



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜ. ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΟΔΗΓΗΣΗ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΟΡΑΣΗ



ΚΟΡΟΠΟΥΛΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2022

Η Διπλωματική/Πτυχιακή Εργασία εξετάστηκε από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
ΝΙΚΟΛΑΟΥ Γ.	ΛΕΚΤΟΡΑΣ	
ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΟΥ Σ.	ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
ΔΡΟΣΟΣ Χ.	ΕΔΙΠ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος **Κοροπούλης Χρήστος** του **Αναστάσιου**, με αριθμό μητρώου **47484** φοιτητής του **Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής** του Τμήματος **Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής**, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής 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».

Ο Δηλών



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον καθηγητή μου, κ. Γρηγόριο Νικολάου, για την επίβλεψή του και τις υποδείξεις του στη συγγραφή της διπλωματικής μου εργασίας. Η εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου και οι συμβουλές του, μου προσέφεραν σημαντικά εφόδια για την μετέπειτα ακαδημαϊκή μου σταδιοδρομία.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα των αυτοκινητοβιομηχανιών αποτελεί η λειτουργία της αυτόνομης οδήγησης. Την τελευταία δεκαετία, η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη της μηχανικής μάθησης, η οποία εφαρμόζεται στην αυτόνομη οδήγηση. Η συνεισφορά της στην αυτοκίνηση, συνεπάγεται την ασφαλή κυκλοφορία ενός οχήματος στο οδικό δίκτυο, μέσω αισθητήρων μηχανικής όρασης και άλλων λογισμικών. Πιο συγκεκριμένα, ένα αυτόνομο όχημα λαμβάνει πληθώρα όγκου δεδομένων από το εξωτερικό περιβάλλον, όπως είναι για παράδειγμα ο εντοπισμός πεζών και σημάτων του κώδικα οδικής κυκλοφορίας, οι λωρίδες κυκλοφορίας και η αναγνώριση απότομης επιβράδυνσης του προπορευόμενου οχήματος. Έτσι, το αυτόνομο όχημα είναι σε θέση να επέμβει στην επιτάχυνση και επιβράδυνση του οχήματος, χωρίς την ανάγκη παρουσίας οδηγού πίσω από το τιμόνι.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη των αυτόνομων οχημάτων και τις εφαρμογές της μηχανικής όρασης σε αυτά. Θα αναφερθούμε αρχικά στην έννοια της αυτόνομης οδήγησης και στα επίπεδα αυτονομίας των οχημάτων. Στη συνέχεια, θα αναφερθούμε στην ιστορική εξέλιξη των αυτόνομων οχημάτων και τις πρώτες προσεγγίσεις για ανάπτυξη αυτόνομων οχημάτων με τη μορφή που τα γνωρίζουμε σήμερα. Ύστερα, θα δοθούν παραδείγματα αυτόνομων οχημάτων της τελευταίας δεκαετίας γνωστών κορυφαίων αυτοκινητοβιομηχανιών, όπως είναι η Tesla και η BMW, αναφέροντας τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά και λειτουργίες τους. Έπειτα, θα γνωρίσουμε αναλυτικότερα τα συστήματα που εφαρμόζονται σε ένα αυτόνομο όχημα, όπως είναι οι αισθητήρες LiDAR και τα συστήματα GPS.

Σε επόμενο κεφάλαιο, θα μιλήσουμε για την έννοια της μηχανικής μάθησης, δίνοντας τον ορισμό της και τις κατηγορίες στις οποίες διακρίνεται. Στο έκτο κεφάλαιο, θα προσδιορίσουμε τους αλγόριθμους της μηχανικής όρασης και στο τελευταίο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι εφαρμογές της μηχανικής όρασης στην αυτόνομη οδήγηση.

ABSTRACT

The aim of this thesis is the study of autonomous vehicles and the applications of machine vision in them. At first, we will refer to the concept of autonomous driving and the levels of autonomy of vehicles. Then, we will refer to the historical development of autonomous vehicles and the first approaches of the autonomous vehicles in the form we know them today. After that, examples of autonomous vehicles of the last decade well known car industries will be given, such as Tesla and BMW, mentioning their most important features and functions. Next, we will get familiar with the systems that are applied to an autonomous vehicle, such as LiDAR sensors and GPS systems.

In next chapter, we will talk about the concept of machine learning, giving its definition and the categories in which it is distinguished. In the sixth chapter, we will identify the algorithms of machine vision and in the last chapter we will present the applications off machine vision in autonomous driving.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	5
Περίληψη... ..	6
Abstract	7
Κεφάλαιο 1 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	12
1.1 Έννοια αυτόνομου οχήματος.....	12
1.2 Επίπεδα αυτονομίας.....	12
1.3 Πλεονεκτήματα αυτόνομων οχημάτων	15
1.4 Μειονεκτήματα αυτόνομων οχημάτων	16
Κεφάλαιο 2 : ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	17
2.1 Το πρώτο πείραμα για αυτόνομο αυτοκίνητο	18
2.2 Αυτόνομα οχήματα των δεκαετιών 1950-1970	18
2.3 Τα πρώτα οχήματα αυτόνομων λειτουργιών	20
2.4 Αρχικές προσεγγίσεις των σύγχρονων αυτόνομων οχημάτων	22
Κεφάλαιο 3 : ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΤΕΛΕΥΤΙΑΣ ΔΕΚΑΕΤΙΑΣ.....	24
3.1 GOOGLE	24
3.2 NISSAN	26
3.3 MERCEDES BENZ	27
3.4 VOLVO... ..	29
3.5 VOLKSWAGEN.....	30
3.6 HONDA.....	31
3.7 TOYOTA.....	32
3.8 TESLA.....	35
3.9 RANGE ROVER... ..	37
3.10 BMW	37
3.11 HYUNDAI	40
3.12 SCANIA	41
Κεφάλαιο 4 : ΔΟΜΗ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	43
4.1 RADAR.....	43
4.2 LiDAR.....	44
4.3 GPS.....	45
4.4 Κάμερα.....	46
4.5 Αισθητήρας γωνιακής θέσης	47
4.6 Αισθητήρας υπερήχων.....	47
Κεφάλαιο 5 : ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ	48
5.1 Ορισμός μηχανικής μάθησης	48
5.2 Τύποι μάθησης	49
5.2.1 Επιβλεπόμενη μάθηση	49
5.2.2 Μη επιβλεπόμενη μάθηση.....	50
5.2.3 Μάθηση με ενίσχυση	50

5.3 Νευρωνικά Δίκτυα.....	51
Κεφάλαιο 6 : ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΟΡΑΣΗ	51
6.1 Συνελκτικά Νευρωνικά Δίκτυα	51
6.1.1 Επίπεδο συνέλιξης.....	52
6.1.2 Επίπεδο υποδειγματοληψίας.....	56
6.2 R-CNN.....	58
6.3 Fast R-CNN	60
6.4 Faster R-CNN.....	60
6.5 Mask R-CNN	61
6.6 Shot MultiBox Detector	62
6.7 YOLO	63
Κεφάλαιο 7: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΟΡΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΟΔΗΓΗΣΗ.....	63
7.1 ADAS	64
7.2 Adaptive Cruise Control (ACC).....	64
7.3 Σύστημα προειδοποίησης απόκλισης από τη λωρίδα (LDWS)...	65
7.4 Σύστημα υποβοήθησης διατήρησης λωρίδας (LKA)...	66
7.5 Σύστημα αποφυγής πρόσκρουση (CAS)...	67
7.6 Σύστημα υποβοήθησης παρκαρίσματος (PAS).....	68
7.7 Χρήση μηχανικής όρασης από αυτοκινητοβιομηχανίες	70
7.8 Αναγνώριση λωρίδας κυκλοφορίας με χρήση τεχνικών μηχανικής όρασης	72
7.9 Τμηματοποίηση εικόνας (Image segmentation)	78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	80

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Επίπεδα αυτόνομης οδήγησης.....	13
Εικόνα 2 : Αυτόνομο όχημα American Wonder	17
Εικόνα 3: Αυτόνομο όχημα Firebird	18
Εικόνα 4: Αυτόνομο όχημα Citroen DS.....	19
Εικόνα 5 : Αυτόνομο όχημα VaMP	20
Εικόνα 6: Αυτόνομο όχημα ParkShuttle	21
Εικόνα 7: Αυτόνομο όχημα Komatsu	23
Εικόνα8: Αυτόνομα οχήματα Firefly και Chrysler Pacifica HybridMinivan.....	24
Εικόνα 9 : Αυτόνομο όχημα Nissan Infinity Q50	25
Εικόνα 10 : Αυτόνομο όχημα Mercedes Benz F 015 Luxury.....	27
Εικόνα 11 : Εσωτερικό οχήματος Mercedes Benz F 015 Luxury	27
Εικόνα 12 : Αυτόνομο όχημα Volvo XC90	29
Εικόνα 13: Αυτόνομο όχημα VOLKSWAGEN ID.BUZZ.....	30
Εικόνα 14: Αυτόνομο όχημα Honda Legend	31
Εικόνα 15 : Αυτόνομο όχημα TOYOTA LQ	32
Εικόνα 16: Αυτόνομο όχημα TOYOTA e-Palette.....	33
Εικόνα 17: Αυτόνομο όχημα Tesla Model S	34
Εικόνα 18 : Αυτόνομο όχημα Tesla Cybertruck.....	35
Εικόνα 19: Αυτόνομο όχημα Range Rover Sport.....	36
Εικόνα 20: Αυτόνομο όχημα BMW 5 Series	37
Εικόνα 21 : Αυτόνομο όχημα BMW Vision iNEXT	38
Εικόνα 22 : Αυτόνομο ιπτάμενο όχημα Uber Air Taxis	39
Εικόνα 23 : Αυτόνομο όχημα HYUNDAI IONIQ.....	40
Εικόνα 24: Αυτόνομο φορτηγό Scania AXL.....	41
Εικόνα 25 : Δομή ενός αυτόνομου οχήματος	42
Εικόνα 26: Παράδειγμα χρήσης συστήματος LiDAR... ..	44
Εικόνα 27: Κάμερα αυτόνομου οχήματος.....	45
Εικόνα 28: Χρήση αισθητήρα υπερήχων για στάθμευση οχήματος	47
Εικόνα 29: Αναπαράσταση συνέλιξης σε εικόνα 7x7 για τη θέσηΓ(0,0).....	53

Εικόνα 30: Αναπαράσταση συνέλιξης σε εικόνα 7x7 για τη θέσηΓ(0,1)	54
Εικόνα 31 : Αναπαράσταση συνέλιξης της τελικής εικόνας	54
Εικόνα 32 : Διαδικασία εύρεσης τοπικού μεγίστου.....	55
Εικόνα 33 : Διαδικασία εύρεσης μέσης τιμής	56
Εικόνα34: Σύγκριση μεταξύ υποδειγματοληψίας μέγιστης τιμής και μέσης τιμής	56
Εικόνα 35 : Παράδειγμα επιλεκτικής αναζήτησης.....	57
Εικόνα 36: Παράδειγμα R-CNN	58
Εικόνα 37: Διαδικασία δημιουργίας προτάσεων περιοχών	60
Εικόνα 38 : Παράδειγμα εφαρμογής του αλγορίθμου Mask R-CNN.....	61
Εικόνα 39 : Αρχιτεκτονική αλγορίθμου SSD	62
Εικόνα 40 : Αλγόριθμος YOLO	63
Εικόνα 41 : Σύστημα Adaptive Cruise Control	65
Εικόνα 42 : Σύστημα υποβοήθησης διατήρησης λωρίδας	67
Εικόνα 43 : Σύστημα αποφυγής πρόσκρουσης	68
Εικόνα 44 : Σύστημα υποβοήθησης παρκαρίσματος	69
Εικόνα 45 : Tesla Autopilot.....	70
Εικόνα 46 : Αισθητήρες αυτόνομων οχημάτων General Motors	71
Εικόνα 47 : Αρχική εικόνα και κώδικας	72
Εικόνα 48 : Εικόνα γκρι κλίμακας και κώδικας	73
Εικόνα 49 : Κώδικας Gaussian Blur	73
Εικόνα 50 : Κώδικας και εικόνα με Canny Edge Detection.....	74
Εικόνα 51 : Κώδικας, επιλεγμένη περιοχή και εικόνα μετά τη χρήση της μάσκας.....	74
Εικόνα 52 : Hough Space	75
Εικόνα 53 : Κώδικας Hough lines Detector	75
Εικόνα 54 : Κώδικας εύρεσης των λωρίδων κυκλοφορίας και αποτέλεσμα.....	76
Εικόνα 55 : Τελική εικόνα εύρεσης λωρίδας κυκλοφορίας	77
Εικόνα 56 : Τεχνική τμηματοποίησης εικόνας.....	78
Εικόνα 57 : Κώδικας εκπαίδευσης του συνόλου δεδομένων.....	78

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

1.1 Έννοια αυτόνομου οχήματος

Με το πέρασμα των χρόνων παρατηρείται αξιοσημείωτη εξέλιξη στον τομέα της τεχνολογίας. Στο παρελθόν, η εφαρμογή τεχνολογικών εργαλείων ήταν σπάνια, ενώ σήμερα, η ανακάλυψη νέων τεχνολογιών έχει καταστήσει απαραίτητη τη χρήση τους, όχι μόνο στα κινητά μας, αλλά και στα σπίτια, στα αυτοκίνητα και γενικά στην καθημερινή ζωή. Αυτό οφείλεται στις δυνατότητες που μας παρέχουν αυτές οι νέες τεχνολογίες, μέσω των οποίων μπορούμε να ανταποκριθούμε σε διαδικασίες πολύ πιο εύκολα από ότι θα μπορούσαμε χωρίς αυτές. Πλέον, οι περισσότερες λειτουργίες τείνουν να γίνουν αυτόματες με την προσθήκη της μηχανικής μάθησης στον τομέα της τεχνολογίας, αποσκοπώντας να επιτρέψει στον άνθρωπο να κάνει λιγότερες λειτουργίες. Ένας κλάδος, ο οποίος έχει αναπτυχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, είναι η αυτόνομη οδήγηση.

Με τον όρο «Αυτόνομο όχημα», περιγράφεται ένα καλά σχεδιασμένο όχημα, το οποίο μπορεί να κινηθεί εκτελώντας αυτόνομα όλες τις απαιτούμενες λειτουργίες χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Αυτό επιτυγχάνεται λόγω της ικανότητας του οχήματος να ανιχνεύει κατάλληλα το περιβάλλον χρησιμοποιώντας ραντάρ, Lidar, GPS και κάμερες με την βοήθεια του υπολογιστή. Ουσιαστικά, πρόκειται για ένα ρομποτικό όχημα εξοπλισμένο με πληθώρα αισθητήρων Μηχανικής όρασης και λογισμικών μηχανικής μάθησης, το οποίο μπορεί να κυκλοφορεί στο οδικό δίκτυο χωρίς οδηγό.

1.2 Επίπεδα αυτονομίας

Σύμφωνα με την SAE (Society of Automotive Engineers) υπάρχουν έξι διαφορετικά επίπεδα αυτονομίας ελέγχου ενός οχήματος, τα οποία κυμαίνονται μεταξύ επιπέδου 0 (χωρίς καμία λειτουργία αυτοματοποίησης) και επιπέδου 5 (πλήρης αυτοματοποιημένη οδήγηση). Αναλυτικά τα στάδια αυτά είναι τα ακόλουθα:

- **Επίπεδο 0 : Καμία αυτοματοποίηση.**

Ο οδηγός έχει τον απόλυτο έλεγχο όλων των λειτουργιών του οχήματος, όπως είναι σύστημα πέδησης, το σύστημα κατεύθυνσης και το σύστημα κίνησης. Ωστόσο, το σύστημα μπορεί να εμφανίσει ειδοποιήσεις και ενδείξεις, όπως είναι για παράδειγμα η προειδοποίηση εναλλαγής λωρίδας κυκλοφορίας.

- **Επίπεδο 1 : Βοήθεια οδηγού.**

Και σε αυτό το επίπεδο τον έλεγχο τον έχει ο οδηγός. Ωστόσο, τα οχήματα διαθέτουν συστήματα υποστήριξης οδήγησης μεταξύ των οποίων είναι η καθοδήγηση των οριογραμμών (lane guidance), ο έλεγχος πλεύσης του οχήματος (cruise control) και η υποβοήθηση παράλληλης στάθμευσης (automated parallel parking). Ένα παράδειγμα λειτουργίας του συστήματος αυτού αποτελεί η διατήρηση σταθερής ταχύτητας και απόστασης από το μπροστινό όχημα εφαρμόζοντας αυτόματα φρένο όταν επιβραδύνεται η κίνηση. Οι δυνατότητες αυτές αποσκοπούν στην διευκόλυνση του οδηγού, όμως σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να εφαρμοστούν συνδυαστικά.

- **Επίπεδο 2 : Μερική αυτοματοποίηση οδήγησης.**

Στο επίπεδο 2, το όχημα αναλαμβάνει τον προσαρμοσμένο έλεγχο πλεύσης κεντρίζοντας επί των οριογραμμών των λωρίδων κυκλοφορίας . Αυτό δίνει την δυνατότητα στον οδηγό να μην έχει τον έλεγχο του οχήματος, ωστόσο οφείλει να έχει πλήρη επίγνωση της κατάστασης και του περιβάλλοντος γύρω του ώστε να επέμβει όταν εκτιμήσει ότι είναι αναγκαίο.

- **Επίπεδο 3 : Αυτοματοποιημένη οδήγηση υπό προϋποθέσεις.**

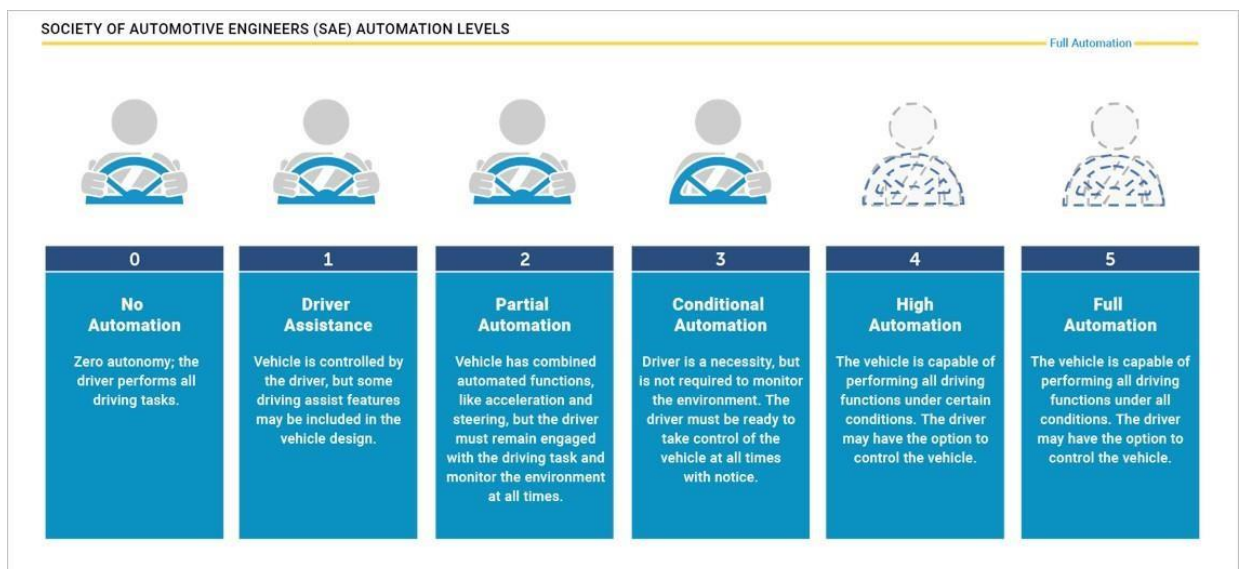
Σε αυτό το επίπεδο, τα οχήματα διαθέτουν προηγμένο σύστημα οδήγησης (ADS), το οποίο αναλαμβάνει τον έλεγχο του τιμονιού, του συστήματος πέδησης / επιτάχυνσης και του επιτρέπεται η αλλαγή λωρίδας. Ο οδηγός οφείλει μόνο να μείνει συγκεντρωμένος και να παρακολουθεί την πορεία του οχήματος, επεμβαίνοντας όταν του το ζητήσει το όχημα.

- **Επίπεδο 4 : Υψηλό επίπεδο αυτοματοποιημένης οδήγησης.**

Στο επίπεδο 4, το όχημα διαθέτει υψηλό επίπεδο αυτοματοποίησης των λειτουργιών του. Ο οδηγός σταματάει να έχει τον έλεγχο του επιτάχυνσης, του τιμονιού, του συστήματος πέδησης και της αλλαγής λωρίδων. Το όχημα μπορεί να ανταποκριθεί σε πολύπλοκες καταστάσεις χωρίς την ανάγκη να επέμβει ο οδηγός. Σε αντίθεση με το επίπεδο 3, ο οδηγός δεν είναι απαραίτητο να έχει την απόλυτη προσοχή του στο τιμόνι, αλλά μπορεί να χαλαρώσει με ασφάλεια και να ασχοληθεί με κάτι άλλο. Έχει την δυνατότητα όμως, να παρακάμψει χειροκίνητα το σύστημα αυτόματης οδήγησης και να πάρει αυτός τον έλεγχο του οχήματος.

- **Επίπεδο 5 : Πλήρης αυτοματοποιημένη οδήγηση.**

Σε αυτό το επίπεδο απαιτείται μηδενική προσοχή από τον οδηγό. Το σύστημα ADS πραγματοποιεί όλες τις λειτουργίες οδήγησης παρακολουθώντας το περιβάλλον και εντοπίζει τις πολύπλοκες κυκλοφοριακές συνθήκες. Συνδυάζει πολλές λειτουργίες ταυτόχρονα, όπως υποβοήθηση παρκαρίσματος, προειδοποίηση σύγκρουσης, φρενάρισμα έκτακτης ανάγκης, ανίχνευση πεζών και διαβάσεων και προειδοποίηση αλλαγής λωρίδας.



Εικόνα 1. Επίπεδα αυτόνομης οδήγησης [10]

Τα αυτόνομα οχήματα, όπως προκύπτει και από τα επίπεδα αυτονομίας που παρουσιάστηκαν παραπάνω, προσφέρουν σημαντικές εξελίξεις και παροχές στον χώρο της οδήγησης. Θωρείται από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί πως οι πολίτες θα μπορέσουν να αγοράσουν σύντομα αυτόνομα οχήματα, μειώνοντας έτσι τα οδικά δυστυχήματα και τις εκπομπές ρύπων.

1.3 Πλεονεκτήματα αυτόνομων οχημάτων

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η νέα αυτή τεχνολογία στο κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας είναι αρκετά. Η ανάπτυξη συστημάτων μηχανικής όρασης στα αυτόνομα οχήματα καθώς και ο σχεδιασμός τους, επιφέρουν πληθώρα παροχών που διευκολύνουν τόσο τον οδηγό και τους επιβάτες όσο και το εξωτερικό περιβάλλον του οχήματος. Παρέχουν ασφάλεια σε πολύ μεγάλο βαθμό, άνετη μετακίνηση και συμβάλλουν στη μέγιστη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων. Ας δούμε αναλυτικότερα κάποια από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των αυτόνομων οχημάτων.

Χωρίς καμία αμφιβολία, ένα από τα σημαντικότερα, εάν όχι το σημαντικότερο, πλεονέκτημα των αυτόνομων οχημάτων είναι η ασφάλεια. Σύμφωνα με την Διοίκηση Ασφαλείας Εθνικής Οδού των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, ή αλλιώς NHTSA, το 2015 σημειώθηκαν στους δρόμους των ΗΠΑ περισσότερα από δύο εκατομμύρια ατυχήματα, στα οποία 35.092 άτομα έχασαν την ζωή τους. Αποκαλύφθηκε ότι το 94% των αυτοκινητιστικών ατυχημάτων οφειλόταν σε ανθρώπινο λάθος. Όπως καθίσταται εύκολο κατανοητό, η εξάλειψη του ανθρώπινου παράγοντα θα προκαλέσει σημαντική μείωση στον αριθμό των αυτοκινητιστικών ατυχημάτων και κατά συνέπεια θα συμβάλλει στην ελάττωση του αριθμού των θανάτων στην άσφαλτο.

Ένα άλλο πλεονέκτημα των αυτόνομων οχημάτων αποτελεί η βελτίωση των καθημερινών μετακινήσεων. Τα αυτόνομα οχήματα είναι ικανά να μεταφέρουν πολίτες στον προορισμό τους, οι οποίοι παρουσιάζουν κάποιο πρόβλημα αναπηρίας. Πολίτες, οι οποίοι έχουν πρόβλημα όρασης ή ακόμα και άνθρωποι μεγάλης ηλικίας, δεν μπορούν να μετακινηθούν σήμερα χωρίς τη βοήθεια κάποιου συμπολίτη. Οπότε, τα αυτόνομα οχήματα τους μεταφέρουν στον προορισμό τους χωρίς να χρειάζεται να ζητήσουν βοήθεια. Επιπλέον, τα αυτόνομα οχήματα μπορούν να τα χρησιμοποιήσουν και άτομα τα οποία δεν ξέρουν να οδηγούν, αλλά και παιδιά για να μετακινηθούν από και προς το σχολείο τους ή σε άλλες εξωσχολικές δραστηριότητες, χωρίς την ανάγκη παρουσίας του γονέα.

Ακόμα ένα πλεονέκτημα των αυτόνομων οχημάτων είναι η εξοικονόμηση χρήματος. Η ελάττωση των αυτοκινητιστικών ατυχημάτων συνεπάγεται και

εξοικονόμηση χρημάτων στο τομέα της υγείας. Αυτά τα ποσά προορίζονταν για τη περίθαλψη ανθρώπων, που αποκόμισαν κάποιον τραυματισμό από αυτοκινητιστικό ατύχημα, καθώς και για αποκατάσταση υλικών ζημιών. Επίσης, παρατηρείται όλο και λιγότερη ζήτηση για ασφαλιστική κάλυψη των οχημάτων, η οποία είναι απόρροια της αποτελεσματικότητας των συστημάτων αυτόνομης οδήγησης, της μείωσης των ατυχημάτων στους δρόμους και των υψηλών τιμών ασφαλιστρών που προσφέρουν οι εταιρίες τα τελευταία χρόνια.

Η εκτεταμένη χρήση αυτόνομων οχημάτων προσφέρει επίσης και εξοικονόμηση χρόνου. Τα συστήματα αυτόνομης οδήγησης έχουν τον πλήρη έλεγχο των συστημάτων πέδησης και επιτάχυνσης, επιτρέποντας την ομαλή κυκλοφορία του οχήματος στους δρόμους. Με αυτό το τρόπο αποτρέπεται η κυκλοφοριακή συμφόρηση. Επίσης, οι επιβάτες ενός αυτόνομου οχήματος μπορούν να ασχοληθούν με άλλη δραστηριότητα κατά τη διάρκεια της διαδρομής, εφόσον η χρήση των οχημάτων δεν προϋποθέτει την ανάγκη οδηγού πίσω από το τιμόνι. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απαλλαγή του οδηγού από το άγχος, ο οποίος καθημερινά βιώνει πίεση που αφορούν την κυκλοφοριακή συμφόρηση και τον χρόνο που απαιτείται για να φτάσει στον προορισμό του.

