



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Μελέτη διαστασιοποίησης για υλοποίηση
πρωτοκόλλου 802.11p για οχηματικές επικοινωνίες

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΜΑΤΣΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ
ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΛΑΜΙΑ 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Μελέτη διαστασιοποίησης για υλοποίηση πρωτοκόλλου 802.11p για οχηματικές επικοινωνίες

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΜΑΤΣΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ
ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΛΑΜΙΑ 2024



UNIVERSITY OF
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

Dimensioning study for 802.11p protocol implementation for vehicular communications

ANASTASIOS MATSIS

FINAL THESIS

ADVISOR

DR. THEOFILOS CHRYSIKOS
TEACHER - SCIENTIFIC COLLABORATOR
UNIVERSITY OF THESSALY

LAMIA 2024

«Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις ⁽¹⁾, που προβλέπονται από της διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

1. Δεν παραθέτω κομμάτια βιβλίων ή άρθρων ή εργασιών άλλων αυτολεξεί **χωρίς να τα περικλείω σε εισαγωγικά** και χωρίς να αναφέρω το συγγραφέα, τη χρονολογία, τη σελίδα. Η αυτολεξεί παράθεση χωρίς εισαγωγικά χωρίς αναφορά στην πηγή, είναι λογοκλοπή. Πέραν της αυτολεξεί παράθεσης, λογοκλοπή θεωρείται και η παράφραση εδαφίων από έργα άλλων, συμπεριλαμβανομένων και έργων συμφοιτητών μου, καθώς και η παράθεση στοιχείων που άλλοι συνέλεξαν ή επεξεργάστηκαν, χωρίς αναφορά στην πηγή. Αναφέρω πάντοτε με πληρότητα την πηγή κάτω από τον πίνακα ή σχέδιο, όπως στα παραθέματα.
2. Δέχομαι ότι η αυτολεξεί **παράθεση χωρίς εισαγωγικά**, ακόμα κι αν συνοδεύεται από αναφορά στην πηγή σε κάποιο άλλο σημείο του κειμένου ή στο τέλος του, είναι αντιγραφή. Η αναφορά στην πηγή στο τέλος π.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσίασή τους ως δική μου εργασία.
3. Δέχομαι ότι υπάρχει επίσης περιορισμός στο μέγεθος και στη συχνότητα των παραθεμάτων που μπορώ να εντάξω στην εργασία μου εντός εισαγωγικών. Κάθε μεγάλο παράθεμα (π.χ. σε πίνακα ή πλαίσιο, κλπ), προϋποθέτει ειδικές ρυθμίσεις, και όταν δημοσιεύεται προϋποθέτει την άδεια του συγγραφέα ή του εκδότη. Το ίδιο και οι πίνακες και τα σχέδια
4. Δέχομαι όλες τις συνέπειες σε περίπτωση λογοκλοπής ή αντιγραφής.

Ημερομηνία: 28 / 5 / 2024

(1) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα συστήματα επικοινωνίας οχημάτων αναφέρονται σε δίκτυα υπολογιστών στα οποία τα οχήματα και οι οδικές μονάδες χρησιμεύουν ως επικοινωνούσες οντότητες. Τα συστήματα αυτά διευκολύνουν την ανταλλαγή κρίσιμων πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένων ειδοποιήσεων ασφαλείας και κυκλοφοριακών ενημερώσεων, μεταξύ αυτών των κόμβων. Πρωταρχικός στόχος τους είναι η ενίσχυση της οδικής ασφάλειας και η μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο τα οχήματα όσο και οι οδικές μονάδες είναι εξοπλισμένα με συσκευές ειδικών επικοινωνιών μικρής εμβέλειας (DSRC). Το DSRC λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 5,9 GHz, προσφέροντας εύρος ζώνης 75 MHz και αποτελεσματική εμβέλεια περίπου 300 μέτρων (980 πόδια). Οι επικοινωνίες οχημάτων αποτελούν συνήθως αναπόσπαστο στοιχείο των ευφυών συστημάτων μεταφορών (ITS).

ABSTRACT

Vehicle communication systems refer to computer networks in which vehicles and road units serve as communicating entities. These systems facilitate the exchange of critical information, including safety alerts and traffic updates, between these nodes. Their primary objective is to enhance road safety and reduce congestion. It is worth noting that both vehicles and road units are equipped with short-range dedicated short-range communication (DSRC) devices. The DSRC operates in the 5.9 GHz frequency band, offering a bandwidth of 75 MHz and an effective range of approximately 300 meters (980 feet). Vehicle communications are typically an integral component of Intelligent Transport Systems (ITS).

Table of Contents

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ABSTRACT	II
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	1
1.2 ΕΥΦΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ (ITS)	5
1.3 VEHICLE TO EVERYTHING (V2X)	10
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	14
2.1 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ 802.11P	14
2.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ DSRC	16
2.3 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	21
2.4 ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΟΔΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	22
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΠΟΙΗΣΗ ROAD SIDE UNITS ΓΙΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ 802.11P	25
3.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ROAD SIDE UNITS	25
3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ROAD SIDE UNITS	27
3.3 ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ROAD SIDE UNITS	29
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	32
4.1 ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΜΑΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΦΥΣΙΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΠΟΙΗΣΗ RSU	32
4.2 ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΠΟΙΗΣΗ RSU	35
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	40
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή

1.1 Βασικές έννοιες και ιστορική αναδρομή

Τα συστήματα επικοινωνίας οχημάτων έχουν τις ρίζες τους στην ανάπτυξη των ευφυών συστημάτων μεταφορών (ITS). Η έννοια των ITS προέκυψε ως απάντηση στις αυξανόμενες προκλήσεις που δημιουργεί η συμφόρηση της οδικής κυκλοφορίας και η ανάγκη για βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Η ιστορία των συστημάτων επικοινωνίας οχημάτων μπορεί να αναχθεί στα ακόλουθα βασικά ορόσημα [1]-[10]:

- Πρώιμη έρευνα και ανάπτυξη (δεκαετία του 1970 - δεκαετία του 1990): Οι βάσεις για την επικοινωνία οχημάτων ξεκίνησαν με την έρευνα σε προηγμένες τεχνολογίες διαχείρισης της κυκλοφορίας και μεταφορών.
- Τυποποίηση DSRC (δεκαετία του 1990): Στη δεκαετία του 1990, η τεχνολογία DSRC τυποποιήθηκε, καθορίζοντας πρωτόκολλα για ασύρματη επικοινωνία μικρής εμβέλειας μεταξύ οχημάτων και υποδομών.
- Πρωτοποριακά έργα (δεκαετία του 2000): Στις αρχές της δεκαετίας του 2000 υλοποιήθηκαν πρωτοποριακά έργα και πιλοτικά προγράμματα που κατέδειξαν τις δυνατότητες της επικοινωνίας οχημάτων. Τα έργα αυτά παρουσίασαν τη δυνατότητα ανταλλαγής προειδοποιήσεων ασφαλείας και πληροφοριών κυκλοφορίας μεταξύ οχημάτων και οδικών υποδομών.
- Εξελίξεις στην τεχνολογία (δεκαετία 2000 - σήμερα): Οι πρόοδοι στην τεχνολογία ασύρματων επικοινωνιών, συμπεριλαμβανομένων των βελτιώσεων στα συστήματα επικοινωνίας DSRC και στα συστήματα επικοινωνίας με βάση την κυψέλη, τροφοδότησαν περαιτέρω την εξέλιξη των συστημάτων επικοινωνίας οχημάτων.
- Εμπορική ανάπτυξη (δεκαετία 2010 - σήμερα): Τα τελευταία χρόνια, τα συστήματα επικοινωνίας οχημάτων έχουν περάσει από τα ερευνητικά και πιλοτικά έργα στην εμπορική ανάπτυξη. Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων έχουν αρχίσει να ενσωματώνουν τεχνολογίες συνδεδεμένων οχημάτων στα οχήματά τους, επιτρέποντας χαρακτηριστικά όπως η επικοινωνία οχήματος με όχημα (V2V) και οχήματος με υποδομή (V2I).

