ΠΑΝΕΠΗΣΤΙΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
University of West Attica

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΕΙΑ

"Επισκόπηση στην εξέλιξη των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων εδάφους"

"Survey on UGV evolution"



ΒΕΝΙΖΕΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΤΣΙΝΑΛΗΣ ΑΝΑΡΓΥΡΟΣ – ΧΡΗΣΤΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΟΛΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ
2019


1925
Houdina Radio Control demonstrates a radio-controlled "driverless" car
1956
The GM Firebird II is equipped with receivers for detector circuits embedded in roadways
1958
The Chrysler Imperial is the first car with cruise control
1979
The Stanford Cart uses video processing to navigate a cluttered room without human input
1995
The VaMP autonomous vehicle drives (almost) completely autonomously for 2,000km.
2004
The DARPA Grand Challenge is founded to incentivise autonomous vehicle development
DARPA
2009
The Google Self-Driving Car project begins
2016
Google's Self-Driving Car has its first accident
2015
Tesla releases its Autopilot software update.
2017
GM plans to include autonomous controls in the Bolt and Super Cruise in the Cadillac CT6.
GM
Volvo plans to launch 100 self-driving vehicles to customers.
VOLVO
2020
Slated release of Honda's near-fully autonomous vehicle
2021
Slated release for BMW's iNEXT.
BMW

Περίληψη

Τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα εδάφους (UGV) αναμένεται να φέρουν μια επανάσταση στις μετακινήσεις, εφόσον έρχονται να απαλείψουν την ανάγκη ύπαρξης του ανθρώπου οδηγού εντός του οχήματος. Συνεπώς, δεν προκαλεί απορία το γεγονός ότι αποτελούν την αιχμή του δόρατος στις εξελίξεις στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Η ιστορία της έρευνας στον τομέα της αυτο-οδήγησης ξεκινά ήδη από τη δεκαετία του 1920 και έκτοτε έχουν προκύψει μια σειρά από σημαντικές τεχνολογικές ανακαλύψεις που φέρνουν τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα πιο κοντά στην πραγματικότητα. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει την εξέλιξη των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων. Η ερευνητική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση. Ειδικότερα, πραγματοποιήθηκε έρευνα σε διαδικτυακές μηχανές αναζήτησης όπως το Google Scholar και το Research Gate, προκειμένου να εντοπιστούν επιστημονικά κείμενα και άρθρα σχετικά με το υπό μελέτη θέμα.

Λέξεις κλειδιά: αυτο-οδηγούμενα οχήματα εδάφους, αυτο-οδηγούμενα αυτοκίνητα, αυτόνομη οδήγηση, Lidar.

Abstract

Unmanned ground vehicles (UGVs) are expected to revolutionize the way we travel, as they eliminate the need for a human driver being within the vehicle. Consequently, it is no wonder that they constitute the cutting edge of developments within the automotive industry. The history of the research related to self-driving began in the 1920s, and since then a number of important technological breakthroughs have emerged, bringing thus the self-driving vehicles closer to reality. The purpose of this paper is to investigate the development of self-driving vehicles. The research methodology utilized is the bibliographic review. In particular, research has been carried out on online search engines such as Google Scholar and Research Gate to identify scientific texts and articles regarding the topic under consideration.

Key words: unmanned ground vehicles, self-driving cars, autonomous driving, Lidar.

Περιεχόμενα

Περίληψη 3
Abstract 4
Περιεχόμενα 5
Περιεχόμενα Εικόνων 7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ 8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Ιστορική Αναδρομή 17
1.1. Δεκαετία 1920 18
1.2 Δεκαετία 1930 19
1.3 Δεκαετία 1950 19
1.4 Δεκαετία 1960 20
1.5 Δεκαετία 1970 20
1.6 Δεκαετία 1980 21
1.7 Δεκαετία 1990 22
1.8 Δεκαετία 2000 24
1.9 Δεκαετία 2010 26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Νομικά Ζητήματα & Αυτο-οδηγούμενα Οχήματα 33
2.1 Ευθύνη 33
2.1.1 Νομοθεσία στις ΗΠΑ 36
2.1.2 Νομοθεσία στην Ευρώπη 40
2.1.3 Νομοθεσία τρίτων χωρών 43
2.2 ΠροστασίαΠροσωπικώνΔεδομένων 45
2.2.1 ΝομοθεσίαστιςΗΠΑ 47
2.2.2 ΝομοθεσίαστηνΕυρώπη 48
2.2.3 Νομοθεσίασε τρίτες χώρες 49
2.3 Κυβερνοασφάλεια 50
2.3.1 ΝομοθεσίαστιςΗΠΑ 52
2.3.2 ΝομοθεσίαστηνΕυρώπη 52
2.3.3 Νομοθεσίασετρίτεςχώρες 53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Τελευταία Μοντέλα Αυτο-οδηγούμενων Οχημάτων 55
3.1 BMW 55
3.2 GeneralMotors 57

3.3 Google 58
3.4 Nissan 62
3.5 Tesla 63
3.6 Toyota 66
3.7 ΌμιλοςVolkswagen 68
3.8 Volvo 70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤεχνολογίαΑυτο-οδηγούμενωνΟχημάτων 72
4.1 Σύστημα εντοπισμού της θέσης &πλοήγησης του αυτοκινήτου 74
4.1.1 GPS 75
4.1.2 Τα αδρανειακά συστήματα πλοήγησης (InertialNavigationSystems ή INS)& αδρανειακές μονάδες μέτρησης (InertialMeasurementUnit ή IMU) 76
4.2 Αντίληψη του περιβάλλοντος 81
4.2.1 Ραντάρ 82
4.2.2 Λέιζερ 82
4.2.3 LiDAR 84
4.2.4 Υπερηχητικοί αισθητήρες 86
4.2.5 Συστήματα όρασης 86
4.3 Έλεγχος οχήματος 88
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 92

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1. Ορισμοί της αυτοματοποιημένης οδήγησης κατά την SAE&NHTSA (EPoSS, 2015:3) 11
Εικόνα 2. Το πρώτο αυτο-οδηγούμενο όχημα Linriccan Wonder 18
Εικόνα 3. Το Stanford Card 21
Εικόνα 4. Το αυτο-οδηγούμενο αυτοκίνητο Stanley που κέρδισε τη DARPA Grand Challenge το 2005 25
Εικόνα 5. Το μοντέλο Jiao (Pride) του αυτοκινήτου EN-V της General Motors 27
Εικόνα 6. Το πρωτότυπο αυτο-οδηγούμενο όχημα της Google (Whitwam, 2014) 27
Εικόνα 7. Το ToyotaPrius της Google (waymo.com, 2019) 60
Εικόνα 8. Το LexusRX450h της Google (waymo.com, 2019) 60
Εικόνα 9. Το μοντέλο αυτο-οδηγούμενου αυτοκινήτου Firefly της Google (waymo.com, 2019). 61
Εικόνα 10. Το Chrysler Pacifica Hybrid minivan της Waymo (waymo.com, 2019)..... 61
Εικόνα 11. Sensors and their functionality in autonomous vehicle (Babak et al., 2017). 72
Εικόνα 12.Εικόνα από LiDAR..... 73
Εικόνα 13. IMU (Babak et al., 2017) 76
Εικόνα 14. Κοιλότητα δακτυλίου λέιζερ 79
Εικόνα 15. Το LiDARVelodyneHDL-64E (WCP, 2016). 84
Εικόνα 16. 3D εικόνα από VelodyneHDL-64E (WCP, 2016)..... 85
Εικόνα 17. Αρχές ενός συστήματος όρασης..... 88

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις μέρες μας οι τεχνολογικές εξελίξεις στην αυτοκινητοβιομηχανία, μέσω της εισαγωγής των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων, πρόκειται να επιφέρει μια πρωτοφανή επανάσταση σε όρους κινητικότητας και μεταφοράς του ατόμου (Daziano et al., 2017:2). Τα αυτόνομα ή αυτο-οδηγούμενα οχήματα αποτελούν μια επαναστατική τεχνολογία, η οποία έχει προσελκύσει τεράστια προσοχή τις τελευταίες δεκαετίες, (Kotseruba et al., 2017), ενώ τα πρώτα πειράματα στο πεδίο της αυτόνομης οδήγησης εντοπίζονται ήδη από την δεκαετία του 1920 (Molla, 2018). Σήμερα, πολλοί θεωρούν ότι τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα αποτελούν μια εξέλιξη εγγύτερη πραγματικότητα σε σχέση με το παρελθόν. Τα νέα μοντέλα αυτοκινήτων που κυκλοφορούν στην αγορά περιλαμβάνουν ήδη μια ποικιλία ημι-αυτόνομων χαρακτηριστικών όπως το σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας (ACC[1]), την αυτόματη στάθμευση, την καθοδήγηση αλλαγής λωρίδας και την αποφυγή συγκρούσεων. Επί της παρούσης, οι τεχνολογικοί γίγαντες και οι κατασκευάστριες εταιρείες αυτοκινήτων εργάζονται για την πλήρη αυτοματοποίηση, η οποία ονομάζεται επίσης αυτοματοποίηση επιπέδου 4(Pinjari et al., 2014), όπου «*Το όχημα έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί όλες τις κρίσιμες για την ασφάλεια λειτουργίες οδήγησης και να παρακολουθεί τις συνθήκες του οδοστρώματος για ένα ολόκληρο ταξίδι*. *Αυτό περιλαμβάνει και τα επανδρωμένα και τα μη επανδρωμένα οχήματα*» (National Highway Traffic Safety Administration, 2013). Ήδη η εταιρεία Google αναφέρει περισσότερα από 500.000 μίλια δοκιμών αυτο-οδηγούμενων οχημάτων σε δημόσιους αυτοκινητόδρομους, ενώ αρκετοί κατασκευαστές αυτοκινήτων έχουν ανακοινώσει την κυκλοφορία αυτο-οδηγούμενων οχημάτων μέσα στα επόμενα 5 χρόνια (Pinjari et al., 2014).

Η έννοια αυτο-οδηγούμενο αποτελεί ένα ασαφή όρο (Molla, 2018). Με την ευρύτερη έννοια του όρου, ένα αυτο-οδηγούμενο όχημα εδάφους (Unmanned Ground Vehicle - UGV) είναι οποιοδήποτε κομμάτι μηχανοποιημένου εξοπλισμού που κινείται στην επιφάνεια του εδάφους και χρησιμεύει ως μέσο μεταφοράς ή μετακίνησης, το οποίο δεν φέρει ρητώς οδηγό (Cage, 1995:1). Σύμφωνα με ένα άλλο ορισμό, ένα UGV είναι μια επίγεια μηχανική συσκευή που δύναται να αντιληφθεί και να αλληλεπιδράσει με το περιβάλλον της. Τα UGV, τα οποία χρησιμοποιούνται

[1]Adaptive Cruise Control

συχνά στη στρατιωτική ορολογία, αποτελούν στην πραγματικότητα επίγεια κινητά ρομπότ (Nguyen-Huu & Titus, 2009:5).

Ένα αυτο-οδηγούμενο αυτοκίνητο, επίσης γνωστό ως αυτοκίνητο ρομπότ, αυτόνομο αυτοκίνητο ή αυτοκίνητο χωρίς οδηγό, είναι ένα όχημα ικανό να ανιχνεύει το περιβάλλον του και να κινείται με ελάχιστη ή καθόλου ανθρώπινη παρέμβαση (Molla, 2018). Η τεχνολογία των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων επιτρέπει στο όχημα να πλοηγηθεί χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου οδηγού. Σημαντικές εταιρείες επιδίδονται σε διαγωνισμό για την ανάπτυξη αυτόνομων οχημάτων, τα οποία αναμένεται να κυκλοφορήσουν στο δρόμο για χρήση από το γενικό κοινό έως το έτος 2025 (Jordan & Cetin, 2015). Σε παγκόσμιο επίπεδο, μεγάλα ερευνητικά πανεπιστήμια εργάζονται για την ανάπτυξη ενός πλήρως αυτόνομου οχήματος όπως το Πανεπιστήμιο του Berkeley, της Καλιφόρνια, το TU Graz καθώς και το Κέντρο Έρευνας για την Έξυπνη Κινητικότητα (Smart Mobility Research Center) στο Τόκιο (Rahman et al., 2017:117).

Ωστόσο, κρίνεται αναγκαία και η αναφορά στην έννοια της αυτοματοποίησης. Τα αυτοματοποιημένα οχήματα χρησιμοποιούν τεχνολογίες ανίχνευσης και επικοινωνίας για ασφαλή και αποτελεσματική πλοήγηση με ελάχιστη ή καθόλου ανθρώπινη συμμετοχή. Η αυτοματοποιημένη τεχνολογία πλοήγησης περιλαμβάνει οποιονδήποτε συνδυασμό:

1. Αυτο-οδηγούμενα συστήματα πλοήγησης, τα οποία ενημερώνονται από αισθητήρες που βρίσκονται επί του οχήματος, από όχημα προς όχημα (Vehicle-to-Vehicle- V2V) (αυτόνομα οχήματα) και
2. Συστήματα επικοινωνίας οχήματος προς υποδομή (Vehicle-to-Infrastructure - V2I) που ενημερώνουν τις εφαρμογές πλοήγησης και αποφυγής συγκρούσεων (συνδεδεμένα οχήματα) (Molla, 2018). «*Οι εφαρμογές των συνδεδεμένων οχημάτων παρέχουν συνδεσιμότητα μεταξύ των οχημάτων, ώστε να επιτρέπουν την πρόληψη των συγκρούσεων, μεταξύ των οχημάτων και της υποδομής, ώστε να καθίσταται δυνατή η ασφάλεια, η κινητικότητα και τα περιβαλλοντικά οφέλη, μεταξύ των οχημάτων, των υποδομών και των ασύρματων συσκευών που παρέχουν συνεχή συνδεσιμότητα σε πραγματικό χρόνο σε όλους τους χρήστες του συστήματος*» (Coppola & Morisio, 2016:3). Ένας ακόμα πιο συνοπτικός ορισμός προσδιορίζει ένα συνδεδεμένο αυτοκίνητο ως «*ένα όχημα ικανό για απρόσκοπτη ενσωμάτωση με πολλαπλά συστήματα, που συνδέουν τους καταναλωτές με τον ψηφιακό κόσμο*» (Brookes &Pagani, 2014).

Παρόλο που οι επικοινωνίες V2V και V2I θεωρούνται ότι επιλύουν μια σειρά ζητημάτων στην αυτόνομη οδήγηση, παρουσιάζουν επίσης αρκετά μειονεκτήματα. Η τεχνολογία αυτή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τεχνολογία των κινητών τηλεφώνων, η οποία είναι δαπανηρή και έχει πολύ χαμηλότερη αξιοπιστία σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς αισθητήρες όπως τα ραντάρ και οι κάμερες. Επιπλέον, η επικοινωνία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σωστή λειτουργία όλων των εμπλεκόμενων μερών. Μια δυσλειτουργία σε οποιαδήποτε συσκευή επικοινωνίας σε οποιοδήποτε από τα εμπλεκόμενα συστήματα μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφικά προβλήματα ασφάλειας (Kotseruba et al., 2017).

Υπάρχουν τρία βασικά κριτήρια που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον καθορισμό του επιπέδου αυτοματοποίησης ενός οχήματος. Το πρώτο σημαντικό κριτήριο αφορά τις λειτουργίες ελέγχου, δηλ. την ικανότητα του συστήματος να αναλαμβάνει καθόλου, διαμήκη, ή πλευρικό έλεγχο, ή και τα δύο ταυτόχρονα. Το δεύτερο κριτήριο σχετίζεται με τον άνθρωπο οδηγό και με το αν του επιτρέπεται να αφιερώσει την προσοχή του εν μέρει ή πλήρως σε άλλες δραστηριότητες εκτός από την οδήγηση. Το τρίτο κριτήριο λαμβάνει υπόψη τις επιδόσεις του οχήματος και την ικανότητα του να κατανοεί ανεξάρτητα τις διαδικασίες που εμφανίζονται κατά την οδήγηση (EPoSS, 2015:2).

Η χρήση του όρου «αυτόνομος» στα μηχανοκίνητα οχήματα έχει υπάρξει στο παρελθόν ιδιαίτερα ασαφής, εφόσον σε ορισμένα νομοθετικά κείμενα η έννοια του «όρου αυτονομία» συνδέεται με ευρείες φιλοσοφικές έννοιες. Αντίθετα, η χρήση του όρου σε ένα τεχνικό πλαίσιο απλά σημαίνει (περισσότερο ή λιγότερο) ότι το όχημα λειτουργεί ανεξάρτητα από τη επέμβαση του οδηγού κατά την οδήγηση. Ένα «αυτόνομο σύστημα» είναι ως εκ τούτου μια τεχνική μονάδα που εκπληρώνει ορισμένα καθήκοντα χωρίς να εξαρτάται από ανθρώπινες εντολές (Ilková & Ilka, 2017). Υπάρχει μια πληθώρα ορισμών και κατηγοριοποιήσεων για την αυτόματη οδήγηση. Η Εθνική Αρχή Ασφάλειας της Οδικής Κυκλοφορίας (National Highway TrafficSafety Administration - NHTSA) έχει προτείνει πέντε επίπεδα αυτοματοποιημένης οδήγησης (Daziano et al., 2017:2; Molla, 2018):

- **Επίπεδο 0:** (χωρίς αυτοματοποίηση), όπου ο οδηγός ελέγχει πλήρως τις κρίσιμες για την ασφάλεια λειτουργίες.
- **Επίπεδο 1:** (αυτοματοποίηση συγκεκριμένης λειτουργίας), όπου ο οδηγός παραχωρεί περιορισμένο έλεγχο ορισμένων λειτουργιών στο όχημα, ειδικά σε

περίπτωση επικείμενης σύγκρουσης. Οι λειτουργίες αυτές περιλαμβάνουν τον προσαρμοστικό έλεγχο πορείας, τον ηλεκτρονικό έλεγχο σταθερότητας (Electronic Stability Programme - ESC) και την αυτόματη πέδηση.

- **Επίπεδο 2:** (αυτοματοποίηση συνδυασμένης λειτουργίας), το οποίο επιτρέπει χειρισμούς χωρίς τη χρήση τιμονιού και πεντάλ, αλλά ο οδηγός αναμένεται να είναι ανά πάσα στιγμή διαθέσιμος να αναλάβει τον έλεγχο του οχήματος. Οι χειρισμοί αυτοί περιλαμβάνουν τον προσαρμοστικό έλεγχο πορείας και την ευθυγράμμιση στη λωρίδα.
- **Επίπεδο 3:** (περιορισμένη αυτο-οδήγηση ή αυτοματοποίηση υπό όρους), όπου το όχημα ελέγχει ενδεχομένως όλες τις λειτουργίες ασφαλείας υπό ορισμένες συνθήκες κυκλοφορίας και περιβάλλοντος, αλλά ορισμένες συνθήκες απαιτούν την ανάληψη του ελέγχου από τον οδηγό.
- **Επίπεδο 4** (οδήγηση χωρίς οδηγό ή πλήρης αυτο-οδήγηση), όπου το όχημα ελέγχει όλες τις λειτουργίες ασφαλείας και παρακολουθεί τις συνθήκες καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού (Daziano et al., 2017:2).

Η SAE International από την άλλη προτείνει την ύπαρξη 6 επιπέδων αυτοματοποίησης, εφόσον διακρίνει το επίπεδο τέσσερα σε δυο διακριτά επίπεδα, εκείνο της υψηλής αυτοματοποίησης (4) και εκείνο της πλήρους αυτοματοποίησης (5) (βλ. Εικ. 1) (EPoSS, 2015:3).



Εικόνα 1. Ορισμοί της αυτοματοποιημένης οδήγησης κατά την SAE&NHTSA (EPoSS, 2015:3)

Τα σύγχρονα αυτόνομα οχήματα μπορούν να αντιληφθούν το περιβάλλον τους, να ταξινομήσουν διάφορα είδη αντικειμένων που ανιχνεύουν, να ερμηνεύσουν αισθητηριακές πληροφορίες για τον εντοπισμό κατάλληλων διαδρομών πλοήγησης, ενώ υπακούουν στους εκάστοτε κώδικες κυκλοφορίας. Έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στο κομμάτι της παροχής της κατάλληλης ανταπόκρισης σε απρόβλεπτες

συνθήκες, όπου είτε μπορεί να ανακύψει κάποιο πρόβλημα στο ίδιο το σύστημα των οχημάτων, είτε ενδέχεται κάποιο μέσο στο εξωτερικό περιβάλλον να μην συμπεριφερθεί κατά τον προβλεπόμενο τρόπο. Για τη διεξαγωγή επιτυχημένης αυτόνομης πλοήγησης σε τέτοιες καταστάσεις, είναι ιδιαίτερα βαρύνουσας σημασίας ο συνδυασμός ποικίλων τεχνολογιών από διαφορετικούς κλάδους που περιλαμβάνουν την επιστήμη των υπολογιστών, τη μηχανολογία, την ηλεκτρονική μηχανική, την ηλεκτρολογία και την τεχνολογία ελέγχου κλπ. (Deshpande, 2014; Bimbraw, 2015:191).

Τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα είναι επί της ουσίας ρομποτικά συστήματα και περιέχουν τρία βασικά στάδια λειτουργικότητας: Αντίληψη, Σχεδίαση και Ενέργεια. Η αντίληψη συνιστά την ικανότητα του οχήματος να αντιλαμβάνεται με ακρίβεια το περιβάλλον γύρω του. Η σχεδίαση, κοινώς αναφερόμενη και ως στρατηγική οδήγησης, είναι εκεί όπου λαμβάνονται αποφάσεις σχετικά με το ποιες στρατηγικές (επί παραδείγματι αλλαγή λωρίδων) και τακτικές αποφάσεις πρέπει να ληφθούν (Shalev – Shwartz et al., 2017), ώστε να μεγιστοποιηθούν οι ωφέλειες από τις ενέργειες που θα επιλεχθούν (Πρωτογέρου, 2017:5). Η ενέργεια είναι ο απότοκος της απόφασης (μεταφρασμένη σε μαθηματικές τροχιές και ταχύτητες) στους διάφορους ενεργοποιητές εντός του οχήματος για την εκτέλεση των αποφάσεων για την οδήγηση (Πρωτογέρου, 2017:5; Shalev – Shwartz et al., 2017).

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός μελετών που αναπτύσσουν την τεχνολογία των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων. Μολαταύτα, δεν υπάρχουν πραγματικά συστήματα που να ξεπερνούν τον οδηγό (ο οποίος είναι επίσης ένα ατελές σύστημα, αλλά εξακολουθεί να παραμένει το καλύτερο έως τώρα). Πολλές μέθοδοι σχεδιασμού βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη, όπως τα ασαφή συστήματα, τα νευρικά δίκτυα, τους εξελικτικούς αλγόριθμους ή τις μεθόδους βασισμένες σε κανόνες. Τα συστήματα αυτόνομης οδήγησης είναι αρκετά περίπλοκα και μπορούν να χωριστούν σε υποσυστήματα:

- σύστημα αντίληψης
- ερμηνευτής των κανόνων κυκλοφορίας
- σύστημα λήψης αποφάσεων (ελεγκτής συμπεριφοράς)
- ελεγκτής αυτοκινήτου χαμηλού επιπέδου (Czubenko et al., 2015: 570).

Τα αυτο-οδηγούμενα αυτοκίνητα συνδυάζουν μια ποικιλία αισθητήρων για να αντιληφθούν το περιβάλλον τους, όπως τα ραντάρ, τον υπολογιστή, το LiDAR, το Sonar, το GPS, την οπτική οδομετρία και τις μονάδες μέτρησης της αδράνειας. Τα

προηγμένα συστήματα ελέγχου ερμηνεύουν τις αισθητηριακές πληροφορίες για τον εντοπισμό κατάλληλων διαδρομών πλοήγησης, καθώς και τα εμπόδια και τη σχετική σήμανση (Molla, 2018).

Οι δυνητικές επιδράσεις των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων στον τρόπο με τον οποίο ταξιδεύουμε και στα μεταφορικά μας συστήματα έχει αποτελέσει αντικείμενο εκτεταμένων συζητήσεων και εικασιών. Μερικοί ερευνητές πιστεύουν ότι τα UGV μπορούν να μεταμορφώσουν τις ζωές μας και τα συστήματα μεταφορών στο εγγύς μέλλον, ενώ άλλοι παρουσιάζουν μια συγκρατημένα αισιόδοξη εικόνα, υποστηρίζοντας ότι πρέπει να διανυθεί ακόμα μεγάλη απόσταση, προτού να γίνουν εμφανή τα πολλαπλά οφέλη που αυτά συνεπάγονται για την ανθρωπότητα (Pinjari et al., 2014). Τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα αναμένεται να αποδώσουν πολλά καίρια πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά οχήματα με οδηγό (Schoettle & Sivak, 2015:1; Molla, 2018).

Ειδικότερα, η υιοθέτηση των αυτόνομων οχημάτων συνεπάγεται μια σειρά πιθανών οικονομικών και κοινωνικών οφελών, όπως περιγράφεται παρακάτω (Kotseruba et al., 2017):

- Μειωμένο κόστος οδήγησης και χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμων και εκπομπών ρύπων λόγω των ομαλότερων χαρακτηριστικών επιτάχυνσης/ επιβράδυνσης και των βελτιωμένων χαρακτηριστικών σε όρους ροής κυκλοφορίας (Pinjari et al., 2014, Molla, 2018).
- Αυξημένη ασφάλεια για όλους τους συμμετέχοντες στην κυκλοφορία (Daziano et al., 2017:2; Molla, 2018) λόγω της εξάλειψης του ανθρώπινου λάθους στην οδήγηση, υπό την προϋπόθεση ότι τα UGV δεν θα παρουσιάσουν αστοχίες (Pinjari et al., 2014). Τα οφέλη από την ασφάλεια περιλαμβάνουν τη μείωση των εν κινήσει συγκρούσεων, των τραυματισμών που προκύπτουν και των συναφών εξόδων, συμπεριλαμβανομένης και του κόστους ασφάλισης (Molla, 2018).
- Αυξημένη κινητικότητα και άνεση κατά το ταξίδι (Daziano et al., 2017:2)
- Ενισχυμένες ευκαιρίες προσβασιμότητας για τους ηλικιωμένους, τα άτομα με ειδικές ανάγκες και άλλα τμήματα του πληθυσμού με περιορισμένη κινητικότητα (Pinjari et al., 2014;Daziano et al., 2017: 2).
- Αυξημένη των ικανοποίηση πελατών (Molla, 2018).
- Μειωμένη εγκληματικότητα (ibid).

- Σημαντική μείωση των αναγκών για χώρους στάθμευσης (ibid). Η έλλειψη χώρων στάθμευσης θα αποτελέσει φαινόμενο του παρελθόντος, καθώς τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα θα μπορούσαν να αποβιβάσουν επιβάτες και να σταθμεύσουν σε οποιοδήποτε κατάλληλο χώρο και στη συνέχεια να επιστρέψουν για να παραλάβουν τους επιβάτες. Έτσι, θα υπάρξουν μειωμένες ανάγκες για χώρους στάθμευσης (Bimbraw, 2015:192).
- Μειωμένη κυκλοφοριακή συμφόρηση και μειωμένη διάρκεια ταξιδιού, καθώς τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα μπορούν να ταξιδεύουν σε υψηλότερες ταχύτητες με ελάχιστες πιθανότητες σφάλματος, ενώ παράλληλα δημιουργούν σημαντικές βελτιώσεις στη συνολική εμπειρία του ταξιδιού (Bimbraw, 2015:192; Daziano et al., 2017:2).
- Ενθάρρυνση της ανάπτυξης επιχειρηματικών μοντέλων για τη μεταφορά ως υπηρεσία, ιδίως μέσω της οικονομίας κοινοχρησίας (sharing economy) (Molla, 2018).
- Μείωση του άγχους που απορρέει από την οδήγηση και παροχή της δυνατότητας στους αυτοκινητιστές να αξιοποιούν τον χρόνο του ταξιδιού τους για παραγωγική εργασία ή αναψυχή (Pinjari et al., 2014;Kotseruba et al., 2017).
- Όσον αφορά τις μακροοικονομικές επιπτώσεις, εκτιμάται ότι η βιομηχανία αυτο-οδηγούμενων οχημάτων και των σχετικών τεχνολογιών λογισμικού και υλικών θα αντιπροσωπεύουν ένα μέγεθος αγοράς άνω των 40 δισεκατομμυρίων δολαρίων έως το 2030 (Kotseruba et al., 2017).

Παρόλο που οι επιπτώσεις στην κινητικότητα και την κυκλοφοριακή συμφόρηση θα παραμένουν απλές εικασίες, μέχρις ότου μεγάλος αριθμός αυτο-οδηγούμενων οχημάτων κυκλοφορήσει στους δρόμους, αρχίζει να καθίσταται δυνατή η ανάλυση των πραγματικών πτυχών των συνεπειών που μια τέτοια κυκλοφορία συνεπάγεται για την ασφάλεια. Παρά το γεγονός ότι ως τεχνολογία βρίσκονται στη νηπιακή τους ηλικία, τα UGV έχουν ήδη διανύσει πάνω από 1 εκατομμύριο μίλια σε δημόσιους δρόμους (αν και κάτω από περιορισμένες συνθήκες και σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα ή τοποθεσίες) (Schoettle & Sivak, 2015:1).

Ωστόσο, παρά τις θετικές επιδράσεις τους, έχουν αναπτυχθεί ορισμένοι προβληματισμοί ως προς το σχεδιασμό και τη διαχείριση των συστημάτων μεταφοράς. Η αύξηση της ζήτησης για τη χρήση αυτο-οδηγούμενων οχημάτων, και

της ταχύτητας κυκλοφορίας των οχημάτων από κοινού με την αναδιάρθρωση των δημοσίων συστημάτων μεταφοράς, ενδέχεται να επιδεινώσει την κυκλοφοριακή συμφόρηση, να αυξήσει τα κόστη και να ενισχύσει την ανισότητα σε όρους κινητικότητας. Για παράδειγμα, αν υπάρχει χρέωση για τη χρήση του χώρου στάθμευσης, αλλά όχι των δρόμων θα είναι φθηνότερο για τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα να οδηγούν συνεχώς σε αστικούς δρόμους, αντί να καταβάλλουν το αντίτιμο για τη για στάθμευση, επιδεινώνοντας τα προβλήματα συμφόρησης και ρύπανσης. Επιπρόσθετα, ορισμένοι εμπειρογνώμονες υποστηρίζουν ότι τα UGV εξαλείφουν την ανάγκη για συμβατικές δημόσιες υπηρεσίες διαμετακόμισης, ωστόσο θα υπάρχουν ακόμα αυξημένες ανάγκες διαμετακόμισης προς σημεία μαζικών μεταφορών, όπως τα αεροδρόμια, και συνεπώς τα UGV μπορούν να υποστηρίξουν τη δημόσια διαμετακόμιση βελτιώνοντας την πρόσβαση σε στάσεις και σταθμούς. Προκειμένου να αντιμετωπίσουν το εν λόγω πρόβλημα, οι οργανισμοί δημοσίου συμφέροντος έχουν αναπτύξει κατευθυντήριες γραμμές για την αποτελεσματική και ισότιμη εφαρμογή των αναδυόμενων τεχνολογιών και υπηρεσιών κινητικότητας (Litman, 2018: 23).

Άλλα προβλήματα περιλαμβάνουν την ασφάλεια, την τεχνολογία, την επιθυμία των ατόμων να ελέγχουν τα αυτοκίνητα τους, το νομικό πλαίσιο και τους κυβερνητικούς κανονισμούς, ανησυχίες για την προστασία της ιδιωτικής ζωής και της ασφάλειας, ανησυχίες σχετικά με την επακόλουθη απώλεια θέσεων εργασίας που σχετίζονται με την οδήγηση στον κλάδο των οδικών μεταφορών κτλ. (Bimbraw, 2015: 192, Molla, 2018). Πράγματι, μια μεγάλη πρόκληση για τα αυτόνομα αυτοκίνητα είναι ότι το ποιος πρέπει να θεωρηθεί υπεύθυνος για μια ενδεχόμενη ζημιά: η εταιρεία κατασκευής του οχήματος, ο πολίτης/ ιδιοκτήτης του αυτοκινήτου ή η ίδια κυβέρνηση. Έτσι, η εφαρμογή ενός νομικού πλαισίου και η θέσπιση κυβερνητικών κανονισμών για τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα παραμένει ένα σημαντικό πρόβλημα. Επιπρόσθετα, η αξιοπιστία του λογισμικού τους αποτελεί επίσης σημαντικό ζήτημα, εφόσον υπάρχει ο κίνδυνος να παραβιαστεί ο υπολογιστής ή το σύστημα επικοινωνίας ενός αυτοκινήτου. Παράλληλα, υπάρχει κίνδυνος αύξησης των τρομοκρατικών και εγκληματικών δραστηριοτήτων, για παράδειγμα, τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα θα μπορούσαν ενδεχομένως να φορτωθούν με εκρηκτικά από τρομοκρατικές οργανώσεις και κακοποιούς ή να χρησιμοποιηθούν ως οχήματα απόδρασης και σε διάφορες άλλες εγκληματικές δραστηριότητες (Bimbraw, 2015: 192).

Αρκετές πολιτείες των ΗΠΑ έχουν εγκρίνει νομοθεσία που επιτρέπει τη λειτουργία και / ή τη δοκιμή αυτο-οδήγησης οχημάτων σε δημόσιους δρόμους, συμπεριλαμβανομένης της Καλιφόρνια. Επί του παρόντος, αρκετοί κατασκευαστές λειτουργούν και δοκιμάζουν αυτο-οδηγούμενα οχήματα σε δημόσιους δρόμους στην Καλιφόρνια, η οποία έχει θεσπίσει συγκεκριμένους κανονισμούς σχετικά με τη λειτουργία και τη δοκιμή των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων (που αναφέρονται στα νομοθετικά κείμενα ως "αυτόνομα οχήματα"). Αυτές οι απαιτήσεις περιλαμβάνουν την υποχρέωση υποβολής συγκεκριμένων πληροφοριών, όπως λεπτομερείς πληροφορίες για την εταιρεία, το στόλο των οχημάτων, τον φορέα εκμετάλλευσης και την κατάρτιση, προκειμένου να αποκτηθεί άδεια για τη δοκιμή αποδεικτικών στοιχείων ασφάλισης που αφορούν ειδικά τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα, καθώς και παροχή στοιχείων για τυχόν συγκρούσεις, στις οποίες έχουν εμπλακεί τέτοιου είδους οχήματα (Schoettle & Sivak, 2015:1).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει την εξέλιξη των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων εδάφους, ενώ δομείται σε τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια ιστορική αναδρομή της εξέλιξης του υπό μελέτη θέματος. Στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάζεται το ζήτημα του νομικού πλαισίου αναφορικά με τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα. Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται ορισμένα από τα κύρια μοντέλα αυτο-οδηγούμενων αυτοκινήτων κατά την τελευταία δεκαετία, ενώ στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται η λειτουργία τους με εστίαση σε αισθητήρες, γυροσκόπια και λέιζερ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Ιστορική Αναδρομή

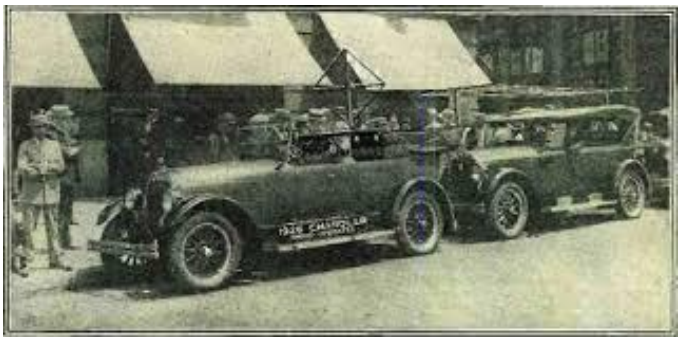
Η ιδέα για την ανάπτυξη αυτο-οδηγούμενων οχημάτων έχει μακρά ιστορία. Η εξέλιξη δε, του ίδιου του αυτοκινήτου από την πρώτη μαζική παραγωγή του Model-T πριν από 100 χρόνια έχει υπάρξει θεαματική. Αυτά τα πρώτα οχήματα έφεραν τεχνολογίες, οι οποίες απαιτούσαν χειροκίνητες λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένης της εκκίνησης του κινητήρα με χειροκίνητους στροφάλους. Με την πάροδο του χρόνου, ξεκίνησαν πολυάριθμες εξελίξεις και καινοτομίες με ηλεκτρικές μίζες, ακολουθούμενες από αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων, συστήματα ABS, ESC και συστήματα ελέγχου πορείας (Miller, 2014). Αρκετά ημιαυτόνομα χαρακτηριστικά είναι ήδη διαθέσιμα στην αγορά αυτοκινήτων, κυρίως υπό τη μορφή αναβαθμίσεων εντός του οχήματος που αφορούν στην αποφυγή συγκρούσεων με προληπτικές προειδοποιήσεις ή περιορισμένο αυτοματοποιημένο έλεγχο λειτουργιών ασφαλείας, όπως η πέδηση όταν εντοπίζεται κίνδυνος. Τα συστήματα υποβοήθησης της αυτοματοποιημένης στάθμευσης είναι ένα άλλο παράδειγμα μιας προηγμένης αναβάθμισης που διατίθεται σήμερα σε επιλεγμένα μοντέλα αυτοκινήτων. Αυτά τα χαρακτηριστικά αυτοματοποίησης είναι δυνατά ως αποτέλεσμα του εξοπλισμού των οχημάτων με ραντάρ, κάμερες και άλλους αισθητήρες (Daziano et al., 2017:2). Όλες αυτές οι τεχνολογίες έχουν αυξήσει σημαντικά την ασφάλεια και την άνεση στην οδήγηση των σύγχρονων αυτοκινήτων (Miller, 2014). Παρά το γεγονός ότι η σχετική τεχνολογία βρίσκεται ακόμη υπό εξέλιξη, το επόμενο φυσικό βήμα είναι η αυτοματοποίηση του πλήρους ελέγχου του οχήματος μέσω της ανάπτυξης των αυτόνομων ή αυτο-οδηγούμενων αυτοκινήτων (Miller, 2014; Daziano et al., 2017:2).

