



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ
ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Ανίχνευση ανάρμοστης συμπεριφοράς στα δίκτυα οχημάτων. Ανάλυση κινδύνων,
προσομοίωση λύσεων και επίδοση.

Συγγραφείς

Καβαλιέρος Γεώργιος
Καραμήτρος Αλέξανδρος

Επιβλέπων Καθηγητής

Μαλιάτσος Κωνσταντίνος

Τριμελής Επιτροπή

Γκουμόπουλος Χρήστος
Διαμαντοπούλου Βασιλική

Σάμος, Οκτώβριος 2024

Έγκριση με Υπογραφές

Είμαστε συγγραφείς αυτής της Προπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχουμε αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων ή ιδεών, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμάς προσωπικά, ειδικά για τη συγκεκριμένη προπτυχιακή διπλωματική εργασία.

Υπογραφές

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην ανίχνευση ανάρμωσης ή κακόβουλης συμπεριφοράς σε δίκτυα οχημάτων. Εξετάζει τα Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών (ITS) και τη Συνεργατική Αυτοματοποιημένη Κινητικότητα (CCAM), δίνοντας έμφαση στο πώς οι τεχνολογικές εξελίξεις στις επικοινωνίες μπορούν να βελτιώσουν την ασφάλεια και την αποδοτικότητα στους δρόμους. Η εργασία αναλύει την αρχιτεκτονική των δικτύων οχημάτων ad-hoc (VANETs) και τη σημασία της επικοινωνίας Vehicle-to-Everything (V2X) για τη διασφάλιση της απρόσκοπτης συνεργασίας μεταξύ οχημάτων, υποδομών και άλλων στοιχείων του συστήματος μεταφορών.

Αναδεικνύονται βασικές προκλήσεις, όπως η ιδιωτικότητα, η ασφάλεια και η επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο. Για την ανίχνευση κακόβουλης συμπεριφοράς σε δίκτυα οχημάτων προτείνεται ένα πλαίσιο προσομοίωσης. Το πλαίσιο αυτό αξιολογείται μέσα από διάφορα σενάρια, παρέχοντας λύσεις για τη βελτίωση της τοπικής και γενικευμένης (global) ανίχνευσης επιθέσεων σε συνδεδεμένα συστήματα οχημάτων. Η εργασία καταλήγει στο ότι αυτά τα συστήματα, όταν υλοποιούνται σωστά, μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την οδική ασφάλεια και να μειώσουν τα ατυχήματα, μέσω της καλύτερης επικοινωνίας και παρακολούθησης συμπεριφορών σε αυτοματοποιημένα και συνδεδεμένα οχήματα.

Abstract

This thesis focuses on detecting inappropriate or malicious behavior within vehicular networks. It explores Intelligent Transportation Systems (ITS) and Cooperative Automated Mobility (CCAM), emphasizing how advancements in communication technologies can improve road safety and efficiency. The work delves into the architecture of vehicular ad-hoc networks (VANETs) and the importance of Vehicle-to-Everything (V2X) communication for ensuring seamless cooperation between vehicles, infrastructure, and other elements of the transportation system.

Key challenges, such as privacy, security, and real-time communication, are highlighted. A simulation framework is proposed for detecting malicious behavior within vehicular networks. This framework is evaluated through various scenarios, offering solutions for improving both local and global detection of attacks in connected vehicular systems. The thesis concludes that these systems, when properly implemented, can significantly enhance road safety and reduce accidents by ensuring better communication and behavior monitoring in automated and connected vehicles.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	1
Δομή Εργασίας.....	2
Κεφάλαιο 1	3
Intelligent Transportation Systems and Connected and Cooperative Automated Mobility (CCAM) 3	
1.1 Intelligent Transportation Systems.....	3
1.1.1 Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών	3
1.1.2 Εξέλιξη έξυπνων τεχνολογιών μεταφορών	5
1.1.3 Το Μέλλον των Έξυπνων Συστημάτων Μεταφορών στις Έξυπνες Πόλεις.....	6
1.1.4 Συνεργατικό Σύστημα στο Οδικό Δίκτυο	6
1.1.5 Κρίσιμα Θέματα και Προκλήσεις στα Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών.....	7
1.2 Connected and Cooperative Automated Mobility (CCAM)	7
1.2.1 Συνεργατική κινητικότητα	8
1.2.2 Συνδεδεμένη κινητικότητα	8
1.2.3 Αυτοματοποιημένη κινητικότητα.....	9
1.2.4 Καινοτομίες Ασφάλειας και Στρατηγικές Μείωσης Ατυχημάτων	9
Κεφάλαιο 2	11
Επικοινωνίες.....	11
2.1 Εισαγωγή.....	11
2.2 Vehicular Networks	11
2.3 Αρχιτεκτονική VANET	11
2.4 Η εφαρμογή και η εξέλιξη των Information and Communication Technologies (ICT) στην αυτοκινητοβιομηχανία.....	12
2.4.1 Broadcast.....	12
2.4.2 Υπηρεσίες πληροφοριών	12
2.4.3 Assisted Driving	13
2.4.4 Automated Driving.....	14
2.5 Cooperative Vehicle Infrastructure System and Automated Driving Supported by V2X.....	15
2.5.1 Έξυπνα οχήματα (Smart Vehicles)	15
2.5.2 Έξυπνος δρόμος (Intelligent Road)	16
2.5.3 Χάρτες Ακρίβειας (Accurate Maps)	16
2.5.4 Intelligent Clouds.....	16
2.5.5 Internet of Vehicle (IoV)	16

2.5.6 Cooperative Vehicle Infrastructure System (CVIS)	16
2.6 V2X και C-V2X	17
2.7 Πολιτικές και προτυποποίηση	18
2.7.1 Διεθνείς πολιτικές	18
2.7.2 Διεθνείς οργανισμοί προτυποποίησης	19
2.7.2.1 3GPP	19
2.7.2.2 IEEE	20
2.7.2.3 ITU	20
2.7.2.4 ISO	21
2.7.2.5 ETSI	21
2.7.2.6 SAE	22
2.8 IEEE 802.11p Technology	22
2.8.1 IEEE802.11pTechnology	22
2.8.1.1 Βελτιώσεις του PHY Layer	24
2.8.1.2 Βελτιώσεις του MAC Sublayer	25
2.8.1.3 Η πρόοδος και η εξέλιξη των προτύπων IEEE 802.11p	26
2.9 C-V2X	26
2.9.1 Οι ευκαιρίες τα κίνητρα και οι προκλήσεις του C-V2X	27
Κεφάλαιο 3	28
Veins	28
3.1 Δυνατότητες του Veins	28
3.2 Χαρακτηριστικά	28
3.3 Πώς Λειτουργεί το Veins;	29
3.3.1 Αρχιτεκτονική και Διαλειτουργικότητα	29
3.3.2 Προσομοίωση Δικτύων και Κυκλοφορίας	30
3.3.3 Ενοποίηση και Ρύθμιση Σενάριων	30
3.3.4 Εφαρμογές και Ανάλυση	30
3.4 Ποιοι Χρησιμοποιούν το Veins;	31
3.5 Χρήση του Veins για Προσομοιώσεις Δικτύων Οχημάτων	33
Κεφάλαιο 4	36
Platooning	36
Εισαγωγή - Περίληψη	36
PLATOONING LEVELS	39

Εισαγωγή	39
Διαφοροποιήσεις επιπέδων platooning A,B,C (John Vissers, 2018).....	40
Περιγραφή Platooning level A	41
USE CASES PLATOONING LEVEL A.....	45
Εισαγωγή	45
Manoeuvr.....	47
Εισαγωγή στη δραστηριότητα Manoeuvre.....	47
Platooning Level A manoeuvres.....	47
ODD (operational design domain) & διαμόρφωση οχήματος	49
Εισαγωγή στο ODD και στη διαμόρφωση οχήματος	49
Platooning level A ODD και διαμόρφωση οχήματος	50
Event (Συμβάν-Γεγονός).....	51
Εισαγωγή.....	51
Platooning επίπεδο A συμβάντα.....	51
Platooning επίπεδο A περιπτώσεις χρήσης (use cases)	52
Platoon formation.....	53
Platoon formation based on generic match making (Orchestrated non real-time)	53
Platoon formation based on just extended awareness (Orchestrated real-time)	56
Engaging to platoon.....	58
Join from behind by single vehicle	58
Platooning.....	60
Steady state platooning	60
Follow to stop (&go)	63
Emergency braking	67
Platoon gap adaptation.....	69
I2V interaction (Αλληλεπίδραση I2V).....	69
Cut-in (long time).....	72
Cut-in (short time) – cut-through.....	74
System status (e.g. packet loss).....	77
Disengage platoon.....	78
Leave by trailing truck	78
Leave by leading truck	80
Leave by following truck	82

Split (following truck).....	85
Tutorial Platooning.....	87
NETEDIT.....	87
OMNeTT++.....	91
Adding beacons to OMNeTT++.....	96
Κεφάλαιο 5	101
Simulation Framework for Misbehavior Detection in Vehicular Networks	101
5.1 Εισαγωγή.....	101
5.2 Επισκόπηση	102
5.3 Μοντέλο συστήματος.....	105
5.3.1 Συνεταιρισμός μοντέλου συστήματος C-ITS	105
5.3.2 Αρχιτεκτονική ασφάλειας C-ITS	105
5.3.3 Μοντέλο Επιτιθέμενου.....	107
5.4 Framework – Πλαίσιο F2MD	107
5.4.1 Γενικά Χαρακτηριστικά Πλαισίου	107
5.4.2 Δεδομένα εισαγωγής.....	108
5.4.3 Τοπική Ανίχνευση	110
5.4.4 Αναφορά.....	113
5.4.5 Καθολική ανίχνευση κακής συμπεριφοράς.....	114
5.4.6 Μηχανισμοί κακής συμπεριφοράς.....	114
5.4.7 Ιδιωτικότητα	116
5.4.8 Αξιολόγηση και Οπτικοποίηση.....	117
ΣΕΝΑΡΙΑ	121
Scenario 1: Simulation time	121
Scenario 2: Local and Global attacker probability	123
Scenario 3: Increase Variability and Noise.....	126
Scenario 4: Tune Kalman Filter and Delta Time	130
Scenario 5: Adjust System Trust Levels.....	135
Scenario 6:Aggressive Parameter Adjustments	138
Scenario 7: Change Attacker	142
Scenario 8: Change Algorithm.....	146
Κεφάλαιο 6	152
Συμπεράσματα	152

Βιβλιογραφία.....	154
--------------------------	------------

Κατάλογος Γραφημάτων/Σχεδίων

Εικόνα 1 Ασύρματη τεχνολογία σε Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών (ITS) (Amit Kumar Tyagi, 2022) ..	4
Εικόνα 2 Τεχνολογία Οχημάτων σε Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών (ITS) (Amit Kumar Tyagi, 2022)..	5
Εικόνα 3 Έξυπνα συστήματα μεταφορών στο οδικό δίκτυο(Amit Kumar Tyagi, 2022)	6
Εικόνα 4 CCAM σε οδικό δίκτυο (ACEM - The Motorcycle in Europe, n.d.)	8
Εικόνα 5 Αρχιτεκτονική VANET (Shawal Khan, 2021).....	11
Εικόνα 6 Η εφαρμογή και η εξέλιξη των Information and Communication Technologies (ICT) στην αυτοκινητοβιομηχανία.....	12
Εικόνα 7 Παράδειγμα χρήσης eCall.....	13
Εικόνα 8 Η απεικόνιση των αισθητήρων ADAS στο σύγχρονο αυτόνομο όχημα	14
Εικόνα 9 DSRC protocol (Shanzhi Chen, 2023).....	23
Εικόνα 10 Σύγκριση των παραμέτρων φυσικού επιπέδου IEEE 802.11a και IEEE 802.11p (Shanzhi Chen, 2023).....	25
Εικόνα 11 Αλληλεπίδραση OMNeT++ και SUMO (Veins Vehicles In Network Simulation, n.d.).....	30
Εικόνα 12 Εγκατάσταση instant-veins στο virtual box (Veins Vehicles In Network Simulation, n.d.)	33
Εικόνα 13 Στρωματά αλληλεπίδρασης ENSEMBLE (John Vissers, 2018)	38
Εικόνα 14 Αλληλεπίδραση ελιγμών υψηλού επιπέδου (John Vissers, 2018)	43
Εικόνα 15 Εικονίδια διαγραμμάτων (John Vissers, 2018).....	45
Εικόνα 16 Λεπτομερές σενάριο περίπτωσης χρήσης (John Vissers, 2018).....	46
Εικόνα 17 Platoon formation (κόκκινο κουτί) (John Vissers, 2018).....	48
Εικόνα 18 Manoeuvre παράδειγμα σε μια χρονική ακολουθία για ad-hoc platooning (John Vissers, 2018)	48
Εικόνα 19 Κύριες διεπαφές (John Vissers, 2018)	51
Εικόνα 20 Δημιουργία network στο NETEDIT	87
Εικόνα 21 Ορισμός διαδρομής για τα οχήματα	88
Εικόνα 22 Προσθήκη οχημάτων.....	88
Εικόνα 23 Κώδικας αρχείου platooning.rou.xml	89
Εικόνα 24 Είσοδος στο sumo μέσω του netedit.....	90
Εικόνα 25 Εκτέλεση προγράμματος στο sumo.....	90
Εικόνα 26 Δημιουργία project στο OMNeT++	91
Εικόνα 27 Δημιουργία του αρχείου platooning.launchd.xml μέσω του terminal.	92
Εικόνα 28 Κώδικας αρχείου platooning.launchd.xml.....	92
Εικόνα 29 Δημιουργία του Network Description File στο OMNeT.	92
Εικόνα 30 Εισαγωγή κώδικα στο ned αρχείο.....	93
Εικόνα 31 Επιλογή veins στα references του project μας.....	93
Εικόνα 32 Σύνθεση initialisation file και αλλαγή network.	94
Εικόνα 33 Αφαίρεση των obstacles και αλλαγή launchConfig.....	94
Εικόνα 34 Ορίζουμε τον αριθμό των ατυχημάτων σε 0.	95
Εικόνα 35 Τρόπος εκτέλεσης προγράμματος	95
Εικόνα 36 Αποτέλεσμα εκτέλεσης προγράμματος.....	96
Εικόνα 37 Ενεργοποίηση beacon.....	96
Εικόνα 38 Προσθέτουμε τον κώδικα στο αρχείο MyVeinsApp.cc	97
Εικόνα 39 Προσθήκη της εντολής bool hasStopped.....	98

Εικόνα 40 Error κατά την εκτέλεση του προγράμματος	98
Εικόνα 41 Δημιουργία ενός αρχείου platooning.poly.xml όπου περιλαμβάνει τα obstacles.	99
Εικόνα 42 Προσθήκη του αρχείου platooning.poly.xml στο platooning.launchd.xml	99
Εικόνα 43 Προσθήκη του αρχείου platooning.poly.xml στο platooning.sumocfg	100
Εικόνα 44 Αρχιτεκτονική ασφάλειας C-ITS (Joseph Kamel, 2020)	106
Εικόνα 45 Αναπαράσταση διαγράμματος των κύριων ενοτήτων (Joseph Kamel, 2020)	109
Εικόνα 46 Διεπαφή Python-C++ για μοντελοποίηση μηχανικής μάθησης (Joseph Kamel, 2020)	112
Εικόνα 47 Συντομογραφίες positive/negative	116
Εικόνα 48 Τυπολόγιο μεταβλητών.....	117
Εικόνα 49 F2MDGUI:Σημεία μετρήσεων αξιολόγησης σε πραγματικό χρόνο (σημεία δεδομένων, TP, FP, Πυκνότητα, Ανάκληση, Ακρίβεια, Ακρίβεια, F1score, BM, MK, MCC, K) (Joseph Kamel, 2020)	118
Εικόνα 50 Sumo GUI με προφίλ οχημάτων του F2MD ανάλογα με χρώμα (Joseph Kamel, 2020)	119
Εικόνα 51 Misbehavior Authority Web Interface (Joseph Kamel, 2020)	120
Εικόνα 52 Αποτελέσματα γραφημάτων σε simulation time 5h	121
Εικόνα 53 Αποτελέσματα γραφημάτων σε simulation time 24h.....	122
Εικόνα 54 Αποτελέσματα γραφημάτων με Local Attacker = 0,05 και Global Attacker= 0,0.....	123
Εικόνα 55 Αποτελέσματα γραφημάτων με Local Attacker = 0,1 και Global Attacker= 0,1	124
Εικόνα 56 Αποτελέσματα γραφημάτων με Local Attacker = 0,3 και Global Attacker= 0,3	125
Εικόνα 57 Σενάριο 3: Data Points - False Positives - True Positives Αρχικές τιμές.....	126
Εικόνα 58 Σενάριο 3: Data Points - False Positives - True Positives Ενδιάμεσες τιμές	126
Εικόνα 59 Σενάριο 3: Data Points - False Positives - True Positives Έντονες τιμές.....	127
Εικόνα 60 Σενάριο 3: Vehicle Density - Recall - Precision Αρχικές τιμές.....	127
Εικόνα 61 Σενάριο 3: Vehicle Density - Recall - Precision Ενδιάμεσες τιμές.....	127
Εικόνα 62 Σενάριο 3: Vehicle Density - Recall - Precision Έντονες τιμές.....	127
Εικόνα 63 Σενάριο 3: Accuracy - F1 Score - Informedness Αρχικές τιμές	127
Εικόνα 64 Σενάριο 3: Accuracy - F1 Score - Informedness Ενδιάμεσες τιμές	127
Εικόνα 65 Σενάριο 3: Accuracy - F1 Score - Informedness Έντονες τιμές	128
Εικόνα 66 Σενάριο 3: Markedness - MCC - Cohens Kappa Αρχικές τιμές.....	128
Εικόνα 67 Σενάριο 3: Markedness - MCC - Cohens Kappa Ενδιάμεσες τιμές	128
Εικόνα 68 Σενάριο 3: Markedness - MCC - Cohens Kappa Έντονες τιμές.....	128
Εικόνα 69 Σενάριο 4: Data Points - False Positives - True Positives Αρχικές τιμές.....	131
Εικόνα 70 Σενάριο 4: Data Points - False Positives - True Positives Ενδιάμεσες τιμές	131
Εικόνα 71 Σενάριο 4: Data Points - False Positives - True Positives Έντονες τιμές.....	132
Εικόνα 72 Σενάριο 4: Vehicle Density - Recall - Precision Αρχικές τιμές.....	132
Εικόνα 73 Σενάριο 4: Vehicle Density - Recall - Precision Ενδιάμεσες τιμές.....	132
Εικόνα 74 Σενάριο 4: Vehicle Density - Recall - Precision Έντονες τιμές.....	132
Εικόνα 75 Σενάριο 4: Accuracy - F1 Score - Informedness Αρχικές τιμές	132
Εικόνα 76 Σενάριο 4: Accuracy - F1 Score - Informedness Ενδιάμεσες τιμές	132
Εικόνα 77 Σενάριο 4: Accuracy - F1 Score - Informedness Έντονες τιμές.....	133
Εικόνα 78 Σενάριο 4: Markedness - MCC - Cohens Kappa Αρχικές τιμές.....	133
Εικόνα 79 Σενάριο 4: Markedness - MCC - Cohens Kappa Ενδιάμεσες τιμές	133
Εικόνα 80 Σενάριο 4: Markedness - MCC - Cohens Kappa Έντονες τιμές.....	133
Εικόνα 81 Σενάριο 5: Data Points - False Positives - True Positives Αρχικές τιμές.....	136
Εικόνα 82 Σενάριο 5: Data Points - False Positives - True Positives Ενδιάμεσες τιμές	136

Εικόνα 83 Σενάριο 5: Data Points - False Positives - True Positives Έντονες τιμές.....	136
Εικόνα 84 Σενάριο 5: Vehicle Density - Recall - Precision Αρχικές τιμές.....	136
Εικόνα 85 Σενάριο 5: Vehicle Density - Recall - Precision Ενδιάμεσες τιμές.....	136
Εικόνα 86 Σενάριο 5: Vehicle Density - Recall - Precision Έντονες τιμές.....	137
Εικόνα 87 Σενάριο 5: Accuracy - F1 Score - Informedness Αρχικές τιμές.....	137
Εικόνα 88 Σενάριο 5: Accuracy - F1 Score - Informedness Ενδιάμεσες τιμές.....	137
Εικόνα 89 Σενάριο 5: Accuracy - F1 Score - Informedness Έντονες τιμές.....	137
Εικόνα 90 Σενάριο 5: Markedness - MCC - Cohens Kappa Αρχικές τιμές.....	137
Εικόνα 91 Σενάριο 5: Markedness - MCC - Cohens Kappa Ενδιάμεσες τιμές.....	137
Εικόνα 92 Σενάριο 5: Markedness - MCC - Cohens Kappa Έντονες τιμές.....	138
Εικόνα 93 Σενάριο 6: Data Points - False Positives - True Positives Αρχικές τιμές.....	139
Εικόνα 94 Σενάριο 6: Data Points - False Positives - True Positives Ενδιάμεσες τιμές.....	139
Εικόνα 95 Σενάριο 6: Data Points - False Positives - True Positives Έντονες τιμές.....	140
Εικόνα 96 Σενάριο 6: Vehicle Density - Recall - Precision Αρχικές τιμές.....	140
Εικόνα 97 Σενάριο 6: Vehicle Density - Recall - Precision Ενδιάμεσες τιμές.....	140
Εικόνα 98 Σενάριο 6: Vehicle Density - Recall - Precision Έντονες τιμές.....	140
Εικόνα 99 Σενάριο 6: Accuracy - F1 Score - Informedness Αρχικές τιμές.....	140
Εικόνα 100 Σενάριο 6: Accuracy - F1 Score - Informedness Ενδιάμεσες τιμές.....	140
Εικόνα 101 Σενάριο 6: Accuracy - F1 Score - Informedness Έντονες τιμές.....	141
Εικόνα 102 Σενάριο 6: Markedness - MCC - Cohens Kappa Αρχικές τιμές.....	141
Εικόνα 103 Σενάριο 6: Markedness - MCC - Cohens Kappa Ενδιάμεσες τιμές.....	141
Εικόνα 104 Σενάριο 6: Markedness - MCC - Cohens Kappa Έντονες τιμές.....	141
Εικόνα 105 Σενάριο 7: Data Points - False Positives - True Positives (Σενάριο 1 DoS).....	143
Εικόνα 106 Σενάριο 7: Data Points - False Positives - True Positives (Σενάριο 2 Data Replay).....	143
Εικόνα 107 Σενάριο 7: Data Points - False Positives - True Positives (Σενάριο 3 Disruptive).....	143
Εικόνα 108 Σενάριο 7: Vehicle Density - Recall - Precision (Σενάριο 1 DoS).....	143
Εικόνα 109 Σενάριο 7: Vehicle Density - Recall - Precision (Σενάριο 2 Data Replay).....	143
Εικόνα 110 Σενάριο 7: Vehicle Density - Recall - Precision (Σενάριο 3 Disruptive).....	143
Εικόνα 111 Σενάριο 7: Accuracy - F1 Score – Informedness (Σενάριο 1 DoS).....	144
Εικόνα 112 Σενάριο 7: Accuracy - F1 Score – Informedness (Σενάριο 2 Data Replay).....	144
Εικόνα 113 Σενάριο 7: Accuracy - F1 Score – Informedness (Σενάριο 3 Disruptive).....	144
Εικόνα 114 Σενάριο 7: Markedness - MCC - Cohens Kappa (Σενάριο 1 DoS).....	144
Εικόνα 115 Σενάριο 7: Markedness - MCC - Cohens Kappa (Σενάριο 2 Data Replay).....	144
Εικόνα 116 Σενάριο 7: Markedness - MCC - Cohens Kappa (Σενάριο 3 Disruptive).....	144
Εικόνα 117 Σενάριο 8: Data Points - False Positives - True Positives (V1:Threshold , V2:Behavioral).....	147
Εικόνα 118 Σενάριο 8: Data Points - False Positives - True Positives (V1:Threshold , V2:Cooperative).....	147
Εικόνα 119 Σενάριο 8: Data Points - False Positives - True Positives (V1:Cooperative , V2:Behavioral).....	147
Εικόνα 120 Σενάριο 8: Vehicle Density - Recall - Precision (V1:Threshold , V2:Behavioral).....	147
Εικόνα 121 Σενάριο 8: Vehicle Density - Recall - Precision (V1:Threshold , V2:Cooperative).....	147
Εικόνα 122 Σενάριο 8: Vehicle Density - Recall - Precision (V1:Cooperative , V2:Behavioral).....	147
Εικόνα 123 Σενάριο 8: Accuracy - F1 Score – Informedness (V1:Threshold , V2:Behavioral).....	148
Εικόνα 124 Σενάριο 8: Accuracy - F1 Score – Informedness (V1:Threshold , V2:Cooperative).....	148
Εικόνα 125 Σενάριο 8: Accuracy - F1 Score – Informedness (V1:Cooperative , V2:Behavioral).....	148

Εικόνα 126 Σενάριο 8: Markedness - MCC - Cohens Kappa (V1:Threshold , V2:Behavioral).....	148
Εικόνα 127 Σενάριο 8: Markedness - MCC - Cohens Kappa (V1:Threshold , V2:Cooperative)	148
Εικόνα 128 Σενάριο 8: Markedness - MCC - Cohens Kappa (V1:Cooperative , V2:Behavioral)	148

Εισαγωγή

Με την πάροδο των χρόνων, η αύξηση του πληθυσμού οδήγησε στην επέκταση και ανάπτυξη των αστικών περιοχών, δημιουργώντας παράλληλα την ανάγκη για νέες υποδομές που να ανταποκρίνονται στις μεταφορικές απαιτήσεις των κατοίκων. Η ασφάλεια και η αποτελεσματικότητα των δημόσιων υποδομών αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία, ενισχύοντας το ενδιαφέρον για τα Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών (ITS). Ο κύριος σκοπός των ITS είναι η συλλογή δεδομένων για την κυκλοφορία, τα οποία αξιοποιούνται για την ανάπτυξη στρατηγικών ελέγχου, διαχείρισης και ανάλυσης της κυκλοφορίας.

Στην οργάνωση των συστημάτων μεταφοράς συμβάλλει η Συνδεδεμένη και Συνεργατική Αυτοματοποιημένη Κινητικότητα (CCAM). Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν τεχνολογία, όπως αισθητήρες και επικοινωνιακά δίκτυα, για να επιτρέπουν την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των οχημάτων και του οδικού περιβάλλοντος.

Στη συνέχεια, θα αναλύσουμε τις επικοινωνίες Vehicle-to-Everything (V2X). Το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει πεζούς, οχήματα, δρόμους, περιβάλλον και άλλα στοιχεία. Το V2X είναι μια νέα γενιά ICT που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων, των πεζών, των οδικών υποδομών και των πλατφορμών υπολογιστικού νέφους. Αυτό το κεφάλαιο συνοψίζει το LTE-V2X και το Cellular-V2X (C-V2X).

Επιπρόσθετα, αναλύεται ένα εργαλείο που είναι σχεδιασμένο για την εκτέλεση προσομοιώσεων δικτύων οχημάτων, το Veins. Ενσωματώνει δύο προγράμματα: το OMNeT++, έναν προσομοιωτή δικτύων βασισμένο σε γεγονότα (event-based), και το SUMO, έναν προσομοιωτή κυκλοφορίας οδών-οχημάτων. Συνδυάζοντας αυτά τα εργαλεία, το Veins προσφέρει μια σειρά μοντέλων προσαρμοσμένων για προσομοιώσεις επικοινωνίας μεταξύ οχημάτων.

Στην εργασία, βλέπουμε και την τεχνολογία Platooning, που αναφέρεται σε ένα σύστημα όπου μια ομάδα οχημάτων, ταξιδεύουν μαζί με συντονισμένο τρόπο, διατηρώντας μικρές αποστάσεις μεταξύ τους μέσω προηγμένων τεχνολογιών αυτοματοποιημένης οδήγησης. Αυτά τα οχήματα χρησιμοποιούν συνδεδεσιμότητα και αυτόματα συστήματα οδήγησης, όπως προσαρμοσμένο έλεγχο ταχύτητας, επικοινωνία V2V και αισθητήρες, για να συγχρονίζουν την ταχύτητα, το φρενάρισμα και τη διεύθυνση τους, επιτρέποντάς τους να κινούνται με ασφάλεια ως μια ενιαία μονάδα. Τα επίπεδα platoon όπως τα οραματίστηκε το project ENSEMBLE έχουν καθοριστεί. Το επίπεδο platoon A είναι αυτό που θα μελετήσουμε και περιγράφεται αναλυτικά.

Στο πρακτικό μέρος, αναλύεται το προτεινόμενο πλαίσιο προσομοίωσης F2MD, υλοποιημένο στο VEINS. Το F2MD επιτρέπει τη διεξαγωγή μελετών σε ένα μεγάλο σύνολο οχημάτων που προσομοιώνονται σε ένα μεγάλο οδικό δίκτυο. Από το συγκεκριμένο πλαίσιο θα εξεταστούν διαφορετικά σενάρια και θα προκύψουν ποικίλα συμπεράσματα.

Δομή Εργασίας

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε μέσα από την εξέταση διαφόρων βιβλιογραφικών πηγών, στηριζόμενη στην αναζήτηση, επιλογή και ανάλυση δεδομένων από άρθρα, μελέτες και έρευνες που είναι προσβάσιμα στο διαδίκτυο.

Η διπλωματική χωρίζεται σε 6 κεφάλαια, τα οποία διαρθρώνονται ως εξής:

- Στο Κεφάλαιο 1 αναλύεται η σημασία των Έξυπνων Συστημάτων Μεταφοράς (ITS) και που χρησιμοποιούνται αυτά, καθώς και αναλύεται η έννοια της Συνδεδεμένης και Συνεργατικής Αυτοματοποιημένης Κινητικότητας (CCAM).
- Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται το κίνητρο των επικοινωνιών Vehicle-to-Everything (V2X) και πιο συγκεκριμένα το LTE-V2X και το Cellular-V2X (C-V2X).
- Στο Κεφάλαιο 3 συνοψίζεται το Veins , ένα ανοιχτό Λογισμικό Πλαίσιο για Προσομοιώσεις Οχημάτων και περιγράφεται η χρήση του σε βήματα.
- Στο Κεφάλαιο 4 αναφέρεται η τεχνολογία Platooning και οι περιπτώσεις χρήσης επιπέδου Α. Επίσης, παρουσιάζεται η διαδικασία δημιουργίας του Platooning σε NETEDIT και OMNeTT++ .
- Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται το προτεινόμενο πλαίσιο προσομοίωσης F2MD, το οποίο βασίζεται στο VEINS και τα σενάρια που έχουν εφαρμοστεί στην παραπάνω υλοποίηση.
- Στο Κεφάλαιο 6 παρατίθενται τα συμπεράσματα της βιβλιογραφικής έρευνας που επιτελέστηκε και αναφέρεται η προσωπική εμπειρία που αποκομίστηκε.

Κεφάλαιο 1

Intelligent Transportation Systems and Connected and Cooperative Automated Mobility (CCAM)

1.1 Intelligent Transportation Systems

Με τα χρόνια, η αύξηση του πληθυσμού έχει προκαλέσει τη διεύρυνση και την ανάπτυξη των πόλεων, απαιτώντας ταυτόχρονα την ανέγερση νέων υποδομών για την κάλυψη των μεταφορικών αναγκών των πολιτών. Αυτή η ανάπτυξη έχει οδηγήσει στην κατασκευή καινοτόμων συστημάτων μεταφοράς, συμβάλλοντας στη διαρκή εξέλιξη των αστικών περιοχών. Η ασφάλεια και η αποδοτικότητα των δημόσιων υποδομών γίνονται όλο και πιο σημαντικές, προκαλώντας αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών (ITS). Η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών στις υποδομές μεταφορών στοχεύει στη βελτίωση της ασφάλειας και της αποδοτικότητας, καθιστώντας τις μεταφορές περιβαλλοντικά βιώσιμες και οικονομικά επωφελείς για τον πληθυσμό. Η εξέλιξη των Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) έχει οδηγήσει στη δημιουργία εφαρμογών Έξυπνων Μεταφορών, με σημαντική πρόοδο στη συνεργατική κινητικότητα.

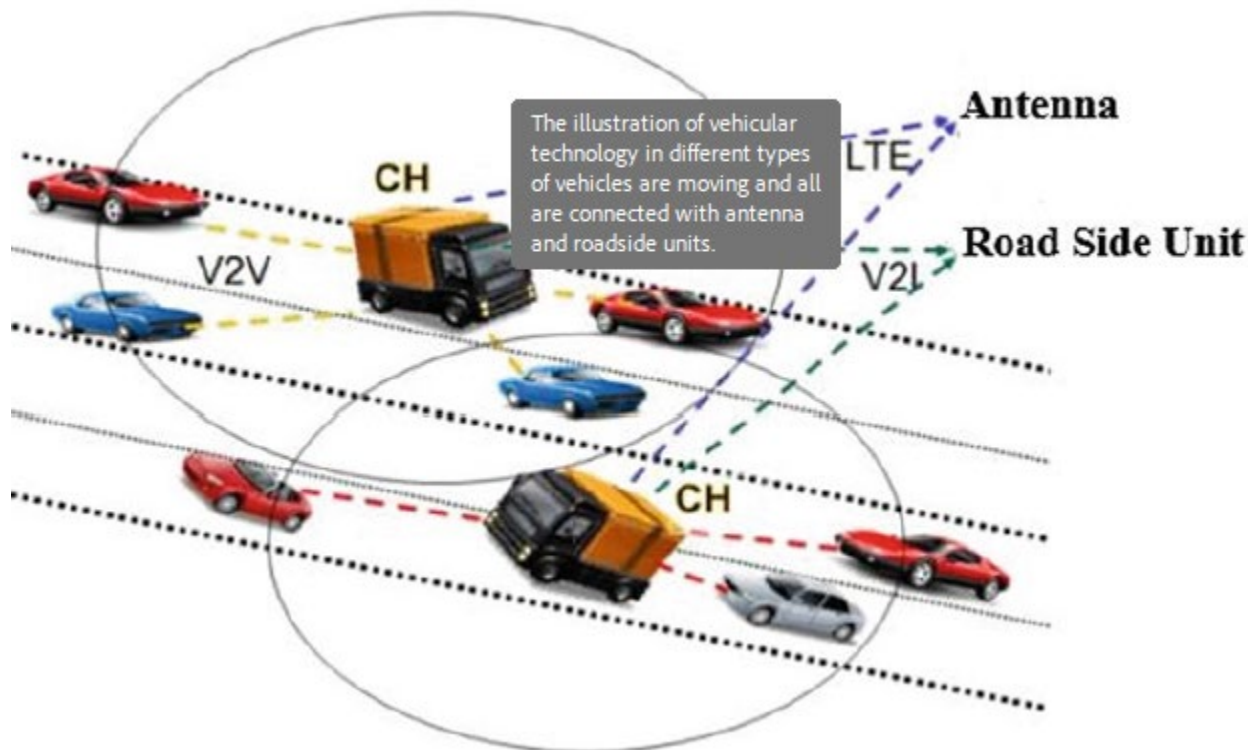
1.1.1 Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών

Ενσύρματη Τεχνολογία

Οι άνθρωποι που εργάζονται με υπολογιστές χρησιμοποιούν τον όρο "ενσύρματος" για να ξεχωρίσουν τις ασύρματες συνδέσεις από αυτές που χρησιμοποιούν καλώδια. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ενσύρματων δικτύων. Τα περισσότερα ενσύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν καλώδια Ethernet για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των συνδεδεμένων Η/Υ.

Ασύρματη Τεχνολογία

Πολλά πράγματα, όπως τα κινητά τηλέφωνα, οι προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί και ο ασύρματος δικτυακός εξοπλισμός, ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε μονάδες GPS, ασύρματα ποντίκια και πληκτρολόγια υπολογιστή, ακουστικά και ραδιοφωνικούς δέκτες, δορυφορική τηλεόραση, ασύρματα τηλέφωνα και πολλά άλλα πράγματα που χρησιμοποιούν ραδιοσήματα. Φως, μαγνητικά ή ηλεκτρικά πεδία χρησιμοποιούνται στην ασύρματη επικοινωνία. Υπάρχουν κάποια πράγματα που οι ασύρματες λειτουργίες μπορούν να αξιοποιήσουν όταν τα καλώδια δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως οι κινητές και οι στρατοσφαιρικές επικοινωνίες. Αυτά τα συστήματα δεν χρειάζονται καλώδια για να μεταδίδουν και να λαμβάνουν πληροφορία. Χρησιμοποιούν ραδιοκύματα, ακουστική ενέργεια ή άλλα είδη για να μεταδίδουν και να λαμβάνουν πληροφορίες. Ανάμεσα σε κοντινές και μακρινές αποστάσεις, τα δεδομένα μεταφέρονται με αυτόν τον τρόπο. Η Εικόνα 1 δείχνει πώς η ασύρματη τεχνολογία χρησιμοποιείται στο έξυπνο σύστημα μεταφορών (Amit Kumar Tyagi, 2022).



Εικόνα 2 Τεχνολογία Οχημάτων σε Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών (ITS) (Amit Kumar Tyagi, 2022)

1.1.2 Εξέλιξη έξυπνων τεχνολογιών μεταφορών

Στα έξυπνα συστήματα μεταφορών χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι τεχνολογίας για να καταστήσουν τις μεταφορές μας καλύτερες και πιο ασφαλείς. Κάποιες από αυτές τις τεχνολογίες περιλαμβάνουν συστήματα διαχείρισης για πλοήγηση οχημάτων και έλεγχος των φωτεινών σημάτων. Υπάρχουν, όμως, και πιο προηγμένες εφαρμογές που χρησιμοποιούν πραγματικά δεδομένα και ανατροφοδότηση από διάφορες πηγές για να λαμβάνουν πιο έξυπνες αποφάσεις. Ερευνητικές ομάδες εργάζονται στο να προβλέπουν μελλοντικά γεγονότα χρησιμοποιώντας προηγμένα μοντέλα και συγκρίνοντάς τα με δεδομένα από το παρελθόν για να λαμβάνουν καλύτερες αποφάσεις. Με τον αυξανόμενο αριθμό ανθρώπων που χρησιμοποιούν το σύστημα μεταφορών, αυξάνονται και οι πιθανότητες ατυχημάτων. Επομένως, είναι σημαντικό να υπάρχει ένα ασφαλές σύστημα μεταφορών που μπορεί να χειριστεί το σύνολο των ανθρώπων στους δρόμους και ταυτόχρονα να είναι καλό για το περιβάλλον. Αυτή τη στιγμή, τα έργα που επιτρέπουν στα οχήματα να επικοινωνούν με υποδομές, όπως τα δίοδια, είναι πολύ δημοφιλή παγκοσμίως. Ένα έξυπνο σύστημα μεταφορών είναι μια εξαιρετική λύση για την αντιμετώπιση προβλημάτων κυκλοφορίας στις πόλεις. Ο βασικός στόχος των ITS είναι να συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με την κυκλοφορία, οι οποίες στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία στρατηγικών για τον έλεγχο, τη διαχείριση και τη μελέτη της κυκλοφορίας. Τα ITS περιλαμβάνουν τεχνολογίες όπως η μετάδοση RF σημάτων και μικροκυμάτων, Bluetooth και η διαδικτυακή συνδεσιμότητα. Επίσης, περιλαμβάνει γεωγραφικές πληροφορίες, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), συστήματα κάμερας και τεχνητή όραση. Αυτές οι τεχνολογίες και μέθοδοι καλύπτουν την ανίχνευση και ταξινόμηση σε συστήματα εντός οχήματος, σε μονάδες ελέγχου το οδικού δικτύου και ψηφιακούς χάρτες.

1.1.3 Το Μέλλον των Έξυπνων Συστημάτων Μεταφορών στις Έξυπνες Πόλεις

Οι άνθρωποι συχνά μοιράζονται τις σκέψεις και απόψεις τους σχετικά με μια πόλη και το σύστημα μεταφορών της σε κοινωνικά δίκτυα. Αναλύοντας αυτές τις πηγές δεδομένων, μπορούμε να κατανοήσουμε πώς είναι μια πόλη και πόσο καλά λειτουργεί το σύστημα μεταφορών της. Για αυτό, προτείνεται τα μελλοντικά Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών (ITSs) να χρησιμοποιούν αυτές τις πηγές δεδομένων για την παρακολούθηση και διαχείριση των συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται η χρήση ενός αλγορίθμου επεξεργασίας (NLP), που καταλαβαίνει την ανθρώπινη γλώσσα, για την ανάλυση δεδομένων από πλατφόρμες κοινωνικών μέσων όπως το Twitter. Ο στόχος είναι να βρει κοινωνικά γεγονότα και σχόλια από το κοινό που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα κυκλοφορίας (όπως συμφόρηση μετά από έναν αγώνα ποδοσφαίρου) και να κατανοήσει τι πιστεύουν και πώς αισθάνονται οι άνθρωποι για το σύστημα μεταφορών και τις τρέχουσες πολιτικές.

1.1.4 Συνεργατικό Σύστημα στο Οδικό Δίκτυο

Σε ένα τέτοιο σύστημα, άνθρωποι και αυτοκίνητα επικοινωνούν μεταξύ τους στον δρόμο. Υπάρχει ένας διακομιστής που συλλέγει και ελέγχει δεδομένα από όλα τα αυτοκίνητα στον δρόμο ταυτόχρονα. Αυτά τα δεδομένα βοηθούν στον εντοπισμό πραγμάτων όπως ο καιρός και οι κυκλοφοριακές συμφορήσεις. Στη συνέχεια, ο διακομιστής προτείνει συμβουλές οδήγησης σε άτομα ή ομάδες και τις στέλνει ασύρματα στα αυτοκίνητα. Ο στόχος είναι να καθίστανται οι δρόμοι πιο ασφαλείς με τη χρήση συστημάτων επικοινωνίας και αισθητήρων με συνεργατικό τρόπο.



Εικόνα 3 Έξυπνα συστήματα μεταφορών στο οδικό δίκτυο(Amit Kumar Tyagi, 2022)

1.1.5 Κρίσιμα Θέματα και Προκλήσεις στα Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών

Στον τομέα των Έξυπνων Συστημάτων Μεταφορών (ITS), τα κρίσιμα ζητήματα και προκλήσεις που προκύπτουν χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής. Αυτά περιλαμβάνουν τη διατήρηση της ακεραιότητας των πληροφοριών, τη δημιουργία εμπιστοσύνης μεταξύ των χρηστών για την ασφάλεια του συστήματος, τη διασφάλιση ότι τα μηνύματα φτάνουν στον σωστό προορισμό χωρίς να αλλοιώνονται και την προστασία της ιδιωτικότητας των εξουσιοδοτημένων χρηστών. Ορισμένες λειτουργίες, όπως η ταυτοποίηση, είναι διαθέσιμες μόνο για συνδεδεμένα αυτοκίνητα. Η μη αποποίηση της ευθύνης είναι επίσης σημαντική, διασφαλίζοντας ότι οι άνθρωποι/οδηγοί/μηχάνες δεν μπορούν να αρνηθούν ότι επικοινωνήσαν μεταξύ τους για τη λήψη απόφασης. Όλα αυτά τα στοιχεία είναι κρίσιμα για τη δημιουργία ενός αξιόπιστου και ασφαλούς συστήματος επικοινωνίας στα Έξυπνα Συστήματα Μεταφοράς. Η ποιότητα των υπηρεσιών είναι σημαντική σε ότι αφορά εφαρμογές για επιβάτες, απαιτώντας άμεση σύνδεση του οχήματος και ελάχιστη καθυστέρηση επικοινωνίας. Επίσης, η ασφάλεια είναι πρωταρχική για την αποφυγή ενδεχόμενων φονικών αποτελεσμάτων από εσφαλμένη συμπεριφορά χρήστη μετά από αλλαγή ή επανάληψη μηνυμάτων. Καμιά φορά, προβλήματα με τη λήψη σημάτων μπορούν να επηρεάσουν πώς λειτουργεί η ασύρματη επικοινωνία πραγματικού χρόνου. Η δυναμική φύση των κινητών οχημάτων, που συνεχώς αλλάζουν την τοπολογία του δικτύου αποτελεί σημαντικό πρόβλημα, απαιτώντας τη δημιουργία ενός νέου τύπου δικτύου, το Δίκτυο Αυτόνομων Οχημάτων (VANET). Είναι ουσιαστικό να γνωρίζουμε ότι κάθε μέθοδος επικοινωνίας έχει τους δικούς της κανόνες, ιδίως όσον αφορά πράγματα όπως η ποιότητα της υπηρεσίας και η ταχύτητα συνδέσεων. Για αυτό τον λόγο είναι σημαντικό να χρησιμοποιούμε τη σωστή τεχνολογία για να υποστηρίξουμε υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και γρήγορη κινητικότητα σε πυκνά δίκτυα όπως αυτά που συμπεριλαμβάνουν οχήματα. Στην επικοινωνία σε μικρές αποστάσεις, ασύρματοι πομποδέκτες που βρίσκονται κοντά και χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη συχνοτήτων προκαλούν παρεμβολές και δημιουργούν αυξημένο επίπεδο θορύβου. Η υψηλή πυκνότητα ραδιοκυμάτων μπορεί να προκαλέσει καθυστερήσεις και, σε ορισμένες περιπτώσεις, ακόμη και απώλεια δεδομένων.

1.2 Connected and Cooperative Automated Mobility (CCAM)

Η Συνδεδεμένη και Συνεργατική Αυτοματοποιημένη Κινητικότητα (CCAM) αποτελεί έναν σύγχρονο και προηγμένο τρόπο οργάνωσης των συστημάτων μεταφοράς. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν τεχνολογία, όπως αισθητήρες και επικοινωνιακά δίκτυα, για να επιτρέπουν την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των οχημάτων και του οδικού περιβάλλοντος.



Εικόνα 4 CCAM σε οδικό δίκτυο (ACEM - The Motorcycle in Europe, n.d.)

1.2.1 Συνεργατική κινητικότητα

Vehicle-to-Vehicle (V2V) Communication

Η επικοινωνία από όχημα προς όχημα (V2V) αναφέρεται στη δυνατότητα των οχημάτων να επικοινωνούν μεταξύ τους. Αυτό εξασφαλίζει την ανταλλαγή σημαντικών πληροφοριών, όπως η θέση και η ταχύτητα, προκειμένου να βελτιωθεί η ασφάλεια και η απόδοση της κυκλοφορίας και να υποστηριχτεί αυτόνομη οδήγηση.

Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Communication

Η επικοινωνία από όχημα προς υποδομή (V2I) αναφέρεται στη δυνατότητα των οχημάτων να επικοινωνούν με την υποδομή και τα συστήματα κυκλοφορίας. Αυτό διευκολύνει τη συνεργασία τους με το περιβάλλον που βρίσκονται για αποτελεσματικότερη οδήγηση. Π.χ. επικοινωνία με τους σηματοδότες.

1.2.2 Συνδεδεμένη κινητικότητα

Vehicle-to-Everything (V2X) Communication

Η επικοινωνία από όχημα προς τα πάντα (V2X) αναφέρεται στην ικανότητα των οχημάτων να επικοινωνούν με οτιδήποτε, συμπεριλαμβανομένων άλλων οχημάτων, υποδομής, internet, ακόμη και

πεζών. Αυτό επιτρέπει μια ολοκληρωμένη ανταλλαγή πληροφοριών για βελτιωμένη ασφάλεια και απόδοση.

Wireless Connectivity

Η ασύρματη συνδεσιμότητα αναφέρεται στη χρήση ασύρματων τεχνολογιών για τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ οχημάτων και υποδομής. Αυτό διευκολύνει τη συνεχή επικοινωνία και ανταλλαγή πληροφοριών.

1.2.3 Αυτοματοποιημένη κινητικότητα

Επίπεδα αυτοματοποίησης

Τα επίπεδα αυτοματοποίησης αναφέρονται στο βαθμό στον οποίο ένα όχημα μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα χωρίς την ενεργή συμμετοχή του οδηγού. Αυτά τα επίπεδα καθορίζουν το βαθμό της τεχνολογικής προόδου στη λειτουργία του οχήματος.

Τεχνολογίες αισθητήρων

Οι τεχνολογίες αισθητήρων αναφέρονται στα συστήματα που επιτρέπουν στα οχήματα να αντλούν πληροφορίες για το περιβάλλον τους, όπως η απόσταση, η ταχύτητα και άλλα.

Τεχνητή νοημοσύνη στην CCAM

Η τεχνητή νοημοσύνη στην CCAM αναφέρεται στη χρήση εξελιγμένων υπολογιστικών συστημάτων που επιτρέπουν στα οχήματα να προβλέπουν, να αντιλαμβάνονται και να προσαρμόζονται σε διάφορες καταστάσεις οδήγησης.

1.2.4 Καινοτομίες Ασφάλειας και Στρατηγικές Μείωσης Ατυχημάτων

Οι καινοτομίες στον τομέα της ασφάλειας είναι ένα κρίσιμο κομμάτι της Συνδεδεμένης και Συνεργατικής Αυτοματοποιημένης Κινητικότητας (CCAM), με στόχο τη σημαντική βελτίωση της οδικής ασφάλειας μέσω διαφόρων στρατηγικών και τεχνολογιών.

Οι στρατηγικές μείωσης ατυχημάτων στην CCAM επικεντρώνονται στην υλοποίηση προληπτικών μέτρων για τη μείωση της συχνότητας και του βαθμού σοβαρότητας των οδικών ατυχημάτων. Αυτό περιλαμβάνει την αξιοποίηση προηγμένων τεχνολογιών και συνεργατικών συστημάτων για τον εντοπισμό πιθανών κινδύνων και την αντιμετώπισή τους πριν συμβούν ατυχήματα. Κάποια βασικά στοιχεία περιλαμβάνουν:

- Ανάλυση πρόβλεψης: Χρήση της ανάλυσης δεδομένων βασισμένη σε ιστορικά δεδομένα, τρέχουσες συνθήκες κυκλοφορίας και άλλους σχετικούς παράγοντες για την εκτίμηση πιθανών επικινδύνων καταστάσεων. Η προβλεπτική ανάλυση μπορεί να επιτρέψει λήψη αποφάσεων για την πρόληψη ατυχημάτων.
- Πραγματικού Χρόνου Παρακολούθηση: Εφαρμογή συστημάτων παρακολούθησης πραγματικού χρόνου που αξιολογούν συνεχώς το περιβάλλον. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση

αισθητήρων, καμερών και άλλων τεχνολογιών για να παρέχουν άμεσα σχόλια για πιθανούς κινδύνους, επιτρέποντας την έγκαιρη παρέμβαση.

- Συντονισμός Επείγουσας Ανταπόκρισης: Ενσωμάτωση συστημάτων επικοινωνίας που ευνοούν τον γρήγορο συντονισμό μεταξύ οχημάτων, υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης και κέντρων διαχείρισης κυκλοφορίας. Σε περίπτωση πιθανού ατυχήματος, η γρήγορη ανταπόκριση και συντονισμός μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τις επιπτώσεις και τον βαθμό σοβαρότητας του περιστατικού.
- Συστήματα Βοήθειας Οδηγού: Εφαρμογή προηγμένων συστημάτων βοήθειας οδηγού (ADAS) που παρέχουν προειδοποιήσεις και βοηθούν τον οδηγό στην αποφυγή πιθανών συγκρούσεων. Αυτά τα συστήματα μπορεί να περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά όπως αυτόματο φρενάρισμα σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης και προειδοποιήσεις για αποκλίσεις λωρίδας.

Σε απλά λόγια, η CCAM είναι σαν μια ομάδα έξυπνων και επικοινωνιακών οχημάτων που συνεργάζονται στον δρόμο. Μοιράζονται πληροφορίες, βοηθούν ο ένας τον άλλο να πλοηγηθούν και χρησιμοποιούν την αυτοματοποίηση για να καταστήσουν την οδήγηση πιο ασφαλή και άνετη για όλους. Ο στόχος είναι να δημιουργηθεί ένα σύστημα μεταφοράς που είναι αποτελεσματικό, ασφαλές και έξυπνο.

Κεφάλαιο 2

Επικοινωνίες

2.1 Εισαγωγή

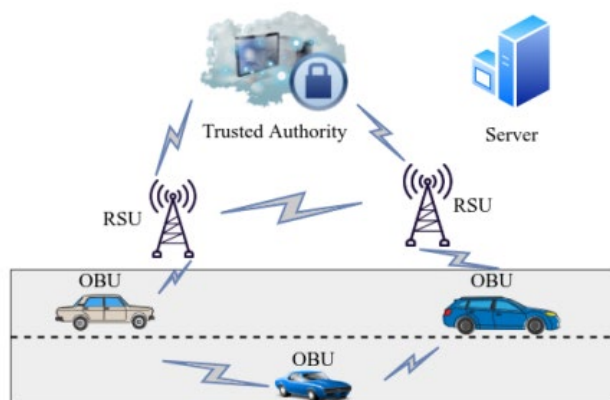
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται εν συντομία το κίνητρο και η λογική των επικοινωνιών Vehicle-to-Everything (V2X), και οι εφαρμογές και η εξέλιξη των Information and Communication Technologies (ICT) σε διάφορες φάσεις στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας και των μεταφορών. Αυτό το κεφάλαιο συνοψίζει το LTE-V2X και το Cellular-V2X (C-V2X).

2.2 Vehicular Networks

Ένα Vehicular Ad-hoc Network (VANET) αποτελείται από μια ομάδα κινούμενων ή ακίνητων οχημάτων που συνδέονται μεταξύ τους μέσω ασύρματου δικτύου. Τα VANET έχουν σημαντικό ρόλο στα περιβάλλοντα οχημάτων καθώς προσφέρουν ασφάλεια στους οδηγούς, έξυπνο έλεγχο κυκλοφορίας και πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο. Τα VANET χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη ασφαλούς οδήγησης, έξυπνης πλοήγησης, έκτακτης ανάγκης και εφαρμογές ψυχαγωγίας εντός του οχήματος. Ωστόσο, αυτά τα ολοένα και πιο συνδεδεμένα οχήματα θέτουν έναν αριθμό κινδύνων ασφάλειας τόσο για τον κεντρικό υπολογιστή όσο και για τα ίδια τα οχήματα, και μπορεί να έχουν σοβαρές συνέπειες.

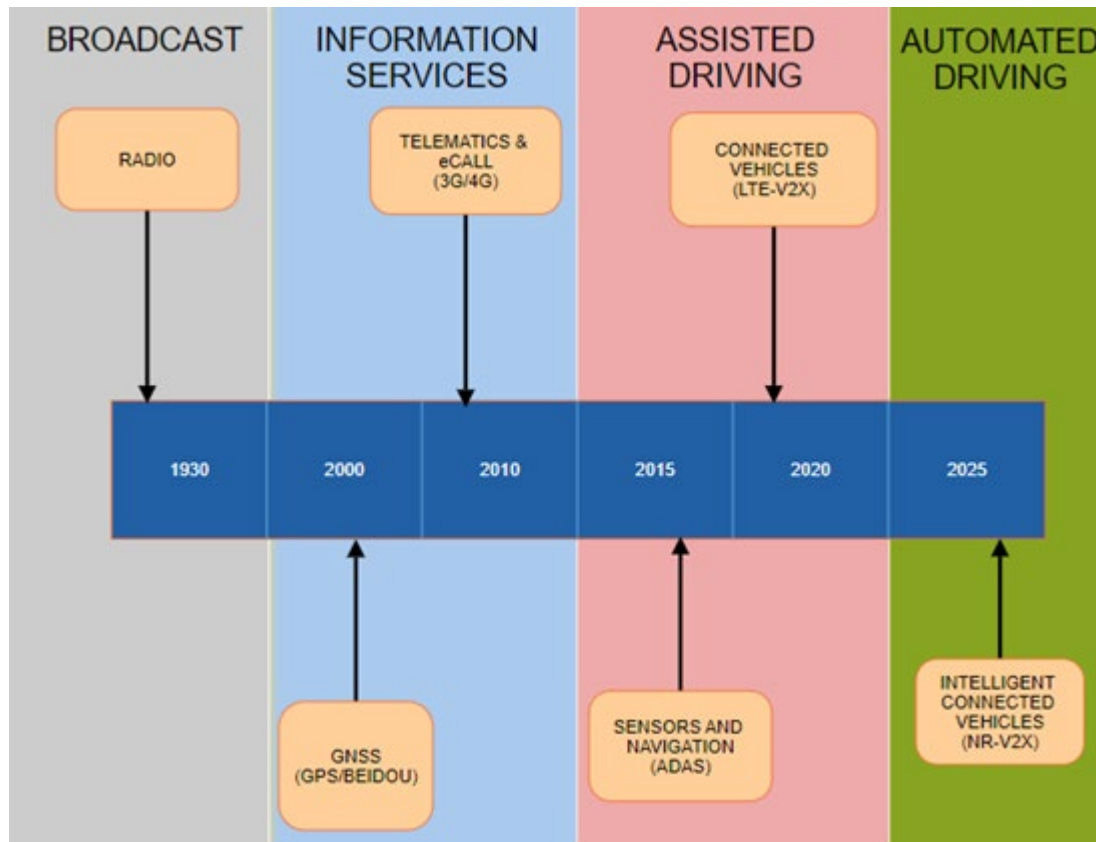
2.3 Αρχιτεκτονική VANET

Τα δύο κύρια μοντέλα επικοινωνίας στα VANET ταξινομούνται ως επικοινωνία Vehicle-to-Vehicle (V2V) και Vehicle to Infrastructure (V2I). Η επικοινωνία V2V είναι η ικανότητα ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ διαφορετικών οχημάτων, ενώ η V2I είναι ένα μοντέλο επικοινωνίας που επιτρέπει στα οχήματα να μοιράζονται πληροφορίες με τα στοιχεία που υποστηρίζουν το σύστημα αυτοκινητοδρόμων μιας χώρας. Τέτοια εξαρτήματα περιλαμβάνουν κάμερες, RFID, φανάρια, δείκτες λωρίδας, σήμανση και παρκόμετρα. Η κύρια μονάδα επικοινωνίας αποτελείται από το Road-Side Unit (RSU) από την πλευρά της υποδομής, on-board unit (OBU) στο όχημα, και trusted authority (TA) στο cloud όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5 Αρχιτεκτονική VANET (Shawal Khan, 2021)

2.4 Η εφαρμογή και η εξέλιξη των Information and Communication Technologies (ICT) στην αυτοκινητοβιομηχανία.



Εικόνα 6 Η εφαρμογή και η εξέλιξη των Information and Communication Technologies (ICT) στην αυτοκινητοβιομηχανία

2.4.1 Broadcast

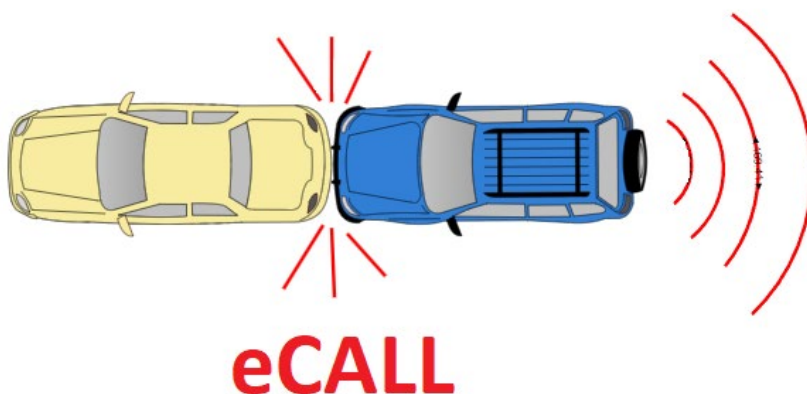
Το ραδιόφωνο ήταν το πρώτο που εμφανίστηκε στα αυτοκίνητα και παρείχε σε κάθε οδηγό ψυχαγωγία, ενημέρωση για τον καιρό και πληροφορίες για την μετακίνησή του. Αυτό γίνονταν με την ευρυεκπομπή ασύρματων σημάτων.

2.4.2 Υπηρεσίες πληροφοριών

Οι υπηρεσίες πληροφοριών για το αυτοκίνητο περιλαμβάνουν διάφορες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένης της πλοήγησης που βασίζεται στο ICT, της τηλεματικής και των κλήσεων έκτακτης ανάγκης (eCall). Η πλοήγηση βασίζεται σε συστήματα εντοπισμού θέσης και ηλεκτρονικούς χάρτες. Ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης και του προσανατολισμού ενός οχήματος είναι ζωτικής σημασίας για εφαρμογές όπως ο εντοπισμός θέσης, η πλοήγηση και η αυτόνομη οδήγηση. Τα παγκόσμια δορυφορικά

συστήματα εντοπισμού θέσης "GNSS" επιτρέπουν τον προσδιορισμό του γεωγραφικού μήκους, του γεωγραφικού πλάτους, του υψομέτρου, της κατεύθυνσης, της ταχύτητας και άλλων σχετικών πληροφοριών. Αυτά τα συστήματα αποτελούνται από πολλούς δορυφόρους σε τροχιά γύρω από τη Γη, καθένας από τους οποίους εκπέμπει συγκεκριμένα ραδιοσήματα συνεχώς. Χρησιμοποιώντας έναν δέκτη GNSS, το όχημα μπορεί να λάβει σήματα από πολλούς δορυφόρους, επιτρέποντας την ανάλυση και την επεξεργασία αυτών των σημάτων για τον προσδιορισμό της θέσης του (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος και υψόμετρο).

Το ενσωματωμένο σύστημα eCall χρησιμοποιεί την επικοινωνία κινητών τηλεφώνων και τον δορυφορικό εντοπισμό θέσης για την αυτόματη ή χειροκίνητη σύνδεση με το πλησιέστερο κέντρο διάσωσης μέσω ενός ενιαίου αριθμού (οι συγκεκριμένοι αριθμοί διαφέρουν μεταξύ ΗΠΑ και Ευρώπης) σε περίπτωση τροχαίου ατυχήματος. Επιπλέον, το σύστημα eCall μεταδίδει λεπτομέρειες σχετικά με το ατύχημα, όπως η τοποθεσία, ο τύπος και τα στοιχεία του οχήματος. Το eCall είναι υποχρεωτικό για όλα τα οχήματα από τον Μάρτιο του 2018 σύμφωνα με τους κανονισμούς της ΕΕ. Με την ευρεία χρήση του κινητού διαδικτύου (κινητά τηλέφωνα) ενσωματώνονται στα οχήματα εφαρμογές που παρέχουν υπηρεσίες πλοήγησης, γεωγραφικές πληροφορίες, πληροφορίες κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, ψυχαγωγία πολυμέσων και φωνητική επικοινωνία. Οι εφαρμογές αυτές αποσκοπούν στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ασφάλειας και άνεσης της οδήγησης, παρέχοντας ταυτόχρονα μια εμπειρία χρήστη παρόμοια με αυτή ενός κινητού τηλεφώνου (Shanzhi Chen, 2023).



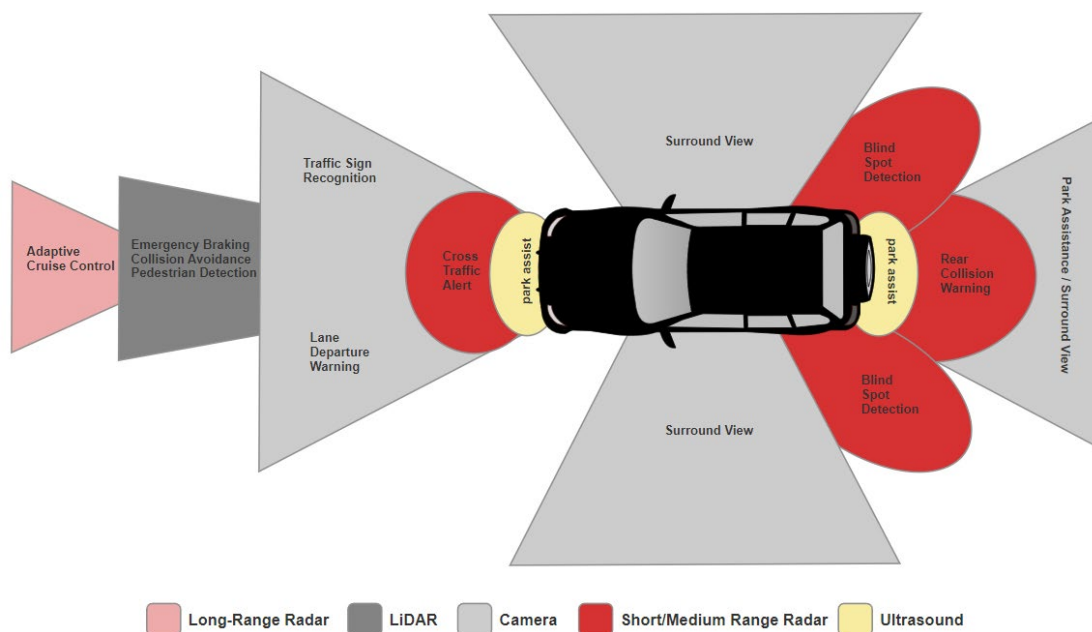
Εικόνα 7 Παράδειγμα χρήσης eCall

2.4.3 Assisted Driving

Οι νέες τεχνολογίες ICT, όπως το 5G, η τεχνητή νοημοσύνη και τα Big Data, ήταν οι κύριες κινητήριες δυνάμεις για τις τέσσερις τάσεις ανάπτυξης της αυτοκινητοβιομηχανίας. Ως σημαντική πλατφόρμα για τη βιομηχανική καινοτομία, τα έξυπνα συνδεδεμένα οχήματα (ICV) επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στο σύστημα των οχημάτων, στα μοντέλα μεταφορών, στις δομές κατανάλωσης ενέργειας και στα κοινωνικά πρότυπα εργασίας.

Η έξυπνη οδήγηση αναλύεται σε δύο φάσεις: την υποβοηθούμενη οδήγηση (Assisted Driving) και την αυτοματοποιημένη οδήγηση (Automated Driving). Η υποβοηθούμενη οδήγηση απαιτεί από τον ανθρώπινο

οδηγό να ελέγχει ενεργά τη λειτουργία και τις συνθήκες του δρόμου και του οχήματος. Τα προηγμένα συστήματα υποβοήθησης οδηγού (ADAS) είναι τεχνολογίες ενεργητικής ασφάλειας που χρησιμοποιούν διάφορους αισθητήρες τοποθετημένους στο όχημα (π.χ. ραντάρ mmWave, LiDAR, ραντάρ υπερήχων, ανίχνευση βίντεο, συσκευές υπέρυθρης νυχτερινής όρασης, δορυφορική πλοήγηση και εντοπισμό θέσης).



Εικόνα 8 Η απεικόνιση των αισθητήρων ADAS στο σύγχρονο αυτόνομο όχημα

- Το ραντάρ mmWave είναι υπεύθυνο για την παροχή ακριβούς ταχύτητας και κατεύθυνσης κίνησης του οχήματος.
- Οι κάμερες είναι κυρίως υπεύθυνες για την αναγνώριση στόχων και χαρακτήρων.
- Το LiDAR είναι υπεύθυνο για την ακριβή μέτρηση της απόστασης και τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων του περιβάλλοντος του οχήματος.
- Το ραντάρ υπερήχων είναι υπεύθυνο για την αναγνώριση αντικειμένων στην αντίθετη κατεύθυνση.
- Οι κάμερες υπέρυθρης νυχτερινής όρασης μπορούν να αναγνωρίσουν θερμαινόμενα αντικείμενα όπως πεζούς και ζώα τη νύχτα (Shanzhi Chen, 2023).

2.4.4 Automated Driving

Χρησιμοποιώντας τεχνητή νοημοσύνη και άλλες τεχνολογίες (κυρίως επικοινωνιών), τα πρώτα οχήματα χωρίς οδηγό μπορούν να οδηγούνται αυτόματα και με ασφάλεια. Ο απώτερος στόχος είναι όλα τα οχήματα να είναι χωρίς οδηγό (driverless vehicle) ή self-driving vehicle. Η έρευνα και η ανάπτυξη τεχνολογιών και προτύπων αυτοματοποιημένης οδήγησης όχι μόνο θα παρέχει ασφαλέστερα και πιο άνετα μέσα μεταφοράς, αλλά και θα διευκολύνει τον μετασχηματισμό και τη βελτίωση της αυτοκινητοβιομηχανίας και των συναφών βιομηχανικών αλυσίδων.

Η ανάπτυξη τεχνολογιών αυτοματοποιημένης οδήγησης μπορεί να επιλύσει βασικά τεχνικά προβλήματα όπως η ανίχνευση, η λήψη αποφάσεων και ο έλεγχος. Ωστόσο, η μεγάλης κλίμακας εμπορική ανάπτυξη παρεμποδίζεται από μακροπρόθεσμες προκλήσεις σε σενάρια πραγματικών εφαρμογών, όπως σενάρια απρόβλεπτης ανθρώπινης συμπεριφοράς. Τα συστήματα αυτόνομης οδήγησης που βασίζονται στην ευφυΐα των μεμονωμένων οχημάτων δεν μπορούν να λύσουν αυτά τα προβλήματα.

Πρέπει να λαμβάνονται υπόψη διαφορετικές οδικές συνθήκες (αστικές, αυτοκινητόδρομοι, ορεινές, αγροτικές κ.λπ.), ιδίως σενάρια στροφών και οδικές συνθήκες με ατυχήματα. Οι επικοινωνίες V2X και οι τεχνολογίες αισθητήρων όπως το ADAS / Automated Driving System (ADS) είναι συμπληρωματικές, και αμφότερες προωθούν τη δημιουργία « Έξυπνων Συνδεδεμένων Οχημάτων » (ICV).

Έτσι, μπορεί να πραγματοποιηθεί μια εξέλιξη από την «αυτόνομη οδήγηση (μεμονωμένο όχημα με νοημοσύνη)» στην «αυτοματοποιημένη οδήγηση (συνδεδεμένο όχημα με συνεργατική νοημοσύνη)».

Η διαφορά μεταξύ της οδήγησης χωρίς οδηγό και της αυτοματοποιημένης οδήγησης είναι πιο γενική. Ωστόσο, η οδήγηση χωρίς οδηγό έχει μια ιδιαίτερη σημασία, καθώς δεν υπάρχει τιμόνι, γκάζι και μόνο κουμπιά εκκίνησης και διακοπής. Όταν ο επιβάτης επιβιβάζεται στο όχημα και καθορίζει τον προορισμό, η ταχύτητα και η διαδρομή του ταξιδιού αφήνονται πλήρως στο λειτουργικό σύστημα της μηχανής και δεν υπάρχει ανθρώπινη παρέμβαση. Αναλύοντας τα έξι επίπεδα αυτόματης οδήγησης, το L0 ονομάζεται συμβατική οδήγηση, τα L1 και L2 είναι υποβοηθούμενη οδήγηση, τα L3 έως L5 είναι αυτόματη οδήγηση και τα L4 έως L5 είναι οδήγηση χωρίς οδηγό. Επομένως, σύμφωνα με το επίπεδο ευφυούς οδήγησης, η οδήγηση χωρίς οδηγό είναι το υψηλότερο επίπεδο, η αυτόματη οδήγηση είναι το δεύτερο και η υποβοηθούμενη οδήγηση είναι το χαμηλότερο (Shanzhi Chen, 2023).

2.5 Cooperative Vehicle Infrastructure System and Automated Driving Supported by V2X

Το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει πεζούς, οχήματα, δρόμους, περιβάλλον και άλλα στοιχεία. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες θα εφαρμόσουν τα λεγόμενα «έξυπνα οχήματα» που θα εγκαινιάσουν την εποχή των ICV. Το CVIS είναι μια κοινή απαίτηση των Ευφυνών Συστημάτων Μεταφορών (ITS) και του ICV, που δημιουργήθηκε ως βιομηχανική συναίνεση. Η εμφάνιση «έξυπνων» αυτοκινήτων θα προωθήσει περισσότερους «έξυπνους δρόμους» και θα αυξήσει την ικανότητα των οδικών υποδομών. Η μελλοντική αυτόνομη οδήγηση θα βασίζεται σε CVI και θα ενσωματώνει συστηματικά τον «έξυπνο δρόμο» και το «έξυπνο όχημα».

2.5.1 Έξυπνα οχήματα (Smart Vehicles)

Δείχνει την διανοητική ανάπτυξη του αυτοκινήτου. Το όχημα ανιχνεύει το εξωτερικό περιβάλλον μέσω αισθητήρων και εξοπλισμού πλοήγησης, όπως κάμερες, ραντάρ, και λαμβάνει έξυπνες αποφάσεις μέσω τεχνητής νοημοσύνης.

2.5.2 Έξυπνος δρόμος (Intelligent Road)

Αναφέρεται στην διανοητική ανάπτυξη των οδικών υποδομών. Μέσω του ψηφιακού μετασχηματισμού, των σημάτων κυκλοφορίας, των φωτεινών σηματοδοτών, καθώς και της ανάπτυξης συσκευών ανίχνευσης οδών σε ειδικά τμήματα όπως ράμπες, στροφές, σήραγγες, περιοχές ομίχλης, περιοχές τροχαίων ατυχημάτων, έργα και παρακάμψεις καθώς και οι καιρικές αλλαγές μπορούν να συλλεχθούν σε πραγματικό χρόνο.

Με το C-V2X, η κοινή ιδέα υποδομής συνδεδεμένων οχημάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση των τροχαίων ατυχημάτων και την αύξηση της χωρητικότητας του δρόμου. Από την άλλη πλευρά, η αυτόνομη οδήγηση μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω ICV. Οι έξυπνοι δρόμοι χρησιμοποιούνται κυρίως για RSU, έξυπνα φανάρια, αισθητήρες δρόμου κλπ.

2.5.3 Χάρτες Ακρίβειας (Accurate Maps)

Σε αντίθεση με τους ηλεκτρονικούς χάρτες πλοήγησης παλαιού τύπου που χρησιμοποιούνται από τους οδηγούς, οι ηλεκτρονικοί χάρτες υψηλής ευκρίνειας που χρησιμοποιούνται από το ICV περιλαμβάνουν χωρικές θέσεις οχημάτων και περιβάλλον. Οι τρισδιάστατοι ηλεκτρονικοί χάρτες έχουν πληροφορίες υψηλής ακρίβειας και πλούσια χαρακτηριστικά για την επίτευξη πολλαπλών λειτουργιών όπως γεωτοποθέτηση υψηλής ακρίβειας, αναγνώριση υποβοηθούμενου περιβάλλοντος, σχεδιασμός και λήψη αποφάσεων σε σχέση με το περιβάλλον.

2.5.4 Intelligent Clouds

Οι πλατφόρμες υπολογιστικού νέφους μπορούν να αποκτήσουν/συλλέξουν πληροφορίες παγκόσμιας κυκλοφορίας, πληροφορίες αναγνώρισης δρόμων και σχεδιασμό/οργάνωση κυκλοφορίας (διαδρομή οδήγησης και ταχύτητα) μέσω μεγάλων δεδομένων και τεχνητής νοημοσύνης. Διάφορα σενάρια ταξιδιού μπορούν να παρέχουν ολοκληρωμένες λύσεις για την υποστήριξη της αυτόνομης οδήγησης.

2.5.5 Internet of Vehicle (IoV)

Το Internet of Vehicle (IoV) είναι η επικοινωνία και η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του οχήματος, των γύρω οχημάτων, των πεζών, των οδικών υποδομών, των δικτύων και των νεφών.

2.5.6 Cooperative Vehicle Infrastructure System (CVIS)

Η απόκτηση πληροφοριών σχετικά με τα οχήματα και την οδική υποδομή βασίζεται σε τεχνολογίες όπως η επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και η αντίληψη αισθητήρων μέσω της ανταλλαγής πληροφοριών σχετικά με τα οχήματα και την οδική υποδομή. Η έννοια IoV είναι ευρύτερη από το CVIS όπου είναι μόνο μία από τις εφαρμογές του. Το CVIS ασχολείται με το κομμάτι των μεταφορών και επικεντρώνεται στην ανταλλαγή πληροφοριών και τη διαλογή ροής κυκλοφορίας μεταξύ οχημάτων και οδικών υποδομών.

Η έννοια του IoV, ωστόσο, ενσωματώνει τις προοπτικές τόσο της αυτοκινητοβιομηχανίας όσο και των μεταφορών. Εκτός από την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ οχημάτων και οδικών υποδομών, το IoV επικεντρώνεται στην ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ οχημάτων για την υποστήριξη της οδικής ασφάλειας, της αποτελεσματικότητας της κυκλοφορίας και της ψυχαγωγίας (Shanzhi Chen, 2023).