Συνοπτικά, τα συστήματα επικοινωνίας οχημάτων προέκυψαν ως απάντηση στην ανάγκη για βελτίωση της οδικής ασφάλειας και της διαχείρισης της κυκλοφορίας. Εξελίχθηκαν κατά τη διάρκεια πολλών δεκαετιών, λόγω της τεχνολογικής προόδου, των προσπαθειών τυποποίησης και της κυβερνητικής υποστήριξης, και αποτελούν πλέον αναπόσπαστο μέρος των σύγχρονων συστημάτων μεταφορών [1].

Τα συστήματα επικοινωνίας οχημάτων προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα πλεονεκτημάτων ασφάλειας που συμβάλλουν στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας και στη μείωση των ατυχημάτων. Ορισμένα από τα βασικά πλεονεκτήματα ασφάλειας αυτών των συστημάτων περιλαμβάνουν[3]-[6]:

- Αποφυγή σύγκρουσης
- Προειδοποιήσεις οχημάτων έκτακτης ανάγκης
- Ασφάλεια διασταυρώσεων
- Επικίνδυνες Οδικές Συνθήκες
- Μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης
- Ασφάλεια πεζών
- Βοήθεια αλλαγής λωρίδας και συγχώνευσης
- Βοήθεια οδηγού και αυτοματισμοί
- Μείωση της απόσπασης της προσοχής
- Ενισχυμένη ασφάλεια οδικών υποδομών

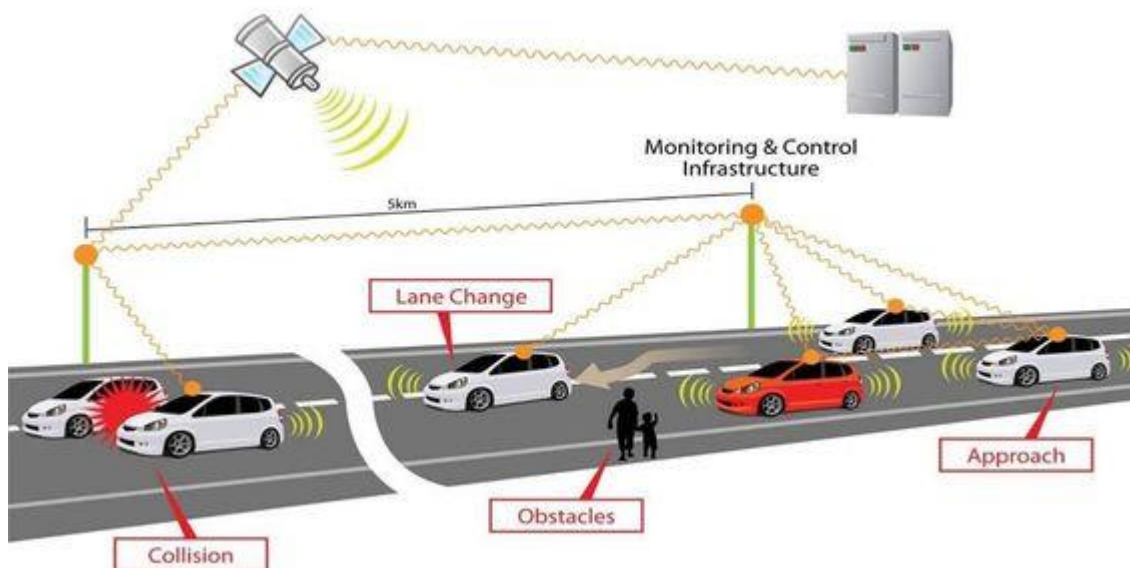
Συνοψίζοντας, τα συστήματα επικοινωνίας οχημάτων διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση της οδικής ασφάλειας διευκολύνοντας την επικοινωνία και τη συνεργασία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ οχημάτων και υποδομών. Τα συστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν σημαντικά τα ατυχήματα, τους τραυματισμούς και τους θανάτους στους δρόμους, καθιστώντας τις μεταφορές ασφαλέστερες για όλους [7].

Η επικοινωνία οχήματος με όχημα (V2V) επιτρέπει στα οχήματα να ανταλλάσσουν ασύρματα πληροφορίες σχετικά με την ταχύτητα, τη θέση και την πορεία τους. Η τεχνολογία πίσω από την επικοινωνία V2V επιτρέπει στα οχήματα να εκπέμπουν και να λαμβάνουν πανκατευθυντικά μηνύματα (έως και 10 φορές ανά δευτερόλεπτο), δημιουργώντας μια "επίγνωση" 360 μοιρών για άλλα οχήματα που βρίσκονται κοντά. Τα οχήματα που είναι εξοπλισμένα με κατάλληλο λογισμικό (ή εφαρμογές ασφαλείας) μπορούν να χρησιμοποιούν τα μηνύματα από τα γύρω οχήματα για να προσδιορίζουν τις πιθανές απειλές σύγκρουσης καθώς αυτές αναπτύσσονται. Η τεχνολογία μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιήσει οπτικές, ακουστικές και ηχητικές προειδοποιήσεις -ή συνδυασμό αυτών των προειδοποιήσεων- για να προειδοποιήσει τους οδηγούς. Αυτές οι ειδοποιήσεις δίνουν στους οδηγούς τη δυνατότητα να αναλάβουν δράση για την αποφυγή ατυχημάτων [8].

Αυτά τα μηνύματα επικοινωνίας V2V έχουν εμβέλεια άνω των 300 μέτρων και μπορούν να ανιχνεύσουν κινδύνους που αποκρύπτονται από την κυκλοφορία, το έδαφος ή τις καιρικές συνθήκες. Η επικοινωνία V2V επεκτείνει και βελτιώνει τα διαθέσιμα σήμερα συστήματα αποφυγής συγκρούσεων που χρησιμοποιούν ραντάρ και κάμερες για τον εντοπισμό απειλών σύγκρουσης. Αυτή η νέα τεχνολογία δεν βοηθάει απλώς τους οδηγούς να επιβιώσουν από μια σύγκρουση - τους βοηθάει να αποφύγουν τη σύγκρουση εντελώς [9].

Τα οχήματα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία επικοινωνίας V2V κυμαίνονται από αυτοκίνητα και φορτηγά έως λεωφορεία και μοτοσυκλέτες. Ακόμα και τα ποδήλατα και οι πεζοί μπορεί μια μέρα να αξιοποιήσουν την τεχνολογία επικοινωνίας V2V για να βελτιώσουν την ορατότητά τους από τους οδηγούς. Επιπλέον, οι πληροφορίες οχήματος που επικοινωνούνται δεν ταυτοποιούν τον οδηγό ή το όχημα και υπάρχουν τεχνικοί έλεγχοι για την αποτροπή της παρακολούθησης του οχήματος και της παραποίησης του συστήματος [10].