Ακόμα ένα πλεονέκτημα που παρέχει η αυτόνομη οδήγηση είναι η απαλλαγή του άγχους εύρεσης διαθέσιμης θέσης στάθμευσης. Οι επιβάτες των αυτόνομων οχημάτων αποβιβάζονται στον τελικό τους προορισμό και στη συνέχεια το όχημα συνεχίζει μόνο του τη πορεία μέχρι την πλησιέστερη διαθέσιμη θέση στάθμευσης και παρκάρει μόνο του.

Ένα τελευταίο, αλλά εξίσου πολύ σημαντικό, πλεονέκτημα αποτελεί η μείωση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων. Τα περισσότερα αυτόνομα οχήματα είναι ηλεκτρικά, το οποίο σημαίνει ότι με τις σταθερές ταχύτητες που αναπτύσσουν, μειώνεται η συχνή χρήση των συστημάτων πέδησης και επιτάχυνσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα.

1.4 Μειονεκτήματα αυτόνομων οχημάτων

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, τα πλεονεκτήματα των αυτόνομων οχημάτων είναι πολλά και σημαντικά. Ωστόσο, η νέα αυτή τεχνολογία εγκυμονεί κινδύνους και απειλές, εκ των οποίων κάποιες φορές το αποτέλεσμα είναι μη αντιστρέψιμο. Κάποια από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι τα ζητήματα ασφαλείας και οι απώλειες θέσεις εργασιών. Υπάρχουν και άλλα, τα οποία θα δούμε αναλυτικότερα αμέσως τώρα.

Ένα από τα σημαντικότερα, αλλά έως σήμερα πιθανά, μειονεκτήματα της αυτόνομης οδήγησης αποτελεί το hacking. Όπως παρατηρείται σε κάθε τεχνολογική εφαρμογή, έτσι και στη συγκεκριμένη τεχνολογία είναι πιθανό να παρουσιαστεί διαδικτυακή παραβίαση. Η παραβίαση στη συγκεκριμένη τεχνολογία, θα μπορούσε να αποσκοπήσει στην απόκτηση των προσωπικών στοιχείων του οδηγού, αλλά και στον έλεγχο της πορείας και της επιτάχυνσης του οχήματος. Ωστόσο πέρα από την διαδικτυακή παραβίαση, το αυτόνομο σύστημα του οχήματος είναι πιθανό να παρουσιάσει δυσλειτουργία, όπως δύναται να συμβεί σε κάθε τεχνολογία. Αυτό θα προκαλούσε τεράστια ανησυχία στους επιβαίνοντες του οχήματος, ειδικά εάν το όχημα είχε αναπτύξει υψηλή ταχύτητα και δεν μπορούσε να σταματήσει.

Ένα άλλο μειονέκτημα των αυτόνομων οχημάτων είναι το κόστος υποδομών. Προκειμένου να μπορεί να γίνει σωστή εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής στους δρόμους, απαιτούνται αναβαθμίσεις του οδικού δικτύου και των υπηρεσιών του οχήματος. Πέρα, όμως, από το κόστος των υποδομών, αναμένεται υψηλή και η τιμή των πλήρως αυτόνομων οχημάτων, ένα ποσό το οποίο υπολογίζεται να φτάσει τη τιμή 250.000 \$. Ωστόσο, μακροπρόθεσμα η τιμή αυτή θα αρχίσει να μειώνεται.

Τέλος, ένα ζήτημα, το οποίο απασχολεί πληθώρα κόσμου αποτελεί η απώλεια θέσεων εργασιών. Τα αυτόνομα αυτοκίνητα, μπορούν να λειτουργήσουν ως λεωφορεία, ταξί ή οχήματα Uber, ενώ και τα φορτηγά αναμένεται να γίνουν αυτόνομα στο προσεχές μέλλον. Έτσι, προκαλείται αναστάτωση και προβληματισμός σε οδηγούς των οχημάτων που αντικαθίσταται από αυτόνομα οχήματα για το επαγγελματικό τους μέλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Παρά το γεγονός ότι τα αυτόνομα οχήματα έκαναν αισθητή την εμφάνισή τους τα τελευταία χρόνια, οι πρώτες απόπειρες αυτοματοποίησης των οχημάτων χρονολογούνται πολύ παλιότερα από ότι θα περίμενε κανείς. Οι πρώτες αναφορές περί αυτοματοποίησης των οχημάτων έγιναν το 1920, δίνοντας το έναυσμα για πειράματα καταλήγοντας στην σημερινή εξέλιξή τους. Παρακάτω θα αναφερθούμε αναλυτικότερα στην ιστορική τους αναδρομή.

2.1 Το πρώτο πείραμα για αυτόνομο αυτοκίνητο

Η πρώτη εμφάνιση αυτόνομου οχήματος έγινε το 1920, με το όνομα American Wonder, σε καμία περίπτωση όμως δεν θυμίζει αυτόνομο όχημα του σήμερα, όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό στην εικόνα 2. Πρόκειται για ένα ραδιοελεγχόμενο αυτοκίνητο, τύπου Chandler του 1926, εξοπλισμένο με κεραιές μετάδοσης στο πίσω τμήμα του, το οποίο χειριζόταν από ένα άτομο σε άλλο όχημα που το ακολουθούσε. Την εμφάνισή του για πρώτη φορά έκανε στην Νέα Υόρκη, από όπου ξεκίνησε ένα ταξίδι με προορισμό το Μπρόντγουεϊ.



Εικόνα 2. Αυτόνομο όχημα American Wonder [13]

2.2 Αυτόνομα οχήματα των δεκαετιών 1950-1970

Το 1953, η αμερικανική εταιρία ηλεκτρονικών ειδών RCA Labs παρουσίασε ένα αυτόνομο όχημα μινιατούρα. Καλώδια, τα οποία είχαν τοποθετηθεί σε μοτίβο στο εργαστήριο, είχαν τον πλήρη έλεγχο του οχήματος. Με την ιδέα αυτή πειραματίστηκε ο μηχανικός Leland M. Hancock, ο οποίος θέλησε να εφαρμόσει την ιδέα αυτή σε μεγαλύτερη κλίμακα και σε πραγματικό αυτοκινητόδρομο.

Για να το καταφέρει, χρειάστηκε τον συνδυασμό μιας σειράς κυκλωμάτων ανιχνευτών, τα οποία βρίσκονταν θαμμένα στο πεζοδρόμιο, καθώς και μια σειρά από φώτα κατά μήκος της άκρης του δρόμου. Τα κυκλώματα ανιχνευτών έστειλαν παλμούς για να καταφέρουν να καθοδηγήσουν το όχημα και να προσδιοριστεί η παρουσία και η ταχύτητα οποιουδήποτε μεταλλικού οχήματος στην επιφάνειά του. Το πείραμα έλαβε χώρα σε μια λωρίδα αυτοκινητόδρομου λίγο έξω από την Νεμπράσκα.

Το 1958, η General Motors συνεργάστηκε με τον μηχανικό αυτόν και τον συνάδελφό του L.N. Röss Leland Hancock, δημιουργώντας δύο τυποποιημένα

μοντέλα με εξοπλισμό που διέθεταν ειδικούς ραδιοφωνικούς δέκτες και συσκευές ακουστικής και οπτικής προειδοποίησης, οι οποίες μπορούσαν να προσομοιώνουν την αυτόνομη οδήγηση και τα συστήματα πέδησης και επιτάχυνσης.

Το παραπάνω επίτευγμα παρουσιάστηκε επίσημα το 1960, στην έδρα της RCA Lab στο New Jersey, κατά τη διάρκεια του οποίου οι δημοσιογράφοι μπορούσαν να οδηγήσουν τα αυτοκίνητα. Το όχημα αναμενόταν να βγει στην αγορά περίπου το 1975. Ακόμη, κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1960, η General Motors παρουσίασε μια σειρά πειραματικών αυτοκινήτων με την ονομασία Firebirds. Τα αυτοκίνητα αυτά, διέθεταν αυτόματο σύστημα, το οποίο σε έναν αυτοκινητόδρομο αναλάμβανε τον έλεγχο του οχήματος και επέτρεπε στον οδηγό να ξεκουραστεί για λίγο.



Εικόνα 3. Αυτόνομο όχημα Firebird [13]

Κατά την διάρκεια του 1960, ήταν η σειρά ενός Citroen DS να δοκιμαστεί σε αυτήν την τεχνολογική ιδέα που ονομάζεται αυτόνομη οδήγηση. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε από το Εργαστήριο Μεταφορών και Οδικής Έρευνας του Ηνωμένου Βασιλείου χωρίς οδηγό, με το όχημα να αλληλεπιδρά με μαγνητικά καλώδια, τα οποία ήταν ενσωματωμένα στο δρόμο. Το Citroen DS ανέπτυξε ταχύτητα 130 χλμ/ώρα χωρίς να παρουσιάσει κάποια απόκλιση από την πορεία του αναφέροντας μάλιστα πως ανταποκρίθηκε αποτελεσματικότερα από ότι θα μπορούσε ένας οδηγός πίσω από το τιμόνι. Τα πρώτα αποτελέσματα έδειξαν ότι με την χρήση του αυτόνομου συστήματος, τα αυτοκινητιστικά ατυχήματα θα μπορούσαν να ελαττωθούν σε ποσοστό που φτάνει το 40%. Ωστόσο, η χρηματοδότηση αυτής της ιδέας διακόπηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1970.



Εικόνα 4. Αυτόνομο όχημα Citroen DS [13]

2.3 Τα πρώτα οχήματα αυτόνομων λειτουργιών

Τη δεκαετία του 1980, ο καθηγητής Ernst Dickmanns και η ομάδα του στο Πανεπιστήμιο Bundeswehr του Μονάχου, ανέπτυξαν ένα ρομποτικό φορτηγό Mercedes-Benz, το οποίο σε δρόμο δίχως κίνηση ανέπτυξε ταχύτητα 63 χλμ/ώρα. Από το 1987 έως το 1995, η EUREKA χρηματοδότησε το πρόγραμμα Prometheus με 750.000.000 ευρώ για αυτόνομα αμάξια.

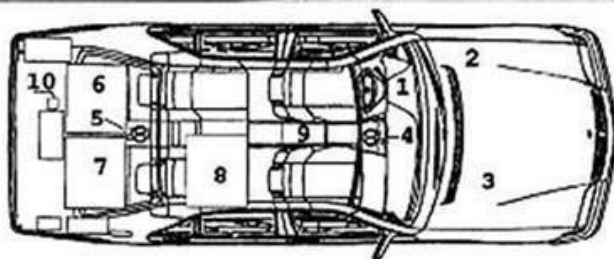
Την ίδια δεκαετία, σημαντική ήταν η συμβολή της DARPA, Υπηρεσία Προηγμένων Ερευνητικών Προγραμμάτων Άμυνας του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ, η οποία συνέβαλε σε μεγάλο βαθμό για την εξέλιξη των αυτόνομων οχημάτων. Πιο αναλυτικά, η DAPRA σχεδίασε ένα πειραματικό όχημα με την ονομασία Autonomous Land Vehicle (AVL), υιοθετώντας νέες τεχνολογίες αυτόνομων οχημάτων που αναπτύχθηκαν σε πανεπιστήμια των ΗΠΑ, μεταξύ των οποίων είναι του Μίσιγκαν και του Μέριλαντ. Το αυτόνομο ρομποτικό όχημα AVL εφάρμοσε Lidar και μηχανική όραση, ορολογίες που εκείνα τα χρόνια δεν είχαν ξανά ακουστεί. Το αποτέλεσμα στέφθηκε με επιτυχία και το όχημα ανέπτυξε ταχύτητα 31 χλμ/ώρα.

Παράλληλα, αναπτύχθηκε μια πρωτοποριακή λύση πλοήγησης μέσω off-road χαρτών και σύγχρονων οπτικών αισθητήρων στο AVL, από τα εργαστήρια HRL. Το αποτέλεσμα ήταν το όχημα να διανύσει απόσταση 610 μέτρα με ταχύτητα 3,1 χλμ/ώρα σε μη ομαλό έδαφος με απότομες πλαγιές και βράχους.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, το Κογκρέσο των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής ψήφισε ένα νομοσχέδιο Εξουσιοδότησης Μεταφορών, ονόματι ISTEA, βάσει του οποίου το Υπουργείο Μεταφορών των Ηνωμένων Πολιτειών όφειλε να παρουσιάσει ένα καινοτόμο σύστημα αυτοματοποιημένου οχήματος και οδικού δικτύου μέχρι το 1997. Την υλοποίηση ανέλαβε η Federal Highway Administration

(FHWA), το αρμόδιο τμήμα του Υπουργείου Μεταφορών που ειδικεύεται στους αυτοκινητόδρομους, η οποία ίδρυσε την NAHSC, Εθνική Κοινοπραξία Αυτοματοποιημένων Συστημάτων Αυτοκινητόδρομων. Η χρηματοδότηση ανερχόταν στα 90 εκατομμύρια ευρώ, με επικεφαλείς την FHWA και την General Motors και συνεργάτες την Caltran, την Delco, την Parsons Brinkerhoff, την Bechtel, το UC-Berkeley, το Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon και το Lockheed Martin. Την καταληκτική χρονολογία, το 1997, πραγματοποιήθηκε στο Σαν Ντιέγκο της Καλιφόρνιας η τεχνολογική έκθεση Demo, στην οποία παρευρέθηκαν χιλιάδες επισκέπτες και δημοσιογράφοι για να δουν από κοντά περίπου είκοσι αυτοματοποιημένα οχήματα.

Στα μέσα σχεδόν της δεκαετίας του 1990, το 1994 ακριβέστερα, τα δίδυμα ρομποτικά οχήματα VaMP και Vita-2 της Daimler-Benz διένυσαν απόσταση μεγαλύτερης από 1.000 χιλιομέτρων σε αυτοκινητόδρομο τριών λωρίδων στο Παρίσι. Υπήρχαν διαστήματα στη διάρκεια της οδήγησης που χρειάστηκε να επέμβει ο οδηγός, ωστόσο τα οχήματα ανέλαβαν τον πλήρη έλεγχο για οδήγηση σε ελεύθερη λωρίδα και εναλλαγή λωρίδας με διέλευση άλλων οχημάτων.



- | | |
|------------------------------|--|
| 1 Torque motor for steering | 6, 8 Transputer system, image processing |
| 2 brake system | 7 processors for gaze & locomotion control |
| 3 electric throttle control | 8 user interface |
| 4 front platform } for 2 CCD | 9 linear accelerometers |
| 5 rear platform } cameras | 10 angular rate sensors |

Εικόνα 5. Αυτόνομο όχημα VaMP [13]

Το 1995, το Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon ανέπτυξε το πειραματικό όχημα Navlab, το οποίο διένυσε 5.000 χιλιόμετρα κατά μήκος της χώρας εφαρμόζοντας αυτόνομη οδήγηση σε ένα ποσοστό που έφτανε το 98,2 %. Ωστόσο, παρόλο που το αυτόνομο σύστημα του οχήματος είχε τον έλεγχο του τιμονιού, τα συστήματα πέδησης και επιτάχυνσης ελέγχονταν από τον οδηγό, κυρίως για λόγους ασφαλείας.

Το ίδιο έτος, η ημια-αυτόνομη Mercedes-Benz S-Class κάλυψε απόσταση 1.590 χιλιομέτρων σε ένα ταξίδι με αφετηρία το Μόναχο και προορισμό την Δανία και από εκεί πάλι πίσω, εφαρμόζοντας τεχνικές Μηχανικής Όρασης. Το αυτοκίνητο κινούνταν στον αυτοκινητόδρομο της Γερμανίας με ταχύτητα 175 χλμ/ώρα, με την αυτόνομη οδήγηση να εφαρμόζεται σχεδόν σε όλη τη διάρκεια του ταξιδιού.

Έναν χρόνο αργότερα, ο Alberto Broggi, καθηγητής του Πανεπιστημίου της Πάρμας, ξεκίνησε το ερευνητικό πρόγραμμα ARGO, το οποίο επέτρεπε σε ένα τροποποιημένο όχημα Lancia Thema να ακολουθεί βαμμένα σημάδια λωρίδων ενός αυτοκινητόδρομου. Το πρόγραμμα στέφθηκε με απόλυτη επιτυχία, ενώ το αυτοκίνητο κυκλοφορούσε επί έξι ημέρες στους δρόμους της βόρειας Ιταλίας, διανύοντας απόσταση 1.900 χιλιομέτρων και μέση ταχύτητα τα 90 χλμ/ώρα. Την περισσότερη διάρκεια το όχημα βρισκόταν σε αυτόματη λειτουργία και είχε εξοπλιστεί με δύο χαμηλού κόστους ασπρόμαυρες κάμερες, εφαρμόζοντας αλγόριθμους στερεοσκοπικής όρασης για την αντίληψη του εξωτερικού περιβάλλοντος.

2.4 Αρχικές προσεγγίσεις των σύγχρονων αυτόνομων οχημάτων

Στις αρχές του 2000, τίθεται σε εφαρμογή ένα αυτόνομο μέσο μαζικής μεταφοράς στην Ολλανδία με την ονομασία ParkShuttle. Είναι το πρώτο όχημα που κυκλοφορεί χωρίς οδηγό και μπορεί να μεταφέρει επιβάτες. Δεν διαθέτει τιμόνι και πεντάλ, καθώς ούτε και κάποιον οδηγό/επιβάτη ασφαλείας.



Εικόνα 6. Αυτόνομο όχημα ParkShuttle [13]

Την ίδια χρονιά, η κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής χρηματοδότησε τρία ερευνητικά στρατιωτικά προγράμματα γνωστά ως Demo I (του στρατού των ΗΠΑ), Demo II (του DARPA) και Demo III (επίσης του στρατού των ΗΠΑ). Τα τρία οχήματα αποσκοπούσαν στην αυτόνομη οδήγηση σε μη ομαλό δρόμο, αποφεύγοντας μεταξύ άλλων βράχους. Ο James Albus του Εθνικού Ινστιτούτου Προτύπων και Τεχνολογίας, βλέποντας το Demo III να στέφεται με επιτυχία, παρουσίασε ένα ιεραρχικό σύστημα ελέγχου σε πραγματικό χρόνο, σύμφωνα με το οποίο απαιτήθηκε συνεργασία οχημάτων για την επίτευξη των στόχων.

Αξίζει να σημειωθεί πως τον Μάρτιο του 2004, η Υπηρεσία Προηγμένων Ερευνητικών Έργων Άμυνας, γνωστή ως DARPA, διοργάνωσε μια μεγάλη πρόκληση προσφέροντας ένα εκατομμύριο δολάρια στην ομάδα μηχανικών ρομποτικής που θα κατάφερε να αναπτύξει ένα αυτόνομο όχημα, το οποίο θα μπορούσε να καλύψει μία απόσταση των 150 μιλίων στην έρημο Mojave της βόρειας Αμερικής, ωστόσο καμία ομάδα δεν κατάφερε να ολοκληρώσει την αποστολή.

Έναν χρόνο αργότερα πραγματοποιήθηκε το δεύτερο Grand Challenge της DARPA λαμβάνοντας χώρα και αυτό σε έρημο. Σε αυτόν τον διαγωνισμό, τοποθετήθηκαν GPS με αποτέλεσμα η χαρτογράφηση της ερήμου να φανερώσει τα όποια εμπόδια υπήρχαν. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ολοκλήρωση της πρόκλησης από πέντε ομάδες.

Το τρίτο Grand Challenge από την DARPA πραγματοποιήθηκε τον Νοέμβριο του 2007, αυτή τη φορά όχι σε έρημο αλλά σε αστικό περιβάλλον. Την αποστολή αυτή έφεραν εις πέρας έξι ομάδες, με το αυτόνομο όχημα του Chevy Tahoe από το Πανεπιστήμιο του Carnegie Mellon να κατακτά την πρώτη θέση. Πέντε από τις έξι ομάδες χρησιμοποίησαν αισθητήρες Lidar, αισθητήρας ο οποίος εμφανίστηκε για πρώτη φορά από τον David Hall της εταιρίας Velodyne στο Grand Challenge II. Ωστόσο, δεν έλειψαν και τα ατυχήματα. Πιο συγκεκριμένα, υπήρχε σύγκρουση μεταξύ δύο οχημάτων, των Πανεπιστημίων MIT και Braunschweig, καθώς επίσης ένα άλλο όχημα τέθηκε εκτός πορείας και προσέκρουσε σε πυλώνα. Αυτά τα ατυχήματα έδωσαν τη αφορμή για περαιτέρω ανάπτυξη του λογισμικού των αυτόνομων αυτοκινήτων.

Το πρώτο παγκοσμίως αυτόνομο όχημα μεταφορών μεταλλουργίας και προϊόντων εξόρυξης εμφανίστηκε το Δεκέμβριο του 2008 στα ορυχεία σιδήρου Pilbara της δυτικής Αυστραλίας από την εταιρία Rio Tinto Alcan. Το όχημα ήταν γνωστό με την ονομασία Komatsu και πρόσφερε σημαντικά οφέλη στην υγεία και την ασφάλεια. Τα οφέλη της αυτά την βοήθησαν να υπογράψει συμφωνία επέκτασης του στόλου αυτόνομων φορτηγών της.



Εικόνα 7. Αυτόνομο όχημα Komatsu [13]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αυτόνομα οχήματα της τελευταίας δεκαετίας

Την τελευταία δεκαετία όλο και περισσότερες μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν στραφεί στην αυτοномηση των οχημάτων περιορίζοντας την επέμβαση του ανθρώπου στην οδήγηση όσο το δυνατόν γίνεται λιγότερο. Παρακάτω θα αναφερθούμε σε παραδείγματα τέτοιων αυτόνομων οχημάτων.

3.1 GOOGLE

Στα τέλη της δεκαετίας του 2000, η πολύ γνωστή σε όλους εταιρία Google επεκτάθηκε πέρα από την αρχική της δραστηριότητα ως μηχανή αναζήτησης και σε άλλους ανερχόμενους επιχειρηματικούς τομείς, ένας εκ των οποίων είναι η αυτόνομη οδήγηση. Μάλιστα, η Google είναι η πρώτη εταιρία που εφάρμοσε δοκιμές σε αυτόνομα αυτοκίνητα, τα οποία προορίζονταν για πώληση στην αγορά.

Ύστερα από πολλές δοκιμές και ελέγχους, η Google παρουσίασε στις 28 Μαΐου του 2014 ένα πρωτοποριακό πρόγραμμα οδήγησης του οχήματός της, το οποίο δεν περιείχε ούτε τιμόνι ούτε συστήματα πέδησης και επιτάχυνσης. Επικεφαλής του προγράμματος ήταν ο Sebastian Thrun, νικητής του Grand Challenge και η ομάδα αποτελούταν από 15 μηχανικούς της εταιρίας Google. Αποτέλεσμα του προγράμματος ήταν ο σωστός έλεγχος του αυτόνομου οχήματος σε δύσκολους δρόμους της Καλιφόρνιας, μεταξύ των οποίων και ο πολύ γνωστός δρόμος Lombard Street του Σαν Φρανσίσκο. Μια πρόωρη επιτυχία του προγράμματος αποτέλεσε το

Street View για τους χάρτες της Google. Ο επικεφαλής του προγράμματος μαζί με τον συνάδελφό του Anthony Levandowski, συνεργάστηκαν για την δημιουργία ενός δεύτερου ερευνητικού προγράμματος, σύμφωνα με το οποίο ένα Toyota Prius θα είναι ικανό να μεταφέρει με ασφάλεια επιβάτες χωρίς την επέμβαση του οδηγού. Αυτό θα γινόταν λαμβάνοντας δεδομένα από το Google Street View σε συνδυασμό με δεδομένα από κάμερες και LiDAR, τα οποία θα προσδιόριζαν τη θέση του οχήματος στο χάρτη.

Το 2012, η εταιρία απέκτησε ακόμα ένα όχημα, το μοντέλο Lexus RX450h σχεδιάζοντας παράλληλα τους δικούς της αισθητήρες.

Το 2015, η Google παρουσίασε το πλήρως αυτόνομο όχημά της με την ονομασία Firefly. Τα οχήματα αυτά διαθέτουν αισθητήρες, σύστημα πέδησης και πλοήγησης, όχι όμως τιμόνι. Το Δεκέμβριο του 2016, η Google ίδρυσε την θυγατρική της εταιρία, την Waymo, η οποία και ανέλαβε την κατασκευή αυτόνομων αυτοκινήτων. Η Waymo, ύστερα από δύο χρόνια, κυκλοφόρησε στην αγορά ένα νέο αυτόνομο όχημα-ταξί στην πόλη Chandler της Αριζόνα, με την ονομασία Chrysler Pacifica Hybrid Minivan, όπου οι επιβάτες οφείλουν να χρησιμοποιούν μια εφαρμογή για τη μίσθωση των οχημάτων προκειμένου να τους μεταφέρουν στον προορισμό τους, εντός των ορίων 80 με 100 τετραγωνικών μιλίων. Ωστόσο, δεν κατάφερε να εκπληρώσει τις προσδοκίες της καθώς δεν υπήρχε ζήτηση και σε αρχικό στάδιο το αυτοκίνητο κινούταν με οδηγό πίσω από το τιμόνι.



Εικόνα 8. Αυτόνομα οχήματα Firefly (αριστερά) και Chrysler Pacifica Hybrid Minivan (δεξιά) [13]

3.2 NISSAN

Τον Αύγουστο του 2013, η Nissan παρουσίασε το νέο της αυτόνομο όχημα, σε μία έκθεση που πραγματοποιήθηκε στη Καλιφόρνια. Το αυτοκίνητο έχει την ονομασία Nissan Leaf και έχει πάρει την άδεια να κινηθεί στους αυτοκινητόδρομους της Ιαπωνίας. Το πειραματικό αυτοκίνητο χρησιμοποιήθηκε από μηχανικούς της εταιρίας προκειμένου να αξιολογήσουν την αποδοτικότητα του αυτόνομου συστήματος. Το αυτοκίνητο έκανε την πρώτη του εμφάνιση στον αυτοκινητόδρομο Sagami Expressway της πόλης Kanagawa κοντά στο Τόκυο. Επιβάτες της δοκιμαστικής πορείας ήταν ο αντιπρόεδρος της Nissan και ο Κυβερνήτης της πόλης.

Την ίδια χρονιά κυκλοφόρησε και το μοντέλο Nissan Infinity Q50, το οποίο αποδείχθηκε ένα από τα πιο αποτελεσματικά αυτόνομα αυτοκίνητα. Το όχημα διαθέτει κάμερες, αισθητήρια και άλλα τεχνολογικά μέσα τελευταίας γενιάς. Το όχημα διαθέτει την ικανότητα να διατηρεί την λωρίδα κυκλοφορίας του, να αποφεύγει τις συγκρούσεις καθώς επίσης διαθέτει και σύστημα ελέγχου ταχύτητας αποκλειστικά για περιπτώσεις ταξιδιού. Η οδήγηση του οχήματος δεν προϋπόθετε τον χειρισμό βασικών λειτουργιών του οχήματος από τον οδηγό, όπως είναι το γκάζι, το τιμόνι και τα φρένα.



