

ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΘΥΡΑΣ ΟΝ – BOARD – DIAGNOSTICS  
(OBD) ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΕΡΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Η  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Υποβάλλεται στην

ορισθείσα από την Γενική Συνέλευση Ειδικής Σύγκλησης  
του Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής  
Εξεταστική Επιτροπή

από τον

Αθανάσιο Ρίζο

ως μέρος των Υποχρεώσεων

για τη λήψη

του

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ  
ΜΕ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Φεβρουάριος 2018

Εξεταστική Επιτροπή:

- Γεώργιος Τσιατούχας, Αναπλ. Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
- Χρυσοβαλάντης Καβουσιανός, Αναπλ. Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
- Ευθυμίου Αριστείδης, Επίκ. Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

## **ΑΦΙΕΡΩΣΗ**

---

Στην οικογένειά μου και σε όλους τους φίλους μου για όλη τη στήριξή τους σε όλο αυτό το διάστημα εκπόνησης της διατριβής και του μεταπτυχιακού αυτού.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

---

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πρωτίστως τον επιβλέποντά μου για την ευκαιρία που μου έδωσε και την καθοδήγησή του καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συνεργάτες μου στην Πίζα για την παροχή οχήματος για δοκιμή ανάκτησης δεδομένων σε πραγματικό όχημα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν αλλά και όσους δε το έκαναν, εσκεμμένα ή όχι, γιατί μου έδειξαν ότι η επιτυχία μπορεί να έρθει ακολουθώντας διαφορετικά μονοπάτια από τα αρχικώς επιλεγμένα.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Με την ολοένα αυξανόμενη χρήση των ηλεκτρονικών συστημάτων στο χώρο του αυτοκινήτου πολλαπλασιάζεται συνεχώς και ο όγκος των δεδομένων που αυτά παράγουν, χρησιμοποιούν και μεταδίδουν. Αντίστοιχα αυξάνεται και ο αριθμός των αισθητήρων, των παραμέτρων και των ρυθμίσεων που μπορούν να λάβουν χώρα σε ένα αυτοκίνητο όχι μόνο κατά τη φάση της παραγωγής του αλλά και σε πραγματικό χρόνο από τον οδηγό μέσα από μια πληθώρα επιλογών.

Η θύρα On – board – diagnostics (OBD) χρησιμοποιείται στα αυτοκίνητα για τη μεταγωγή των δεδομένων μεταξύ των διάφορων υποσυστημάτων του αυτοκινήτου και των εξωτερικών συστημάτων αυτού τα οποία μεταβιβάζονται μέσω του πρωτοκόλλου Controller Area Network (CAN bus ή απλώς CAN). Με την ευρεία χρησιμοποίηση των λεγόμενων «ηλεκτρονικών εγκεφάλων» στη δεκαετία του 1990 υιοθετήθηκε η πρώτη γενιά αυτής της θύρας, αν και στα τέλη της δεκαετίας έγινε υποχρεωτική η εφαρμογή της δεύτερης γενιάς. Ακόμα και σήμερα χρησιμοποιείται αυτή η γενιά ενώ με την ευρεία παραγωγή των αυτόνομων αυτοκινήτων που προβλέπεται για την επόμενη δεκαετία ήδη έχει αρχίσει η συζήτηση για την τρίτη γενιά.

Μέχρι πρότινος ήταν μόνο οι μηχανικοί εκείνοι που είχαν την δυνατότητα να διαβάσουν τα δεδομένα της θύρας OBD μέσα από υπολογιστές με εγκατεστημένα σε αυτούς εξειδικευμένα προγράμματα. Με την πάροδο του χρόνου, όμως, κατέστη δυνατό να αναπτυχθούν προγράμματα καθώς και ειδικά καλώδια και μετατροπείς ώστε τα δεδομένα να διαβάζονται από ένα κοινό φορητό υπολογιστή ή ακόμα και από ένα «έξυπνο» κινητό.

Έτσι, μέσα από τις δυνατότητες ανάκτησης, επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων καθίσταται δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για το προφίλ του οδηγού καθώς και την κατάσταση του αυτοκινήτου. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον ίδιο τον οδηγό αλλά και ενδεχομένως από ειδικούς πραγματογνώμονες ή ασφαλιστικές εταιρίες στην ανάλυση κάποιου ατυχήματος ή για

την καλύτερη δημιουργία ασφαλιστικών συμβολαίων προσαρμοσμένα στον εκάστοτε πελάτη.

Με την ίδια ευκολία όμως που μπορούν να ανακτηθούν τα δεδομένα από την θύρα μπορεί και κάποιος χρήστης με εξειδικευμένο λογισμικό να παρέμβει στα δεδομένα της θύρας και είτε να παραμετροποιήσει κατά το δοκούν τα περιεχόμενα αυτής ή ακόμα και να επέμβει στον έλεγχο όλων των συστημάτων του οχήματος.

Μετά την προσπάθεια τυποποίησης της θύρας και των δεδομένων σε επίπεδο θύρας και πρωτοκόλλου, OBD και CAN αντίστοιχα, στη νέα γενιά ο επόμενος στόχος είναι να μελετηθούν και αξιοποιηθούν έρευνες γύρω από την ασφάλεια των δεδομένων τόσο σε σχέση με την απομακρυσμένη παρέμβαση σε αυτά όσο και σε σχέση με τη φυσική, άμεση παρέμβαση από τον οδηγό ή τους επιβάτες του οχήματος. Η ολοένα και αυξανόμενη χρήση αυτόνομων συστημάτων από τους κατασκευαστές αυτοκινήτου καθιστά επιτακτική την ανάγκη χρησιμοποίησης τεχνικών ασφάλειας στα αυτοκίνητα ενάντια στις κάθε είδους επιθέσεις.

Η παρούσα διατριβή πραγματεύεται την ανάκτηση των δεδομένων από τη θύρα OBD μέσω ειδικού μετατροπέα που χρησιμοποιεί ασύρματη ζεύξη για την επικοινωνία με ένα έξυπνο κινητό “smartphone” μέσα από εφαρμογή που δημιουργήθηκε για το συγκεκριμένο σκοπό. Λόγω δυσκολίας στην απόκτηση δείγματος δεδομένων της θύρας OBD από πολλούς οδηγούς με σκοπό την αξιοποίησή του, χρησιμοποιήθηκε ένα υπάρχον δείγμα από μελέτη άλλου πανεπιστημίου. Στο συγκεκριμένο δείγμα, μετά από κατάλληλη επεξεργασία μέσω υφιστάμενων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, έγινε προσπάθεια αναγνώρισης του κάθε διαφορετικού οδηγού του δείγματος αρχικά με χρήση όλων των χαρακτηριστικών (ανακτώμενων μεγεθών) του δείγματος και ακολούθως με κατάλληλη επιλογή και χρήση των έξι καλύτερων χαρακτηριστικών αυτού. Από τα αποτελέσματα της έρευνας, προέκυψε ότι τα τελευταία ήταν ικανά ώστε να προσφέρουν τη δυνατότητα αναγνώρισης των οδηγών με σημαντικά μικρότερο υπολογιστικό κόστος και χρόνο επεξεργασίας.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

	Σελ
ΑΦΙΕΡΩΣΗ	iii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iv
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	v
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	x
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
EXTENDED ABSTRACT	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.1. Στόχοι	5
1.2. Δομή της Διατριβής	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Η ΘΥΡΑ ON – BOARD – DIAGNOSTICS (OBD)	7
2.1. Γενική Περιγραφή της Θύρας OBD	7
2.1.1. Ιστορική Αναδρομή	7
2.1.2. Σύγχρονη Ευρωπαϊκή και Διεθνής Εκδοχή της Θύρας OBD – II	9
2.2. Εκδοχές της Θύρας OBD	9
2.3. Η Δεύτερη Γενιά της Θύρας OBD (OBD – II)	12
2.3.1. Θύρα Σύνδεσης και Επικοινωνίας με τη Θύρα OBD – II	13
2.3.2. Πρωτόκολλα σήματος για τη θύρα OBD – II	14
2.4. Διαθέσιμα Δεδομένα Διάγνωσης της Θύρας OBD – II	15
2.5. Σημαντικότεροι Τύποι Δεδομένων Ανάκτησης (PID)	17
2.5.1. Τρόπος Διάγνωσης	17
2.5.2. Τυποποιημένα και μη PIDs	18
2.5.3. CAN – bus Format	19
2.6. Εφαρμογές της Θύρας OBD	19
2.6.1. Φορητά Εργαλεία Σάρωσης	19
2.6.2. Εργαλεία Βασισμένα σε Κινητές Συσκευές	20
2.6.3. Εργαλεία Βασισμένα σε Εγκατεστημένο Λογισμικό σε Υπολογιστές	21
2.6.4. Καταγραφείς Δεδομένων (Data Loggers)	21
2.6.5. Δοκιμές Εκπομπών	23
2.6.6. Συμπληρωματικά Όργανα Πλοήγησης προς τον Οδηγό	23
2.6.7. Τηλεματική Οχημάτων (Vehicular Telematics)	24
2.7. Το Μέλλον της Θύρας OBD (OBD – III)	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	26
3.1. Διαδικασία Ανάκτησης, Προβολής και Αποθήκευσης Δεδομένων	26
3.2. Ο Μικροελεγκτής ELM327	26
3.2.1. Χρήσεις	27
3.2.2. Κλώνοι του ELM327	28

3.3. Ανάκτηση και Αποθήκευση των Δεδομένων σε «Έξυπνα Τηλέφωνα»	29
3.3.1. Δημιουργία της Εφαρμογής	30
3.3.2. ECU Simulator	30
3.3.3. Ανάπτυξη της Εφαρμογής	30
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</b>	<b>37</b>
4.1. Παράδειγμα Εγκατάστασης του ELM327 και Ανάκτησης Δεδομένων	37
4.2. Άλλες Δυνατότητες Μέτρησης Δεδομένων και Εξαγωγής Συμπερασμάτων	40
4.2.1. Διαφορετικά Δεδομένα που Μπορούν να Προβληθούν	40
4.2.2. Εξαγωγή συμπεράσματος σύμφωνα με τον τρόπο οδήγησης	44
4.3. Αναγνώριση Οδηγών Ανάλογα με το Οδηγικό τους Προφίλ	47
4.3.1. Κίνητρο και Σκοπός	49
4.3.2. Μηχανική Μάθηση	52
4.3.3. Η Μέθοδος Αναγνώρισης	53
4.4. Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Μεθόδου Αναγνώρισης Οδηγών	57
4.4.1. Περιγραφικά Στατιστικά Στοιχεία (Descriptive Statistics)	58
4.4.2. Δοκιμή Υπόθεσης (Hypothesis Testing)	63
4.4.3. Ανάλυση Ταξινόμησης (Classification Analysis)	64
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>72</b>
5.1. Συμπεράσματα	72
5.2. Προτάσεις	73
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>75</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>	<b>81</b>
<b>ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ</b>	<b>87</b>
<b>ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ</b>	<b>88</b>



## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

---

Πίνακας	Σελ
Πίνακας 2.1 Επεξήγηση Λειτουργίας των 16 – pin της Θύρας OBD – II	16
Πίνακας 2.2: Τρόποι Λειτουργίας (Operation Modes)	18
Πίνακας Π.1 Χαρακτηριστικά που Ανακτήθηκαν από τη Θύρα OBD	81
Πίνακας Π.2: Αποτελέσματα της Δοκιμής Υπόθεσης Κενού	85

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

---

Σχήμα	Σελ
Σχήμα 2.1 Μορφή Θύρας Σύνδεσης και Επικοινωνίας με τη Θύρα OBD – II	13
Σχήμα 2.2 Τύποι Θηλυκού Θύρας OBD – II	14
Σχήμα 2.3 Φορητό Εργαλείο Διάγνωσης	20
Σχήμα 2.4 Φορητό Εργαλείο Διάγνωσης Εγκατεστημένο σε Tablet	21
Σχήμα 2.5 Φορητό Εργαλείο Διάγνωσης Εγκατεστημένο σε Φορητό Υπολογιστή	22
Σχήμα 2.6 Καταγραφέας Δεδομένων Χωρίς Δυνατότητα Αποθήκευσης	22
Σχήμα 2.7 Καταγραφέας Δεδομένων με Δυνατότητα Αποθήκευσης σε Arduino	23
Σχήμα 3.1 Σχηματικό Διάγραμμα (Block Diagram) του ELM327	27
Σχήμα 3.2 Χαρακτηριστικά Αυθεντικότητας του ELM327	28
Σχήμα 3.3 Κλώνος του ELM327 Χωρίς Έκδοση του Πρωτοκόλλου	29
Σχήμα 3.4 Κώδικας Σύνδεσης με το Bluetooth Low Energy API	32
Σχήμα 3.5 Αποθήκευση και Σύνδεση με τη Συσκευή	32
Σχήμα 3.6 Αρχικοποίηση και Διαμόρφωση	33
Σχήμα 3.7 Εντολές Ανάκτησης Δεδομένων	34
Σχήμα 3.8 Μενού Μεταφόρτωσης Δεδομένων σε Απομακρυσμένο Server	35
Σχήμα 3.9 Ένδειξη Αναλογικών Τιμών	36
Σχήμα 3.10 Ένδειξη Ψηφιακών Τιμών	36
Σχήμα 4.1 Θύρα OBD σε Fiat Punto (2011)	37
Σχήμα 4.2 ELM327 Εγκατεστημένος σε Οχημα Δοκιμής	38
Σχήμα 4.3 Ζεύξη της Συσκευής και του Προσαρμογέα μέσω Bluetooth.	39
Σχήμα 4.4 Εμφάνιση Δεδομένων σε Πραγματικό Χρόνο	40
Σχήμα 4.5 Εμφάνιση Δεδομένων Κατανάλωσης Καυσίμου	41
Σχήμα 4.6 Εμφάνιση Διαφορετικών Δεδομένων για τον Τρόπο Οδήγησης	42
Σχήμα 4.7 Εμφάνιση Δεδομένων Εύρυθμης Λειτουργίας του Κινητήρα	43
Σχήμα 4.8 Εμφάνιση δεδομένων κατανάλωσης κατά τη διάρκεια διαδρομής	45
Σχήμα 4.9 Η Διαδρομή Δοκιμής του Σετ Δεδομένων	48
Σχήμα 4.10 Αριθμός Συνολικών Παρατηρήσεων Οδηγών ανά Δευτερόλεπτο	54
Σχήμα 4.11 : Μέθοδος Εποπτευόμενης Εκμάθησης που Υιοθετήθηκε	56
Σχήμα 4.12 : Κατανομή Δεδομένων για το Χαρακτηριστικό (#1)	58
Σχήμα 4.13 : Κατανομή Δεδομένων για το Χαρακτηριστικό (#2)	59
Σχήμα 4.14 : Κατανομή Δεδομένων για το Χαρακτηριστικό (#5)	60
Σχήμα 4.15 : Κατανομή Δεδομένων για το Χαρακτηριστικό (#12)	61
Σχήμα 4.16 : Κατανομή Δεδομένων για το Χαρακτηριστικό (#15)	62
Σχήμα 4.17 : Κατανομή Δεδομένων για το Χαρακτηριστικό (#35)	63
Σχήμα 4.18 : Αποτελέσματα Ψευδώς Θετικού (ΨΘ) Ρυθμού ανά Οδηγό	69
Σχήμα 4.19 : Αποτελέσματα Ακρίβειας ανά Οδηγό	70
Σχήμα 4.20 : Αποτελέσματα Ανάκλησης ανά Οδηγό	71

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Αθανάσιος Ρίζος, Μ.Δ.Ε., Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Φεβρουάριος 2018.

Ανάκτηση και ανάλυση δεδομένων θύρας on – board – diagnostics (OBD) με σκοπό την αποδοτική διαχείριση οχημάτων.

Επιβλέπων: Γεώργιος Τσιατούχας, Αναπληρωτής Καθηγητής.

Η παρούσα διατριβή πραγματεύεται την ανάκτηση και επεξεργασία δεδομένων από τη θύρα OBD (On – Board – Diagnostics) η οποία εδώ και είκοσι χρόνια εγκαθίσταται υποχρεωτικά σε κάθε όχημα. Μέχρι πρότινος, μόνο εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό μηχανικών και τεχνικών αυτοκινήτου μπορούσε να διαβάσει με ειδικές συσκευές και προγράμματα τα δεδομένα που παράγονται στη θύρα OBD. Αλλά με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών είναι πια εφικτό να δημιουργηθούν προγράμματα, καλώδια και μετατροπείς ούτως ώστε να μπορεί ο οποιοσδήποτε να διαβάσει αυτά τα δεδομένα σε ένα υπολογιστή ή ακόμα και μέσω εφαρμογής σε έξυπνο κινητό τηλέφωνο.

Τα δεδομένα αυτά αφορούν τη λειτουργία του οχήματος και ανακτώνται από ειδικό προσαρμογέα που εγκαθίσταται στη θύρα και τα μεταδίδει ασύρματα μέσω τεχνολογίας Bluetooth.

Για τη λήψη των δεδομένων της θύρας OBD αναπτύχθηκε εφαρμογή για έξυπνα κινητά (smartphones) τα οποία χρησιμοποιούν το λειτουργικό σύστημα Android. Τα δεδομένα αφού προβληθούν σε πραγματικό χρόνο συλλέγονται και μετά το τέλος κάθε διαδρομής του οχήματος δημιουργείται αρχείο με τα δεδομένα για αξιοποίηση.

Εν συνεχεία, το στάδιο της αξιοποίησης των δεδομένων που συλλέχθηκαν, αρχικά περιλαμβάνει την αξιολόγηση του οδηγού παρουσιάζοντας π.χ. την κατανάλωση καυσίμου του οχήματος οδηγού πάνω σε χάρτη καθώς και την γενικότερη συμπεριφορά του. Επίσης, εξετάζεται και η δυνατότητα αναγνώρισης του οδηγού μέσα από τα δεδομένα με στόχο τη λήψη αποφάσεων ανάλογα με το εκάστοτε οδηγικό προφίλ. Τα δεδομένα αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από ειδικούς αναλυτές και ασφαλιστικές εταιρίες στην περίπτωση ατυχήματος ή ακόμα και στην κατάρτιση προσωπικού ασφαλιστήριου συμβολαίου ανάλογα με τις ανάγκες και το οδηγικό προφίλ κάθε χρήστη. Για την αναγνώριση του οδηγού μέσα από το οδηγικό του προφίλ, χρησιμοποιήθηκε ένα σετ δεδομένων από διαφορετικούς οδηγούς που οδηγούν το ίδιο όχημα στην ίδια διαδρομή. Έπειτα, αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία αναγνώρισης του κάθε οδηγού μέσω κατάλληλων αλγορίθμων και εργαλείων μηχανικής μάθησης. Για την ταχύτερη και αποδοτικότερη χρήση αυτής της μεθόδου επιλέχθηκαν τα έξι καλύτερα χαρακτηριστικά από τα συνολικά πενήντα ένα που συλλέχθηκαν σε κάθε χρονική στιγμή του δείγματος. Τα αποτελέσματα από την περικοπή του αριθμού χαρακτηριστικών ήταν άκρως ενθαρρυντικά, δείχνοντας ότι δεν παρουσιάζεται αλλοίωση στα συμπεράσματα που προέκυψαν.

Η μέθοδος αναγνώρισης με τη χρήση των δεδομένων της θύρας OBD που παρουσιάζεται, αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο στην προσπάθεια βελτίωσης της ασφάλειας των οχημάτων αλλά και της διαχείρισης των δεδομένων που παράγονται και μεταφέρονται στη θύρα OBD μέσω του πρωτοκόλλου Controller Area Network (CAN bus ή απλώς CAN). Στην περίπτωση αναγνώρισης του οδηγού με βάση το οδηγικό του προφίλ που προκύπτει από τα χαρακτηριστικά, αν δεν ταυτοποιηθεί ο ιδιοκτήτης του οχήματος τότε συνάγεται ότι πρόκειται για κάποιον που προσπαθεί να το παραβιάσει και δίνεται η δυνατότητα να αποκοπεί η λειτουργία του οχήματος. Επίσης, αν ταυτοποιηθεί ότι δεν είναι κάποιος εξουσιοδοτημένος οδηγός τότε μπορεί να αποκλειστεί η οποιαδήποτε πρόσβαση στα δεδομένα μέσω της θύρας OBD. Τέλος, η συγκεκριμένη μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για γονικό έλεγχο υιοθετώντας ένα διαφορετικό προφίλ ρυθμίσεων λειτουργίας του οχήματος ανάλογα με την αναγνώριση του εκάστοτε εγκεκριμένου οδηγού.

## EXTENDED ABSTRACT

---

Rizos, Athanasios, M.Sc., Department of Computer Science & Engineering, University of Ioannina, Greece, February 2018.

On - board - diagnostics (OBD) port data retrieval and analysis for efficient vehicle management.

Advisor: Georgios Tsiatouhas, Associate Professor.

The growing use of the electronic systems in the automotive area is continuously multiplying the volume of the data that vehicles generate, use and transmit. Similarly, the same growth is observed on the number of the sensors and also the parameters and the settings that are available for configuration in a car not only during the production phase, but also in real – time by the driver through a variety of choices.

The On – Board – Diagnostics (OBD) port is used in modern cars to transfer data between the different subsystems of the vehicle and its external systems, which internally are transmitted via the Controller Area Network (CAN bus or CAN). With the widespread use of Engine Control Units (ECU) in vehicles during 80s and 90s the first generation of the port was adopted, but the second generation was the one that became mandatory at the end of the 90s. Today, this generation is still used in all vehicles although the increasing production of autonomous vehicles which is scheduled for the next decade raised the discussion for the next generation of OBD.

Until recently, only the certified engineers and technicians could read the OBD data from the port by using specialized programs. With the vast growth of the technology in electronics it is possible to create programs and specific cables and adapters so that the data can be read from a common laptop or even via an application from a smartphone. Thus, through data retrieval, processing, and analysis capabilities, it is now possible to analyze the driver's profile and the condition of the vehicle. These data can be used by the driver or by special experts and insurance companies in the case of an accident or an insurance offer targeting to each driver.

However, as ease it is to retrieve these data, it is also feasible to send data to the CAN via OBD. A user with specialized knowledge or software can interfere and either customize the contents or take control of all vehicle systems.

Following the attempt of the standardization at both protocol and port level in CAN and OBD respectively, in the next (3<sup>rd</sup>) generation of OBD the goal is, to study, exploit and adopt data security solutions both against remote and domestic attackers. The increasing use of autonomous systems by vehicle industry makes it imperative to use automotive safety techniques against all types of hacking.

This thesis deals with data retrieval from OBD port which is mandatory in all vehicles manufactured in the last twenty years. These data are retrieved via an adapter that sends them wirelessly via a Bluetooth connection.

Aiming to receive the data a proper application has been developed that runs on smartphones that use the Android operating system. The application can display the data in real – time and collect them in a separate file after each drive route. These files are used for analysis.

The exploitation part includes a driver's evaluation in terms of fuel economy and behavior in accordance with the map of the route. We also examine the ability to

identify the driver through this dataset. This part is achieved by using machine learning techniques. The identification is initially performed by using all the features taken from the sample. In second step, a reduction procedure on the number of the available features is applied, keeping only the most meaningful 10% of them. After reduction, the results remain unaltered proving that the driver identification procedure can be performed with a very small set of features which in turn reduces also the time of sampling, transferring and analyzing these data. In case of a non-authorized driver identification, proper actions can take place like the direct blockage of the vehicle usage or the denial of acquiring the data of the OBD port.

The manuscript is organized as follow: The first chapter is the introduction. The second chapter discusses the state – of – the – art on the OBD port and how the data are created, transmitted in the CAN, and received via the OBD port. The third chapter describes the data retrieval process, in an Android environment and the export of the data in a file. The fourth chapter describes the analysis of the OBD data via machine learning techniques, the retrieval of proper features that give the ability to identify and characterize the behavior of the driver style. In the fifth chapter the conclusions are given and the future work is discussed.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

### 1.1 Στόχοι

### 1.2 Δομή της Διατριβής

---

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι στόχοι και η δομή της διατριβής:

#### 1.1. Στόχοι

Ο γενικός στόχος της διατριβής είναι η δημιουργία μιας ολοκληρωμένης μελέτης γύρω από τη θύρα OBD για την δημιουργία προτάσεων για πιο ασφαλείς, οικονομικές και αποδοτικές μετακινήσεις. Πιο αναλυτικά οι επί μέρους στόχοι καταμερίζονται ως εξής:

- Να αναλυθεί η μορφή των δεδομένων της θύρας OBD, η ασφάλειά τους, και ο τρόπος ανάκτησής τους.
- Να αναπτυχθεί εφαρμογή που θα διαβάζει τα δεδομένα της θύρας OBD, θα τα παρουσιάζει σε πραγματικό χρόνο στο χρήστη καθώς και θα τα αποθηκεύει για περαιτέρω επεξεργασία με σκοπό τη διεξαγωγή συμπερασμάτων για το προφίλ του οδηγού.
- Να κατηγοριοποιηθούν και τα ταυτοποιηθούν οι οδηγοί ανάλογα με το οδηγικό τους στυλ, με σκοπό την ενημέρωση και παρότρυνσή τους για την προσαρμογή του τρόπου οδήγησής τους με σκοπό την αποδοτικότερη χρήση του οχήματος. Επίσης να απλοποιηθεί η διαδικασία ταυτοποίησης με τη χρήση όσο το δυνατό λιγότερων χαρακτηριστικών χωρίς αλλοίωση του αποτελέσματος.
- Να επαληθευθούν όλα τα παραπάνω και να παρουσιαστούν εφικτές μελλοντικές προτάσεις.

#### 1.2. Δομή της Διατριβής

Η διατριβή περιέχει 5 Κεφάλαια: Το Κεφάλαιο 1 είναι το παρόν περιέχοντας τους στόχους και τη δομή της διατριβής. Το Κεφάλαιο 2 αναφέρεται στην παρουσίαση της

θύρας OBD, τον τρόπο που τα δεδομένα παράγονται και μεταφέρονται καθώς και πως καταλήγουν στο χρήστη. Το Κεφάλαιο 3 εστιάζει στο υλικό και το λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε για την ανάκτηση, παρουσίαση και αρχική επεξεργασία των δεδομένων της θύρας OBD. Το Κεφάλαιο 4 παρουσιάζει την περαιτέρω αξιοποίηση των δεδομένων, την κατηγοριοποίηση των οδηγών και του τρόπου οδήγησής τους καθώς και προτάσεις αναφορικά με την ασφάλεια των δεδομένων που εξήλθαν καθώς και της θύρας OBD. Τέλος, το Κεφάλαιο 5 παρουσιάζει τα συμπεράσματα και τις προτάσεις που εξήλθαν κατά την εκπόνηση και συγγραφή της παρούσας διατριβής.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.**

# **Η ΘΥΡΑ ON – BOARD – DIAGNOSTICS (OBD)**

---

- 2.1. Γενική Περιγραφή της Θύρας OBD
  - 2.2. Εκδοχές της Θύρας OBD
  - 2.3. Η Δεύτερη Γενιά Της Θύρας OBD (OBD – II)
  - 2.4. Διαθέσιμα Δεδομένα Διάγνωσης της Θύρας OBD – II
  - 2.5. Σημαντικότεροι Τύποι Δεδομένων Ανάκτησης (PID)
  - 2.6. Εφαρμογές της Θύρας OBD
  - 2.7. Το Μέλλον της Θύρας OBD (OBD – III)
- 

### **2.1. Γενική Περιγραφή της Θύρας OBD**

Η θύρα OBD χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλα τα οχήματα που κινούνται στους δρόμους σήμερα. Περί τις αρχές της δεκαετίας 1980-1990 οι κατασκευαστές ξεκίνησαν να χρησιμοποιούν ηλεκτρονικό έλεγχο στις λειτουργίες του κινητήρα και των διαγνωστικών ελέγχων. Με το πέρασμα του χρόνου η θύρα OBD εξελίχθηκε μέχρι που στα μέσα της δεκαετίας του 1990 παρουσιάστηκε η δεύτερη εκδοχή της (OBD – II) η οποία παρέχει ολοκληρωτικό έλεγχο των παραμέτρων του κινητήρα καθώς και όλων των περιφερειακών συσκευών του εκάστοτε οχήματος, όπως επίσης και διαγνωστικό έλεγχο σφαλμάτων του οχήματος ο οποίος χρησιμοποιείται από τους τεχνικούς.

#### *2.1.1. Ιστορική Αναδρομή*

Το 1968 η εταιρία Volkswagen ήταν η πρώτη που εισήγαγε το πρώτο on – board σύστημα με δυνατότητα αυτοδιάγνωσης σε όλα τα οχήματα που χρησιμοποιούσαν ηλεκτρονικό ψεκασμό καυσίμου (Electronic Fuel Injection). Ακολούθως, το 1978, στο Datsun 280Z οι μηχανικοί εγκατέστησαν ένα τέτοιο σύστημα επαρκώς εξελιγμένο με γνώμονα την ανάγκη για προσαρμογή των παραμέτρων του κινητήρα σε πραγματικό

χρόνο. Δύο χρόνια αργότερα ο κατασκευαστικός κολοσσός οχημάτων που ακούει στο όνομα General Motors (GM) υιοθέτησε ένα μοντέλο διεπαφής και ένα πρωτόκολλο για τον έλεγχο (testing) της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου του κινητήρα (Engine Control Module – ECM) στη γραμμή συναρμολόγησης οχημάτων. Το πρωτόκολλο αυτό ονομάστηκε ALDL (Assembly Line Diagnostic Link) και μεταδίδει τα δεδομένα με ταχύτητα 160 bits/s και εφαρμόστηκε πρώτα στην πολιτεία της Καλιφόρνια και την επόμενη χρονιά (1982) σε όλη την επικράτεια των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (Η.Π.Α.) [1]. Η ανάγνωση σφαλμάτων μπορούσε να γίνει μέσω προγραμματισμού της ECM να φωτίζει αντίστοιχες λυχνίες στο καντράν του αυτοκινήτου όπως το Check Engine Lamp (CEL) ή το Malfunction Indicator Lamp (MIL). Ένα πακέτο λογισμικού για υπολογιστή το οποίο ονομάστηκε WinALDL ήταν υπεύθυνο να ακούσει το Closed Loop Carburetor Control (CLCC) καθώς και τα πρώτα CLC – EFI που λειτουργούσαν σε οχήματα με μηχανικό και ηλεκτρονικό ψεκασμό αντίστοιχα. Μέσω ενός καλωδίου διασύνδεσης τα 160 baud σειριακά δεδομένα μετατρέπονταν από την ECM σε μορφή RS232 παρόλο που η ποσότητα της πληροφορίας ήταν αρκετά μικρή [2].

Το 1986, εμφανίστηκε μια αναβαθμισμένη έκδοση του πρωτοκόλλου ALDL που μπορούσε να επιτύχει ταχύτητα επικοινωνίας 8192 bit/s με ημιαμφίδρομη σηματοδότηση UART. Δύο έτη αργότερα, η Εταιρία Μηχανικών Αυτοκινήτων (Society of Automotive Engineers – SAE) των Η.Π.Α. σύστησε ένα τυποποιημένο διαγνωστικό σύνδεσμο καθώς και ένα σύνολο σημάτων για διαγνωστικό έλεγχο. Περαιτέρω, το 1991, πάλι στην πολιτεία της Καλιφόρνια το συμβούλιο για τον έλεγχο των αέρινων πόρων (California Air Resources Board – CARB) απαίτησε όλα τα νέα οχήματα που επρόκειτο να πωλούνται να έχουν κάποια βασική διαγνωστική ικανότητα μέσω της θύρας OBD [3]. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι, παρόλο που κυριολεκτικά ο όρος αναφέρεται στον αυτοέλεγχο του εκάστοτε οχήματος, ως OBD αναφέρεται η θύρα που έχουν τα οχήματα για την επικοινωνία με εξωτερικά συστήματα. Το ίδιο μοντέλο ακολουθείται κατά την αναφορά στην παρούσα διατριβή. Σήμερα, αυτή η γενιά αναφέρεται ως OBD – I αλλά το όνομα αυτό παρουσιάστηκε όταν υιοθετήθηκε η δεύτερη γενιά ώστε να ξεχωρίζουν μεταξύ τους. Η πρώτη γενιά δεν περιείχε ούτε τυποποιημένη θέση, ούτε σύνδεσμο ζεύξης των δεδομένων καθώς ούτε και πρωτόκολλο μετάδοσής τους.

Το 1994, η CARB προώθησε τις προδιαγραφές για την δεύτερη γενιά (OBD – II) δίνοντας παράλληλα εντολή υιοθέτησης για όλα τα αυτοκίνητα που επρόκειτο να

πωληθούν στην Καλιφόρνια από το 1996 και έπειτα. Οι κωδικοί DTC που πρότεινε ο SAE ενσωματώθηκαν ως standard σε αυτή την γενιά. Όντως το 1996 η γενιά αυτή έγινε υποχρεωτική όχι μόνο εντός της πολιτείας της Καλιφόρνια αλλά και για όλα τα αυτοκίνητα που επρόκειτο να κατασκευαστούν και να πωληθούν στις Η.Π.Α.