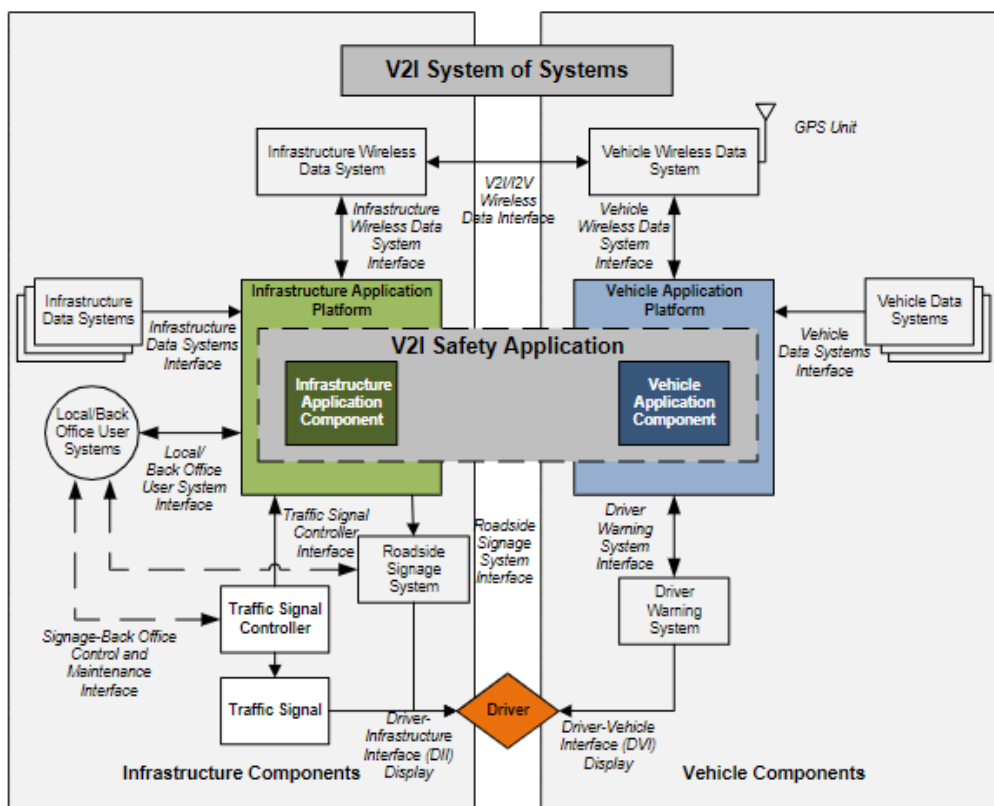
Η τεχνολογία επικοινωνίας V2V μπορεί να αυξήσει τις επιδόσεις των συστημάτων ασφαλείας των οχημάτων και να συμβάλει στη διάσωση ζωών. Εκτιμάται ότι το 2019 σημειώθηκαν 6,8 εκατομμύρια ατυχήματα που αναφέρθηκαν από την αστυνομία, με αποτέλεσμα 36.096 θανάτους και περίπου 2,7 εκατομμύρια τραυματίες. Οι τεχνολογίες διασυνδεδεμένων οχημάτων θα παρέχουν στους οδηγούς τα εργαλεία που χρειάζονται για να προβλέπουν πιθανά ατυχήματα και να μειώνουν σημαντικά τον αριθμό των ζωών που χάνονται κάθε χρόνο.



Εικόνα 1: Πως θα μπορούσε να λειτουργήσει το σύστημα V2V [11]

Η τεχνολογία οχήματος προς υποδομή (V2I) είναι ένα πλαίσιο επικοινωνίας που επιτρέπει σε διάφορα οχήματα να μοιράζονται πληροφορίες με διάφορες συσκευές που υποστηρίζουν το σύστημα αυτοκινητοδρόμων μιας συγκεκριμένης χώρας. Οι συσκευές αυτές αποτελούνται μεταξύ άλλων από αναγνώστες RFID, πινακίδες σήμανσης, κάμερες, διαμορφωτές λωρίδων κυκλοφορίας, φωτεινούς σηματοδότες και μετρητές στάθμευσης. Η τεχνολογία V2I, η οποία ενεργοποιείται από ένα δίκτυο υλικού, λογισμικού και υλικολογισμικού, είναι συνήθως ασύρματη και αμφίδρομη: οι πληροφορίες από τις συσκευές υποδομής μεταδίδονται εύκολα στο όχημα μέσω ενός ad-hoc δικτύου και αντίστροφα. Ομοίως με την τεχνολογία οχήματος προς όχημα (V2V), η V2I χρησιμοποιεί συχνότητες αποκλειστικής επικοινωνίας μικρής εμβέλειας (DSRC) για τη μετάδοση δεδομένων.

Οι αισθητήρες V2I χρησιμοποιούνται στα ευφυή συστήματα μεταφορών (ITS) για τη συλλογή δεδομένων και την παροχή συμβουλών στους χρήστες του δρόμου σε πραγματικό χρόνο σχετικά με διάφορα περιστατικά στο δρόμο: κυκλοφοριακή συμφόρηση, εργοτάξια, κατάσταση του δρόμου, ζώνες στάθμευσης κ.ά. Η τεχνολογία χρησιμοποιείται σε συστήματα εποπτείας της διαχείρισης της κυκλοφορίας για τον καθορισμό ορίων ταχύτητας και την τροποποίηση της φάσης και του χρονισμού των σημάτων (SPaT) για τη βελτίωση της οικονομίας καυσίμων καθώς και της ροής της κυκλοφορίας.



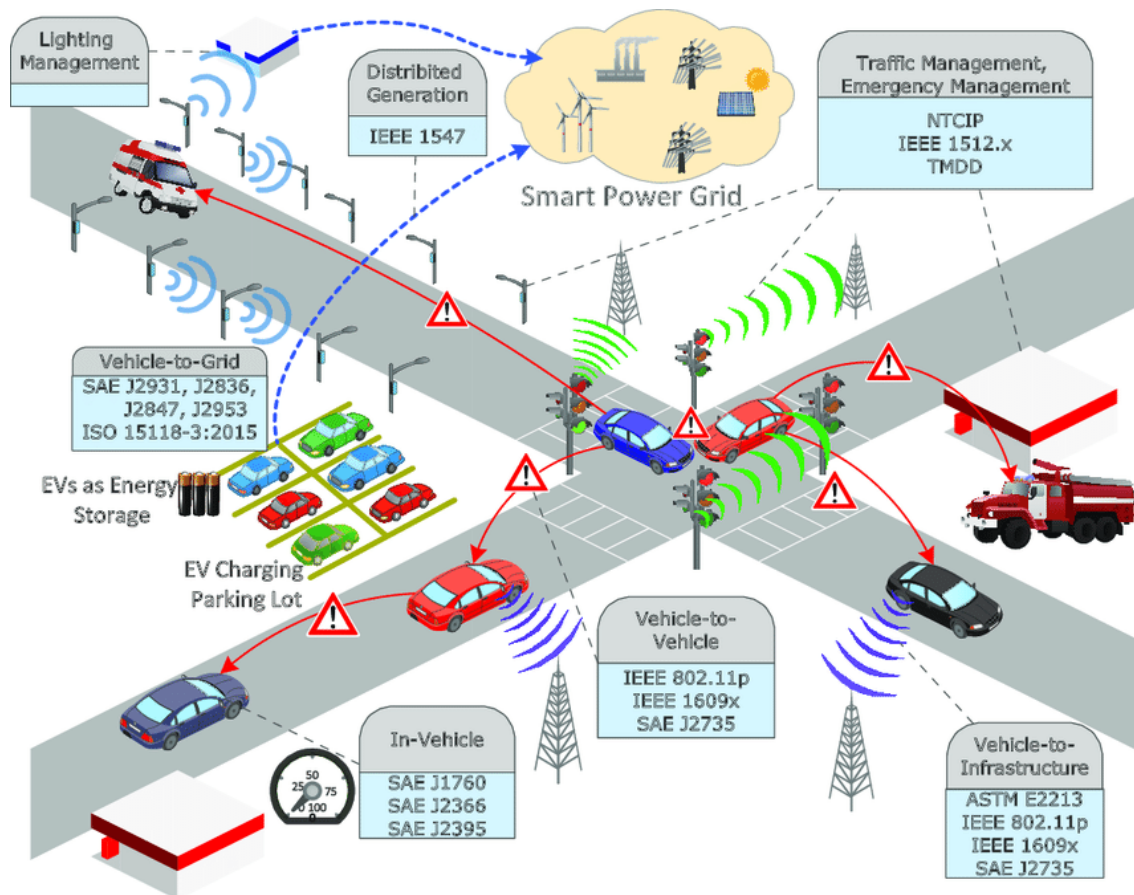
Εικόνα 2: Λειτουργική αρχιτεκτονική για εφαρμογές ασφάλειας V2I συνδεδεμένων οχημάτων [12]

Η λειτουργική αρχιτεκτονική του συστήματος V2I βασίζεται σε ορισμένες απαντήσεις επιδόσεων. Υπάρχουν πολλά στοιχεία στα οποία βασίζεται το σύστημα V2I. Υπάρχουν δύο κύρια στοιχεία: ένα στοιχείο εφαρμογής υποδομής το οποίο στεγάζεται στην πλατφόρμα εφαρμογής υποδομής και ένα στοιχείο εφαρμογής οχήματος το οποίο στεγάζεται στην πλατφόρμα εφαρμογής οχήματος. Αυτά τα στοιχεία ενσωματώνουν και επεξεργάζονται τα δεδομένα τόσο της υποδομής όσο και του οχήματος για να παραδώσουν ένα συντονισμένο μήνυμα στους οδηγούς. Τα δεδομένα διαμοιράζονται μέσω ασύρματης διεπαφής δεδομένων.