Εικόνα 9. Αυτόνομο όχημα Nissan Infinity Q50 [14]

3.3 MERCEDES BENZ

Η εταιρία Mercedes Benz δεν θα μπορούσε να απουσιάζει από τον τομέα της αυτόνομης οδήγησης. Έχοντας παρουσιάσει το ημι-αυτόνομο μοντέλο Mercedes Benz S-Class το 1995, το 2013 παρουσίασε το μοντέλο S500 Intelligent Drive, το οποίο διαθέτει αυτόνομο σύστημα οδήγησης. Δεν απαιτείται παρουσία οδηγού πίσω από το τιμόνι, καθώς όλες οι λειτουργίες χειρίζονται με έναν συνδυασμό που περιλαμβάνει κάμερες, ραντάρ και αλγορίθμους. Παρόλο που η εταιρία πήρε την άδεια από το κράτος ώστε να κυκλοφορήσει τα οχήματά της στους δρόμους, το Τμήμα Μηχανοκίνητων Οχημάτων (DMV) απαίτησε να πραγματοποιηθούν δοκιμές σε πραγματικές συνθήκες με την παρουσία οδηγού, ο οποίος θα ήταν σε θέση να αναλάβει ανά πάσα στιγμή παρακάμπτοντας το αυτόνομο σύστημα, σε περίπτωση που κάτι πήγαινε στραβά.

Το μοντέλο S500 Intelligent Drive εξοπλίστηκε με ψηφιακή χαρτογράφηση, το οποίο περιλάμβανε όλες τις θέσεις φαναριών στη διαδρομή που έλαβε χώρα η δοκιμαστική πορεία. Πέρα της ψηφιακής χαρτογράφησης, το αυτοκίνητο διέθετε συσκευές ανίχνευσης μεταξύ των οποίων τρία ραντάρ μεγάλης εμβέλειας και τέσσερα ραντάρ μικρότερης εμβέλειας για την αποτελεσματικότερη ανίχνευση λοιπών πολιτών του οδικού δικτύου και περιβάλλοντος. Η δοκιμή ολοκληρώθηκε τον Αύγουστο του 2013, κατά την οποία το όχημα ξεκίνησε από την πόλη Mannheim με προορισμό την πόλη Pforzheim της Γερμανίας, μία απόσταση 100 χιλιομέτρων.

Η Mercedes Benz όμως δεν σταμάτησε εκεί. Το 2015 η εταιρία παρουσίασε το μοντέλο Mercedes Benz F 015 Luxury, στη Καλιφόρνια. Το μοντέλο αυτό αποτελεί ένα όχημα τελείως διαφορετικό από τα υπόλοιπα της εποχής αυτής, εφαρμόζοντας τις αντιλήψεις και τις φουτουριστικές ιδέες των ανθρώπων της εταιρίας για τα αυτόνομα οχήματα στο σύντομο μέλλον.

Το αυτοκίνητο έχει μήκος 5,2 μέτρα, πλάτος 2,018 μέτρα και ύψος 1,524 μέτρα. Το εσωτερικό του είναι κατασκευασμένο από υψηλής αντοχής χάλυβα, αλουμίνιο και δέρμα narra. Τα υλικά αυτά καθιστούν το αυτοκίνητο κατά 40% ελαφρύτερο σε σχέση με τα πιο συμβατικά υλικά. Το εσωτερικό του οχήματος είναι ευρύχωρο και πολυτελέστατο, σχεδιασμένο έτσι ώστε οι επιβάτες να αισθάνονται άνετα και όμορφα. Μια δυνατότητα, η οποία δεν συναντάται ακόμα σε κανένα άλλο αυτόνομο όχημα αυτής της εποχής, είναι η περιστροφή των μπροστινών καθισμάτων, δίνοντας την ευκαιρία στους μπροστινούς επιβάτες να στραφούν προς τους συνεπιβάτες τους που κάθονται στα πίσω καθίσματα. Οι πλαϊνές πόρτες ανοίγουν διάπλατα, σχηματίζοντας γωνία 90 μοιρών. Επίσης, περιμετρικά του εσωτερικού του οχήματος, είναι εγκατεστημένες έξι οθόνες μεγάλων διατάσεων, συνδεδεμένες με το διαδίκτυο και ο χειρισμός τους γίνεται μέσω νευμάτων ή ακόμα και μέσω της κίνησης των ματιών καθενός από τους επιβάτες.

Το μοντέλο Mercedes Benz F 015 Luxury μπορεί να κινηθεί είτε με οδηγό στο τιμόνι είτε αυτόνομα. Στην περίπτωση που τον έλεγχο αναλάβει ο οδηγός, τα φώτα LED εκπέμπουν λευκό χρώμα, ενώ στην περίπτωση που το όχημα κινείται αυτόνομα, το χρώμα των LED αλλάζει και μετατρέπεται σε μπλε. Αυτό βοηθάει τους ανθρώπους και γενικά το εξωτερικό περιβάλλον να γνωρίζουν τον τρόπο κίνησης του αμαξιού. Τα οφέλη είναι σημαντικά για το περιβάλλον, καθώς αποτρέπεται η εκπομπή βλαβερών ρύπων στην ατμόσφαιρα, λόγω της ηλεκτροκίνητης μορφής που το χαρακτηρίζει.



Εικόνα 10. Αυτόνομο όχημα Mercedes Benz F 015 Luxury [15]



Εικόνα 11. Εσωτερικό οχήματος Mercedes Benz F 015 Luxury [15]

Μετά το μοντέλο Mercedes Benz F 015 Luxury, η εταιρία παρουσίασε το μοντέλο Mercedes Benz Vision Tokyo, το οποίο αντιπροσωπεύει την έννοια του μελλοντικού αυτόνομου οχήματος. Το όχημα αυτό αποτελεί την μίνιβαν έκδοση του μοντέλου Mercedes Benz F 015 Luxury. Το εσωτερικό του είναι αρκετά ευρύχωρο και διαθέτει μεγάλες οθόνες. Για να αντιληφθεί κανείς τον εκσυγχρονισμό που προσπαθεί η Mercedes Benz να επιβάλλει στα οχήματά της, αρκεί να αναφερθούμε στα τρισδιάστατα ολογράμματα του εσωτερικού χώρου τα οποία αναπαριστούν εφαρμογές και χάρτες. Λόγω της ομοιότητας του οχήματος με το προηγούμενο μοντέλο της εταιρίας, είναι και αυτό υβριδικό και διαθέτει κυψέλη υδρογόνου. Η τεχνολογία υδρογόνου είναι σημαντική, διότι προσφέρει μεγαλύτερη αυτονομία στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Το μοντέλο είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες και μια κάμερα 360 μοιρών στην οροφή του, με την δυνατότητα να κινηθεί είτε αυτόματα είτε με την παρουσία οδηγού, όπως ακριβώς παρατηρείται και στο προηγούμενο μοντέλο της εταιρίας.

3.4 VOLVO

Η εταιρία Volvo ακολούθησε τις υπόλοιπες μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες, μπαίνοντας δυναμικά στο χώρο της αυτόνομης οδήγησης με τη παρουσίαση του μοντέλου XC90. Το συγκεκριμένο όχημα είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας της Volvo με την εταιρία Uber στο πλαίσιο του προγράμματος “Drive Me”, σύμφωνα με το οποίο ελέγχονται οι μεταβιβάσεις και ανακτήσεις ελέγχου από τον οδηγό κατά τη λειτουργία αυτόνομης οδήγησης.

Πρόκειται για ένα σουηδικό SUV, εξοπλισμένο με τον αυτόματο πιλότο IntelliSafe, ονομασία άμεσα συνδεδεμένη με τον σκοπό του, δηλαδή ευφυής (Intelligent) και ασφαλής (Safe). Το μοντέλο διαθέτει αισθητήρες LiDAR και κάμερες στην οροφή του. Η λειτουργία αυτόνομης οδήγησης ενεργοποιείται, ή αντίστοιχα απενεργοποιείται, με πάτημα ειδικού πλήκτρου στο τιμόνι. Το πρόγραμμα DriveMe, αποτελεί το πιο φιλόδοξο πρόγραμμα αυτόνομης οδήγησης σε όλο το κόσμο, προσφέροντας 100 αυτόνομα αυτοκίνητα αυτού του μοντέλου σε οικογένειες και ανθρώπους της πόλης Γκέτεμποργκ της Σουηδίας, οι οποίοι μετακινούνται καθημερινά.



Εικόνα 12. Αυτόνομο όχημα Volvo XC90 [17]

3.5 VOLKSWAGEN

Το 2017 παρουσιάστηκε από την αυτοκινητοβιομηχανία Volkswagen, το μοντέλο ID. BUZZ, ένα ηλεκτρικό βαν με δυνατότητα αυτόνομης οδήγησης. Το όχημα διαθέτει ενσωματωμένους αισθητήρες στην οροφή, στους προφυλακτήρες και στους εξωτερικούς καθρέπτες. Το αυτοκίνητο είναι αρκετά ευρύχωρο με την επιλογή μεταβλητότητας των καθισμάτων, καθώς διαθέτει και τεράστιο αποθηκευτικό χώρο. Επίσης, το ID. BUZZ διαθέτει έξυπνους προβολείς LED, οι οποίοι επικοινωνούν με τους ανθρώπους και τα οχήματα του εξωτερικού περιβάλλοντος, κάτι πρωτότυπο για τα δεδομένα των αυτόνομων οχημάτων αλλά και γενικά των αυτοκινήτων έως σήμερα. Ένα παράδειγμα αυτής της καινοτομίας είναι ότι οι προβολείς είναι στραμμένοι προς την επιθυμητή κατεύθυνση που θέλει να στρίψει το όχημα. Το τιμόνι έχει τη μορφή touchpad, δηλαδή δεν απαιτείται πάτημα κάποιου κουμπιού από τον επιβάτη για τον χειρισμό της επιθυμητής λειτουργίας, αλλά απλώς ένα άγγιγμα.

Τα πρώτα δοκιμαστικά οχήματα έχουν κάνει την εμφάνισή τους σε διάφορες πόλεις της Γης, κάνοντας τις απαραίτητες δοκιμές και βελτιώσεις, προκειμένου να βγουν στην αγορά. Η Volkswagen συνεργάστηκε με την εταιρία Argo AI, ειδική σε συστήματα λογισμικού αυτόνομης οδήγησης, για την ανάπτυξη του αυτόματου συστήματος για το μοντέλο ID. BUZZ. Το όχημα βρίσκεται ακόμα σε κατάσταση δοκιμών, ωστόσο αναμένεται σύντομα στην παραγωγή.



Εικόνα 13. Αυτόνομο όχημα VOLKSWAGEN ID.BUZZ [18]

3.6 HONDA

Η Honda είναι η πρώτη αυτοκινητοβιομηχανία, η οποία απέκτησε την έγκριση για εγκατάσταση ενός συστήματος αυτόνομης οδήγησης επιπέδου 3 σε μοντέλο μαζικής παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, τον Νοέμβριο του 2020, η εταιρία έλαβε στην Ιαπωνία την έγκριση για την εγκατάσταση του συστήματος Traffic Jam Pilot, το οποίο ήδη διατίθεται στο αυτοκίνητο Honda Legend σε δρόμους με ανώτατο όριο ταχύτητας τα 50 χλμ/ώρα.

Το συγκεκριμένο σύστημα διατηρεί σταθερή τη ταχύτητα του οχήματος και τη λωρίδα κυκλοφορίας στην οποία κινείται, ακολουθώντας το προπορευόμενο όχημα. Όταν το σύστημα δεν είναι ικανό να συνεχίσει την διαδρομή του με ασφάλεια, εκδίδει την σχετική ειδοποίηση, ωθώντας τον οδηγό να αναλάβει τον έλεγχο του αυτοκινήτου. Το μοντέλο Honda Legend διαθέτει GPS, τρισδιάστατους χάρτες και πληθώρα αισθητήρων που προσφέρουν απεικόνιση 360 μοιρών του εξωτερικού περιβάλλοντος. Στο εσωτερικό του οχήματος υπάρχει ένας ψηφιακός πίνακας 12,3 ιντσών και μία κάμερα στραμμένη στον οδηγό, έτσι ώστε το σύστημα αυτόνομης οδήγησης να λαμβάνει την πληροφορία ότι ο οδηγός δεν έχει αφαιρεθεί. Τόσο το τιμόνι όσο και το ταμπλό διαθέτουν φωτισμό LED, ο οποίος ανάβει όταν είναι ενεργοποιημένη η λειτουργία αυτόνομης οδήγησης.



Εικόνα 14. Αυτόνομο όχημα Honda Legend [19]

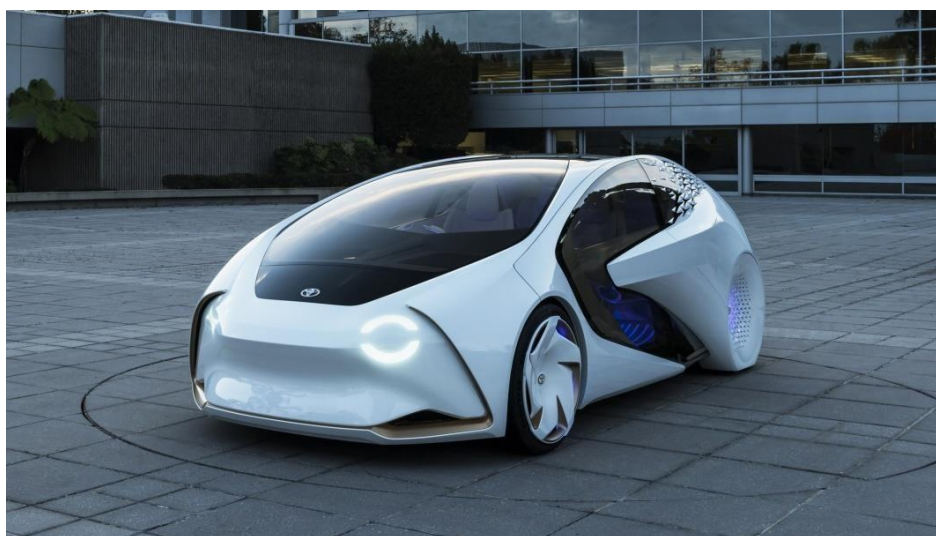
3.7 TOYOTA

Ακόμα ένας κολοσσός της αυτοκινητοβιομηχανίας, η TOYOTA, παρουσίασε τον Οκτώβριο του 2019 το αυτόνομο όχημα επιπέδου 4 με την ονομασία TOYOTA LQ. Το όχημα διαθέτει έναν ενσωματωμένο πράκτορα τεχνητής νοημοσύνης, το οποίο έχει ονομάσει Yui. Ο διαδραστικός βοηθός είναι ικανός να ερμηνεύσει τα συναισθήματα και την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο οδηγός καθώς επίσης και να αλληλεπιδράσει μαζί του, μέσω διαδραστικών φωνητικών επικοινωνιών. Επίσης, ο Yui, ερμηνεύοντας το περιβάλλον οδήγησης και την κατάσταση οδηγού, μπορεί να επιλέξει την μουσική, ακόμα και τον εσωτερικό φωτισμό και κλιματισμό.

Το μοντέλο TOYOTA LQ εξαλείφει το άγχος του οδηγού για εύρεση θέσης παρκαρίσματος, καθώς διαθέτει αυτόματο σύστημα στάθμευσης. Πιο συγκεκριμένα, όταν το όχημα φτάσει στον προορισμό του, όλοι οι επιβάτες κατεβαίνουν από το όχημα, ενώ αυτό συνεχίζει την πορεία του μέχρι την πλησιέστερο διαθέσιμο χώρο στάθμευσης. Πρόκειται για μια τεχνολογία αυτόνομης οδήγησης, η οποία βελτιώνει τη προσβασιμότητα στον επιθυμητό προορισμό τόσο σε άτομα με αναπηρίες όσο και σε έγκυες γυναίκες.

Οι νέες τεχνολογίες αυτόνομης οδήγησης για το μοντέλο αυτό δεν σταματούν εδώ. Πρωτοποριακά καθίσματα αποτελούνται από αερόσακους και από ένα σύστημα κλιματισμού, τα οποία βοηθούν τον οδηγό να χαλαρώνει όποτε επιθυμεί. Ωστόσο, όταν το σύστημα αναγνωρίσει ότι ο οδηγός φαίνεται κουρασμένος, φουσκώνει αυτόματα την κύστη του αέρα στην πλάτη του καθίσματος θέτοντας τη πλάτη του οδηγού σε γωνία 90 μοιρών.

Το αυτοκίνητο αυτό, ανταλλάσσει πληροφορίες μεταξύ οχήματος και επιβατών, μέσω μιας διαισθητικής πλατφόρμας επικοινωνίας στην οροφή και στο πάτωμα. Ανάλογα με τον τρόπο οδήγησης του οχήματος, αυτοματοποιημένος ή μηχανικός, το όχημα φωτίζεται με το ανάλογο χρώμα που το υποδηλώνει. Το TOYOTA LQ μπορεί ακόμα να μεταδίδει πληροφορίες σε άτομα που βρίσκονται είτε εντός του οχήματος είτε εκτός αυτού, όπως είναι για παράδειγμα οι συνθήκες του δρόμου, εφαρμόζοντας το σύστημα Digital Micromirror Device που είναι ενσωματωμένο στους προβολείς. Το όχημα το τελευταίο έτος κάνει τις απαραίτητες δοκιμές στους αυτοκινητόδρομους του Τόκιο και αναμένεται στο εγγύς μέλλον στην παραγωγή.



Εικόνα 15. Αυτόνομο όχημα TOYOTA LQ [21]

Το 2018 παρουσιάστηκε σε έκθεση στο Λας Βέγκας το αυτόνομο όχημα TOYOTA e-Palette. Σύμφωνα με τον πρόεδρο της εταιρίας Toyota, το e-Palette είναι σχεδιασμένο με σκοπό το κατάστημα να πηγαίνει στους πελάτες. Για αυτήν τη ιδέα η Toyota συνεργάστηκε με πολύ γνωστές εταιρίες, όπως είναι η Mazda, η Pizza Hut, η Amazon και η Uber. Όλες αυτές οι εταιρίες συμφώνησαν πως το εσωτερικό του οχήματος θα διαμορφώνεται κάθε φορά ανάλογα με τις απαιτήσεις του πελάτη, δηλαδή θα είναι σε θέση να μεταφέρει επιβάτες για την Uber, ή παραγγελίες φαγητού για την Pizza Hut.

Το όχημα παρέχει αυτόνομο σύστημα επιπέδου 4 ωστόσο, ένας χειριστής ασφαλείας θα βρίσκεται πίσω από το τιμόνι για να αναλάβει τον έλεγχο ανά πάσα στιγμή, εφόσον το απαιτήσουν οι συνθήκες. Το μοντέλο έχει κάνει αρκετές δοκιμές

στους δρόμους και για πρώτη φορά μετέφερε ανθρώπους στους δρόμους της Ιαπωνίας.

Πιο συγκεκριμένα, το TOYOTA e-Palette χρησιμοποιήθηκε για την μετακίνηση επιβατών και άλλων αναγκών για τα Ολυμπιακά και Παραολυμπιακά χωριά των Ολυμπιακών και Παραολυμπιακών Αγώνων 2020, που έλαβαν χώρα το καλοκαίρι που μας πέρασε στη περιοχή Woven του Τόκιο.

Το όχημα διαθέτει μεγάλα παράθυρα και μπορεί να προσφέρει τις υπηρεσίες του σε μέγιστο αριθμό ατόμων ανά όχημα τα είκοσι άτομα, ενώ ακόμα διαθέτει και τέσσερις θέσεις για άτομα με κινητικά προβλήματα. Το ύψος των καθισμάτων και των λαβών έχουν την δυνατότητα να μεταβάλλονται για την διευκόλυνση της μετακίνησης των επιβατών, λόγω των διαφορετικών υψών των επιβατών. Το πάτωμα και το εσωτερικό του οχήματος είναι βαμμένα σε διαφορετικά χρώματα, προκειμένου να βοηθήσουν τους ανθρώπους που παρουσιάζουν προβλήματα όρασης.

Ακόμα, εάν το όχημα παρατηρούσε ότι ο αριθμός των ατόμων που περιμένουν στη στάση ξεπερνά το ανώτατο όριο των είκοσι ατόμων, έστελνε ειδοποίηση σε άλλο όχημα να σπεύσει να εξυπηρετήσει όλους αυτούς τους ανθρώπους. Σε περίπτωση που κάποιο όχημα παρουσίαζε πρόβλημα και δεν μπορούσε να συνεχίσει, ένα άλλο όχημα αναλάμβανε να μεταφέρει τους πολίτες στον προορισμό τους.



Εικόνα 16. Αυτόνομο όχημα TOYOTA e- Palette [20]

3.8 Tesla

Το 2012, η αυτοκινητοβιομηχανία Tesla, σχεδίασε από το μηδέν το πρώτο ηλεκτρικό σεντάν, το Model S, αυτοκίνητο που κυριαρχεί στην κατηγορία του σε όλους τους τομείς. Συνδυάζοντας επιδόσεις, αυτονομία και αποτελεσματικότητα, το Model S έχει ξεχωρίσει από τα υπόλοιπα αυτοκίνητα της κατηγορίας του.

Διαθέτει κάμερες στο πλευρικό, μπροστινό και πίσω μέρος του αυτοκινήτου προσφέροντας μέγιστη ορατότητα 360 μοιρών. Ακόμα, διαθέτει ραντάρ, το οποίο προβάλλει τα αντικείμενα σε απόσταση έως 160 μέτρα, αλλά και αισθητήρες υπερήχων με πολλαπλές λειτουργίες. Το μοντέλο είναι κατασκευασμένο στη βάση του ως ηλεκτρικό όχημα υψηλής αντοχής και συστοιχία μπαταριών στο πάτωμα που προσφέρει προστασία στους επιβάτες και εξαιρετικά χαμηλό κίνδυνο εκτροπής του αυτοκινήτου. Αξιοσημείωτες λειτουργίες αυτόνομης οδήγησης αποτελεί το σύστημα πλοήγησης Auto Pilot, στο οποίο θα αναφερθούμε παρακάτω, η αυτόματη εναλλαγή λωρίδας και η λειτουργία αυτόματης στάθμευσης, με την ονομασία Summon.

Το όχημα είναι εξίσου πρωτοποριακό και στο εσωτερικό του. Το τιμόνι δεν είναι το κλασικό κυκλικό σχήματος, αλλά μοιάζει πολύ με αυτό ενός αεροσκάφους. Επάνω του είναι ενσωματωμένα κουμπιά λειτουργιών αυτόνομου συστήματος καθώς και τα φλας. Επίσης, διαθέτει μια οθόνη 17 ιντσών μεγάλης ευκρίνειας. Η οροφή του σε αντίθεση με τα υπόλοιπα οχήματα είναι γυάλινη και ο αποθηκευτικός χώρος τεράστιος.



Εικόνα 17. Αυτόνομο όχημα Tesla Model S [22]

Αμέσως μετά την παρουσίαση του μοντέλου S, η Tesla ανακοίνωσε το επόμενο μοντέλο της, με την ονομασία Tesla Model X. Πρόκειται για ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο SUV, το οποίο κατασκευάστηκε στα πρότυπα του προηγούμενου

μοντέλου. Η απόδοσή του είναι πανομοιότυπη με εκείνη του Model S, με την διαφορά της ευελιξίας που προσφέρει ένα όχημα τύπου SUV. Το όχημα επίσης διαθέτει σύστημα φιλτραρίσματος αέρα με φίλτρα διπλού ενεργού άνθρακα και φιλτραρίσματος HEPA. Η λειτουργία αυτή είναι γνωστή με την ονομασία “Bio Wearon Defense Mode” και επιτρέπει στο μοντέλο να διατηρεί καθαρό και φρέσκο τον αέρα στο εσωτερικό του ακόμα και σε περιοχές με έντονο καπνό.

Το καλοκαίρι του 2017, ο κολοσσός αυτοκινητοβιομηχανίας Tesla, παρουσίασε το μοντέλο Tesla Model 3. Πρόκειται για ένα αυτοκίνητο sedan спор κατηγορίας, με όλες τις λειτουργίες να βρίσκονται στην βέλτιστη κατάσταση, κάνοντας το όχημα απίστευτα ισχυρό και αποδοτικό. Στο όχημα προσφέρονται απίστευτες λειτουργίες αυτόνομης οδήγησης, όπως είναι το αυτόματο σύστημα πλοήγησης Auto Pilot, η λειτουργία αυτόματης αλλαγής λωρίδας και το έξυπνο σύστημα Summon, για το οποίο θα μιλήσουμε εκτενέστερα παρακάτω. Το μοντέλο αυτό μπορεί να κινηθεί πλήρως αυτόνομα σε αυτοκινητόδρομους και σύμφωνα με την εταιρία, σύντομα θα είναι ικανό να περιηγηθεί και σε δρόμους πόλεων.

Το 2019, παρουσιάστηκε από την εταιρία το ηλεκτρικό μοντέλο Tesla Cybertruck, ένα όχημα τελείως διαφορετικό από τα σχέδια των αυτοκινητοβιομηχανιών μέχρι σήμερα. Όπως δήλωσε και ο Elon Musk, πρόκειται για έναν τεθωρακισμένο μεταφορέα προσωπικού από το μέλλον. Όπως όλα τα μοντέλα της εταιρίας Tesla προσφέρουν λειτουργία αυτόνομης οδήγησης, το Cybertruck δεν θα μπορούσε να αποτελέσει εξαίρεση. Το εξωτερικό του οχήματος είναι κατασκευασμένο από ισχυρό κράμα χάλυβα, ανθεκτικό σε σκληρά χτυπήματα και γρατζουνιές. Κατά την παρουσίαση έγινε γνωστό ότι το όχημα θα διαθέτει σίγουρα σύστημα αυτόματης πλοήγησης Auto Pilot ωστόσο, οι περαιτέρω λειτουργίες αυτόνομης οδήγησης δεν έχουν ανακοινωθεί ακόμα. Το μοντέλο αναμένεται στην αγορά στο τέλος του 2021, με τις προπωλήσεις να έχουν ξεπεράσει κάθε προσδοκία.



Εικόνα 18. Αυτόνομο όχημα Tesla Cybertruck [24]

3.9 RANGE ROVER

Πριν 3 χρόνια, η αυτοκινητοβιομηχανία Range Rover έκανε γνωστό το αυτόνομο μοντέλο της Range Rover Sport, το οποίο ολοκλήρωσε επιτυχώς 3 χρόνια δοκιμών σε δρόμους δύσκολους της Μεγάλης Βρετανίας, όπως είναι ο Coventry Ring Road. Το μοντέλο κατάφερε επιτυχώς να αλλάζει λωρίδες κυκλοφορίας, να εισέρχεται και να εξέρχεται από κόμβους, με μέγιστο όριο ταχύτητας τα 65 χλμ/ώρα.

Το μοντέλο αυτό διαθέτει όλες τις τελευταίες λειτουργίες, όπως είναι το σύστημα αυτόνομης πλοήγησης, αισθητήρες LiDAR, κάμερες, σύστημα GPS και RADAR, όπως φαίνεται και στην εικόνα 19. Είναι ικανό να αναγνωρίσει τα σήματα του κώδικα οδικής κυκλοφορίας, τους πεζούς και τα υπόλοιπα οχήματα που κινούνται στον ίδιο χώρο. Το όχημα δεν έχει βγει ακόμα στην αγορά, αλλά αναμένεται πολύ σύντομα, ακόμα και μέσα στη χρονιά.