### *2.1.2. Σύγχρονη Ευρωπαϊκή και Διεθνής Έκδοση της Θύρας OBD – II*

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.), αν και άργησε να προσαρμοστεί, κατέστησε υποχρεωτική την Ευρωπαϊκή έκδοση της θύρας OBD (European OBD – EOBD) για όλα τα βενζινοκίνητα οχήματα μόλις το 2001. Αυτή η παραλλαγή δημοσιεύτηκε στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/69/EK [4]. Λεπτομέρειες για τις διαφορές τους θα αναλυθούν σε επόμενη παράγραφο. Το 2003, έγινε υποχρεωτική η χρήση της θύρας EOBD και για τα πετρελαιοκίνητα οχήματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Το 2008, στις Η.Π.Α. υιοθετήθηκε το standard ISO 15765-4 [5] για τα σήματα το οποίο αποτελεί παραλλαγή του Controlled Area Network bus (CAN bus) [6]. Την ίδια χρονιά, έγινε υποχρεωτική και η ενσωμάτωση της θύρας OBD σε ελαφριού τύπου οχήματα στην Κίνα. Δύο χρόνια αργότερα, θεσμοθετήθηκε και η θύρα HDOBD (Heavy Duty OBD) που πρέπει να χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένα εμπορικού τύπου (και όχι επιβατηγά) οχήματα τα οποία πωλούνται στις Η.Π.Α [7].

## **2.2. Εκδόσεις της Θύρας OBD**

Κατά τη διάρκεια εφαρμογής διαγνωστικών ελέγχων τα τελευταία 40 χρόνια από τους κατασκευαστές οχημάτων έχουν παρουσιαστεί αρκετές διαφορετικές εκδόσεις της θύρας πριν καταλήξουμε στην καθολική υιοθέτηση της δεύτερης γενιάς που, κι αυτή με τη σειρά της, παρουσιάζει διάφορες υποεκδόσεις. Πιο αναλυτικά, με αύξουσα σειρά σημαντικότητας ακολουθούν οι διάφορες εκδόσεις.

- **ALDL:** Η διεπαφή (Assembly Line Diagnostic Link) ανήκει στην General Motors (GM) χρησιμοποιήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 και υιοθετήθηκε από όλες τις θυγατρικές της σε διάφορες μορφές κυρίως όσον αφορά την μορφή της διεπαφής καθώς η γενική λειτουργία σε μια προσπάθεια τυποποίησης παρέμεινε ίδια. Η πληροφορία ανταλλασσόταν με κάθε μονάδα Powertrain Control Module (PCM) [8]. Για παράδειγμα το κύριο PCM ενσωμάτωνε τον έλεγχο της μετάδοσης και της μηχανής σε μια υπολογιστική μονάδα. Από το 1991 και έπειτα το ALDL

υιοθέτησε τα πρότυπα της πρώτης γενιάς χωρίς αυτό να σημαίνει ότι το ALDL είναι η OBD – I.

- M – OBD: Η επίσημη ονομασία του είναι Multiplex OBD [9]. Είναι μια παραλλαγή της θύρας OBD από την Toyota πριν από τη δεύτερη γενιά αυτής [10]. Η διεπαφή είναι ίδια με αυτή της θύρας OBD – II. Χρειάζεται όμως ειδικό καλώδιο και ειδικό λογισμικό για την ανάκτηση των δεδομένων αυτού [11].
- OBD – I: Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, είναι η πρώτη προσπάθεια τυποποίησης για τα δεδομένα διαγνωστικού ελέγχου από τους κατασκευαστές. Προτάθηκε στην καινοτόμο πολιτεία της Καλιφόρνια το 1991. Σαν στόχο είχε να αναγκάσει τους κατασκευαστές οχημάτων να σχεδιάσουν αξιόπιστα συστήματα ελέγχου των εκπομπών καυσαερίων [12]. Τα συστήματα αυτά έπρεπε να παραμένουν αξιόπιστα και κατά τη διάρκεια ζωής του αυτοκινήτου. Έτσι, οι διαγνώσεις σφαλμάτων των οχημάτων έγιναν ευκολότερες και κυρίως φθηνότερες. Βέβαια, κάθε κατασκευαστής χρησιμοποιούσε τη δική του σύνδεση για το διαγνωστικό μηχανήμα (Diagnostic Link Connector – DLC). Η τοποθεσία, οι κωδικοί σφαλμάτων και η διαδικασία ήταν διαδικασίες που απαιτούσαν τη χρήση του εγχειριδίου του κάθε οχήματος. Τα εκάστοτε DLC μπορούσαν να φαίνονται μέσα από διάφορες λυχνίες εντός του καντράν του οχήματος (λ.χ. η λυχνία ελέγχου κινητήρα (Check Engine)). Με την πάροδο του χρόνου τα DTC εξελίχθηκαν περιέχοντας κατάλληλους κωδικούς για το κάθε πρόβλημα καθώς και δεδομένα από τους αισθητήρες του οχήματος. Πρωτοπόρος σε αυτή την κατεύθυνση ήταν η εταιρία Cadillac κάτω από την ομπρέλα της μητρικής GM.
- OBD – 1.5: Κατευθυνόμενη προς την δεύτερη γενιά της θύρας OBD, η GM προώθησε κάποιες θεμελιώδεις αλλαγές το 1994. Παρόλο που δεν υπάρχει επίσημα ο όρος, αναφέρεται πάντοτε σε αυτή την προσπάθεια. Η ίδια η εταιρία σε κανένα εγχειρίδιο δεν παρουσίασε αυτή την έκδοση αλλά ξεχώριζε από την αναβαθμισμένη έκδοση του ALDL η οποία περιείχε πολλούς νέους κωδικούς διάγνωσης και αισθητήρων οι οποίοι αποτελούσαν μέρος του προτύπου της επόμενης γενιάς [13]. Αξίζει σε αυτό το σημείο να ειπωθεί πως χρειαζόταν ειδικό λογισμικό, καλώδια, και προσαρμογέας για να διαβάσει όλες τις πληροφορίες. Η συγκεκριμένη έκδοση παρείχε επιπρόσθετα κυκλώματα προσαρμοσμένα στο εκάστοτε όχημα. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες για την χαμηλή πίεση ελαστικών, το σύστημα των αερόσακων στην Chevrolet Corvette εκείνης της γενιάς. Η έκδοση αυτή

χρησιμοποιήθηκε και σε κάποιες άλλες εταιρίες όπως η Mitsubishi, η Volkswagen (μοντέλα με τον κινητήρα VR6) καθώς και στο Ford Scorpio του 1995 [14].

- EOBBD: Είναι η ευρωπαϊκή έκδοση της θύρας OBD που αναφέρεται στη δεύτερη γενιά της τελευταίας. Εξ' ου και το αρχικό E στο όνομα. Τοποθετήθηκε σε όλα τα ελαφρού τύπου οχήματα (Μεικτό βάρος κάτω των 2,5 τόνων) από το 2001 για τα οχήματα με βασικό κινητήριο καύσιμο την βενζίνη και από το 2004 για τα πετρελαιοκίνητα αν και όποιο μοντέλο παρουσιάστηκε μέχρι ένα χρόνο νωρίτερα ήταν υποχρεωμένο να την ακολουθήσει [7]. Τεχνικά ακολουθεί την δεύτερη γενιά της θύρας OBD με κάποιες μικροδιαφορές όσον αφορά τις εκπομπές ρύπων για να προσαρμοστεί στα πρότυπα κανόνων Euro III – VI [15].
- EOBBD2: Δεν αναφέρεται σε δεύτερη έκδοση της προηγούμενης αλλά είναι μη αναγνωρισμένο επίσημα πρότυπο το οποίο περιγράφει την προσπάθεια κάποιων κατασκευαστών να προσφέρουν περισσότερα από τα συνηθισμένα του προτύπου δεδομένα. Σε αυτή την περίπτωση, το E κληρονομείται από το αγγλικό Enhanced που αναδεικνύει την ύπαρξη περισσότερων δεδομένων και το 2 χρησιμοποιείται απλά για διαφοροποίηση με την επίσημη ευρωπαϊκή παραλλαγή, την EOBBD.
- JOBD: Εδώ το J αναφέρεται στην Ιαπωνία (Japan) όπου δεν είναι τίποτε περισσότερο από το ιαπωνικό πρότυπο της θύρας OBD – II που δεν έχει καμία ουσιώδη διαφορά πέραν του ονόματος.
- ADR79/01 – 79/02: Το πρώτο είναι το πρότυπο για της εκπομπές ρύπων ελαφριών οχημάτων και περιγράφει την αυστραλιανή (Australian Design Rule 79/01 – Emission Control for Light Vehicles) έκδοση της θύρας OBD – II. Αναφέρεται στα οχήματα μεικτού βάρους έως 3,5 τόνους [16]. Η διαφοροποίηση με την ευρωπαϊκή τιμή είναι τα πολλά ελαφριού τύπου φορτηγά (pick up) που υπάρχουν εκεί. Υιοθετήθηκε το 2006 για τα βενζινοκίνητα και το 2007 για τα πετρελαιοκίνητα ακολουθώντας την ίδια στρατηγική με την Ευρώπη για όσα οχήματα παρουσιάστηκαν πρώτη φορά σε μοντέλα μέχρι και ένα χρόνο νωρίτερα. Το δεύτερο πρότυπο είναι η νεότερη γενιά και χρησιμοποιήθηκε από το 2010 [17].

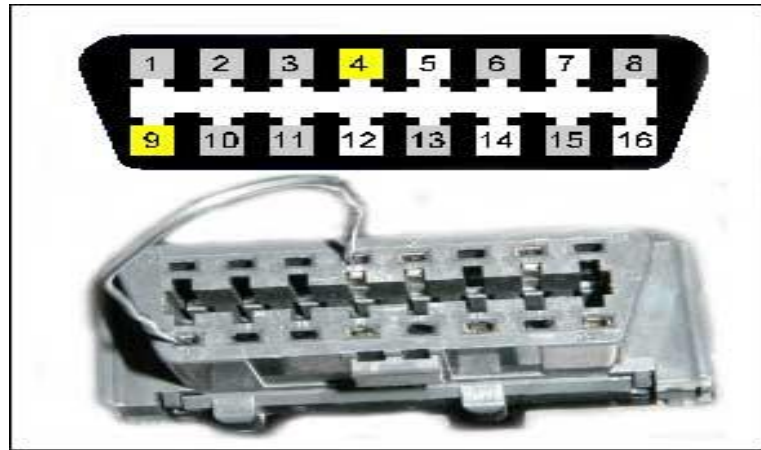
### 2.3. Η Δεύτερη Γενιά της Θύρας OBD (OBD – II)

Η συγκεκριμένη γενιά, που είναι και η πιο ευρέως διαδεδομένη, θα μας απασχολήσει καθόλη τη διάρκεια της παρούσας διατριβής οπότε και αναλύεται εντός του συγκεκριμένου υποκεφαλαίου και όχι σε παράγραφο όπως οι προηγούμενες.

Αυτή η γενιά δεν αποτελεί απλά μια βελτίωση της πρώτης αλλά πέρα από τις περισσότερες δυνατότητες διαγνωστικών δεδομένων και αισθητήρων που παρέχει παρείχε ένα μεγαλύτερο πλεονέκτημα. Για πρώτη φορά προτυποποιήθηκε η θύρα επικοινωνίας ώστε όλα τα οχήματα να έχουν την ίδια θύρα επικοινωνίας. Η μορφή της φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Επιπλέον, τυποποιημένος ήταν και ο τρόπος επικοινωνίας καθώς και τα πρωτόκολλα που περιέχουν τα ηλεκτρικά σήματα όπως επίσης και ο τρόπος σύνθεσης του μηνύματος των δεδομένων.

Περιεγράφηκε για πρώτη φορά μία κοινή λίστα για όλες τις παραμέτρους που μπορούν να παρακολουθηθούν καθώς και ο τρόπος αποκωδικοποίησής τους. Ένα από τα pin της θύρας μπορεί να παρέχει ρεύμα ικανό να το χρησιμοποιήσει το διαγνωστικό μηχάνημα που σημαίνει πως το τελευταίο δε χρειάζεται εξωτερική τροφοδοσία όπως στην προηγούμενη γενιά αν και για λόγους ασφάλειας πολλοί τεχνικοί εξακολούθησαν να τα συνδέουν σε εξωτερικές πηγές τροφοδοσίας μιας και τα οχήματα δε παρέχουν σταθερή και ασφαλή τροφοδοσία.

Τα αποτελέσματα αυτής της τυποποίησης είναι ότι πλέον τα DTC είναι κοινά και μια συσκευή μπορεί να ανακτήσει την πληροφορία από κάθε όχημα πια χωρίς να χρειάζεται ξεχωριστή συσκευή για κάθε μάρκα ή τύπου αυτοκινήτου πια. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες εκμεταλλεύτηκαν αυτή την τυποποίηση και επενέβησαν στα λογισμικά των οχημάτων τους ώστε πλέον όλες οι λειτουργίες όπως, για παράδειγμα ο επαναπρογραμματισμός του εγκεφάλου να γίνονται από τη συγκεκριμένη θύρα [18]. Τα DTC έχουν πλέον σταθερή μορφή η οποία αποτελείται από 4 ψηφία από τα οποία προηγείται ένα γράμμα με τον κωδικό της περιοχής από την οποία προέρχεται το σήμα. P για τον κινητήρα και τη μετάδοση (Powertrain), B για το σώμα (Body), C για το σασί (Chassis) και U για το δίκτυο (Network). Όλοι όμως οι κατασκευαστές δεν έμειναν εκεί προσθέτοντας επιπλέον παραμέτρους οι οποίες όμως είναι γνωστές στο ευρύ κοινό ώστε ένα μηχάνημα διαγνωστικού ελέγχου ή παρακολούθησης δεδομένων να μπορεί προγραμματιστεί κατάλληλα για να τα διαβάσει.

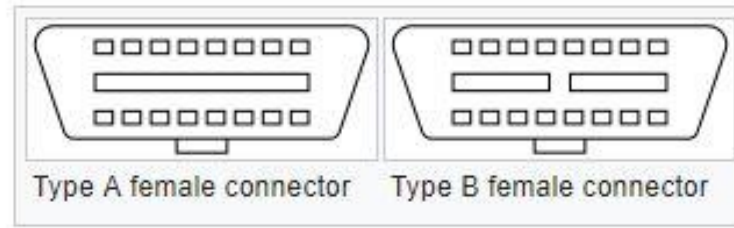


Σχήμα 2.1 Μορφή Θύρας Σύνδεσης και Επικοινωνίας με τη Θύρα OBD – II

### 2.3.1. Θύρα Σύνδεσης και Επικοινωνίας με τη Θύρα OBD – II

Η οδηγία SAE J1962 παρέχει δύο τυποποιημένες διεπαφές υλικού. Την A και την B. Είναι και οι δύο θηλυκές που σημαίνει ότι υποδέχονται τα βύσματα που συνδέονται. Έχουν 16-pin ταξινομημένα σε 2 σειρές από 8 η κάθε μία όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1. Ο τύπος σύνδεσής της έχει σχήμα τραπεζιού. Ανάμεσα από τις 2 σειρές υπάρχει μια αυλάκωση η οποία κάνει και τη διαφορά στις δύο εκδόσεις. Στην A είναι ενιαία και στην B διακόπτεται στη μέση που σημαίνει ότι ένας προσαρμογέας της A δε μπορεί να συνδεθεί στην B αλλά το αντίθετο συμβαίνει για ένα προσαρμογέα της B κατηγορίας ο οποίος μπορεί να συνδεθεί κανονικά σε θύρα της A. Τα άνωθεν διακρίνονται στο Σχήμα 2.2. Η διαφορά, από την οποία προέρχονται οι δύο αυτές εκδόσεις, είναι ότι η A χρησιμοποιείται για οχήματα που έχουν παροχή τροφοδοσίας 12V ενώ η B για όσα έχουν 24V παροχή.

Σε αντίθεση με την πρώτη γενιά που μπορούσε να τοποθετηθεί μέχρι και στο μηχανοστάσιο (engine – bay) του αυτοκινήτου, η δεύτερη γενιά πρέπει υποχρεωτικά να τοποθετείται μέσα στην καμπίνα των επιβατών σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από 2 πόδια (0,61 μέτρα) από την κολώνα του τιμονιού εκτός αν για λόγους ανωτέρας βίας κάποιος κατασκευαστής τοποθετήσει τη θύρα μακρύτερα. Σε κάθε περίπτωση, όμως, θα πρέπει να είναι εντός της καμπίνας των επιβατών και σε άμεση πρόσβαση από τον οδηγό του οχήματος.



Σχήμα 2.2 Τύποι Θηλυκού Θύρας OBD – II

### 2.3.2. Πρωτόκολλα σήματος για τη θύρα OBD – II

Υπάρχουν 5 πρωτόκολλα σήματος που επιτρέπουν την επικοινωνία με τη θύρα OBD – II και τα περισσότερα οχήματα χρησιμοποιούν μόνο 1. Η πιο εύκολη διαδικασία για τη διάκριση μεταξύ τους βασίζεται στο ποια pin χρησιμοποιούνται στον προσαρμογέα της J1962 οδηγίας. Τα πρωτόκολλα αυτά είναι:

- SAE J1850 PWM (pulse – width modulation): Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο έχει ρυθμό μετάδοσης 41.6 Kbit/s και χρησιμοποιήθηκε από την Ford Motor. Το δεύτερο pin είναι το θετικό του διαύλου δεδομένων ενώ το δέκατο το αρνητικό. Η μέγιστη τάση είναι 5V και το μέγεθος μηνύματος περιορίζεται στα 12 bytes.
- SAE J1850 VPW (variable pulse – width): Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο έχει ρυθμό μετάδοσης 10,4 Kbit/s και χρησιμοποιήθηκε από την GM. Διαφοροποιείται στη μέγιστη τάση, η οποία εδώ είναι 7V, και το κατώφλι (threshold) για θετικό ή αρνητικό για το δίαυλο καθορίζεται από την τάση στο δεύτερο pin στα 3,5V.
- ISO 9141-2: Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο έχει ίδιο ρυθμό μετάδοσης με το προηγούμενο αλλά αναφέρεται ως ασύγχρονος ρυθμός. Παρομοιάζεται με τον σειριακό δίαυλο RS – 232 αν και τα επίπεδα τάσης του σήματος είναι διαφορετικά και η επικοινωνία σε μονή διπλής κατεύθυνσης γραμμής. Το συγκεκριμένο πρότυπο χρησιμοποιήθηκε από την Chrysler καθώς και τις ευρωπαϊκές και ασιατικές αυτοκινητοβιομηχανίες. Στο συγκεκριμένο το pin 7 χρησιμοποιείται για την γραμμή επικοινωνίας K. Υφίσταται επίσης σηματοδότηση UART (UART signaling) και το μέγεθος μηνύματος είναι στα 260 bytes.
- ISO 14230 KWP2000 (Keyword Protocol 2000): Το φυσικό επίπεδο σχεδίασης και επικοινωνίας είναι ίδιο με το προηγούμενο με το ρυθμό μετάδοσης να κυμαίνεται



από 1,2 έως 10,4 Kbit/s και το υψηλό επίπεδο τάσης στο σήμα τα 12V (διακύμανση μεταξύ 9,6 και 13,5). Το μήνυμα μπορεί να περιέχει μέχρι 255 bytes πληροφορίας.

- ISO 15765 CAN: Ο ρυθμός του πρωτοκόλλου αυτού είναι 250 ή 500 Kbit/s. Το πρωτόκολλο CAN αναπτύχθηκε από την Bosch για βιομηχανικές και αυτοκινητιστικές εφαρμογές [19]. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα πρωτόκολλα, οι παραλλαγές του χρησιμοποιούνται ευρέως εκτός αυτοκίνησης. Παρόλο που δεν πληρούσε τις προϋποθέσεις για τα οχήματα στις Η.Π.Α. πριν το 2003, από το 2008 και έπειτα όλα τα οχήματα τα οποία επρόκειτο να πουληθούν στις Η.Π.Α. έπρεπε να το υιοθετούν. Στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο το pin 6 είναι το υψηλό του σήματος (signal high) και το 14 είναι το χαμηλό (signal low). Το επίπεδο τάσης για το πρώτο είναι 3,5V (διακύμανση 2,75 – 4,5V) και για το δεύτερο 1,5V (διακύμανση 0,5 – 2,25V).

Αξίζει να σημειωθεί ότι όλα τα πρωτόκολλα και κατά συνέπεια όλα τα οχήματα χρησιμοποιούν την ίδια θύρα για την επικοινωνία αλλά σε κάθε υλοποίηση χρησιμοποιούνται διαφορετικά pin εκτός από αυτά με αριθμό 4 και 16 που χρησιμοποιούνται για την γείωση και το θετικό της μπαταρίας (battery ground and positive). Αναλυτική παρουσίαση της λειτουργίας κάθε ενός από τα δεκαέξι pin φαίνεται στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί [7], με επεξήγηση του καθώς και με παραδείγματα για τυχαίες εταιρίες.

#### **2.4. Διαθέσιμα Δεδομένα Διάγνωσης της Θύρας OBD – II**

Η θύρα OBD – II παρέχει πρόσβαση στα δεδομένα από την μονάδα ελέγχου της μηχανής (Engine Control Unit – ECU) του οχήματος και αποτελεί μια πολύτιμη πηγή δεδομένων όταν χρειάζεται να αντιμετωπιστούν προβλήματα στο όχημα. Το πρότυπο SAE J1979 καθορίζει τη μέθοδο ανάκτησης δεδομένων διάγνωσης από μια λίστα παραμέτρων που μπορεί να παρέχει η ECU [20]. Οι διάφορες αυτές παράμετροι έχουν σταθερό κωδικό και αναφέρονται συνήθως ως αριθμοί αναγνώρισης παραμέτρων (parameter identification numbers – parameter IDs – PIDs). Η αναλυτική λίστα αυτών των παραμέτρων, οι επεξηγήσεις τους καθώς και η φόρμουλα ώστε να μετατραπούν τα δεδομένα σε εκμεταλλεύσιμη πληροφορία περιγράφονται σε εγχειρίδιο του αμερικανικού ινστιτούτου τεχνολογίας αυτοκινήτου (NAPA Institute of Automotive Technology) [7].

Πίνακας 2.1 Επεξήγηση Λειτουργίας των 16 – pin της Θύρας OBD – II

1	Επαφίεται στην διακριτικότητα του κατασκευαστή. GM: J22411 GMLAN / SWC/ Μονό καλώδιο - CAN VW Group / BMW: Διακόπτης 12V για την ενεργοποίηση σάρωσης για τον έλεγχο ενεργοποίησης της ανάφλεξης
2	Θετικό διαύλου για το πρότυπο J1850 που αφορά PWM, VPW
3	Επαφίεται στην διακριτικότητα του κατασκευαστή. GM: Αναγνώριση αντικειμένου – CAN-bus θετικό (+) Ford: CAN-bus high
4	Γείωση με το σασί (chassis ground)
5	Γείωση του σήματος (signal ground)
6	CAN – High για τα ISO 15675-4 & SAE J2284
7	Γραμμή K (K – line) για τα ISO 9141-2 & 14230-4
8	Επαφίεται στην διακριτικότητα του κατασκευαστή. BMW: Δεύτερη γραμμή K για μη τυποποιημένα PIDs (π.χ. Infotainment) Ford / Fiat: Infotainment CAN – low
9	Επαφίεται στην διακριτικότητα του κατασκευαστή. BMW: Ένδειξη χιλιομετρητή (TD – tachometer display) GM: 8192 bit/s ALDL
10	Αρνητικό διαύλου για το πρότυπο J1850 που αφορά μόνο το PWM και όχι το VPW
11	Επαφίεται στην διακριτικότητα του κατασκευαστή. GM: Αναγνώριση αντικειμένου – CAN-bus αρνητικό (-) Ford: CAN-bus low
12	Επαφίεται στην διακριτικότητα του κατασκευαστή. GM: Chassis – CAN-bus θετικό (+) υψηλής ταχύτητας (High speed) Corvette: Κωδικοί διάγνωσης για το DIC (1994 – 2004)
13	Επαφίεται στην διακριτικότητα του κατασκευαστή. GM: Chassis – CAN-bus αρνητικό (-) υψηλής ταχύτητας (High speed) Ford: Programming PCM voltage
14	CAN – Low για τα ISO 15675-4 & SAE J2284
15	Γραμμή L (L – line) για τα ISO 9141-2 & 14230-4
16	Τάση μπαταρίας: 12V/4A για τον τύπο A και 24V/2A για τον τύπο B

Μία σύντομη περιγραφή τους ακολουθεί στο επόμενο υποκεφάλαιο. Οι κατασκευαστές δεν είναι υποχρεωμένοι να εφαρμόσουν όλα τα PID που υπάρχουν στο πρότυπο όπως επίσης έχουν τη δυνατότητα να συμπεριλάβουν συγκεκριμένα PIDs τα οποία χρειάζονται. Το αίτημα για το PID και το σύστημα ανάκτησης δεδομένων δίνουν πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο στα δεδομένα. Το συμβούλιο SAE έχει εκδώσει την οδηγία J1979 σύμφωνα με την οποία περιγράφονται τα συνιστώμενα PIDs που θα πρέπει να χρησιμοποιούν οι κατασκευαστές. Είναι όμως συχνό το φαινόμενο πρόσθεσης επιπλέον παραμέτρων διάγνωσης από τον εκάστοτε κατασκευαστή.

## 2.5. Σημαντικότεροι Τύποι Δεδομένων Ανάκτησης (PID)

Τα OBD – II PIDs (On – board diagnostics Parameter IDs) είναι οι κωδικοί για να ζητηθούν τα δεδομένα από ένα όχημα και συνδυασμένα αποτελούν τα εργαλεία διάγνωσης. Το πρότυπο SAE J1979 ορίζει όπως προαναφέρθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Όλα τα χαμηλού βάρους αυτοκίνητα (βάρος μεικτό < 3,5 τόνοι), υποχρεώθηκαν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις παραμέτρους που ορίζει η θύρα OBD - II. Τα μέτρου βάρους υποχρεώθηκαν από το 2005 (μεικτό βάρος < 6,5 τόνοι) και τα μεγάλου βάρους (μεικτό βάρος από το > 6,5 τόνοι) από το 2010 [20]. Ο τρόπος σύνδεσης είναι μέσω ενός τυποποιημένου συνδέσμου διαβάζοντας συνήθως ένα υποσύνολο του αρχικού συνόλου δεδομένων που δύνανται να χρησιμοποιηθούν κυρίως για τη συνήθη διαδικασία διάγνωσης.

### 2.5.1. Τρόπος Διάγνωσης

Τυπικά, ένας τεχνικός αυτοκινήτων θα χρησιμοποιήσει ένα εργαλείο είτε αγορασμένο από το εργοστάσιο παραγωγής της εκάστοτε μάρκας αυτοκινήτου είτε (λόγω τυποποίησης) από τρίτους προμηθευτές. Θα εισάγει τα νούμερα από τα PID που θέλει να ελέγξει και το εργαλείο αυτό (scan tool) στέλνει το αίτημα στην CAN – bus του οχήματος. Πριν από το 2008 τη θέση της μπορούσαν να πάρουν και τα VPW, PWM, ISO, KWP που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η ECU του οχήματος αναγνωρίζει την εντολή και δίνει το OK για να μεταδοθούν τα δεδομένα προς τη θύρα OBD – II. Το εργαλείο διαβάζει τα δεδομένα τα οποία βρίσκονται σε δεκαεξαδική (HEX) μορφή και τα μετατρέπει φέρνοντάς τα σε μορφή κατάλληλη για να διαβαστεί από τον τεχνικό και τα προβάλλει στην οθόνη του. Υπάρχουν 10 διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας (Modes) όπως αυτοί παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2 με δεκαεξαδική αρίθμηση 01 – 0A. Οι κατασκευαστές οχημάτων δεν είναι υποχρεωμένοι να τους παρέχουν όλους. Επίσης, μπορούν να παρέχουν περισσότερους κωδικούς όπως για παράδειγμα ο 21 της Toyota και ο 22 της GM/Ford για άλλες πληροφορίες κυρίως των υβριδικών οχημάτων (Hybrid Electric Vehicle – HEV) [21].

Πίνακας 2.2: Τρόποι Λειτουργίας (Operation Modes)

01	Εμφάνιση τρεχόντων δεδομένων
02	Εμφάνιση στιγμιότυπου δεδομένων
03	Εμφάνιση αποθηκευμένων κωδικών διάγνωσης (Diagnostic Trouble Codes (DTC))
04	Εκκαθάριση μητρώου των DTC
05	Αποτελέσματα ελέγχου για αισθητήρα οξυγόνου (ισχύει για μοντέλα χωρίς CAN)
06	Αποτελέσματα για άλλα στοιχεία ή για μοντέλα με CAN αποτελέσματα του αισθητήρα οξυγόνου
07	Εμφάνιση εκκρεμών DTC που διαγνώστηκαν στον τωρινό ή τον προηγούμενο κύκλο οδήγησης
08	Έλεγχος σωστής λειτουργίας των συστημάτων του οχήματος (on – board components)
09	Αίτημα περί πληροφοριών του οχήματος
0A	Μόνιμοι DTCs

### 2.5.2. Τυποποιημένα και μη PIDs

Τα PID που υπάρχουν ως τυποποιημένα από την προτυποποίηση του πρωτόκολλου είναι συγκεκριμένα και σαφώς ορισμένα [7]. Για κάθε PID υπάρχει αναμενόμενη απάντηση, ώστε η απάντηση να μετατραπεί σε ουσιαστικά αξιολογήσιμα δεδομένα. Τα Modes 1 και 2 είναι τυπικά ίδια. Η μόνη διαφορά είναι ότι το 1 παρέχει real-time δεδομένα ενώ το 2 παρέχει ένα στιγμιότυπο αυτών την ώρα που αυτό ζητήθηκε από το διαγνωστικό. Τα PID με αριθμό 01 και 02 υπάρχουν διαθέσιμα μόνο στο αντίστοιχο Mode, ενώ εάν το PID 02 δώσει απάντηση 0 σημαίνει ότι δεν υπάρχει στιγμιότυπο και δεν υπολογίζονται ότι δεδομένα το ακολουθούν. Ένα παράδειγμα είναι για το Mode 1, το PID 51 όπου επιστρέφει την τιμή του καυσίμου που κινείται το όχημα (0 – N/A, 1 – βενζίνη, 2 – Μεθανόλη, 3 – Αιθανόλη, 4 – Πετρέλαιο κ.ο.κ.).

Τα μη τυποποιημένα PID είναι και η πλειοψηφία σε σχέση με τα τυποποιημένα. Από τη στιγμή που εξελίχθηκαν τόσο πολύ τα ηλεκτρονικά από την παρουσίαση της θύρας OBD – II μέχρι σήμερα, είναι πολύ φυσιολογικό να υπάρχουν ανάγκες οι οποίες δεν καλύπτονται από τα τυποποιημένα. Δυστυχώς λόγω της μη προτυποποίησής τους είναι αρκετά δύσκολο να είναι ίδια για όλους τους κατασκευαστές. Η κύρια πηγή πληροφορίας που κρατάει αρχείο για αυτά βρίσκεται στις Η.Π.Α. και είναι το Equipment and Tool Institute (ETI) που δυστυχώς τα δεδομένα τα δίνει μόνο στα μέλη του [22]. Η τιμή μέλους για να αποκτήσει κάποιος πρόσβαση διαφέρει από το οικονομικό μέγεθος της επιχείρησης που ζητά την πρόσβαση. Δεν είναι δεδομένο όμως

ότι το να είναι μέλος μια επιχείρηση ότι θα έχει πρόσβαση σε όλα τα μη τυποποιημένα δεδομένα γιατί κάθε εταιρία επιλέγει τι θα δημοσιεύσει [23].