Επί του παρόντος, πολλές αμερικανικές πολιτείες αλλά και χώρες θεσπίζουν νόμους και κώδικες οδικής κυκλοφορίας για τη χρήση τους. Ανάμεσα στις πρόσφατες εξελίξεις, η δημιουργία του αυτο-οδηγούμενου οχήματος Google Car προκάλεσε μεγάλη αίσθηση διεθνώς (Czubenko et al., 2015:570), εφόσον έχοντας ήδη διανύσει περισσότερο από δύο εκατομμύρια μίλια χωρίς οδηγό, έχει τύχει εκτεταμένης προβολής στα μέσα μαζικής ενημέρωσης (Daziano et al., 2017:2). Οι επιστήμονες επεξεργάζονται επίσης και το ενδεχόμενο του σχεδιασμού και δημιουργίας αυτοκινήτων που να ελέγχονται από τον ανθρώπινο νου, όπως το AutoNOMOS. Υπάρχουν επίσης πειραματικά προγράμματα που στοχεύουν στην υποβοήθηση του οδηγού χρησιμοποιώντας ιδέες που επί παραδείγματι προέρχονται από γνωστικά συστήματα ή την ενισχυμένη πραγματικότητα (Czubenko et al., 2015:570). Η

επικείμενη εμπορευματοποίηση των αυτο-οδηγούμενων αυτοκινήτων αποτυπώνεται ανάγλυφα και στην ανακοίνωση της Tesla (ήδη από τον Οκτώβριο του 2016) ότι όλα τα νέα οχήματα της θα είναι πλήρως αυτο-οδηγούμενα (Daziano et al., 2017:2).

1.1. Δεκαετία 1920

Ιστορικά γεγονότα συνέβαλαν στη διαμόρφωση σύγχρονων ημιαυτόνομων οχημάτων (Bimbraw, 2015: 192). Τα πρώτα αυτόνομα οχήματα έκαναν την εμφάνιση τους ήδη από τη δεκαετία του 1920, αν και αυτά δεν αποτελούσαν αυτόνομα οχήματα, με τον τρόπο που τα ορίζουμε σήμερα. Μολονότι θεωρητικά δεν διέθεταν «οδηγό», τα οχήματα αυτά βασίζονταν σε μεγάλο βαθμό σε εξειδικευμένες εξωτερικές εισροές (engineering.com, 2016). Το πρώτο βήμα προς τα αυτόνομα αυτοκίνητα ήταν το ραδιοελεγχόμενο αυτοκίνητο, με την ονομασία Linriccan Wonder, το οποίο κατασκευάστηκε από τον Houdina στη Νέα Υόρκη. Επρόκειτο για ένα Chandler του 1926 που είχε κεραίες μετάδοσης στο πίσω τμήμα του και λειτουργούσε από ένα άλλο αυτοκίνητο, το οποίο εξέπεμπε ραδιοφωνικούς παλμούς ενώ το ακολουθούσε. Αυτά τα σήματα λαμβάνονταν από τις κεραίες μετάδοσης, οι οποίες με τη σειρά τους τα έστελναν σε αυτόματους διακόπτες, οι οποίοι λειτουργούσαν μικρούς ηλεκτρικούς κινητήρες που κατεύθυναν τις κινήσεις του αυτοκινήτου. Επρόκειτο για μια από τις πιο πρωτόγονες μορφές αυτόνομου οχήματος (Bimbraw, 2015:192).



Εικόνα 2. Το πρώτο αυτο-οδηγούμενο όχημα Linriccan Wonder

Μια τροποποιημένη έκδοση του Linriccan Wonder χρησιμοποιήθηκε υπό την ονομασία "Phantom Auto" και παρουσιάστηκε το Δεκέμβριο του 1926 στο Milwaukee, από την Achen Motors (Bimbraw, 2015:192; engineering.com, 2016).

1.2 Δεκαετία 1930

Η εταιρεία GM (General Motors) χρηματοδότησε το έκθεμα του Bel Geddes «Futurama» στην Παγκόσμια Έκθεση, το 1939, που απεικόνιζε ηλεκτρικά αυτοκίνητα με ενσωματωμένο κύκλωμα. Τα κυκλώματα ήταν ενσωματωμένα στο δρόμο και ελέγχονταν από το ραδιόφωνο, όπως και οι προηγούμενες προσπάθειες για την ανάπτυξη μη επανδρωμένων οχημάτων (Weber, 2014; Bimbraw, 2015: 192).

1.3 Δεκαετία 1950

Τα RCA Labs παρουσίασαν ένα σημαντικά προηγμένο μοντέλο αυτόνομου αυτοκινήτου χτίζοντας ένα αυτοκίνητο μινιατούρα το 1953. Το εν λόγω όχημα ελέγχονταν και καθοδηγούνταν από καλώδια που έχουν τοποθετηθεί σε ένα συγκεκριμένο μοτίβο στο πάτωμα του εργαστηρίου (Vanderbilt, 2012; engineering.com, 2016). Ο μηχανικός κυκλοφορίας Leland Hancock στη Νεμπράσκα και ο L.N. Ress Leland Hancock, επίσης μηχανικός, ανέπτυξαν την ιδέα των εργαστηρίων RCA σε μεγαλύτερη κλίμακα, πραγματοποιώντας πειράματα με το σύστημα αυτό σε πραγματικές εγκαταστάσεις αυτοκινητοδρόμων σε μια λωρίδα αυτοκινητοδρόμου μήκους 121,92 μέτρων λίγο έξω από την πόλη Lincoln, Neb, το 1958. Μια σειρά κυκλωμάτων ανιχνευτών που είχαν ταφεί στο πεζοδρόμιο και μια σειρά από φώτα κατά μήκος της άκρης του δρόμου, τα οποία ήταν σε θέση να στείλουν σήματα για να καθοδηγήσουν το αυτοκίνητο και να καθορίσουν την παρουσία και την ταχύτητα οποιουδήποτε μεταλλικού οχήματος στην επιφάνεια του. Η General Motors συνεργάστηκε μαζί τους και δημιούργησε δύο τυποποιημένα μοντέλα με εξοπλισμό που διέθεταν ειδικούς ραδιοφωνικούς δέκτες και συσκευές ακουστικής και οπτικής προειδοποίησης που μπορούσαν να προσομοιώσουν ένα αυτόματο σύστημα πηδαλιούχησης, επιτάχυνσης και ελέγχου των φρένων. Βασισμένο σε προηγμένα μοντέλα, το 1959 και καθ' όλη τη δεκαετία του 1960, παρουσιάστηκε από τη General Motors στην εκπομπή Motorama[2] το Firebird, μια σειρά από πειραματικά αυτοκίνητα που είχαν ένα ηλεκτρονικό σύστημα οδήγησης, το οποίο θα μπορούσε να κινηθεί σε μια αυτόματη εθνική οδό χωρίς τη συμμετοχή του οδηγού (Bimbraw, 2015:193; engineering.com, 2016).

[2] που ήταν μια εκπομπή αυτοκινήτου από την GM

1.4 Δεκαετία 1960

Η φιλόδοξη ανάπτυξη της ιδέας για την κυκλοφορία αυτο-οδηγούμενων οχημάτων συνεχίστηκε και κατά την δεκαετία του 1960 (engineering.com, 2016). Το Εργαστήριο Συστημάτων Επικοινωνιών και Ελέγχου του Κρατικού Πανεπιστημίου του Οχάιο (University's Communication and Control Systems Laboratory) ξεκίνησε το 1966 ένα έργο για την ανάπτυξη οχημάτων χωρίς οδηγό που ενεργοποιούνταν με ηλεκτρονικές συσκευές που ενσωματώνονταν στο οδόστρωμα (Bimbraw, 2015: 193).

Το Εργαστήριο Μεταφορών και Οδικής Έρευνας του Ηνωμένου Βασιλείου (United Kingdom's Transport and Road Research Laboratory) έκανε δοκιμές με ένα αυτοκίνητο Citroen DS, το οποίο αλληλεπιδρούσε με μαγνητικά καλώδια ενσωματωμένα στο δρόμο κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960. Ειδικότερα, πραγματοποίησε μια δοκιμαστική διαδρομή με ταχύτητα 130 km/ h χωρίς απόκλιση ταχύτητας ή κατεύθυνσης σε οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το εν λόγω όχημα ταξίδεψε με πολύ πιο αποτελεσματικό τρόπο σε σχέση με ένα όχημα που ελέγχονταν από άνθρωπο (ibid).

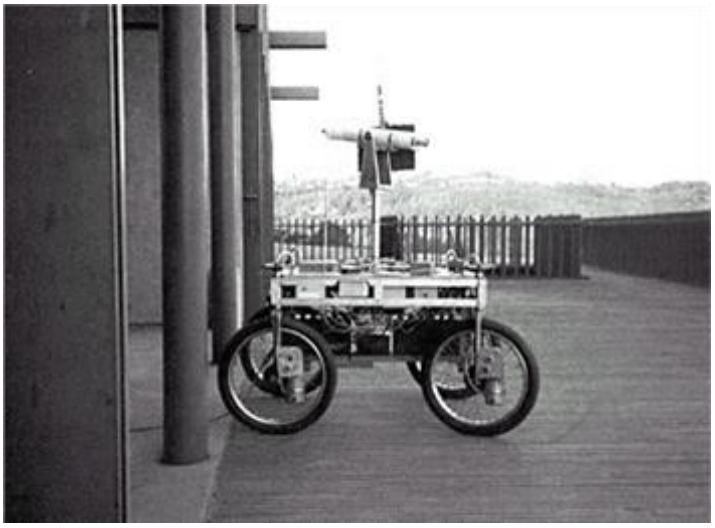
Περαιτέρω, το Γραφείο Δημόσιων Δρόμων των Ηνωμένων Πολιτειών (Bureau of Public Roads) εξέτασε την κατασκευή μιας πειραματικής ηλεκτρονικά ελεγχόμενης εθνικής οδού, η οποία θα κατασκευάζονταν σε τέσσερις πολιτείες - το Οχάιο, τη Μασαχουσέτη, τη Νέα Υόρκη και την Καλιφόρνια. Ο τότε κυβερνήτης, ο DiSalle, πίεζε για την πραγματοποίηση τέτοιων πειραματικών αποπειρών που θα προωθούσαν το μέλλον της αυτοματοποίησης (ibid).Το αυτόνομο όχημα ήταν σταθερότερο από έναν άνθρωπο οδηγό στις πραγματοποιηθείσες δοκιμές, ενώ οι αναφορές προέβλεπαν ότι αυτή η τεχνολογία θα μπορούσε να αποτρέψει το 40% των τροχαίων ατυχημάτων. Παρά τους ισχυρισμούς αυτούς, οι ηλεκτρονικά ελεγχόμενες οδοί δεν έγιναν ποτέ αρκετά διαδεδομένες, ώστε να επιτρέψουν τη δημόσια υιοθέτηση αυτού του τύπου αυτοκινήτου (engineering.com, 2016).

1.5 Δεκαετία 1970

Παράλληλα, κατά τη δεκαετία του 1970 αναπτύχθηκε το λεγόμενο «Stanford Cart». Σχεδιάζοντας αρχικά ένα ρομποτικό όχημα εξερεύνησης, η ομάδα που δημιούργησε το Stanford Cart πρωτοστάτησε στην τεχνολογία επεξεργασίας βίντεο, η οποία αργότερα θα χρησιμοποιηθεί για την παροχή πληροφοριών σε αυτόνομα οχήματα. Εξοπλισμένο με μια περιστρεφόμενη κάμερα τηλεόρασης, ρομποτικό

όχημα εξερεύνησης επεξεργάζονταν εικόνες για δέκα έως δεκαπέντε λεπτά κάθε φορά που μετακινούνταν κατά ένα μέτρο, πράγμα που του επέτρεψε να περιηγηθεί αργά γύρω από τα εμπόδια χωρίς ανθρώπινη συμβολή. Το 1979, το Stanford Cart διέσχισε αυτόνομα ένα δωμάτιο γεμάτο καρέκλες σε περίπου πέντε ώρες (Vanderbilt, 2012; engineering.com, 2016).

Αυτές οι ξεχωριστές λεωφόροι και τα μη επανδρωμένα οχήματα που απαιτούσαν ειδικές εισροές με αυτόνομα συστήματα ειδικής λειτουργίας και αλγόριθμους επεξεργασίας εικόνας για μη επανδρωμένη πλοήγηση, σύντομα άρχισαν να συγκλίνουν (engineering.com, 2016). Στα τέλη της δεκαετίας του 1970 έως τη δεκαετία του 1980 ενεφανίσθησαν τα πρώτα αυτόνομα αυτοκίνητα που προσομοιάζουν σε αυτά που γνωρίζουμε σήμερα: αυτοτελή οχήματα εξοπλισμένα με τους απαραίτητους αισθητήρες, επεξεργαστές και εκροές για να αυτο-οδηγούνται, θεωρητικά τουλάχιστον, μέσω τυπικής κυκλοφορίας χωρίς ειδικές εξωτερικές εισροές (engineering.com, 2016).



Εικόνα3. Το Stanford Card

1.6 Δεκαετία 1980

Στη δεκαετία του 1980, ένα ρομποτικό φορτηγό Mercedes-Benz χωρίς οδηγό, το οποίο σχεδίασε ο Ernst Dickmanns και η ομάδα του στο Πανεπιστήμιο Bundeswehr του Μονάχου, πέτυχε ταχύτητα 63 χλμ/ ώρα σε δρόμους χωρίς κυκλοφορία. Στη συνέχεια με την πρόοδο στον τομέα της αυτόνομης τεχνολογίας οχημάτων, πραγματοποιήθηκαν διάφορα εθνικά και διεθνή ερευνητικά προγράμματα. Το EUREKA πραγματοποίησε το Πρόγραμμα Prometheus σε αυτόνομα οχήματα από το 1987 έως το 1995 με μια επένδυση που ξεπέρασε το 1 δισ. δολάρια (Bimbraw, 2015:

193). Το 1995, το πρόγραμμα πέτυχε την ολοκλήρωση από το αυτόνομο όχημα VaMP του Dickmann μιας απόστασης περίπου 2000 χιλιομέτρων με ταχύτητα 130 χλμ/ ώρα, σχεδόν εξ ολοκλήρου αυτόνομα (engineering.com, 2016).

Η DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), ήτοι η Υπηρεσία Προηγμένων Ερευνητικών Προγραμμάτων Άμυνας του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ, είναι επίσης υπεύθυνη για την πρόοδο στον τομέα των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων. Το ερευνητικό πρόγραμμα αυτόνομων οχημάτων εδάφους (Autonomous Land Vehicle - ALV) στις Ηνωμένες Πολιτείες έκανε χρήση των νέων τεχνολογιών. Αυτές οι τεχνολογίες αναπτύχθηκαν από το Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon, το Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών του Μίσιγκαν, το Πανεπιστήμιο του Μέριλαντ, το Martin Marietta και το SRI International. Το έργο ALV πέτυχε την πρώτη επίδειξη που χρησιμοποίησε τις οθόνες υπολογιστών, το LiDAR και τον αυτόνομο έλεγχο για να κατευθύνει ένα ρομποτικό όχημα σε ταχύτητες έως 31 χλμ/ ώρα (Cage, 1995:3; Bimbraw, 2015:193).

Τα Εργαστήρια HRL (πρώην Εργαστήρια Έρευνας Hughes – Hughes Research Labs) ανέπτυξαν και παρουσίασαν την πρώτη εκτός δρόμου και βασισμένη σε αισθητήρες αυτόνομη πλοήγηση στο ALV. Το όχημα ταξίδεψε πάνω από 610 μ. στα 3,1 χλμ./ ώρα σε σύνθετο έδαφος με απότομες πλαγιές, ρεματιές, μεγάλους βράχους, βλάστηση και άλλα φυσικά εμπόδια (Bimbraw, 2015:193).

1.7 Δεκαετία 1990

Το Κογκρέσο των Ηνωμένων Πολιτειών ψήφισε το νομοσχέδιο ISTEA για την Εξουσιοδότηση των Μεταφορών (Transportation Authorization Bill) το 1991, το οποίο και ανέθεσε στο Υπουργείο Μεταφορών των ΗΠΑ να δημιουργήσει πειραματικά ένα σύστημα αυτοματοποιημένων οχημάτων και αυτοκινητοδρόμων. Η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αυτοκινητοδρόμων (Federal Highway Administration) ξεκίνησε με μια σειρά Ανάλυσης Συστημάτων και έπειτα ίδρυσε την Κοινοπραξία Εθνικού Αυτοματοποιημένου Συστήματος Αυτοκινητοδρόμων (National Automated Highway System Consortium). Το κόστος χρηματοδότησης επιμερίζονταν στην Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αυτοκινητοδρόμων, τη General Motors, το UC-Berkeley και άλλους δρώντες. Τελικά ολοκληρώθηκε το 1997 στο Σαν Ντιέγκο της αλλά αργότερα εγκαταλείφθηκε λόγω έλλειψης κεφαλαίων (Bimbraw, 2015:193).

Τα νεότερα αυτόνομα οχήματα έγιναν όλο και πιο αποτελεσματικά με την πάροδο του χρόνου. Τα δίδυμα ρομποτικά οχήματα VaMP και Vita-2 της Daimler-Benz και του Ernst Dickmanns του Πανεπιστημίου Bundeswehr του Μονάχου, το 1991, οδήγησαν περισσότερα από 1.000 χιλιόμετρα σε έναν αυτοκινητόδρομο τριών λωρίδων στο Παρίσι σε συνθήκες φυσιολογικής αυξημένης κυκλοφορίας σε ταχύτητες έως και 130 χλμ/ ώρα. Ωστόσο, τα οχήματα οδηγήθηκαν κατά τρόπο ημι-αυτόνομο με ανθρώπινες παρεμβάσεις. Κατά τις δοκιμές παρουσιάστηκε αυτόνομη οδήγηση σε ελεύθερες λωρίδες, οδήγηση σε κονβόι (φάλαγγα) και αλλαγή λωρίδας με αυτόνομη προσπέραση άλλων αυτοκινήτων (Behringer & Muller, 1998; 810; Bin Sulaiman, 2018).

Τα οχήματα έχοντας υψηλό επίπεδο αυτονομίας σε ορισμένες περιπτώσεις εμφάνισαν καλύτερες ταχύτητες από τους ανθρώπους οδηγούς. Το 1995, η αυτόνομη S-Class Mercedes-Benz του Dickmann πραγματοποίησε μια διαδρομή 1.590 χιλιομέτρων από το Μόναχο, στη Γερμανία μέχρι την Κοπεγχάγη, στη Δανία, καθώς και την επιστροφή χρησιμοποιώντας την όραση του ηλεκτρονικού υπολογιστή και μικροεπεξεργαστές με ενσωματωμένη μνήμη σχεδιασμένη για παράλληλη επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο. Το ρομπότ πέτυχε ταχύτητες άνω των 175 χλμ/ ώρα στο γερμανικό αυτοκινητόδρομο, με μέσο χρόνο μεταξύ των ανθρώπινων παρεμβάσεων τα 9,0 χλμ ή εκφρασμένη σε ποσοστά με 95% αυτόνομη οδήγηση. Το όχημα οδήγησε σε κίνηση εκτελώντας διάφορους ελιγμούς, ώστε να προσπεράσει άλλα αυτοκίνητα (Wenger, 2005).

Το ίδιο το 1995, το ερευνητικό πρόγραμμα Navlab του Πανεπιστημίου Carnegie Mellon πέτυχε 98,2% αυτόνομη οδήγηση σε ένα ταξίδι που διέσχισε 5,000 χιλιόμετρα κατά μήκος της χώρας, και το οποίο ονομάστηκε "No Hands Across America" ή NHOA (Χωρίς Χέρια [i] σε όλη την Αμερική). Το αυτοκίνητο ήταν ημιαυτόνομο από τη φύση του: χρησιμοποιούσε νευρωνικά δίκτυα για να ελέγξει το τιμόνι, αλλά το γκάζι και τα φρένα ελέγχονταν από τον άνθρωπο (Bimbraw, 2015: 193).

Ένα προηγμένο αυτόνομο όχημα παρουσιάστηκε επίσης από τον Alberto Broggi του Πανεπιστημίου της Πάρμας. Ο επιστήμονας ξεκίνησε το έργο ARGO, το οποίο εργάστηκε για να κατασκευάσει ένα τροποποιημένο Lancia Thema, το οποίο θα ήταν σε θέση να ακολουθήσει βαμμένα σημάδια λωρίδων σε μια κανονική εθνική οδό το 1996. Η αποθέωση του έργου ήταν ένα ταξίδι 1.900 χλμ σε έξι ημέρες στους δρόμους της βόρειας Ιταλίας με μια μέση ταχύτητα 90 χλμ/ ώρα. Το αυτοκίνητο λειτούργησε με πλήρως αυτόματο τρόπο για το 94% του ταξιδιού του, με το μεγαλύτερο διάστημα

αυτόνομης οδήγησης να είναι 55χλμ. Το όχημα είχε δύο χαμηλού κόστους βιντεοκάμερες επί του σκάφους και χρησιμοποίησε στερεοσκοπικούς αλγόριθμους όρασης για να αντιληφθεί το περιβάλλον του (Bimbraw, 2015:193; Bin Sulaiman, 2018).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η πρωτοβουλία με την ονομασία Intelligent Vehicle Initiative (Πρωτοβουλία Έξυπνου Οχήματος), η οποία με αφετηρία το 1997 ανέπτυξε αρκετές εμπορικές εφαρμογές συμπεριλαμβανομένων της υποβοήθησης αλλαγής λωρίδας, των προειδοποιήσεων για την ένωση ή το σημείο διαχωρισμού των λωρίδων, του προσαρμοστικού συστήματος ελέγχου, των προειδοποιήσεων για επικείμενη σύγκρουση, καθώς και των συστημάτων ελέγχου της σταθερότητας (Πρωτογέρου, 2017:4-5).

1.8 Δεκαετία 2000

Στις αρχές της δεκαετίας του 2000, το Park Shuttle, ένα αυτόνομο δημόσιο σύστημα οδικών μεταφορών, άρχισε να λειτουργεί στις Κάτω Χώρες (Bin Sulaiman, 2018). Η αμερικανική κυβέρνηση άρχισε επίσης να εστιάζει στην ανάπτυξη αυτόνομων οχημάτων, κυρίως για στρατιωτική χρήση. Προς αυτή την κατεύθυνση, τα ερευνητικά προγράμματα Demo I (Στρατός των ΗΠΑ), το Demo II (DARPA) και το Demo III (Στρατός των ΗΠΑ) χρηματοδοτήθηκαν από την αμερικανική κυβέρνηση. Η ικανότητα των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων εδάφους να διανύουν χιλιόμετρα σε αντίξοες συνθήκες εκτός δρόμου αποφεύγοντας εμπόδια όπως βράχια και δέντρα αναπτύχθηκε από το Demo III (2001). Το Σύστημα Ελέγχου σε Πραγματικό Χρόνο (Real-Time Control System), το οποίο είναι ένα ιεραρχικό σύστημα ελέγχου, αποτέλεσε προϊόν της έρευνας του Εθνικού Ινστιτούτου Προτύπων και Τεχνολογίας (National Institute for Standards and Technology) των ΗΠΑ. Μαζί με τον έλεγχο των επιμέρους οχημάτων (π.χ. γκάζι, σύστημα οδήγησης και φρένο), οι κινήσεις των ομάδων των οχημάτων είχαν συντονιστεί με αυτόματο τρόπο, ώστε να ανταποκρίνονται σε στόχους υψηλού επιπέδου (Bimbraw, 2015:193).

Η DARPA Grand Challenge, που ιδρύθηκε το 2004, ενθάρρυνε την αυτόνομη ανάπτυξη αυτοκινήτων προσφέροντας 1 εκατομμύριο δολάρια στην ομάδα, της οποίας το ρομποτικό όχημα θα μπορούσε να πλοηγηθεί επιτυχώς σε μια πορεία με εμπόδια. Κανένας ανταγωνιστής δεν κατάφερε να ολοκληρώσει πρόκληση την πρώτη χρονιά διεξαγωγής της DARPA Grand Challenge. Ωστόσο, το 2005 πέντε οχήματα

ολοκλήρωσαν τον αγώνα (Vanderbilt, 2012; engineering.com, 2016) εντός του επιτρεπόμενου ορίου χρόνου (10 ώρες) οδηγώντας πλήρως αυτόνομα. Το πρώτο βραβείο ανέρχονταν σε 2 εκατομμύρια δολάρια, ενώ η πρόκληση DARPA του 2005 είχε θέσει ως στόχο την αυτόνομη οδήγηση εντός ενός προκαθορισμένου εδάφους 7,32 μιλίων στις ερήμους της Νεβάδα (Kotseruba et al., 2017). Ο πρώτος νικητής αυτών των επιτυχημένων συμμετοχών ήταν το Stanley, ένα όχημα σχεδιασμένο από το πανεπιστήμιο Stanford και τη Volkswagen, χρησιμοποιώντας τεχνολογία προσαρμοσμένη από το Stanford Cart (Vanderbilt, 2012; engineering.com, 2016).

Το 2007, η πορεία της DARPA Grand Challenge μεταφέρθηκε σε ένα αστικό περιβάλλον, απαιτώντας από τους συμμετέχοντες να ενσωματωθούν στην κίνηση. Έξι ομάδες ολοκλήρωσαν αυτή την πρόκληση, με επικεφαλής το Tartan Racing της Carnegie Mellon με τους Stanford και Virginia Tech να ακολουθούν με μικρή διαφορά. Άλλοι αγωνιζόμενοι, ωστόσο, συμμετείχαν σε ατυχήματα. Επί παραδείγματι, οι συμμετοχές του MIT και του Braunschweig συγκρούστηκαν, ενώ ένα άλλο όχημα τέθηκε σε πορεία σύγκρουσης με έναν πυλώνα. Αυτό το γεγονός οδήγησε στην απαίτηση ανάπτυξης του λογισμικού πρόβλεψης και λήψης αποφάσεων για τη λειτουργία τα αυτο-οδηγούμενων οχημάτων εντός της κυκλοφορίας, ενώ παράλληλα συνέβαλε στην ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με τα λάθη που μπορεί να κάνει αυτό το λογισμικό (Vanderbilt, 2012; engineering.com, 2016).



Εικόνα 4. Το αυτο-οδηγούμενο αυτοκίνητο Stanley που κέρδισε τη DARPA Grand Challenge το 2005

1.9 Δεκαετία 2010

Την τελευταία δεκαετία, η έρευνα στο πεδίο των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων μετατοπίστηκε από πανεπιστήμια στους κατασκευαστές αυτοκινήτων, καθώς εταιρείες όπως η BMW, η Volkswagen και η GM άρχισαν να δοκιμάζουν τα δικά τους αυτο-οδηγούμενα οχήματα. Η ακαδημαϊκή έρευνα συνεχίστηκε στο Πανεπιστήμιο της Πάρμας, στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο Karlsruhle κ.α. (engineering.com, 2016). Οι σύγχρονες αυτοκινητοβιομηχανίες συνεχίζουν να προσφέρουν πιο εξελιγμένα αυτόνομα χαρακτηριστικά στα πρόσφατα μοντέλα τους. Οι τεχνολογικές εξελίξεις που παρατηρούνται καθημερινά σε τομείς όπως η τεχνολογία της πληροφορίας, η επικοινωνία, η ανάλυση δεδομένων και η αποθήκευση κ.λπ. δεν αφορούν αποκλειστικά αυτούς τους τομείς, αλλά έρχονται να συνδράμουν σημαντικά στην τεχνολογία των αυτο-οδηγούμενων αυτοκινήτων, η οποία προχωρά με ταχύ ρυθμό σήμερα (Bimbraw, 2015:194).

Η Segway Incorporated και η General Motors ανέπτυξαν από κοινού ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο 2 θέσεων, αρχικά σχεδιασμένο για αστικά περιβάλλοντα, το οποίο θα μπορούσε είτε να το χειρίζεται οδηγός, είτε να λειτουργεί αυτόνομα. Γνωστό ως EN-V της GM (General Motor's Electric Networked Vehicle - Ηλεκτρικό Δικτυωμένο Όχημα της General Motor), το αυτοκίνητο αυτό παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από την 1η Μαΐου έως τη 31η Οκτωβρίου 2010 στο κοινό περίπτερο των GM & SAIC στην έκθεση Expo 2010 στη Σαγκάη. Το EN-V διαιρέθηκε περαιτέρω σε τρεις διαφορετικούς τύπους οχημάτων: Jiao (Pride), Miao (Magic) και Xiao (Laugh). Το EN-V παρουσιάζει αυτόνομα χαρακτηριστικά, όπως αυτόματη στάθμευση και αποφυγή συγκρούσεων. Το ENV της GMαποτέλεσε μια σημαντική πρόοδο προς την κατεύθυνση της επίτευξης ενός υψηλότερου βαθμού συνδεσιμότητας μεταξύ των οχημάτων, διεπαφών οχημάτων, αλγορίθμων ελέγχου κίνησης και συνδεδεμένης αυτόνομης στρατηγικής για την οδήγηση (Eberle & von Helmolt, 2010).



Εικόνα 5. Το μοντέλο Jiao (Pride) του αυτοκινήτου EN-V της General Motors

Ωστόσο, τα πιο γνωστά - και ίσως και τα πιο προηγμένα - από αυτά τα ερευνητικά προγράμματα είναι το πρόγραμμα του αυτο-οδηγούμενου αυτοκινήτου τηςGoogle, το οποίο ξεκίνησε το 2009. Η ομάδα της Google περιλαμβάνει κορυφαία μέλη των νικητριών ομάδων της πρόκλησης DARPA. Το λογισμικό του Google Car συνδυάζει τα δεδομένα από LiDAR και Google Maps για να αναγνωρίσει τη θέση του, στη συνέχεια χρησιμοποιεί οπτικές εισροές και ραντάρ για την ανίχνευση και ταυτοποίηση οχημάτων, πεζών και αντικειμένων στην περιοχή του. Αυτά τα δεδομένα επεξεργάζονται για να σχεδιάσουν μια ασφαλή τροχιά για το όχημα, εκμεταλλευόμενα τους ισχυρούς σύγχρονους υπολογιστές. Ο στόχος του εν λόγω οχήματος είναι να μιμηθεί τη συμπεριφορά ενός ιδανικού ανθρώπου οδηγού (Whitwam, 2014; engineering.com, 2016).



Εικόνα 6. Το πρωτότυπο αυτο-οδηγούμενο όχημα της Google (Whitwam, 2014)

Με την πραγματοποιηθείσα πρόοδο στο πεδίο της αυτόνομης τεχνολογίας, η VIAC ή η VisLab Intercontinental Autonomous Challenge (VisLab Διηπειρωτική Αυτόνομη Πρόκληση) αποτέλεσε ένας από τους σημαντικότερους διαγωνισμούς που οδήγησαν σε βελτιώσεις στον έλεγχο και την ανάλυση των αυτόνομων οχημάτων και της ρομποτικής. Επρόκειτο για ένα ταξίδι 13.000 χιλιομέτρων, με διάρκεια σχεδόν

τρεις μήνες, από την Πάρμα, στην Ιταλία στη Σαγκάη, στην Κίνα από τις 20 Ιουλίου 2010 έως τις 28 Οκτωβρίου 2010. Περιλάμβανε τέσσερα αυτόνομα οχήματα με αμελητέα ανθρώπινη παρέμβαση και υψηλό επίπεδο αυτονομίας. Το έργο χρηματοδοτήθηκε μερικώς από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Έρευνας (ERC- European Research Council). Ο συγκεκριμένος διαγωνισμός κατέδειξε ότι στο μέλλον θα είναι δυνατόν τα αγαθά να μεταφέρονται μεταξύ δύο ηπείρων με φιλικά προς το περιβάλλον οχήματα με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Για πρώτη φορά στην ιστορία τα προϊόντα συσκευάστηκαν στην Πάρμα και μεταφέρθηκαν στη Σαγκάη χρησιμοποιώντας αυτόνομα οχήματα (Vanderbilt, 2012; Bimbraw, 2015:194).

Το αυτόνομο ερευνητικό αυτοκίνητο της Audi το Σεπτέμβριο του 2010 ολοκλήρωσε την ορεινή πορεία Pike's Peak των 20 χιλιομέτρων σε 27 λεπτά, πολύ κοντά στο ανθρώπινο ρεκόρ των 17 λεπτών. Αποτέλεσε αξιοσημείωτο επίτευγμα, εφόσον καθόρισε για πρώτη φορά ένα σημείο αναφοράς για το πόσο κοντά είναι οι επιδόσεις των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων σε αυτές των κορυφαίων οδηγών. Η Audi TTS χρησιμοποίησε σύγχρονο λογισμικό, αλγόριθμους και ηλεκτρονικά μέσα, κυρίως προκειμένου να υποβοηθήσει τις ικανότητες του οδηγού, όπως το χαρακτηριστικό γνώρισμα του αυτόματου πιλότου στα αεροπλάνα και αεριωθούμενα (Kritayakirana & Gerdes, 2012; Bimbraw, 2015:194).

Το σύστημα "Temporary Autopilot" (TAP- Προσωρινός Αυτόματος Πιλότος) της Volkswagen μπορεί να ελέγξει αυτόματα το αυτοκίνητο σε ταχύτητες έως και 130 χλμ/ώρα. Η εξέλιξη αυτή αποτέλεσε ένα ορόσημο στην πορεία προς την οδήγηση χωρίς ατυχήματα, σύμφωνα με τον Jürgen Leohold, επικεφαλή της Volkswagen Research Group. Το σύστημα αυτό ξεκίνησε ως μέρος του χρηματοδοτούμενου με 40 εκατομμύρια δολάρια από την Ευρωπαϊκή Ένωση, προγράμματος HAVEit (Highly Automated Vehicles for Intelligent Transport - Υψηλά Αυτοματοποιημένα Οχήματα για Ευφυείς Μεταφορές)[3]. Το σύστημα διαθέτει διάφορες λειτουργίες υποβοήθησης του οδηγού όπως προσαρμοστικό σύστημα ελέγχου ταχύτητας ταξιδίου και πλευρική παρακολούθηση για ασφαλέστερη αλλαγή λωρίδων, με σύστημα ραντάρ, σαρωτή λέιζερ και υπερηχητικούς αισθητήρες. Όταν βρίσκεται σε λειτουργία TAP, το

[3]Το έργο διηύθυνε η Continental Automotive για ένα δίκτυο 17 ευρωπαίων εταίρων που προέρχονται από την αυτοκινητοβιομηχανία και τον πανεπιστημιακό χώρο. Ο σκοπός του HAVEit ήταν να αυξήσει την οδηγική ασφάλεια και να ενισχύσει την ευρωπαϊκή αυτοκινητοβιομηχανία στη διεθνή αγορά. Στο πλαίσιο του αναπτύχθηκαν και υλοποιήθηκαν διάφοροι τρόποι αυτοματοποίησης, όπως για παράδειγμα η υποβοήθηση διατήρησης της λωρίδας κυκλοφορίας ή η υποβοήθηση έκτακτης ανάγκης για την πέδηση (EPoSS, 2015:9).

