναφορά στις επικοινωνίες και τα κυριότερα πρωτόκολλα τα οποία συναντώνται στο χώρο και τα οποία είναι απαραίτητα για την ορθή λειτουργία και διασύνδεση των αυτόνομων οχημάτων μεταξύ τους και με την όλη υποδομή μέσα στην οποία αυτά κινούνται.

Οι παρούσες δυνατότητες του τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας στην ανάπτυξη εφαρμογών αυτόνομης οδήγησης, έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα και στην προσμονή πως η τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί ευρέως, και να αρχίσει η σταδιακή αντικατάσταση των ανθρώπων οδηγών με συστήματα μηχανικής μάθησης. Η αντίληψη αυτή, ωστόσο, αν και βάσιμη δεν αποτελεί ορθή καθώς ο τομέας απέχει σημαντικά από την καθολική εφαρμογή, και την μετάβαση του συνόλου της παραγωγής σε ένα νέο μοντέλο με βάση την αυτόνομη οδήγηση. Μία μετάβαση αυτού του τύπου απαιτεί πολυετή προετοιμασία, και σταδιακή εφαρμογή, προκειμένου να υλοποιηθεί με ασφάλεια και αποδοτικά.

Οι δυνατότητες των συστημάτων αυτόνομης οδήγησης έχουν βελτιωθεί, ωστόσο, σημαντικά κατά τα τελευταία έτη, επιτυγχάνοντας υπό κατάλληλες συνθήκες επίπεδο 5. Το γεγονός αυτό φαίνεται να σχετίζεται με τις εξελίξεις στους τομείς τηλεπικοινωνιών και μηχανικής μάθησης, και τα ευρήματα από την εξέλιξη αυτή αναμένεται να παίξουν σημαντικό ρόλο και σε άλλους τομείς. Στο πλαίσιο της αυτόνομης οδήγησης, ωστόσο, απαιτείται η επέκταση της

προσπάθειας για την βελτιστοποίηση των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, και της ικανότητάς τους να επεξεργάζονται περαιτέρω πληροφορίες, είτε ως μέρος ενός γενικού δικτύου, το οποίο θα αποτελείται από το σύνολο των οχημάτων μίας περιοχής, είτε ως μοναδική οντότητα, ούτως ώστε το όχημα να μπορεί να κινηθεί αυτόνομα ακόμα και σε περιοχές χωρίς περιαγωγή δεδομένων.

Πιθανά πεδία βελτίωσης και έρευνας στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης αποτελούν:

- Η βελτιστοποίηση των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και του χρόνου απόκρισης των οχημάτων.
- Η ανάπτυξη «έξυπνων» σημάτων για την διευκόλυνση της αυτόνομης οδήγησης.
- Η ανάπτυξη επαρκούς νομοθετικού πλαισίου για την πλήρη υιοθέτηση της αυτόνομης οδήγησης.
- Η έρευνα στον τομέα ηλεκτρονικών και μηχανολογικών συστημάτων με στόχο την μείωση του κόστους παραγωγής των ηλεκτρικών οχημάτων.