### 2.5.3. CAN – bus Format

Τα ερωτήματα και η απόκριση των PID εμφανίζονται στον δίαυλο της CAN – bus των νεότερων οχημάτων όπως προαναφέρθηκε [24]. Τα τυποποιημένα αιτήματα χρησιμοποιούν λειτουργικές διευθύνσεις. Ο αναγνώστης του διαγνωστικού κάνει το ερώτημα και δέχεται τις ανάλογες απαντήσεις. Η ECU, που θα πρέπει να δώσει απάντηση στις ερωτήσεις της θύρας OBD, λαμβάνει τόσο το ID της ερώτησης όσο και το αναγνωριστικό της CAN και συνθέτει την απάντηση. Πολλά οχήματα έχουν περισσότερες από μία ECU και έτσι μπορεί να χρησιμοποιήσει μέχρι και 8 διαφορετικές ECU για ανεξάρτητη απάντηση στην εκάστοτε ερώτηση της θύρας OBD. Ο δίαυλος της CAN μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για επικοινωνία πέραν των τυπικών μηνυμάτων, μιας και η CAN δεν στοχεύει σε χρήση αποκλειστικά εντός οχημάτων αλλά χρησιμοποιείται γενικότερα στη βιομηχανία. Η απάντηση της ECU έρχεται στην CAN με αναγνωριστικό ID το οποίο εξαρτάται από το ποια μονάδα απάντησε [25]. Για παράδειγμα, το αναγνωριστικό της μηχανής ή της κεντρικής ECU είναι ID 7E8h. Άλλες μονάδες όπως, για παράδειγμα, η ECU του υβριδικού συστήματος ή των μπαταριών σε ένα Toyota Prius απαντούν με αναγνωριστικό 07E9h, 07EAh κ.λπ.

## 2.6. Εφαρμογές της Θύρας OBD

Με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών και του λογισμικού πλέον υπάρχουν πάρα πολλά εργαλεία τα οποία μπορούν να συνδεθούν στη θύρα της OBD – II και να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα που αυτή περιέχει. Αυτά μπορούν να είναι από απλά εργαλεία γενικού σκοπού για καταναλωτές μέχρι πολύπλοκα συστήματα από ανεξάρτητους (OEM) κατασκευαστές για τηλεματική οχημάτων και επαναπρογραμματισμού, σε πραγματικό χρόνο, των χαρτογραφήσεων του εγκεφάλου.

### 2.6.1. Φορητά Εργαλεία Σάρωσης

Είναι απλά εργαλεία ανάγνωσης – επαναφοράς του κώδικα βλαβών και απευθύνονται κυρίως στο επίπεδο των καταναλωτών. Υπάρχουν και επαγγελματικού τύπου που μπορούν να έχουν προηγμένες λειτουργίες όπως για παράδειγμα πρόσβαση σε πιο

προηγμένες διαγνωστικές λειτουργίες. Αυτές μπορεί να είναι ρύθμιση των παραμέτρων της ECU του οχήματος είτε αυτή είναι η προεγκατεστημένη από το εργοστάσιο, είτε είναι αλλαγμένη με κάποια τρίτου κατασκευαστή. Επιπλέον, μπορούν να παρέχουν πρόσβαση σε άλλες μονάδες ελέγχου όπως είναι οι αερόσακοι, το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος τροχών (ABS) και το σύστημα ελέγχου ευστάθειας (ESP). Τέλος, μπορεί να γίνει σε πραγματικό χρόνο παρακολούθηση ή γραφική παράσταση των προαναφερθέντων παραμέτρων [26]. Ένα παράδειγμα του ακολουθεί στο Σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3 Φορητό Εργαλείο Διάγνωσης

#### 2.6.2. Εργαλεία Βασισμένα σε Κινητές Συσκευές

Οι σύγχρονες κινητές συσκευές, όπως smartphones και tablets, έχουν πια αρκετή υπολογιστική δύναμη και ικανού μεγέθους οθόνες για να προβάλουν και να χειρίζονται τα δεδομένα της θύρας OBD – II. Ένα παράδειγμα τέτοιου εργαλείου φαίνεται στο Σχήμα 2.4 Αυτό μπορεί να γίνει με μεταφορά δεδομένων είτε μέσω καλωδίου με προσαρμογέα για micro – USB ή USB type – C στις νεότερες συσκευές, είτε μέσω ασύρματης επικοινωνίας μέσω Wi-Fi, Bluetooth ή ακόμα και στις νέες συσκευές μέσω των δεδομένων από την σύνδεση τηλεφωνίας (3G, 4G, κ.ο.κ.) αν και κάτι τέτοιο δεν είναι ακόμα ευρέως διαδεδομένο. Στην παρούσα διατριβή επιλέχθηκε η ασύρματη τεχνολογία μέσω Bluetooth ως πιο αξιόπιστη και πιο ευρέως διαδεδομένη.



Σχήμα 2.4 Φορητό Εργαλείο Διάγνωσης Εγκατεστημένο σε Tablet

### 2.6.3. Εργαλεία Βασισμένα σε Εγκατεστημένο Λογισμικό σε Υπολογιστές

Ένα εργαλείο ανάλυσης των παραμέτρων της θύρα OBD – II που βασίζεται σε υπολογιστή μετατρέπει τα σήματα της σε σειριακά δεδομένα ή σε δεδομένα που μεταφέρονται μέσω USB. Το λογισμικό στη συνέχεια αποκωδικοποιεί τα ληφθέντα δεδομένα σε οπτική απεικόνιση. Πολλές δημοφιλείς διεπαφές βασίζονται στα ενσωματωμένα συστήματα ελέγχου όπως είναι το ELM ή το STN11x0 τα οποία διαβάζουν όλα τα πρωτόκολλα που έχουν τυποποιηθεί για τη θύρα OBD – II [27]. Στην παρούσα διατριβή επιλέχθηκε το ELM. Ορισμένοι σύγχρονοι προσαρμογείς ενσωματώνουν πια και το πρότυπο API J2534 που τους επιτρέπει να έχουν πρόσβαση και σε φορτηγά οχήματα. Εκτός από τις προαναφερθέντες λειτουργίες των προηγούμενων εργαλείων προσφέρουν και επίσης μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης για καταγραφή δεδομένων σε μεγάλα ταξίδια. Επίσης παρέχουν μεγαλύτερη οθόνη και δυνατότητα χρήσης πολλαπλών προγραμμάτων λογισμικού προσθέτοντας ευελιξία. Στο Σχήμα 2.5 μπορούμε να διακρίνουμε έναν τεχνικό να χρησιμοποιεί ένα τέτοιο εργαλείο εφοδιασμένο με θύρα OBD και πιο συγκεκριμένα EOBD. Ο βαθμός, όμως, στον οποίο ένα τέτοιο εργαλείο υπολογιστή μπορεί να έχει πρόσβαση στα μη τυποποιημένα PID ποικίλλει μεταξύ των προϊόντων.

### 2.6.4. Καταγραφείς Δεδομένων (Data Loggers)

Οι καταγραφείς δεδομένων σχεδιάζονται για να συλλέξουν τα δεδομένα του οχήματος ενώ το όχημα βρίσκεται σε λειτουργία ώστε να αναλυθούν μετέπειτα. Αυτή η τακτική χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα διατριβή. Οι καταγραφείς αυτοί περιλαμβάνουν

παρακολούθηση κινητήρα και οχήματος υπό κανονική λειτουργία [28]. Ορισμένες ασφαλιστικές εταιρίες προσφέρουν τη δυνατότητα μειωμένων ασφαλίσεων μέσω της εγκατάστασης τέτοιων συστημάτων ή καμερών ούτως ώστε να κάνουν αξιολόγηση του κάθε οδηγού και προσαρμογή του συμβολαίου στον τρόπο οδήγησής του.



Σχήμα 2.5 Φορητό Εργαλείο Διάγνωσης Εγκατεστημένο σε Φορητό Υπολογιστή

Αυτή είναι μια μορφή αποτίμησης ρίσκου στην ασφάλεια (auto insurance risk) [29]. Επίσης αυτό μπορεί να γίνει και για παρακολούθηση της συμπεριφοράς του οδηγού από εταιρίες που έχουν μεγάλο στόλο οχημάτων όπως π.χ. ένα ΚΤΕΛ ή μια εταιρία ταξί ή μεταφορών. Μπορούν να έχουν δύο μορφές. Είτε απλά να μεταδίδουν τα δεδομένα όπως αυτός που φαίνεται στο Σχήμα 2.6, είτε να τα αποθηκεύουν κιόλας όπως αυτός που φαίνεται στο Σχήμα 2.7.

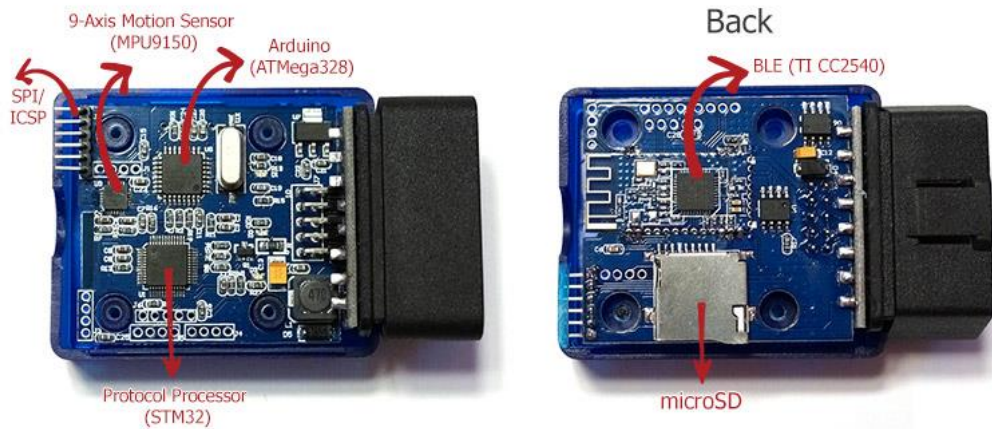


Σχήμα 2.6 Καταγραφέας Δεδομένων Χωρίς Δυνατότητα Αποθήκευσης

Η ανάλυση των ανωτέρω δεδομένων αυτού του καταγραφέα του οχήματος, που παρομοιάζεται με τα μαύρα κουτιά των αεροπλάνων, μπορεί να πραγματοποιείται σε



περιοδική βάση, να μεταδίδεται αυτόματα σε τρίτο μέρος (συγχρονισμός με βάση δεδομένων σε απομακρυσμένο server) ή να αποθηκευτούν και ανακτηθούν από τη συσκευή για ανάλυση από ειδικούς μετά από κάποιο μηχανικό σφάλμα ή ατύχημα.



Σχήμα 2.7 Καταγραφέας Δεδομένων με Δυνατότητα Αποθήκευσης σε Arduino

#### 2.6.5. Δοκιμές Εκπομπών

Στις Η.Π.Α. πολλές πολιτείες χρησιμοποιούν τη θύρα OBD – II αντί για τον έλεγχο της εξαγωγής (εξάτμισης) για εκπομπές ρύπων. Δεδομένου ότι η θύρα OBD – II αποθηκεύει και κωδικούς βλαβών για τις εκπομπές, ο υπολογιστής που δοκιμάζει το όχημα, μπορεί να αναζητήσει τους κωδικούς από την ECU του οχήματος και να επαληθεύσει αν υπάρχουν κωδικοί βλάβης σχετιζόμενοι με τις εκπομπές και ότι το όχημα συμμορφώνεται με τα πρότυπα ανάλογα με το έτος κατασκευής του. Στην Ολλανδία τα οχήματα από το 2006 και μετά υποχρεούνται σε ετήσιο έλεγχο των εκπομπών μέσω EOBD [30].

#### 2.6.6. Συμπληρωματικά Όργανα Πλοήγησης προς τον Οδηγό

Τα συμπληρωματικά όργανα για τον οδηγό εγκαθίστανται σε όχημα επιπλέον εκείνων που παρέχονται από τον κατασκευαστή του οχήματος και προορίζονται για εμφάνιση στον οδηγό κατά την κανονική λειτουργία. Αυτό είναι αντίθετο με τους σαρωτές που πραγματοποιούν κυρίως ενεργή διάγνωση ή κρυφή καταγραφή δεδομένων.

Οι λάτρεις των αυτοκινήτων έχουν παραδοσιακά εγκαταστήσει πρόσθετους μετρητές για την υπερπλήρωση του τούρμπο, τη θερμοκρασία της εξαγωγής ή το ποσοστό του μείγματος αέρα – καυσίμου της εισαγωγής. Αυτά τα όργανα κυρίως εντοπίζονται στην κολώνα του οδηγού ή ακόμα και στο χώρο ανάμεσα σε αυτόν και στον συνοδηγό. Η θύρα OBD – II πλέον τους δίνει τη δυνατότητα να τα προβάλλουν όλα αυτά σε μία συσκευή και επιπλέον να παραμετροποιούν τις επιλογές τους χωρίς να χρειάζεται να εγκαθιστούν νέα όργανα και πρόσθετες καλωδιώσεις [31]. Η προβολή μπορεί να γίνει και ασύρματα σε ένα τάμπλετ και να γίνει επιλογή προβολής οποιασδήποτε από τις παραμέτρους προσφέρει η θύρα OBD – II.

#### 2.6.7. Τηλεματική Οχημάτων (*Vehicular Telematics*)

Τα δεδομένα της θύρας OBD – II πλέον δε χρησιμοποιούνται μόνο από εξειδικευμένους επαγγελματίες ή ενθουσιώδεις οδηγούς για την επισκευή και την παρατήρηση των οχημάτων. Οι πληροφορίες που είναι διαθέσιμες χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση οχημάτων σε πραγματικό χρόνο, την αποδοτικότητα καυσίμων και την απομακρυσμένη διάγνωση. Ειδικά στην τελευταία περίπτωση είναι πολύ χρήσιμο γιατί παρέχονται στα συνεργεία τα δεδομένα ώστε να προβούν άμεσα σε εντολές προς τους επαγγελματίες ή να φτιάξουν το όχημα απομακρυσμένα με τη βοήθεια αυτού ελαχιστοποιώντας έτσι το χρόνο επισκευής όταν παλιότερα έπρεπε το συνεργείο να μεταβεί στο χώρο που βρισκόταν το όχημα με συνέπεια άσκοπη σπατάλη εργατωρών, καυσίμου και χρημάτων. Αν και αρχικά δεν ήταν αυτός ο σκοπός υιοθέτησης της θύρας OBD, τα δεδομένα επιτρέπουν την ανάγνωση της αποδοτικότητας των οδηγών και των οχημάτων του στόλου ούτως ώστε να ερμηνεύουν τα προβλήματα αλλά και να επιβραβεύουν τους αποδοτικότερους οδηγούς ή και το αντίθετο.

#### 2.7. Το Μέλλον της Θύρας OBD (OBD – III)

Επί του παρόντος εξετάζονται τα σχέδια της τρίτης γενιάς τα οποία θα πάνε τις λειτουργίες της θύρας OBD ένα βήμα παραπέρα προσθέτοντας τηλεμετρία. Χρησιμοποιώντας τεχνολογία μικροσκοπικών αναμεταδοτών ραδιοσυχνοτήτων (*miniature radio transponder technology*) παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται ήδη για τα συστήματα αυτόματης ηλεκτρονικής είσπραξης διοδίων, ένα όχημα εξοπλισμένο

με αυτή τη γενιά θα είναι ικανό να αναφέρει τα προβλήματα απευθείας σε ένα ρυθμιστικό οργανισμό (regulatory agency) [32]. Το σύστημα θα μπορεί να ρυθμιστεί για να αναφέρει αυτόματα ένα πρόβλημα ή την τηλεμετρία του μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας ή δορυφορικής σύνδεσης.

Αυτή η προσέγγιση γίνεται ακόμα πιο ελκυστική για την μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας καθώς και την εξοικονόμηση κόστους αλλά και εκπομπών ρύπων. Με την απομακρυσμένη παρακολούθηση μέσω της τηλεμετρίας επί του οχήματος η ανάγκη για περιοδικές επιθεωρήσεις για την κατάσταση του οχήματος θα μπορούσαν να εξαλειφθούν.

Από τη μία πλευρά, η τρίτη γενιά θα μπορεί να αναφέρει μέσω της τηλεμετρίας προβλήματα που θα γλύτωνε τους καταναλωτές από περιττά έξοδα για δοκιμές ελέγχου εφόσον όταν υπήρχε πρόβλημα θα χρειαζόταν να δοκιμαστεί ξανά από τους αρμόδιους φορείς. Από την άλλη πλευρά, σε περίπτωση που όντως εντοπίζεται κάποιο πρόβλημα θα είναι και πιο εύκολος ο εντοπισμός βλαβών. Μειώνοντας τη ρύπανση προκύπτουν σημαντικά οφέλη για τη βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Ωστόσο, στη σημερινή εποχή μπορούν να αποφύγουν την ανάγκη για έλεγχο και επισκευή μέσα στο διάστημα που απαιτείται συνήθως για την τακτική επιθεώρηση του οχήματος.

Φυσικά, ένα αόρατο φάντασμα που θα ελέγχει και θα αναφέρει κάθε παράμετρο για κάθε όχημα δεν είναι κάτι το οποίο θα ενθαρρύνει τους οδηγούς αλλά θα πρέπει να πραγματοποιηθεί κατάλληλη εκστρατεία ενημέρωσης γύρω από τα πολλαπλά οφέλη κυρίως στον τομέα της κατανάλωσης και των εκπομπών ρύπων. Όμως παραμένει πάντοτε το ερώτημα περί προστασίας ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων.

Μία ακόμα αλλαγή που θα μπορούσε να έρθει με την νέα γενιά θα ήταν η πραγματοποίηση πιο λεπτομερών ελέγχων στα οχήματα για αστοχίες. Ενδεχομένως, αυτό να απαιτούσε συστήματα “fly – by – wire” [32] όπως έχουν τα σύγχρονα αεροσκάφη για την αποφυγή αστοχιών. Αυτή η ανάγκη κρίνεται επιτακτική με τον ολοένα αυξανόμενο όγκο αυτόνομων οχημάτων που αναμένεται να κυκλοφορήσουν σε μαζική παραγωγή μέσα στην επόμενη δεκαετία.

Αξίζει να σημειωθεί ότι από το σημείο αυτό και μέχρι το πέρας της διατριβής όπου αναφέρεται σκέτη η λέξη OBD θα εννοείται η δεύτερη γενιά αυτής καθότι είναι και η γενιά με την οποία πραγματοποιήθηκε η διατριβή. Κάθε άλλη αναφορά σε διαφορετική γενιά ή έκδοση θα προσδιορίζεται συγκεκριμένα με το χαρακτηριστικό της αρκτικόλεξο.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.**

### **ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

---

- 3.1. Διαδικασία Ανάκτησης, Προβολής και Αποθήκευσης των Δεδομένων
  - 3.2. Ο Μικροελεγκτής ELM327
  - 3.3. Ανάκτηση και Αποθήκευση των Δεδομένων σε «Εξυπνα Κινητά»- Smartphones»
- 

#### **3.1. Διαδικασία Ανάκτησης, Προβολής και Αποθήκευσης Δεδομένων**

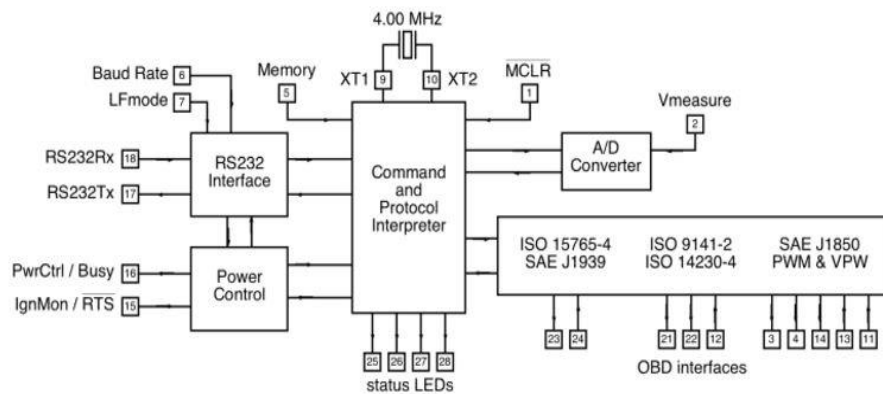
Στόχος της παρούσας διατριβής, όπως ειπώθηκε στην εισαγωγή, είναι η καθολική επεξεργασία των δεδομένων που προέρχονται από τη θύρα OBD ή την CAN των οχημάτων. Τα δεδομένα και τα μηνύματα που περιέχονται είναι ανάλογα του τρόπου λειτουργίας, σε ποιο pin κατευθύνονται καθώς επίσης και τη μάρκα του αυτοκινήτου. Για να είναι όσο πιο γενικευμένη η παρούσα διατριβή δεν ήταν δυνατό να επιλεγεί λύση μέσω υπολογιστή και χρήσης εταιρικών προγραμμάτων. Έτσι, επιλέχθηκε η λύση του καταγραφέα δεδομένων που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 2.6.4 ώστε να γίνεται ανάκτηση όλων των δεδομένων ανεξαρτήτως μάρκας, μοντέλου, έκδοσης κ.λπ.. Έπειτα από εξέταση αποφασίστηκε η λύση μέσω ασύρματης ζεύξης για εύκολη εγκατάσταση σε διαφορετικά οχήματα καθώς επίσης για την αποφυγή καλωδίωσης. Επιλέχθηκε η λύση του πιο γνωστού μικροελεγκτή (microcontroller) της ELM Electronics ο οποίος ονομάζεται ELM327 και έχει προγραμματιστεί για να παρέχει όλες τις τιμές δεδομένων καθώς και όλους τους τρόπους λειτουργίας. Στο Σχήμα 3.1 διακρίνεται το σχηματικό του διάγραμμα (Block Diagram), υποδεικνύοντας όλα τα επιμέρους ηλεκτρονικά στοιχεία καθώς και τη σύνδεση μεταξύ τους.

#### **3.2. Ο Μικροελεγκτής ELM327**

Ο ELM327 είναι ένας προγραμματιζόμενος μικροελεγκτής ο οποίος έχει παραχθεί από την ELM Electronics. Έχει εξ επί τούτου κατασκευαστεί για να μεταφράζει τα σήματα της θύρας OBD σε δεδομένα δεκαεξαδικής μορφής (RS – 232) [33] . Το πρωτόκολλο εντολών ELM327 όπως ονομάζεται το πρωτόκολλο που υλοποιεί ο μικροελεγκτής είναι ένα από τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα στο συγκεκριμένο χώρο. Πάρα πολλοί

κατασκευαστές παρόμοιων συστημάτων χρησιμοποιούν το ίδιο πρωτόκολλο. Το αυθεντικό, όμως, ELM327 είναι το μόνο που έχει υλοποιηθεί σε επίπεδο υλικού (hardware) με τον PIC18F2480 μικροελεγκτή της εταιρίας Microchip Technology και διακρίνεται για την αξιοπιστία του σε σχέση με τον ανταγωνισμό. Η ELM Electronics παρέχει και άλλους παρόμοιους μικροελεγκτές αλλά δεν υλοποιούν όλες τις λειτουργίες της θύρας OBD. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε ο ELM327.

**Block Diagram**



Σχήμα 3.1 Σχηματικό Διάγραμμα (Block Diagram) του ELM327

### 3.2.1. Χρήσεις

Ο ELM327 στην ουσία αναπληρώνει το χαμηλού – επιπέδου πρωτόκολλο και προσφέρει μια απλή διεπαφή η οποία μπορεί να κληθεί μέσα από την UART συνήθως από κάποιο διαγνωστικό εργαλείο ή ένα πρόγραμμα μέσα από υπολογιστή συνδεδεμένο μέσω USB, RS – 232, Bluetooth ή Wi – Fi. Στην παρούσα διατριβή, η ασύρματη ζεύξη επιλέχθηκε μέσω της τεχνολογίας Bluetooth. Κάποιες νέες εφαρμογές περιλαμβάνουν και έξυπνα κινητά (smartphones) ή τάμπλετ. Υπάρχει πληθώρα εφαρμογών που μπορούν να αξιοποιήσουν τον ELM327 [34].

Κάποιες από τις λειτουργίες που μπορεί να προσφέρει είναι η προβολή επιπλέον τιμών και παραμέτρων λειτουργίας του οχήματος, πέραν όσων εμφανίζονται στον πίνακα οργάνων, καθώς επίσης και η εκκαθάριση και η αναφορά κωδικών λαθών (error codes) [35]. Ο ELM327 υποστηρίζει όλα τα τυποποιημένα πρωτόκολλα για τη θύρα OBD είτε

ανήκουν στην οικογένεια SAE (π.χ. J1850, 1939), είτε στην ISO (π.χ. 91410-2, 14230-4, 15765-4) [36].

### 3.2.2. Κλώνοι του ELM327

Όπως επισημάνθηκε προηγουμένως, ο ELM327 είναι ένας μικροελεγκτής ο οποίος έχει παραχθεί και έχει τροποποιηθεί κατάλληλα από την εταιρία ELM Electronics. Περιέχει κώδικα που ανήκει στην εταιρία ώστε να υλοποιεί τα πρωτόκολλα. Στην έκδοση 1.0 (v1.0) του ELM327 δεν είχε ενεργοποιηθεί η δυνατότητα προστασίας από αντιγραφή στον μικροελεγκτή. Κατά συνέπεια, οποιοσδήποτε μπορούσε να αγοράσει ένα αυθεντικό ELM327 και να διαβάσει τον κώδικά του που ανήκε στην εταιρία, χρησιμοποιώντας μία συσκευή προγραμματισμού άλλων συσκευών (device programmer) [37].

#### Original ELM327 2.2 SM Based OBD2 Interface

The adapter is based on genuine on newest ELM327 2.2 SM chip by ELM Electronics

Bluetooth version: 2.1

This is **genuine** v2.2 ELM327 chip based Bluetooth scanner that uses **Elm Electronics chip**.

This is how the ELM327 chip is looking:



The genuine ELM327 2.2 SM from ELM Electronics has the dimensions of 7 mm x 18 mm. If you buy a interface from other sellers, and you find another design chip - it is a clone. A clone chip may be square shape, or may be smaller.

Our products are based on the laser engraved model of ELM327 ELM Electronics Chip. It is the original chip, supplied by ELM Electronics from Canada. This is NOT a clone as is sold in 90% of cases on eBay. How do you know it's a clone? It'll have these version numbers: v1.4a, v1.5, v1.5a.

Caution: we also have found sellers that claims they sell original ELM Electronics firmware interfaces (pay attention - not original chip, but firmware). Please note ELM Electronics produce already programmed chips, and they not sell just the firmware, it may be a cracked version, or may be a modified chinese version, but a cracked will never be like the original, so be careful when you choose your product.

### Σχήμα 3.2 Χαρακτηριστικά Αυθεντικότητας του ELM327

Έχοντας λοιπόν αποκτήσει αυτόν τον μικροκώδικα (microcode), οι ενδιαφερόμενοι μπορούσαν πολύ εύκολα να παράγουν κλώνους του ELM327 αγοράζοντας το υλικό κατευθείαν από την εταιρία MicroChip και να το προγραμματίζουν με τον κώδικα τον οποίο αντέγραψαν. Οι κλώνοι του πουλήθηκαν ευρέως μιας και μπορούσαν όσοι

παρήγαγαν τους κλώνους να ισχυρίζονται ότι είναι όντως ένας πραγματικός ELM327. Δυστυχώς υπήρξαν προβλήματα παρόλο που η εταιρία είχε ενημερώσει την έκδοση του μικροκώδικα ώστε να αντιμετωπίσει αφενός την πειρατεία, αφετέρου τα διάφορα προβλήματα που προέκυψαν από την πρώτη έκδοση (bugs) [38]. Αξιοσημείωτο είναι δε, ότι πολλές φορές αναφέρουν έκδοση η οποία πραγματικά δεν υφίσταται [39], κάτι που απαιτεί προσοχή για την άρτια λειτουργία του ELM327, αποφεύγοντας τη χρήση κλώνων, χρησιμοποιώντας αυθεντικούς προσαρμογείς όπως αυτός που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.2. Οι πραγματικές εκδόσεις εκτός της πρώτης (1.0) είναι οι 1.3a, 1.4b, 2.1 και 2.2 μόνο [40]. Οι κλώνοι έχουν αποκλειστικά την έκδοση 1.0 διότι ήταν η μόνη χωρίς προστασία αντιγραφής, ενώ αναφέρουν ότι έχουν την έκδοση 1.5 παρόλο που δεν υπάρχει πραγματικά αυτή η έκδοση. Ένας τέτοιος κλώνος διακρίνεται στο Σχήμα 3.3 όπου δεν αναφέρεται πουθενά η έκδοση του πρωτοκόλλου του ELM327 που έχει υλοποιημένη.



Σχήμα 3.3 Κλώνος του ELM327 Χωρίς Έκδοση του Πρωτοκόλλου

### 3.3. Ανάκτηση και Αποθήκευση των Δεδομένων σε «Έξυπνα Τηλέφωνα»

Τα δεδομένα, μέσω του ELM327, θα πρέπει και να ανακτηθούν από κάποια συσκευή ώστε να αξιοποιηθούν, π.χ. να προβληθούν ώστε να ενημερωθεί ο οδηγός σε πραγματικό χρόνο (real time) για τον τρόπο που οδηγεί και για διάφορες παραμέτρους του οχήματος. Κλασικό παράδειγμα είναι ύστερα από πολύωρη οδήγηση ένα σύγχρονο επαγγελματικό αυτοκίνητο να ενημερώνει τον οδηγό για τη θερμοκρασία του κινητήρα ή του κιβωτίου ταχυτήτων (σασμάν). Στην παρούσα διατριβή, επιλέχθηκε η

λύση της λήψης των δεδομένων μέσα από σύνδεση Bluetooth σε εφαρμογή για περιβάλλον Android. Η έκδοση του ELM327 που αποκτήθηκε για τις ανάγκες της διατριβής είναι η 2.1 που ήταν η πιο πρόσφατη όταν ξεκίνησαν τα πειράματα.

### *3.3.1. Δημιουργία της Εφαρμογής*

Εφόσον επιλέχθηκε ο ELM327 ο οποίος μπορεί να περιέχει όλα τα πρωτόκολλα που είναι τυποποιημένα για τη θύρα OBD, η εφαρμογή θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι να μπορούν όλα τα πρωτόκολλα να υποστηρίζονται. Για την ανάπτυξή της, από τη στιγμή που επιλέχθηκε το λειτουργικό Android χρησιμοποιήθηκε το επίσημο εργαλείο της Google που ονομάζεται Android Studio. Η έκδοση του Android Studio που χρησιμοποιήθηκε είναι η 2.2. Για να είναι συμβατό με την μεγαλύτερη πληθώρα των συσκευών που χρησιμοποιούνται σήμερα επιλέχθηκε να υποστηρίζονται οι εκδόσεις από την 4.4 (Kit-Kat) του Android και νεότερες. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται είναι η Java.

### *3.3.2. ECU Simulator*

Ο ELM327 που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής παρέχει τα δεδομένα απρόσκοπτα, είτε χρησιμοποιείται σε πραγματική θύρα OBD οχήματος είτε σε κάποιο σύστημα που προσομοιώνει τις λειτουργίες αυτού. Ένα τέτοιο σύστημα είναι και το ECUsim 2000 της εταιρίας ScanTool, το οποίο όμως υλοποιεί μόνο το πρωτόκολλο ISO 15765 (CAN). Το συγκεκριμένο κοστίζει περίπου 500 Ευρώ. Επίσης, κάποιος άλλος παρόμοιος προσομοιωτής του εμπορίου που να μπορεί να παρέχει πληροφορίες για όλα τα πρωτόκολλα, όπως το μοντέλο 5100 της ίδιας εταιρίας, εκτοξεύει το κόστος πάνω από 1500 Ευρώ το οποίο ήταν απαγορευτικό ώστε να καλυφθεί είτε από κονδύλια του εργαστηρίου είτε από ίδια μέσα. Έτσι αποφασίστηκε η δοκιμή του σε πραγματικά οχήματα.

### *3.3.3. Ανάπτυξη της Εφαρμογής*

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας, μιας συσκευής Android με τη θύρα OBD του οχήματος (ή του προσομοιωτή), είναι τύπου δημοσκόπησης βασισμένο σε κείμενο (text – based polling type protocol). Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να στείλει η συσκευή μια εντολή



ώστε να λάβει απάντηση. Φυσικά, θα πρέπει εκ των προτέρων να γνωρίζουμε επακριβώς πώς πρέπει να δομηθεί αυτή η εντολή.

Ο προσαρμογέας, όπως ειπώθηκε παραπάνω, θα συνδεθεί μέσω Bluetooth με τη συσκευή. Για να επιτευχθεί αυτό θα χρησιμοποιηθεί το Bluetooth Low Energy API (BLE). Προτιμήθηκε έναντι του κλασσικού Bluetooth API διότι καταναλώνει ελάχιστη ενέργεια και είναι καταλληλότερο για συσκευές που χρησιμοποιούν μπαταρία για μεγάλα χρονικά διαστήματα όπως ένα smartphone. Βέβαια, εν αρχή δεν ήταν τόσο διαδεδομένο αλλά πλέον με την έξαρση των εφαρμογών για το «Internet of Things» είναι ευρύτατα υποστηριζόμενο από πάρα πολλές συσκευές. Οι εντολές τύπου AT (AT commands) της θύρας OBD όπως αυτές ειπώθηκαν άνωθεν στο κείμενο ελέγχουν τη γραμμή «τροφοδοσίας» των δεδομένων (data line feed).