αυτοκίνητο διατηρεί μια ασφαλή απόσταση από το όχημα μπροστά, ελέγχει τους δείκτες των λωρίδων, ώστε να κρατήσει το αυτοκίνητο στο κέντρο και επιβραδύνει αυτόματα όταν πλησιάζει μια καμπή στο δρόμο. Παράλληλα, συμβάλει στην πρόληψη ατυχημάτων που προκαλούνται από απρόσεκτους οδηγούς. Ωστόσο, ο οδηγός διατηρεί ακόμα τον έλεγχο και μπορεί να αντικαταστήσει τις ενέργειες του αυτοκινήτου σε οποιοδήποτε σημείο (Colonna, 2012; Bimbraw, 2015:194).

Τα πρώτα αυτοκίνητα που έλαβαν άδεια για αυτόνομη οδήγηση στους δρόμους και τις εθνικές οδούς του Βερολίνου ήταν τα Made In Germany και Spirit of Berlin, τα οποία αναπτύχθηκαν από τα εργαστήρια AutoNOMOs. Πρόκειται για έργο του Freie Universität του Βερολίνου που χρηματοδοτήθηκε από το γερμανικό Ομοσπονδιακό Υπουργείο Παιδείας και Έρευνας. Το έργο είχε ως κύριους στόχους την ανάπτυξη τεχνολογίας για συστήματα υποβοήθησης των οδηγών, καινοτόμα συστήματα ασφαλείας για αυτοκίνητα και πλήρη αυτόνομα οχήματα σε αεροδρόμια ή ορυχεία. Έχει μια πολύ ακριβή μονάδα GPS (Global Positioning System ή Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης/ Θεσιθεσίας) και τρεις σαρωτές λέιζερ στο μπροστά και τρεις στο πίσω μέρος του οχήματος, οι οποίοι ανιχνεύουν οποιοδήποτε αυτοκίνητο ή πεζό γύρω από το αυτοκίνητο. Μπορεί επίσης να ανιχνεύσει φώτα πορείας, υπεραστική κυκλοφορία και κυκλικούς κόμβου (Bimbraw, 2015:194-195).

Το Τεχνολογικό Ινστιτούτο Karlsruhe/ FZI (Forschungszentrum Informatik) και η Daimler R & D δημιούργησαν ένα όχημα της κατηγορίας S της Mercedes-Benz, το οποίο οδήγησε πλήρως αυτόνομα για 100 χιλιόμετρα από το Mannheim στο Pforzheim της Γερμανίας. Το όχημα ακολούθησε την ιστορική διαδρομή Bertha Benz. Χρησιμοποίησε ραντάρ επόμενης γενιάς και στερεοφωνικές κάμερες που βοήθησαν στην αυτοματοποίηση. Στόχος της ήταν η μείωση των ατυχημάτων, που προκλήθηκαν κυρίως από ανθρώπινο λάθος. Χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι για τη σύνδεση διαφόρων πτυχών αυτοματοποίησης και μηχανικής όρασης (Franke et al., 2013).

Το πολυεθνικό πρόγραμμα i-GAME αναπτύσσει τεχνολογία από το 2013 για την επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων και με την υποδομή για την καλύτερη ενημέρωση των αυτόνομων συστημάτων οδήγησης, θυμίζοντας την έννοια για τον «έξυπνο δρόμο» του 20ου αιώνα. Σε μικρότερη κλίμακα, η Toyota και η Uber ανακοίνωσαν μια συνεργασία για την κοινοχρησία οχημάτων, όπως και η GM και η Lyft. Νεοφυείς επιχειρήσεις (startups), όπως το comma.ai με επικεφαλή τον χάκερ George Hotz, του οποίου το αυτόνομο μοντέλο Acura σκοπεύει να ξεπεράσει το μοντέλο S της Tesla,

εισέρχονται στο χώρο ελπίζοντας να ανταγωνιστούν τους μεγάλους παίκτες (engineering.com, 2016).

Ένα από τα προηγμένα αυτόνομα αυτοκίνητα της VisLab, το BRAiVE, οδήγησε στο κέντρο της Πάρμας στις 12 Ιουλίου 2013. Πλοήγηθηκε με επιτυχία μέσα από στενούς αγροτικούς δρόμους, φανάρια, πεζόδρομους, κυκλικούς κόμβους και τεχνητούς κινδύνους. Πρόκειται για ένα πρωτοπόρο στον τομέα της ρομποτικής οχημάτων, δεδομένου ότι ήταν εντελώς αυτόνομο. Επιπρόσθετα, σε όλα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα της Nissan Leaf εγκαταστάθηκε η αυτόνομη τεχνολογία αυτοκινήτων της Nissan. Το αυτοκίνητο παρουσιάστηκε δημόσια τον Αύγουστο του 2013 στη δοκιμαστική εκδήλωση της Nissan 360 που πραγματοποιήθηκε στην Καλιφόρνια. Αργότερα το 2013, το Leaf οδήγησε στην οδό ταχείας κυκλοφορίας Sagami του νομού Kanagawa της Ιαπωνίας. Η Nissan σχεδιάζει να δρομολογήσει πολλά αυτο-οδηγούμενα αυτοκίνητα μέχρι το 2020. Αυτή η επίδειξη ενήργησε ως πρωτότυπο για τα μελλοντικά μηχανοκίνητα αυτοκίνητα της Nissan. Ένα Leaf της Nissan, εξοπλισμένο με ένα πρωτότυπο Advanced Driver Assistance System (Ενισχυμένο Σύστημα Υποβοήθησης Οδηγού), έλαβε μια πινακίδα κυκλοφορίας, λόγω της οποίας επιτρεπόταν να οδηγεί σε δημόσιους δρόμους. Αυτό οδήγησε τη Nissan να προωθήσει την κυκλοφορία αυτο-οδηγούμενων οχημάτων μέχρι το 2020. Το Advanced Driver Assistance System είναι μια τεχνολογία επόμενης γενιάς που θα αποτελέσει τη βάση για τα μελλοντικά αυτο-οδηγούμενα αυτοκίνητα της Nissan. Χρησιμοποιεί επίσης εξελιγμένα συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών και οδηγεί μέσω ηλεκτρονικών καλωδίων. Αυτό το αυτοκίνητο θα χρησιμοποιηθεί από τους μηχανικούς της Nissan για να αξιολογήσει το πώς λειτουργεί αυτόνομα το λογισμικό οδήγησης υπό πραγματικές συνθήκες, χρησιμοποιώντας τον χρόνο δοκιμής στον δημόσιο αυτοκινητόδρομο για να βελτιώσει το λογισμικό του αυτοκινήτου (Bimbraw, 2015:195).

Το Navia είναι ένα ρομποτικά κινούμενο ηλεκτρικό λεωφορείο, το οποίο λειτουργεί με μέγιστη ταχύτητα 20 χιλιομέτρων την ώρα. Με την τεχνολογία Inductστη Γαλλία, μπορεί να φιλοξενήσει 10 επιβάτες. Χρησιμοποιεί τέσσερις μονάδες LiDAR και στερεοσκοπικές οπτικές κάμερες και δεν απαιτεί οποιεσδήποτε τροποποιήσεις στο δρόμο. Η μονάδα LiDAR και οι οπτικές κάμερες υποβοηθούν στη δημιουργία ενός τρισδιάστατου χάρτη σε πραγματικό χρόνο του περιβάλλοντος χώρου. Έχει δοκιμαστεί με επιτυχία σε διάφορα πανεπιστήμια σε όλη την Ελβετία, την Αγγλία και τη Σιγκαπούρη (ibid).

Η Google σχεδιάζει να παρουσιάσει εκατοντάδες πρωτότυπα αυτο-οδηγούμενων οχημάτων που κατασκευάστηκαν στο μυστικό εργαστήριο X της Google, όπως δήλωσε επισήμως η εταιρεία στις 27 Μαΐου 2014. Η Google διακηρύσσει ότι αυτή η εξέλιξη αποτελεί εκδήλωση ετών εργασίας που ξεκίνησε με την τροποποίηση των υφιστάμενων οχημάτων. Η Google σχεδιάζει να κυκλοφορήσει αυτά τα μοντέλα τα επόμενα χρόνια. Ο τομέας αυτόνομης οδήγησης συνεχίζει να αναπτύσσεται μέρα με τη μέρα για ένα μέλλον που είναι ασφαλέστερο και πιο αποδοτικό (ibid).

Τον Οκτώβριο του 2015, η Tesla Motors κυκλοφόρησε μια βελτιωμένη έκδοση λογισμικού στο όχημα Model S, με ένα ενσωματωμένο χαρακτηριστικό που ονομάζεται "Autopilot" (Αυτόματος Πιλότος). Το λογισμικό επιτρέπει στο αυτοκίνητο να ακολουθεί αυτόματα μια λωρίδα, καθώς και αλλαγή λωρίδων ή στάθμευση κατόπιν εντολής. Αυτές οι ικανότητες τοποθετούν το μοντέλο S ανάμεσα στα πρώτα διαθέσιμα στο εμπόριο αυτο-οδηγούμενα αυτοκίνητα. Τα οχήματα της Google είναι σχεδόν εξ ολοκλήρου αυτόνομα και τα Tesla απαιτούν ελάχιστες εισροές, αλλά δεν έχουν ακόμη απομακρύνει τον άνθρωπο από το κάθισμα του οδηγού, ώστε να πληρούν τις απαιτήσεις ασφαλείας. Από το 2016, τα αυτοκίνητα της Google έχουν συλλογικά 75 χρόνια οδηγικής εμπειρίας, ενώ τα Tesla έχουν διανύσει πάνω από 47 εκατομμύρια μίλια σε αυτόματο πιλότο (engineering.com, 2016).

Σήμερα κάθε αυτοκινητοβιομηχανία σχεδιάζει να συμμετάσχει ενεργά στην αγορά των αυτόνομων αυτοκινήτων. Η GM επέκτεινε το ερευνητικό τμήμα της στον Καναδά για να επικεντρωθεί στην αυτόνομη τεχνολογία οχημάτων και ελπίζει να συμπεριλάβει αυτόνομους ελέγχους στο Bolt του 2017. Η GM δήλωσε επίσης τις προθέσεις της να συμπεριλάβει το hands-free χαρακτηριστικό Super Cruise στο Cadillac CT6 του 2017. Η Ford έχει συνεργαστεί με τη Velodyne LiDAR για την ανάπτυξη αυτοκινήτων που μπορούν να χειριστούν μια ποικιλία δυσμενών συνθηκών, καθώς και με μικρότερες εταιρείες προκειμένου να δημιουργήσουν ένα προϊόν «*προσβάσιμο στις μάζες ώστε πραγματικά να βελτιώσουν τις ζωές των πελατών*» σύμφωνα με τον πρόεδρο της Ford και τον CEO Mark Fields. Ο τεχνικός ηγέτης Jim McBride εκτιμά ότι η απαραίτητη τεχνολογία θα είναι διαθέσιμη μέχρι το 2021. Η τεχνολογία Active Park Assist είναι επίσης διαθέσιμη στα οχήματα της Ford από το 2013, με τη χρήση πολλαπλών αισθητήρων για αυτόνομη στάθμευση του οχήματος χωρίς οδηγό στο εσωτερικό της BMW i NEXT. Το ολοσχερώς αυτόνομο όχημα της Honda είναι σχεδιασμένο να κυκλοφορήσει το 2020. Σύμφωνα με τα λεγόμενα του

Johann Jurgwirth της VW τα αυτόνομα αυτοκίνητα θα είναι «συνηθισμένα» μέχρι το 2025, αν και ο βαθμός αυτονομίας τους παραμένει ασαφής (ibid).

Τον Ιανουάριο του 2017 οι εταιρείες Keolis και NAVYA, σε συνεργασία με την πόλη του Λας Βέγκας, εισήγαγαν την κυκλοφορία του πρώτου αυτόνομου, πλήρως ηλεκτρικού λεωφορείου σε αυτοκινητόδρομο στις Η.Π.Α. Τον Ιανουάριο του 2018 η Toyota ανακοινώνει την ανάπτυξη του οχήματος "e-Palette", το οποίο είναι ένα πλήρως ηλεκτρικό αυτόνομο όχημα που μπορεί να προσαρμοστεί για εφαρμογές όπως οι παραδόσεις τροφίμων (Pizza Hut) και η κοινοχρησία διαδρομών (ridesharing) (Uber). Τον Ιανουάριο του ίδιου έτους η Udelv ολοκλήρωσε την πρώτη παράδοση αγαθών από αυτο-οδηγούμενο αυτοκίνητο. Το Φεβρουάριο του 2018 η Hyundai ανακοίνωσε ότι ο στόλος των ηλεκτρικών της αυτοκινήτων που λειτουργούν με κυψέλες καυσίμου πραγματοποίησε επιτυχημένα ένα πλήρως αυτοματοποιημένο ταξίδι από τη Σεούλ προς την Πιονγιάνγκ. Αυτή είναι η πρώτη φορά που ένα όχημα επιπέδου 4 λειτουργεί με κυψέλες καυσίμου (MCGA, 2018).

Μέχρι το 2018, η Nissan δήλωσε ότι επρόκειτο να κυκλοφορήσει ένα αυτόνομο χαρακτηριστικό ελιγμών, εκτός από το πρότυπο ACC και την υποβοήθηση διατήρησης της λωρίδας, ενώ πλήρως αυτόνομα αυτοκίνητα θα είναι διαθέσιμα έως το 2019/2020. Προκειμένου να αποφέρει οφέλη στους καταναλωτές της, η Volvo πρόκειται να λανσάρει στην αγορά ένα αυτόνομο αυτοκίνητο, το οποίο θα περιλαμβάνει πρωτοποριακή τεχνολογία που απαιτεί σημαντικά συστήματα υποβοήθησης των οδηγών, τα οποία θα αποβλέπουν στην αποφυγή οποιουδήποτε είδους βλάβης και απώλειας ζωής. Η Volvo έχει αναπτύξει και προβάλει το όραμα της για την ασφάλεια, σύμφωνα με το οποίο κανείς δεν θα χάσει τη ζωή του ή θα τραυματιστεί σοβαρά στο επικείμενο ασφαλές αυτόνομο αυτοκίνητο του 2020. Μέχρι τα μέσα του 2020, οι περισσότερες από τις μεγάλες εταιρείες αυτοκινήτων όπως η Audi, η GM, η Daimler, η Mercedes, η Nissan, η BMW και η Renault αναμένουν να πουλήσουν οχήματα που είναι κάπως αυτόνομα, αν όχι πλήρως. Τα περισσότερα από τα αυτοκίνητα θα είναι εξοπλισμένα με χαρακτηριστικά όπως το ACC, το αυτοματοποιημένη στάθμευση κλπ. Εταιρείες όπως η Ford αναμένεται να παράγουν αυτόνομα οχήματα με διάφορες λειτουργίες μέχρι το 2025. Επίσης, εκτιμάται ότι τα μελλοντικά αυτο-οδηγούμενα οχήματα θα είναι αυτόνομα και θα λειτουργούν απολύτως ανεξάρτητα από τον ανθρώπινο έλεγχο μέχρι το 2035. Από τα παραπάνω προκύπτει το μέλλον των αυτόνομων αυτοκινήτων δεν είναι μακρινό (Bimbraw, 2015:196).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Νομικά Ζητήματα & Αυτο-οδηγούμενα Οχήματα

Η έλευση των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων εδάφους δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, τους φορείς σχεδιασμού των μεταφορών και για άλλους ενδιαφερόμενους φορείς (Pinjari et al., 2014). Τα σημαντικότερα εμπόδια στην περαιτέρω εξάπλωση της χρήσης τους είναι η έλλειψη νομικού πλαισίου κυρίως όσον αφορά ζητήματα ευθύνης για τα ατυχήματα που μπορεί να συμβούν (Pinjari et al., 2014; Bin Sulaiman, 2018).

2.1 Ευθύνη

Παρά την ανάπτυξη τεχνολογίας αιχμής στα αυτο-οδηγούμενα αυτοκίνητα, εξακολουθεί να υπάρχει η πιθανότητα εμφάνισης κάποιας δυσλειτουργίας ή βλάβης που να μην μπορεί να αντιμετωπιστεί επαρκώς από το σύστημα ελέγχου του ηλεκτρονικού υπολογιστή του οχήματος. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι ένα ατύχημα οφείλεται σε ελάττωμα, δυσλειτουργία ή βλάβη του αυτοματοποιημένου συστήματος αυτόματου ελέγχου, οι συνέπειες και το κόστος θα μπορούσαν να είναι αρκετά σημαντικά. Επίσης, εάν ο εφεδρικός οδηγός δεν αναλάβει τη χειροκίνητη λειτουργία όπως απαιτείται για την ασφαλή λειτουργία του αυτο-οδηγούμενου αυτοκινήτου υπό οποιεσδήποτε συνθήκες, θα μπορούσαν επίσης να προκύψουν δαπανηρές νομικές συνέπειες. Αυτός είναι ο λόγος, για τον οποίο όλοι οι ιδιοκτήτες και οδηγοί υποχρεούνται να ασφαλιστούν. Αυτό που πολλοί υποστηρικτές των αυτο-οδηγούμενων αυτοκινήτων δεν φαίνεται να κατανοούν πλήρως είναι, ότι ακόμη και η πιο εξελιγμένη αυτόνομη ή αυτο-οδηγούμενη τεχνολογία θα χρειαστεί κάποια στιγμή ένα εφεδρικό οδηγό, κάτω από ορισμένες συνθήκες. Εάν ο επιβάτης ενός αυτο-οδηγούμενου αυτοκινήτου θέλει να κοιμηθεί κατά τη διάρκεια του ταξιδιού ή να επικεντρωθεί πλήρως σε κάποια άλλη δραστηριότητα, θα πρέπει να ορίσει κάποιο άλλο επιβάτη ή εφεδρικό οδηγό, ο οποίος θα είναι έτοιμος και πρόθυμος να αναλάβει τη λειτουργία του αυτο-οδηγούμενου αυτοκινήτου, όπως κατά περίπτωση απαιτείται (Miller, 2014).

Τα πρόσφατα ατυχήματα, στα οποία ενεπλάκησαν αυτοκίνητα Tesla και Google δείχνουν ότι η αυτόνομη τεχνολογία δεν είναι εντελώς αλάνθαστη. Τα αυτο-

οδηγούμενα οχήματα θα πρέπει πιθανότατα να μοιράζονται το δρόμο με μη αυτο-οδηγούμενα οχήματα, καθώς και άλλους χρήστες του οδικού δικτύου, για μια μακρά μεταβατική περίοδο. Αυτή η αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπου και λογισμικού θα οδηγήσει αναπόφευκτα σε ατυχήματα (De Bruyne & Vanleenhove, 2018:17). Στα περισσότερα συμβατικά αυτοκίνητα, ο οδηγός διατηρεί κάποιο έλεγχο επί του οχήματος και έτσι αναλαμβάνει την πρωταρχική ευθύνη για τη μοίρα του οχήματος. Ωστόσο, τα άτομα που επιβαίνουν σε ένα αυτο-οδηγούμενο όχημα δεν έχουν πλέον τον έλεγχο του (Taeihagh & Lim, 2018: 110). Όπως προαναφέρεται, το επίπεδο αυτοματοποιημένης οδήγησης ≥ 3 προσφέρει υψηλή άνεση και ευελιξία στον οδηγό επιτρέποντας του να επιδίδεται σε άλλες ασχολίες, ενώ το όχημα κινείται. Αυτό δημιουργεί, ωστόσο, ανησυχίες σχετικά με την ευθύνη κατά την αυτόνομη οδήγηση, ιδίως σε περιπτώσεις ατυχημάτων (EPoSS, 2015:6).

Επιπρόσθετα, η απόδοση ευθυνών που άπτονται σε κατασκευαστικά σφάλματα είναι ιδιαίτερα ασαφής στην περίπτωση των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων. Για παράδειγμα, δεν θα είναι εύκολο να προσδιοριστεί ποιος είναι ο «οδηγός» σε ένα αυτο-οδηγούμενο όχημα και αν μπορεί αυτός να θεωρηθεί υπεύθυνος για μια παραβίαση του νόμου που στην πραγματικότητα διαπράττεται από το ίδιο το όχημα (π.χ. παραβίαση κόκκινου σηματοδότη) (De Bruyne & Vanleenhove, 2018:18). Επιπρόσθετα, δεν είναι σαφές πώς κατανέμεται η ευθύνη μεταξύ του αυτόνομου συστήματος του UGV και του οδηγού. Θα αποδίδεται στον άνθρωπο μέρος της ευθύνης για τη σύγκρουση εάν υπάρχει μια χειροκίνητη λειτουργία που ο ίδιος απέτυχε να χρησιμοποιήσει; (Taeihagh & Lim, 2018:110). Επομένως, είναι ουσιώδες για τις ασφαλιστικές εταιρείες και όλους τους χρήστες του οδικού δικτύου, να διευκρινιστεί αν την ευθύνη φέρει ο άνθρωπος που χρησιμοποιεί το αυτοκίνητο, ή ο ιδιοκτήτης ή ο κατασκευαστής ή ο προμηθευτής του οχήματος. Προκειμένου τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα να τύχουν ευρείας αποδοχής, θα πρέπει να καθοριστεί η ισορροπία μεταξύ αυτών των τριών πιθανών ευθυνών (EPoSS, 2015:6).

Ωστόσο, μια εναλλακτική λύση αυτού του ζητήματος θα ήταν ο διαχωρισμός του θύματος από το ζήτημα της ευθύνης σε ένα ατύχημα, δηλαδή να αποδίδεται η αποζημίωση στο θύμα ανεξάρτητα από το ποιος φέρει τη σχετική ευθύνη (ibid). Ως αποτέλεσμα της υφιστάμενης νομοθετικής ασάφειας, τα θύματα των τροχαίων θα πρέπει να κινούνται νομικά εναντίον τρίτων μερών για να διεκδικήσουν αποζημίωση, όπως τον παραγωγό του οχήματος ή του λογισμικού. Η έρευνα, ωστόσο, δείχνει ότι η εφαρμογή των υφιστάμενων νομικών καθεστώτων περί ευθύνης ενδέχεται να μην

είναι απλή στην περίπτωση των αυτόνομων οχημάτων. Για παράδειγμα, δεν είναι σίγουρο εάν το ελάττωμα που προκάλεσε τη ζημία υπήρχε ήδη κατά το χρόνο έναρξης της κυκλοφορίας του οχήματος (De Bruyne & Vanleenhove, 2018:18).

Είναι πιθανό ότι αρχικά, ελλείψει ειδικής νομοθεσίας, οι ιδιοκτήτες αυτοκινήτων θα παραμείνουν υπεύθυνοι για τα περιστατικά που προκαλούνται από τα αυτόνομα οχήματα τους (Allen & Overy, 2017:9). Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου, μέρος ή ολόκληρη η ευθύνη θα μεταφερθεί στο αυτο-οδηγούμενο όχημα, καθώς τα ατυχήματα θα άπτονται περισσότερο σε θέματα ασφάλειας ή αποτελεσματικότητας του προϊόντος. Έτσι, τα τρίτα μέρη που εμπλέκονται στο σχεδιασμό συστημάτων ασφαλείας στα UGV θα είναι περισσότερο ευάλωτα απέναντι σε αγωγές που αφορούν την ευθύνη για τα προϊόντα τους. παρά το γεγονός ότι περιορίζουν την ιδιωτικότητα των προσωπικών δεδομένων, τα δεδομένα των μαύρων κουτιών (καταγραφείς δεδομένων συμβάντων (EDRs)) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ακριβέστερο προσδιορισμό της ευθύνης. Επιπλέον, δεν υπάρχει σαφές νομικό πλαίσιο που να περιγράφει τον τρόπο κατανομής της ευθύνης μεταξύ τρίτων υπευθύνων για το σχεδιασμό συστημάτων UGVs- κατασκευαστή, προμηθευτή, προμηθευτή λογισμικού ή φορέα εκμετάλλευσης του λογισμικού - καθιστώντας δύσκολη την ταυτοποίηση και τον διαχωρισμό των διαφόρων συνιστωσών που προκάλεσαν τη δυσλειτουργία του συστήματος (Taeihagh & Lim, 2018:110).

Αυτά τα νομικά ζητήματα είναι βέβαιο ότι θα επηρεαστούν από το επίπεδο αυτοματοποίησης που εξετάζεται. Για παράδειγμα, στα επίπεδα εκείνα, όπου ο οδηγός παραμένει ουσιαστικά στον έλεγχο του οχήματος, είναι λιγότερο πιθανό να δημιουργηθεί ένα νέο νομικό προηγούμενο. Το τρέχον νομικό πλαίσιο μπορεί ακόμη και να εφαρμοστεί στα επίπεδα αυτοματισμού, στα οποία ο οδηγός λαμβάνει προειδοποιήσεις και αναμένεται να αναλάβει εάν το σύστημα του αυτο-οδηγούμενου χρειαστεί να απεμπλακεί, μολονότι είναι αμφισβητήσιμο αν μπορεί να αναμένεται εύλογα μια ανθρώπινη έγκαιρη παρέμβαση. Παράλληλα, τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα προσφέρουν τη δυνατότητα μεταφοράς σε άτομα που δεν δύνανται σωματικά να οδηγήσουν. Στις περιπτώσεις αυτές, η αμέλεια και η ευθύνη μπορεί να είναι λιγότερο ξεκάθαρες (Adeel et al., 2015:760-761).

Επιπλέον, οι κατασκευαστές πέραν των νομικών συνεπειών των ατυχημάτων, καθίστανται όλο και περισσότερο ευάλωτοι στο ενδεχόμενο δυσφήμισης από ατυχήματα που συνδέονται με αστοχίες στον σχεδιασμό και την κατασκευή. Ακόμα, τα ισχύοντα νομικά πλαίσια δεν καθορίζουν τις πρακτικές και ηθικές ευθύνες των

προγραμματιστών λογισμικού για το σχεδιασμό αλγορίθμων σύγκρουσης που καθορίζουν κρίσιμες αποφάσεις για τη ζωή ή το θάνατο των επιβατών, δημιουργώντας πολλά ερωτηματικά ως προς την ηθική διάσταση του πράγματος. Οι κυβερνήσεις δεν έχουν ακόμη εξετάσει εάν τα κριτήρια λήψης αποφάσεων των αλγορίθμων κατά τη διάρκεια ατυχημάτων θα πρέπει να τυποποιηθούν. Καμία κυβέρνηση εκτός του Ηνωμένου Βασιλείου δεν έχει ακόμη τροποποιήσει το νομικό πλαίσιο για την ενσωμάτωση των περίπλοκων αυτών συνιστωσών στα ζητήματα ευθύνης των οδηγών, των κατασκευαστών, των σχεδιαστών λογισμικού και άλλων τρίτων εμπλεκόμενων μερών (Taeihagh & Lim, 2018:110).

Η απόδοση της ευθύνης και οι αντίστοιχες επιπτώσεις στα ασφαλιστικά έξοδα είναι επί του παρόντος άγνωστες. Οι τραυματισμένοι εμπλεκόμενοι μπορούν να στραφούν κατά του κατασκευαστή ή του παρόχου λογισμικού αν η ευθύνη ανήκει στο αυτόνομο σύστημα. Μακροπρόθεσμα, οι υψηλοί κίνδυνοι ευθύνης ενδέχεται να αποδυναμώσουν το κίνητρο των κατασκευαστών για την ανάπτυξη της καινοτομίας, επιβραδύνοντας περαιτέρω βελτιώσεις ασφαλείας για τους χρήστες των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων (ibid). Το 2016, ένας άνδρας τραυματίστηκε θανάσιμα, όταν ο αυτόματος πιλότος της Tesla δεν ήταν σε θέση να διακρίνει ένα άλλο όχημα που διέσχιζε τον αυτοκινητόδρομο, οδηγώντας σε μια θανατηφόρο σύγκρουση. Αργότερα είχε αναφερθεί ότι η οικογένεια του αποθανόντος προσέλαβε εμπειρογνώμονες και νομικούς συμβούλους για να αποφανθούν περί της ύπαρξης αστοχίας στο εμπλεκόμενο αυτο-οδηγούμενο όχημα. Ένα άλλο νομικό ζήτημα, είναι η ευθύνη της ασφάλισης, δεδομένου ότι το αυτο-οδηγούμενο όχημα δεν οδηγείται από τον οδηγό ή τον ιδιοκτήτη, οπότε η ευθύνη έναντι τρίτων παραμένει άλυτο ερώτημα. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, εξέχουσες ασφαλιστικές εταιρείες, συμπεριλαμβανομένης της εταιρείας Arriva και Direct, εργάζονται σε μια κοινή πλατφόρμα για τη σύναψη πλαισίου για την ασφάλιση αυτο-οδηγούμενων αυτοκινήτων (Bin Sulaiman, 2018).

2.1.1 Νομοθεσία στις ΗΠΑ

Στις ΗΠΑ οι νόμοι για την κυκλοφορία είναι σαφώς καθορισμένοι, με εξαίρεση την αόριστη διάταξη, κοινή στο Νόμο περί αδικοπραξίας (Tortlaw), που ονομάζεται Καθήκον Μέριμνας (Duty of Care). Το καθήκον της μέριμνας αναφέρει ότι ένα άτομο θα πρέπει να ασκεί "εύλογη προσοχή" κατά την εκτέλεση πράξεων που θα μπορούσαν να βλάψουν άλλους. Αυτό που εννοείται με τον όρο

εύλογη προσοχή είναι ανοιχτό για ερμηνεία, εφόσον εδράζεται σε κοινωνικούς κανόνες οι ορισμοί των οποίων είναι ρευστοί, αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου και σταδιακά να διευκρινίζονται μέσω δεδικασμένων υποθέσεων που αφορούν σε παρελθόντα ατυχήματα (Colonna, 2012; Shalev-Shwartz et al., 2017).

Όσον αφορά τη μορφή διακυβέρνησης, οι ΗΠΑ αποτελούν ομοσπονδία και ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να γίνεται διάκριση μεταξύ των δράσεων που πραγματοποιούνται από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση και εκείνων που έχουν αναληφθεί από μεμονωμένες Πολιτείες (Ilková & Ilka, 2017). Στις ΗΠΑ, η ομοσπονδιακή κυβέρνηση αναθέτει το μεγαλύτερο μέρος της αρμοδιότητας για τον καθορισμό κανόνων ευθύνης στις κυβερνήσεις των Πολιτειών. Επί του παρόντος, το Υπουργείο Μεταφορών δεν έχει δώσει καμία απάντηση σε θέματα που αφορούν θέσπιση εθνικών κανόνων για την ευθύνη και την ασφάλιση σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα. Η NHTSA προτρέπει τις Πολιτείες να εξετάσουν την απόδοση της ευθύνης, να καθορίσουν ποιος πρέπει να αναλαμβάνει την ασφάλιση των αυτοκινήτων, καθώς και να εξετάσουν κανόνες για την απόδοση της ευθύνης λόγω αδικοπραξίας. Μέχρι στιγμής, οι περισσότερες Πολιτείες έχουν κάνει το πρώτο βήμα προς μια στρατηγική προσανατολισμένη στον έλεγχο, ώστε να αντιμετωπίσουν ζητήματα που αφορούν στην ευθύνη μέσω της αναθεώρησης των ορισμών των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων (Taeihagh & Lim, 2018:110).

Σε ομοσπονδιακό επίπεδο, η NHTSA εξέδωσε μια δήλωση πολιτικής το 2013 που παραθέτει τον ορισμό των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων και της σχετικής τεχνολογίας, τις δυνητικές επιπτώσεις τους στην ασφάλεια των οδικών αρτηριών και συστάσεις προς τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής. Η NHTSA συνέστησε στους διαμορφωτές της πολιτικής στις Πολιτείες να εκδίδουν μόνο κανόνες που διέπουν τις δοκιμές εντός των αντίστοιχων Πολιτειών. Οι εκτιμήσεις που περιλαμβάνονται στη δήλωση πολιτικής περιγράφονται παρακάτω και καλύπτουν σε γενικές γραμμές το ποιος θα πρέπει να θεωρείται ως χειριστής με τα απαραίτητα προσόντα, το που θα πρέπει να επιτρέπεται η δοκιμή οχημάτων και τα βασικά χαρακτηριστικά ενός ασφαλούς αυτο-οδηγούμενου οχήματος:

1. *«Βεβαιωθείτε ότι ο οδηγός κατανοεί πώς να χειριστεί ένα Αυτο-οδηγούμενο Όχημα με ασφάλεια»*, μέσω ενός προγράμματος αδειοδότησης οδηγών.
2. «*Βεβαιωθείτε ότι η δοκιμή των Αυτο-οδηγούμενων Οχημάτων ελαχιστοποιεί τους κινδύνους για τους άλλους χρήστες του οδικού*

δικτύου». Αυτό περιλαμβάνει την πιστοποίηση ότι «*το όχημα έχει ήδη λειτουργήσει για ορισμένο αριθμό μιλίων σε λειτουργία αυτο-οδήγησης χωρίς περιστατικό πριν από τη δοκιμή του οχήματος σε δημόσιους δρόμους*».

3. Περιορισμός των δοκιμών σε οδικές, κυκλοφοριακές και περιβαλλοντικές συνθήκες κατάλληλες για τα χαρακτηριστικά των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων που δοκιμάζονται.
4. Καθιέρωση απαιτήσεων υποβολής εκθέσεων για την παρακολούθηση της απόδοσης της Τεχνολογίας Αυτο-οδήγησης κατά τη διάρκεια της δοκιμής.
5. *«Βεβαιωθείτε ότι η διαδικασία για τη μετάβαση από τη λειτουργία Αυτο-οδήγησης στον έλεγχο από τον οδηγό είναι ασφαλής, απλή και έγκαιρη».*
6. «*Βεβαιωθείτε ότι τα οχήματα δοκιμής έχουν την ικανότητα να εντοπίζουν, να καταγράφουν και να ενημερώνουν τον οδηγό ότι τα αυτοματοποιημένα συστήματα έχουν κάποια δυσλειτουργία*».
7. «*Βεβαιωθείτε ότι η εγκατάσταση και η λειτουργία οποιωνδήποτε τεχνολογιών UGV δεν αποκλείει οποιεσδήποτε απαιτούμενες λειτουργίες ή συστήματα ασφαλείας σε ομοσπονδιακό επίπεδο»*. Η ομοσπονδιακή νομοθεσία απαγορεύει την *«ακινητοποίηση οποιουδήποτε ομοσπονδιακού συστήματος ασφαλείας»* και η *«εγκατάσταση των τεχνολογιών αυτο-οδήγησης δεν θα πρέπει να υποβαθμίζει την απόδοση οποιουδήποτε από αυτά τα ομοσπονδιακά απαιτούμενα συστήματα ή τη συνολική ασφάλεια του οχήματος*».
8. «*Βεβαιωθείτε ότι τα Αυτο-οδηγούμενα Οχήματα καταγράφουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των αυτοματοποιημένων τεχνολογιών ελέγχου σε περίπτωση σύγκρουσης ή απώλειας του ελέγχου του οχήματος*» (Adeel et al., 2015; 763-764).

Τον Ιούνιο του 2011, η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση της Νεβάδας ενέκρινε νόμο που επιτρέπει τη χρήση αυτο-οδηγούμενων αυτοκινήτων. Έτσι, η Νεβάδα έγινε η πρώτη έννομη τάξη διεθνώς, όπου τα αυτόνομα οχήματα θα μπορούσαν να λειτουργούν νόμιμα σε δημόσιους δρόμους (Colonna, 2012; Ilková & Ilka, 2017).