Βιβλιογραφία

1. Martínez-Díaz, M., & Soriguera, F. (2018). Autonomous vehicles: theoretical and practical challenges. *Transportation Research Procedia*, 33, 275-282.
2. Liu, L., Lu, S., Zhong, R., Wu, B., Yao, Y., Zhang, Q., & Shi, W. (2020). Computing systems for autonomous driving: State of the art and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(8), 6469-6486.
3. Hamadneh, J., Duleba, S., & Esztergár-Kiss, D. (2022). Stakeholder viewpoints analysis of the autonomous vehicle industry by using multi-actors multi-criteria analysis. *Transport Policy*, 126, 65-84.2022. 126: p. 65-84.
4. Yurtsever, E., Lambert, J., Carballo, A., & Takeda, K. (2020). A survey of autonomous driving: Common practices and emerging technologies. *IEEE access*, 8, 58443-58469.
5. Bimbraw, K. (2015). Autonomous cars: Past, present and future a review of the developments in the last century, the present scenario and the expected future of autonomous vehicle technology. In *2015 12th international conference on informatics in control, automation and robotics (ICINCO)* (Vol. 1, pp. 191-198). IEEE.
6. Russell, P. (2015). How autonomous vehicles will profoundly change the world. *Epub ahead of print*.
7. History of Autonomous Cars. 2021; Available from: <https://www.tomorrowstoday.com/2021/08/09/history-of-autonomous-cars>.
8. Montanaro, U., Dixit, S., Fallah, S., Dianati, M., Stevens, A., Oxtoby, D., & Mouzakitis, A. (2019). Towards connected autonomous driving: review of use-cases. *Vehicle system dynamics*, 57(6), 779-814.
9. Singh, S., & Saini, B. S. (2021). Autonomous cars: Recent developments, challenges, and possible solutions. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1022, No. 1, p. 012028). IOP Publishing.
10. Liu, S., Liu, L., Tang, J., Yu, B., Wang, Y., & Shi, W. (2019). Edge computing for autonomous driving: Opportunities and challenges. *Proceedings of the IEEE*, 107(8), 1697-1716.
11. Grigorescu, S., Trasnea, B., Cocias, T., & Macesanu, G. (2020). A survey of deep learning techniques for autonomous driving. *Journal of Field Robotics*, 37(3), 362-386.
12. Manivasakan, H., Kalra, R., O'Hern, S., Fang, Y., Xi, Y., & Zheng, N. (2021). Infrastructure requirement for autonomous vehicle integration for future urban and suburban roads—Current practice and a case study of Melbourne, Australia. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 152, 36-53.
13. Raza, M. (2018). Autonomous Vehicles: Levels Technologies Impacts and Concerns. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(16), 12710-12714.
14. Feigenbaum, B. (2018). Autonomous vehicles: a guide for policymakers.

15. Ilková, V., & Ilka, A. (2017). Legal aspects of autonomous vehicles—An overview. In *2017 21st international conference on process control (PC)* (pp. 428-433). IEEE.
16. Altunyaldiz, Z. (2020). Legal aspects of “autonomous” vehicles.
17. Taeihagh, A., & Lim, H. S. M. (2019). Governing autonomous vehicles: emerging responses for safety, liability, privacy, cybersecurity, and industry risks. *Transport reviews*, *39*(1), 103-128.
18. Smith, B. W., & Svensson, J. (2015). Automated and autonomous driving: regulation under uncertainty.
19. O'Sullivan, S., Nevejans, N., Allen, C., Blyth, A., Leonard, S., Pagallo, U., Holzinger, K., Holzinger, A., Sajid, M.I., & Ashrafian, H. (2019). Legal, regulatory, and ethical frameworks for development of standards in artificial intelligence (AI) and autonomous robotic surgery. *The international journal of medical robotics and computer assisted surgery*, *15*(1), e1968.
20. Kukkala, V. K., Tunnell, J., Pasricha, S., & Bradley, T. (2018). Advanced driver-assistance systems: A path toward autonomous vehicles. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, *7*(5), 18-25.
21. A Guide to Lidar Wavelengths for Autonomous Vehicles and Driver Assistance. 2018; Available from: <https://velodynelidar.com/blog/guide-to-lidar-wavelengths/>.
22. Herrmann, A., Brenner, W., & Stadler, R. (2018). Autonomous Driving: How the Driverless Revolution Will Change the World.
23. Bartsch, A., Fitzek, F., & Raschofer, R. H. (2012). Pedestrian recognition using automotive radar sensors. *Advances in Radio Science*, *10*(B. 2), 45-55.
24. Ignatious, H. A., & Khan, M. (2022). An overview of sensors in Autonomous Vehicles. *Procedia Computer Science*, *198*, 736-741.
25. Burke, K. (2019). How does a self-driving car see. *Camera, radar and lidar sensors give autonomous vehicles superhuman vision.*; Available from: <https://blogs.nvidia.com/blog/2019/04/15/how-does-a-self-driving-car-see/>.
26. How Sensor Fusion for Autonomous Cars Helps Avoid Deaths on the Road; (2018). Available from: <https://intellias.com/sensor-fusion-autonomous-cars-helps-avoid-deaths-road/>.
27. Yeong, D. J., Velasco-Hernandez, G., Barry, J., & Walsh, J. (2021). Sensor and sensor fusion technology in autonomous vehicles: A review. *Sensors*, *21*(6), 2140.
28. Jahromi, B. (2019). Ultrasonic sensors in self-driving cars.; Available from: <https://medium.com/@BabakShah/ultrasonic-sensors-in-self-driving-cars-d28b63be676f>.
29. Kiran, B. R., Sobh, I., Talpaert, V., Mannion, P., Al Sallab, A. A., Yogamani, S., & Pérez, P. (2021). Deep reinforcement learning for autonomous driving: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *23*(6), 4909-4926.