1.2 Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (ITS)

Ένα ευφυές σύστημα μεταφορών (ITS) είναι μια τεχνολογία, εφαρμογή ή πλατφόρμα που βελτιώνει την ποιότητα των μεταφορών ή επιτυγχάνει άλλα αποτελέσματα με βάση εφαρμογές που παρακολουθούν, διαχειρίζονται ή βελτιώνουν τα συστήματα μεταφορών [13].

Τα ευφυή συστήματα μεταφορών μπορούν να δημιουργηθούν με πολλούς τρόπους. Ορισμένα διαθέτουν τηλεματική και σχέδια με κάμερες που καταγράφουν ποικίλες πληροφορίες σε θεμελιώδη συστήματα που μπορούν να τις χρησιμοποιήσουν για τη διαχείριση της κυκλοφορίας ή των στόλων δημόσιων μεταφορών. Ορισμένα χρησιμοποιούν τεχνολογίες ασύρματων και ραδιοκυμάτων RFID για τη διεξαγωγή σημάτων σε γεωγραφικές περιοχές. Αυτά τα συστήματα μπορούν επίσης να έχουν πολλούς διαφορετικούς στόχους - ορισμένα θα εξετάσουν πώς να κατευθύνουν τον όγκο της κυκλοφορίας. Άλλα μπορεί να εξετάζουν τον τρόπο βελτίωσης της επιβολής των κανόνων οδικής κυκλοφορίας. Άλλα μπορεί να εξετάζουν πώς να μειώσουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, να βελτιώσουν την αποδοτικότητα μεμονωμένων οχημάτων ή στόλων ή να επιτύχουν διάφορα κυκλοφοριακά αποτελέσματα που βελτιώνουν την ποιότητα ζωής για τους κατοίκους, τους πεζούς, τους ποδηλάτες ή άλλους. Ορισμένες πτυχές ενός ευφυούς συστήματος μεταφορών μπορούν να εφαρμοστούν σε εμπορικούς στόχους, όπως η ταχύτερη ναυτιλία, η αποδοτικότερη λειτουργία του στόλου και οι ασφαλέστερες θέσεις εργασίας στις βιομηχανίες μεταφορών [14]-[16].



Εικόνα 3: Ευφυή συστήματα μεταφορών και το έξυπνο δίκτυο σε μια έξυπνη πόλη [13]

Υπάρχει ένα φάσμα τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών που επιτρέπει την ανάπτυξη των ITS. Για παράδειγμα, οπτικές ίνες, CD-ROM, ηλεκτρομαγνητικές πυξίδες, GPS, αισθητήρες λέιζερ, ψηφιακές βάσεις δεδομένων χαρτών και τεχνολογίες απεικόνισης. Οι τεχνολογίες που επιτρέπουν τη χρήση τους μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες που περιλαμβάνουν [17]-[20]:

Λήψη δεδομένων

Είναι δυνατή η παρακολούθηση της κυκλοφορίας με διάφορα μέσα, όπως ανιχνευτές επαγωγικού βρόχου, αισθητήρες κυκλοφορίας. Παραδείγματα αισθητήρων κυκλοφορίας είναι οι υπέρηχοι και το ραντάρ, ο ανιχνευτής εικόνας βίντεο (VID) και οι οπτικές εικόνες από κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης (CCTV), οι οποίες παρέχουν ζωντανές εικόνες που βοηθούν τον χειριστή του κέντρου κυκλοφορίας να παρακολουθεί περίπλοκες καταστάσεις κυκλοφορίας και να λαμβάνει τις κατάλληλες αποφάσεις.

Επεξεργασία δεδομένων

Οι πληροφορίες που συλλέγονται στο κέντρο διαχείρισης δεδομένων πρέπει να υποβάλλονται σε επεξεργασία, να επαληθεύονται και να ενοποιούνται σε μορφή χρήσιμη για τους φορείς εκμετάλλευσης. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση της

διαδικασίας συγχώνευσης δεδομένων. Για την επεξεργασία δεδομένων μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί η αυτόματη ανίχνευση συμβάντων (AID). Το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην πλευρά του οχήματος για την επεξεργασία δεδομένων.



Εικόνα 4: Αυτόματη ανίχνευση περιστατικών (AID) πεζών στον αυτοκινητόδρομο (πηγή: *The constructor, building ideas*) [21]

Επικοινωνίες δεδομένων

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τρόποι για τη μετάδοση μηνυμάτων, για παράδειγμα ενσύρματα ή ασύρματα, οπτικές ίνες, ηλεκτρονική είσπραξη διοδίων (ETC), λειτουργίες εμπορικών οχημάτων (CYO), διαχείριση στάθμευσης, προτίμηση σήματος, σήμανση εντός του οχήματος, πληροφόρηση ταξιδιωτών εντός του οχήματος και συστήματα καθοδήγησης διαδρομής με ραδιοφάρο. Ορισμένες από αυτές τις τεχνολογίες επικοινωνίας δεδομένων χρησιμοποιούνται από το κέντρο διαχείρισης δεδομένων, ενώ άλλες χρησιμοποιούνται από την πλευρά του οχήματος.

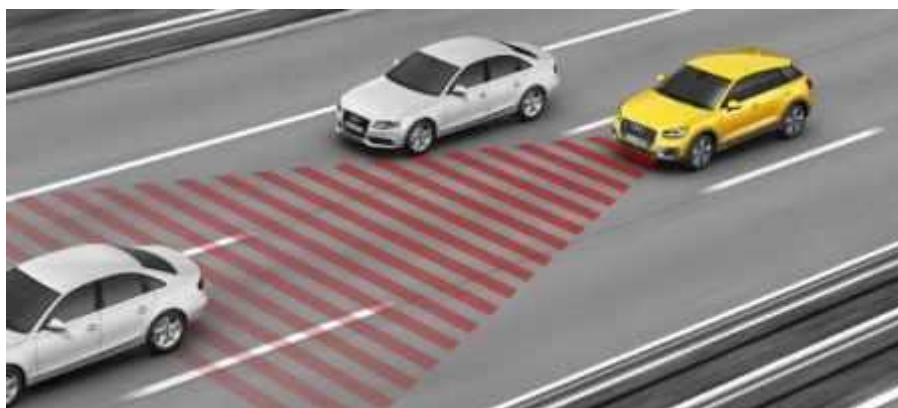
Διανομή δεδομένων

Η κυκλοφορία και άλλες σχετικές πληροφορίες μπορούν να διανεμηθούν με διάφορους τρόπους προκειμένου να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα των μεταφορών, η ασφάλεια και η ποιότητα του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, τηλέφωνα, ραδιόφωνο, τηλεόραση, επιτραπέζιοι υπολογιστές, φαξ και πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων (VMS), ραδιόφωνα αυτοκινήτων, κινητά τηλέφωνα, φορητοί υπολογιστές και φορητές ψηφιακές συσκευές.