Ο Σεπτέμβριος του 2016 ήταν μια καμπή όσον αφορά τη σχετική νομοθεσία σε πολιτειακό επίπεδο: οι αρχές μεταφορών της Καλιφόρνια πραγματοποίησαν δύο σημαντικές αλλαγές στην πολιτική τους για τα αυτόνομα οχήματα. Η πρώτη

αλλαγή ήταν ένα νέο νομοσχέδιο που έδωσε την άδεια στην Contra Costa Transportation Authority να δοκιμάσει ένα πιλοτικό όχημα στους δημόσιους δρόμους χωρίς οδηγό πίσω από το τιμόνι. Πριν από αυτή την εξέλιξη, η Πολιτεία επέτρεπε τις δοκιμές σε δημόσιο δρόμο, μόνο εφόσον υπήρχε εντός του οχήματος οδηγός, έτοιμος να αναλάβει άμεσα τον χειροκίνητο έλεγχο του οχήματος σε περίπτωση βλάβης της τεχνολογίας αυτο-οδήγησης ή άλλης έκτακτης ανάγκης. Το νομοσχέδιο απαιτούσε τα αυτόνομα οχήματα να ασφαλιστούν για 5 εκατομμύρια δολάρια, να μην ξεπερνούν τα 35 μίλια την ώρα, να κοινοποιηθούν τα δεδομένα που προέκυψαν από τις δοκιμές στην κυβέρνηση και να τεθούν γεωγραφικοί περιορισμοί (Ilková & Ilka, 2017).

Η δεύτερη αλλαγή, αναθεώρησε το σχέδιο κανονισμών που εκδόθηκε από το τμήμα μηχανοκίνητων οχημάτων της Καλιφόρνια, και μπορεί ενδεχομένως να αλλάξει τον τρόπο, με τον οποίο δοκιμάζονται όλα τα αυτο-οδηγούμενα αυτοκίνητα στην Πολιτεία, αυξάνοντας τα προνόμια που δόθηκαν στο προαναφερθέν πιλοτικό πρόγραμμα. Εάν περάσει ο νόμος, θα επιτρέψει στους κατασκευαστές αυτοκινήτων να δοκιμάσουν τα οχήματα που θεωρούνται ασφαλή από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση σε δημόσιους δρόμους χωρίς οδηγούς. Αντί την ύπαρξη οδηγού στο όχημα, οι νέοι προτεινόμενοι κανονισμοί απαιτούν από ένα δοκιμαστικό πρόγραμμα οδήγησης να έχει αμφίδρομη επικοινωνία με ένα όχημα (ibid).

Το έτος 2016, είκοσι Πολιτείες των ΗΠΑ είχαν θεσπίσει νομοθεσία για τα αυτο-οδηγούμενα αυτοκίνητα. Ενώ ο νόμος της Καλιφόρνια είναι αυτός που έλαβε μεγαλύτερη προβολή από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης, στην πραγματικότητα η πρώτη Πολιτεία που θεσμοθέτησε εκτεταμένους κανονισμούς για τα αυτόνομα αυτοκίνητα ήταν το Μίσιγκαν. Η νομοθεσία επικεντρώθηκε λιγότερο στους περιορισμούς της προστασίας των προσωπικών δεδομένων και αντί αυτού νομιμοποίησε τις υπηρεσίες κοινοχρησίας διαδρομών (ride sharing), και τη δοκιμή και χρήση των αυτο-οδηγούμενων αυτοκινήτων σε δημόσιους δρόμους. Ο μόνος σημαντικός περιορισμός, που θέσπισαν η Τζόρτζια, το Μέριλαντ, το Ιλινόις και το Τενεσί, είναι ότι η ανάπτυξη αυτο-οδηγούμενων οχημάτων επιτρέπεται μόνο στις αυτοκινητοβιομηχανίες, απαιτώντας από εταιρείες όπως το Uber, τη Lyft και τη Google να συνεργαστούν με αυτοκινητοβιομηχανίες για την ανάπτυξη τέτοιων οχημάτων (Bloom et al., 2017:360).

Όσον αφορά τον ομοσπονδιακό κανονισμό για την οδική κυκλοφορία, η NHTSA εξέδωσε επικαιροποιημένη οδηγία για την ασφαλή ανάπτυξη των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων το Σεπτέμβριο του 2016. Η οδηγία περιλαμβάνει τέσσερις πυλώνες: τις κατευθυντήριες γραμμές για την απόδοση των οχημάτων, την κρατική πολιτική για τα μοντέλα, τα τρέχοντα ρυθμιστικά εργαλεία της NHTSA και τις πιθανές νέες ρυθμιστικές δράσεις. Η NHTSA θεώρησε ότι η εν λόγω οδηγία θα μπορούσε να είναι χρήσιμη για την εξασφάλιση της ασφαλούς ανάπτυξης των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων. Για τους πιθανούς κατασκευαστές τους, η πολιτική περιλαμβάνει ένα σύνολο 15 βέλτιστων πρακτικών σχετικά με τον ασφαλή σχεδιασμό, καθώς και την ανάπτυξη και δοκιμή των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων πριν από την εμπορική πώληση ή τη λειτουργία τους σε δημόσιους δρόμους (Ilková & Ilka, 2017).

2.1.2 Νομοθεσία στην Ευρώπη

Όσον αφορά την Ευρώπη, η εξέταση της νομοθεσίας σε κράτη - μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αποτελούν ισχυρούς παράγοντες της αυτοκινητοβιομηχανίας (Γαλλία, Γερμανία, Ισπανία, Σουηδία κ.λπ.) αποκαλύπτει ότι καμία από αυτές τις χώρες δεν έχει θεσπίσει επί του παρόντος νομοθεσία που να συνδέεται με αυτο-οδηγούμενα οχήματα. Ωστόσο, νέες δοκιμές διεξάγονται συνεχώς και αναμένεται να πραγματοποιηθούν σε αρκετές χώρες της ΕΕ υπό ad hoc νόμιμες άδειες (Allen & Overy, 2017; Ilková & Ilka, 2017).

Ένα από τα βασικά ρυθμιστικά εμπόδια στην ΕΕ και σε πολλές άλλες περιοχές είναι η Σύμβαση της Βιέννης του 1968[4]. Σύμφωνα με το άρθρο 8 «*Κάθε κινούμενο όχημα ή συνδυασμός οχημάτων πρέπει να έχει οδηγό*» και με το άρθρο 13 «*Κάθε οδηγός οχήματος πρέπει σε κάθε περίπτωση να έχει το όχημά του υπό έλεγχο* ...». Όπως προκύπτει, δεν υπάρχει σχεδόν καμία νομική βάση που να επιτρέπει την εφαρμογή οδήγησης υψηλού βαθμού αυτοματοποίησης στη μεταφορά ανθρώπων και αγαθών. Μόνο η υποβοηθούμενη ή μερικώς αυτοματοποιημένη οδήγηση θα ήταν σύμφωνη με την παρούσα σύμβαση, η οποία εφαρμόζεται στις σχετικές νομοθεσίες όλων σχεδόν των χωρών της ΕΕ (εκτός από την Ισπανία και το Ηνωμένο Βασίλειο). Η μάλλον

[4]Σύμβαση για την Οδική Κυκλοφορία, γνωστή και ως Σύμβαση της Βιέννης. Πρόκειται για μια πολυμερή διεθνή συνθήκη των Ηνωμένων Εθνών που ασχολείται με το δίκαιο της γενικής κυκλοφορίας.

ταχεία ανάπτυξη των τεχνολογιών του αυτοματισμού προκάλεσε τροποποίηση του άρθρου 8 της σύμβασης της Βιέννης για την οδική κυκλοφορία τον Μάρτιο του 2014 (EPoSS, 2015:6; Ilková & Ilka, 2017).

Στη νέα τροποποίηση ο οδηγός πρέπει να είναι παρών και να μπορεί να αναλάβει το τιμόνι ανά πάσα στιγμή, αλλά επιτρέπει στο αυτοκίνητο να οδηγεί μόνο του, όσο το σύστημα «*μπορεί να παρακαμφθεί ή να απενεργοποιηθεί από τον οδηγό*». Παρόλο που αυτό αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την πραγματική εφαρμογή των αυτοματοποιημένων οχημάτων, υπάρχουν ακόμη ισχύοντα νομικά εμπόδια, τα οποία πρέπει να προσαρμοστούν για να εφαρμοστεί, για παράδειγμα, η κυκλοφορία αυτο-οδηγούμενων οχημάτων σε αυτοκινητόδρομους. Ένα από τα εμπόδια αυτά είναι ο κανονισμός υπ' αριθ. 79 της Οικονομικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (United Nations Economic Commission for Europe – UNECE) σχετικά με το σύστημα πλοήγησης. Επί παραδείγματι, επιτρέπεται το αυτόματο σύστημα πλοήγησης μόνο σε χαμηλότερες ταχύτητες (EPoSS, 2015:6; Ilková & Ilka, 2017).

Παρά το γεγονός ότι, η ΕΕ δεν έχει τροποποιήσει το νομικό της πλαίσιο για την ενσωμάτωση των κινδύνων ευθύνης και ασφάλισης που σχετίζονται με τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα, διερευνά λύσεις σε ζητήματα ευθύνης. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission- EC) ίδρυσε την επιτροπή GEAR 2030 το 2016, προκειμένου να διερευνήσει λύσεις σε θέματα που σχετίζονται με τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα και τον Φεβρουάριο του 2017 η ομάδα έκανε συστάσεις για τη χρήση EDR. Τον Μάιο του 2016, τα μέλη του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου συνέστησαν στην Επιτροπή να δημιουργήσει ένα υποχρεωτικό σύστημα ασφάλισης και ένα συνοδευτικό ταμείο για τη διασφάλιση πλήρους αποζημίωσης για τα θύματα ατυχημάτων, στα οποία εμπλέκονται αυτο-οδηγούμενα οχήματα, καθώς επίσης και ένα νομικό καθεστώς για όλα τα ρομποτικά οχήματα για τον καθορισμό της ευθύνης σε ατυχήματα (Taeihagh & Lim, 2018:112).

Η μόνη χώρα που έχει υιοθετήσει μια στρατηγική για την αντιμετώπιση των κινδύνων αστικής ευθύνης και ασφάλισης είναι το Ηνωμένο Βασίλειο. Στα τέλη του 2016, το Κέντρο Συνδεδεμένων και Αυτόνομων Οχημάτων (Centre for Connected & Autonomous Vehicles – CCAV) επεσήμανε τα νομικά κενά που σχετίζονται με την ευθύνη και την ασφάλιση και κατέληξε σε προτεινόμενες ρυθμιστικές αλλαγές. Σε απάντηση, εγκρίθηκε το νομοσχέδιο HC 143 το 2017. Το νομοσχέδιο καθορίζει έναν περιεκτικό κατάλογο που διευκρινίζει την ευθύνη των ασφαλιστών και των ιδιοκτητών αυτο-οδηγούμενων οχημάτων σε περίπτωση ατυχήματος και σε ένα ευρύ

φάσμα περιστάσεων. Οι ασφαλιστικές εταιρείες είναι αυτομάτως υπεύθυνες για το θάνατο ή ζημιές λόγω ατυχημάτων που προκαλούνται από ασφαλισμένα αυτο-οδηγούμενα οχήματα. Η ευθύνη της ασφαλιστικής εταιρείας μπορεί, ωστόσο, να περιοριστεί σε περιπτώσεις όπου ο ιδιοκτήτης θεωρείται υπαίτιος για την πρόκληση του ατυχήματος. Το νομοσχέδιο επιλύει το ζήτημα της κατανομής της ευθύνης μεταξύ των ασφαλιστικών εταιρειών και των ασφαλισμένων θυμάτων που εμπλέκονται σε ατυχήματα με αυτο-οδηγούμενα οχήματα. Συγκεκριμένα, το νομοσχέδιο διασφαλίζει ότι η ευθύνη για ατυχήματα, στα οποία εμπλέκονται οχήματα παραμένουν στο υπάρχον σύστημα ασφάλισης αυτοκινήτων, παρέχοντας στα θύματα ατυχημάτων ταχύτερη πρόσβαση στην αποζημίωση. Οι κατασκευαστές προστατεύονται επίσης βάσει του νόμου περί προστασίας των καταναλωτών, εάν αποδείξουν ότι το όχημα δεν ήταν ελαττωματικό κατά τη στιγμή της παράδοσής του και ότι το ελάττωμα εντοπίστηκε μόνο αργότερα λόγω επιστημονικών προόδων (Coates, 2017; Taeihagh & Lim, 2018:111).

Όπως και το Ηνωμένο Βασίλειο, η κυβέρνηση της Γερμανίας έχει θεσπίσει νομοθεσία τον Ιούνιο του 2017 για την αντιμετώπιση των, σχετικών με τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα, κινδύνων ευθύνης. Σύμφωνα με το νόμο, τα UGV πρέπει να εγκαταστήσουν ένα μαύρο κουτί για να καταγράψουν ολόκληρο το ταξίδι, προκειμένου να καθοριστούν οι ευθύνες κατά τις συγκρούσεις. Ο νόμος διπλασιάζει επίσης τα ανώτατα όρια αστικής ευθύνης που επιβάλλονται από την υπάρχουσα νομοθεσία και προσπαθεί να κατανείμει την ευθύνη μεταξύ του κατασκευαστή και του οδηγού: ο πρώτος είναι υπεύθυνος για τα ατυχήματα, όπου το σύστημα του οχήματος είναι υπεύθυνο και η αποτυχία του συστήματος είναι ο κύριος υπαίτιος. Ωστόσο, ο νόμος δεν διευκρινίζει το τι θεωρείται ως «επαρκές χρονικό περιθώριο», εντός του οποίου επιτρέπεται στους οδηγούς να αναλάβουν τον έλεγχο όταν είναι απαραίτητο και για ποιο λόγο τα τρίτα μέρη κατέχουν τα δεδομένα που συλλέγονται από μαύρο κουτί (JDSUPRA, 2017). Η νέα Επιτροπή Δεοντολογίας της Γερμανίας δημοσίευσε επίσης τις πρώτες δεοντολογικές κατευθυντήριες οδηγίες στον κόσμο για τα UGV. Οι κατευθυντήριες γραμμές συνιστούν ότι θα πρέπει να υπάρχει πάντοτε σαφήνεια ως προς το ποιος θεωρείται οδηγός, ο οποίος πρέπει να καταγράφεται για τον καθορισμό της ευθύνης. Επιπλέον, δηλώνει ότι είναι ανήθικο να χρησιμοποιούν οι αλγόριθμοι στο σύστημα του οχήματος τα προσωπικά δεδομένα ενός ατόμου (όπως η ηλικία ή το φύλο) ως κριτήρια λήψης αποφάσεων κατά τη διάρκεια των σεναρίων αναπόφευκτων ατυχημάτων. Παρόλο που οι κατευθυντήριες γραμμές δεν είναι

υποχρεωτικές, αποτελούν ένα πρώτο βήμα για την επίλυση των ηθικών προβλημάτων γύρω από τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα. Ωστόσο, πρέπει να υπάρξει μια ανοιχτή συζήτηση σχετικά με την ευθύνη των ατόμων που σχεδιάζουν αυτούς τους αλγορίθμους (Taeihagh & Lim, 2018:111).

Παρόλο που η Ευρώπη δεν έχει μείνει πίσω στον αγώνα της τεχνικής ανάπτυξης των προηγμένων αυτόνομων οχημάτων, η πίεση αυξάνεται τώρα για τους νομοθέτες, τις ασφαλιστικές εταιρείες και τους κατασκευαστές, οι οποίοι έχουν αναλάβει να ασχοληθούν με νομικά και κανονιστικά ζητήματα, τα οποία μέχρι πρόσφατα έχουν παραμείνει αναπάντητα (Ilková & Ilka, 2017). Για την αυτοματοποιημένη οδήγηση και τις εφαρμογές της σε πόλεις ή αυτοκινητοδρόμους, είναι σαφές ότι οι υπάρχοντες περιορισμοί πρέπει να προσαρμοστούν σύμφωνα με τις ήδη διαθέσιμες τεχνολογίες. Σε άλλες χώρες όπως στις ΗΠΑ, για παράδειγμα, η νομοθεσία είναι πολύ πιο χαλαρή, γεγονός που επιτρέπει την ταχύτερη ανάπτυξη των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων σε σύγκριση με την Ευρώπη. Ως εκ τούτου, τα νομικά ζητήματα πρέπει να ρυθμιστούν για τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας της Ευρώπης στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης. Επιπλέον, οι κανονισμοί έχουν τεράστιο αντίκτυπο στις απαιτήσεις απόδοσης και ποιότητας για τα έξυπνα συστήματα (EPoSS, 2015:6).

2.1.3 Νομοθεσία τρίτων χωρών

Οι κυβερνήσεις στη Σιγκαπούρη και την Αυστραλία αναγνώρισαν την ανάγκη αναθεώρησης των νόμων περί ευθύνης. Η κυβέρνηση της Σιγκαπούρης τροποποίησε τις σχετικές διατάξεις το 2017 για να απαλλάξει τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα, τους φορείς εκμετάλλευσης και όσους ασχολούνται με τις δοκιμές τους από την υποχρέωση ύπαρξης οδηγού, που να είναι υπεύθυνος για τη χρήση των οχημάτων σε δημόσιους δρόμους. Υπάρχει σαφής αναγνώριση ότι το όχημα αναλαμβάνει πλέον τον έλεγχο του συστήματος και ότι τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα αντιπαραβάλλονται στην έννοια της ανθρώπινης ευθύνης στον πυρήνα των ισχυόντων οδικών και ποινικών νόμων στη Σιγκαπούρη. Στην Αυστραλία, η κυβέρνηση σχεδιάζει να ακολουθήσει ένα συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα για την τροποποίηση των νόμων περί αστικής ευθύνης και ασφάλισης. Το NTC σχεδίαζε να εκπονήσει κατευθυντήριες γραμμές που να διευκρινίζουν τους διαφορετικούς ορισμούς του ελέγχου των UGV έως τον Νοέμβριο του 2017. Μετά από αυτό, δεσμεύεται να αναθεωρήσει τους ισχύοντες κώδικες οδικής κυκλοφορίας, να θεσπίσει ειδικές νομικές υποχρεώσεις για

τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα και να τροποποιήσει τις νομικές προβλέψεις, ώστε να αρθούν δυνητικοί φραγμοί στην επιλεξιμότητα των επιβατών και των θυμάτων ατυχημάτων για αποζημίωση μέχρι το 2018. Συνολικά, οι προσπάθειες της κυβέρνησης στη Σιγκαπούρη και στην Αυστραλία αντικατοπτρίζουν μια σταδιακή προσέγγιση όσον αφορά τη μεταρρύθμιση των κανονιστικών ρυθμίσεων και, συνεπώς, ένα κίνημα προς μια στρατηγική για τον έλεγχο του κινδύνου ευθύνης και ασφάλισης (Taeihagh & Lim, 2018:111).

Επί του παρόντος, οι κυβερνήσεις στην Κίνα και τη Νότια Κορέα δεν έχουν επισημάνει τη ρυθμιστική τους στάση απέναντι στους κινδύνους αστικής ευθύνης και ασφάλισης, που αντιπροσωπεύουν μια στρατηγική μη απάντησης. Ειδικότερα, η Baidu Inc. και η αυτοκινητοβιομηχανία Zhejiang Geely Holding Co. έχουν καλέσει την κινεζική κυβέρνηση να επιταχύνει τη σύνταξη κανονισμών για δοκιμές αυτο-οδηγούμενων οχημάτων. Η κυβέρνηση της Νότιας Κορέας ανέφερε ότι η έλλειψη διεθνών προτύπων παρεμποδίζει τη δημιουργία εσωτερικών κανόνων, καθώς η Νότια Κορέα είναι σημαντικός εισαγωγέας και εξαγωγέας αυτοκινήτων, που απαιτεί από τους κατασκευαστές να ενσωματώσουν τα διεθνή πρότυπα για τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα (Ramirez, 2017; Taeihagh & Lim, 2018:112).

Η στρατηγική της Ιαπωνίας όσον αφορά τους κινδύνους αστικής ευθύνης και ασφάλισης μπορεί να χαρακτηριστεί ως ήπιος έλεγχος. Η Υπηρεσία Εθνικής Πολιτικής (National Policy Agency) προβαίνει σε συστάσεις σχετικά με ενέργειες για την αποφυγή των κινδύνων ευθύνης, αλλά δεν τις καθιστά υποχρεωτικές. Για παράδειγμα, παροτρύνει τις εταιρείες να εγκαταστήσουν μαύρα κουτιά στα αυτο-οδηγούμενα οχήματα που δοκιμάζονται για να βοηθήσουν στην εξακρίβωση των αιτιών των ατυχημάτων και να λάβουν προληπτικά μέτρα. Επίσης, οι δοκιμαστές των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων υποχρεούνται να υποβάλλουν στις αρχές πληροφορίες σχετικά με τις δομές των οχημάτων και τα σχέδια για τον περιορισμό των ατυχημάτων. Περαιτέρω, οι χειριστές ή τα μόνιτορ των Η/Υ μέσω απομακρυσμένων συστημάτων πρέπει να έχουν άδεια οδήγησης και να φέρουν την ευθύνη για λάθη λειτουργίας (Japan Bullet, 2017). Οι κατασκευαστές θα ευθύνονται για ελαττώματα στο σύστημα, αλλά αυτό δεν περιλαμβάνει τον σχεδιαστή λογισμικού ή άλλα τρίτα μέρη που εμπλέκονται στον αρχικό σχεδιασμό του οχήματος (Japan Bullet 2017; Taeihagh & Lim, 2018:112).

2.2 Προστασία Προσωπικών Δεδομένων

Στη σημερινή κοινωνία της πληροφορίας, τα δεδομένα βρίσκονται παντού. Η δυνατότητα αποθήκευσης, συγκέντρωσης και συνδυασμού δεδομένων και στη συνέχεια η χρήση των αποτελεσμάτων για τη διεξαγωγή αναλύσεων έχει γίνει όλο και πιο προσιτή και διαδεδομένη. Τα μέσα για την εξαγωγή γνώσης από πολλαπλούς τύπους δεδομένων βελτιώνονται επίσης σημαντικά, καθώς η πολυπλοκότητα του λογισμικού βελτιώνεται και συνδυάζεται με την αυξανόμενη υπολογιστική ισχύ. Επιπλέον, η δυνατότητα δημιουργίας, διαμοιρασμού και πρόσβασης σε δεδομένα έχει επανεμφανισθεί από τον αυξανόμενο αριθμό ατόμων, συσκευών και αισθητήρων που συνδέονται τώρα με τα υφιστάμενα δίκτυα (Allen & Overy, 2017:10). Μια κυρίαρχη επιχειρηματική και πολιτική προβληματική σε παγκόσμιο επίπεδο αφορά τα «μεγάλα δεδομένα», ήτοι τα πολύ μεγάλα σύνολα δεδομένων που παράγονται από το περιεχόμενο και τις πληροφορίες που μοιράζονται με τη χρήση της τεχνολογίας σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών. Τα UGVs πιθανόν να παράγουν πολλά δεδομένα σχετικά με τις ταξιδιωτικές συνήθειες των χειριστών, συμπεριλαμβανομένων πληροφοριών σχετικά με την τοποθεσία GPS, την ταχύτητα, την κυκλοφορία, τις καιρικές συνθήκες και τις συνθήκες του οδοστρώματος, καθώς και πληροφορίες σχετικά με άλλους χρήστες του οδικού δικτύου. Ο τρόπος προστασίας ή χρήσης αυτών των δεδομένων αποτελεί ένα άλυτο ζήτημα (Adeel et al., 2015; 760-761).

Τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα εξαρτώνται από αισθητήρες, χάρτες υψηλής ευκρίνειας και άλλα όργανα από τα οποία συλλέγονται και βελτιστοποιούνται οι πληροφορίες για να εξασφαλίζεται η ασφαλής λειτουργία του οχήματος. Ωστόσο, προκύπτουν ανησυχίες σχετικά με το ποιος ελέγχει αυτές τις πληροφορίες και το πως αυτές χρησιμοποιούνται. Πολλά ζητήματα σχετικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής παραμένουν ασαφή: δεν έχουν αποσαφηνιστεί οι ακριβείς λόγοι για τη συλλογή πληροφοριών, οι τύποι πληροφοριών που συλλέγονται, η πρόσβαση στις πληροφορίες και η επιτρεπόμενη διάρκεια αποθήκευσης των πληροφοριών. Οι επικοινωνίες V2V και V2I επιτρέπουν τη μετάδοση πληροφοριών μεταξύ των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων για λόγους ασφαλείας, αλλά αποκαλύπτουν επίσης τις κινήσεις του οχήματος και τη γεωγραφική τους θέση σε εξωτερικά δίκτυα, στα οποία μπορούν να έχουν πρόσβαση άτομα για να εντοπίσουν έναν χρήστη ενός αυτο-οδηγούμενου οχήματος. Επί της παρούσης, υπάρχουν ανεπαρκείς νομικές δικλείδες ασφαλείας για την προστασία των δεδομένων βάσει τοποθεσίας με βάση τη συγκατάθεση του

πελάτη, καθώς οι πελάτες αποδέχονται τους όρους και τις προϋποθέσεις χωρίς να τις κατανοούν πλήρως. Ένα άλλο ζήτημα είναι η χρήση των EDR για την εξακρίβωση των ακριβών αιτιών των ατυχημάτων, δεδομένου ότι τα δεδομένα αυτά μπορούν να πωληθούν σε τρίτους, όπως είναι οι ασφαλιστικές εταιρείες και να χρησιμοποιηθούν κατά των οδηγών (Schoonmaker, 2016; Taeihagh & Lim, 2018:112-113).

Άλλοι κίνδυνοι για την προστασία του ιδιωτικού απορρήτου περιλαμβάνουν τη δυνατότητα χρήσης αυτών των πληροφοριών για την παρενόχληση των χρηστών των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων μέσω του μάρκετινγκ και της διαφήμισης, την κλοπή της ταυτότητας και του προφίλ των χρηστών, την πρόβλεψη των ενεργειών τους, τη συγκέντρωση πληροφοριών και την εγκαθίδρυση εξουσίας σε μεγάλο αριθμό ατόμων. Ενώ είναι δυνατόν να παραμείνουν ανώνυμες οι πληροφορίες που λαμβάνονται, η ανωνυμία τους μπορεί να αντιστραφεί μέσω της διαδικασίας της αποανωνυμοποίησης. Οι αλγόριθμοι της αποανωνυμοποίησης μπορούν να επαναπροσδιορίσουν ανώνυμα μικροδεδομένα, αποδεικνύοντας ότι η ανωνυμοποίηση είναι ανεπαρκής για την προστασία των προσωπικών δεδομένων. Αυτό συνιστά ένα σοβαρό πρόβλημα για τα δεδομένα που αφορούν την τοποθεσία, καθώς τα ανθρώπινα ίχνη είναι μοναδικά, επιτρέποντας σε κάποιο κακόβουλο τρίτο να εντοπίζει κινήσεις ακόμη και με περιορισμένες πληροφορίες. Επίσης, η πρόσβαση στο ασύρματο δίκτυο των διασυνδεδεμένων αυτο-οδηγούμενων οχημάτων επιτρέπει σε δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς να πραγματοποιούν απομακρυσμένη παρακολούθηση των χρηστών τους, γεγονός που μπορεί να υπονομεύσει την προσωπική αυτονομία μέσω της ψυχολογικής χειραγώγησης και του εκφοβισμού (Glancy, 2012). Ένα άλλο αναδυόμενο ζήτημα είναι η χρήση της παρακολούθησης βίντεο σε αυτο-οδηγούμενα οχήματα που χρησιμοποιούνται σε υπηρεσίες μεταφοράς, όπως τα αυτόνομα ταξί. Δεδομένου ότι οι χρήστες δεν κατέχουν αυτές τις συσκευές, δεν είναι σαφές εάν το όχημα θεωρείται «δημόσιος χώρος», όπου η επιτήρηση μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτή (Schoonmaker, 2016; Taeihagh & Lim, 2018: 113).

Καθώς οι υπεύθυνοι για τη χάραξη πολιτικής επεξεργάζονται το πώς να συμπεριλάβουν την προστασία της ιδιωτικής ζωής στις απαιτήσεις δεδομένων των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων, θα πρέπει να σταθμίσουν το κόστος προστασίας των κατασκευαστών και των ιδιοκτητών των επιχειρήσεων έναντι των οφελών προς τους φορείς εκμετάλλευσης ή τους ιδιώτες. Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής ενδέχεται να εξετάσουν τρόπους όπως ο καθορισμός ορίων για δευτερεύουσες χρήσεις των δεδομένων ή τον καθορισμό χρονικών ορίων για τη διατήρηση αυτών των

δεδομένων. Ένα πιθανό μοντέλο θα μπορούσε να είναι η παροχή πολιτικών απορρήτου με μηχανισμούς συμμετοχής ή πληροφόρησης για τους καταναλωτές σχετικά με τον τρόπο συλλογής και χρήσης των δεδομένων τους (Adeel et al., 2015; 762).

2.2.1 Νομοθεσία στις ΗΠΑ

Η κυβέρνηση στις ΗΠΑ έχει θεσπίσει νέα νομοθεσία για την προστασία των προσωπικών δεδομένων, η οποία ισχύει για όλα τα οχήματα (συμπεριλαμβανομένων των αυτο-οδηγούμενων και των συμβατικών οχημάτων). Στις ΗΠΑ, ο νέος νόμος "SPY Car" παρέχει στην NHTSA την εξουσία να προστατεύει τη χρήση (και την πρόσβαση σε) δεδομένων οδήγησης σε όλα τα οχήματα που κατασκευάζονται προς πώληση στις ΗΠΑ. Όλα τα οχήματα πρέπει να παρέχουν στους ιδιοκτήτες ή τους μισθωτές τη δυνατότητα να διακόπτουν τη συλλογή δεδομένων, εκτός από τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για την ασφάλεια, ενώ απαγορεύεται στους κατασκευαστές να χρησιμοποιούν τα δεδομένα που συλλέγονται για εμπορική προώθηση ή διαφήμιση χωρίς τη συγκατάθεση των ιδιοκτητών (Taeihagh & Lim, 2018: 113).

Από τον Μάρτιο του 2017, η μόνη θεσπισμένη νομοθεσία αναφορικά με τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα είναι ο Νόμος για τη Ρύθμιση των Μεταφορών στην Επικράτεια της Αμερικής (Fixing America Surface Transportation- FAST). Αυτή η νομοθεσία επιτρέπει στην Κυβερνητική Υπηρεσία Λογοδοσίας (Government Accountability Office – GAO) να «*αξιολογήσει την κατάσταση της πολιτικής για τις αυτόνομες μεταφορές που αναπτύχθηκε από τους δημόσιους οργανισμούς των ΗΠΑ*». Το ομοσπονδιακό νομοσχέδιο που αφορά στην προστασία του ιδιωτικού απορρήτου στα αυτοκίνητα είναι ο σχετικός νόμος του 2015. Δυστυχώς, το νομοσχέδιο αυτό βρίσκεται ακόμα σε συζητήσεις στις σχετικές επιτροπές. Το νομοσχέδιο δεν είναι ακόμη πλήρως ανεπτυγμένο, ορίζοντας μόνο ότι η GAO πρέπει να παράσχει μια δημόσια έκθεση αξιολόγησης της ικανότητας του Υπουργείου Μεταφορών να αντιμετωπίσει τα ζητήματα που αφορούν τα αυτόνομα οχήματα όπως την προστασία της ιδιωτικής ζωής των καταναλωτών - διάταξη παρόμοια με σχετική διάταξη στο FAST Act (Bloom et al., 2017:360).

2.2.2 Νομοθεσία στην Ευρώπη

Στο πλαίσιο του ισχύοντος ευρωπαϊκού καθεστώτος προστασίας δεδομένων, ορισμένες δραστηριότητες που αφορούν στην επεξεργασία δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα απαιτούν την προηγούμενη κοινοποίηση ή έγκριση από τις ρυθμιστικές αρχές. Για παράδειγμα, η δημιουργία ορισμένων συστημάτων επεξεργασίας δεδομένων για νέους σκοπούς, μπορεί να απαιτεί ειδοποίηση ή έγκριση από έναν ρυθμιστή προστασίας δεδομένων (Allen & Overy, 2017:11). Η ΕΕ έχει λάβει μέτρα για τη διαχείριση των κινδύνων ιδιωτικότητας και ασφάλειας στον κυβερνοχώρο που ισχύουν για όλα τα δεδομένα στην επικράτεια της, επιδεικνύοντας μια στρατηγική προσανατολισμένη στον έλεγχο. Το σχέδιο δράσης του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου για τα ευφυή συστήματα μεταφορών το 2009 υπογράμμισε την ανάγκη προστασίας της ιδιωτικής ζωής από τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων και η Επιτροπή δημοσίευσε μια μελέτη το 2012 αξιολογώντας πιθανές μεθόδους για την προστασία των δεδομένων στα οχήματα αυτά. Αυτές οι προσπάθειες ενοποιήθηκαν με τη Διακήρυξη του Άμστερνταμ. Η οδηγία 95/46 για την προστασία των δεδομένων του 1995 στη συνέχεια επικαιροποιήθηκε μέσω του γενικού κανονισμού της ΕΕ για την προστασία των δεδομένων (EUGDPR), ο οποίος επικυρώθηκε το 2016 και τέθηκε σε ισχύ τον Μάιο του 2018. Οι κανονισμοί θα ισχύουν για όλες τις εταιρείες που επεξεργάζονται δεδομένα από πρόσωπα που διαμένουν στην ΕΕ, ανεξάρτητα από τον τόπο εγκατάστασης της εταιρείας, διευρύνοντας τον έλεγχο των δεδομένων πέρα από τα γεωγραφικά σύνορα. Οι κανονισμοί ενισχύουν επίσης τους όρους συγκατάθεσης και αυξάνουν τις κυρώσεις σε ένα ανώτατο πρόστιμο ύψους 4% των συνολικών εσόδων των εταιρειών και προστατεύει το δικαίωμα της διαγραφής των δεδομένων και το «δικαίωμα στην αιτιολόγηση», το οποίο επιτρέπει στους πολίτες να αναθεωρούν συγκεκριμένες αλγοριθμικές αποφάσεις. Η ΕΕ έχει ήδη επιβάλει πρόστιμο στην Google σε αρκετές περιπτώσεις, αποδεικνύοντας τη δέσμευση της για την προστασία της ιδιωτικής ζωής. Εντούτοις, η αυστηρή εφαρμογή αυτών των κανόνων μπορεί να εμποδίσει τις εξελίξεις στα αυτο-οδηγούμενα οχήματα. Επί παραδείγματι, η χαρτογράφηση υψηλής ευκρίνειας απαιτεί γεωγραφικά κωδικοποιημένα δεδομένα για τη βελτίωση των ικανοτήτων πλοήγησης τους. Η υπερβολική ρύθμιση της χρήσης των δεδομένων μπορεί επίσης να αποβεί εις βάρος των ευρωπαίων κατασκευαστών και μπορεί να είναι δύσκολο να επιβληθεί το GDPR σε μη ευρωπαϊκούς κατασκευαστές (Taeihagh

& Lim, 2018:113-114). Επιπλέον, το GDPR καταργεί την απαίτηση κοινοποίησης στις αρχές, εκτός από περιορισμένες περιπτώσεις όπου οι κίνδυνοι για την ιδιωτική ζωή δεν μετριάζονται επαρκώς (Allen & Overy, 2017: 11).

2.2.3 Νομοθεσία σε τρίτες χώρες

Η κυβέρνηση της Νότιας Κορέας θέσπισε νέα νομοθεσία σχετικά με την προστασία των προσωπικών δεδομένων που ισχύει για όλα τα οχήματα που ισχύει από τον Φεβρουάριο του 2016. Η κυβέρνηση της Νότιας Κορέας τροποποίησε το νόμο περί διαχείρισης οχημάτων, ο οποίος θεσπίζει τους όρους για την έκδοση προσωρινών αδειών για τη δοκιμή αυτο-οδηγούμενων οχημάτων και θέτει απαιτήσεις για τη συλλογή δεδομένων. Οποιοσδήποτε πρέπει να λάβει έγκριση από τον Υπουργό Χωροταξίας, Υποδομών και Μεταφορών (Land, Infrastructure and Transport - LIT) προτού χρησιμοποιήσει τα συλλεχθέντα δεδομένα. Ωστόσο, ο νόμος δεν καθορίζει την έκταση της ανταλλαγής πληροφοριών υπό διαφορετικές συνθήκες. Αναφέρει ότι η έγκριση θα χορηγηθεί κατά τρόπο που δεν παραβιάζει το ιδιωτικό απόρρητο των ιδιοκτητών των οχημάτων και ότι τα πρότυπα για έγκριση θα καθοριστούν από τον Υπουργό Χωροταξίας, Υποδομών και Μεταφορών (Taeihagh & Lim, 2018: 113).