2.6 V2X και C-V2X

Τα V2X είναι μια νέα γενιά ICT που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων, των πεζών, των οδικών υποδομών και των πλατφορμών υπολογιστικού νέφους. Οι στόχοι του V2X στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας και των μεταφορών είναι η οδική ασφάλεια, η οδική αποδοτικότητα, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και η σύνδεση με το ADAS. Πριν από την έλευση του C-V2X, η τηλεματική αναφερόταν συγκεκριμένα σε συνδέσεις μεταξύ οχημάτων, διαδικτύου και κέντρων εξυπηρέτησης υποστήριξης που χρησιμοποιούσαν 3G/4G. Το C-V2X μπορεί να υποστηρίξει τόσο την τηλεματική όσο και ανώτερες λειτουργίες V2X.

Το σύστημα V2X μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη: ασύρματες επικοινωνίες και εφαρμογές. Επί του παρόντος, υπάρχουν δύο τεχνολογικά μονοπάτια για ασύρματες επικοινωνίες V2X παγκοσμίως, το IEEE 802.11p υπό την ηγεσία του IEEE και το C-V2X υπό την ηγεσία του 3GPP, ενώ τα πρότυπα επιπέδου εφαρμογής αναπτύσσονται από χώρες και περιοχές σύμφωνα με τις κύριες απαιτήσεις των εφαρμογών.

C-V2X

C-V2X είναι ο νέος όρος που προτάθηκε από την 5GAA (5G Automotive Association) τον Νοέμβριο του 2016 για να ξεχωρίσει την τεχνολογία από το IEEE 802.11p. Η προτυποποίηση του C-V2X από τη 3GPP περιλαμβάνει τα LTE-V2X και NR-V2X. Το C-V2X μπορεί να παρέχει τόσο διεπαφή Uu (για κυψελοειδείς επικοινωνίες μέσω σταθμού βάσης) όσο και διεπαφή PC5 (για άμεσες επικοινωνίες μεταξύ οχημάτων). (SUMO Documentation, n.d.)

LTE-V2X

Μια ομάδα συγγραφέων πρότεινε για πρώτη φορά την έννοια και τις σχετικές τεχνολογίες που επιτρέπουν την υλοποίηση του LTE-V2X με βάση το LTE (4G) και την ενσωματωμένη κυψελωτή παράλληλα με άμεση επικοινωνία, το 2013. Το 3GPP άρχισε να υποστηρίζει την προτυποποίηση του LTE-V2X το 2015.

Το IoV περιλαμβάνει τα Intra-Vehicle Communications, Inter-Vehicle Communications και Vehicle-to-Cloud Communications.

Το εσωτερικό δίκτυο επικοινωνίας του οχήματος (Intra-Vehicle Communications) επιτρέπει την επικοινωνία δεδομένων μεταξύ του εσωτερικού συστήματος ελέγχου του οχήματος και των αντίστοιχων στοιχείων εντοπισμού και εκτέλεσης. Τα τεχνικά πρότυπα ενσύρματου δικτύου της βιομηχανίας περιλαμβάνουν το Controller Area Network (CAN) και το Automotive Ethernet.

Inter-Vehicle Communications (Επικοινωνία μεταξύ οχημάτων γνωστή και ως V2X): Η επικοινωνία V2X έχει αυστηρές απαιτήσεις όσον αφορά την καθυστέρηση και την αξιοπιστία. Τα βασικά τεχνικά πρότυπα περιλαμβάνουν το 3GPP C-V2X και το IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11p.

Επικοινωνία μεταξύ οχήματος και υπολογιστικού νέφους (Vehicle-to-Cloud Communications ή V2C) γνωστή ως mobile internet αναφέρεται στη σύνδεση ενός ενσωματωμένου τερματικού με μια πλατφόρμα νέφους χρησιμοποιώντας ασύρματα επικοινωνία. Υποστηρίζει κυρίως υπηρεσίες ενημέρωσης, ψυχαγωγίας και τηλεματικής (π.χ. προγραμματισμός οχήματος και απομακρυσμένη διάγνωση) και έχει σχετικά χαμηλές απαιτήσεις καθυστέρησης και αξιοπιστίας.

Αφού προτάθηκε το C-V2X (με ενσωμάτωση των κυψελωτών), οι επικοινωνίες οχήματος με νέφος και οι επικοινωνίες μεταξύ οχημάτων μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσω του C-V2X (Shanzhi Chen, 2023).

2.7 Πολιτικές και προτυποποίηση

2.7.1 Διεθνείς πολιτικές

Με την ανάπτυξη των ΤΠΕ, των μεταφορών και της αυτοκινητοβιομηχανίας, τα συστήματα ICV και ITS αποτελούν τη μελλοντική τάση ανάπτυξης. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η βιομηχανία V2X που καθοδηγείται από ICV και ITS έχει γίνει μια σημαντική στρατηγική κατεύθυνση για χώρες και περιοχές όπως οι ΗΠΑ, η Ευρώπη και η Ασία. Διάφορες χώρες και περιφέρειες επιταχύνουν τη διαδικασία εκβιομηχάνισης V2X μέσω ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού, που περιλαμβάνει την ταχύτερη βιομηχανική ανάπτυξη, τα σχέδια ανάπτυξης, τις πολιτικές και κανονισμούς, τα τεχνικά πρότυπα και την κατασκευή χώρων επίδειξης.

Η αμερικανική κυβέρνηση θεωρεί ιδιαίτερα σημαντική την προώθηση της ανάπτυξης των βιομηχανιών Intelligent Transportation Systems (ITS) και Intelligent Connected Vehicles (ICV). Στο παρόν, τα οχήματα που χαρακτηρίζονται ως "Intelligent Connected" καθορίζονται ως κύριες στρατηγικές. Έχουν θεσπιστεί διάφορες πολιτικές και κανονιστικές πρωτοβουλίες για την ενθάρρυνση της δημιουργίας σχετικών βιομηχανικών συστημάτων.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προωθεί ενεργά την ανάπτυξη της τεχνολογίας Vehicle-to-Everything (V2X) στα κράτη μέλη της, με τη δημιουργία μιας συνεργατικής πλατφόρμας Intelligent Transportation Systems (C-ITS platform). Το επενδυτικό και ρυθμιστικό πλαίσιο έχει ενοποιηθεί σε όλη την ΕΕ, ενισχύοντας το σχέδιο ανάπτυξης υπηρεσιών C-ITS από το 2019. Για τον συντονισμό των δραστηριοτήτων ανάπτυξης και δοκιμών, οι χώρες της ΕΕ και οι οργανισμοί διαχείρισης οδικής λειτουργίας έχουν δημιουργήσει την πλατφόρμα C-Roads, προκειμένου να διαμορφώσουν και να κοινοποιήσουν τεχνικές προδιαγραφές, καθώς και να διεξαγάγουν δοκιμές και επαληθεύσεις σχετικά με τη διαλειτουργικότητα.

Στην Ασία, η ιαπωνική κυβέρνηση έχει επενδύσει σημαντικά στην ανάπτυξη των συστημάτων Αυτοματοποιημένης Οδήγησης και V2X. Το 2021, κυκλοφόρησε την πέμπτη έκδοση του εγγράφου «The Report and Plan to Achieve Automated Driving», παρουσιάζοντας τον οδικό χάρτη για αυτή την τεχνολογία και επιδιώκοντας τη συνεργασία για την επίτευξη των στόχων του.

Από την άλλη πλευρά, η Νότια Κορέα έχει αναπτύξει το «Μακροπρόθεσμο Σχέδιο Ανάπτυξης ICV μέχρι το 2040», το οποίο στοχεύει στην εφαρμογή του ITS σε εθνικό επίπεδο, στην προώθηση υψηλού επιπέδου αυτοματοποίησης, και στην αξιοποίηση των πόρων κυκλοφορίας μέσω της σύνδεσης οχημάτων, οδικών υποδομών και πεζών, με στόχο την εξάλειψη των τροχαίων ατυχημάτων.

Η Σιγκαπούρη επίσης έχει αναπτύξει το «Νέο Σχέδιο Πόλης 2022», με σκοπό την εφαρμογή της Αυτοματοποιημένης Οδήγησης σε εθνικό επίπεδο μέχρι το 2022, φιλοδοξώντας να γίνει η πρώτη χώρα που υλοποιεί αυτή την τεχνολογία.

Γενικά, κυβερνήσεις από διάφορες χώρες και περιοχές, όπως οι ΗΠΑ, η Ευρώπη και η Ασία, δίνουν μεγάλη έμφαση στην ανάπτυξη της βιομηχανίας V2X, θεωρώντας την ως κρίσιμο στοιχείο. Μέσω της διαμόρφωσης εθνικών πολιτικών και της προώθησης της βιομηχανικής ανάπτυξης μέσω νομοθεσίας και κανονισμών, η βιομηχανία V2X αναμένεται να αναπτυχθεί ταχύτατα. (Shanzhi Chen, 2023)

2.7.2 Διεθνείς οργανισμοί προτυποποίησης

Με δεδομένες τις αυστηρές απαιτήσεις των εφαρμογών V2X σε θέματα όπως η καθυστέρηση, η αξιοπιστία, η μεταφορά δεδομένων και η συχνότητα των επικοινωνιών, πολλοί διεθνείς και περιφερειακοί φορείς τυποποίησης εργάζονται ενεργά για την καθιέρωση προτύπων σχετικά με το C-V2X. Αυτοί περιλαμβάνουν τον 3GPP, τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU), τον Διεθνή Οργανισμό Προτύπων (ISO), το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Προτύπων Τηλεπικοινωνιών (ETSI) και την Εταιρεία Μηχανικών Αυτοκινήτων (SAE).

Ο 3GPP ασχολείται κυρίως με την έρευνα και ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιών C-V2X, καθώς και με την ανάλυση των σχετικών απαιτήσεων, της αρχιτεκτονικής δικτύου, των μηχανισμών ασφαλείας και άλλων τεχνικών προτύπων.

Η ITU αναλαμβάνει τη διαμόρφωση και τον συντονισμό των εθνικών και περιφερειακών προτύπων για το φάσμα και την ασφάλεια.

Δύο Τεχνικές Επιτροπές του ISO, η Επιτροπή Οδικών Οχημάτων και η Επιτροπή ITS, συνεισφέρουν ενεργά στον συντονισμό της έρευνας και της διαμόρφωσης των σχετικών τεχνικών προτύπων για το ICV.

Το ETSI αναλαμβάνει την ανάπτυξη προτύπων σχετικών με τη συνολική αρχιτεκτονική, τις υπηρεσίες/facilities που προσφέρονται, τη διαχείριση και την ασφάλεια του δικτύου V2X, καθώς και τη διαμόρφωση προτύπων για σενάρια υπηρεσιών και αρχιτεκτονικές δικτύων MEC.

Η SAE έχει δημιουργήσει μια εργασιακή ομάδα για την ανάπτυξη προτύπων σχετικά με το C-V2X.

2.7.2.1 3GPP

Το C-V2X, που προωθείται κυρίως από το 3GPP, είναι ένα εξελιγμένο σύστημα V2X το οποίο επικεντρώνεται στην ολοκλήρωση των τεχνολογιών 4G και 5G. Αυτή η τεχνολογία συνδυάζει τις επικοινωνίες κυψελωτών δικτύων με τις άμεσες επικοινωνίες. Σε σύγκριση με το πρότυπο IEEE 802.11p, το C-V2X υπερτερεί σε τεχνολογική καινοτομία, απόδοση, ωριμότητα του βιομηχανικού οικοσυστήματος και έχει περισσότερη εξέλιξη. Η ανάπτυξη του C-V2X μέσω του 3GPP διαχωρίζεται σε δύο φάσεις: το LTE-V2X και το NR-V2X. Το LTE-V2X καθορίζεται από τις τεχνικές προδιαγραφές 3GPP R14 και R15, με το πρώτο να ολοκληρώνεται τον Μάρτιο του 2017. Ειδικά για τις ανάγκες επικοινωνίας στις βασικές υπηρεσίες οδικής ασφάλειας, προστέθηκε η λειτουργία της διεπαφής πλευρικής σύνδεσης (PC5) που λειτουργεί στη συχνότητα 5,9 GHz, ενώ βελτιστοποιήθηκε και η δημόσια κυψελοειδής επικοινωνία (Uu Interface).

Παράλληλα, η βελτίωση του LTE-V2X με το 3GPP R15 ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 2018, ενσωματώνοντας τεχνολογίες όπως η συνάθροιση φορέων (carrier aggregation) και η διαμόρφωση υψηλότερης τάξης για την ενίσχυση της απόδοσης του συστήματος. Η νέα διεπαφή 5G (NR) του 3GPP R15 εστιάζει κυρίως στη βελτίωση της ευρυζωνικής σύνδεσης για κινητά (eMBB) και δεν έχει σχεδιαστεί ειδικά για τις υπηρεσίες V2X.

Το NR-V2X, που περιλαμβάνεται στις προδιαγραφές 3GPP R16, R17, R18 και τις εξελίξεις τους, επικεντρώνεται στις ανάγκες προηγμένων εφαρμογών V2X όπως η αυτοματοποιημένη οδήγηση και το platooning. Το NR-V2X Study Item (SI) παρουσιάστηκε τον Ιούνιο του 2018 από το 3GPP R16 για τη μελέτη των τεχνολογιών επικοινωνίας V2X βασισμένων στο 5G NR και τη βελτίωση της διεπαφής Uu.

2.7.2.2 IEEE

Το πρότυπο IEEE 802.11p αποτελεί μια δημιουργία του Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) και έχει σχεδιαστεί με την ιδιαίτερη σκοπιμότητα να υποστηρίξει τα ασύρματα δίκτυα οχημάτων (VANETs). Αυτή η κατηγορία δικτύου επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και διαφόρων στοιχείων της υποδομής των δρόμων, όπως φανάρια και συστήματα ελέγχου.

Το βασικότερο ζητούμενο του IEEE 802.11p είναι η παροχή ενός γρήγορου και αξιόπιστου μέσου επικοινωνίας για σύντομες αποστάσεις. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε καταστάσεις όπου απαιτείται η ανταλλαγή σημαντικών πληροφοριών ασφαλείας μεταξύ των οχημάτων, ή η διασύνδεση οχημάτων με διάφορα στοιχεία της υποδομής της κυκλοφορίας. Αυτό το πρότυπο ανήκει στην ευρύτερη κατηγορία των προτύπων IEEE 802.11, τα οποία ασχολούνται με τις ασύρματες επικοινωνίες τύπου LAN (Local Area Network - wifi).

Το 2010 ολοκληρώθηκε η προτυποποίηση της τεχνολογίας IEEE 802.11p που υποστηρίζει την άμεση επικοινωνία των V2V και V2I στη ζώνη συχνοτήτων ITS 5,9 GHz.

2.7.2.3 ITU

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) αποτελεί μια εξειδικευμένη υπηρεσία του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) που ασχολείται με τεχνολογίες πληροφορίας και επικοινωνιών. Ιδρύθηκε στις 17

Μαΐου 1865, και σήμερα έχει 193 κρατικά μέλη και πάνω από 700 εταιρικά μέλη. Η δομή της ITU περιλαμβάνει τη διάσκεψη πλήρους σύνθεσης (συνέλευση μελών), το Συμβούλιο, τη Γενική Γραμματεία, το τμήμα Ραδιοεπικοινωνιών (ITU-R), το Τμήμα Τυποποίησης Τηλεπικοινωνιών (ITU-T) και το Τμήμα Ανάπτυξης Τηλεπικοινωνιών (ITU-D). Τόσο το ITU-R όσο και το ITU-T εμπλέκονται σε έρευνες σχετικές με την τεχνολογία V2X. Το ITU-R έχει έναν κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση του ραδιοφάσματος και των δορυφορικών τροχιών. Η ρύθμιση των κανόνων ραδιοεπικοινωνίας και η ενημέρωση των σχετικών νομικών εγγράφων μέσω διεθνών και περιφερειακών διασκέψεων είναι απαραίτητη για την απρόσκοπτη λειτουργία του ραδιοεπικοινωνιακού συστήματος. Επιπλέον, η ITU εξελίσσει προτάσεις για τη βελτίωση της απόδοσης και της ποιότητας των ραδιοεπικοινωνιών μέσω προτυποποίησης. Το ITU-R έχει μελετήσει εκτενώς τα σενάρια εφαρμογής του ITS, τα τεχνικά πρότυπα και τη χρήση συχνοτήτων σε διάφορες χώρες.

2.7.2.4 ISO

Ο Διεθνής Οργανισμός Προτύπων (ISO) αποτελεί έναν ανεξάρτητο διεθνή οργανισμό μη κυβερνητικού χαρακτήρα, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την καθιέρωση διεθνών προτύπων σε διάφορους τομείς. Στο πλαίσιο του ISO, υπάρχουν δύο βασικές τεχνικές επιτροπές που ασχολούνται με τα πρότυπα V2X: η Τεχνική Επιτροπή για Οδικά Οχήματα (TC 22) και η Τεχνική Επιτροπή για Συστήματα Έξυπνης Μεταφοράς (ITS, TC 204). Η TC 22 επικεντρώνεται κυρίως στα πρωτόκολλα επικοινωνίας για οχήματα, στη μεθοδολογία για τα συνδεδεμένα οχήματα, τα δίκτυα και τις επικοινωνίες μεταξύ των οχημάτων. Από την άλλη πλευρά, η TC 204 ασχολείται κυρίως με τα πρωτόκολλα επικοινωνιών, τις συνδεδεμένες οδικές υποδομές, την έξυπνη διαχείριση κυκλοφορίας και άλλα σχετικά πρότυπα.

2.7.2.5 ETSI

Η Τεχνική Επιτροπή ITS του ETSI (ETSI TC ITS) είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη προτύπων σχετικά με την αρχιτεκτονική, τη διαχείριση και την ασφάλεια των δικτύων επικοινωνιών V2X. Η επιτροπή ανέπτυξε πρωτόκολλα για το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο πρόσβασης του DSRC, τα οποία αποτελούν τα πρότυπα επικοινωνιών ITS-G5. Για να διευκολυνθεί η επικοινωνία C-V2X, το ETSI επιτάχυνε τη διαδικασία προτυποποίησης του C-V2X, ολοκληρώνοντας τις κύριες απαιτούμενες εργασίες. Το ETSI καθόρισε το επίπεδο πρόσβασης, το επίπεδο δικτύου και μεταφοράς και τα πρωτόκολλα επιπέδου εφαρμογής του C-V2X, διαθέτοντας την στοίβα πρωτοκόλλων.

Τον Ιανουάριο του 2020, το ETSI δημοσίευσε το πρότυπο EN 303 613, αναγνωρίζοντας το C-V2X ως τεχνολογία επιπέδου πρόσβασης του ITS. Επίσης, το ETSI έχει υλοποιήσει πολλές εργασίες τυποποίησης για τις ανάγκες υπολογισμού και επεξεργασίας του V2X, καθώς και για τη διαλειτουργικότητα ανάμεσα στις πλατφόρμες, εστιάζοντας στα σενάρια υπηρεσιών και την αρχιτεκτονική δικτύου της τεχνολογίας Mobile Edge Computing - MEC. Το 2017, το ETSI ενέκρινε έργα όπως τις προδιαγραφές API για την κινητικότητα εφαρμογών και την υποστήριξη MEC για V2X. Το 2018, ξεκίνησε το έργο για τις προδιαγραφές API V2X, ασχολούμενο με την υλοποίηση του MEC API που υποστηρίζει το V2X.

Επιπλέον, για την ενίσχυση της ασφάλειας, το ETSI TC ITS ανέπτυξε σχετικές τεχνικές προδιαγραφές που περιλαμβάνουν αρχιτεκτονική ασφάλειας, υπηρεσίες ασφαλείας, διαχείριση ασφαλείας και προστασία απορρήτου.

2.7.2.6 SAE

Προκειμένου να προωθηθεί η πρόοδος των προτύπων που σχετίζονται με το C-V2X και η εκβιομηχάνιση στις ΗΠΑ, η SAE (Society of Automotive Engineers) δημιούργησε την Τεχνική Επιτροπή C-V2X το 2017 για να διαμορφώσει το πρότυπο τεχνικών απαιτήσεων των εποχούμενων επικοινωνιών V2V (SAE J3161/1) για το C-V2X παρόμοια με J2945/1 για DSRC (IEEE 802.11p).

Η SAE International, μέσω της τεχνικής επιτροπής ασφάλειας των ηλεκτρονικών συστημάτων των αυτοκινήτων, έχει αναλάβει τον ρόλο της προτυποποίησης της ασφάλειας των δικτύων ηλεκτρονικών συστημάτων στα αυτοκίνητα. Η επιτροπή αυτή δημιούργησε το έγγραφο καθοδήγησης J3061, το οποίο αποτελεί έναν οδηγό για την κυβερνοασφάλεια των συστημάτων των οχημάτων στον κυβερνοχώρο. Το J3061 καθορίζει ένα πλαίσιο για μια εκτεταμένη διαδικασία κύκλου ζωής, εξασφαλίζοντας ότι η ασφάλεια του δικτύου ενσωματώνεται σε όλα τα στάδια, από την αρχική ιδέα μέχρι την παραγωγή, λειτουργία, συντήρηση και τελική απόσυρση του οχήματος. Επιπροσθέτως, διαμορφώνει τις θεμελιώδεις αρχές για την ασφάλεια δικτύου στα συστήματα των οχημάτων και παρέχει ένα ουσιαστικό θεμέλιο για τη μελλοντική τυποποίηση της ασφάλειας V2X (Shanzhi Chen, 2023).

2.8 IEEE 802.11p Technology

2.8.1 IEEE802.11pTechnology

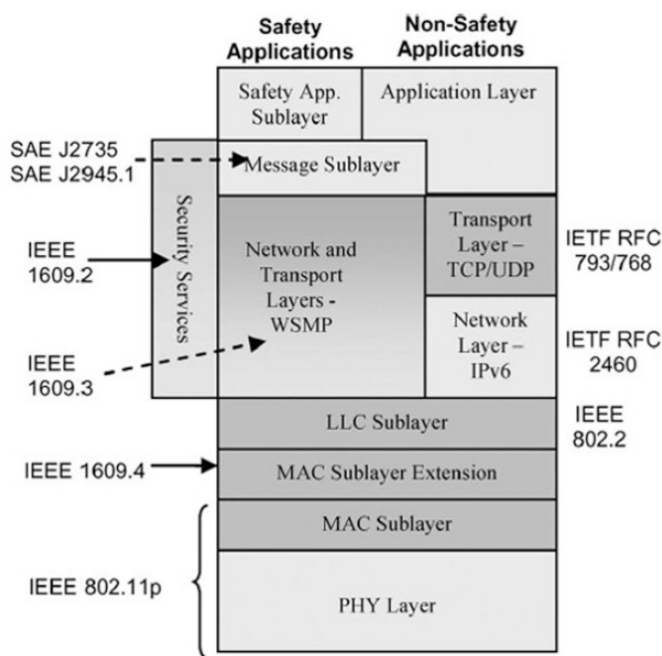
Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE): Η ασύρματη πρόσβαση στο περιβάλλον των οχημάτων περιλαμβάνει το physical layer (φυσικό επίπεδο) και το επίπεδο MAC των προτύπων IEEE 802.11p και IEEE 1609 που έχουν διαμορφωθεί από την IEEE για την υποστήριξη του επιπέδου εφαρμογών και των ελάχιστων απαιτήσεων των προτύπων του SAE. Το WAVE αποτελείται από μια σειρά προτύπων, όπως οι τηλεπικοινωνίες, το δίκτυο, η αρχιτεκτονική, η διαχείριση και η ασφάλεια. Το πρότυπο IEEE 1609.2 αφορά την ασφάλεια, το IEEE 1609.3 υποστηρίζει τις υπηρεσίες δικτύου, συμπεριλαμβανομένου του Πρωτοκόλλου Μηνυμάτων Μικρού Μήκους WAVE (WSMP), και το IEEE 1609.4 χρησιμοποιείται για τη λειτουργία πολλαπλών καναλιών.

Dedicated Short Range Communications (DSRC): Από τεχνική άποψη, το DSRC αναφέρεται στην τεχνολογία επικοινωνιών μικρής εμβέλειας. Στις ΗΠΑ, το DSRC αναφέρεται συγκεκριμένα στην τεχνολογία που σχετίζεται με το WAVE, η οποία βασίζεται στη σειρά προτύπων IEEE 802.11p και IEEE 1609. Μικρή εμβέλεια σημαίνει ότι σε σύγκριση με τις επικοινωνίες κινητής τηλεφωνίας ή το Wi-Fi, η εμβέλεια των επικοινωνιών είναι μικρότερη, συνήθως μόνο περίπου εκατοντάδες μέτρα. Εκτός των ΗΠΑ, το DSRC μπορεί επίσης να αναφέρεται σε τεχνολογίες ασύρματων επικοινωνιών στα 5,8 GHz, όπως επικοινωνίες μικρής εμβέλειας που σχετίζονται με το ETC (Electronic Toll Collection). Επομένως, το

DSRC περιλαμβάνει δύο τύπους: DSRC για ETC και DSRC με βάση το IEEE 802.11p που είναι διαφορετικές τεχνολογίες.

IEEE 802.11p: Είναι μια τεχνολογία επιπέδου ασύρματης πρόσβασης και προτύπων επικοινωνιών V2X που βασίζονται στη τροποποίηση του IEEE 802.11, περιλαμβάνοντας κυρίως το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο MAC.

ETC: Η είσπραξη διοδίων μπορεί να υποβληθεί αυτόματα σε επεξεργασία στην αποκλειστική λωρίδα χρησιμοποιώντας ασύρματες επικοινωνίες. Όταν το όχημα διέρχεται από την πύλη διοδίων, η OBU του ETC ανταλλάσσει πληροφορίες μέσω των ασύρματων επικοινωνιών με την κεραία που είναι εγκατεστημένη στο RSU του ETC ή στο σκελετό της και αφαιρεί αυτόματα το πλήθος των διοδίων από τον λογαριασμό του χρήστη. Οι ασύρματες επικοινωνίες μικρής εμβέλειας μεταξύ του ETC OBU και του ETC RSU στο σύστημα ETC ονομάζονται DSRC, αλλά, σε αντίθεση με το IEEE 802.11p, είναι οι ενεργές επικοινωνίες RFID με χαμηλή ταχύτητα και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (Shanzhi Chen, 2023).



Εικόνα 9 DSRC protocol (Shanzhi Chen, 2023)

Στην Εικόνα 9 έχουμε το πρωτόκολλο DSRC. Το πρωτόκολλο IEEE 802.11p ορίζει το φυσικό επίπεδο (PHY Layer), το επίπεδο πρόσβασης πολυμέσων (MAC), και η σειρά προτύπων IEEE 1609 ορίζει τη λειτουργία πολλαπλών καναλιών, τις υπηρεσίες δικτύου και την ασφάλεια κάθε οντότητας επικοινωνιών.

Επειδή η σειρά προτύπων IEEE 802.11 υποστηρίζει μόνο σενάρια κίνησης χαμηλής ταχύτητας, προκειμένου να υποστηριχθούν τα σενάρια κίνησης υψηλής ταχύτητας των επικοινωνιών V2X, το πρότυπο IEEE 802.11p έχει βελτιωθεί τεχνικά με βάση τη σειρά προτύπων IEEE 802.11 και κυκλοφορεί μαζί με τα πρότυπα IEEE 802.11 στην τροποποίηση για την ικανοποίηση του σχεδιασμού φάσματος καναλιών της FCC.

Το Basic Service Set (BSS) που ορίζεται στο IEEE 802.11 ισχύει για σενάρια με Access Point (AP). Στα σενάρια κίνησης υψηλής ταχύτητας, οι επικοινωνίες V2X μέσω πρόσβασης σε AP μπορεί να οδηγήσουν σε σύντομη διάρκεια επικοινωνίας και ασταθείς επικοινωνίες. Επομένως, το Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) προτείνεται στο επίπεδο MAC του IEEE 802.11p για την υποστήριξη διαφοροποιημένων απαιτήσεων QoS και υιοθετεί λειτουργία επικοινωνίας εκτός του πλαισίου μιας ενός BSS (OCB) για να μειώσει τον λανθάνοντα χρόνο δημιουργίας σύνδεσης επικοινωνιών. Το IEEE 1609.4 ορίζει το υποστρώμα επέκτασης MAC στο επίπεδο MAC για υποστήριξη πολλαπλών καναλιών.

Το πρωτόκολλο IEEE 802.2 τροποποιείται ελάχιστα στο επίπεδο Logical Link Control (LLC) και η μορφή πλαισίου είναι ακριβώς η ίδια που μπορεί να υποδεικνύει διαφορετικούς τύπους μετάδοσης στο ανώτερο επίπεδο.

Σύμφωνα με τους τύπους εφαρμογών (εφαρμογές ασφαλείας και μη), το επίπεδο δικτύου και το επίπεδο μετάδοσης παρέχουν δύο τρόπους μετάδοσης (IP και μη IP). Το IEEE 1609.3 ορίζει το Wave Short Message (WSM) και το αντίστοιχο πρωτόκολλο WAVE Short Message Protocol (WSMP) για την υποστήριξη του επιπέδου δικτύου και του επιπέδου μεταφοράς των εφαρμογών ασφαλείας DSRC χωρίς τη χρήση μεταδόσεων που βασίζονται σε IP. Το IEEE 1609.3 ορίζει επίσης ένα μήνυμα WAVE Service Advertisement (WSA) για να ειδοποιεί τη διαθεσιμότητα των μηνυμάτων DSRC σε μια δεδομένη τοποθεσία. Οι μη ασφαλείς εφαρμογές μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν WSMP, αλλά μεταδίδονται κυρίως μέσω της παλαιού τύπου στοίβα πρωτοκόλλου TCP/UDP και IP. Το WSMP έχει μια μικρή επιβάρυνση της κεφαλίδας πρωτοκόλλου που χρησιμοποιείται συνήθως για μηνύματα αποφυγής συγκρούσεων single-hop. Και τα μηνύματα multi-hop μπορούν να χρησιμοποιούν δρομολόγηση με IPv6.

Στην κορυφή του επιπέδου εφαρμογής, το SAE J2735 υποστηρίζει εφαρμογές οδικής ασφάλειας ορίζοντας μια ποικιλία μορφών δεδομένων και στοιχείων δεδομένων για τη διευκόλυνση της διαλειτουργικότητας μεταξύ των μηνυμάτων παρέχοντας ευελιξία μηνυμάτων που ανταλλάσσουν πληροφορίες κατάστασης. Το SAE J2945/1 ορίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις απόδοσης, συμπεριλαμβανομένου του ρυθμού μετάδοσης, της ισχύος μετάδοσης και της ακρίβειας των πληροφοριών των μηνυμάτων BSM και του μηχανισμού ελέγχου συμφόρησης.

Η αντίστοιχη σειρά ευρωπαϊκών προτύπων DSRC έχει διαμορφωθεί ως η σειρά προτύπων ETSI ITS-G5. Οι κύριες διαφορές από τα αμερικανικά πρότυπα DSRC είναι ότι η σειρά προτύπων ETSI ITS-G5 υποστηρίζει το GeoNetworking και το Basic Transfer Protocol (BTP). Το BTP μπορεί να παρέχει χωρίς σύνδεση, αναξιόπιστη μετάδοση πακέτων δεδομένων από άκρο σε άκρο με δρομολόγηση πολλαπλών βημάτων (Shanzhi Chen, 2023).

2.8.1.1 Βελτιώσεις του PHY Layer

Επειδή το IEEE 802.11a εφαρμόζεται κυρίως σε στατικό περιβάλλον εσωτερικών χώρων, το IEEE 802.11p βελτιστοποιεί και προσαρμόζει τις συγκεκριμένες παραμέτρους του φυσικού επιπέδου του 802.11a. Προκειμένου να αξιοποιηθεί πλήρως η υπάρχουσα εκβιομηχάνιση των chipset IEEE 802.11 και να μειωθεί το κόστος ανάπτυξης και παραγωγής των chipset IEEE 802.11p, τα πρότυπα IEEE 802.11p ελαχιστοποιούν τις τροποποιήσεις του προτύπου IEEE 802.11a.

Το φυσικό επίπεδο του IEEE 802.11p χωρίζεται σε δύο υποστρώματα: Physical Medium Dependent (PMD) και Physical Layer Convergence Procedure (PLCP). Το υπόστρωμα PMD χρησιμοποιεί Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) παρόμοια με το IEEE 802.11a για τη διεπαφή ασύρματης μετάδοσης και το υπόστρωμα PLCP ορίζει τη λειτουργία χαρτογράφησης του πλαισίου MAC, της βασικής μονάδας δεδομένων φυσικού επιπέδου και του συμβόλου OFDM.

Specifications	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p	Change
Data rate (Mbit s ⁻¹)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, 27	Half
Modulation	BIT/SK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BIT/SK, QPSK, 16QAM, 64QAM	No change
Coding rate	1/2, 1/3, 1/4	1/2, 1/3, 1/4	No change
Number of subcarriers	52	52	No change
OFDM symbol duration (μs)	4	8	Double
Guard time (μs)	0.8	1.6	Double
Preamble duration (μs)	16	32	Double
FFT period (μs)	3.2	6.4	Double
Subcarrier spacing (kHz)	312.5	156.25	Half
Bandwidth (MHz)	20	10	Half
Band	5 GHz ISM	5.850–5.925 GHz	Unlicensed spectrum to dedicated spectrum

Εικόνα 10 Σύγκριση των παραμέτρων φυσικού επιπέδου IEEE 802.11a και IEEE 802.11p (Shanzhi Chen, 2023)

Αν και το IEEE 802.11p χρησιμοποιεί την ίδια τεχνολογία OFDM με το IEEE 802.11a, οι συγκεκριμένες παράμετροι επεκτείνονται κυρίως από τον τομέα του χρόνου με την απαραίτητη βελτιστοποίηση και προσαρμογή, όπως η αλλαγή του διαστήματος προστασίας/φύλαξης του IEEE 802.11p από 0,8 μs του IEEE 802.11a σε αυξημένη 1,6 μs. Το IEEE 802.11p μπορεί να χειριστεί μεγαλύτερη εξάπλωση καθυστέρησης καναλιού και να υποστηρίξει υψηλότερη ταχύτητα. Ωστόσο, λόγω της αύξησης του διαστήματος φύλαξης στο πεδίο του χρόνου, η απόσταση των υποφορέων του IEEE 802.11p μειώνεται στο μισό από 312.5 kHz του IEEE 802.11a σε 156.25 kHz και το IEEE 802.11p είναι πιο ευαίσθητο στη μετατόπιση συχνότητας από το IEEE 802.11a. Οι συγκρίσεις των βασικών παραμέτρων φυσικού επιπέδου μεταξύ IEEE 802.11a και IEEE 802.11p συνοψίζονται στην Εικόνα 10 (Shanzhi Chen, 2023).

2.8.1.2 Βελτιώσεις του MAC Sublayer

Το επίπεδο MAC χρειάζεται να παρέχει αποτελεσματική και δίκαιη πρόσβαση για διαφορετικούς κόμβους που μοιράζονται τους ραδιοπόρους. Οι συνδέσεις σε σενάρια υψηλής ταχύτητας κίνησης των επικοινωνιών

V2X βασισμένων στο IEEE 802.11 WLAN μπορούν να ενοποιηθούν με τις βελτιώσεις του IEEE 802.11p στο επίπεδο MAC για την υποστήριξη των εφαρμογών οδικής ασφάλειας.

Για να μειωθεί η πιθανότητα συγκρούσεων και να παρέχεται δίκαιη πρόσβαση στα κοινά κανάλια, ο μηχανισμός τυχαίας προσπέλασης Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance - CSMA/CA υιοθετείται στο IEEE 802.11p. Η ανίχνευση ενέργειας και η ανίχνευση σήματος χρησιμοποιούνται στον μηχανισμό CSMA/CA. Βάσει της σύγκρισης της ισχύος λήψης και του καθορισμένου ορίου ισχύος, οι καταστάσεις απασχόλησης και αδράνειας του καναλιού μπορούν να διακριθούν για την ανίχνευση ενέργειας χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά του σήματος. Εν τω μεταξύ, οι καταστάσεις απασχόλησης και αδράνειας του καναλιού μπορούν επίσης να διακριθούν με την ανίχνευση του προοιμίου συμβόλου στο πακέτο 802.11p.

2.8.1.3 Η πρόοδος και η εξέλιξη των προτύπων IEEE 802.11p

Το 1999, η FCC των Η.Π.Α. καταχώρησε φάσμα 75 MHz στα 5,850-5,925 GHz για επικοινωνίες μικρής εμβέλειας για τις υπηρεσίες μεταφορών. Το 2002, η Αμερικανική Εταιρεία Δοκιμών και Υλικών (ASTM) κυκλοφόρησε το πρότυπο DSRC E2213-02. Βασισμένες στο πρότυπο E2213-03, οι ομάδες εργασίας IEEE 802.11p και IEEE 1609 άρχισαν να διαμορφώνουν πρότυπα ασύρματων επικοινωνιών για επικοινωνίες V2X. Το 2006, το IEEE δημοσίευσε τη σειρά προτύπων IEEE 1609.1-1609.4. Τον Ιούλιο του 2010, το πρότυπο IEEE 802.11p κυκλοφόρησε επίσημα αποτελούμενο από τα πρότυπα του φυσικού επιπέδου και του επιπέδου MAC του DSRC. Το πρότυπο IEEE 802.11p είναι η επέκταση του προτύπου IEEE 802.11 για την υποστήριξη σχετικών εφαρμογών ITS. Ωστόσο, επειδή το IEEE 802.11p έχει κακή επεκτασιμότητα και είναι ακατάλληλο για την αντιμετώπιση των προκλήσεων των σεναρίων υψηλής ταχύτητας κίνησης των επικοινωνιών V2X, υπάρχουν προφανείς διαφορές στην απόδοση και την πρόοδο της προτυποποίησης σε σύγκριση με το C-V2X.

Τον Δεκέμβριο του 2018, το IEEE 802.11bd (εξελιγμένη έκδοση του IEEE 802.11p) άρχισε να προτυποποιείται με προγραμματισμένη ολοκλήρωση τον Σεπτέμβριο του 2021 (λόγω covid οι πρώτες εκδόσεις έγιναν το 2023). Προς το παρόν, τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά της έρευνας τυποποίησης επικεντρώνονται στον ενισχυμένο σχεδιασμό του φυσικού επιπέδου και του επιπέδου MAC.

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του φυσικού επιπέδου του IEEE 802.11bd επαναχρησιμοποιούν όσο το δυνατόν περισσότερο το φυσικό επίπεδο του IEEE 802.11ac. Τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά ερευνώνται και αναπτύσσονται: εύρος ζώνης καναλιού 10 MHz και 20 MHz, κωδικοποίηση καναλιού με χαμηλής πυκνότητας έλεγχο ισοτιμίας (Low Density Parity Check - LDPC), διαμόρφωση διπλού φορέα (Dual Carrier Modulation - DCM), μηχανισμός ακολουθίας εκπαίδευσης (Midamble), και τάξη διαμόρφωσης 256QAM, κ.λπ. Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του επιπέδου MAC περιλαμβάνουν την υποστήριξη του νέου σχεδιασμού του φυσικού επιπέδου, την υποστήριξη συμβατότητας, τη συνύπαρξη με το IEEE 802.11p, τη βελτίωση της απόδοσης πρόσβασης καναλιού, και την υποστήριξη της διεπαφής των πρωτοκόλλων ανώτερου επιπέδου.

2.9 C-V2X

2.9.1 Οι ευκαιρίες τα κίνητρα και οι προκλήσεις του C-V2X

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας C-V2X προέκυψε από τις ανάγκες των επικοινωνιών V2X. Το πρότυπο επικοινωνιών IEEE 802.11p, το οποίο δημιουργήθηκε με την καθοδήγηση της IEEE, έχει ερευνηθεί, αναπτυχθεί, δοκιμαστεί και επαληθευτεί στις ΗΠΑ και την Ευρώπη για πάνω από δέκα χρόνια. Παρ' όλα αυτά, η εμπορική του υλοποίηση δεν ήταν ιδανική λόγω της χαμηλής απόδοσης των επικοινωνιών και του υψηλού κόστους ανάπτυξης.

Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έχουν χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη υπηρεσιών πληροφόρησης και ψυχαγωγίας, προσφέροντας πλεονεκτήματα όπως ευρεία κάλυψη, μεγάλη χωρητικότητα, υψηλή αξιοπιστία και υποστήριξη βιομηχανικών εφαρμογών. Ωστόσο, για να καλυφθούν οι διάφορες ανάγκες επικοινωνίας των οχημάτων, των οδικών υποδομών και των πεζών, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κινητών επικοινωνιών δεν είναι κατάλληλα για τις απαιτήσεις των οχημάτων σε υψηλές ταχύτητες, τις περίπλοκες συνθήκες παρεμβολών, τις συχνές και περιοδικές μεταδόσεις δεδομένων για την οδική ασφάλεια. Οι κινητές επικοινωνίες είναι σχεδιασμένες για ανθρώπους, για μετακινήσεις σε χαμηλές και μεσαίες ταχύτητες και για επικοινωνίες unicast και σημείο προς σημείο. Δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τις αυστηρές απαιτήσεις των επικοινωνιών V2X. Τα σημαντικά προβλήματα και οι προκλήσεις δεν μπορούν να επιλυθούν μόνο από τις κινητές επικοινωνίες, καθώς απαιτούν επικοινωνίες χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας σε περιβάλλοντα υψηλής πυκνότητας κόμβων, με πολλαπλές ταυτόχρονες μεταδόσεις και λήψεις (Shanzhi Chen, 2023).

Κεφάλαιο 3

Veins

Ένα Ανοιχτό Λογισμικό Πλαίσιο για Προσομοιώσεις Οχημάτων

Το Veins είναι ένα ανοιχτού κώδικα πλαίσιο ειδικά σχεδιασμένο για την εκτέλεση προσομοιώσεων δικτύων οχημάτων. Ενσωματώνει δύο προγράμματα: το OMNeT++, έναν προσομοιωτή δικτύων βασισμένο σε γεγονότα (event-based), και το SUMO, έναν προσομοιωτή κυκλοφορίας οδών. Συνδυάζοντας αυτά τα εργαλεία, το Veins προσφέρει μια σειρά μοντέλων προσαρμοσμένων για προσομοιώσεις επικοινωνίας μεταξύ οχημάτων (IVC).

3.1 Δυνατότητες του Veins

Η πλατφόρμα Veins περιλαμβάνει ένα πλήρες σύνολο μοντέλων που ενισχύουν την ρεαλιστικότητα των προσομοιώσεων δικτύων οχημάτων, διατηρώντας ταυτόχρονα υψηλή απόδοση. Οι χρήστες μπορούν να εκμεταλλευτούν το γραφικό (GUI) και το ενσωματωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) του OMNeT++ και του SUMO για την εύκολη ρύθμιση και αλληλεπίδραση με τις προσομοιώσεις τους.

Για παράδειγμα, σε ένα σενάριο επίδειξης, τα μπλε αυτοκίνητα εμφανίζονται να κινούνται προς τα δυτικά όταν συμβαίνει ένα ατύχημα σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Ένα απλό πρωτόκολλο ενημερώνει τους οδηγούς για μπουτιλιαρίσματα, δίνοντας την δυνατότητα επαναδρομολόγησης γύρω από το σημείο του ατυχήματος (Veins Vehicles In Network Simulation, n.d.).

3.2 Χαρακτηριστικά

Το Veins είναι κατασκευασμένο εξ ολοκλήρου με ανοιχτό λογισμικό, επιτρέποντας την απεριόριστη επεκτασιμότητα και προσαρμογή. Το πλαίσιο υποστηρίζει την διαδικτυακή αναδιαμόρφωση και επαναδρομολόγηση των οχημάτων με βάση τις πληροφορίες πακέτων δικτύου, επιτρέποντας προσαρμογές σε πραγματικό χρόνο. Χρησιμοποιεί αξιόπιστα μοντέλα κινητικότητας οχημάτων και υλοποιήσεις τόσο για οχήματα που οδηγούνται από ανθρώπους όσο και για αυτόνομα οχήματα, που έχουν αναπτυχθεί από την κοινότητα Επιστημών Μεταφορών και Κυκλοφορίας. Περιλαμβάνει λεπτομερή μοντέλα των επιπέδων δικτύου IEEE 802.11p και IEEE 1609.4 DSRC/WAVE, καλύπτοντας τη λειτουργία πολλαπλών καναλιών, την πρόσβαση στο κανάλι με βάση την ποιότητα υπηρεσίας (QoS) και τις επιπτώσεις του θορύβου και της παρεμβολής.

Ακόμα, επιτρέπει στους χρήστες να εισάγουν ολόκληρα σενάρια από το OpenStreetMap, συμπεριλαμβανομένων λεπτομερών στοιχείων όπως κτίρια, όρια ταχύτητας, αριθμός λωρίδων, φανάρια και περιορισμοί στροφών. Χρησιμοποιεί υπολογιστικά αποδοτικά μοντέλα για την προσομοίωση των

επιπτώσεων σκίασης που προκαλούνται από κτίρια και οχήματα, ενισχύοντας την ρεαλιστικότητα των προσομοιώσεων.

Το πλαίσιο παρέχει πηγές δεδομένων για ένα ευρύ φάσμα μετρικών, συμπεριλαμβανομένων του χρόνου ταξιδιού και των εκπομπών, επιτρέποντας μια συνολική ανάλυση. Το Veins υποστηρίζεται από μια ισχυρή και ποικιλόμορφη βάση χρηστών σε πέντε ηπείρους, εξασφαλίζοντας μια ποικιλία περιπτώσεων χρήσης και ευκαιριών συνεργασίας.

3.3 Πώς Λειτουργεί το Veins;

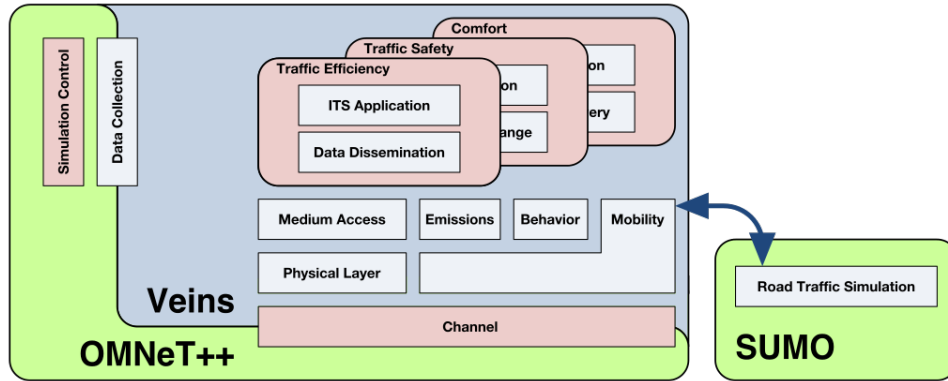
Το Veins συνιστά ένα πλαίσιο προσομοιώσεων, που σημαίνει ότι προορίζεται να χρησιμεύσει ως η βάση για την ανάπτυξη κώδικα προσομοιώσεων που είναι ειδικός για κάθε εφαρμογή. Παρ' μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς τροποποιήσεις, με μόνο λίγες παραμέτρους προσαρμοσμένες για μια συγκεκριμένη χρήση. Συνήθως, αυτός ο κώδικας είναι μια εφαρμογή που πρέπει να αξιολογηθεί μέσω προσομοίωσης. Το πλαίσιο αναλαμβάνει τα υπόλοιπα: τη μοντελοποίηση της κινητικότητας των κόμβων, τη ρύθμιση της προσομοίωσης, την εξασφάλιση της ορθής εκτέλεσης της και τη συλλογή των αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια και μετά την προσομοίωση.

Το Veins περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία μοντέλων προσομοιώσεων που είναι εφαρμόσιμα για την προσομοίωση δικτύων οχημάτων γενικά. Δεν απαιτούνται όλα τα μοντέλα για κάθε προσομοίωση - στην πραγματικότητα, για μερικά από αυτά έχει νόημα να υλοποιούνται μόνο τους ανά προσομοίωση. Ωστόσο, ένας ερευνητής που εκτελεί μια προσομοίωση αναμένεται να γνωρίζει ποια από τα διαθέσιμα μοντέλα να χρησιμοποιήσει για κάθε εργασία. Για παράδειγμα, δεν είναι σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο απώλειας διαδρομής σχεδιασμένο για πόλεις για την προσομοίωση ενός αυτοκινητόδρομου.

Ως ανοιχτού κώδικα πλαίσιο προσομοιώσεων, το Veins και όλα τα μοντέλα προσομοιώσεων του είναι ελεύθερα διαθέσιμα για λήψη, μελέτη και χρήση. Τίποτα σχετικά με τη λειτουργία του δεν είναι (ή χρειάζεται να είναι) κρυφό. Οποιαδήποτε προσομοίωση πραγματοποιείται με το Veins μπορεί να κοινοποιηθεί σε ενδιαφερόμενους ερευνητές - όχι μόνο τα αποτελέσματα, αλλά και η πλήρης αλυσίδα εργαλείων που απαιτείται για την αναπαραγωγή των ίδιων αποτελεσμάτων, την επαλήθευση του τρόπου με τον οποίο προήλθαν και την ανάπτυξη της έρευνας που πραγματοποιήθηκε.

3.3.1 Αρχιτεκτονική και Διαλειτουργικότητα

Το Veins συνδυάζει την πλατφόρμα OMNeT++, η οποία είναι υπεύθυνη για την προσομοίωση δικτύων, με το SUMO, που διαχειρίζεται την κυκλοφορία των οχημάτων. Η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των δύο συστημάτων επιτρέπει τη σύνθεση τους σε ένα ενιαίο προσομοιωτικό περιβάλλον. Το OMNeT++ αναλαμβάνει την προσομοίωση των διαδικασιών επικοινωνίας μεταξύ των οχημάτων, χρησιμοποιώντας μοντέλα δικτύων και πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως το IEEE 802.11p και το IEEE 1609.4 DSRC/WAVE. Το SUMO ελέγχει την κίνηση και τη διαχείριση της κυκλοφορίας των οχημάτων.



Εικόνα 11 Αλληλεπίδραση OMNeT++ και SUMO (Veins Vehicles In Network Simulation, n.d.)

3.3.2 Προσομοίωση Δικτύων και Κυκλοφορίας

Η διαδικασία προσομοίωσης στο Veins αρχίζει με την προετοιμασία των εισόδων και των παραμέτρων προσομοίωσης. Οι χρήστες δημιουργούν σενάρια που περιλαμβάνουν λεπτομέρειες για την κυκλοφορία, τη γεωμετρία των δρόμων και τις ρυθμίσεις των δικτύων.

3.3.3 Ενοποίηση και Ρύθμιση Σενάρων

Η ενοποίηση των δύο προσομοιωτών επιτρέπει την παρακολούθηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ της κυκλοφορίας και της επικοινωνίας των οχημάτων. Το Veins προσφέρει εργαλεία για την παρακολούθηση των προσομοιώσεων σε πραγματικό χρόνο και για την προσαρμογή των παραμέτρων. Οι χρήστες μπορούν να ρυθμίσουν τις παραμέτρους, να προσθέσουν νέα σενάρια και να αναλύσουν τα αποτελέσματα.

3.3.4 Εφαρμογές και Ανάλυση

Το Veins επιτρέπει την προσομοίωση πολύπλοκων σεναρίων, όπως ατυχήματα και δυναμικές αναδρομολογήσεις, και την ανάλυση της απόδοσης των πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση των αλγορίθμων επικοινωνίας, τη βελτιστοποίηση της κυκλοφορίας και την ανάπτυξη νέων στρατηγικών για τη διαχείριση των υποδομών.

Όπως αναφέραμε, το Veins λειτουργεί συνδυάζοντας δύο προσομοιωτές που τρέχουν ταυτόχρονα: το OMNeT++ για την προσομοίωση δικτύων και το SUMO για την προσομοίωση κυκλοφορίας δρόμων. Οι δύο αυτοί προσομοιωτές συνδέονται μέσω μιας σύνδεσης TCP, και η επικοινωνία τους γίνεται μέσω διεπαφής με χρήση του καθιερωμένου πρωτοκόλλου που ονομάζεται Traffic Control Interface (TraCI). Αυτό επιτρέπει την αμφίδρομη αλληλεπίδραση μεταξύ της κυκλοφορίας δρόμων και των δικτύων.

Για παράδειγμα, οι κινήσεις των οχημάτων στο SUMO εμφανίζονται ως κινήσεις κόμβων στο OMNeT++. Αυτό σημαίνει ότι οι κόμβοι μπορούν να αλληλεπιδρούν με την προσομοίωση της κυκλοφορίας δρόμων έτσι ώστε να μελετηθεί πώς η επικοινωνία μεταξύ οχημάτων επηρεάζει την κυκλοφορία και αντίστροφα.

Τα μοντέλα προσομοιώσεων του Veins αντιπροσωπεύουν την πιο σύγχρονη τεχνολογία στην έρευνα προσομοιώσεων δικτύων οχημάτων. Πολλές έρευνες βασίζονται πλήρως ή εν μέρει στις προσομοιώσεις που πραγματοποιούνται με το Veins, και πολλές νέες και βελτιωμένες τεχνικές προσομοιώσεων έχουν εισαχθεί και εφαρμόσκει για πρώτη φορά στο Veins.

3.4 Ποιοι Χρησιμοποιούν το Veins;

Το Veins όπως αναφέραμε είναι ένα εξελιγμένο ανοικτού κώδικα πλαίσιο προσομοιώσεων δικτύων οχημάτων, το οποίο προήλθε από ένα ερευνητικό έργο με το ίδιο όνομα. Το έργο αυτό είχε ως στόχο τη βελτίωση της αξιολόγησης των δικτύων οχημάτων μέσω προηγμένων προσομοιώσεων. Παρά την ολοκλήρωση του αρχικού ερευνητικού έργου, το Veins συνεχίζει να εξελίσσεται και συντηρείται ενεργά ως λογισμικό ανοικτού κώδικα. Η ευρεία υιοθέτησή του σε διάφορους τομείς υπογραμμίζει την αποτελεσματικότητα και τη σημασία του στον τομέα.

Ακαδημαϊκά Ιδρύματα

Πανεπιστήμια σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιούν εκτενώς το Veins για εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Τα ακαδημαϊκά ιδρύματα αξιοποιούν το πλαίσιο για να:

- **Διεξάγουν Έρευνα:** Χρησιμοποιούν το Veins για να εξερευνήσουν και να αναπτύξουν νέα πρωτόκολλα επικοινωνίας οχημάτων, στρατηγικές διαχείρισης κυκλοφορίας και μοντέλα κινητικότητας. Αυτό τους επιτρέπει να προχωρήσουν πέρα από τα υπάρχοντα όρια γνώσης και να καινοτομήσουν στον τομέα των δικτύων οχημάτων.
- **Ενισχύουν τη Μάθηση:** Ενσωματώνουν το Veins στα εκπαιδευτικά προγράμματα και στις πρακτικές ασκήσεις για να διδάξουν στους φοιτητές σχετικά με τις προσομοιώσεις δικτύων και τα δίκτυα οχημάτων. Η ευέλικτη φύση του το καθιστά ένα ανεκτίμητο εργαλείο τόσο για τη διδασκαλία όσο και για την έρευνα.

Η λεπτομερής προσομοιωτική μοντελοποίηση και η προσαρμοστικότητα του Veins το καθιστούν ένα ισχυρό εργαλείο για την προώθηση της ακαδημαϊκής έρευνας και εκπαίδευσης.

Δημόσιες Υπηρεσίες

Οι κυβερνητικές υπηρεσίες και οι δημόσιοι οργανισμοί χρησιμοποιούν το Veins για να υποστηρίζουν διάφορες πτυχές του σχεδιασμού μεταφορών και της διαχείρισης κυκλοφορίας. Χρησιμοποιούν το πλαίσιο για να:

- **Σχεδιάζουν Έργα Υποδομής:** Προσομοιώνουν τις επιδράσεις νέων διαμορφώσεων δρόμων, σημάτων κυκλοφορίας και άλλων αλλαγών υποδομής για να αξιολογήσουν την επίδρασή τους στη ροή και την ασφάλεια της κυκλοφορίας.

- **Αξιολογήσουν Πολιτικές:** Εκτιμούν τις πιθανές επιπτώσεις νέων ρυθμίσεων ή πολιτικών κυκλοφορίας μέσω προσομοίωσης, βοηθώντας στη διαμόρφωση αποτελεσματικών πολιτικών μεταφορών.
- **Αναπτύξουν Συστήματα Διαχείρισης Κυκλοφορίας:** Δοκιμάζουν και βελτιώνουν προηγμένες λύσεις διαχείρισης κυκλοφορίας για τη βελτίωση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας των δρόμων.

Το Veins βοηθά αυτές τις υπηρεσίες να παίρνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να βελτιστοποιούν τα συστήματα μεταφορών βασισμένα σε προσομοιωμένα δεδομένα.

Ανεξάρτητα Ερευνητικά Ινστιτούτα

Ανεξάρτητα ερευνητικά ινστιτούτα σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιούν το Veins για διάφορα ερευνητικά έργα που σχετίζονται με δίκτυα οχημάτων. Αυτά τα ινστιτούτα χρησιμοποιούν το πλαίσιο για να:

- **Εξετάσουν Καινοτόμες Λύσεις:** Εξερευνούν και δοκιμάζουν νέες τεχνολογίες και στρατηγικές για δίκτυα οχημάτων.
- **Συνεργαστούν στην Έρευνα:** Συνεργάζονται με άλλες ερευνητικές οντότητες για την ανάπτυξη και επικύρωση μοντέλων και τεχνικών προσομοίωσης.

Το Veins υποστηρίζει αυτά τα ινστιτούτα παρέχοντας μια ολοκληρωμένη και προσαρμόσιμη πλατφόρμα προσομοίωσης για καινοτόμες έρευνες.

Κέντρα Έρευνας και Ανάπτυξης Κατασκευαστών Αυτοκινήτων

Μεγάλοι κατασκευαστές αυτοκινήτων χρησιμοποιούν το Veins στα κέντρα έρευνας και ανάπτυξής τους για να:

- **Δημιουργήσουν Πρωτότυπες Τεχνολογίες:** Προσομοιώνουν και δοκιμάζουν νέες τεχνολογίες και συστήματα οχημάτων υπό διάφορες συνθήκες κυκλοφορίας για να αξιολογήσουν την απόδοσή τους.
- **Βελτιώσουν την Επικοινωνία Οχημάτων:** Εξελίσσουν πρωτόκολλα επικοινωνίας και συστήματα για να ενισχύσουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ οχημάτων (V2V) και υποδομών (V2I).
- **Επικυρώσουν Καινοτομίες:** Αξιολογούν και επιβεβαιώνουν νέα χαρακτηριστικά και τεχνολογίες σε ένα προσομοιωμένο περιβάλλον πριν την πραγματική τους εφαρμογή.

Για τους κατασκευαστές αυτοκινήτων, το Veins προσφέρει μια πρακτική και αποτελεσματική πλατφόρμα για αυστηρές δοκιμές και ανάπτυξη.

Παγκόσμια Βάση Χρηστών

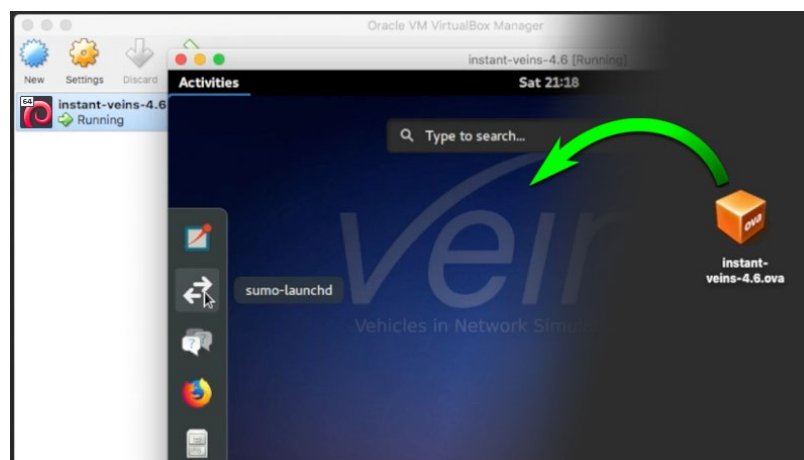
Το Veins διαθέτει μια συνεχώς αυξανόμενη βάση χρηστών που εκτείνεται σε πέντε ηπείρους, υποδηλώνοντας την παγκόσμια εμβέλεια και επιρροή του. Οι χρήστες του περιλαμβάνουν ακαδημαϊκούς

ερευνητές, κυβερνητικές υπηρεσίες, ανεξάρτητα ερευνητικά ινστιτούτα και μεγάλους κατασκευαστές αυτοκινήτων. Η ευρεία υιοθέτηση του Veins τονίζει τη σημασία του ως κορυφαίου εργαλείου προσομοιώσεων δικτύων οχημάτων, υποστηριζόμενο από μια παγκόσμια κοινότητα χρηστών που συμβάλλει στη συνεχή ανάπτυξη και βελτίωσή του.

Το Veins εξυπηρετεί ένα ευρύ φάσμα χρηστών, συμπεριλαμβανομένων πανεπιστημίων, κυβερνητικών οργανισμών, ανεξάρτητων ερευνητικών ινστιτούτων και κέντρων R&D μεγάλων κατασκευαστών αυτοκινήτων. Η εξέλιξη του από ερευνητικό έργο σε παγκοσμίως αναγνωρισμένο πλαίσιο ανοικτού κώδικα επιβεβαιώνει τη σημασία του στην προώθηση της έρευνας και ανάπτυξης στον τομέα των δικτύων οχημάτων. Η εκτενής χρήση και η συνεχής ανάπτυξη του Veins υπογραμμίζουν την αξία του ως ισχυρού και ευέλικτου εργαλείου στον τομέα των δικτύων οχημάτων.

3.5 Χρήση του Veins για Προσομοιώσεις Δικτύων Οχημάτων

Το Veins είναι ένα ευέλικτο και αποτελεσματικό ανοιχτού κώδικα πλαίσιο σχεδιασμένο για προσομοιώσεις δικτύων οχημάτων. Συνδυάζοντας το OMNeT++ και το SUMO, παρέχει μια ισχυρή πλατφόρμα για την εξερεύνηση διάφορων πτυχών της επικοινωνίας οχημάτων και της κυκλοφοριακής συμπεριφοράς. Αυτό το κεφάλαιο προσφέρει έναν πρακτικό οδηγό για τη χρήση του Veins, καλύπτοντας τη ρύθμιση, την εκτέλεση και την προσαρμογή των προσομοιώσεων.



Εικόνα 12 Εγκατάσταση instant-veins στο virtual box (Veins Vehicles In Network Simulation, n.d.)

Ξεκινώντας με το Veins:

1. Εγκατάσταση

Για να αρχίσουμε να χρησιμοποιούμε το Veins, πρέπει να εγκαταστήσουμε το OMNeT++, το SUMO και το ίδιο το Veins. Ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

- OMNeT++: Κατεβάζουμε και εγκαθιστούμε το OMNeT++ από την επίσημη ιστοσελίδα του, διασφαλίζοντας τη συμβατότητά του με το Veins.
- SUMO: Αποκτούμε και εγκαθιστούμε το SUMO ακολουθώντας τις παρεχόμενες οδηγίες.

- Veins: Κατεβάζουμε το Veins από το GitHub και ακολουθούμε τις οδηγίες ενσωμάτωσης για να το συνδέσουμε με το OMNeT++ και το SUMO.

2. Ρύθμιση

Μετά την εγκατάσταση, ρυθμίζουμε το περιβάλλον ώστε να επιτρέπεται η επικοινωνία μεταξύ του OMNeT++ και του SUMO. Αυτό περιλαμβάνει τη ρύθμιση διαδρομών και αρχείων διαμόρφωσης, κυρίως το αρχείο `omnetpp.ini`, όπου καθορίζουμε τις παραμέτρους της προσομοίωσης.

Εκτέλεση Προσομοίωσης

1. Ορισμός Σεναρίου Προσομοίωσης

Ξεκινάμε δημιουργώντας το σενάριο προσομοίωσης, το οποίο περιλαμβάνει την τοπολογία του δικτύου, τις διαδρομές των οχημάτων και τους κανόνες κυκλοφορίας. Το Veins παρέχει δείγματα σεναρίων που μπορούμε να τροποποιήσουμε ή να χρησιμοποιήσουμε ως βάση. Ορίζουμε σενάρια σε αρχεία XML, που περιλαμβάνουν:

- Δίκτυο Δρόμων: Περιγράφεται στα αρχεία δικτύου του SUMO (`.net.xml`), τα οποία καθορίζουν τη διάταξη του δρόμου και τα κυκλοφοριακά σήματα.
- Διαδρομές Οχημάτων: Ορίζονται στα αρχεία διαδρομών του SUMO (`.rou.xml`), που αναφέρουν τις διαδρομές που ακολουθούν τα οχήματα.
- Διαμόρφωση Δικτύου: Ορίζεται στα αρχεία `.ned` του OMNeT++, που περιγράφουν τους κόμβους του δικτύου και τις συνδέσεις τους.

2. Εκτέλεση της Προσομοίωσης

Εκτελούμε την προσομοίωση χρησιμοποιώντας το περιβάλλον του OMNeT++, είτε μέσω του γραφικού περιβάλλοντος είτε μέσω της γραμμής εντολών. Η ενσωμάτωση με το SUMO επιτρέπει τη ζωντανή απεικόνιση και αλληλεπίδραση με τις προσομοιώσεις κυκλοφορίας.

3. Παρακολούθηση και Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Το Veins παρέχει εργαλεία για την παρακολούθηση της προσομοίωσης και την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Χρησιμοποιούμε το γραφικό περιβάλλον του OMNeT++ για να δούμε τα δεδομένα δικτύου και κίνησης κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης, εξετάζουμε τα αρχεία εξόδου για μετρήσεις όπως χρόνοι ταξιδιού και απόδοση δικτύου.

Προσαρμογή του Veins

1. Τροποποίηση Υπαρχόντων Μοντέλων

Το Veins παρέχει προεπιλεγμένα μοντέλα που μπορεί να χρειάζονται προσαρμογή. Τροποποιούμε παραμέτρους ή δημιουργούμε νέα μοντέλα χρησιμοποιώντας το OMNeT++ και το SUMO. Αυτό περιλαμβάνει:

- Αλλαγές Παραμέτρων: Τροποποιούμε τα αρχεία διαμόρφωσης για να αλλάξουμε τη συμπεριφορά του δικτύου ή της κυκλοφορίας.
- Επέκταση Μοντέλων: Αναπτύσσουμε νέα μοντέλα για πρωτόκολλα επικοινωνίας ή συμπεριφορές οχημάτων χρησιμοποιώντας C++ για το OMNeT++ και XML για το SUMO.

2. Ενσωμάτωση Μοντέλων Τρίτων

Το Veins επιτρέπει την ενσωμάτωση μοντέλων τρίτων είτε άμεσα είτε μέσω του INET Framework. Αυτή η δυνατότητα υποστηρίζει επιπλέον τεχνολογίες ή συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας, εξασφαλίζοντας τη συμβατότητα και τη σωστή διαμόρφωση.

3. Ανάπτυξη Νέων Χαρακτηριστικών

Για προχωρημένους χρήστες, το Veins επιτρέπει την ανάπτυξη νέων χαρακτηριστικών ή υπηρεσιών. Η συμβολή στο έργο ανοιχτού κώδικα ενισχύει το Veins και προσφέρει ευκαιρίες συνεργασίας με την ερευνητική κοινότητα.

Η αποτελεσματική χρήση του Veins περιλαμβάνει την κατανόηση της ρύθμισης, της εκτέλεσης προσομοιώσεων και της προσαρμογής μοντέλων για συγκεκριμένους ερευνητικούς στόχους. Με τις συνδυασμένες δυνατότητες του OMNeT++ και του SUMO, το Veins προσφέρει μια ισχυρή πλατφόρμα για λεπτομερείς προσομοιώσεις δικτύων οχημάτων.

Κεφάλαιο 4

Platooning

Εισαγωγή - Περίληψη

Η έννοια του platooning έχει σημειώσει σημαντικές προόδους την τελευταία δεκαετία, αλλά για να επιτευχθεί το επόμενο βήμα προς την ανάπτυξη platooning στα φορτηγά, απαιτείται μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που να υποστηρίζεται από όλες τις μάρκες (brands) φορτηγών. Στοχεύοντας στην ανάπτυξη platooning σε ολόκληρη την Ευρώπη, οι λύσεις «πολλαπλών brands» είναι πρωταρχικής σημασίας. Η φιλοδοξία του ευρωπαϊκού έργου ENSEMBLE είναι να υλοποιήσει πρότυπα διαλειτουργικότητας μεταξύ φορτηγών, platoons, logistics, παρόχων λύσεων, να επιταχύνει την πραγματική αποδοχή της αγοράς για την ανάπτυξη και υλοποίηση (υπο)συστημάτων και να επιτρέψει την εναρμόνιση των νομικών πλαισίων στα κράτη μέλη.

Ο κύριος στόχος του έργου ENSEMBLE είναι να ανοίξει ο δρόμος για την υιοθέτηση multi-brand platooning φορτηγών στην Ευρώπη για τη βελτίωση της οικονομίας καυσίμου, της ασφάλειας της κυκλοφορίας και της διακίνησης. Αυτό θα αποδειχθεί οδηγώντας έως και επτά φορτηγά διαφορετικής επωνυμίας σε ένα ή περισσότερα platoons υπό πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας πέρα από τα εθνικά σύνορα. Κατά τη διάρκεια των ετών, οι στόχοι του έργου ήταν:

- Έτος 1: Καθορισμός προδιαγραφών και ανάπτυξη σχεδίου αναφοράς με κριτήρια αποδοχής.
- Έτος 2: Εφαρμογή αυτού του σχεδιασμού αναφοράς στα φορτηγά OEM καθώς και εκτέλεση αξιολογήσεων επιπτώσεων με διάφορα κριτήρια.
- Έτος 3: Εστίαση στη δοκιμή multi-brand platoons σε δοκιμαστικούς χώρους και διεθνείς δημόσιους δρόμους.

Τα τεχνικά αποτελέσματα αξιολογήθηκαν σε σχέση με τις αρχικές απαιτήσεις. Επίσης, καθορίστηκε ο αντίκτυπος στην κατανάλωση καυσίμου, στους οδηγούς και σε άλλους χρήστες του δρόμου. Στο τέλος, όλες οι δραστηριότητες στο πλαίσιο του έργου στόχευαν στην επιτάχυνση της ανάπτυξης του multi-brand truck platooning στην Ευρώπη.

Αυτό το κεφάλαιο αποτελείται από 2 μέρη:

- Platoon Levels
- Use cases

Platoon Levels: Τα επίπεδα platoon όπως τα οραματίστηκε η ENSEMBLE έχουν καθοριστεί. Το επίπεδο platoon A είναι αυτό που θα μελετήσουμε και περιγράφεται αναλυτικά, ενώ έχουμε και τα επίπεδα platoon B και platoon C. Το επίπεδο platoon A ορίζεται σύμφωνα με την προγραμματισμένη επίδειξη στο τέλος του έργου σε δημόσιο δρόμο. Τα κύρια χαρακτηριστικά του επιπέδου platoon A είναι:

1. Διαμήκης συντονισμένος αυτόματος έλεγχος για όλο το εύρος ταχύτητας από 0 έως τη μέγιστη ταχύτητα (ανάλογα με τους κανονισμούς της χώρας).
2. Ο μέγιστος αριθμός φορτηγών που θεωρείται για το επίπεδο A στο ENSEMBLE είναι 7.

3. Ελάχιστο χρονικό κενό 0,8 δευτερολέπτων στη μέγιστη ταχύτητα μεταξύ των φορτηγών (ανάλογα με τους κανονισμούς της χώρας).
4. Νέα μέλη σε ένα τρέχον platoon μπορούν να ενταχθούν μόνο από το πίσω μέρος.
5. Κάτω από αντίξοες συνθήκες όπως κακές καιρικές συνθήκες, κλίσεις κ.λπ.... οι οδηγοί έχουν την ευθύνη να αυξήσουν το χρονικό διάστημα του κενού ή να απεμπλακούν εντελώς από το platoon.
6. Ο οδηγός είναι υπεύθυνος για την δυναμική οδήγηση σε περίπτωση βλάβης του συστήματος. Το σύστημα πρέπει να είναι ασφαλές σε περίπτωση βλάβης.
7. Η αλληλεπίδραση με τις υπηρεσίες και τις υποδομές platooning είναι τεχνικά διαθέσιμες.

Use Cases: Οι περιπτώσεις χρήσης υψηλού επιπέδου για το επίπεδο platooning A είναι λεπτομερείς. Πρώτα απ' όλα ορίζεται η μεθοδολογία για τον τρόπο εξαγωγής των περιπτώσεων χρήσης και στη συνέχεια προστίθενται οι περιπτώσεις χρήσης υψηλού επιπέδου για το επίπεδο A και πρόσθετες υποθέσεις που μπορούν μαζί να χρησιμοποιηθούν για περισσότερη λεπτομέρεια. Οι κύριες περιπτώσεις χρήσης υψηλού επιπέδου του platooning επιπέδου A είναι:

- Σχηματισμός platoon
 - Σχηματισμός βασισμένος σε γενικευμένο ταίριασμα (Platoon formation based on generic match making (Orchestrated non real-time))
 - Σχηματισμός βασισμένος απλά σε γενική γνώση (Platoon formation based on just extended awareness (Orchestrated real-time))
- Σύνδεση με το platoon (Engaging to platoon)
 - Ένωση στο platoon από πίσω από ένα όχημα (Join from behind by single vehicle)
 - Ενοποίηση από πίσω υπάρχοντος platoon (Merge from behind by existing platoon)
- Platooning
 - Σταθερή οδήγηση σε συστοιχία (Steady state platooning)
 - Ακολουθώ μέχρι στάση (& επανεκκίνηση) (Follow to stop (& go))
 - Έκτακτο φρενάρισμα (προκαλείται από το σύστημα AEB ή χειροκίνητη παρέμβαση)(Emergency braking (caused by AEB system or manual overrule))
 - Προσαρμογή απόστασης μεταξύ οχημάτων στη συστοιχία
 - Αλληλεπίδραση με υποδομή (I2V interaction)
 - Παρεμβολή οχήματος στη συστοιχία (μεγάλης διάρκειας) (Cut-in (long time))
 - Παρεμβολή οχήματος στη συστοιχία (μικρής διάρκειας) (Cut-in (short time) (“Cut-through”))
 - Κατάσταση συστήματος (π.χ. απώλειες πακέτων)
- Αποσύνδεση από το platoon (Disengage platoon)
 - Αποχώρηση
 - Διαχωρισμός

Με τη χρήση ενός ιεραρχικού συστήματος platooning, το έργο προσπάθησε να επιτύχει τους παρακάτω στόχους:

Interoperable platooning: Κατά τη διαμόρφωση ενός κλιμακούμενου platooning φορτηγών αποτελούμενο από διαφορετικές μάρκες, τα οχήματα πρέπει να είναι συμβατά για να εξασφαλίσουν σωστή και ασφαλή λειτουργία.

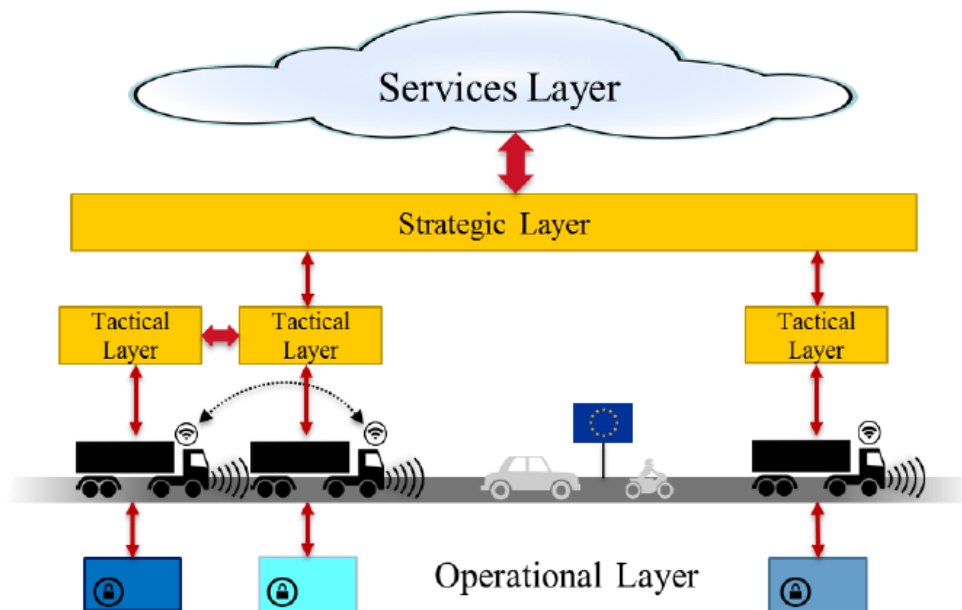
Safe platooning: Η ασφάλεια είναι ένα από τα βασικά στοιχεία για την αποδοχή της τεχνολογίας platooning. Για το ENSEMBLE, αυτό θα επιτευχθεί μέσω 1) του σχεδιασμού μηχανισμών ασφαλείας και ανοχής σε σφάλματα, που περιλαμβάνουν ασφαλή αλληλεπίδραση τόσο εντός του platoon όσο και με άλλους χρήστες του δρόμου, υποστηριζόμενη από ασφαλή ασύρματη επικοινωνία. Επιπλέον, 2) Προσέγγιση με τις αρμόδιες αρχές για να καθορίσουν από κοινού τις απαιτήσεις έγκρισης οδού, λαμβάνοντας επίσης υπόψη την επίδραση των platoon στους δρόμους και τις υποδομές, όπως π.χ. φθορά δρόμων, γεωμετρία, διαχείριση platooning και απαιτούμενη επικοινωνία V2I.