Χρήση πληροφοριών

Πρόκειται για τη μέτρηση της ράμπας για τον έλεγχο της ροής των οχημάτων που εισέρχονται σε έναν αυτοκινητόδρομο ταχείας κυκλοφορίας, ενώ ο συντονισμός του

ελέγχου της κυκλοφορίας σε μεγάλες αστικές περιοχές πραγματοποιείται στο κέντρο διαχείρισης της κυκλοφορίας. Εκτός από τη δυναμική καθοδήγηση διαδρομής που επιτρέπει στον χρήστη να λαμβάνει στρατηγικές αποφάσεις σε λεπτό προς λεπτό, και τον προσαρμοζόμενο έλεγχο ταχύτητας που επιτρέπει στον οδηγό να μειώνει αυτόματα την ταχύτητα του οχήματος προκειμένου να διατηρεί μια ασφαλή απόσταση από το προπορευόμενο όχημα.



Εικόνα 5: Προσαρμοστικός έλεγχος ταχύτητας (πηγή: The constructor, building ideas) [21]

Οι υπηρεσίες ευφυών μεταφορών παρέχονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1 Υπηρεσίες ευφυών μεταφορών

Τίτλος	Υπηρεσίες
Πληροφορίες ταξιδιωτών	Πληροφορίες πριν από το ταξίδι, πληροφορίες για τον οδηγό κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, πληροφορίες για τις δημόσιες συγκοινωνίες κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, υπηρεσίες προσωπικής πληροφόρησης και καθοδήγηση και πλοήγηση στη διαδρομή.
Διαχείριση της κυκλοφορίας	Υποστήριξη σχεδιασμού μεταφορών, έλεγχος κυκλοφορίας, διαχείριση συμβάντων, διαχείριση ζήτησης, κυκλοφοριακές ρυθμίσεις, διαχείριση συντήρησης υποδομών.
Συστήματα οχημάτων	Βελτίωση όρασης, αυτοματοποιημένη λειτουργία οχήματος, αποφυγή διαμήκους σύγκρουσης, αποφυγή πλευρικής

	σύγκρουσης, ετοιμότητα ασφάλειας, ανάπτυξη συστημάτων συγκράτησης πριν από τη σύγκρουση.
Εμπορικά οχήματα	Προ-εκκαθάριση εμπορικών οχημάτων, διοικητικές διαδικασίες οχημάτων, αυτοματοποιημένη επιθεώρηση οδικής ασφάλειας, παρακολούθηση ασφάλειας εμπορικών οχημάτων επί του οχήματος, διαχείριση στόλου εμπορικών οχημάτων.
Δημόσιες μεταφορές	Διαχείριση των δημόσιων μεταφορών, διαχείριση των μεταφορών που ανταποκρίνονται στη ζήτηση, διαχείριση των κοινών μεταφορών.
Διαχείριση έκτακτης ανάγκης	Ειδοποίηση έκτακτης ανάγκης και προσωπική ασφάλεια, διαχείριση οχημάτων έκτακτης ανάγκης, επικίνδυνα υλικά και ειδοποίηση συμβάντων
Ασφάλεια ηλεκτρονικών πληρωμών (EP)	Ηλεκτρονικές οικονομικές συναλλαγές, ασφάλεια των δημόσιων μετακινήσεων, βελτίωση της ασφάλειας των ευάλωτων χρηστών του οδικού δικτύου, έξυπνες διασταυρώσεις.

Το Δίκτυο των Εθνικών Ενώσεων ITS περιλαμβάνει εθνικούς ενδιαφερόμενους φορείς ITS και παρουσιάστηκε επίσημα στις 7 Οκτωβρίου 2004 στο Λονδίνο. Η γραμματεία αυτού του δικτύου βρίσκεται στο πλαίσιο του ERTICO - ITS Europe.

Το ERTICO - ITS Europe είναι μια συνεργατική σύμπραξη στην οποία συμμετέχουν τόσο δημόσιοι όσο και ιδιωτικοί φορείς. Αποστολή του είναι να προωθήσει την ανάπτυξη και την υιοθέτηση των ευφών συστημάτων μεταφορών (ITS). Το ERTICO συνδέει δημόσιες αρχές, συμμετέχοντες του κλάδου, φορείς εκμετάλλευσης υποδομών, χρήστες, εθνικές ενώσεις ITS και διάφορους οργανισμούς. Το πρόγραμμα εργασίας τους δίνει κυρίως έμφαση σε πρωτοβουλίες που αποσκοπούν στην ενίσχυση της ασφάλειας των μεταφορών, της ασφάλειας και

της αποδοτικότητας του δικτύου, ενώ παράλληλα εξετάζουν μέτρα για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, κάθε πολιτεία έχει ένα τμήμα ITS που διοργανώνει ένα ετήσιο συνέδριο για την προώθηση και την προβολή των τεχνολογιών και των ιδεών ITS. Στο συνέδριο αυτό συμμετέχουν εκπρόσωποι από κάθε Υπουργείο Μεταφορών (πολιτεία, πόλεις, κωμοπόλεις και κομητείες) εντός της πολιτείας.

1.3 Vehicle to everything (V2X)

Ένα ευφυές σύστημα μεταφορών (ITS) είναι μια τεχνολογία, εφαρμογή ή πλατφόρμα που βελτιώνει την ποιότητα των μεταφορών ή επιτυγχάνει άλλα αποτελέσματα με βάση εφαρμογές που παρακολουθούν, διαχειρίζονται ή βελτιώνουν τα συστήματα μεταφορών [22].

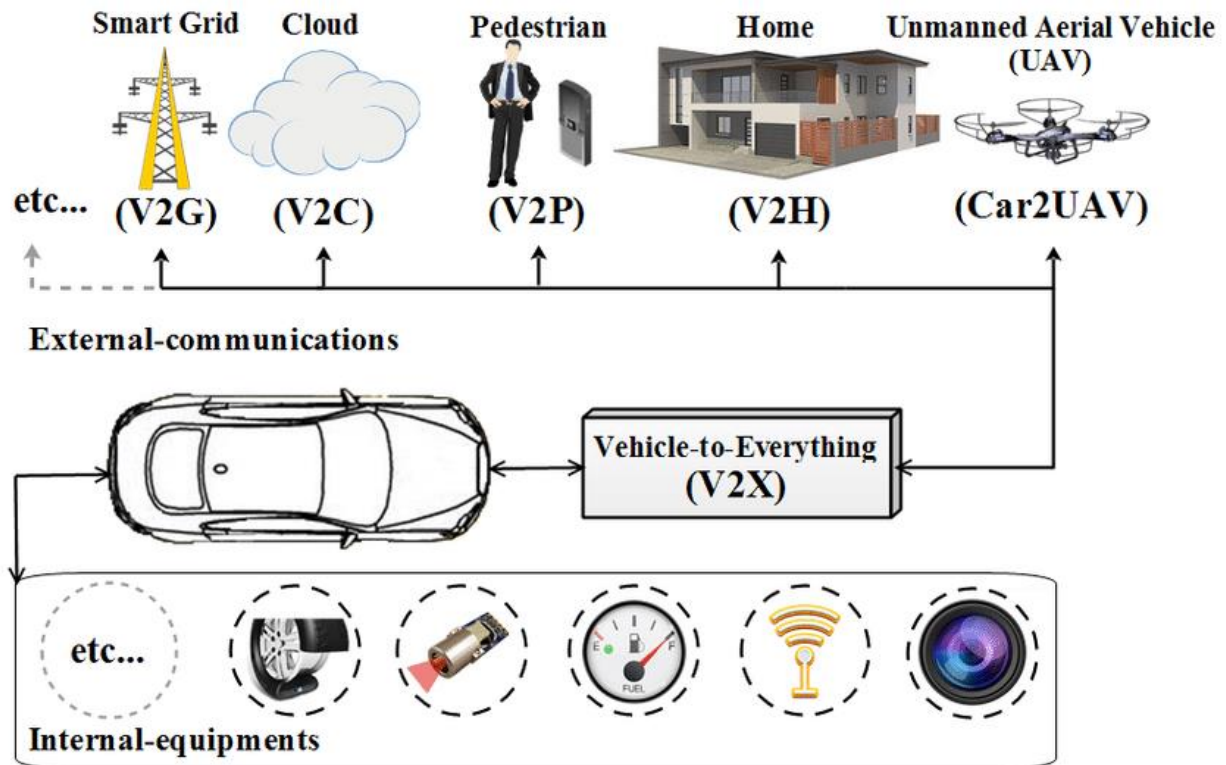
Η τεχνολογία Vehicle-to-everything αποτελείται από αισθητήρες, κάμερες και ασύρματη συνδεσιμότητα - όπως WiFi, ραδιοσυχνότητες και τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας LTE και 5G - που θα επιτρέψει στα αυτοκίνητα να μοιράζονται πληροφορίες μεταξύ τους, με τους οδηγούς τους και με το περιβάλλον τους [23].