Η Κίνα και η Ιαπωνία έχουν επίσης αναλάβει νομοθετική δράση για τον έλεγχο των κινδύνων ιδιωτικότητας και ασφάλειας στον κυβερνοχώρο που ισχύουν για όλα τα προσωπικά δεδομένα, επιδεικνύοντας μια στρατηγική προσανατολισμένη στον έλεγχο. Για παράδειγμα, η Ιαπωνία τροποποίησε το νόμο για την προστασία της ιδιωτικής ζωής το 2017 (The Japan Times, 2017). Η Κίνα έχει επίσης θεσπίσει ένα νέο νόμο για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, ο οποίος απαιτεί την ανωνυμία όλων των μορφών προσωπικών πληροφοριών. Τονίζει τη συγκατάθεση του πελάτη και απαιτεί από τους διαχειριστές δικτύων να είναι διαφανείς όσον αφορά τον σκοπό, τη μέθοδο και το εύρος της συλλογής και χρήσης των δεδομένων. Γενικά, ο νόμος θεσπίζει πολλούς ελέγχους για τη συλλογή, χρήση και ανταλλαγή προσωπικών δεδομένων, αλλά δεν περιλαμβάνει ειδικές διατάξεις (Taeihagh & Lim, 2018: 114).

Η κυβέρνηση της Σιγκαπούρης υιοθετεί μια στρατηγική προσανατολισμένη στον έλεγχο για την αντιμετώπιση των κινδύνων για την προστασία της ιδιωτικής ζωής γενικότερα και ειδικότερα μεταξύ των οργανισμών του δημόσιου τομέα. Η κυβέρνηση βρίσκεται στη διαδικασία τροποποίησης του Νόμος Προστασίας Προσωπικών Δεδομένων (Personal Data Protection Act - PDPA). Τον Ιούλιο του

2017 ξεκίνησε δημόσια διαβούλευση, η οποία πρότεινε τροποποιήσεις στον PDPA, όπως η αύξηση της διαφάνειας όσον αφορά τη συλλογή και χρήση προσωπικών πληροφοριών και η παροχή στους πολίτες της δυνατότητας να τερματίσουν τη συγκατάθεση τους για τις δραστηριότητες συλλογής δεδομένων. Επίσης, η κυβέρνηση έχει θεσπίσει το νομοσχέδιο που απαγορεύει τη μη εξουσιοδοτημένη χρήση και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ οργανισμών του δημόσιου τομέα. Το νομοσχέδιο έχει σχεδιαστεί για να βελτιώσει την παροχή δημόσιων υπηρεσιών στη Σιγκαπούρη (ibid).

Το NTC της Αυστραλίας έχει επίσης δημοσιεύσει συστάσεις για την προστασία της ιδιωτικής ζωής, όπως η υιοθέτηση μιας προσέγγισης που προωθεί «*την προστασία της ιδιωτικής ζωής από το σχεδιασμό* ακόμα» και την αποφυγή δημιουργίας προσωπικών πληροφοριών «*όπου είναι δυνατόν*». Ωστόσο, αυτή η τελευταία φράση μπορεί να υποδηλώνει ότι αυτές οι συστάσεις είναι ρητορικές προθέσεις. Έτσι, αυτές οι αρχές μπορεί να αντιπροσωπεύουν μια επίσημη δέσμευση για τον έλεγχο των κινδύνων και όχι να περιγράφουν συγκεκριμένα βήματα για τον έλεγχο των κινδύνων που αφορούν στο ιδιωτικό απόρρητο. Το NTC συνέστησε επίσης να ενσωματωθούν στο επερχόμενο εθνικό σύστημα στοιχεία για τη διασφάλιση της προστασίας των προσωπικών δεδομένων στο υψηλότερο δυνατό επίπεδο. Πρόσφατα, η Μόνιμη Επιτροπή Βιομηχανίας, Καινοτομίας, Επιστήμης και Πόρων της Βουλής (Standing Committee on Industry, Innovation, Science and Resources - SCIISR) ενθάρρυνε τη συμμετοχή του κοινού σε μια έρευνα σχετικά με τις κοινωνικές επιπτώσεις των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων και συνέστησε την περαιτέρω διερεύνηση των δικαιωμάτων των καταναλωτών, των ασφαλιστικών εταιρειών, των κυβερνητικών υπηρεσιών και των κατασκευαστών, υιοθετώντας μια στρατηγική προσανατολισμένη στην προσαρμογή μέσω της δέσμευσης του κοινού για την επίτευξη συναίνεσης, όσον αφορά την αντιμετώπιση των κινδύνων για την προστασία των προσωπικών δεδομένων (NTC, 2017; Taeihagh & Lim, 2018: 114-115).

2.3 Κυβερνοασφάλεια

Οι απειλές κυβερνοασφάλειας σε συμβατικά οχήματα με αυτοματοποιημένα χαρακτηριστικά αποτελούν ήδη μια πραγματικότητα. Οι εταιρείες αυτοκινήτων ενδέχεται να διαπιστώσουν ότι τα δεδομένα που συλλέγονται από τα συνδεδεμένα αυτοκίνητα και τα ίδια τα αυτοκίνητα είναι πρωταρχικοί στόχοι για τους χάκερ και

άλλους παράγοντες απειλής στον κυβερνοχώρο, όπως εγκληματίες που συλλέγουν πληροφορίες για να πουλήσουν σε ανταγωνιστές για πιθανό εμπορικό κέρδος ή που επιχειρούν να θέσουν σε κίνδυνο τα συστήματα οχημάτων για να αποκομίσουν λύτρα ή να προκαλέσουν σωματική βλάβη. Το αυξανόμενο φαινόμενο των ολοένα και πιο εξελιγμένων επιθέσεων στον κυβερνοχώρο είναι επί του παρόντος επικεντρωμένο στις αρχές επιβολής του νόμου, τις ρυθμιστικές αρχές, τους νομοθέτες και τις επιχειρήσεις. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες μπορούν να αναμένουν ότι θα αποτελέσουν στόχο επίμονων και σύνθετων προσπαθειών για την απόκτηση παράνομης πρόσβασης στα δίκτυα τους. Μερικές φορές αυτές οι επιθέσεις θα είναι δύσκολο να εντοπιστούν. Επομένως, τα εργαλεία για την υπεράσπιση και την ανταπόκριση στις επιθέσεις πρέπει να εξελίσσονται γρήγορα, ώστε να συμβαδίζουν με τις μεθόδους που χρησιμοποιούν οι δράστες (Allen & Overy, 2017:13).

Διάφορες μελέτες έχουν αναλύσει τις πιθανές απειλές στον κυβερνοχώρο για τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα. Καθώς οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές έχουν μεγαλύτερο έλεγχο στις κινήσεις ενός τέτοιου οχήματος, αυτό το καθιστά πιο ευάλωτο σε hacking σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα και ο οδηγός είναι λιγότερο ικανός να παρέμβει κατά τη διάρκεια μιας επίθεσης (Lee, 2017). Χωρίς επαρκή ασφάλεια, τα κανάλια επικοινωνίας V2V και V2I μπορούν να παραβιαστούν, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά ατυχήματα. Η μεταφορά ψεύτικων μηνυμάτων και η πλαστογράφηση των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης (Global Navigation Satellite Systems - GNSS) είναι μερικές από τις σημαντικότερες απειλές που θα αντιμετωπίσουν τα UGVs, καθώς τα δεδομένα των GNSS μπορούν να υποβληθούν σε χειρισμούς για να υπονομεύσουν λειτουργίες κρίσιμης σημασίας για την ασφάλεια των οχημάτων. Άλλες απειλές περιλαμβάνουν το χειρισμό των αισθητήρων για τον αποπροσανατολισμό των συστημάτων, τη χρήση υπερήχων ή παρεμβολών στο ραντάρ, ώστε να τυφλωθεί το όχημα από τα εισερχόμενα εμπόδια. Ενώ είναι δυνατή η εγκατάσταση συστημάτων για την ανίχνευση τέτοιων δυσλειτουργιών, απαιτούνται ενημερώσεις λογισμικού καθώς και η αλλαγή των υφιστάμενων τυποποιημένων αρχιτεκτονικών ασφαλείας (Taeihagh & Lim, 2018: 115-116).

Οι περισσότερες κυβερνήσεις έχουν αναπτύξει μη υποχρεωτικές κατευθυντήριες γραμμές για τις βέλτιστες πρακτικές στον τομέα της ασφάλειας στον κυβερνοχώρο, ενώ διερευνούν τις συνέπειες των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων στην ασφάλεια στον κυβερνοχώρο. Οι κυβερνήσεις στις ΗΠΑ, την Κίνα, την ΕΕ και τη Σιγκαπούρη

υιοθέτησαν μια στρατηγική προσανατολισμένη στον έλεγχο και εισήγαγαν ή θέσπισαν νέες νομοθεσίες για την αντιμετώπιση των κινδύνων στον κυβερνοχώρο (ibid).

2.3.1 Νομοθεσία στις ΗΠΑ

Στις ΗΠΑ, οι εθελοντικές κατευθυντήριες γραμμές της NHTSA συνιστούν ότι οι κατασκευαστές και οι εταιρείες λογισμικού σχεδιάζουν τα συστήματα των UGVs σύμφωνα με τα ισχύοντα διεθνή πρότυπα, όπως εκείνα που δημοσιεύονται από το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας, την NHTSA, τη SAE και άλλους οργανισμούς. Έχει δημιουργηθεί ένα νέο ερευνητικό τμήμα για την ασφάλεια των ηλεκτρονικών συστημάτων για την αξιολόγηση και την παρακολούθηση πιθανών τρωτών σημείων στην κυβερνοασφάλεια και έχει συσταθεί ομάδα εργασίας για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο (NHTSA, 2018). Αυτές οι αλλαγές αντιπροσωπεύουν προσπάθειες για τη μεγαλύτερη ευαισθητοποίηση των αυτοκινητιστών και των εταιρειών λογισμικού σχετικά με τους κινδύνους στον κυβερνοχώρο. Ο νόμος SPY Car εισήχθη επίσης για να ενισχυθούν οι έλεγχοι της ασφάλειας του κυβερνοχώρου και της ιδιωτικής ζωής σε όλα τα οχήματα. Σύμφωνα με τον παρόντα νόμο, τα κρίσιμα και μη κρίσιμα συστήματα λογισμικού σε κάθε όχημα πρέπει να διαχωριστούν και όλα τα οχήματα θα αξιολογηθούν χρησιμοποιώντας τις βέλτιστες πρακτικές. Παράλληλα, εισάγει προδιαγραφές για τη διασφάλιση της ασφάλειας των συλλεγόμενων πληροφοριών σε ηλεκτρονικά συστήματα οχημάτων, ενώ τα δεδομένα βρίσκονται στο όχημα, κατά τη διαμετακόμιση από το όχημα σε διαφορετική θέση ή σε οποιαδήποτε αποθήκευση εκτός του οχήματος. Απαιτεί επίσης τα οχήματα να είναι σε θέση να ανιχνεύουν, να σταματούν και να αναφέρουν τις προσπάθειες συλλογής δεδομένων οδήγησης ή να αναλαμβάνουν τον έλεγχο του οχήματος και απαιτεί από το όχημα να δηλώνει το βαθμό, στον οποίο προστατεύει τα προσωπικά δεδομένα και την κυβερνοασφάλεια των καταναλωτών (Taeihagh & Lim, 2018:116).

2.3.2 Νομοθεσία στην Ευρώπη

Η κυβερνοασφάλεια δεν αποτελεί νέα ανησυχία στην ΕΕ, η οποία έχει λάβει πρόσθετα βήματα για τον έλεγχο των κινδύνων στον κυβερνοχώρο τα τελευταία χρόνια, αν και δεν είναι ειδικά για την τεχνολογία των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων.

Η στρατηγική της ΕΕ για την κυβερνοασφάλεια εισήχθη το 2013, ακολουθούμενη από την οδηγία για την ασφάλεια των δικτύων και των συστημάτων πληροφοριών το 2016. Η τελευταία ήταν η πρώτη πανευρωπαϊκή νομοθεσία για την κυβερνοασφάλεια. Έχουν καταβληθεί περαιτέρω προσπάθειες από διάφορους οργανισμούς της ΕΕ για την ευαισθητοποίηση και την παροχή συστάσεων σχετικά με τον τρόπο αντιμετώπισης των ζητημάτων κυβερνοασφάλειας. Το 2016, το ανεξάρτητο συμβουλευτικό όργανο της ΕΕ για την προστασία δεδομένων και την προστασία της ιδιωτικής ζωής, η Ομάδα Εργασίας για την Προστασία των Δεδομένων, δημοσίευσε τις απόψεις της για την ευαισθητοποίηση σχετικά με τις εξελίξεις στον τομέα του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) και της συναφούς ασφάλειας (ibid).

2.3.3 Νομοθεσία σε τρίτες χώρες

Όπως και το GDPR της Ευρώπης, ο τελευταίος νόμος για την κυβερνοασφάλεια στην Κίνα αποτελεί στρατηγική προσανατολισμένη στον έλεγχο. Βασικές διατάξεις του νόμου είναι η προστασία των προσωπικών πληροφοριών, η προστασία των υποδομών ζωτικής σημασίας, οι ευθύνες των διαχειριστών δικτύων για την ασφάλεια, η διατήρηση ευαίσθητων πληροφοριών στην Κίνα, η πιστοποίηση των προϊόντων ασφαλείας και οι κυρώσεις για τυχόν παραβιάσεις (KPMG, 2017). Ένα παράδειγμα των ευθυνών των φορέων εκμετάλλευσης δικτύων περιλαμβάνει την απαίτηση από τους φορείς εκμετάλλευσης υποδομών ζωτικής σημασίας να αποθηκεύουν δεδομένα προσωπικού χαρακτήρα εντός της Κίνας και από τις εταιρείες να έχουν έγκριση και να διενεργούν εθνικές αναθεωρήσεις πριν από τη μετακίνηση δεδομένων στο εξωτερικό (He, 2018). Ο κρίσιμος κυβερνοεξοπλισμός και τα ειδικά προϊόντα κυβερνοασφάλειας μπορούν να πωληθούν μόνο εφόσον λάβουν πιστοποιήσεις ασφαλείας (KPMG, 2017; Taeihagh & Lim, 2018:116-117).

Η κυβέρνηση στη Σιγκαπούρη τροποποίησε επίσης την υπάρχουσα νομοθεσία για τον έλεγχο των διαφορετικών πτυχών της κυβερνοασφάλειας. Ο νόμος για την κατάχρηση υπολογιστών και την κυβερνοασφάλεια στη Σιγκαπούρη τροποποιήθηκε τον Απρίλιο του 2017 για να ενισχυθεί η ανταπόκριση των επιχειρήσεων στις εγκληματικές πράξεις που σχετίζονται με τον υπολογιστή (Kwang, 2017). Έχουν ληφθεί πρόσθετα μέτρα για την ευαισθητοποίηση σχετικά με την κυβερνοασφάλεια, όπως μέσω τοπικών ινστιτούτων ανώτερης μάθησης και της σύναψη εταιρικών

σχέσεων μεταξύ του ακαδημαϊκού και του ιδιωτικού τομέα. Με αυτόν τον τρόπο, η κυβέρνηση επιδιώκει να καταστήσει τη Σιγκαπούρη κορυφαίο πάροχο υπηρεσιών στον τομέα της κυβερνοασφάλειας, επιδεικνύοντας μια στρατηγική προσανατολισμένη στην προσαρμογή, ενώ υπάρχουν σχέδια για τη σύσταση εθνικής οργάνωσης άμυνας στον κυβερνοχώρο (Taeihagh & Lim, 2018:117).

Η Νότια Κορέα τροποποίησε το Νόμο περί Διαχείρισης Οχημάτων (Vehicle Management Act), αλλά δεν περιλαμβάνει διατάξεις σχετικά με την κυβερνοασφάλεια και τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα. Η Αυστραλία δεν έχει τροποποιήσει τη νομοθεσία για την κυβερνοασφάλεια, αλλά διερευνά τους σχετικούς κινδύνους ασφαλείας που προκύπτουν από τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα. Πιο πρόσφατα, στην Αυστραλία συστάθηκε η Εθνική Στρατηγική για την Κυβερνοασφάλεια (National Cybersecurity Strategy), η οποία διερευνά τα συστήματα αυτο-οδηγούμενων οχημάτων και τα συναφή συστήματα για την αντιμετώπιση ενδεχόμενων τρωτών σημείων, ενώ συστάθηκε εθνική ομάδα εργασίας για το συντονισμό της υιοθέτησης των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων. Η ιαπωνική κυβέρνηση φαίνεται να έχει υιοθετήσει μια στρατηγική μη απάντησης. δεδομένου ότι δεν τροποποίησε ούτε την υφιστάμενη νομοθεσία, ούτε υπέβαλε συστάσεις για γενικούς ή ειδικούς κινδύνους για την κυβερνοασφάλεια. Ωστόσο, η κυβέρνηση έχει επιδείξει προθέσεις για μεγαλύτερη ευαισθητοποίηση και αναθεώρηση των νόμων για θέματα ευθύνης και κυβερνοασφάλειας (ibid).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Τελευταία Μοντέλα Αυτο-οδηγούμενων Οχημάτων

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζονται τα μοντέλα αυτο-οδηγούμενων οχημάτων κατά την τελευταία δεκαετία, κατηγοριοποιημένα ανά εταιρεία παραγωγής. Πέραν των μοντέλων, περιγράφονται τα υφιστάμενα συστήματα των εταιρειών που προσφέρουν χαρακτηριστικά που προσιδιάζουν στην αυτο-οδήγηση, καθώς και τα αναμενόμενα μοντέλα που πρόκειται να κυκλοφορήσουν στο προσεχές μέλλον.

3.1 BMW

Στον όμιλο BMW, δημιουργήθηκαν τον Απρίλιο του 2018 ειδικές εγκαταστάσεις για την ανάπτυξη των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων του, στην περιοχή Unterschleißheim κοντά στο Μόναχο. Στις εγκαταστάσεις αυτές, όπου έχουν συγκεντρωθεί επιστήμονες από κάθε τομέα, πραγματοποιούνται δοκιμές και προσομοιώσεις, ενώ λαμβάνει χώρα και ο σχετικός προγραμματισμός. Σύμφωνα με τους ιθύνοντες της εταιρείας, τα αυτο-οδηγούμενα αυτοκίνητα θα πρέπει να καλύψουν περίπου 240 εκατομμύρια εικονικά χιλιόμετρα στο δρόμο, προκειμένου να είναι έτοιμα για μαζική παραγωγή(bmw.com, 2019).

Το υφιστάμενο σύστημα Traffic Jam Assistant (λειτουργία υποστήριξης κυκλοφοριακής συμφόρησης) της BMW δεν αποτελεί ένα πλήρως αυτόνομο σύστημα, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού, αλλά περισσότερο ένα ημιαυτόνομο χαρακτηριστικό, που αποσκοπεί να σπάσει τη μονοτονία της οδήγησης εν μέσω κυκλοφοριακής συμφόρησης. Όταν το όχημα κινείται σε τέτοιες συνθήκες, ήτοι σε πολύ χαμηλές ταχύτητες, το Traffic Jam Assistant αναλαμβάνει κάθε λειτουργία πλοήγησης, πέδησης και επιτάχυνσης και συνεπώς ο οδηγός υποβοηθείται σημαντικά. Δυστυχώς, το Traffic Jam Assistant σε γενικές γραμμές απαιτεί από τον οδηγό να έχει τα χέρια του πάνω στο τιμόνι, ακόμα και αν αυτό έχει αναλάβει το χειρισμό του τιμονιού και των πεντάλ (DeMuro, 2018).

Ο όμιλος BMW Group περιλαμβάνει τις εταιρείες BMW, Mini και Rolls-Royce. Τα μοντέλα που περιλαμβάνουν σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας Stop-and-go[5] είναι τα ακόλουθα:

[5]Αυτό το χαρακτηριστικό βασίζεται στο βασικό προσαρμοστικό σύστημα ελέγχου ταχύτητας ταξιδιού, που είναι διαθέσιμο εδώ και μια δεκαετία και που διατηρεί μια επιλέξιμη απόσταση μεταξύ του οχήματος και του οχήματος μπροστά. Το σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας που λειτουργεί σε υψηλότερες ταχύτητες είναι ευρέως διαθέσιμο, αλλά τα συστήματα που λειτουργούν

- BMW Σειρά 6
- BMW i3
- BMW X1
- BMW X4
- BMW X5
- BMW X5 xDrive40i με plug-in υβριδικό κινητήρα
- BMW X6
- Mini Clubman
- Mini Countryman
- Mini Cooper SE Countryman με plug-in υβριδικό κινητήρα
- Rolls-Royce Dawn
- Rolls-Royce Ghost
- Rolls-Royce Phantom
- Rolls-Royce Wraith

Τα μοντέλα που περιλαμβάνουν σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας Stop-and-go και σύστημα ευθυγράμμισης στη λωρίδα που λειτουργούν καθ' όλο το διάστημα που κινείται το όχημα πριν τη στάση είναι τα ακόλουθα:

- BMW Σειρά 5
- BMW Σειρά 5 Series με plug-in υβριδικό κινητήρα (530e)
- BMW Σειρά 7
- BMW Σειρά 7 με plug-in υβριδικό κινητήρα (740e)
- BMW X3 (Mays, 2018).

Το αυτόνομο αυτοκίνητο της BMW iNEXT αναμένεται να κυκλοφορήσει το 2021, με σκοπό να αποτελέσει το σήμα κατατεθέν της νέας τεχνολογίας της εταιρείας. Το BMW Vision iNEXT είναι πλήρως ηλεκτρικό και συνδεδεμένο όχημα, ενώ παρέχει υψηλό επίπεδο αυτόνομης οδήγησης, έχει έξυπνο και ελαφρύ σχεδιασμό, καθώς και ένα εντελώς ανανεωμένο εσωτερικό. Αναμένεται να ενοποιήσει τους

σε πλήρη αδράνεια είναι ένα σημαντικό επόμενο βήμα για τη διαχείριση ενός μποτιλιαρίσματος, όπου τα οχήματα κινούνται σημειωτόν. Τέτοια συστήματα μπορούν να ακινητοποιήσουν το όχημα, και στη συνέχεια να το κινήσουν όταν το μπροστινό αυτοκίνητο κινείται μέσα σε ένα δεδομένο χρονικό πλαίσιο.

στρατηγικούς τομείς καινοτομίας της BMW ("D + ACES") και να τους φέρει στους δρόμους (Ghosal, 2016).

3.2 General Motors

Ο όμιλος General Motors περιλαμβάνει τις εταιρείες Buick, Cadillac, Chevrolet και GMC. Τα μοντέλα που περιλαμβάνουν σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας Stop-and-go είναι τα ακόλουθα:

- Buick Enclave
- Buick Envision
- Buick La Crosse
- Buick Regal
- Buick Regal TourX
- Cadillac ATS
- Cadillac CT6 με plug-in υβριδικό κινητήρα
- Cadillac CTS
- Cadillac Escalade
- Cadillac XT5
- Cadillac XTS
- Chevrolet Impala
- Chevrolet Malibu
- Chevrolet Malibu Υβριδικό
- Chevrolet Traverse
- Chevrolet Volt
- GMC Acadia (Mays, 2018).

Η Cadillac υποστηρίζει ότι το σύστημα Super Cruise αποτελεί το «πρώτο αληθινό σύστημα οδήγησης χωρίς χέρια στον κόσμο», δεδομένου ότι θεωρητικά και σε αντίθεση με άλλα συστήματα, δεν απαιτεί πραγματικά την παρέμβαση του οδηγού. Σύμφωνα με την εταιρεία, εάν κάποιος οδηγός οδηγεί στις χαρτογραφημένες διαδρομές, δύναται να αφήσει το Super Cruise να πλοηγεί το όχημα του για ώρες χωρίς προβλήματα και μάλιστα χωρίς να ακουμπά το τιμόνι για να ενημερώσει το σύστημα ότι βρίσκεται εκεί. Δυστυχώς, η αχίλλειος πτέρνα του συστήματος είναι ότι πρέπει να οδηγήσει κανείς στις χαρτογραφημένες από την Cadillac διαδρομές, ώστε να μπορεί να λειτουργήσει το σύστημα. Επί του παρόντος, η εταιρεία έχει

χαρτογραφήσει μόλις 130.000 μίλια αυτοκινητοδρόμων στις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά, μέγεθος που απέχει σημαντικά από τα 4.8 εκατομμύρια συνολικά μίλια αυτοκινητοδρόμων στις δύο χώρες. Ωστόσο, το σύστημα παραμένει ιδιαίτερα εντυπωσιακό και είναι διαθέσιμο τώρα στο πολυτελές sedan Cadillac CT6 (De Muro, 2018).

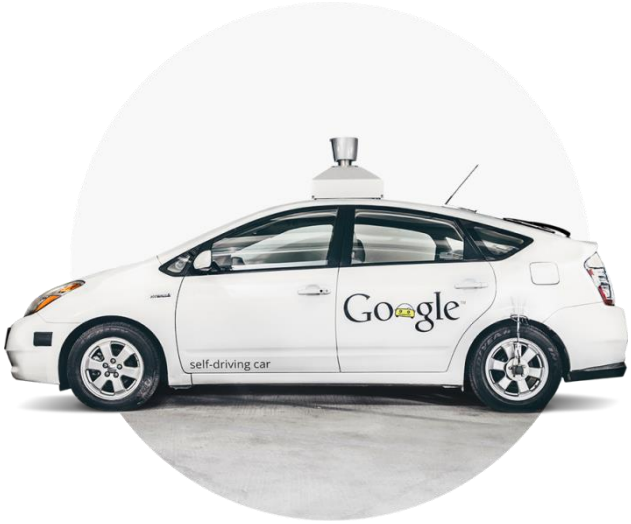
Η GM επί του παρόντος επεκτείνει τον κατασκευαστικό της βραχίονα μέσω της τροποποίησης του εργοστασίου παραγωγής της που βρίσκεται στο Orion βόρεια του Detroit, προκειμένου να παράγει ένα τροποποιημένο, αυτο-οδηγούμενο Chevrolet Bolts χωρίς τιμόνια ή πεντάλ (Davies, 2018a; Davies, 2018b) και σκοπεύει να θέσει σε λειτουργία ένα στόλο από αυτά τα οχήματα, σε μια υπηρεσία ταξί στις ΗΠΑ εντός του 2019. Αυτό είναι το πραγματικό ντεμπούτο της GM στον τομέα των αυτο-οδηγούμενων αυτοκινήτων και αποτελεί ένα σημαντικό βήμα στην προσπάθεια της εταιρείας να διατηρήσει την ισχύ της στην αυτοκινητοβιομηχανία, καθώς ο κλάδος τείνει να απομακρύνεται από τα παραδοσιακά πρότυπα περί ιδιοκτησίας και οδήγησης. Ενώ εταιρείες όπως η Waymo, η Uber και άλλες εταιρείες που δραστηριοποιούνται σε αυτόν τον χώρο δημιουργούν ένα ιστό εταιρικών σχέσεων για να αναπτύξουν την αυτόνομη τεχνολογία τους, η GM επιχειρεί την καθετοποίηση της παραγωγής. Για το λόγο αυτό έχει ξοδέψει ένα ποσό ύψους 600 εκατομμυρίων δολαρίων για τη χρηματοδότηση του προγράμματος της για την ανάπτυξη πλήρως αυτόνομων οχημάτων με έδρα το Σαν Φρανσίσκο. Επιπρόσθετα, αγόρασε τον δικό της κατασκευαστή LiDAR: τη start-up Strobe, με στόχο να μειώσει το κόστος των αισθητήρων κατά 99%, το οποίο αποτελεί σημαντικό μέρος του κόστους παραγωγής (Davies, 2018b). Προκειμένου να θέσει τα θεμέλια για μια εταιρεία, η οποία δεν βασίζεται αποκλειστικά στις πωλήσεις αυτοκινήτων στους καταναλωτές, η GM έχει λανσάρει και μια υπηρεσία κοινοχρησίας οχημάτων (car-sharing) με την επωνυμία Maven.

3.3 Google

Στα τέλη της δεκαετίας του 2000 η Google επεκτάθηκε από την κύρια δραστηριότητα της ως απλή μηχανή αναζήτησης και σε άλλους φιλόδοξους επιχειρηματικούς τομείς όπως τα έξυπνα τηλέφωνα (Weber, 2014). HGoogle είναι η πρώτη εταιρεία, η οποία πραγματοποίησε δοκιμές σε αυτο-οδηγούμενα οχήματα, τα οποία προσανατολίζονταν προς τον καταναλωτή. Η τεχνολογία των αυτο-

οδηγούμενων οχημάτων της Google χρησιμοποιεί μια σειρά τεχνολογιών ανίχνευσης, συμπεριλαμβανομένων των σόναρ, των λέιζερ και των ραντάρ. Το καθένα από αυτά τα στοιχεία μπορεί να διαθέτει διαφορετικό εύρος και οπτικό πεδίο, αλλά σε κάθε περίπτωση εξυπηρετεί έναν συγκεκριμένο σκοπό (Whitwam, 2014).

Όταν η Google εγκαινίασε το ερευνητικό της πρόγραμμα για τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα το 2009, συμπεριέλαβε στην ερευνητική της ομάδα βετεράνους της Darpa Challenge. Μέσα σε 18 μήνες, η εν λόγω ομάδα είχε κατασκευάσει ένα σύστημα το οποίο θα μπορούσε να ανταπεξέλθει σε μερικούς από τους πιο δύσκολους δρόμους της Καλιφόρνιας (συμπεριλαμβανομένου του περίφημου οδοστρώματος της οδού Lombard Street του Σαν Φρανσίσκο) με ελάχιστη ανθρώπινη εμπλοκή (Davies, 2018a). Ένα πρώιμο παράδειγμα των επιτυχιών του προγράμματος ήταν το Street View για τους Χάρτες Google, που αναπτύχθηκε από τον νικητή της Grand Challenge και επικεφαλή του προγράμματος, Sebastian Thrun. Ο ίδιος το 2008 ενθάρρυνε έναν άλλο παλαίμαχο των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων στην ομάδα του, τον Anthony Levandowski, να αναπτύξει ένα δευτερεύον ερευνητικό πρόγραμμα με την ονομασία Pribot - ένα Prius τροποποιημένο, ώστε να είναι σε θέση να μεταφέρει μόνο του πίτσα (Weber, 2014). Ο στόλος των επτά αυτόνομων υβριδικών Toyota Prius (βλ. Εικ. 7) της Google είχε καταφέρει να ξεπεράσει τα 140.000 μίλια με μόνο περιστασιακή ανθρώπινη παρέμβαση σε μια διετία από την κυκλοφορία του στους δρόμους, το 2010. Τα αυτοκίνητα χρησιμοποιούν δεδομένα από το Google Street View σε συνδυασμό με δεδομένα από κάμερες, LiDAR και ραντάρ για να καθορίσουν τη θέση του αυτοκινήτου επί του χάρτου (Vanderbilt, 2012). Η ομάδα εργάστηκε σκληρά, προκειμένου να μετασχηματίσει τις ακατέργαστες δυνατότητες που παρουσίασαν τα αυτο-οδηγούμενα στις προκλήσεις της ερήμου σε ένα σύστημα που θα μπορούσε να απευθυνθεί στον καταναλωτή και να μεταφέρει με ασφάλεια τους επιβάτες σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης (Weber, 2014).



Εικόνα7. Το Toyota Prius της Google (waymo.com, 2019)

Το 2012 προστέθηκε στο στόλο της εταιρείας το μοντέλο Lexus RX450h (βλ. Εικ. 8), ενώ υπάλληλοι της εταιρείας συμμετείχαν στις πρώτες δοκιμές της νεοφυούς τεχνολογίας σε αυτοκινητόδρομους. Παράλληλα, η εταιρεία ξεκίνησε να σχεδιάζει τους δικούς της αισθητήρες (waymo.com, 2019).



Εικόνα 7. Το Lexus RX450h τηςGoogle (waymo.com, 2019)

Το 2015 η εταιρεία παρουσίασε το πλήρως αυτο-οδηγούμενο όχημα της Firefly. Αυτά τα αυτοκίνητα είχαν προσαρμοσμένους αισθητήρες, υπολογιστές, σύστημα πλοήγησης και πέδησης, ενώ δεν διέθεταν τιμόνι ή πεντάλ. Τον ίδιο χρόνο, ο Steven Mahan, ο οποίος είναι τυφλός, πραγματοποίησε με το Firefly την παγκοσμίως πρώτη, πλήρως αυτο-οδηγούμενη, διαδρομή στους δημόσιους δρόμους στο Όστιν, Τέξας (waymo.com, 2019).



Εικόνα 8. Το μοντέλο αυτο-οδηγούμενου αυτοκινήτου Firefly τηςGoogle (waymo.com, 2019).

Η Waymo προήλθε από ερευνητικό πρόγραμμα της Google για τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα. Το Δεκέμβριο του 2016, η Google Corporation ανακοίνωσε ότι η τεχνολογία της θα μεταβιβάζονταν σε μια νέα εταιρεία με την ονομασία Waymo, με την Google και τη Waymo να γίνονται θυγατρικές μιας νέας μητρικής εταιρείας με την ονομασία Alphabet (ibid).

Το 2017 η Waymo συνεργάστηκε με την εταιρεία FCA και προσέθεσε το μοντέλο υβριδικού minivan Chrysler Pacifica στο στόλο της, το πρώτο όχημα της εταιρείας, το οποίο κατασκευάστηκε σε μια πλατφόρμα μαζικής παραγωγής με μια καμπίνα με εξαρτήματα σχεδιασμένα εξ' ολοκλήρου από τη Waymo (ibid).



Εικόνα9. Το Chrysler Pacifica Hybrid minivan της Waymo (waymo.com, 2019).

Το Δεκέμβριο του 2018 η Waymo ανακοίνωσε την επίσημη κυκλοφορία των αυτο-οδηγούμενων αυτοκινήτων της σε μια εμπορική υπηρεσία ταξί στην πόλη Chandler της Αριζόνα, όπου οι επιβάτες θα χρησιμοποιούν μια εφαρμογή για να μισθώσουν τα οχήματα για να τους μεταφέρουν σε μια περιοχή 80 με 100 τετραγωνικών μιλίων (Davies, 2018c). Ωστόσο, η πραγματικότητα απείχε από την αρχική στοχοθεσία, εφόσον περιορισμένος αριθμός πολιτών συμμετείχε στο αρχικό

πρόγραμμα επιβατών της Waymo, ενώ οι χειριστές ασφαλείας παρέμειναν πίσω από το τιμόνι, τουλάχιστον σε αρχικό στάδιο (Davies, 2018c).

3.4 Nissan

Η εταιρεία Nissan συμπεριλαμβάνει επίσης την Infiniti, το παρακλάδι της αυτοκινητοβιομηχανίας που παράγει πολυτελή οχήματα (Mays, 2018). Στον κλάδο των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων, το μοντέλο της Nissan 2014 Infiniti Q50 κυκλοφόρησε το 2013 και ήταν ένα από τα πιο αποτελεσματικά αυτόνομα αυτοκίνητα της εταιρείας. Χρησιμοποίησε κάμερες, ραντάρ και άλλες τεχνολογίες επόμενης γενιάς. Το μοντέλο προσέφερε διάφορα χαρακτηριστικά όπως διατήρηση της λωρίδας, αποφυγή σύγκρουσης και σύστημα ελέγχου ταχύτητας του ταξιδιού. Ήταν ένα από τα πρώτα αυτοκίνητα στον κόσμο, στα οποία χρησιμοποιήθηκε η εικονική στήλη τιμονιού. Ο οδηγός δεν χρειάζονταν να χειριστεί χειροκίνητα το γκάζι, τα φρένα ή το τιμόνι (Bimbraw, 2015:194-195).