Το γενικότερο διάγραμμα της λειτουργίας της εφαρμογής έχει ως εξής:

1. Σύνδεση του προσαρμογέα μέσω Bluetooth.
2. Αρχικοποίηση του προσαρμογέα της θύρας OBD μέσα από τις εντολές AT .
3. Συνεχής ανάκτηση δεδομένων από το όχημα μέσα από τη χρήση των κατάλληλων PID κωδικών.

Για το πρώτο μέρος του διαγράμματος παρατίθεται το αντίστοιχο κομμάτι κώδικα στο Σχήμα 3.4 που ακολουθεί.

```

ArrayList deviceStrs = new ArrayList();
final ArrayList devices = new ArrayList();

BluetoothAdapter btAdapter = BluetoothAdapter.getDefaultAdapter();
Set pairedDevices = btAdapter.getBondedDevices();
if (pairedDevices.size() > 0)
{
    for (BluetoothDevice device : pairedDevices)
    {
        deviceStrs.add(device.getName() + "\n" + device.getAddress());
        devices.add(device.getAddress());
    }
}

// show list
final AlertDialog.Builder alertDialog = new AlertDialog.Builder(this);

ArrayAdapter adapter = new ArrayAdapter(this, android.R.layout.select_dialog_singlechoice,
    deviceStrs.toArray(new String[deviceStrs.size()]));

alertDialog.setSingleChoiceItems(adapter, -1, new DialogInterface.OnClickListener() {
    @Override
    public void onClick(DialogInterface dialog, int which)
    {
        dialog.dismiss();
        int position = ((AlertDialog) dialog).getListView().getCheckedItemPosition();
        String deviceAddress = devices.get(position);
        // TODO save deviceAddress
    }
});

alertDialog.setTitle("Choose Bluetooth device");
alertDialog.show();

```

Σχήμα 3.4 Κώδικας Σύνδεσης με το Bluetooth Low Energy API

Για τη σύνδεση της συσκευής με τη θύρα OBD πρώτα αναζητούνται από τη συσκευή, μέσα από κατάλληλο μήνυμα, οι διαθέσιμες συσκευές Bluetooth και έπειτα επιλέγεται ο προσαρμογέας. Θα πρέπει επίσης η διεύθυνση της συσκευής μετά τη σύνδεση να αποθηκεύεται ώστε να επαναχρησιμοποιείται χωρίς να απαιτείται εκ νέου επανασύνδεση. Το τμήμα του κώδικα για τη διαδικασία αυτή διακρίνεται ακολούθως στο Σχήμα 3.5.

```

BluetoothAdapter btAdapter = BluetoothAdapter.getDefaultAdapter();

BluetoothDevice device = btAdapter.getRemoteDevice(deviceAddress);

UUID uuid = UUID.fromString("00001101-0000-1000-8000-00805F9B34FB");

BluetoothSocket socket = device.createInsecureRfcommSocketToServiceRecord(uuid);

socket.connect();

```

Σχήμα 3.5 Αποθήκευση και Σύνδεση με τη Συσκευή

Ακολούθως, μπορούμε να συνδέσουμε την Android συσκευή στον προσαρμογέα. Για χάριν ευκολίας, για το υπόλοιπο της διατριβής, η Android συσκευή θα αναφέρεται ως συσκευή και ο προσαρμογέας της θύρας OBD (ELM327) ως προσαρμογέας. Για να επιτευχθεί η ανάκτηση των δεδομένων, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η βιβλιοθήκη OBD-Java-API που παρέχει συναρτήσεις για τη σωστή διαχείριση των PID. Η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη είναι εύκολη στη χρήση και παρέχει διάφορες κλάσεις οι οποίες αναφέρονται σε διαφορετικές εντολές της θύρας OBD. Όμως θα πρέπει προσεκτικά να αρχικοποιηθεί ο προσαρμογέας. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες εντολές αρχικοποίησης και διαμόρφωσης. Αυτό είναι το δεύτερο μέρος του διαγράμματος που παρουσιάστηκε πριν και το τμήμα κώδικα για αυτό ακολουθεί στο Σχήμα 3.6. Ανάλογα θα πρέπει να παραμετροποιηθούν τα μεγέθη των εκάστοτε buffer ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητα προβλήματα (crashes) στη λειτουργία της εφαρμογής. Επιπλέον, η ανάκτηση των δεδομένων, που είναι το τρίτο μέρος του διαγράμματος λειτουργίας, θα πρέπει να γίνεται με συγκεκριμένες εντολές για κάθε PID.

```
new EchoOffObdCommand().run(socket.getInputStream(), socket.getOutputStream());

new LineFeedOffObdCommand().run(socket.getInputStream(), socket.getOutputStream());

new TimeoutObdCommand().run(socket.getInputStream(), socket.getOutputStream());

new SelectProtocolObdCommand(ObdProtocols.AUTO).run(socket.getInputStream(),
socket.getOutputStream());
```

Σχήμα 3.6 Αρχικοποίηση και Διαμόρφωση

Στο Σχήμα 3.7 που ακολουθεί διακρίνεται ένα παράδειγμα ανάκτησης των δεδομένων για τις στροφές του κινητήρα ανά λεπτό καθώς και την ένδειξη της ταχύτητάς του. Εν συνεχεία, θα πρέπει τα δεδομένα να αποθηκευτούν στη συσκευή. Αυτό γίνεται δημιουργώντας ένα αρχείο τύπου «.csv» το οποίο έχει σε κάθε στήλη τον τίτλο και τα δεδομένα από κάθε αισθητήρα καθώς και μία στήλη που αναφέρεται στον χρόνο στον οποίο ανακτήθηκαν τα δεδομένα. Το αρχείο παράγεται μετά το τέλος της κάθε διαδρομής και αποθηκεύεται στη συσκευή με χαρακτηριστικό όνομα το οποίο περιέχει

την ημερομηνία και την ώρα που αυτό δημιουργήθηκε ώστε να ξεχωρίζονται τα επιμέρους αρχεία.

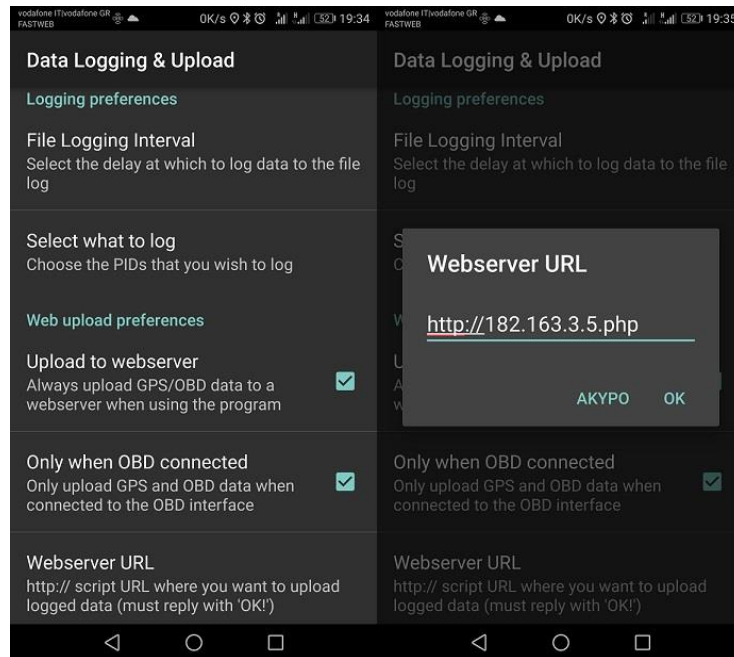
```
EngineRPMObdCommand engineRpmCommand = new EngineRPMObdCommand();
SpeedObdCommand speedCommand = new SpeedObdCommand();
while (!Thread.currentThread().isInterrupted())
{
    engineRpmCommand.run(sock.getInputStream(), sock.getOutputStream());
    speedCommand.run(sock.getInputStream(), sock.getOutputStream());
    // TODO handle commands result
    Log.d(TAG, "RPM: " + engineRpmCommand.getFormattedResult());
    Log.d(TAG, "Speed: " + speedCommand.getFormattedResult());
}
```

Σχήμα 3.7 Εντολές Ανάκτησης Δεδομένων

Επιπλέον, στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε μία επιπλέον δυνατότητα. Αυτή αφορά την ευχέρεια να μπορεί το αρχείο αυτόματα να ανεβαίνει σε κάποιο server ώστε να μη χρειάζεται η σύνδεση της συσκευής με υπολογιστή για την ανάκτηση των δεδομένων. Αυτό γίνεται κάθε φορά που η συσκευή συνδέεται στο διαδίκτυο, είτε μέσω δεδομένων κινητής τηλεφωνίας, είτε μέσω σύνδεσης Wi-Fi και η εφαρμογή είναι ανοιχτή. Ο συγχρονισμός γίνεται σε μια βάση δεδομένων που φιλοξενείται στον server που δημιουργήθηκε για το σκοπό αυτό. Για την αποφυγή διπλότυπων αρχείων η διαδικασία περιλαμβάνει έλεγχο των αρχείων της συσκευής και ανέβασμα όσων δεν έχουν ήδη ανέβει. Ο έλεγχος διαγραφής των αρχείων από τη μεριά του server δε δύναται να πραγματοποιηθεί από τη συσκευή καθότι δεν της παρέχονται τέτοια δικαιώματα. Στο Σχήμα 3.8 παρουσιάζεται το μενού της εφαρμογής από όπου μπορεί να επιλεγθεί η δυνατότητα αποθήκευσης των δεδομένων στον server.

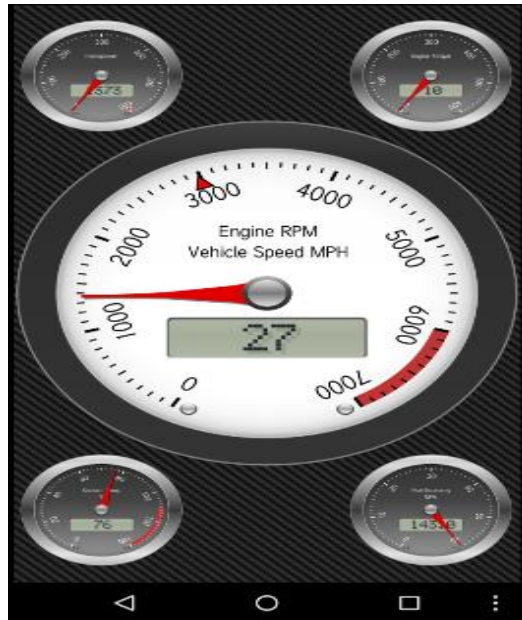
Ο server που χρησιμοποιήθηκε, χρηματοδοτήθηκε με ίδια μέσα και δεν ήταν φυσικός υπολογιστής στημένος σε κάποιο εργαστήριο αλλά εικονικός (virtual server). Αποκτήθηκε από την εταιρία 1&1 Web Hosting και ήταν η πιο απλή και συνάμα φθηνή έκδοση μιας και οι απαιτήσεις δεν ήταν ιδιαίτερα υψηλές. Τα μεγέθη του ήταν 160GB σκληρού δίσκου SSD και 4GB μνήμης RAM της πιο σύγχρονης τεχνολογικής γενιάς

DDR4. Το λειτουργικό το οποίο τοποθετήθηκε είναι το Ubuntu 16.04 LTS 64-bit και η βάση δεδομένων ήταν τύπου MySQL.

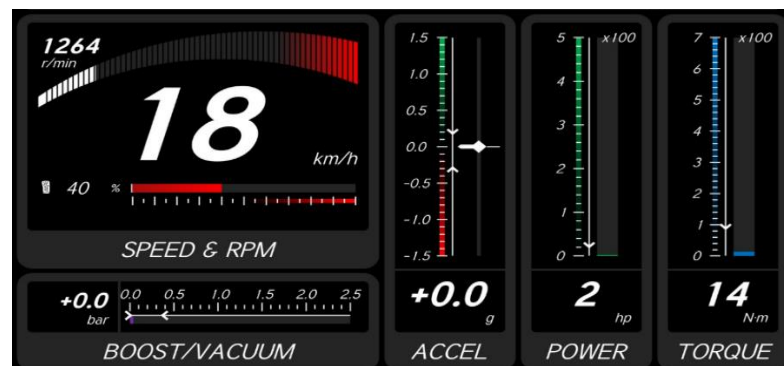


Σχήμα 3.8 Μενού Μεταφόρτωσης Δεδομένων σε Απομακρυσμένο Server

Για την εμφάνιση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο δημιουργήθηκε στην εφαρμογή κατάλληλο μενού όπου δύναται να εμφανισθούν τα δεδομένα είτε σε απομίμηση αναλογικών τιμών η ψηφιακών. Στο Σχήμα 3.9 διακρίνεται ο κεντρικός δείκτης για τις στροφές του κινητήρα και της ταχύτητας του οχήματος ενώ οι υπόλοιποι δείκτες αφορούν την ιπποδύναμη, τη ροπή, τη θερμοκρασία καθώς και την κατανάλωση. Στο Σχήμα 3.10 διακρίνεται επάνω αριστερά ομοίως η ταχύτητα και οι στροφές του κινητήρα. Από κάτω διακρίνεται η πίεση υπερπλήρωσης (αφορά οχήματα με turbo/compressor). Δεξιά διακρίνονται κατά σειρά η διαμήκης επιτάχυνση, η ισχύς και η ροπή του κινητήρα. Όλες οι τιμές είναι στιγμιαίες.



Σχήμα 3.9 Ένδειξη Αναλογικών Τιμών



Σχήμα 3.10 Ένδειξη Ψηφιακών Τιμών

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

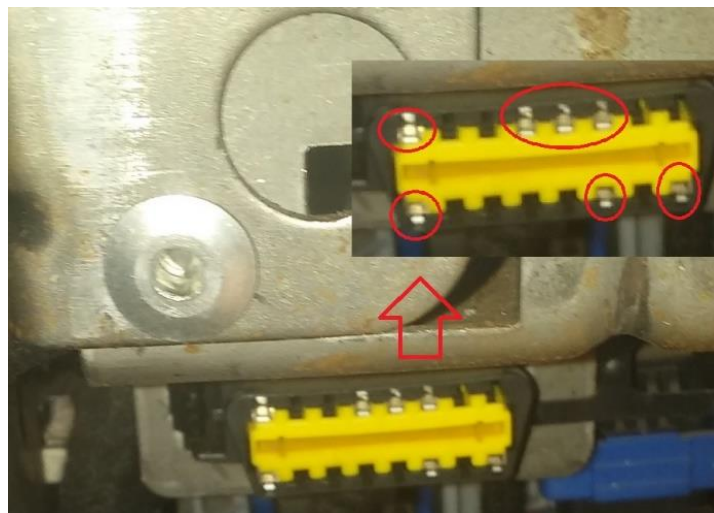
### ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

---

- 4.1. Παράδειγμα Εγκατάστασης του ELM327 και Ανάκτησης Δεδομένων
  - 4.2. Άλλες Δυνατότητες Μέτρησης Δεδομένων και Εξαγωγής Συμπερασμάτων
  - 4.3. Αναγνώριση Οδηγών Ανάλογα με το Οδηγικό τους Προφίλ
  - 4.4. Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Μεθόδου Αναγνώρισης Οδηγών
- 

#### 4.1. Παράδειγμα Εγκατάστασης του ELM327 και Ανάκτησης Δεδομένων

Όπως προαναφέρθηκε προς χάριν συντομεύσεως ως προσαρμογέα αναφέρεται ο ELM327 και ως συσκευή το “smartphone” που χρησιμοποιήθηκε. Στο Σχήμα 4.1 που ακολουθεί εμφανίζεται η θύρα OBD που είναι τοποθετημένη αριστερά της κολώνας του τιμονιού σε απόσταση μικρότερη του μέτρου όπως ορίζει η προτυποποίηση. Το όχημα είναι ένα Fiat Punto Eno με κινητήρα 1300 κυβικών εκατοστών που χρησιμοποιεί ως καύσιμο το πετρέλαιο (Diesel) με έτος κατασκευής 2011 και γενικότερης παραγωγής του μοντέλου 2010.



Σχήμα 4.1 Θύρα OBD σε Fiat Punto (2011)

Στο σχήμα αυτό βλέπουμε ότι είναι υλοποιημένα τα PIN 1,4-6,9,14,16. Μιας και το όχημα είναι της εταιρίας Fiat το PIN 1 είναι το Infotainment CAN High. Τα 4,5 είναι οι γειώσεις για το σασί και τα σήματα (chassis and signal). Τα PIN 6 και από κάτω του το 14 είναι υπεύθυνα για το υψηλό και χαμηλό σήμα της θύρας CAN (CAN – High και CAN – Low) που υλοποιούν τα ISO 15765-4 και SAE J2284 πρωτόκολλα. Το PIN 9 χρησιμοποιείται για το ALDL και το PIN 16 είναι για τροφοδοσία από τη μπαταρία του οχήματος τύπου «Α» παροχής 12V/4A.

Ακολούθως, στο Σχήμα 4.2 εμφανίζεται τοποθετημένος ο προσαρμογέας χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα που υποδεικνύει ότι είναι συνδεδεμένος με το όχημα αλλά ακόμα δε λειτουργεί ο κινητήρας. Όταν τεθεί σε λειτουργία ο κινητήρας και αρχίσει να δέχεται δεδομένα, το χρώμα γίνεται πράσινο. Μετέπειτα, εάν συνδεθεί με τη συσκευή (smartphone) αναβοσβήνει ένας διπλανός κίτρινος ενδείκτης που υποδεικνύει τη μετάδοση των δεδομένων.

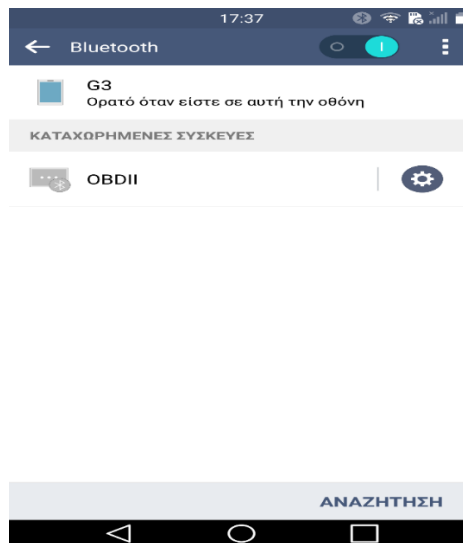


Σχήμα 4.2 ELM327 Εγκατεστημένος σε Όχημα Δοκιμής

Στο Σχήμα 4.3 εμφανίζεται η ανίχνευση του προσαρμογέα από τη συσκευή έτσι ώστε να επιτευχθεί η ζεύξη και να αρχίσει η μετάδοση των δεδομένων. Για να γίνει αυτό, και για λόγους ασφαλείας, χρειάζεται ένας κωδικός, ο οποίος είναι σταθερός και ίσος με

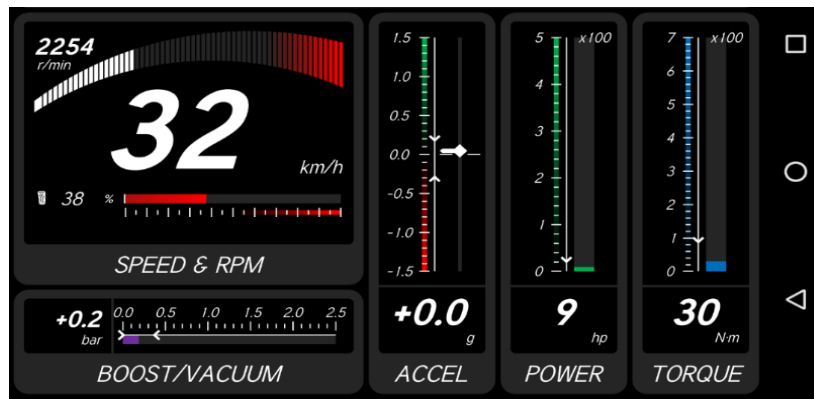


«1234». Αυτή η ζεύξη εμφανίζεται ως αναδύομενο μενού στην αρχή της εφαρμογής ώστε να μπορέσει μετέπειτα να λειτουργήσει απρόσκοπτα. Εάν δεν επιτευχθεί σωστά η ζεύξη δεν μπορεί να λειτουργήσει η εφαρμογή.



Σχήμα 4.3 Ζεύξη της Συσκευής και του Προσαρμογέα μέσω Bluetooth.

Στο Σχήμα 4.4 εμφανίζονται πραγματικά δεδομένα μετά από τη σωστή ζεύξη. Όλες οι μονάδες είναι οι επίσημες μονάδες του διεθνούς συστήματος μέτρησης μονάδων *Système International (d'unités)* ή *International System of Units*. Βέβαια, σε πολλές περιπτώσεις έγινε κλιμάκωση για καλύτερη εμφάνιση των δεδομένων όπως, για παράδειγμα, στην ένδειξη της ταχύτητας δεν εμφανίζονται τα μέτρα ανά δευτερόλεπτο όπως θα όριζε το SI αλλά κάποια παράγωγά τους τα οποία, εν προκειμένω, είναι χιλιόμετρα ανά ώρα. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4, λειτουργεί και η ένδειξη υπερπλήρωσης του turbo μιας και το συγκεκριμένο όχημα εξοπλίζεται με τέτοια τεχνολογία όπως τα περισσότερα μοντέλα με καύσιμο το πετρέλαιο κίνησης. Επίσης, εκτός από τις στροφές του κινητήρα που εμφανίζονται άνω αριστερά, φαίνονται και τα χιλιόμετρα με τα οποία κινείται το όχημα, καθώς και το ποσοστό πίεσης του πεντάλ του γκαζιού την συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Επιπλέον, εμφανίζονται στα δεξιά η διαμήκης επιτάχυνση της βαρύτητας του οχήματος καθώς και η στιγμιαία απόδοση της ιπποδύναμης και της ροπής του.



Σχήμα 4.4 Εμφάνιση Δεδομένων σε Πραγματικό Χρόνο

Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, πως είναι θέμα επιλογής του κάθε χειριστή της εφαρμογής στο ποια PID θεωρεί σημαντικά ώστε να παρουσιάζει στην οθόνη αλλά όλα τα δυνατά PID καταγράφονται με σκοπό την αποθήκευση, αξιολόγηση και επεξεργασία τους. Για την ομαλή λειτουργία της εφαρμογής, μπορεί να επιλεγεί ο τύπος του οχήματος και κάποια βασικά στοιχεία ώστε τα καντράν να είναι πιο αληθοφανή. Για παράδειγμα, σε ένα βενζινοκίνητο όχημα ο κόφτης στροφών (revving limiter) είναι συνήθως πάνω από τις 6000 στροφές ανά λεπτό (σ.α.λ.). Από την άλλη σε ένα σπορ βενζινοκίνητο όχημα μπορεί να υπερβαίνει τις 8000 ενώ σε ένα πετρελαιοκίνητο παρόλο που δεν υπάρχει αντίστοιχη μηχανολογική διάταξη, μετά από ένα σημείο το έργο του κινητήρα είναι μηδαμινό σχετικά με την κατανάλωση και τις στροφές που λειτουργεί. Έτσι, υιοθετείται από τους κατασκευαστές η λύση της παύσης παροχής μείγματος αέρα – καυσίμου με σκοπό να αποφευχθεί η πίεση του κινητήρα σε αυτό το εύρος στροφών και να αποφευχθούν βλάβες σε αυτόν. Αυτό το όριο συνήθως σε επιβατηγά και ελαφριά φορτηγά είναι κάπου ανάμεσα στις 4000 και 4500 σ.α.λ.. Στα μεγάλα οχήματα, το όριο μειώνεται στο μισό περίπου. Ενημερωτικά, ένας πετρελαιοκινητήρας που κινεί ένα τεράστιο πλοίο τύπου κρουαζιερόπλοιου ή πετρελαιοφόρου έχει όριο τις 150 με 200 σ.α.λ..

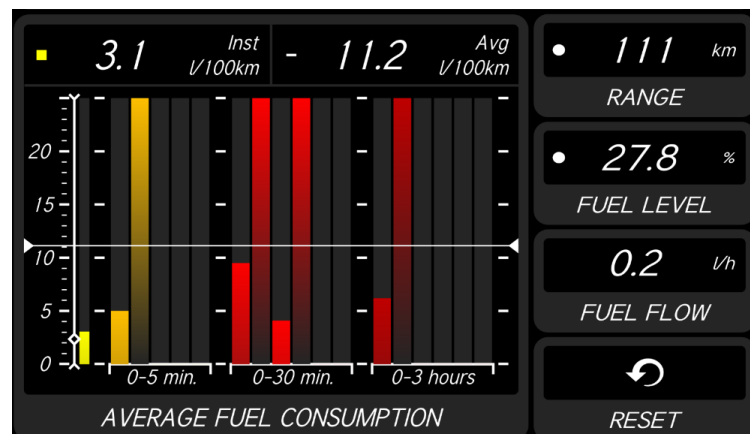
## 4.2. Άλλες Δυνατότητες Μέτρησης Δεδομένων και Εξαγωγής Συμπερασμάτων

### 4.2.1. Διαφορετικά Δεδομένα που Μπορούν να Προβληθούν

Φυσικά, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, όλα τα PIDs μπορούν να καταγράφονται και είναι θέμα επιλογής για το ποια θα φαίνονται. Αρχικός σκοπός της παρούσας διατριβής είναι

η δυνατότητα εμφάνισης όσο το δυνατόν περισσότερων επιλογών καθώς και η ακριβής εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα δεδομένα αυτά. Έτσι, αποφασίστηκε να συμπεριληφθούν δεδομένα για την πληροφόρηση του οδηγού για το αποτέλεσμα του τρόπου οδήγησής του σχετικά με την κατανάλωση καθώς και την ευγενή συμπεριφορά ως προς το όχημα. Αυτή ορίζεται ως μη απότομη και άσκοπη χρήση καυσίμου ή φρένων. Από τα χαρακτηριστικά αυτά, μπορεί να εξαχθεί ως συμπέρασμα η συμπεριφορά του οδηγού ώστε, για παράδειγμα, οι ασφαλιστικές εταιρίες να του παρέχουν εξατομικευμένο συμβόλαιο τιμωρώντας τον «κακό» οδηγό και επιβραβεύοντας τον καλό.

Στο Σχήμα 4.5, βλέπουμε ένα από τα σημαντικότερα θέματα στις μέρες μας που δεν είναι άλλο από την κατανάλωση καυσίμου. Στο επάνω μέρος εμφανίζεται η στιγμιαία και η μέση κατανάλωση του οχήματος. Στο δεξιό μέρος εμφανίζεται η υπολογισμένη ακτίνα του οχήματος με βάση την μέση κατανάλωση και το επίπεδο καυσίμου που φαίνεται στο δεύτερο πεδίο δεξιά. Βέβαια για να είναι σωστά αυτά τα μεγέθη θα πρέπει να τοποθετήσει το μέγεθος του ντεπόζιτου του οχήματος ο χρήστης κατά την εγγραφή του οχήματος.



Σχήμα 4.5 Εμφάνιση Δεδομένων Κατανάλωσης Καυσίμου

Ένα ακόμα, αρκετά σημαντικό δεδομένο, για λόγους που θα εξηγηθούν αμέσως παρακάτω, είναι η ροή του καυσίμου. Η ροή μεταφράζεται συνήθως σε λίτρα ανά ώρα. Είναι αρκετά σημαντικό δεδομένο γιατί ναι μεν επηρεάζει ανάλογα την κατανάλωση αλλά η διακύμανση της ροής είναι κάτι που είναι διαφορετικό από οδηγό σε οδηγό και

δείχνει πόσο ευγενικά φέρεται στο όχημα. Δηλαδή, ένας οδηγός που οδηγεί μεστά και ήρεμα έχει μικρότερη κατανάλωση στο όχημά του από ότι ένας οδηγός που πατάει το πεντάλ του γκαζιού τέρμα και το αφήνει συνεχώς αντί να έχει μια σταθερή κίνηση προς το πεντάλ. Στο κέντρο του σχήματος εμφανίζεται αντίστοιχα από αριστερά η μέση κατανάλωση για τα προηγούμενα 5 και 30 λεπτά καθώς και 3 ώρες. Υπάρχει, όπως είναι αναμενόμενο και η δυνατότητα επαναφοράς και μηδενισμού των στοιχείων, μέσα από το αντίστοιχο κουμπί κάτω δεξιά του σχήματος, για να μπορούν να υπολογίζονται τα δεδομένα σε οιοδήποτε ταξίδι κατά την επιλογή του χρήστη – οδηγού.

Στο Σχήμα 4.6, εμφανίζεται μια πιο λεπτομερής λίστα δεδομένων για τον τρόπο οδήγησης του χρήστη του οχήματος. Στο άνω μέρος εμφανίζονται δεδομένα κατανάλωσης, χρόνου, ρύπων για δεδομένο χρόνο ταξιδιού. Στο κάτω μέρος εμφανίζονται δεδομένα για όλα τα παραπάνω στοιχεία, αλλά και για τη μέγιστη τιμή φρεναρίσματος, τον αριθμό φορών γεμίσματος της δεξαμενής καυσίμου, τις στάσεις, την μέση ταχύτητα του οχήματος με ή χωρίς τις στάσεις καθώς και υπάρχει η δυνατότητα εμφάνισης δεύτερου μενού από την επιλογή κάτω δεξιά για άλλα δεδομένα (αν και δε χρησιμοποιήθηκε αυτή η επιλογή στα πλαίσια της παρούσας διατριβής).



Σχήμα 4.6 Εμφάνιση Διαφορετικών Δεδομένων για τον Τρόπο Οδήγησης

Επίσης, άξια αναφοράς είναι, αφενός μεν, η δυνατότητα πλήρους παραμετροποίησης του μενού κατά τις επιλογές του εκάστοτε χρήστη – οδηγού ή του ενδιαφερόμενου που

εγκαθιστά μια τέτοια εφαρμογή όπως π.χ. μια ασφαλιστική εταιρία, αφετέρου δε η σημασία τοποθέτησης σωστών στοιχείων για το όχημα όπως το μέγεθος του κινητήρα σε κυβικά εκατοστά, η χωρητικότητα της δεξαμενής καυσίμου και η αλλαγή του προφίλ οδηγού σε περίπτωση πολλών οδηγών ανά όχημα.

Για μία ακόμα φορά πρέπει να τονιστεί πως όλα τα δεδομένα αποθηκεύονται αλλά κάθε φορά ο χρήστης – οδηγός μπορεί να επιλέξει τι θα βλέπει σε πραγματικό χρόνο κρίνοντας ότι είναι απαραίτητο για εκείνον κατά την πορεία του ταξιδιού του. Μία άλλη δυνατότητα είναι η προβολή δεδομένων κατάλληλων για την κατάσταση του οχήματος. Για παράδειγμα, ένα όχημα μπορεί να έχει θέμα με την θερμοκρασία του κινητήρα ή κάτι αντίστοιχο και να θέλει ο οδηγός να το παρακολουθεί κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού μιας και πολλά οχήματα δεν προσφέρουν πλέον τέτοιες τιμές στον πίνακα οργάνων του οχήματος.

Στο Σχήμα 4.7 διακρίνουμε τιμές για τη θερμοκρασία του κινητήρα και της εισαγωγής αριστερά και την πίεση σε kPascal (kPa) στην εισαγωγή του κινητήρα καθώς και την ένδειξη του αισθητήρα MAF. Αυτός ο αισθητήρας, γνωστός και στη χώρα μας ως αισθητήρας «λ», είναι υπεύθυνος για την κατάσταση των καυσαερίων. Πιο αναλυτικά, εάν υπάρχει πολύ μείγμα στην εξαγωγή (εξάτμιση) σημαίνει ότι το μείγμα ήταν πιο πλούσιο από ότι έπρεπε οπότε στον εγκέφαλο ο MAF στέλνει εντολή για φτωχότερο μείγμα ώστε να γίνεται πιο οικονομικό το όχημα. Βέβαια αυτή η εντολή συνδυάζεται με τις ανάγκες του οχήματος και το πόσο έχει πατήσει το πεντάλ του γκαζιού ο οδηγός.



Σχήμα 4.7 Εμφάνιση Δεδομένων Εύρυθμης Λειτουργίας του Κινητήρα

Η δυσλειτουργία αυτών των αισθητήρων στο όχημα έχει μεγάλο και άμεσο αντίκτυπο στην κατανάλωση και γενικά την οδική συμπεριφορά του οχήματος. Γι' αυτό θα πρέπει

ο οδηγός να ελέγχει τις παραμέτρους αυτές αρκετά συχνά και εάν το όχημα έχει αναγνωσθεί με κάποιο πρόβλημα να τις παρατηρεί πιο συχνά και να αναφέρει μετά το πέρας του ταξιδιού.