Real-life platooning: Οι προγραμματισμένες πρακτικές δοκιμές σε δοκιμαστικές διαδρομές και σε πραγματικές συνθήκες είχαν τριπλό σκοπό:

- 1) Δοκιμή κατά μήκος διαδρόμου C-ITS (πειραματικοί διάδρομοι για ITS) στην Ευρώπη.
- 2) Αξιολόγηση της επίδρασης στην κυκλοφορία συγκεντρώνοντας σχετικά δεδομένα κρίσιμων σεναρίων.
- 3) Προώθηση του multi-brand platooning μέσω μιας τελικής παρουσίασης.

Embedded platooning: Η έννοια του platooning θα πρέπει να επιτρέπει την απρόσκοπτη ενσωμάτωσή του στην αλυσίδα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Έτσι, ο τέταρτος στόχος του ENSEMBLE είναι να σχεδιάσει μια διεπαφή με υπηρεσίες cloud για να ενσωματώσει την έννοια του platooning στην εφοδιαστική αλυσίδα.

Η ιδέα της προβλεπόμενης τεχνολογίας για την υλοποίηση των παραπάνω στόχων, αποτελείται από ένα ιεραρχικό σύστημα platooning με στρώματα αλληλεπίδρασης που παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα 13.



Εικόνα 13 Στρώματά αλληλεπίδρασης ENSEMBLE (John Vissers, 2018)

Τα διαφορετικά επίπεδα έχουν τις ακόλουθες αρμοδιότητες:

- Το **service layer** αντιπροσωπεύει την πλατφόρμα στην οποία μπορούν να λειτουργήσουν οι υλικοτεχνικές λειτουργίες και οι νέες τεχνολογίες.
- Το **strategic layer** είναι υπεύθυνο για τη λήψη αποφάσεων υψηλού επιπέδου σχετικά με τον προγραμματισμό των platoons με βάση τη συμβατότητα οχημάτων και το επίπεδο platooning, τη βελτιστοποίηση όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμου, τους χρόνους ταξιδιού, τον προορισμό και το αντίκτυπο στη ροή της κυκλοφορίας στους αυτοκινητόδρομους, χρησιμοποιώντας συνεργατικές λύσεις ITS βασισμένες σε cloud. Επιπλέον, σε αυτό το στρώμα περιλαμβάνεται η δρομολόγηση των οχημάτων ώστε να επιτρέπεται ο σχηματισμός platooning. Το στρατηγικό επίπεδο εφαρμόζεται στα λεγόμενα κέντρα ελέγχου κυκλοφορίας. Η ασύρματη επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας μέσω της υπάρχουσας κυψελωτής τεχνολογίας χρησιμοποιείται μεταξύ ενός κέντρου ελέγχου κυκλοφορίας και των οχημάτων/platoons και των οδηγών τους.
- Το **tactical layer** συντονίζει την πραγματική συγκρότηση του platooning (τόσο από την ουρά του platooning όσο και μέσω της συγχώνευσης του) αλλά και τη διάλυση του. Επιπλέον, αυτό το στρώμα εξασφαλίζει τη συνοχή του platoon σε λοφώδεις δρόμους και ορίζει την επιθυμητή ταχύτητα, τις αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων (π.χ. για την αποφυγή καταστροφής γεφυρών) και τις πλευρικές μετατοπίσεις για να μετριάσει τη φθορά του δρόμου. Αυτό υλοποιείται μέσω της εκτέλεσης ενός πρωτοκόλλου αλληλεπίδρασης χρησιμοποιώντας την ασύρματη επικοινωνία μεταξύ οχημάτων μικρής εμβέλειας (δηλαδή V2X). Στην πραγματικότητα, το πρωτόκολλο αλληλεπίδρασης υλοποιείται με αλληλουχίες μηνυμάτων, ξεκινώντας τους ελιγμούς που είναι απαραίτητοι για να σχηματιστεί ένα platoon, να συγχωνευθεί σε αυτήν ή να διαλυθεί, λαμβάνοντας επίσης υπόψη τις απαιτήσεις προγραμματισμού λόγω συμβατότητας του οχήματος.
- Το **operation layer** περιλαμβάνει τον έλεγχο του ενεργοποιητή οχήματος (π.χ. επιτάχυνση/πέδηση, διεύθυνση), την εκτέλεση των προαναφερθέντων ελιγμών και τον έλεγχο των μεμονωμένων οχημάτων για την αυτόματη εκτέλεση του platooning. Εδώ, το κύριο καθήκον ελέγχου είναι η ρύθμιση της απόστασης ή της ταχύτητας μεταξύ των οχημάτων και, ανάλογα με το Επίπεδο platoon, της πλευρικής θέσης σε σχέση με τη λωρίδα ή με το προηγούμενο όχημα. Βασικές απαιτήσεις απόδοσης για αυτό το στρώμα είναι η συμπεριφορά που ακολουθεί το όχημα και η (διαμήκης και πλευρική) ευστάθεια του platooning, όπου η τελευταία είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη σταθερής ροής κυκλοφορίας, για την επίτευξη κλιμάκωσης σε σχέση με το μήκος platoon και τη μικρή σε εμβέλεια ασύρματη επικοινωνία μεταξύ οχημάτων.

PLATOONING LEVELS

Εισαγωγή

Προκειμένου να αναλυθεί η πολυπλοκότητα της ανάπτυξης platooning φορτηγών πολλαπλών σημάτων σε δημόσιους δρόμους ορίζονται διαφορετικά επίπεδα platooning. Τα επίπεδα platooning διευκολύνουν μια σταδιακή προσέγγιση για την ανάπτυξη platooning σε δημόσιους δρόμους, όπου το «πρώτο» Επίπεδο platooning που ορίζεται στο ENSEMBLE μπορεί να αναπτυχθεί ακόμα περισσότερο στο μέλλον. Η ιδέα των Platooning Levels προέκυψε από τη στιγμή που τα κοινά αποδεκτά επίπεδα αυτοματισμού του SAE J3016 (John Vissers, 2018) έχουν ελλείψεις όταν εφαρμόζονται σε platooning. Το πρώτο επίπεδο στα επίπεδα αυτοματισμού οδήγησης SAE περιλαμβάνει είτε διαμήκη είτε πλευρικό αυτοματισμό του οχήματος, ενώ ο οδηγός είναι υπεύθυνος να ανιχνεύει κρίσιμα για την ασφάλεια συμβάντα και να λαμβάνει τα κατάλληλα μέτρα.

Το Επίπεδο 2 περιλαμβάνει τόσο διαμήκη όσο και πλευρικό αυτοματισμό, με την ίδια ευθύνη του οδηγού όπως στο επίπεδο 1.

Στο επίπεδο 3, η ευθύνη του οδηγού μειώνεται ώστε να αναλαμβάνει δράση μόνο μετά από προειδοποίηση από το σύστημα αυτοματισμού. Μόνο στο επίπεδο 4 και άνω, ο οδηγός δεν έχει πλέον καθήκοντα οδήγησης για ένα μέρος του ταξιδιού ή ολόκληρο το ταξίδι. Ωστόσο, το platooning φορτηγών περιλαμβάνει οδήγηση σε μικρές αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων για μεγάλο χρονικό διάστημα. Κατά συνέπεια, ο οδηγός δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνος για την έγκαιρη παρέμβαση σε περίπτωση κρίσιμων για την ασφάλεια συμβάντων όπως το απότομο φρενάρισμα.

Επιπλέον, το platooning στο σύνολό του μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύστημα διασυνδεδεμένων συστημάτων με συγκεκριμένες απαιτήσεις. Ως εκ τούτου, τα τρία πρώτα επίπεδα αυτοματισμού SAE δεν ισχύουν άμεσα για την εφαρμογή platooning. Κατά συνέπεια, προκύπτει η ανάγκη δημιουργίας διαφορετικής ταξινόμησης επιπέδου αυτοματισμού για βαρέα επαγγελματικά οχήματα που να λαμβάνει υπόψη τις επεξηγούμενες ανάγκες του Platooning.

Ο ορισμός των «επιπέδων αυτοματισμού platooning» θα περιλαμβάνει στοιχεία όπως το ελάχιστο χρονικό διάστημα μεταξύ των οχημάτων, εάν υπάρχει διαθέσιμος πλευρικός αυτοματισμός, εύρος ταχύτητας οδήγησης, επιχειρησιακές περιοχές όπως αυτοκινητόδρομοι κ.λπ. επίπεδα A, B και C. Τέλος εκτελείτε μια ενέργεια για να αποφασιστεί πώς θα γίνει ο ορισμός των επιπέδων platooning από τις αρχές του δρόμου.

Διαφοροποιήσεις επιπέδων platooning A,B,C (John Vissers, 2018)

	Platooning level A	Platooning level B	Platooning level C
Longitudinal automation (Διαμήκης αυτοματισμός)	Κύριο φορτηγό: Οδηγείται χειροκίνητα ή με προηγμένο σύστημα βοήθειας (π.χ. ACC) Ακολουθείται από οχήματα: Αυτόνομος διαμήκης έλεγχος (CACC, CAEB, Cxxx, ...)	Κύριο φορτηγό: Οδηγείται χειροκίνητα ή με προηγμένο σύστημα βοήθειας (π.χ. ACC) Ακολουθείται από οχήματα: Αυτόνομος διαμήκης έλεγχος (CACC, CAEB, Cxxx, ...)	Κύριο φορτηγό: Οδηγείται χειροκίνητα ή με προηγμένο σύστημα βοήθειας (π.χ. ACC) Ακολουθείται από οχήματα: Αυτόνομος διαμήκης έλεγχος (CACC, CAEB, Cxxx, ...)
Lateral automation (Πλευρικός αυτοματισμός)	Προαιρετικά στη λωρίδα από το σύστημα (αυτόνομο όχημα)	Στην λωρίδα αλλά και αλλαγές λωρίδας (συντονισμένες)	Πλήρης αυτοματοποίηση από το A στο B.
Operation area (Περιοχή λειτουργίας)	Προκαλείται από τον οδηγό σε συγκεκριμένες περιοχές (π.χ. Αυτοκινητόδρομος)	Συγκεκριμένες περιοχές (π.χ. Αυτοκινητόδρομος)	Συγκεκριμένες περιοχές (π.χ. Αυτοκινητόδρομος και περιοχές στάθμευσης)
Fault tolerance (Ανοχή σε σφάλματα)	Διαμήκης υποβάθμιση λειτουργικότητας	Διαμήκης και πλευρική υποβάθμιση λειτουργικότητας	Διαμήκης και πλευρική υποβάθμιση λειτουργικότητας
Platoon engaging	Μόνο από το πίσω μέρος (από μεμονωμένο φορτηγό και υπάρχον platoon)	Από το πίσω μέρος (από μεμονωμένο φορτηγό και υπάρχον platoon) αλλά και από μπροστά	Από το πίσω μέρος (από μεμονωμένο φορτηγό και υπάρχον platoon) αλλά και από μπροστά από μεμονωμένο φορτηγό και

		από μεμονωμένο φορτηγό	συγχώνευση μεμονωμένων φορτηγών σε υπάρχον platoon
System & environment monitoring (Παρακολούθηση συστήματος και περιβάλλοντος)	Το ίδιο το σύστημα και ο οδηγός (περιβάλλον)	Το ίδιο το σύστημα	Το ίδιο το σύστημα
Fallback of the DDT (dynamic driving task) (Υποχώρηση της δυναμικής οδήγησης)	Όσο είναι ασφαλές και ο οδηγός μπορεί να αντιδράσει εγκαίρως	Το σύστημα (για κάποια δευτερόλεπτα)	Το σύστημα
Safe state (Ασφαλής Κατάσταση)	Ασφαλές σε περίπτωση αποτυχίας (ο οδηγός βρίσκεται σε έλεγχο μετρά την αντίδραση του)	Σταματημένο στην λωρίδα του ή στην δεξιά λωρίδα	Σταματημένο σε ασφαλή περιοχή (π.χ. σταθμό καυσίμων)
Timegap (Steady state 80 kph) (Χρονικό κενό)	>0.8s	>0.5s	>0.3s
Maximum number of trucks (Μέγιστος αριθμός φορτηγών)	7 (μέγιστο για προσομοιώσεις και επαληθεύσεις)	Δεν υπάρχει τεχνικός περιορισμός ως τώρα	Δεν υπάρχει τεχνικός περιορισμός ως τώρα
Platoon formation (orchestrated) (Συντονισμένος σχηματισμός platoon)	Ναι	Ναι	Ναι

Περιγραφή Platooning level A

Για να περιγράψει το επίπεδο platooning A με περισσότερες λεπτομέρειες χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη σειρά:

- Χαρακτηριστικά platooning
- Σχετικοί ελιγμοί υψηλού επιπέδου
- Αλληλεπίδραση HMI/Οδηγού
- Περιβαλλοντικές συνθήκες
- Διαμόρφωση οχήματος

1. Χαρακτηριστικά platooning:

a. Τα φορτηγά που ακολουθούν είναι αυτοματοποιημένα κατά τη διαμήκη κατεύθυνση (Επιτάχυνση/Επιβράδυνση) μέσω αποκεντρωμένης προσαρμογής συντονισμένου χρονικού διαστήματος.

b. Ο πλευρικός έλεγχος (διεύθυνση) παραμένει στην ευθύνη του οδηγού (ο οδηγός μπορεί να ενεργοποιήσει την υποβοήθηση διεύθυνσης ή το ενεργό σύστημα διεύθυνσης με βάση τους τοπικούς αισθητήρες στο φορτηγό. Οι πλευρικές λειτουργίες δεν συντονίζονται σε επίπεδο platooning).

c. Η χρονική απόσταση είναι τουλάχιστον 0,8 δευτερόλεπτα στη μέγιστη ταχύτητα ταξιδιού κατά την οδήγηση σε σταθερή κατάσταση, εάν δίνεται η ευστάθεια του συρμού οχημάτων και η απόδοση του οχήματος. Εάν δεν είναι δυνατή η επίτευξη αυτού του χρονικού διαστήματος, πηγαίνουμε σε μεγαλύτερα χρονικά κενά (π.χ. έως 1,5 δευτ.). Η πραγματική «εμβέλεια» του χρονικού διαστήματος (ανά φορτηγό) εξαρτάται από τη στρατηγική OEM, την κατάσταση (π.χ. οδήγηση σε κατηφόρα, ταχύτητα, συμβουλές υποδομής, σταθερότητα χορδών) και την προτίμηση του οδηγού (Human Machine Interface – HMI) (μικρή, μεγάλη) για να νιώθει άνετα.

d. Το εύρος ταχύτητας platooning κυμαίνεται από 0 έως τη μέγιστη καθορισμένη ταχύτητα του οδηγού ανάλογα με την επιτρεπόμενη ταχύτητα της συγκεκριμένης χώρας. Η εμπλοκή ή ο σχηματισμός της εφαρμογής platoon είναι δυνατή μόνο πάνω από μια ορισμένη ταχύτητα (η πρώτη υπόθεση είναι 30 km/h). Μόνο το αυτόνομο φρενάρισμα επιτρέπεται κάτω από μια ορισμένη ταχύτητα.

e. Σύμφωνα με το SAE J3016, η επαναληπτική απόδοση της ενέργειας Dynamic Driving παραμένει στον οδηγό, επομένως αρκεί μια αρχιτεκτονική συστήματος ασφαλούς αστοχίας (fail-safe reconfiguration), εφόσον συμμορφώνεται με την αξιολόγηση ασφάλειας.

f. Το εμπρόσθιο φορτηγό έχει την επιλογή να ελέγχει την ταχύτητα του οχήματος με προηγμένα συστήματα υποστήριξης οδηγού ή χειροκίνητα (επιτάχυνση/επιβράδυνση).

g. Ο μέγιστος αριθμός φορτηγών που λαμβάνεται υπόψη για platooning επιπέδου A είναι έως 7. Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι για σκοπούς προσομοίωσης και δοκιμών λήφθηκε υπόψη ένας μέγιστος αριθμός 7. Γενικά, οι τεχνικές επιλογές έγιναν χρησιμοποιώντας την επεκτασιμότητα ως απαίτηση. Ο πραγματικός αριθμός στο δρόμο μπορεί να είναι διαφορετικός λόγω αρχών, οδικών ή τεχνικών περιορισμών.

h. Κάθε οδηγός οχήματος ego (το όχημα που έχει πρωταρχικό ενδιαφέρον σε σενάρια δοκιμών) ενεργοποιεί το σύστημα platooning μόνο σε επιτρεπόμενους αυτοκινητόδρομους και απελευθερωμένους δρόμους.

i. Το platoon πρέπει να λειτουργεί με ασφαλή τρόπο.

- Εφόσον το σύστημα επικοινωνίας δεν είναι 100% αξιόπιστο (π.χ. επικοινωνία V2V), το χρονικό διάστημα πρέπει να προσαρμοστεί (αυξηθεί) ανάλογα με αυτοματοποιημένο τρόπο.
- Οι οδικοί περιορισμοί μπορεί να προκαλέσουν ζήτηση για αυξημένο χρονικό διάστημα ή μείωση της μέγιστης ταχύτητας. Αυτό επικοινωνείται μέσω π.χ. I2V.
- Το platoon μπορεί να χειριστεί τις αποκοπές και να αντιδράσει με ασφαλή τρόπο σε αυτές (π.χ. προσαρμογή κενού)
- Βάσει της αξιολόγησης ασφάλειας, ο οδηγός μπορεί να λάβει κρίσιμες αποφάσεις για την ασφάλεια σε περίπτωση δυσλειτουργίας του διαμήκους ελέγχου.
- Οι καταστάσεις κατά τις οποίες ένα φορτηγό στο platoon εκτελεί πλήρες φρενάρισμα, είτε από το σύστημα (π.χ. AEB) είτε από τον οδηγό (παράκαμψη), πρέπει να αντιμετωπίζονται αυτόματα με ασφαλή τρόπο.

j. Όλα τα μέλη του platoon θα είναι εξοπλισμένα με ασύρματα modem επικοινωνίας V2V και αισθητήρες περιβαλλοντικής αντίληψης.

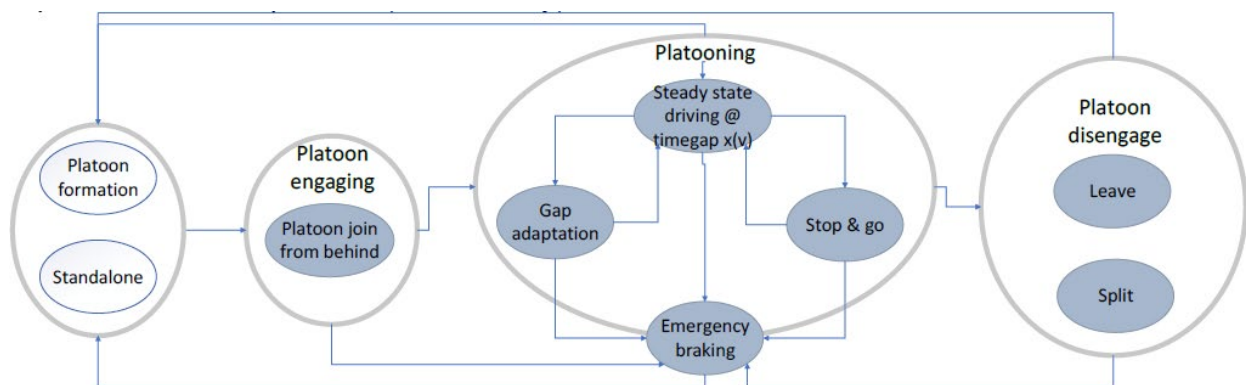
κ. Όλα τα μέλη του platoon θα μπορούν να εκτελούν κάθε ρόλο (καθοδηγητικό, ακολουθούμενο, συρόμενο).

λ. Η αυτοματοποιημένη αναδιάταξη του platoon αποκλείεται.

2. Σχετικοί ελιγμοί υψηλού επιπέδου:

- Platoon Formation (no re-ordering)
- Platoon Engaging (only from the rear)
- Platooning
- Platoon Disengaging

Οι ελιγμοί υψηλού επιπέδου στο επίπεδο platooning Α τοποθετούνται ο ένας στο πλαίσιο του άλλου. Στο πλαίσιο των ελιγμών δίνονται ήδη παραδείγματα συγκεκριμένων περιπτώσεων χρήσης τα οποία θα αναλυθούν λεπτομερώς.



Εικόνα 14 Αλληλεπίδραση ελιγμών υψηλού επιπέδου (John Vissers, 2018)

3. Αλληλεπίδραση HMI/Οδηγού

α. Ο κορυφαίος οδηγός φορτηγού-ακόλουθος-συρόμενος χρειάζεται ειδική εκπαίδευση για να κάνει platooning.

β. Επιτυχής ροή: Το HMI παρουσιάζει κατ' αρχήν τους ελιγμούς υψηλού επιπέδου. Με αυτόν τον τρόπο η μετάβαση από τη χειροκίνητη οδήγηση στην αυτοματοποιημένη οδήγηση και αντίστροφα πρέπει να είναι γνώριμη για τον οδηγό.

- Το HMI παρέχει τη δυνατότητα ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του συστήματος Platooning (αποστολή ανακοίνωσης μέσω V2V εάν είναι ενεργοποιημένο),
- Αποδοχή ή άρνηση σχηματισμού platoon/ Η εμπλοκή υποβάλλεται σε επεξεργασία με αυτοματοποιημένο τρόπο χωρίς επιβεβαίωση του οδηγού.
- Ο οδηγός έχει τη δυνατότητα να απεμπλακεί από το platoon (platoon → αυτόνομο)
- Το HMI ενδέχεται να έχει διαφορετικές πληροφορίες που εμφανίζονται στην οθόνη ανάλογα με τη θέση του φορτηγού εντός του platoon.

- Οι αλλαγές που δεν απαιτούν εισαγωγή ή ενέργειες από τα προγράμματα οδήγησης μπορούν επίσης να υποδεικνύονται στο HMI, π.χ. νέο L-truck, (νέα) ego-vehicles στη θέση του platoon, για να κρατήσει τον οδηγό εν εγρήγορση.

c. Αστοχία: Ανάλογα με την αξιολόγηση ασφάλειας ενδέχεται να προκύψουν ορισμένες ειδικές απαιτήσεις.

d. Παράκαμψη οδηγού "Εσκεμμένη": Ο οδηγός είτε φρενάρει είτε απομακρύνεται (βγαίνει, αλλάζει λωρίδα) σύμφωνα με τις συμφωνημένες προδιαγραφές. Τέτοια σκόπιμα συμβάντα στη διμοιρία που απαιτούν συνεισφορά, ενέργειες ή ενημέρωση από τους άλλους οδηγούς θα πρέπει να αναφέρονται σαφώς στο HMI.

e. Παράκαμψη προγράμματος οδήγησης "Ακούσια": Το HMI θα πρέπει να ειδοποιεί τους οδηγούς. Εάν ο οδηγός δεν έχει αναλάβει τον διαχρονικό έλεγχο, το σύστημα της διμοιρίας μετριάξει την κρίσιμη κατάσταση της κατάστασης και το σύστημα ξεκινά έναν ελιγμό ελάχιστου κινδύνου όπως η προσαρμογή του χρονικού διαστήματος.

4. Περιβαλλοντικές συνθήκες

a. Το platoon θα μπορεί να λειτουργεί σε απελευθερωμένους δρόμους.

b. Η τρέχουσα πρόθεση είναι ότι η διέλευση/κλείσιμο της περιοχής πύλης διοδίων πρέπει να ληφθεί υπόψη από το σύστημα. Ανάλογα με τον τύπο της θύρας διοδίων (είτε συμβατικός είτε κανονικός αυτοκινητόδρομος με προεξέχουσα κάμερα/σύστημα διοδίων) η αντίδραση του συστήματος μπορεί να διαφέρει.

c. Το platoon θα πρέπει να παραμένει σε σχηματισμό στις σήραγγες (αν και η επιδιόρθωση GPS μπορεί να χαθεί)

- Ο οδηγός φεύγει από το platoon εάν υπάρχει ειδικός περιορισμός (π.χ. δεν επιτρέπεται platooning στη σήραγγα)
- Η εμπλοκή σε platoon απαγορεύεται αυτόματα

d. Εάν έχουμε μια απρόβλεπτη περιβαλλοντική κατάσταση (κλίση, καμπύλες) ή κάποιος από τους οδηγούς του φορτηγού αντιληφθεί μια κρίσιμη κατάσταση, μπορεί να εγκαταλείψει το platoon και να ενημερώσει γιατί.

e. Ο οδηγός είναι υπεύθυνος να παρακολουθεί το περιβάλλον και μπορεί να αποφασίσει τότε δεν είναι πλέον ασφαλές για τη διμοιρία / εάν χρειάζεται προσαρμογή του χρονικού διαστήματος.

5. Διαμόρφωση οχήματος

Δεν υπάρχει περιορισμός σχετικά με τη διαμόρφωση του οχήματος που προβλέπεται, εφόσον το όχημα ego πληροί τις ελάχιστες δυνατότητες platooning. Η απόφαση εάν ένα φορτηγό θα μπορούσε να γίνει μέλος platoon ή αρχηγός παραμένει στον πάροχο της υπηρεσίας.

USE CASES PLATOONING LEVEL A

Εισαγωγή

Για να προκύψουν περιπτώσεις χρήσης, πρέπει να ακολουθηθεί μια μεθοδολογία για να διασφαλιστεί ένα επίπεδο πληρότητας. Σε αυτή την ενότητα θα συζητηθεί η μεθοδολογία για την εξαγωγή μιας περίπτωσης χρήσης από ένα σενάριο.

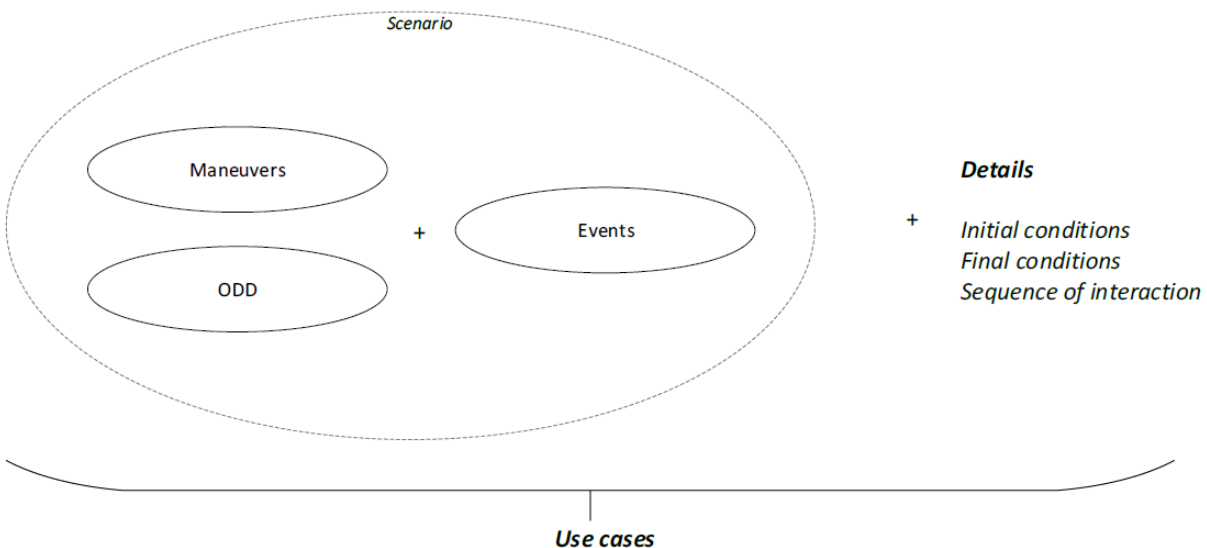
Οι περιπτώσεις χρήσης περιγράφουν πώς ένα σύστημα θα ανταποκρίνεται υπό διάφορες συνθήκες σε αλληλεπιδράσεις από τον χρήστη του συστήματος ή του περιβάλλοντος χώρου, π.χ. άλλους συμμετέχοντες στην κυκλοφορία ή οδικές συνθήκες. Ο χρήστης ονομάζεται δρων (actor) στο σύστημα και είναι συχνά αλλά όχι πάντα άνθρωπος. Επιπλέον, η περίπτωση χρήσης περιγράφει την απόκριση του συστήματος έναντι άλλων συμμετεχόντων στην κυκλοφορία ή περιβαλλοντικών συνθηκών. Οι περιπτώσεις χρήσης περιγράφονται ως μια σειρά ενεργειών και το σύστημα θα συμπεριφέρεται σύμφωνα με τις καθορισμένες περιπτώσεις χρήσης. Η περίπτωση χρήσης συχνά αντιπροσωπεύει μια επιθυμητή συμπεριφορά ή αποτέλεσμα.

Το πρότυπο που θα χρησιμοποιηθεί για τις περιπτώσεις χρήσης σε αυτό το έγγραφο είναι το ακόλουθο.

ID	Μοναδικός αναγνωριστικός κωδικός.																				
Name	Όνομα της περίπτωσης χρήσης.																				
Story	Σύντομη περιγραφή της περίπτωσης χρήσης																				
Initial condition	Κατάσταση του περιβάλλοντος (υποδομή & οχήματα), σύστημα (όχημα, σύστημα platooning, ...) & οδηγός (σε κάθε όχημα).																				
Trigger	Π.χ. ο οδηγός πατά το κουμπί ενεργοποίησης του συστήματος platooning στο HMI.																				
Diagram	Sketch:  Legend of the sketch icons: <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Other vehicle</td><td></td></tr> <tr> <td>HMI</td><td></td></tr> <tr> <td>Fault / failure</td><td></td></tr> <tr> <td>Stand still object</td><td></td></tr> <tr> <td>Decreasing velocity</td><td></td></tr> <tr> <td>Increasing velocity</td><td></td></tr> <tr> <td>"Cloud" / Service</td><td></td></tr> <tr> <td>Driver</td><td></td></tr> <tr> <td>V2X</td><td></td></tr> <tr> <td>Other</td><td></td></tr> </tbody> </table> <i>Εικόνα 15 Εικονίδια διαγραμμάτων (John Vissers, 2018)</i> Sequence in time: Bullet points 1. A 2. A	Other vehicle		HMI		Fault / failure		Stand still object		Decreasing velocity		Increasing velocity		"Cloud" / Service		Driver		V2X		Other	
Other vehicle																					
HMI																					
Fault / failure																					
Stand still object																					
Decreasing velocity																					
Increasing velocity																					
"Cloud" / Service																					
Driver																					
V2X																					
Other																					

	3. A
Final condition	Κατάσταση του περιβάλλοντος (υποδομή & οχήματα), σύστημα (όχημα, σύστημα platooning, ...) & οδηγός (σε κάθε όχημα).

Ως αποτέλεσμα, μια περίπτωση χρήσης είναι ένα λεπτομερές σενάριο που περιλαμβάνει τους ελιγμούς (maneuvers), το Operational Design Domain (ODD) και τα γεγονότα (events).



Εικόνα 16 Λεπτομερές σενάριο περίπτωσης χρήσης (John Vissers, 2018)

Ένα σενάριο είναι μια περιγραφή του οχήματος ego, των δραστηριοτήτων ή/και των στόχων του, του στατικού περιβάλλοντος και του δυναμικού περιβάλλοντος. Από την οπτική γωνία του οχήματος ego, ένα σενάριο περιέχει όλα τα σχετικά γεγονότα.

Στο ENSEMBLE τα σενάρια χρησιμοποιήθηκαν για αξιολόγηση βάσει σεναρίων. Τα σενάρια περιγράφονται όχι ως οντότητα για τη διαδικασία ανάπτυξης, αλλά περιγράφονται από τα ακόλουθα μέρη:

- Ελιγμός («δραστηριότητα») (Manoeuvre)
- ODD (τομέας λειτουργικού σχεδιασμού)
- Γεγονότα (Events)

Τα σενάρια θα επεκταθούν σε περιπτώσεις χρήσης που προσθέτουν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με συγκεκριμένες αλληλεπιδράσεις εσωτερικού συστήματος, συγκεκριμένες αλληλεπιδράσεις με τους φορείς (π.χ. driver, I2V) και θα προσθέτουν διαφορετικές ροές (κανονικές & εναλλακτικές) όπου χρειάζεται.

Manoeuvre

Εισαγωγή στη δραστηριότητα Manoeuvre

Μια συγκεκριμένη (δυναμική) συμπεριφορά που μπορεί να εκτελέσει ένα σύστημα (από την οπτική γωνία του οδηγού ή άλλου χρήστη του δρόμου) και που διαφέρει από το να στέκεται ακίνητος, θεωρείται ελιγμός.

Οι ελιγμοί είναι σε υψηλό επίπεδο συγκρίσιμοι με αυτό που μπορεί να παρουσιαστεί στον χρήστη π.χ. το HMI λαμβάνει υπόψη τη «λειτουργία» του συστήματος ώστε να ενημερωθεί.

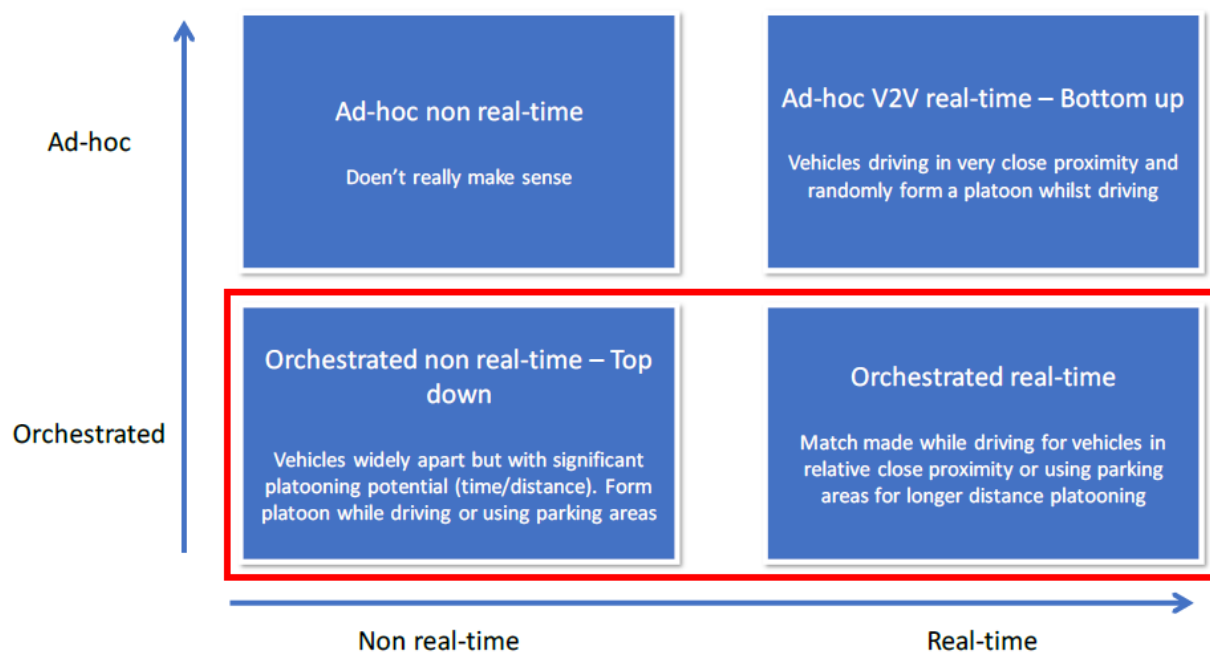
Platooning Level A manoeuvres

Η συμπεριφορά του platoon, τόσο στο οργανωμένο orchestrated platooning όσο και στο «αυθόρμητο» κατά περίπτωση ad-hoc platooning μπορεί να περιγράφει με 4 ελιγμούς, Εικόνα 17:

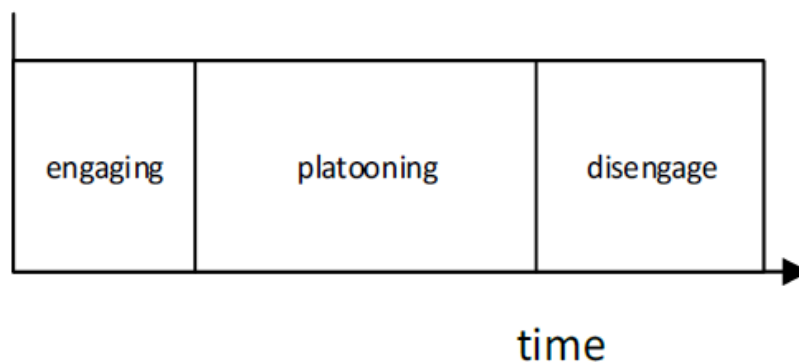
- **Ad-hoc non real-time:**
- **Ad-hoc V2V Real-time – Bottom up:**
 - Κατάσταση: Οχήματα που οδηγούν σε πολύ κοντινή απόσταση και σχηματίζουν αυθόρμητα/τυχαία διμοιρία κατά την οδήγηση
 - Μέγιστη εμβέλεια: Περιορίζεται από το εύρος DSRC (π.χ. 300 – 800 m, από 802.11p προδιαγραφές ITS G5)
 - Αντιστοίχιση: γίνεται από τους οδηγούς (centralized)
 - Όργανα: μόνο επικοινωνία DSRC V2V
 - Πιθανές εφαρμογές: multi-brand platooning, multi-fleet platooning με πολύ υψηλά ποσοστά υιοθέτησης
 - Εφαρμοσμένα επίπεδα: κυρίως τα επιχειρησιακά και στρατηγικά επίπεδα
- **Orchestrated non real-time – Top down:**
 - Κατάσταση: Οχήματα σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους αλλά με σημαντική δυνατότητα διμοιρίας (σε χρόνο και απόσταση).
 - Μέγιστη εμβέλεια: Περιορίζεται από περιπτώσεις μικροεπιχειρήσεων και από τον χρόνο για platoon
 - Αντιστοίχιση: Σχεδιασμένο εκ των προτέρων από δεδομένα προγραμματισμού/TMS (centralized)
 - Όργανα: DSRC (V2V) + επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας (κινητά) + εφαρμογές εντοπισμού θέσης GPS
 - Πιθανές εφαρμογές: mono-brand, multi-brand, mono-fleet platooning
 - Εφαρμοσμένα επίπεδα: κυρίως τα επίπεδα στρατηγικής και υπηρεσιών
- **Orchestrated real-time:**
 - Κατάσταση: Ταίριασμα που γίνεται κατά την οδήγηση για οχήματα σε σχετική κοντινή απόσταση (μέγιστη απόσταση μεταξύ οχημάτων 2000 m) ή χρήση χώρων στάθμευσης για διμοιρία σε μεγαλύτερη απόσταση
 - Μέγιστη εμβέλεια: Περιορίζεται από το χρόνο έως τη διμοιρία και την υπόθεση μικροεπιχειρήσεων
 - Αντιστοίχιση: cloud-based / telematics solutions.
 - Όργανα: DSRC (V2V) + επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας (κινητά) + εφαρμογές εντοπισμού θέσης GPS
 - Πιθανές εφαρμογές: mono-brand , multi-brand και multi-fleet platooning
 - Εφαρμοσμένα επίπεδα: όλα τα επίπεδα από τις λειτουργίες έως το επίπεδο εξυπηρέτησης

Σχετικά με την orchestrated και την ad-hoc διμοιρία, η κύρια διαφορά μεταξύ της ad-hoc διμοιρίας και της orchestrated διμοιρίας είναι η εμπλοκή της διαδικασίας σχηματισμού για orchestrated διμοιρία, καθώς γίνεται αναζήτηση στρατηγικά για διμοιρίες/οχήματα που μπορούν να συνεργαστούν και να επωφεληθούν από αυτήν.

- Σχηματισμός διμοιρίας (Platoon formation)
- Εμπλοκή διμοιρίας (Platoon engaging)
- Διμοιρία (Platooning)
- Απεμπλοκή διμοιρίας (Platoon disengaging)



Εικόνα 17 Platoon formation (κόκκινο κουτί) (John Vissers, 2018)



Εικόνα 18 Manoeuvre παράδειγμα σε μια χρονική ακολουθία για ad-hoc platooning (John Vissers, 2018)

ID	Manoeuvre name	Description (Περιγραφή)
M1	Platoon formation (Σχηματισμός διμοιρίας)	Ο σχηματισμός διμοιρίας είναι η διαδικασία πριν από την εμπλοκή της διμοιρίας που καθορίζεται εάν και σε ποια μορφή (π.χ. σύνθεση) φορτηγά μπορεί/πρέπει να γίνουν μέρος μιας νέας/υπάρχουσας διμοιρίας. Ο σχηματισμός διμοιρίας μπορεί να γίνει ενορχηστρωμένος σε πραγματικό χρόνο ή σε μη πραγματικό χρόνο. Οι υποψήφιοι διμοιρίας μπορούν να λάβουν οδηγίες κατά τη διάρκεια του σχηματισμού διμοιρίας (π.χ. να προσαρμόσουν την ταχύτητά τους, να σταθμεύσουν σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία) για να επιτραπεί η έναρξη της διαδικασίας εμπλοκής της διμοιρίας.
M2	Platoon engaging (Εμπλοκή διμοιρίας)	Χρησιμοποιώντας ασύρματη επικοινωνία (V2V), ο Υποψήφιος Διμοιρίας (μονό όχημα ή υπάρχουσα διμοιρία) στέλνει ένα αίτημα εμπλοκής στον στόχο της διμοιρίας (μονό όχημα ή υπάρχουσα διμοιρία) μπροστά. Όταν πληρούνται οι προϋποθέσεις, το σύστημα αρχίζει να μειώνει το χρονικό διάστημα μεταξύ των φορτηγών στο χρονικό κενό της διμοιρίας.
M3	Platooning	Μια ομάδα δύο ή περισσότερων αυτοματοποιημένων συνεργαζόμενων οχημάτων βρίσκεται στη σειρά, διατηρώντας μια κοντινή απόσταση χρησιμοποιώντας ασύρματη επικοινωνία (V2V), συνήθως τέτοια απόσταση που βοηθάει τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου από την έλξη αέρα, την αύξηση της ασφάλειας κυκλοφορίας με τη χρήση πρόσθετης τεχνολογίας ADAS και την βελτίωση της κυκλοφορίας επειδή τα οχήματα κινούνται πιο κοντά μεταξύ τους και καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο στο δρόμο.
M4	Platoon disengage (Απεμπλοκή διμοιρίας)	Το ego-όχημα μπορεί να αποφασίσει να εγκαταλείψει τη διμοιρία, να χωρίσει τη διμοιρία σε 2 νέες διμοιρίες (μόνο ένα φορτηγό που ακολουθεί την διμοιρία μπορεί να εκτελέσει αυτήν την ενέργεια). Όταν πληρούνται οι συνθήκες, τα φορτηγά αρχίζουν να αυξάνουν το κενό μεταξύ τους σε ένα ασφαλές κενό χωρίς διμοιρία. Η απεμπλοκή ολοκληρώνεται όταν το κενό είναι αρκετά μεγάλο, το οποίο εξαρτάται από τη λειτουργική ασφάλεια με βάση τη δυναμική του οχήματος και τους χρόνους ανθρώπινης αντίδρασης.

ODD (operational design domain) & διαμόρφωση οχήματος

Εισαγωγή στο ODD και στη διαμόρφωση οχήματος

Το ODD περιγράφει τις ειδικές συνθήκες υπό τις οποίες πρόκειται να λειτουργήσει μια δεδομένη λειτουργία αυτοματισμού. Το ODD είναι ο ορισμός του πού (όπως ποιοι τύποι δρόμων και ταχύτητες) και του πότε (υπό ποιες συνθήκες, όπως ημέρα/νύχτα, καιρικά όρια κ.λπ.) έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί μια λειτουργία αυτοματισμού.

Το ODD θα περιλαμβάνει τουλάχιστον τις ακόλουθες πληροφορίες για τον καθορισμό των ορίων ικανότητας κάθε λειτουργίας αυτοματισμού:

- Τύποι δρόμων (διακρατικοί, τοπικοί, κ.λπ.) συμπεριλαμβανομένων στοιχείων υποδομής (π.χ. φωτεινοί σηματοδότες, πύλες διόδων) στα οποία η λειτουργία αυτοματισμού προορίζεται να λειτουργεί με ασφάλεια.
- Γεωγραφική περιοχή (πόλη, βουνό, έρημος κ.λπ.).
- Εύρος ταχύτητας.

- Περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες θα λειτουργεί η λειτουργία αυτοματισμού (καιρικές συνθήκες, ημέρα/νύχτα, κ.λπ.)
- Άλλοι περιορισμοί τομέα.

Δίπλα στο ODD πρέπει επίσης να υπάρχει η διαμόρφωση του οχήματος.

Platooning level A ODD και διαμόρφωση οχήματος

Όταν δεν υπάρχει διαθέσιμος αισθητήρας για την παρακολούθηση του ODD, ο οδηγός θα είναι υπεύθυνος για την παρακολούθηση του. Η συζήτηση για τη λειτουργική ασφάλεια θα περιλαμβάνει τουλάχιστον τα ακόλουθα σημεία.

Περιβαλλοντικές συνθήκες και συγκεκριμένη κυκλοφορία:

- Συνθήκες χαμηλής ορατότητας (ομίχλη / νυχτερινή οδήγηση / λάμψη του ήλιου). Ελάχιστη ορατότητα του X
- Έντονη οδική κυκλοφορία (μικρότερες ταχύτητες). Μέγιστη πυκνότητα κυκλοφορίας X.
- Ολισθηρές συνθήκες δρόμου (πάγος / βροχή). Ελάχιστο επίπεδο πρόσφυσης X.
- Πλησιάζει όχημα έκτακτης ανάγκης.
- Άνθρωποι ή μεγάλα ζώα στο δρόμο.
- Προσέγγιση σκηνής ατυχήματος.

Υποδομή

- Αυτοκινητόδρομος ή συγκρίσιμος δρόμος.
- Οδήγηση σε ανηφόρα μέγιστη κλίση X.
- Οδήγηση σε κατηφόρα μέγιστη κλίση X.
- Οδήγηση σε τούνελ.
- Οδήγηση κοντά σε ράμπες εισόδου/εξόδου του αυτοκινητόδρομου.
- Εμπόδιο στη λωρίδα. ελάχιστο μέγεθος εμποδίου X.
- Ακτίνα καμπύλης του δρόμου. ελάχιστη καμπυλότητα δρόμου X.
- Απροσδόκητο αντικείμενο/όχημα στην άκρη του δρόμου.
- Πολιτική ειδικής ζώνης (πύλες διοδίων, ζώνες κατασκευής, γέφυρες, όρια πόλης).
- Μέγιστη ταχύτητα ανά χώρα στην Ε.Ε.

Διαμόρφωση οχήματος

- Κατάσταση Electronic Braking System - EBS
 - Unlearned
 - Partly learned
 - Fully learned
 - False learned
- Πίεση αέρα
 - 8 έως 12 bar
- Τακάκια/δίσκος φρένων θερμοκρασία
 - Θερμοκρασία περιβάλλοντος έως 350°C
- Παλαίωση τακάκια φρένων

- Ολοκαίνουργιο
- Γυαλισμένοι δίσκοι φρένων
- Μεταχειρισμένα
- Παλαιωμένα
- Μάζα οχήματος
 - Τουλάχιστον 12t έως 44t. Οι υψηλότερες και οι χαμηλότερες μάζες θα συζητηθούν και θα αναλυθούν περαιτέρω κατά τη διάρκεια του έργου.

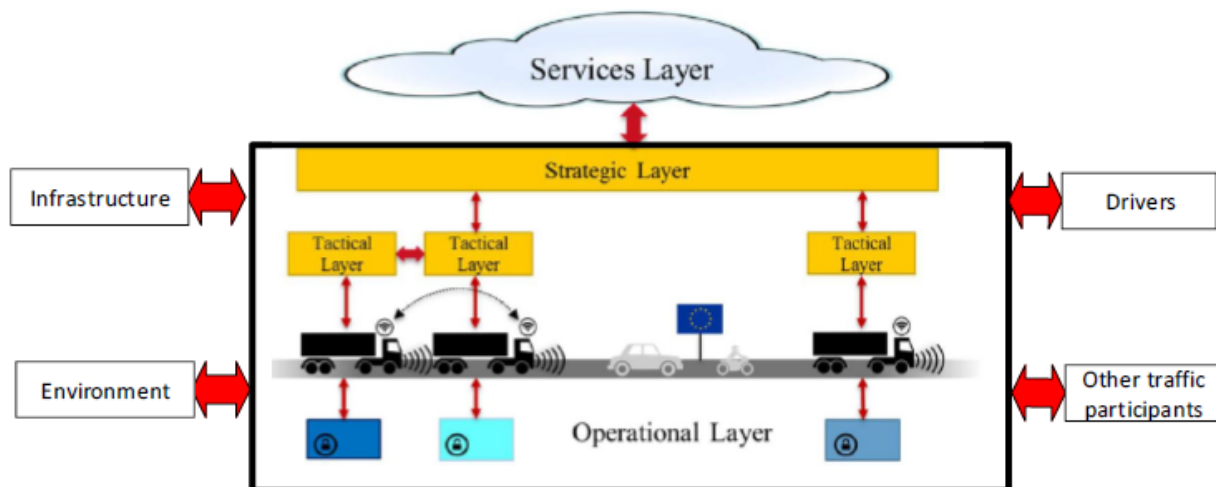
Οι τιμές των παραμέτρων (X) πρέπει να συμφωνηθούν.

Event (Συμβάν-Γεγονός)

Εισαγωγή

Ένα συμβάν σηματοδοτεί τη χρονική στιγμή κατά την οποία συμβαίνει μια μετάβαση μιας κατάστασης, έτσι ώστε πριν και μετά από ένα συμβάν, το σύστημα να βρίσκεται σε διαφορετική κατάσταση.

Χρήσιμο εδώ είναι να δούμε τις διεπαφές που έχει το «σύστημα» με το εξωτερικό περιβάλλον. Εάν θεωρήσουμε το στρατηγικό, το τακτικό και το επιχειρησιακό επίπεδο ως το «σύστημα» (καθώς το επίπεδο υπηρεσιών θα υλοποιηθεί μόνο με ένα «παράδειγμα εφαρμογής» και δούμε την υποδομή που μελετάται στο ENSEMBLE ως είσοδο/έξοδο) τότε οι κύριες διεπαφές για το σύστημα θα είναι:



Εικόνα 19 Κύριες διεπαφές (John Vissers, 2018)

Μπορεί να παρατηρηθεί ότι περιλαμβάνεται η αλληλεπίδραση με τον οδηγό, άλλους συμμετέχοντες στην κυκλοφορία, το περιβάλλον (π.χ. ορατοί δείκτες λωρίδας και καιρικές συνθήκες), τον πάροχο υπηρεσιών διμοιρίας (I2V/IOT) και την υποδομή (μέσω I2V ή αναγνώρισης οδικών πινακίδων).

Platooning επίπεδο Α συμβάντα

Παρακάτω ορίζεται μια λίστα με προφανή συμβάντα που θα χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή των περιπτώσεων χρήσης υψηλού επιπέδου. Η λίστα είναι ένα σύνολο που περιέχει τα πιο σημαντικά εξωτερικά γεγονότα.

ID	Όνομα συμβάντος	Περιγραφή
E1	Cut-in	Το αντικείμενο (αυτοκίνητο, μοτοσυκλέτα, φορτηγό) μπορεί να εισχωρήσει σε οποιοδήποτε σημείο της διμοιρίας και επίσης η διάρκεια μπορεί να ποικίλλει. Μόλις το όχημα αποκοπεί δηλαδή φύγει από τη διμοιρία, αυτό ονομάζεται ενέργεια αποκοπής. Ανάλογα με τη διάρκεια της διακοπής, η αντίδραση του συστήματος μπορεί να διαφέρει.
E2	Όχημα φρενάρει (για να σταματήσει) μπροστά από τον αρχηγό.	Αυτό είναι ένα τυπικό γεγονός που συμβαίνει σε πυκνή κίνηση όταν πλησιάζει σε μποτιλιάρισμα. Το όχημα μπροστά από τη διμοιρία επιβραδύνει σιγά σιγά λόγω του μποτιλιαρίσματος. Το σύστημα διμοιρίας πρέπει να χειριστεί αυτήν την κατάσταση με ασφαλή τρόπο.
E3	Φρενάρισμα έκτακτης ανάγκης από φορτηγό διμοιρίας (είτε από οδηγό /AEB)	Τόσο το σύστημα AEB όσο και ο οδηγός μπορεί να προκαλέσουν πλήρη φρενάρισμα (μέγιστο φρενάρισμα) ένα γεγονός που πρέπει να αντιμετωπιστεί από τη διμοιρία.
E4	Λήψη ορίου μέσω I2V	Μέσω I2V μπορούν να ληφθούν ορισμένα όρια (π.χ. κενό, ταχύτητα) που σχετίζονται με μια ειδική ζώνη στο δρόμο (π.χ. σε μια γέφυρα).
E5	Αποτυχία της κατάστασης συστήματος (π.χ. απώλεια πακέτων)	Λόγω μιας αποτυχίας του συστήματος ή της περιορισμένης απόδοσης των στοιχείων του συστήματος (π.χ. απώλεια πακέτων) μπορεί να απαιτηθεί μια συγκεκριμένη αντίδραση του συστήματος διμοιρίας. Ορισμένες επιλογές είναι η παράδοση ελέγχου του οχήματος στον οδηγό (μετάβαση ελέγχου) ή η προσαρμογή του κενού.

Platooning επίπεδο Α περιπτώσεις χρήσης (use cases)

Εδώ αντικατοπτρίζονται οι περιπτώσεις χρήσης υψηλού επιπέδου που αποτελούν τη βάση για την εξαγωγή των τεχνικών προδιαγραφών. Ο στόχος των περιπτώσεων χρήσης είναι να περιγράψει τη συμπεριφορά σε επίπεδο εφαρμογής ολόκληρου του συστήματος platooning.

Οι περιπτώσεις χρήσης υψηλού επιπέδου προέρχονται από τους ελιγμούς και τα γεγονότα που ορίστηκαν προηγουμένως:

- Σχηματισμός platoon
 - Σχηματισμός βασισμένος σε γενικευμένο ταίριασμα (Platoon formation based on generic match making (Orchestrated non real-time))
 - Σχηματισμός βασισμένος απλά σε γενική γνώση (Platoon formation based on just extended awareness (Orchestrated real-time))
- Σύνδεση με το platoon (Engaging to platoon)
 - Ένωση στο platoon από πίσω από ένα όχημα (Join from behind by single vehicle)
 - Ενοποίηση από πίσω υπάρχοντος platoon (Merge from behind by existing platoon)
- Platooning
 - Σταθερή οδήγηση σε συστοιχία (Steady state platooning)
 - Ακολουθώ μέχρι στάση (& επανεκκίνηση) (Follow to stop (& go))

- Έκτακτο φρενάρισμα (προκαλείται από το σύστημα AEB ή χειροκίνητη παρέμβαση)(Emergency braking (caused by AEB system or manual overrule))
- Προσαρμογή απόστασης μεταξύ οχημάτων στη συστοιχία
 - Αλληλεπίδραση με υποδομή (I2V interaction)
 - Παρεμβολή οχήματος στη συστοιχία (μεγάλης διάρκειας) (Cut-in (long time))
 - Παρεμβολή οχήματος στη συστοιχία (μικρής διάρκειας) (Cut-in (short time) (“Cut-through”))
 - Κατάσταση συστήματος (π.χ. απώλειες πακέτων)
- Αποσύνδεση από το platoon (Disengage platoon)
 - Αποχώρηση
 - Διαχωρισμός

Εάν υπάρχουν σχετικές περιβαλλοντικές συνθήκες που αναμένουμε μια συγκεκριμένη συμπεριφορά του συστήματος, τότε ορίζεται μια υπόθεση με την επιθυμητή αντίδραση του συστήματος.

Platoon formation

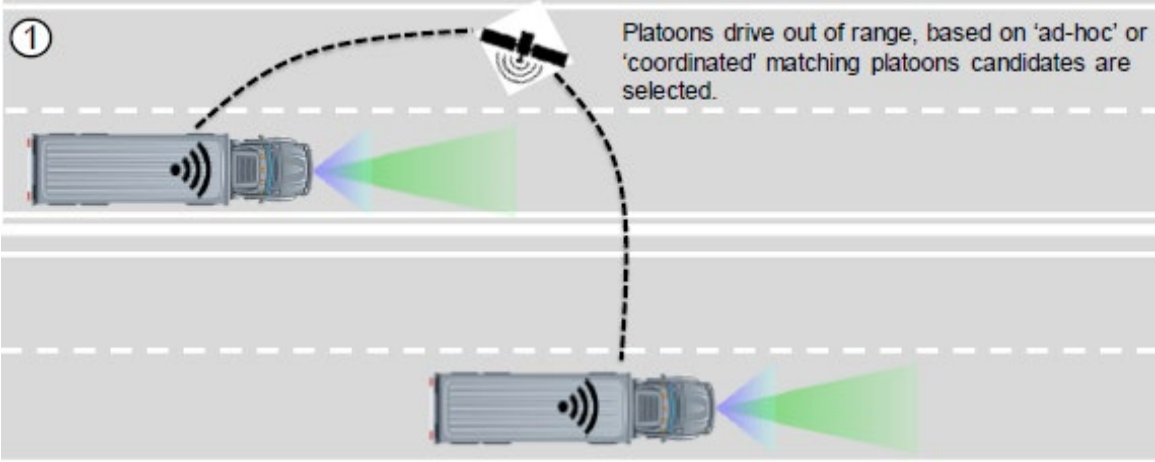
Platoon formation based on generic match making (Orchestrated non real-time)

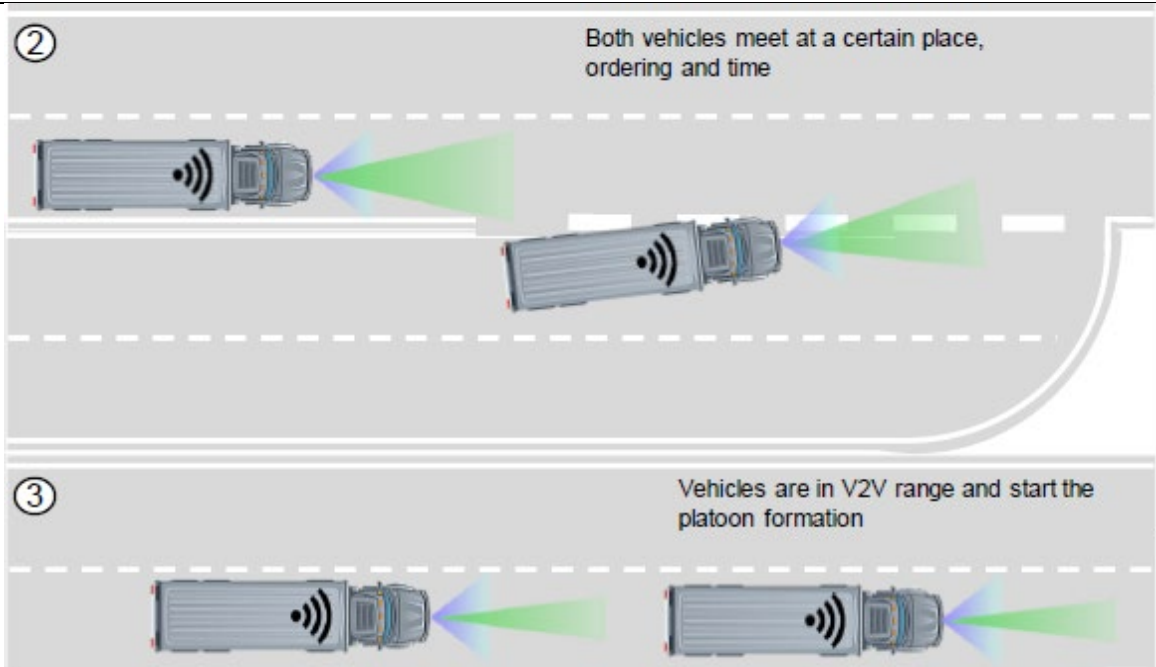
ID	1.1	
Name	1.1: Platoon formation – based on generic match making (Orchestrated non real-time)	
Story	Τουλάχιστον δύο ξεχωριστά φορτηγά έχουν ενεργές συνδρομές σε μια υπηρεσία ενεργοποίησης platoon. Η υπηρεσία ενεργοποίησης platoon θα δώσει μια σύσταση βάσει κάποιας επιχειρηματικής λογικής ότι τα δύο οχήματα πρέπει να σχηματίσουν ένα platoon σε κάποια τοποθεσία και σε κάποια χρονική στιγμή στο μέλλον. Το ραντεβού θα μπορούσε να είναι σε λίγα δευτερόλεπτα ή σε λίγες μέρες. Πληροφορίες σχετικά με το προγραμματισμένο platoon μαζί με ένα εισιτήριο έγκυρο για το platoon αποστέλλονται από το εξωτερικό σύστημα στα οχήματα. Μια εξωτερική υπηρεσία μπορεί να βοηθήσει στην ενημέρωση του platoon για να συντονίζει τα οχήματα στο ραντεβού. Στο ραντεβού, τα δύο οχήματα αναγνωρίζουν και εξουσιοδοτούν το ένα το άλλο με τη βοήθεια του εισιτηρίου platoon. Μετά από αυτό, μπορεί να ξεκινήσει η κανονική διαδικασία ενσωμάτωσης.	
Initial condition	Operation area (επιχειρησιακή περιοχή):	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επίπεδο Α
	Environmental conditions (Συνθήκες περιβάλλοντος):	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α
	Target vehicle(s) (Οχήματα στόχος):	Φορτηγό ή ενεργή διμοιρία εγγεγραμμένη στο πρόγραμμα ενεργοποίησης διμοιρίας
	Ego vehicle (s):	Φορτηγό ή ενεργή διμοιρία εγγεγραμμένη στο πρόγραμμα ενεργοποίησης διμοιρίας.
	Application status target vehicle(s):	Διμοιρία σε σταθερή κατάσταση (ενεργή διμοιρία) ή αυτόνομη (μονό όχημα)
	Application status Ego vehicle	Διμοιρία σε σταθερή κατάσταση (ενεργή διμοιρία) ή αυτόνομη (μονό όχημα)
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία αποτυχία

Trigger	Ενεργές συνδρομές σε μια υπηρεσία ενεργοποίησης διμοιρίας.
Diagram	Ακολουθία περίπτωση χρήσης: ① Platoons drive out of range, based on 'ad-hoc' or 'coordinated' matching platoons candidates are selected. ② Both vehicles meet at a certain place, ordering and time ③ Vehicles are in V2V range and start the platoon formation 1.1 Η υπηρεσία ενεργοποίησης platoon (υπηρεσία εκτός οχήματος) ταιριάζει ορισμένα οχήματα αποστέλλοντας μια σύσταση για τον σχηματισμό ενός platoon. Η σύσταση βασίζεται στην επιχειρηματική λογική αυτής της υπηρεσίας και μπορεί να λάβει υπόψη όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες είναι διατεθειμένος να μοιραστεί ο ιδιοκτήτης οχήματος. [Προαιρετικό] Παράδειγμα σύνδεσης rFMS (remote Fleet Management System) για ενεργοποίηση της ζωντανής αντιστοίχισης. 1.2 Η υπηρεσία ενεργοποίησης platoon αποστέλλει πληροφορίες στα δύο οχήματα σχετικά με την ευκαιρία για platoon. Αυτό μπορεί να γίνει ακριβώς πριν από την εκκίνηση ή πολύ νωρίτερα. Οι πληροφορίες στην ευκαιρία για platoon μπορεί να περιλαμβάνουν: • Προτεινόμενο σημείο και ώρα συνάντησης. • Διάρκεια της ευκαιρίας.

	• Προτεινόμενο σημείο διαχωρισμού. • Εισιτήριο platoon για αναγνώριση και εξουσιοδότηση. • Από ποια υπηρεσία προέρχεται (το όχημα μπορεί να είναι συνδεδεμένο με πολλές υπηρεσίες ενεργοποίησης platoon) • Παράμετροι εγκυρότητας (π.χ. χρόνος, τοποθεσία, έγκυρα οχήματα, ...) • Προτεινόμενη διαμόρφωση platoon, π.χ. σειρά οχημάτων (αυτό θα μπορούσε να τοποθετηθεί και σε εφαρμογή οδηγού, χωρίς να χρειάζεται προτυποποίηση) 1.3 Το όχημα ενεργοποιεί τη διμοιρία (εισέρχεται στην κατάσταση οδήγησης μόνο) 1.4 [Προαιρετικό] Μεταδώστε πληροφορίες οχήματος ego σε προγραμματισμένους συνεργάτες μέσω της υπηρεσίας ενεργοποίησης διμοιρίας (εκτεταμένη ευαισθητοποίηση διμοιρίας). Απαιτείται τυποποίηση. 1.5 [Προαιρετικό] Εκτεταμένη ευαισθητοποίηση διμοιρίας για συγκεκριμένες υπηρεσίες, π.χ. εφαρμογές προγραμμάτων οδήγησης που αναμεταδίδουν πληροφορίες μεταξύ τους. Δεν απαιτείται προτυποποίηση, ώστε να μην αλληλεπιδρά με το όχημα. Εξαρτάται από κάθε υπηρεσία. 2 Τα οχήματα βρίσκονται σε εμβέλεια V2V μεταξύ τους και προσδιορίζουν τον συνεργάτη τους [Προαιρετικό] Οι οδηγοί τακτοποιούν χειροκίνητα τα οχήματα με τη σωστή σειρά 3 Οχήματα ξεκινούν "Platoon engage" μια περίπτωση χρήσης με προαιρετικές παραμέτρους ελέγχου ταυτότητας και εξουσιοδότησης που έχουν οριστεί.	
Final condition	Operation area:	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επίπεδο Α
	Environmental conditions:	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α
	Target vehicle(s):	Φορητό ή ενεργή διμοιρία εντός εμβέλειας V2V οχημάτων ego
	Ego vehicle (s):	Φορητό ή ενεργή διμοιρία εντός εμβέλειας V2V του στόχου οχήματος/των.
	Application status target vehicle(s):	Διμοιρία σε σταθερή κατάσταση (ενεργή διμοιρία) ή αυτόνομη (μονό όχημα)
	Application status Ego vehicle	Δυνατότητα συμμετοχής
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία αποτυχία

Platoon formation based on just extended awareness (Orchestrated real-time)

ID	1.2	
Name	1.2: Platoon formation – based on just extended awareness (Orchestrated real-time)	
Story	Τουλάχιστον δύο ξεχωριστά φορτηγά έχουν ενεργές συνδρομές σε μια υπηρεσία ενεργοποίησης platoon. Η υπηρεσία ενεργοποίησης platoon θα δώσει μια σύσταση βάσει κάποιας επιχειρηματικής λογικής ότι τα δύο οχήματα πρέπει να σχηματίσουν ένα platoon σε κάποια τοποθεσία και σε κάποια χρονική στιγμή στο μέλλον. Αυτό μπορεί να είναι ένα δυναμικό σημείο που μεταδίδεται σε πραγματικό χρόνο στα οχήματα. Πληροφορίες σχετικά με το προγραμματισμένο platoon μαζί με ένα εισιτήριο έγκυρο για το platoon αποστέλλονται από το εξωτερικό σύστημα στα οχήματα. Μια εξωτερική υπηρεσία μπορεί να βοηθήσει στην ενημέρωση του platoon για να συντονίζει τα οχήματα στο ραντεβού. Στο ραντεβού, τα δύο οχήματα αναγνωρίζουν και εξουσιοδοτούν το ένα το άλλο με τη βοήθεια του εισιτηρίου platoon. Μετά από αυτό, μπορεί να ξεκινήσει η κανονική διαδικασία ενσωμάτωσης.	
Initial condition	Operation area (επιχειρησιακή περιοχή):	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επίπεδο Α
	Environmental conditions (Συνθήκες περιβάλλοντος):	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α
	Target vehicle(s) (Οχήματα στόχος):	Φορτηγό ή ενεργή διμοιρία εγγεγραμμένη στο πρόγραμμα ενεργοποίησης διμοιρίας
	Ego vehicle (s):	Φορτηγό ή ενεργή διμοιρία εγγεγραμμένη στο πρόγραμμα ενεργοποίησης διμοιρίας.
	Application status target vehicle(s):	Διμοιρία σε σταθερή κατάσταση (ενεργή διμοιρία) ή αυτόνομη (ενιαίο όχημα)
	Application status Ego vehicle	Διμοιρία σε σταθερή κατάσταση (ενεργή διμοιρία) ή αυτόνομη (ενιαίο όχημα)
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία αποτυχία
Trigger	Ενεργές συνδρομές σε μια υπηρεσία ενεργοποίησης διμοιρίας.	
Diagram	Ακολουθία περίπτωση χρήσης: 	



- 1.1 Το όχημα ενεργοποιεί τη διμοιρία (εισέρχεται στην κατάσταση οδήγησης μόνο του)
- 1.2 Το εργαλείο ενεργοποίησης διμοιρίας ταιριάζει με ορισμένα οχήματα για να σχηματίσουν μια διμοιρία μαζί. Η σύσταση βασίζεται στην επιχειρηματική λογική αυτής της υπηρεσίας και μπορεί να λάβει υπόψη όσες πληροφορίες είναι διαθέσιμες να μοιραστεί ο ιδιοκτήτης του οχήματος με αυτήν την υπηρεσία (δεν χρειάζεται τυποποίηση). Και τα δύο οχήματα διαθέτουν σύνδεση rFMS (remote Fleet Management System) με το πρόγραμμα ενεργοποίησης της διμοιρίας για να ενεργοποιηθεί η αντιστοίχιση μεταξύ τους.
- 1.3 [Προαιρετικό] Το πρόγραμμα ενεργοποίησης διμοιρίας στέλνει πληροφορίες στα δύο οχήματα σχετικά με την ευκαιρία που έχουν για την πραγματοποίηση διμοιρίας (platoon).

Οι πληροφορίες για την ευκαιρία πραγματοποίησης διμοιρίας μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Προτεινόμενο σημείο και ώρα ραντεβού
- Διάρκεια ευκαιρίας
- Προτεινόμενο σημείο διαχωρισμού
- Εισιτήριο διμοιρίας για ταυτοποίηση και εξουσιοδότηση
- Από ποια υπηρεσία προήλθε (Το όχημα μπορεί να συνδεθεί με πολλές συσκευές ενεργοποίησης διμοιρίας)
- Παράμετροι εγκυρότητας (π.χ. χρόνος, τοποθεσία, έγκυρα οχήματα,...)
- Προτεινόμενη διαμόρφωση platoon, π.χ. σειρά οχημάτων (αυτό θα μπορούσε να τοποθετηθεί και σε εφαρμογή οδηγού, χωρίς να χρειάζεται τυποποίηση)

- 1.4 Μεταδίδονται οι πληροφορίες του οχήματος ego σε προγραμματισμένους συνεργάτες μέσω της υπηρεσίας ενεργοποίησης διμοιρίας (εκτεταμένη ευαισθητοποίηση διμοιρίας). Απαιτείται προτυποποίηση.
- 1.5 [Προαιρετικό] Εκτεταμένη ευαισθητοποίηση διμοιρίας για συγκεκριμένες υπηρεσίες, π.χ. εφαρμογές προγραμμάτων οδήγησης που αναμεταδίδουν πληροφορίες μεταξύ τους. Δεν απαιτείται τυποποίηση, ώστε να μην αλληλεπιδρά με το όχημα. Εξαρτάται από κάθε υπηρεσία.
- 2 Τα οχήματα βρίσκονται σε εμβέλεια V2V μεταξύ τους και προσδιορίζουν τον συνεργάτη τους [Προαιρετικό] Οι οδηγοί τακτοποιούν χειροκίνητα τα οχήματα με τη σωστή σειρά.

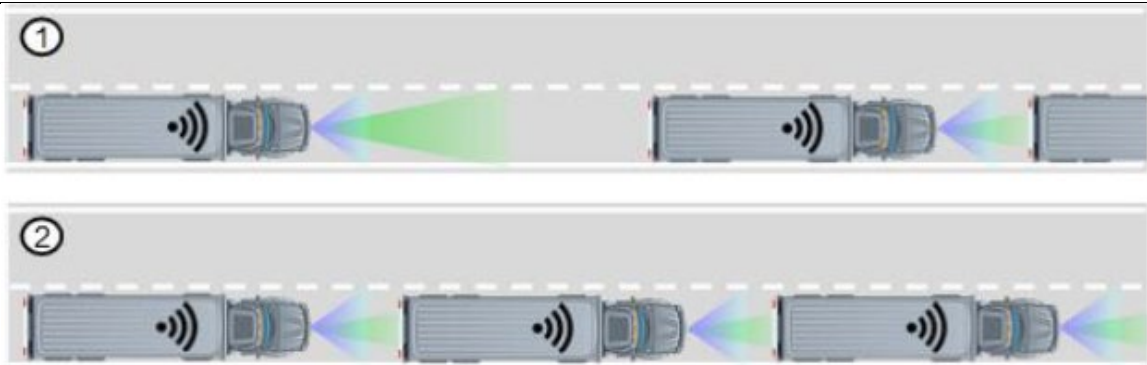
	3 Τα Οχήματα ξεκινούν "Platoon engage" - περίπτωση χρήσης (Προαιρετικά χρησιμοποιεί ένα εισιτήριο διμοιρίας για να αναγνωρίσει και να εξουσιοδοτήσει τη συμμετοχή για να βεβαιωθεί ότι είναι η προγραμματισμένη διμοιρία και ανήκουν στην ίδια υπηρεσία)	
Final condition	Operation area:	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επίπεδο Α
	Environmental conditions:	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α
	Target vehicle(s):	Φορητό ή ενεργή διμοιρία εντός εμβέλειας V2V οχημάτων ego
	Ego vehicle (s):	Φορητό ή ενεργή διμοιρία εντός εμβέλειας V2V του στόχου οχήματος/των.
	Application status target vehicle(s):	Διμοιρία σε σταθερή κατάσταση (ενεργή διμοιρία) ή αυτόνομη (μονό όχημα)
	Application status Ego vehicle	Δυνατότητα συμμετοχής
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία αποτυχία

Engaging to platoon

Η περίπτωση χρήσης «ένταξη στο platoon από πίσω» είναι η κύρια περίπτωση για την προσθήκη ενός ακόμα οχήματος στο platoon. Η περίπτωση συγχώνευσης ενός υπάρχοντος platoon με άλλο platoon ή ενός μοναδικού οχήματος υποψήφιου για platoon από πίσω είναι από τεχνική άποψη παρόμοια, επομένως εδώ εστιάζουμε μόνο στην περιγραφή του τρόπου με τον οποίο ένα μοναδικό όχημα εντάσσεται σε ένα platoon ή ένα μοναδικό όχημα είναι υποψήφιο για platoon από το πίσω μέρος.

Join from behind by single vehicle

ID	2.1	
Name	2.1: Join from behind by single vehicle	
Story	Χρησιμοποιώντας ασύρματη επικοινωνία (V2V), ο υποψήφιος Διμοιρίας (μονό όχημα ή υπάρχουσα διμοιρία) στέλνει ένα αίτημα εμπλοκής στον στόχο της διμοιρίας (μονό όχημα ή υπάρχουσα διμοιρία) που βρίσκεται μπροστά. Όταν πληρούνται οι συνθήκες, το σύστημα αρχίζει να μειώνει το χρονικό διάστημα μεταξύ των φορητών στο χρονικό κενό (time gap) της διμοιρίας.	
Initial condition	Operation area (επιχειρησιακή περιοχή):	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επίπεδο Α
	Environmental conditions (Συνθήκες περιβάλλοντος):	Θετικές συνθήκες για διμοιρία, άλλες καταστάσεις ανιχνεύονται είτε από τον οδηγό είτε από το σύστημα.
	Target vehicle(s) (Οχήματα στόχος):	Διμοιρία σταθερής κατάστασης ή μία υποψήφια διμοιρία που μπορεί να δεχτεί να επεκταθεί με ένα ακόμη όχημα. Η διμοιρία σηματοδοτεί ότι μπορεί να ενωθεί με το εισερχόμενο φορητό.
	Ego vehicle (s):	Οδηγείται σε απόσταση ασφαλείας πίσω από το τελευταίο όχημα της διμοιρίας: Η υποψήφια διμοιρία ή το τελευταίο όχημα στη διμοιρία πρέπει να βρίσκεται εντός του αισθητήρα προβολής και στη λωρίδα.