Τα μοντέλα της εταιρείας που περιλαμβάνουν σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας Stop-and-go είναι τα ακόλουθα:

- Infiniti Q70
- Υβριδικό Infiniti Q70
- Infiniti QX30
- Infiniti QX80
- Nissan Altima
- Nissan Armada
- Nissan Maxima
- Nissan Murano
- Nissan Pathfinder
- Nissan Rogue Sport
- Nissan Sentra

Τα μοντέλα που περιλαμβάνουν σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας Stop-and-go και σύστημα ευθυγράμμισης στη λωρίδα μόνο σε μεγαλύτερες ταχύτητες:

- Infiniti Q50
- Υβριδικό Infiniti Q50

- Infiniti Q60

Τα μοντέλα που περιλαμβάνουν σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας Stop-and-go και σύστημα ευθυγράμμισης στη λωρίδα που λειτουργούν καθ' όλο το διάστημα που κινείται το όχημα πριν τη στάση είναι τα ακόλουθα:

- Infiniti QX50
- Nissan Leaf
- Nissan Rogue

Τα τρία συστήματα που διαθέτει η Nissan περιλαμβάνουν το Active Lane Control[6], Intelligent Cruise Control[7], ή το πιο εξελιγμένο Pro Pilot Assist που περιλαμβάνει τη λειτουργία ευθυγράμμισης στη λωρίδα και άλλα ημιαυτόνομα χαρακτηριστικά. Τα μοντέλα Q50 και Q60 περιλαμβάνουν το Active Lane Control, που αποτελεί ένα απλούστερο σύστημα ευθυγράμμισης στη λωρίδα, το οποίο λειτουργεί μόνο πάνω από 45 mph. Τόσο το Pro Pilot Assist και το Active Lane Control είναι συστήματα, τα οποία απαιτούν να έχει τα χέρια του ο οδηγός στο τιμόνι (Mays, 2018).

Το σύστημα υποβοήθησης του οδηγού Pro Pilot είναι διαθέσιμο στο νέο Nissan Leaf, στο μοντέλο Nissan Rogue και στο πρόσφατο μοντέλο sedan Infiniti Q50 . Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε το Pro Pilot δεν διακρίνεται για την αυξημένη αυτονομία του, εφόσον όπως τα περισσότερα συστήματα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας, επιταχύνει και φρενάρει για τον οδηγό στη βάση της επιλεγμένης ταχύτητας και των ενεργειών του προπορευόμενου αυτοκινήτου. Το σημείο στο οποίο διαφοροποιείται από τα αντίστοιχα συστήματα είναι ότι αναλαμβάνει και τη λειτουργία οδήγησης, αλλά με την προϋπόθεση ότι ο οδηγός ακουμπά τα χέρια του στο τιμόνι συνεχώς, διαφορετικά το σύστημα στέλνει προεδοποιητικές ειδοποιήσεις εντός ολίγων δευτερολέπτων. Εκτός των ΗΠΑ, το μοντέλο Nissan Serena (πρόκειται για ένα minivan) διαθέτει ένα ολοκληρωμένο σύστημα Pro Pilot (De Muro, 2018).

3.5 Tesla

Τα υφιστάμενα ηλεκτροκίνητα μοντέλα της εταιρείας Tesla διαθέτουν σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας Stop-and-go, καθώς και σύστημα ευθυγράμμισης

[6]Ενεργό έλεγχο λωρίδας
[7]Έξυπνος Έλεγχος Πλοήγησης

στη λωρίδα που λειτουργούν καθ' όλο το διάστημα που κινείται το όχημα πριν τη στάση και είναι τα ακόλουθα:

- Tesla Model S
- Tesla Model X
- Tesla Model 3
- Model Y (Mays, 2018).

Το sedan μοντέλο S της Tesla άρχισε να κατασκευάζεται το 2012, με την παράδοση περίπου 3.100 αυτοκινήτων εκείνο το έτος. Η απόδοση του πλησίαζε εκείνη του Roadster[8] (0-60 σε 4,2 δευτερόλεπτα για το P85 Μοντέλο S), είχε ακόμη μεγαλύτερη εμβέλεια (270 μίλια) και μπορούσε να φιλοξενήσει επτά άτομα. Το 2012, ο Tesla αποκάλυψε επίσης ένα ακόμη μυστικό της όπλο: ένα δίκτυο φόρτισης υψηλής ταχύτητας που επέτρεπε στους ιδιοκτήτες της Tesla να φορτίσουν το όχημα τους κατά το ήμισυ σε 20-30 λεπτά ή να το φορτίσουν πλήρως σε μια ώρα. Το δίκτυο Tesla Supercharger κατέστησε τα ταξίδια μεγάλων αποστάσεων με ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο τόσο βολικά, όσο με ένα συμβατικό αυτοκίνητο με βενζίνη. Επιπρόσθετα, η χρήση του δικτύου φόρτισης θα παρέχονταν δωρεάν σε όλους τους ιδιοκτήτες του μοντέλου S (Boylan, 2016).

Το 2015, η Tesla εισήγαγε δύο προηγμένα συστήματα υποβοήθησης του οδηγού, ήτοι το Autopilot και το Summon. Το Autopilot είναι σύστημα που συνδυάζει την υποβοήθηση αλλαγής λωρίδας με του προσαρμοστικού συστήματος ελέγχου πορείας, επιτρέποντας την οδήγηση χωρίς χέρια εντός συγκεκριμένου πλαισίου. Το Summon είναι ένα αυτοματοποιημένο σύστημα στάθμευσης που επιτρέπει στο όχημα να ελιχτεί μέσα και έξω από μια θέση στάθμευσης χρησιμοποιώντας μια εφαρμογή smart phone (Dikmen & Burns, 2017).

Επίσης, πριν την παράδοση των πρώτων μοντέλων S, η Tesla παρουσίασε το επόμενο μοντέλο X: ένα πλήρως ηλεκτρικό SUV που κατασκευάστηκε στην πλατφόρμα του μοντέλου S. Το μοντέλοX παρείχε παρόμοια απόδοση με το μοντέλο S αλλά επιπρόσθετα προσέφερε τη χρησιμότητα και την ευελιξία ενός SUV. Έχει καθίσματα για επτά ενήλικες, την υψηλότερη θέση οδήγησης ενός SUV, ένα γιγαντιαίο πανοραμικό παρμπρίζ που εκτείνεται πίσω από τα κεφάλια των επιβατών των μπροστινών καθισμάτων για μέγιστη ορατότητα και ικανότητα ρυμούλκησης μέχρι 5.000 λίβρες. Το μοντέλο X διαθέτει επίσης πόρτες που ανοίγουν προς τα

[8]Το Roadster είναι το πρώτο μοντέλο που κατασκεύασε η Tesla και πλέον δεν παράγεται.

επάνω, σχεδιασμένες για να διευκολύνουν τους επιβάτες των πίσω καθισμάτων να εισέλθουν και να βγουν από το όχημα. Το διάστημα που αναμένονταν η εκκίνηση της παραγωγής του μοντέλου X το 2015, ο Διευθύνων Σύμβουλος της εταιρείας Elon Musk παρουσίασε επίσης ένα νέο σύστημα φιλτραρίσματος αέρα με φίλτρα διπλού ενεργού άνθρακα και φιλτράρισμα HEPA που μπορεί να διατηρήσει τον αέρα της καμπίνας του οχήματος φρέσκο και καθαρό, ακόμα και αν αυτό διέρχεται από περιοχή με έντονο καπνό, βοσκότοπο, ή ακόμα και στην περίπτωση που δεχθεί μια επίθεση με βιολογικά όπλα. Η λεγόμενη λειτουργία «Bio weapon Defense Mode[9]» θα μπορούσε να αποδειχθεί ιδιαίτερα δημοφιλής σε περιοχές του κόσμου που υποφέρουν από υπερβολική ατμοσφαιρική ρύπανση (Boylan, 2016).

Κατά την παρουσίαση του, η Tesla υποστήριζε ότι το Μοντέλο 3 αναμένονταν να αλλάξει τον κόσμο της αυτοκίνησης για πάντα. Πρόκειται για ένα σπορ, πενταθέσιο sedan, με τουλάχιστον 215 μίλια εύρος μπαταρίας, μια επιτάχυνση 0–60 MPH σε λιγότερα από 6 δευτερόλεπτα και μια τιμή εκκίνησης τα $35,000. Το Μοντέλο 3 σημείωσε 325.000 πληρωμένες κρατήσεις την εβδομάδα της κυκλοφορίας του, ενώ δεν χρησιμοποιεί καθόλου βενζίνη. Αποτελεί την 4η γενιά αυτοκινήτων που παράγει η εταιρεία (ibid). Μεταξύ άλλων όλα τα καινούργια αυτοκίνητα Tesla διαθέτουν πέδηση έκτακτης ανάγκης, προειδοποίηση σύγκρουσης, παρακολούθηση τυφλών σημείων και πολλά άλλα χαρακτηριστικά. Το μοντέλο Y θα έχει πλήρη ικανότητα αυτοελέγχου, επιτρέποντας την αυτόματη οδήγηση στους δρόμους και τους αυτοκινητόδρομους, εν αναμονή της έγκρισης από τις ρυθμιστικές αρχές στις ΗΠΑ, καθώς και την δυνατότητα να εντοπίζει και να πηγαίνει στον ιδιοκτήτη του οπουδήποτε σε ένα χώρο στάθμευσης (tesla.com, 2019).

Τον Νοέμβριο του 2018, η Tesla λάνσαρε ένα χαρακτηριστικό που ονομάζεται Navigate στο Autopilot, το οποίο δίνει στα αυτοκίνητα της (συμπεριλαμβανομένων εκείνων που βρίσκονται ήδη στο δρόμο, χάρη σε μια ενημέρωση λογισμικού) την ικανότητα αλλαγής λωρίδων προκειμένου να προσπεράσει τους αργούς οδηγούς, καθώς και να εγκαταλείψει τον αυτοκινητόδρομο όταν φτάσει στην έξοδο του. Ωστόσο, ο οδηγός πρέπει να συνεχίσει να εστιάζει την προσοχή στο δρόμο και να παραμείνει έτοιμος να πάρει τον έλεγχο, εάν χρειαστεί. Αυτό συμβαίνει επειδή τα συστήματα αυτά δεν είναι ιδιαίτερα ικανά: Δεν μπορούν να δουν πράγματα όπως ένα φανάρι ή σταθμευμένα πυροσβεστικά οχήματα. Το πρόβλημα έγκειται στο ότι οι

[9]Λειτουργία άμυνας από βιολογικά όπλα

άνθρωποι δεν είναι ιδιαίτερα κατάλληλοι να λειτουργούν ως λύση έκτακτης ανάγκης, εφόσον έχει υπάρξει μακρά συζήτηση για το ποιος είναι ο χρόνος που δίδεται στον άνθρωπο οδηγό να αντιδράσει και κατά πόσο αυτός είναι αρκετός για την αποτροπή ενός ατυχήματος (Davies, 2018a).

3.6 Toyota

Η Toyota ανέπτυξε το πρώτο της αυτόνομο αυτοκίνητο αποσκοπώντας κυρίως στην εξάλειψη των συγκρούσεων, που αποτελούν μια από τις κύριες αιτίες θανάτων που προκαλούνται από ατυχήματα στα αυτο-οδηγούμενα οχήματα. Κατά την κατασκευή του ερευνητικού αυτόνομου οχήματος Lexus, η Toyota χρησιμοποίησε κάτι που ονομάζει τεχνολογία ITS (Intelligent Transport Systems – Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών). Το σύστημα αυτού του αυτοκινήτου είχε κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε οποιαδήποτε βλάβη του συστήματος να μην προκαλεί κάποιο ατύχημα. Παράλληλα, λέιζερ και ραντάρ χρησιμοποιήθηκαν για την παροχή επαρκούς γνώσης για το περιβάλλον του οχήματος. Το αυτοκίνητο αυτό ήταν ημιαυτόνομο και ο οδηγός μπορούσε να αποκτήσει τον έλεγχο του αυτοκινήτου όποτε το επιθυμούσε. Το εξελιγμένο ερευνητικό αυτοκίνητο της Toyota οδήγησε την βιομηχανία αυτο-οδηγούμενων σε μια νέα εποχή (Guizzo, 2013; Bimbraw, 2015:194-195).

Ο όμιλος Toyota περιλαμβάνει την Lexus, το παρακλάδι της αυτοκινητοβιομηχανίας που παράγει πολυτελή οχήματα. Τα μοντέλα της εταιρείας που περιλαμβάνουν σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας Stop-and-go είναι τα ακόλουθα:

- Lexus LX
- Lexus NX
- Υβριδικό Lexus NX
- Toyota Camry
- Υβριδικό Toyota Camry
- Toyota C-HR
- Toyota Prius
- Toyota Prius Prime

Τα μοντέλα που περιλαμβάνουν σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας Stop-and-go και σύστημα ευθυγράμμισης στη λωρίδα που λειτουργούν καθ' όλο το διάστημα που κινείται το όχημα πριν τη στάση είναι τα ακόλουθα:

- Lexus GS
- Υβριδικό Lexus GS
- Lexus LC
- Υβριδικό Lexus LC
- Lexus LS
- Υβριδικό Lexus LS
- Lexus RX
- Υβριδικό Lexus RX

Η Toyota και η Lexus ονομάζει το σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας Dynamic Radar Cruise Control[10] (DRCC). Τα προαναφερθέντα μοντέλα έχουν ένα περισσότερο εξελιγμένο τύπο του DRCC σε χαμηλές ταχύτητες, ενώ άλλα μοντέλα της Toyota και Lexus προσφέρουν σύστημα DRCC, το οποίο λειτουργεί μόνο για ταχύτητες άνω των 25 mph. Η τελευταία ομάδα των μοντέλων Lexus που αναφέρονται παραπάνω, συνδυάζουν το DRCC με ένα σύστημα ευθυγράμμισης στη λωρίδα, ωστόσο πρόκειται για ένα σύστημα, το οποίο απαιτεί τα χέρια του οδηγού να ακουμπούν το τιμόνι (Mays, 2018).

Η Toyota έχει ανακοινώσει ότι προτίθεται να παρουσιάσει αυτο-οδηγούμενα οχήματα επιπέδου 4 στους Ολυμπιακούς Αγώνες στο Τόκυο του 2020 για τη μεταφορά του κοινού και κυρίως ηλικιωμένων και ατόμων με περιορισμένη όραση. Πρόκειται κυρίως για πλήρως αυτο-οδηγούμενα αυτοκίνητα που δεν απαιτούν παρέμβαση από τον οδηγό (Vijaynthiran, 2018). Παράλληλα, θα αξιοποιηθεί το e-Palette, ένα ηλεκτρικό, αυτο-οδηγούμενο όχημα σε σχήμα κύβου, το οποίο μπορεί να παραδώσει αγαθά, καθώς και να λειτουργήσει στο πλαίσιο μιας υπηρεσίας κοινοχρησίας διαδρομών και παρουσιάστηκε τον Ιανουάριο του 2018 (Szymkowski, 2018; Vijaynthiran, 2018). Η Toyota διατείνεται ότι το e-Palette θα χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά των αθλητών στο ολυμπιακό χωριό. Επιπλέον, θα χρησιμοποιηθεί το αυτο-οδηγούμενο όχημα της εταιρείας Concept-i, το οποίο παρουσιάστηκε στο Τόκυο το 2017. Το ερευνητικό πρόγραμμα που δημιούργησε το Concept-i, αποσκοπεί να δημιουργήσει μια τεχνητή νοημοσύνη, η οποία μπορεί να αναγνωρίσει τα

[10]Δυναμικός Έλεγχος Πορείας μέσω Ραντάρ

συναισθήματα και τις προτιμήσεις του οδηγού, καθώς και να συνομιλήσει μαζί του (Vijaynthiran, 2018). Η Toyota αναφέρει ότι το σύστημα τεχνητής νοημοσύνης που έχει αναπτύξει, χρησιμοποιεί τεχνολογίες αυτο-οδηγούμενων οχημάτων για τη βελτίωση της ασφάλειας, αλλά χρησιμοποιεί επίσης οπτικά ερεθίσματα και ερεθίσματα αφής για την παρακολούθηση της ανταποκρισιμότητας του οδηγού. Παρακολουθεί επίσης τις οδικές συνθήκες και την προσοχή του οδηγού και μπορεί να ενεργοποιήσει την αυτοματοποιημένη υποβοήθηση οδήγησης για την πλοήγηση σε επικίνδυνες συνθήκες οδήγησης (Bell, 2017).

Παρά το γεγονός ότι οι περισσότερες από αυτές τις τεχνολογίες δεν πρόκειται να εισέλθουν στην παραγωγή άμεσα, η εταιρεία προτίθεται να επιδείξει στους Ολυμπιακούς του Τόκυο ορισμένες τεχνολογίες, οι οποίες αναμένονται ότι φτάσουν στην παραγωγή σύντομα. Μια εξ αυτών των τεχνολογιών είναι και το Highway Teammate system, το οποίο αναμένεται να είναι διαθέσιμο το 2020 στο μοντέλο Lexus LS+. Το επιπέδου δύο, σύστημα αυτο-οδήγησης μπορεί να διαχειριστεί όλες τις πτυχές της οδήγησης στον αυτοκινητόδρομο, όπως η ενσωμάτωση μέσα στην κίνηση, η διατήρηση της λωρίδας, οι προσαρμογές στην ταχύτητα και η διατήρηση της ενδεδειγμένης απόστασης από το προπορευόμενο και το όχημα που ακολουθεί (Vijaynthiran, 2018).

3.7 Όμιλος Volkswagen

Ο όμιλος Volkswagen ελέγχει την Audi, την Porsche, τη Volkswagen και μερικές ακόμα εταιρείες υπερπολυτελών οχημάτων. Τα μοντέλα της εταιρείας που περιλαμβάνουν σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας Stop-and-gομόνο είναι τα ακόλουθα:

- Volkswagen Atlas
- Volkswagen e-Golf
- Volkswagen Golf All track
- Volkswagen Golf R
- Volkswagen Passat
- Volkswagen Tiguan

Τα μοντέλα που περιλαμβάνουν σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας Stop-and-go και σύστημα ευθυγράμμισης στη λωρίδα μόνο σε μεγαλύτερες ταχύτητες:

- Audi A3/S3/A3 e-tron
- Audi A6/S6
- Audi A7/S7/RS 7
- Audi A8/S8

Τα μοντέλα που περιλαμβάνουν σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας Stop-and-go και σύστημα ευθυγράμμισης στη λωρίδα που λειτουργούν καθ' όλο το διάστημα που κινείται το όχημα πριν τη στάση είναι τα ακόλουθα:

- Audi A4/A4 All road/S4
- Audi A5/S5/RS 5
- Audi Q5/SQ5
- Audi Q7(Mays, 2018).

Ένα από τα πρώτα επιτεύγματα της εταιρείας στον τομέα των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων, είναι η ολοκλήρωση από το αυτόνομο Audi TTS της ορεινής ανάβασης Pike's Peak 20 χλμ. σε 27 λεπτά, πολύ κοντά στο ανθρώπινο ρεκόρ των 17 λεπτών. Πρόκειται για ένα αξιοσημείωτο επίτευγμα, δεδομένου ότι για πρώτη φορά απεδείχθη το πόσο κοντά είναι τα αυτο-οδηγούμενα αυτοκίνητα με τους καλύτερους ανθρώπους οδηγούς (Bimbraw, 2015:194). Το εν λόγω αυτοκίνητο ονομάστηκε Shelley από τη Michele Mouton, μια οδηγό ράλλυ τηςAudi και πρώτη γυναίκα που κέρδισε το συγκεκριμένο αγώνα. Το Shelley, σχεδιάστηκε από τον Chris Gerdes και την ερευνητική του ομάδα στο πανεπιστήμιο Stanford, ήταν εφοδιασμένο με GPS, αισθητήρες για την ταχύτητα των τροχών, αλγόριθμους ελέγχου της πρόσφυσης και ένα γυροσκόπιο που ελέγχει την ισορροπία και την κατεύθυνση (Squatriglia, 2010; Vanderbilt, 2012).

Το σύστημα "Temporary Autopilot" (TAP) (Προσωρινός Πιλότος) της Volkswagen μπορεί να ελέγξει το αυτοκίνητο ημιαυτόματα σε ταχύτητες έωςκαι 130 χλμ./ώρα. Όταν το αυτοκίνητο βρίσκεται σε λειτουργία TAP, διατηρεί μια απόσταση ασφαλείας από το προπορευόμενο αυτοκίνητο, ελέγχει τη διαγράμμιση του οδοστρώματος ώστε να διατηρήσει το αυτοκίνητο στο κέντρο και επιβραδύνει αυτόματα όταν πλησιάζει σε μια καμπή στο οδόστρωμα. Παράλληλα, το σύστημα TAP βοηθά στην πρόληψη ατυχημάτων που προκαλούνται από απρόσεκτους οδηγούς. Ωστόσο, ο οδηγός διατηρεί ακόμα τον έλεγχο και μπορεί να αντικαταστήσει τις ενέργειες του αυτοκινήτου σε οποιοδήποτε σημείο(Mays, 2018).

Το 2017, η Audi ανακοίνωσε ότι το τελευταίο μοντέλο της A8 θα ήταν αυτοματοποιημένο σε ταχύτητες έως και 60 χλμ./ώρα (37 mph) χρησιμοποιώντας τη λεγόμενη τεχνητή νοημοσύνη της εταιρείας, ή «Audi AI». Ο οδηγός δεν θα χρειαζόταν να κάνει ελέγχους ασφαλείας, όπως να ακουμπάει το τιμόνι σε τακτά διαστήματα. Το Audi A8 υποτίθεται ότι είναι το πρώτο αυτοκίνητο σε μαζική παραγωγή που αγγίζει την αυτοματοποιημένη οδήγηση επιπέδου 3 και η Audi ο πρώτος κατασκευαστής που θα χρησιμοποιήσει σαρωτές λέιζερ εκτός από κάμερες και υπερηχητικούς αισθητήρες για το σύστημα τους. Με την ενεργοποίηση του κουμπιού «Audi AI», το σύστημα προσφέρει πλήρως αυτόνομη λειτουργία χωρίς την παρέμβαση του οδηγού οδηγό μέχρι ταχύτητες 60 χλμ./ώρα. Η Audi χαρακτηρίζει τη νέα αυτή τεχνολογία ως λειτουργία υποστήριξης κυκλοφοριακής συμφόρησης, η οποία αναλαμβάνει την ευθύνη της οδήγησης σε αργή κυκλοφορία σε ταχύτητα έως 60χλμ./ώρασε αυτοκινητόδρομους, όπου υπάρχει διαχωριστικό στο οδόστρωμα. Το αυτοκίνητο ελέγχει την επιτάχυνση, την πέδηση και την οδήγηση, ενώ υποστηρίζεται ότι ο οδηγός δεν χρειάζεται πλέον να παρακολουθεί μόνιμα το αυτοκίνητο. Το σύστημα επιτρέπει στον οδηγό να βγάλει προσωρινά τα χέρια του από το τιμόνι και να ασχοληθεί με κάτι άλλο. Ωστόσο, μόλις το σύστημα φθάσει στα όρια του, καλεί τον οδηγό να πάρει πίσω τον έλεγχο. Εκτός από τους αισθητήρες ραντάρ, μια μπροστινή κάμερα και τους αισθητήρες υπερήχων, η Audi είναι ο πρώτος κατασκευαστής αυτοκινήτων που χρησιμοποιεί επίσης έναν ανιχνευτή λέιζερ. Το σύστημα Audi AI προσφέρει επίσης το σύστημα απομακρυσμένης στάθμευσης, όπου ο οδηγός δεν χρειάζεται πλέον να βρίσκεται στο όχημα ενώ σταθμεύει. Αντ' αυτού μπορούν να ελέγξει το όχημα μέσω του smart phone του (McAleer, 2017; DeMuro, 2018).

3.8 Volvo

Το ημιαυτόνομο σύστημα της Volvo ονομάζεται Pilot Assist, το οποίο περιλαμβάνει σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας και ευθυγράμμισης στη λωρίδα. Και τα δύο συστήματα λειτουργούν καθ’ όλο το διάστημα που κινείται το όχημα, αλλά το Pilot Assist δεν είναι σύστημα χωρίς χέρια. Τα μοντέλα της εταιρείας που περιλαμβάνουν σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας Stop-and-go είναι τα ακόλουθα:

- Volvo S60

- Volvo V60

Τα μοντέλα που περιλαμβάνουν σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας Stop-and-go και σύστημα ευθυγράμμισης στη λωρίδα που λειτουργούν καθ' όλο το διάστημα που κινείται το όχημα πριν τη στάση είναι τα ακόλουθα:

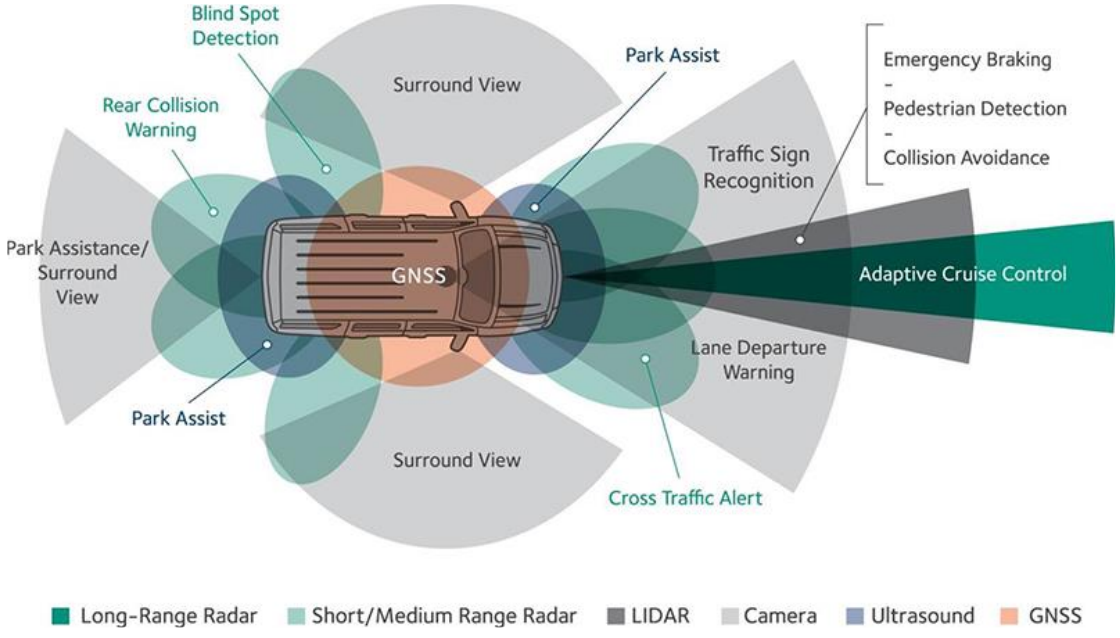
- Volvo S90
- Volvo V90
- Volvo XC60
- Volvo XC90
- Volvo XC90 με υβριδικό plug-in κινητήρα(Mays, 2018).

Το σύστημα της Pilot Assist Volvo Pilot λειτουργεί κατά τρόπο παρόμοιο με το Autopilot της Tesla. Παρά το γεγονός ότι το Autopilot διαφημίζεται ότι παρέχει αυτόνομη οδήγηση, στην πραγματικότητα απαιτεί την περιστασιακή συμβολή του οδηγού, ώστε το σύστημα να ταυτοποιεί ότι αυτός εξακολουθεί να βρίσκεται στο όχημα. Το χαρακτηριστικό αυτό, που είναι διαθέσιμο στο Volvo S90 sedan, στοV90 station wagon και στο XC60 crossover και μπορεί να οδηγήσει γύρω από διαδοχικές στροφές και μπορεί να επιταχύνει ή να επιβραδύνει το όχημα βάσει των ενεργειών των προπορευόμενων αυτοκινήτων (DeMuro, 2018).

Η σουηδική αυτοκινητοβιομηχανία (η οποία ανήκει στην κινεζική εταιρία αυτοκινήτων Geely) σχεδιάζει να προσφέρει ένα πραγματικά αυτο-οδηγούμενο αυτοκίνητο μέχρι το 2021.Το σύστημα θα είναι διαθέσιμο στην επόμενη γενιά των SUV XC90 της Volvo και θα προσεγγίσει αυτό που αποκαλείται αυτοματοποίηση επιπέδου 4, που σημαίνει ότι τα αυτοκίνητα μπορούν να λειτουργούν με ασφάλεια και χωρίς να χρειάζεται ανθρώπινη παρέμβαση στα περισσότερα περιβάλλοντα οδήγησης. Στην περίπτωση της Volvo, τα αυτοκίνητα θα χρησιμοποιούν την τεχνολογία GPS και τους αισθητήρες λέιζερ για ασφαλή πλοήγηση μόνο σε μεγάλες εθνικές οδούς, ως επί το πλείστον - γι 'αυτό και η εταιρεία καλεί το σύστημα της, Highway Pilot. Η διαφορά μεταξύ της αυτοματοποίησης του επιπέδου 4 και του επιπέδου 3, η οποία είναι ήδη διαθέσιμη σε αυτοκίνητα όπως το Audi A8, είναι ότι στο επίπεδο 4το όχημα μπορεί να πλοηγηθεί σε ορισμένους δρόμους μόνο του, αλλά με την προσδοκία ότι ένας οδηγός θα μένει συνήθως σε εγρήγορση για να αναλάβει τον έλεγχο όταν χρειάζεται (Huddleston Jr., 2018).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Τεχνολογία Αυτο-οδηγούμενων Οχημάτων

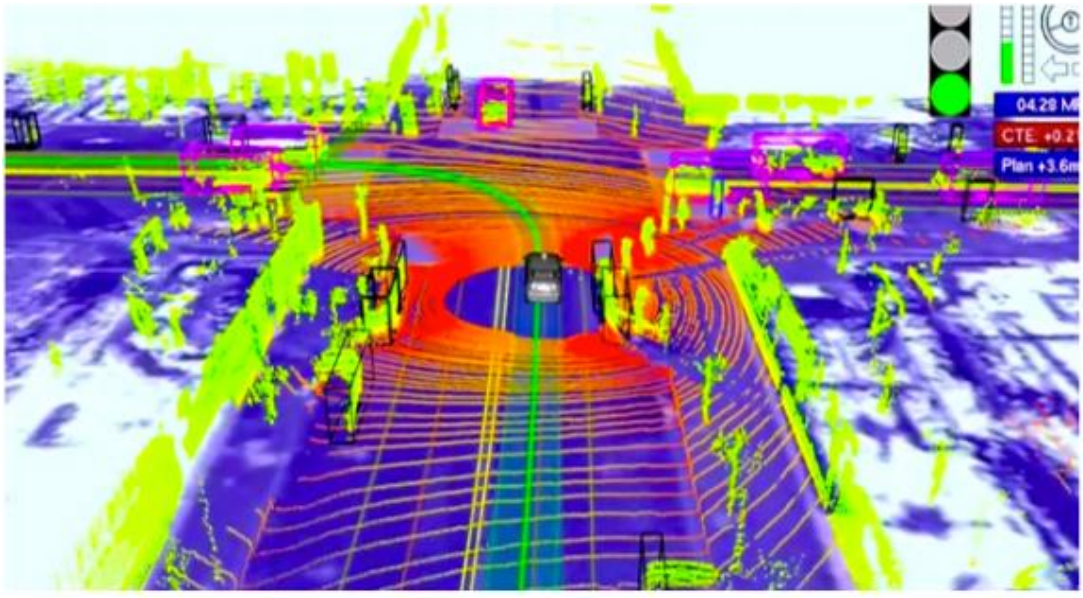
Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα αυτο-οδηγούμενα οχήματα αποτελεί ένα συνδυασμό υπολογιστών, λογισμικού και αισθητήρων που επικοινωνούν μεταξύ τους, με το αυτοκίνητο και σε ορισμένες περιπτώσεις με το χειριστή του (Colonna et al., 2012:86-90). Ο αξιόπιστος εντοπισμός αποτελεί τη βασική συνιστώσα οποιουδήποτε αυτο-οδηγούμενου οχήματος. Για την πλοήγηση και τον έλεγχο των αυτόνομων οχημάτων χρησιμοποιούνται μια σειρά από διαφορετικά συστήματα, καθώς και από διαφορετικούς αισθητήρες, όπως φαίνεται και στην Εικ. 11. Οι πλέον διαδεδομένοι αισθητήρες συμπεριλαμβάνουν το LiDAR, το GPS, το ραντάρ, τους υπερηχητικούς αισθητήρες και τις αδρανειακές μονάδες μέτρησης (Babak et al., 2017). Η σύγκλιση των τεχνολογιών που βασίζονται σε αισθητήρες και των επικοινωνιών των συνδεδεμένων οχημάτων είναι απαραίτητη για την παροχή πραγματικά αυτόνομων οχημάτων. Τα συστήματα που βασίζονται σε αισθητήρες προσφέρουν ποικίλους βαθμούς υποβοήθησης στον οδηγό, αλλά με τη σημερινή τους μορφή δεν είναι ακόμη σε θέση να παρέχουν ολοκληρωμένες και οικονομικά αποδοτικές εμπειρίες αυτο-οδήγησης (Rathore, 2016).



Εικόνα10. Sensors and their functionality in autonomous vehicle (Babak et al., 2017).

Τα αυτόνομα οχήματα απαιτούν εκτεταμένα δεδομένα προκειμένου να λειτουργούν αποτελεσματικά (Bloom et al., 2017). Το λογισμικό των αισθητήρων δημιουργεί δεδομένα που βασίζονται στο περιβάλλον του αυτοκινήτου και στέλνει τα δεδομένα στον υπολογιστή (Colonna et al., 2012:86-90). Οι αισθητήρες συνήθως

περιλαμβάνουν: ένα σύστημα GPS για πλοήγηση, έναν κωδικοποιητή των τροχών για την παρακολούθηση των κινήσεων του αυτοκινήτου, ραντάρ στο μπροστινό και πίσω προφυλακτήρα για την αναγνώριση του οδοστρώματος, μια κάμερα κοντά στον καθρέφτη για την αναγνώριση των χρωμάτων, των διαγραμμίσεων, την αναγνώριση μιας σύγκρουσης, και τις ειδοποιήσεις για πεζούς, καθώς και έναν αισθητήρα LiDAR στην οροφή, που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός 3D χάρτη του περιβάλλοντος του οχήματος (Bloom et al., 2017). Το LiDAR στην οροφή των αυτό-οδηγούμενων οχημάτων αποτελεί πλέον ένα κοινό φαινόμενο. Το LiDAR έχει πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια από τις κάμερες, αλλά μικρότερη ανάλυση. Ωστόσο, μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες από τις κάμερες. Έχει επίσης καλύτερη ανάλυση από το Radar και είναι σε θέση να δημιουργήσει ένα περίγραμμα των αντικειμένων που μπορούν να διακριθούν το ένα από το άλλο. Ο υπολογιστής διαθέτει λογισμικό που εφαρμόζει στα δεδομένα που ανακτώνται από το λογισμικό ανίχνευσης αλγόριθμους λήψης αποφάσεων, βασισμένους στη λογική. Με βάση τα δεδομένα του περιβάλλοντος και τους αλγορίθμους, το λογισμικό αυτό παρέχει επεξεργασμένα δεδομένα στο όχημα, τα οποία του δίνουν οδηγίες για την πραγματοποίηση αυτόματων κινήσεων, συμπεριλαμβανομένης της επιτάχυνσης (Colonna et al., 2012:86-90).



Εικόνα12.Εικόνα από LiDAR

4.1 Σύστημα εντοπισμού της θέσης & πλοήγησης του αυτοκινήτου

Κατά την αυτο-οδήγηση, πρέπει να επιλυθούν δύο θέματα, τα οποία είναι αφενός ο εντοπισμός της τρέχουσας θέσης του αυτοκινήτου και αφετέρου η μετάβαση του από την τρέχουσα θέση του στον τελικό προορισμό. Βεβαίως, όταν υπάρχει οδηγός που χειρίζεται το όχημα, τα δύο παραπάνω ζητήματα μπορούν να λυθούν από τις γνώσεις που ο ίδιος διαθέτει. Ωστόσο, στην αυτο-οδήγηση, το αυτοκίνητο πρέπει να είναι σε θέση να εντοπίσει αυτόματα τη θέση του και να εκτελέσει τον προγραμματισμό της διαδρομής προς τον προορισμό του (Zhao et al., 2018).