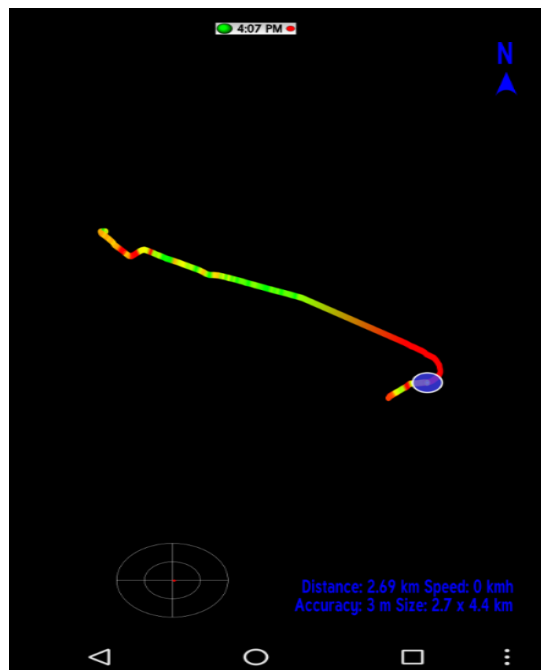
#### *4.2.2. Εξαγωγή συμπεράσματος σύμφωνα με τον τρόπο οδήγησης*

Στο Σχήμα 4.8 εμφανίζεται μια δοκιμαστική πορεία του δοκιμαστικού οχήματος από έναν οδηγό. Η πορεία είναι σε δρόμο των προαστίων της πόλης Πίζα που βρίσκεται στα κεντροδυτικά της Ιταλίας.

Η δειγματική διαδρομή αποτελείται από εκκίνηση και μετά σε μια αλληλουχία στροφών (γνωστή και ως «εσάκι» από το χαρακτηριστικό σχήμα S της αγγλικής γλώσσας που υποδεικνύει δύο διαδοχικές στροφές). Οι στροφές αυτές αποτελούνται από μία αριστερή στροφή που ακολουθείται από μια δεξιά. Ακολούθως υπάρχει μια μεγάλη ευθεία πάνω στην οποία υπάρχει μια ασήμαντη καμπή και καταλήγει σε μια δεξιά στροφή 90° η οποία απαιτεί έντονο φρενάρισμα και κατόπιν μετά από λίγα μέτρα τερματισμό της διαδρομής. Η κατεύθυνση της διαδρομής είναι από αριστερά προς τα δεξιά όπως βλέπουμε το Σχήμα 4.8 που έπεται. Ευκόλως εννοείται ότι το πιο πράσινο χρώμα αντιστοιχεί σε πιο οικονομική κατάσταση ενώ, όσο κινείται στην κλίμακα του κίτρινου, του πορτοκαλί και του ερυθρού, αντιστοιχεί σε λιγότερο οικονομικές καταστάσεις. Παρατηρούμε ότι, στο «εσάκι» στην αρχή της διαδρομής παρόλο που είναι έντονες οι στροφές δεν είναι έντονο το χρώμα του ερυθρού αλλά κινείται στην περιοχή του κίτρινου – πορτοκαλί με ένα ελάχιστο δείγμα ερυθρού. Ακολούθως, η επιτάχυνση είναι πιο έντονη μέχρι την καμπή ενώ από εκεί και πέρα, αφού έχει ήδη αποκτήσει μια κάποια ταχύτητα και η επιπλέον επιτάχυνση είναι εμφανώς πιο πράσινη. Στη συνέχεια, λόγω του έντονου φρεναρίσματος σε μικρή απόσταση το χρώμα της πορείας κατά την είσοδο στην τελευταία στροφή είναι βαθύ ερυθρό. Επίσης, η επιτάχυνση μετά από τη στροφή ήταν ομοίως έντονη μέχρι την στάση η οποία έγινε όσο το δυνατό πιο ήρεμα.

Το μπλε χρώμα είναι το σήμα του στίγματος του οχήματος. Επίσης εμφανίζεται η ώρα καθώς και το μέγεθος της διαδρομής όπως επίσης η ακρίβεια της μέτρησης από το στίγμα του δορυφόρου καθώς και η ταχύτητα του οχήματος σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, εμφανίζεται το στίγμα του χάρτη για το βορά καθώς και ένα καρτεσιανό σχήμα κάτω αριστερά για την εμφάνιση της διαμήκουσ και πλευρικής επιτάχυνσης.

Ο χάρτης είναι ένα application programming interface (API) το οποίο υπάρχει διαθέσιμο από την Google ελεύθερο για το Android. Το συγκεκριμένο API καλείται και ενσωματώνεται από την εφαρμογή για την εμφάνιση των χαρτών και ο σχεδιασμός της διαδρομής πάνω σε αυτόν γίνεται χειροκίνητα αποτυπώνοντας το στίγμα σε κάθε χρονική στιγμή. Το χρώμα επιλέχθηκε χειροκίνητα. Η διαδρομή δεν είναι δυνατό να αποθηκευτεί προς το παρόν αλλά τα δεδομένα του στίγματος αποθηκεύονται στο αρχείο καταγραφής (log) της διαδρομής. Υπάρχει και η δυνατότητα να φαίνεται ο χάρτης και όχι μαύρο το φόντο αλλά είναι υψηλή η κατανάλωση μπαταρίας και μνήμης και αποφεύχθηκε αυτή η λύση. Τα στοιχεία μεγέθους της μεγέθυνσης του χάρτη και της διαδρομής παρέχονται ως μεταβλητές στο API.



Σχήμα 4.8 Εμφάνιση δεδομένων κατανάλωσης κατά τη διάρκεια διαδρομής

Πώς όμως ορίζεται η οικονομική οδήγηση; Η απάντηση κρίνεται από πάρα πολλούς παράγοντες όμως οι πιο σημαντικοί είναι η διαμήκης επιτάχυνση, οι στροφές του κινητήρα, το ποσοστό πατήματος του γκαζιού και το μέγεθος του φρεναρίσματος του αυτοκινήτου. Δεν υπάρχει όμως κάποια αντικειμενική συνάρτηση λόγω της διαφορετικότητας των κινητήρων, των στροφών λειτουργίας και των χαρακτηριστικών

του εκάστοτε οχήματος. Όλα όμως έχουν να κάνουν με την ομαλή ή όχι επιτάχυνση καθώς και το έργο του κινητήρα που χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση.

Πιο αναλυτικά, η επιτάχυνση έχει να κάνει με το είδος του οχήματος και για επιβατηγά οχήματα υπολογίζεται ως ποσοστό επί της μέγιστης που μπορεί να επιτύχει. Κατά συνέπεια, οι τιμές για την επιτάχυνση έχουν επιλεγθεί χειροκίνητα. Ως μέγιστη θεωρείται η επιτάχυνση που παρατηρείται κατά τη διαδικασία μέτρησης του χρόνου που χρειάζεται το όχημα να επιτύχει την δοκιμασία να αποκτήσει από στάση ταχύτητα ίση με 100 χλμ./ω. Έπειτα από τη μετατροπή αυτού του χρόνου σε m/s, για να μπορεί να μετρηθεί με το σύστημα μέτρησης μονάδων SI, ορίζεται ως πράσινη η επιτάχυνση που αντιστοιχεί από 0-20% της μέγιστης, κίτρινη αυτή που αντιστοιχεί από 20-40%, πορτοκαλί από 40-60% και ερυθρή από 60-100%. Είναι μεγαλύτερο το διάστημα της ερυθρής κλάσης γιατί σπάνια επιτυγχάνονται επιταχύνσεις άνω του 80% της δυνατότητας πλήρους επιτάχυνσης του οχήματος. Παρόμοια υπολογίζεται η χρήση των στροφών του κινητήρα. Στο εύρος 800-4500 στροφών ανά λεπτό (σ.α.λ.) που μπορεί να κινηθεί το όχημα της δοκιμής ορίζεται σαν ερυθρό η χρήση του εύρους από τις 800 σ.α.λ. που είναι το ρελαντί (idle) του οχήματος μέχρι του σημείου απόδοσης του 20% της μέγιστης ροπής. Πορτοκαλί είναι μέχρι το 40%, κίτρινο είναι μέχρι το σημείο που αποδίδεται το 60% της μέγιστης ροπής, και από το 60% μέχρι η ροπή να περάσει τη μέγιστη τιμή της και να πέσει στο 60% αυτής ορίζεται το πράσινο και ακολούθως τα χρώματα αντιστοιχούν στις ίδιες τιμές μέχρι το 0% που παρατηρείται στο υψηλότερο σημείο στροφών του οχήματος (~4500 σ.α.λ.) για το όχημα της δοκιμής. Αντίστοιχα είναι και τα ποσοστά στο πάτημα του πεντάλ του γκαζιού για το όχημα. Όμως στο πεντάλ του φρένου η θύρα OBD δεν έχει κάποιο PID που να υποδεικνύει πόσο είναι το ποσοστό που πατήθηκε το πεντάλ. Αντίθετα, υποδεικνύει μόνο ένα δυαδικό αριθμό που αναφέρει τη χρήση ή μη των φρένων του οχήματος η οποία λαμβάνεται ανά δευτερόλεπτο όπως και όλα τα παραπάνω δείγματα. Έτσι, επιλέχθηκε να ακολουθηθεί μια διαδικασία υπολογισμού του χρόνου φρεναρίσματος από το πόσο πατήθηκε το πεντάλ του φρένου.

Σημειωτέο είναι ότι αυτές οι τιμές δε μπορούσαν να επαληθευθούν από κάποια επίσημη αυτοκινητοβιομηχανία παρόλη την προσπάθεια επικοινωνίας του γράφοντα με αρκετές. Δυστυχώς δεν υπήρξε θετική ανταπόκριση. Έτσι αποφασίστηκε η χρησιμοποίηση τιμών από επίσημες ιστοσελίδες και φόρουμ εταιριών που κατασκευάζουν παρόμοιο λογισμικό και υλικό για τέτοιες εφαρμογές.



Μπορεί να γίνει παρόμοια αξιολόγηση σε κάθε ομάδα δεδομένων που έχει ανάλογη συσχέτιση, είτε στην οικονομία καυσίμου, είτε στην καλύτερη διαχείριση του οχήματος όσον αφορά τη συντήρησή του, είτε στη συσχέτιση δεδομένων με τον οδηγό όπως περιγράφει και η επόμενη παράγραφος.

### **4.3. Αναγνώριση Οδηγών Ανάλογα με το Οδηγικό τους Προφίλ**

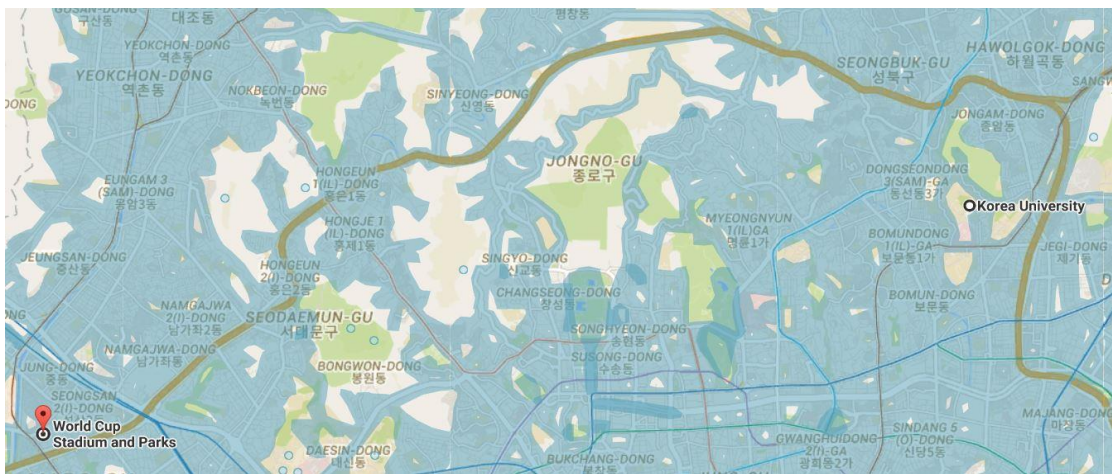
Στην παράγραφο αυτή περιγράφεται η δυνατότητα ταυτοποίησης του οδηγού με τα δεδομένα που προήλθαν από τη θύρα OBD. Πιο συγκεκριμένα, με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών μπορούμε πλέον να χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα από τους αισθητήρες του οχήματος για καλύτερη διαχείριση στόλου οχημάτων, για εξαγωγή συμπερασμάτων με σκοπό την αποδοτικότερη οδήγηση, ή ακόμα και την ταυτοποίηση του προφίλ των οδηγών ώστε να εφαρμοστούν πολιτικές για την σωστή οδήγηση του οχήματος. Για παράδειγμα, μπορεί να αναγνωριστεί ως οδηγός ο γιος του ιδιοκτήτη και να εφαρμοστούν πολιτικές μέγιστης ταχύτητας ή ροπής στο αυτοκίνητο. Παρόμοια, μπορεί να ανιχνευθεί ένας μη εγκεκριμένος οδηγός, ο οποίος ενδεχόμενα να είναι κάποιος που προσπαθεί να κλέψει το όχημα κι έτσι οι πολιτικές που θα εφαρμοσθούν σε μια τέτοια κατάσταση να είναι πολιτικές ακινητοποίησης του οχήματος.

Επιπλέον, μια εταιρία μπορεί να αναγνωρίσει το προφίλ κάθε οδηγού σε κοινόχρηστα οχήματα και να επιβραβεύσει τους καλούς ή να συνετίσει τους κακούς οδηγούς. Τέλος, θα μπορούσε μια ασφαλιστική εταιρία να αξιοποιήσει μια τέτοια πληροφορία για να καταρτίσει, ανάλογα με το προφίλ των οδηγών, το ασφαλιστήριο συμβόλαιο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης όπου από ένα συγκεκριμένο αρχείο δεδομένων (dataset) από το προφίλ διαφορετικών οδηγών εξάγονται πληροφορίες για την διαπίστωση του οδηγού μέσα από τον τρόπο οδήγησης. Για να γίνει αυτό χρειάζεται ένα ικανό πλήθος αφενός διαφορετικών οδηγών, αφετέρου διαφορετικών χαρακτηριστικών.

Δυστυχώς όμως, δε κατέστη δυνατό να δημιουργηθεί ένα τέτοιο αρχείο δεδομένων με ίδια μέσα. Στο περιβάλλον του γράφοντα δεν υπήρξε ικανή πληθώρα διαφορετικών οδηγών που να είναι σε θέση να οδηγήσουν το όχημα, όπως επίσης δεν μπόρεσε να βρεθεί λύση στην ασφαλιστική κάλυψη ενός τέτοιου εγχειρήματος ώστε σε περίπτωση ατυχήματος να μπορούν να καλυφθούν όλοι οι οδηγοί σε ένα συγκεκριμένο όχημα. Η επόμενη σκέψη ήταν να απευθυνθούμε σε στόλο οχημάτων κάποιων εταιριών. Για να πραγματοποιηθεί κάτι τέτοιο, θα έπρεπε να οδηγούν όλοι οι οδηγοί ή ικανό ποσοστό

αυτών το ίδιο όχημα και όχι, απλά, κάποιιο ίδιο μοντέλο. Επίσης, αν και απευθυνθήκαμε σε στόλο λεωφορείων δημοσίας χρήσης δε μπόρεσε να γίνει χρήση τέτοιων δεδομένων καθώς, είτε τα περισσότερα λεωφορεία ήταν παλαιότερης χρονολογίας και δεν χρησιμοποιούσαν τη θύρα OBD, είτε κάθε οδηγός ήταν συνδεδεμένος με συγκεκριμένο όχημα και έτσι δε προβλεπόταν να οδηγούν όλοι οι οδηγοί το ίδιο όχημα.

Κατά συνέπεια, επιλέχθηκε ένα έτοιμο σετ δεδομένων από τη δουλειά κάποιων φοιτητών στη Σεούλ της Νοτίου Κορέας. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν έχουν στο σύνολο 94,401 εγγραφές για όλους τους οδηγούς, που καταγράφονταν ανά δευτερόλεπτο και έχουν μέγεθος 16.7 MB και στη διάθεση της ερευνητικής κοινότητας [41]. Το συγκεκριμένο σετ δεδομένων έπρεπε να βεβαιωθούμε ότι αποκτήθηκε με τα ίδια μέσα για να συνάδει με την υπόλοιπη διατριβή. Αυτό επετεύχθη μέσα από προσωπική επικοινωνία του γράφοντα με την ομάδα που το ανέκτησε. Ο χάρτης της διαδρομής φαίνεται στο Σχήμα 4.9. Οι δέκα διαφορετικοί οδηγοί που συμμετείχαν στο πείραμα οδηγώντας, με το ίδιο αυτοκίνητο, τέσσερις διαφορετικές φορές στη Σεούλ μεταξύ του πανεπιστημίου της Κορέας και του γηπέδου “SANGAM World Cup” για περίπου 23 ώρες συνολικά. Η διαδρομή αυτή αποτελείται από δρόμο εντός πόλης, αυτοκινητόδρομο και χώρο στάθμευσης και έχει συνολικό μήκος 46 χιλιόμετρα. Το πείραμα ξεκίνησε στις 28 Ιουλίου 2015. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στην ίδια ζώνη ώρας, από τις 8 π.μ. μέχρι και τις 11 π.μ., καθημερινές. Οι οδηγοί έκαναν δύο φορές την διαδρομή (με ξεχωριστή μέτρηση για την επιστροφή) έτσι ώστε τα δεδομένα να είναι πιο αξιόπιστα. Ο δρόμος μέσα από την πόλη περιέχει φανάρια και διαβάσεις, ενώ κάτι τέτοιο δεν υφίσταται στον αυτοκινητόδρομο.



Σχήμα 4.9 Η Διαδρομή Δοκιμής του Σετ Δεδομένων

Στο χώρο στάθμευσης, είναι απαραίτητο η οδήγηση να γίνεται με χαμηλή ταχύτητα και με πολλή προσοχή. Το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων αποτελείται από πενήντα ένα διαφορετικά χαρακτηριστικά τα οποία προήλθαν από ένα σύνολο δέκα διαφορετικών οδηγών οι οποίοι πραγματοποίησαν τη διαδρομή τέσσερις φορές ο καθένας ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατό καλύτερη επαλήθευση των δεδομένων για τον καθένα από αυτούς.

Με σκοπό την απλούστευση της διαδικασίας, χρησιμοποιώντας τη δυνατότητα του προγράμματος που επεξεργάστηκε τα δεδομένα να δείχνει το ποσοστό συμμετοχής κάθε χαρακτηριστικού στην τελική απόφαση, επιλέχθηκαν τα πιο αντιπροσωπευτικά για τον κάθε οδηγό και χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή συμπερασμάτων. Το σύνολο των δέκα διαφορετικών οδηγών έγινε αποδεκτό μετά από συζήτηση με την ομάδα που το παρήγαγε για συγκεκριμένους λόγους. Από τη μία, είναι παραπλήσιο με ένα πραγματικό δείγμα ενός στόλου μιας συνηθισμένης επιχείρησης ανεξαρτήτου μεγέθους. Αυτό προέκυψε μέσα από την παρατήρηση πως, ακόμα και σε στόλους οχημάτων με πολλαπλάσιο αριθμό οδηγών από αυτούς του δείγματος (π.χ. ένας στόλος λεωφορείων ή ταξί με περισσότερα των εκατό πενήντα οχημάτων όπως, για παράδειγμα, αυτό του υπεραστικού ΚΤΕΛ του νομού Ιωαννίνων), είναι πρακτικά αδύνατο να υπάρχουν και να ομαδοποιηθούν τα ίδια οχήματα του στόλου (π.χ. μια ομάδα ιδίων λεωφορείων, ίδιας γενιάς και χαρακτηριστικών ενός ΚΤΕΛ) σε ομάδες που να αποτελούνται από αριθμό πολύ μεγαλύτερο από εκείνο του δείγματος. Από την άλλη, είναι ικανοποιητικά κατάλληλο ώστε να ταυτοποιηθούν διαφορετικοί οδηγοί.

Επίσης, είναι αναμενόμενο ότι με οιοδήποτε άλλο δείγμα μεγαλύτερου μεγέθους δε θα άλλαζε η προσέγγιση για τη διαδικασία αναγνώρισης του οδηγού αν και θα αυξανόταν ανάλογα ο χρόνος επεξεργασίας του δείγματος ενώ αυξάνεται αντίστοιχα και το υπολογιστικό κόστος. Σε έναν υπολογιστή γραφείου η διαφορά δεν είναι τόσο μεγάλη. Αλλά σε οχήματα των οποίων η υπολογιστική ισχύς είναι περιορισμένη, και όταν χρειάζονται αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο, το συγκριτικό κόστος είναι πολύ μεγαλύτερο.

#### *4.3.1. Κίνητρο και Σκοπός*

Η αναγνώριση και ταυτοποίηση των οδηγών σε ένα όχημα έχει πολλαπλά οφέλη αλλά και πολλαπλά κίνητρα ώστε να απασχολήσει την ερευνητική κοινότητα παγκοσμίως τα τελευταία χρόνια. Ένα αρκετά σημαντικό κίνητρο είναι η ραγδαία αύξηση των κλοπών

οχημάτων ανά την υφήλιο. Παρόλη την ύφεση των κλοπών παγκοσμίως, οι κλοπές οχημάτων βρίσκονται σε έξαρση σύμφωνα με επίσημα στοιχεία του FBI. Ο αριθμός των κλεμμένων οχημάτων ανέβηκε στις Η.Π.Α. κατά 1% [42]. Συνολικά, ένα αυτοκίνητο κλέβεται ανά 45 δευτερόλεπτα στις Η.Π.Α. [43].

Τα τελευταία χρόνια τα αυτοκίνητα που είναι εξοπλισμένα με την τελευταία λέξη της τεχνολογίας είναι εκτεθειμένα σε ένα νέο τύπο επιθέσεων [44], [45], [46]. Τα λειτουργικά συστήματα που «τρέχουν» στα αυτοκίνητα είναι εκτεθειμένα όπως και όλα τα συνηθισμένα λειτουργικά συστήματα (π.χ. σε υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα κ.ο.κ.) σε ευπάθειες αλλά και σφάλματα [47]. Υπολογίζοντας επίσης, και ότι τα περισσότερα οχήματα πια είναι εξοπλισμένα με σύνδεση στο διαδίκτυο αναγνωρίζονται τα υπέρ αυτής της κίνησης, όπως βέλτιστη πλοήγηση ανάλογα με τις τρέχουσες συνθήκες κυκλοφορίας, έξυπνη διαχείριση στόλων οχημάτων, κοινόχρηστη χρήση αυτοκινήτων (car-sharing) καθώς και αυτόνομη οδήγηση, υπολογίζεται ότι ανοίγει η πόρτα σε μια πληθώρα νέων πιθανοτήτων κλοπής [48].

Η πιο συνηθισμένη από αυτές, είναι η εκμετάλλευση ευπαθειών (vulnerabilities) κυρίως των συστημάτων εισόδου και εκκίνησης κινητήρα χωρίς φυσική χρήση του κλειδιού (keyless entry), καθώς και των συστημάτων πολυμέσων (infotainment), ειδικότερα αν τα τελευταία έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο. Η πιο δημοφιλής τακτική, όμως, για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο περιλαμβάνει πρωτίστως φυσική παραβίαση της κλειδαριάς και είσοδο του κλέφτη στο χώρο του οχήματος. Από εκεί και πέρα, με τη σύνδεση ενός φορητού υπολογιστή με εγκατεστημένο κατάλληλο λογισμικό, ο κλέφτης συνδέεται στη θύρα OBD αποκτώντας πρόσβαση στα ηλεκτρονικά του οχήματος, επιτρέποντας έτσι την οδήγησή του από τρίτους. Σε αυτό συμβάλλει και η μηδενική προστασία της OBD και της CAN θύρας από επιθέσεις. Μια ακόμα τακτική είναι να εγκαθίσταται κακόβουλο λογισμικό (malware) σε κινητά με σκοπό τη λειτουργία του κινητού ως μέσου για το ξεκλείδωμα – παραβίαση της πόρτας. Πολύ πρόσφατα η BMW αναγκάστηκε να διορθώσει το σύστημα ψυχαγωγίας “Connected Drive” που διαθέτει στα οχήματά της διότι ερευνητές κατάφεραν να αποκτήσουν πρόσβαση σε βασικά λειτουργικά στοιχεία αυτού μέσα από την ασύρματη σύνδεση του συστήματος με το ίντερνετ και κατά συνέπεια τον έξω από το όχημα κόσμο.

Σκοπός, λοιπόν, της παρούσας διατριβής είναι να παρουσιασθεί μια μέθοδος η οποία μπορεί συνεχώς και αόγγυστα να επαληθεύει την ταυτότητα του οδηγού με εκείνη του (ή των) εξουσιοδοτημένων οδηγών αυτού. Το προφίλ του οδηγού καθορίζεται από την

μίξη διάφορων στοιχείων πληροφορίας γύρω από την συμπεριφορά αυτού. Με τη χρήση γνωστών αλγορίθμων μηχανικής μάθησης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν τα δεδομένα από τα χαρακτηριστικά που λαμβάνονται από τη θύρα OBD σε πραγματικό χρόνο. Στο χώρο της βιβλιογραφίας γύρω από την αθόρυβη και συνεχή ταυτοποίηση οι υπάρχουσες έρευνες προτείνουν μεθόδους ταυτοποίησης που στοχεύουν στη χρήση κωδικών πρόσβασης, αναγνώρισης μέσω βιομετρικών χαρακτηριστικών, όπως η ίριδα και τα δαχτυλικά αποτυπώματα, σε διάφορα περιβάλλοντα συμπεριλαμβανομένων συσκευών υγείας ή ακόμα και κινητών τηλεφώνων, φορητών υπολογιστών και τάμπλετ [49], [50], [51], [52], [53], [54].

Οι μηχανισμοί αυτοί έχουν τα εξής μειονεκτήματα. Από τη μία, είναι στατικοί. Αυτό σημαίνει ότι ταυτοποιούν το χρήστη μόνο στην αρχή της περιόδου χρήσης και δεν προσφέρουν μετέπειτα συνέχιση της ταυτοποίησης. Από την άλλη, οι μηχανισμοί που προαναφέρθηκαν χρειάζονται τη συγκατάθεση του χρήστη απαιτώντας χρόνο ή κόπο από αυτόν μέσα από κάποιες κινήσεις και για αυτό το λόγο δε προσφέρονται για συνεχή ταυτοποίηση. Επίσης το τελευταίο σημαίνει ότι μπορεί κάλλιστα να κλαπεί και ο κωδικός εισαγωγής σε ένα όχημα αφήνοντας το εκτεθειμένο σε κλέφτες [55].

Το αντίμετρο στα προηγούμενα είναι η συνεχής, ή αλλιώς ενεργή, ταυτοποίηση, που πραγματοποιείται συνεχώς καθόλη τη διάρκεια χρήσης του οχήματος. Τα κύρια προτερήματα της μεθόδου η οποία αναφέρθηκε, επιλέχθηκε και θα παρουσιαστεί παρακάτω είναι, πρώτον, ότι τα χαρακτηριστικά ανακτώνται από τους αισθητήρες και τη θύρα OBD του οχήματος που σημαίνει ότι δε χρειάζονται επιπλέον αισθητήρες στο όχημα. Επιπλέον, τα δεδομένα ανακτώνται απευθείας από την ECU του οχήματος. Έτσι, η τιμή τους δεν είναι ευάλωτη σε θόρυβο ή τους στροβιλισμούς από τον αέρα που δημιουργούνται κατά την κίνηση του οχήματος, πράγμα που θα συνέβαινε εάν χρησιμοποιούνταν εξωτερικοί αισθητήρες. Ακολούθως, δε χρειάζεται η παραμικρή προσπάθεια από τον οδηγό για την ανάκτηση κι έτσι δεν απαιτείται περίσπασή του από τον δρόμο και την οδήγηση, πράγμα που συμβάλλει στην ασφάλεια κατά την οδήγηση. Κατά συνέπεια, για όλους τους παραπάνω λόγους, η απόδοση της παρούσας πρότασης κρίνεται ως σημαντικά καλύτερη και αποδοτικότερη από αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω [46-52].

#### 4.3.2. Μηχανική Μάθηση

Η μηχανική μάθηση αποτελεί κομμάτι της τεχνητής νοημοσύνης, το οποίο στοχεύει στο να παρέχει σε υπολογιστές την δυνατότητα να αποκτήσουν γνώση των χαρακτηριστικών του εκάστοτε περιβάλλοντος εφαρμογής χωρίς να χρειάζεται εξειδικευμένος προγραμματισμός ανάλογα την εκάστοτε φύση του προβλήματος [56]. Οι διεργασίες της μηχανικής μάθησης είναι χωρισμένες σε δύο κύριες κατηγορίες συνήθως, εξαρτώμενες από τη φύση της μάθησης η οποία είναι διαθέσιμη σε ένα σύστημα μάθησης. Η πρώτη είναι η *εποπτευόμενη μάθηση (supervised learning)* κατά την οποία ένας υπολογιστής δέχεται τις εισόδους και τις επιθυμητές εξόδους από έναν «δάσκαλο» και ο στόχος είναι να μάθει ένα γενικό κανόνα που συνδέει τις εισόδους με τις εξόδους. Αναπαριστά την ταξινόμηση (classification) ή αλλιώς τη διεργασία δημιουργίας ενός μοντέλου από κλάσεις από ένα σετ δεδομένων με γνωστή την κλάση των δεδομένων εισόδου. Η δεύτερη είναι η *μη εποπτευόμενη μάθηση (unsupervised learning)*. Σε αυτή την περίπτωση δεν δίνονται οι κλάσεις στα δεδομένα εισόδου του αλγορίθμου μάθησης αφήνοντας εξολοκλήρου σε αυτόν να βρει τη δομή και το μοτίβο των δεδομένων της εισόδου. Το να μπορέσει η μη εποπτευόμενη μάθηση να διακρίνει τα κρυμμένα μοτίβα στα δεδομένα είναι από μόνο του ένας στόχος ή αλλιώς ένας τρόπος να τερματίσει ο αλγόριθμος μάθησης.

Για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής και της διεξαγωγής ασφαλέστερων συμπερασμάτων για την ταυτοποίηση του εκάστοτε οδηγού, ώστε να διακριθεί ο ιδιοκτήτης και εκείνων που επιδιώκουν την παραβίαση του οχήματός του, χρησιμοποιήθηκαν πέντε διαφορετικοί αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης. Οι αλγόριθμοι αυτοί που υιοθετήθηκαν είναι βασισμένοι σε δέντρα απόφασης (decision trees) που χρησιμοποιούν δενδροειδείς διατάξεις ως μοντέλο πρόβλεψης με χάρτες παρατηρήσεων (observation maps) για κάθε χαρακτηριστικό που παρουσιάζεται στις διακλαδώσεις (κλαδιά) του δέντρου. Η συγκεκριμένη επιλογή έγινε μέσα από εκτενείς δοκιμές με διαφορετικής κατηγορίας αλγορίθμους τους οποίους παρέχει το πρόγραμμα Weka που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διαδικασία της μηχανικής μάθησης [57]. Παρατηρήθηκε ότι, η συγκεκριμένη ομάδα αλγορίθμων έδινε τα πιο καλά αποτελέσματα, καθώς και ότι από το σύνολο των αλγορίθμων αυτής εκείνοι που έδιναν τα πιο αποτελεσματικά και εν τέλει χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή είναι οι εξής:

- J48 [58]: είναι η υλοποίηση ανοιχτού κώδικα σε Java του C4.5 αλγορίθμου δέντρων απόφασης. Υπολογίζει δυνητικά την πληροφορία για κάθε χαρακτηριστικό. Το πραγματοποιεί μέσω μιας δοκιμής για αυτό το χαρακτηριστικό υπολογίζοντας το κέρδος της πληροφορίας που υπάρχει ώστε να επιλεγεί αν θα προχωρήσει βαθύτερα μέσα στα κλαδιά του δέντρου.
- J48graft [59]: Είναι παραλλαγή του προηγούμενου που υλοποιεί εμφωλευμένα δέντρα απόφασης (grafted decision trees)
- J48consolidated [60]: Είναι μία ακόμα παραλλαγή του πρώτου που υλοποιεί τον αλγόριθμο κατασκευής ενοποιημένων δέντρων (Consolidated Tree Construction Algorithm) σύμφωνα με τον οποίο, ένα δέντρο χτίζεται βασισμένο σε ένα σετ από υπο-παραδείγματα.
- RandomTree [61]: Αυτός ο αλγόριθμος είναι ικανός να κατασκευάσει ένα δέντρο που χρησιμοποιεί έναν αριθμό  $K$  τυχαίων επιλεγμένων γνωρισμάτων σε κάθε κόμβο.
- RepTree [62]: Θεωρείται ένας αλγόριθμος που μαθαίνει σε γρήγορο ρυθμό. Κατασκευάζει ένα δέντρο απόφασης/παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας το κέρδος (διακύμανση) της πληροφορίας ώστε να «κλαδέψει» τα κλαδιά – κόμβους του δέντρου με μειωμένο σφάλμα.