30. Bertram, T., Fürnkranz, J., & Müller, M. (2022). Supervised and Reinforcement Learning from Observations in Reconnaissance Blind Chess. In *2022 IEEE Conference on Games (CoG)* (pp. 608-611). IEEE.
31. Malik, S., Khan, M. A., El-Sayed, H., Khan, J., & Ullah, O. (2022). How do autonomous vehicles decide?. *Sensors*, *23*(1), 317.
32. Musumeci, F., Rottondi, C., Nag, A., Macaluso, I., Zibar, D., Ruffini, M., & Tornatore, M. (2018). An overview on application of machine learning techniques in optical networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *21*(2), 1383-1408.
33. Mahesh, B. (2020). Machine learning algorithms-a review. *International Journal of Science and Research (IJSR).[Internet]*, *9*, 381-386.
34. Doshi, S., Joshi, P., & Afli, H. (2020, May). Common Sense Validation and Reasoning Using Natural Language Processing. In *CERC* (pp. 141-151).
35. Dridi, S. (2021). Supervised Learning-A Systematic Literature Review.
36. Unsupervised Algorithms. 2021; Available from: <https://primo.ai/index.php?title=Unsupervised>.
37. Arulkumaran, K., Deisenroth, M. P., Brundage, M., & Bharath, A. A. (2017). A brief survey of deep reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv:1708.05866*.
38. Jain, M., Marasini, B., Jha, A. K., Thapa, P., & Jasbir, E. (2019). Autonomous Vehicle Using Various Machine Learning Algorithms. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 754–760.
39. Iddianozie, C., Bertolotto, M., & Mcardle, G. (2020). Exploring budgeted learning for data-driven semantic inference via urban functions. *IEEE Access*, *8*, 32258-32269.
40. Yang, S., Towey, D., & Zhou, Z. Q. (2019). Metamorphic exploration of an unsupervised clustering program. In *2019 IEEE/ACM 4th International Workshop on Metamorphic Testing (MET)* (pp. 48-54). IEEE.
41. Rana, K., & Kaur, P. (2018). Review on Machine Learning based algorithms used in Autonomous cars. *JETIR-International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (www.jetir.org)*, ISSN, 2349-5162.
42. Mitrakoudis, S. G., & Alexiadis, M. C. (2022). Modelling electric vehicle charge demand: Implementation for the greek power system. *World Electric Vehicle Journal*, *13*(7), 115.
43. Pakusch, C., Stevens, G., Boden, A., & Bossauer, P. (2018). Unintended effects of autonomous driving: A study on mobility preferences in the future. *Sustainability*, *10*(7), 2404.
44. Spyropoulos, G., Petridou, K., Liaros, S., & Kaldellis, J. K. (2016). Real World Driving Energy Consumption and Air Pollution Implications of Decarbonizing the Greek Transport Sector. In *Proceedings of the 1st International Conference Energy in Transportation*.
45. Faulhaber, A. K., Dittmer, A., Blind, F., Wächter, M. A., Timm, S., Sütfeld, L. R., Stephan, A., Pipa, G., & König, P. (2019). Human decisions in moral