		• Η υποψήφια διμοιρία ή το τελευταίο όχημα στη διμοιρία πρέπει να βρίσκεται εντός εμβέλειας V2V (να μπορεί να επικοινωνεί αξιόπιστα). Δεν είναι απαραίτητο να έχετε επαφή V2V με άλλα οχήματα στη διμοιρία. • Δεν υπάρχει εισβολέας μεταξύ του Ego και του οχήματος στόχου. • Ταχύτητα εντός του εύρους διμοιρίας. Ενεργοποιείτε το προηγμένο σύστημα υποβοήθησης (π.χ. ACC).
	Application status target vehicle(s):	Platooning HMI: Κατάσταση διμοιρίας στο HMI.
	Application status Ego vehicle	Προηγμένο σύστημα υποβοήθησης (π.χ. ACC) HMI: Υποψήφιος διμοιρίας
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία βλάβη εσωτερικών συστημάτων και η επικοινωνία (V2V) είναι ενεργή. Τα χαρακτηριστικά αισθητήρων που απαιτούνται για την διμοιρία είναι εντάξει.
Trigger	• Η εφαρμογή ego και η εφαρμογή διμοιρίας είναι σε λειτουργία για να ενταχθεί το όχημα. • Το όχημα ego ανιχνεύει ένα συνδεδεμένο σήμα μέσω της επικοινωνίας V2V (μήνυμα για να εισαχθεί το όχημα).	
Diagram	 Ακολουθία περίπτωσης χρήσης: 1.1 Το όχημα ego αξιολογεί την ευκαιρία για platooning και επαληθεύει τις συνθήκες για να συνεχίσει με την ένταξη του στην διμοιρία. 1.2 Το όχημα ego στέλνει ένα αίτημα για την ένταξη του στο όχημα-στόχο. 1.3 Το σύστημα διμοιρίας αξιολογεί το αίτημα σύνδεσης και αποδέχεται το αίτημα. Το συρόμενο όχημα μπορεί να εκτελέσει αυτήν την αυτοματοποιημένη ενέργεια χρησιμοποιώντας την κατάσταση κοινής διμοιρίας. 1.4 Η επικοινωνία V2V platooning έχει ρυθμιστεί, συμπεριλαμβανομένων των κλειδιών ασφαλείας και κρυπτογράφησης. 1.5 Τόσο τα οχήματα ego όσο και τα οχήματα που είναι στόχος ξεκινούν την επικοινωνία διμοιρίας μεταξύ τους. 1.6 Και τα δύο οχήματα αναφέρουν προαιρετικά το συμβάν ένωσης στους αντίστοιχους μηχανισμούς διμοιρίας τους. 2.1 Το όχημα ego μειώνει την απόσταση από την απόσταση διμοιρίας.	

	2.2 Εάν χρειάζεται, η διμοιρία μειώνει την ταχύτητα για να επιτρέψει στο όχημα ego να ενταχθεί στη διμοιρία. 2.3 Μόλις μειωθεί το κενό απόστασης, τότε η διμοιρία βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση εάν χρειάζεται η ταχύτητα αυξάνεται στην ταχύτητα του στόχου.	
Final condition	Operation area:	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου Α
	Environmental conditions:	N/A
	Target vehicle(s):	Σε σταθερή κατάσταση διμοιρίας έχοντας το φορτηγό που προστέθηκε πρόσφατα να είναι το νέο συρόμενο φορτηγό.
	Ego vehicle (s):	Σταθερή κατάσταση διμοιρίας ως συρόμενο φορτηγό.
	Application status target vehicle(s):	Platooning Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας στο HMI
	Application status Ego vehicle	Platooning Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας στο HMI
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Διμοιρία σε σταθερή κατάσταση

Platooning

Steady state platooning

Η περίπτωση χρήσης «σταθερής κατάστασης διμοιρίας» είναι η κύρια περίπτωση χρήσης για το platooning και περιγράφει μια διμοιρία που λειτουργεί με μικρή απόσταση/χρόνο μεταξύ των οχημάτων σε μια αποδοτική διαμόρφωση εντός των ορίων διαμήκους ελέγχου που περιγράφονται για την σταθερή κατάσταση διμοιρίας.

ID	3.1	
Name	3.1: Steady state platooning (Σταθερή κατάσταση διμοιρίας)	
Story	Μια ομάδα δύο ή περισσότερων αυτοματοποιημένων συνεργατικών οχημάτων βρίσκεται στη σειρά, διατηρώντας μια κοντινή απόσταση χρησιμοποιώντας ασύρματη επικοινωνία (V2V). Η απόσταση αυτή συνήθως μειώνει την κατανάλωση καυσίμου λόγω της μείωσης της αεροδυναμικής αντίστασης, αυξάνει την ασφάλεια της κυκλοφορίας μέσω της χρήσης πρόσθετης τεχνολογίας ADAS και βελτιώνει τη ροή της κυκλοφορίας επειδή τα οχήματα κινούνται πιο κοντά το ένα στο άλλο και καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο στον δρόμο.	
Initial condition	Operation area (επιχειρησιακή περιοχή):	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου Α
	Environmental conditions (Συνθήκες περιβάλλοντος):	Θετικές συνθήκες για διμοιρία, άλλες καταστάσεις ανιχνεύονται είτε από τον οδηγό είτε από το σύστημα.
	Target vehicle(s) (Οχήματα στόχος):	Διμοιρία σταθερής κατάστασης Το όχημα μπροστά είναι εντός της εμβέλειας των αισθητήρων, εκτός από το φορτηγό που είναι πρώτο.

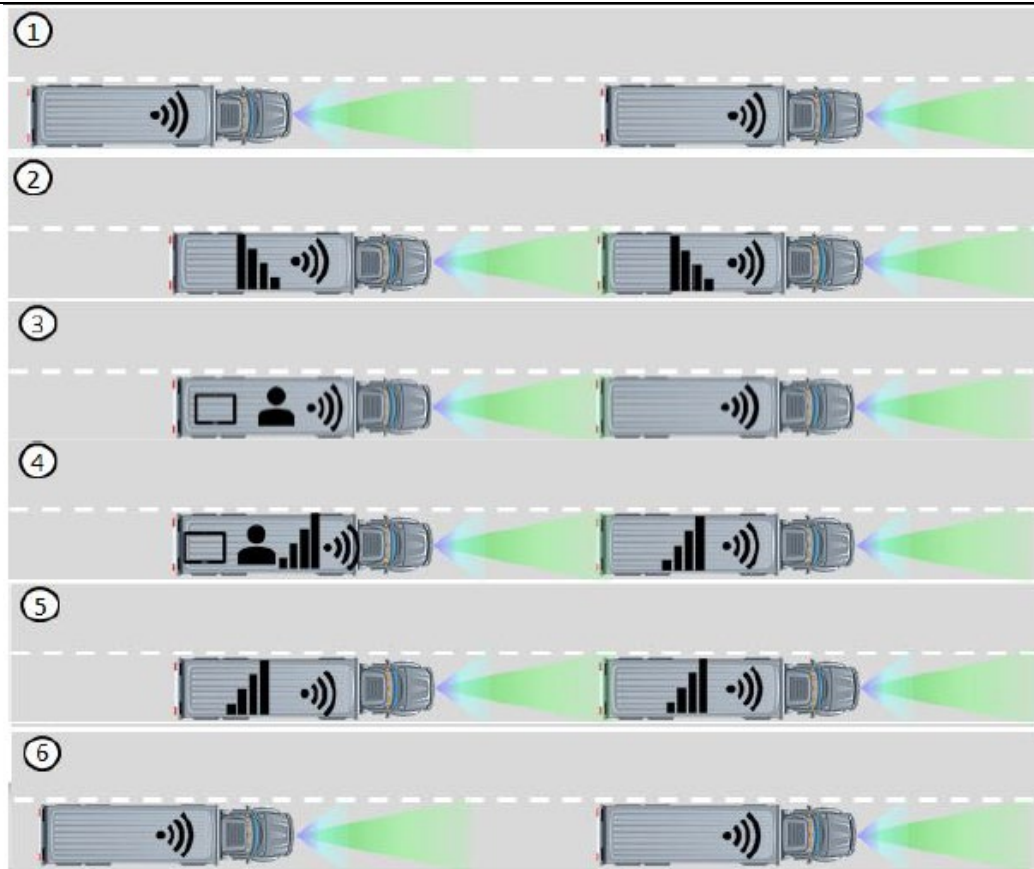
		• Το μπροστινό όχημα είναι εντός εμβέλειας V2V για το φορτηγό που το ακολουθεί. Απαιτείται λήψη από τουλάχιστον 1 πλησιέστερο όχημα μπροστά και πίσω. • Το μπροστινό όχημα είναι εντός εμβέλειας V2V για το τελευταίο φορτηγό. Απαιτείται υποδοχή από τουλάχιστον 1 πλησιέστερο όχημα μπροστά. Τα μηνύματα ελέγχου μέσω V2V αποστέλλονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές.
	Ego vehicle (s):	Διμοιρία σταθερής κατάστασης • Το όχημα μπροστά είναι εντός της εμβέλειας των αισθητήρων, εκτός από το φορτηγό που είναι πρώτο. • Το μπροστινό όχημα είναι εντός εμβέλειας V2V για το φορτηγό που το ακολουθεί. Απαιτείται λήψη από τουλάχιστον 1 πλησιέστερο όχημα μπροστά και πίσω. • Το μπροστινό όχημα είναι εντός εμβέλειας V2V για το τελευταίο φορτηγό. Απαιτείται λήψη από τουλάχιστον 1 πλησιέστερο όχημα μπροστά. Τα μηνύματα ελέγχου μέσω V2V αποστέλλονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές.
	Application status target vehicle(s):	Platooning HMI: Κατάσταση διμοιρίας στο HMI.
	Application status Ego vehicle	Platooning HMI: Κατάσταση διμοιρίας στο HMI.
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Όλα τα συστήματα είναι εντάξει
Trigger	Μετάβαση σε διμοιρία σταθερής κατάστασης επειδή η σχετική ταχύτητα και η σχετική απόσταση μεταξύ των φορτηγών είναι εντός των ανεκτών ορίων της σταθερής κατάστασης.	
Diagram	Ακολουθία περίπτωση χρήσης:  1.1 Το όχημα ego λαμβάνει πληροφορίες διμοιρίας μέσω V2V από τα οχήματα της διμοιρίας. Τουλάχιστον από το προπορευόμενο για το τελευταίο φορτηγό και από το ένα προς τα πίσω για το προπορευόμενο φορτηγό. 1.2 Το όχημα ego εκπέμπει πληροφορίες σε V2V που θα καταναλωθούν από τα άλλα μέλη της διμοιρίας. 1.3 Το όχημα ego ρυθμίζει την ασφαλή απόσταση και την ταχύτητα με βάση το V2V, τον αισθητήρα και τις εσωτερικές πληροφορίες του οχήματος. 1.4 Το όχημα ego στέλνει προαιρετικά πληροφορίες σε εξωτερικές υπηρεσίες για να είναι διαθέσιμες σε άλλες υπηρεσίες cloud:	

	• Κατάσταση platooning • Γεγονότα platooning 1.5 Το όχημα ego ακούει προαιρετικά τα σήματα από τις εξωτερικές υπηρεσίες (π.χ. για να λάβει πρόταση σχηματισμού διμοιρίας) 1.6 Η τήρηση των κανόνων κυκλοφορίας είναι ευθύνη του κάθε οδηγού. 1.7 Εάν το όχημα ego δεν μπορεί να κρατήσει ή να κλείσει ένα κενό, δίνει σήμα μέσω V2V προς τα εμπρός. 1.8 Εάν το κύριο όχημα λάβει πληροφορίες ότι ένα μέλος της διμοιρίας δεν μπορεί να διατηρήσει ή να κλείσει το κενό, ο οδηγός μπορεί να επιλέξει να ρυθμίσει την ταχύτητα / την επιτάχυνση.	
Final condition	Operation area:	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου A
	Environmental conditions:	Θετικές συνθήκες για διμοιρία, άλλες καταστάσεις ανιχνεύονται είτε από τον οδηγό είτε από το σύστημα.
	Target vehicle(s):	Διμοιρία σταθερής κατάστασης • Το όχημα μπροστά είναι εντός της εμβέλειας των αισθητήρων, εκτός από το φορτηγό που είναι πρώτο. • Το μπροστινό όχημα είναι εντός εμβέλειας V2V για το φορτηγό που το ακολουθεί. Απαιτείται λήψη από τουλάχιστον 1 πλησιέστερο όχημα μπροστά και πίσω. • Το μπροστινό όχημα είναι εντός εμβέλειας V2V για το συρόμενο φορτηγό. Απαιτείται λήψη από τουλάχιστον 1 πλησιέστερο όχημα μπροστά. Τα μηνύματα ελέγχου μέσω V2V αποστέλλονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές.
	Ego vehicle (s):	Διμοιρία σταθερής κατάστασης • Το όχημα μπροστά είναι εντός της εμβέλειας των αισθητήρων, εκτός από το φορτηγό που είναι πρώτο. • Το μπροστινό όχημα είναι εντός εμβέλειας V2V για το φορτηγό που το ακολουθεί. Απαιτείται λήψη από τουλάχιστον 1 πλησιέστερο όχημα μπροστά και πίσω. • Το μπροστινό όχημα είναι εντός εμβέλειας V2V για το συρόμενο φορτηγό. Απαιτείται λήψη από τουλάχιστον 1 πλησιέστερο όχημα μπροστά. Τα μηνύματα ελέγχου μέσω V2V αποστέλλονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές.
	Application status target vehicle(s):	Platooning Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας στο HMI
	Application status Ego vehicle	Platooning Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας στο HMI
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Όλα τα συστήματα είναι εντάξει

Follow to stop (&go)

Για την περίπτωση χρήσης «follow to stop» θα παρουσιαστούν δύο ροές, η κύρια ροή και η εναλλακτική ροή. Και οι δύο ροές μπορούν να υλοποιηθούν από τον OEM.

ID	3.2.1	
Name	3.2.1: Follow to stop Main Flow	
Story	Σε ένα εγκατεστημένο platoon σταθερής κατάστασης, ο αρχηγός μειώνει την ταχύτητα κάτω από μια συγκεκριμένη ταχύτητα (η πρώτη υπόθεση είναι 30 χλμ/ώρα) ενός «κανονικού γεγονότος» (κυκλοφοριακή συμφόρηση, σταθμός διοδίων...). Τα ακόλουθα οχήματα θα ακολουθήσουν το αίτημα επιβράδυνσης και θα επιστρέψουν τον διαμήκη έλεγχο στον οδηγό όταν δεν υπάρχει πλέον αίτημα επιβράδυνσης. Ο οδηγός των ακολουθούντων οχημάτων θα πρέπει στη συνέχεια να παρέμβει για να επιστρέψει στην αρχική κατάσταση platooning. Εάν πληρούνται οι προϋποθέσεις, το platoon ανασχηματίζεται αυτόματα (δεν διαλύεται κατά τη διάρκεια του γεγονότος).	
Initial condition	Operation area (επιχειρησιακή περιοχή):	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επίπεδο Α
	Environmental conditions (Συνθήκες περιβάλλοντος):	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α
	Target vehicle(s) (Οχήματα στόχος):	Διμοιρία σταθερής κατάστασης
	Ego vehicle (s):	Διμοιρία σταθερής κατάστασης
	Application status target vehicle(s):	Platooning Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας στο HMI
	Application status Ego vehicle	Platooning Εμφανίζει τον ενεργό στόχο διμοιρίας στο HMI
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία βλάβη του εσωτερικού συστήματος
Trigger	Ταχύτητα προπορευόμενου φορτηγού < από μια ορισμένη ταχύτητα χλμ/ώρα (η πρώτη υπόθεση είναι 30 χλμ/ώρα)	
Diagram	Ακολουθία περίπτωση χρήσης:	



- 1 Αρχική κατάσταση: διμοιρία σε σταθερή κατάσταση.
- 2 Το όχημα-στόχος φρενάρει και η ταχύτητα είναι κάτω από μια συγκεκριμένη τιμή ταχύτητας (η πρώτη υπόθεση είναι 30 χλμ/ώρα). Τα ακολουθούντα οχήματα ακολουθούν το αίτημα φρεναρίσματος.
- 3 Το όχημα-στόχος σταματά την επιβράδυνση, η λειτουργία platooning μπαίνει σε αναμονή, η επικοινωνία V2V παραμένει ενεργή και το HMI ενημερώνει τον οδηγό.
- 4 Το όχημα-στόχος αυξάνει την ταχύτητα, η λειτουργία (C-A)CC (Cooperative Automatic Cruise Control) απενεργοποιείται, η επικοινωνία V2V παραμένει ενεργή και ο οδηγός του ακολουθούμενου οχήματος πατά το πεντάλ του επιταχυντή.
- 5 Όταν ο ακόλουθος φτάσει σε μια ορισμένη ταχύτητα km/h (η πρώτη υπόθεση είναι 30 χλμ/ώρα), το C-ACC ενεργοποιείται ξανά αυτόματα ή συνεχίζεται από τον οδηγό.
- 6 Τελική κατάσταση: διμοιρία σε σταθερή κατάσταση.

Final condition	Operation area:	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου Α
	Environmental conditions:	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α
	Target vehicle(s):	Platooning Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας στο HMI
	Ego vehicle (s):	Platooning Εμφανίζει τον ενεργό στόχο διμοιρίας στο HMI
	Application status target vehicle(s):	Ενήμερος

	Application status Ego vehicle	Ενήμερος
	Driver status target vehicle(s):	Καμία βλάβη του εσωτερικού συστήματος
	Driver status Ego vehicle	Λειτουργία διμοιρίας σε σταθερή κατάσταση
	System status	Λειτουργία διμοιρίας σε σταθερή κατάσταση

ID	3.2.2	
Name	3.2.2: Follow to stop Alternative Flow	
Story	Σε ένα εγκατεστημένο platoon σταθερής κατάστασης, ο αρχηγός μειώνει την ταχύτητα κάτω από μια συγκεκριμένη ταχύτητα (η πρώτη υπόθεση είναι 30 χλμ/ώρα) λόγω ενός «κανονικού γεγονότος» (κυκλοφοριακή συμφόρηση, σταθμός διοδίων...). Τα ακόλουθα οχήματα θα ακολουθήσουν το αίτημα επιβράδυνσης και στη συνέχεια θα επιστρέψουν τον διαμήκη έλεγχο στον οδηγό όταν δεν υπάρχει πλέον αίτημα επιβράδυνσης. Ο οδηγός των ακολουθούντων οχημάτων θα πρέπει στη συνέχεια να παρέμβει για να επιστρέψει στην κατάσταση platooning. Εάν ο οδηγός δεν παρέμβει μέσα σε κάποια δευτερόλεπτα, το φορτηγό θα εισέλθει σε μια περίπτωση χρήσης αποχώρησης.	
Initial condition	Operation area (επιχειρησιακή περιοχή):	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επίπεδο Α
	Environmental conditions (Συνθήκες περιβάλλοντος):	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α
	Target vehicle(s) (Οχήματα στόχος):	Διμοιρία σταθερής κατάστασης
	Ego vehicle (s):	Διμοιρία σταθερής κατάστασης
	Application status target vehicle(s):	Platooning Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας στο HMI
	Application status Ego vehicle	Platooning Εμφανίζει τον ενεργό στόχο διμοιρίας στο HMI
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία βλάβη του εσωτερικού συστήματος
Trigger	Ταχύτητα προπορευόμενου φορτηγού < από μια ορισμένη ταχύτητα χλμ/ώρα (η πρώτη υπόθεση είναι 30 χλμ/ώρα)	
Diagram	Ακολουθία περίπτωση χρήσης:	

Emergency braking

ID	3.3	
Name	Emergency Braking	
Story	Το φορτηγό ego είναι μέρος μιας διμοιρίας και οποιοδήποτε από τα φορτηγά μπροστά (στη διμοιρία) εκτελεί φρενάρισμα έκτακτης ανάγκης. Το φορτηγό ego εκτελεί φρενάρισμα έκτακτης ανάγκης και επιβραδύνει με ασφάλεια για να αποφύγει τη σύγκρουση. Άλλα φορτηγά στη διμοιρία πίσω από το όχημα ego εκτελούν επίσης φρενάρισμα έκτακτης ανάγκης και επιβραδύνουν με ασφάλεια.	
Initial condition	Operation area (επιχειρησιακή περιοχή):	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επίπεδο A
	Environmental conditions (Συνθήκες περιβάλλοντος):	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο A
	Target vehicle(s) (Οχήματα στόχος):	Ο αρχηγός (leader) ή ένας ακόλουθος της διμοιρίας
	Ego vehicle (s):	Ο ακόλουθος ή το τρέιλερ μιας διμοιρίας διατηρεί ένα συγκεκριμένο χρονικό κενό στόχου από το προπορευόμενο όχημα.
	Application status target vehicle(s):	Οποιαδήποτε κατάσταση διμοιρίας (όχι σε αυτόνομη κατάσταση)
	Application status Ego vehicle	Οποιαδήποτε κατάσταση διμοιρίας (όχι σε αυτόνομη κατάσταση)
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία αποτυχία
Trigger	Το φορτηγό μπροστά από το όχημα ego ξεκινά ένα επείγον φρενάρισμα. Η κατάσταση του «επείγοντος φρεναρίσματος» ενεργοποιείται από: - Μια άμεση (προβλεπόμενη) επιβράδυνση του μπροστινού φορτηγού $> 4 \text{ m/s}^2$ - Ο οδηγός ενεργοποιεί το επείγον φρενάρισμα. - Εάν υπάρχει ένα συμβάν ΑΕΒ στα προπορευόμενα οχήματα της διμοιρίας. - Οποιοδήποτε από τα προπορευόμενα φορτηγά μεταδίδει ένα «συμβάν επείγοντος φρεναρίσματος» (ειδοποίηση για το όχημα ego ότι το συμβάν προέρχεται από οποιοδήποτε από τα προπορευόμενα συνεργατικά οχήματα της διμοιρίας)	
Diagram	1. Οποιαδήποτε κατάσταση οδήγησης διμοιρίας  2. Εντοπίστηκε πεντάλ φρεναρίσματος έκτακτης ανάγκης 	

	3. Το φορτηγό ego αντιδρά με τον εξής τρόπο: - Εάν το φορτηγό προστά αξιολογήσει πιθανή σύγκρουση (π.χ. με το ραντάρ ή μέσω συμβάντος V2V/I2V), τότε το μεταδίδει μέσω V2V. - Το φορτηγό ego πρέπει να αντιδράσει για να αποφύγει τη σύγκρουση με το όχημα-στόχο με μια στρατηγική φρεναρίσματος που καθορίζεται από τον κατασκευαστή (OEM). Σημείωση: - Εάν υπάρχουν δύο ή περισσότερα φορτηγά που προηγούνται του οχήματος-στόχου που ξεκινά το συμβάν, το platooning αυτόματα χωρίζεται. - Τα υπόλοιπα μέλη της διμοιρίας θα συνεχίσουν να οδηγούν. - Το φορτηγό ego μεταδίδει αμέσως την προβλεπόμενη και την πραγματική επιβράδυνσή του μέσω V2V. - HMI: Ενημέρωση του οδηγού. - Εκτελεί επείγον φρενάρισμα μέχρι να μην υπάρχει πλέον η επείγουσα κατάσταση ή το όχημα ego να σταματήσει εντελώς. - HMI: Προειδοποιητικά μηνύματα στους οδηγούς σχετικά με το συνεχόμενο επείγον φρενάρισμα (AEB). 												
Final condition	Η τελική κατάσταση του συστήματος εξαρτάται από την ταχύτητα εξόδου του οχήματος ego. Εδώ ορίζουμε 2 περιπτώσεις, α και β. Στην τελική συνθήκη τα α και το β συνδέονται με την κυρία περίπτωση μας. Οι 2 περιπτώσεις είναι: α) Όχημα που κινείται με χαμηλή ταχύτητα (< 30 χλμ/ώρα) ή σε κατάσταση ακινησίας» β) Όχημα που κινείται με ταχύτητα άνω των 30 χλμ/ώρα Γενικά: Οι οδηγοί είναι υπεύθυνοι να συνεχίσουν και στις δύο περιπτώσεις. <table border="1"> <tr> <td>Operation area:</td><td>Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επίπεδο Α</td></tr> <tr> <td>Environmental conditions:</td><td>Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α</td></tr> <tr> <td>Target vehicle(s):</td><td>α) Όχημα που κινείται με χαμηλή ταχύτητα (< 30 χλμ/ώρα) ή είναι σε κατάσταση ακινησίας. β) Όχημα που κινείται με ταχύτητα άνω των 30 χλμ/ώρα</td></tr> <tr> <td>Ego vehicle (s):</td><td>α) Όχημα που κινείται με χαμηλή ταχύτητα (< 30 χλμ/ώρα) ή είναι σε κατάσταση ακινησίας. β) Όχημα που κινείται με ταχύτητα άνω των 30 χλμ/ώρα</td></tr> <tr> <td>Application status target vehicle(s):</td><td>α) Τα φορτηγά αποχωρούν από την διμοιρία, συνεχίζουν αυτόνομα β) HMI: Ο οδηγός μπορεί να συνεχίσει την διμοιρία</td></tr> <tr> <td>Application status Ego vehicle</td><td>α) Τα φορτηγά αποχωρούν από την διμοιρία, συνεχίζουν αυτόνομα</td></tr> </table>	Operation area:	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επίπεδο Α	Environmental conditions:	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α	Target vehicle(s):	α) Όχημα που κινείται με χαμηλή ταχύτητα (< 30 χλμ/ώρα) ή είναι σε κατάσταση ακινησίας. β) Όχημα που κινείται με ταχύτητα άνω των 30 χλμ/ώρα	Ego vehicle (s):	α) Όχημα που κινείται με χαμηλή ταχύτητα (< 30 χλμ/ώρα) ή είναι σε κατάσταση ακινησίας. β) Όχημα που κινείται με ταχύτητα άνω των 30 χλμ/ώρα	Application status target vehicle(s):	α) Τα φορτηγά αποχωρούν από την διμοιρία, συνεχίζουν αυτόνομα β) HMI: Ο οδηγός μπορεί να συνεχίσει την διμοιρία	Application status Ego vehicle	α) Τα φορτηγά αποχωρούν από την διμοιρία, συνεχίζουν αυτόνομα
Operation area:	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επίπεδο Α												
Environmental conditions:	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α												
Target vehicle(s):	α) Όχημα που κινείται με χαμηλή ταχύτητα (< 30 χλμ/ώρα) ή είναι σε κατάσταση ακινησίας. β) Όχημα που κινείται με ταχύτητα άνω των 30 χλμ/ώρα												
Ego vehicle (s):	α) Όχημα που κινείται με χαμηλή ταχύτητα (< 30 χλμ/ώρα) ή είναι σε κατάσταση ακινησίας. β) Όχημα που κινείται με ταχύτητα άνω των 30 χλμ/ώρα												
Application status target vehicle(s):	α) Τα φορτηγά αποχωρούν από την διμοιρία, συνεχίζουν αυτόνομα β) HMI: Ο οδηγός μπορεί να συνεχίσει την διμοιρία												
Application status Ego vehicle	α) Τα φορτηγά αποχωρούν από την διμοιρία, συνεχίζουν αυτόνομα												

		β) HMI: Ο οδηγός μπορεί να συνεχίσει την διμοιρία
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία αποτυχία

Platoon gap adaptation

I2V interaction (Αλληλεπίδραση I2V)

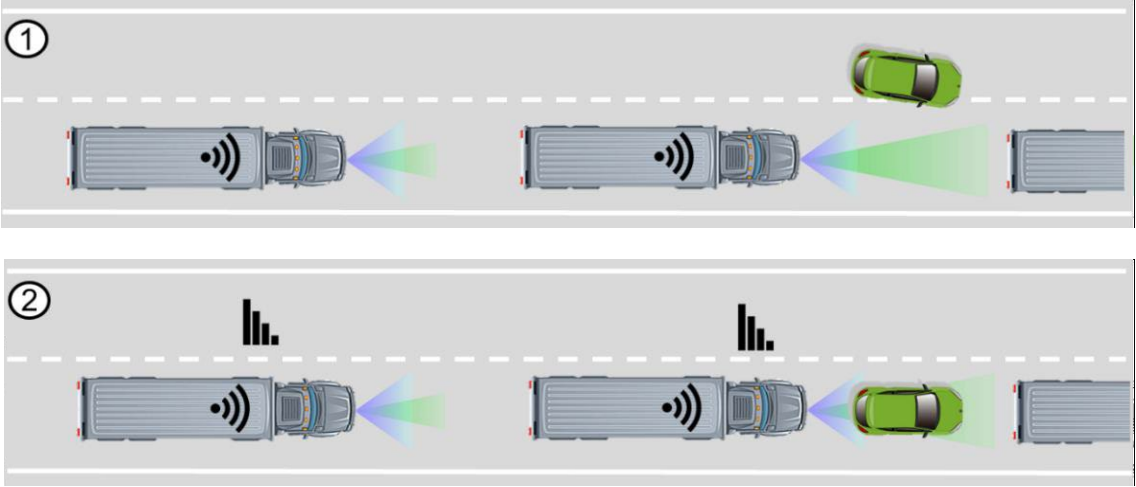
ID	3.4.1	
Name	Προσαρμογή κενού διμοιρίας λόγω αλληλεπίδρασης I2V	
Story	Προαπαιτούμενο: Έχουν τεθεί κατευθυντήριες γραμμές για την πολιτική ζώνης λαμβάνοντας υπόψη τον χρόνο μεταξύ ειδοποίησης και εκτέλεσης της πολιτικής ζώνης για να αποφευχθούν μεγάλες επιβραδύνσεις στο πίσω μέρος του platoon. Αυτό σημαίνει ότι το platoon χρειάζεται χρόνο (και απόσταση) για να συνειδητοποιήσει την πολιτική (π.χ. μεγαλύτερο χρονικό διάκενο, διαφορετική ταχύτητα) πριν φτάσει στη ζώνη. Η διμοιρία λειτουργεί σε σταθερή κατάσταση. Η επικοινωνία I2V ενημερώνει όλα τα διερχόμενα οχήματα στη διμοιρία για μια πολιτική ζώνης που ορίζει: αυξημένες αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων για μια συγκεκριμένη ζώνη που ορίζεται από τις θέσεις GPS για την αρχή και το τέλος. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να είναι μια συγκεκριμένη ταχύτητα ή πλευρική τοποθέτηση κ.λπ. Μετά την ειδοποίηση, η διμοιρία συντονίζεται για να εφαρμόσει την απαιτούμενη πολιτική ζώνης στη διαμόρφωση της. Στο τέλος της ζώνης, η διμοιρία επαναφέρει την προηγούμενη διαμόρφωσή της.	
Initial condition	Operation area (επιχειρησιακή περιοχή):	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου A
	Environmental conditions (Συνθήκες περιβάλλοντος):	Θετικές συνθήκες για διμοιρία, άλλες καταστάσεις ανιχνεύονται είτε από τον οδηγό είτε από το σύστημα.
	Target vehicle(s) (Οχήματα στόχος):	Διμοιρία σταθερής κατάστασης • Το όχημα μπροστά εντός της εμβέλειας των αισθητήρων, εκτός από το φορτηγό που ηγείται. • Το όχημα μπροστά που είναι εντός της εμβέλειας V2V για το φορτηγό που ακολουθεί. Απαιτείται λήψη από τουλάχιστον 1 πλησιέστερο όχημα μπροστά και πίσω. • Το όχημα μπροστά που είναι εντός της εμβέλειας V2V για το τελευταίο φορτηγό. Απαιτείται λήψη από τουλάχιστον 1 πλησιέστερο όχημα μπροστά. • Τα μηνύματα ελέγχου μέσω V2V αποστέλλονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές.
	Ego vehicle (s):	Διμοιρία σταθερής κατάστασης • Το όχημα μπροστά εντός της εμβέλειας των αισθητήρων, εκτός από το φορτηγό που ηγείται. • Το όχημα μπροστά που είναι εντός της εμβέλειας V2V για το φορτηγό που ακολουθεί. Απαιτείται λήψη από τουλάχιστον 1 πλησιέστερο όχημα μπροστά και πίσω.

		- Το όχημα μπροστά που είναι εντός της εμβέλειας V2V για το τελευταίο φορτηγό. Απαιτείται λήψη από τουλάχιστον 1 πλησιέστερο όχημα μπροστά. - Τα μηνύματα ελέγχου μέσω V2V αποστέλλονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές.
	Application status target vehicle(s):	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Application status Ego vehicle	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Όλα τα συστήματα είναι εντάξει
Trigger	Λήψη μηνύματος από το V2I (από την πλευρά του δρόμου, από το εξωτερικό περιβάλλον ή το σύστημα) από τον χειριστή του δρόμου που υποδεικνύει μια προτεινομένη πολιτική ζώνης (π.χ. απόσταση για τη διμοιρία για ένα συγκεκριμένο οδικό τμήμα) από όλα τα οχήματα. Δεδομένου ότι ενδέχεται να μην υπάρχει σύστημα backend στο επίπεδο διμοιρίας A, το παράδειγμα που θα χρησιμοποιηθεί στην επίδειξη μπορεί να είναι το V2I με μια μονάδα στην πλευρά του δρόμου.	
Diagram	Ακολουθία στο χρόνο 1. Οποιαδήποτε κατάσταση οδήγησης διμοιρίας  2. Όλα τα φορτηγά της διμοιρίας λαμβάνουν οδηγίες από το I2V καθώς περνούν μπροστά από μια μονάδα I2V για μείωση της ταχύτητας λόγω συγκεκριμένης κυκλοφορίας, συμπεριλαμβανομένης μιας συγκεκριμένης ζώνης GPS για την αρχή και το τέλος της πολιτικής ζώνης. 3. Η διμοιρία συντονίζεται εσωτερικά για να λαμβάνει υπόψη την απαιτούμενη πολιτική εντός της ζώνης (αλλαγή ταχύτητας, αλλαγή απόστασης μεταξύ οχημάτων κ.λπ.). Ο οδηγός ενημερώνεται μέσω HMI για την προσαρμογή του κενού.  4. Στο τέλος του τμήματος της υποδομής, η διμοιρία επαναλαμβάνει την προηγούμενη διαμόρφωση με συντονισμένο τρόπο.	

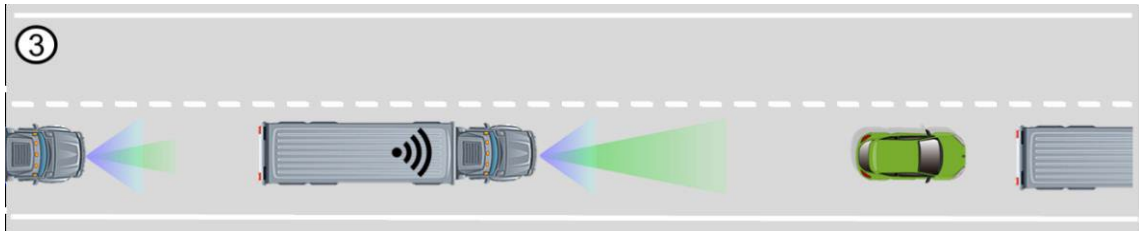
		
Final condition	Operation area:	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου Α
	Environmental conditions:	Θετικές συνθήκες για διμοιρία, άλλες καταστάσεις ανιχνεύονται είτε από τον οδηγό είτε από το σύστημα.
	Target vehicle(s):	Διμοιρία σταθερής κατάστασης • Το όχημα μπροστά εντός της εμβέλειας των αισθητήρων, εκτός από το φορτηγό που ηγείται. • Το όχημα μπροστά που είναι εντός της εμβέλειας V2V για το φορτηγό που ακολουθεί. Απαιτείται λήψη από τουλάχιστον 1 πλησιέστερο όχημα μπροστά και πίσω. • Το όχημα μπροστά που είναι εντός της εμβέλειας V2V για το τελευταίο φορτηγό. Απαιτείται λήψη από τουλάχιστον 1 πλησιέστερο όχημα μπροστά. • Τα μηνύματα ελέγχου μέσω V2V αποστέλλονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές.
	Ego vehicle (s):	Διμοιρία σταθερής κατάστασης • Το όχημα μπροστά εντός της εμβέλειας των αισθητήρων, εκτός από το φορτηγό που ηγείται. • Το όχημα μπροστά που είναι εντός της εμβέλειας V2V για το φορτηγό που ακολουθεί. Απαιτείται λήψη από τουλάχιστον 1 πλησιέστερο όχημα μπροστά και πίσω. • Το όχημα μπροστά που είναι εντός της εμβέλειας V2V για το τελευταίο φορτηγό. Απαιτείται λήψη από τουλάχιστον 1 πλησιέστερο όχημα μπροστά. • Τα μηνύματα ελέγχου μέσω V2V αποστέλλονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές.
	Application status target vehicle(s):	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Application status Ego vehicle	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Όλα τα συστήματα είναι εντάξει

Cut-in (long time)

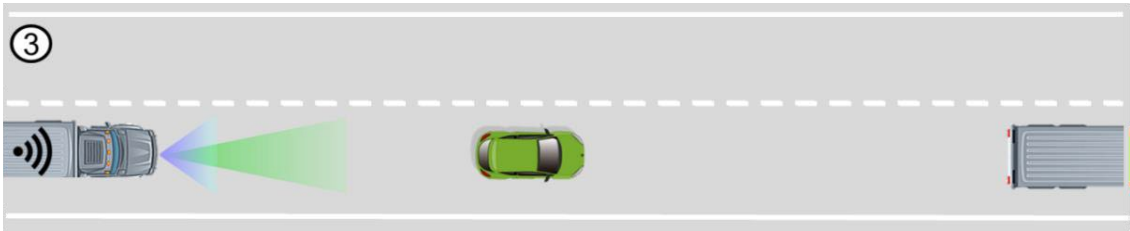
Η περίπτωση χρήσης εισχώρησης περιγράφεται μόνο για εισχώρηση μεταξύ του αρχηγού της διμοιρίας και του φορτηγού που ακολουθεί. Η ίδια περίπτωση χρήσης είναι σχετική για κάθε όχημα που εισχωρεί μέσα στη διμοιρία.

ID	3.4.2	
Name	Διαχείριση εισχώρησης οχήματος μέσα στη διμοιρία. Το όχημα που εισχωρεί παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα (σε αντίθεση με την περίπτωση διέλευσης).	
Story	Τα μέλη της διμοιρίας θα προσαρμόσουν την ταχύτητα και την απόσταση με το όχημα που εισχώρησε και μεταξύ των μελών της διμοιρίας για να εξασφαλίσουν την ασφάλεια. Η διμοιρία θα παραμείνει ως μία οντότητα (σύνδεση V2V) μαζί με τον εισβολέα μέχρι να ισχύσουν κάποιες συνθήκες εξόδου που θα προκαλέσουν τον διαχωρισμό της διμοιρίας.	
Initial condition	Operation area (επιχειρησιακή περιοχή):	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου Α
	Environmental conditions (Συνθήκες περιβάλλοντος):	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α
	Target vehicle(s) (Οχήματα στόχος):	Ένα όχημα με την ίδια ταχύτητα με τα οχήματα της διμοιρίας σχεδιάζει να εισχωρήσει μεταξύ του προπορευόμενου φορτηγού και του ακόλουθου φορτηγού (όχημα ego σε αυτή την περίπτωση) της διμοιρίας. Το όχημα κινείται στη διπλανή λωρίδα.
	Ego vehicle (s):	Το φορτηγό που ακολουθεί σε μια διμοιρία σταθερής κατάστασης.
	Application status Ego vehicle	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία αποτυχία
Trigger	Ανίχνευση της έναρξης μιας εισχώρησης.	
Diagram & sequence	Εικόνες: 1 αρχική κατάσταση, 2 ολοκλήρωση εισχώρησης, σε εξέλιξη η αντίδραση του συστήματος, 3 τελική κατάσταση. 	

Το όχημα που έχει εισχωρήσει συνεχίζει να οδηγεί με σταθερή ταχύτητα:



Το όχημα που έχει εισχωρήσει επιβραδύνει κατά x χλμ/ώρα:



Ακολουθία στο χρόνο:

- Το όχημα ego είναι σε κατάσταση platooning
- Ένα όχημα εισχωρεί μπροστά από το όχημα ego
- Το όχημα ego αυξάνει την απόσταση ακολουθίας (προς ασφαλή απόσταση ακολουθίας) από το εισχωρημένο όχημα επιβραδύνοντας, προκαλώντας την διμοιρία να περάσει σε κατάσταση αναμονής με εισβολέα. Αυτό σημαίνει ότι ο διαμήκης έλεγχος θα πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας μόνο τοπικούς αισθητήρες.

Μπορεί να ισχύουν ορισμένες συνθήκες που προκαλούν τη διάσπαση της διμοιρίας

- AN: Χαθεί η επικοινωνία του οχήματος ego με το προπορευόμενο φορτηγό στη διμοιρία / η ποιότητα της επικοινωνίας είναι πολύ χαμηλή, τότε η διμοιρία διασπάται.
- AN: Η απόσταση μεταξύ του οχήματος ego και του προπορευόμενου φορτηγού της διμοιρίας είναι μεγαλύτερη από X μέτρα, τότε η διμοιρία διασπάται
- AN: Η διάρκεια της εισχώρησης είναι μεγαλύτερη από Y δευτερόλεπτα, τότε η διμοιρία διασπάται
- AN: Η εισχώρηση συμβεί σε τούνελ

Όταν η διμοιρία διασπαστεί:

- AN: Το όχημα ego ήταν το τελευταίο όχημα στη διμοιρία,
- TOTE: Το όχημα ego γίνεται αυτόνομο,
- ΑΛΛΙΩΣ: Το όχημα ego γίνεται το προπορευόμενο όχημα της υπόλοιπης διμοιρίας
- Τα οχήματα της διμοιρίας μπροστά από το όχημα ego θα συνεχίσουν το platooning
- HMI: Ο οδηγός στο όχημα ego και οι οδηγοί της διμοιρίας ενημερώνονται για τις εισχωρήσεις μέσω της τρέχουσας κατάστασης της διμοιρίας.

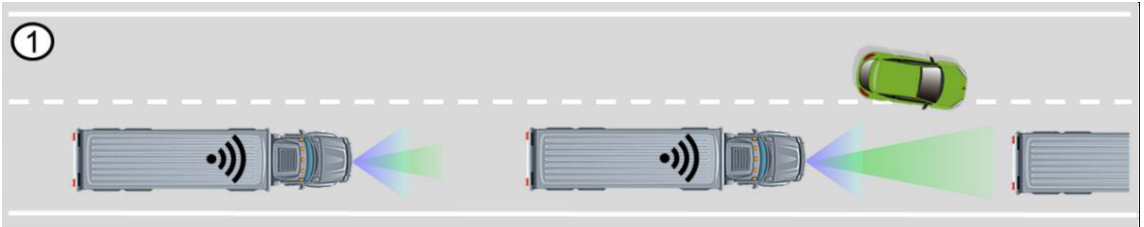
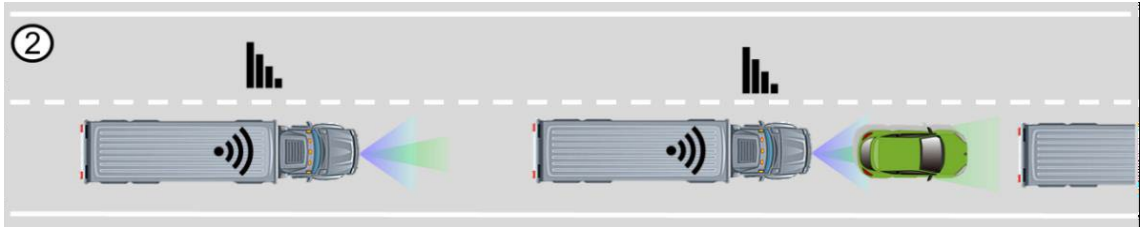
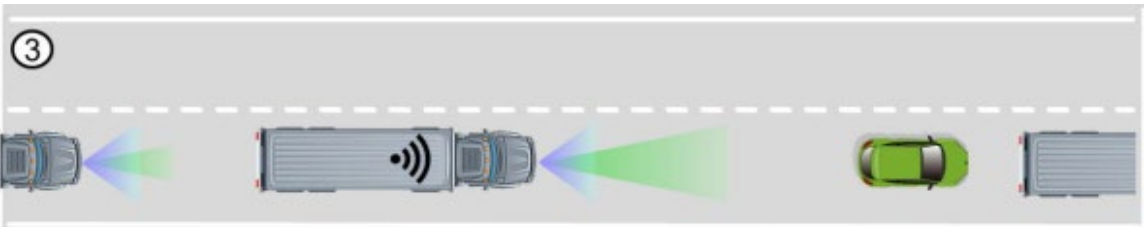
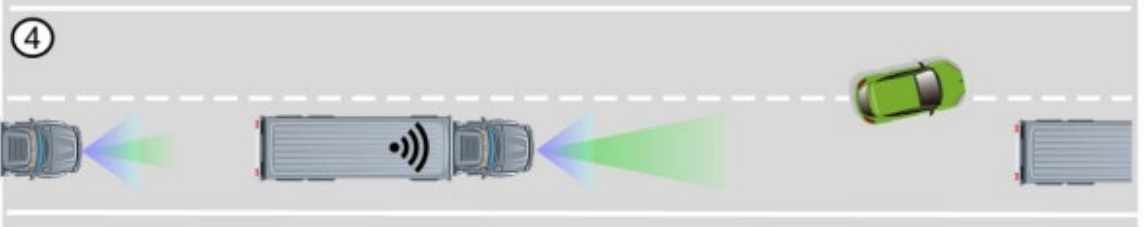
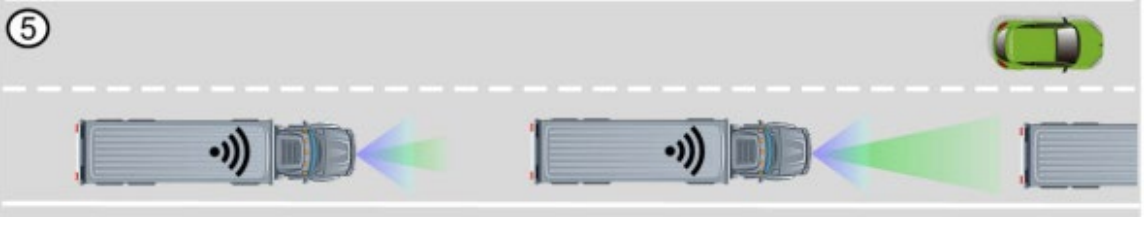
Final condition	Operation area:	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου A
	Environmental conditions:	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο A
	Target vehicle(s):	Όχημα που οδηγεί μέσα στη διμοιρία

Ego vehicle and platoon members:	Σταθερή κατάσταση ακολουθώντας το εισχωρημένο όχημα σε απόσταση LSG (Longitudinal Safety Gap), η οποία αν ισχύει είναι ίση ή μεγαλύτερη από το νόμιμο όριο της χώρας. Το όχημα είναι είτε μέρος της αρχικής διμοιρίας, ηγέτης μιας νέας διμοιρίας ή προαιρετικά αυτόνομο (αν το όχημα παραμένει μόνο του μετά τη διάσπαση της διμοιρίας). Άλλα οχήματα είναι είτε μέρος της αρχικής διμοιρίας, μέρος της νέας διμοιρίας, ή προαιρετικά αυτόνομα (αν το όχημα παραμένει μόνο του μετά τη διάσπαση της διμοιρίας).
Application status Ego vehicle and platoon members	Platooning ή Αυτόνομο HMI: Ο οδηγός ενημερώνεται για τις εισχωρήσεις και την τρέχουσα κατάσταση της διμοιρίας.
Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
System status	Καμία αποτυχία Το επίπεδο υπηρεσίας ενημερώνεται εάν υπάρχει μια νέα κατάσταση διμοιρίας

Cut-in (short time) – cut-through

Η περίπτωση χρήσης εισχώρησης περιγράφεται μόνο για εισχώρηση μεταξύ του ηγέτη και του ακόλουθου φορτηγού. Η ίδια περίπτωση χρήσης αφορά κάθε όχημα που εισχωρεί μέσα στη διμοιρία.

ID	3.4.3	
Name	Διαχείριση εισχώρησης οχήματος μέσα στη διμοιρία. Το εισχωρημένο όχημα παραμένει για μικρό χρονικό διάστημα (διέλευση).	
Story	Τα μέλη της διμοιρίας θα προσαρμόσουν την ταχύτητα και την απόστασή τους προς το εισχωρημένο όχημα και μεταξύ τους για να εξασφαλίσουν την ασφάλεια. Το εισχωρημένο όχημα παραμένει για λίγο χρόνο και έπειτα ακολουθεί η ενέργεια εξόδου. Η διμοιρία θα μειώσει αυτόματα την απόσταση ακολουθίας (κλείσιμο διακένου) προς τα υπόλοιπα μέλη της διμοιρίας και θα συνεχίσει. Όπου χρειάζεται, ο ηγέτης της διμοιρίας θα βοηθήσει στην ενέργεια κλεισίματος του κενού μειώνοντας την ταχύτητά του κατά τη διάρκεια αυτής της ενέργειας	
Initial condition	Operation area (επιχειρησιακή περιοχή):	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου Α
	Environmental conditions (Συνθήκες περιβάλλοντος):	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α
	Target vehicle(s) (Οχήματα στόχος):	Ένα όχημα με την ίδια ταχύτητα με τα οχήματα της διμοιρίας σχεδιάζει να εισχωρήσει μεταξύ του προπορευόμενου φορτηγού και του ακόλουθου φορτηγού (όχημα ego σε αυτή την περίπτωση) της διμοιρίας. Το όχημα κινείται στη διπλανή λωρίδα.
	Ego vehicle (s):	Το φορτηγό που ακολουθεί σε μια διμοιρία σταθερής κατάστασης.

	Application status Ego vehicle	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία βλάβη εσωτερικού συστήματος και η επικοινωνία (V2V) είναι ενεργή.
Trigger	Η αρχή μιας εξόδου ανιχνεύεται ενώ η διμοιρία δεν έχει διασπαστεί.	
Diagram & sequence	①  ②  ③  ④  ⑤  Ακολουθία στο χρόνο: 1. Το όχημα ego είναι σε κατάσταση διμοιρίας. 2. Ένα όχημα εισχωρεί μπροστά από το όχημα ego.	

	3. • Το όχημα ego αυξάνει την απόσταση ακολουθίας (προς ασφαλή απόσταση ακολουθίας) προς το εισχωρημένο όχημα επιβραδύνοντας, προκαλώντας την διμοιρία να περάσει σε κατάσταση αναμονής με εισβολέα. Αυτό σημαίνει ότι ο διαμήκης έλεγχος θα πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας μόνο τοπικούς αισθητήρες. • HMI: Ο οδηγός στο όχημα ego και οι οδηγοί της διμοιρίας ενημερώνονται για τις εισχωρήσεις μέσω της τρέχουσας κατάστασης της διμοιρίας. 4. Το όχημα που έχει εισχωρήσει κάνει ενέργεια εξόδου ή πριν επιτευχθεί η επιθυμητή απόσταση ακολουθίας ή αν η διμοιρία βρίσκεται ακόμα σε κατάσταση αναμονής με εισβολέα στην επιθυμητή απόσταση ακολουθίας. 5. Η διμοιρία μειώνει αυτόματα την απόσταση ξανά στην επιθυμητή απόσταση για διμοιρία. Εάν χρειάζεται (π.χ. το κλείσιμο του κενού είναι πολύ αργό) το προπορευόμενο φορτηγό ενημερώνεται για το πρόβλημα συνοχής της διμοιρίας. Αυτό μπορεί να λυθεί π.χ. με προσωρινή προσαρμογή της ταχύτητας του προπορευόμενου φορτηγού για να εξασφαλιστεί ότι η προσαρμογή του κενου μεταξύ των φορτηγών γίνεται σε μικρότερο χρόνο. Η προσαρμογή μπορεί να γίνει από τον οδηγό ή αν ο οδηγός το επιτρέψει μέσω μιας προαιρετικής αυτοματοποιημένης λειτουργίας βοήθειας. Τα οχήματα της διμοιρίας θα συνεχίσουν το platooning στην αρχική τους ταχύτητα.	
Final condition	Operation area:	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου A
	Environmental conditions:	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο A
	Target vehicle(s):	Ένα όχημα με την ίδια ταχύτητα με τα οχήματα της διμοιρίας σχεδιάζει να εισχωρήσει μεταξύ του προπορευόμενου φορτηγού και του ακόλουθου φορτηγού (όχημα ego σε αυτή την περίπτωση) της διμοιρίας. Το όχημα κινείται στη διπλανή λωρίδα.
	Ego vehicle:	Το φορτηγό που ακολουθεί σε μια διμοιρία σταθερής κατάστασης.
	Application status Ego vehicle	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία αποτυχία εσωτερικού συστήματος και η επικοινωνία (V2V) είναι ενεργή.

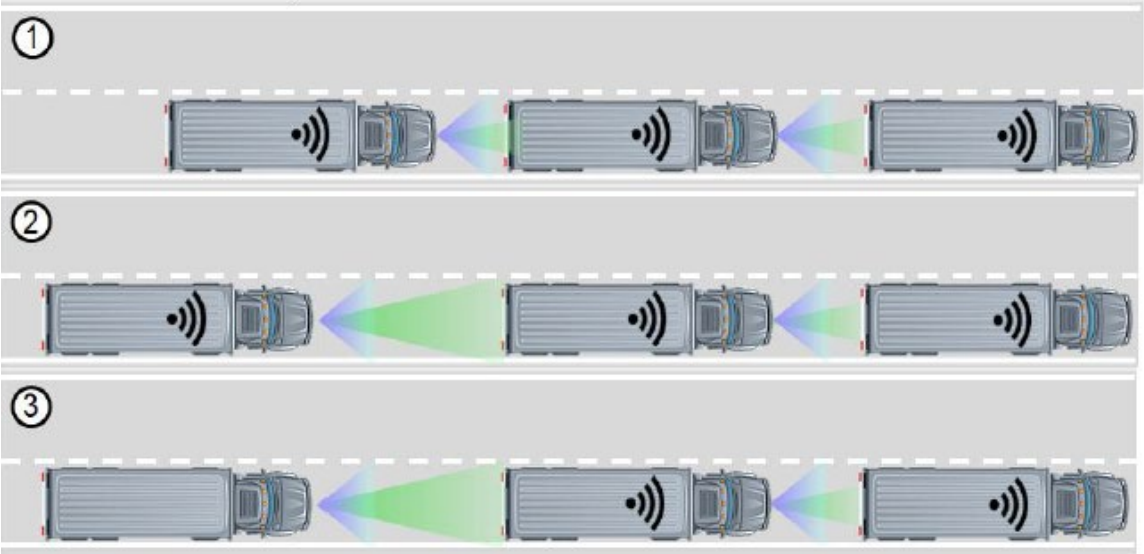
System status (e.g. packet loss)

ID	3.4.4	
Name	Προσαρμογή χρονικού χάσματος διμοιρίας (time gap) λόγω κάποιας κατάστασης συστήματος (π.χ. απώλεια πακέτων)	
Story	Το χρονικό χάσμα μεταξύ των φορτηγών πρέπει να προσαρμοστεί σε μια νέα τιμή. Ο στόχος χρονικού κενού πρέπει να επιτευχθεί μέσα σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα ή πριν φτάσει σε μια δεδομένη τοποθεσία.	
Initial condition	Operation area (επιχειρησιακή περιοχή):	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου Α
	Environmental conditions (Συνθήκες περιβάλλοντος):	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α
	Target vehicle(s) (Οχήματα στόχος):	Ο ηγέτης ή ο ακόλουθος μιας διμοιρίας οδηγεί σε καθορισμένο στόχο χρονικού χάσματος από το προπορευόμενο φορτηγό.
	Ego vehicle (s):	Ο ηγέτης ή ο ακόλουθος μιας διμοιρίας οδηγεί σε καθορισμένο στόχο χρονικού χάσματος από το προπορευόμενο φορτηγό.
	Application status target vehicle(s):	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Application status Ego vehicle	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία αποτυχία
Trigger	Το περιβάλλον έχει αλλάξει, οπότε πρέπει να εφαρμοστεί ένας νέος στόχος χρονικού κενού - χάσματος μεταξύ των φορτηγών. Δεν υπάρχει άλλο όχημα μεταξύ του φορτηγού ego και του προπορευόμενου φορτηγού. Τα παρακάτω γεγονότα ενεργοποιούν αυτό το σενάριο: • Αλλαγή στην κλίση του δρόμου • Αίτημα οδηγού (λόγω καιρικών συνθηκών ή ορατότητας) • Απώλεια Γεωγραφικού εντοπισμού/Χαμηλή ακρίβεια τοποθεσίας • Αλλαγή εκτίμησης δυνατοτήτων ηλεκτρονικού συστήματος φρένων • Διοικητικό αίτημα (γέφυρες, σταθμοί διοδίων, τούνελ κ.λπ.) • Λήξη ανώμαλης κατάστασης (επιστροφή σε κανονική λειτουργία) • Υποβάθμιση ή βελτίωση αισθητήρων (μεγαλύτερη/μικρότερη αβεβαιότητα αισθητήρων) • Απώλεια πακέτων V2V μέσα σε συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο	
Diagram	1. Αρχική κατάσταση: τρέχον χρονικό κενό.	

	 2. Το χρονικό χάσμα θα προσαρμόζεται με βάση το συμβάν ενεργοποίησης. Το γεγονός ασφαλείας θα έχει ως αποτέλεσμα ταχύτερη αντίδραση του συστήματος και αύξηση του χρονικού διαστήματος, ενώ άλλα συμβάντα θα έχουν ως αποτέλεσμα την ομαλή μετάβαση για να αποτραπεί η αυξημένη κατανάλωση καυσίμου και να μην δημιουργηθούν διαταραχές στον έλεγχο 3. HMI: Οι αλλαγές κενού κοινοποιούνται στον οδηγό 4. Τελική κατάσταση: νέο χρονικό διάστημα μεταξύ του οχήματος ego και του μπροστινού οχήματος.																		
Final condition	Το χρονικό χάσμα του οχήματος ego με το μπροστινό όχημα έχει προσαρμοστεί (αυξήθηκε ή μειώθηκε) και η διμοιρία λειτουργεί σε σταθερή κατάσταση με τη νέα τιμή χάσματος. Κάθε φορτηγό αναμένεται να λάβει τις απαιτούμενες ενέργειες για να προσαρμόσει το χρονικό διάστημα στο μπροστινό όχημα <table border="1"> <tr> <td>Operation area:</td><td>Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου Α</td></tr> <tr> <td>Environmental conditions:</td><td>Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α</td></tr> <tr> <td>Target vehicle(s):</td><td>Το προπορευόμενο ή το ακολουθούμενο φορτηγό μιας διμοιρίας οδηγεί με το νέο στόχο χρονικού κενού από το προπορευόμενο φορτηγό. Τα υπόλοιπα οχήματα της διμοιρίας συνεχίζουν να οδηγούν με το αρχικό χρονικό κενό.</td></tr> <tr> <td>Ego vehicle (s):</td><td>Το ακόλουθο ή το τελευταίο φορτηγό μιας διμοιρίας οδηγεί με το νέο στόχο χρονικού κενού από το προπορευόμενο φορτηγό.</td></tr> <tr> <td>Application status target vehicle(s):</td><td>Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.</td></tr> <tr> <td>Application status Ego vehicle</td><td>Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.</td></tr> <tr> <td>Driver status target vehicle(s):</td><td>Ενήμερος</td></tr> <tr> <td>Driver status Ego vehicle</td><td>Ενήμερος</td></tr> <tr> <td>System status</td><td>Καμία αποτυχία</td></tr> </table>	Operation area:	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου Α	Environmental conditions:	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α	Target vehicle(s):	Το προπορευόμενο ή το ακολουθούμενο φορτηγό μιας διμοιρίας οδηγεί με το νέο στόχο χρονικού κενού από το προπορευόμενο φορτηγό. Τα υπόλοιπα οχήματα της διμοιρίας συνεχίζουν να οδηγούν με το αρχικό χρονικό κενό.	Ego vehicle (s):	Το ακόλουθο ή το τελευταίο φορτηγό μιας διμοιρίας οδηγεί με το νέο στόχο χρονικού κενού από το προπορευόμενο φορτηγό.	Application status target vehicle(s):	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.	Application status Ego vehicle	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος	System status	Καμία αποτυχία
Operation area:	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου Α																		
Environmental conditions:	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α																		
Target vehicle(s):	Το προπορευόμενο ή το ακολουθούμενο φορτηγό μιας διμοιρίας οδηγεί με το νέο στόχο χρονικού κενού από το προπορευόμενο φορτηγό. Τα υπόλοιπα οχήματα της διμοιρίας συνεχίζουν να οδηγούν με το αρχικό χρονικό κενό.																		
Ego vehicle (s):	Το ακόλουθο ή το τελευταίο φορτηγό μιας διμοιρίας οδηγεί με το νέο στόχο χρονικού κενού από το προπορευόμενο φορτηγό.																		
Application status target vehicle(s):	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.																		
Application status Ego vehicle	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.																		
Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος																		
Driver status Ego vehicle	Ενήμερος																		
System status	Καμία αποτυχία																		

Disengage platoon

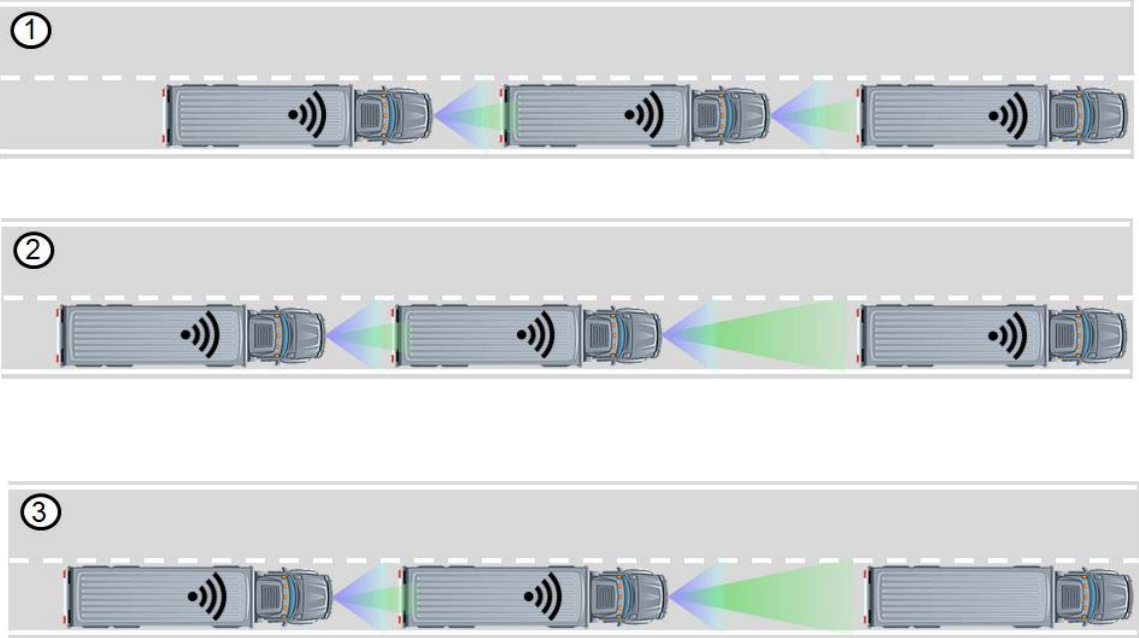
Leave by trailing truck

ID	3.5.1.1	
Name	Το τελευταίο φορτηγό αποχωρεί από τη διμοιρία.	
Story	Όσο η διμοιρία είναι ενεργή, το όχημα ego ξεκινά τη διαδικασία αποχώρησης. Το σύστημα αυξάνει το χρονικό χάσμα μεταξύ των οχημάτων στο LSG (νόμιμο ασφαλές χάσμα) σε σχέση με το προπορευόμενο όχημα και, όταν επιτευχθεί, επιστρέφει τον έλεγχο στον οδηγό.	
Initial condition	Operation area (επιχειρησιακή περιοχή):	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου Α
	Environmental conditions (Συνθήκες περιβάλλοντος):	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επιπέδου Α
	Target vehicle(s) (Οχήματα στόχος):	Φορτηγό που ακολουθεί σε σταθερή κατάσταση σε υπάρχουσα διμοιρία.
	Ego vehicle (s):	Φορτηγό που ακολουθεί σε σταθερή κατάσταση σε υπάρχουσα διμοιρία.
	Application status target vehicle(s):	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Application status Ego vehicle	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία αποτυχία
Trigger	Ο οδηγός ego ξεκινά τη διαδικασία αποχώρησης.	
Diagram	Εικόνα: 1. Αρχική Κατάσταση 2. Τελική Κατάσταση  1.1 Η εφαρμογή του οχήματος ego εισέρχεται σε λειτουργία «Αποχώρησης». 1.2 Η έναρξη της διαδικασίας αποχώρησης από το όχημα ego μεταδίδεται στα υπόλοιπα μέλη της διμοιρίας μέσω επικοινωνίας V2V.	

	2 Το όχημα ego αρχίζει να αυξάνει το χρονικό χάσμα μεταξύ των οχημάτων σε σχέση με τον στόχο. 3.1 Όταν επιτευχθεί το LSG, η επικοινωνία platooning του οχήματος ego αποσυνδέεται. 3.2 Όταν επιτευχθεί το LSG, το HMI του οχήματος ego ενημερώνει τον οδηγό ότι η υποστήριξη platooning δεν είναι πλέον διαθέσιμη. 3.3 Όταν επιτευχθεί το LSG, η εφαρμογή του οχήματος ego εισέρχεται σε λειτουργία «Αυτόνομο». 3.4 Όταν επιτευχθεί το LSG, τα υπόλοιπα μέλη της διμοιρίας συνεχίζουν το platooning. 3.5 Το όχημα στόχος και η υπόλοιπη διμοιρία πρέπει να επαναδιαπραγματευθούν το κλειδί κρυπτογράφησης.	
Final Condition	Operation area:	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου A
	Environmental conditions:	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο A
	Target vehicle(s):	Φορητό που ακολουθεί σε σταθερή κατάσταση σε υπάρχουσα διμοιρία.
	Ego vehicle (s):	Φορητό σε αυτόνομη κατάσταση οδηγεί με απόσταση ακολουθίας LSG.
	Application status target vehicle(s):	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Application status Ego vehicle	Αυτόνομη κατάσταση (Αυτόνομο HMI, μπορεί να είναι συγκεκριμένο για OEM)
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Πλατφόρμα οχήματος: χωρίς βλάβη V2V: το ίδιο με την «αυτόνομη» κατάσταση με ενεργή τη λειτουργία Platooning

Leave by leading truck

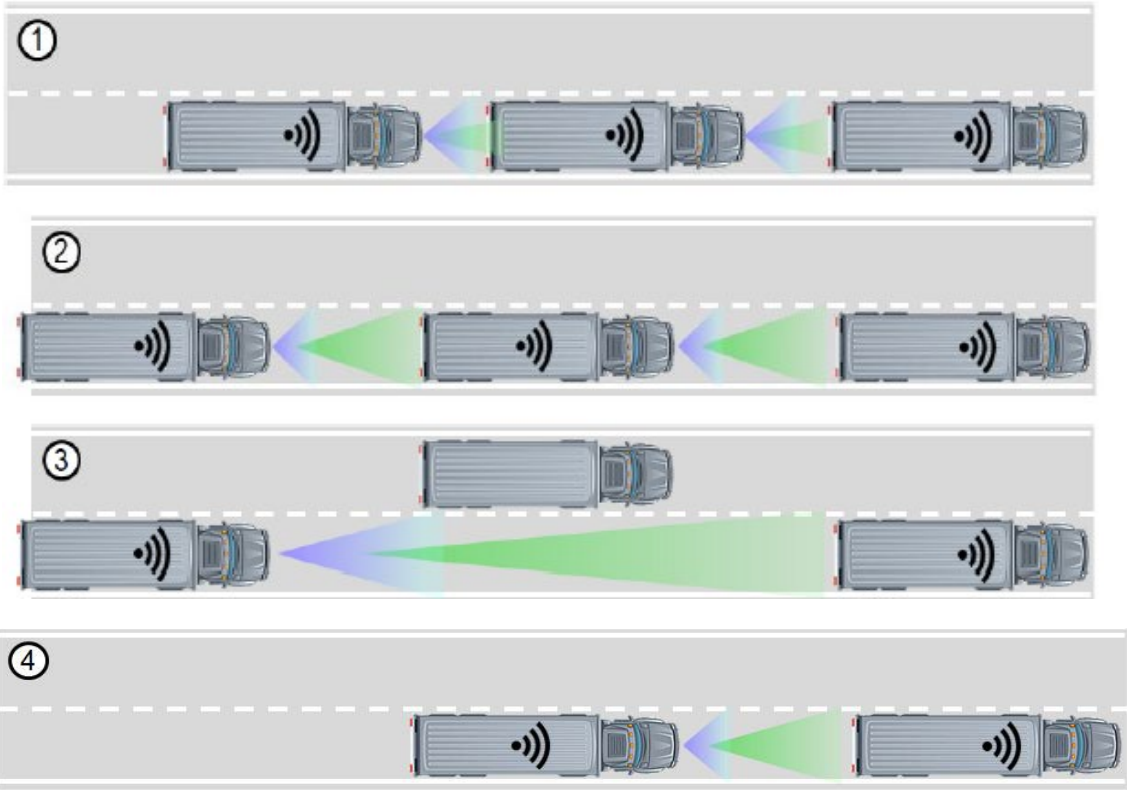
ID	3.5.1.2	
Name	Το προπορευόμενο όχημα αποχωρεί από τη διμοιρία.	
Story	Όσο η διμοιρία είναι ενεργή, το προπορευόμενο όχημα ξεκινά τη διαδικασία αποχώρησης. Το σύστημα του πρώτου ακολουθούντος οχήματος αυξάνει το χρονικό διάκενο μεταξύ των οχημάτων στο LSG. Όταν επιτευχθεί, το προπορευόμενο όχημα συνεχίζει ως αυτόνομο φορητό, μετά την κατάλληλη μετάβαση του ελέγχου στον οδηγό, ενώ τα υπόλοιπα συνεχίζουν ως νέα διμοιρία. Το πρώτο φορητό που ακολουθούσε το προπορευόμενο αναλαμβάνει το ρόλο του ηγέτη στη διμοιρία.	
Initial condition	Operation area (επιχειρησιακή περιοχή):	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου A

	Environmental conditions (Συνθήκες περιβάλλοντος):	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επιπέδου Α
	Target vehicle(s) (Οχήματα στόχος):	Σταθερή κατάσταση. Πρωτο φορτηγό που ακολουθεί την υπάρχουσα διμοιρία
	Ego vehicle (s):	Σταθερή κατάσταση. Ο αρχηγός της υπάρχουσας διμοιρίας.
	Application status target vehicle(s):	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Application status Ego vehicle	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία αποτυχία
Trigger	Ο οδηγός ego ξεκινά τη διαδικασία αποχώρησης.	
Diagram	Εικόνα: 1. Αρχική Κατάσταση 2. Τελική Κατάσταση  1.1 Η εφαρμογή του οχήματος ego εισέρχεται σε λειτουργία «Αποχώρησης». 1.2 Η έναρξη της διαδικασίας αποχώρησης από το όχημα ego μεταδίδεται στα υπόλοιπα μέλη της διμοιρίας μέσω επικοινωνίας V2V (μήνυμα που θα εισαχθεί). 2 Το όχημα στόχος αρχίζει να αυξάνει το χρονικό χάσμα μεταξύ των οχημάτων σε σχέση με το όχημα ego. 3.1 Όταν επιτευχθεί το LSG, το όχημα στόχος επικοινωνεί με το όχημα ego μέσω επικοινωνίας V2V (ειδοποίηση/αίτημα αποχώρησης).	

	3.2 Όταν επιτευχθεί το LSG, τα υπόλοιπα μέλη της διμοιρίας πρέπει να διασφαλίσουν ότι μπορούν να συνεχίσουν το platooning (π.χ. αν χρειαστεί να επαναδιαπραγματευθούν το κλειδί κρυπτογράφησης V2V). 3.3 Το HMI του οχήματος στόχου ενημερώνει τον οδηγό για τον νέο του ρόλο στη διμοιρία. 3.4 Το όχημα στόχος γίνεται ο νέος ηγέτης της διμοιρίας. 3.5 Η επικοινωνία platooning του οχήματος ego αποσυνδέεται. 3.6 Η εφαρμογή του οχήματος ego εισέρχεται σε λειτουργία «Αυτόνομο». 3.7 Η εκπλήρωση του HMI για τα υπόλοιπα μέλη της διμοιρίας είναι: «Κατάσταση σταθερού platooning». 3.8 Η εφαρμογή για τα υπόλοιπα μέλη της διμοιρίας είναι: «Κατάσταση σταθερού platooning».	
Final Condition	Operation area:	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου A
	Environmental conditions:	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο A
	Target vehicle(s):	Φορητό σε σταθερή κατάσταση, ηγείται της νέας διμοιρίας.
	Ego vehicle (s):	Φορητό σε αυτόνομη κατάσταση οδηγεί με απόσταση ακολουθίας LSG.
	Application status target vehicle(s):	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Application status Ego vehicle	Αυτόνομη κατάσταση (Αυτόνομο HMI, μπορεί να είναι συγκεκριμένο για OEM)
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Πλατφόρμα οχήματος: χωρίς βλάβη V2V: το ίδιο με την «αυτόνομη» κατάσταση με ενεργή τη λειτουργία Platooning

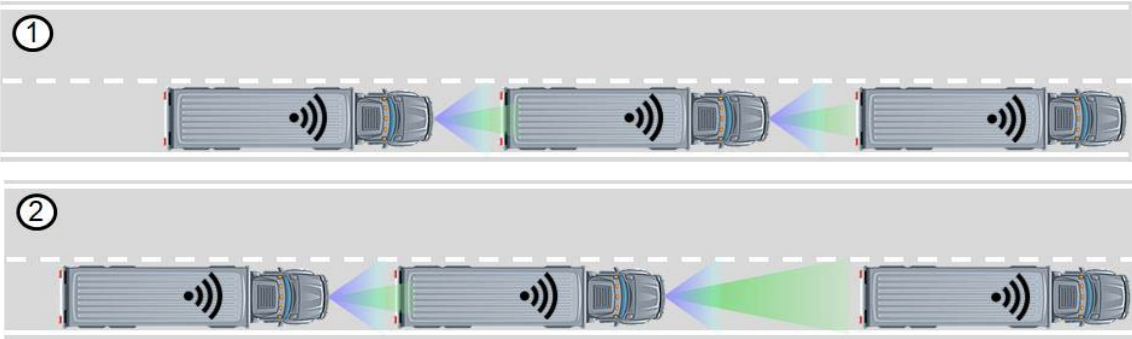
Leave by following truck

ID	3.5.1.3	
Name	Το ακόλουθο φορητό αποχωρεί από την διμοιρία	
Story	Όσο η διμοιρία είναι ενεργή, ένα από τα ακόλουθα οχήματα (ούτε ο ηγέτης ούτε το τελευταίο όχημα) ξεκινά τη διαδικασία αποχώρησης. Το σύστημα του πρώτου διαδοχικού οχήματος αυξάνει το χρονικό χάσμα μεταξύ των οχημάτων στο LSG σε σχέση με το όχημα ego, ενώ το όχημα ego αυξάνει το χρονικό χάσμα σε σχέση με το προπορευόμενο όχημά του. Όταν και τα δύο οχήματα φτάσουν στο LSG, το όχημα ego συνεχίζει ως αυτόνομο φορητό, μετά την μετάβαση ελέγχου στον οδηγό. Ο οδηγός του αρχικού ακόλουθου οχήματος κάνει ενέργεια εξόδου και στη συνέχεια τα υπόλοιπα μέλη της διμοιρίας κλείνουν το χάσμα – κενό αφού ολοκληρωθεί η ενέργεια εξόδου και συνεχίζουν ως μία διμοιρία.	
Initial condition	Operation area (επιχειρησιακή περιοχή):	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου A

	Environmental conditions (Συνθήκες περιβάλλοντος):	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επιπέδου Α
	Target vehicle(s) (Οχήματα στόχος):	Φορτηγό σε σταθερή κατάσταση, διαδοχικό του οχήματος ego, σε υπάρχουσα διμοιρία.
	Ego vehicle (s):	Σταθερή κατάσταση. Ακόλουθος της υπάρχουσας διμοιρίας.
	Application status target vehicle(s):	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Application status Ego vehicle	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία αποτυχία
Trigger	Ο οδηγός ego ξεκινά τη διαδικασία αποχώρησης.	
Diagram	Εικόνα: 1. Αρχική Κατάσταση 4. Τελική Κατάσταση  1. Η εφαρμογή του οχήματος ego εισέρχεται σε λειτουργία «Αποχώρηση». 2.1 Η έναρξη της διαδικασίας αποχώρησης από το όχημα ego μεταδίδεται στα υπόλοιπα μέλη της διμοιρίας μέσω επικοινωνίας V2V (μήνυμα που θα εισαχθεί).	