Εικόνα 19. Αυτόνομο όχημα Range Rover Sport [25]

3.10 BMW

Φυσικά, δεν θα μπορούσε να απουσιάζει από αυτή τη τεχνολογική ανάπτυξη, ένας κολοσσός της αυτοκινητοβιομηχανίας, η BMW. Το 2017, η εταιρία παρουσίασε μοντέλο με όνομα BMW 5 Series, το οποίο είναι αυτόνομο και δεν χρειάζεται οδηγό πίσω από το τιμόνι. Το μοντέλο αυτό καλύπτει χιλιάδες χιλιόμετρα δοκιμών

σε πόλεις όλου του κόσμου, ωστόσο δεν έχει βγει ακόμα στην παραγωγή. Στόχος της αυτοκινητοβιομηχανίας αποτελεί η ανάπτυξη ενός μοντέλου μέχρι το 2021, το οποίο θα κινείται εντελώς αυτόνομα.

Το μοντέλο διαθέτει μια πληθώρα λειτουργιών, που εξασφαλίζουν μέγιστη ασφάλεια και χαλάρωση για τα άτομα που επιβαίνουν σε αυτό. Το σύστημα υποστήριξης αυτόνομης οδήγησης, είναι ικανό να μεταφέρει τους επιβάτες στον προορισμό τους με άνεση, παρέχοντάς τους συστήματα ψυχαγωγίας, όπως είναι οι εφαρμογές Amazon Prime Video και Amazon Prime Now. Εάν οι επιβάτες αποφασίσουν να δουν ταινία μέσω της εφαρμογής, αυτομάτως χαμηλώνει ο φωτισμός στο εσωτερικό του οχήματος και κλείνουν τα κουρτινάκια που βρίσκονται σε κάθε παράθυρο.

Ακόμα διαθέτει συστήματα μηχανικής όρασης, με το σύστημα υποβοήθησης διατήρησης λωρίδας και το σύστημα προειδοποίησης απόκλισης λωρίδας να είναι από τα πιο σημαντικά. Τα συστήματα αυτά εξασφαλίζουν ότι το όχημα θα παραμείνει εντός της λωρίδας κυκλοφορίας του διατηρώντας σταθερή ταχύτητα από το προπορευόμενο όχημα. Εκτενέστερα για τα συστήματα μηχανικής όρασης στα αυτόνομα οχήματα θα μιλήσουμε σε επόμενο κεφάλαιο.

Τέλος, ακόμα μια σημαντική λειτουργία του οχήματος αποτελεί το Robot Valet Parking, κατά το οποίο ο οδηγός μπορεί να καλέσει το όχημα να έρθει να τον παραλάβει, μέσω μιας εφαρμογής σε κινητό smartphone, ή ακόμα και να δώσει την εντολή στο όχημα να παρκάρει μόνο του, απαλλάσσοντάς τον από το άγχος της εύρεσης θέσης στάθμευσης.



Εικόνα 20. Αυτόνομο όχημα BMW 5 Series [26]

Ο στόχος της αυτοκινητοβιομηχανίας BMW επιτεύχθηκε το 2021 με την παρουσίαση του μοντέλου BMW Vision iNEXT, στην έκθεση αυτοκινήτου που έλαβε χώρα στο Λος Άντζελες. Πρόκειται για ένα πρωτοποριακό και φουτουριστικό μοντέλο, το οποίο αντιπροσωπεύει το μέλλον των αυτόνομων οχημάτων, κάνοντας παράλληλα απλούστερη και πιο άνετη την ζωή των οδηγών και των επιβατών.

Χάρη στην πρωτοποριακή τεχνολογία BMW Personal CoPilot, ο οδηγός κατά την είσοδό του στο όχημα καλείται να αποφασίσει εάν θέλει αυτός να οδηγήσει ή να παραχωρήσει τον πλήρη έλεγχο της οδήγησης του οχήματος στο αυτόματο σύστημα πλοήγησης. Μια νέα λειτουργία που παρατηρείται σε αυτό το μοντέλο αποτελεί η προσαρμοσμένη ρύθμιση του τιμονιού και των πεταλίων. Μέσω φωνητικής εντολής ή ακουμπώντας το λογότυπο της BMW επάνω στο τιμόνι, αυτό μπορεί να κινηθεί προς τα πίσω, καθώς επίσης και τα πετάλια να βυθιστούν, δημιουργώντας μια επίπεδη επιφάνεια στο δάπεδο, προκειμένου να απελευθερωθεί χώρος στο εσωτερικό του οχήματος.

Μία ακόμα πολύ σημαντική λειτουργία του οχήματος είναι ο προσωπικός βοηθός. Αυτός ενεργοποιείται μέσω φωνητικών εντολών ή με το άγγιγμα ενός δακτύλου. Οι ψηφιακές τεχνολογίες γίνονται ορατές μόνο όταν οι επιβάτες θελήσουν να τις χρησιμοποιήσουν.

Όπως και το προηγούμενο μοντέλο της εταιρίας BMW, έτσι και αυτό, διαθέτει συστήματα μηχανικής όρασης. Αυτά είναι το σύστημα διατήρησης λωρίδας, το σύστημα προσαρμοστικής πλοήγησης, το οποίο παρέχει στο όχημα την ικανότητα να διατηρεί επιθυμητή ταχύτητα και απόσταση από το προπορευόμενο όχημα και το σύστημα υποβοήθησης στάθμευσης.



Εικόνα 21. Αυτόνομο όχημα BMW Vision iNEXT [27]

3.11 HYUNDAI

Το περασμένο έτος, η αυτοκινητοβιομηχανία HYUNDAI σε συνεργασία με την εταιρία Uber παρουσίασαν σε έκθεση στο Λας Βέγκας το πρώτο ιπτάμενο ταξί με ονομασία Uber Air Taxis. Το όχημα αυτό είναι ηλεκτρικό και αναμένεται να είναι αυτόνομο και διαθέσιμο στους πολίτες της Αυστραλίας, του Ντάλας και του Λος Άντζελες το έτος 2023.

Το ιπτάμενο όχημα εφαρμόζει κατανεμημένη ηλεκτρική προώθηση, τροφοδοτώντας πολλούς έλικες περιστροφικά του σκελετού του μοντέλου, ενισχύοντας την ασφάλεια και μειώνοντας, παράλληλα, κάθε πιθανότητα παρουσίασης βλάβης. Επίσης, οι έλικες είναι μικρότεροι από ότι ενός ελικοπτέρου, με σκοπό την ελάττωση του θορύβου, γεγονός πολύ αναγκαίο για τις αστικές πόλεις. Σε πρώτο στάδιο το όχημα απαιτεί κάποιον οδηγό πίσω από το τιμόνι, ωστόσο με την πάροδο του χρόνου αυτό θα περιοριστεί. Το ιπτάμενο όχημα είναι ικανό να κινηθεί σε μέγιστο υψόμετρο 300 ποδιών πάνω από το έδαφος, έχοντας διάρκεια πτήσης τα 100 χιλιόμετρα. Το εσωτερικό είναι αρκετά ευρύχωρο και περιλαμβάνει τέσσερα καθίσματα για τους επιβάτες.



Εικόνα 22. Αυτόνομο ιπτάμενο όχημα Uber Air Taxis [29]

Το 2018, η αυτοκινητοβιομηχανία HYUNDAI παρουσίασε το αυτόνομο μοντέλο της HYUNDAI IONIQ, ένα όχημα επιπέδου αυτονομίας 4, το οποίο ολοκλήρωσε επιτυχώς μια αυτόνομη διαδρομή 190 χιλιομέτρων, ξεκινώντας από τη Σεούλ και καταλήγοντας στο Pyeongchang, μιας πόλης στη Νότια Κορέα.

Το μοντέλο αυτό, διαθέτει συστήματα LiDAR και ραντάρ, προκειμένου να ανιχνευθούν αντικείμενα κατά μήκος της διαδρομής. Επίσης, διαθέτει και άλλα συστήματα μηχανικής όρασης, όπως είναι το σύστημα προειδοποίησης απόκλισης από τη λωρίδα και το σύστημα υποβοήθησης διατήρησης της λωρίδας κυκλοφορίας, τα οποία θα δούμε αναλυτικότερα παρακάτω. Ακόμα, το αυτοκίνητο διαθέτει κάμερες στην οροφή του οχήματος για την ανίχνευση φωτεινών σηματοδοτών και σημάτων του κώδικα οδικής κυκλοφορίας, καθώς και σύστημα GPS της εταιρίας HYUNDAI MnSoft για τον ψηφιακό προσδιορισμό πληροφοριών του δρόμου, όπως είναι η καμπυλότητα του δρόμου και το πλάτος λωρίδων κυκλοφορίας.



Εικόνα 23. Αυτόνομο όχημα HYUNDAI IONIQ [28]

3.12 SCANIA

Η εταιρία Scania παρουσίασε το 2019 το πρώτο αυτόνομο φορτηγό που δεν διαθέτει καμπίνα, γνωστό με την ονομασία Scania AXL. Το μοντέλο δε διατίθεται ακόμα στη παραγωγή, παρά μόνο για έρευνα χρήσης του σε ελεγχόμενο περιβάλλον. Στόχος του ερευνητικού προγράμματος αποτελεί ο σχεδιασμός αυτόνομων φορτηγών, τα οποία θα έχουν την ικανότητα να λειτουργούν καθημερινά σε εργοτάξια και ορυχεία, ακόμα και σε σημεία υψηλής επικινδυνότητας που προηγουμένως ήταν εξαιρετικά δύσκολη η πρόσβαση σε οδηγό ενός φορτηγού.

Οι πρώτες εκτιμήσεις του προγράμματος είναι πολύ θετικές, καθώς το φορτηγό ανταποκρίνεται σωστά σε πραγματικές συνθήκες εφαρμογής, χωρίς την παρουσία οδηγού. Το μοντέλο μπορεί να εντοπίσει αντικείμενα και εμπόδια που βρίσκονται στο εξωτερικό του περιβάλλον και να τα προσπεράσει. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του αισθητήρα LiDAR που διαθέτει, το οποίο του εξασφαλίζει ασφάλεια. Επίσης, το φορτηγό είναι εξοπλισμένο με κάμερες, ραντάρ και συστήματα GPS.



Εικόνα 24. Αυτόνομο φορτηγό Scania AXL [31]

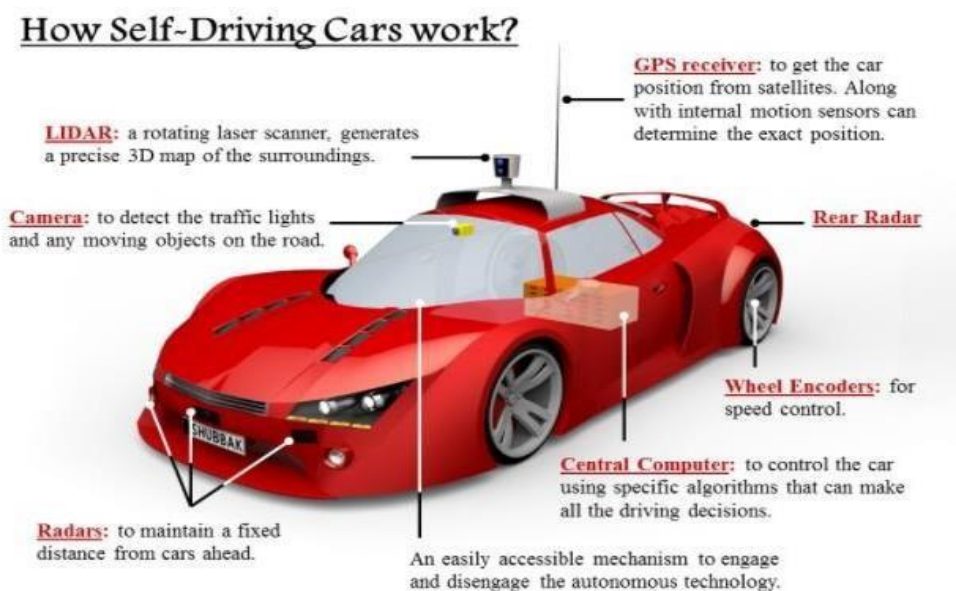
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΔΟΜΗ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Ένα αυτόνομο όχημα αποτελείται από ένα δίκτυο προηγμένων αισθητήρων και τελευταίας έκδοσης τεχνολογικού υλικού, καθώς και από ένα σύνολο αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, συγκεκριμένα μηχανικής όρασης, το οποίο επιτρέπει στο όχημα να επεξεργάζεται δεδομένα που προέρχονται από τους αισθητήρες, προβαίνοντας στις κατάλληλες ενέργειες για ασφαλή πρόβλεψη και χειρισμού του οχήματος. Για τους αλγορίθμους αυτούς θα μιλήσουμε εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τους αισθητήρες, τους οποίους αναφέραμε στο κεφάλαιο παραπάνω.

Το προηγμένο σύστημα αισθητήρων που διαθέτει ένα αυτόνομο όχημα, παρέχει δεδομένα για το εξωτερικό περιβάλλον προκειμένου να τα επεξεργαστεί η μονάδα ελέγχου του οχήματος, να τα ερμηνεύσει βάσει συγκεκριμένων αλγορίθμων αναγνώρισης προτύπων και να παράγει κατάλληλες αποφάσεις, εφαρμόζοντας τεχνικές μηχανικής μάθησης.

Παραπάνω αναφερθήκαμε στους όρους GPS, LiDAR, Radar και καμερών. Όλα αυτά τα αισθητήρια παρουσιάζουν πανομοιότυπα χαρακτηριστικά από εταιρία σε

εταιρία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το σύστημα αυτονομίας των οχημάτων οφείλει να ικανοποιεί ένα σύνολο καθορισμένων απαιτήσεων, δηλαδή μια καθορισμένη κατηγορία δεδομένων που μπορεί να λαμβάνει από το εξωτερικό περιβάλλον του οχήματος. Ανακεφαλαιώνοντας, η δομή ενός αυτόνομου οχήματος αντικατοπτρίζεται στην εικόνα 25.



Εικόνα 25. Δομή ενός αυτόνομου οχήματος [32]

4.1 RADAR

Το RADAR αποτελεί ένα σύστημα εντοπισμού αντικειμένων, το οποίο εφαρμόζει ηλεκτρομαγνητικά κύματα, προκειμένου να εντοπίσει το ύψος, την κατεύθυνση και τη ταχύτητα των αντικειμένων που βρίσκονται εντός της περιοχής εύρους του, η οποία ανέρχεται στα 300 μέτρα. Η ικανότητα εντοπισμού αντικειμένων δεν περιορίζεται μόνο σε συνθήκες έντονης ορατότητας, αλλά είναι ικανό να τα ανιχνεύσει και κάτω από συνθήκες συννεφιάς, βροχής και γενικότερα μειωμένης ορατότητας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο σε αυτοκίνητα, αλλά και σε αεροσκάφη και πλοία.

Σε ένα σύστημα RADAR είναι ενσωματωμένος ένας πομπός, ο οποίος εκπέμπει παλμούς ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με τους παλμούς αυτούς να προσκρούουν πάνω σε οποιοδήποτε αντικείμενο συναντήσουν στη πορεία τους. Στη συνέχεια, αυτό απορροφά ένα ποσοστό της ενέργειας του κύματος με το υπόλοιπο να ανακλάται και να διαχέεται στο περιβάλλον και συνεπώς στη κεραία του πομπού. Η ανίχνευση των αντικειμένων επιτυγχάνεται από τα σήματα του RADAR που ανακλώνται πίσω στον πομπό, με την συχνότητα των ανακλώμενων σημάτων να μεταβάλλεται καθώς μεταβάλλεται και η θέση του αντικειμένου, σύμφωνα με το

φαινόμενο Doppler. Μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα που φέρει το αντικείμενο συνεπάγεται και καλύτερο αποτέλεσμα.

Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις οι δέκτες των συστημάτων RADAR είναι ενσωματωμένοι στην ίδια θέση που είναι και οι πομποί των σημάτων. Όλα τα RADAR διαθέτουν ηλεκτρονικούς ενισχυτές σήματος, προκειμένου να αναλύσουν με μεγαλύτερη ευκολία τα σήματα, καθώς δεν είναι λίγες οι φορές που τα ανακλώμενα σήματα είναι εξασθενημένα. Το RADAR έχει την δυνατότητα να ανιχνεύει αντικείμενα σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις, λόγω της ασθενούς απορρόφησης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από το μέσο διέλευσής τους, την ίδια στιγμή που άλλα μήκη κύματος, όπως η υπέρυθρη ακτινοβολία και το ορατό φως, δεν μπορούν να επηρεάσουν την απόδοσή του. Συνεπώς, ούτε τα ηλεκτρομαγνητικά μήκη κύματος ούτε οι δύσκολες καιρικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση του συστήματος RADAR, καθώς βασίζεται αποκλειστικά και μόνο στις δικές του μεταδόσεις σήματος.

4.2 LiDAR

Το σύστημα LiDAR (Light Detection And Ranging), αποτελεί ένα σύστημα βασιζόμενο στην εκπομπή ακτινοβολίας λέιζερ προς όλες τις κατευθύνσεις, με την αντανάκλασή τους να επιστρέφει στο σύστημα εκπομπής, το οποίο καταγράφει το μέγεθος, την απόσταση και άλλες ιδιότητες των αντικειμένων που βρίσκονται στο εξωτερικό περιβάλλον, αναπαριστώντας τα σε μια τρισδιάστατη εικόνα. Το σύστημα LiDAR, εμφανίστηκε πολλά χρόνια πριν, περίπου πριν εξήντα χρόνια, λίγο αργότερα από την ανακάλυψη του λέιζερ. Εκείνη τη περίοδο, η χρήση του αποσκοπούσε στον ακριβή προσδιορισμό αποστάσεων και γενικά την χαρτογράφηση ολόκληρων περιοχών, καθώς επίσης εφαρμόστηκε και στον τομέα της μετεωρολογίας, για την καταγραφή καιρικών φαινομένων. Ωστόσο, σήμερα, το σύστημα LiDAR αποτελεί εφαρμογή μηχανικής όρασης σε έναν πολύ ανεπτυγμένο κλάδο της τελευταίας δεκαετίας, την αυτόνομη οδήγηση.

Το σύστημα LiDAR είναι τοποθετημένο στην οροφή του οχήματος, καταγράφοντας στοιχεία του εξωτερικού περιβάλλοντος σε υψηλές ποιότητες και πολύ πιο αποτελεσματικά από τα ραντάρ. Κατά τη λειτουργία του, το LiDAR στέλνει χιλιάδες παλμούς λέιζερ το δευτερόλεπτο. Αυτοί οι παλμοί συγκρούονται με τα αντικείμενα που υπάρχουν στο χώρο και αντανακλώνται πίσω. Οι αντανακλάσεις

αυτές φωτός που προκύπτουν, χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου σημείου νέφους. Ένας ενσωματωμένος υπολογιστής καταγράφει το σημείο ανάκλασης και το μετατρέπει σε μια τρισδιάστατη αναπαράσταση, με τα συστήματα ασφαλείας του αυτόνομου οχήματος να προβαίνουν στις κατάλληλες ενέργειες. Δηλαδή, εφόσον το όχημα διατηρεί μια σταθερή πορεία ακολουθώντας το προπορευόμενο όχημα, μπορεί να αναπτύξει ταχύτητα εάν επιταχύνει και εκείνο, ή αντίστοιχα να επιβραδύνει, καθώς και να το προσπεράσει εάν στην αριστερή λωρίδα δεν υπάρχει κάποιο εμπόδιο. Επίσης, η τρισδιάστατη απεικόνιση του παρέχει την δυνατότητα ενός άνετου ταξιδιού, χωρίς την ανάγκη οδηγού πίσω από το τιμόνι, ικανό να αποφύγει κάθε εμπόδιο που βρεθεί στη διαδρομή του.



Εικόνα 26. Παράδειγμα χρήσης συστήματος LiDAR [34]

4.3 GPS

Το σύστημα GPS (Global Positioning System), αποτελεί ένα δορυφορικό σύστημα πλοήγησης, το οποίο παρέχει γεωγραφικές συντεταγμένες σε πραγματικό χρόνο. Μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε μέρος της Γης, κάτω από κάθε καιρική συνθήκη, με την προϋπόθεση να μην υπάρχει εμπόδιο της οπτικής επαφής με τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους GPS.

Ο κάθε δορυφόρος προσφέρει συνεχώς μηνύματα, τα οποία περιλαμβάνουν την ακριβή τροχιακή πληροφορία, τη χρονική στιγμή όπου παραδόθηκε το μήνυμα και τις ισχύουσες καταστάσεις όλων των δορυφόρων GPS. Ο αποδέκτης του μηνύματος, προσδιορίζει μέσω του μηνύματος τον χρόνο διέλευσης, υπολογίζοντας την απόσταση με κάθε δορυφόρο. Η γεωγραφική θέση του οχήματος προσδιορίζεται από τον συνυπολογισμό βάσει τριγωνισμού των αποστάσεων αυτών και τις θέσεις

των δορυφόρων. Έπειτα, η θέση αυτή προσδιορίζεται ως γεωγραφικό στίγμα που κινείται σε κάποιο ψηφιακό χάρτη, παρέχοντας επίσης εκτενέστερες πληροφορίες του στίγματος αυτού, όπως είναι για παράδειγμα οι γεωγραφικές συντεταγμένες, η τοπική ώρα και το υψόμετρο. Τα πιο σύγχρονα συστήματα GPS παρέχουν περαιτέρω πληροφορίες, όπως είναι η ταχύτητα με την οποία κινείται το όχημα, η κατεύθυνσή του και η λωρίδα κυκλοφορίας.

4.4 Κάμερα

Η κάμερα ενός αυτόνομου οχήματος περιλαμβάνει τουλάχιστον δύο φακούς, καθένας εκ των οποίων φέρει διαφορετικό αισθητήρα εικόνας CMOS. Ο αισθητήρας αυτός, παρέχει την ικανότητα καταγραφής βίντεο και εικόνων τρισδιάστατης μορφής, υψηλής ανάλυσης. Η απόσταση μεταξύ των δύο φακών είναι ίση με τη αντίστοιχη απόσταση μεταξύ των δύο ματιών, δηλαδή 6,35 εκατοστά.

Κατά την καταγραφή μιας εικόνας, ο κάθε αισθητήρας χρησιμεύει στην καταγραφή της εικόνας από διαφορετικό σημείο λήψης. Οι δύο αυτές εικόνες, συνδυάζονται και αποθηκεύονται σαν μία ενιαία εικόνα, η οποία παρουσιάζει λίγα εκατοστά διαφοράς προς την μία κατεύθυνση. Στη συνέχεια, η εικόνα επεξεργάζεται με τρόπο τέτοιο ώστε το κάθε μάτι να αντικρίζει μία συγκεκριμένη εικόνα από έναν φακό. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνει την αίσθηση της τρισδιάστατης μορφής.

Οι κάμερες συναντώνται στα αυτόνομα οχήματα, παρέχοντας την ικανότητα προσδιορισμού του βάθους μιας εικόνας. Μέσω των καμερών, παρέχεται στο αυτόνομο σύστημα μια πληθώρα λειτουργιών, όπως είναι η αναγνώριση σημάτων του κώδικα οδικής κυκλοφορίας και η αναγνώριση αντικειμένων στο εξωτερικό περιβάλλον, είτε κινούνται είτε είναι ακίνητα. Πολλά αυτόνομα οχήματα διαθέτουν περιμετρικά κάμερες, προκειμένου η ανίχνευση των παραπάνω λειτουργιών να γίνει ευκολότερη, λόγω της ενιαίας εικόνας με γωνία κάλυψης 360 μοιρών.



Εικόνα 27. Κάμερα αυτόνομου οχήματος [37]

4.5 Αισθητήρας γωνιακής θέσης

Ως αισθητήρας γωνιακής θέσης θεωρείται κάθε αισθητήρας που πραγματοποιεί μέτρηση θέσης. Σε συστήματα περιστροφικής κίνησης, όπως είναι ο άξονας κίνησης των τροχών ενός οχήματος, είναι αναγκαία η πληροφορία για την υπάρχουσα θέση του αντικειμένου. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, εάν είναι γνωστή η εξωτερική περίμετρος μιας ρόδας και ο αριθμός πλήρης περιστροφής (360 μοίρες) , τότε καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός της συνολικής απόστασης που έχει διανύσει η ρόδα αυτή.

Για την επίτευξη αυτού, γίνεται χρήση ενός κωδικοποιητή θέσεως στον άξονα, ο οποίος εκπέμπει εκατοντάδες χιλιάδες παλμούς ανά ολοκληρωμένη περιστροφή. Ο κωδικοποιητής αυτός, πολλές φορές χρησιμοποιείται και για τον προσδιορισμό ακριβής ταχύτητας περιστροφής άξονα (RPM), επεξεργάζοντας τη συχνότητα των παλμών που προκύπτουν από τη περιστροφή του άξονα.

4.6 Αισθητήρας υπερήχων

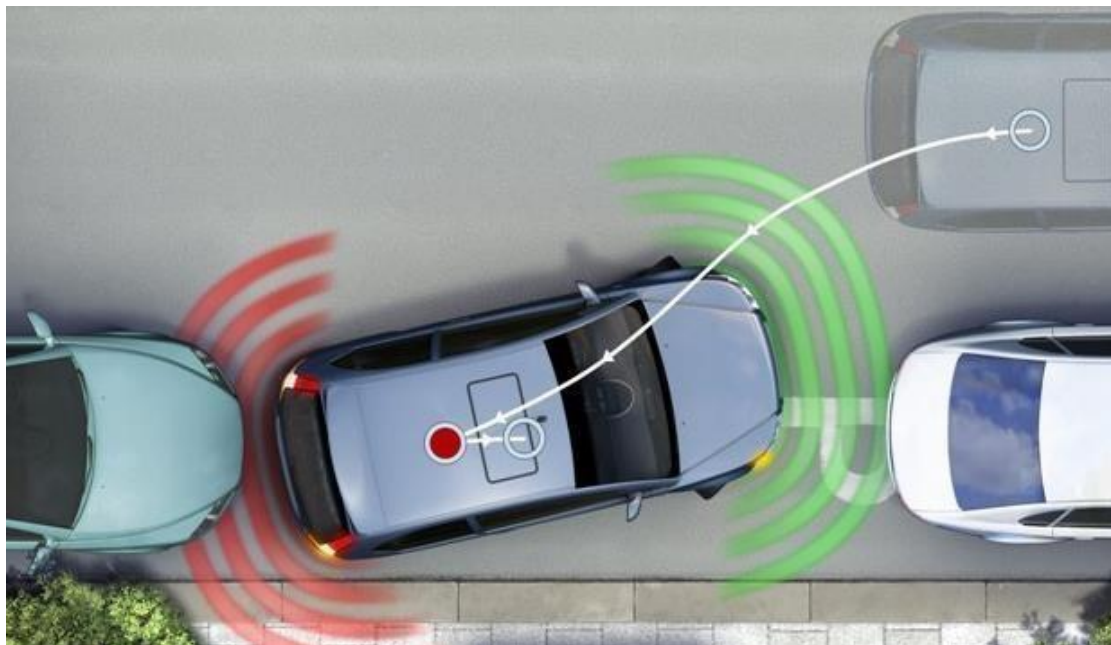
Οι αισθητήρες υπερήχων, εφαρμόζουν πανομοιότυπη αρχή λειτουργίας με τα συστήματα RADAR, με μόνη διαφορά ότι οι αισθητήρες υπερήχων εκπέμπουν υπερηχητικά κύματα υψηλών συχνοτήτων. Διαθέτουν ένα πομπό και έναν δέκτη υπερηχητικών κυμάτων, οι οποίοι σχηματίζουν μια γωνία κλίσης 15 μοιρών, με πεδίο εύρους από λίγα εκατοστά έως δεκάδες μέτρα.