Επί του παρόντος, η τεχνολογία V2X είναι πολύ αποσπασματική. Ενώ όλοι οι αισθητήρες, οι κάμερες και τα δίκτυα υπάρχουν, δεν συνεργάζονται πραγματικά για να συνδέσουν τα αυτοκίνητα μεταξύ τους ή με το περιβάλλον τους, ώστε να κάνουν την οδήγηση ασφαλέστερη. Πολλά αυτοκίνητα που κυκλοφορούν σήμερα στους δρόμους δεν έχουν τη δυνατότητα να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα μεταξύ τους, εκτός αν πρόκειται για το ίδιο μοντέλο. Και δίκτυα μεγάλης κλίμακας όπως το LTE και το 5G, τα οποία θα γεφύρωναν αποτελεσματικά το χάσμα μεταξύ οχημάτων, υποδομών και πεζών, ώστε να μπορούν πραγματικά να επικοινωνούν, δεν έχουν υιοθετηθεί πλήρως στην αυτοκινητοβιομηχανία ακόμη. Για να μπορέσει το V2X να λειτουργήσει με τις πλήρεις δυνατότητές του, πρέπει να είναι ευρέως διαδεδομένο.

Χρησιμοποιώντας ασύρματα δίκτυα πλέγματος για τη διαχείριση και τη διατήρηση της ευρυζωνικής συνδεσιμότητας, η Rajant συνδέει τα οχήματα μεταξύ τους και με τις υποδομές για χρήση στα ορυχεία, τις κατασκευές και την εφοδιαστική, συγκεκριμένα σε εφαρμογές μεταφοράς εμπορευμάτων [24].

Ενώ ορισμένα αυτοκίνητα χρησιμοποιούν ραντάρ, LiDAR και άλλες τεχνολογίες ανίχνευσης για να προειδοποιούν τους οδηγούς όταν πλησιάζουν πολύ κοντά στο προπορευόμενο αυτοκίνητο ή αν μπορεί να χτυπήσουν κάτι όταν κάνουν όπισθεν, λίγα έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους. Η ελπίδα είναι ότι μια μέρα, τα νέα αυτοκίνητα στους δρόμους δεν θα είναι μόνο σε θέση να μεταδίδουν

αξιώπιστα πληροφορίες μεταξύ τους, αλλά θα μπορούν επίσης να επικοινωνούν με τα σήματα κυκλοφορίας, τους πεζούς, τους ποδηλάτες και τα δίκτυα της πόλης. Γεφυρώνοντας αυτό το χάσμα επικοινωνίας, οι δρόμοι μπορεί να γίνουν λιγότερο επικίνδυνοι.



Εικόνα 6: Απεικόνιση της τεχνολογίας Vehicle to Everything (V2X) [13]

Πλεονεκτήματα V2X

Βελτιώνει την ασφάλεια

Η Εθνική Διοίκηση Ασφάλειας Οδικής Κυκλοφορίας (NHTSA) εκτιμά ότι σχεδόν 43.000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους σε αυτοκινητιστικά ατυχήματα το 2021 στις Ηνωμένες Πολιτείες. Αλλά η τεχνολογία V2X μπορεί να βοηθήσει στην καταπολέμηση αυτών των αριθμών.

"Υπάρχουν τόσα πολλά ατυχήματα σήμερα που θα μπορούσαν να αποφευχθούν", δήλωσε στους New York Times η Maite Bezerra, αναλύτρια της αυτοκινητοβιομηχανίας. "Και με τις προηγμένες προειδοποιήσεις για μποτιλιαρίσματα και κόκκινα φανάρια που μειώνουν τα ξαφνικά φρεναρίσματα, θα βελτιωθεί και η αποδοτικότητα των καυσίμων".

Η NHTSA εκτιμά ότι ακόμη και η υιοθέτηση μόνο δύο χαρακτηριστικών ασφαλείας V2X, όπως το LiDAR και η ραδιοεπικοινωνία μεταξύ των αυτοκινήτων,

θα μπορούσε να σώσει 1.000 ζωές και να αποτρέψει μισό εκατομμύριο ατυχήματα ετησίως.

Δημιουργεί πιο αποδοτικά οχήματα

Με το V2X, τα αυτοκίνητα είναι σε θέση να συλλέγουν δεδομένα σχετικά με τα μποτιλιαρίσματα, τα φανάρια στοπ και τις ζώνες ταχύτητας. Στη συνέχεια, το αυτοκίνητο είναι σε θέση να μεταφράσει αυτά τα δεδομένα σε μια διαδρομή που αυξάνει την αποδοτικότητα των καυσίμων και αποφεύγει τις περιττές στάσεις. Στην περίπτωση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, το V2X συνδέεται με την υποδομή για να ειδοποιεί τους οδηγούς που βρίσκονται κοντινοί σταθμοί φόρτισης.

Εξοικονομεί χρόνο και χρήμα

Λεδομένου ότι ένα αυτοκίνητο με τεχνολογία V2X μπορεί να είναι πιο αποδοτικό στα καύσιμα, αυτό σημαίνει επίσης ότι μπορεί να εξοικονομήσει χρόνο και χρήμα στους οδηγούς. Η τεχνολογία συνδεδεμένων οχημάτων μπορεί να προτείνει ταχύτερες διαδρομές οδήγησης και να βοηθήσει στην αποφυγή περιστατικών στο δρόμο. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τους οδηγούς να εξοικονομήσουν χρήματα σε βενζίνη και επισκευές μακροπρόθεσμα.

Προβλήματα του συστήματος V2X

Αναξιόπιστοι αισθητήρες

Για να αυξήσει την ασφάλεια το V2X, τα οχήματα, οι υποδομές, οι πεζοί και οι πόλεις θα πρέπει να εξοπλιστούν με αισθητήρες - και αυτοί θα πρέπει να είναι αξιόπιστοι.

Σύμφωνα με τον Miles Flamenbaum, διευθύνοντα σύμβουλο της Actasys, μιας εταιρείας που ειδικεύεται στη διατήρηση της λειτουργικότητας των αισθητήρων και συνεργάζεται με κατασκευαστές αυτοκινήτων όπως η Volvo, οι αισθητήρες δεν έρχονται χωρίς τα προβλήματά τους.

"Εάν αυτός ο αισθητήρας δεν είναι κατάλληλα προετοιμασμένος για δυσμενείς καιρικές συνθήκες ή δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας, όπου μπορεί να λειτουργήσει ευρέως χωρίς να χάσει δεδομένα, τότε έχετε μια πρόκληση", δήλωσε ο Flamenbaum στο Built In. "Καταλήγεις σε δεδομένα που τελικά, υπό ορισμένες συνθήκες, δεν είναι αξιόπιστα".

Και αυτά τα δεδομένα των αισθητήρων είναι το κλειδί για τη λειτουργικότητα V2X - είναι επίσης κρίσιμα για το μέλλον των αυτόνομων και αυτοκινούμενων οχημάτων - αλλά σύμφωνα με τον Flamenbaum, αυτό που φαίνεται να λείπει ακόμη

είναι ο συντονισμός των ροών δεδομένων τόσο μεταξύ των οχημάτων όσο και μεταξύ των περιβαλλουσών υποδομών.