#### 4.3.3. Η Μέθοδος Αναγνώρισης

Στην παράγραφο αυτή περιγράφεται η μέθοδος που ακολουθήθηκε με σκοπό τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς των οδηγών χρησιμοποιώντας δεδομένα που έχουν ανακτηθεί από το δίαυλο της CAN και τη θύρα OBD.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα [63], και πιο συγκεκριμένα τα δεδομένα που επεξεργαστήκαμε προέρχονται από δεδομένα της CAN του αυτοκινήτου. Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η θύρα On Board Diagnostics (OBD-II). Ένα σύγχρονο αυτοκίνητο αποτελείται από πολλούς αισθητήρες μέτρησης και ελέγχου και επομένως μπορούμε να πούμε ότι ελέγχεται από την ECU που υπάρχει σ αυτό. Η ECU είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο των επιμέρους στοιχείων του αυτοκινήτου όπως είναι ο κινητήρας, η μετάδοση και το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος φρεναρίσματος (ABS). Τα δεδομένα καταγράφονταν κάθε δευτερόλεπτο κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Ο συνολικός αριθμός των

χαρακτηριστικών που συλλέχθηκαν είναι πενήντα ένα. Ο πίνακας Π.1 του παραρτήματος περιγράφει τα χαρακτηριστικά που λήφθηκαν υπόψιν στη μελέτη. Τα δεδομένα αυτά αναφέρονται σε πρόσφατο μοντέλο της KIA Motors, (Kia Soul) με κινητήρα 1400 κυβικών εκατοστών, με καύσιμο την βενζίνη και αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων. Οι οδηγοί ονομάστηκαν με γράμματα από το “Α” έως το “J”. Το Σχήμα 4.10 δείχνει τον αριθμό των παρατηρήσεων (π.χ. τις τιμές των χαρακτηριστικών) που συλλέχθηκαν για κάθε οδηγό.

Σχεδιάστηκε ένα πείραμα με σκοπό την αξιολόγηση του κάθε χαρακτηριστικού από τα πενήντα ένα που εμπεριέχει το δείγμα ώστε να επιλεγθούν τα πιο αποτελεσματικά μεταξύ τους. Ο σκοπός αυτής της επιλογής είναι η απλοποίηση του αλγορίθμου της μηχανικής μάθησης ώστε να μη χρειάζονται όλα τα χαρακτηριστικά του δείγματος για να μπορεί το αποτέλεσμα να διεξάγεται σε μικρότερο χρόνο με μικρότερο υπολογιστικό κόστος. Πιο συγκεκριμένα, το πείραμα έχει ως σκοπό να πιστοποιήσει το κατά πόσο το σύνολο των χαρακτηριστικών που εξετάζουμε είναι σε θέση να ξεχωρίσει τον κάτοχο του αυτοκινήτου. Η ταξινόμηση (classification) έγινε χρησιμοποιώντας τους αλγορίθμους που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Η αξιολόγηση αποτελείται από τρία στάδια: (i) Σύγκριση των περιγραφικών στατιστικών του πληθυσμού των οδηγών, (ii) υποθετικά σενάρια, προκειμένου να εξακριβωθεί αν τα χαρακτηριστικά παρουσιάζουν διαφορετικές κατανομές για το πληθυσμό των οδηγών και (iii) ανάλυση της ταξινόμησης που έχει σαν σκοπό να εξακριβώσει αν τα χαρακτηριστικά είναι σε θέση να αναγνωρίσουν με επιτυχία τον κάτοχο του αυτοκινήτου ή κάποιον κλέφτη.



Σχήμα 4.10 Αριθμός Συνολικών Παρατηρήσεων Οδηγών ανά Δευτερόλεπτο



Σχετικά με τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία, αναφέρουμε τη γραφική παράσταση του πλαισίου της κατανομής των οδηγών που συμμετείχαν στη μελέτη, προκειμένου να αποδειχθεί ότι οι κατανομές είναι διαφορετικές. Σχετικά με τα υποθετικά σενάρια, το πρωταρχικό σενάριο που εξετάζουμε είναι:  $H_0$ : «οι οδηγοί έχουν παρόμοιες τιμές στα χαρακτηριστικά που εξετάζουμε».

Το αρχικό αυτό σενάριο ελέγχθηκε με τις μεθόδους Wald-Wolfowitz [64], Mann-Whitney [65] και με Kolmogorov-Smirnov Test [66], οι οποίες μετά από έρευνα στη βιβλιογραφία αποτελούν τις πιο διαδεδομένες μεθόδους επαλήθευσης σε τέτοια σενάρια (σε όλες τις μεθόδους το p-level, ή αλλιώς επίπεδο σημαντικότητας, είχε τιμή 0.05). Αποφασίσαμε να διεξάγουμε το πείραμα και με τις τρεις μεθόδους για να επιβεβαιώσουμε το αποτέλεσμα. Σκοπός αυτών των δοκιμών είναι το επίπεδο σημαντικότητας, δηλαδή ο κίνδυνος (πιθανότητα) να εξαχθούν εσφαλμένα συμπεράσματα, να είναι μικρότερος του 0,05, που σημαίνει ότι δεχόμαστε να κάνουμε λάθος μέχρι 5 φορές στις 100. Η ανάλυση ταξινόμησης είχε ως στόχο να εκτιμήσει εάν το σύνολο χαρακτηριστικών είναι σε θέση να ταξινομήσει σωστά τον ιδιοκτήτη του αυτοκινήτου και τους κλέφτες.

Υιοθετήσαμε την προσέγγιση εποπτευόμενης μάθησης λαμβάνοντας υπόψη ότι τα χαρακτηριστικά του οδηγού που αξιολογούνται περιέχουν το χαρακτηριστικό του οδηγού με ένα γράμμα της αλφαβήτου ξεκινώντας από το Α.

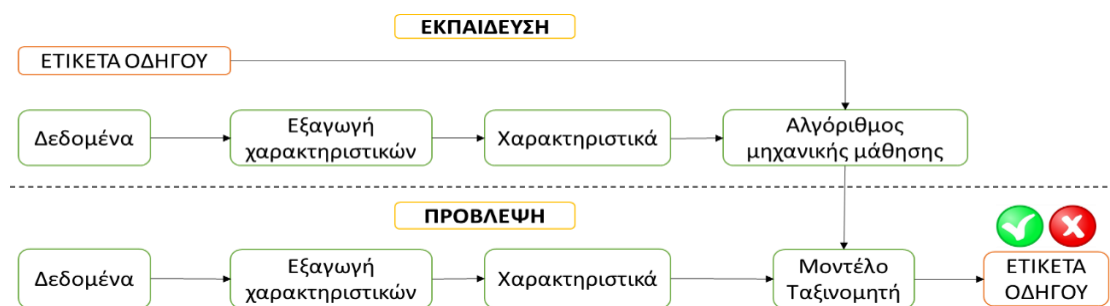
Η διαδικασία εποπτευόμενης μάθησης αποτελείται από δύο ξεχωριστά βήματα όπως φαίνεται στο σχήμα 4.11. Πρώτο είναι αυτό της εκπαίδευσης που παίρνει ολόκληρο το σύνολο ώστε να εξάγει τις πληροφορίες για κάθε χαρακτηριστικό και την κατηγοριοποίηση του. Μετέπειτα, αφότου εκπαιδευθεί ο αλγόριθμος βγάζοντας το μοτίβο με το οποίο θα ανιχνεύσει, περνάμε στη φάση της πρόβλεψης όπου το μοντέλο του ταξινομητή που δημιουργήθηκε δέχεται τα χαρακτηριστικά χωρίς την κατηγορία σχετικά με τον οδηγό στον οποίο ανήκουν και προσπαθεί να την μαντέψει. Κατά συνέπεια, η επαλήθευση της μεθόδου προκύπτει σε σχέση με το πόσο σωστά μάντεψε ο αλγόριθμος την σωστή κατηγορία.

**Εκπαίδευση:** Ξεκινώντας από το κατηγοριοποιημένο σύνολο δεδομένων (labeled dataset), όπου δηλαδή κάθε χαρακτηριστικό σχετίζεται με μια κλάση (στην περίπτωσή μας η κλάση αυτή αντιπροσωπεύεται από τον οδηγό), φιλτράρουμε τα δεδομένα με σκοπό να δημιουργήσουμε ένα διάνυσμα που θα περιέχει τα χαρακτηριστικά του ενδιαφέροντος μας. Τα διανύσματα αυτά, που ανήκουν σε κάθε έναν από τους οδηγούς

που συμμετέχουν στο πείραμα, αποτελούν την είσοδο του αλγορίθμου εκμάθησης. Μετά ακολουθεί η ανάλυση των στοιχείων και η κατανομή τους. Ο σκοπός του βήματος αυτού είναι δημιουργηθεί ένα μοντέλο ταξινόμησης βάσει των ιδιοτήτων ενός μέρους του δείγματος, ώστε στη συνέχεια το τελευταίο να εφαρμοστεί στο υπόλοιπο δείγμα και να προσπαθήσει να μαντέψει την κλάση χωρίς να τη γνωρίζει.

**Πρόβλεψη:** Το αποτέλεσμα αυτού του βήματος είναι η απόφαση για το αν το υπό εξέταση διάνυμα ανήκει στον ιδιοκτήτη του αυτοκινήτου ή σε κάποιον κλέφτη. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο βήμα δίνουμε στον αλγόριθμο ως είσοδο ένα νέο διάνυμα χαρακτηριστικών, αυτή τη φορά όμως χωρίς την πληροφορία ότι ανήκει σε κάποιον συγκεκριμένο οδηγό. Αυτό που περιμένουμε από τον αλγόριθμο είναι να προβλέψει αν ο οδηγός είναι ο ιδιοκτήτης του αυτοκινήτου ή όχι.

Περιληπτικά, η επαλήθευση της μεθόδου γίνεται ως εξής. Λαμβάνουμε ένα μικρό δείγμα από το συνολικό. Για παράδειγμα το 20% των δειγμάτων. Από αυτό εκπαιδεύουμε τον αλγόριθμο μηχανικής μάθησης ώστε να δημιουργήσει τον ταξινομητή. Έπειτα, στο υπόλοιπο 80% τοποθετούμε τον ταξινομητή χωρίς να γνωρίζει την κλάση και να προσπαθεί να την μαντέψει. Αυτό, γίνεται κυκλικά έως ότου όλο το σύνολο των δεδομένων να περάσει τουλάχιστον μία φορά ως σύνολο βάσης και τις υπόλοιπες στο υπόλοιπο που θα προσπαθήσει να αναγνωρίσει ο ταξινομητής ώστε να επιτευχθεί καθολική επαλήθευση της μεθόδου.



Σχήμα 4.11 : Μέθοδος Εποπτευόμενης Εκμάθησης που Υιοθετήθηκε

Επιπλέον, διεξήγαμε πρωταρχική ανάλυση χαρακτηριστικών (principal components analysis (PCA)) με σκοπό να προσδιορίσουμε από τα πενήντα ένα χαρακτηριστικά που λάβαμε υπόψιν ποια είναι τα καλύτερα που μπορούν να χαρακτηρίσουν την οδηγική συμπεριφορά ενός οδηγού. Αυτό γίνεται για να μπορέσουμε να ελαχιστοποιήσουμε τον αριθμό των χαρακτηριστικών καθώς, αφενός τα λιγότερα χαρακτηριστικά

απλουστεύουν την ανάλυση, αφετέρου δεν είναι σίγουρο ότι και τα πενήντα ένα είναι διαθέσιμα κάθε φορά προς ανάκτηση σε κάθε όχημα. Για να το κάνουμε αυτό χρησιμοποιήσαμε δύο αλγορίθμους κατόπιν έρευνας στη σχετική βιβλιογραφία: τους BestFirst [67] και GreedyStepwise [68]. Στις περιπτώσεις όπου η συγκεκριμένη ανάλυση απέφερε αποτελέσματα, χρησιμοποιήσαμε το νέο σετ χαρακτηριστικών για να εκπαιδύσουμε τους αλγορίθμους και στη συνέχεια συγκρίναμε τα αποτελέσματα αυτού με τα αποτελέσματα που είχαμε όταν οι αλγόριθμοι εκπαιδεύτηκαν με ολόκληρο το σετ των χαρακτηριστικών.

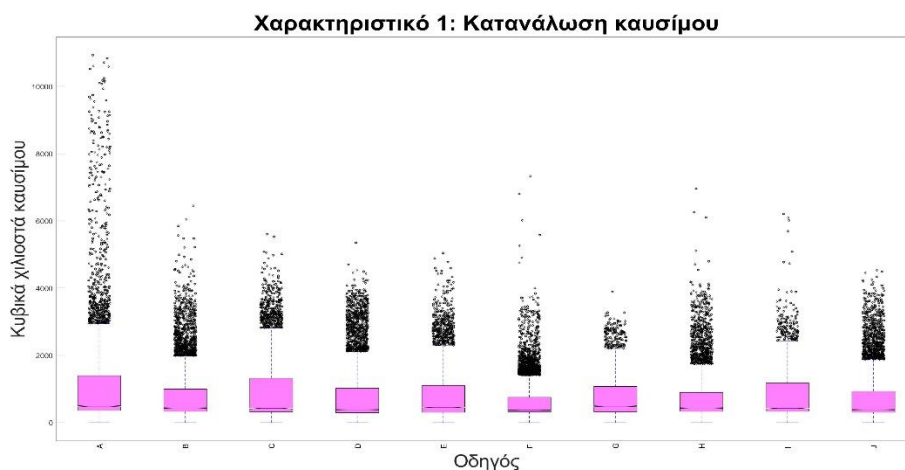
Η ανάλυση της ταξινόμησης, όπως προαναφέρθηκε, πραγματοποιήθηκε με το εργαλείο Weka το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στην εξόρυξη δεδομένων. Και τα δεδομένα που θα προκύψουν μετά από την εκπαίδευση και την πρόβλεψη είναι αυτά που θα μας δώσουν το τελικό αποτέλεσμα που θα αναλυθεί παρακάτω. Πρακτικά, το αποτέλεσμα της ανάλυσης είναι να επαληθευθεί η ικανότητα της μεθόδου να μπορεί να μαντέψει σωστά τον οδηγό μέσα από τα χαρακτηριστικά. Εκφράζεται σε μία ποσοστιαία κλίμακα χρησιμοποιώντας, όπως ειπώθηκε παραπάνω, κυκλικά όλα τα χαρακτηριστικά ώστε να επαληθευθεί η μέθοδος. Κάθε φορά, δηλαδή, το δείγμα αξιολόγησης είναι διαφορετικό από το δείγμα επαλήθευσης, αλλά όλα τα χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται σε κάθε διαφορετική εκτέλεση του πειράματος και ως δείγματα αξιολόγησης και ως δείγματα επαλήθευσης.

#### **4.4. Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Μεθόδου Αναγνώρισης Οδηγών**

Για χάρη σαφήνειας, τα αποτελέσματα της αξιολόγησης θα συζητηθούν αντικατοπτρίζοντας την ανάλυση δεδομένων σε τρεις φάσεις όπως αυτές αναφέρθηκαν παραπάνω. Τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία, τις δοκιμές με βάση υποθέσεις (hypotheses testing) και την ταξινόμηση. Επίσης, στο κείμενο που ακολουθεί, όπου είναι απαραίτητο, τα χαρακτηριστικά θα αναφέρονται με την επίσημη αγγλική τους ορολογία σε πλάγια γραμματοσειρά χωρίς εισαγωγικά. Ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέχει πάντοτε στον Πίνακα Π.1 του παραρτήματος με σκοπό την ενημέρωσή του για την ελληνική ερμηνεία τους. Όπου αναφέρεται αρνητικό δείγμα εννοείται μη εξουσιοδοτημένος οδηγός. Δηλαδή εννοείται ο εντοπισμός ενός πιθανού κλέφτη του οχήματος. Ενώ, όπου αναφέρεται θετικό δείγμα, εννοείται η ταυτοποίηση του δείγματος με τον εξουσιοδοτημένο οδηγό.

#### 4.4.1. Περιγραφικά Στατιστικά Στοιχεία (Descriptive Statistics)

Τα Σχήματα 4.12 – 4.17 δείχνουν τα διαγράμματα σχετικά με τα χαρακτηριστικά κατανάλωση καυσίμου (*Fuel consumption*), ποσοστιαία τιμή εμπλοκής πεντάλ γκαζιού (*Accelerator pedal value*), πίεση αέρα στην εισαγωγή (*Intake air pressure*), ποσοστό μακροπρόθεσμης αλλαγής της ροής καυσίμου (*Long Term Fuel Trim Bank1*), ροπή τριβής (*Torque of friction*) και θερμοκρασία λαδιού μετάδοσης (*Transmission oil temperature*), τα οποία αντιστοιχούν στα χαρακτηριστικά 1, 2, 5, 12, 15 και 35 του Πίνακα Π.1 αντίστοιχα. Όπως είναι αναμενόμενο, δεν είναι δυνατό να αποδοθούν τα διαγράμματα για όλα τα πενήντα ένα χαρακτηριστικά αλλά επιλέχθηκε ένα μέρος αυτών προς περιγραφή. Το συγκεκριμένο δείγμα δεν είναι τυχαίο αλλά κατάλληλο υποσύνολο το οποίο αποτελείται από τα πιο αποτελεσματικά χαρακτηριστικά τα οποία αποδείχθηκε ότι ήταν αυτά που μπορούσαν καλύτερα να ταυτοποιήσουν τους οδηγούς. Σε όλα τα σχήματα ο οριζόντιος άξονας αφορά τον εκάστοτε από τους δέκα οδηγούς. Στο Σχήμα 4.12 εμφανίζονται οι κατανομές για τους οδηγούς όσον αφορά το χαρακτηριστικό κατανάλωσης καυσίμου (*Fuel consumption*). Αυτό το χαρακτηριστικό έχει τιμές από 0 έως 10.000 και μετριέται σε κυβικά χιλιοστά καυσίμου (cubic millimeter – mcc). Η τιμή αυτή εκτιμάται σε κάθε διάστημα λήψης δείγματος, ήτοι ένα δευτερόλεπτο.

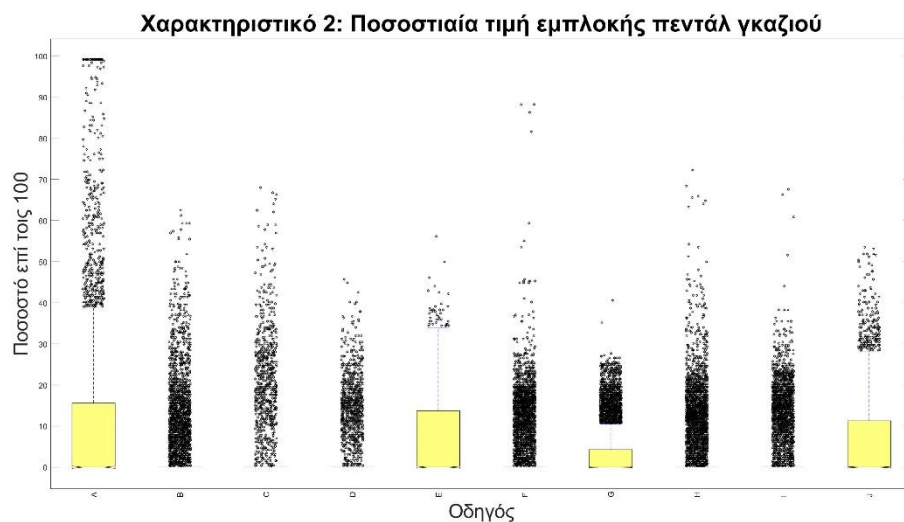


Σχήμα 4.12 : Κατανομή Δεδομένων για το Χαρακτηριστικό (#1)

Εδώ, βλέπουμε ότι οι οδηγοί παρουσιάζουν παρόμοια κατανομή. Συσχετίζοντας όμως το χαρακτηριστικό αυτό με το επόμενο (περισσότερη χρήση του πεντάλ γκαζιού

αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου) ο οδηγός A παρουσιάζει μια πιο ευρεία κατανομή σε σχέση με τους άλλους οδηγούς. Αυτό συνάδει με την επεξήγηση του επόμενου σχήματος (4.13) για το χαρακτηριστικό του βαθμού που πατάει ο οδηγός το πεντάλ του γκαζιού και έχει τιμές από 0 – 100%.

Το διάγραμμα αυτό δείχνει ότι για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό η κατανομή για τους οδηγούς A και E είναι παραπλήσια (τιμή που δεν υπερβαίνει το 20%), ενώ για τους οδηγούς B, C, D, F, H και I είναι κοντά στο 0%. Τέλος, οι οδηγοί G, J δείχνουν μια μέση κατανομή της τιμής ανάμεσα στα υπόλοιπα δύο γκρουπ οδηγών. Έτσι, συμπεραίνουμε πως οι οδηγοί του πρώτου γκρουπ πατούν περισσότερο το πεντάλ του γκαζιού ενώ οι οδηγοί του δεύτερου γκρουπ είναι αρκετά φειδωλοί ως προς το πάτημα αυτού ενώ οδηγοί του τρίτου γκρουπ είναι σε μια ενδιάμεση κατηγορία.

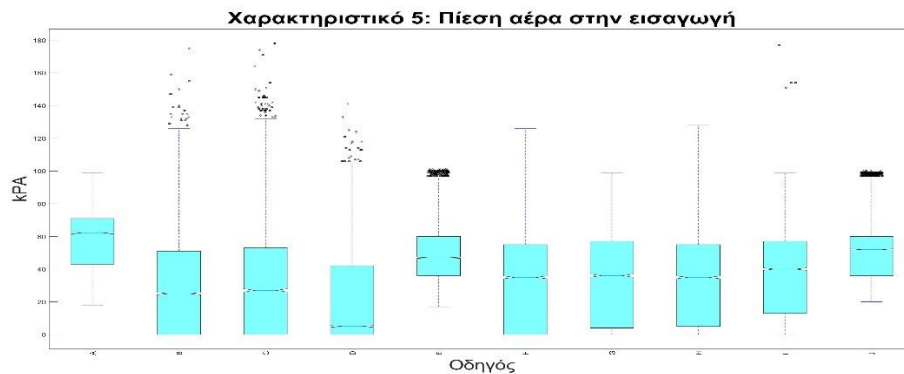


Σχήμα 4.13 : Κατανομή Δεδομένων για το Χαρακτηριστικό (#2)

Στο Σχήμα 4.14 εμφανίζονται οι κατανομές που αφορούν το χαρακτηριστικό της πίεσης αέρα στην εισαγωγή (*Intake\_air\_pressure*), μέγεθος το οποίο κυμαίνεται από 0 έως 255 μετρημένο σε Kilopascal (kPA).

Σε αυτό το σχήμα βλέπουμε πως, οδηγοί A, E και J παρουσιάζουν παρόμοια πίεση (κινούμενη ανάμεσα από 45 – 60 kPA) ενώ οι υπόλοιποι κινούνται στο διάστημα 0 – 50 kPA. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι η πίεση του αέρα στην εισαγωγή επηρεάζεται από το βαθμό που είναι ανοιχτή η πεταλούδα του γκαζιού, χαρακτηριστικό που καθορίζει το πόσο θα είναι το μείγμα αέρα και καυσίμου, το χαρακτηριστικό αυτό υποδεικνύει και υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου. Αυτό συνάδει με τα συμπεράσματα που

βγάλαμε για το δεύτερο χαρακτηριστικό αφού οι ίδιοι οδηγοί που παρουσιάζουν εδώ μεγαλύτερη πίεση αέρα στην εισαγωγή, παρουσιάζουν και αυξημένη τιμή σε εκείνο το διάγραμμα.

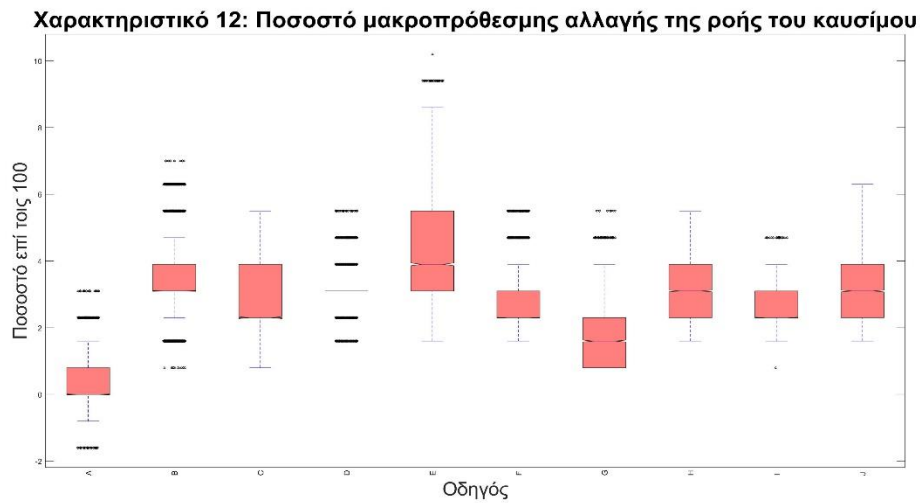


Σχήμα 4.14 : Κατανομή Δεδομένων για το Χαρακτηριστικό (#5)

Το επόμενο χαρακτηριστικό που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.15 είναι το ποσοστό της μακροπρόθεσμης αλλαγής της ροής καυσίμου (*Long\_term\_fuel\_trim\_Bank1*). Ο αριθμός 1 δείχνει ότι υπάρχουν περισσότεροι αισθητήρες τέτοιας μέτρησης κατά μήκος του κυκλώματος τροφοδοσίας καυσίμου. Εμφανίζουν όμως παρόμοια διακύμανση σε καθημερινή χρήση. Τυχούσα διαφορά στις τιμές τους υποδεικνύει σφάλμα στο κύκλωμα καυσίμου. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι η ποσοστιαία διακύμανση της τιμής που χρησιμοποιείται από το κύκλωμα ελέγχου της ροής του καυσίμου σε κύκλους χρήσης. Με περισσότερη λεπτομέρεια, είναι η ποσοστιαία διακύμανση του καυσίμου στο χρόνο. Σε κινητήρες που λειτουργούν άρτια, ο λόγος μεταξύ αέρα και καυσίμου θα πρέπει να κινείται μέσα σε ένα στενό όριο με κεντρική τιμή την 14,7:1. Σε μια κρύα όμως εκκίνηση για παράδειγμα, ή κατά την οδήγηση με υψηλή ταχύτητα σε αυτοκινητόδρομο ή όταν το όχημα είναι σταματημένο στην κίνηση η διακύμανση αυτή διευρύνεται.

Έτσι, η ECU του οχήματος προσπαθεί να το διορθώσει συνέχεια για να κρατήσει το λόγο όσο το δυνατό κοντύτερα στην κεντρική τιμή μέσω κατάλληλης προσαρμογής της ποσότητας καυσίμου που θα χρησιμοποιήσει ο κινητήρας χρησιμοποιώντας και την τιμή του αισθητήρα λ για το πόσο οξυγόνο υπάρχει στα καυσαέρια που υποδεικνύει μη καύση του σε προηγούμενο κύκλο. Αυτή η αλλαγή ονομάζεται *Fuel Trim*. Αλλαγές στον αισθητήρα οξυγόνου συνεπάγονται αυτόματα και αλλαγές στην ποσότητα καυσίμου. Ο όρος *short\_term\_fuel\_trim(STFT)* αναφέρεται σε άμεσες αλλαγές που

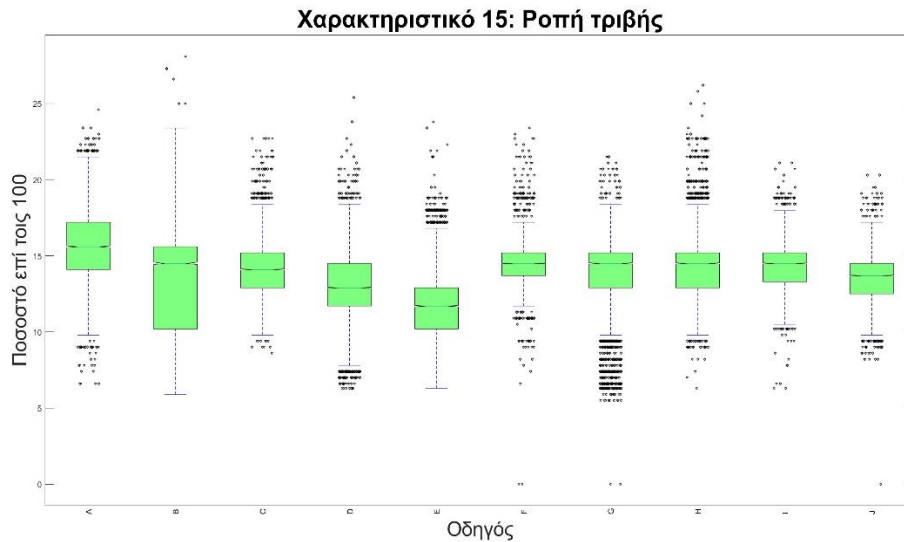
συμβαίνουν πολλές φορές μέσα σε κάθε δευτερόλεπτο, ενώ ο όρος *long\_term\_fuel\_trim(LTFT)* υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των άμεσων αλλαγών σε ένα πιο μεγάλο διάστημα χρόνου. Αρνητική τιμή δείχνει μείωση της ποσότητας καυσίμου ενώ το αντίστροφο συμβαίνει όταν η τιμή είναι θετική.



Σχήμα 4.15 : Κατανομή Δεδομένων για το Χαρακτηριστικό (#12)

Το Σχήμα 4.15 παρουσιάζει τις σχετικές κατανομές και είναι σημαντικό ότι ο οδηγός A έχει την χαμηλότερη κατανομή σε αντίθεση με τον E που έχει την υψηλότερη. Όλοι οι υπόλοιποι έχουν παρόμοια κατανομή μεταξύ 2% και 6%, εκτός από τον οδηγό D που έχει υψηλή μέση τιμή μεν αλλά ελάχιστη διακύμανση σε αυτή δε. Αυτό σημαίνει ότι οδηγεί πολύ συνετά χωρίς να χρειάζονται πολλές διορθώσεις. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι πάρα πολύ χρήσιμο για το διαχωρισμό οδηγών και κλεφτών μιας και οι τελευταίοι σπάνια είναι προσεκτικοί στον τρόπο οδήγησής τους.

Το Σχήμα 4.16 δείχνει τα αποτελέσματα για το χαρακτηριστικό της ροπής τριβής (*Torque\_of\_friction*). Ορίζεται ως η ροπή που προκαλείται από τις δυνάμεις τριβής στο εσωτερικό του κινητήρα. Και αυτό το χαρακτηριστικό παίρνει τιμές από 0 – 100% . Η τριβή αυτή υποδεικνύει ένα μηχανισμό που δίνει τη δυνατότητα στους οδηγούς να εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες του οχήματος ώστε να πετυχαίνουν πιο εύκολες εκκινήσεις και αλλαγές ταχυτήτων. Για να επιτευχθεί η αλλαγή ταχύτητας θα πρέπει η εντολή της αλλαγής από τον λεβιέ ταχυτήτων (ή τον εγκέφαλο σε οχήματα με αυτόματο κιβώτιο) να φτάσει στον άξονα μετάδοσης. Έπειτα απεμπλέκεται ο άξονας μετάδοσης με τον κινητήρα με τη βοήθεια του συμπλέκτη, είτε με το πάτημα του αντίστοιχου πεντάλ, είτε αυτόματα σε οχήματα με αυτόματο κιβώτιο.



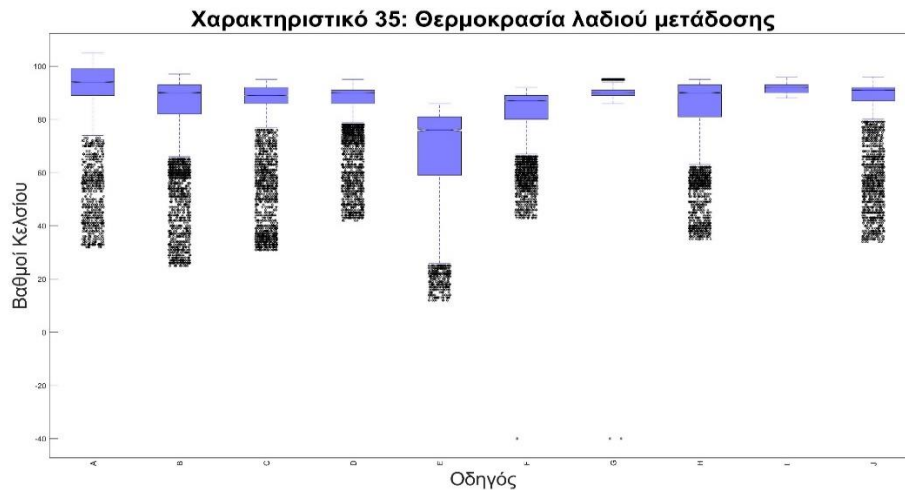
Σχήμα 4.16 : Κατανομή Δεδομένων για το Χαρακτηριστικό (#15)

Όταν ο συμπλέκτης είναι πατημένος (είτε αυτός είναι υδραυλικός, είτε μηχανικός) η τριβή δημιουργεί μια πίεση στο πλατό, και ο δίσκος που έχει υψηλή σταθερά τριβής απεμπλέκεται. Το πεντάλ πρέπει να είναι πατημένο μόνο όταν το όχημα εκκινεί, σταματά ή αλλάζει ταχύτητα. Πολλοί οδηγοί το πατούν κατά τη διάρκεια πορείας αλλά θα πρέπει να επισημανθεί ότι η συνεχής χρήση του προκαλεί ανεπανόρθωτες βλάβες στον συμπλέκτη. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας η ολίσθηση μεταξύ του συμπλέκτη και του άξονα μετάδοσης παράγει μια ροπή λόγω της τριβής των υλικών. Αυτή η ροπή μας δίνει τη δυνατότητα να εμπλέξουμε ξανά τη μετάδοση με τον κινητήρα και να κινηθεί το όχημα και ονομάζεται ροπή τριβής.