- dilemmas are largely described by utilitarianism: Virtual car driving study provides guidelines for autonomous driving vehicles. *Science and engineering ethics*, 25, 399-418.
46. Brell, T., Philipsen, R., & Ziefle, M. (2019). sCARY! Risk perceptions in autonomous driving: The influence of experience on perceived benefits and barriers. *Risk analysis*, 39(2), 342-357.
 47. Todorovic, M., Simic, M., & Kumar, A. (2017). Managing transition to electrical and autonomous vehicles. *Procedia computer science*, 112, 2335-2344.
 48. Wiederer, J., Bouazizi, A., Kressel, U., & Belagiannis, V. (2020). Traffic control gesture recognition for autonomous vehicles. In *2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 10676-10683). IEEE.
 49. Liang, Q., Shenoy, P., & Irwin, D. (2020). Ai on the edge: Characterizing ai-based iot applications using specialized edge architectures. In *2020 IEEE International symposium on workload characterization (IISWC)* (pp. 145-156). IEEE.
 50. Shahid, A., & Mushtaq, M. (2020). A survey comparing specialized hardware and evolution in TPUs for neural networks. In *2020 IEEE 23rd International Multitopic Conference (INMIC)* (pp. 1-6). IEEE.
 51. Shahid, A., & Mushtaq, M. (2020, November). A survey comparing specialized hardware and evolution in TPUs for neural networks. In *2020 IEEE 23rd International Multitopic Conference (INMIC)* (pp. 1-6). IEEE.
 52. Petrosino, L., Iannello, G., Merone, M., & Vollero, L. (2021). Image sensors and VPU acceleration for data analysis and classification. In *2021 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT (MetroInd4.0&IoT)* (pp. 392-396). IEEE.
 53. Feng, X., Jiang, Y., Yang, X., Du, M., & Li, X. (2019). Computer vision algorithms and hardware implementations: A survey. *Integration*, 69, 309-320.
 54. Alyamkin, S., Ardi, M., Berg, A. C., Brighton, A., Chen, B., Chen, Y., Cheng, H.P., Fan, Z., Feng, C., Fu, B., Gauzen, K., Goel, A., Goncharenko, A., Guo, X., Ha, S., Howard, A., Hu, X., Huang, Y., Kang, D., Kim, J., Ko, J.G., Kondratyev, A., Lee, J., Lee, S., Lee, S., Li, Z., Liang, Z., Liu, J., Liu, X., Lu, Y., Lu, Y., Malik, D., Nguyen, H., Park, E., Repin, D., Shen, L., Sheng, T., Sun, F., Svitov, D., Thiruvathukal, G.K., Zhang, B., Zhang, J., Zhang, X. & Zhuo, S. (2019). Low-power computer vision: Status, challenges, and opportunities. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 9(2), 411-421.
 55. Zhang, Y., & Zhang, J. (2022). Design and Optimization of Cluster-Based DSRC and C-V2X Hybrid Routing. *Applied Sciences*, 12(13), 6782.
 56. Fallgren, M., Dillinger, M., Mahmoodi, T., Svensson, T., & Wiley, J. (Eds.). (2021). *Cellular V2X for connected automated driving* (Vol. 270, pp. 63-90). Hoboken, NJ, USA: Wiley.

57. MacHardy, Z., Khan, A., Obana, K., & Iwashina, S. (2018). V2X access technologies: Regulation, research, and remaining challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(3), 1858-1877.
58. Al-Sultan, S., Al-Doori, M. M., Al-Bayatti, A. H., & Zedan, H. (2014). A comprehensive survey on vehicular ad hoc network. *Journal of network and computer applications*, 37, 380-392.
59. Kenney, J. B. (2011). Dedicated short-range communications (DSRC) standards in the United States. *Proceedings of the IEEE*, 99(7), 1162-1182.
60. Huot, F., Chen, Y. F., Clapp, R., Boneti, C., & Anderson, J. (2019). High-resolution imaging on TPUs. *arXiv preprint arXiv:1912.08063*.
61. Yazdanbakhsh, A., Seshadri, K., Akin, B., Laudon, J., & Narayanaswami, R. (2021). An evaluation of edge tpu accelerators for convolutional neural networks. *arXiv e-prints*, arXiv-2102.
62. Gupta, A., Anpalagan, A., Guan, L., & Khwaja, A. S. (2021). Deep learning for object detection and scene perception in self-driving cars: Survey, challenges, and open issues. *Array*, 10, 100057.
63. Sun, Y., & Kist, A. M. (2021). Deep learning on edge TPUs. *arXiv preprint arXiv:2108.13732*.
64. Yau, S. (2019). Battle of edge ai—Nvidia vs google vs intel. *Towards Data Science, on Medium, June, 14.*; Available from: <https://soon-yau.medium.com/battle-of-edge-ai-nvidia-vs-google-vs-intel-8a3b87243028>.
65. Hui, J. (2020). AI Edge Chips: Nvidia Jetson Xavier NX, AGX Xavier, Google Coral Edge TPU & Startups; Available from: <https://jonathan-hui.medium.com/ai-edge-chips-nvidia-jetson-xavier-nx-agx-xavier-google-coral-edge-tpu-80c0ffae3ab8>.
66. Rivas-Gomez, S., Pena, A. J., Moloney, D., Laure, E., & Markidis, S. (2018). Exploring the vision processing unit as co-processor for inference. In *2018 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW)* (pp. 589-598). IEEE.
67. Reuther, A., Michaleas, P., Jones, M., Gadepally, V., Samsi, S., & Kepner, J. (2021). AI accelerator survey and trends. In *2021 IEEE High Performance Extreme Computing Conference (HPEC)* (pp. 1-9). IEEE.
68. Viswanathan, S. M. (2020). AI Chips: New Semiconductor Era. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 7(8), 14687-14694.
69. Viswanath, P., Sistu, G., Ilie, M., Yogamani, S. K., & Horgan, J. (2018). Early Fusion of Dense Optical Flow with Image for Semantic Segmentation in Autonomous Driving. In *AICS* (pp. 126-137).
70. Enhanced Visual Intelligence at the Network Edge. (2017). Available from: <https://newsroom.intel.com/wp-content/uploads/sites/11/2017/08/movidius-myriad-xvpu-product-brief.pdf>.
71. Agyemang, J. O., Yu, D., & Kponyo, J. J. (2021). Autonomic IoT: Towards Smart System Components with Cognitive IoT. In *Pan-African Artificial*