	2.2 Το όχημα στόχος αρχίζει να αυξάνει το χρονικό χάσμα μεταξύ των οχημάτων σε σχέση με το όχημα ego, λαμβάνοντας υπόψη επίσης τις ανάγκες του οχήματος ego να αυξήσει το χάσμα του σε σχέση με το προπορευόμενο όχημα. 2.3 Το όχημα ego αρχίζει να αυξάνει το χρονικό κενό σε σχέση με το προπορευόμενο όχημα. 2.4 Όλα τα HMIs των φορητών εμφανίζουν πληροφορίες σχετικά με την αποχώρηση ενός φορητού και τη θέση του. 2.5 Όταν επιτευχθεί το LSG, το όχημα στόχος επικοινωνεί με το όχημα ego μέσω επικοινωνίας V2V (ειδοποίηση/αίτημα αποχώρησης). 2.6 Όταν επιτευχθεί το LSG, το όχημα ego επικοινωνεί με το προπορευόμενο όχημα μέσω επικοινωνίας V2V (ειδοποίηση/αίτημα αποχώρησης). 2.7 Η επικοινωνία platooning του οχήματος ego αποσυνδέεται. 2.8 Το HMI του οχήματος ego ενημερώνει τον οδηγό ότι η υποστήριξη platooning δεν είναι πλέον διαθέσιμη. 2.9 Τα υπόλοιπα μέλη της διμοιρίας πρέπει να επαναδιαπραγματευθούν το κλειδί κρυπτογράφησης. 3. Η εφαρμογή του οχήματος ego εισέρχεται σε λειτουργία «Αυτόνομο» και ο οδηγός εκτελεί την ενέργεια εξόδου. 4.1 Η νέα διαμόρφωση της διμοιρίας εμφανίζεται σε όλα τα HMIs των υπολοίπων φορητών της. 4.2 Τα υπόλοιπα μέλη της διμοιρίας κλείνουν το κενό και συνεχίζουν ως διμοιρία. Εναλλακτική ροή: αν η επικοινωνία χαθεί κατά τη διάρκεια/πριν το κλείσιμο του χάσματος τότε η διμοιρία θα συνεχίσει ως δύο ξεχωριστά τμήματα σύμφωνα με την «περίπτωση χρήσης διαχωρισμού (split)».	
Final Condition	Operation area:	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επίπεδο Α
	Environmental conditions:	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α
	Target vehicle(s):	Φορητό σε σταθερή κατάσταση, διαδοχικό του οχήματος ego, σε υπάρχουσα διμοιρία.
	Ego vehicle (s):	Φορητό σε αυτόνομη κατάσταση οδηγεί με απόσταση ακολουθίας LSG.
	Application status target vehicle(s):	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Application status Ego vehicle	Αυτόνομη κατάσταση (Αυτόνομο HMI, μπορεί να είναι συγκεκριμένο για OEM)
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Πλατφόρμα οχήματος: χωρίς βλάβη V2V: το ίδιο με την «αυτόνομη» κατάσταση με ενεργή τη λειτουργία Platooning

Split (following truck)

ID	3.5.2	
Name	Διαχωρισμός διμοιρίας από το φορτηγό που ακολουθεί.	
Story	Όσο η διμοιρία είναι ενεργή, ένα από τα ακόλουθα οχήματα (ούτε ο ηγέτης ούτε το τελευταίο όχημα) ξεκινά τη διαδικασία διαχωρισμού. Το όχημα ego θα αυξήσει το χρονικό κενό σε σχέση με το προπορευόμενο όχημα. Όταν και τα δύο οχήματα φτάσουν στο LSG, η αρχική διμοιρία συνεχίζει ως δύο νέες διμοιρίες με το όχημα ego να είναι το προπορευόμενο φορτηγό της μιας από αυτές.	
Initial condition	Operation area (επιχειρησιακή περιοχή):	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επιπέδου Α
	Environmental conditions (Συνθήκες περιβάλλοντος):	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επιπέδου Α
	Target vehicle(s) (Οχήματα στόχος):	Φορτηγό σε σταθερή κατάσταση, διαδοχικό του οχήματος ego, σε υπάρχουσα διμοιρία.
	Ego vehicle (s):	Σταθερή κατάσταση. Ακόλουθος της υπάρχουσας διμοιρίας.
	Application status target vehicle(s):	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Application status Ego vehicle	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Καμία αποτυχία
Trigger	Τα γεγονότα που μπορούν να ενεργοποιήσουν τον διαχωρισμό της διμοιρίας είναι: - Εισβολές/εις που παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα. - Περισσότεροι από ένας εισβολείς είναι παρόντες στη λωρίδα της διμοιρίας (αναγνωρίζεται από τη σχετική απόσταση μεταξύ των δύο μελών της διμοιρίας ή από δύο διαδοχικές εισχωρήσεις) - Το όχημα ego δεν μπορεί πλέον να ακολουθήσει το στόχο (π.χ. ανηφορικά), ο στόχος χρονικού χάσματος αυξάνεται μέχρι το όριο του συστήματος να διαχωρίσει τη διμοιρία. - Αίτημα του οδηγού για διαχωρισμό της διμοιρίας.	
Diagram	 The diagram consists of two parts, labeled 1 and 2, showing a top-down view of a road with a dashed center line. In part 1, a truck (ego) is positioned behind a platoon of three trucks. A green cone representing the sensor range of the ego truck is shown extending forward, reaching the first truck of the platoon. In part 2, the ego truck has moved closer to the platoon, and its green sensor cone now extends further forward, reaching the second truck of the platoon.	

	1.1 Η εφαρμογή του οχήματος ego εισέρχεται σε λειτουργία «Διαχωρισμού». 1.2 Η έναρξη της διαδικασίας διαχωρισμού από το όχημα ego μεταδίδεται στο στόχο μέσω επικοινωνίας V2V. 1.3 Το όχημα ego ανοίγει το κενό προς το στόχο. 2.1 Όταν επιτευχθεί το LSG, η κατάσταση του οχήματος ego επικοινωνείται μέσω επικοινωνίας V2V (PCM). 2.2 Η επικοινωνία V2V του οχήματος ego (V2X-PCM) με το στόχο αποσυνδέεται. 2.3 Η διμοιρία διαχωρίζεται σε 2 κλάδους. 2.4 Οι οδηγοί ενημερώνονται για την αλλαγή κατάστασης της διμοιρίας σε 2 κλάδους και σε ποιον κλάδο ανήκουν. 2.5 Ο οδηγός του οχήματος ego ενημερώνεται ότι αναλαμβάνει το νέο ρόλο ως ηγέτης της διμοιρίας. 2.6 Το όχημα ego γίνεται ο νέος ηγέτης της διμοιρίας. 2.7 Το HMI του οχήματος ego ενημερώνει τον οδηγό για το νέο του ρόλο στη διμοιρία. 2.8 Η νέα διαμόρφωση της διμοιρίας εμφανίζεται στα HMIs και των δύο κλάδων των φορητών. 2.9 Οι δύο κλάδοι της διμοιρίας συνεχίζουν το platooning.	
Final Condition	Operation area:	Οποιαδήποτε από την επιχειρησιακή περιοχή εντός του ODD για Διμοιρία Επίπεδο Α
	Environmental conditions:	Οποιαδήποτε περιβαλλοντική συνθήκη εντός του ODD για διμοιρία Επίπεδο Α
	Target vehicle(s):	Φορητό σε σταθερή κατάσταση, το τελευταίο φορητό μιας από τις εναπομείναντες διμοιρίες.
	Ego vehicle (s):	Το προπορευόμενο φορητό μιας από τις εναπομείναντες διμοιρίες.
	Application status target vehicle(s):	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Application status Ego vehicle	Platooning HMI: Εμφανίζει την κατάσταση διμοιρίας: ενεργή διμοιρία, πληροφορίες και λειτουργίες ειδικές για διμοιρία.
	Driver status target vehicle(s):	Ενήμερος
	Driver status Ego vehicle	Ενήμερος
	System status	Πλατόρμα οχήματος: χωρίς βλάβη

Tutorial Platooning

Διαδικασία δημιουργίας platooning

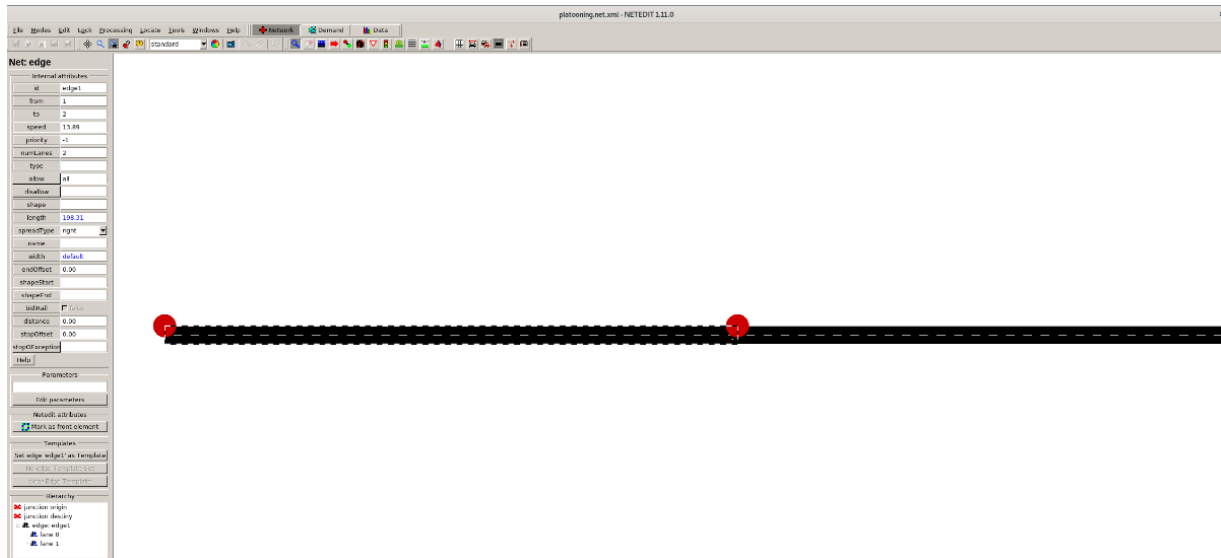
NETEDIT

Το NETEDIT είναι ένα εργαλείο γραφικής επεξεργασίας δικτύων που χρησιμοποιείται κυρίως σε συνδυασμό με το Simulation of Urban MObility (SUMO) για προσομοίωση κυκλοφορίας. Το NETEDIT επιτρέπει στους χρήστες να σχεδιάζουν, να επεξεργάζονται και να διαχειρίζονται οδικά δίκτυα οπτικά, τα οποία χρησιμοποιούνται για προσομοιώσεις κυκλοφορίας.

Βήμα 1

Στο NETEDIT ως πρώτο βήμα φτιάχνουμε το network. Το network αποτελείται από τον δρόμο που έχει 6 edges.

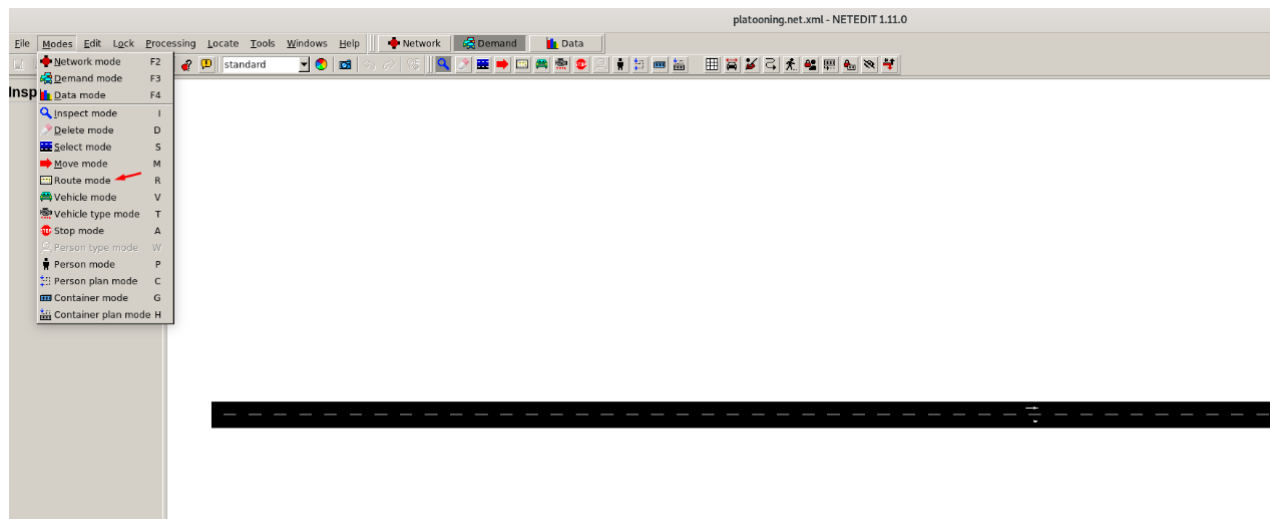
Έπειτα κάνουμε save το αρχείο με όνομα platooning.ned



Εικόνα 20 Δημιουργία network στο NETEDIT

Βήμα 2

Στο 2^ο βήμα ορίζουμε το route mode που είναι η διαδρομή που θα ακολουθήσουν έπειτα τα οχήματα που θα βάλουμε. Πατάμε route mode και επιλέγουμε και τα 6 edges που έχουμε ορίσει στο προηγούμενο βήμα για διαδρομή.

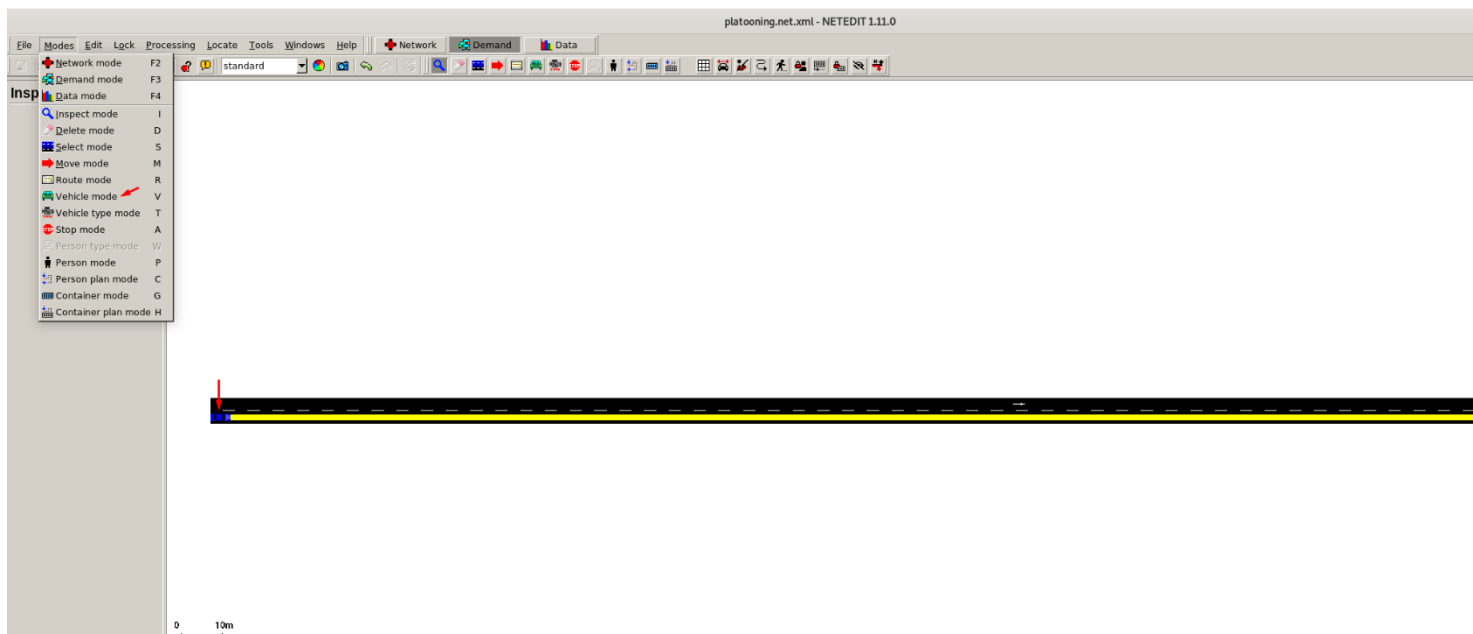


Εικόνα 21 Ορισμός διαδρομής για τα οχήματα

Βήμα 3

Στο 3^ο βήμα προσθέτουμε τα οχήματα. Πηγαίνοντας στο demand έπειτα modes και επιλέγουμε το vehicle mode. Αφού το επιλέξουμε κάνοντας κλικ στον δρόμο πάνω βάζουμε τα 8 οχήματα που θέλουμε για το simulation.

Έπειτα κάνουμε save το αρχείο με όνομα platooning.rou



Εικόνα 22 Προσθήκη οχημάτων

Βήμα 4

Στο 4^ο βήμα κάνουμε τις κατάλληλες αλλαγές στο platooning.rou.xml αρχείο μας που δημιουργήσαμε παραπάνω ώστε να φτιάξουμε το σενάριο του platooning.



```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2
3 <!-- generated on 2024-04-22 12:22:25 by Eclipse SUMO netedit Version 1.11.0
4 -->
5
6 <routes xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/routes_file.xsd">
7   <vType id="platoonVehicle" length="5.00" minGap="2.50" maxSpeed="10.00" lcStrategic="0" lcCooperative="0" lcSpeedGain="0" lcKeepRight="0" carFollowModel="Krauss" accel="2.6" decel="4.5" sigma="0.0" tau="1.0"/>
8   <route edges="edge1 edge2 edge3 edge4 edge5 edge6" color="yellow" id="route_0"/>
9   <vehicle id="vehicle_0" type="platoonVehicle" depart="0.00" color="red" route="route_0"/>
10  <vehicle id="vehicle_1" type="platoonVehicle" depart="0.00" color="blue" route="route_0"/>
11  <vehicle id="vehicle_2" type="platoonVehicle" depart="0.00" color="blue" route="route_0"/>
12  <vehicle id="vehicle_3" type="platoonVehicle" depart="0.00" color="blue" route="route_0"/>
13  <vehicle id="vehicle_4" type="platoonVehicle" depart="0.00" color="blue" route="route_0"/>
14  <vehicle id="vehicle_5" type="platoonVehicle" depart="0.00" color="blue" route="route_0"/>
15  <vehicle id="vehicle_6" type="platoonVehicle" depart="0.00" color="blue" route="route_0"/>
16  <vehicle id="vehicle_7" type="platoonVehicle" depart="0.00" color="blue" route="route_0"/>
17 </routes>
```

Εικόνα 23 Κώδικας αρχείου platooning.rou.xml

- length="5.00": Το μέγεθος του αυτοκινήτου σε μετρά.
- minGap="2.50": minimum gap από το προπορευόμενο όχημα σε μετρά.
- maxSpeed="10.00": Η μέγιστη τάπητα που μπορεί να έχει ένα όχημα σε m/s.
- lcStrategic="0": Παράμετρος μοντέλου αλλαγής λωρίδας για στρατηγική αλλαγή λωρίδας η τιμή 0 απενεργοποιεί αυτή τη λειτουργία.
- lcCooperative="0": Παράμετρος μοντέλου αλλαγής λωρίδας για συνεργατική αλλαγή λωρίδας. Η τιμή 0 ορίζει ότι το όχημα δεν είναι συνεργατικό.
- lcSpeedGain="0": Παράμετρος μοντέλου αλλαγής λωρίδας ως προς το κέρδος ταχύτητας. Η τιμή 0 απενεργοποιεί την αλλαγή λωρίδας για αύξηση ταχύτητας.
- lcKeepRight="0": Παράμετρος μοντέλου αλλαγής λωρίδας για να κρατήσει στην δεξιά λωρίδα. Η τιμή 0 απενεργοποιεί αυτόν τον τύπο αλλαγής.

- carFollowModel="Krauss": Ορίζουμε το μοντέλο ακολουθίας οχημάτων το "Krauss". Είναι ένα από τα διαθέσιμα μοντέλα στο SUMO που προσομοιώνει ρεαλιστική συμπεριφορά ακολουθίας.

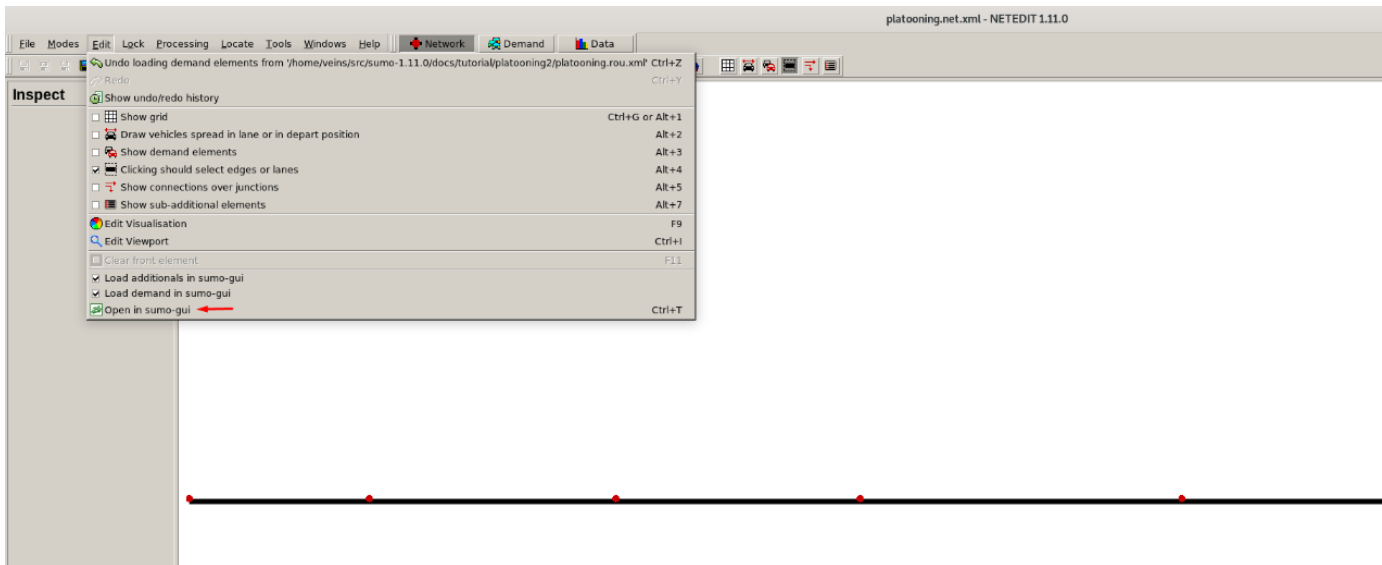
Αυτό που κάνει το μοντέλο Krauss είναι να υπολογίζει την ασφαλή ταχύτητα που μπορεί να ταξιδέψει ένα όχημα, ώστε να διατηρήσει ασφαλή απόσταση από το όχημα που βρίσκεται μπροστά. Λαμβάνει υπόψη την τρέχουσα ταχύτητα του ακολουθούντος οχήματος, την ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος, την μέγιστη επιτάχυνση του ακολουθούντος οχήματος, την επιβράδυνση του ακολουθούντος οχήματος (για να αποφευχθεί σύγκρουση) και το ελάχιστο κενό που θέλει να διατηρήσει ο οδηγός.

- accel="2.6": Η μέγιστη επιτάχυνση σε m/s².
- decel="4.5": Η μέγιστη επιβράδυνση σε m/s².

- $\sigma = "0.0"$: Με την παράμετρο σ ορίζουμε την τελειότητα του οδηγού. Με την τιμή 0 θεωρούμε ότι ο οδηγός είναι τέλειος.
- $\tau = "1.0"$: Ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού σε δευτερόλεπτα.

Βήμα 5

Στο 5^ο βήμα ανοίγουμε το sumo για να δούμε σε ρεαλιστικό χρόνο και περιβάλλον το αποτέλεσμα.



Εικόνα 24 Είσοδος στο sumo μέσω του netedit



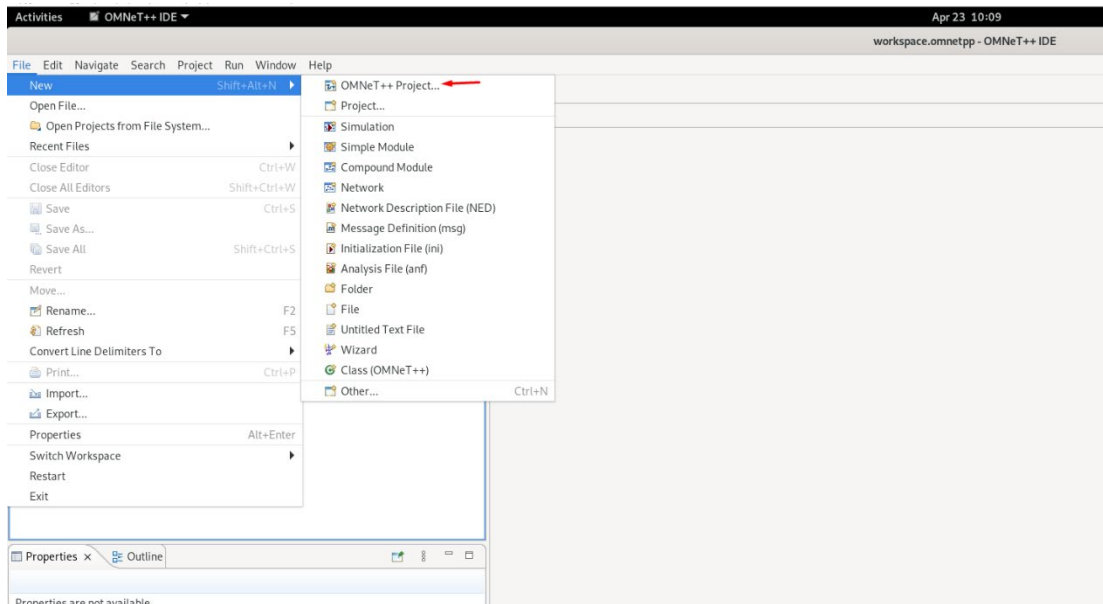
Εικόνα 25 Εκτέλεση προγράμματος στο sumo

Τέλος κάνουμε save μέσα στο φάκελο μας το αρχείο με όνομα platooning.sumocfg.

OMNeTT++

Βήμα 1

Ως πρώτο βήμα φτιάχνουμε στο OMNeTT ένα καινούργιο project με τις default ρυθμίσεις και όνομα platooning2.



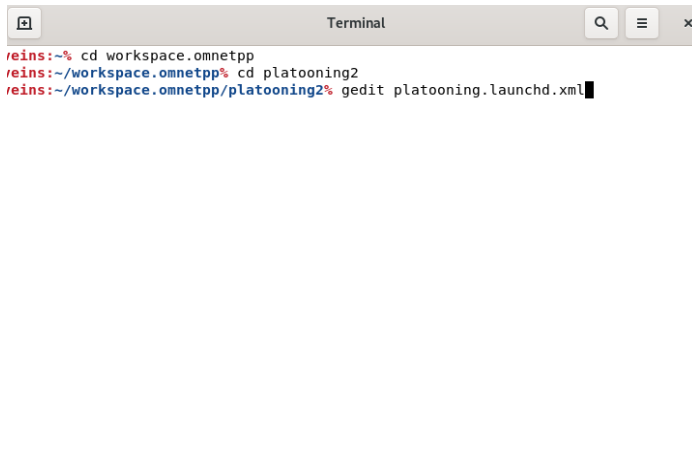
Εικόνα 26 Δημιουργία project στο OMNeTT++

Βήμα 2

Στο 2^ο βήμα παίρνουμε τα 3 αρχεία (platooning.ned , platooning.rou και platooning.sumocfg) που έχουμε δημιουργήσει παραπάνω στο netedit και στο sumo και τα μεταφέρουμε στο φάκελο home/workspace.omnetpp/platooning2 όπου φτιάξαμε το project μας προηγουμένως.

Βήμα 3

Στο 3^ο βήμα δημιουργούμε ένα νέο αρχείο στο φάκελο home/workspace.omnetpp/platooning2 με όνομα platooning.launchd.xml έπειτα γράφουμε τον κατάλληλο κώδικα για να ενσωματώσουμε τα αρχεία στο workspace.



```
reins:~% cd workspace.omnetpp
reins:~/workspace.omnetpp% cd platooning2
reins:~/workspace.omnetpp/platooning2% gedit platooning.launchd.xml
```

Εικόνα 27 Δημιουργία του αρχείου *platooning.launchd.xml* μέσω του *terminal*.



```
1 <?xml version="1.0"?>
2 <!-- debug config -->
3 <launch>
4     <copy file="platooning.net.xml"/>
5     <copy file="platooning.rou.xml"/>
6     <copy file="platooning.sumocfg" type="config"/>
7 </launch>
8
9
10
11
```

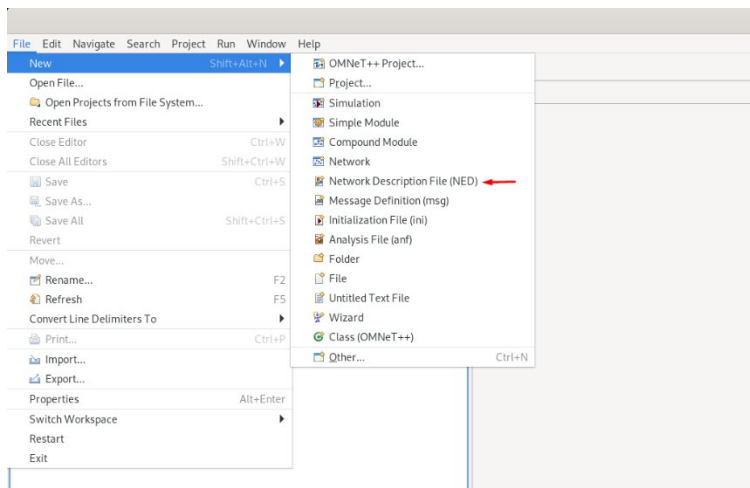
Εικόνα 28 Κώδικας αρχείου *platooning.launchd.xml*

Βήμα 4

Στο 4^ο βήμα αντιγράφουμε τα configuration αρχεία από το φάκελο *veins example* στον φάκελο του project. Πηγαίνουμε στο *home/src/veins/examples/veins* κάνουμε αντιγραφή τα αρχεία *antenna.xml* και *config.xml* στο φάκελο του project *home/workspace.omnetpp/platooning2*.

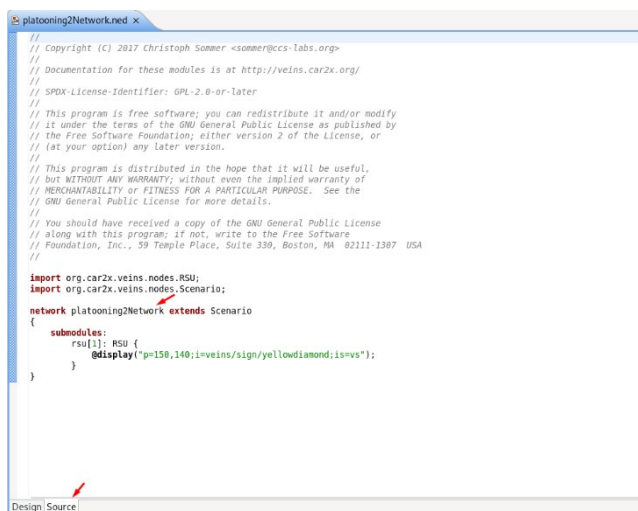
Βήμα 5

Στο 5^ο βήμα δημιουργούμε το network description αρχείο στο OMNeTT με όνομα *platooning2Network*.



Εικόνα 29 Δημιουργία του Network Description File στο OMNeTT.

Πηγαίνουμε στο `home/src/veins/examples/veins` κάνουμε αντιγραφή το αρχείο `RSUExampleScenario.ned` και επικόλληση στο `ned` αρχείο που δημιουργήσαμε στην ταμπέλα `Source`. Εκεί που λέει `network` βάζουμε το όνομα του `network` που φτιάξαμε.



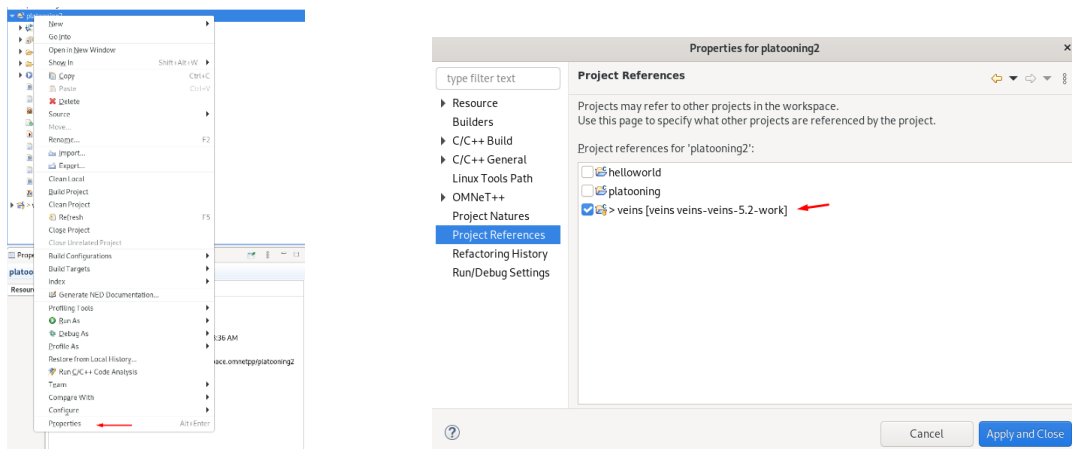
```
// Copyright (C) 2017 Christoph Sommer <sommer@ccs-labs.org>
// Documentation for these modules is at http://veins.car2x.org/
//
// SPDX-License-Identifier: GPL-2.0-or-later
//
// This program is free software; you can redistribute it and/or modify
// it under the terms of the GNU General Public License as published by
// the Free Software Foundation; either version 2 of the License, or
// (at your option) any later version.
//
// This program is distributed in the hope that it will be useful,
// but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
// MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
// GNU General Public License for more details.
//
// You should have received a copy of the GNU General Public License
// along with this program; if not, write to the Free Software
// Foundation, Inc., 59 Temple Place, Suite 330, Boston, MA 02111-1307 USA
//

import org.car2x.veins.nodes.RSU;
import org.car2x.veins.nodes.Scenario;

network platoning2Network extends Scenario
{
    submodules:
        rsu[]: RSU {
            @display("p=150,140;is=veins/sign/yellowdiamond;is-vs");
        }
}
```

Εικόνα 30 Εισαγωγή κώδικα στο `ned` αρχείο

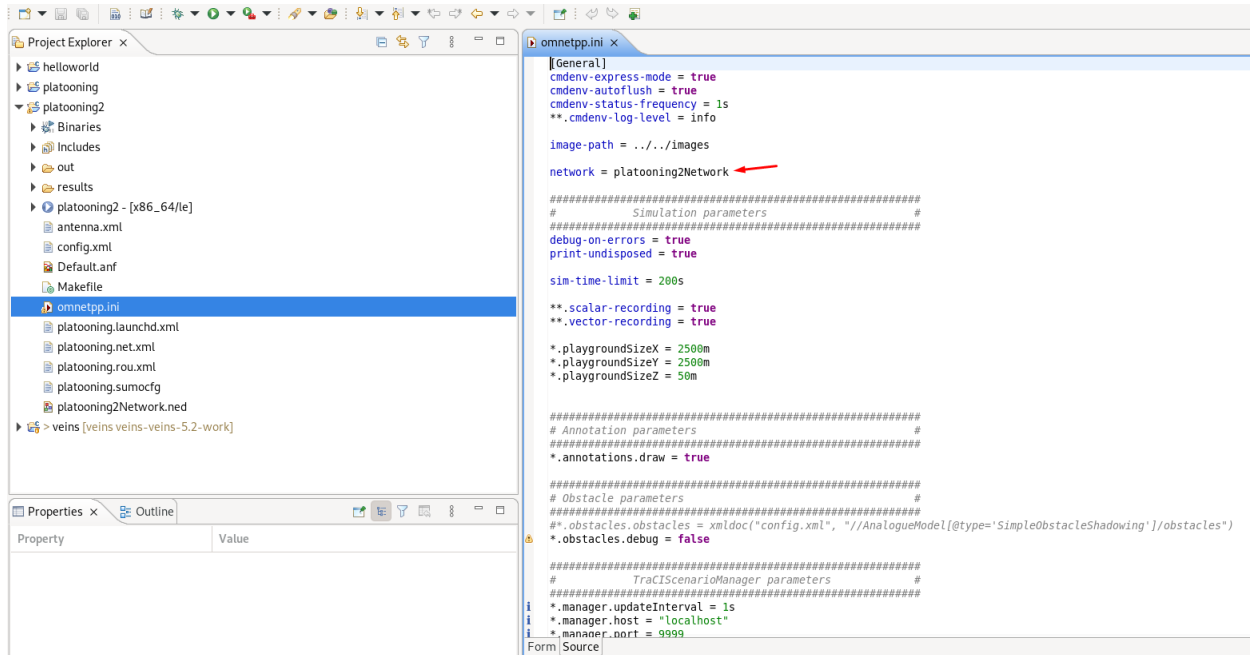
Τέλος πατάμε πάνω στο `project` μας δεξί κλικ `properties` και βάζουμε το `veins` στο `project references`.



Εικόνα 31 Επιλογή `veins` στα `references` του `project` μας

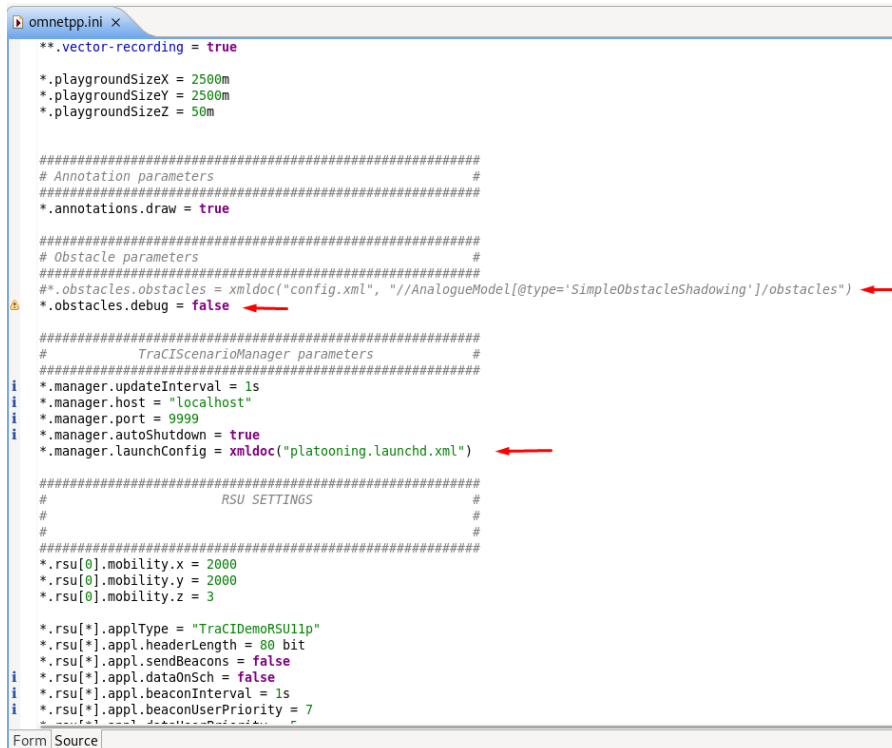
Βήμα 6

Στο 6ο βήμα συνθέτουμε το `initialisation` αρχείο. Πηγαίνουμε στο `home/src/veins/examples/veins` αντιγράφουμε το αρχείο `omnetpp.ini` και το βάζουμε στο φάκελο του `project` `home/workspace.omnetpp/platoning2`. Έπειτα ανοίγουμε το αρχείο `omnetpp.ini` μέσω του `OMNeTT` και κάνουμε τις παρακάτω αλλαγές.



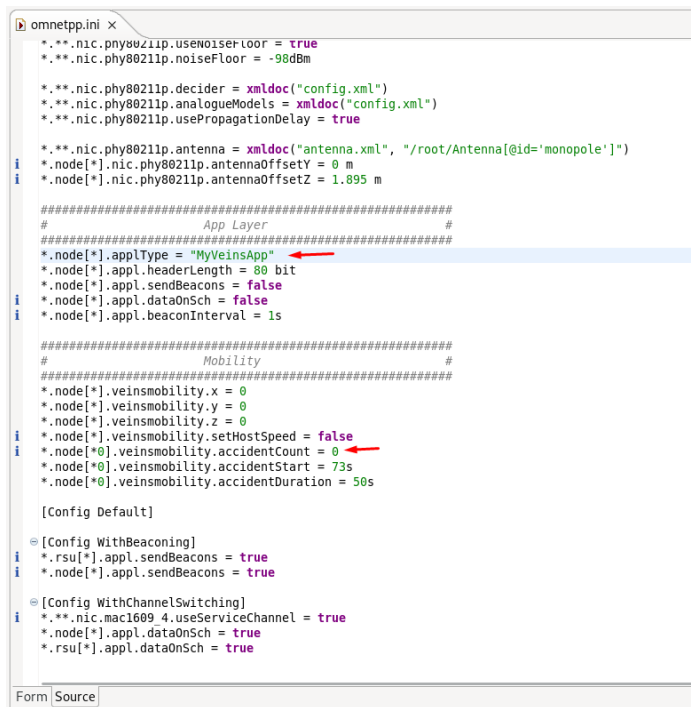
Εικόνα 32 Σύνθεση initialisation file και αλλαγή network.

Βγάζουμε τα obstacles που μπορεί να είναι για παράδειγμα κτήρια κ.α. Επίσης αλλάζουμε launchConfig και βάζουμε αυτό που φτιάξαμε.



Εικόνα 33 Αφαίρεση των obstacles και αλλαγή launchConfig

Αλλάζουμε το applType σε MyVeinsApp και ορίζουμε τον αριθμό των ατυχημάτων σε 0.



```
omnetpp.ini
*.*.nic.phy80211p.useNoiseFloor = true
*.*.nic.phy80211p.noiseFloor = -98dBm

*.*.nic.phy80211p.decoder = xmldoc("config.xml")
*.*.nic.phy80211p.analogueModels = xmldoc("config.xml")
*.*.nic.phy80211p.usePropagationDelay = true

*.*.nic.phy80211p.antenna = xmldoc("antenna.xml", "/root/Antenna[@id='monopole']")
*node[*].nic.phy80211p.antennaOffsetY = 0 m
*node[*].nic.phy80211p.antennaOffsetZ = 1.895 m

#####
# App Layer
#####
*node[*].appl.type = "MyVeinsApp"
*node[*].appl.headerLength = 80 bit
*node[*].appl.sendBeacons = false
*node[*].appl.dataOnSch = false
*node[*].appl.beaconInterval = 1s

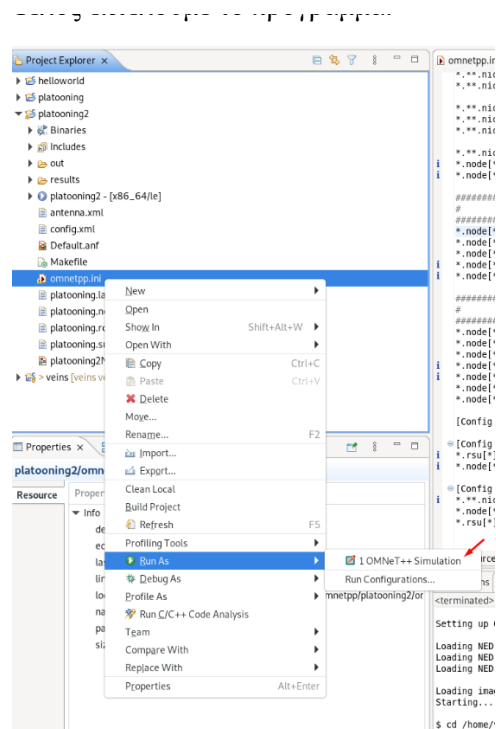
#####
# Mobility
#####
*node[*].veinsmobility.x = 0
*node[*].veinsmobility.y = 0
*node[*].veinsmobility.z = 0
*node[*].veinsmobility.setHostSpeed = false
*node[*0].veinsmobility.accidentCount = 0
*node[*0].veinsmobility.accidentStart = 73s
*node[*0].veinsmobility.accidentDuration = 50s

[Config Default]

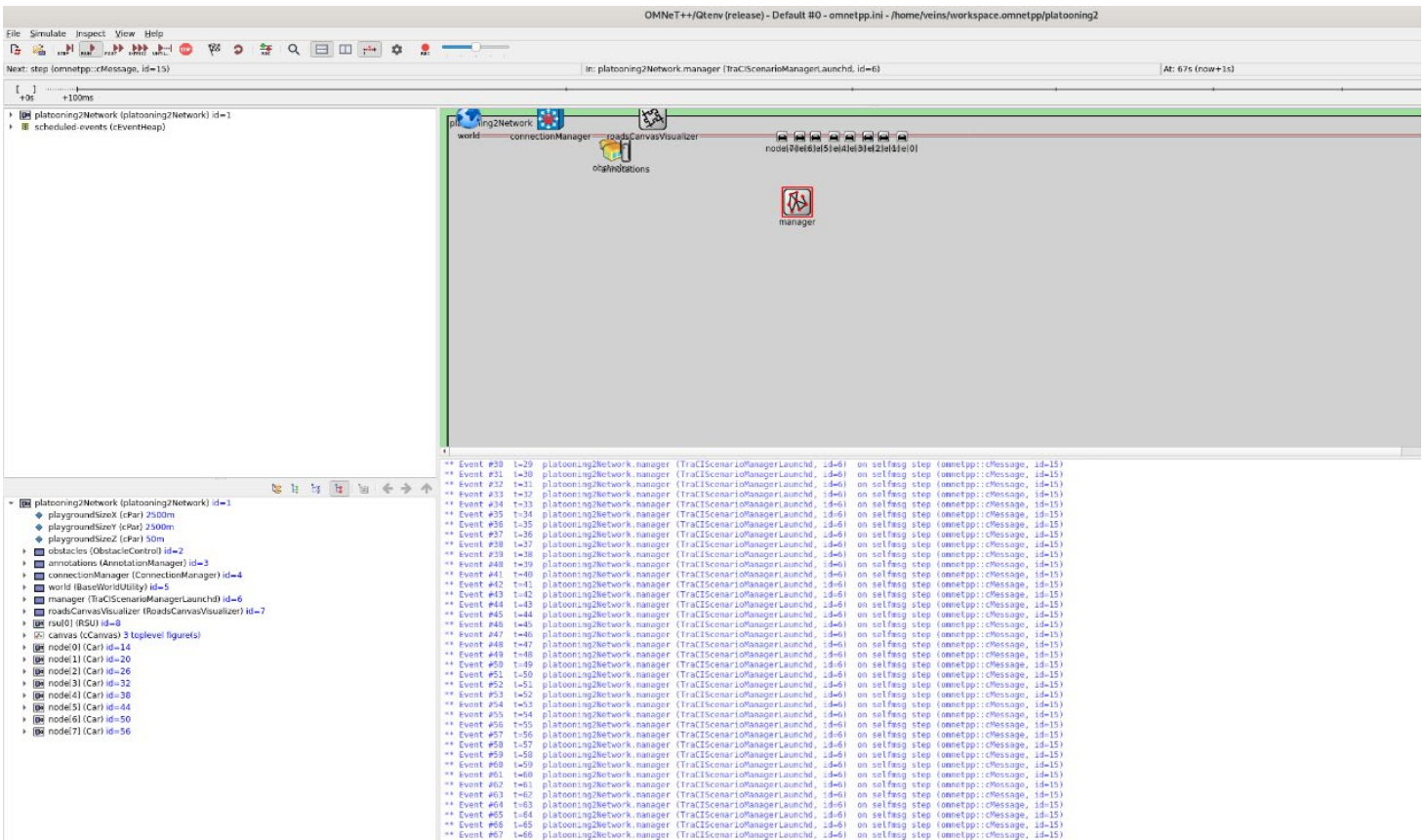
[Config WithBeaconing]
*.*.rsu[*].appl.sendBeacons = true
*node[*].appl.sendBeacons = true

[Config WithChannelSwitching]
*.*.nic.mac1609_4.useServiceChannel = true
*node[*].appl.dataOnSch = true
*.*.rsu[*].appl.dataOnSch = true
```

Εικόνα 34 Ορίζουμε τον αριθμό των ατυχημάτων σε 0.



Εικόνα 35 Τρόπος εκτέλεσης προγράμματος



Εικόνα 36 Αποτέλεσμα εκτέλεσης προγράμματος

Adding beacons to OMNeT++

Βήμα 1

Στο πρώτο βήμα ενεργοποιούμε τα beacons μέσα από το αρχείο omnetpp.ini όπως βλέπουμε παρακάτω.

```

#####
# TraCIScenarioManager parameters #
#####
i *.manager.updateInterval = 1s
i *.manager.host = "localhost"
i *.manager.port = 9999
i *.manager.autoShutdown = true
i *.manager.launchConfig = xmldoc("platooning.launchd.xml")

#####
# RSU SETTINGS #
#####
*.rsu[0].mobility.x = 2000
*.rsu[0].mobility.y = 2000
*.rsu[0].mobility.z = 3

*.rsu[*].applType = "TraCIDemoRSU11p"
*.rsu[*].appl.headerLength = 80 bit
i *.rsu[*].appl.sendBeacons = true
i *.rsu[*].appl.dataOnSch = false
i *.rsu[*].appl.beaconInterval = 5s
i *.rsu[*].appl.beaconUserPriority = 7
i *.rsu[*].appl.dataUserPriority = 5
*.rsu[*].nic.phy80211p.antennaOffsetZ = 0

#####
# 11p specific parameters #
#####
# NIC-Settings #
#####
*.connectionManager.sendDirect = true
*.connectionManager.maxInterfDist = 2600m
i *.connectionManager.drawMaxIntfDist = false

*.**.nic.mac1609_4.useServiceChannel = false

*.**.nic.mac1609_4.txPower = 20mW
*.**.nic.mac1609_4.bitrate = 6Mbps
*.**.nic.phy80211p.minPowerLevel = -110dBm

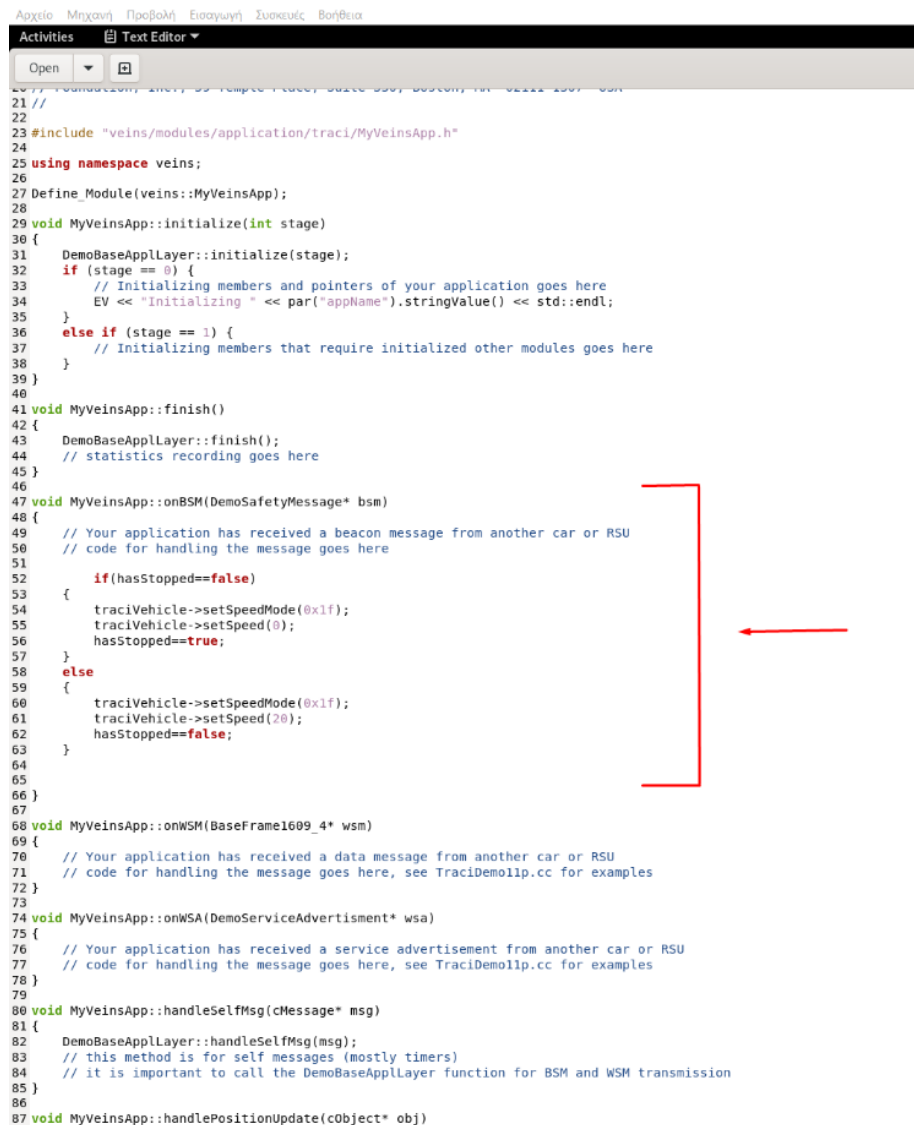
*.**.nic.phv80211p.useNoiseFloor = true
Form [Source]

```

Εικόνα 37 Ενεργοποίηση beacon

Βήμα 2

Στο 2^ο βήμα προσθέτουμε τον παρακάτω κώδικα στο αρχείο MyVeinsApp.cc που βρίσκεται στο home/src/veins/src/veins/modules/application/traci.



```
21 //
22
23 #include "veins/modules/application/traci/MyVeinsApp.h"
24
25 using namespace veins;
26
27 Define_Module(veins::MyVeinsApp);
28
29 void MyVeinsApp::initialize(int stage)
30 {
31     DemoBaseApplLayer::initialize(stage);
32     if (stage == 0) {
33         // Initializing members and pointers of your application goes here
34         EV << "Initializing " << par("appName").stringValue() << std::endl;
35     }
36     else if (stage == 1) {
37         // Initializing members that require initialized other modules goes here
38     }
39 }
40
41 void MyVeinsApp::finish()
42 {
43     DemoBaseApplLayer::finish();
44     // statistics recording goes here
45 }
46
47 void MyVeinsApp::onBSM(DemoSafetyMessage* bsm)
48 {
49     // Your application has received a beacon message from another car or RSU
50     // code for handling the message goes here
51
52     if (hasStopped==false)
53     {
54         traciVehicle->setSpeedMode(0x1f);
55         traciVehicle->setSpeed(0);
56         hasStopped==true;
57     }
58     else
59     {
60         traciVehicle->setSpeedMode(0x1f);
61         traciVehicle->setSpeed(20);
62         hasStopped==false;
63     }
64 }
65
66 }
67
68 void MyVeinsApp::onWSM(BaseFrame1609_4* wsm)
69 {
70     // Your application has received a data message from another car or RSU
71     // code for handling the message goes here, see TraciDemo11p.cc for examples
72 }
73
74 void MyVeinsApp::onWSA(DemoServiceAdvertisement* wsa)
75 {
76     // Your application has received a service advertisement from another car or RSU
77     // code for handling the message goes here, see TraciDemo11p.cc for examples
78 }
79
80 void MyVeinsApp::handleSelfMsg(cMessage* msg)
81 {
82     DemoBaseApplLayer::handleSelfMsg(msg);
83     // this method is for self messages (mostly timers)
84     // it is important to call the DemoBaseApplLayer function for BSM and WSM transmission
85 }
86
87 void MyVeinsApp::handlePositionUpdate(cObject* obj)
```

Εικόνα 38 Προσθέτουμε τον κώδικα στο αρχείο MyVeinsApp.cc

Βήμα 3

Στο 3^ο βήμα για να φτιάξουμε τα error από το παραπάνω κώδικα με το hasStopped πηγαίνουμε στο home/src/veins/src/veins/modules/application/traci στο αρχείο MyVeinsApp.h και προσθέτουμε την παρακάτω γραμμή κώδικα.

```
omnetpp.ini platooning2Network.ned MyVeinsApp.h x
// GNU General Public License for more details.
//
// You should have received a copy of the GNU General Public License
// along with this program; if not, write to the Free Software
// Foundation, Inc., 59 Temple Place, Suite 330, Boston, MA 02111-1307 USA
//

#pragma once

#include "veins/veins.h"

#include "veins/modules/application/ieee80211p/DemoBaseApplLayer.h"

using namespace omnetpp;

namespace veins {

/**
 * @brief
 * This is a stub for a typical Veins application layer.
 * Most common functions are overloaded.
 * See MyVeinsApp.cc for hints
 *
 * @author David Eckhoff
 */

class VEINS_API MyVeinsApp : public DemoBaseApplLayer {
public:
    void initialize(int stage) override;
    void finish() override;

protected:
    void onBSM(DemoSafetyMessage* bsm) override;
    void onWSM(BaseFrame1609_4* wsm) override;
    void onWSA(DemoServiceAdvertisement* wsa) override;

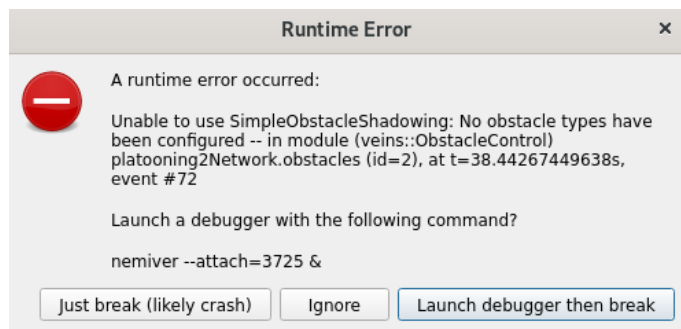
    void handleSelfMsg(cMessage* msg) override;
    void handlePositionUpdate(cObject* obj) override;
    bool hasStopped; ←
};

} // namespace veins
```

Εικόνα 39 Προσθήκη της εντολής bool hasStopped

Βήμα 4

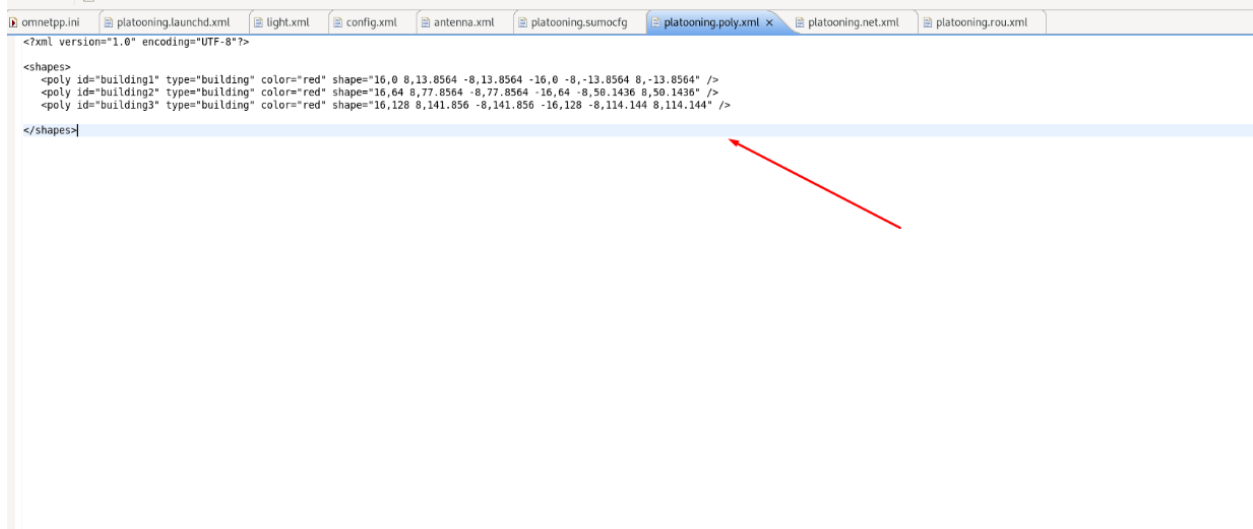
Στο 4^ο βήμα εκτελούμε το πρόγραμμα και έχουμε το παρακάτω error.



Εικόνα 40 Error κατά την εκτέλεση του προγράμματος

Βήμα 5

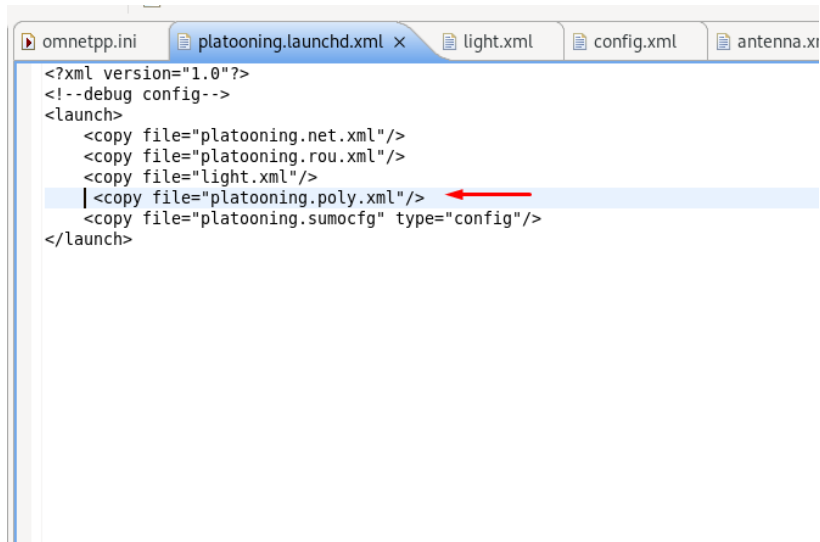
Σύμφωνα με το παραπάνω error πρέπει να βάλουμε obstacles στο πρόγραμμα μας. Οπότε στο 5^ο βήμα δημιουργούμε μέσα στο project μας ένα αρχείο με όνομα platooning.poly.xml όπου θα περιέχει τα obstacles.



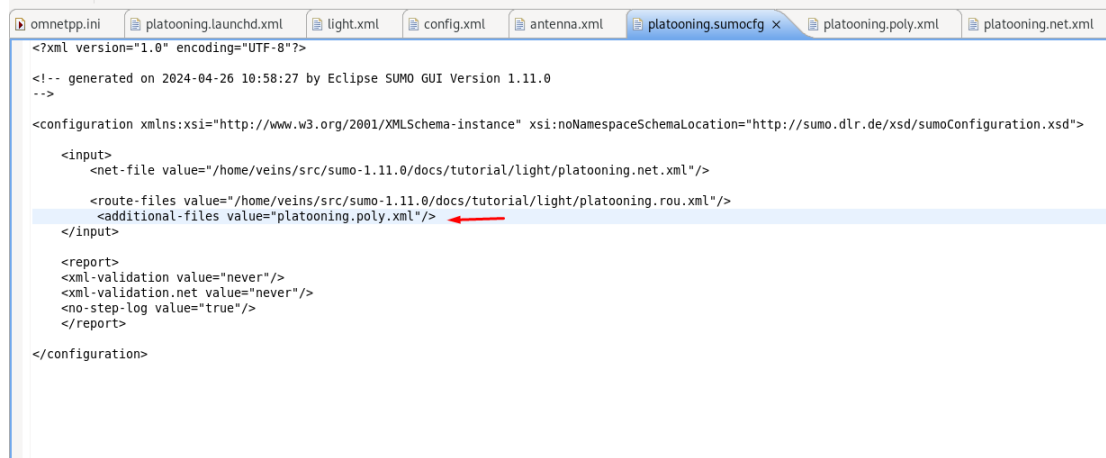
Εικόνα 41 Δημιουργία ενός αρχείου platooning.poly.xml όπου περιλαμβάνει τα obstacles.

Βήμα 6

Στο 6^ο βήμα βάζουμε το αρχείο που δημιουργήσαμε πριν μέσα στο launchd.xml και στο platooning.sumocfg.



Εικόνα 42 Προσθήκη του αρχείου platooning.poly.xml στο platooning.launchd.xml



Εικόνα 43 Προσθήκη του αρχείου platooning.poly.xml στο platooning.sumocfg

Κεφάλαιο 5

Simulation Framework for Misbehavior Detection in Vehicular Networks

5.1 Εισαγωγή

Ο τομέας των Ευφυών Συστημάτων Μεταφορών (ITS) προχωρά με πολύ ταχύτερους ρυθμούς τα τελευταία δύο χρόνια. Τα αυτόνομα οχήματα είναι πλέον πραγματικότητα αποκτώντας δυνατότητες οδήγησης έως και επιπέδου 4, δηλαδή χωρίς μεγάλη ανθρώπινη παρέμβαση. Μια πληθώρα τεχνολογιών έχει εφαρμοστεί ή/και εφευρεθεί για να υποστηρίξει το μέλλον του ITS. Αισθητήρες όπως το RADAR, το LIDAR και η κάμερα χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό για εφαρμογές όπως το Advanced Driver Assistance System (ADAS), η διατήρηση λωρίδας κυκλοφορίας, η προειδοποίηση μπροστινής σύγκρουσης κ.λπ. Ωστόσο, οι προαναφερθέντες αισθητήρες λειτουργούν μόνο σε συνθήκες οπτικής επαφής. Για εφαρμογές μη οπτικής επαφής, τεχνολογίες όπως η Dedicated Short-Range Communication (DSRC) και το Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X) βρίσκονται υπό έρευνα και ανάπτυξη. Τα DSRC και C-V2X υποστηρίζουν την επόμενη γενιά οχημάτων που είναι γνωστά ως « Συνδεδεμένα Οχήματα » (Connected Vehicle ή CV). Τα CV εκπέμπουν ευρέως (broadcast) τις κινηματικές τους πληροφορίες (π.χ. θέση, ταχύτητα, κατεύθυνση, κ.λπ.) σε ένα εφήμερο δίκτυο γνωστό ως Vehicular Ad hoc NETwork (VANET). Αυτό δίνει τη δυνατότητα στα συνδεδεμένα οχήματα να «βλέπουν» πέρα από το οπτικό τους πεδίο. Ωστόσο, μια οντότητα που συμμετέχει ενεργά σε ένα VANET μπορεί να πει ψέματα για την κινηματική του, προκαλώντας διακοπή στο δίκτυο και έμμεσα προκαλώντας προβλήματα ασφαλείας στο δρόμο (VANET misbehavior). Πιο συγκεκριμένα, η κακή συμπεριφορά στο VANETS περιλαμβάνει δυσλειτουργικές οντότητες που στέλνουν τόσο ακούσια ελαττωματικές πληροφορίες όσο και κακόβουλες οντότητες που μεταδίδουν εσκεμμένα ψευδείς πληροφορίες σε μια επίθεση V2X.

Το MisBehavior Detection (MBD) στα VANET είναι ένα ενεργό πεδίο έρευνας που επικεντρώνεται στην ανάπτυξη μηχανισμών για τον εντοπισμό ανώμαλων συμπεριφορών που σχετίζονται με την κίνηση του οχήματος, τη μετάδοση κ.λπ. Οι αλγόριθμοι MBD θα μπορούσαν να βασίζονται σε αισθητήρες ή σε V2X. Παρακάτω, επικεντρωνόμαστε σε MBD που βασίζεται σε V2X. Για να πραγματοποιηθεί ουσιαστική έρευνα, αυτές οι τεχνικές πρέπει να εφαρμοστούν σε μεγάλη κλίμακα, σε διαφορετικά σενάρια, με ποικιλία πυκνοτήτων οχημάτων και πολλές άλλες παραλλαγές. Επί του παρόντος, υπάρχουν μόνο μερικές ευρέως διαδεδομένες εφαρμογές CV (Joseph Kamel, 2020). Εξακολουθούν να υπάρχουν διάφορα προβλήματα με αυτές τις εφαρμογές, όπως ο περιορισμένος αριθμός περιπτώσεων χρήσης και οι αυστηροί κανονισμοί για τα δεδομένα που δημιουργούνται. Η απόκτηση ακατέργαστων και μη επεξεργασμένων δεδομένων είναι δύσκολη λόγω των κανονισμών που απαιτούν την ανωνυμοποίηση και την αφαίρεση πληροφοριών που μπορεί να είναι χρήσιμες για το σχεδιασμό αλγορίθμων ανίχνευσης (MBD).

Επίσης, η εύρεση ενός κατάλληλου υποσυνόλου δεδομένων για ανάλυση δικαιολογεί τη δαπάνη τεράστιων ποσών χρόνου που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό αλγορίθμων MBD. Ως εκ τούτου, υπάρχει μια κρίσιμη ανάγκη για προσομοίωση VANET και αξιολόγηση αλγορίθμων MBD σε αυτές τις προσομοιώσεις. Προσομοιωτές όπως το VEHICLES In Network Simulation (VEINS) (Joseph Kamel, 2020) παρέχουν μια πλατφόρμα για την ανάπτυξη αλγορίθμων MBD. Στο VEINS μπορεί να εγκατασταθεί το πακέτο F2MD.

Το F2MD παρέχει ένα μοναδικό πλαίσιο με το οποίο μπορεί κανείς:

- Να εφαρμόσει ένα σύνολο νέων επιθέσεων V2X.
- Να εφαρμόσει αρκετούς αλγόριθμους MBD για εύκολη σύγκριση.
- Να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα των επιθέσεων (παρέχονται 6 επιθέσεις και 9 λανθασμένες συμπεριφορές στο συγκεκριμένο πλαίσιο).
- Να αξιολογήσει την απόδοση των αλγορίθμων MBD, χρησιμοποιώντας 8 μετρικά.
- Να οπτικοποιήσει σε πραγματικό χρόνο την απόδοση των αλγορίθμων MBD.
- Να δημιουργήσει σύνολο δεδομένων για να τροφοδοτήσει το σύνολο δεδομένων της επίθεσης σε ανοικτά datasets όπως το VeReMi (Joseph Kamel, 2020).
- Να αξιολογήσει πολλαπλές μορφές αναφοράς ανάρμοστης συμπεριφοράς και καθολικούς αλγόριθμους ανίχνευσης κακής συμπεριφοράς.

5.2 Επισκόπηση

Σε αυτή την ενότητα δίνουμε μια επισκόπηση της σχετικής εργασίας σχετικά με τις τεχνικές MBD που κυμαίνονται από το γενικό, φυσικό επίπεδο έως τη μηχανική μάθηση. Συζητάμε επίσης τις εργασίες που σχετίζονται με την προσομοίωση αυτών των τεχνικών, τις μετρήσεις που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της απόδοσής τους και τις επιθέσεις που εξετάζονται.

Ο Van der Heijden κ.α (Joseph Kamel, 2020) έκανε μια έρευνα για το MBD στο C-ITS. Παρείχαν μια ταξινόμηση τεχνικών ανίχνευσης με επίκεντρο τους κόμβους και τα δεδομένα και τις συνέκριναν ανάλογα με το εύρος, την ασφάλεια, το απόρρητο, την ικανότητα γενίκευσης και τους απαιτούμενους πόρους. Η έρευνα έδειξε ότι δεν υπάρχουν ακόμα τέλειες τεχνικές. Παράλληλα, δημιουργήθηκαν νέες προκλήσεις όπως ο ορισμός κατωφλίων και η προστασία από την επίθεση Sybil (Sybil είναι μια απειλή ασφάλειας σε καταναμημένα δίκτυα, όπου ένας μόνο επιτιθέμενος δημιουργεί πολλαπλές ψεύτικες ταυτότητες για να αποκτήσει δυσανάλογη επιρροή ή έλεγχο στο δίκτυο). Το πλαίσιο F2MD που παρουσιάζεται εδώ στοχεύει στην εξεύρεση λύσεων σε αυτές τις ανοιχτές προκλήσεις. Οι J. Kamel et al (Joseph Kamel, 2020) διερεύνησαν τη σκοπιμότητα των αλγορίθμων MBD σε σχέση με τα τρέχοντα πρότυπα, τη συμμόρφωση με τη νομοθεσία, καθώς και τις απαιτήσεις υλικού/λογισμικού. Οι συγγραφείς έδειξαν ότι ορισμένοι αλγόριθμοι MBD δεν συμμορφώνονται με τους ισχύοντες κανονισμούς (νόμους ή πρότυπα).

Οι περισσότερες από τις προκλήσεις που συζητήθηκαν στη μελέτη προήλθαν από κανονισμούς προστασίας της ιδιωτικής ζωής. Το πλαίσιο εργασίας F2MD θα μπορούσε να βοηθήσει στην εύρεση λύσεων MBD που διατηρούν το απόρρητο ενσωματώνοντας διάφορες Πολιτικές Αλλαγής ψευδωνύμων (PCP) (η τρέχουσα λύση απορρήτου για το C-ITS). Οι αλγόριθμοι MBD θα μπορούσαν έτσι να δοκιμαστούν έναντι διαφορετικών PCP.

Οι Sun et al (Joseph Kamel, 2020) διερεύνησαν την επαλήθευση της τοποθεσίας και της κίνησης ενός επιτιθέμενου (attacker) χρησιμοποιώντας λειτουργίες που είναι διαθέσιμες στην εφαρμογή και στο φυσικό επίπεδο της επικοινωνίας Vehicle-to-Vehicle (V2V). Στο μοντέλο τους, ο επιτιθέμενος μεταδίδει αμφίβολες τοποθεσίες μέσα στα Βασικά Μηνύματα Ασφαλείας (BSM). Αυτός που επιτίθεται μπορεί να είναι μόνος ή μπορεί να συνεννοηθεί με άλλους εισβολείς που θα επιβεβαιώσουν τα ψευδή δεδομένα. Οι συγγραφείς εξετάζουν μόνο ένα σενάριο ευθύγραμμου αυτοκινητόδρομου με τουλάχιστον ένα αξιόπιστο όχημα στο εύρος επικοινωνίας του οχήματος ego. Επαληθεύουν την τοποθεσία και τις πληροφορίες κινητικότητας του εισβολέα χρησιμοποιώντας εκτίμηση γωνίας άφιξης (AoA), μέτρηση ταχύτητας Doppler (DS), εκτεταμένο φίλτρο Kalman (EKF) και δεδομένα από γειτονικά οχήματα. Αξιολογούν τον μηχανισμό τους με όρους true-negative, true-positive και false-positive, false-negative ποσοστού. Οι συγγραφείς υλοποίησαν το πλαίσιο τους στο MATLAB και πραγματοποίησαν αξιολόγηση στο ίδιο περιβάλλον. Στο “Misbehavior detection based on support vector machine and Dempster-Shafer theory of evidence in VANETs”, οι συγγραφείς πρότειναν έναν μηχανισμό MBD που βασίζεται σε μια μηχανή διανύσματος υποστήριξης (Support Vector Machine - SVM) και στην θεωρία απόδειξης του Dempster-Shafer (DST) για την ανίχνευση της έγχυσης ψευδών μηνυμάτων. Ο ταξινομητής που βασίζεται σε SVM χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό ψευδών μηνυμάτων με βάση το περιεχόμενο του μηνύματος και τα χαρακτηριστικά του οχήματος. Ένας άλλος ταξινομητής που βασίζεται σε SVM χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει εάν το όχημα είναι αξιόπιστο με βάση τη συμπεριφορά του όσον αφορά τη διάδοση του μηνύματος. Στη συνέχεια, το DST χρησιμοποιείται από ένα αξιόπιστο τρίτο μέρος, το οποίο συγκεντρώνει πολλαπλές αναφορές αξιολόγησης εμπιστοσύνης για το ίδιο όχημα και εξάγει ένα συνολικό μετρικό εμπιστοσύνης. Οι συγγραφείς αξιολογούν την απόδοση του συστήματός τους με βάση το αληθές-θετικό ποσοστό, το ψευδές-θετικό ποσοστό και την ακρίβεια κάνοντας τις προσομοιώσεις τους στο VEINS. Θέτοντας την πρότασή τους στο πλαίσιο μας, το DST θα ήταν μέρος του Misbehaviour Authority (MA - το Misbehavior Authority είναι μια οντότητα ή υπηρεσία που αναγνωρίζει και διαχειρίζεται μη φυσιολογικές ή κακόβουλες συμπεριφορές από τα οχήματα στο δίκτυο.). Το F2MD περιέχει μια Stress Attack στον MA που δημιουργεί μεγάλο αριθμό ψεύτικων αναφορών. Όπως σημειώνει ο συγγραφέας, αυτός ο τύπος επίθεσης θα ήταν χρήσιμος για τον έλεγχο και τη βελτίωση αυτού του αλγόριθμου DST. Η εργασία “Integrating plausibility checks and machine learning for misbehavior detection in VANET” πρότεινε ένα πλαίσιο για ελέγχους αξιοπιστίας ως διάνυσμα χαρακτηριστικών για την αξιολόγηση δύο μοντέλων μηχανικής μάθησης (SVM και K-Nearest Neighbor - KNN). Αξιολόγησαν την απόδοση αυτών των μοντέλων όσον αφορά την ακρίβεια ταξινόμησης και τα χαρακτηριστικά ανάκλησης ακριβείας. Επίσης, αξιολόγησαν την αληθοφάνεια τοποθεσίας, την αληθοφάνεια κίνησης και άλλα ποσοτικά χαρακτηριστικά για να τροφοδοτήσουν τα μοντέλα SVM και KNN. Οι συγγραφείς εξέτασαν επιθέσεις πλαστογράφησης τοποθεσίας από το σύνολο δεδομένων VeReMi.