Ο κύριος σκοπός του συστήματος εντοπισμού είναι να προσδιοριστεί η θέση του οχήματος. Οι μέθοδοι εντοπισμού μπορεί να ταξινομηθούν στον σχετικό εντοπισμό, τον απόλυτο και τον υβριδικό εντοπισμό θέσης. Για τον σχετικό εντοπισμό θέσης, η τρέχουσα θέση του αυτο-οδηγούμενου οχήματος υπολογίζεται προσθέτοντας την κίνηση και την κατεύθυνση στην προηγούμενη θέση. Για παράδειγμα, το σύστημα αδρανειακής πλοήγησης (Inertial Navigation System- INS) είναι ένα κοινό σύστημα εντοπισμού της θέσης του αυτοκινήτου. Στο INS, η γωνιακή ταχύτητα του οχήματος και η ταχύτητα επιτάχυνσης υπολογίζονται από τον αισθητήρα γυροσκοπίου και το επιταχυνσιόμετρο που είναι εγκατεστημένο στο αυτοκίνητο. Με την ενσωμάτωση αυτών των δεδομένων (δηλαδή της γωνιακής ταχύτητας και της ταχύτητας επιτάχυνσης), μπορούν να υπολογιστούν η σχετική γωνία και ταχύτητα πορείας του αυτοκινήτου. Ομοίως, η κατεύθυνση και η απόσταση από το αυτοκίνητο μπορούν και πάλι να υπολογιστούν με την ολοκλήρωση της γωνίας και της ταχύτητας πορείας. Σε συνδυασμό με την προηγούμενη θέση του οχήματος, μπορεί να υπολογιστεί η τρέχουσα θέση του οχήματος. Ωστόσο, λόγω των κραδασμών του οχήματος κατά τη διάρκεια της κίνησης του, είναι αναπόφευκτο να προκύψει μια απόκλιση μεταξύ της υπολογιζόμενης θέσης και της πραγματικής θέσης (Zhao et al., 2018).

Η μέθοδος του απόλυτου εντοπισμού θέσης χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό της θέσης του οχήματος σύμφωνα με τις πληροφορίες που λαμβάνονται από το σύστημα εντοπισμού θέσης. Ένα κοινό σύστημα εντοπισμού θέσης είναι το δορυφορικό σύστημα, όπως το GPS, το GLONASS, το Galileo, το Beidou και ούτω καθεξής. Ωστόσο, το δορυφορικό σήμα είναι επιρρεπές στις παρεμβολές από τις καιρικές συνθήκες και το αστικό περιβάλλον, όπως τα κτίρια και οι ορεινοί όγκοι, που θα προκαλέσουν σφάλματα και θόρυβο στο σήμα θέσης και συνεπώς η μετρούμενη απόλυτη θέση δεν είναι ακριβής (ibid).

Ο υβριδικός εντοπισμός θέσης, ο οποίος συνδυάζει τα χαρακτηριστικά των παραπάνω δύο μεθόδων εντοπισμού, είναι η πιο κοινή μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό της θέσης ενός αυτό-οδηγούμενου αυτοκινήτου (ibid).

4.1.1 GPS

Το GPS χρησιμοποιείται για να εντοπίσει τη θέση ενός δέκτη GPS (συντεταγμένες x, y, z) χρησιμοποιώντας τέσσερις ή περισσότερους γεωστατικούς δορυφόρους. Αυτοί οι δορυφόροι διατηρούν τη θέση τους σε σχέση με τη γη και αναμεταδίδουν σήματα αναφοράς. Ένας δέκτης GPS στη γη αποκρυπτογραφεί την πραγματική θέση με ακρίβεια μερικών μέτρων (Babak et al., 2017). Οι πληροφορίες που ανακτώνται από το GPS, μαζί με τις πληροφορίες για τους δρόμους που παράγονται από το σύστημα εντοπισμού θέσης και τη βάση δεδομένων ψηφιακών χαρτών, χρησιμεύουν ως πηγή δεδομένων, που εισάγονται στο μοντέλο αντιστοίχισης στο χάρτη, όπου έξυπνοι αλγόριθμοι χάραξης διαδρομής[11] (π.χ. αλγόριθμος Dijkstra, αλγόριθμος Bellman-Ford) χρησιμοποιούνται για να επιτρέψουν τον υπολογισμό του σχεδιασμού της πορείας. Μετά τον υπολογισμό, το αυτο-οδηγούμενο όχημα μπορεί να εντοπίσει τον εαυτό του. Με τις πληροφορίες αναφορικά με την τοποθεσία του αυτοκινούμενου αυτοκινήτου και τον προορισμό, η διαδρομή μπορεί επίσης να προγραμματιστεί και να υπολογιστεί από το μοντέλο πορείας (Zhao et al., 2018).

Ωστόσο, το αποκαλούμενο «διαφορικό GPS» μπορεί να εντοπίσει μια θέση με ακρίβεια εκατοστών, η οποία είναι απαραίτητη για την πλοήγηση ενός αυτόνομου οχήματος. Το GPS αποτελείται από τρία τμήματα: το δορυφορικό τμήμα, το τμήμα ελέγχου και το τμήμα των χρηστών. Το δορυφορικό τμήμα περιλαμβάνει τους δορυφόρους, το τμήμα ελέγχου τους διαχειρίζεται και τους ελέγχει, ενώ το τμήμα των χρηστών σχετίζεται με την ανάπτυξη του εξοπλισμού των χρηστών τόσο για στρατιωτικούς, όσο και για πολιτικούς σκοπούς. Η εφαρμογή πλοήγησης του GPS βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ακριβή πρόβλεψη της θέσης του οχήματος σε σχέση με τον χάρτη, διαδικασία γνωστή και ως εντοπισμός. Ωστόσο, η πλοήγηση με βάση το GPS είναι συχνά ανακριβής και μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα (Babak et al., 2017; Matsson, 2018).

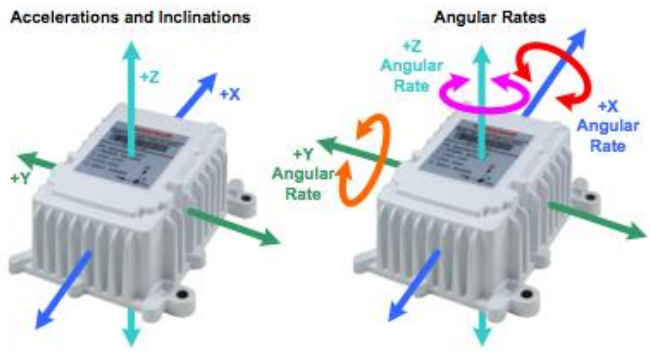
[11]Path planning

4.1.2 Τα αδρανειακά συστήματα πλοήγησης (Inertial Navigation Systems ή INS)& αδρανειακές μονάδες μέτρησης (Inertial Measurement Unit ή IMU)

Ένα κινούμενο όχημα μπορεί να παρουσιάσει γραμμικές και περιστροφικές κινήσεις κατά μήκος αξόνων x, y και z: πλευρικές, διαμήκεις και κατακόρυφες, οι οποίες μπορούν να μετρηθούν με μια αδρανειακή μονάδα μέτρησης που περιλαμβάνει γραμμικές και γωνιακές επιταχύνσεις. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των μετρήσεων GPS (Babak et al., 2017).

Ένα **σύστημα αδρανειακής πλοήγησης(Inertial Navigation Systems ή INS)** χρησιμοποιεί γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα για να διατηρεί μια εκτίμηση της θέσης, της ταχύτητας και των ρυθμών συμπεριφοράς του οχήματος εντός ή επί του οποίου μεταφέρεται το INS, το οποίο μπορεί να είναι χερσαίο όχημα, αεροσκάφος, διαστημικό σκάφος, πύραυλος, πλοίο ή υποβρύχιο. Ένα INS αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- Μια αδρανειακή μονάδα μέτρησης (IMU),
- Ηλεκτρονικά εξαρτήματα για την υποστήριξη των οργάνων,
- Τους υπολογιστές πλοήγησης (ένας ή περισσότεροι), οι οποίοι υπολογίζουν την επιτάχυνση της βαρύτητας (που δεν μετράται από τα επιταχυνσιόμετρα) και ολοκληρώνουν διπλά την καθαρή επιτάχυνση για να διατηρήσουν μια εκτίμηση της θέσης του οχήματος



Εικόνα11. IMU (Babak et al., 2017)

Μια αδρανειακή μονάδα μέτρησης (IMU) ή αδρανειακή μονάδα αναφοράς (inertial reference unit - IRU) περιέχει ένα σύνολο αισθητήρων: επιταχυνσιόμετρα (τρία ή περισσότερα, αλλά συνήθως τρία) και γυροσκόπια (τρία ή περισσότερα, αλλά συνήθως τρία). Αυτοί οι αισθητήρες είναι σταθερά τοποθετημένοι σε μια κοινή βάση για να διατηρούν τον ίδιο σχετικό προσανατολισμό (Johns, χ.χ.; Matsson, 2018). Οι

IMU υπολογίζουν και αναφέρουν τη γραμμική επιτάχυνση και την ταχύτητα περιστροφής. Υπάρχουν διάφορα μέσα για να το πράξουν αυτό, συμπεριλαμβανομένης της μετατόπισης φάσης ακτίνων λέιζερ σε δακτυλίους οπτικών ινών, αλλά οι χαμηλού κόστους IMU χρησιμοποιούν συνήθως τεχνολογία MEMS για να μετρήσουν την κίνηση μικροσκοπικών μηχανικών στοιχείων μέσα στην IMU (Osterwood & Noble, 2017).

4.1.2.1 Επιταχυνσιόμετρα

Τα επιταχυνσιόμετρα είναι αισθητήρες για τη μέτρηση της επιτάχυνσης. Ωστόσο, τα επιταχυνσιόμετρα δεν μπορούν να μετρήσουν την επιτάχυνση της βαρύτητας. Δηλαδή, ένα επιταχυνσιόμετρο σε ελεύθερη πτώση (ή σε τροχιά) δεν έχει ανιχνεύσιμη εισροή (Johns, χ.χ.). Ένα επιταχυνσιόμετρο μετρά τη δική του επιτάχυνση σε σχέση με ένα αδρανειακό πλαίσιο αναφοράς. Η λειτουργία είναι συγκρίσιμη με εκείνη μιας αποσβεσμένης μάζας σε ένα ελατήριο. Όταν ο αισθητήρας εκτίθεται σε επιτάχυνση, η μάζα θα μετατοπιστεί. Η μετατόπιση μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας τις χωρητικές ή πιεζοηλεκτρικές επιδράσεις. Ένα χωρητικό επιταχυνσιόμετρο χρησιμοποιεί την κινούμενη μάζα ως πυκνωτή, μεταβάλλοντας την χωρητικότητα καθώς κινείται. Ένα πιεζοηλεκτρικό επιταχυνσιόμετρο χρησιμοποιεί τη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης των υλικών όταν παραμορφώνονται (Matsson, 2018).

4.1.2.2 Γυροσκόπια

Τα γυροσκόπια είναι συσκευές που δύνανται να διατηρούν σταθερό τον προσανατολισμό τους μέσω της περιστροφής των εξωτερικών τμημάτων τους, εκμεταλλευόμενα την αρχή της διατήρησης της στροφορμής. Τα γυροσκόπια χρησιμοποιούνται για να μετρηθεί ο προσανατολισμός. Επιπρόσθετα, υπάρχουν ηλεκτρονικά MEMS γυροσκόπια, τα οποία είναι βασισμένα σε διαφορετικές αρχές λειτουργίας και που μετρούν την γωνιακή τους ταχύτητα αντί τον προσανατολισμό (Κάρμας & Μυλωνάς, 2016).

4.1.2.2.1 Γυροσκόπιο MEMS (Micro Electro Mechanics System ή Μικρο-ηλεκτρο-μηχανικό σύστημα)

Τα γυροσκόπια MEMS είναι γενικά δονητικά γυροσκόπια. Αυτός ο τύπος γυροσκοπίων αποτελείται από μια δονούμενη μάζα τοποθετημένη σε ένα ελατήριο. Εάν η μάζα ταλαντεύεται στον άξονα x και εφαρμόζεται μια περιστροφή γύρω από τον άξονα z, τότε επιταχύνεται ο επιταχυνόμενος άξονας y. Αυτή η επιτάχυνση ονομάζεται επιτάχυνση Coriolis και δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$a_{cor} = 2v \bullet \Omega$$

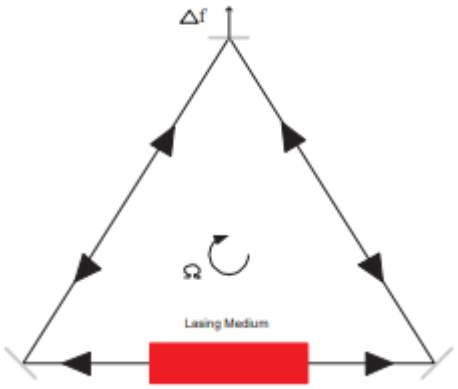
όπου v είναι η ταχύτητα της μάζας και Ω είναι η γωνιακή ταχύτητα της περιστροφής. Η γωνιακή ταχύτητα δίδεται έτσι από την ταχύτητα της ταλαντούμενης μάζας και μέσω της μέτρησης της δύναμη, η οποία προκαλεί την επιτάχυνση Coriolis (Matsson, 2018).

Τα γυροσκόπια MEMS χρησιμοποιούνται ευρέως για ηλεκτρονικές συσκευές ευρείας κατανάλωσης όπως έξυπνα τηλέφωνα, ψηφιακές κάμερες, συστήματα πλοήγησης αυτοκινήτων, καθώς και ελεγκτές σταθερότητας των οχημάτων και drones. Από την άλλη πλευρά, γυροσκόπια οπτικών ινών και τα γυροσκόπια δακτυλίου λέιζερ, τα οποία έχουν μεγαλύτερες αποδόσεις από τα γυροσκόπια MEMS, χρησιμοποιούνται για βιομηχανικά μηχανήματα όπως αεροπλάνα, πλοία και ρομπότ. Τα αυτόνομα αυτοκίνητα απαιτούν επίσης γυροσκόπια υψηλής απόδοσης, αλλά τα οπτικά γυροσκόπια είναι πολύ ακριβά για τα αυτοκίνητα ευρείας κατανάλωσης. Η δραστική μείωση του κόστους των οπτικών γυροσκοπίων είναι δύσκολη και κατά συνέπεια η βελτίωση στην απόδοση των γυροσκοπίων MEMS μπορεί να είναι η πιο ελπιδοφόρα κατεύθυνση (Tanaka, 2015).

Η σταθερότητα του σφάλματος (δηλαδή η ανάλυση) που απαιτείται για την αυτόματη οδήγηση είναι τόσο μικρή όσο 0,1%/ ώρα, η οποία είναι δύο τάξεις μεγέθους καλύτερη από αυτή των παρόντων γυροσκοπίων MEMS για καταναλωτικές ηλεκτρονικές συσκευές. Με άλλα λόγια, τα γυροσκόπια MEMS με λογικό κόστος αποτελούν μία από τις σημαντικές προκλήσεις για την εμπορευματοποίηση των αυτόνομων αυτοκινήτων (ibid).

4.1.2.2.2 Γυροσκόπιο δακτυλίου λέιζερ (Ring Laser Gyroscope - RLG)

Το Γυροσκόπιο δακτυλίου λέιζερ (RLG) δημιουργήθηκε την δεκαετία του 1960. Η κύρια ιδέα ήταν να εισαχθεί μια κοιλότητα λέιζερ στη διαδρομή του φωτός, προκειμένου να αυξηθεί η ισχύς του φαινομένου Sagnac. Αυτή η συσκευή είναι χτισμένη ως συντονιστής, με το φως να κυκλοφορεί στην κλειστή διαδρομή πολλές φορές, καθώς δημιουργείται ο συντονισμός του συστήματος. Το γυροσκόπιο δακτυλίου λέιζερ είναι βασικά μια «ενεργή» προσέγγιση για την κατασκευή ενός οπτικού γυροσκοπίου, λόγω της εισαγωγής του ενεργού λέιζερ. Αυτός είναι ο λόγος που ορισμένες φορές ονομάζεται ενεργός συντονιστής δακτυλίων. Η βασική διαμόρφωση της κοιλότητας λέιζερ εμφανίζεται στην Εικ. 14, όπου ένα ενεργό μέσο λέιζερ εισάγεται σε μια κλειστή κοιλότητα. Η κοιλότητα αποτελείται από κάτοπτρα που αντικατοπτρίζονται απόλυτα και ένα κάτοπτρο εξόδου με μικρή διαπερατότητα. Δύο δέσμες που προέρχονται από το ενεργό λέιζερ διαδίδονται σε δύο αντίθετες κατευθύνσεις. Ένα κλάσμα της ισχύος των δύο δσεμών εκπέμπεται μέσω του κατόπτρου εξόδου σε έναν ανιχνευτή (Shamir, 2006).



Εικόνα 12. Κοιλότητα δακτυλίου λέιζερ

4.1.2.2.3 Οπτικά Γυροσκόπια

Τα οπτικά γυροσκόπια επίσης βασίζονται στο φαινόμενο Sagnac. Αν δύο δέσμες φωτός στέλνονται σε αντίθετες κατευθύνσεις γύρω από ένα σταθερό κυκλικό βρόχο, θα ταξιδέψουν στην ίδια αδρανειακή απόσταση και θα φτάσουν στο τέλος της διαδρομής ταυτόχρονα. Αλλά αν ο βρόχος περιστρέφεται και οι δύο δέσμες φωτός αποστέλλονται και πάλι σε αντίθετες κατευθύνσεις, η δέσμη φωτός που ταξιδεύει προς την ίδια κατεύθυνση με την περιστροφή θα ταξιδέψει σε μεγαλύτερη

αδρανειακή απόσταση και θα φτάσει στο τέλος της διαδρομής αργότερα. Χρησιμοποιώντας τη συμβολομετρία, η διαφορική μετατόπιση φάσης μπορεί να μετρηθεί και να μεταφραστεί σε γωνιακή ταχύτητα. Αυτός ο τύπος γυροσκοπίων χρησιμοποιείται συνήθως σε αεροπλάνα (Matsson, 2018).

4.1.2.2.4 Γυροσκόπιο οπτικών ινών (FOG)

Μια πιο πρόσφατη παραλλαγή στο οπτικό γυροσκόπιο, το γυροσκόπιο οπτικών ινών, χρησιμοποιεί ένα εξωτερικό λέιζερ και δύο δέσμες που πηγαίνουν προς αντίθετες κατευθύνσεις σε μακρά πηνία (αρκετά χιλιόμετρα) οπτικών ινών, με τη διαφορά φάσης των δύο δεσμών να συγκρίνονται μετά τη διαδρομή τους μέσω των πηνίων των ινών (Napolitano, 2010).

Στην πιο απλή της έκδοση, ένα γυροσκόπιο οπτικών ινών κάνει χρήση των οπτικών ινών μέσω της ανίχνευσης των αλλαγών στο εξερχόμενο από τις ίνες φως. Η ίνα έχει τη δυνατότητα συλλογής του φωτός από ένα δεδομένο σημείο, ώστε να εξακριβωθεί η παρουσία ή η απουσία ενός αντικειμένου. Η συλλογή φωτός από την ίνα είναι δυνατή από μια άλλη κατηγορία οπτικού αισθητήρα, που ανταποκρίνεται στο περιβάλλον κατά τρόπο τέτοιο, ώστε να μεταβάλλεται το φως, το οποίο φτάνει στην ίνα. Επί παραδείγματι, ένα πρίσμα το οποίο βρίσκεται εντός μιας δεξαμενής υγρού είναι δυνατόν να αρχίσει την αντανάκλαση φωτός σε ένα αισθητήρα, σε περίπτωση που η στάθμη του υγρού είναι σε επίπεδο χαμηλότερο από την επιφάνεια του πρίσματος που αντανακλάται, πράγμα που το εκθέτει στον αέρα και έχει ως αποτέλεσμα την ολική εσωτερική ανάκλαση. Άλλες κατηγορίες οπτικών αισθητήρων καθιστούν δυνατή την ανίχνευση των μεταβολών του φωτός που διέρχεται μέσα από μια ίνα και είναι δυνατόν να επηρεαστούν από μεταβολές του εξωτερικού περιβάλλοντος, όπως της θερμοκρασίας ή της πίεσης. Είναι δυνατός και ο σχεδιασμός ειδικών ινών ή κατασκευών οπτικών ινών, οι οποίες να παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανταπόκριση στα εξωτερικά ερεθίσματα. Επίσης, μέσω της χρησιμοποίησης μιας σειράς οπτικών φαινομένων όπως της συμβολής, είναι εφικτή η ανίχνευση μικρών αποτελεσμάτων που μπορούν να συσσωρευθούν σε μεγάλα μήκη ινών. Έτσι, είναι δυνατή η ανίχνευση από τους οπτικούς αισθητήρες μεταβολών σε διάφορες ιδιότητες, συμπεριλαμβανομένων της θερμοκρασίας, της πίεσης και της περιστροφής. Οι ανιχνευτές οπτικών ινών πραγματοποιούν τη συλλογή φωτός από σημεία, τα οποία

είναι απομακρυσμένα, λαμβάνοντας συχνά δείγματα από το φως που οι ίνες οδήγησαν στα σημεία αυτά (Οικονόμου, 2015).

Δυο είναι οι κύριες κατηγορίες αισθητήρων οπτκών ινών. Στην πιο απλουστευμένη τους μορφή οι αισθητήρες οπτκών ινών διαπιστώνουν την παρουσία ή απουσία του φωτός στο σημείο ενδιαφέροντος. Οι λοιπές κατηγορίες πραγματοποιούν τη συλλογή του φωτός μέσα από μια σειρά απομακρυσμένων αισθητήρων, το οποίο και στη συνέχεια επιστρέφουν σε ένα σημείο, ώστε να πραγματοποιηθεί η ανάλυση του (ibid).

Ο βασικός μηχανισμός, το μονοχρωματικό φως λέιζερ που κινείται σε αντίθετες διαδρομές και το αποτέλεσμα Sagnac, είναι το ίδιο στους FOG και τους RLG, αλλά οι λεπτομέρειες της μηχανικής είναι ουσιαστικά διαφορετικές στον FOG σε σύγκριση με τα προηγούμενα γυροσκόπια λέιζερ. Απαιτείται ακριβής περιέλιξη του πηνίου των οπτικών ινών για να εξασφαλιστεί ότι οι διαδρομές που λαμβάνονται από το φως σε αντίθετες κατευθύνσεις είναι όσο το δυνατόν πιο παρεμφερείς. Το γυροσκόπιο FOG απαιτεί πιο πολύπλοκες διαβαθμίσεις από ό,τι ένα γυροσκόπιο RLG καθιστώντας την ανάπτυξη και την κατασκευή των FOG μεγαλύτερη πρόκληση από τεχνικής πλευράς. Ωστόσο, τα γυροσκόπια FOG δεν αντιμετωπίζουν το λεγόμενο πρόβλημα του laser lock σε χαμηλές ταχύτητες και δεν χρειάζεται να περιέχουν οποιαδήποτε κινούμενα μέρη, αυξάνοντας τη μέγιστη πιθανή ακρίβεια, καθώς και τη διάρκεια ζωής ενός FOG σε σχέση με ένα ισοδύναμο RLG (Napolitano, 2010).

4.2 Αντίληψη του περιβάλλοντος

Η αντίληψη του περιβάλλοντος είναι ένα από τα κύρια στάδια λειτουργικότητας ενός αυτο-οδηγούμενου αυτοκινήτου. Για την παροχή των απαραίτητων πληροφοριών για τον έλεγχο των αποφάσεων ενός αυτοκινήτου, το αυτοκίνητο υποχρεούται να αντιλαμβάνεται ανεξάρτητα το περιβάλλον. Οι κύριες μέθοδοι αντίληψης του περιβάλλοντος είναι η πλοήγηση με λέιζερ, η οπτική πλοήγηση και η πλοήγηση με ραντάρ. Κατά τη διάρκεια της αντίληψης του περιβάλλοντος, πολλαπλοί αισθητήρες (δηλαδή ένας αισθητήρας λέιζερ ή ένας αισθητήρας ραντάρ) χρησιμοποιούνται για να αντιληφθούν τις προερχόμενες από το περιβάλλον πληροφορίες, οι οποίες στη συνέχεια συντίθενται. Μεταξύ των αισθητήρων, ο αισθητήρας λέιζερ χρησιμοποιείται για τη γεφύρωση μεταξύ του πραγματικού κόσμου και του κόσμου δεδομένων, ο αισθητήρας ραντάρ χρησιμοποιείται για την

αντίληψη της απόστασης και ο οπτικός αισθητήρας επιτελεί την αναγνώριση των σημάτων κυκλοφορίας (Zhao et al., 2018).

4.2.1 Ραντάρ

Η αντίληψη του ραντάρ χρησιμοποιείται γενικά για την ανίχνευση της απόστασης, η οποία επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό του χρόνου επιστροφής του χιλιοστομετρικού κύματος που μεταδίδεται από τον αισθητήρα ραντάρ (ibid). Το ραντάρ μεταδίδει ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς και αντιλαμβάνεται την ηχώ για την ανίχνευση και την παρακολούθηση των αντικειμένων. Η ηχώ που ανιχνεύεται ποικίλει σε συχνότητα ανάλογα με την ταχύτητα του αντικειμένου. Το ραντάρ μπορεί να μετρήσει τη σχετική απόσταση, την ταχύτητα και τον προσανατολισμό του αντικειμένου. Είναι συνήθως διαθέσιμα για αποστάσεις μικρής, μέσης και μεγάλης εμβέλειας και κυμαίνονται από συχνότητες 3 MHz (πολύ μεγάλης εμβέλειας) έως 100+ GHz (μικρής εμβέλειας). Το καθένα έχει διαφορετικές εφαρμογές, με τα ραντάρ μεγάλης εμβέλειας (εμβέλεια άνω των 100 μ.) να χρησιμοποιούνται συνήθως για την αποφυγή πρόσκρουσης, ενώ τα ραντάρ μικρής και μεσαίας εμβέλειας χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση τυφλών σημείων, συστήματα υποβοήθησης στάθμευσης, προειδοποιήσεις εξόδου από τη λωρίδα κυκλοφορίας ή συστήματα έκτακτης ανάγκης τύπου stop-and-go (WCP, 2016). Το ραντάρ απαιτεί λιγότερους υπολογιστικούς πόρους σε σύγκριση με τα συστήματα όρασης ή το LiDAR. Μια τυπική εφαρμογή του LiDAR περιλαμβάνει τη διατήρηση των λωρίδων κυκλοφορίας, τον έλεγχο ταχύτητας, την ανίχνευση αντικειμένων κλπ. (Babak et al., 2017).

Η εταιρεία Bosch είναι ο αδιαμφισβήτητος ηγέτης σε αυτόν τον τομέα με τη συνεργασία της με την Infineon. Άλλοι σημαντικοί παίκτες είναι οι εταιρείες Continental, Autoliv, Delphi, Elesys, Hella, Fujistu Ten, Mitsubushi Electric, ZF-TRW, Smart Micro, Denso, Valeo, Hitachi Automotive και Clarion (WCP, 2016).

4.2.2 Λέιζερ

Αυστηρά μιλώντας, το σύστημα αντίληψης λέιζερ είναι ένα είδος συστήματος ραντάρ. Στην αντίληψη που βασίζεται σε λέιζερ, εκπέμπεται ένας συνεχής παλμός λέιζερ ή λέιζερ στο στόχο και ένα ανακλώμενο σήμα λαμβάνεται στον πομπό. Με τη μέτρηση του χρόνου αντανάκλασης, της έντασης του σήματος αντανάκλασης και της

μετατόπισης της συχνότητας λειτουργίας, μπορούν να δημιουργηθούν τα δεδομένα σύννεφου του σημείου στόχου, κατόπιν μπορούν υπολογιστούν άλλες πληροφορίες για τα αντικείμενα, όπως η θέση (απόσταση και γωνία), το σχήμα (μέγεθος) και η κατάσταση και στάση) τους (Zhao et al., 2018).

Ο αισθητήρας λέιζερ είναι ο αισθητήρας που διαδραματίζει τον σημαντικότερο ρόλο στην αντίληψη του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τη διάσταση των αισθητηριακών πληροφοριών, ο αισθητήρας λέιζερ μπορεί να ταξινομηθεί σε ραντάρ λέιζερ μονής γραμμής, ραντάρ λέιζερ πολλαπλών γραμμών και τρισδιάστατο ασύρματο ραντάρ με λέιζερ. Αυτά τα λέιζερ συνήθως εργάζονται σε περίπλοκο υπαίθριο περιβάλλον. Τα διαφορετικά είδη ραντάρ λέιζερ έχουν και διαφορετικά μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, η ψευδής ανίχνευση συμβαίνει συνήθως σε ένα ραντάρ λέιζερ μιας γραμμής λόγω των λιγότερων πληροφοριών που ανιχνεύονται. Λόγω της ασύμμετρης πληροφόρησης στα ραντάρ λέιζερ πολλαπλών γραμμών, η ακρίβεια των παραγόμενων αποτελεσμάτων είναι περιορισμένη και ανεπαρκής και το εύρος της όρασης είναι μικρότερο λόγω της μικρότερης περιοχής διατομής μεταξύ των γραμμών των διαφορετικών τμημάτων. Λόγω της μεγάλης ποσότητας δεδομένων που παράγονται σε ένα τρισδιάστατο ασύρματο ραντάρ με λέιζερ, είναι δύσκολο για τον αλγόριθμο να παράγει τα αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο. Ως εκ τούτου, στο σύνθετο υπαίθριο περιβάλλον, ειδικά η κίνηση των αυτοκινήτων και του ανθρώπου, είναι δύσκολο να παραμετροποιηθούν σε διαφορετικά είδη αισθητήρων, ώστε να εντοπίζεται επιτυχώς η θέση ενός κινούμενου εμποδίου και να βελτιωθεί η απόδοση τους σε όρους ακρίβειας και πραγματικού χρόνου (ibid).

Για να επιταχυνθεί η διαδικασία ευρείας κυκλοφορίας των αυτο-οδηγούμενων αυτοκινήτων στην αγορά, πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλά άλλα ζητήματα, όπως η ακρίβεια, το κόστος. Δεδομένου ότι ο αισθητήρας λέιζερ είναι ο κύριος αισθητήρας ενός αυτο-οδηγούμενου αυτοκινήτου για την αντίληψη του περιβάλλοντος, η ακρίβεια και η αξιοπιστία του ραντάρ λέιζερ είναι σημαντική και αντιπροσωπεύει το βαθμό ωριμότητας ενός αυτο-οδηγούμενου αυτοκινήτου. Επιπλέον, το κόστος είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας στην ανάπτυξη των αισθητήρων λέιζερ. Για παράδειγμα, το 3D υπεριώδες ραντάρ λέιζερ HDL-64E που παράγεται από την εταιρεία Velodyne που είναι εγκατεστημένο στο αυτο-οδηγούμενο αυτοκίνητο της Google μπορεί να επιτύχει υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία, ωστόσο, κοστίζει μέχρι και $80,000. Ως εκ τούτου, η μείωση του κόστους ενός αισθητήρα λέιζερ σε ένα αυτο-οδηγούμενο αυτοκίνητο είναι ένα σημαντικό ζήτημα (ibid).

4.2.3 LiDAR

Το LiDAR ήρθε στο προσκήνιο μετά την ανάπτυξη του αυτο-οδηγούμενου αυτοκινήτου της Google. Επίσης, αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιήθηκε από τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα της δοκιμασίας DARPA. Εκτός από την αυτόνομη οδήγηση, το LiDAR χρησιμοποιείται για τη δημιουργία 3D χαρτών υψηλής ανάλυσης από εταιρείες χαρτογράφησης όπως το HERE που εξαγόρασε η Audi, η BMW και η Daimler από τη Nokia το Δεκέμβριο του 2015. Αυτοί οι χάρτες είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την αυτόνομη οδήγηση (WCP, 2016).

Το LiDAR μεταδίδει μια δέσμη παλμού φωτός από ένα περιστρεφόμενο κάτοπτρο, ενώ μέρος αυτού του φωτός αντανακλάται πίσω στον αισθητήρα για την ανίχνευση οποιουδήποτε μη απορροφητικού αντικειμένου ή επιφάνειας. Η απόσταση του στόχου υπολογίζεται ως ταχύτητα φωτός κατά τη διάρκεια της μετρούμενης χρονικής περιόδου σε πολλαπλές γωνίες. Το LiDAR σαρώνει το οπτικό πεδίο σε τρεις διαστάσεις (3D) με μια πεπερασμένη χωρική ανάλυση και συχνότητα. Χρησιμοποιώντας την υπολογισμένη απόσταση, ο αισθητήρας κατασκευάζει έναν 3D χάρτη του κόσμου, συμπεριλαμβανομένων των αντικειμένων γύρω του. Το LiDAR χρησιμοποιεί υπέρυθρα (IR), ορατά ή υπεριώδη (UV) κύματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος για διαφορετικές εφαρμογές και διατίθεται σε διάφορες εκδοχές 1D, 2D και 3D. Είναι οι δεύτεροι πιο αξιόλογοι αισθητήρες, μετά από τα συστήματα όρασης, για την ανίχνευση αντικειμένων όπως οχημάτων, πεζών και εμποδίων σε μια τυπική εφαρμογή αυτο-οδηγούμενων αυτοκινήτων (Babak et al., 2017).



Εικόνα15. Το LiDAR Velodyne HDL-64E (WCP, 2016).

Ωστόσο, εξακολουθεί να μην υπάρχει συναίνεση ότι το LiDAR είναι απαραίτητο για τα αυτο-οδηγούμενα αυτοκίνητα. Επί παραδείγματι, η εταιρεία Mobileye ισχυρίζεται ότι μπορεί να λειτουργεί μόνο μέσω συστημάτων κάμερας. Το αυτόνομο πρωτότυπο αυτοκίνητο της Mercedes-Benz F015 δεν χρησιμοποιεί καθόλου το LiDAR. Αντί αυτού, βασίζεται σε ραντάρ, κάμερα, υπερήχους και άλλους αισθητήρες. Η Tesla χρησιμοποιούσε συστήματα με αυτόματο έλεγχο για το Autopilot της με τεχνολογία Mobileye μέχρι τον Ιούλιο του 2016. Υπάρχουν και άλλα οχήματα, ωστόσο, όπως το μοντέλο i3 ηλεκτρικού αυτοκινήτου της BMW, το οποίο χρησιμοποιεί μόνο LiDAR για την αυτόνομη οδήγηση. Το LiDAR έχει κάποια φυσικά πλεονεκτήματα στην περίπτωση της αυτόνομης οδήγησης. Λειτουργεί καλά σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες, έχει μεγαλύτερη εμβέλεια -από 10cm έως 100m- και καταγράφει 30 φορές ταχύτερα από μια συμβατική βιντεοκάμερα. Παρέχει επίσης μια πολύ συμπαγή εικόνα σημείων, όπως φαίνεται στην Εικ. 16, η οποία είναι επαρκής για να διακρίνει κανείς διαφορετικά αντικείμενα (WCP, 2016).



Εικόνα16. 3D εικόνα από Velodyne HDL-64E (WCP, 2016).

Η απόδοση τους είναι χαμηλή σε βροχή, χιόνι, σκόνη και ομίχλη. Ένας αισθητήρας LiDAR υψηλού επιπέδου μπορεί να μετρήσει πολλαπλές αποστάσεις ανά παλμό λέιζερ, ο οποίος είναι χρήσιμος για να δει μέσα από σκόνη, βροχή και ως επί το πλείστον διαφανείς επιφάνειες, όπως παράθυρα από γυαλί και πορώδη αντικείμενα όπως συρματόσχοινα. Για να μειωθεί ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο, είναι επιθυμητή μια γενιά λέιζερ υψηλότερης ισχύος, αλλά για να αποφευχθεί η βλάβη στο ανθρώπινο μάτι, χρησιμοποιείται λέιζερ ισχύος 905nm για την επίτευξη της επιθυμητής εμβέλειας με χαμηλό κύκλο λειτουργίας. Το τρέχον κόστος του αισθητήρα LiDAR είναι σχετικά υψηλό και υπάρχουν ορισμένα προβλήματα με τη μακροπρόθεσμη αξιοπιστία των μηχανισμών σάρωσης. Έχουν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό σε ερευνητικές εφαρμογές, αλλά μέχρι πρόσφατα δεν είχαν

χρησιμοποιηθεί ευρέως στα συστήματα ασφαλείας των αυτοκινήτων (Babak et al., 2017).