Ο πομπός εκπέμπει κύματα υψηλών συχνοτήτων, τα οποία ανακλώνται προς πάσα κατεύθυνση εάν χτυπήσουν σε κάποιο αντικείμενο. Ο δέκτης, αντίστοιχα, λαμβάνει αυτά τα κύματα και βάσει του χρόνου διαμεσολάβησης μεταξύ της παραγωγής τους και της λήψης τους, είναι σε θέση να προσδιορίσει την απόσταση του αντικειμένου στο οποίο προσέκρουσε.

Οι αισθητήρες υπερήχων είναι εξαιρετικά σημαντικοί στη δομή των αυτόνομων οχημάτων καθώς πρώτα από όλα μπορούν να ανιχνεύσουν την απόσταση στην οποία βρίσκεται ένα αντικείμενο από το όχημα και να ειδοποιήσει το αυτόνομο σύστημα του οχήματος όσο η απόσταση αυτή ελαττώνεται. Πολλά αυτόνομα οχήματα διαθέτουν περιμετρικά αυτή τη κατηγορία αισθητήρων, παρέχοντας στο σύστημα μια εικόνα 360 μοιρών, εντοπίζοντας κάθε αντικείμενο που υπάρχει στο εξωτερικό περιβάλλον του οχήματος και την κατεύθυνσή του.

Ακόμα μια λειτουργία των αισθητήρων υπερήχων αποτελεί το σύστημα υποβοήθησης στάθμευσης. Αυτό ενεργοποιείται με την ενεργοποίηση της ταχύτητας όπισθεν. Οι αισθητήρες υπερήχων που είναι αρμόδιοι για το σύστημα υποβοήθησης στάθμευσης είναι τοποθετημένοι στον προφυλακτήρα του οχήματος.

Αν η απόσταση μεταξύ οχήματος και εμποδίου γίνει μικρότερη των 20 εκατοστών, ακούγεται ένας συνεχής ήχος. Το σύστημα υποβοήθησης στάθμευσης απενεργοποιείται αφαιρώντας την ταχύτητα όπισθεν.



Εικόνα 28. Χρήση αισθητήρα υπερήχων για στάθμευση οχήματος [40]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ

5.1 Ορισμός μηχανικής μάθησης

Η μηχανική μάθηση (machine learning), αποτελεί υποπεδίο της τεχνητής νοημοσύνης και σύμφωνα με τον Arthur Samuel το 1959, ορίζεται ως το πεδίο μελέτης που δίνει στους υπολογιστές την δυνατότητα να μαθαίνουν χωρίς να έχουν προγραμματιστεί.

Πιο αναλυτικά, η μηχανική μάθηση είναι το γνωστικό αντικείμενο, βάσει του οποίου μελετώνται και αναπτύσσονται αλγόριθμοι που βελτιώνουν την απόδοση ενός συστήματος σε πολλούς τομείς. Ο αλγόριθμος έχει την ικανότητα να αναγνωρίσει μοτίβα και να κάνει προβλέψεις αφού επεξεργαστεί τα δεδομένα του συστήματος και αυτό θα τον οδηγήσει στην απόφαση που θα λάβει. Τα μοντέλα

μηχανικής μάθησης είναι πολύ χρήσιμα, διότι μπορούν να επεξεργαστούν μεγάλο όγκο δεδομένων και να ανταποκριθούν με μεγάλη επιτυχία σε όποια αλλαγή παρατηρηθεί στα δεδομένα εισόδου του συστήματος. Για παράδειγμα, σε πληθώρα εφαρμογών είναι αναγκαία η εκτίμηση της κατηγορίας στην οποία ανήκουν άγνωστα δεδομένα. Για να μπορέσει το σύστημα να ανταποκριθεί σωστά στην παραπάνω απαίτηση, είναι αναγκαία η παρουσίαση παρόμοιων αντικειμένων ή δεδομένων από όπου θα προκύψουν μοτίβα ή κάποια συνδεσμολογία μεταξύ των μεταβλητών.

5.2 Τύποι μάθησης

Υπάρχουν τρεις τύποι μηχανικής μάθησης. Αυτοί είναι, η επιβλεπόμενη μάθηση (supervised learning), η μάθηση χωρίς επίβλεψη (unsupervised learning) και η μάθηση με ενίσχυση (reinforcement learning). Ανάλογα με τον τρόπο επίλυσης του προβλήματος, επιλέγεται και η καταλληλότερη κατηγορία από τις τρεις. Αναλυτικότερη περιγραφή των χαρακτηριστικών των τριών κατηγοριών μηχανικής μάθησης γίνεται παρακάτω.

5.2.1 Επιβλεπόμενη μάθηση

Η επιβλεπόμενη μάθηση χρησιμοποιείται όταν σκοπό αποτελεί η πρόβλεψη ενός συγκεκριμένου αποτελέσματος, γνωρίζοντας την είσοδο. Πιο αναλυτικά, σε προβλήματα επιβλεπόμενης μάθησης, το σύστημα λαμβάνει ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης (training data), αποτελούμενα από ζεύγη της μορφής (x_i, y_i) , όπου i ακέραιος μεταξύ 1 και n . Βάσει αυτών των δεδομένων εκπαίδευσης αναπτύσσεται ένα μοντέλο κατηγοριοποίησης που σκοπό έχει να προβλέψει την τιμή της μεταβλητής απόφασης y σε μελλοντικά δεδομένα x .

Τα προβλήματα αυτής της κατηγορίας μηχανικής μάθησης τα συναντάει κανείς πιο εύκολα. Ανάλογα με τη μεταβλητή απόφασης y , τα προβλήματα κατηγοριοποιούνται σε προβλήματα ταξινόμησης (classification problems) και προβλήματα παλινδρόμησης (regression problems).

Στα προβλήματα ταξινόμησης, το αποτέλεσμα είναι η πρόβλεψη μιας διακριτής τιμής, δηλαδή $t_i \in \{0, 1, 2, \dots, C\}$. Για παράδειγμα, εάν το ζητούμενο ενός προβλήματος είναι η ταξινόμηση χρωμάτων σε δύο κλάσεις, κόκκινο ή πράσινο, θα μπορούσε να τεθεί ως στόχος το $t_i=0$ εάν το πρότυπο x_i αντιστοιχεί στο κόκκινο χρώμα και $t_i=1$ εάν αντιστοιχεί στο πράσινο.

Στα προβλήματα παλινδρόμησης, το αποτέλεσμα είναι η πρόβλεψη μιας συνεχούς τιμής ή απεριόριστου πλήθους διακριτών τιμών. Παραδείγματα

προβλημάτων παλινδρόμησης αποτελούν η πρόβλεψη της ηλικίας και του φορολογικού εισοδήματος ενός ανθρώπου, καθώς και η εκτίμηση του πληθυσμού μιας πόλης. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, το αποτέλεσμα είναι μια θετική πραγματική τιμή.

5.2.2 Μη επιβλεπόμενη μάθηση

Στην μη επιβλεπόμενη μάθηση, το σύστημα χρησιμοποιεί τα πρότυπα εισόδου x_1, x_2, \dots, x_n , χωρίς να είναι γνωστές οι έξοδοί του. Το μοντέλο, προσπαθεί να ανακαλύψει ομάδες και συσχετίσεις προκειμένου να ανακαλύψει περισσότερα στοιχεία για τα δεδομένα του. Παραδείγματα αυτής της κατηγορίας μηχανικής μάθησης αποτελούν η ομαδοποίηση (clustering) και οι κανόνες συσχέτισης (association rules).

5.2.3 Μάθηση με ενίσχυση

Η μάθηση με ενίσχυση αποτελεί σημαντική κατηγορία μηχανικής μάθησης, η οποία εφαρμόζεται όταν ένα σύστημα, που ονομάζεται πράκτορας (agent), αλληλεπιδρά με το περιβάλλον εκτελώντας ενέργειες που αποκομίζουν ανταμοιβή (reward). Σε περίπτωση που η ανταμοιβή είναι αρνητική, τότε καλείται ποινή. Η ανταμοιβή μπορεί να γίνεται γνωστή άμεσα μετά από κάθε ενέργεια είτε μετά από μια σειρά ενεργειών. Παραδείγματα εφαρμογών αυτού του τύπου μηχανικής μάθησης αποτελούν ο έλεγχος ρομποτικού συστήματος, η λήψη αποφάσεων και τα παιχνίδια. Σε προβλήματα λήψης αποφάσεων, η ανταμοιβή είναι διαθέσιμη αμέσως μετά από κάθε απόφαση, ενώ στα παιχνίδια, η ανταμοιβή, νίκη ή ήττα, γίνεται γνωστή μετά από μια σειρά ενεργειών, δηλαδή στο τέλος του κάθε παιχνιδιού.

Στόχος της μάθησης με ενίσχυση είναι η επιλογή των κατάλληλων ενεργειών με σκοπό την μεγιστοποίηση των ανταμοιβών. Επίσης, άλλος ένας στόχος αποτελεί η εκτίμηση της κατανομής πιθανοτήτων των ανταμοιβών.

5.3 Νευρωνικά Δίκτυα

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks) αποτελούν μια σύγχρονη προσέγγιση μοντελοποίησης σύνθετων προβλημάτων, εμπνευσμένη από τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος απαρτίζεται από πληθώρα μονάδων επεξεργασίας, που ονομάζονται νευρώνες και δημιουργούν ένα δίκτυο επικοινωνίας μεταξύ τους. Σκοπός της έρευνας των νευρωνικών δικτύων αποτελεί η επιθυμία ανακάλυψης ενός διαδικτυακού μοντέλου υπολογιστικής πλατφόρμας, με παρόμοια στοιχεία με εκείνα του ανθρώπινου εγκεφάλου. Η πλατφόρμα αυτή θα είναι ικανή να αναπτύσσει αλγορίθμους που σχετίζονται με την νοημοσύνη, όπως είναι για παράδειγμα η μνήμη και η γενίκευση.

Ένα νευρωνικό δίκτυο συγκροτείται από τρία λειτουργικά μέρη, καθένα εκ των οποίων επιτελεί διαφορετικό ρόλο. Οι πύλες εισόδου του νευρώνα ονομάζονται δενδρίτες και είναι αυτοί που δέχονται τις πληροφορίες. Η πύλη εξόδου ονομάζεται άξονας. Μοιάζει με μια κλωστή και σε αυτόν καταλήγουν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των πληροφοριών. Τέλος, είναι οι συνάψεις, δηλαδή τα σημεία τομής των διακλαδώσεων του άξονα ενός νευρώνα και των δενδριτών. Οι συνάψεις, μεταδίδουν την πληροφορία στους δενδρίτες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΟΡΑΣΗ

Η όραση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα όργανα του ανθρώπινου οργανισμού, κατά την οποία αντιλαμβανόμαστε το περιβάλλον γύρω μας. Η επιστήμη δεν έχει σταματήσει να εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου και η όραση αποτελεί πεδίο προς εξερεύνησή της. Πιο συγκεκριμένα, τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί μία επιστήμη που συνδυάζει την όραση και τους υπολογιστές, γνωστή με τον όρο μηχανική όραση. Αναλυτικότερα, μηχανική όραση καλείται η επιστήμη που μέσω ειδικών αλγορίθμων επιχειρεί να δώσει στον υπολογιστή την ικανότητα να αντιλαμβάνεται το εξωτερικό περιβάλλον και να εφαρμόζει εργασίες, όπως είναι η ανίχνευση αντικειμένων (object detection) και γενικότερα ο εντοπισμός (localization), τα οποία θα δούμε αναλυτικότερα παρακάτω.

Η μηχανική όραση μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές εφαρμογές ανεπτυγμένων επιστημονικά κλάδων, όπως είναι η αυτόνομη οδήγηση, αλλάζοντας σε μεγάλο βαθμό την αντίληψη της όρασης του οχήματος, στην προκειμένη περίπτωση, μέσω αισθητήρων και καμερών.

6.1 Συνελικτικά Νευρωνικά Δίκτυα

Τα συνελικτικά νευρωνικά δίκτυα (convolutional neural networks ή σε συντομογραφία CNN) αποτελούν μια κατηγορία τεχνητών νευρωνικών δικτύων, τα οποία προορίζονται για λειτουργίες αναγνώρισης εικόνας. Τα συνελικτικά νευρωνικά δίκτυα αποτελούνται από εναλλασσόμενα στρώματα συνέλιξης και υποδειγματοληψίας, τα οποία είναι κατάλληλα σχεδιασμένα ώστε να δέχονται και να επεξεργάζονται δεδομένα δύο ή περισσότερων διαστάσεων. Κάθε φίλτρο εξάγει χαρακτηριστικά (features), που λαμβάνει από τα δεδομένα εισόδου και στη συνέχεια τα τοποθετεί στην έξοδο του επιπέδου, η οποία είναι ένας χάρτης χαρακτηριστικών (feature map).

Η πρόοδος των συνελικτικών νευρωνικών δικτύων είναι απόρροια δύο ιδιοτήτων τους, της αραιής συνδεσιμότητας (sparse connectivity) και της κοινής χρήσης παραμέτρων (parameter sharing). Αραιή συνδεσιμότητα σημαίνει πως όλες οι εισοδοί δεν αλληλεπιδρούν με όλες τις εξόδους όπως γίνεται στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, λόγω του πολλαπλασιασμού πινάκων κατά τον οποίο κάθε είσοδος αλληλεπιδρά με κάθε έξοδο. Αυτό οφείλεται στην ποσοτική διαφορά των φίλτρων και των δεδομένων εισόδων, με τα πρώτα να είναι λιγότερα. Κατά συνέπεια, ο υπολογισμός της εξόδου θα γίνει σε λιγότερο χρόνο, αφού όσο λιγότεροι παράμετροι υπάρχουν τόσο λιγότερες απαιτήσεις του συστήματος θα υπάρχουν. Η δεύτερη ιδιότητα των συνελικτικών νευρωνικών δικτύων, δηλαδή η κοινή χρήση παραμέτρων, σημαίνει ότι οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για ένα σημείο της εικόνας, θα εφαρμόζονται και στα υπόλοιπα σημεία της, δηλαδή η εκμάθηση ανίχνευσης ακμών ενός σημείου της εικόνας συνεπάγεται και ανίχνευση ακμών σε όλη την εικόνα. Αυτή η λειτουργία ελαχιστοποιεί περαιτέρω τις παραμέτρους του δικτύου.

6.1.1 Επίπεδο Συνέλιξης

Στα συνελικτικά νευρωνικά δίκτυα συναντάμε, αντί για πολλαπλασιασμό πινάκων, μία πράξη που καλείται συνέλιξη (convolution), η οποία χρησιμοποιείται μεταξύ των δεδομένων εισόδου και του πίνακα βαρών. Φίλτρο, ή αλλιώς kernel όπως το συναντάμε πολύ συχνά, ονομάζεται ο δισδιάστατος πίνακας με διακριτούς αριθμούς, οι οποίοι ονομάζονται βάρη. Τα βάρη, δέχονται τυχαίους αριθμούς στην αρχή, κατά τη διάρκεια όμως της εκπαίδευσης οι αριθμοί αυτοί αλλάζουν στη προσπάθεια του δικτύου να πετύχει την επιθυμητή έξοδο.

Κάθε συνελικτικό νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από τουλάχιστον ένα επίπεδο συνέλιξης στα δεδομένα εισόδου του. Το επίπεδο αυτό, αποτελείται από εκπαιδευόμενα φίλτρα και συνδέεται με την διάσταση βάθους της εικόνας εισόδου.

Το κάθε φίλτρο κινείται κατά μήκος των άλλων δύο διαστάσεων, πλάτους και ύψους, της εικόνας με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός δισδιάστατου χάρτη χαρακτηριστικών (feature map). Η παραπάνω λειτουργία, θέτει στη πράξη τη συνέλιξη του φίλτρου και της εικόνας εισόδου. Το γινόμενο των τιμών του φίλτρου και των τιμών εικόνας, δίνει το αποτέλεσμα της συνέλιξης.

Βασική προϋπόθεση για τον υπολογισμό των διαστάσεων πλάτους και ύψους της εικόνας εξόδου αποτελούν δύο παράγοντες, το βήμα (stride) και το γέμισμα (padding). Ο πρώτος παράγοντας καθορίζει την ένταση πυκνότητας της δειγματοληψίας της εισόδου, δηλαδή τον αριθμό των εικονοστοιχείων που μετακινούνται οριζοντίως και καθέτως. Εάν η τιμή του βήματος είναι μονάδα, τότε η σάρωση της εισόδου είναι πυκνή, ενώ για τιμές μεγαλύτερης της μονάδας η σάρωση είναι αραιή. Η δεύτερη παράμετρος, το γέμισμα, εφαρμόζεται για τηνπροσθήκη μηδενικών στην είσοδο (zero padding), διατηρώντας σταθερές τις διαστάσεις ύψους και πλάτους εισόδου, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί κατάλληλο μέγεθος φίλτρου για τη σάρωση των χαρακτηριστικών.

Στις εικόνες 29 και 30 απεικονίζεται η διαδικασία της συνέλιξης σε μια εικόνα με διαστάσεις $7 \times 7 \times 3$ με τη χρήση ενός φίλτρου $3 \times 3 \times 3$ και αποτέλεσμα μια εικόνα $5 \times 5 \times 3$. Η διαδικασία της συνέλιξης γίνεται μεταξύ των τιμών της εικόνας εισόδου και του φίλτρου σε κάθε περιοχή. Όταν ολοκληρωθεί ο υπολογισμός της συνέλιξης για την πρώτη περιοχή, το φίλτρο μετατοπίζεται κατά ένα βήμα στην επόμενη περιοχή.

Σε αυτό το παράδειγμα, ο υπολογισμός της συνέλιξης της σκούρα μπλε περιοχής πραγματοποιείται με τον πολλαπλασιασμό των τιμών της εικόνας $7 \times 7 \times 3$ (πρώτος πίνακας στη σειρά) με το φίλτρο (δεύτερος πίνακας στη σειρά) και έχει αποτέλεσμα την εικόνα $5 \times 5 \times 3$ (τρίτος πίνακας στη σειρά).

Για διευκόλυνση στις πράξεις, θεωρούμε τον πρώτο πίνακα A, τον δεύτερο πίνακα B και τον τρίτο Γ. Επίσης, θεωρούμε τις γραμμές με αύξοντα αριθμό ξεκινώντας από το 0 και τελευταία γραμμή την 6. Αντίστοιχα θεωρούμε το ίδιο και στις στήλες.

Αναλυτικά οι πράξεις για την τιμή της εικόνας στη θέση $\Gamma(0,0)$ μετά τη συνέλιξη.

$$A(0,0) * B(0,0) = 0 * 0 = 0$$

$$A(0,1) * B(0,1) = 0 * (-1) = 0$$

$$A(0,2) * B(0,2) = 0 * 0 = 0$$

$$A(1,0) * B(1,0) = 0 * (-1) = 0$$

$$A(1,1) * B(1,1) = 60 * 5 = 300$$

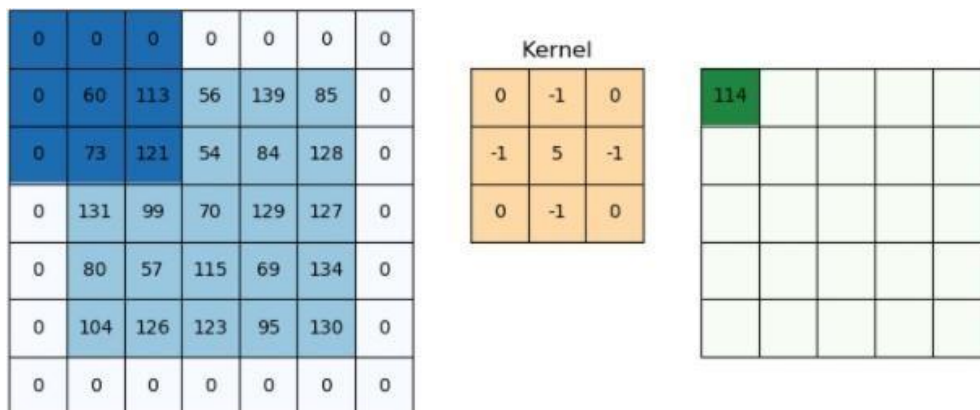
$$A(1,2) * B(1,2) = 113 * (-1) = -113$$

$$A(2,0) * B(2,0) = 0 * 0 = 0$$

$$A(2,1) * B(2,1) = 73 * (-1) = -73$$

$$A(2,2) * B(2,2) = 0 * 0 = 0$$

$$\Gamma(0,0) = 0 + 0 + 0 + 0 + 300 + (-113) + 0 + (-73) + 0 = 114$$



Εικόνα 29. Αναπαράσταση συνέλιξης σε εικόνα 7x7 για τη θέση $\Gamma(0,0)$ [42]

Στη συνέχεια, όπως φαίνεται στην εικόνα 30, το φίλτρο μετατοπίζεται κατά μία θέση. Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία εύρεσης της τιμής $\Gamma(0,1)$.

$$A(0,1) * B(0,0) = 0 * 0 = 0$$

$$A(0,2) * B(0,1) = 0 * (-1) = 0$$

$$A(0,3) * B(0,2) = 0 * 0 = 0$$

$$A(1,1) * B(1,0) = 60 * (-1) = -60$$

$$A(1,2) * B(1,1) = 113 * 5 = 565$$

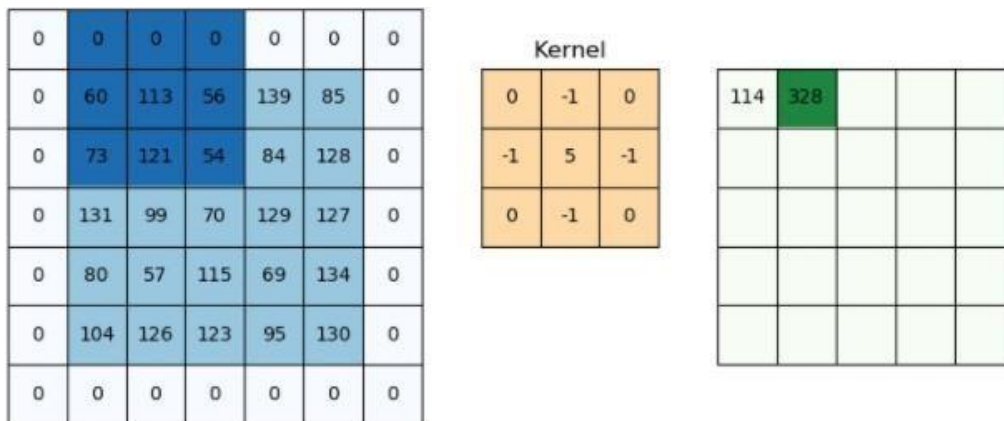
$$A(1,3) * B(1,2) = 56 * (-1) = -56$$

$$A(2,1) * B(2,0) = 73 * 0 = 0$$

$$A(2,2) * B(2,1) = 121 * (-1) = -121$$

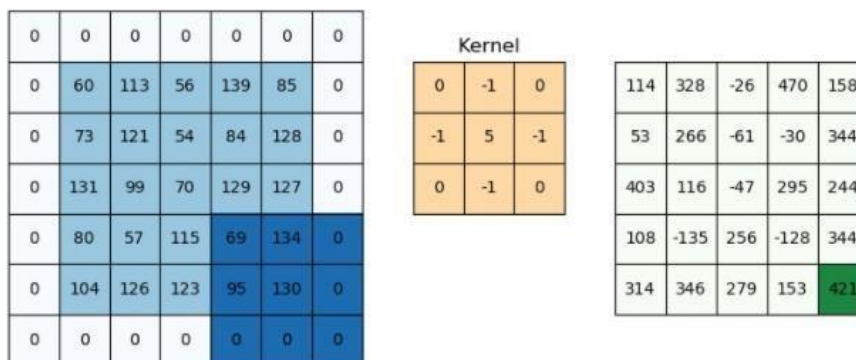
$$A(2,3) * B(2,2) = 54 * 0 = 0$$

$$\Gamma(0,1) = 0 + 0 + 0 + (-60) + 565 + (-56) + 0 + (-121) + 0 = 328$$



Εικόνα 30. Αναπαράσταση συνέλιξης σε εικόνα 7x7 για τη θέση $\Gamma(0,1)$ [42]

Με την ίδια μεθοδολογία συμπληρώνεται ο πίνακας Γ , δηλαδή οι τιμές της τελικής εικόνας μετά τη συνέλιξη, ο οποίος αναπαρίστανται στην εικόνα 31.



Εικόνα 31. Αναπαράσταση συνέλιξης της τελικής εικόνας [42]

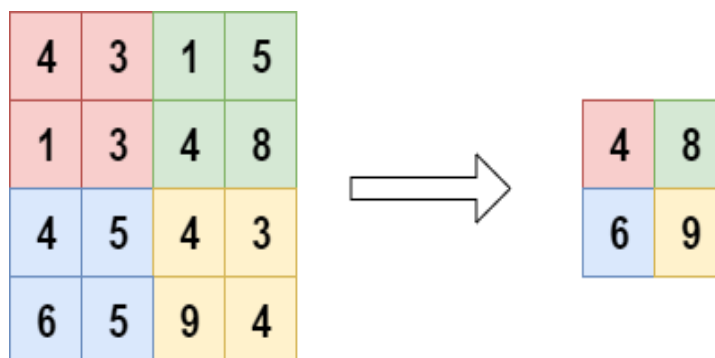
6.1.2 Επίπεδο Υποδειγματοληψίας

Μετά από κάθε επίπεδο συνέλιξης, τοποθετείται συχνά ένα στρώμα υποδειγματοληψίας (pooling). Στόχος του στρώματος αυτού είναι να κάνει το δίκτυο λιγότερο ευαίσθητο σε μικρές μετατοπίσεις των αντικειμένων της εικόνας, καθώς και να μειώσει τις διαστάσεις της εικόνας εισόδου, χωρίς όμως να προκαλέσει απώλεια ικανότητας διαχωρισμού των αντικειμένων. Εφαρμόζεται κυρίως για τη μείωση των διαστάσεων πλάτους και ύψους.

Τόσο το επίπεδο συνέλιξης όσο και το επίπεδο υποδειγματοληψίας έχουν σκοπό την σμίκρυνση των διαστάσεων της εικόνας εισόδου, ωστόσο μια διαφορά αποτελεί ότι το συνελκτικό πεδίο είναι ικανό να ανιχνεύσει μοτίβα και συνδέσεις σε υποπεριοχές της εικόνας, ενώ το επίπεδο υποδειγματοληψίας είναι χρήσιμο στη σταδιακή μείωση της εικόνας εισόδου, στην ελάττωση του χρόνου εκπαίδευσης του δικτύου και την αποφυγή της υπερεκπαίδευσης.