Οι επιθέσεις και ο εντοπισμός πραγματοποιήθηκαν στη περίπτωση χρήσης LuST (“Luxembourg sumo traffic (lust) scenario: 24 hours of mobility for vehicular networking research”). Τα δεδομένα προσομοίωσής τους δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας VEINS και η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε στο MATLAB. Αν και η μελέτη τους ήταν περιεκτική, ο τύπος επίθεσης περιοριζόταν σε επιθέσεις

πλαστογράφησης τοποθεσίας. Είναι ασφαλές να υποθέσουμε ότι οι προσομοιώσεις είναι ένα κρίσιμο μέρος της αξιολόγησης των αλγορίθμων MBD.

Για προσομοιώσεις V2V, ένας προσομοιωτής θα πρέπει να αποτελείται από μοντέλα δικτύου και κινητικότητας που προσομοιώνουν σενάρια V2V πραγματικού κόσμου. Οι προσομοιωτές όπως το NS3 και το OMNET++ παρέχουν περιβάλλοντα με πολλά χαρακτηριστικά για προσομοιώσεις δικτύου. Ωστόσο, δεν προσομοιώνουν μια κρίσιμη πτυχή των VANET, του μοντέλου κινητικότητας ενός οχήματος. Οι προσομοιώσεις που εκτελούνται στο MATLAB απαιτούν ένα άμεσα διαθέσιμο σύνολο δεδομένων στο οποίο μπορούν να εκτελεστούν αλγόριθμοι MBD για τη διεξαγωγή αξιολογήσεων. Στην έρευνα C-ITS, ένας κοινώς χρησιμοποιούμενος προσομοιωτής δικτύου και κινητικότητας είναι το VEINS. Το VEINS συνδυάζει το OMNET++ και το SUMO (προσομοιωτής κινητικότητας κυκλοφορίας) για να δημιουργήσει ένα επίπεδο για προσομοίωση V2X. Το VEINS παρέχει API για τη δημιουργία προσαρμοσμένων εφαρμογών που εκτελούνται τοπικά σε ένα όχημα. Αυτές οι εφαρμογές μπορούν να αντιδράσουν στη λήψη ενός σήματος (beacon) από άλλο όχημα ή/και στην αλλαγή της δικής του θέσης μεταξύ άλλων χαρακτηριστικών. Το VEINS παρέχει επίσης τη δυνατότητα δημιουργίας προσαρμοσμένων συνόλων δεδομένων για διαφορετικά οδικά δίκτυα. Ωστόσο, δεν περιλαμβάνει αλγόριθμους MBD ή τη δυνατότητα αξιολόγησής τους. Από όσο γνωρίζουμε, υπάρχει μόνο ένα πλαίσιο προσομοίωσης που επιτρέπει την αξιολόγηση των αλγορίθμων MBD στο VANET, και συγκεκριμένα το Vehicular Reference Misbehavior (VeReMi). Το VeReMi είναι μια επέκταση του VEINS και αποτελείται από δύο κύρια στοιχεία:

1. Ένα σύνολο δεδομένων που περιέχει δεδομένα μετάδοσης από οχήματα με κακή ή φυσιολογική συμπεριφορά για αξιολόγηση αλγορίθμων MBD.
2. Πέντε επιθέσεις που βασίζονται σε θέση και τέσσερις βασικούς αλγόριθμους MBD.

Το F2MD επιτρέπει τη διεξαγωγή μελετών σε ένα μεγάλο σύνολο οχημάτων που προσομοιώνονται σε ένα μεγάλο οδικό δίκτυο. Αυτά τα οδικά δίκτυα μπορούν να αλλάξουν για αξιολογήσεις σε διαφορετικούς τύπους οδικών δικτύων. Οι επιθέσεις μπορούν να προγραμματιστούν σε οχήματα επιτιθέμενων στο F2MD, αυτό το χαρακτηριστικό διασφαλίζει ότι δεν υπάρχει κατεύθυνση στις επιθέσεις. Περιέχει μια ολοκληρωμένη λίστα επιθέσεων που βασίζονται σε θέση και χαρακτηριστικά κίνησης. Παρέχει αλγόριθμους MBD που κυμαίνονται από βασικούς ελέγχους αληθοφάνειας έως προηγμένους αλγόριθμους που βασίζονται σε συνάθροιση τιμών και ανάλυση συμπεριφοράς. Το F2MD υποστηρίζει επίσης την προσθήκη μοντέλων μηχανικής μάθησης για MBD. Όλοι οι αλγόριθμοι MBD μπορούν να επεκταθούν για περαιτέρω βελτιώσεις ή οι νέοι μπορούν να προστεθούν εύκολα στο πλαίσιο F2MD. Το F2MD παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας αναφορών ανάρμοστης συμπεριφοράς που θα αποστέλλονται σε ένα MA.

Αυτές οι αναφορές μπορούν να επιλεγούν ώστε να κυμαίνονται από μια βασική έκθεση έως μια έκθεση με στοιχεία που περιλαμβάνονται για να βοηθήσουν το MA στην απόφασή του. Τέλος, το F2MD παρέχει μια δυνατότητα οπτικοποίησης και δημιουργεί γραφήματα online και σε πραγματικό χρόνο για την ανάλυση της απόδοσης των αλγορίθμων MBD. Συμπερασματικά, κάθε προαναφερθείσα σχετική εργασία χρησιμοποιεί διάφορες μεθόδους για την αξιολόγηση της απόδοσης των αλγορίθμων MBD τους που είναι δύσκολα συγκρίσιμοι. Το F2MD προσφέρει μια δωρεάν και ανοιχτού κώδικα ενοποιημένη πλατφόρμα για την υλοποίηση επιθέσεων σε VANET, την εφαρμογή αλγορίθμων MBD και την αξιολόγηση της απόδοσής τους χρησιμοποιώντας κοινές μετρήσεις.

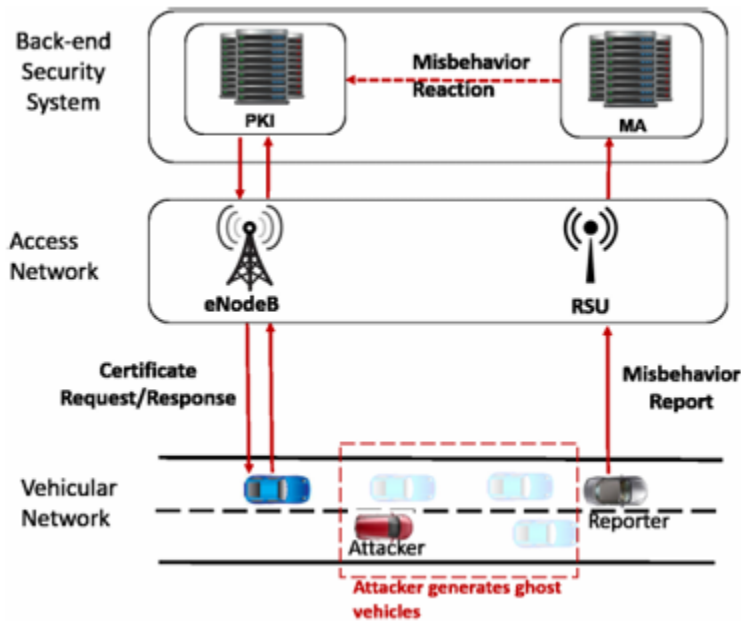
5.3 Μοντέλο συστήματος

5.3.1 Συνεταιρισμός μοντέλου συστήματος C-ITS

Τα Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (C-ITS) αποτελούνται από κινητές (π.χ. επιβατικό όχημα, φορτηγά, συσκευές χειρός) και στατικές οντότητες (π.χ. Μονάδα οδού (RSU), σταθμός φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, κέντρο διαχείρισης κυκλοφορίας). Κάθε όχημα είναι εξοπλισμένο με μια On-Board Unit (OBU) που του επιτρέπει να μεταδίδει δεδομένα κινητικότητας (π.χ. τηλεματική, κίνηση, ελιγμούς) σε γειτονικές οντότητες ή στο Διαδίκτυο για υπηρεσίες που βασίζονται σε cloud. Ο πρωταρχικός στόχος είναι να βελτιωθεί η οδική ασφάλεια με συχνή μετάδοση τοπικών σημάτων (ονομάζεται Basic Safety Message (BSM) στις ΗΠΑ ή Cooperative Awareness Message (CAM) στην Ευρώπη). Το BSM/CAM περιέχει θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση, κατάσταση πέδησης και άλλα προαιρετικά πεδία (Joseph Kamel, 2020). Τα οχήματα λήψης θα χρησιμοποιήσουν το BSM/CAM για να κατανοήσουν τη κατάσταση (με τη σύντηξη των δεδομένων του αισθητήρα στο πλαίσιο του αυτοματοποιημένου οχήματος) και να ενεργήσουν σε αυτό (π.χ. ειδοποίηση χειριστή, εκτέλεση ελιγμών). Ένα παράδειγμα εφαρμογής ασφαλείας με χρήση BSM/CAM είναι το Ηλεκτρονικό φως φρένων έκτακτης Ανάγκης (EEBL). Στο EEBL, τα οχήματα που εκτελούν φρένο έκτακτης ανάγκης (δηλαδή επιβραδύνουν σε επίπεδο μεγαλύτερο από 0,4 g) μεταδίδουν μηνύματα με αντίστοιχα πεδία που υποδεικνύουν τη μεγαλύτερη επιβράδυνσή του (π.χ. πεδίο στο BSM). Στην πλευρά του δέκτη, η εφαρμογή EEBL προειδοποιεί τον οδηγό σε περίπτωση σκληρού φρεναρίσματος από όχημα που βρίσκεται στην ίδια λωρίδα ή σε παρακείμενη λωρίδα. Η εφαρμογή EEBL αναμένεται να λειτουργεί τόσο σε ευθείες όσο και σε καμπύλες γεωμετρικές δρόμων. Οι εφαρμογές ασφαλείας C-ITS έχουν τεθεί σε εφαρμογή για τη βελτίωση της οδικής ασφαλείας και την πρόληψη θανατηφόρων ατυχημάτων. Επομένως, επιθέσεις που οδηγούν σε αποτυχία τέτοιων συστημάτων θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε καταστροφικά αποτελέσματα. Το σύστημα C-ITS θα μπορούσε να υποστεί εξωτερικές και εσωτερικές επιθέσεις. Ωστόσο, έχει τεθεί σε εφαρμογή μια αρχιτεκτονική ασφαλείας για τον μετριασμό των επιπτώσεων.

5.3.2 Αρχιτεκτονική ασφαλείας C-ITS

Στο τρέχον σύστημα C-ITS, είναι δυνατοί δύο τύποι εισβολών: Εξωτερικοί εισβολείς (δηλαδή χωρίς έγκυρα διαπιστευτήρια) και εισβολείς εσωτερικών πληροφοριών (δηλαδή με έγκυρα διαπιστευτήρια). Οι εξωτερικές επιθέσεις αντιμετωπίζονται με μια Υποδομή Δημοσίου Κλειδιού (PKI), ενώ οι εσωτερικές επιθέσεις μετριάζονται από ένα σύστημα ανίχνευσης κακής συμπεριφοράς.



Εικόνα 44 Αρχιτεκτονική ασφάλειας C-ITS (Joseph Kamel, 2020)

Η Εικόνα 44 δείχνει τα διάφορα στάδια της αρχιτεκτονικής ασφάλειας C-ITS. Οι εξωτερικοί εισβολείς C-ITS, δηλαδή χωρίς έγκυρα διαπιστευτήρια, αποτρέπονται με τον έλεγχο ταυτότητας κάθε μηνύματος που αποστέλλεται στο μέσο χρησιμοποιώντας ψηφιακή υπογραφή (Joseph Kamel, 2020). Πράγματι, ο έλεγχος ταυτότητας συσκευής βασίζεται σε ένα PKI που διαχειρίζεται κρυπτογραφικό υλικό (δηλαδή δημιουργία, παροχή, ενημέρωση, ανάκληση κλειδιών). Στις ΗΠΑ, το PKI ονομάζεται Σύστημα Διαχείρισης Διαπιστευτηρίων Ασφαλείας (SCMS) και χρησιμοποιεί ασύμμετρη κρυπτογραφία, γνωστή ως ECDSA, ως αλγόριθμο ελέγχου ταυτότητας. Επιπλέον, για να μειωθεί η δυνατότητα παρακολούθησης ενός οχήματος, κάθε όχημα χρησιμοποιεί βραχυπρόθεσμα κρυπτογραφικά διαπιστευτήρια που ονομάζονται ψευδώνυμα και τα αλλάζει τακτικά. Ως εκ τούτου, όπως θα δούμε και παρακάτω, η κρυπτογραφική επαλήθευση θα διασφαλίσει την προστασία από εξωτερικούς εισβολείς. Οι εσωτερικοί εισβολείς στο C-ITS αντιμετωπίζονται από έναν μηχανισμό ανίχνευσης κακής συμπεριφοράς.

Η διαδικασία Ανίχνευσης Λανθασμένης Συμπεριφοράς χωρίζεται σε τέσσερα βήματα:

- 1) Τοπική Ανίχνευση Λανθασμένης Συμπεριφοράς: Κάθε οντότητα C-ITS θα πρέπει να τρέξει τοπικά ένα σύστημα ανίχνευσης λανθασμένης συμπεριφοράς για να αντιμετωπίσει τους εισβολείς εσωτερικών πληροφοριών.
- 2) Η αναφορά ανάρμοστης συμπεριφοράς: Μετά τον εντοπισμό, η οντότητα θα έχει την ευκαιρία να επισημάνει την ανάρμοστη συμπεριφορά αποστέλλοντας μια αναφορά στη MA.
- 3) Παγκόσμια (global) ή καλύτερα γενικευμένη Ανίχνευση Λανθασμένης Συμπεριφοράς: Η MA θα διερευνήσει το συμβάν και θα ενεργοποιήσει ενδεχομένως την ανάκληση της οντότητας που έχει κακή συμπεριφορά.
- 4) Αντίδραση κακής συμπεριφοράς: Η MA θα εκδώσει την κατάλληλη αντίδραση για την προστασία του συστήματος (π.χ. να εκτελέσει αίτημα ανάκλησης πιστοποιητικού στο PKI).

5.3.3 Μοντέλο Επιτιθέμενου

Σε αυτή την παράγραφο, εξετάζουμε τα ακόλουθα μοντέλα εισβολέα:

1. Εσωτερικός: Ο εισβολέας έχει τα απαιτούμενα κρυπτογραφικά διαπιστευτήρια για να επικοινωνήσει σε ένα C-ITS.
2. Ενεργός: Ο εισβολέας συμμετέχει ενεργά στην επικοινωνία C-ITS και στέλνει πλαστά δεδομένα.
3. Τροποποίηση ωφέλιμου φορτίου μηνυμάτων: Υποθέτουμε ότι ο κακόβουλος χρήστης μπορεί να τροποποιήσει οποιαδήποτε πεδία στα εξερχόμενα BSM/CAM του. Αυτό είναι δυνατό εάν ένας εισβολέας έχει πλήρη πρόσβαση στο λεωφορείο CAN του οχήματός του. Ο εισβολέας μπορεί να τοποθετήσει μια επίθεση man-in-the-middle και να τροποποιήσει τυχόν δεδομένα αισθητήρα.
4. Τροποποίηση ρυθμού μετάδοσης: Υποθέτουμε ότι ο εισβολέας μπορεί να τροποποιήσει τον ρυθμό μετάδοσης της ενσωματωμένης μονάδας του. Υποθέτουμε ότι ο εισβολέας έχει τροποποιήσει την ενσωματωμένη μονάδα στο όχημά του, επιτρέποντας ταχύτερο ή πιο αργό ρυθμό μετάδοσης ανάλογα με τον τύπο της επίθεσης.
5. Πρόσβαση σε πιστοποιητικά/διαπιστευτήρια ψευδωνύμων: Υποθέτουμε ότι ο επιτιθέμενος έχει πλήρη πρόσβαση στη χρήση πιστοποιητικών ψευδωνύμων. Χρησιμοποιούμε την ίδια προϋπόθεση όπως παραπάνω ότι ο εισβολέας έχει τροποποιήσει την ενσωματωμένη μονάδα του. Θα πρέπει να επιτρέπει τη χρήση πιστοποιητικών ψευδωνύμων όπως θέλει ο εισβολέας. Αυτό θα επέτρεπε την πραγματοποίηση επιθέσεων Sybil.

Ακολουθώντας το παράδειγμα EEBL ένας εισβολέας θα έστελνε λανθασμένη τιμή επιβράδυνσης (ενδεχομένως μαζί με αντίστοιχα δεδομένα κίνησης) προκειμένου να εξαναγκάσει το ξαφνικό φρενάρισμα από το θύμα. Ο εισβολέας χωρίς έγκυρα διαπιστευτήρια δεν θα μπορεί να υπογράψει σωστά το μήνυμα και η επαλήθευση θα αποτύχει στους παραλήπτες. Ωστόσο, ένας εσωτερικός εισβολέας θα στείλει πιστοποιημένα μηνύματα και ο μόνος τρόπος για να μην ξεγελαστεί το θύμα από αυτούς είναι να εκτελέσει αλγόριθμους MBD.

5.4 Framework – Πλαίσιο F2MD

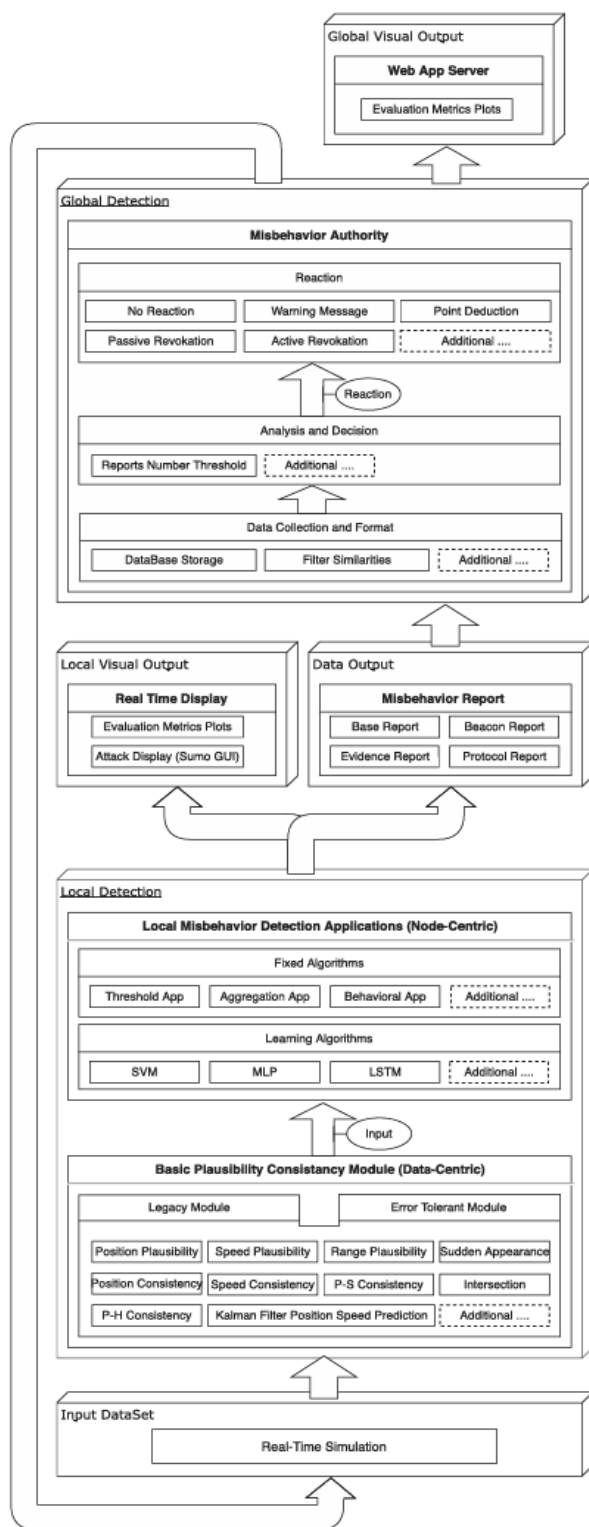
5.4.1 Γενικά Χαρακτηριστικά Πλαισίου

Αυτό το ανοικτό πακέτο λογισμικού παρέχει ολοκληρωμένη λύση για προσομοίωση και αξιολόγηση σε πραγματικό χρόνο ενός συστήματος MBD. Επεκτείνει το VEINS με ένα μεγάλο πάνελ MBD, αξιολόγησης και άλλων γενικών ενοτήτων C-ITS. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του F2MD είναι η σπονδυλωτή μορφή του. Η αρχιτεκτονική είναι οργανωμένη σε πολλά λειτουργικά επίπεδα: δεδομένα εισόδου, τοπική ανίχνευση, τοπική οπτική έξοδος, έξοδος δεδομένων αναφοράς και καθολική ανίχνευση. Ανάλογα με το επίπεδο αξιολόγησης της κακής συμπεριφοράς, μπορεί να επιλεγεί η πολυπλοκότητα του σεναρίου, οι επιθέσεις και η μέθοδος ανίχνευσης. Εκτός από τους εφαρμοσμένους μηχανισμούς και επιθέσεις MBD, το F2MD προσφέρει τη δυνατότητα επέκτασης του πλαισίου με πρόσθετες ενότητες μέσω του υπάρχοντος

API. Ένα βασικό χαρακτηριστικό του πλαισίου μας είναι η ενσωμάτωσή του με μη προσομοιωμένες ενότητες, όπως εξωτερικές ενότητες Machine Learning για προηγμένη καταγραφή/ανίχνευση MBD και εξωτερική καταγραφή αναφορών πακέτων. Η Εικόνα 45 συνοψίζει αυτήν την ιδέα καθώς βλέπουμε τις διαφορετικές ενότητες της αρχιτεκτονικής.

5.4.2 Δεδομένα εισαγωγής

Η πρώτη εισαγωγή που απαιτείται για το πλαίσιο F2MD είναι ένα σενάριο εξομοίωσης στο SUMO. Παρέχονται από το F2MD δύο σενάρια έτοιμα για χρήση. Το πρώτο σενάριο είναι από την περιοχή Paris-Saclay. Είναι ένα σχετικά μικρό δίκτυο για το οποίο παράγεται μεταβλητή πυκνότητα οχημάτων. Χρησιμοποιείται ως τεστ δοκιμών, καθώς παρέχει γρήγορα και προβλέψιμα αποτελέσματα. Το δεύτερο σενάριο είναι το δίκτυο LuST SUMO. Αυτό το σενάριο είναι ένα δίκτυο SUMO που βασίζεται σε δεδομένα απογραφής πληθυσμού και σε πραγματικές πληροφορίες κυκλοφορίας του Λουξεμβούργου. Αυτό το σενάριο είναι πολύ πιο αργό στην εκτέλεση, αλλά είναι πιο ακριβές και ρεαλιστικό για τα τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης. Εκτός από την παραμετροποίηση του SUMO, η προσομοίωση VEINS απαιτεί την παραμετροποίηση του OMNeT++. Η παραμετροποίηση του OMNeT++ περιλαμβάνει τις παραμέτρους των beacon όπως το μήκος bit κεφαλίδας και το διάστημα beacon. Περιλαμβάνει επίσης τις ρυθμίσεις της κάρτας διεπαφής δικτύου (Network Interface Card - NIC), όπως το εκπεμπόμενο ισχύς (txPower), το bitrate, τον θερμικό θόρυβο, κλπ. Τέλος, το πλαίσιο απαιτεί συγκεκριμένες εισόδους, όπως τους τύπους επίθεσης, την πυκνότητα του εισβολέα, τη μορφή αναφοράς και το PCP. Αυτή η λίστα δεν είναι εξαντλητική, αλλά δίνει μια γενική ιδέα για τους τύπους εισροών που αναμένονται. Ορισμένες εισοδοί διευκρινίζουν τον τύπο της επίθεσης ή το PCP. Για παράδειγμα, εάν επιλέξουμε μια περιοδική αλλαγή ψευδωνύμου, τότε πρέπει να ορίσουμε τη μέση περίοδο αλλαγής.



Εικόνα 45 Αναπαράσταση διαγράμματος των κύριων ενότητων (Joseph Kamel, 2020)

5.4.3 Τοπική Ανίχνευση

Στο πλαίσιο F2MD παρέχεται μια πλούσια ενότητα για την τοπική ανίχνευση MBD. Αυτή η ενότητα παρέχει απλές μεθόδους προσαρμογής και δοκιμής διαφορετικών αλγορίθμων χρησιμοποιώντας μια απλή μεθοδολογία. Η λογική τοπικής ανίχνευσης έχει ως εξής. Το σύστημα εκτελεί βασικούς ελέγχους αληθοφάνειας και συνέπειας σε κάθε λαμβανόμενο μήνυμα. Τα αποτελέσματα μεταδίδονται στην τοπική εφαρμογή ανάρμοστης συμπεριφοράς που αποφασίζει εάν θα στείλει ή όχι αναφορά στην MA. Επομένως, η τοπική ανίχνευση θα μπορούσε να προσαρμοστεί σε δύο βάσεις: τον βασικό έλεγχο αληθοφάνειας (συχνά αποκαλούμενη ανιχνευτής) και την πιο έξυπνη εφαρμογή ανίχνευσης (συχνά αναφέρεται ως συγχώνευση δεδομένων – data fusion). Για το λόγο αυτό, υπάρχουν πολλαπλές εκδόσεις των βασικών ελέγχων και εφαρμογών κακής συμπεριφοράς. Παρέχεται επίσης μια μέθοδος ενσωμάτωσης για εφαρμογές MBD που βασίζονται σε μηχανική μάθηση σε πραγματικό χρόνο.

Έλεγχος αληθοφάνειας: Από τη βιβλιογραφία, έχει εξαχθεί ένα σύνολο βασικών ελέγχων MBD. Οι έλεγχοι ή ανιχνευτές εφαρμόστηκαν με δυο μορφές: την παλαιού τύπου έκδοση και σε μια έκδοση με ανοχή σε σφάλματα (Error Tolerant). Η παλαιού τύπου έκδοση είναι πολύ πιο γρήγορη στον υπολογισμό των ελέγχων αληθοφάνειας και επιστρέφει μια δυαδική έξοδο για να δείξει εάν μια συγκεκριμένη πτυχή του μηνύματος είναι εύλογη ή όχι. Η έκδοση ET είναι γενικά πιο αργή στον υπολογισμό των ελέγχων αληθοφάνειας, αλλά επιστρέφει έναν παράγοντα αβεβαιότητας που αντανακλά την κλίμακα της μη αληθοφάνειας του μηνύματος (Joseph Kamel, 2020). Ακολουθεί η λίστα με όλους τους τοπικούς ελέγχους αληθοφάνειας που εφαρμόζονται:

- Εύρος αληθοφάνειας: Ελέγχει εάν η θέση του σταθμού ευφών συστημάτων μεταφοράς αποστολής (ITS-S) βρίσκεται εντός του μέγιστου εύρους ego ITS-S (προκαθορισμένη τιμή αντιστοιχισμένη στο ego μέγιστης ραδιοκάλυψης ITS-S).
- Αληθοφάνεια θέσης: Ελέγχει εάν η θέση του ITS-S αποστολής βρίσκεται σε εύλογο σημείο (π.χ. σε δρόμο, χωρίς επικαλύψεις φυσικών εμποδίων κ.λπ.).
- Αληθοφάνεια ταχύτητας: Ελέγχει εάν η ταχύτητα που μεταδίδεται από το ITS-S-πομπό είναι μικρότερη από ένα προκαθορισμένο όριο.
- Συνέπεια θέσης: Ελέγχει εάν τα δύο διαδοχικά beacons που προέρχονται από το ίδιο ITS-S έχουν εύλογη απόσταση διαχωρισμού.
- Συνοχή ταχύτητας: Ελέγχει εάν τα δύο διαδοχικά beacons που προέρχονται από το ίδιο ITS-S έχουν εύλογη επιτάχυνση ή επιβράδυνση.
- Συνοχή ταχύτητας θέσης: Ελέγχει εάν τα δύο διαδοχικά beacons που προέρχονται από το ίδιο ITS-S έχουν λογική μεταβολή ταχύτητας και απόσταση διαχωρισμού.
- Συχνότητα beacon: Ελέγχει εάν η συχνότητα beacon ενός ITS-S αποστολής είναι συμβατή με τα πρότυπα.
- Συνέπεια επικεφαλίδας θέσης: Ελέγχει εάν οι θέσεις σε δύο διαδοχικά beacons που προέρχονται από το ίδιο ITS-S αντιστοιχούν στην επικεφαλίδα που μεταδίδεται από αυτό το ITS-S.
- Έλεγχος διασταύρωσης: Ελέγχει εάν κάποιο beacon που προέρχεται από δύο διαφορετικά ITS-S φαίνεται να έχει επικαλυπτόμενες θέσεις (δηλαδή και τα δύο ITS-S επικαλύπτονται μεταξύ τους).
- Ξαφνική εμφάνιση: Ελέγχει αν εμφανίστηκε ξαφνικά κάποιο ITS-S σε ένα συγκεκριμένο εύρος.

- Παρακολούθηση φίλτρου Kalman: Ελέγχει εάν οι μεταδιδόμενες πληροφορίες ITS-S βρίσκονται εντός ενός εύρους από τις προβλεπόμενες τιμές του φίλτρου Kalman. (Joseph Kamel, 2020).

2) Προηγμένη ανίχνευση κακής συμπεριφοράς: Οι εφαρμογές MBD αποτελούν μέρος της λογικής ανίχνευσης που λαμβάνει αποφάσεις. Αναφέρονται επίσης ως εφαρμογές σύντηξης, καθώς η απόφαση βασίζεται συχνά στη συγχώνευση πολλαπλών παραγόντων (τα αποτελέσματα των ελέγχων αληθοφάνειας, το ιστορικό κόμβων, κ.λπ.). Ορισμένα από τα παραδείγματα που υλοποιήσαμε χρησιμοποιούν στατικούς αλγόριθμους και άλλα βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη. Οι στατικοί αλγόριθμοι υλοποιήθηκαν απευθείας σε VEINS ενώ οι εφαρμογές εκμάθησης υλοποιήθηκαν σε python και προσπελάστηκαν μέσω ενός συγκεκριμένου API. Ακολουθούν οι εφαρμογές που βασίζονται σε στατικούς αλγόριθμους:

- Threshold App: Ένας κόμβος αναφέρεται εάν ένα συγκεκριμένο μήνυμα αποτύχει τουλάχιστον σε έναν από τους ελέγχους αληθοφάνειας. Η αποτυχία καθορίζεται εάν το αποτέλεσμα του ελέγχου πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο.
- Aggregation App: Αυτή η εφαρμογή βασίζεται στο ιστορικό κόμβων. Τα αποτελέσματα των ελέγχων ορισμένων μηνυμάτων συγκεντρώνονται στα τελευταία n αποτελέσματα. Ένας κόμβος αναφέρεται εάν τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα πέφτουν κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο.
- Behavioral App: Αυτή η εφαρμογή βασίζεται στη σοβαρότητα του συμβάντος κακής συμπεριφοράς. Σύμφωνα με τη βαρύτητα της κακής συμπεριφοράς, ο κόμβος τίθεται σε timeout και όλα τα δεδομένα που στέλνει αναφέρονται στο MA. Η βαρύτητα συνάγεται από τα αποτελέσματα των βασικών ελέγχων αληθοφάνειας.

3) Python-C++ Interface for Machine Learning Modeling - Διεπαφή Python-C++ για μοντελοποίηση μηχανικής μάθησης: Ένα από τα πιο χρησιμοποιούμενα οικοσυστήματα προγραμματισμού για τη μηχανική μάθηση (ML) και τη βαθιά μάθηση (DL) είναι η Python. Το F2MD έχει αναπτύξει μια διεπαφή μεταξύ Python και C++ τμημάτων του πλαισίου μας. Αυτή η διεπαφή επιτρέπει σε κάθε προγραμματιστή να εφαρμόσει τα μοντέλα ML του στην Python και να αφήσει το βασικό πλαίσιο να καλεί τα μοντέλα του κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων. Η Εικόνα 46 αντιπροσωπεύει τη σχεδίαση διεπαφής Python-C++. Η διεπαφή έχει σχεδιαστεί γύρω από μια τυπική διαδικασία ανάπτυξης μοντέλου ML. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 46, η διεπαφή χωρίζεται σε φάσεις εκτός σύνδεσης και σε απευθείας σύνδεση. Όλα τα αρχεία παρουσιάζονται ως ξεχωριστές μονάδες στο σχήμα. Αυτό σημαίνει ότι ένα μοντέλο ML χωρίζεται σε δύο αρχεία. Ένα αρχείο για κάθε φάση. Στη φάση εκτός σύνδεσης, ένας προγραμματιστής μπορεί να σχεδιάσει, να εκπαιδεύσει και να αποθηκεύσει το μοντέλο ML του. Υποστηρίζεται το scikit-learn για τη μοντελοποίηση ML και η βιβλιοθήκη joblib για την αποθήκευση μοντέλων ML (Joseph Kamel, 2020). Το joblib είναι πολύ πιο αποτελεσματικό στην αποθήκευση μοντέλων ML που χρησιμοποιούν NumPy από την ενσωματωμένη μονάδα pickle της Python. Στη διαδικτυακή φάση, το μοντέλο ML εκτελείται μέσα σε έναν διακομιστή HTTP (PyMLServer) που ακούει σε μια θύρα που ορίζεται από το χρήστη.

Ο πυρήνας της προσομοίωσης (γραμμένος σε C++) καλεί το μοντέλο ML (γραμμένο σε Python). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 46, ο πυρήνας προσομοίωσης στέλνει δεδομένα προς δοκιμή έναντι του μοντέλου ML με ένα αίτημα HTTP. Το PyMLServer καλεί το σενάριο πρόβλεψης ML το οποίο εκτελεί λειτουργίες ως εξής:

- Φορτώνει τα δεδομένα από το αίτημα HTTP που πρέπει να υποβληθεί σε επεξεργασία για πρόβλεψη.
- Φορτώνει το μοντέλο ML που αποθηκεύτηκε κατά τη φάση εκτός σύνδεσης. Χρησιμοποιείται ξανά το joblib για να φορτωθεί το μοντέλο ML.
- Απαντιέται το αίτημα HTTP με πρόβλεψη από το μοντέλο ML.
- Προαιρετικά, το σενάριο πρόβλεψης θα μπορούσε να ενημερώσει το μοντέλο ML και να το αποθηκεύσει ξανά στο φορτωμένο μοντέλο. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούν αντίστροφη διάδοση (backpropagation) μπορεί να χρειάζονται τέτοια λειτουργικότητα.

Τέλος, ο πυρήνας προσομοίωσης διαβάζει την έξοδο πρόβλεψης από την απόκριση HTTP για να πραγματοποιήσει περαιτέρω έρευνα. Με βάση το API μπορούν να εφαρμοστούν οι ακόλουθες τεχνικές:

Ταξινομητής Υποστήριξης Διανυσματικών Μηχανών (SVM)

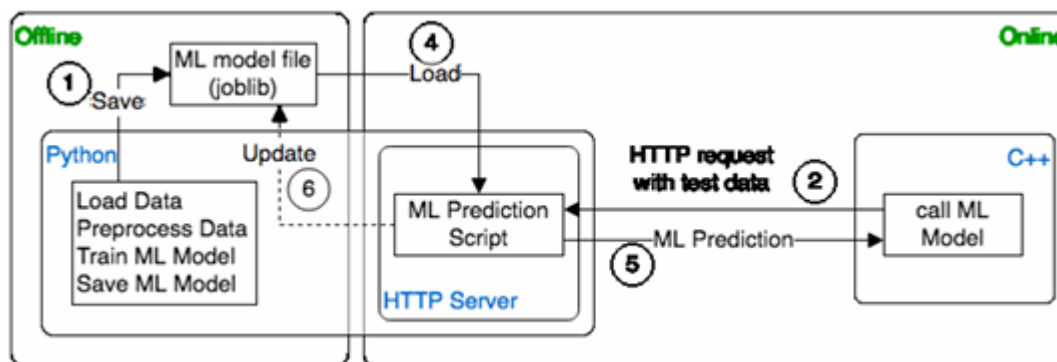
Ένα μοντέλο SVM δύο κατηγοριών εκπαιδεύτηκε σε χαρακτηριστικά που εξήχθησαν από τους ελέγχους αληθοφάνειας. Αυτό το SVM ταξινομεί τα γνήσια οχήματα από τα ακατάλληλα με ακρίβεια που εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το σενάριο (Δίκτυο, Πυκνότητα, Επιθέσεις κ.λπ.).

Ταξινομητής Perceptron πολλαπλών επιπέδων (MLP Multilayer Perceptron Classifier)

Ένα νευρωνικό δίκτυο βασισμένο σε MLP εκπαιδεύτηκε στα ίδια δεδομένα όπως για το SVM. Προκύπτει ότι η ακρίβεια του MLP είναι γενικά καλύτερη από το SVM.

Ταξινομητής Μακροπρόθεσμης Μνήμης (LSTM - Long Short-Term Memory)

Ένα LSTM νευρωνικό δίκτυο εκπαιδεύτηκε επίσης στα ίδια δεδομένα όπως και για το SVM. Το LSTM είναι μέρος της οικογένειας αλγορίθμων ML Recurrent Neural Network (RNN) που είναι επαρκείς για την επεξεργασία δεδομένων που εξαρτώνται από το χρόνο. Η ακρίβεια του LSTM ήταν γενικά η καλύτερη από τους δοκιμασμένους αλγόριθμους. Ωστόσο, είναι επίσης ο πιο αργός αλγόριθμος για υπολογισμό.



Εικόνα 46 Διεπαφή Python-C++ για μοντελοποίηση μηχανικής μάθησης (Joseph Kamel, 2020)

5.4.4 Αναφορά

Ένας σημαντικός στόχος του τοπικού MBD είναι να στείλει μια αναφορά σε μια κεντρική MA για επεξεργασία. Βάσει του πλαισίου, ο αλγόριθμος MBD θα μπορούσε να αποφασίσει να δημιουργήσει μια αναφορά κακής συμπεριφοράς. Οι αναφορές προωθούνται σε ένα καθολικό MA μέσω σύνδεσης HTTP. Επιπλέον, οι αναφορές μπορούν να εκφραστούν σε μορφή json ή xml και να συλλεχθούν σε έναν τοπικό φάκελο. Προτάθηκε πρωτόκολλο αναφοράς κακής συμπεριφοράς εμπνευσμένη από το πρωτόκολλο που περιγράφεται στο (Joseph Kamel, 2020). Η αναφορά αποτελείται από τρία τμήματα: Header Container, Source Container και Evidence Container. Το κοντέινερ κεφαλίδας περιέχει τις βασικές πληροφορίες που πρέπει να περιλαμβάνονται σε κάθε αναφορά: χρόνος δημιουργίας, αναγνωριστικό αποστολέα, αναγνωριστικό αναφοράς και τύπος αναφοράς. Το κοντέινερ προέλευσης αποτελείται από τα αποτελέσματα των ελέγχων αληθοφάνειας και συνέπειας στο αναφερόμενο beacon, δεδομένου ότι ένα όχημα αναφέρεται μόνο αφού ένα beacon εμφανίσει κάποια αναξιοπιστία. Το κοντέινερ αποδεικτικών στοιχείων θα πρέπει να βοηθήσει τον MA στην έρευνά του και να υποστηρίξει το συμπέρασμά του. Το κοντέινερ αποδεικτικών στοιχείων μπορεί να αποτελείται από μηνύματα από τον αναφερόμενο ή από αυτόν που αναφέρει ή οποιαδήποτε γειτονικά οχήματα, εάν κριθεί χρήσιμο. Θα μπορούσε επίσης να περιλαμβάνει κάποια άλλα δεδομένα, όπως έναν Τοπικό Δυναμικό Χάρτη (LDM) ή δεδομένα άμεσου αισθητήρα από τον ανταποκριτή. Ωστόσο, η μορφή της έκθεσης δεν είναι ακόμη προτυποποιημένη και εξακολουθεί να αποτελεί αντικείμενο επιστημονικής έρευνας. Για αυτόν τον λόγο, παρέχονται πολλαπλές μορφές της αναφοράς ανάρμοστης συμπεριφοράς για τη διευκόλυνση της περαιτέρω έρευνας και δοκιμών. Οι ακόλουθες εκδοχές αναφοράς που υλοποιούνται στο F2MD είναι:

- Βασική αναφορά: Αυτή η μορφή περιλαμβάνει μόνο το κοντέινερ κεφαλίδας και το κοντέινερ προέλευσης χωρίς στοιχεία.
- Beacon Report: Αυτή η έκδοση περιλαμβάνει μια αναφορά βάσης και το αναφερόμενο beacon στο Evidence Container.
- Evidence Report: Αυτή η έκδοση περιέχει ένα πιο πλήρες Evidence Container ανάλογα με τον τύπο της αποτυχίας των ελέγχων αληθοφάνειας. Για παράδειγμα, εάν το όχημα απέτυχε στη συνέπεια ταχύτητας, συμπεριλαμβάνουμε και τα δύο ασυνεπή beacon ως απόδειξη.

Κάθε μήνυμα που έχει επισημανθεί ως κακή συμπεριφορά αναφέρεται. Ωστόσο, δεν πρέπει να αναφέρεται κάθε μήνυμα ξεχωριστά. Αυτό θα δημιουργούσε σημαντική επιβάρυνση δικτύου, ειδικά όταν το όχημα παρουσιάζει κακή συμπεριφορά λόγω ενός ελαττωματικού εξαρτήματος στο σύστημά του. Κατά συνέπεια, επιτρέπονται παραλείψεις αναφορών, πράγμα που σημαίνει ότι το όχημα δεν αναφέρεται συνεχώς για την ίδια συμπεριφορά. Αντί γι' αυτό, το τοπικό όχημα αναφέρει την ίδια συμπεριφορά μόνο μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα κατά τη συλλογή αποδεικτικών στοιχείων. Στη συνέχεια, τα αποδεικτικά στοιχεία αποστέλλονται στην MA σε μια ενιαία αναφορά. Αυτό το πρωτόκολλο προϋποθέτει έναν έξυπνο MA που δίνει προτεραιότητα στο περιεχόμενο των λαμβανόμενων αναφορών αντί του αύξοντα αριθμού τους.

5.4.5 Καθολική ανίχνευση κακής συμπεριφοράς

Η αρχή κακής συμπεριφοράς (MA - Misbehavior Authority) είναι η καθολική οντότητα που λαμβάνει τις αναφορές που αποστέλλονται από τα οχήματα. Η MA θα πρέπει στη συνέχεια να αποφασίσει για την κατάλληλη αντίδραση που θα έχει.

Ορίζονται τρία κύρια στοιχεία του MA:

- Συλλογή και Μορφή: Η συλλεγόμενη αναφορά προστίθεται σε μια βάση δεδομένων. Αυτή η ενέργεια επιτρέπει την πρόσβαση σε αναφορές χρησιμοποιώντας αναζητήσεις. Για παράδειγμα, μπορούμε να λάβουμε όλες τις αναφορές που κατηγορούν ένα συγκεκριμένο ψευδώνυμο ή όλες τις αναφορές από μια συγκεκριμένη περιοχή. Αυτά τα αιτήματα θα μπορούσαν να είναι χρήσιμα στη φάση της ανάλυσης. Υπάρχει επίσης ένα σύστημα φιλτραρίσματος, εάν είναι ενεργοποιημένο, που θα μπορούσε να συγκεντρώσει όλες τις αναφορές που σηματοδοτούν το ίδιο αποτυχημένο αποτέλεσμα ελέγχου (π.χ. σύνολα δύο μηνυμάτων με ασυνέπεια ταχύτητας).
- Ανάλυση και Απόφαση: Η MA αναλύει τις αναφορές και εξάγει το σωστό επίπεδο αντίδρασης. Εφαρμόζεται μια απλή μη έξυπνη μέθοδος που έχει ένα όριο στον αριθμό των αναφορών για κάθε επίπεδο αντίδρασης. Ο αριθμός των αναφορών που απαιτούνται για την επίτευξη κάθε επιπέδου μπορεί να τροποποιηθεί. Μπορεί να ρυθμιστούν τα επίπεδα ώστε να είναι συμβατή με τον μηχανισμό αντίδρασης μας. Ωστόσο, θα μπορούσαν να αναπτυχθούν και άλλα αποτελέσματα αντίδρασης.
- Αντίδραση: Η αντίδραση κακής συμπεριφοράς εξακολουθεί να είναι ένα ευρέως συζητούμενο θέμα. Προτείνεται μια λύση που βασίζεται σε 5 επίπεδα αντίδρασης:
 - επίπεδο 0: καμία αντίδραση
 - επίπεδο 1: αποστέλλεται ένα προειδοποιητικό μήνυμα στο όχημα
 - επίπεδο 2: ένα προειδοποιητικό σημείο αφαιρείται από τη βαθμολογία του οχήματος
 - επίπεδο 3: παθητική ανάκληση όπου το όχημα δεν μπορεί να ζητήσει περισσότερα πιστοποιητικά
 - επίπεδο 4: ενεργή ανάκληση όπου ανακαλούνται τα τρέχοντα πιστοποιητικά του οχήματος. Επί του παρόντος, οι αντιδράσεις δεν προκαλούν αλλαγή στη συμπεριφορά του οχήματος στον εξομοιωτή.

5.4.6 Μηχανισμοί κακής συμπεριφοράς

Προκειμένου να αξιολογηθεί η ποιότητα των διαφορετικών μεθόδων ανίχνευσης, πρέπει να δημιουργήσουμε κακή συμπεριφορά στο σύστημα. Για το λόγο αυτό, εφαρμόζονται δύο κατηγορίες κακής συμπεριφοράς: Εσφαλμένη συμπεριφορά και επιθέσεις. Η εσφαλμένη συμπεριφορά δρα σε δεδομένα ενός αισθητήρα και οι επιθέσεις είναι πιο περίπλοκα σχήματα. Το F2MD εισάγει ένα προκαθορισμένο ποσοστό οχημάτων με κακή συμπεριφορά. Αυτά τα οχήματα θα μπορούσαν όλα να παρουσιάζουν έναν τύπο κακής συμπεριφοράς ή να συνδυάζουν πολλούς τύπους. Λεπτομέρειες όλων των εφαρμοσμένων μηχανισμών ανάρμοστης συμπεριφοράς παρουσιάζονται παρακάτω.

1. Ελαττωματική Συμπεριφορά (Faulty Behavior): Κάθε όχημα θα πρέπει να περιλαμβάνει μια μη τακτική επεξεργασία των δεδομένων για να διασφαλίζεται η αληθοφάνεια πριν από τη μετάδοση. Ωστόσο, αυτό το

προληπτικό σύστημα θα μπορούσε ενδεχομένως να στερείται ορισμένων περιπτώσεων χρήσης και είναι επιρρεπές σε αστοχία, ειδικά στην περίπτωση των οικονομικών οχημάτων. Εδώ, εξετάζουμε την περίπτωση όπου ένα τέτοιο ενσωματωμένο σύστημα προεπεξεργασίας δεδομένων αποτυγχάνει. Το ακόλουθο σύνολο πιθανών ελαττωματικών συμπεριφορών (Joseph Kamel, 2020) υλοποιήθηκε στο F2MD:

- Σταθερή θέση: Το όχημα εκπέμπει την ίδια θέση (X, Y) κάθε beacon.
- Μετατόπιση σταθερής θέσης: Το όχημα εκπέμπει την πραγματική του θέση με σταθερή μετατόπιση ($\Delta X, \Delta Y$).
- Τυχαία θέση: Το όχημα εκπέμπει μια τυχαία θέση στον χώρο.
- Μετατόπιση τυχαίας θέσης: Το όχημα μεταδίδει την πραγματική του θέση με μια τυχαία μετατόπιση περιορισμένη ω; μια μέγιστη τιμή ($\Delta(0 \rightarrow X_{max}), \Delta(0 \rightarrow Y_{max})$).
- Σταθερή ταχύτητα: Το όχημα εκπέμπει την ίδια ταχύτητα (V_x) σε κάθε beacon.
- Μετατόπιση σταθερής ταχύτητας: Το όχημα εκπέμπει την πραγματική του ταχύτητα με σταθερή μετατόπιση (ΔV_X).
- Τυχαία ταχύτητα: Το όχημα εκπέμπει μια τυχαία ταχύτητα με ανώτατο όριο ($0 \rightarrow V_{max}$). Περιορίζεται σε μια μέγιστη τιμή ($\Delta(0 \rightarrow V_{max})$).
- Παλιά μηνύματα: Το όχημα εκπέμπει τις πραγματικές του πληροφορίες αφού προσθέσει μια προκαθορισμένη καθυστέρηση (Δt).

2. Επιθέσεις: Τα σχέδια επιθέσεων ποικίλλουν σε πολυπλοκότητα. Η ακόλουθη λίστα περιγράφει λεπτομερώς τι εφαρμόζεται επί του παρόντος στο πλαίσιο μας.

- DoS: Για να απαγορεύσει την πρόσβαση των άλλων οχημάτων στο δίκτυο, το όχημα που επιτίθεται αυξάνει τη συχνότητα beaconing κατά έναν συγκεκριμένο παράγοντα. Στην εφαρμογή μας, το όχημα θα μπορούσε επίσης να επιλέξει να στείλει έγκυρο μήνυμα ή τυχαία δεδομένα. Ο εισβολέας θα μπορούσε επίσης να επιλέξει να αλλάζει πιο συχνά και να εναλλάσσει τα προφορωμένα ψευδώνυμά του για να αποφύγει τον εντοπισμό.
- Disruptive: Αυτή η επίθεση στοχεύει να διακόψει το σύστημα πλημμυρίζοντας το δίκτυο με παλιά δεδομένα beacons. Ο εισβολέας επιλέγει ένα τυχαίο beacon από το λαμβανόμενο ιστορικό και αναπαράγει ξανά τα δεδομένα του. Ταυτόχρονα, ο εισβολέας είναι σε θέση να αυξήσει τη συχνότητα beaconing για να μεγιστοποιήσει το αποτέλεσμα. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα δημιουργήθηκαν αρχικά από γνήσια οχήματα, καθιστώντας τα αξιόπιστα σε ορισμένα επίπεδα. Ως αποτέλεσμα, αυτή η επίθεση υποβαθμίζει σοβαρά την ποιότητα του C-ITS. Ομοίως με το DoS Attack, ο εισβολέας μπορούσε επίσης να επιλέξει να εναλλάσσει τα προφορωμένα ψευδώνυμά του.
- Data Replay: Ο εισβολέας επιλέγει έναν στόχο και επαναλαμβάνει τα δεδομένα του με μια ορισμένη καθυστέρηση. Κατά συνέπεια, θα μπορούσε να φανεί σε έναν παρατηρητή ότι υπάρχουν δύο οχήματα που ακολουθούν το ένα το άλλο. Ο εισβολέας θα μπορούσε να επιλέξει να αλλάξει το ψευδώνυμό του όταν άλλαζε το όχημα-στόχο για να αποφύγει τον εντοπισμό.
- Eventual Stop: Μετά από μια ορισμένη τυχαία καθυστέρηση, ο εισβολέας σταματά να ενημερώνει τη θέση του beacon και ρυθμίζει την ταχύτητα στο μηδέν, προσομοιώνοντας έτσι μια ξαφνική διακοπή.
- Congestion Sybil: Ένας τύπος επίθεσης Sybil αποτελείται από τη δημιουργία οχημάτων φαντασμάτων. Για το σκοπό αυτό εκτελούνται οι ακόλουθες ενέργειες:

- Η θέση, η ταχύτητα και η κατεύθυνση των οχημάτων φάντασμα υπολογίζονται σύμφωνα με τα δεδομένα του οχήματος που επιτίθεται ή ενός επιλεγμένου οχήματος στόχου.
- Δημιουργείται και διατηρείται μια λίστα με ψευδώνυμα, ένα ψευδώνυμο ανά όχημα φάντασμα.
- Η συχνότητα beaconing του εισβολέα αυξάνεται ανάλογα με τον αριθμό των οχημάτων φάντασμα.
- Τα beacon των οχημάτων φάντασμα πολυπλέκονται έτσι ώστε κάθε όχημα να στέλνει ένα beacon ανά κύκλο.

Αυτή η επίθεση αποδεικνύει την ικανότητα χρήσης του F2MD για (i) χειρισμό ψευδωνύμων, (ii) αύξηση της συχνότητας των beacons εν κινήσει και (iii) έξυπνο υπολογισμό των δεδομένων για την εξυπηρέτηση ενός συγκεκριμένου στόχου. Η θέση, η ταχύτητα και η κατεύθυνση των οχημάτων φάντασμα υπολογίζονται σύμφωνα με τα δεδομένα του οχήματος που επιτίθεται ή ενός επιλεγμένου οχήματος στόχου.

- MA Stress: Αυτή η επίθεση δεν στοχεύει τοπικά οχήματα. Αντίθετα, στοχεύει την καθολική οντότητα (δηλαδή την MA) στέλνοντας μεγάλο αριθμό ψεύτικων αναφορών. Οι αναφορές περιέχουν τις ταυτότητες των γειτονικών οχημάτων του δράστη. Ο εισβολέας μπορούσε να επιλέξει να αλλάξει την ταυτότητά του για κάθε αναφορά. Ο εισβολέας θα μπορούσε επίσης να αυξήσει τη συχνότητα με την οποία αποστέλλονται οι αναφορές στην MA.

5.4.7 Ιδιωτικότητα

Η χρήση ψευδωνύμων έχει συμπεριληφθεί στα πρότυπα IEEE και ETSI (Joseph Kamel, 2020). Ωστόσο, το πότε και πώς συμβαίνει μια αλλαγή ψευδωνύμου εξακολουθεί να αποτελεί ερευνητική πρόκληση. Επιστημονικές μελέτες έχουν προτείνει πολλαπλές μεθόδους για τον προσδιορισμό του ρυθμού αλλαγής των ψευδωνύμων. Έχουν εφαρμοστεί οι ακόλουθες Πολιτικές Αλλαγής ψευδωνύμου (PCP) στο πλαίσιο F2MD:

- Περιοδικό: Το όχημα αλλάζει το ψευδώνυμό του μετά από μια προκαθορισμένη χρονική περίοδο.
- Απόσταση: Το όχημα αλλάζει το ψευδώνυμό του μετά από προκαθορισμένο αριθμό χιλιομέτρων.
- Μίας χρήσης: Το ψευδώνυμο χρησιμοποιείται για έναν σταθερό αριθμό μηνυμάτων (συμπεριλαμβανομένων των beacon και των προειδοποιήσεων).
- Τυχαίο: Το ψευδώνυμο έχει προκαθορισμένη πιθανότητα αλλαγής σε κάθε μήνυμα που αποστέλλεται.

TABLE I
DEFINITION OF POSITIVE/NEGATIVE

	Misbehaving	Genuine
Detected	True Positive (TP)	False Positive (FP)
Undetected	False Negative (FN)	True Negative (TN)

Εικόνα 47 Συντομογραφίες positive/negative

5.4.8 Αξιολόγηση και Οπτικοποίηση

Σε ένα δεδομένο σενάριο, ένα όχημα που μεταδίδει μηνύματα μπορεί να είναι ανάρμοστο ή γνήσιο και ένας τοπικός μηχανισμός ανίχνευσης θα μπορούσε να ταξινομήσει τα μηνύματα ως ανάρμοστα ή ορθά. Επομένως, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 47, η αξιολόγηση των μηχανισμών ανίχνευσης ξεκινά αποφασίζοντας τι είναι αληθινά θετικό/αρνητικό και ψευδώς θετικό/αρνητικό. Το Recall (ανάκληση) μετρά την αναλογία των σωστά εντοπισμένων μηνυμάτων κακής συμπεριφοράς σε όλα τα ληφθέντα μηνύματα κακής συμπεριφοράς. Το Precision (ευστοχία) μετρά την αναλογία των μηνυμάτων που έχουν επισημανθεί σωστά ως κακή συμπεριφορά από όλα τα επισημασμένα μηνύματα. Το σκορ F1 είναι ο αρμονικός μέσος όρος της Ανάκλησης και της Ευστοχίας. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως ενιαία μέτρηση για την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος, εάν αποδώσουμε την ίδια σημασία τόσο στην Ανάκληση όσο και την Ευστοχία.

Εάν χρειάζεται, μπορούμε να αποδώσουμε μεγαλύτερη βαρύτητα σε μία μέτρηση υπολογίζοντας ένα F β score. Η Ακρίβεια (ACC) είναι το ποσοστό θετικής συμφωνίας, το οποίο στην περίπτωσή μας αναφέρεται στην αναλογία αληθινής ανίχνευσης στο σύστημα.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (1)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$F_1 score = 2 \times \frac{Recall \times Precision}{Recall + Precision} \quad (3)$$

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (4)$$

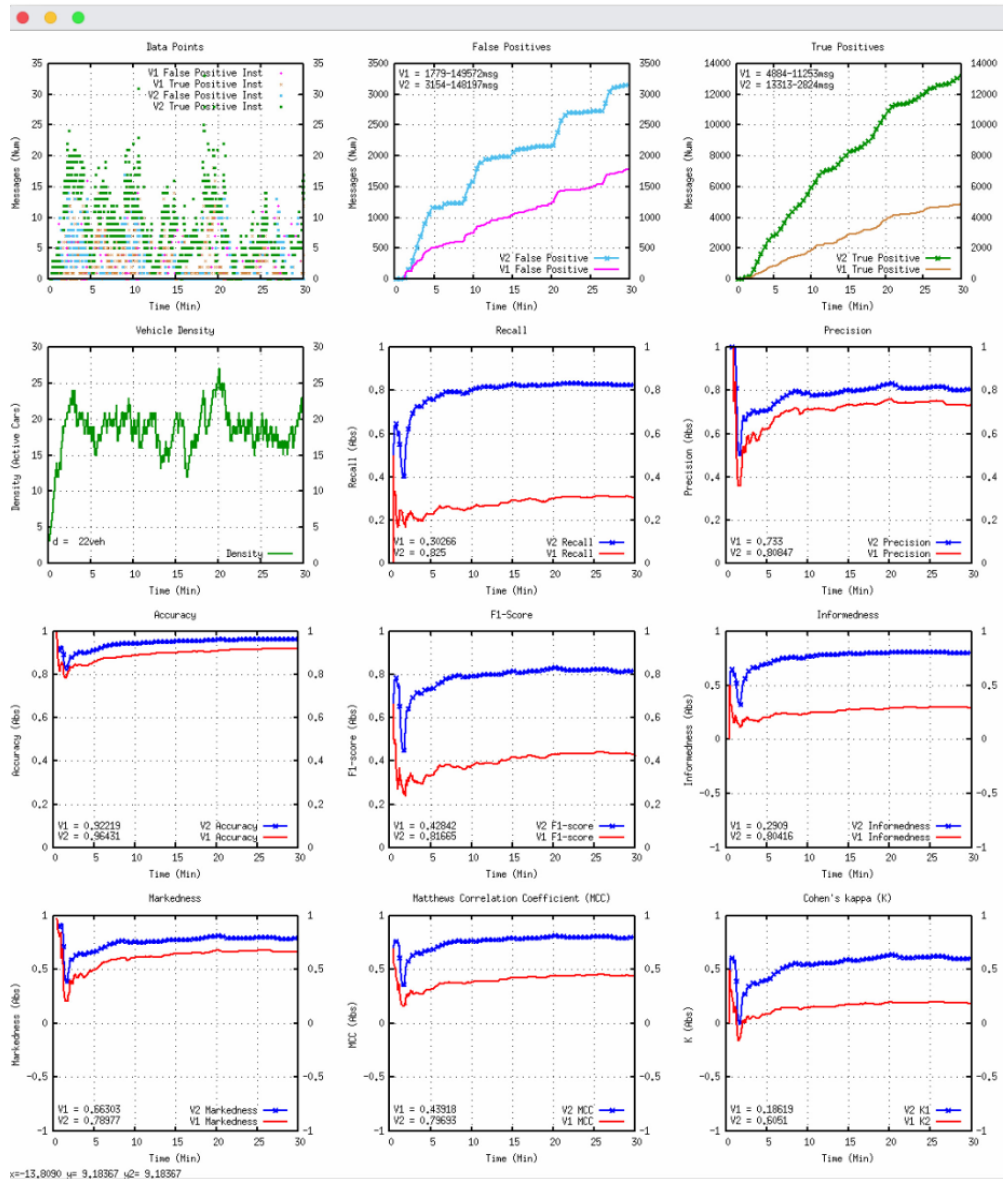
$$BM = \frac{TP}{TP + FN} + \frac{TN}{TN + FP} - 1 \quad (5)$$

$$MK = \frac{TP}{TP + FP} + \frac{TN}{TN + FN} - 1 \quad (6)$$

$$MCC = \frac{TP \times TN + FP \times FN}{\sqrt{(TP + FP)(TP + FN)(TN + FP)(TN + FN)}} \quad (7)$$

Εικόνα 48 Τυπολόγιο μεταβλητών

Το Bookmaker Informedness (BM) χαρακτηρίζει την πιθανότητα μιας τεκμηριωμένης απόφασης. Δείχνει πόσο η απόφαση αυτού του συστήματος είναι καλύτερη από μια τυχαία εικασία. Η Σήμανση είναι η πιθανότητα να εξακριβωθεί η ανίχνευση από την ταξινόμηση σε αντίθεση με την τυχαία. Ο συντελεστής συσχέτισης Matthews (MCC) είναι ο γεωμετρικός μέσος όρος της BM και της Σήμανσης. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν οι μετρούμενες κλάσεις είναι πολύ διαφορετικών μεγεθών, κάτι που συμβαίνει συχνά με τους εισβολείς C-ITS.



Εικόνα 49 F2MDGUI: Σημεία μετρήσεων αξιολόγησης σε πραγματικό χρόνο (σημεία δεδομένων, TP, FP, Πυκνότητα, Ανάκληση, Ακρίβεια, Ακρίβεια, F1score, BM, MK, MCC, K) (Joseph Kamel, 2020)

Ένας από τους στόχους του F2MD είναι να διευκολύνει την αξιολόγηση τυχόν μηχανισμών ανίχνευσης ή τυχόν αλλαγών που θα μπορούσαν να επηρεάσουν το ποσοστό ανίχνευσης. Για να επιτευχθεί αυτό, ο

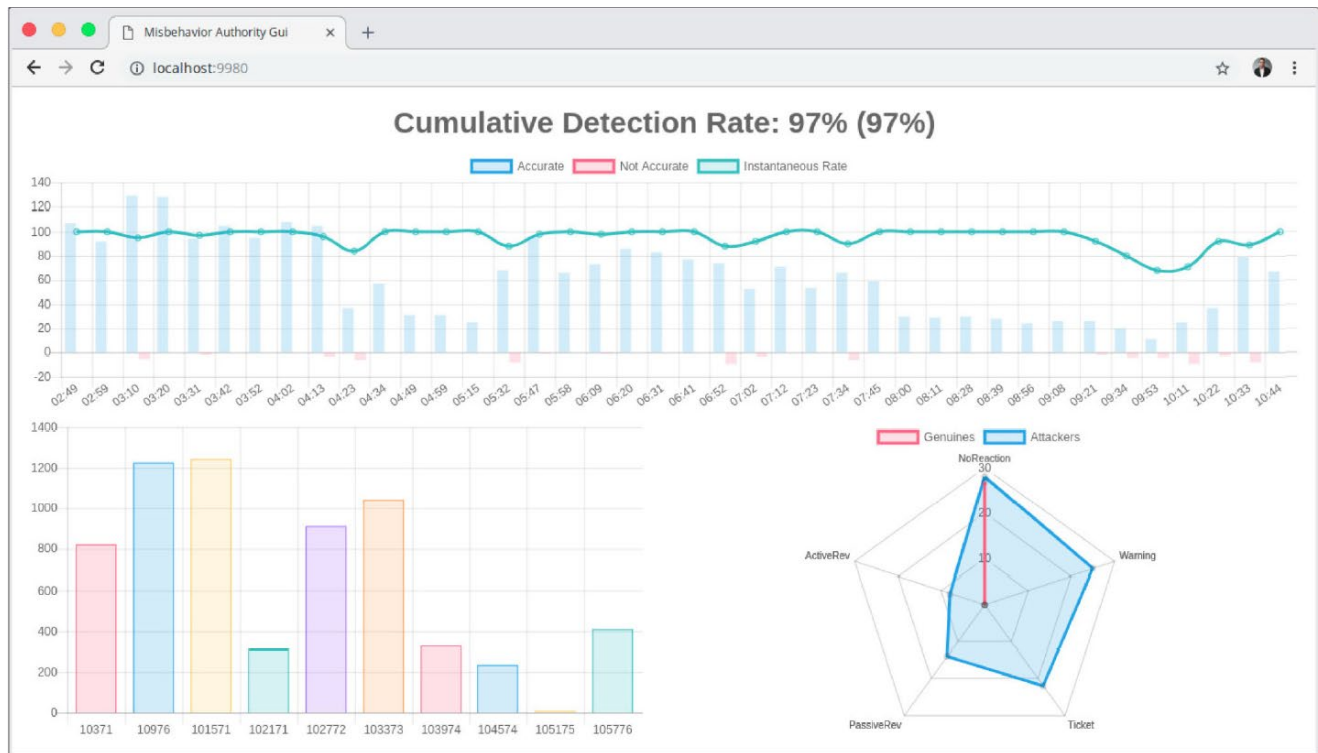
προσομοιωτής καταγράφει ένα στιγμιότυπο της τρέχουσας κατάστασης των μηχανισμών λειτουργίας σε κάθε χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια, ένα σενάριο αναλύει τα δεδομένα, υπολογίζει και σχεδιάζει τις προαναφερθείσες μετρήσεις αξιολόγησης σε πραγματικό χρόνο. Για περαιτέρω διευκόλυνση της αξιολόγησης και σύγκρισης μηχανισμών, ο προσομοιωτής και το σενάριο υποστηρίζουν την εκτέλεση δύο ταυτόχρονων μηχανισμών στο ίδιο σύστημα. Η Εικόνα 49 δείχνει μια σύγκριση σε πραγματικό χρόνο μεταξύ της εφαρμογής Threshold που εκτελείται με δυαδικούς βασικούς ελέγχους αληθοφάνειας και της εφαρμογής Behavioral που εκτελείται σε ενότητα αληθοφάνειας με ανοχή σφαλμάτων.

Ωστόσο, η οπτικοποίηση δεν περιορίζεται στα αποτελέσματα ανίχνευσης. Οι επιθέσεις και το σύστημα ανίχνευσης απεικονίζονται επίσης στο GUI του SUMO. Ο προσομοιωτής χρησιμοποιεί τη διεπαφή ελέγχου κυκλοφορίας της SUMO (TraCI) (Joseph Kamel, 2020) για να χρωματίσει τα οχήματα σύμφωνα με τον προβλεπόμενο ρόλο, όπως καθορίζεται στην Εικόνα 50.



Εικόνα 50 Sumo GUI με προφίλ οχημάτων του F2MD ανάλογα με χρώμα (Joseph Kamel, 2020)

Τέλος, δεδομένου ότι η MA υλοποιείται ως διακομιστής HTTP, παρέχεται ένα web interface. Το web interface εκτελείται σε πραγματικό χρόνο και χρησιμεύει ως απεικόνιση διαφορετικών μετρήσεων και αξιολογήσεων σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση του MA (Εικόνα 51).



Εικόνα 51 Misbehavior Authority Web Interface (Joseph Kamel, 2020)

Εμφανίζονται τρία μετρικά:

- Αθροιστική και στιγμιαία ακρίβεια πρόβλεψης
- Αριθμός ληφθέντων αναφορών ανά ψευδώνυμο για ορισμένα από τα πιο σχετικά αναγνωριστικά
- Διάγραμμα ραντάρ του αθροιστικού ποσοστού των αντιδράσεων που εκδόθηκαν.

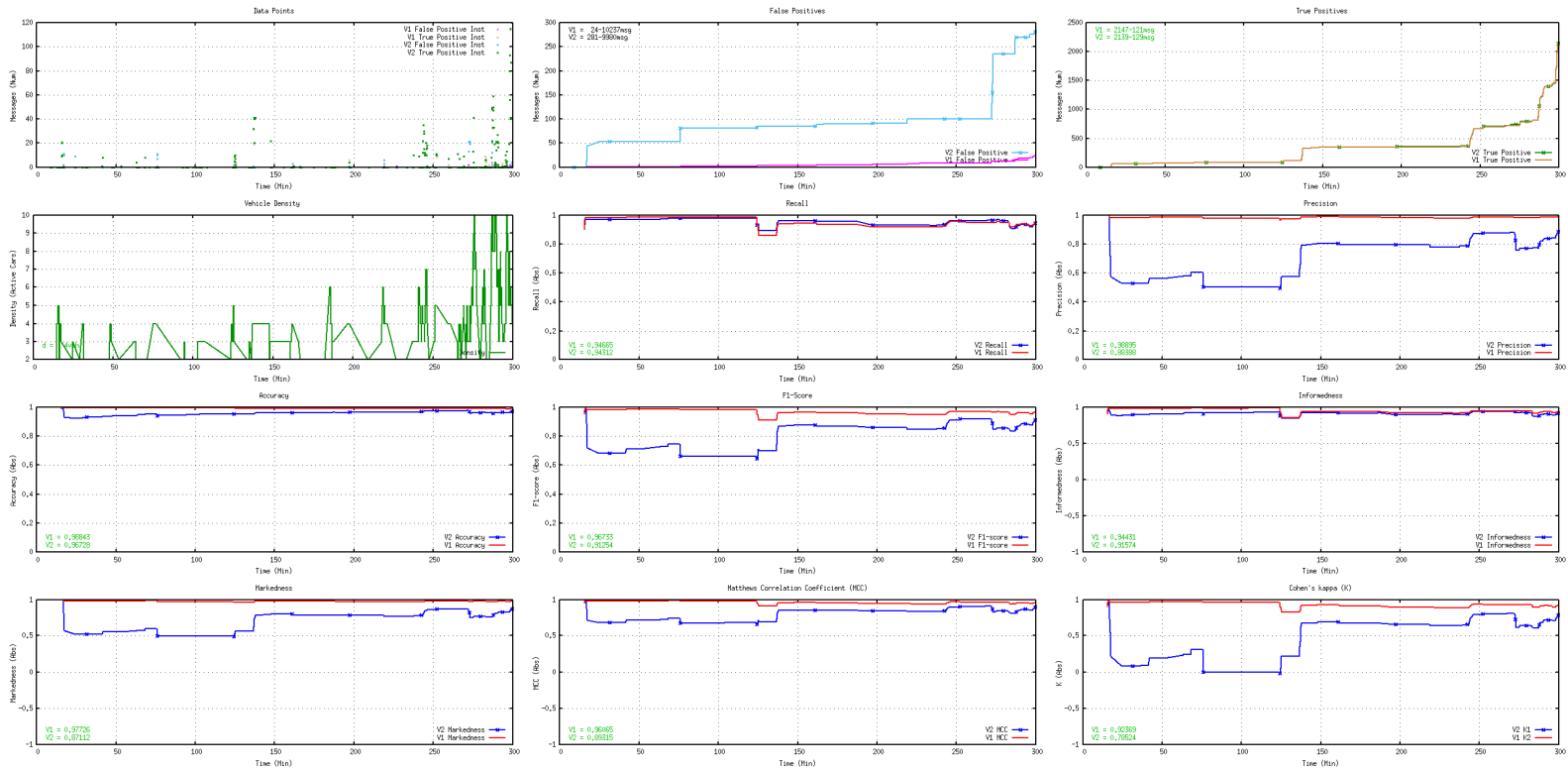
ΣΕΝΑΡΙΑ

Scenario 1: Simulation time

Το πρώτο σενάριο αφορά τον χρόνο προσομοίωσης έχοντας τις παρακάτω συνθήκες. Στο πρώτο μέρος τρέχουμε το πρόγραμμα μας σε χρόνο προσομοίωσης 5h που σε πραγματικό χρόνο είναι περίπου 20 δευτερόλεπτα και στη δεύτερη περίπτωση σε χρόνο προσομοίωσης 24h που σε πραγματικό χρόνο είναι περίπου 2 ώρες. Η παραμετροποίηση και τα αποτελέσματα είναι τα παρακάτω:

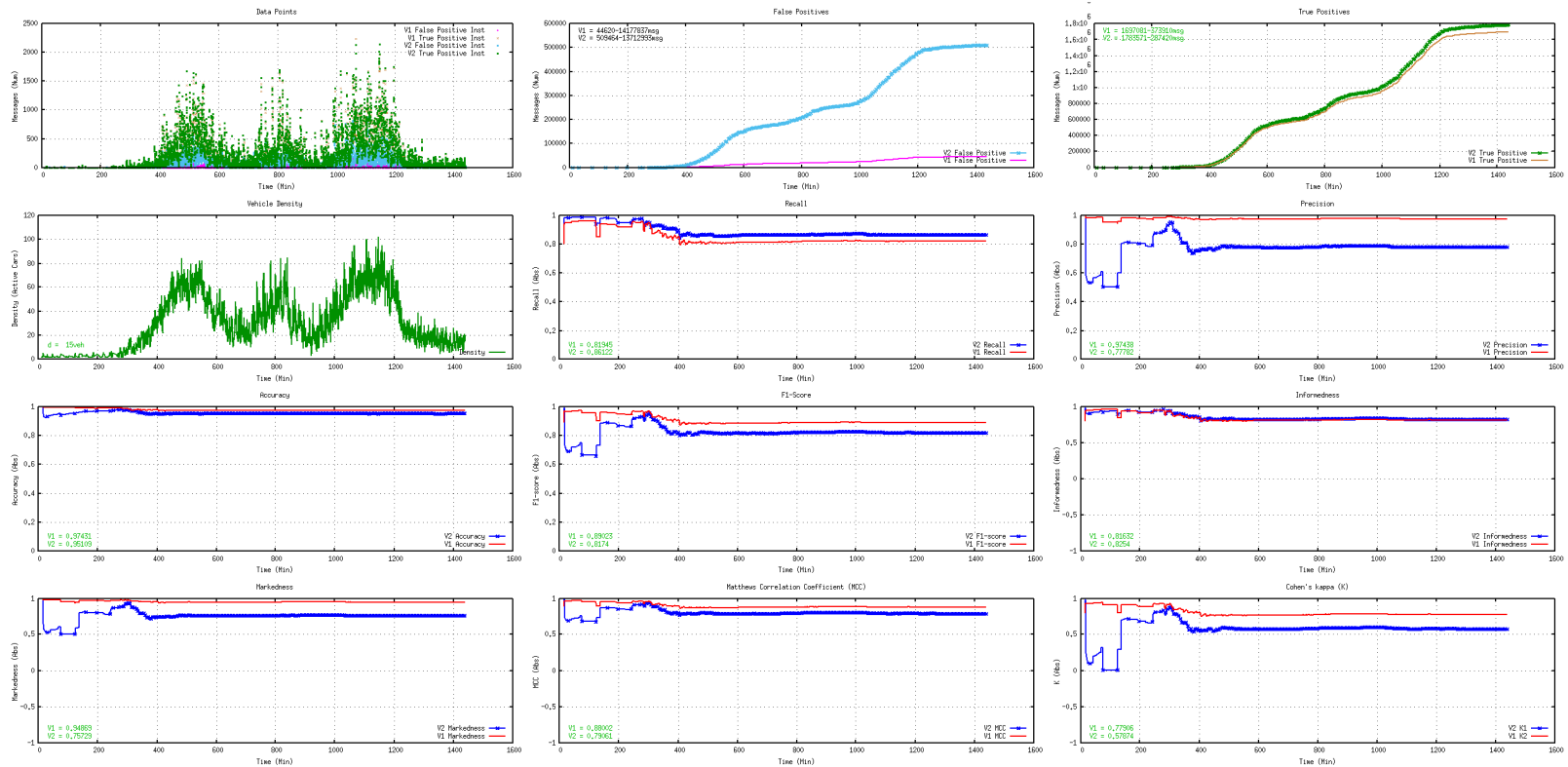
Local Attacker=0,1 και **Global Attacker**= 0,1 **LocalAttack** = randomSpeed **GlobalAttack**=MAStress
V1 algorithm= Threshold **V2 algorithm** = Behavioral

Simulationtime=5h (20 δευτερόλεπτα σε πραγματικό χρόνο).