Το Σχήμα 4.16 δείχνει ότι όλοι οι οδηγοί της δοκιμής παρουσιάζουν παρόμοια κατανομή στη χρήση του συμπλέκτη. Μόνο ο οδηγός B χρησιμοποιεί το συμπλέκτη παραπάνω από τους υπόλοιπους. Θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι η διαφορά είναι μεγάλη γιατί ενδεχομένως να έπεσε σε κίνηση αλλά η διεξαγωγή της πειραματικής διαδρομής για τέσσερις φορές μειώνει την επίδραση ενός τέτοιου γεγονότος. Επιπλέον, οι οδηγοί F, G, H, I και J παρουσιάζουν παρόμοια κατανομή. Για παράδειγμα, συσχετίζοντας τα δύο αυτά χαρακτηριστικά μπορούμε να πούμε ότι ο οδηγός B είναι πολύ συνετός αλλά θα πρέπει να πατάει λιγότερο το συμπλέκτη για προστασία του οχήματος από φθορά. Από την άλλη, ο οδηγός A παρόλο που οδηγεί πιο σβέλτα (άρα υποθέτουμε ότι αλλάζει συχνότερα ταχύτητες) περνάει πιο λίγο χρόνο πατώντας το πεντάλ του συμπλέκτη.



Το Σχήμα 4.17 που είναι και το τελευταίο αυτής της παραγράφου, δείχνει την θερμοκρασία του λαδιού στη μετάδοση (*Transmission\_oil\_temperature*). Πιο συγκεκριμένα αναφέρεται στη θερμοκρασία της βαλβολίνης στο κιβώτιο και το διαφορικό. Η τιμή του χαρακτηριστικού αυτού κυμαίνεται από -40 έως 215 βαθμούς Κελσίου αν και οι αναμενόμενες τιμές σε νορμάλ λειτουργία κινούνται κοντά στο παράθυρο μεταξύ 80 και 100 βαθμών.



Σχήμα 4.17 : Κατανομή Δεδομένων για το Χαρακτηριστικό (#35)

Ο οδηγός A και πάλι έχει την υψηλότερη θερμοκρασία με τιμή στους 100 βαθμούς Κελσίου. Οι υπόλοιποι οδηγοί κινούνται στο διάστημα μεταξύ 85 και 95 βαθμών που, όπως ειπώθηκε μόλις, είναι και η αναμενόμενη φυσιολογική τιμή. Δεδομένου ότι υπό φυσιολογικές συνθήκες αυτή η τιμή δεν είναι ευμετάβλητη ανάλογα με την οδήγηση του καθενός, αυτό το χαρακτηριστικό δεν είναι τόσο ενδεικτικό μεταξύ διαφορετικών οδηγών αλλά και πάλι παρουσιάζει συμπεριφορές που αξίζει να μελετηθούν. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται και από το Σχήμα 4.17 που ναι μεν δεν παρουσιάζει διαφορές ανάμεσα στους οδηγούς, αλλά όμως έχει κάποιες σημαντικές διακυμάνσεις.

#### 4.4.2. Δοκιμή Υπόθεσης (*Hypothesis Testing*)

Αυτή η δοκιμή έχει σαν στόχο να εξακριβώσει ποια και πόσα από τα χαρακτηριστικά παρουσιάζουν διαφορετικές κατανομές για τον πληθυσμό των οδηγών στο πείραμα που διεξήχθη με στατιστική απόδειξη. Θεωρήθηκαν μη έγκυρα τα δεδομένα όταν η υπόθεση κενού (*null hypothesis*) απορρίπτεται από τα τρία διαφορετικά τεστ που πραγματοποιήθηκαν. Αυτή η υπόθεση σημαίνει δεν υπάρχει σχέση μεταξύ δύο

μετρηθέντων φαινομένων ή συσχέτιση μεταξύ ομάδων. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα Π.2 του παραρτήματος.

Όλα τα χαρακτηριστικά πέρασαν το τεστ Wald – Wolfowitz, ενώ το τεστ Mann – Whitney δεν ήταν επιτυχές για τα χαρακτηριστικά 4, 6, 9, 10, 11, 22, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 34, 43, 50, 51. Τέλος, για το τεστ Kolmogorov – Smirnov τα χαρακτηριστικά που δε το πέρασαν είναι τα 6, 9, 10, 11, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 43. Συνολικά, τα χαρακτηριστικά 6, 9, 10, 11, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 43 δεν πέρασαν τα δύο τελευταία τεστ. Αυτό δείχνει ότι στο συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων δεν ήταν εφικτό για όλα τα χαρακτηριστικά να δώσουν χρήσιμα συμπεράσματα για να ξεχωρίσουν τους οδηγούς, ειδικά τα χαρακτηριστικά που δεν πέρασαν πάνω από ένα τεστ.

Εν τέλει, τα χαρακτηριστικά τα οποία δεν έχουν περάσει το τεστ μηδενικής υπόθεσης, δηλαδή τα χαρακτηριστικά που απέτυχαν είναι η ένωση των επί μέρους συνόλων για κάθε μέθοδο και είναι τα 4, 6, 9, 10, 11, 22, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 43, 50, 51 του πίνακα Π.1. Συνολικά είναι δεκαοχτώ από τα πενήντα ένα χαρακτηριστικά και αυτά θεωρήθηκαν ως μη ικανά για διάκριση των οδηγών. Η ανάλυση ταξινόμησης με την επιλογή χαρακτηριστικών που ακολουθεί θα επιβεβαιώσει ότι αυτά τα χαρακτηριστικά δεν είναι όντως σε θέση να ξεχωρίσουν τους διαφορετικούς οδηγούς για αυτή τη μελέτη.

#### 4.4.3. Ανάλυση Ταξινόμησης (Classification Analysis)

Τα χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν ταξινομήθηκαν χρησιμοποιώντας τους πέντε αλγορίθμους ταξινόμησης που αναφέρθηκαν παραπάνω και οι μετρικές που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης ήταν οι ακόλουθες (και πιο διαδεδομένες στη βιβλιογραφία): Ψευδώς θετικός ρυθμός (FP rate), Ακρίβεια, Ανάκληση, F-Measure and ROC Area [44].

Για χάριν ευκολότερης κατανόησης του παρακάτω κειμένου ορίζονται οι τέσσερις βασικές έννοιες των δειγμάτων ως εξής:

- Ψευδώς θετικά ( $\psi\theta$ ) είναι τα δείγματα που ενώ δεν ανήκουν στον οδηγό χαρακτηρίστηκαν λανθασμένα ότι ανήκουν σε αυτόν.
- Ψευδώς αρνητικά ( $\psi\alpha$ ) είναι τα δείγματα που ενώ ανήκουν στον οδηγό χαρακτηρίστηκαν λανθασμένα ότι δεν ανήκουν σε αυτόν.

- Αληθώς θετικά (αθ) είναι τα δείγματα που σωστά χαρακτηρίστηκαν ότι ανήκουν στον οδηγό.
- Αληθώς αρνητικά (αα) είναι τα δείγματα που σωστά χαρακτηρίστηκαν ότι δεν ανήκουν στον οδηγό.

Σε κάθε εκτέλεση του πειράματος σωστός οδηγός είναι αυτός του δείγματος και λανθασμένος κάποιος από τους υπόλοιπους εννιά. Αυτό, βέβαια, αλλάζει κάθε φορά ώστε να υπάρχει επαλήθευση για όλους τους οδηγούς χρησιμοποιώντας κάθε φορά διαφορετικό οδηγό ως βάση (σωστό οδηγό) ώστε να γίνει η μέτρηση για όλους.

Ο ψευδώς θετικός ρυθμός (ΨΘ ρυθμός) υπολογίζεται ως ο λόγος ανάμεσα στον αριθμό των ψευδώς θετικών δειγμάτων προς το άθροισμα των ψευδώς θετικών και των αληθώς αρνητικών δειγμάτων. Η τιμή του θα πρέπει να τείνει στο μηδέν σε αντίθεση με τα τέσσερα επόμενα που πρέπει να τείνει στο ένα.

$$\Psi\Theta \text{ ρυθμός} = \frac{\psi\theta}{\psi\theta + \alpha\alpha} \quad \text{Εξ. 4.1}$$

Η ακρίβεια υπολογίστηκε ως το ποσοστό του πλήθους δειγμάτων που αληθώς ανήκουν σε μια κλάση X προς το πλήθος των δειγμάτων που συνολικά αποδόθηκαν σε αυτή. Είναι ο λόγος, δηλαδή, του αριθμού των σχετικών δειγμάτων που πάρθηκαν προς τον συνολικό αριθμό σχετικών και μη δειγμάτων. Ορίζεται ως:

$$\text{Ακρίβεια} = \frac{\alpha\theta}{\alpha\theta + \psi\theta} \quad \text{Εξ. 4.2}$$

Όπου το «αθ» δείχνει το πλήθος των αληθώς θετικών δειγμάτων. Η Ανάκληση δείχνει το ποσοστό δειγμάτων που αποδόθηκαν σε μια κλάση προς όλα τα δείγματα που ανήκουν πραγματικά στην κλάση αυτή. Στην ουσία είναι πόσος πληθυσμός από το σύνολό του ανιχνεύθηκε από την κλάση αυτή. Είναι ο λόγος του αριθμού των σχετικών δειγμάτων που πάρθηκαν προς το σύνολο των σχετικών δειγμάτων. Ορίζεται ως:

$$\text{Ανάκληση} = \frac{\alpha\theta}{\alpha\theta + \psi\alpha} \quad \text{Εξ. 4.3}$$

Όπου το «ψα» δείχνει το πλήθος των ψευδώς αρνητικών δειγμάτων. Η μετρική F-measure δείχνει την ακρίβεια της δοκιμής. Αυτό το σκορ μπορεί να ερμηνευθεί ως ένας σταθμισμένος μέσος της ακρίβειας και της ανάκλησης:

$$F_{\text{measure}} = 2 * \frac{\text{Ακρίβεια} * \text{Ανάκληση}}{\text{Ακρίβεια} + \text{Ανάκληση}} \quad \text{Εξ. 4.4}$$

Η μετρική Roc-Area ορίζεται ως η πιθανότητα εάν πάρουμε ένα θετικό τυχαία διαλεγμένο δείγμα αυτό να έχει ταξινομηθεί από τον αλγόριθμο ως αρνητικό. Η ταξινόμηση έγινε με σκοπό την αξιολόγηση της ακρίβειας της δυνατότητας διάκρισης του ιδιοκτήτη από τον κλέφτη. Αυτό γίνεται δημιουργώντας τους κατάλληλους ταξινομητές των δύο κατηγοριών. Πιο αναλυτικά, θεωρούμε δύο διαφορετικές προσεγγίσεις για να φτιάξουμε το μοντέλο ξεκινώντας από τα χαρακτηριστικά.

Στην πρώτη, για την εκπαίδευση του πρώτου ταξινομητή, ορίσαμε ως T ένα σετ κατηγοριοποιημένων δειγμάτων συμπεριφοράς (behavioral traces (ΔΣ,ΟΔ)), όπου το κάθε δείγμα είναι συσχετισμένο με μια κατηγορία ή αλλιώς με τον εκάστοτε οδηγό (ΟΔ  $\in \{A, B, C, D, E, F, G, H, I, J\}$ ). Δηλαδή, πήραμε από κάθε οδηγό ένα δείγμα στο οποίο ήταν γνωστό σε ποιον οδηγό ανήκει και προσπαθούσαμε να δούμε στο υπόλοιπο δείγμα εάν ο αλγόριθμος μπορεί να τον αναγνωρίσει ή όχι χωρίς να γνωρίζει ποιος είναι. Σε αυτή την φάση σκοπός είναι να μπορέσει ο αλγόριθμος να πάρει ένα ποσοστό από το συνολικό δείγμα για όλους τους οδηγούς και μετά το στάδιο της εκπαίδευσης και της δημιουργίας του μοντέλου του ταξινομητή να προσπαθήσει να αντιστοιχήσει το υπόλοιπο δείγμα σε κάθε οδηγό.

Για να εκπαιδύσουμε τον δεύτερο ταξινομητή, τον δυαδικό, ορίσαμε ως T ένα σετ κατηγοριοποιημένων δειγμάτων συμπεριφοράς (behavioral traces (ΔΣ,ΟΔ)), όπου το κάθε ΔΣ είναι συσχετισμένο με μια κατηγορία από τις δέκα. Έτσι, οι υπόλοιπες εννιά κατηγορίες αναφέρονται ως ιδιοκτήτες ή αλλιώς κλέφτες ( $l \in \{\text{κλέφτης, ιδιοκτήτης}\}$ ). Για κάθε ΔΣ φτιάχνουμε ένα διάνυσμα χαρακτηριστικών  $F \in R_y$ , όπου y είναι ο αριθμός χαρακτηριστικών που χρησιμοποιήθηκαν και στο πείραμά μας είναι ίσο με πενήντα ένα. Κατά συνέπεια, σε αυτή την περίπτωση πρέπει το μοντέλο του ταξινομητή να μπορέσει να καταλάβει αν το δείγμα δοκιμής ανήκει ή όχι σε έναν και μόνο συγκεκριμένο οδηγό κάθε φορά.

Για τη φάση της εκμάθησης, χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο “k-fold cross-validation” [69], όπου το συνολικό σετ δεδομένων που ανακτήθηκε τμηματοποιήθηκε τυχαία σε k υποσύνολα. Ένα από αυτά τα υποσύνολα ορίζεται ως το υποσύνολο για δοκιμή του μοντέλου ενώ τα υπόλοιπα k-1 υποσύνολα χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εκπαίδευσης. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε ένα από τα k υποσύνολα

ούτως ώστε να χρησιμοποιηθούν όλα από μία φορά ως υποσύνολα για δοκιμή του μοντέλου. Το μέγεθος  $k$  δεν έχει να κάνει με το μέγεθος του δείγματος. Όσο μεγαλύτερο είναι, τόσο περισσότερη ακρίβεια αλλά και υπολογιστικό κόστος και αριθμό επαναλήψεων έχουμε. Έγινε επανάληψη της διαδικασίας όπου κάθε ένα από τα υποσύνολα χρησιμοποιήθηκε ως σετ δεδομένων αξιολόγησης. Η διαδικασία εκτελέστηκε διαδοχικά, για κάθε ένα από τους οδηγούς. Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της μεθόδου ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη διαδικασία. Πρωτίστως δημιουργήθηκε ένα σετ δεδομένων εκπαίδευσης (training set -  $T \subset D$ ), όπου  $D$  είναι το συνολικό σετ δεδομένων. Ακολούθως, δημιουργήθηκε το σετ δεδομένων από ένα από αυτά τα  $k$  υποσύνολα για τη δοκιμή (δείγμα δοκιμής:  $T' = D - T$ ). Στην ουσία είναι η τομή του πρώτου συνόλου με το συνολικό σετ δεδομένων. Έπειτα από τη δημιουργία αυτών, τρέξαμε την φάση εκπαίδευσης στο  $T$  και, τέλος, εφαρμόστηκε το εκπαιδευμένο μοντέλο ταξινομητή σε κάθε στοιχείο του  $T'$ . Κάθε ταξινόμηση έγινε χρησιμοποιώντας το 20% του συνολικού σετ δεδομένων ως σετ εκπαίδευσης ενώ το υπόλοιπο 80% ως σετ δοκιμής. Ορίστηκε ως  $C_u$  το σετ των ταξινομήσεων που πραγματοποιήσαμε, όπου  $u$  χρησιμοποιείται ως διευκρινιστικό για κάθε οδηγό ( $1 \leq u \leq 10$ ).

#### 4.4.3.1. Ταξινόμηση για Όλους τους Οδηγούς

Για χάρη σαφήνειας, θα εξηγήσουμε με ένα παράδειγμα τη μέθοδο που χρησιμοποιήσαμε για τη δυαδική ταξινόμηση. Όταν πραγματοποιούμε την  $C_2$  ταξινόμηση, κατηγοριοποιούμε τα δείγματα που συσχετίζονται με τον οδηγό 2 ή  $B$  ως τα δείγματα του οδηγού και όλα τα υπόλοιπα ως κλέφτες, όταν στην πρώτη ταξινόμηση θεωρήθηκαν όλοι οι οδηγοί ως διαφορετικές οντότητες και η προσπάθεια ήταν στο να ξεχωριστεί ο κάθε οδηγός. Ενώ τώρα, σε αντίθεση με πριν, η ανάλυση έγινε στο να έχουμε κάποιον οδηγό χαρακτηρισμένο ως σωστό και τους άλλους ως πιθανούς κλέφτες. Ο  $\Psi\Theta$  ρυθμός ήταν ίσος με 0,001 για τους J48, J48graft και J48consolidated αλγορίθμους. Τα αποτελέσματα για την Ακρίβεια, την Ανάκληση και το F-Measure ήταν ίσα με 0,992 χρησιμοποιώντας τους J48 και J48graft αλγορίθμους ταξινόμησης. Το Roc-Area ήταν ίσο με 0,998 χρησιμοποιώντας τους J48, J48graft, J48consolidated και RepTree αλγορίθμους ταξινόμησης.

Αυτό σημαίνει ότι το σφάλμα ήταν περίπου 0.1-0.2% σε κάθε περίπτωση που σημαίνει ότι η μέθοδος ήταν πολύ αποτελεσματική. Τα χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν ως καλύτερα είναι τα χαρακτηριστικά 1 (κατανάλωση καυσίμου), 2 (ποσοστιαία τιμή εμπλοκής πεντάλ γκαζιού), 5 (πίεση αέρα στην εισαγωγή), 12 (ποσοστό μακροπρόθεσμης αλλαγής της ροής καυσίμου), 15 (ροπή τριβής), 35 (θερμοκρασία λαδιού μετάδοσης) που είναι και τα χαρακτηριστικά που αναλύθηκαν στην παράγραφο 4.4. Και οι δύο αλγόριθμοι επιλογής χαρακτηριστικών που χρησιμοποιήθηκαν (BestFirst, GreedyStepwise) επιβεβαίωσαν ότι τα έξι αυτά χαρακτηριστικά από τα συνολικά πενήντα ένα χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν είναι τα καλύτερα όσον αφορά την δυνατότητα εξαγωγής ασφαλέστερων συμπερασμάτων για την ταυτότητα του οδηγού. Όπως είναι αναμενόμενο, και τα έξι χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν πέρασαν το τεστ κενής υπόθεσης όπως δείχνει ο Πίνακας Π.2 του παραρτήματος.

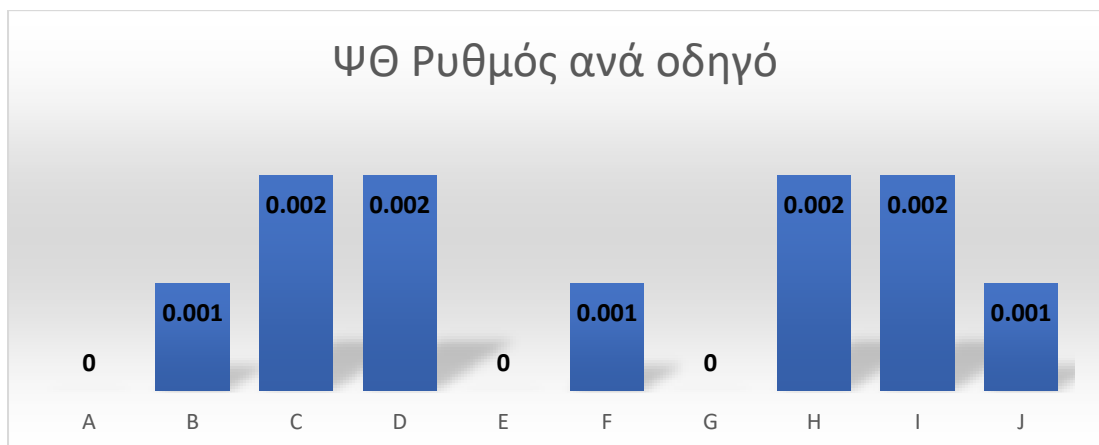
#### 4.4.3.2. Ταξινόμησης Λαμβάνοντας Υπόψιν τα Καλύτερα Έξι Χαρακτηριστικά

Στην συγκεκριμένη περίπτωση επαναλάβαμε την ανάλυση ταξινόμησης λαμβάνοντας όμως υπόψιν μόνον τα έξι καλύτερα χαρακτηριστικά. Τα αποτελέσματα που πήραμε, όσον αφορά τις μετρικές ανάλυσης, είναι πολύ κοντά στα προηγούμενα, κάτι που όντως επιβεβαιώνει ότι με την ελάττωση των χαρακτηριστικών δεν μειώθηκε η αποτελεσματικότητα της μεθόδου, ενώ μειώθηκε κατά πολύ το υπολογιστικό κόστος και ο χρόνος που χρειάζεται ο αλγόριθμος για να τα εξάγει. Τα πειράματα έγιναν σε τρεις διαφορετικούς υπολογιστές. Σε έναν σταθερό με τελευταίας γενιάς επεξεργαστή i7, σε ένα φορητό με πέμπτης γενιάς επεξεργαστή i3 και σε ένα RaspberryPi 3 που έχει χαμηλή υπολογιστική δύναμη. Τα πειράματα απαίτησαν περίπου 6, 15 και 28 λεπτά για τα 6 χαρακτηριστικά και περίπου 21, 53 και 74 λεπτά για τα πενήντα ένα αντίστοιχα για κάθε τύπο υπολογιστή. Συνολικά η βελτίωση ήταν 72%, 75% και 63% για κάθε τύπο συσκευής αντίστοιχα. Επιπλέον, η χρησιμοποίηση λιγότερων χαρακτηριστικών βοηθά στην απλούστευση της μεθόδου καθώς η ανάκτηση τους είναι ευκολότερη. Επίσης, ο χώρος που απαιτείται να αποθηκευτούν τα δεδομένα για εξαιρετικά λιγότερα χαρακτηριστικά είναι αντίστοιχα πολύ μικρότερος. Το μέγεθος του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε ήταν 17.6 MB για τα πενήντα ένα χαρακτηριστικά και 2.72 MB για τα έξι. Αυτό σημαίνει ότι το δείγμα ελαττώθηκε κατά 85%. Το τελευταίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό μιας και η υπολογιστική ισχύς αλλά και ο αποθηκευτικός χώρος που

διαθέτουν οι ECU στα σημερινά αυτοκίνητα δεν είναι τόσο μεγάλα. Τα αποτελέσματα που πήραμε πραγματοποιώντας το ίδιο πείραμα ήταν ΨΘ-ρυθμός ίσος με 0,001 χρησιμοποιώντας τους J48 και J48graft αλγορίθμους. Ακρίβεια, ανάκληση και F-Measure ήταν ίσα με 0,989 χρησιμοποιώντας τους J48 και J48graft αλγορίθμους ενώ το Roc-area ήταν ίσο με 0,998 χρησιμοποιώντας τους J48, J48consolidated και RepTree αλγορίθμους. Αυτό δείχνει ότι τα αποτελέσματα είναι παραπλήσια με προηγουμένως όπου χρησιμοποιήθηκαν όλα τα χαρακτηριστικά.

#### 4.4.3.3. Ταξινόμηση με Δυαδικό Ταξινομητή

Για να έχουμε μια πλήρη οπτική εικόνα για τη δεύτερη πράξη της ταξινόμησης, έγινε αναπαράσταση μέσω ιστογραμμάτων των επιδόσεων οι πέτυχαν οι αλγόριθμοι ταξινόμησης για κάθε μετρική λαμβάνοντας υπόψιν ότι ο αλγόριθμος ταξινόμησης μπορεί να φτάσει την καλύτερη επίδοση στο περιβάλλον που χρησιμοποιούνται τα έξι καλύτερα χαρακτηριστικά και όχι και τα πενήντα ένα. Επιπλέον, οι αναπαραστάσεις που ακολουθούν αφορούν τα αποτελέσματα για τον αλγόριθμο J48 που ήταν και ο πιο επιτυχής.



Σχήμα 4.18 : Αποτελέσματα Ψευδώς Θετικού (ΨΘ) Ρυθμού ανά Οδηγό

Το Σχήμα 4.18 δείχνει τη μετρική του ΨΘ-ρυθμού χρησιμοποιώντας ταξινόμηση με βάση τα έξι καλύτερα χαρακτηριστικά με τον J48 αλγόριθμο που ήταν αυτός με την καλύτερη απόδοση. Βλέπουμε ότι η τιμή του ΨΘ-ρυθμού κυμαίνεται από 0 έως 0,002 για όλους τους οδηγούς. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ο αριθμός ψευδώς θετικών (false positives) της μεθόδου μας είναι ελάχιστος. Όπως ειπώθηκε πιο πάνω, ο στόχος της συγκεκριμένης μετρικής είναι να πλησιάσει όσο το δυνατό στο μηδέν. Κατά συνέπεια,

το χειρότερο νούμερο (ίσο με 0,002) το εμφανίζουν οι οδηγοί C, D, H και I ενώ το καλύτερο (ίσο με 0) το εμφανίζουν οι οδηγοί A, E, G, και ανάμεσα βρίσκονται οι οδηγοί B, F και J στο 0,001.

Σε αντίθεση, στις επόμενες μετρικές που ακολουθούν καλύτερη επίδοση είναι εκείνη που πλησιάζει στο 1. Καλύτερα ορίζονται ως τα αποτελέσματα που ήταν πιο κοντά σε αυτούς τους αριθμούς, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για αυτά που ορίζονται ως χειρότερα. Δηλαδή, καλύτερα είναι τα δείγματα οδηγών που είναι πιο εύκολα διαχωρίσιμα, ενώ χειρότερα εκείνα που είναι δυσκολότερα διαχωρίσιμα. Το Σχήμα 4.19 δείχνει την ακρίβεια που επιτεύχθηκε στην ταξινόμηση με βάση και πάλι τα καλύτερα έξι χαρακτηριστικά και τον αλγόριθμο J48 όπου ήταν ο καλύτερος.



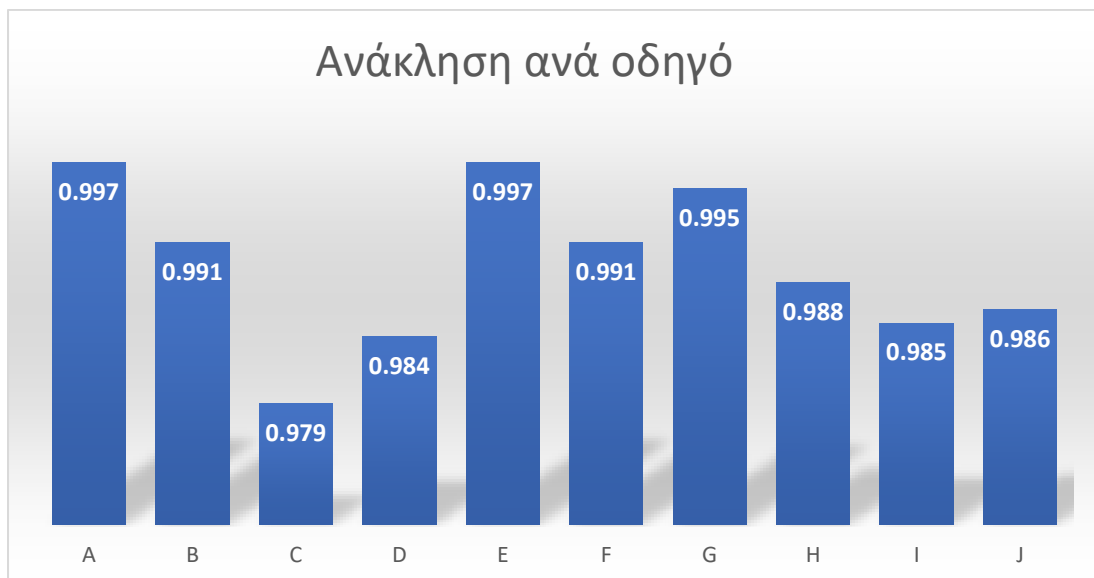
Σχήμα 4.19 : Αποτελέσματα Ακρίβειας ανά Οδηγό

Βλέπουμε ότι η τιμή της ακρίβειας κυμαίνεται από 0,98 έως 0,998 για όλους τους οδηγούς του πειράματος. Αυτό το αποτέλεσμα δείχνει ότι η μέθοδος μας ήταν σε θέση να αναγνωρίσει σε 100 περιπτώσεις τις 98 ή 99 ως σωστά αν είναι ο ιδιοκτήτης ή κάποιος κλέφτης. Ειδικότερα, οι οδηγοί A, B, E, F, G, και J έχουν ακρίβεια μεγαλύτερη από 0,99. Από την άλλη, οι οδηγοί C, D, H και I έχουν ακρίβεια ίση ή μεγαλύτερη από 0,98. Τέλος, το Σχήμα 4.20 δείχνει τις τιμές που επιτεύχθηκαν για την ανάκληση στην ταξινόμηση με βάση και πάλι τα καλύτερα έξι χαρακτηριστικά και τον αλγόριθμο J48 όπου ήταν ο καλύτερος.

Η ανάκληση κυμαίνεται από 0,979 έως 0,997 για όλους τους οδηγούς του πειράματος. Η μέγιστη τιμή αυτής παρατηρείται στους οδηγούς A (0,997), E (0,997), G (0,995), B (0,991) και F (0,991). Οι υπόλοιποι οδηγοί έχουν τιμή που είναι μεγαλύτερη από 0,98 πλην του οδηγού που έχει 0,979 που και πάλι είναι σχεδόν ίση με 0,98. Έτσι, κι εδώ, η μέθοδος μας δεν παρουσιάζει τιμή μικρότερη από σχεδόν 0,98.



Κλείνοντας, θα πρέπει να επισημανθεί ότι, οι δενδροειδείς αλγόριθμοι καθώς και οι αλγόριθμοι BestFirst και GreedyStepwise επιλέχθηκαν από την βιβλιογραφία και δεν υλοποιήθηκαν από τον γράφοντα. Η επιλογή τους έγινε με βάση πλήθος δοκιμών με το εργαλείο Weka που χρησιμοποιήθηκε. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι δοκιμές έγιναν σε δύο στάδια. Το πρώτο ήταν να μπορέσει να ταυτοποιηθεί ο οδηγός μέσα από το πλήρες σετ δεδομένων. Μετέπειτα, να απλοποιηθούν τα χαρακτηριστικά, χωρίς όμως να αλλοιώνεται η ποιότητα του αποτελέσματος. Όπως και έγινε, το αποτέλεσμα με τα έξι μόνο χαρακτηριστικά επαλήθευσε την επιλογή χωρίς ουσιαστική αλλοίωση του αποτελέσματος.