Δύο επικρατέστερα είδη χωρικής υποδειγματοληψίας αποτελούν η υποδειγματοληψία μέγιστης τιμής (max pooling) και η υποδειγματοληψία μέσης τιμής (average pooling). Πρώτα, θα αναφερθούμε στην υποδειγματοληψία μέγιστης τιμής.

Η λειτουργία της υποδειγματοληψίας μέγιστης τιμής βασίζεται στην εξαγωγή της μεγαλύτερης τιμής που παρατηρείται σε μία περιοχή. Στην εικόνα 32 αναπαρίσταται η διαδικασία εντοπισμού του τοπικού μεγίστου, επιλέγοντας την μεγαλύτερη τιμή κάθε περιοχής. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, στο συγκεκριμένο παράδειγμα διατίθεται μια εικόνα 4x4, η οποία καταλήγει σε μια εικόνα διαστάσεων 2x2. Για να επιτευχθεί αυτό, η αρχική εικόνα είναι χωρισμένη σε 4 περιοχές (κόκκινη, πράσινη, μπλε και κίτρινη), όπου επιλέγεται η μέγιστη τιμή κάθε μίας. Από την κόκκινη περιοχή η μεγαλύτερη τιμή είναι το 4, από την πράσινη το 8, από την μπλε το 6 και από την κίτρινη το 9, όπως φαίνεται στην εικόνα.



Εικόνα32. Διαδικασία εύρεσης τοπικού μεγίστου [45]

Στην υποδειματοληψία μέσης τιμής ακολουθείται η ίδια διαδικασία με παραπάνω, με μόνη διαφορά ότι αντί για την μέγιστη τιμή κάθε περιοχής, τώρα υπολογίζεται η μέση τιμή αυτής.

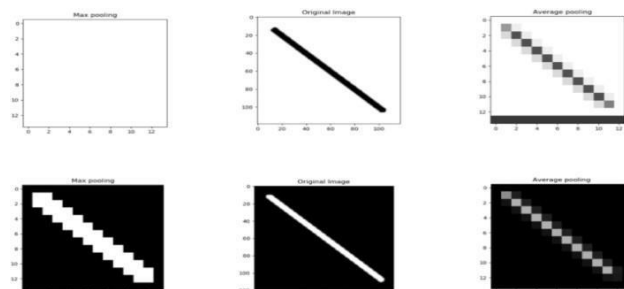
Στην εικόνα 33 απεικονίζεται η διαδικασία εύρεσης της μέσης τιμής μιας εικόνας αρχικών διαστάσεων 4x4 και τελικής 2x2. Η εικόνα είναι χωρισμένη σε 4 περιοχές (μπλε, πράσινη, κίτρινη και κόκκινη). Για παράδειγμα, στην μπλε περιοχή ο μέσος όρος προκύπτει από :

$$\Sigma = (2 + 2 + 9 + 4) / 4 = 17 / 4 = 4.25$$



Εικόνα 33. Διαδικασία εύρεσης μέσης τιμής [45]

Γενικά, η υποδειματοληψία μέγιστης τιμής προσφέρει καλύτερη αναπαράσταση των χαρακτηριστικών μιας εικόνας σε μειωμένες διαστάσεις. Για το λόγο αυτό, συναντάται συχνότερα από ότι η υποδειματοληψία μέσης τιμής. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 34, η αναπαράσταση της υποδειματοληψίας μέσης τιμής έχει καλύτερο αποτέλεσμα σε άσπρο φόντο, σε αντίθεση με την υποδειματοληψία μέγιστης τιμής που αποδίδει καλύτερα σε μαύρο φόντο.



Εικόνα 34. Σύγκριση μεταξύ υποδειματοληψίας μέγιστης τιμής και μέσης τιμής [45]

6.2 R-CNN

Ένας από τους σημαντικότερους και πιο αποτελεσματικούς αλγορίθμους μηχανικής όρασης για την ανίχνευση αντικειμένων αποτελεί το R-CNN (Regions with CNN). Η ανίχνευση αντικειμένων ορίζεται ως η διαδικασία εύρεσης ποικίλων αντικειμένων που περιλαμβάνονται σε μια εικόνα και η ταξινόμησή τους. Οι πρώτοι που ασχολήθηκαν με το βαθμό γενίκευσης της ανίχνευσης αντικειμένων ήταν μια μικρή ομάδα του Πανεπιστημίου Berkeley, με τον καθηγητή Jitendra Malik να ηγείται.

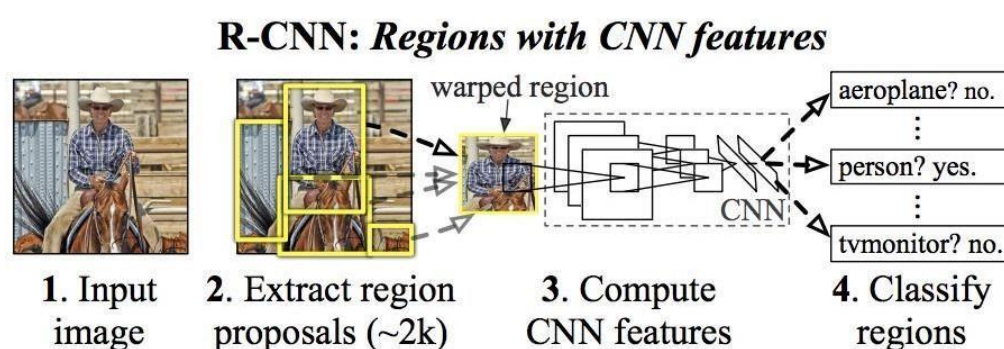
Λειτουργία του R-CNN αποτελεί ο διαχωρισμός μιας εικόνας σε περιοχές, προκειμένου να είναι ικανό να δημιουργήσει πλαίσια ορίων, τα οποία περιλαμβάνουν ποικίλα αντικείμενα της εικόνας. Πρώτο στάδιο αυτού του αλγορίθμου είναι η δημιουργία προτάσεων περιοχής (region proposals), δηλαδή η εύρεση σημείων σε μια εικόνα που μπορούν να περιέχουν ένα αντικείμενο. Προκειμένου να αναπτύξει τα πλαίσια οριοθέτησης, χρησιμοποιεί τη διαδικασία με το όνομα Selective Search, δηλαδή επιλεκτική αναζήτηση. Ο αλγόριθμος επιλεκτικής αναζήτησης ελέγχει την εικόνα μέσα από πλαίσια διαφορετικών μεγεθών και για κάθε μέγεθος πλαισίου, επιχειρεί να ομαδοποιήσει εικονοστοιχεία βάσει του χρώματος, της υφής και του σχήματος, με απώτερο σκοπό την διευκόλυνση εύρεσης αντικειμένων.

Ένα παράδειγμα χρήσης επιλεκτικής αναζήτησης αναπαρίσταται στην εικόνα 35, στην οποία παρουσιάζονται δύο εικόνες. Στην εικόνα εισόδου, παρουσιάζονται αντικείμενα διαφορετικών μεγεθών, όπως είναι η κούπα του καφέ και τα ποτήρια με νερό. Στην εικόνα εξόδου, η επιλεκτική αναζήτηση ελέγχει εντός των πλαισίων διαφορών και αναζητά γειτονικά εικονοστοιχεία που φέρουν παρόμοια χρώματα και υφές.



Εικόνα 35. Παράδειγμα επιλεκτικής αναζήτησης [49]

Στην εικόνα 36, αναπαρίσταται ένα παράδειγμα εφαρμογής R-CNN σε μία εικόνα εισόδου. Πρώτο βήμα του R-CNN είναι να δημιουργήσει προτάσεις περιοχής, οι οποίες ανέρχονται περίπου στις 2.000 και στη συνέχεια να συρρικνώσει την κάθε περιοχή σε ένα τετραγωνικό πλαίσιο, τροφοδοτώντας την κάθε περιοχή με μία τροποποιημένη έκδοση του πρώτου συνελκτικού δικτύου AlexNet, το οποίο με τη σειρά του παράγει διάνυσμα χαρακτηριστικών ως έξοδο. Στο τελευταίο στρώμα του συνελκτικού νευρωνικού δικτύου, το R-CNN προσθέτει μια Support Vector Machine (SVM), δηλαδή εποπτευόμενο μοντέλο μάθησης με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης που αναλύει τα δεδομένα για ταξινόμηση, το οποίο αποφασίζει εάν το δεδομένο αυτό αποτελεί κάποιο αντικείμενο ή όχι, ικανό να αναγνωρίσει την ονομασία του αντικειμένου αυτού.



Εικόνα 36. Παράδειγμα R-CNN [49]

Ωστόσο, παρά την καλή απόδοση του R-CNN, συναντώνται προβλήματα στη χρήση του κυρίως λόγω της καθυστέρησής του. Πιο συγκεκριμένα, λόγω της ταξινόμησης των 2.000 υποπεριοχών της εικόνας, η εκπαίδευση του δικτύου καθυστερεί αρκετά. Απαιτούνται περίπου 50 δευτερόλεπτα εφαρμογής του για κάθε εικόνα, καθιστώντας δύσκολη την εφαρμογή του σε πραγματικό χρόνο. Ακόμα, ο αλγόριθμος επιλεκτικής αναζήτησης δεν υφίσταται εκπαίδευση, καταλήγοντας πολλές φορές σε λανθασμένο αποτέλεσμα προτάσεων. Τέλος, το R-CNN οφείλει να εκπαιδεύσει το συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο για την εξαγωγή χαρακτηριστικών της εικόνας, τον αλγόριθμο ταξινόμησης που προβλέπει την κατηγορία και το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης για να συμπίεσει τα πλαίσια οριοθέτησης, με αποτέλεσμα η εκπαίδευση του δικτύου να μην θεωρείται καθόλου εύκολη.

6.3 Fast R-CNN

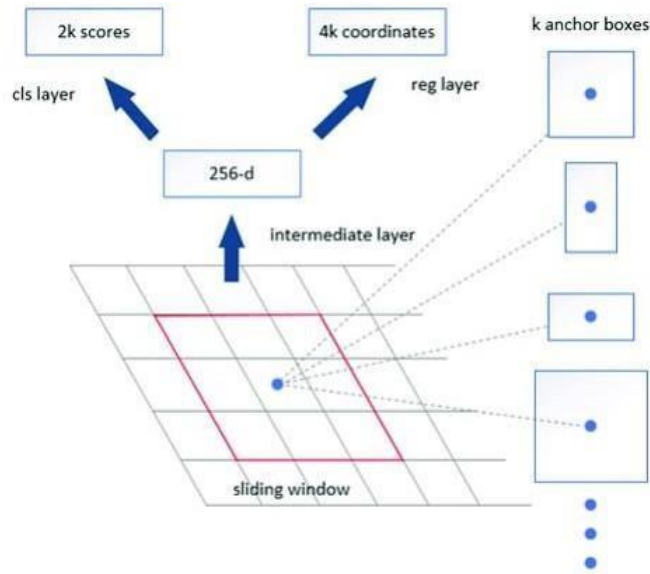
Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων ταχύτητας ανίχνευσης αντικειμένων, ο δημιουργός των συνελκτικών νευρωνικών δικτύων, υλοποίησε μια πιο βελτιωμένη έκδοση του αλγορίθμου R-CNN, την οποία ονόμασε Fast R-CNN. Ο νέος αλγόριθμος βασίστηκε στα πρότυπα του R-CNN, με μόνη διαφορά την τροφοδότηση της εικόνας εισόδου στο συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο αντί των προτεινόμενων περιοχών, με στόχο την ανάπτυξη ενός συνελκτικού χάρτη χαρακτηριστικών. Από τον συνελκτικό χάρτη χαρακτηριστικών, προσδιορίζονται και εξάγονται οι προτεινόμενες περιοχές, οι οποίες στη συνέχεια υφίστανται παραμορφώσεις σε τετραγωνικά πλαίσια, προκειμένου να είναι ικανές να τροφοδοτηθούν σε ένα συνδεδεμένο στρώμα.

6.4 Faster R-CNN

Παρά τη νέα βελτιωμένη έκδοση του αλγορίθμου R-CNN, η διαδικασία προτεινόμενων περιοχών αποτελούσε ακόμα πρόβλημα. Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, πρώτο βήμα ανίχνευσης των πλαισίων ενός αντικειμένου αποτελεί η δημιουργία ενός πλήθους ορίων πλαισίων οριοθέτησης. Στον αλγόριθμο R-CNN, οι προτάσεις περιοχής δημιουργούνται κάνοντας χρήση της επιλεκτικής αναζήτησης, μιας διαδικασίας χρονοβόρας που αποτελεί και βασικό μειονέκτημα αυτού του αλγορίθμου.

Μια μικρή ομάδα της εταιρίας Microsoft, επιχείρησε να ασχοληθεί με την βελτίωση της διαδικασίας προτάσεων περιοχής και τα κατάφερε επιτυχώς, στα μέσα του 2015. Το αποτέλεσμα ήταν η διαδικασία να γίνει απλούστερη και πιο γρήγορη, με τον αλγόριθμο αυτό να ονομάζεται Faster R-CNN.

Στην εικόνα 37 αναπαρίσταται η διαδικασία δημιουργίας προτάσεων περιοχών των χαρακτηριστικών των συνελκτικών νευρωνικών δικτύων. Πιο αναλυτικά, πάνω από τα χαρακτηριστικά του CNN, προστίθεται ένα συνελκτικό δίκτυο με την ονομασία Region Proposal Network. Αυτό λειτουργεί μεταφέροντας ένα συρόμενο πλαίσιο πάνω από το χάρτη χαρακτηριστικών του συνελκτικού νευρωνικού δικτύου, εξάγοντας κ πιθανά πλαίσια οριοθέτησης (k anchor boxes). Τα κουτιά αυτά είναι στην ουσία κ λόγοι αναλογιών οριοθέτησης διαφορετικών μεγεθών. Δηλαδή, για να γίνει κατανοητό αυτό, αρκεί να σκεφτούμε ότι ένα κουτί ορθογώνιων διαστάσεων αντιστοιχεί σε σχήμα ενός ανθρώπου. Επίσης, υπάρχουν 2.000 αποτελέσματα ταξινόμησης και 4.000 συντεταγμένες κουτιού.



Εικόνα 37. Διαδικασία δημιουργίας προτάσεων περιοχών [49]

6.5 Mask R-CNN

Ο αλγόριθμος μηχανικής όρασης Mask R-CNN υλοποιήθηκε από μια ομάδα ερευνητών της εταιρίας Facebook το έτος 2017. Παρά το γεγονός ότι παρουσιάστηκε την τελευταία πενταετία, ο αλγόριθμος αυτός αποτελεί μία από τις καλύτερες επιλογές ανίχνευσης αντικειμένων.

Η αρχιτεκτονική του είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να είναι εφικτή η εύρεση αντικειμένων σε ολόκληρη την εικόνα, χωρίς την ανάγκη εφαρμογής κυλιόμενου παραθύρου. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται γρήγορη ταχύτητα, σε αντίθεση με τις προηγούμενες τεχνικές μηχανικής όρασης που η διαδικασία αυτή προϋπόθετε μεγάλες χρονικές καθυστερήσεις. Μια ακόμα σημαντική λειτουργία του αλγορίθμου Mask R-CNN, αποτελεί η παροχή επιπρόσθετων πληροφοριών σχετικά με το κάθε αντικείμενο που ανιχνεύει, όπως φαίνεται και στην εικόνα 38, μία λειτουργία που δεν παρατηρείται στους προηγούμενους αλγορίθμους.



Εικόνα 38. Παράδειγμα εφαρμογής του αλγορίθμου Mask R-CNN [49]

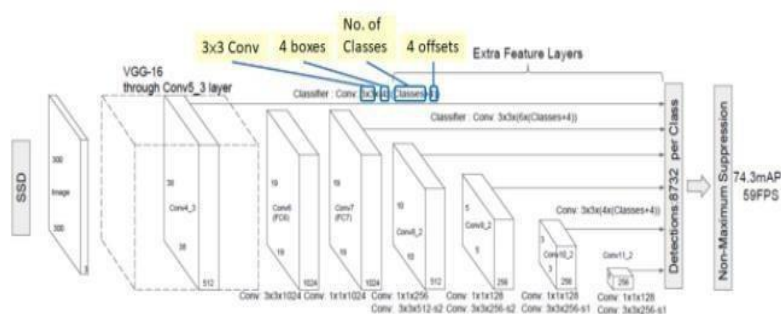
6.6 Shot MultiBox Detector (SSD)

Ο Shot MultiBox Detector αποτελεί ακόμα έναν πολύ γνωστό αλγόριθμο μηχανικής όρασης για εύρεση αντικειμένων. Είναι πολύ πιο γρήγορος, σε σχέση με το Faster R-CNN και προσφέρει πάρα πολύ μεγάλη ακρίβεια. Ένα δίκτυο CNN συμπυκνώνει βήμα-βήμα το μέγεθος του χάρτη χαρακτηριστικών αυξάνοντας παράλληλα τη διάσταση του βάθους καθώς κινείται προς τα βαθύτερα στρώματα. Τα βαθιά στρώματα καλύπτουν μεγαλύτερες περιοχές, κατασκευάζοντας μια αναπαράσταση χωρίς περιορισμούς, σε αντίθεση με τα πιο πάνω στρώματα που καλύπτουν μικρότερες περιοχές. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, τα ρηχά στρώματα εφαρμόζονται για την πρόβλεψη μικρών αντικειμένων και τα βαθύτερα στρώματα για να προβλέψουν μεγαλύτερα αντικείμενα.

Όσον αφορά την εκπαίδευσή του, ο αλγόριθμος SSD δημιουργεί μια σειρά από προτεραιότητες (priors) για κάθε σημείο χαρακτηριστικών, οι οποίες στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για το ταίριασμα με τα κουτιά αληθείας. Με αυτό το τρόπο, επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός των πλαισίων οριοθέτησης.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 39, ο SSD ξεκινά με ένα προ-εκπαιδευμένο μοντέλο VGG, το οποίο μετατρέπεται σε ένα συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο. Ακολούθως, επισυνάπτονται επιπλέον επίπεδα μετατόπισης, τα οποία συνεισφέρουν για την αντιμετώπιση μεγαλύτερων αντικειμένων. Μετά την μετάδοση εικόνας στο δίκτυο

VGG, προστίθενται ορισμένα επίπεδα μετατροπής, τα οποία παράγουν χάρτες χαρακτηριστικών μεγέθους 19x19, 10x10, 5x5, 3x3 και 1x1. Οι χάρτες αυτοί σε συνδυασμό με τον χάρτη χαρακτηριστικών 38x38 που παράγεται από το VGG conv4_3, αποτελούν τους χάρτες χαρακτηριστικών που θα εφαρμοστούν για την πρόβλεψη πλαισίων οριοθέτησης. Το conv4_3 είναι αρμόδιο για την ανίχνευση μικρότερων αντικειμένων, ενώ το conv11_12 είναι αρμόδιο για τον εντοπισμό μεγαλύτερων αντικειμένων.

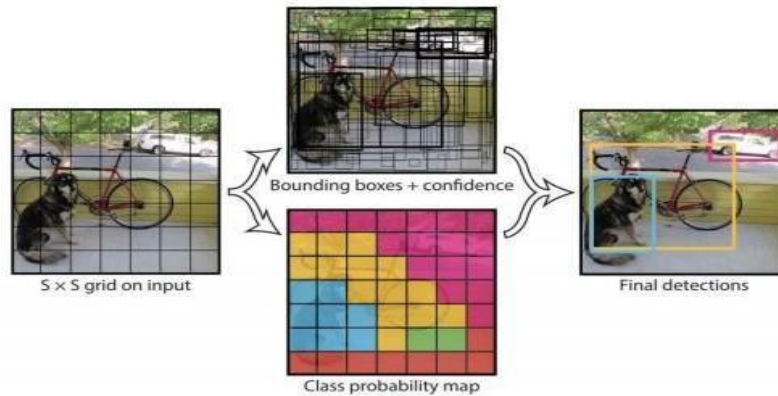


Εικόνα 39. Αρχιτεκτονική αλγορίθμου SSD [49]

6.7 YOLO (You Only Look Once)

Όλοι οι προηγούμενοι αλγόριθμοι μηχανικής όρασης χρησιμοποιούν περιοχές για την ανίχνευση αντικειμένων μιας εικόνας. Ο αλγόριθμος YOLO δεν εξετάζει ολόκληρη την εικόνα, αλλά υποπεριοχές της εικόνας που φέρουν μεγάλες πιθανότητες να περιέχουν το αντικείμενο. Στον αλγόριθμο αυτό, ένα μονό CNN αναπτύσσει τα πλαίσια οριοθέτησης και τις πιθανότητες ταξινόμησης των αντικειμένων για τα πλαίσια αυτά.

Ο αλγόριθμος YOLO, διαχωρίζει την εικόνα σε πλέγμα $S \times S$ τετραγώνων, με κάθε πλέγμα να εφαρμόζει N πλαίσια οριοθέτησης. Για κάθε πλαίσιο, το δίκτυο εξάγει μια πιθανότητα ύπαρξης αντικειμένου καθώς επίσης και τις αντίστοιχες τιμές αντιστάθμισης για το πλαίσιο αυτό. Επομένως το δίκτυο προβλέπει πλαίσια με μορφή μεγέθους $S \times S \times N$. Ωστόσο, τα περισσότερα πλαίσια παρέχουν χαμηλό βαθμό αξιοπιστίας. Στην εικόνα 40 αναπαρίσται ένα παράδειγμα του αλγορίθμου YOLO.



Εικόνα 40. Αλγόριθμος YOLO [60]

Ο αλγόριθμος YOLO είναι πολύ πιο γρήγορος από τους προηγούμενους αλγορίθμους ανίχνευσης αντικειμένων, ωστόσο δεν προσφέρει μεγάλη απόδοση ακριβείας στον εντοπισμό μικρών αντικειμένων, λόγω των χωρικών περιορισμών που επιβάλλει. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει χωρικός περιορισμός στις προβλέψεις οριοθέτησης πλαισίων, καθώς το κάθε πλέγμα προβλέπει μόνο δύο πλαίσια και μπορεί να διαθέσει μόνο μία τάξη. Αυτός ο περιορισμός συμβάλλει στην χαμηλότερη απόδοση εντοπισμού κοντινών αντικειμένων. Καθώς ο αλγόριθμος είναι ικανός να προβλέπει τα πλαίσια οριοθέτησης από τα δεδομένα, καθίσταται δύσκολη η γενίκευση νέων αντικειμένων ή μη συμβατικών με τις διαστάσεις και τις αναλογίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΟΡΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΟΔΗΓΗΣΗ

Τα συστήματα δομής, στα οποία αναφερθήκαμε στο κεφάλαιο 4, συνδυάζονται με το λογισμικό της μονάδας ελέγχου, αποτελώντας τα συστήματα μηχανικής όρασης ενός αυτόνομου οχήματος. Το σύστημα αυτό, επιχειρεί να αντικαταστήσει τις λειτουργίες που επιτελεί ένα ανθρώπινο μάτι και ο εγκέφαλος. Είναι υπαίτιο για την ερμηνεία και επεξεργασία του εξωτερικού περιβάλλοντος όπου κινείται το όχημα, σε καλύτερη απόδοση από ότι θα μπορούσε ένας οδηγός.

Υπάρχουν αρκετές εφαρμογές μηχανικής όρασης που εφαρμόζονται στα αυτόνομα οχήματα, όπως είναι για παράδειγμα το σύστημα διατήρησης λωρίδας (Lane Keeping Assist Systems), το σύστημα αποφυγής πρόσκρουσης (Collision Avoidance System), το σύστημα προειδοποίησης απόκλισης από τη λωρίδα (LDWS) και άλλα τα οποία θα δούμε παρακάτω αναλυτικά. Πρώτα όμως θα αναφερθούμε στο σύστημα υποβοήθησης ADAS, στο οποίο βασίζονται όλες αυτές οι εφαρμογές.

7.1 ADAS (Advanced Driver Assistance Systems)

Τα συστήματα ADAS, σηματοδοτούν την εξέλιξη που υπάρχει στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας την τελευταία δεκαετία και συγκεκριμένα στην αυτόνομη οδήγηση. Τα συστήματα αυτά, αναπτύχθηκαν με εφαρμογές μηχανικής όρασης με σκοπό να κάνουν απλούστερη την οδήγηση, ενισχύοντας παράλληλα την ασφάλεια του οδηγού και των επιβατών κατά τη διάρκεια της οδήγησης.

Η ανάπτυξη των συστημάτων ADAS έχει συμβάλει στην βελτίωση της ικανότητας αποφυγής κινδύνων που υπάρχουν στους δρόμους, ελαττώνοντας το ποσοστό των αυτοκινητιστικών ατυχημάτων. Κάθε σύστημα ADAS, επιτελεί και μια διαφορετική λειτουργία. Δεδομένου της σπουδαιότητας των συστημάτων ADAS για την ασφάλεια των ανθρώπων στην οδήγηση, απόρροια αποτελούν οι υψηλές τιμές που παρατηρούνται στα οχήματα τα τελευταία χρόνια. Στο παρών κεφάλαιο, λοιπόν, θα γνωρίσουμε καλύτερα αυτά τα απαραίτητα για την αυτόνομη οδήγηση και ασφάλεια συστήματα.

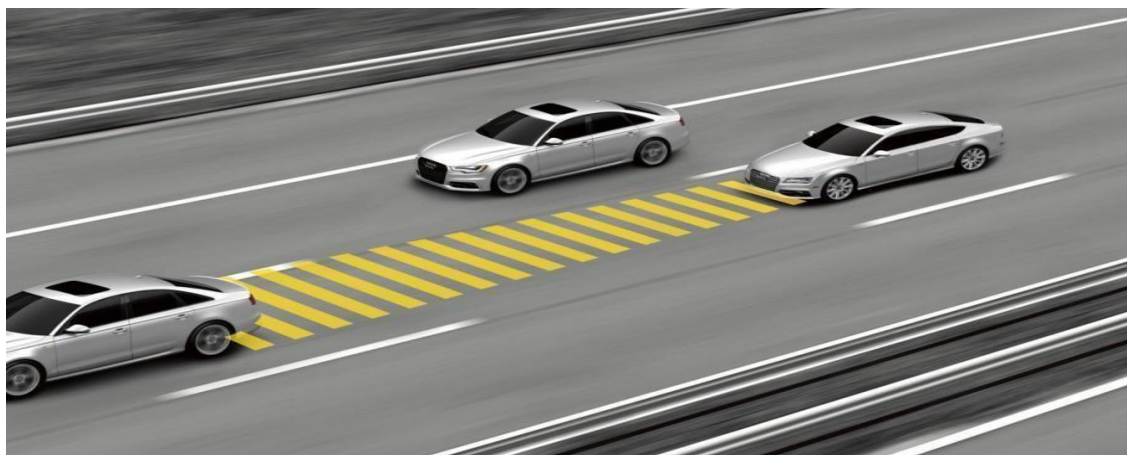
7.2 Adaptive Cruise Control (ACC)

Το Adaptive Cruise Control παρέχει τη δυνατότητα στον οδηγό να διατηρεί σταθερή τη ταχύτητα του οχήματος από το προπορευόμενο όχημα στην ίδια λωρίδα με αυτό. Για τον προσδιορισμό της απόστασης από το προπορευόμενο όχημα, εφαρμόζονται οι τεχνικές που είδαμε στο κεφάλαιο 4, δηλαδή οι αισθητήρες LiDAR και ραντάρ. Όταν το ραντάρ παρατηρήσει ότι η απόσταση αυτή ελαττώνεται, τότε μειώνεται και η ταχύτητα του αυτόνομου οχήματος. Αντίστοιχα, εάν το προπορευόμενο όχημα αναπτύξει ταχύτητα, τότε το όχημα θα ανακτήσει την επιλεγμένη ταχύτητα που του έχει δώσει ο οδηγός.