Εικόνα 52 Αποτελέσματα γραφημάτων σε simulation time 5h

Local Attacker=0,1 και Global Attacker= 0,1 LocalAttack = randomSpeed GlobalAttack=MAStress
Simulationtime=24h (2 ώρες σε πραγματικό χρόνο).



Εικόνα 53 Αποτελέσματα γραφημάτων σε simulation time 24h

Συμπεράσματα

Στην δεύτερη περίπτωση με simulationtime 24 ώρες, έχουμε πιο σταθερές και αξιόπιστες μετρήσεις σε όλα τα γραφήματα. Αυτή η σταθερότητα οφείλεται στον μεγαλύτερο όγκο δεδομένων.

Στην πρώτη περίπτωση με simulationtime 5 ώρες, έχουμε μεγαλύτερη διακύμανση στις τιμές και λιγότερη σταθερότητα στις μετρήσεις. Αυτό οφείλεται στον μικρότερο όγκο δεδομένων και στο σύντομο χρόνο προσομοίωσης, ο οποίος δεν καταγράφει πλήρως το φάσμα συμπεριφορών του συστήματος.

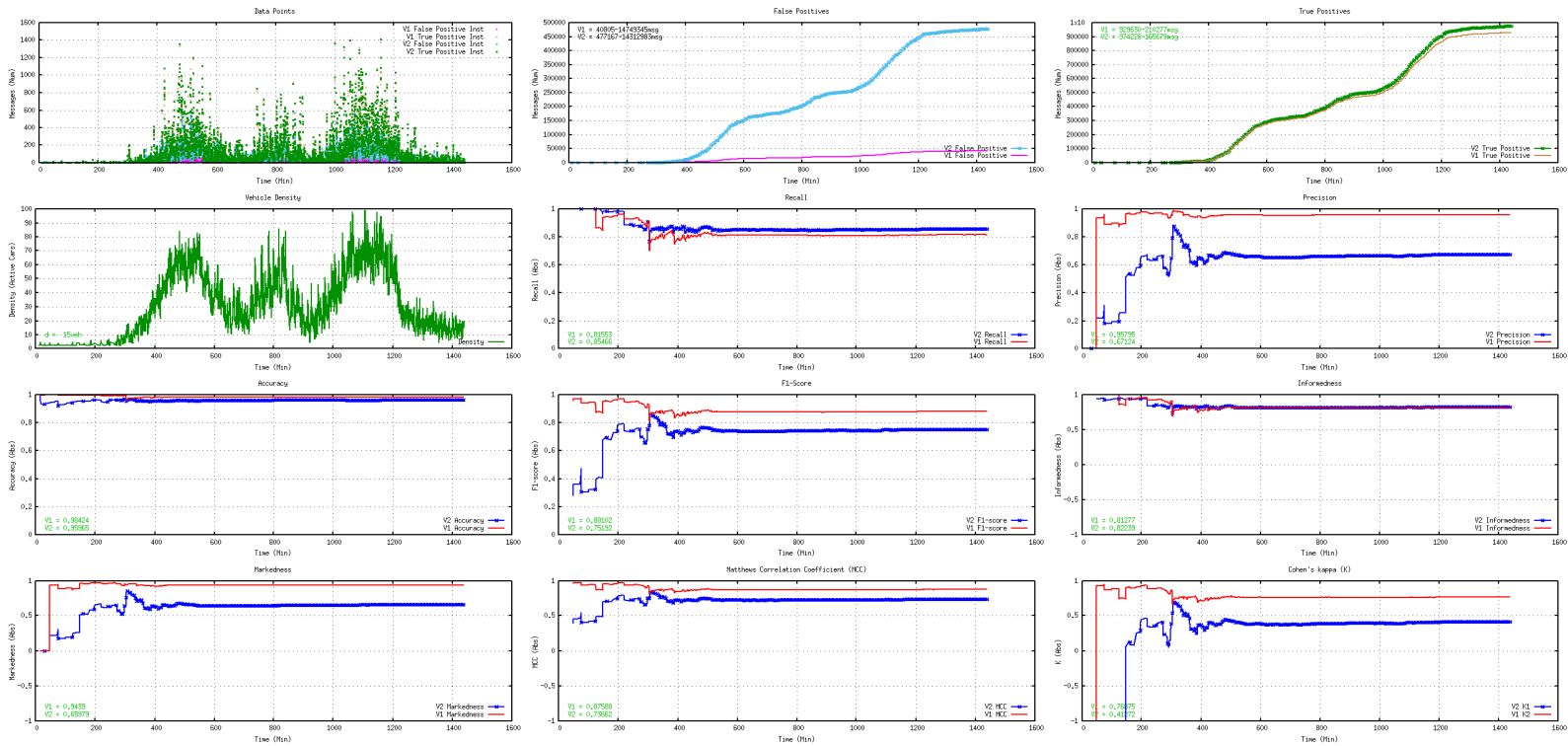
Και τα δύο σενάρια έχουν τις ίδιες ρυθμίσεις local και global attack (0.1) που είναι η πιθανότητα να έχουμε global και local επιτεθειμένο στο σύστημα μας. Οι διαφορές στη σταθερότητα και στις τιμές οφείλονται στον χρόνο προσομοίωσης.

Το γράφημα πυκνότητας οχημάτων δείχνει ξεκάθαρα την επίδραση της διάρκειας της προσομοίωσης. Η μεγαλύτερη προσομοίωση σε χρόνο καταγράφει πιο ρεαλιστικά την κυκλοφορία, ενώ η συντομότερη προσομοίωση μπορεί να παραλείψει ορισμένες μεταβολές.

Scenario 2: Local and Global attacker probability

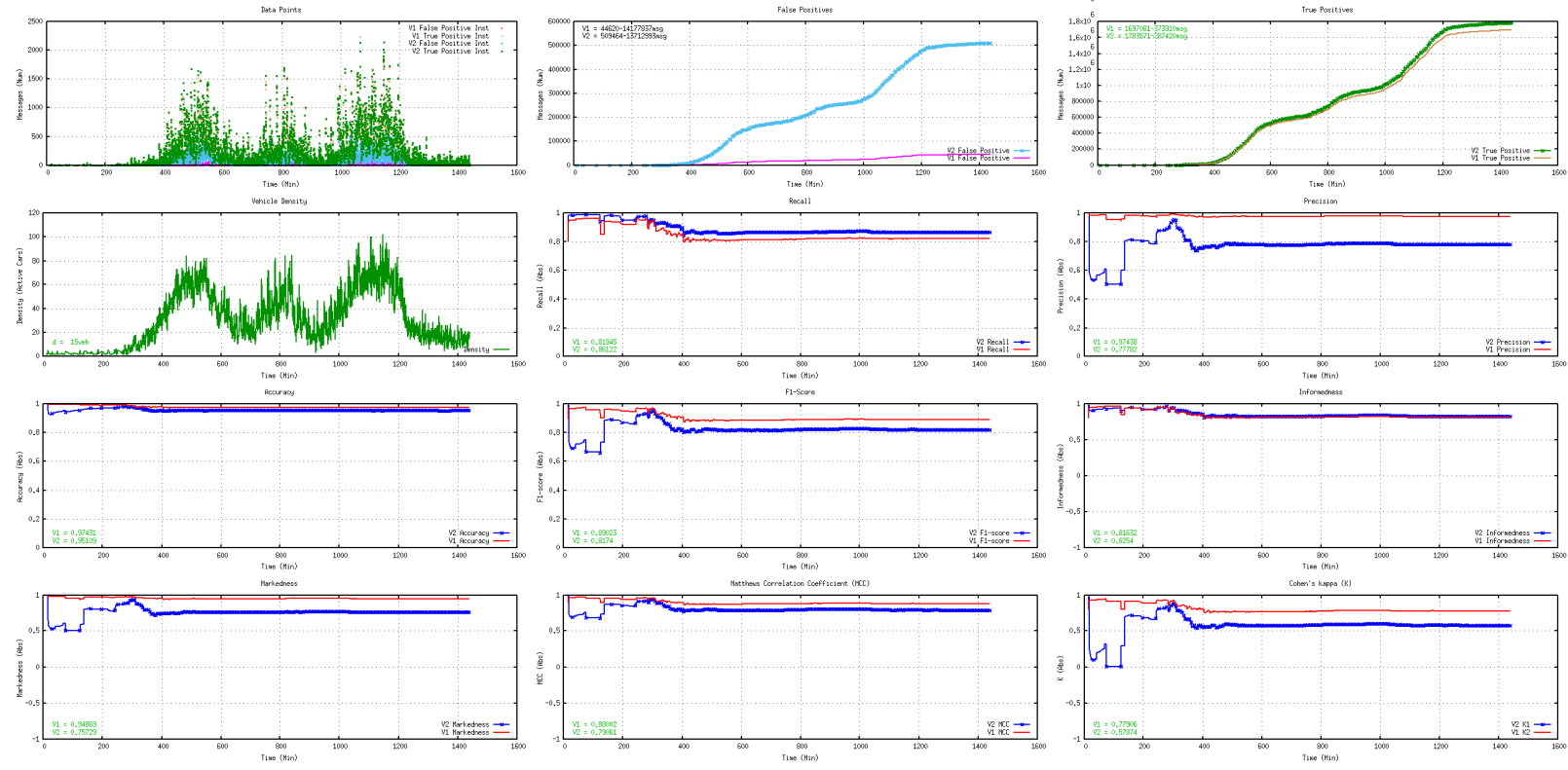
Στο δεύτερο σενάριο πειράζουμε την πιθανότητα global και local επιτεθειμένου ώστε να δούμε το αντίκτυπο που έχει στο σύστημα μας όσο αυξάνουμε την πιθανότητα εμφάνισης ενός επιτιθέμενου. Παρακάτω έχουμε τις τρεις περιπτώσεις:

1. Default: **Simulationtime**= 24h **Local Attacker** = 0,05 και **Global Attacker**= 0,0
LocalAttack = randomSpeed **GlobalAttack**=MAStress. **V1 algorithm**= Threshold **V2 algorithm** = Behavioral



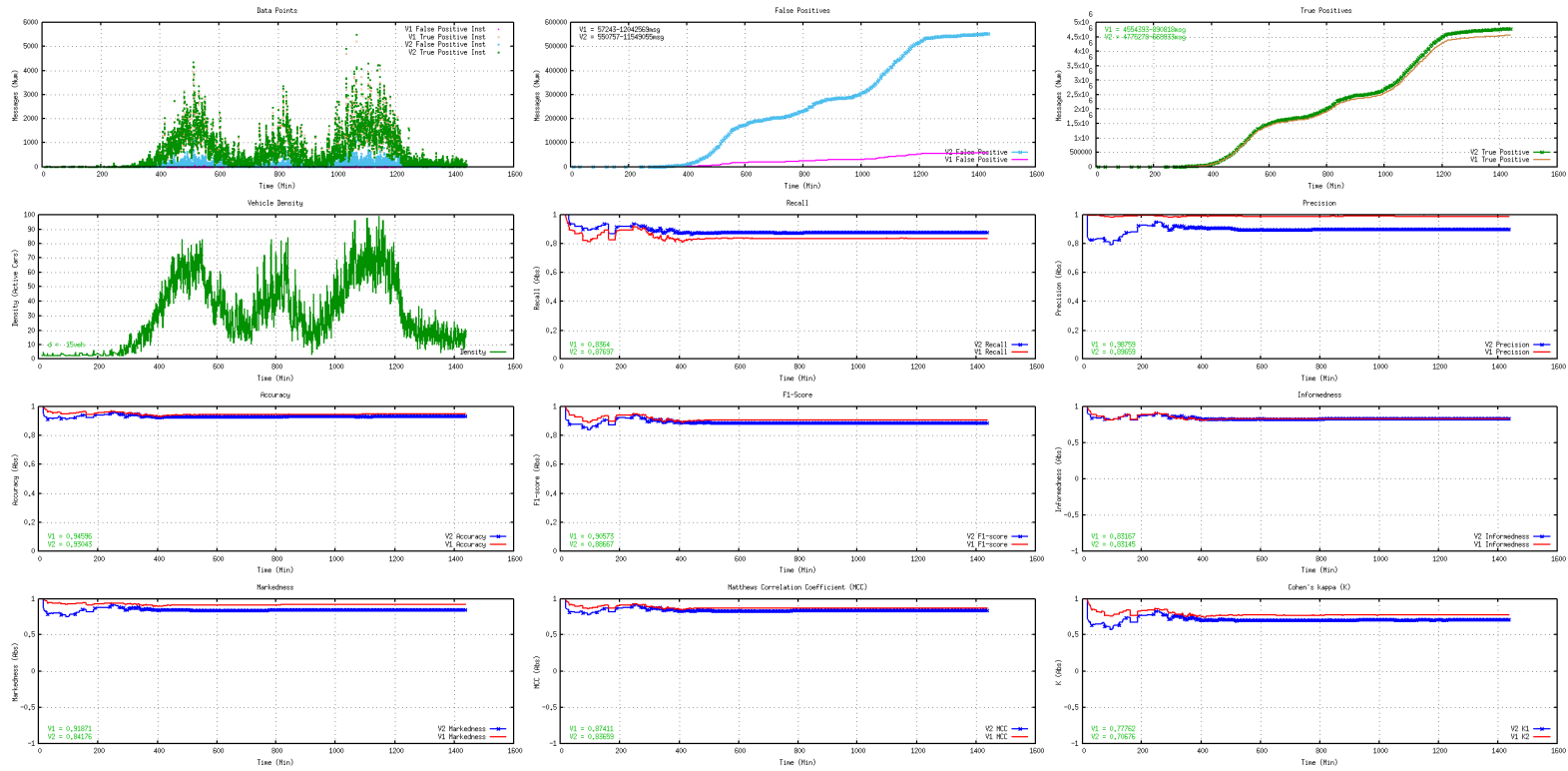
Εικόνα 54 Αποτελέσματα γραφημάτων με *Local Attacker* = 0,05 και *Global Attacker*= 0,0

2. **Simulationtime= 24h Local Attacker = 0,1 και Global Attacker= 0,1**
LocalAttack = randomSpeed GlobalAttack=MAStress.



Εικόνα 55 Αποτελέσματα γραφημάτων με Local Attacker = 0,1 και Global Attacker= 0,1

3. Simulationtime= 24h Local Attacker = 0,3 και Global Attacker= 0,3 LocalAttack = randomSpeed GlobalAttack=MAStress.



Εικόνα 56 Αποτελέσματα γραφημάτων με Local Attacker = 0,3 και Global Attacker= 0,3

Συμπεράσματα:

1. **Αύξηση των False Positives με την αύξηση πιθανότητας επιτιθέμενων:** Όσο αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης local και global επιτιθέμενων, αυξάνονται σημαντικά τα false positives.
2. **Σταθερή αύξηση των True Positives:** Τα true positives αυξάνονται σταθερά σε όλα τα σενάρια, δείχνοντας την αποτελεσματικότητα του συστήματος στην ανίχνευση θετικών περιπτώσεων.
3. **Σταθερότητα στις Μετρικές Απόδοσης:** Παρά την αύξηση των επιτιθέμενων, οι μετρικές όπως η ευστοχία, η ανάκληση, η ακρίβεια πρόβλεψης, και άλλες παραμένουν σταθερές.
4. **Σταθερότητα σε Ακραίες Συνθήκες:** Το σύστημα δείχνει ανθεκτικότητα, καθώς οι μετρικές παραμένουν σταθερές ακόμα και με αυξημένες πιθανότητες επιθέσεων.

Αυτά τα συμπεράσματα δείχνουν ότι το σύστημα διατηρεί την απόδοσή του ακόμα και υπό συνθήκες αυξημένων επιθέσεων, ενώ οι false positives αυξάνονται σημαντικά με την πιθανότητα εμφάνισης επιτιθέμενων.

Τα παρακάτω σενάρια έχουν κοινές τις παρακάτω παραμέτρους:

Simulationtime= 24h Local Attacker = 0,1 και Global Attacker= 0,1

LocalAttack = randomSpeed **GlobalAttack**=MAStress. **V1 algorithm**= Threshold **V2 algorithm** = Behavioral

Scenario 3: Increase Variability and Noise

Μεταβλητές	Αρχικές τιμές	Ενδιάμεσες τιμές	Έντονες τιμές
RandomPosOffsetX	70.0	140.0	300.0
RandomPosOffsetY	70.0	140.0	300.0
RandomSpeedX	40.0	80.0	150.0
RandomSpeedY	40.0	80.0	150.0
RandomAccelX	2.0	5.0	10.0
RandomAccelY	2.0	5.0	10.0

Στο τρίτο σενάριο προσπαθούμε να επηρεάσουμε το σύστημα μας και να δούμε τι αποτελέσματα προκύπτουν αυξάνοντας την μεταβλητότητα και το θόρυβο επηρεάζοντας τον αλγόριθμο threshold. Οι μεταβλητές που αλλάζουμε φαίνονται στον παραπάνω πίνακα. Στο σενάριο αυτό έχουμε 3 περιπτώσεις η πρώτη με τις αρχικές τιμές του προγράμματος μας η δεύτερη με κάποιες ενδιάμεσες τιμές και η τρίτη με πιο έντονες τιμές. Η λειτουργία της κάθε μεταβλητής είναι:

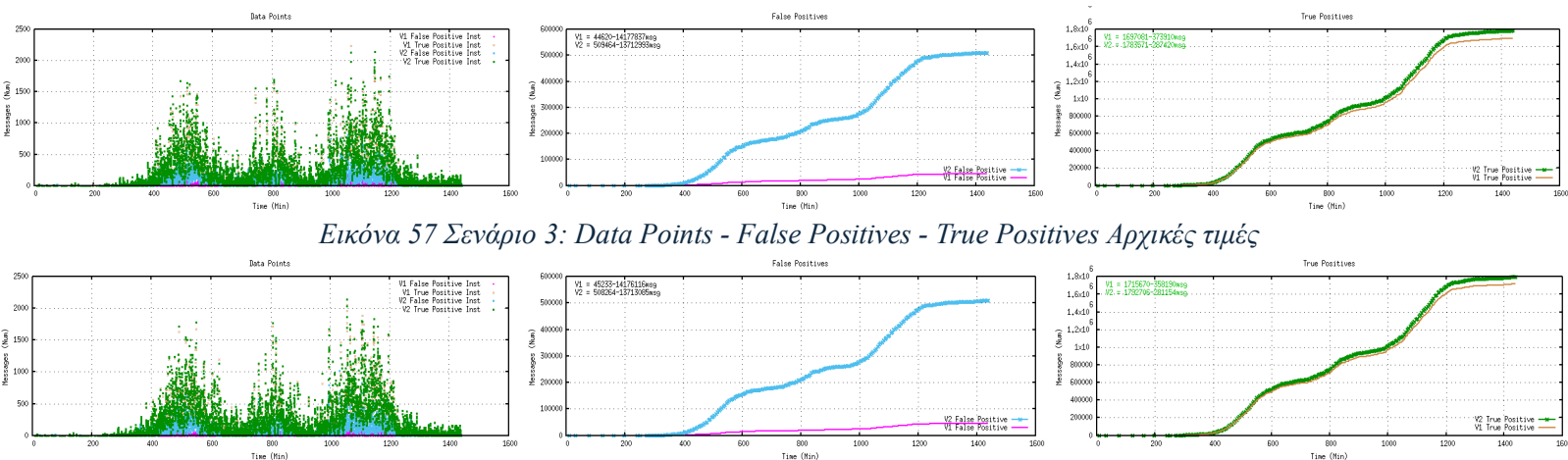
RandomPosOffset : Το όχημα εκπέμπει την πραγματική του θέση με τυχαία μετατόπιση περιορισμένη σε μέγιστη τιμή. ($\Delta(0 \rightarrow X_{max})$, $\Delta(0 \rightarrow Y_{max})$).

RandomSpeed: Το όχημα εκπέμπει τυχαία ταχύτητα με ανώτατο όριο ($0 \rightarrow V_{max}$).

RandomAccel: Το όχημα εκπέμπει τυχαία επιτάχυνση με ανώτατο όριο ($0 \rightarrow V_{max}$).

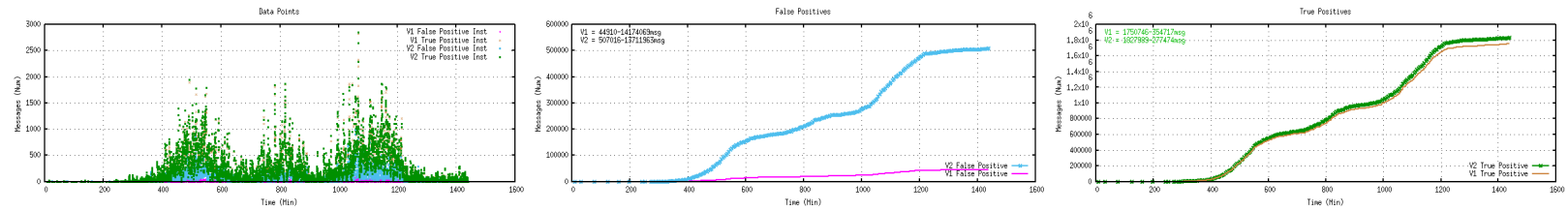
Παρακάτω βλέπουμε σε τριάδες τα αποτελέσματα πρώτα με τις αρχικές τιμές μετά τις ενδιάμεσες και τέλος τις πιο έντονες τιμές.

Data Points – False Positives – True Positives



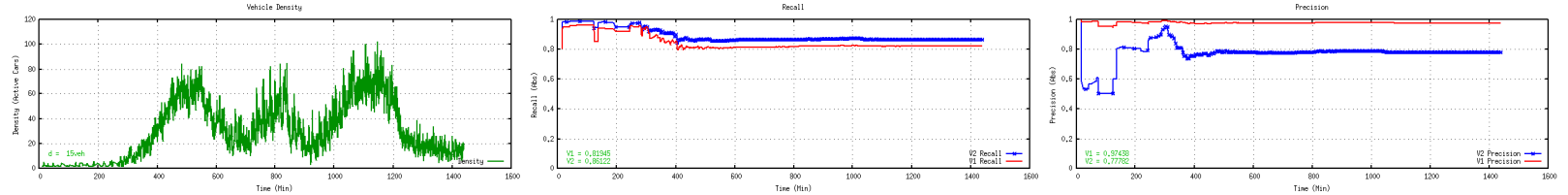
Εικόνα 57 Σενάριο 3: Data Points - False Positives - True Positives Αρχικές τιμές

Εικόνα 58 Σενάριο 3: Data Points - False Positives - True Positives Ενδιάμεσες τιμές

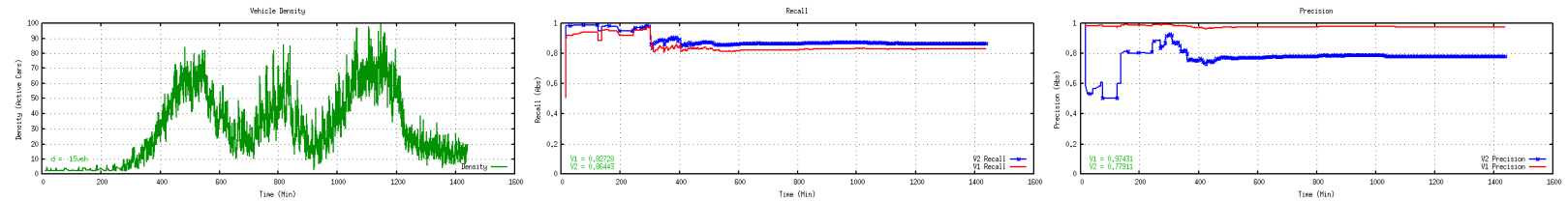


Εικόνα 59 Σενάριο 3: Data Points - False Positives - True Positives Έντονες τιμές

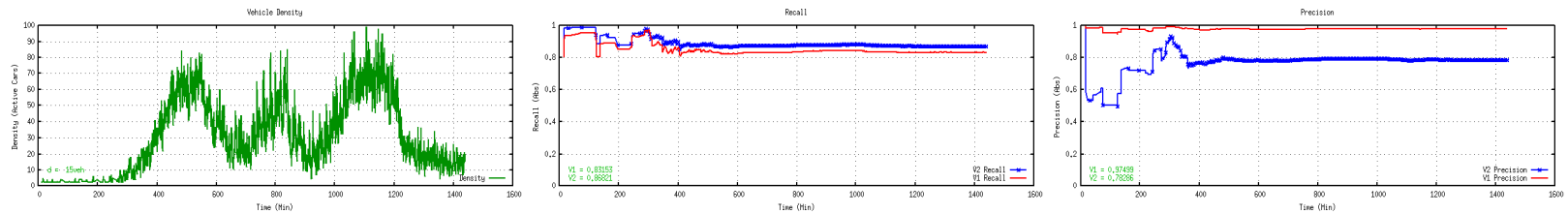
Vehicle Density – Recall – Precision



Εικόνα 60 Σενάριο 3: Vehicle Density - Recall - Precision Αρχικές τιμές

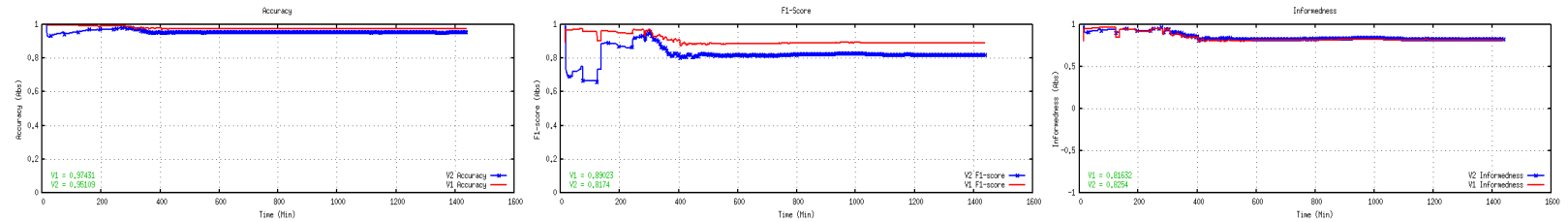


Εικόνα 61 Σενάριο 3: Vehicle Density - Recall - Precision Ενδιάμεσες τιμές

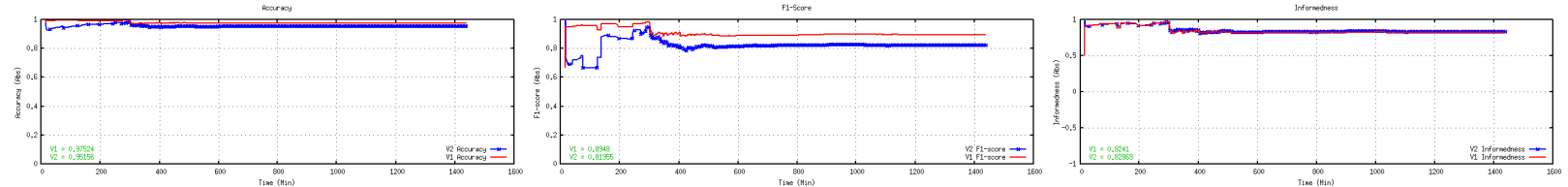


Εικόνα 62 Σενάριο 3: Vehicle Density - Recall - Precision Έντονες τιμές

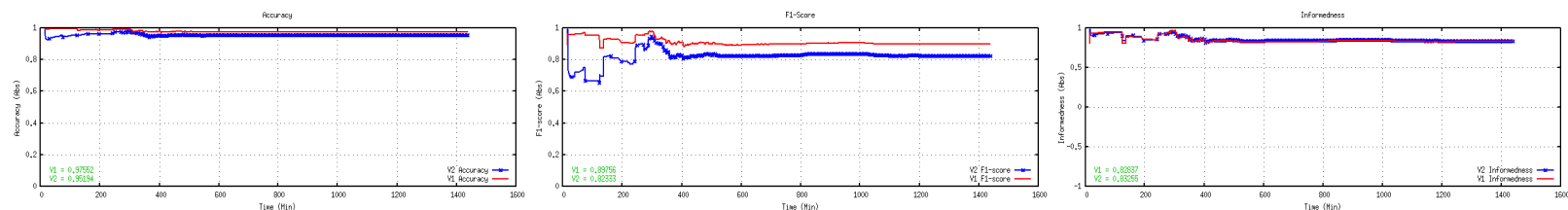
Accuracy – F1 Score - Informedness



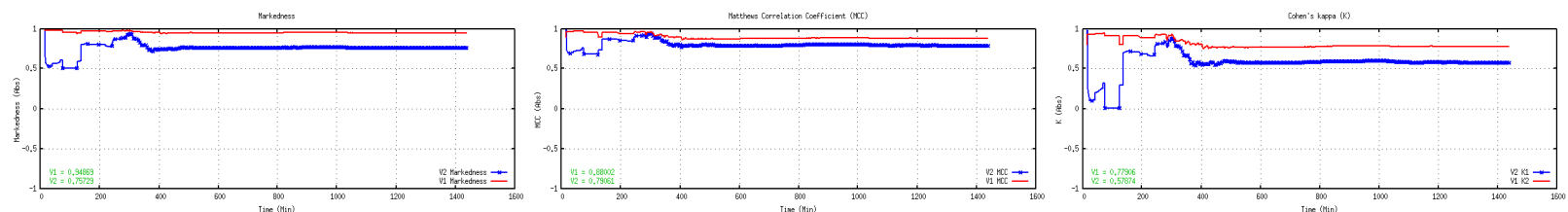
Εικόνα 63 Σενάριο 3: Accuracy - F1 Score - Informedness Αρχικές τιμές



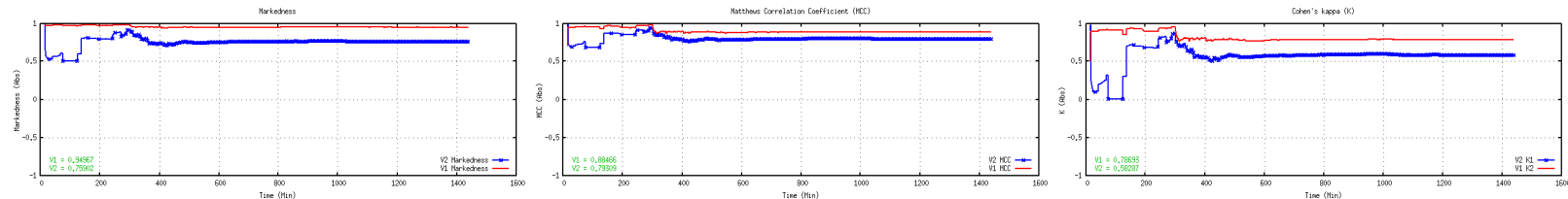
Εικόνα 64 Σενάριο 3: Accuracy - F1 Score - Informedness Ενδιάμεσες τιμές



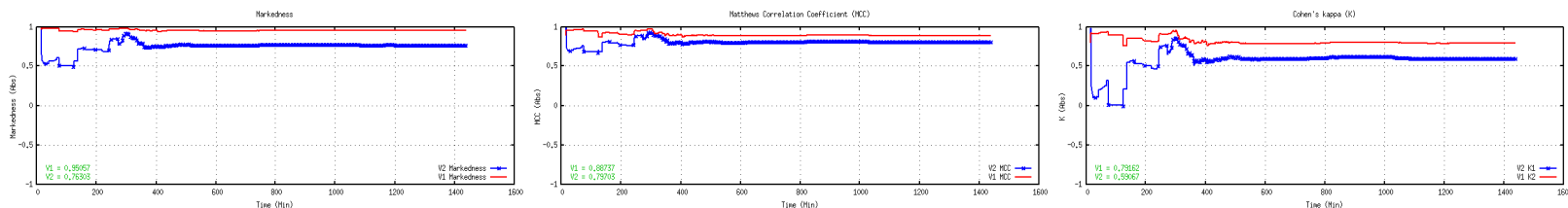
Εικόνα 65 Σενάριο 3: Accuracy - F1 Score - Informedness Έντονες τιμές



Εικόνα 66 Σενάριο 3: Markedness - MCC - Cohens Kappa Αρχικές τιμές



Εικόνα 67 Σενάριο 3: Markedness - MCC - Cohens Kappa Ενδιάμεσες τιμές



Εικόνα 68 Σενάριο 3: Markedness - MCC - Cohens Kappa Έντονες τιμές

Παρατηρήσεις και Συγκρίσεις

Data Points

Και στις τρεις περιπτώσεις έχουμε υψηλές διακυμάνσεις. Παρατηρείται μια μικρή αύξηση στον αριθμό μηνυμάτων στο σύστημα μας όταν οι τιμές είναι πιο έντονες έχοντας υψηλή συγκέντρωση δεδομένων με υψηλές διακυμάνσεις λόγω της αυξημένης μεταβλητότητας και του θορύβου.

False Positives

Έχουμε σταθερή αύξηση με την τελική τιμή περίπου στις 500.000 για τον αλγόριθμο V2 και στις 45.000 για τον αλγόριθμο V1. Παρατηρούμε ελάχιστη μείωση για τον αλγόριθμο V2 όσο αυξάνουμε τις αρχικές τιμές ενώ στον αλγόριθμο V1 παρατηρούμε ελάχιστη αύξηση των false positives όσο αυξάνονται οι τιμές των μεταβλητών μας στην κάθε περίπτωση.

True Positives

Έχουμε σταθερή αύξηση με την τελική τιμή περίπου στα 1.800.000 για τον αλγόριθμο V2 και στις 1.700.000 για τον αλγόριθμο V1. Παρατηρούμε αύξηση των true positives και για τους δυο αλγορίθμους V1 και V2 όσο αυξάνουμε τις αρχικές τιμές των μεταβλητών μας στην κάθε περίπτωση.

Vehicle Density

Καταγράφετε η ροή κυκλοφορίας με διακριτές κορυφές και αυξομειώσεις. Παρόμοια καταγραφή της κυκλοφορίας, αλλά με περισσότερες αυξομειώσεις λόγω της αυξημένης μεταβλητότητας παρατηρούμε όσο αυξάνονται οι αρχικές τιμές.

Recall

Σχετικά σταθερό με ελαφρές διακυμάνσεις. Περισσότερες διακυμάνσεις παρατηρούμε όσο αυξάνονται οι τιμές των μεταβλητών μας για τον αλγόριθμο Threshold V1.

Precision

Σταθερότητα μετά από αρχικές ταλαντώσεις και στις τρεις περιπτώσεις.

Accuracy

Υψηλή και σταθερή ακρίβεια και στις τρεις περιπτώσεις.

F1-Score

Σταθερό μετά από αρχικές ταλαντώσεις. Παρόμοια σταθερότητα, αλλά με ελαφρώς μεγαλύτερες αρχικές ταλαντώσεις έχουμε καθώς κάνουμε τις τιμές των μεταβλητών μας πιο έντονες.

Informedness

Σταθερό με μικρές διακυμάνσεις. Παρόμοια σταθερότητα, με ελαφρώς μεγαλύτερες αρχικές ταλαντώσεις έχουμε καθώς κάνουμε τις τιμές των μεταβλητών μας πιο έντονες.

Markedness

Σταθερότητα μετά από αρχικές διακυμάνσεις και στις τρεις περιπτώσεις. Στον αλγόριθμο V2 παρατηρούμε περισσότερες ταλαντώσεις αρχικά και έπειτα σταθερότητα ενώ το V1 είναι σταθερό από την αρχή με ελάχιστες αρχικές ταλαντώσεις.

MCC (Matthews Correlation Coefficient)

Σταθερό μετά από αρχικές ταλαντώσεις. Παρόμοια σταθερότητα, αλλά με ελαφρώς μεγαλύτερες αρχικές διακυμάνσεις έχουμε καθώς κάνουμε τις τιμές των μεταβλητών μας πιο έντονες.

K (Cohen's Kappa)

Σταθερότητα μετά από αρχικές ταλαντώσεις και στις τρεις περιπτώσεις. Στον αλγόριθμο V2 παρατηρούμε περισσότερες και μεγαλύτερες ταλαντώσεις αρχικά και έπειτα σταθερότητα ενώ το V1 έχει μικρότερες αρχικές ταλαντώσεις.

Συμπεράσματα

Επιρροή της Μεταβλητότητας και του Θορύβου:

Η αύξηση της μεταβλητότητας και του θορύβου αυξάνει τις αρχικές ταλαντώσεις σε πολλές μετρήσεις. Ωστόσο, το σύστημα σταθεροποιείται σε παρόμοια επίπεδα με το Αρχικό μακροπρόθεσμα.

Σταθερότητα στις Μετρήσεις:

Παρά τις αρχικές διακυμάνσεις λόγω των αυξημένων τιμών μεταβλητότητας και θορύβου, οι τελικές μετρήσεις σταθεροποιούνται και παραμένουν σε υψηλά επίπεδα, δείχνοντας την ανθεκτικότητα του συστήματος.

Αύξηση των False Positives:

Τα false positives αυξάνονται σταθερά για τον αλγόριθμο V1 όσο αυξάνουμε τις τιμές των μεταβλητών μας.

Ανθεκτικότητα του Συστήματος:

Το σύστημα δείχνει ανθεκτικότητα, καθώς οι μετρήσεις παραμένουν υψηλές και σταθερές, ακόμα και με αυξημένη μεταβλητότητα και θόρυβο.

Scenario 4: Tune Kalman Filter and Delta Time

Το φίλτρο Kalman είναι ένας αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την δυναμική εκτίμηση των παραμέτρων του συστήματος. Μπορεί να χρησιμοποιήσει ανακριβείς ή θορυβώδεις μετρήσεις για να εκτιμήσει την κατάσταση αυτής της μεταβλητής ή άλλης μη παρατηρήσιμης μεταβλητής με μεγαλύτερη ακρίβεια. Για παράδειγμα, το Kalman Filtering χρησιμοποιείται για να κάνει τα εξής:

Παρακολούθηση αντικειμένου:

Χρησιμοποιεί τη μετρούμενη θέση ενός αντικειμένου για να εκτιμήσει με μεγαλύτερη ακρίβεια τη θέση και την ταχύτητα αυτού του αντικειμένου.

Εκτίμηση σωματικού βάρους σε ψηφιακή ζυγαριά:

Χρησιμοποιεί τη μετρούμενη πίεση σε μια επιφάνεια για να υπολογίσει το βάρος του αντικειμένου σε αυτήν την επιφάνεια.

Καθοδήγηση, πλοήγηση και έλεγχος:

Χρησιμοποιεί αισθητήρες Μονάδας Αδρανειακής Μέτρησης (IMU - Inertial Measurement Unit) για να εκτιμήσει τη θέση, την ταχύτητα και την επιτάχυνση των αντικειμένων. Χρησιμοποιεί αυτές τις εκτιμήσεις για να ελέγξει τις επόμενες κινήσεις των αντικειμένων.

Η πραγματική δύναμη του φίλτρου Kalman δεν είναι να εξομαλύνει τις μετρήσεις. Είναι η ικανότητα εκτίμησης παραμέτρων του συστήματος που δεν μπορούν να μετρηθούν ή να παρατηρηθούν με ακρίβεια. Εκτιμήσεις με βελτιωμένη ακρίβεια σε συστήματα που λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο, επιτρέπουν στα συστήματα μεγαλύτερο έλεγχο και συνεπώς περισσότερες δυνατότητες.

Μεταβλητές	Αρχικές τιμές	Ενδιάμεσες τιμές	Έντονες τιμές
MAX KALMAN TIME	3.1	1.5	0.1
KALMAN POS RANGE	1.0	5.0	10.0
KALMAN SPEED RANGE	4.0	8.0	20.0
MAX TIME DELTA	3.1	1.5	0.1
MAX DELTA INTER	2.0	1.0	0.1

Στο τέταρτο σενάριο προσπαθούμε να επηρεάσουμε το σύστημα μας και να δούμε τι αποτελέσματα προκύπτουν πειράζοντας το φίλτρο Kalman και το delta time (το βήμα ανανέωσης του φίλτρου). Οι μεταβλητές που αλλάζουμε φαίνονται στον παραπάνω πίνακα. Στο σενάριο έχουμε 3 περιπτώσεις η πρώτη με τις αρχικές τιμές του προγράμματος μας η δεύτερη με κάποιες ενδιάμεσες τιμές και η τρίτη με πιο έντονες τιμές. Η λειτουργία της κάθε μεταβλητής είναι:

MAX_KALMAN_TIME: Μέγιστο χρονικό διάστημα που το φίλτρο Kalman χρησιμοποιεί για τις προβλέψεις.

KALMAN_POS_RANGE: Εύρος θέσης που το φίλτρο Kalman λαμβάνει υπόψη.

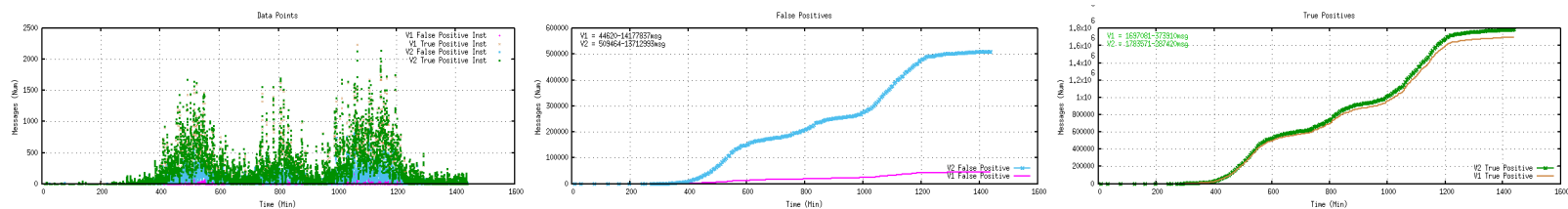
KALMAN_SPEED_RANGE: Εύρος ταχύτητας που το φίλτρο Kalman λαμβάνει υπόψη

MAX_TIME_DELTA: Μέγιστη χρονική διαφορά που το σύστημα επιτρέπει μεταξύ διαδοχικών μετρήσεων ή ενημερώσεων.

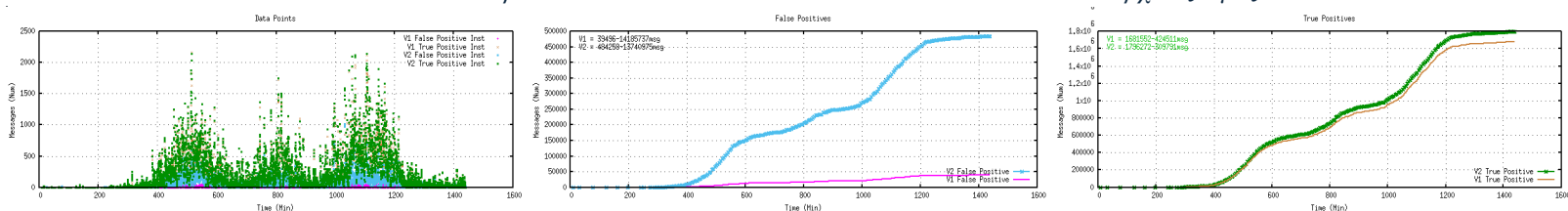
MAX_DELTA_INTER: Ελέγχει το μέγιστο επιτρεπτό χρονικό διάστημα μεταξύ αλληλεπιδράσεων ή δεδομένων που το φίλτρο Kalman λαμβάνει υπόψη στους υπολογισμούς του.

Παρακάτω βλέπουμε σε τριάδες τα αποτελέσματα πρώτα με τις αρχικές τιμές μετά τις ενδιάμεσες και τέλος τις πιο έντονες τιμές.

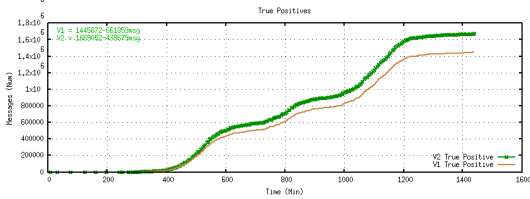
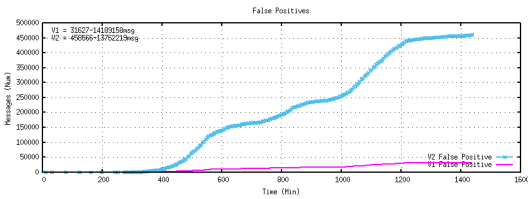
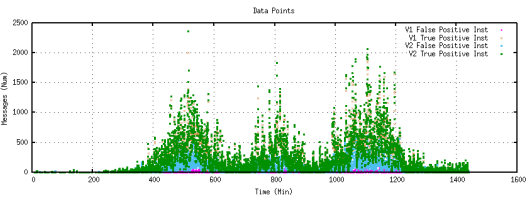
Data Points – False Positives - True Positives



Εικόνα 69 Σενάριο 4: Data Points - False Positives - True Positives Αρχικές τιμές

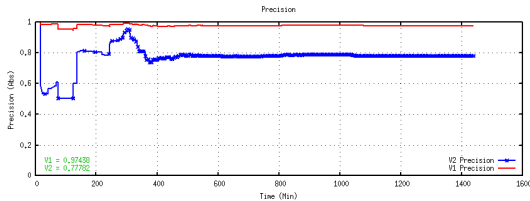
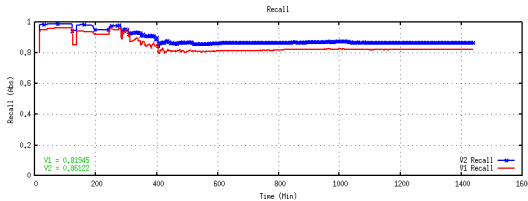
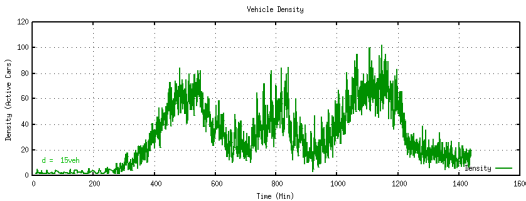


Εικόνα 70 Σενάριο 4: Data Points - False Positives - True Positives Ενδιάμεσες τιμές

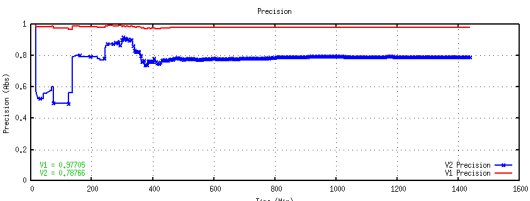
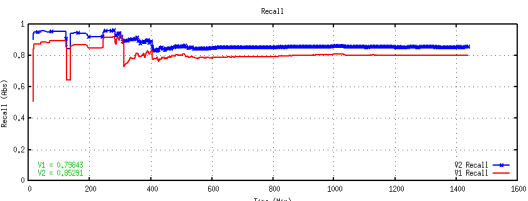
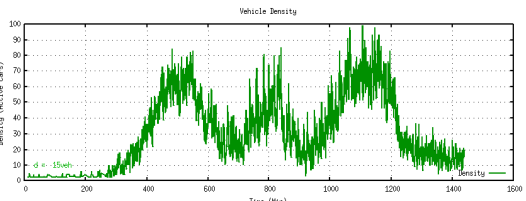


Εικόνα 71 Σενάριο 4: Data Points - False Positives - True Positives Έντονες τιμές

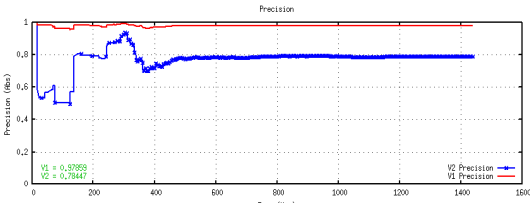
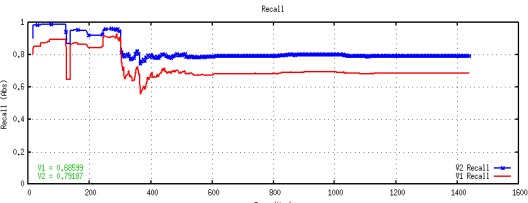
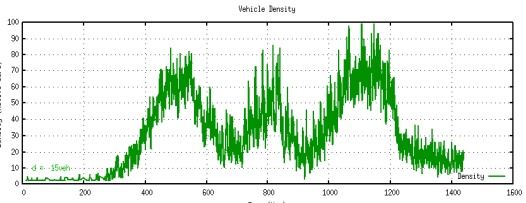
Vehicle Density – Recall - Precision



Εικόνα 72 Σενάριο 4: Vehicle Density - Recall - Precision Αρχικές τιμές

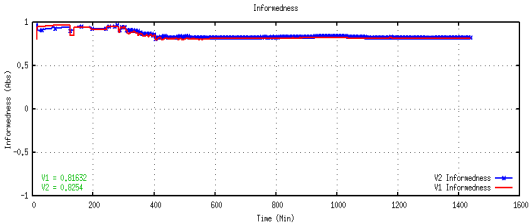
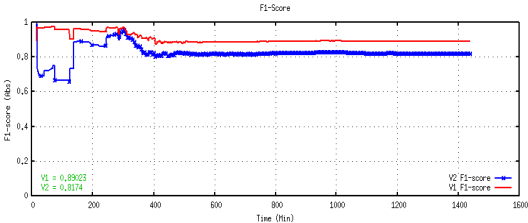
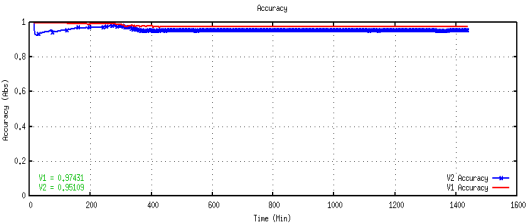


Εικόνα 73 Σενάριο 4: Vehicle Density - Recall - Precision Ενδιάμεσες τιμές

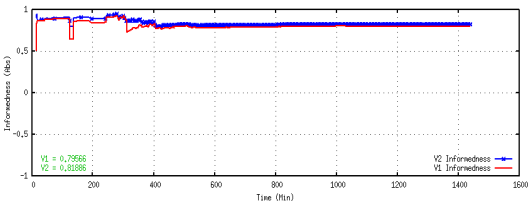
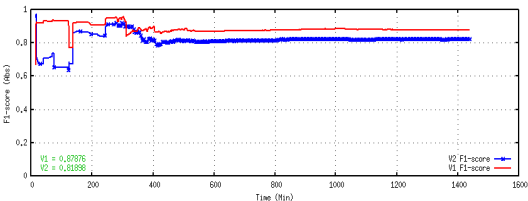
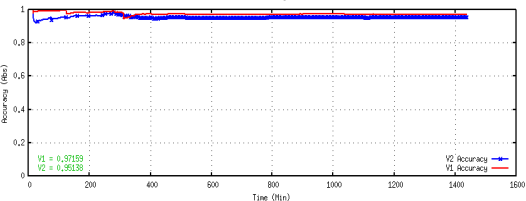


Εικόνα 74 Σενάριο 4: Vehicle Density - Recall - Precision Έντονες τιμές

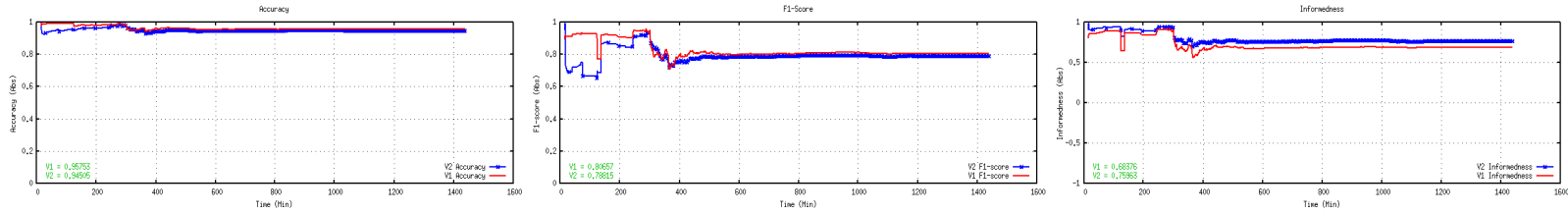
Accuracy – F1 Score - Informedness



Εικόνα 75 Σενάριο 4: Accuracy - F1 Score - Informedness Αρχικές τιμές

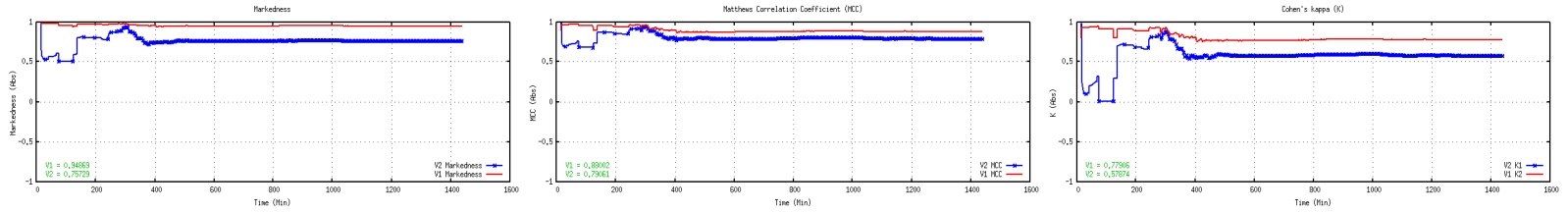


Εικόνα 76 Σενάριο 4: Accuracy - F1 Score - Informedness Ενδιάμεσες τιμές

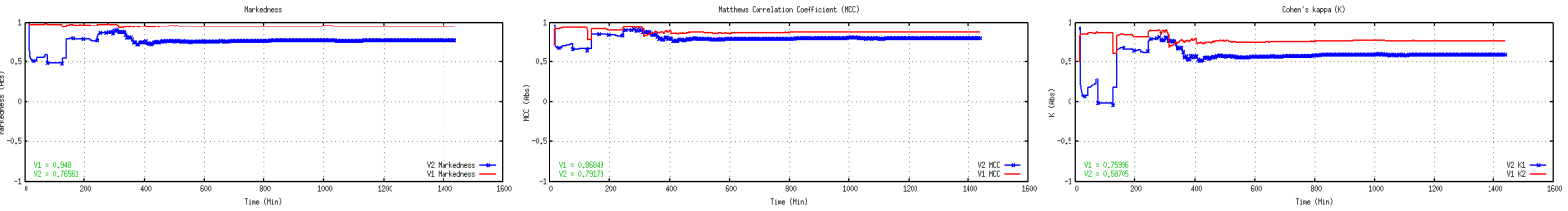


Εικόνα 77 Σενάριο 4: Accuracy - F1 Score - Informedness Έντονες τιμές

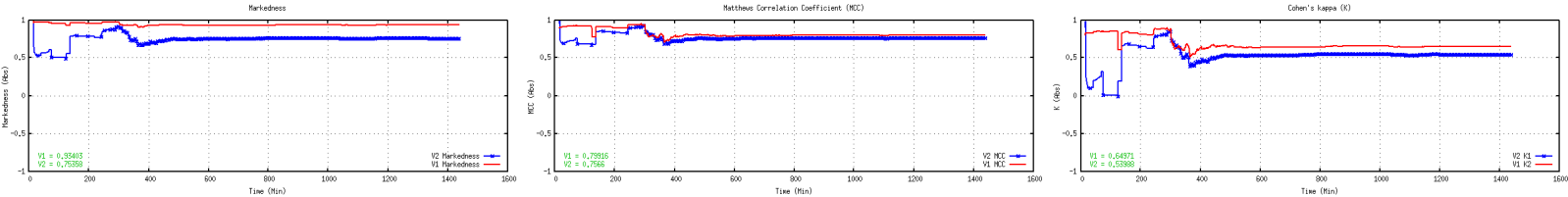
Markedness – MCC – Cohen's Kappa (K)



Εικόνα 78 Σενάριο 4: Markedness - MCC - Cohens Kappa Αρχικές τιμές



Εικόνα 79 Σενάριο 4: Markedness - MCC - Cohens Kappa Ενδιάμεσες τιμές



Εικόνα 80 Σενάριο 4: Markedness - MCC - Cohens Kappa Έντονες τιμές

Παρατηρήσεις και Συγκρίσεις

Data Points

Και στις τρεις περιπτώσεις έχουμε υψηλή συγκέντρωση δεδομένων με διακυμάνσεις. Παρόμοια υψηλή συγκέντρωση δεδομένων με διακυμάνσεις, αλλά ελαφρώς πιο ομοιόμορφη κατανομή παρατηρείτε όταν οι τιμές είναι πιο έντονες έχοντας υψηλή συγκέντρωση δεδομένων.

False Positives

Έχουμε σταθερή αύξηση με την τελική τιμή περίπου στις 510.000 για τον αλγόριθμο V2 και στις 44.000 για τον αλγόριθμο V1. Παρατηρούμε μείωση και στους δυο αλγορίθμους V1 και V2 στις περιπτώσεις των ενδιάμεσων και στην συνέχεια πιο έντονων τιμών. Για τον αλγόριθμο V2 όσο αυξάνουμε τις αρχικές τιμές παρατηρούμε ότι μειώνεται στα 485.000 και τέλος στα 458.000 false positives. Το ίδιο συμβαίνει και για

το V1 όσο αυξάνουμε τις αρχικές τιμές παρατηρούμε ότι μειώνεται στα 39.000 και τέλος στα 31.000 false positives.

True Positives

Έχουμε σταθερή αύξηση με την τελική τιμή περίπου στα 1.800.000 για τον αλγόριθμο V2 και στα 1.700.000 για τον αλγόριθμο V1. Παρατηρούμε μείωση των true positives και για τους δυο αλγορίθμους V2 και V1 στις έντονες τιμές των μεταβλητών μας. Μειώνονται στα 1.600.000 και 1.400.000 αντίστοιχα.

Vehicle Density

Καταγράφετε η ροή κυκλοφορίας με διακριτές κορυφές και αυξομειώσεις. Παρόμοια καταγραφή της κυκλοφορίας και για τις τρεις περιπτώσεις με ελαφρώς πιο ομοιόμορφη κατανομή στην συνέχεια.

Recall

Σχετικά σταθερό με ελαφρές διακυμάνσεις. Περισσότερες διακυμάνσεις παρατηρούμε όσο αυξάνονται οι τιμές των μεταβλητών μας για τον αλγόριθμο Threshold V1.

Precision

Σταθερότητα μετά από αρχικές ταλαντώσεις και στις τρεις περιπτώσεις.

Accuracy

Στην αρχική περίπτωση και στην ενδιάμεση περίπτωση έχουμε υψηλή και σταθερή ακρίβεια (0.97 V1 και 0.95 V2). Στην περίπτωση με τις πιο έντονες τιμές έχουμε ελαφρώς χαμηλότερη ακρίβεια (0.95 V1 και 0.94 V2).

F1-Score

Σταθερό μετά από αρχικές διακυμάνσεις. Παρόμοια σταθερότητα, αλλά με ελαφρώς μεγαλύτερες αρχικές ταλαντώσεις έχουμε καθώς κάνουμε τις τιμές των μεταβλητών μας πιο έντονες. Περισσότερες διακυμάνσεις παρατηρούμε όσο αυξάνονται οι τιμές των μεταβλητών μας για τον αλγόριθμο Threshold V1. Τέλος έχουμε χαμηλότερες τιμές F1-Score στην περίπτωση των έντονων τιμών όπου από 0.89-0.81 μειώνεται σε 0.80-0.78 για V1-V2.

Informedness

Σταθερό με μικρές διακυμάνσεις. Παρόμοια σταθερότητα, με ελαφρώς μεγαλύτερες αρχικές διακυμάνσεις και ελαφρώς χαμηλότερες τιμές από 0.82-0.81 σε 0.75-0.68.

Markedness

Σταθερότητα μετά από αρχικές ταλαντώσεις και στις τρεις περιπτώσεις. Στον αλγόριθμο V2 παρατηρούμε περισσότερες διακυμάνσεις αρχικά και έπειτα σταθερότητα ενώ το V1 είναι σταθερό από την αρχή με ελάχιστες αρχικές διακυμάνσεις. Έχουμε ελαφρώς χαμηλότερες τιμές Markedness όταν οι τιμές στις μεταβλητές μας είναι πιο έντονες.

MCC (Matthews Correlation Coefficient)

Σταθερό μετά από αρχικές ταλαντώσεις. Παρόμοια σταθερότητα, αλλά με ελαφρώς μεγαλύτερες αρχικές ταλαντώσεις έχουμε καθώς κάνουμε τις τιμές των μεταβλητών μας πιο έντονες. Οι τιμές MCC μειώνονται από 0.89-0.79 (αρχικές) σε 0.79-0.75 (έντονες) για V1-V2.

K (Cohen's Kappa)

Σταθερό μετά από αρχικές ταλαντώσεις. Παρόμοια σταθερότητα, αλλά με ελαφρώς περισσότερες αρχικές ταλαντώσεις και χαμηλότερες τιμές έχουμε καθώς κάνουμε τις τιμές των μεταβλητών μας πιο έντονες. Η τιμή του K μειώνεται από 0.77-0.55 (αρχικές) σε 0.64-0.53 (έντονες) για V1-V2.

Συμπεράσματα

Αρχικές Διακυμάνσεις:

Η περίπτωση με τις πιο έντονες τιμές παρουσιάζει περισσότερες αρχικές ταλαντώσεις στις περισσότερες μετρήσεις λόγω των ρυθμίσεων του Kalman Filter και της μείωσης των τιμών delta time.

Επιπτώσεις στην Ακρίβεια:

Στην περίπτωση με τις πιο έντονες τιμές έχουμε χαμηλότερη ακρίβεια και σταθερότητα στις μετρήσεις σε σύγκριση με το αρχικό και το ενδιάμεσο.

Σταθερότητα σε Μακροχρόνια Κλίμακα:

Παρά τις ταλαντώσεις, οι μετρήσεις σταθεροποιούνται και στα τρία σενάρια, αν και το αρχικό παραμένει πιο σταθερό σε γενικές γραμμές.

Ανθεκτικότητα του Συστήματος:

Το σύστημα δείχνει ανθεκτικότητα, καθώς παραμένει λειτουργικό και με αποδεκτή απόδοση ακόμα και με τις τροποποιήσεις των παραμέτρων.

Scenario 5: Adjust System Trust Levels

Μεταβλητές	Αρχικές τιμές	Ενδιάμεσες τιμές	Έντονες τιμές
confPos	10.0	5.0	0.5
confSpd	0.05	0.025	0.001
confHea	20.0	10.0	1.0
confAcc	0.01	0.005	0.0001

Στο πέμπτο σενάριο προσπαθούμε να επηρεάσουμε το σύστημα μας και να δούμε τι αποτελέσματα προκύπτουν προσαρμόζοντας τα επίπεδα εμπιστοσύνης του συστήματος που επηρεάζουν τον αλγόριθμο Threshold V1. Οι μεταβλητές που αλλάζουμε φαίνονται στον παραπάνω πίνακα. Στο σενάριο αυτό έχουμε 3 περιπτώσεις η πρώτη με τις αρχικές τιμές του προγράμματος μας η δεύτερη με κάποιες ενδιάμεσες τιμές και η τρίτη με πιο έντονες τιμές. Η λειτουργία της κάθε μεταβλητής είναι:

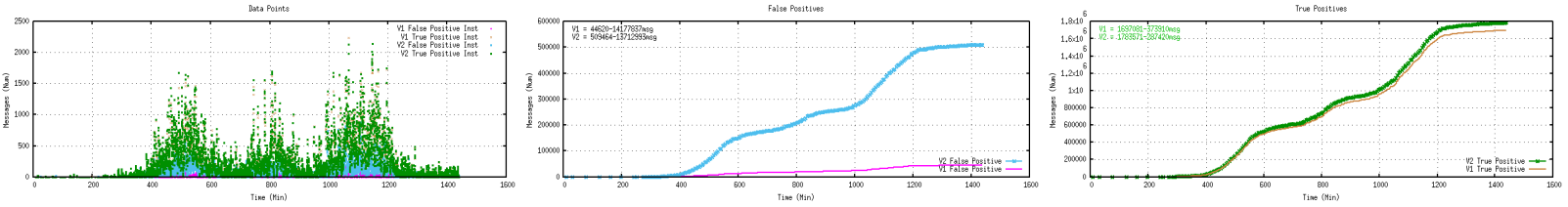
confPos (Confidence in Position): Αφορά το διάστημα εμπιστοσύνης στις μετρήσεις της θέσης.

confSpd (Confidence in Speed): Αφορά το διάστημα εμπιστοσύνης στις μετρήσεις της ταχύτητας.

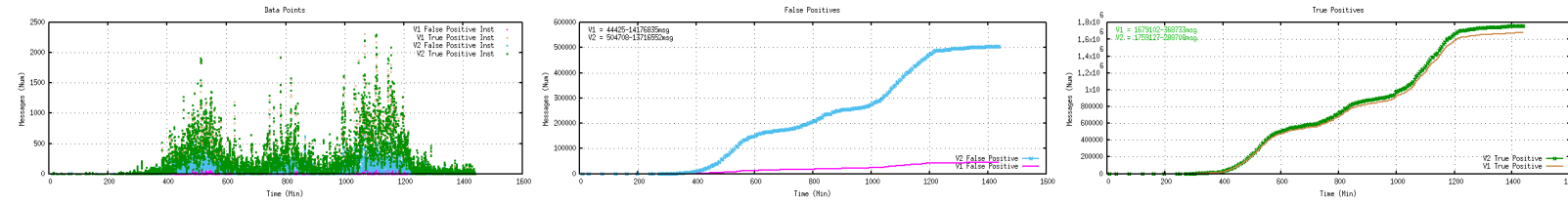
confHea (Confidence in Heading): Αφορά την εμπιστοσύνη στη κατεύθυνση κίνησης. Υψηλότερες τιμές υποδηλώνουν μεγαλύτερη εμπιστοσύνη ότι η κατεύθυνση είναι σωστή, ενώ χαμηλότερες τιμές δείχνουν μεγαλύτερη αβεβαιότητα.

confAcc (Confidence in Acceleration): Αφορά το διάστημα εμπιστοσύνης στις μετρήσεις της επιτάχυνσης.

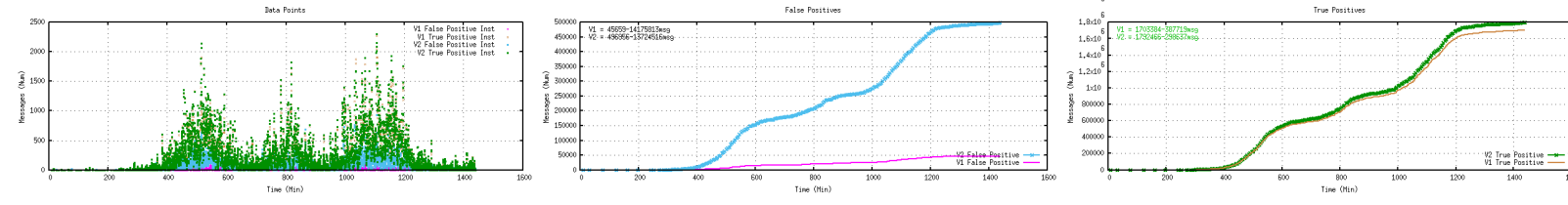
Data Points – False Positives - True Positives



Εικόνα 81 Σενάριο 5: Data Points - False Positives - True Positives Αρχικές τιμές

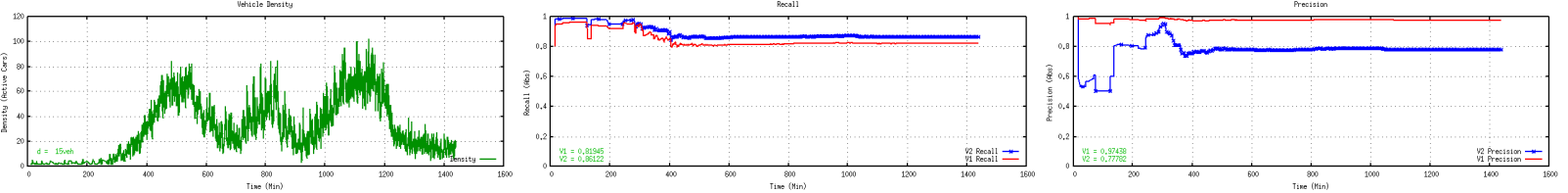


Εικόνα 82 Σενάριο 5: Data Points - False Positives - True Positives Ενδιάμεσες τιμές

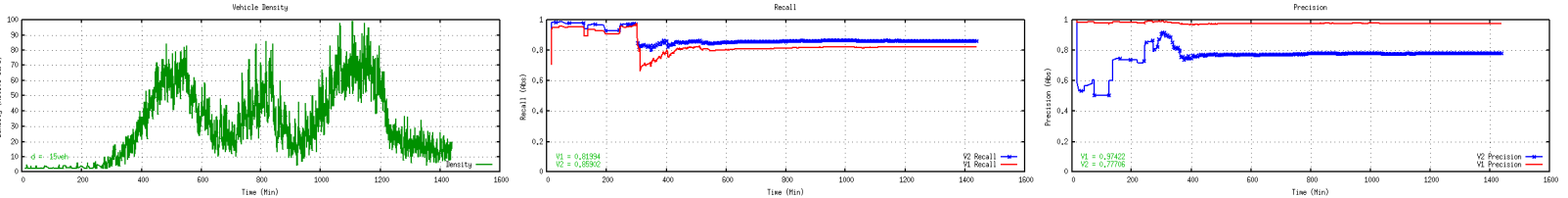


Εικόνα 83 Σενάριο 5: Data Points - False Positives - True Positives Έντονες τιμές

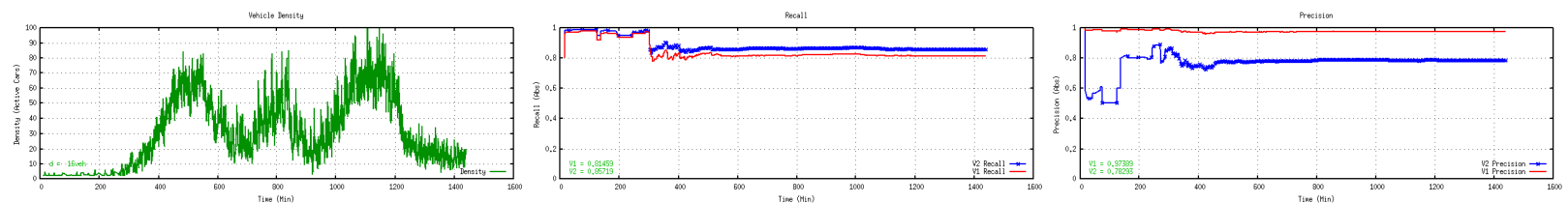
Vehicle Density – Recall - Precision



Εικόνα 84 Σενάριο 5: Vehicle Density - Recall - Precision Αρχικές τιμές

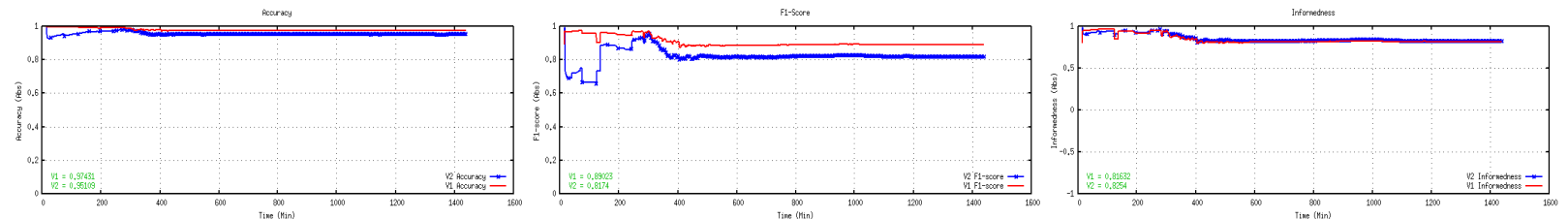


Εικόνα 85 Σενάριο 5: Vehicle Density - Recall - Precision Ενδιάμεσες τιμές

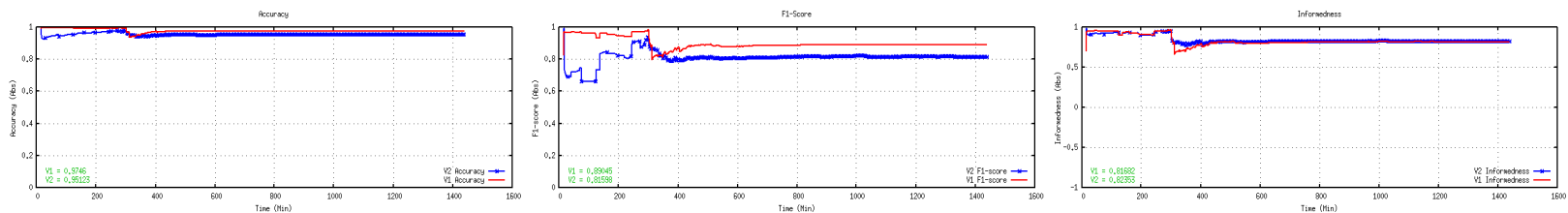


Εικόνα 86 Σενάριο 5: Vehicle Density - Recall - Precision Έντονες τιμές

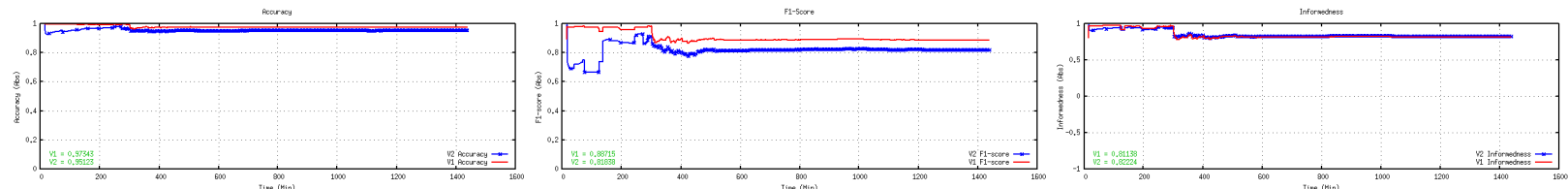
Accuracy – F1 Score - Informedness



Εικόνα 87 Σενάριο 5: Accuracy - F1 Score - Informedness Αρχικές τιμές

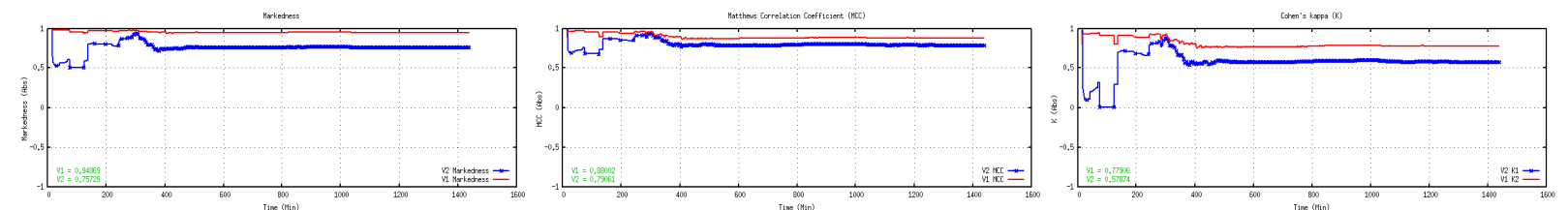


Εικόνα 88 Σενάριο 5: Accuracy - F1 Score - Informedness Ενδιάμεσες τιμές

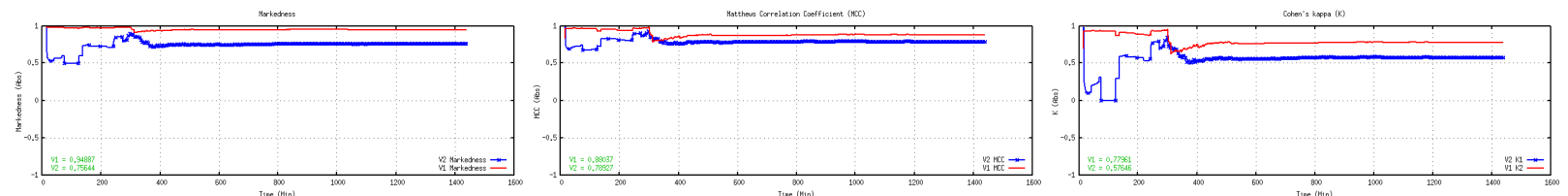


Εικόνα 89 Σενάριο 5: Accuracy - F1 Score - Informedness Έντονες τιμές

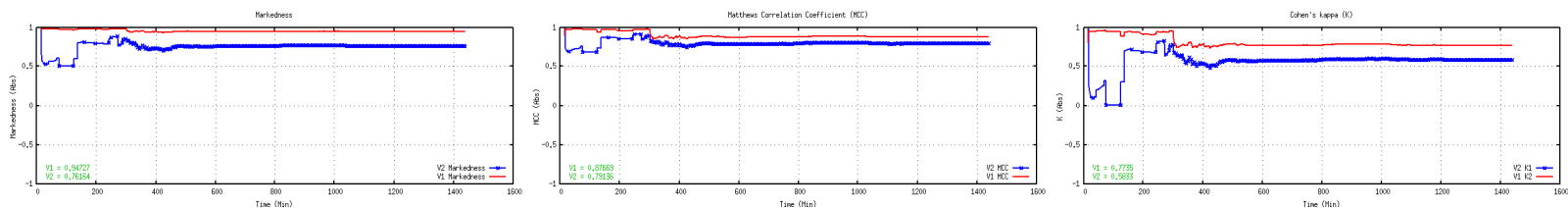
Markedness – MCC – Cohen's Kappa (K)



Εικόνα 90 Σενάριο 5: Markedness - MCC - Cohens Kappa Αρχικές τιμές



Εικόνα 91 Σενάριο 5: Markedness - MCC - Cohens Kappa Ενδιάμεσες τιμές



Εικόνα 92 Σενάριο 5: Markedness - MCC - Cohens Kappa Έντονες τιμές

Συμπεράσματα

Αλλαγή Παραμέτρων και Αξιοπιστία Συστήματος:

Οι αλλαγές στις παραμέτρους εμπιστοσύνης (confPos, confSpd, confHea, confAcc) στο Σενάριο 5 δείχνουν μια ευαισθησία του συστήματος, με ελαφρώς χαμηλότερες τιμές.