Σχήμα 4.20 : Αποτελέσματα Ανάκλησης ανά Οδηγό

Ακολούθως, η διαδικασία στόχευσε στο να καταφέρουμε να ταυτοποιήσουμε έναν οδηγό, δίνοντας ως είσοδο ένα μέρος από τα χαρακτηριστικά του. Η διαδικασία αυτή έγινε για όλους τους οδηγούς με αρκετά ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Αυτό υποδεικνύει ότι η μέθοδος που παρουσιάστηκε είναι μία πολύ καλή βάση για περαιτέρω ανάλυση στο μέλλον. Ο χρόνος υπολογισμού των αποτελεσμάτων δεν ήταν ενθαρρυντικός για χρήση σε όχημα όταν χρησιμοποιήθηκαν και τα πενήντα ένα χαρακτηριστικά αλλά με τον περιορισμό τους σε μόλις έξι, προκύπτει ότι η ενσωμάτωση του μοντέλου της διατριβής είτε στην εφαρμογή που δημιουργήθηκε για το σκοπό αυτό, είτε απευθείας στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου («εγκέφαλο») του οχήματος, μπορεί να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα με σκοπό την αποδοτικότερη αξιοποίηση στόλων οχημάτων ή την ανίχνευση μη εγκεκριμένων οδηγών σε αυτά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

---

#### 5.1. Συμπεράσματα

#### 5.2. Προτάσεις

---

##### 5.1. Συμπεράσματα

Η παρούσα διατριβή αποτελεί μία πρότυπη εργασία η οποία ασχολείται με την ολοκληρωτική ανάκτηση, επεξεργασία, προβολή, αποθήκευση και αξιολόγηση δεδομένων από την θύρα OBD των σύγχρονων οχημάτων. Ενώ, στην υπάρχουσα βιβλιογραφία οι μελέτες που απαντώνται ασχολούνται μονοδιάστατα είτε με το hardware, είτε με την παρουσίαση κάποιου software που αξιοποιεί τα δεδομένα που έχουν ανακτηθεί, η παρούσα εργασία παρουσιάζει και τα δύο σε συνεργασία με ένα ακόμα επίπεδο, αυτό της αξιολόγησης και αξιοποίησης των δεδομένων και αναγνώρισης της ταυτότητας του οδηγού.

Συνολικά, αποκτήθηκε ένας προσαρμογέας σύνδεσης στη θύρα OBD, ο οποίος είναι σε θέση να μεταδώσει μέσω ασύρματης ζεύξης Bluetooth τα δεδομένα της θύρας OBD. Έπειτα, δημιουργήθηκε εφαρμογή σε Android με σκοπό την ανάκτηση, προβολή και αποθήκευση των δεδομένων. Έτσι ο χρήστης είναι σε θέση να βλέπει σε πραγματικό χρόνο δεδομένα για την κατάσταση του οχήματος και τον τρόπο οδήγησής του. Ομοίως, έχουν πρόσβαση στα δεδομένα όλοι όσοι έχουν πρόσβαση στο server αποθήκευσής του, όπως για παράδειγμα κάποιος εργοδότης ή κάποιος αναλυτής δεδομένων.

Από τη μελέτη που διεξήχθη συμπεραίνουμε πως, είναι πια πολύ εύκολο να ανακτήσει κάποιος τα δεδομένα από την θύρα OBD. Όμως, ο χρήστης που θα το κάνει θα πρέπει να είναι πολύ προσεκτικός ώστε να μην πέσει θύμα απάτης με πλαστό προσαρμογέα για την ανάκτηση των δεδομένων μιας και η πληθώρα των προσαρμογέων που μπορεί κάποιος να βρει στο ίντερνετ είναι κλώνοι και όχι οι πραγματικοί και εγκεκριμένοι προσαρμογείς. Επιπλέον, διακρίναμε πως τα δεδομένα που μπορούν να ανακτηθούν από τη θύρα OBD είναι πάρα πολλά, με αρκετά εξ αυτών να είναι σημαντικά στην αναγνώριση του οδηγού ή στην παρακολούθηση παραμέτρων για τον τρόπο οδήγησής

του καθώς και την συμπεριφορά του ως προς την διατήρηση της καλής κατάστασης του οχήματος. Έτσι, οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να αποκτήσουν μια ενδεδειγμένη άποψη για το όχημα και τη χρήση του εξάγοντας κατάλληλη πληροφορία, είτε μετά από ατύχημα, είτε για την εξατομίκευση ασφαλιστικών συμβολαίων, είτε για την βέλτιστη διαχείριση του στόλου των οχημάτων μιας επιχείρησης.

Ακολούθως, παρουσιάστηκε, μελετήθηκε και αξιολογήθηκε μια μέθοδος ταυτοποίησης του οδηγού, μέσω υφιστάμενων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, στο πλαίσιο της αξιολόγησής των δεδομένων από τη θύρα OBD. Η μέθοδος που παρουσιάστηκε για την αναγνώριση των οδηγών πέτυχε πολύ καλά αποτελέσματα παρουσιάζοντας σφάλμα μικρότερο του 1% στην αναγνώριση των οδηγών. Επιπλέον, δείχθηκε πως δεν είναι απαραίτητα όλα τα δεδομένα που υπάρχουν στη θύρα OBD για να αναγνωριστεί σωστά ο οδηγός, αλλά, με κατάλληλη επιλογή τους, μπορεί να γίνει αναγνώριση ακόμα και με το 10% αυτών με ότι αυτό συνεπάγεται σε κέρδος ως προς την ταχύτητα και το υπολογιστικό κόστος, χωρίς να επηρεάζεται η ακρίβεια του αποτελέσματος της μεθόδου. Η αναγνώριση των οδηγών μπορεί να αυξήσει την ασφάλεια των οχημάτων ακινητοποιώντας ένα όχημα αν ο οδηγός δεν είναι διαπιστευμένος, αλλά και να εφαρμοστεί για την τήρηση ορίων ή τον περιορισμό των δυνατοτήτων για νέους οδηγούς.

## 5.2. Προτάσεις

Μελλοντικός στόχος είναι η διεξαγωγή περισσότερων και αναλυτικότερων πειραμάτων για την δημιουργία ενός νέου συνόλου δεδομένων με την εφαρμογή που σχεδιάστηκε στην παρούσα διατριβή με σκοπό την περαιτέρω επιβεβαίωση των όσων συμπερασμάτων εξήχθησαν κατά την παρουσίαση της μεθόδου αναγνώρισης του οδηγού με τη χρήση του έτοιμου σετ δεδομένων.

Η παρούσα διατριβή χειρίστηκε παθητικά τη θύρα OBD. Δηλαδή, δεν υπήρξε κάποια επέμβαση σε αυτή αλλά μονάχα ανάκτηση δεδομένων. Σε επόμενο στάδιο, σκοπός είναι ένας πιο ενεργητικός ρόλος με τη μεταβίβαση κατάλληλων μηνυμάτων στη θύρα OBD ώστε να πραγματοποιηθεί η εφαρμογή πολιτικών ανάλογα με την εκάστοτε ρύθμιση. Για παράδειγμα, στην περίπτωση αναγνώρισης ενός κλέφτη του οχήματος αυτό να ακινητοποιηθεί με ασφάλεια και να μη μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί μέχρι να επέμβει η αστυνομία ή να γίνει επαναφορά στην αρχική κατάσταση. Όμως, ο ενεργητικός ρόλος στη θύρα OBD, απαιτεί δοκιμή πρωτίστως σε κάποιο προσομοιωτή

της ECU ενός οχήματος πριν χρησιμοποιηθεί σε πραγματικό όχημα για ομαλότερη διεξαγωγή πειραμάτων με ασφάλεια.

Ωστόσο, ο γράφων έχει προβεί στις κατάλληλες κινήσεις για την παροχή ενός προσομοιωτή και οχήματος με ειδικό συμβόλαιο ασφάλισης για την οδήγησή του από περισσότερους εκ του ενός οδηγούς καθώς και την ανάληψη του κόστους βλαβών και ζημιών καθ' όλη την διάρκεια διεξαγωγής των πειραμάτων.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [1] P. Gargano, "Baud ALDL Interface," Tech Edge Pty. Ltd., Aranda, Australia, 2010.
- [2] "USB - ALDL Cable User's Guide," 1320 Electronics LLC, Florida, 2007.
- [3] A. R. Board, "On-Board Diagnostic II (OBD II) Systems - Fact Sheet / FAQs," California Environmental Protection Agency, 28 10 2015. [Online]. Available: <https://www.arb.ca.gov/msprog/obdprog/obdfaq.htm>. [Accessed 20 6 2017].
- [4] E. Parliament, *DIRECTIVE 98/69/EC*, BRUSSELS: EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, 1998.
- [5] "ISO 15765-4:2011, Road vehicles -- Diagnostics on Controller Area Networks (CAN)," International Organization for Standardization, Geneva, 2011.
- [6] P. E. Agency, "Control of Air Pollution From New Motor Vehicles and New Motor Vehicle Engines," Federal Register Environmental Documents, Washington DC, 2005.
- [7] *Introduction to OBD II*, Atlanta: NAPA Institute of Automotive Technology, 1998.
- [8] ALDL Bare Pin Cable Instructions, ALDL Bare Institute, 2001.
- [9] W. Turner, Prado 90 OBDI vs OBDII TDCL vs MOBD, Perth: Pradopoint, 2015.
- [10] M. Williams, *LAND CRUISER PRADO REPAIR MANUAL*, Coatesville: Wlap.ORG, 2007.
- [11] "Supported Vehicle Interfaces," OpenXC, [Online]. Available: <http://openxcplatform.com/vehicle-interface/hardware.html>. [Accessed 26 6 2017].
- [12] "On-Board Diagnostics: California," DieselNet, 1 9 2010. [Online]. Available: [https://www.dieselnet.com/standards/us/obd\\_ca.php](https://www.dieselnet.com/standards/us/obd_ca.php). [Accessed 24 6 2017].
- [13] 1994 Corvette Service Manual, Detroit: General Motors Corporation, 1993.
- [14] "EEC IV Code Reader," Ford Scorpio Club UK, 1 6 2003. [Online]. Available: <http://www.fordscorpio.co.uk/star.htm>. [Accessed 19 6 2017].
- [15] "OBD-II (Check Engine Light) Trouble Codes," OBD - Codes, 1 3 2004. [Online]. Available: [https://www.obd-codes.com/trouble\\_codes/](https://www.obd-codes.com/trouble_codes/). [Accessed 16 5 2017].
- [16] D. o. T. a. R. Service, "Vehicle Standard (Australian Design Rule 79/01 - Emission Control for Light Vehicles)," Office of Legislative Drafting and Publishing, Canberra, 2008.

- [17] O. o. L. D. a. Publishing, "Vehicle Standard (Australian Design Rule 79/02 - Emission Control for Light Vehicles) 2005," Attorney-General's Department, Canberra, 2010.
- [18] A. V. Khanapuri, A. Shastri, G. D'souza and S. D'souza, "On road: A car assistant application," in *2015 International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD)*, Mumbai, 2015.
- [19] A. Galanti, *Bosch's Controller Area Network*, Rome: Università degli Studi RomaTre, 2005.
- [20] E. P. Agency, *Control of Air Pollution From Motor Vehicles and New Motor Vehicle Engines; Final Rule*, Ann Arbor: United States Environmental Protection Agency, 2003.
- [21] "Escape PHEV TechInfo," Electric Auto Association - Plug in Hybrid Electric Vehicle, [Online]. Available: [http://www.eaa-phev.org/wiki/Escape\\_PHEV\\_TechInfo#PIDs](http://www.eaa-phev.org/wiki/Escape_PHEV_TechInfo#PIDs). [Accessed 20 2 2017].
- [22] "ETI - Membership," Equipment and Tool Institute, [Online]. Available: <https://www.ertools.org/>. [Accessed 19 3 2017].
- [23] "Vehicle Companies separate license requirements," ETI, [Online]. Available: <https://www.ertools.org/OEMLicensing/>. [Accessed 24 3 2017].
- [24] D. Gallinella, *CAN Controller Area Network*, Rome: Università degli Studi RomaTre, 2004.
- [25] S. Maggi, *Dispensa sul Controller Area Network (CAN)*, Milan: Politecnico di Milano, 2011.
- [26] A. Sathyanarayana, P. Boyraz and J. H. L. Hansen, "Effects of Multitasking on Drivability Through CAN-Bus Analysis," in *Smart Mobile In-Vehicle Systems: Next Generation Advancements*, New York, Springer, 2014, pp. 169-182.
- [27] "OBD INTERPRETER ICS," OBD Solutions, [Online]. Available: <http://www.obdsol.com/solutions/chips/>. [Accessed 27 4 2017].
- [28] "Snapshot," Progressive Casualty Insurance Company, [Online]. Available: <https://www.progressive.com/auto/snapshot/>. [Accessed 27 3 2017].
- [29] F. Cruz, "IOSIX OBD - II/CAN LOGGER," IOSIX, [Online]. Available: <http://iosix.com/>. [Accessed 7 4 2017].
- [30] "EOBD SCANNERS VOOR APK2," Smeets Solutions B.V., [Online]. Available: <https://diagnoseapparatuur.nl/obd-scanners/speciaal-apk>. [Accessed 1 5 2017].
- [31] D. Peters, "QContinuum Freeware," 3 10 2009. [Online]. Available: <http://qcontinuum.org:80/obdgauge/index.htm>. [Accessed 8 4 2017].

- [32] "OBDII: Past, Present & Future," 1 9 2012. [Online]. Available: [http://www.autotap.com/techlibrary/obdii\\_past\\_present\\_future.asp](http://www.autotap.com/techlibrary/obdii_past_present_future.asp). [Accessed 24 6 2017].
- [33] E. Electronics, "ELM327 OBD to RS232 Interpreter," 1 2014. [Online]. Available: <https://www.elmelectronics.com/wp-content/uploads/2016/07/ELM327DS.pdf>. [Accessed 1 5 2017].
- [34] "ELM327 Compatible Software," IMechatronics, 6 5 2012. [Online]. Available: <http://www1.imechatronics.com/?kw=obd%20ii%20diagnostics>. [Accessed 28 6 2017].
- [35] "OBD Intrepreters," ELM Electronics, [Online]. Available: <https://www.elmelectronics.com/products/ics/obd/>. [Accessed 24 6 2017].
- [36] "ELM327 AT Commands," 15 9 2012. [Online]. Available: [https://www.elmelectronics.com/wp-content/uploads/2016/07/AT\\_Command\\_Table.pdf](https://www.elmelectronics.com/wp-content/uploads/2016/07/AT_Command_Table.pdf). [Accessed 24 5 2017].
- [37] D. B. Hayley, "ELM327 mini guide," 18 12 2008. [Online]. Available: <http://www.ebay.co.uk/gds/ELM327-mini-guide-Read-Before-Buying-/10000000009829308/g.html>. [Accessed 17 5 2017].
- [38] ScanTool.net, "Why you should not buy ELM327 clones," 7 6 2007. [Online]. Available: <https://www.scantool.net/forum/index.php?topic=2379.0>. [Accessed 28 5 2017].
- [39] E. Electronics, "ELM327 v2.2," [Online]. Available: <https://www.elmelectronics.com/ic/elm327/>. [Accessed 31 5 2017].
- [40] E. Electronics, "ELM327 SW versions," [Online]. Available: <https://www.elmelectronics.com/products/ics/obd/#ELM327>. [Accessed 5 31 2017].
- [41] B. Il Kwak, "Driving Dataset Release," Hacking and Countermeasure Research Lab,2016.[Online].Available:<https://sites.google.com/a/hksecurity.net/ocslab/Datasets/driving-dataset>. [Accessed 7 January 2017].
- [42] M. Schmitz, "Usa Today - Car theft rate starts to rise," 16 February 2016. [Online].Available: <https://www.usatoday.com/story/money/cars/2016/02/16/car-theft-rate-starts-rise/80445860/>. [Accessed 7 December 2016].
- [43] "Uniform Crime Reporting," [Online]. Available: <https://ucr.fbi.gov/>. [Accessed 5 December 2016].

- [44] F. Martinelli, F. Mercaldo, V. Nardone and A. Santone, "Car hacking identification through fuzzy logic algorithms," in *International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 2017.
- [45] K. Alheeti, A. Gruebler and K. McDonald-Maier, "An intrusion detection system against malicious attacks on the communication network of driverless cars," in *2015 12th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, 2015.
- [46] N. Lyamin, A. Vinel, M. Jousson and J. Loo, "Real-time detection of denial-of-service attacks in IEEE 802.11p vehicular networks," *IEEE Communications letters*, vol. 18, no. 1, pp. 110-113, 2014.
- [47] A. Taylor, S. Leblanc and N. Japkowicz, "Anomaly detection in automobile control network data with long short-term memory networks," in *IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA)*, 2016.
- [48] E. Massaro, C. Ahn, C. Ratti, P. Santi, R. Stahlmann, A. Lamprecht, M. Roehder and M. Huber, "The car as an ambient sensing platform," *Proceedings of the IEEE*, vol. 105, no. 1, pp. 3-7, 2017.
- [49] K. Niinuma, U. Park and A. Jain, "Soft biometric traits for continuous user authentication," *IEEE Transactions on information forensics and security*, vol. 5, no. 4, pp. 771-780, 2010.
- [50] A. Azzini, S. Marrara, R. Sassi and F. Scotti, "A fuzzy approach to multimodal biometric continuous authentication," *Fuzzy Optimization and Decision Making*, vol. 7, no. 3, pp. 243-256, 2008.
- [51] I. Traore, "Continuous Authentication Using Biometrics: Data, Models, and Metrics," IGI Global, 2011.
- [52] K. Mock, B. Hoanca, J. Weaver and M. Milton, "Real-time continuous iris recognition for authentication using an eye tracker," in *Proceedings of the 2012 ACM conference on Computer and communications security*, 2012.
- [53] Z. Sitova, J. Sedenka, Q. Yang, G. Peng, G. Zhou, P. Gasti and K. Balagani, "Hmog: New behavioral biometric features for continuous authentication of smartphone users," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 11, no. 5, pp. 8877-892, 2016.
- [54] T. Feng, Z. Liu, K. Kwon, W. Shi, B. Carbunar, Y. Jiang and N. Nguyen, "Continuous mobile authentication using touchscreen gestures," in *IEEE Conference on Technologies for Homeland Security (HST)*, 2012.



- [55] G. Canfora, P. Di Notte, F. Mercaldo and C. Visaggio, "Silent and continuous authentication in mobile environment," in *Proceedings of the 13th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications (ICETE 2016)*, Lisbon, 2016.
- [56] T. Mitchell, "Machine learning and data mining," *Communications of the ACM*, vol. 42, no. 11, pp. 30-36, 1999.
- [57] "Weka 3: Data Mining Software in Java," The University of Waikato, [Online]. Available: <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>. [Accessed 27 November 2016].
- [58] R. Quinlan, "C4.5 Programs for Machine Learning," CA: Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, 1993.
- [59] G. Webb, "Decision tree grafting from the all-tests-but-one partition," CA: Morgan Kaufmann, San Francisco, 1999.
- [60] J. Perez, J. Muguerza, O. Arbelaitz, I. Gurrutxaga and J. Martin, "Combining multiple class distribution modified subsamples in a single tree," *Pattern Recognition Letters*, vol. 28, no. 4, pp. 414-422, 2007.
- [61] T. Ho, "Random decision forests," in *Proceedings of the Third International Conference on Document Analysis and Recognition*, 1995.
- [62] S. Kalmegh, "Analysis of weka data mining algorithm reptime, simple cart and randomtree for classification of indian news," *International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 438-446, 2015.
- [63] B. Kwak, J. Woo and H. Kim, "Know your master: Driver profiling-based anti-theft method," in *PST 2016*, 2016.
- [64] A. Wald and J. Wolfowitz, "Statistical Tests Based on Permutations of the Observations," *The Annals of Mathematical Statistics*, vol. 15, pp. 358-372, 1944.
- [65] Z. Birnbaum, "On a use of the Mann-Whitney statistic," in *Proceedings of the Third Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: Contributions to the Theory of Statistics*, 1956.
- [66] R. Wilcoxon, "Kolmogorov - Smirnov test," *Encyclopedia of biostatistics*, 2005.
- [67] H. Berliner, "The B\* tree search algorithm: A best-first proof procedure," *Artificial Intelligence*, vol. 12, no. Elsevier, pp. 23-40, 1979.

- [68] B. Thompson, Stepwise regression and stepwise discriminant analysis need not apply here: A guidelines editorial, Thousand Oaks, CA: Sage Publications Sage CA, 1995.
- [69] P. Rezaeilzadeh, L. Tang and H. Liu, "Cross-validation," in *Encyclopedia of database systems*, Springer, 2009, pp. 532-538.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

---

Πίνακας Π.1 Χαρακτηριστικά που Ανακτήθηκαν από τη Θύρα OBD

# Χαρακτηριστικό	Περιγραφή
<b>1 Fuel_consumption</b>	Η τιμή που σχετίζεται με την κατανάλωση καυσίμου
<b>2 Accelerator_Pedal_value</b>	Καταγραφή της τιμής του πεντάλ του γκαζιού
<b>3 Throttle_position_signal</b>	Σχετική θέση του αισθητήρα θέσης της πεταλούδας γκαζιού
<b>4 Short_Term_Fuel_Trim_Bank1</b>	Fuel trim είναι το ποσοστό της αλλαγής της ροής καυσίμου σε μικρό χρονικό διάστημα
<b>5 Intake_air_pressure</b>	Πυκνότητα του αέρα στην εισαγωγή του κινητήρα
<b>6 Filtered_Accelerator_Pedal_value</b>	Φιλτραρισμένη τιμή πεταλούδας γκαζιού από την ECU και καθορίζεται από τη θέση του αισθητήρα επιτάχυνσης.
<b>7 Absolute_throttle_position</b>	Η απόλυτη θέση του γκαζιού
<b>8 Engine_soaking_time</b>	Η χρονική διάρκεια κατά την οποία η μηχανή του αυτοκινήτου βρίσκεται σε απραγία προτού ξεκινήσει
<b>9 Inhibition_of_engine_fuel_cut_off</b>	Αναστολή διακοπής λειτουργίας καυσίμου
<b>10 Engine_in_fuel_cut_off</b>	Τιμή αναστολής της διακοπής καυσίμου κινητήρα, για παράδειγμα ανώτατο όριο της διακοπής καυσίμου.
<b>11 Fuel Pressure</b>	Διαφορική πίεση κατά μήκος της αντλίας καυσίμου.

<b>12 Long_Term_Fuel_Trim_Bank1</b>	Ποσοστό της αλλαγής της ροής καυσίμου σε μεγάλο χρονικό διάστημα
<b>13 Engine_speed</b>	Αριθμός των στροφών που κάνει ο στροφαλοφόρος άξονας ανά λεπτό.
<b>14 Engine_torque_after_correction</b>	Τιμή ροπής του κινητήρα μετά από διόρθωση
<b>15 Torque_of_friction</b>	Η ροπή τριβής είναι η ροπή που προκαλείται από τη δύναμη τριβής που συμβαίνει όταν δύο αντικείμενα σε επαφή κινούνται.
<b>16 Flywheel_torque_interventions</b>	Η τιμή αντιπροσωπεύει τη ροπή του δίσκου μετά από παρεμβολές ροπής.
<b>17 Current_spark_timing</b>	Ο χρόνος για τη ρύθμιση της γωνίας σε σχέση με τη θέση του εμβόλου και τη γωνιακή ταχύτητα του στροφαλοφόρου άξονα ώστε να εμφανιστεί ένας σπινθήρας στο θάλαμο καύσης κοντά στο τέλος της διαδρομής συμπίεσης.
<b>18 Engine_coolant_temperature</b>	Η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού
<b>19 Engine_Idle_Target_Speed</b>	Οι επιθυμητές στροφές κινητήρα σε σχέση με τη θερμοκρασία ψυκτικού μέσου.
<b>20 Engine_torque</b>	Η ροπή του κινητήρα. Όσο μικρότερη είναι η ταχύτητα στο κιβώτιο, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα έλξης ενός κινητήρα και επομένως η ροπή που αντιπροσωπεύει αυτή η τιμή.
<b>21 Calculated_LOAD_value</b>	Αυτή η τιμή δείχνει ένα ποσοστό της υψηλότερης διαθέσιμης ροπής.
<b>22 Min_indicated_engine_torque</b>	Η χαμηλότερη ένδειξη ροπής του κινητήρα
<b>23 Max_indicated_engine_torque</b>	Η υψηλότερη ένδειξη ροπής του κινητήρα
<b>24 Flywheel_torque</b>	Η τιμή αντιπροσωπεύει τη ροπή του δίσκου
<b>25 Torque_scaling_factor</b>	Αυτή η τιμή περιγράφεται ως πόσο εύρος ή πόση δύναμη μπορεί να εκφράζεται σε μια

	συγκεκριμένη ταχύτητα όταν ο οδηγός αλλάζει ταχύτητα.
<b>26 Standard_Torque_Ratio</b>	Αυτή η τιμή περιγράφεται ως πόσο εφικτή ή πόση δύναμη μπορεί να εκφράζεται σε μια δεδομένη ταχύτητα.
<b>27 Requested_spark_retard_angle</b>	Η μονάδα ελέγχου μετάδοσης (TCU) ελέγχει σύγχρονα ηλεκτρονικά αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων. Αυτή η τιμή υπολογίζει την απαιτούμενη γωνία επιβράδυνσης σπινθήρα από την TCU.
<b>28 Requests_engine_torque_limit</b>	Αυτή η παράμετρος παρακολουθεί το αίτημα προς τα όρια ροπής κινητήρα (ETL) από το TCU
<b>29 Requested_engine_RPM_increase</b>	Αυτή η παράμετρος παρακολουθεί την αύξηση των αιτημάτων της TCU που σχετίζονται με τις στροφές του κινητήρα
<b>30 Target_engine_speed_used_in_lock-up_module</b>	Τιμή βαλβίδας ασφάλισης, χρησιμοποιείται για τη διακοπή της γραμμής πίεσης σήματος των ενεργοποιητών (actuators)
<b>31 Glow_plug_control_request</b>	Παρακολουθεί το αίτημα για έλεγχο του μπουζί
<b>32 Activation_of_Air_compressor</b>	Ενεργοποίηση του συμπιεστή αέρα
<b>33 Torque_converter_speed</b>	Ένα ιδιαίτερο μέγεθος που χρησιμοποιείται για υπολογισμό μεταφοράς περιστροφικής ισχύος από τον κινητήρα στη μετάδοση
<b>34 Current_Gear</b>	Επιλεγμένη ταχύτητα
<b>35 Transmission_oil_temperature</b>	Η τιμή της θερμοκρασίας λαδιού μέσα στο κιβώτιο ταχυτήτων.
<b>36 Wheel_velocity_front_left-hand</b>	Η ταχύτητα του εμπρός αριστερού τροχού
<b>37 Wheel_velocity_rear_right-hand</b>	Η ταχύτητα του πίσω δεξιού τροχού

<b>38 Wheel_velocity_front_right-hand</b>	Η ταχύτητα του εμπρός δεξιού τροχού
<b>39 Wheel_velocity_rear_left-hand</b>	Η ταχύτητα του πίσω αριστερού τροχού
<b>40 Torque_converter_turbine_speed - Unfiltered</b>	Μέγεθος για τον υπολογισμό της ροπής που μεταφέρεται στον υπερσυμπιεστή καυσαερίων (turbo).
<b>41 Clutch_operation_acknowledge</b>	Εμπλοκή συμπλέκτη
<b>42 Converter_clutch</b>	Τιμή για την ενεργοποίηση του συμπλέκτη μετατροπέα ροπής για να αποφευχθεί η ολίσθηση στις ταχύτητες αυτοκινητόδρομου
<b>43 Gear_Selection</b>	Επιλογή ταχύτητας στο κιβώτιο από τον οδηγό
<b>44 Vehicle_speed</b>	Ταχύτητα του αυτοκινήτου την συγκεκριμένη χρονική στιγμή
<b>45 Acceleration_speed - Longitudinal</b>	Τιμή διαμήκους επιτάχυνσης
<b>46 Indication_of_brake_switch ON/OFF</b>	Ενεργοποίηση φρένων
<b>47 Master_cylinder_pressure</b>	Η πίεση των κυλίνδρων.
<b>48 Calculated_road_gradient</b>	Η τιμή αυτή υπολογίζει την κλίση του δρόμου
<b>49 Acceleration_speed - Lateral</b>	Τιμή εγκάρσιας επιτάχυνσης
<b>50 Steering_wheel_speed</b>	Ταχύτητα στροφής τιμονιού
<b>51 Steering_wheel_angle</b>	Γωνία στροφής τιμονιού

Πίνακας Π.2: Αποτελέσματα της Δοκιμής Υπόθεσης Κενού

A/A	Wald-Wolfowitz (όλα ίσα με 0 ή +)	Mann-Whitney P<0.05(+), P<0,05(-)	Kolmogorov-Smirnov P<0,001(+), P>0,1 (-)	Αποτέλεσμα δοκιμής
1	+	+	+	+
2	+	+	+	+
3	+	+	+	+
4	+	-	+	-
5	+	+	+	+
6	+	-	-	-
7	+	+	+	+
8	+	+	+	+
9	+	-	-	-
10	+	-	-	-
11	+	-	-	-
12	+	+	+	+
13	+	+	+	+
14	+	+	+	+
15	+	+	+	+
16	+	+	+	+
17	+	+	+	+
18	+	+	+	+
19	+	+	+	+
20	+	+	+	+
21	+	+	+	+
22	+	-	+	-
23	+	+	+	+
24	+	+	+	+
25	+	-	-	-
26	+	-	-	-
27	+	-	-	-
28	+	-	-	-
29	+	+	-	-

30	+	-	-	-
31	+	-	-	-
32	+	-	+	-
33	+	+	+	+
34	+	-	+	-
35	+	+	+	+
36	+	+	+	+
37	+	+	+	+
38	+	+	+	+
39	+	+	+	+
40	+	+	+	+
41	+	+	+	+
42	+	+	+	+
43	+	-	-	-
44	+	+	+	+
45	+	+	+	+
46	+	+	+	+
47	+	+	+	+
48	+	+	+	+
49	+	+	+	+
50	+	-	-	-
51	+	-	+	-



## **ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ**

---

I. T. Michailidis, P. Michailidis, A. Rizos, C. Korkas and E. B. Kosmatopoulos, "Automatically fine-tuned speed control system for fuel and travel-time efficiency: A microscopic simulation case study," 2017 25th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED), Valletta, 2017, pp. 915-920.

doi: 10.1109/MED.2017.7984236

## ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ

---

Ο Αθανάσιος Ρίζος γεννήθηκε στα Ιωάννινα το 1987. Αποφοίτησε με 18.1/20 «Άριστα» από το 7<sup>ο</sup> Ενιαίο Λύκειο το 2005. Το 2002 τιμήθηκε από το Δήμο Ιωαννιτών όντας στους τρεις καλύτερους μαθητές του έτους στο 5<sup>ο</sup> Γυμνάσιο Ιωαννίνων.

Το 2006 εισήλθε στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης (Ξάνθη). Ειδικεύθηκε στον τομέα του Ηλεκτρονικού Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών. Αποφοίτησε το 2014 με βαθμό 7,61/10 «Λίαν Καλώς» όντας 14<sup>ος</sup> σε σειρά αποφοίτησης. Η διπλωματική του εργασία με τίτλο «Ανάπτυξη και αξιολόγηση συστήματος ελέγχου πλοήγησης οχημάτων σε αστικά οδικά δίκτυα» βαθμολογήθηκε με 10/10 «Άριστα». Ανέπτυξε πλούσια δράση στο χώρο του πανεπιστημίου όντας αντιπρόεδρος του Συλλόγου Φοιτητών και εκλεγμένος αντιπρόσώπός τους στα διοικητικά όργανα του τμήματος, της κοσμητείας καθώς και της συγκλήτου του πανεπιστημίου με πλούσιο έργο προσφοράς (π.χ. δημιουργία προγράμματος εξεταστικής, δρομολογίων λεωφορείων κ.ο.κ.), καθώς και μέλος των φοιτητικών ομάδων IEEE, IESTEC, FSAE. Κατά τη διάρκεια των σπουδών του έλαβε υποτροφία από το ηπειρωτικό κληροδότημα Ιωαννίδη και το τεκτονικό ίδρυμα της Ελλάδος.

Το 2013-2014 υπηρέτησε τη στρατιωτική του θητεία ως Έφεδρος Δεκανέας ειδικευμένος ως χειριστής μέσω ηλεκτρονικού πολέμου από όπου αποφοίτησε 2<sup>ος</sup> και 4<sup>ος</sup> στα αντίστοιχα σχολεία βαθμού και ειδικότητας.

Το 2015 έγινε δεκτός ως μεταπτυχιακός φοιτητής του τμήματος Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Από το Σεπτέμβρη του 2016 έως σήμερα εργάζεται στην Πίζα της Ιταλίας ως μηχανικός έργου σε ερευνητικά προγράμματα. Γνωρίζει άπταιστα Ελληνικά και Αγγλικά καθώς και σε ικανοποιητικό βαθμό Γερμανικά και Ιταλικά.

Έχει πλούσιο καλλιτεχνικό έργο όντας μουσικός σε διάφορες φιλαρμονικές ορχήστρες της Ελλάδος και προσφάτως της Πίζας. Χόμπι του, εκτός από τη μουσική, είναι και οι αγώνες αυτοκινήτου όπου κατέχει πτυχίο τεχνικού εφόρου και κριτή αγώνων διεθνώς αναγνωρισμένο από την Διεθνή Ομοσπονδία Αυτοκινήτου (FIA) με συμμετοχές σε αγώνες εθνικών, ευρωπαϊκών και παγκοσμίων πρωταθλημάτων. Επιπλέον, είναι εθελοντής αιμοδότης και ιδρυτικό μέλος της Πανελληνίας Επιτροπής Νέων Εθελοντών Αιμοδοτών (Π.Ε.Ν.Ε.Α.).