Ευάλωτα δεδομένα

Όπως σε κάθε τεχνολογία όπου συγκεντρώνονται και αποθηκεύονται ορδές δεδομένων, υπάρχει πάντα ο κίνδυνος να βρουν οι χάκερς τρόπο να εισέλθουν στα συστήματα V2X για να κλέψουν αυτές τις πληροφορίες ή ακόμα και να κρατήσουν το δίκτυο σε ομηρία. Και έπειτα, υπάρχουν και οι γενικές ανησυχίες για την προστασία της ιδιωτικής ζωής που σχετίζονται με τις αυτοκινητοβιομηχανίες, τους δήμους ή όσους διαχειρίζονται την υποδομή και έχουν πρόσβαση στα δεδομένα οδήγησης και τις συνήθειες οδήγησης, ακόμη και αν βελτιωθεί η ασφάλεια και η αποδοτικότητα.

Όμως, ενώ η προστασία της ιδιωτικής ζωής και η ασφάλεια είναι βάσιμες ανησυχίες - και οι οδηγοί θα τις αντιμετωπίσουν όπως κάνουν σε κάθε άλλη σχεδόν βιομηχανία που βασίζεται στα δεδομένα - το άμεσο μέλλον του V2X επικεντρώνεται πραγματικά σε δύο πράγματα: το ρυθμιστικό τοπίο και τους καταναλωτές.

Ρυθμιστικά εμπόδια

Το μεγαλύτερο πρόβλημα με την τεχνολογία V2X αυτή τη στιγμή μπορεί να είναι από τη ρυθμιστική πλευρά.

Το 2022, ένας δικαστής δικαστηρίου τάχθηκε υπέρ της Ομοσπονδιακής Επιτροπής Επικοινωνιών, αφού ο οργανισμός, το 2020, διεκδίκησε μέρος του ραδιοφάσματος που είχε αρχικά διατεθεί το 1999 για χρήση από "ευφυή συστήματα μεταφορών", όπως οι τεχνολογίες V2V και V2X, για να καλύψει τις απαιτήσεις φάσματος των δρομολογητών Wi-Fi και άλλων συσκευών. Αν και η FCC υποστήριξε ότι εξακολουθούσαν να είναι διαθέσιμα περισσότερα από αρκετά megahertz για λειτουργίες που σχετίζονται με την ασφάλεια, η αυτοκινητοβιομηχανία δεν ήταν ευχαριστημένη και προσπάθησε να τη σταματήσει, υποστηρίζοντας ότι η ενέργεια της FCC ήταν "αυθαίρετη και ιδιότροπη". Ο δικαστής διαφώνησε και απέρριψε τον ισχυρισμό.

"Το πρόβλημα, όπως το έθεσε ξεκαρδιστικά ο δικαστής Justin Walker στη γνωμοδότησή του, είναι ότι αυτή η τεχνολογία δεν υπήρξε ποτέ στην πραγματικότητα", έγραψε ο Andrew J. Hawkins του The Verge όταν αναφέρθηκε στην απόφαση του δικαστηρίου. "Ήταν μία από εκείνες τις καινοτομίες τύπου "μόλις στη γωνία" που πάντα υποσχόταν αλλά ποτέ δεν παραδόθηκε στην πραγματικότητα. Ήταν μια φαντασίωση, και σήμερα, το δικαστήριο ουσιαστικά είπε το ίδιο".

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Βιβλιογραφική Επισκόπηση

2.1 Πρωτόκολλο 802.11p

Το IEEE 802.11p είναι μια τροποποίηση του προτύπου IEEE 802.11 για να συμπεριλάβει την ασύρματη πρόσβαση σε περιβάλλοντα οχημάτων (WAVE). Είναι το πρότυπο IEEE που χρησιμοποιείται από εφαρμογές Vehicle-to-Everything (V2X) στη ζώνη των 5,9 GHz (5,85-5,925 GHz). Το Vehicle-to-Everything (V2X) είναι μια ασύρματη τεχνολογία που επιτρέπει στα οχήματα να επικοινωνούν με το άμεσο περιβάλλον τους, όπως άλλα οχήματα (V2V), οδικές υποδομές όπως εισπραξη διοδίων (V2I), πεζοί (V2P) κ.λπ. (<https://www.everythingrf.com/community/what-is-ieee-802-11p>) [25]-[32].

Το IEEE 802.11p είναι μια μέθοδος που ανήκει στη γενικότερη “οικογένεια” μεθόδων IEEE 802.11 η οποία έχει δημιουργηθεί αποκλειστικά για την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων. Σκοπός της μεθόδου είναι να επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ V2V & V2I για να βελτιωθεί η οδική ασφάλεια και η κυκλοφορία. Αυτή η τεχνολογία ονομάζεται που αποσκοπεί στην επικοινωνία μεταξύ οχημάτων WAVE(wireless access in vehicular environments) [26].

Η συγκεκριμένη μέθοδος επικοινωνίας έχει σαν σκοπό να συμπεριλάβει και V2X στη λίστα που μπορεί να επικοινωνήσει ένα όχημα. Αποσκοπεί, όπως όλες αυτές οι μέθοδοι, στην αποφυγή ατυχημάτων καθώς και σε συστήματα προειδοποίησης έτσι ώστε να αποφευχθούν ατυχήματα πριν γίνουν.

Το IEEE 802.11 ανήκει σε ένα γενικότερο σετ μεθόδων δικτύωσης, ασφάλειας, και εφαρμογών οι οποίες βασίζονται στη λειτουργία οχημάτων, γνωστή ως IEEE 1609 και έχει τέτοιες μεθόδους αφιερωμένες καθαρά για αυτές τις λειτουργίες (ITS).

Η ομάδα που εξέλιξε το IEEE 802.11p δημιουργήθηκε το 2004 ενώ αρχικά σχέδια γινόντουσαν αναμεσα από το 2005 και το 2009 μέχρι να εγκριθεί ως μέθοδος το 2010. Το 2008 εγκρίθηκε από την Ευρώπη να μπει στη ζώνη σήματος των 5.9 GHz η οποία ήταν αφιερωμένη σε αυτές τις μεθόδους ούτως η άλλως.

Σε πιο συγκεκριμένο παράδειγμα, στην πόλη Πόρτο της Πορτογαλίας για την παροχή δεδομένων μεταξύ οχημάτων, και για την παροχή wi-fi στους επιβάτες του κάθε οχήματος. Στις ΗΠΑ από την άλλη, μειώθηκε το εύρος των συχνοτήτων που του επιτρέπουν να χρησιμοποιεί αφού θεωρούν ότι απέτυχε στην εδραίωση του μετά από 21 χρόνια αφού μόνο το 0.05% των οχημάτων το χρησιμοποιεί.

Βασικά χαρακτηριστικά του IEEE 802.11p αποτελούν πρώτον και κυρίων, η προαναφερθείσα ζώνη σήματος των 5.9 GHz και έχει χαμηλό latency το οποίο είναι καίριο σημείο για την ταυτόχρονη επικοινωνία μεταξύ οχημάτων. Επίσης, χάρης την ελαστικότητα του δικτύου που χρησιμοποιεί είναι δυνατό να επικοινωνεί με αλλά οχήματα χωρίς σταθερό δίκτυο και να μεταδίδει πληροφορίες σε διπλανά οχήματα. Επιπλέον, είναι ανεπτυγμένο για να λειτουργεί και σε τοπολογία η οποία αλλάζει συνεχώς ή και σε πιο δύσκολο περιβάλλον ενώ το όχημα κινείται με μεγάλη ταχύτητα. Είναι χωρισμένο λοιπόν σε κάποιους διαφορετικούς τομείς οι οποίοι είναι το υλικό κομμάτι το οποίο αναφέρεται σε όλα τεχνολογικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται στο φυσικό σκέλος του, το κανάλι που χρησιμοποιεί και το οποίο είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία. Μετέπειτα είναι το ίδιο το δίκτυο το οποίο χρησιμοποιεί για να γίνει η μεταδοση [26].