- Intelligence and Smart Systems Conference* (pp. 248-265). Cham: Springer International Publishing.
72. Wang, J., Shao, Y., Ge, Y., & Yu, R. (2019). A survey of vehicle to everything (V2X) testing. *Sensors*, *19*(2), 334.
 73. Raza, N., Jabbar, S., Han, J., & Han, K. (2018, June). Social vehicle-to-everything (V2X) communication model for intelligent transportation systems based on 5G scenario. In *Proceedings of the 2nd international conference on future networks and distributed systems* (pp. 1-8).
 74. Joglekar, M., & Shivkar, A. (2019). Autonomous Cars—A survey on C-V2X Technology. *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*, *7*(8), 27–31.
 75. Zanjireh, M. M., Shahrabi, A., & Larijani, H. (2013). ANCH: A New Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks. *2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, 450–455.
 76. Qureshi, K. N., & Abdullah, A. H. (2013). A survey on intelligent transportation systems. *Middle-East Journal of Scientific Research*, *15*(5), 629-642.
 77. Sharma, S., & Awasthi, S. K. (2022). Introduction to intelligent transportation system: overview, classification based on physical architecture, and challenges. *International Journal of Sensor Networks*, *38*(4), 215-240.
 78. Vermesan, O., Bahr, R., Falcitelli, M., Brevi, D., Bosi, I., Dekusar, A., Velizhev, A., Alaya, M., Firmani, C., Simeon, J.F., Tcheumadjeu, L.T., Solmaz, G., Bisconti, F., Di Mauro, L., Noto, S., Pagano, P., Ferrero, E., Castillo, G.A.G., Bonetto, E., Di Massa, V., Legaspi, X., Cabeza, M., Bernardez, D., Sanchez, F., Kaul, R., Van den Ende, B., Schmeitz, A., Scholliers, J., Karagiannis, G., den Ouden, J., Jansen, S., Marcasuzaa, H., & Schreiner, F. (2020). IoT technologies for connected and automated driving applications. *Internet of Things—The Call of the Edge. Everything Intelligent Everywhere*.
 79. Sharma, A., & Nandal, V. (2020). Comparison between the Messaging Protocols: CoAP and MQTT Protocol. *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, *7*(7), 481–490.
 80. Seoane, V., Garcia-Rubio, C., Almenares, F., & Campo, C. (2021). Performance evaluation of CoAP and MQTT with security support for IoT environments. *Computer Networks*, *197*, 108338.
 81. Thangavel, D., Ma, X., Valera, A., Tan, H. X., & Tan, C. K. Y. (2014). Performance evaluation of MQTT and CoAP via a common middleware. In *2014 IEEE ninth international conference on intelligent sensors, sensor networks and information processing (ISSNIP)* (pp. 1-6). IEEE.
 82. Cui, G., Zhang, W., Xiao, Y., Yao, L., & Fang, Z. (2022). Cooperative perception technology of autonomous driving in the internet of vehicles environment: A review. *Sensors*, *22*(15), 5535.

83. Barratt, K. Understanding DSRC: The Pioneering V2X Technology. GTT Wireless; Available from: <https://gttwireless.com/understanding-dsrc-the-pioneering-v2x-technology/>.
84. Chen, S., Hu, J., Shi, Y., Zhao, L., & Li, W. (2020). A vision of C-V2X: Technologies, field testing, and challenges with chinese development. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(5), 3872-3881.
85. Kawser, M. T., Fahad, M. S., Ahmed, S., Sajjad, S. S., & Rafi, H. A. (2019). The perspective of vehicle-to-everything (v2x) communication towards 5g. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 19(4), 146.