Εάν το Adaptive Cruise Control απενεργοποιηθεί ή τεθεί προσωρινά σε κατάσταση αναμονής και παράλληλα η απόσταση μεταξύ του οχήματος και του προπορευόμενου ελαχιστοποιηθεί κατά πολύ, τότε ενεργοποιείται η λειτουργία προειδοποίησης απόστασης, ενημερώνοντας τον οδηγό ότι η απόσταση είναι πολύ μικρή.

Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν αισθητήρες που ανιχνεύουν την απόσταση μεταξύ των οχημάτων, ωστόσο πολλές φορές δεν έχουν σωστό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, μπορεί να μην εντοπιστούν οχήματα που κινούνται εκτός της λωρίδας κυκλοφορίας, καθώς επίσης και τα μικρά οχήματα όπως είναι οι μοτοσικλέτες. Επίσης, η ικανότητα του προσαρμοστικού ελέγχου κίνησης μειώνεται δραστικά σε περιπτώσεις έντονων καιρικών συνθηκών, όπως για παράδειγμα είναι η έντονη βροχόπτωση. Αξίζει να σημειωθεί πως το σύστημα Adaptive Cruise Control δεν αποτελεί σύστημα αποφυγής πρόσκρουσης, για το οποίο θα μιλήσουμε παρακάτω.

Τέλος, τα συστήματα αυτά διαθέτουν διόφθαλμα συστήματα μηχανικής όρασης(binocular computer vision systems), χρησιμοποιώντας κάμερες μικρού μεγέθους στο πίσω μέρος του καθρέπτη του οχήματος που αποσκοπούν στην ανίχνευση αντικειμένων, τα οποία βρίσκονται στη τροχιά του οχήματος.



Εικόνα 41. Σύστημα Adaptive Cruise Control [54]

7.3 Σύστημα προειδοποίησης απόκλισης από τη λωρίδα (LDWS)

Το σύστημα αυτό αποτελεί σημαντική εφαρμογή της μηχανικής όρασης στα αυτόνομα οχήματα. Σκοπός του συστήματος αυτού είναι η διατήρηση του οχήματος εντός μιας λωρίδας κυκλοφορίας, αποφεύγοντας πλευρικές συγκρούσεις με άλλα οχήματα ή αντικείμενα. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού απαιτείται η σωστή αντίληψη των ορίων των λωρίδων κυκλοφορίας του δρόμου από το όχημα και η ακριβή του τοποθέτηση πάνω σε αυτόν. Για να εφαρμοστεί αυτό στη πράξη, μπορούν να εφαρμοστούν διάφοροι μέθοδοι, όπως είναι οι μαγνητικοί δέκτες στο δρόμο, μία κάμερα με αισθητήρα και οι αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Μία αποτελεσματική μέθοδος ανίχνευσης λωρίδας κυκλοφορίας είναι οι ενσωματωμένοι μαγνητικοί δέκτες στο δρόμο, όπου εκπέμπουν ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο μπορεί να εντοπιστεί από αισθητήρες του οχήματος. Παρά την αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου, καθίσταται δύσκολη η εφαρμογή της, διότι θα έπρεπε σε όλους τους δρόμους να ενσωματωθούν μαγνήτες.

Μία δεύτερη επικρατέστερη μέθοδος αποτελεί η χρήση μιας κάμερας με αισθητήρα, όπου η ψηφιακή εικόνα θα επεξεργαστεί, με αποτέλεσμα την μοντελοποίηση των λωρίδων και κατά συνέπεια την ανίχνευση αυτών και της θέσης του οχήματος. Ωστόσο και αυτή η μέθοδος παρουσιάζει πρόβλημα, καθώς κάτω

από δύσκολες καιρικές συνθήκες, όπως χιόνι και έντονη βροχόπτωση, είναι δύσκολος ο προσδιορισμός των ορίων των λωρίδων κυκλοφορίας.

Μία ακόμα μέθοδος ανίχνευσης λωρίδας κυκλοφορίας αποτελεί η εφαρμογή αισθητήρων υπέρυθρης ακτινοβολίας κάτω από το όχημα. Αποτέλεσμα αυτού είναι η επεξεργασία εισερχόμενων ανακλάσεων, με το όχημα να αντιλαμβάνεται τα όρια των λωρίδων.

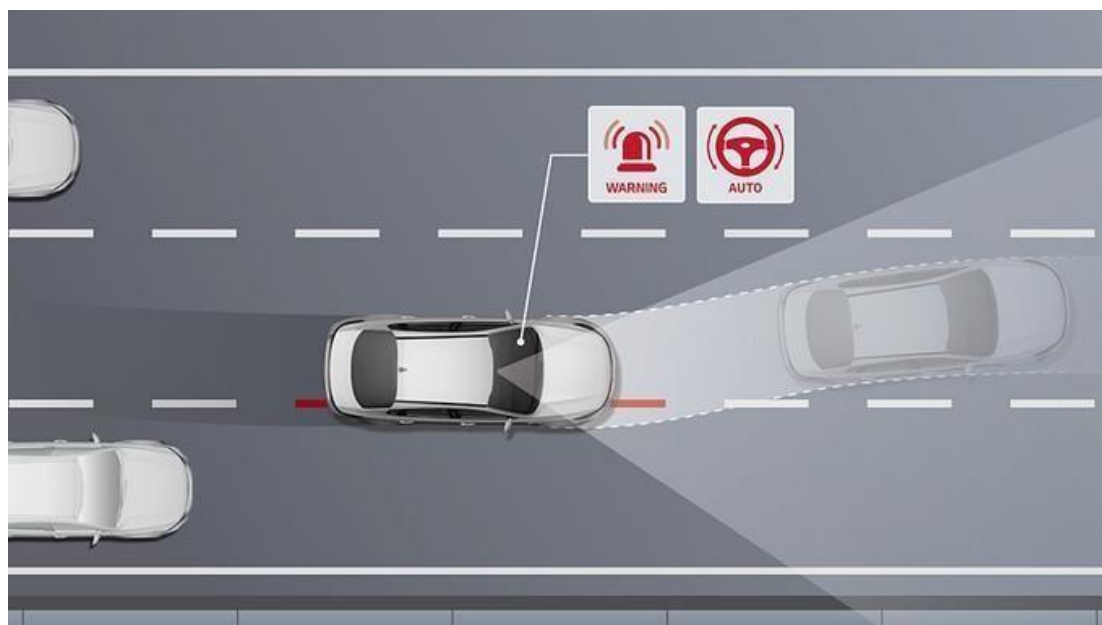
Σε περίπτωση που το όχημα βγει εκτός των ορίων της λωρίδας στην οποία κινείται, ο οδηγός ειδοποιείται μέσω ηχητικής και φανεράς ειδοποίησης στο ταμπλό του οχήματος. Παράλληλα με τις ειδοποιήσεις, το τιμόνι υφίσταται μικρές δονήσεις, με την ένταση τους να αυξάνεται όσο το όχημα συνεχίζει να κινείται εκτός της λωρίδας του.

7.4 Σύστημα υποβοήθησης διατήρησης λωρίδας (LKA)

Το σύστημα Lane Keeping Assist, αποσκοπεί στην διατήρηση του οχήματος επάνω σε μία λωρίδα κυκλοφορίας αυτοκινητόδρομου, μειώνοντας τις πιθανότητες ακούσιας εκτροπής του οχήματος από τη λωρίδα. Σε περίπτωση που το όχημα παρεκκλίνει από τη λωρίδα του, αυτομάτως εφαρμόζεται το σύστημα υποβοήθησης διεύθυνσης για να το ξανά θέσει εντός της λωρίδας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ροπής στρέψης του τιμονιού προς τη κατάλληλη κατεύθυνση. Το σύστημα ενεργοποιείται σε ταχύτητες άνω των 60 χλμ/ώρα, επομένως δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε αστικούς δρόμους.

Κατά τη λειτουργία του συστήματος υποβοήθησης διατήρησης λωρίδας, εφαρμόζονται παράλληλα επιπλέον εφαρμογές, μεταξύ των οποίων είναι η αναγνώριση της πορείας όπου κινείται το όχημα καθώς και η διόρθωση της τροχιάς που αυτό έχει επιλέξει. Με τη βοήθεια μιας κάμερας που βρίσκεται τοποθετημένη στο μπροστινό μέρος του οχήματος, καταγράφεται η εικόνα του περιβάλλοντος που αντικρίζει μπροστά το όχημα, η οποία στέλνεται στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου για ψηφιοποίηση. Στην μονάδα αυτή πραγματοποιείται η ανάλυσή της και επεξεργάζεται για μελλοντικές χρήσεις. Η εικόνα που λαμβάνεται δεν επαρκεί ωστόσο για την πλήρη λειτουργία του συστήματος, για αυτό και εκτός από την κάμερα, το σύστημα συμπεριλαμβάνει έναν αριθμό αισθητήρων με σκοπό την αποτελεσματικότερη ερμηνεία των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, συμπεριλαμβάνονται αισθητήρες υπέρυθρων στο κάτω μέρος του οχήματος, με σκοπό την αποδοτικότερη αναγνώριση οδικών σημάνσεων στο σκοτάδι, κάνοντας χρήση ακτινοβολίας στο υπέρυθρο φάσμα. Ακόμα, διατίθενται αισθητήρες λέιζερ στο μπροστινό προφυλακτήρα του οχήματος, οι οποίοι με τη βοήθεια αλγορίθμων

προβάλλουν με μεγάλη ευκρίνεια τις γραμμές του οδοστρώματος από όπου διέρχεται το όχημα.



Εικόνα 42. Σύστημα υποβοήθησης διατήρησης λωρίδας [65]

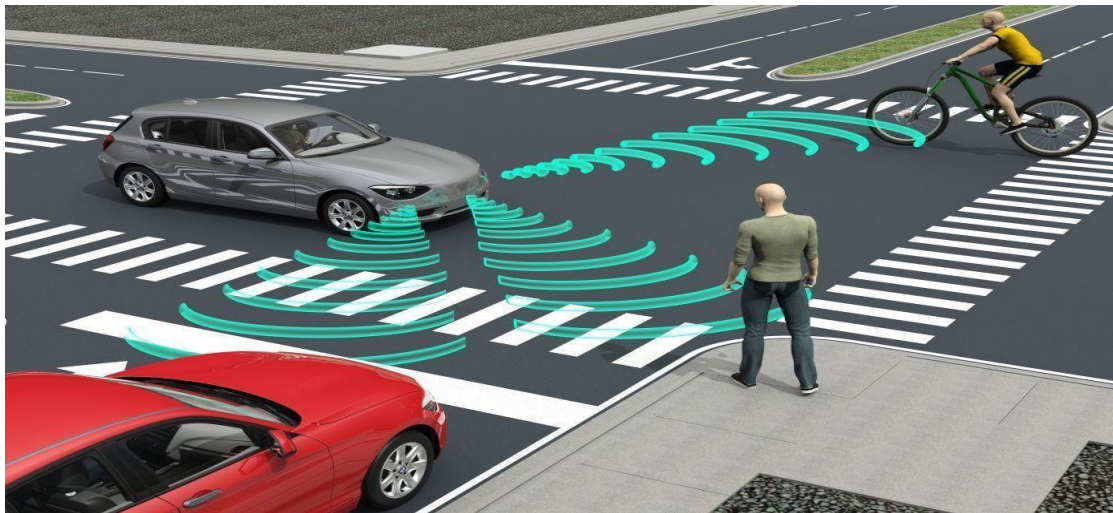
7.5 Σύστημα αποφυγής πρόσκρουσης (CAS)

Τη τελευταία δεκαετία, τα οχήματα θεωρούνται αναγκαίο μεταφορικό μέσο, με ένα μεγάλο ποσοστό πολιτών να τα επιλέγει για την μετακίνησή του καθημερινά. Ωστόσο, τα οχήματα αποτελούν ένα μεγάλο ποσοστό πρόκλησης ατυχημάτων και σε αρκετές περιπτώσεις και αυτοκινητιστικών δυστυχημάτων. Όμως σήμερα, με την πρόοδο της μηχανικής μάθησης στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας, το ποσοστό αυτό αρχίζει και περιορίζεται. Πέρα των προηγούμενων συστημάτων μηχανικής όρασης στα οποία αναφερθήκαμε, ένα νέο σύστημα έρχεται να συμβάλει στην ελάττωση του ποσοστού αυτοκινητιστικών ατυχημάτων, το σύστημα αποφυγής πρόσκρουσης.

Το σύστημα αποφυγής πρόσκρουσης ανιχνεύει αντικείμενα στη διαδρομή ενός οχήματος, με απώτερο σκοπό το αυτοματοποιημένο σύστημα του οχήματος ή ο ανθρώπινος χειριστής να αναλάβει τα αναγκαία μέτρα για την αποφυγή αυτών. Αντικείμενα που μπορούν να βρεθούν στη διαδρομή του οχήματος θεωρούνται οι σημάνσεις του κώδικα οδικής κυκλοφορίας καθώς και άλλα οχήματα που κινούνται

στο ίδιο περιβάλλον με αυτό. Σε περίπτωση που το σύστημα εντοπίσει πιθανότητα σύγκρουσης αναλαμβάνει τον έλεγχο στα φρένα, ενώ παράλληλα σφίγγει τις ζώνες.

Οι αισθητήρες σύγκρουσης είναι κυρίως τοποθετημένοι στο μπροστινό και πίσω μέρος των οχημάτων. Οι αισθητήρες λειτουργίας του συστήματος είναι κυρίως ραντάρ και ηχητικοί. Ένας παλμός κατεύθυνσης φωτός υψηλής συχνότητας ήχου εκπέμπεται στους αισθητήρες αποφυγής πρόσκρουσης. Σε περίπτωση που βρεθούν αντικείμενα στη διαδρομή του οχήματος, ένα μέρος της ενέργειας του παλμού αντανακλάται πίσω. Ακόμα, το σύστημα αποφυγής πρόσκρουσης διαθέτει υπερήχους, ιδανικοί για χαμηλές συχνότητες και μικρές αποστάσεις. Υπάρχουν επίσης αισθητήρες ραντάρ, οι οποίοι είναι ικανοί να ανιχνεύσουν αντικείμενα σε απόσταση έως και διακόσια μέτρα από το όχημα. Εκτός από αισθητήρες, το σύστημα CAS λαμβάνει δεδομένα από δορυφόρους GPS, αποκτώντας έτσι μια εικόνα με όλα τα εμπόδια που βρίσκονται εντός του εύρους κίνησης του οχήματος.



Εικόνα 43. Σύστημα αποφυγής πρόσκρουσης [64]

7.6 Σύστημα υποβοήθησης παρκαρίσματος (PAS)

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στην οδήγηση αποτελεί η στάθμευση. Πληθώρα οδηγών αντιμετωπίζει πρόβλημα στο σωστό παρκάρισμα του οχήματος και ειδικά σε περιορισμένο χώρο. Στην αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος αναπτύχθηκε το σύστημα υποβοήθησης παρκαρίσματος (Parking Assist System), το οποίο εφαρμόζει αισθητήρες υπερήχων, προκειμένου να προσδιορίσει την οριοθέτηση μιας ελεύθερης επιφάνειας, επιτρέποντας την οριζόντια ή κάθετη στάθμευση του οχήματος. Πριν το όχημα ξεκινήσει τη διαδικασία παρκαρίσματος, προϋπόθεση αποτελεί ο περιμετρικός έλεγχος του χώρου, εκμηδενίζοντας τις πιθανότητες σύγκρουσης με πεζούς και άλλα οχήματα. Οι αισθητήρες υπερήχων, οι

οποίοι εφαρμόζονται στο σύστημα PAS, είναι ενσωματωμένοι στον μπροστινό και πίσω προφυλακτήρα του οχήματος, προειδοποιώντας με ηχητικά σήματα για τη παρουσία εμποδίου. Απόρροια αυτού του συστήματος είναι η επιτυχημένη ολοκλήρωση στάθμευσης με απόλυτη ασφάλεια. Πέρα από τους αισθητήρες υπερήχων, εξίσου σημαντική είναι η κάμερα οπισθοπορείας. Πρόκειται για μια κάμερα τοποθετημένη στο πίσω μέρος του οχήματος, η οποία είναι ενεργοποιημένη όταν ενεργοποιείται η όπισθεν. Η κάμερα αυτή δίνει τη δυνατότητα στον οδηγό ή το αυτοματοποιημένο σύστημα να γνωρίζει αν υπάρχουν αντικείμενα πίσω από το όχημα και κατά συνέπεια την αποφυγή τυχόν σύγκρουσης με αντικείμενο που δεν εντοπίζεται μέσα από τους καθρέφτες.



Εικόνα 44. Σύστημα υποβοήθησης παρκαρίσματος [66]

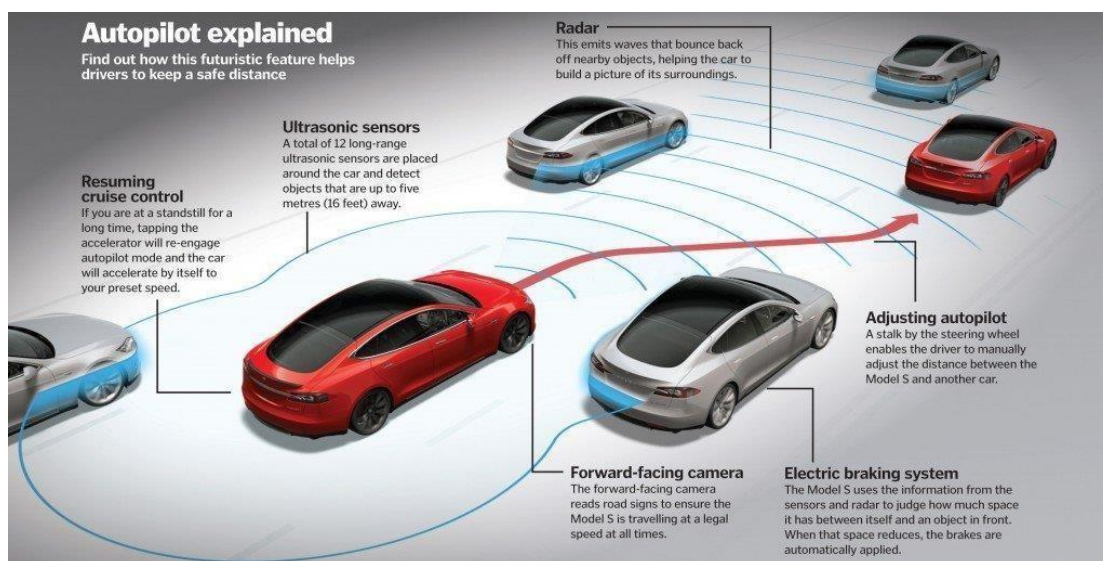
7.7 Χρήση μηχανικής όρασης από αυτοκινητοβιομηχανίες

Σε αυτό το σημείο θα παρουσιαστούν εφαρμογές μηχανικής όρασης από μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες, όπως είναι η Tesla και η General Motors, οι οποίες συνδυάζουν όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω.

Αρχικά, ένα από τα μεγαλύτερα πρότζεκτ αυτοκινητοβιομηχανίας στην αυτόνομη οδήγηση αποτελεί το Tesla Autopilot. Η Tesla διαθέτει προηγμένη κάλυψη αισθητήρων, με οκτώ κάμερες να παρέχουν περιμετρική ορατότητα καλύπτοντας απόσταση μέχρι και 250 μέτρα. Ακόμη, διαθέτει δώδεκα αισθητήρες υπερήχων, πλήρως ενημερωμένους, διευκολύνοντας την ανίχνευση αντικειμένων σε απόσταση έως και 400 μέτρων. Επιπλέον, το σύστημα Tesla Autopilot διαθέτει ραντάρ στο μπροστινό κομμάτι του οχήματος, το οποίο παρέχει επιπλέον δεδομένα για το εξωτερικό περιβάλλον γύρω από το μήκος διαδρομής του οχήματος, ακόμα και σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Τα δεδομένα που λαμβάνει το σύστημα,

επεξεργάζονται από ένα σύνολο εφαρμογών μηχανικής όρασης, γνωστό με την ονομασία Tesla Vision, το οποίο είναι χτισμένο σε βαθύ νευρωνικό δίκτυο και αφομοιώνει αποτελεσματικότερα το εξωτερικό περιβάλλον του οχήματος, καθώς το σύστημα αντλαμβάνεται εξωτερικά χαρακτηριστικά της διαδρομής τα οποία δεν μπορεί να αντιληφθεί ένας ανθρώπινος χειριστής.

Το σύστημα Tesla Autopilot, διαθέτει προηγμένες εφαρμογές μηχανικής όρασης, μεταξύ των οποίων είναι το σύστημα υποβοήθησης διατήρησης λωρίδας κυκλοφορίας. Τα μοντέλα της αυτοκινητοβιομηχανίας Tesla μπορούν να παραμείνουν σε μια λωρίδα κατά μήκος μιας διαδρομής, με αυτόματη εναλλαγή λωρίδας όποτε αυτό καθίσταται αναγκαίο. Επίσης, μπορούν να εξέλθουν αυτόματα από έναν αυτοκινητόδρομο ή κόμβο όταν είναι ενεργοποιημένο το σύστημα αυτόματης πλοήγησης. Με τη χρήση των αισθητήρων και της μηχανικής όρασης, τα μοντέλα Tesla είναι ικανά να διέρχονται από δρόμους που παρουσιάζουν πολυπλοκότητα, όπως είναι για παράδειγμα η στενότητα του χώρου. Ακόμα μια λειτουργία που διαθέτει το Tesla Autopilot αποτελεί το σύστημα αυτόματου παρκαρίσματος, χωρίς την ανάγκη παρουσίας οδηγού πίσω από το τιμόνι.



Εικόνα 45. Tesla Autopilot [68]

Πέρα από την αυτοκινητοβιομηχανία Tesla, ακόμα ένας κολοσσός στο τομέα της αυτόνομης οδήγησης έχει εξοπλίσει τα οχήματά του με τις πιο πρόσφατες λειτουργίες μηχανικής όρασης και αυτή είναι η αυτοκινητοβιομηχανία General Motors. Τα οχήματα της εταιρίας διαθέτουν αισθητήρες ραντάρ μεγάλης συχνότητας, οι οποίοι παρακολουθούν υψηλής ταχύτητας αντικείμενα, όπως είναι για παράδειγμα διερχόμενα οχήματα, ενώ διαθέτουν και αισθητήρες χαμηλής

συχνότητας, οι οποίοι είναι κατάλληλοι για παροχή πληροφοριών οχημάτων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Ακόμα, η General Motors έχει εξοπλίσει τα οχήματά της με κάμερες και LiDAR, αποσκοπώντας στην ταξινόμηση και παρακολούθηση αντικειμένων, όπως είναι η αναγνώριση πεζών κατά μήκος της διαδρομής του οχήματος, καθώς και η ανίχνευση σημάτων του κώδικα οδικής κυκλοφορίας. Στο σύνολο οι κάμερες είναι 16 και τα ραντάρ 21.



Εικόνα 46. Αισθητήρες αυτόνομων οχημάτων General Motors [67]

7.8 Αναγνώριση λωρίδας κυκλοφορίας με χρήση τεχνικών μηχανικής όρασης

Η αναγνώριση των λωρίδων κυκλοφορίας ενός αυτοκινητόδρομου αποτελεί βασική προϋπόθεση διασφάλισης της ομαλής κυκλοφορίας αυτού, ελαχιστοποιώντας τις πιθανότητες σύγκρουσης με διερχόμενα οχήματα. Η αναγνώριση αυτή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της μηχανικής όρασης.

Πρώτο στάδιο αποτελεί η ανάγνωση εικόνας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του matplotlib, όπου καθίσταται δυνατή η φόρτωση κάθε εικόνας στο σενάριο rython (rython script) σε τρισδιάστατη μορφή(χρώμα, ύψος και πλάτος). Στην εικόνα 47 φαίνεται η αρχική εικόνα και ο κώδικας.