Επιπτώσεις στις Μετρήσεις:

Οι τιμές των false positives και true positives είναι ελαφρώς χαμηλότερες στις ενδιάμεσες τιμές σε σχέση με το αρχικό, που μπορεί να υποδηλώνει ότι οι αυστηρότερες παράμετροι εμπιστοσύνης μειώνουν την αναγνώριση επιθέσεων, αλλά και την ανίχνευση κανονικών γεγονότων.

Σταθερότητα και Ακρίβεια:

Το αρχικό σενάριο παρουσιάζει μια σταθερότητα και λιγότερες διακυμάνσεις στις περισσότερες μετρήσεις σε σύγκριση με τις άλλες περιπτώσεις.

Επιπτώσεις στην Ακρίβεια και την Ευαισθησία:

Η μείωση των παραμέτρων εμπιστοσύνης στο Σενάριο 5 αυξάνει την ευαισθησία του συστήματος, αλλά και τις διακυμάνσεις στις μετρήσεις, υποδηλώνοντας ότι το σύστημα γίνεται πιο ευάλωτο σε αλλαγές και επιθέσεις.

Scenario 6: Aggressive Parameter Adjustments

Μεταβλητές	Αρχικές τιμές	Ενδιάμεσες τιμές	Έντονες τιμές
MAX KALMAN TIME	3.1	1.5	0.1
KALMAN POS RANGE	1.0	5.0	10.0
KALMAN SPEED RANGE	4.0	8.0	20.0
MAX TIME DELTA	3.1	1.5	0.1
MAX DELTA INTER	2.0	1.0	0.1
RandomPosOffsetX	70.0	140.0	300.0
RandomPosOffsetY	70.0	140.0	300.0
RandomSpeedX	40.0	80.0	150.0
RandomSpeedY	40.0	80.0	150.0
RandomAccelX	2.0	5.0	10.0
RandomAccelY	2.0	5.0	10.0
confPos	10.0	5.0	0.5
confSpd	0.05	0.025	0.001

confHea	20.0	10.0	1.0
confAcc	0.01	0.005	0.0001
MAX PROXIMITY DISTANCE	2.0	8.0	30.0
MAX PROXIMITY RANGE L	30.0	60.0	200.0
MAX PROXIMITY RANGE W	3.0	9.0	20.0
MAX DISTANCE FROM ROUTE	2.0	8.0	30.0

Στο έκτο σενάριο προσπαθούμε να επηρεάσουμε το σύστημα μας βάζοντας όλες τις αλλαγές στις παραμέτρους μας που κάναμε στα προηγούμενα σενάρια και προσθέτοντας κάποιες ακόμα επηρεάζοντας έτσι κατά κύριο λόγο τον αλγόριθμο Threshold V1. Οι μεταβλητές που αλλάζουμε φαίνονται στον παραπάνω πίνακα. Στο σενάριο αυτό έχουμε 3 περιπτώσεις η πρώτη με τις αρχικές τιμές του προγράμματος μας η δεύτερη με κάποιες ενδιάμεσες τιμές και η τρίτη με πιο έντονες τιμές. Η λειτουργία των επιπλέον μεταβλητών που έχουμε βάλει σ αυτό το σενάριο είναι:

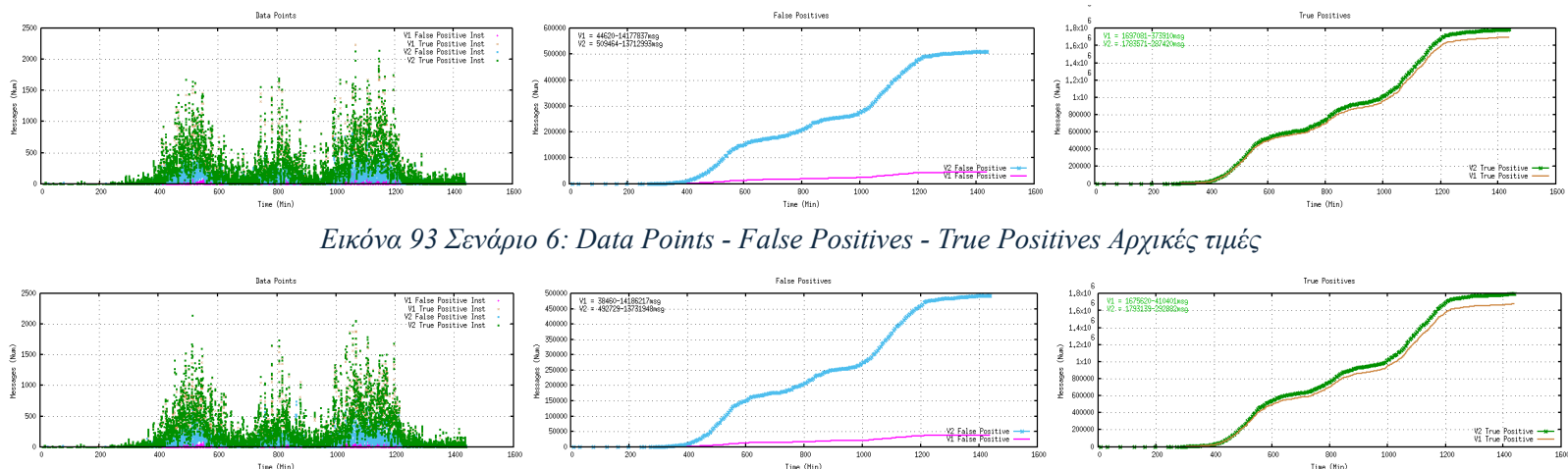
MAX_PROXIMITY_DISTANCE: Αυτή η μεταβλητή καθορίζει τη μέγιστη απόσταση εγγύτητας που λαμβάνεται υπόψη από το σύστημα. Αυτή η επιλογή θα υπολογίσει την ευθεία απόσταση μεταξύ της τρέχουσας θέσης και όλων των σημείων που εμπίπτουν στην παράμετρο εγγύτητας.

MAX_PROXIMITY_RANGE_L: Αυτή η μεταβλητή αναφέρεται στο μήκος της ζώνης εγγύτητας κατά μήκος ενός συγκεκριμένου άξονα (του μήκους). Είναι η μέγιστη απόσταση στην οποία το σύστημα εξετάζει αν υπάρχουν αντικείμενα εντός μιας συγκεκριμένης ζώνης.

MAX_PROXIMITY_RANGE_W: Αφορά το πλάτος της ζώνης εγγύτητας κατά μήκος ενός άλλου άξονα (του πλάτους). Καθορίζει τη μέγιστη απόσταση στην οποία το σύστημα θεωρεί τα αντικείμενα ότι βρίσκονται εντός μιας ζώνης εγγύτητας από την πλευρά του πλάτους.

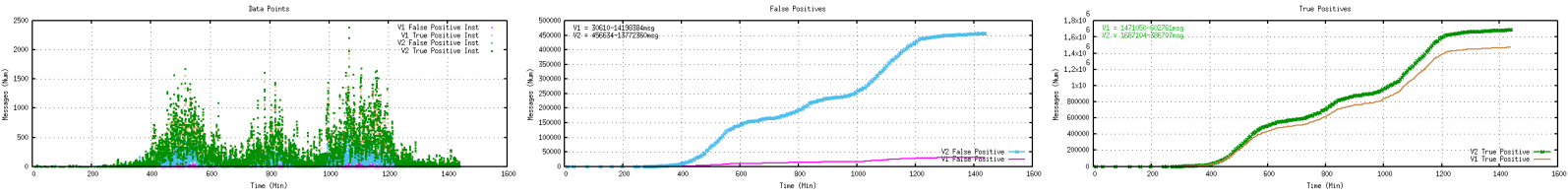
MAX_DISTANCE_FROM_ROUTE: Αυτή η μεταβλητή καθορίζει τη μέγιστη απόσταση που μπορεί να απομακρυνθεί ένα αντικείμενο ή ένα όχημα από την προγραμματισμένη διαδρομή του.

Data Points – False Positives – True Positives



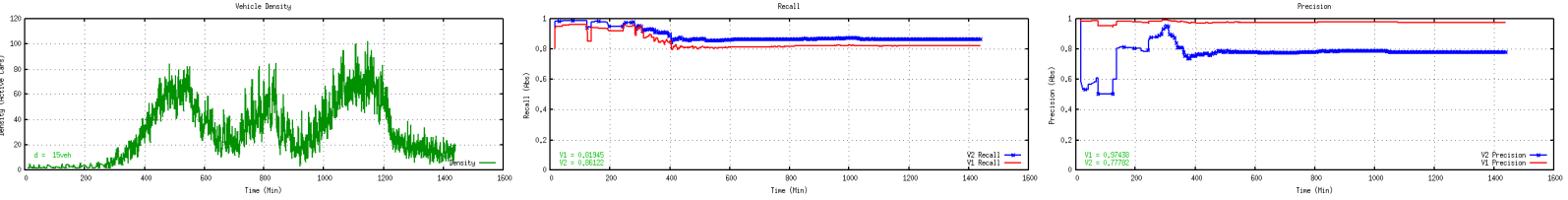
Εικόνα 93 Σενάριο 6: Data Points - False Positives - True Positives Αρχικές τιμές

Εικόνα 94 Σενάριο 6: Data Points - False Positives - True Positives Ενδιάμεσες τιμές

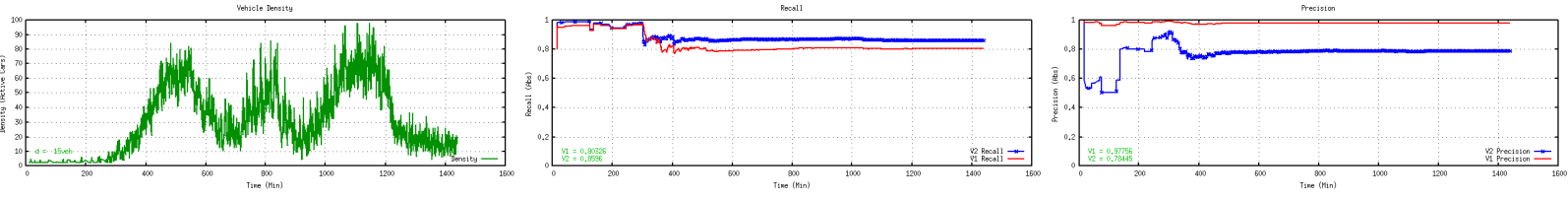


Εικόνα 95 Σενάριο 6: Data Points - False Positives - True Positives Έντονες τιμές

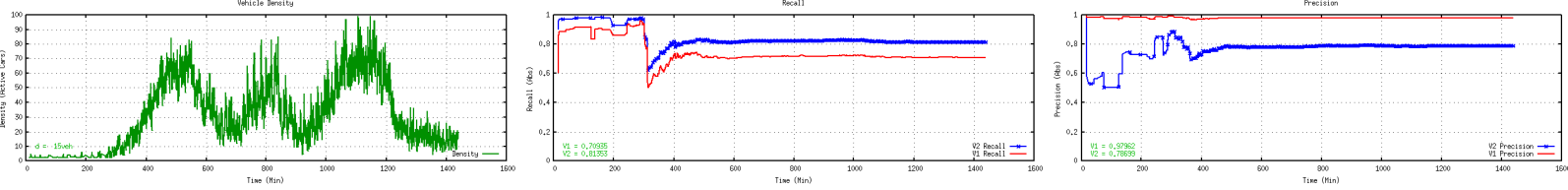
Vehicle Density – Recall - Precision



Εικόνα 96 Σενάριο 6: Vehicle Density - Recall - Precision Αρχικές τιμές

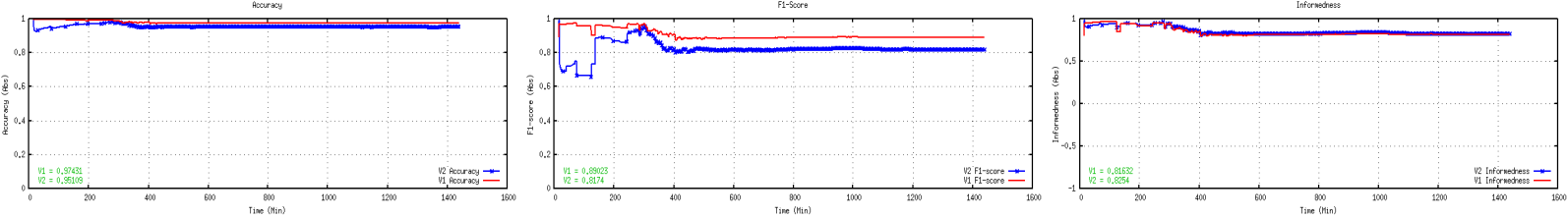


Εικόνα 97 Σενάριο 6: Vehicle Density - Recall - Precision Ενδιάμεσες τιμές

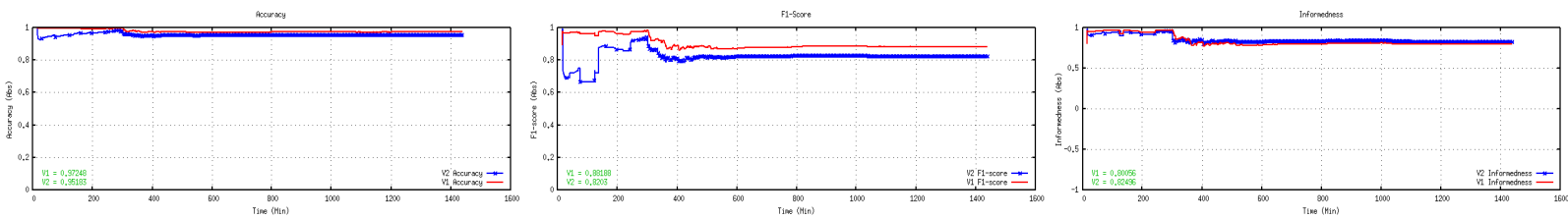


Εικόνα 98 Σενάριο 6: Vehicle Density - Recall - Precision Έντονες τιμές

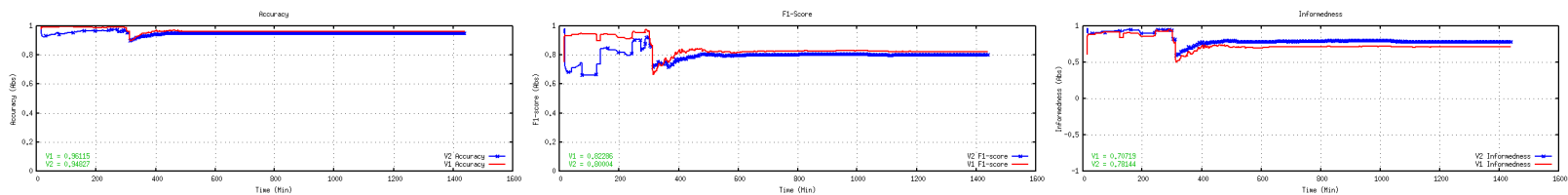
Accuracy – F1 Score - Informedness



Εικόνα 99 Σενάριο 6: Accuracy - F1 Score - Informedness Αρχικές τιμές

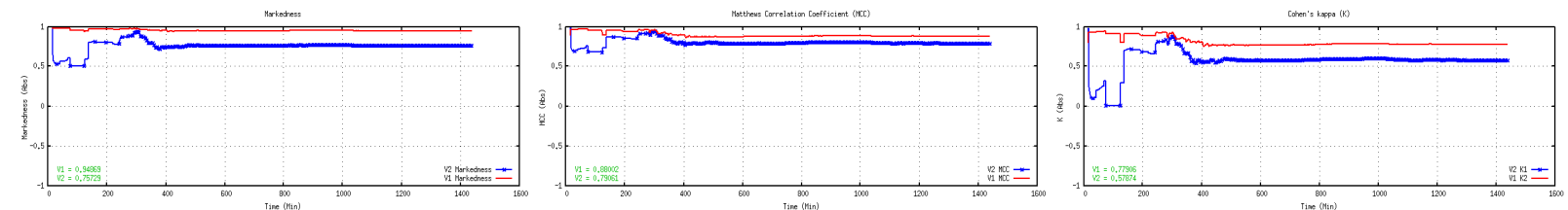


Εικόνα 100 Σενάριο 6: Accuracy - F1 Score - Informedness Ενδιάμεσες τιμές

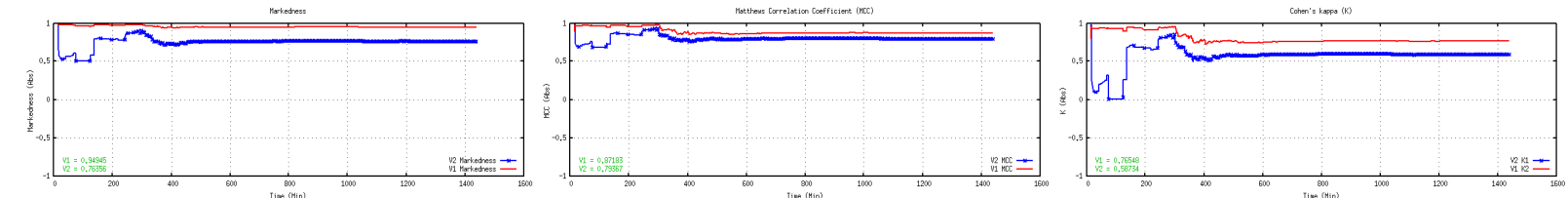


Εικόνα 101 Σενάριο 6: Accuracy - F1 Score - Informedness Έντονες τιμές

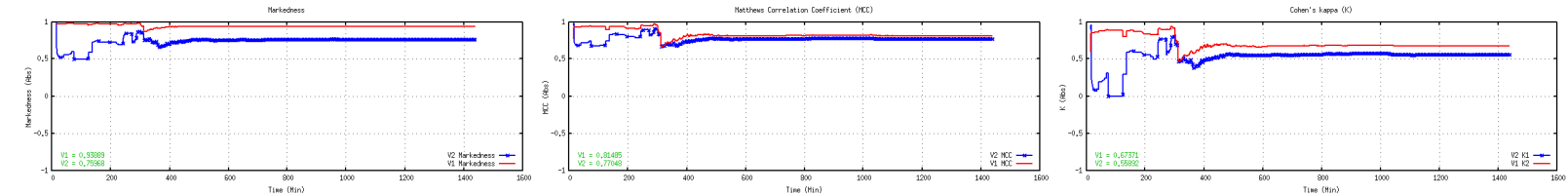
Markedness – MCC – Cohen's Kappa (K)



Εικόνα 102 Σενάριο 6: Markedness - MCC - Cohens Kappa Αρχικές τιμές



Εικόνα 103 Σενάριο 6: Markedness - MCC - Cohens Kappa Ενδιάμεσες τιμές



Εικόνα 104 Σενάριο 6: Markedness - MCC - Cohens Kappa Έντονες τιμές

Συμπεράσματα

False Positives:

Τα false positive μειώνονται από 44.000 για το V1 και 50.000 για το V2 σε 38.000 και 49.000 αντίστοιχα στις ενδιάμεσες τιμές. Στη συνέχεια, 30.000 και 40.000 αντίστοιχα για τις έντονες τιμές λόγω των επιθετικών προσαρμογών των παραμέτρων που βελτιώνουν την ανίχνευση χωρίς να θυσιάζουν υπερβολικά την ακρίβεια.

True Positives:

Το Αρχικό σενάριο εμφανίζει περίπου 1.800.000 true positives για το V2 στο τέλος της προσομοίωσης και 1.700.000 για το V1.

Στην ενδιάμεση περίπτωση εμφανίζει περίπου τις ίδιες τιμές ενώ στην περίπτωση με τις πιο έντονες τιμές έχουμε μείωση των true positives. (1.470.000 για το V1 και 1.680.000 για το V2)

Σταθερότητα και Ευαισθησία:

Το Αρχικό σενάριο προσφέρει μεγαλύτερη σταθερότητα με ένα πιο προβλέψιμο μοτίβο αύξησης των ψευδώς θετικών. Επίσης προσφέρει υψηλότερα true positives, υποδεικνύοντας μια πιο αξιόπιστη ανίχνευση

Στις άλλες δυο περιπτώσεις, αν και εμφανίζει λιγότερα συνολικά false positives, έχει περισσότερες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, υποδεικνύοντας ότι το σύστημα είναι πιο ευαίσθητο αλλά και πιο ευάλωτο σε αλλαγές. Αν και έχει ελαφρώς λιγότερα true positives, μπορεί να είναι πιο ευαίσθητο στις αλλαγές περιβαλλοντικών παραμέτρων λόγω των επιθετικών προσαρμογών.

Στις περιπτώσεις με τις ενδιάμεσες τιμές και τις πιο έντονες τιμές έχουμε χαμηλότερη ακρίβεια και σταθερότητα στις μετρήσεις σε σύγκριση με το αρχικό.

Ισοζύγιο Ευαισθησίας και Σταθερότητας:

Η μείωση των false positive δείχνει ότι οι επιθετικές ρυθμίσεις παραμέτρων μπορεί να μειώσουν τον συνολικό αριθμό ψευδών συναγερμών, αλλά με το κόστος της αυξημένης μεταβλητότητας, της μειωμένης ακρίβειας και πιθανώς άλλων ανισορροπιών.

Σύσταση

Για σταθερή και υψηλή απόδοση ανίχνευσης, το Αρχικό σενάριο παραμένει η καλύτερη επιλογή.

Οι άλλες δυο περιπτώσεις μπορεί να προτιμηθούν σε σενάρια όπου η αυξημένη ευαισθησία και η ανίχνευση ταχύτερων αλλαγών είναι σημαντικότερες από την απόλυτη ακρίβεια.

Αυτή η ανάλυση δείχνει ότι οι επιθετικές προσαρμογές ενδέχεται να μειώσουν ελαφρώς τα true positives και τα false positives, αλλά μπορεί να βελτιώσουν άλλες πτυχές της απόδοσης, όπως η ευαισθησία στις επιθέσεις.

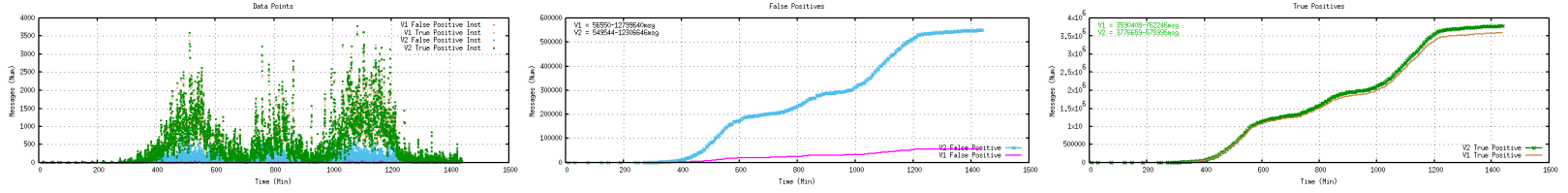
Scenario 7: Change Attacker

Local Attacker = 0.2 , Global Attacker = 0.1 LocalAttack = διαφορετικό κάθε φορά σύμφωνα με τα παρακάτω σενάρια GlobalAttack = MASTress

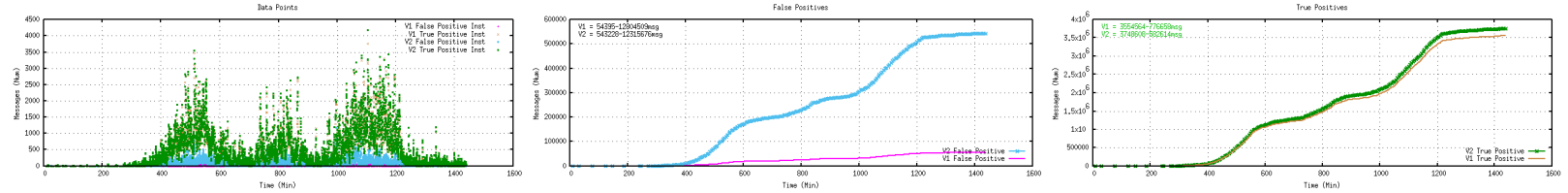
Μεταβλητή	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
LocalAttack	DoS	Data Replay	Disruptive

Στο έβδομο σενάριο προσπαθούμε να επηρεάσουμε το σύστημα μας αλλάζοντας το είδος επίθεσης μας. Οι μεταβλητή που αλλάζουμε φαίνεται στον παραπάνω πίνακα είναι το LocalAttack. Παρακάτω βλέπουμε τα τρία διαφορετικά είδη local επιθέσεων πρώτα παρουσιάζεται το DoS έπειτα το Data Replay και τέλος το Disruptive:

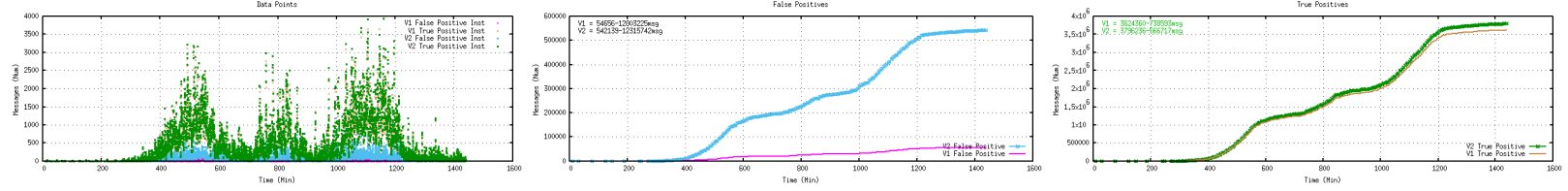
Data Points – False Positives – True Positives



Εικόνα 105 Σενάριο 7: Data Points - False Positives - True Positives (Σενάριο 1 DoS)

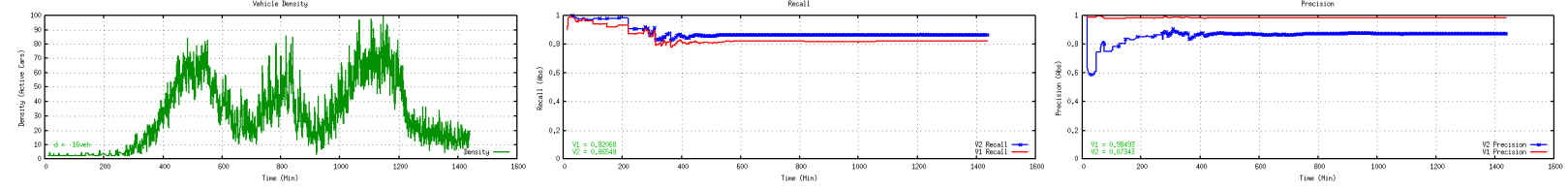


Εικόνα 106 Σενάριο 7: Data Points - False Positives - True Positives (Σενάριο 2 Data Replay)

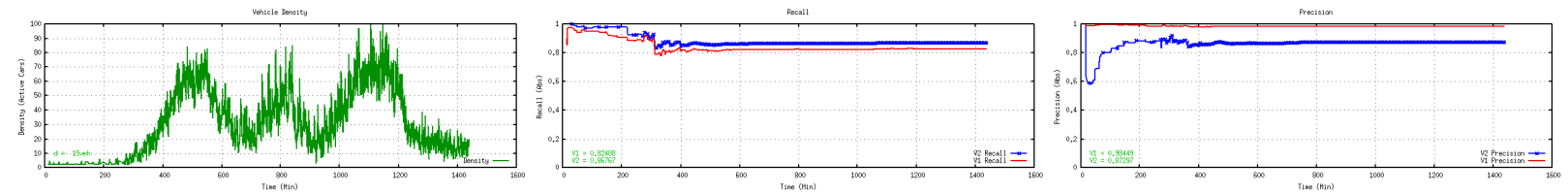


Εικόνα 107 Σενάριο 7: Data Points - False Positives - True Positives (Σενάριο 3 Disruptive)

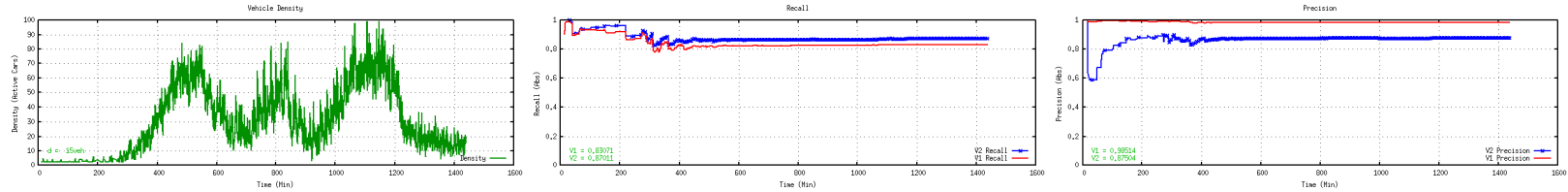
Vehicle Density – Recall – Precision



Εικόνα 108 Σενάριο 7: Vehicle Density - Recall - Precision (Σενάριο 1 DoS)

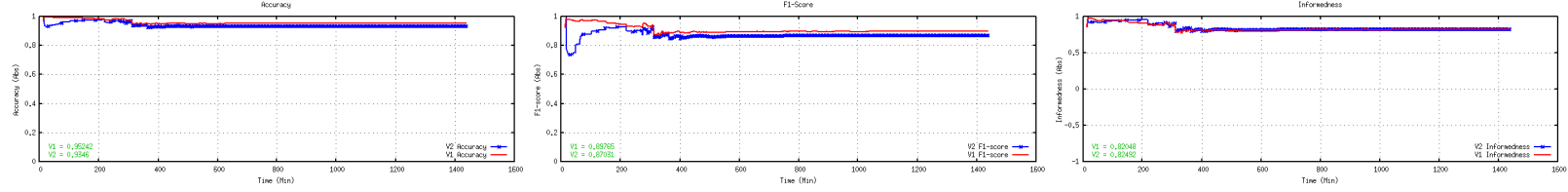


Εικόνα 109 Σενάριο 7: Vehicle Density - Recall - Precision (Σενάριο 2 Data Replay)

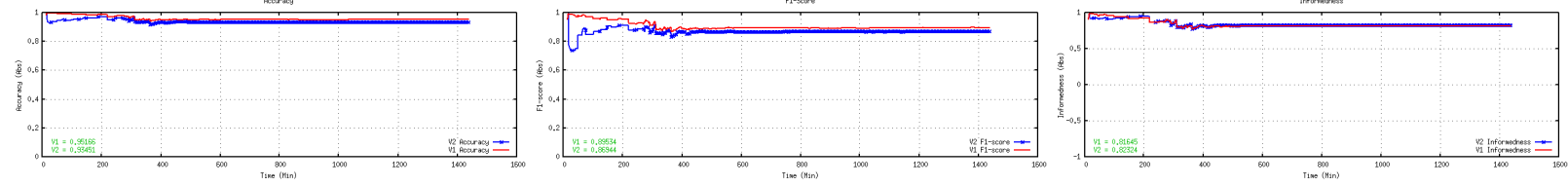


Εικόνα 110 Σενάριο 7: Vehicle Density - Recall - Precision (Σενάριο 3 Disruptive)

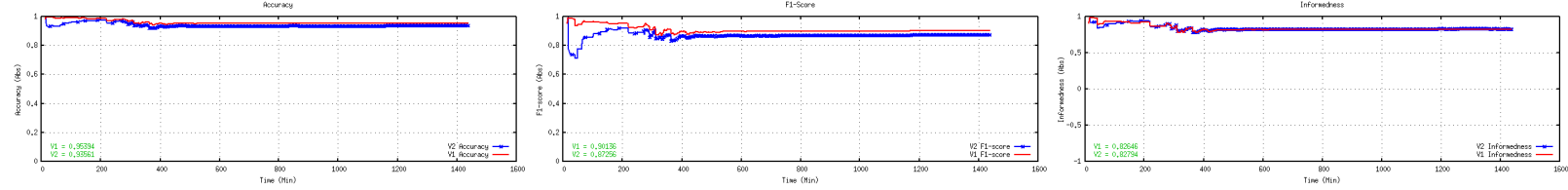
Accuracy – F1 Score - Informedness



Εικόνα 111 Σενάριο 7: Accuracy - F1 Score – Informedness (Σενάριο 1 DoS)

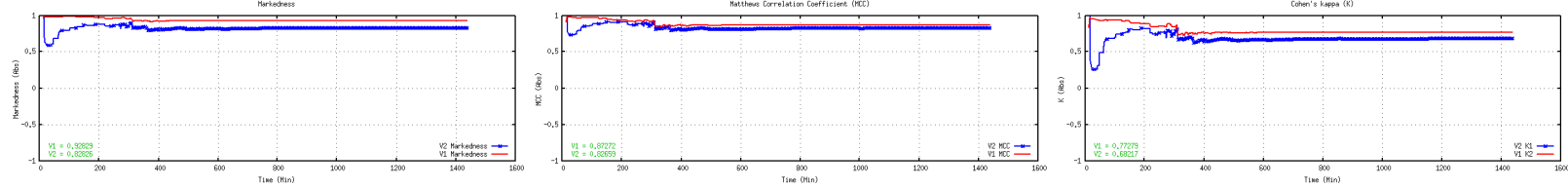


Εικόνα 112 Σενάριο 7: Accuracy - F1 Score – Informedness (Σενάριο 2 Data Replay)

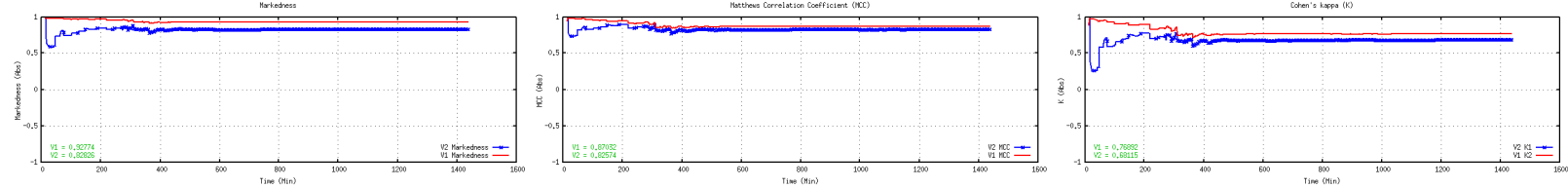


Εικόνα 113 Σενάριο 7: Accuracy - F1 Score – Informedness (Σενάριο 3 Disruptive)

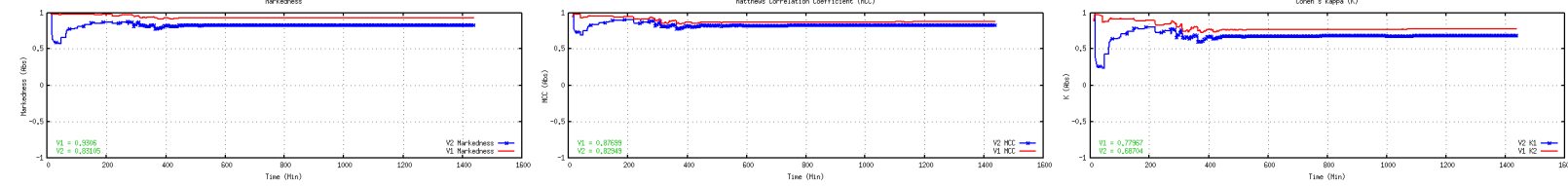
Markedness – MCC – Cohen's Kappa (K)



Εικόνα 114 Σενάριο 7: Markedness - MCC - Cohens Kappa (Σενάριο 1 DoS)



Εικόνα 115 Σενάριο 7: Markedness - MCC - Cohens Kappa (Σενάριο 2 Data Replay)



Εικόνα 116 Σενάριο 7: Markedness - MCC - Cohens Kappa (Σενάριο 3 Disruptive)

Αποτελέσματα και συμπεράσματα

Data Points, False Positives, and True Positives:

Στο Σενάριο 1 βλέπουμε πως τα false positives αυξάνονται σταθερά και φτάνουν περίπου στα 56.000 για V1 και 549.000 για V2. Τα true positives είναι 3.559.000 για V1 και 3.776.000 για V2.

Στο Σενάριο 2 έχουμε ελαφρώς χαμηλότερα false positives 54.300 για V1 και 543.000 για V2. Τα true positives είναι λίγο χαμηλότερα από το πρώτο σενάριο 3.554.000 για V1 και 3.748.000 για V2.

Στο Σενάριο 3 έχουμε παρόμοια νούμερα με το σενάριο 2 54.600 για V1 και 542.000 για V2 πράγμα που δείχνει ότι οι επιθέσεις Data replay και Disruptive έχουν παροιμίες επιπτώσεις. Τα true positives σε αυτό το σενάριο είναι περισσότερα σε σύγκριση με τα άλλα δυο 3.624.000 για το V1 και 3.796.000 για το V2.

Vehicle Density, Recall, and Precision

Σε όλα τα σενάρια η πυκνότητα των οχημάτων αντιστοιχεί σε υψηλή κυκλοφορία επηρεάζοντας το recall και το precision.

Στο Σενάριο 1 το recall είναι 0.820-0.865 (V1-V2).

Στο Σενάριο 2 το recall είναι 0.824-0.867 (V1-V2).

Στο Σενάριο 3 το recall είναι 0.83-0.87 (V1-V2). Φαίνεται ότι το σύστημα είναι πιο αποτελεσματικό στην ανίχνευση αληθώς θετικών γεγονότων, παρά τις δυσκολίες που προκύπτουν από την επίθεση Disruptive.

Accuracy, F1-Score, and Informedness

Στο Σενάριο 1 η ακρίβεια φτάνει περίπου το 0.952-0.934 (V1-V2) και το F1-Score είναι στο 0.897-0.870 (V1-V2), κάτι που δείχνει ότι το σύστημα διατηρεί καλή ισορροπία μεταξύ recall και precision, παρά τη μεταβλητότητα. Το Informedness είναι στο 0.820- 0.824.

Στο Σενάριο 2 η ακρίβεια φτάνει περίπου το 0.951-0.934 (V1-V2) και το F1-Score είναι στο 0.895-0.869 (V1-V2). Το Informedness είναι στο 0.816- 0.823 (V1-V2).

Στο Σενάριο 3 η ακρίβεια αυξάνεται περισσότερο φτάνει περίπου το 0.953-0.935 (V1-V2) και το F1-Score είναι στο 0.901-0.872 (V1-V2). Το Informedness είναι στο 0.826- 0.827 (V1-V2). Δείχνοντας ότι η ανθεκτικότητα του συστήματος αυξάνεται σε αυτό το σενάριο.

Markedness, MCC, and Cohen's Kappa

Στο Σενάριο 1 το Markedness είναι περίπου στο 0.928-0.828 (V1-V2), το MCC είναι στο 0.872-0.826 (V1-V2), και το Cohen's Kappa στο 0.772- 0.682 κάτι που υποδηλώνει ότι το σύστημα έχει καλή αξιοπιστία στην ανίχνευση των επιθέσεων.

Στο Σενάριο 2 το Markedness, το MCC και το Cohen's Kappa είναι ελαφρώς χαμηλότερα σε σύγκριση με το πρώτο σενάριο. Το Markedness είναι περίπου στο 0.927-0.828 (V1-V2), το MCC είναι στο 0.870-0.825 (V1-V2), και το Cohen's Kappa στο 0.768- 0.681.

Στο Σενάριο 3 το Markedness, το MCC και το Cohen's Kappa αυξάνονται σε σύγκριση με τα προηγούμενα σενάρια. Το Markedness είναι περίπου στο 0.930-0.831 (V1-V2), το MCC είναι στο 0.876-0.829 (V1-V2), και το Cohen's Kappa στο 0.779- 0.687, υποδηλώνοντας μια συνολική βελτίωση στη σταθερότητα και την αξιοπιστία του συστήματος.

Συνοπτικά Συμπεράσματα:

- **Βελτίωση:** Το σύστημα παρουσιάζετε πιο βελτιωμένο από το Σενάριο 1 στο Σενάριο 3, με σταθερές αυξήσεις στην ακρίβεια, το F1-Score, και την ανθεκτικότητα στις επιθέσεις.
- **Μεταβλητότητα:** Υπάρχει σημαντική μεταβλητότητα στα False και True Positives ανάλογα με το είδος της επίθεσης, αλλά το σύστημα φαίνεται να διατηρεί μια καλή ισορροπία μεταξύ ευαισθησίας και ακρίβειας.
- **Ανθεκτικότητα:** Το Σενάριο 3 δείχνει τη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα, υποδηλώνοντας ότι το σύστημα είναι πιο αποτελεσματικό στη διαχείριση σύνθετων επιθέσεων.
- **Ευάλωτο:** Το σύστημα είναι περισσότερο ευάλωτο σε επιθέσεις DoS.

Scenario 8: Change Algorithm

Local Attacker = 0.1 , Global Attacker = 0.1 LocalAttack = randomSpeed GlobalAttack = MASTress

Μεταβλητή	Αρχικό	Σενάριο 2	Σενάριο 3
V1	Threshold	Threshold	Cooperative
V2	Behavioral	Cooperative	Behavioral

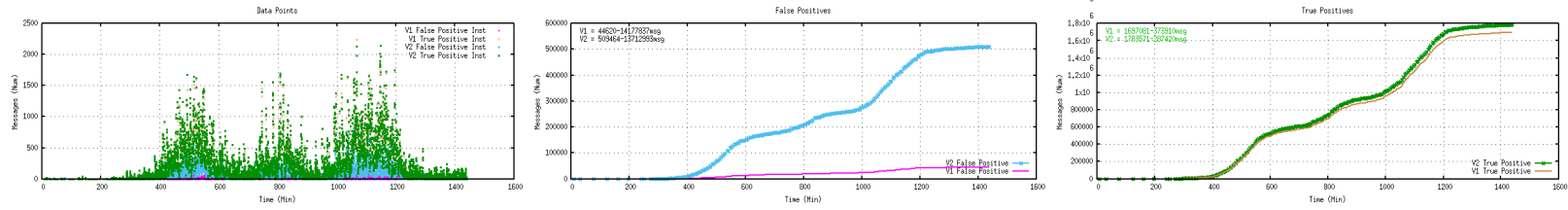
Στο όγδοο σενάριο αλλάζουμε τους αλγορίθμους του προγράμματος μας καθώς αρχικά είχαμε το Threshold και το Behavioral και τώρα προσθέτουμε τον αλγόριθμο Cooperative δημιουργώντας ζευγάρια μεταξύ τους βλέποντας τις διαφορές τους. Παρακάτω βλέπουμε την λειτουργία κάθε αλγορίθμου.

Threshold: Κάνει αναφορά ενός κόμβου εάν ένα συγκεκριμένο μήνυμα αποτύχει σε τουλάχιστον ένα από τους ελέγχους αληθοφάνειας. Η αποτυχία προσδιορίζεται εάν το αποτέλεσμα του ελέγχου είναι κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο.

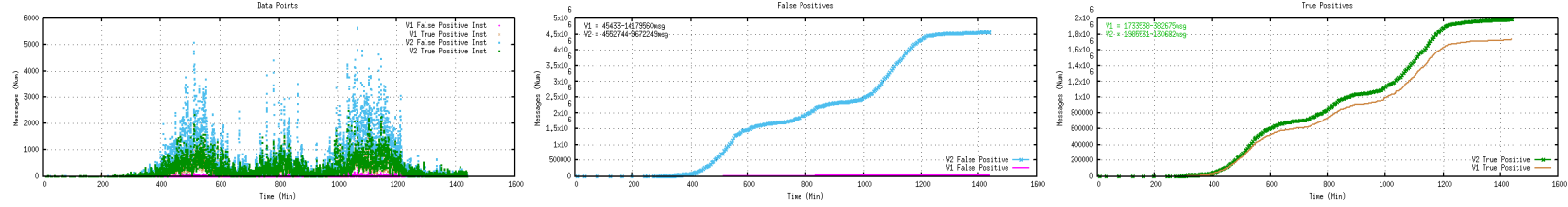
Behavioral: Βασίζεται στην βαρύτητα ενός γεγονότος κακής συμπεριφοράς. Σύμφωνα με την βαρύτητα κακής συμπεριφοράς ο κόμβος τίθεται σε timeout και όλα τα δεδομένα που στέλνει αναφέρονται στη ΜΑ. Η βαρύτητα προκύπτει από τα αποτελέσματα των βασικών ελέγχων αληθοφάνειας.

Cooperative: Βασίζεται στην συνεργατική δράση μεταξύ των κόμβων σε ένα δίκτυο. Συγκεκριμένα, οι κόμβοι δεν βασίζονται μόνο στα δικά τους αποτελέσματα για να κρίνουν αν ένα μήνυμα είναι σωστό ή όχι, αλλά λαμβάνουν υπόψη και τις πληροφορίες από άλλους κόμβους. Η συνεργατική αυτή προσέγγιση επιτρέπει στους κόμβους να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να λαμβάνουν αποφάσεις βασισμένες σε περισσότερα δεδομένα από αυτά που έχουν τοπικά διαθέσιμα, προσπαθώντας έτσι να βελτιώσουν την αξιοπιστία της ανίχνευσης κακής συμπεριφοράς στο δίκτυο.

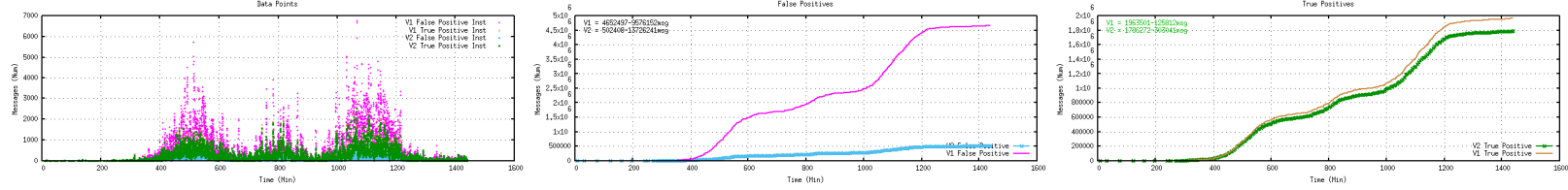
Data Points – False Positives – True Positives



Εικόνα 117 Σενάριο 8: Data Points - False Positives - True Positives (V1: Threshold , V2:Behavioral)

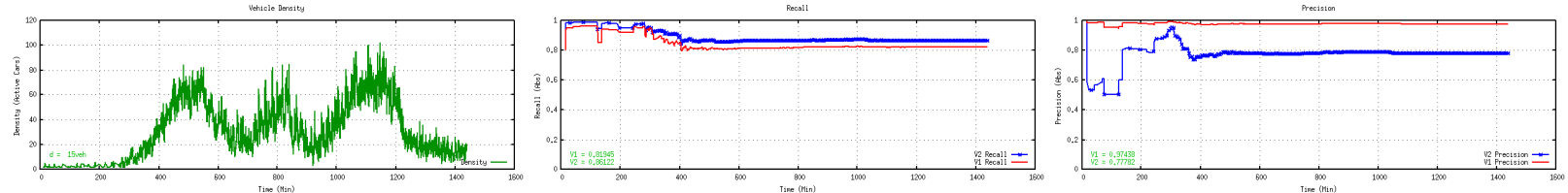


Εικόνα 118 Σενάριο 8: Data Points - False Positives - True Positives (V1: Threshold , V2:Cooperative)

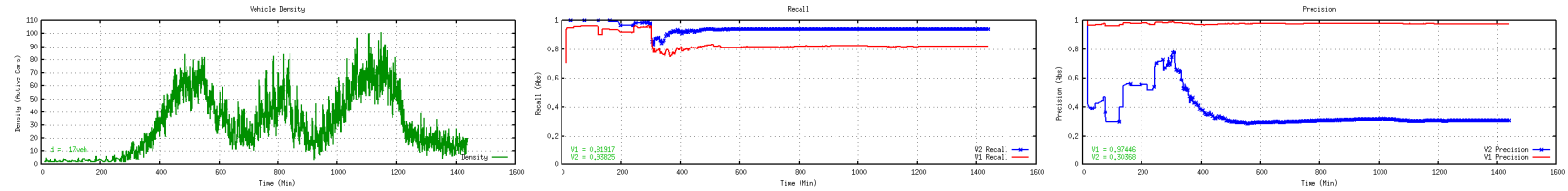


Εικόνα 119 Σενάριο 8: Data Points - False Positives - True Positives (V1: Cooperative , V2:Behavioral)

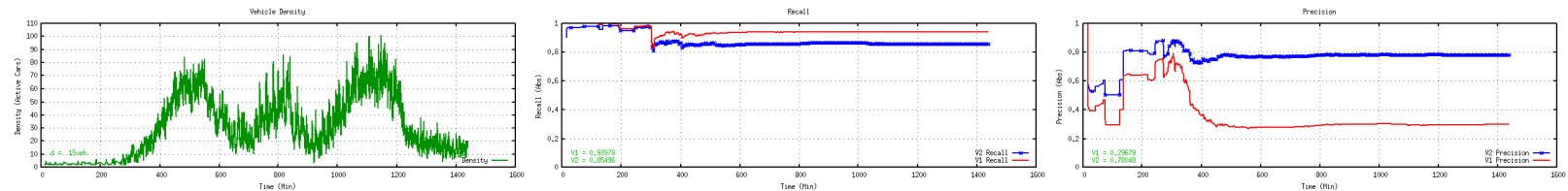
Vehicle Density – Recall - Precision



Εικόνα 120 Σενάριο 8: Vehicle Density - Recall - Precision (V1:Threshold , V2:Behavioral)

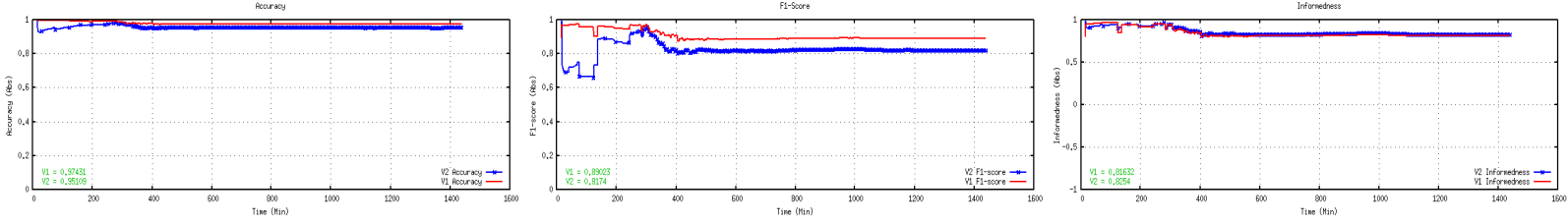


Εικόνα 121 Σενάριο 8: Vehicle Density - Recall - Precision (V1:Threshold , V2:Cooperative)

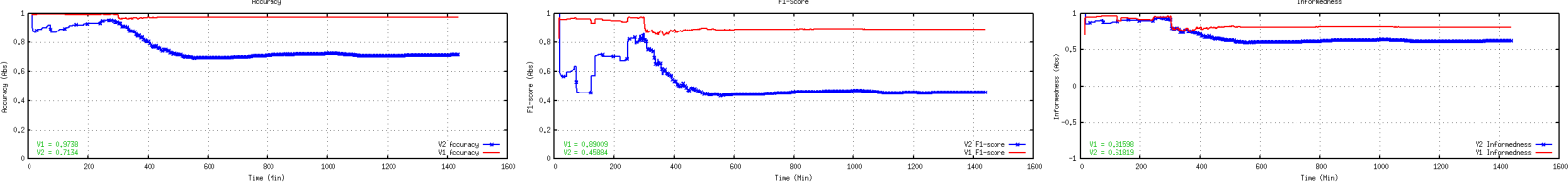


Εικόνα 122 Σενάριο 8: Vehicle Density - Recall - Precision (V1:Cooperative , V2:Behavioral)

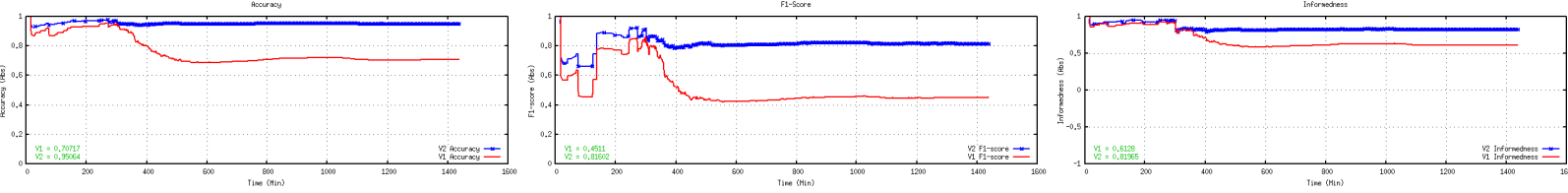
Accuracy – F1 Score - Informedness



Εικόνα 123 Σενάριο 8: Accuracy - F1 Score – Informedness (V1:Threshold , V2:Behavioral)

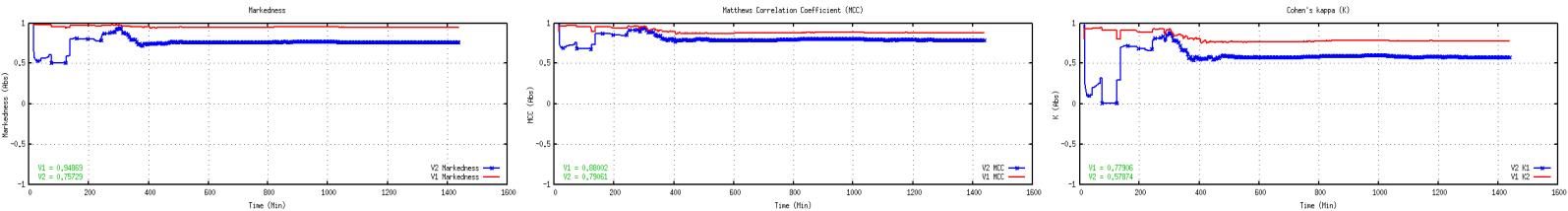


Εικόνα 124 Σενάριο 8: Accuracy - F1 Score – Informedness (V1:Threshold , V2:Cooperative)

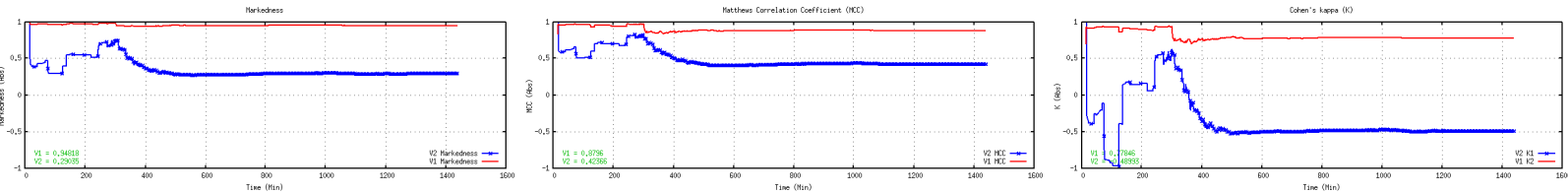


Εικόνα 125 Σενάριο 8: Accuracy - F1 Score – Informedness (V1:Cooperative , V2:Behavioral)

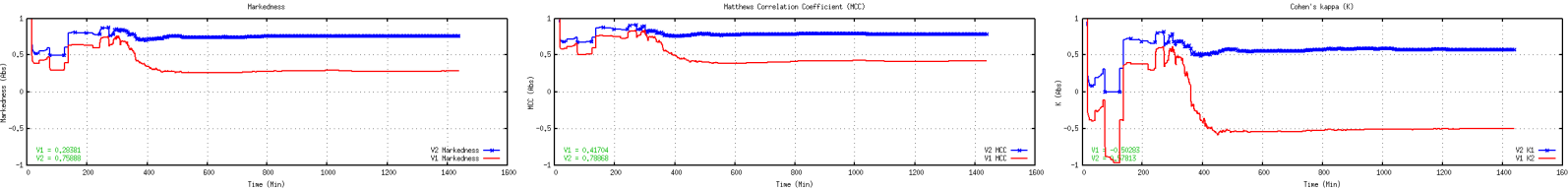
Markedness – MCC – Cohen's Kappa (K)



Εικόνα 126 Σενάριο 8: Markedness - MCC - Cohens Kappa (V1:Threshold , V2:Behavioral)



Εικόνα 127 Σενάριο 8: Markedness - MCC - Cohens Kappa (V1:Threshold , V2:Cooperative)



Εικόνα 128 Σενάριο 8: Markedness - MCC - Cohens Kappa (V1:Cooperative , V2:Behavioral)

Παρατηρήσεις και Συγκρίσεις:

Data Points, False Positives, and True Positives:

Σενάριο 1 (Threshold - Behavioral):

Στο Σενάριο 1 τα false positives αυξάνονται σταθερά και φτάνουν περίπου στα 44.620 για V1 και 509.000 για V2. Τα true positives είναι 1.700.000 για V1 και 1.800.000 για V2. Τα False Positives είναι σχετικά χαμηλά στο σενάριο 1. Ο αριθμός των true positives είναι υψηλός, υποδεικνύοντας ότι ο αλγόριθμος Behavioral ανιχνεύει αποτελεσματικά την πραγματική εσφαλμένη συμπεριφορά.

Σενάριο 2 (Threshold - Cooperative):

Στο Σενάριο 2 έχουμε 45.000 για V1 και 4.500.000 για V2 false positives. Τα true positives είναι 1.730.000 για V1 και 2.000.000 για V2. Τα False Positives αυξήθηκαν σημαντικά σε σύγκριση με το Σενάριο 1, υποδηλώνοντας ότι ο αλγόριθμος Cooperative είναι πιο επιθετικός στην επισήμανση των μηνυμάτων. Τα True positives παραμένουν υψηλά, αλλά η αύξηση των Ψευδώς Θετικών μπορεί να υποδηλώνει έναν συμβιβασμό μεταξύ ευαισθησίας και ανεκτικότητας.

Σενάριο 3 (Cooperative - Behavioral):

Στο Σενάριο 3 έχουμε 4.600.000 για V1 και 502.000 για V2 τα false positives. Τα true positives είναι 1.900.000 για το V1 και 1.800.000 για το V2. Τα False Positives είναι τα υψηλότερα σε αυτό το σενάριο, δείχνοντας ότι ο συνδυασμός του Cooperative με το Behavioral οδηγεί σε ακόμη πιο επιθετική ανίχνευση. Τα True Positives είναι επίσης υψηλά, παρόμοια με τα προηγούμενα σενάρια.

Vehicle Density, Recall, and Precision:

Σενάριο 1 (Threshold - Behavioral):

Στο Σενάριο 1 το recall είναι περίπου στο 0.819 για V1 και 0.861 για V2. Το precision είναι 0.974 για V1 και 0.777 για V2. Το recall παραμένει σταθερό συμπεραίνοντας ότι ένα μεγάλο ποσοστό των λανθασμένων μηνυμάτων ανιχνεύονται. Το precision δείχνει υψηλή ακρίβεια.

Σενάριο 2 (Threshold - Cooperative):

Στο Σενάριο 2 το recall είναι περίπου στο 0.819 για V1 και 0.938 για V2. Το precision είναι 0.974 για V1 και 0.303 για V2. Το recall παραμένει σχετικά σταθερό σε σύγκριση με το πρώτο σενάριο με μικρές διακυμάνσεις. Το precision μειώνεται σε σύγκριση με το Σενάριο 1, πιθανότατα λόγω της αύξησης των false positives, δείχνοντας ότι ο αλγόριθμος Cooperative μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική ευαισθησία.

Σενάριο 3 (Cooperative - Behavioral):

Στο Σενάριο 3 το recall είναι περίπου στο 0.939 για V1 και 0.854 για V2. Το precision είναι 0.296 για V1 και 0.780 για V2. Το recall παραμένει σχετικά σταθερό σε σύγκριση με τα άλλα σενάρια. Η ακρίβεια μειώνεται, αναδεικνύοντας την επιθετική φύση του αλγορίθμου Cooperative σε συνδυασμό με το Behavioral, οδηγώντας σε πολλά μη εσφαλμένα μηνύματα να επισημαίνονται ως εσφαλμένα.

Accuracy, F1-Score, and Informedness:

Σενάριο 1 (Threshold - Behavioral):

Στο Σενάριο 1 η ακρίβεια είναι περίπου στο 0.974 για V1 και 0.951 για V2. Το F1-Score είναι 0.890 για V1 και 0.817 για V2. Το informedness είναι περίπου στο 0.816 για V1 και 0.825 για V2. Η Υψηλή ακρίβεια δείχνει καλή απόδοση του συστήματος συνολικά. Το F1 Score είναι ισορροπημένο και υψηλό, δείχνοντας ότι και το Precision και το Recall διατηρούνται σταθερά. Το Informedness δείχνει μια καλή διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Σενάριο 2 (Threshold - Cooperative):

Στο Σενάριο 2 η ακρίβεια είναι περίπου στο 0.973 για V1 και 0.713 για V2. Το F1-Score είναι 0.890 για V1 και 0.458 για V2. Το informedness είναι περίπου στο 0.815 για V1 και 0.458 για V2. Η ακρίβεια μειώνεται λόγω της αύξησης των false positives. Το F1 Score μειώνεται στον αλγόριθμο Cooperative δείχνοντας ότι η ισορροπία μεταξύ Precision και Recall δεν υπάρχει. Το Informedness μειώνεται στο αλγόριθμο Cooperative.

Σενάριο 3 (Cooperative - Behavioral):

Στο Σενάριο 3 η ακρίβεια είναι περίπου στο 0.707 για V1 και 0.950 για V2. Το F1-Score είναι 0.451 για V1 και 0.816 για V2. Το informedness είναι περίπου στο 0.612 για V1 και 0.819 για V2. Η ακρίβεια μειώνεται δείχνοντας ότι το σύστημα δυσκολεύεται. Το F1 Score μειώνεται στον αλγόριθμο Cooperative δείχνοντας ότι η ισορροπία μεταξύ Precision και Recall δεν είναι ιδανική. Το Informedness μειώνεται στο αλγόριθμο Cooperative υποδηλώνοντας ότι οι αποφάσεις είναι λιγότερο αξιόπιστες σε σύγκριση με τα άλλα σενάρια.

Markedness, MCC, and Cohen's Kappa:

Σενάριο 1 (Threshold - Behavioral):

Στο Σενάριο 1 το Markedness είναι περίπου στο 0.948 για V1 και 0.757 για V2. Το MCC είναι 0.880 για V1 και 0.790 για V2. Το Cohen's Kappa είναι περίπου στο 0.779 για V1 και 0.578 για V2. Το Markedness είναι υψηλό δείχνοντας μια μεγάλη πιθανότητα ότι οι ανιχνεύσεις του συστήματος μας είναι σωστές. Οι τιμές του MCC μας δείχνουν ότι οι ταξινομήσεις είναι ακριβείς. Το Cohen's Kappa είναι σχετικά υψηλό.

Σενάριο 2 (Threshold - Cooperative):

Στο Σενάριο 2 το Markedness είναι περίπου στο 0.948 για V1 και 0.290 για V2. Το MCC είναι 0.879 για V1 και 0.423 για V2. Το Cohen's Kappa είναι περίπου στο 0.779 για V1 και 0.489 για V2. Το Markedness μειώνεται με την προσθήκη του Cooperative αλγορίθμου. Αντίστοιχα οι τιμές του MCC μειώνονται δείχνοντας ότι η ταξινόμηση είναι λιγότερο ακριβής. Το Cohen's Kappa είναι χαμηλότερο.

Σενάριο 3 (Cooperative - Behavioral):

Στο Σενάριο 3 το Markedness είναι περίπου στο 0.283 για V1 και 0.758 για V2. Το MCC είναι 0.417 για V1 και 0.788 για V2. Το Cohen's Kappa είναι περίπου στο 0.502 για V1 και 0.578 για V2. Το Markedness μειώνεται με την προσθήκη του Cooperative αλγορίθμου κάνοντας το σύστημα λιγότερο αξιόπιστο. Αντίστοιχα οι τιμές του MCC μειώνονται δείχνοντας ότι η ταξινόμηση είναι λιγότερο ακριβής και ότι ο συνδυασμός αυτός Cooperative-Behavioral δεν είναι τόσο αποτελεσματικός. Το Cohen's Kappa είναι χαμηλότερο πιθανότατα λόγω των αυξημένων false positives.

Συμπεράσματα:

Threshold - Behavioral (Σενάριο 1): Αυτός ο συνδυασμός φαίνεται να προσφέρει την καλύτερη ισορροπία μεταξύ ανίχνευσης μη επιθυμητής συμπεριφοράς και περιορισμού των ψευδών συναγερμών. Παρουσιάζει τα υψηλότερα ποσοστά Precision, Ακρίβειας και F1 Score, κάτι που δείχνει μια συνολικά ισχυρή απόδοση.

Threshold - Cooperative (Σενάριο 2): Παρόλο που αυτή η προσέγγιση αυξάνει τις ανιχνεύσεις των true positive, αυτό επιτυγχάνεται με τίμημα την αύξηση των false positives, οδηγώντας σε χαμηλότερη ακρίβεια και συνολική απόδοση.

Cooperative - Behavioral (Σενάριο 3): Ο συγκεκριμένος συνδυασμός είναι ο πιο επιθετικός στην ανίχνευση μη επιθυμητής συμπεριφοράς, με αποτέλεσμα περισσότερα false positives, γεγονός που μειώνει δραστικά την ακρίβεια και την αξιοπιστία του συστήματος.

Η επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της εφαρμογής. Εάν είναι απαραίτητο να μειωθούν οι ψευδείς συναγερμοί, ο συνδυασμός Threshold- Behavioral είναι ο προτιμότερος. Από την άλλη, αν η προτεραιότητα είναι η ανίχνευση όσο το δυνατόν περισσότερων μη επιθυμητών συμπεριφορών, παρά τον κίνδυνο περισσότερων ψευδών ανιχνεύσεων, η προσέγγιση Cooperative - Behavioral μπορεί να θεωρηθεί πιο κατάλληλη.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα

Η εργασία ανέδειξε τη σημασία των Έξυπνων Συστημάτων Μεταφορών (ITS) και της Συνδεδεμένης και Συνεργατικής Αυτοματοποιημένης Κινητικότητας (CCAM) ως λύσεις για τη βελτίωση της ασφάλειας και της αποδοτικότητας στους σύγχρονους αυτοκινητόδρομους. Με την προοδευτική εξέλιξη των επικοινωνιακών τεχνολογιών, όπως η V2X (Vehicle-to-Everything), αποδεικνύεται ότι η συνεργασία μεταξύ των οχημάτων και των υποδομών μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο ατυχημάτων και να αυξήσει την αποτελεσματικότητα του δικτύου μεταφορών. Τα ITS επιτρέπουν στα οχήματα και τις υποδομές να επικοινωνούν, παρέχοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και βελτιώνοντας τη λήψη αποφάσεων στον δρόμο. Τα συμπεράσματα τονίζουν τον ρόλο των ITS στην οικοδόμηση ασφαλέστερων, πιο έξυπνων πόλεων και στη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και των ατυχημάτων.

Παρουσιάστηκαν οι βασικές πτυχές των επικοινωνιών στα δίκτυα οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των επικοινωνιών Οχήματος-Προς-Όχημα (V2V) και Οχήματος-Προς-Υποδομή (V2I). Αναλύεται η αρχιτεκτονική των Δικτύων Οχημάτων Ad-hoc (VANETs) και ο κρίσιμος ρόλος τους στη συνδεδεμένη και αυτοματοποιημένη κινητικότητα. Η υποδομή επικοινωνίας επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, διευκολύνοντας την έγκαιρη και ακριβή λήψη αποφάσεων στη διαχείριση της κυκλοφορίας. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η συνεχής ανάπτυξη των τεχνολογιών επικοινωνίας είναι απαραίτητη για τη βελτίωση της αυτοματοποίησης και της ασφάλειας των μελλοντικών συστημάτων μεταφορών.

Το τρίτο κεφάλαιο παρείχε μια λεπτομερή ανάλυση του εργαλείου προσομοίωσης Veins, το οποίο ενσωματώνει τα OMNeT++ και SUMO για προσομοιώσεις δικτύων οχημάτων. Το Veins επιτρέπει στους ερευνητές να μοντελοποιούν διάφορα σενάρια κυκλοφορίας και να αξιολογούν την απόδοση των πρωτοκόλλων επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο. Τα συμπεράσματα αυτού του κεφαλαίου υπογραμμίζουν τη σημασία των εργαλείων αυτών για τη δοκιμή και επικύρωση νέων πλαισίων επικοινωνίας πριν από την εφαρμογή τους στον πραγματικό κόσμο. Μέσω ακριβών προσομοιώσεων, το Veins συμβάλλει στη βελτίωση των συνδεδεμένων και αυτόνομων οχημάτων, επιτρέποντας ασφαλείς και ελεγχόμενες δοκιμές.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρθηκε στην έννοια του platooning, όπου μια ομάδα οχημάτων ταξιδεύει σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, διατηρώντας έναν συγχρονισμένο και ασφαλή ρυθμό μέσω τεχνολογιών αυτοματοποίησης. Αναλύθηκαν τα διαφορετικά επίπεδα του platooning, με ιδιαίτερη έμφαση στο Επίπεδο A, που επιτρέπει τον μέγιστο συντονισμό μεταξύ των οχημάτων. Τα συμπεράσματα αυτού του κεφαλαίου τονίζουν το δυναμικό του platooning να βελτιώσει την αποδοτικότητα των καυσίμων, να μειώσει την κυκλοφοριακή συμφόρηση και να ενισχύσει την οδική ασφάλεια. Με την ελαχιστοποίηση της ανθρώπινης παρέμβασης και τη βελτιστοποίηση των κινήσεων των οχημάτων, τα συστήματα platooning αποτελούν σημαντική πρόοδο στις λύσεις αυτοματοποιημένων μεταφορών.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάπτυξη και εφαρμογή του πλαισίου F2MD για την ανίχνευση κακόβουλης συμπεριφοράς στα δίκτυα οχημάτων.

Κατά τη διάρκεια της έρευνας, το πλαίσιο προσομοίωσης F2MD αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην ανίχνευση κακόβουλων συμπεριφορών σε συνδεδεμένα συστήματα οχημάτων, τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύστημα διατηρεί υψηλά επίπεδα ακρίβειας ακόμη και υπό συνθήκες αυξημένης μεταβλητότητας και θορύβου. Πιο συγκεκριμένα, στα σενάρια προσομοίωσης, παρατηρήθηκε αύξηση των false positives με την αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης επιτιθέμενων, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχει περιθώριο βελτίωσης στην ακρίβεια του συστήματος. Παράλληλα, τα true positives παρουσίασαν σταθερή αύξηση, αποδεικνύοντας την ανθεκτικότητα του αλγορίθμου.

Ένα από τα σημαντικότερα ευρήματα ήταν η ανθεκτικότητα του συστήματος ακόμα και σε περιπτώσεις ενεργών επιθέσεων, όπως τα Denial of Service (DoS). Παρά τις προκλήσεις που παρουσιάστηκαν, όπως η αβεβαιότητα στις μετρήσεις και η επεξεργασία δεδομένων πραγματικού χρόνου, το σύστημα κατάφερε να διατηρήσει την απόδοσή του. Η εφαρμογή του αλγορίθμου για την προσαρμογή των επιπέδων εμπιστοσύνης στο πλαίσιο ανίχνευσης οδήγησε σε βελτίωση της ευαισθησίας του συστήματος, επιτρέποντας την καλύτερη ανίχνευση των κακόβουλων ενεργειών.

Συνολικά, η παρούσα εργασία παρέχει μια μεθοδολογία για την ανίχνευση κακόβουλων συμπεριφορών σε συνδεδεμένα δίκτυα οχημάτων, προσφέροντας πολύτιμα εργαλεία για τη βελτίωση της ασφάλειας των μεταφορών. Ωστόσο, παραμένουν προκλήσεις όπως η ιδιωτικότητα των δεδομένων και η περαιτέρω βελτίωση της ακρίβειας του συστήματος, ειδικά όσον αφορά τις επιθέσεις σε πραγματικό χρόνο. Καθώς τα οχήματα γίνονται ολοένα και πιο συνδεδεμένα, η ανάγκη για ισχυρούς μηχανισμούς ανίχνευσης κακής συμπεριφοράς θα αυξηθεί.

Βιβλιογραφία

- ACEM - *The Motorcycle in Europe*. (χ.χ.). Ανάκτηση από [https://roadsafetystrategy.acem.eu/:
https://roadsafetystrategy.acem.eu/home/looking-into-the-future-connected-cooperative-and-automated-mobility/](https://roadsafetystrategy.acem.eu/:https://roadsafetystrategy.acem.eu/home/looking-into-the-future-connected-cooperative-and-automated-mobility/)
- Amit Kumar Tyagi, N. S. (2022). *Intelligent Transportation Systems: Theory and Practice*. Singapore: Springer. Ανάκτηση από <https://libgen.is/book/index.php?md5=930E1F7BCB959CC90F9CE3C1903FC085>
- European Commission. (χ.χ.). Ανάκτηση από [https://commission.europa.eu/index_en:
https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/smart-mobility/cooperative-connected-and-automated-mobility-ccam_en](https://commission.europa.eu/index_en:https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/smart-mobility/cooperative-connected-and-automated-mobility-ccam_en)
- John Vissers, J. B. (2018). *V1 Platooning use-cases, scenario definition and Platooning Levels D2.2 of H2020*. ENSEMBLE. Ανάκτηση από www.platooningensemble.eu
- Joseph Kamel, M. R. (2020, June). Simulation Framework for Misbehavior Detection. *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, 69(6). doi:10.1109/TVT.2020.2984878
- Shanzhi Chen, J. H. (2023). *Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X)*. Singapore: Springer. Ανάκτηση από <https://libgen.is/book/index.php?md5=D2195C02753B774C614DAEB3E7468C61>
- Shawal Khan, I. S. (2021). *Security Challenges of Location Privacy in VANETs and State-of-the-Art Solutions: A Survey*. Switzerland: MDPI. Ανάκτηση από <https://www.mdpi.com/1999-5903/13/4/96>
- SUMO Documentation. (χ.χ.). Ανάκτηση από [https://eclipse.dev/sumo/: https://sumo.dlr.de/docs/](https://eclipse.dev/sumo/:https://sumo.dlr.de/docs/)
- Veins Vehicles In Network Simulation. (χ.χ.). Ανάκτηση από [https://veins.car2x.org/:
https://veins.car2x.org/documentation/](https://veins.car2x.org/:https://veins.car2x.org/documentation/)