Στον τομέα του LiDAR, οι μεγάλοι κατασκευαστές είναι η Velodyne LiDAR, Inc., η Ibeo Automotive Systems GmbH, η Quanergy Systems, Inc. κ.λπ. Η Velodyne δεν παράγει προϊόντα αλγορίθμων, αλλά διαθέτει τα ανεπεξέργαστα δεδομένα των ραντάρ με ακτίνες λέιζερ στις αυτοκινητοβιομηχανίες. Έχει τρεις γραμμές παραγωγής LiDAR: την HDL-64E, την HDL-32E και τη VLP-16. Σε αντίθεση με την Velodyne, τα προϊόντα της Ibeo προσφέρουν μια ολοκληρωμένη λύση που περιλαμβάνει τόσο εξοπλισμό, όσο και λογισμικό. Για το υφιστάμενο αυτο-οδηγούμενο αυτοκίνητο της lbeo, τα δύο κοινά προϊόντα που χρησιμοποιούνται είναι τα mini LUX και LUX. Η Quanergy είναι μια νέα εταιρεία επιχειρηματικών συμμετοχών στον τομέα του LiDAR και το 2016 παρουσίασε το νέο της προϊόν S3 (Zhao et al., 2018).

4.2.4 Υπερηχητικοί αισθητήρες

Οι αισθητήρες υπερήχων είναι αισθητήρες μικρής εμβέλειας οι οποίοι στέλνουν υπερηχητικό κύμα παλμών και ανιχνεύουν ηχώ που επιστρέφονται από τα εμπόδια χρησιμοποιώντας ένα ζεύγος πομπού-δέκτη. Αυτοί χρησιμοποιούνται κυρίως σε μονάδες εξελιγμένων συστημάτων υποβοήθησης της οδήγησης σχετικά χαμηλής ταχύτητας όπως στην ανίχνευση χώρου στάθμευσης και τη βοήθεια και ανίχνευση εμποδίων κατά τη διάρκεια συνθηκών κυκλοφορικής συμφόρησης. Ανιχνεύουν αξιόπιστα υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες, όπως βροχή, χιόνι και ανέμους. Ωστόσο, έχουν περιορισμένη εμβέλεια, γεγονός που αποθαρρύνει τη χρήση τους ως αισθητήρες αυτο-οδηγούμενων οχημάτων (Babak et al., 2017).

4.2.5 Συστήματα όρασης

Τα συστήματα που βασίζονται στην κάμερα είναι τα πιο έξυπνα για την αντίληψη του περιβάλλοντος, καθώς είναι παρόμοια με την ανθρώπινη όραση. Δεδομένου ότι το τρέχον περιβάλλον οδήγησης έχει σχεδιαστεί για ανθρώπινη όραση χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η αυτοματοποίηση, πιστεύεται ότι τα συστήματα με βάση την κάμερα θα αποτελούν πάντα σημαντικό μέρος των εξελιγμένων συστημάτων υποβοήθησης της οδήγησης ή της αυτόνομης οδήγησης. Τα συστήματα κάμερας με αισθητήρες εικόνας ανακτούν δεδομένα υψηλότερης ανάλυσης και δη με

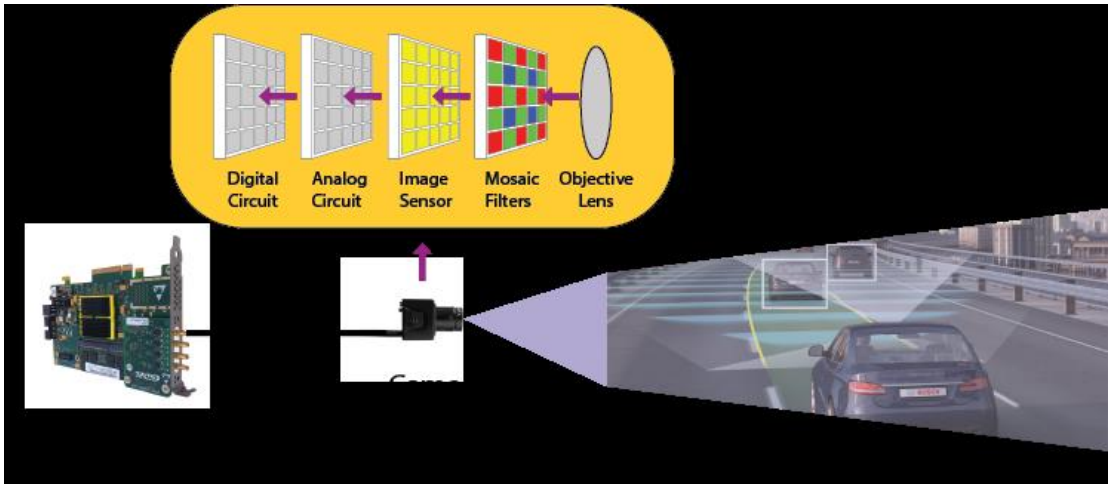
μικρές λεπτομέρειες και χωρικές πληροφορίες σε αντίθεση με τα συστήματα LiDAR ή ραντάρ. Πρόκειται για μια πολύ εξελιγμένη τεχνολογία και είναι σχετικά φθηνή σε σύγκριση με τα συστήματα LiDAR ή ραντάρ. Τα δεδομένα από κάμερες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξελιγμένη ανάλυση της ορατότητας από ένα υπολογιστή για τον εντοπισμό αντικειμένων εντός ενός οπτικού πεδίου. Τα δεδομένα από το LiDAR ή το ραντάρ δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αυτόν τον τρόπο (WCP, 2016).

Οι κύριες εφαρμογές για συστήματα με βάση την κάμερα είναι:

- **Προειδοποίηση σύγκρουσης με το προπορευόμενο όχημα:** Παρέχει προειδοποίηση με βάση την απόσταση από το προπορευόμενο όχημα ή οποιοδήποτε άλλο εμπόδιο. Τα προηγμένα συστήματα ελέγχουν επίσης την ταχύτητα και αποφεύγουν την πρόσκρουση.
- **Ανίχνευση πεζών:** Παρέχεται η δυνατότητα ανίχνευσης των πεζών, καθώς και της παροχής μιας προειδοποίησης για την πιθανή παρουσία τους.
- **Ανίχνευση σημάτων κυκλοφορίας**: Περιλαμβάνονται τα φώτα πορείας καθώς και οι πινακίδες κυκλοφορίας στο δρόμο που δίνουν προειδοποιήσεις σχετικά με τα όρια ταχύτητας, τις συνθήκες για να στάση ή εκκίνηση κλπ. Στην αυτόνομη οδήγηση, θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως τρόπος ελέγχου για την ενδεδειγμένη ή μη οδήγηση.
- **Προειδοποίηση εξόδου από τη λωρίδα:** Το σύστημα μπορεί να εντοπίσει τις λωρίδες στους δρόμους και να προειδοποιήσει εάν το όχημα κινείται εκτός λωρίδας.
- **Παρακολούθηση πορείας:** Παρακολουθεί το προπορευόμενο όχημα και παρέχει ακριβή δεδομένα για την απόσταση με προειδοποιήσεις εάν υπάρχει κίνδυνος σύγκρουσης με βάση τις σχετικές ταχύτητες του οχήματος και του προπορευόμενου οχήματος.
- **Έξυπνος έλεγχος των προβολέων:** Η δέσμη των προβολέων ρυθμίζεται ανάλογα με τη στροφή και χαμηλώνει σε περίπτωση που πλησιάζουν οχήματα από την αντίθετη κατεύθυνση (ibid).

Το σύστημα όρασης αποτελείται από μια κάμερα και μια μονάδα επεξεργασίας εικόνας (Εικ. 17). Μια τυπική κάμερα είναι ένας συνδυασμός φακού εστίασης και μιας συστοιχίας φωτοανιχνευτών για κάθε pixel στο οπτικό πεδίο. Η συστοιχία των φωτοανιχνευτών στέλνει πληροφορίες σε pixel στη μονάδα επεξεργασίας εικόνας. Αυτή η μονάδα επεξεργάζεται τις πληροφορίες βάσει συγκεκριμένων αλγορίθμων για

την ανίχνευση επιθυμητών αντικειμένων. Οι αισθητήρες όρασης καταγράφουν περισσότερες οπτικές πληροφορίες, ώστε να παρακολουθούν το περιβάλλον περισσότερο αποτελεσματικά από τους άλλους αισθητήρες. Κατηγοριοποιούνται σε μονοφωνικούς και στερεοφωνικούς τύπους. Συστήματα μονοφωνικής κάμερας χρησιμοποιούνται συχνά για τη σήμανση λωρίδων, την ανίχνευση των άκρων της λωρίδας, την ανίχνευση βασικών αντικειμένων, ανίχνευση οδικών σημάτων και εντοπισμό. Πολλαπλά ή στερεοφωνικά συστήματα κάμερας παρέχουν βάθος ανίχνευσης αντικειμένων. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι ότι είναι χαμηλού κόστους. Το κύριο μειονέκτημα τους είναι η δυσκολία χειρισμού ενός ευρέος φάσματος περιβαλλοντικών και ανεξέλεγκτων συνθηκών όπως ο φωτισμός, η σκίαση, η ανάκλαση, ο καιρός, η σκόνη και ο καπνός. Επίσης, η επεξεργασία δεδομένων από αυτούς τους αισθητήρες σε πραγματικό χρόνο απαιτεί μεγάλο αριθμό υπολογιστικών πόρων. Ακόμη και με αυτούς τους περιορισμούς χρησιμοποιούνται ευρέως σε αυτόνομα οχήματα (Babak et al., 2017).



Εικόνα17. Αρχές ενός συστήματος όρασης

4.3 Έλεγχος οχήματος

Ο έλεγχος του οχήματος περιλαμβάνει κυρίως τον έλεγχο της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του οχήματος. Γενικά, οι λειτουργίες του ελέγχου των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων είναι η αντίληψη της κατάστασης του οχήματος και η μέθοδος ελέγχου του οχήματος. Προκειμένου να επιτευχθεί ο υπολογισμός της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του οχήματος, πληροφορίες συμπεριλαμβανομένης της αντίληψης του περιβάλλοντος, της κατάστασης του οχήματος, του στόχου οδήγησης, των κανόνων οδικής κυκλοφορίας και τις γνώσεις οδήγησης, τροφοδοτούνται ως εισροή στη μονάδα αντίληψης και στη συνέχεια ο αλγόριθμος

ελέγχου οχήματος εκτελεί τον υπολογισμό του στόχου ελέγχου, ο οποίος στη συνέχεια μεταφέρεται στο σύστημα ελέγχου του οχήματος. Τέλος, το σύστημα ελέγχου του οχήματος εκτελεί αυτές τις οδηγίες για τον έλεγχο της κατεύθυνσης, της ταχύτητας, των προβολέων, του κλάξον και ούτω καθεξής.

Η πλατφόρμα ελέγχου είναι η βασική συνιστώσα του αυτο-οδηγούμενου αυτοκινήτου και ελέγχει τα διάφορα συστήματα του οχήματος, τα οποία μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν το σύστημα αντιεμπλοκής κατά την πέδηση (anti-lock braking), το σύστημα αντι-ολίσθησης, το βοηθητικό σύστημα πέδησης το σύστημα αποφυγής συγκρούσεων, τα ραντάρ, το ηλεκτρονικά ελεγχόμενο αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων, το σύστημα ελέγχου πορείας και το ηλεκτρικό σύστημα υδραυλικού τιμονιού. Η πλατφόρμα ελέγχου περιλαμβάνει κυρίως δύο μέρη, ήτοι την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (electronic control unit- ECU) και το δίαυλο επικοινωνίας. Η ECU εφαρμόζει κυρίως τον αλγόριθμο ελέγχου, ενώ ο δίαυλος επικοινωνίας πραγματοποιεί τη λειτουργία επικοινωνίας μεταξύ της ECU και των μηχανικών εξαρτημάτων του αυτοκινήτου (Zhao et al. 2018).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η έρευνα για την ανάπτυξη και παραγωγή οχημάτων, τα οποία δεν θα χρειάζονται την ανθρώπινη παρέμβαση για να κινηθούν εντοπίζεται ήδη στις απαρχές του 20ου αιώνα. Σήμερα, η έλευση μιας σειράς τεχνολογικών ανακαλύψεων που μπορούν να διαδραματίσουν καίριο ρόλο σε αυτό τον ερευνητικό τομέα, από κοινού με την ανάπτυξη αυτο-οδηγούμενων οχημάτων και τις εκτεταμένες δοκιμές σε συμβατικούς δρόμους που έχουν αναλάβει εταιρείες κολοσσοί παγκοσμίως, δίνουν την αίσθηση ότι σύντομα τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα θα αποτελούν μια απτή πραγματικότητα.

Τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα βασίζονται σε μια σειρά τεχνολογικών ανακαλύψεων στον τομέα των αισθητήρων, οι οποίοι είναι ιδιαίτερα σημαντικοί για την αντίληψη του οχήματος για το περιβάλλον του. Οι τεχνολογίες στις οποίες βασίζονται τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων το GPS, το Lidar, το λέιζερ, το ραντάρ, τα γυροσκόπια, τις κάμερες, καθώς και λογισμικό που ελέγχει το αυτοκίνητο. Πρωτοπόρες στον τομέα του αυτο-οδηγούμενου αυτοκινήτου είναι τεχνολογικές εταιρείες διεθνούς εμβέλειας όπως η Google και Tesla, καθώς και εξέχουσες αυτοκινητοβιομηχανίες όπως οι BMW, GP, Nissan, Toyota και Volvo, οι οποίες επιδιώκουν να κατακτήσουν ένα κομμάτι της αναδυόμενης αυτής αγοράς.

Τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα αναμένονται ότι θα επιφέρουν μια σειρά από σημαντικά πλεονεκτήματα όπως τη μείωση των ατυχημάτων και της κυκλοφοριακής συμφόρησης, τη μεγαλύτερη άνεση και ασφάλεια, την προστασία του περιβάλλοντος, ενώ μεγάλη σημασία αποδίδεται στο γεγονός ότι θα δώσουν την ευκαιρία σε άτομα με μειωμένη κινητικότητα να κινηθούν αυτόνομα. Από την άλλη πλευρά, έχουν εκφραστεί και μια σειρά προβληματισμών που αφορά στην κυκλοφορία των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων όπως η αδυναμία προστασίας της ιδιωτικής ζωής, η ασφάλεια, η απώλεια θέσεων εργασίας, τα αυξημένα κόστη μετακίνησης, η ασφάλεια του λογισμικού τους, καθώς και η πιθανή χρήση τους για παράνομους σκοπούς. Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα νομικής φύσεως είναι και εκείνο της ευθύνης, που αφορά στο ποιος θα αναλάβει τις ευθύνες που προκύπτουν από πιθανά ατυχήματα. Παράλληλα, εγείρονται νομικά ζητήματα για την προστασία των προσωπικών δεδομένων και την κυβερνοασφάλεια. Τα ζητήματα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα την απαγόρευση της κυκλοφορίας των αυτο-οδηγούμενων οχημάτων σε πολλές χώρες.

Από την παραπάνω ανάλυση συμπεραίνεται ότι παρά τον όποιο σκεπτικισμό, τα αυτο-οδηγούμενα οχήματα αποτελούν μια αναδυόμενη τεχνολογία, η δυναμική της οποία δεν μπορεί να ανακοπεί. Αναμφίβολα, ως νέα τεχνολογία θα επιφέρει και κάποια προβλήματα και στρεβλώσεις, αλλά εναπόκειται στα εκάστοτε κράτη και κυβερνήσεις η ορθολογική ρύθμιση της παραγωγής και κυκλοφορίας τους, πάντα με γνώμονα την ασφάλεια του πολίτη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Adeel L., Douma, F. & Onyiah, I. (2015). Self-Driving Vehicles and Policy Implications: Current Status of Autonomous Vehicle Development and Minnesota Policy Implications. *J.L. Sci. &Tech;* 16(2):735-769.

Allen & Overy. (2017). *Autonomous and connected vehicles: navigating the legal issues.*

Διαθέσιμο στο:

http://www.allenovery.com/SiteCollectionDocuments/Autonomous-and-connected-vehicles.pdf [Ανάκτηση την 05.01.2019].

Babak, S.J., Hussain, S.A., Karakas, B. & Cetin, S. (2017). Control of autonomous ground vehicles: a brief technical review. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **224** 012029.

Διαθέσιμο στο:

https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/224/1/012029/pdf [Ανάκτηση την 26.02.2019].

Behringer, R., &Muller, N. (1998) Autonomous road vehicle guidance from autobahnen to narrow curves. *Robotics and Automation, IEEE Transactions* on 14(5): 810-815.

Bell, K. (2017). *Toyota's concept-I decides when to drive autonomously.*

Διαθέσιμο στο:

https://www.motorauthority.com/news/1108153_toyotas-concept-i-decides-when-to-drive-autonomously [Ανάκτηση την 19.01.2019].

Bimbraw, K. (2015). Autonomous Cars: Past, Present and Future - A Review of the Developments in the Last Century, the Present Scenario and the Expected Future of Autonomous Vehicle Technology. *In Proceedings of the 12th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO-2015), pp. 191-198.*

Διαθέσιμο στο:

https://www.researchgate.net/publication/283757446_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?enrichId=rgreq-ad10da1844683679df11c09f8166fbf5-

XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI4Mzc1NzQ0NjtBUzozOTY2MDY4Mjc0NTAzNjhAMTQ3MTU2OTg0NDgyNw%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf [Ανάκτηση την 19.12.2018].

Bin Sulaiman, R. (2018). Artificial Intelligence Based Autonomous Car. *SSRN Electronic Journal*.

Διαθέσιμο στο:

https://www.researchgate.net/publication/325183067_Artificial_Intelligence_Based_Autonomous_Car [Ανάκτηση την 17.12.2018].

Bloom, C., Tan, J., Ramjohn, J. & Bauer, L. (2017). Self-Driving Cars and Data Collection: Privacy Perceptions of Networked Autonomous Vehicles.*In the Proceedings of the Thirteenth Symposium on Usable Privacy and Security (SOUPS 2017).* July 12–14, 2017, Santa Clara, CA, USA.

Διαθέσιμο στο:

https://www.ftc.gov/system/files/documents/public_comments/2017/11/00046-141905.pdf [Ανάκτηση την 28.12.2018].

Bmw.com (2019). The Road to Autonomous Driving.

Διαθέσιμο στο:

https://www.bmw.com/en/innovation/the-development-of-self-driving-cars.html [Ανάκτηση την 15.02.2019].

Boylan, C. (2016). A Brief History of Tesla Cars In One Simple Infographic. Διαθέσιμο στο:

https://cleantechnica.com/2016/05/27/brief-history-tesla-cars-one-simple-infographic/ [Ανάκτηση την 28.02.2019].

Brooks, R. & Pagani, P. (2014). *What becomes a car?* BIT 2014 Conference Workshop, 27-28 March, 2014. The University of Auckland.

Διαθέσιμο στο:

http://docs.business.auckland.ac.nz/Doc/RichardBrookes.pdf[Ανάκτηση την 19.12.2018]

Cage, D. (1995). UGV HISTORY 101: A Brief History of Unmanned Ground Vehicle (UGV) Development Efforts. *Unmanned Systems Magazine,Special Issue on Unmanned Ground Vehicles;* 13(3):1-10.

Coates, C. (2017). *UK bill to set a precedent for autonomous car legislation.*

Διαθέσιμο στο:

https://www.dwf.law/news-events/legal-updates/2017/03/uk-bill-to-set-a-precedent-for-autonomous-car-legislation/ [Ανάκτηση την 22.12.2018].

Colonna, K. (2012). Autonomous cars and Tortliability. *Journal of Law, Technology & The Internet*; 4(4):81-130.

Coppola, R. & Morisio, M. (2016).Connected Car: technologies, issues, future trends. *ACM Computing Surveys;* 49(3):1-36.

Czubenko, M., Kowalczuk, Z. &Ordys, A. (2015). Autonomous Driver Based on an Intelligent System of Decision-Making. *Cogn Comput*; 7:569–581. DOI 10.1007/s12559-015-9320-5.

Davies, A. (2018a) *The Wired Guide to Self-Driving Cars.*

Διαθέσιμο στο:

https://www.wired.com/story/guide-self-driving-cars/ [Ανάκτηση την 22.01.2019].

Davies, A. (2018b) *GM Will Launch Robo cars without Steering Wheels Next Year.*

Διαθέσιμο στο:

https://www.wired.com/story/gm-cruise-self-driving-car-launch-2019/ [Ανάκτηση την 24.01.2019].

Davies, A. (2018c). *Waymo's So-Called Robo-Taxi Launch Reveals a Brutal Truth.*

Διαθέσιμο στο:

https://www.wired.com/story/waymo-self-driving-taxi-service-launch-chandler-arizona/?mbid=GuidesLearnMore [Ανάκτηση την 22.01.2019].

Daziano, R.A., Sarias, M. &Leard, M. (2017). Are Consumers Willing to Pay to Let Cars Drive for Them? Analyzing Response to Autonomous Vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*; 78: 150-164

De Bruyne, J.& Vanleenhove, C. (2018). The Rise of Self-Driving Cars: Is the Private International Law Framework for non-contractual obligations posing a bump in the road? *IALS Student Law Review*; 5(1):14-26.

DeMuro, D. (2018). 7 Best Semi-autonomous Systems Available Right Now. Διαθέσιμο στο:

https://www.autotrader.com/best-cars/7-best-semi-autonomous-systems-available-right-now-271865 [Ανάκτηση την 22.02.2019].

Deshpande, P. (2014). Road Safety and Accident Prevention in India: A review. *Int J Adv Eng Tech*; 64(2):68.

Dikmen, M.& Burns, C. (2017). *Trust in Autonomous Vehicles: The Case of Tesla Autopilot and Summon.*

Διαθέσιμο στο:

https://www.researchgate.net/publication/320290837_Trust_in_Autonomous_Vehicles_The_Case_of_Tesla_Autopilot_and_Summon [Ανάκτηση την 30.01.2019].

Eberle, U. & von Helmolt, R. (2010). Sustainable transportation based on electric vehicle concepts: a brief overview. *Energy & Environmental Science* 3(6): 689-699.

engineering.com (2016). *The Road to Driverless Cars: 1925 – 2025*.

Διαθέσιμο στο:

https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/12665/The-Road-to-Driverless-Cars-1925--2025.aspx [Ανάκτηση την 02.12.2018].

EPoSS (2015). *European Roadmap Smart Systems for Automated Driving.*

Διαθέσιμο στο:

http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=64A70FA49BA2F4DFC1C71101E490675D?doi=10.1.1.695.5383&rep=rep1&type=pdf

[Ανάκτηση την 06.12.2018].

Franke, U., Pfeiffer, D., Rabe, C., Knoeppel, C., Enzweiler, M., Stein, F. & Herrtwich, R.G. (2013). Making Bertha See. *InComputer Vision Workshops (ICCVW), 2013 IEEE International Conference* pp. 214-221.

Ghoshal, A. (2016). *BMW will launch its first self-driving car in 2021*.

Διαθέσιμο στο:

https://thenextweb.com/plugged/2016/05/13/bmw-will-launch-first-self-driving-car-2021/ [Ανάκτηση την 22.02.2019].

Glancy, D.J. (2012). Privacy in autonomous vehicles. *Santa Clara Law Review*; 52(4):1171–1239.

Guizzo, E. *Toyota's Semi-Autonomous Car Will Keep You Safe.*

Διαθέσιμο στο:

https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/artificial-intelligence/toyota-semi-autonomous-lexus-car-will-keep-you-safe [Ανάκτηση την 29.12.2018].

Huddleston Jr., T. (2018). *Move over Tesla, this self-driving car will let you sleep or watch a movie during your highway commute.*

Διαθέσιμο στο:

https://www.cnbc.com/2018/06/26/volvo-self-driving-car-sleep-watch-movie-on-commute-by-2021.html [Ανάκτηση την 25.02.2019].

Ilková, V. & Ilka, A. (2017). Legal Aspects of Autonomous Vehicles – an Overview. *Proceedings of the 2017 21st International Conference on Process Control (PC*), Štrbské Pleso, Slovakia, June 6 – 9, pp. 428-433.

Japan Bullet. (2017). *New guidelines to allow driverless vehicle tests on public roads.*

Διαθέσιμο στο:

http://www.japanbullet.com/news/new-guidelines-to-allowdriverless-vehicle-tests-on-publicroads [Ανάκτηση την 16.01.2019].

JDSUPRA. (2017). *Germany permits automated vehicles.*

Διαθέσιμο στο:

http://www.jdsupra.com/legalnews/germany-permits-automated-vehicles-15610/ [Ανάκτηση την 08.01.2019].

Johns, K. (χ.χ). *Basic Principles of Inertial.* Navigation Seminar on inertial navigation systems. Tampere University of Technology.

Διαθέσιμο στο:

http://atlas.physics.arizona.edu/~kjohns/downloads/inertial/InertialNavigationSystems.pdf [Ανάκτηση την 05.01.2019].

Jordan, C.A.& Cetin, M. (2015). Signal Preemption Strategy for Emergency Vehicles Using Vehicle to Infrastructure Communication. In *Transportation Research Board 94th Annual Meeting* (No. 15-5723).

Kotseruba, I., Rasouli, A. & Tsotsos, K. (2017). Joint Attention in Autonomous Driving (JAAD)

KPMG. (2018). *Autonomous vehicles readiness index. KPMGInternational.*

Διαθέσιμο στο:

https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2018/01/avri.pdf [Ανάκτηση την 21.01.2019].

Kritayakirana, K. & Gerdes, J.C. (2012). Autonomous vehicle control at the limits of handling. *International Journal of Vehicle Autonomous Systems;* 10(4): 271-296.

Kwang, K. (2017). *Changes to singapore's cybercrime law passed. ChannelNewsAsia*. Διαθέσιμο στο:

http://www.channelnewsasia.com/news/singapore/changes-to-singapore-s-cybercrime-lawpassed-8712368 [Ανάκτηση την 02.01.2019].

Lee, C. (2017). Grabbing the wheel early: Moving forward on cybersecurity and privacy protections for driverless cars. *Federal Communications Law*: 69, 25–52.

Litman, T. (2018). *Autonomous Vehicle Implementation Predictions Implications for Transport Planning*. Victoria Transport Policy Institute.

Matsson, F. (2018). *Sensor fusion for positioning of an autonomous vehicle.* Thesis. Kth Royal Institute of TechnologySchool of Engineering Sciences. Stockholm, Sweden. Διαθέσιμο στο:

https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1191129/FULLTEXT01.pdf [Ανάκτηση την 12.03.2019].

Mays, K. (2018). *Which Cars Have Self-Driving Features for 2018?* Διαθέσιμο στο:

https://www.cars.com/articles/which-cars-have-self-driving-features-for-2018-1420699785509/. [Ανάκτηση την 22.02.2019].

McAleer, M. (2017). *Audi's self-driving A8: drivers can watch YouTube or check emails at 60km/h.* Διαθέσιμο στο:

https://www.irishtimes.com/life-and-style/motors/audi-s-self-driving-a8-drivers-can-watch-youtube-or-check-emails-at-60km-h-1.3150496 [Ανάκτηση την22.02.2019].

MCGA (2018). *Autonomous Vehicles: Navigating the legal and regulatory issues of a driverless world.* GlobalTecForum. Διαθέσιμο στο:

https://www.mcca.com/wp-content/uploads/2018/04/Autonomous-Vehicles.pdf [Ανάκτηση την 12.01.2019].

Miller, J. (2014). *Self-Driving Car Technology's Benefits, Potential Risks, and Solutions*. Διαθέσιμο στο:

https://www.energycentral.com/c/ec/self-driving-car-technologys-benefits-potential-risks-and-solutions [Ανάκτηση την 12.12.2018].

Molla, S. (2018). *Self-Driving car*. Technical Report. DOI: 10.13140/RG.2.2.36042.82885. Διαθέσιμο στο:

https://www.researchgate.net/publication/329707639_Self-Driving_car?enrichId=rgreq-052803a4db26d160038c7114a9aa8fed-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyOTcwNzYzOTtBUzo3MDQ3NzEwOTA1NTg5NzdAMTU0NTA0MTkzMDI2Mg%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf [Ανάκτηση την 12.12.2018].

Napolitano, F. (2010). *Fiber-Optic Gyroscopes Key Technological Advantages.*iXSea, an iXBlue company. Διαθέσιμο στο:

https://www.ixblue.com/m/publication/fog-key-advantages.pdf [Ανάκτηση την 15.03.2019].

National Highway Traffic Safety Administration (2013). *Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles. Washington, D.C.* Διαθέσιμο στο:

http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/U.S.+Department+of+Transportation+Releases+Policy+on+Automated+Vehicle+Development [Ανάκτηση την 19.12.2018].

Nguyen - Huu, P.N. & Titus, J. (2009). *GRRC Technical Report 2009-01 Reliability and Failure in Unmanned Ground Vehicle (UGV).*GRRCTechnicalReport 2009-01. Διαθέσιμο στο:

http://arc.engin.umich.edu/grrc/techreports/200901_ReliabilityUGV.pdf [Ανάκτηση την 19.12.2018].

NHTSA. (2018). *NHTSA and vehicle cybersecurity.* Washington, DC, USA: National Highway Traffic Safety Administration.

NTC. (2017). *National transport commission submission to the standing committee on industry, innovation, science and resources inquiry into the social issues relating to land-based driverless vehicles in Australia.* Melbourne: NTC.

Osterwood, C. & Noble, F. (2017). *Localization for the Next Generation of Autonomous Vehicles.* CarnegieRobotics. Διαθέσιμο στο:

https://www.swiftnav.com/sites/default/files/whitepapers/localization_white_paper_052617.pdf [Ανάκτηση την 05.03.2019].

Pinjari, A.O., Bertho, A. & Nikhil, M. (2014). *Highway Capacity Impacts of Autonomous Vehicles: An Assessment*.

Διαθέσιμο στο:

http://civil.iisc.ac.in/~abdul/uploads/9/6/7/8/9678119/abdul_pinjari_autonomous_vehicles_whitepaper_recent.pdf [Ανάκτηση την 18.12.2018].

Rahman, A.A., Hamid, U.Z.A. & C. T.A. (2017). Emerging technologies with disruptive effects: a review. *PERINTIS eJournal*; 7(2):111-12

Ramirez, E. (2017). *How South Korea plans to put driverless cars on the road by 2020. Forbes.*

Διαθέσιμο στο:

https://www.forbes.com/sites/elaineramirez/2017/02/07/how-south-korea-plansto-put-driverless-cars-on-the-road-by-2020/ [Ανάκτηση την 16.12.2018].

Rathore, A.S. (2016). State-of-the-Art Self Driving Cars: Comprehensive Review. *International Journal of Conceptions on Computing and Information Technology;*4(1) ISSN: 2345 – 9794.

Schoettle, B. & Sivak, M. (2015). *A preliminary analysis of real-world crashes involving self-driving vehicles.*Report No. UMTRI-2015-34. The University of Michigan.

Schoonmaker, J. (2016). Proactive privacy for a driverless age. *Information & Communications Technology Law*; 25(2):96–128.

Shalev-Shwartz, S., Shammah, S. &Shashua, A. (2017). *On a Formal Model of Safe and Scalable Self-driving Cars*

Διαθέσιμο στο:

https://arxiv.org/pdf/1708.06374.pdf [Ανάκτηση την 22.12.2018].

Shamir, A. (2006). *An overview of Optical Gyroscopes Theory, Practical Aspects, Applications and Future Trends.*

Διαθέσιμο στο:

https://pdfs.semanticscholar.org/3fdb/a8cea7cf6d0cad17b13828970f763e368f43.pdf [Ανάκτηση την 05.03.2019].

Squatriglia, C. (2010). *Audi's Robotic Car Drives Better than You Do.*

Διαθέσιμο στο:

https://stag-komodo.wired.com/2010/03/audi-autonomous-tts-pikes-peak/. [Ανάκτησητην25.01.2019].

Szymkowski, S. (2018). *Toyota reveals e-Palette concept, previews its future mobility services*.

Διαθέσιμο στο:

https://www.motorauthority.com/news/1114652_toyota-reveals-e-palette-concept-previews-its-future-mobility-services. [Ανάκτηση την 15.02.2019].

Taeihagh, A.& Lim, HSM. (2019) Governing autonomous vehicles: emerging responses for safety, liability, privacy, cyber security, and industry risks. *Transport Reviews*; 39:1, 103-128, DOI: 10.1080/01441647.2018.1494640

Tanaka, S. (2015). State-of-the-art MEMS Gyroscopes for Autonomous Cars. *Proceedings in: Twelfth International Conference on Flow Dynamics,* October 27-29, Sendai, Miyagi, Japan. pp. 882-883.

The Japan Times. (2017). *Amended privacy protection law.*

Διαθέσιμο στο:

https://www.japantimes.co.jp/opinion/2017/06/01/editorials/amended-privacy-protection-law/#.WrHxmZ7H-Z [Ανάκτηση την 12.01.2019].

Vanderbilt, T. (2012). *Autonomous cars through the ages.*

Διαθέσιμο στο:

https://www.wired.com/2012/02/autonomous-vehicle-history/ [Ανάκτηση την 05.12.2018].

Vijaynthiran, K. (2018). *Toyota will have level 4 self-driving cars at 2020 Tokyo Olympics.*

Διαθέσιμο στο:

https://www.motorauthority.com/news/1112148_toyota-will-have-level-4-self-driving-cars-at-2020-tokyo-olympics [Ανάκτηση την 05.01.2019].

WCP. (2016).*Beyond The Headlights: ADAS and Autonomous Sensing.*

Διαθέσιμο στο:

http://woodsidecap.com/wp-content/uploads/2016/12/20160927-Auto-Vision-Systems-Report_FINAL.pdf [Ανάκτηση την 25.01.2019].

Weber, M. (2014). *Whereto? A History of Autonomous Vehicles.*

Διαθέσιμο στο:

https://www.computerhistory.org/atchm/where-to-a-history-of-autonomous-vehicles/ [Ανάκτηση την 17.12.2018].

Wenger, J. (2015). Automotive radar-status and perspectives. In *Compound Semiconductor Integrated Circuit Symposium*, 2005. CSIC'05. IEEE.

Whitwam, R. (2014). *How Google's self-driving cars detect and avoid obstacles.* Διαθέσιμο στο:

https://www.extremetech.com/extreme/189486-how-googles-self-driving-cars-detect-and-avoid-obstacles [Ανάκτηση την 16.01.2019].

Zhao, J., Liang, B. &Chen, Q. (2018). The key technology toward the self-driving car. *International Journal of Intelligent Unmanned Systems;* 6(1):2-20.

Διαθέσιμο στο:

https://doi.org/10.1108/IJIUS-08-2017-0008 [Ανάκτηση την 26.02.2019].

Κάρμας, Κ. Μυλωνάς, Π. (2016). Κατασκευή ενεργειακά αυτόνομου υποβρύχιου συστήματος με δυνατότητα αυτόνομης πλοήγησης. Διπλωματική Εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών.

Διαθέσιμο στο:

http://ikee.lib.auth.gr/record/292041/files/kataskeui_autonomou_ypovrixiou_oximatos_me_dunatotites_autonomis_ploigisis_konstantinoskarmas_mylonaspanagiotis.pdf [Ανάκτηση την 15.03.2019].

Οικονόμου, Γ. (2015). *Οπτικοί αισθητήρες-Εφαρμογές στα πλοία*. Πτυχιακή Εργασία. Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας, Σχολή Μηχανικών.

Διαθέσιμο στο:

https://maredu.gunet.gr/modules/document/file.php/MAK178/%CE%A3%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1%20%CE%91%CF%85%CF%84%CF%8C%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%85%20%CE%95%CE%BB%CE%AD%CE%B3%CF%87%CE%BF%CF%85/%CE%9F%CE%A0%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%99%20%CE%91%CE%99%CE%A3%CE%98%CE%97%CE%A4%CE%97%CE%A1%CE%95%CE%A3%20%CE%9A%CE%91%CE%99%20%CE%95%CE%A6%CE%91%CE%A1%CE%9C%CE%9F%CE%93%CE%95%CE%A3%20%CE%A3%CE%A4%CE%91%20%CE%A0%CE%9B%CE%9F%CE%99%CE%91.pdf [Ανάκτηση την 15.03.2019].

Πρωτογέρου, Α. (2017). *Μελέτη και ανάπτυξη τηλεπικοινωνιακής υποδομής, για την ανάκτηση δεδομένων αισθητήρων, αυτο-οδηγούμενων οχημάτων.* Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.

Διαθέσιμο στο:

https://dspace.lib.uom.gr/bitstream/2159/21760/6/ProtogerouKaterinaMsc2017.pdf [Ανάκτηση την 10.01.2019].