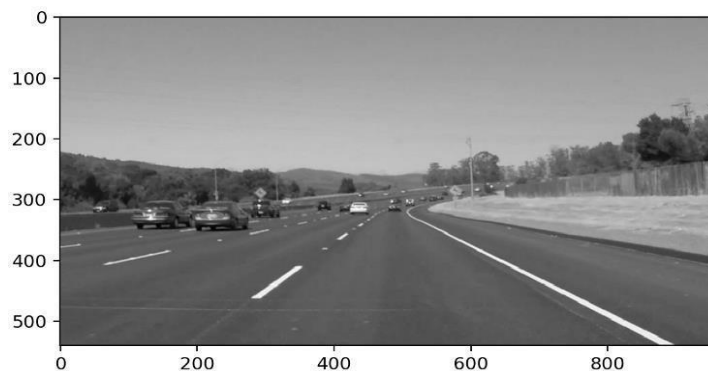


```
import matplotlib.image as mpimg

img_path = 'test_images/solidWhiteCurve'
img = mpimg.imread(img_path)
plt.imshow(img)
plt.show()
```

Εικόνα 47. Αρχική εικόνα και κώδικας [69]

Στη συνέχεια μετατρέπουμε την εικόνα σε κλίμακα του γκρι. Με αυτό επιτυγχάνεται η αναγνώριση των δύο άκρων της εικόνας, με ενδιάμεσα να επικρατεί γκρι χρώμα. Αυτό μπορεί εύκολα να υλοποιηθεί με τη χρήση του *OpenCV*. Ο κώδικας και η νέα εικόνα παρουσιάζονται στην εικόνα 48.




```
import cv2

gray_img = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_RGB2GRAY)
plt.imshow(gray_img, cmap='gray')
plt.show()
```

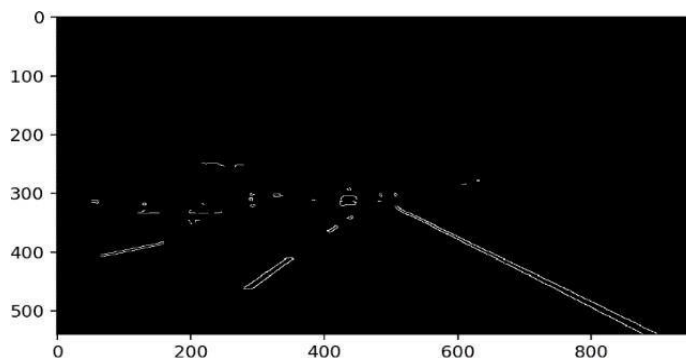
Εικόνα 48. Εικόνα γκρι κλίμακας και κώδικας [69]

Επόμενο βήμα αποτελεί η προεπεξεργασία εξομάλυνσης των άκρων της εικόνας, η οποία αποσκοπεί στην ελάττωση του θορύβου. Η τεχνική αυτή ονομάζεται Gaussian Blur. Με τις εντολές που υπάρχουν στην σελίδα 49, μειώνεται ο αριθμός των γραμμών που ανιχνεύεται, αποσκοπώντας στις σημαντικότερες γραμμές του αυτοκινητόδρομου, δηλαδή της λωρίδας κυκλοφορίας στην οποία κινείται το όχημα. Όσο ψηλότερη είναι η τιμή του kernel, τόσο πιο θολή είναι η τελική εικόνα.

```
kernel_size = 5
gauss_img = cv2.GaussianBlur(grey_img, (kernel_size, kernel_size), 0)
```

Εικόνα 49. Κώδικας Gaussian Blur [69]

Αφού έχει ολοκληρωθεί η προεπεξεργασία, εφαρμόζεται η τεχνική Canny Edge Detection, κατά την οποία εντοπίζονται οι άκρες της εικόνας απορρίπτοντας οτιδήποτε άλλο στοιχείο υπάρχει. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 50, οι λωρίδες διακρίνονται ξεκάθαρα, ακόμα και το όχημα φαίνεται. Η υλοποίηση του OpenCV απαιτεί δύο παραμέτρους, την χαμηλότερη τιμή και την υψηλότερη, η οποία καθορίζει εάν μια άκρη θα συμπεριληφθεί ή όχι. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα εφαρμόζουμε τις τιμές 200 και 300 αντίστοιχα.



```
low_threshold, high_threshold = [200, 300]
canny_img = cv2.Canny(gauss_img, low_threshold, high_threshold)
```

Εικόνα 50. Κώδικας και εικόνα με Canny Edge Detection [69]

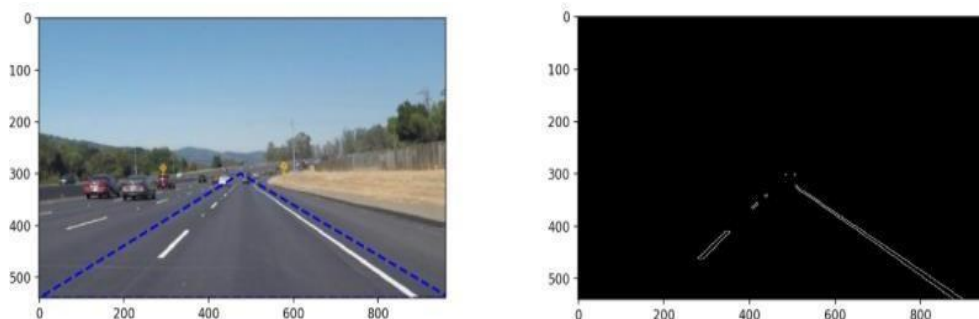
Πέμπτο βήμα αποτελεί η κάλυψη μιας περιοχής ενδιαφέροντος. Παρατηρούμε πως στην εικόνα 50 υπάρχουν ακραίες τιμές που παραπέμπουν σε βουνά. Σκοπός μας είναι να διακρίνονται οι γραμμές που μας αφορούν και όχι όλες. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη μιας μάσκας στην εικόνα, μέσω του κώδικα που εμφανίζεται στην εικόνα 51, η οποία στην ουσία πρόκειται για σχεδιασμό ενός τραπεζιού, με σκοπό την διατήρηση μόνο μιας περιοχής στην οποία θα βρίσκονται οι γραμμές/λωρίδες κυκλοφορίας.

```
# Setting the corners of the trapezium
vertices = np.array([[0, img_line.shape[0]], (img_line.shape[1],
img_line.shape[0]), (400, 260), (600, 260)])

# make a blank/white image
mask = np.zeros_like(img)
mask_channels = (255,) * img.shape[2]

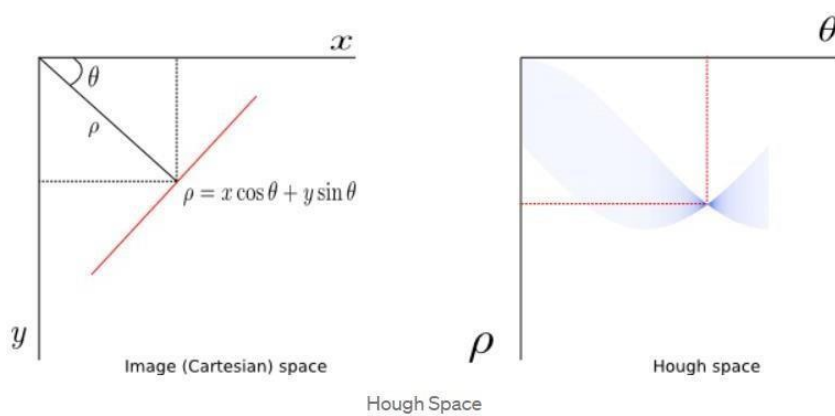
# Fill the area of interest with 0 and 255 these
# which lie outside of it, throughout all color channels
cv2.fillPoly(mask, vertices, mask_channels)

# Keep only the pixels with 0 value of the canny_img
masked_img = cv2.bitwise_and(canny_img, mask)
```



Εικόνα 51. Κώδικας, επιλεγμένη περιοχή (αριστερά) και εικόνα μετά τη χρήση της μάσκας (δεξιά) [69]

Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η τεχνική Hough Transform, κατά την οποία εντοπίζονται οι γραμμές της εικόνας, προσδιορίζοντας όλα τα σημεία που υπάρχουν σε αυτές. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της μετατροπής του συστήματός μας που αναπαρίσταται στον άξονα (x,y) σε ένα παραμετρικό με άξονες (m,b). Στο παραμετρικό σύστημα, οι γραμμές αντιπροσωπεύονται ως σημεία. Αναγκαία καθίσταται η μετακίνηση από το τρέχον σύστημα σε ένα χώρο Hough (Hough Space), διότι η αρχική έκφραση δεν είναι διαφοροποιήσιμη για $m=0$. Σε πολικές συντεταγμένες, η ευθεία εκφράζεται ως (ρ, θ) , διανύοντας απόσταση ρ στη γωνία θ από την αρχή, συναντώντας την ευθεία $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$ (εικόνα 52). Όλες οι ευθείες που διέρχονται από ένα δεδομένο σημείο, αντιστοιχούν σε μια ημιτονοειδή καμπύλη στο επίπεδο (ρ, θ) . Αυτό αυτομάτως σημαίνει ότι η ανίχνευση γραμμών στο καρτεσιανό επίπεδο περιορίζεται στην εύρεση τεμνόμενων ημιτονοειδών στο χώρο Hough.



Εικόνα 52. Hough Space [70]

Ο κώδικας παρουσιάζεται στην εικόνα 53.

```
import math

lines = cv2.HoughLinesP(img, rho=1, theta=math.pi/180,
                        threshold=15, np.array([]),
                        minLineLength=30,
                        maxLineGap=40)

line_img = np.zeros((img.shape[0], img.shape[1], 3), dtype=np.uint8)
```

Εικόνα 53. Κώδικας Hough lines Detector [69]

Ο παραπάνω κώδικας επιστρέφει πολλές μικρές λωρίδες, έχοντας ελάχιστο μήκος λωρίδας το 30 και μέγιστο το 40. Ως αποτέλεσμα προκύπτει μια λίστα αποτελούμενη από δύο σημεία (x1,y1) και (x2,y2). Όπως ξέρουμε, μόνο μια γραμμή μπορεί να περάσει από δύο σημεία.

Στη συνέχεια, χωρίζουμε την εικόνα στη μέση με αναφορά στον άξονα x. Έπειτα, εκπαιδεύουμε ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression) στα σημεία, προκειμένου να βρεθεί μια ομαλή γραμμή. Εξαιτίας των ακραίων τιμών, είναι αναγκαίο ένα παλινδρομικό μοντέλο, το οποίο είναι ικανό να μην αντιμετωπίσει κάποια δυσκολία. Για την επίτευξη αυτού θα γίνει εφαρμογή του HuberRegressor. Ακολούθως, θα δεσμεύσουμε την εικόνα εντός ενός συγκεκριμένου εύρους του άξονα y και με τη βοήθεια της εντολής cv2.polyLines θα αναπαρασταθεί γραφικά η γραμμή. Ο κώδικας μαζί με το αποτέλεσμα αναπαρίστανται στην εικόνα 54.

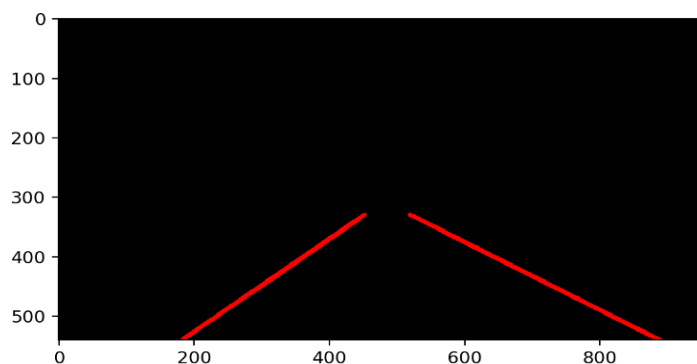
```
import math

def draw_lines(line_img, lines):
    # CODE HERE
    pass

lines = cv2.HoughLinesP(img, rho=1, theta=math.pi/180,
                        threshold=15, np.array([]),
                        minLineLength=30,
                        maxLineGap=40)

line_img = np.zeros((img.shape[0], img.shape[1], 3), dtype=np.uint8)
draw_lines(line_img, lines)

plt.imshow(line_img)
plt.show()
```



Εικόνα 54. Κώδικας εύρεσης των λωρίδων κυκλοφορίας και αποτέλεσμα [69]

Τελευταίο βήμα αποτελεί η σύνδεση των γραμμών με την αρχική εικόνα. Προσθέτουμε το αποτέλεσμα εύρεσης των λωρίδων κυκλοφορίας, το οποίο αναπαρίσταται στην εικόνα 54, με την αρχική εικόνα. Αυτό επιτυγχάνεται στην πράξη μέσω των παρακάτω εντολών.

```
out_img = cv2.addWeighted(img, 0.9, img_lines, 1.0, 0.0)
plt.imshow(out_img)
plt.show()
```

Να σημειωθεί πως οι μαύρες περιοχές της εντολής `img_lines` έχουν τιμή 0, οπότε η έξοδος δεν θα επηρεαστεί. Η έξοδος, δηλαδή το αποτέλεσμα της εύρεσης λωρίδων κυκλοφορίας ενός αυτοκινητόδρομου με χρήση τεχνικών μηχανικής όρασης, αναπαρίσταται στην εικόνα 55.

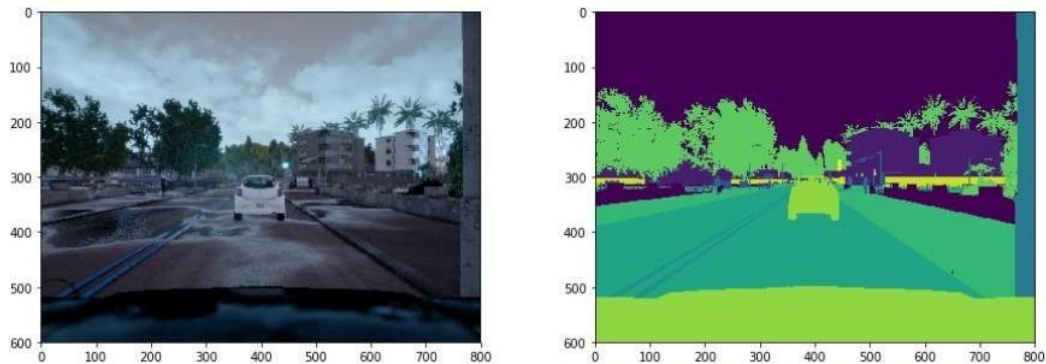


Εικόνα 55. Τελική εικόνα εύρεσης λωρίδας κυκλοφορίας [69]

7.9 Τμηματοποίηση εικόνας (Image segmentation)

Μία ακόμη τεχνική μηχανικής όρασης που εφαρμόζεται στα αυτόνομα οχήματα είναι η τμηματοποίηση εικόνας. Η τεχνική `image segmentation` διασπάει την εικόνα σε μικρότερα κομμάτια, με το καθένα να αντικατοπτρίζει ένα διαφορετικό αντικείμενο. Αυτό επιτυγχάνεται ταξινομώντας κάθε πίξελ της εικόνας σε μια συγκεκριμένη κλάση. Για τα διαφορετικά τμήματα της εικόνας γίνεται χρήση διαφορετικών χρωμάτων. Για παράδειγμα, ο αλγόριθμος μπορεί να χρωματίσει με γκρι χρώμα όλα τα οχήματα της εικόνας και με πράσινο τα δέντρα. Ανάλογα με το στοιχείο που είναι κάθε κομμάτι της εικόνας, ταξινομείται στην αντίστοιχη κλάση.

Στην εικόνα 56 δίνεται ένα παράδειγμα της τεχνικής της τμηματοποίησης εικόνας με την αριστερή εικόνα να αποτελεί την αρχική εικόνα και την δεξιά αυτήν μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου.



Εικόνα 56. Τεχνική τμηματοποίησης εικόνας [71]

Για να γίνει ευκολότερα κατανοητός ο αλγόριθμος της τμηματοποίησης εικόνας, θα γίνει αναφορά στο σύνολο δεδομένων Cityscapes. Αυτό το σύνολο δεδομένων διαθέτει τριάντα κλάσεις, μεταξύ των οποίων είναι οχήματα, δρόμοι και άνθρωποι. Επίσης, διαθέτει 5.000 εικόνες προς εκπαίδευση, με αυτές να είναι τυχαίας φωτεινότητας και αντίθεσης (ως γραμμική συνάρτηση της εικόνας εισόδου), βοηθώντας σε λογικές προβλέψεις σε δύσκολες συνθήκες φωτισμού. Όλες οι εικόνες έχουν μήκος 512 x 256 πίξελς. Ο κώδικας της εκπαίδευσης του συνόλου δεδομένων εμφανίζεται στην εικόνα 57.

```
import random

def bc_img(img, s = 1.0, m = 0.0):
    img = img.astype(np.int)
    img = img * s + m
    img[img > 255] = 255
    img[img < 0] = 0
    img = img.astype(np.uint8)
    return img

contr = random.uniform(0.85, 1.15) # Contrast augmentation
bright = random.randint(-45, 30) # Brightness augmentation
image = bc_img(image, contr, bright)
```

Εικόνα 57. Κώδικας εκπαίδευσης του συνόλου δεδομένων [72]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. B. Wu, F.N. Iandola, P.H. Jin and K. Keutzer, «SqueezeDet: Unified, Small, Low Power Fully Convolutional Neural Networks for Real-Time Object Detection for Autonomous Driving», CVPR Workshops, 2017.
2. M. A. Ranzato, Y. L. Boureau and L. LeCun, «Sparse Feature Learning for Deep Belief Networks», Advances in Neural Information Processing Systems 20, 2008.
3. Διαμαντάρας Κωνσταντίνος, Μπότσης Α. Δημήτρης, «Μηχανική Μάθηση», 2019.
4. Self-driving cars, Hari Chittilla, Dennis Sun, Computer Science Department, University of North Carolina, University of North Carolina Press, 2015.
5. History of self-driving cars, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_self-driving_cars.
6. The Google Car: Driving Toward A Better Future? , Sharon L. Poczter, Luka M. Jankovic, Cornell University, USA, Journal of Business Case Studies, 2014.
7. International Transport Forum, «Automated and Autonomous Driving: Regulation under uncertainty», Corporate Partnership Board Report, 2015.
8. SELF-DRIVING CARS: PROS AND CONS, <https://valientemott.com/blog/blog-self-driving-cars-pros-and-cons/>.
9. Self-driving cars: the good & the bad, Swinton insurance, <https://www.swinton.co.uk/car-insurance/guides/self-driving-cars>.
10. Keshav Bimbraw, 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, 2015.
11. Rejwan Bin Sulaiman, «Artificial Intelligence Based Autonomous Car», SSRN Electronic Journal, 2018.
12. Shahian J. Babak, Syed A. Hussain, Burak Karakas, Sabri Cetin, «Control of autonomous ground vehicles: a brief technical review», IOP Conf. Ser., 2017.
13. Self-driving car, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Self-driving_car.
14. Autonomous Infiniti Q50 ProPilot Prototype First Ride, <https://www.motortrend.com/news/autonomous-infiniti-q50-propilot-prototype-first-ride/>.
15. The F 015 Luxury in Motion, <https://www.mercedes-benz.com/en/innovation/autonomous/research-vehicle-f-015-luxury-in-motion/>.

16. Vision Tokyo: Connected Lounge. ,
<https://www.mercedes-benz.com/en/vehicles/passenger-cars/mercedes-benz-concept-cars/mercedes-benz-vision-tokyo-connected-lounge/>.
17. Volvo και Uber παρουσίασαν ένα πλήρως αυτόνομο XC90 έτοιμο για την παραγωγή 2019,
<https://www.drive.gr/news/tehnologia/volvo-kai-uber-paroysiasan-ena-pliros-aytonomo-xc90-etoimo-gia-tin-paragogi>.
18. The ID. Buzz. Like at home, everywhere.
https://www.volkswagen.gr/el/e-mobility-and-id/id_family/id_buzz.html.
19. Χρήστος Αποστολόπουλος, Στην παραγωγή το σύστημα αυτόνομης οδήγησης Επιπέδου 3 της Honda, 2020,
<https://www.4troxoi.gr/epikairotita/stin-paragogi-to-systima-aytonomis-odigisis-epipedoy-3-tis-honda/>.
20. Η Toyota εξελίσσει το αυτόνομο λεωφορείο e-Palette, NEWSROOM IEFIMERIDA.GR 2021,
<https://www.iefimerida.gr/aytokinito/i-toyota-exelissei-aytonomo-leoforeio-e-palette>.
21. Toyota's New "LQ" Wants to Build an Emotional Bond with Its Driver, 2019,
<https://global.toyota/en/newsroom/corporate/30063126.html>.
22. Tesla's mission is to accelerate the world's transition to sustainable energy,
<https://www.tesla.com/about>.
23. Tesla models, <https://www.tesla.com/models>.
24. Tesla Cybertruck, <https://www.tesla.com/cybertruck>.
25. Αυτόνομο Land Range Rover Sport στο Coventry Ring Road, ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΟ ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ ΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ 2018,
<https://www.tosynergieio.gr/autokinisi/auto-parousiaseis/land-rover-range-rover-sport>.
26. BMW PERSONAL COPILOT: AUTONOMOUS DRIVING,
<https://www.bmw.com/mt/en/topics/fascination-bmw/bmw-autonomous-driving.html>.
27. The BMW Vision INEXT,
<https://www.bmw.ie/en/topics/fascination-bmw/bmw-concept-vehicle/bmw-vision-inext.html>.
28. Hyundai IONIQ 5,
<https://autoholix.com/2021/03/05/hyundai-ioniq-5/>.

29. Hyundai: Ιπτάμενο ταξί σε συνεργασία με την Uber, [naftemporiki.gr](https://www.naftemporiki.gr/story/1553711/hyundai-iptameno-taksi-se-sunergasia-me-tin-uber) 2020,
<https://www.naftemporiki.gr/story/1553711/hyundai-iptameno-taksi-se-sunergasia-me-tin-uber>.
30. TOYOTA SAFETY SENSE: THE MOST COMPREHENSIVE ACTIVE SAFETY SYSTEM IN THE WORLD,
<https://www.toyota.gr/world-of-toyota/safety/toyota-safety-sense>.
31. THE FULLY AUTONOMOUS SCANIA AXL,
<https://www.scania.com/uk/en/home/experience-scania/features/axl.html>.
32. M. SHUBBAK, «How Self-Driving Cars work?», 2015,
<https://www.shubbak.de/how-self-driving-cars-work/>.
33. Harish Kumar, «Computer vision and Machine Learning in Autonomous Vehicle», 2020,
https://www.researchgate.net/publication/347446235_Computer_vision_and_Machine_Learning_in_Autonomous_Vehicle.
34. LiDAR: Η συσκευή που έκανε τα αυτόνομα αυτοκίνητα πραγματικότητα, TRACTION 2020,
<https://traction.gr/lidar-i-syskevi-pou-ekane-ta-aftonoma-aftokineta-pragmatikotita/>.
35. An autonomous driverless car: an idea to overcome the urban road challenges, Sheetal Ds Rathod, Department of Information Technology, JDIET Yavatmal Amaravati University Maharashtra, India, Journal of Information Engineering and Applications, 2013.
36. Autonomous Cars and Society ,Alex Forrest, Mustafa Konca ,Department of Social Science and Policy Studies, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA, Bachelor's Degree Thesis, 200.
37. Automatic Online Calibration of Cameras and Lasers, Jesse Levinson, Sebastian Thrun, Artificial Intelligence Laborator, Stanford University, Stanford University Press, 2013.
38. Andreas C. Muller and Sarah Guido, «Introduction to Machine Learning with Python», A Guide for Data Scientists, 2016.
39. FRANCOIS CHOLLET, «Deep Learning with Python», 2018
40. Hella: Αισθητήρας υπερήχων για την υποβοήθηση στάθμευσης, infoSERVICE, 2021,
<https://infoservice.com.gr/technologia/iella-aisthitiras-yperichon-gia-tin-ypovoithisi-stathmefsis/>.
41. Mahashreveta Choudhary, «Why LiDAR is important for autonomous vehicle?», GEOSPATIAL WORLD, 2020,
<https://www.geospatialworld.net/blogs/why-lidar-is-important-for-autonomous-vehicle/>.

42. Adrian Rosebrock, «Keras Conv2D and Convolutional Layers», pyimagesearch, 2018, <https://www.pyimagesearch.com/2018/12/31/keras-conv2d-and-convolutional-layers/>.
43. Lane Change Assistance System, Valeo, <https://www.valeo.com/en/lane-change-assistance-system/>.
44. Γιώργος Μούζος, «Ποια είναι τα συστήματα ασφαλείας των σύγχρονων αυτοκινήτων που μειώνουν τις ασφαλιστικές αποζημιώσεις;», nextdeal, 2020, <https://www.nextdeal.gr/epikairota/aytokinito/114104/poia-einai-ta-systimata-asfaleias-ton-syghronon-aytokiniton-poy>.
45. «What are Max Pooling, Average Pooling, Global Max Pooling and Global Average Pooling?», MACHINECURVE, 2020, <https://www.machinecurve.com/index.php/2020/01/30/what-are-max-pooling-average-pooling-global-max-pooling-and-global-average-pooling/>.
46. CNN | Introduction to Pooling Layer, 2021, <https://www.geeksforgeeks.org/cnn-introduction-to-pooling-layer/>.
47. MaxPool vs AvgPool, <https://iq.opengenus.org/maxpool-vs-avgpool/>.
48. Vaibhaw Singh Chandel, «Selective Search for Object Detection», LearnOpenCV, 2017, <https://learnopencv.com/selective-search-for-object-detection-cpp-python/>.
49. Dhruv Parthasarathy, «A Brief History of CNNs in Image Segmentation: From R-CNN to Mask R-CNN», Athelas, 2017, <https://blog.athelas.com/a-brief-history-of-cnns-in-image-segmentation-from-r-cnn-to-mask-r-cnn-34ea83205de4>.
50. C. Muenker, «Using Convolutional Neural Networks to distinguish vehicle pose and vehicle class», Technische Universitat Darmstadt, 2016.
51. Object detection in Deep learning, 2019, <https://medium.com/ai%C2%B3-theory-practice-business/object-detection-in-deep-learning-part2-855b78689f13>.
52. Συστήματα ADAS, CARGLASS.
53. «You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection», Joseph Redmon: University of Washington, Santosh Divvala: Allen Institute for Artificial Intelligence, Ross Girshick: Facebook AI Research, Ali Farhadi University of Washington.
54. Adaptive cruise control – ACC, <https://www.volvocars.com/gr/support/manuals/s60/2016w46/driver-support/adaptive-cruise-control/adaptive-cruise-control---acc>.

55. Lane Departure Warning (LDW),
<https://www.volvocars.com/gr/support/manuals/s60/2016w46/driver-support/lane-assistance/lane-departure-warning-ldw>.
56. Korada Harish Kumar, «Computer vision and Machine Learning in Autonomous Vehicle», Computing Department, Bournemouth University.
57. To Toyota e-Palette Concept στη CES 2018, 2018,
<https://www.4troxoi.gr/epikairotiata/to-toyota-e-palette-concept-sti-ces-2018/>.
58. Οι τεχνολογίες πίσω από τα αυτόνομα οχήματα, 2016,
<https://www.autonomous.gr/the-self-driving-technology-behind-self-driving-cars-and-issues-1856/>.
59. Object Detection with Single Shot MultiBox Detector,
<https://github.com/enginar/SSD-Object-Detection>.
60. R-CNN, Fast R-CNN, Faster R-CNN, YOLO – Object Detection Algorithms, 2018, <https://towardsdatascience.com/r-cnn-fast-r-cnn-faster-r-cnn-yolo-object-detection-algorithms-36d53571365e>.
61. History of self-driving cars, Wikipedia,
https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_self-driving_cars.
62. Mercedes-Benz's new Vision Tokyo concept is a self-driving lounge,
<https://www.topgear.com/car-news/concept/mercedes-benzs-new-vision-tokyo-concept-self-driving-lounge>.
63. ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΤΟ LANE KEEPING ASSIST,
<https://avtotachki.com/el/kak-rabotaet-sistema-kontrolya-polosy-dvizheniya/>.
64. Αισθητήρας ραντάρ – περιορισμοί,
<https://www.volvocars.com/gr/support/manuals/v40-cross-country/2018w17/driver-support/cruise-control/aisthitiras-rantar---periorismoι>.
65. Σύστημα διατήρησης λωρίδας lkas.Lane Keeping Assist,
<https://tdiesel.ru/el/sistema-uderzhaniya-v-polose-lkas-sistema-pomoshchi-dvizheniyu-po.html>.
66. EL PARK ASSIST: TU ASISTENTE DE APARCAMIENTO,
<https://www.carglass.es/blog/conduce-seguro/park-assist/>.
67. Sensors Map the Path to Fully Autonomous Vehicles 2018,
https://www.novuslight.com/sensors-map-the-path-to-fully-autonomous-vehicles_N8401.html.
68. Tesla Autopilot, <https://www.tesla.com/autopilot>.
69. Line Detection: Make an Autonomous Car see Road Lines,
<https://towardsdatascience.com/line-detection-make-an-autonomous-car-see-road-lines-e3ed984952c>.
70. Udacity Self-Driving Car Nanodegree Project 1 – Finding Lane Lines,
<https://medium.com/computer-car/udacity-self-driving-car-nanodegree-project-1-finding-lane-lines-9cd6a846c58c>.

71. Image segmentation for self-driving cars,
<https://www.phun.me/2018/image-segmentation-for-self-driving-cars/>.
72. Neural network for multiclass image segmentation,
<https://nikolasent.github.io/deeplearning/2017/09/21/Neural-network-for-multiclass-image-segmentation.html>.