Στο κομμάτι του υλικού ανήκει και η ζώνη σήματος των 5.9 GHz στο οποίο, μετά από τον συντονισμό σε αυτό, είναι δυνατή η επικοινωνία των οχημάτων. Πέραν αυτού, χρησιμοποιεί επίσης μερικά διαμορφωτικά συστήματα για την κωδικοποίηση των δεδομένων πριν την αποστολή τους. Μερικές από αυτές είναι οι Δυαδική πληκτρολόγηση μετατόπισης φάσης (BPSK) το οποίο είναι και η πιο απλή μορφή μετάδοσης σήματος και χρησιμοποιείται συχνά για την επικοινωνία επειδή είναι απλό. Όμως δεν πετυχαίνει το bandwidth άλλων μορφών όπως η Τετραγωνική πληκτρολόγηση μετατόπισης φάσης (QPSK) το οποίο επιτρέπει μεγαλύτερη μετάδοση δεδομένων ανά μονάδα bandwidth και χρησιμοποιείται πιο συχνά αφού σε αυτό βασίζονται τεχνολογίες των Wi-fi, δορυφορικές κ.α [27].

Μετά περνάμε στην 16 Διαμόρφωση πλάτους τετραγώνου (16-QAM) το οποίο προσφέρει ακόμη μεγαλύτερο εύρος μετάδοσης από τις δυο προηγούμενες λύσεις όμως υποκύπτει πιο συχνά σε παρεμβολές και θόρυβο οπότε και χρησιμοποιείται μόνο όταν ο βαθμός σήματος σε θόρυβο είναι αρκετά μικρός έτσι ώστε να είναι δυνατή η επικοινωνία. Η 64 Διαμόρφωση τετράγωνου πλάτους (64-QAM) έχει και αυτή τα ίδια μειονεκτήματα, και συνήθως χρησιμοποιείται σε ψηφιακές τηλεόρασης ή modem απευθείας σύνδεσης [28]-[30].

Η πληκτρολόγηση μετατόπισης φάσης (PSK) είναι μια διαδικασία ψηφιακής διαμόρφωσης που μεταφέρει δεδομένα αλλάζοντας (διαμορφώνοντας) τη φάση ενός κύματος φέροντος σταθερής συχνότητας. Η διαμόρφωση επιτυγχάνεται μεταβάλλοντας τις εισόδους ημιτονοειδούς και συνημιτόνου σε έναν ακριβή χρόνο. Χρησιμοποιείται ευρέως για ασύρματα LAN, RFID και επικοινωνία Bluetooth. (https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying) [31]-[32]/

Μετά πάμε στην Διαφορική δυαδική πληκτρολόγηση μετατόπισης φάσης (DBPSK) το οποίο είναι ένας αρκετά απλοποιημένος και ανθεκτικός τρόπος επικοινωνίας ο οποίος δεν επηρεάζεται ευκολά από μετατόπιση συχνότητας ή

θόρυβο φάσης όμως έχει χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Τέλος η διαφορική τετραγωνική μετατόπιση πλήκτρων (DFPSK) το οποίο έχει και αυτό τα ίδια πλεονεκτήματα και θεωρείται πως ανήκει στην ίδια οικογένεια με το DBPSK αλλά είναι ακόμη πιο ανθεκτικό σε παρεμβολές σήματος. Έμφαση αυτής της ομαδοποίησης είναι να εκφράζουν τις αλλαγές του σήματος και όχι απολυτές τιμές αυτού.

Στο κομμάτι του καναλιού, η αλλιώς MAC(Medium Access Control) είναι και η είσοδος στο κανάλι, στην οποία, για να μπουν στο κανάλι και να μεταδώσουν και να λάβουν πληροφορίες δυναμικά και σε πραγματικό χρόνο. Υπάρχει βέβαια και μια σειρά προτεραιοτήτων ανάλογα με το πόσο κοντά είναι το αντίστοιχο αντικείμενο ή όχημα καθώς και το ποσό επείγουσα είναι η κατάσταση.

Τέλος είναι το κομμάτι του δικτύου, το οποίο επιτρέπει σύνδεση εν τάχην, έτσι ώστε τα οχήματα να συνδέονται μεταξύ τους με μεγάλη ταχύτητα σε αυτά που είναι κοντά τους και να αποσυνδέονται όταν αυτά βγαίνουν εκτός βενιλεκούς. Μέσο του δικτύου γίνεται και η προώθηση των δεδομένων στα άλλα οχήματα. Η επικοινωνία όπως έχει αναφερθεί γίνεται κατά κύριο λόγο από V2V και V2I τα οποία περιέχουν και διεύθυνση αποστολέα και δέκτη [32].

Σε αυτό το κομμάτι ανήκει και η ασφάλεια δικτύου στο οποίο εφαρμόζεται κρυπτογράφηση των μηνυμάτων καθώς και μηχανισμοί αυθεντικοποίησης για την προστασία των δεδομένων καθώς και την ασφάλεια των οδηγών. Ταυτόχρονα, πληροφορίες που ανταλλάσσονται συμπεριλαμβάνουν το μέγεθος του οχήματος, την ταχύτητα, και άλλες σχετικές πληροφορίες έτσι ώστε να ληφθούν τα ανάλογα μετρά ασφαλείας

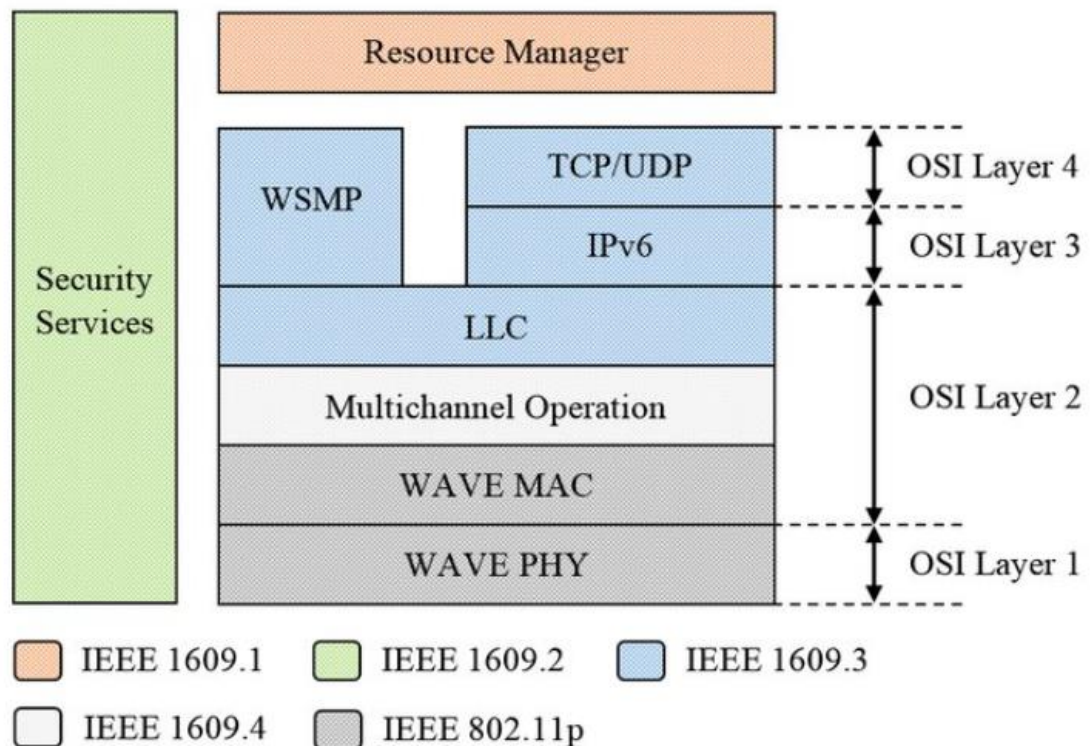
2.2 Πρωτόκολλο DSRC

Το DSRC είναι το σύστημα που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων. Αναφέρεται πιο συγκεκριμένα στο σύνολο τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία αυτή, τα σύστημα που στέλνουν τα μηνύματα και κάνουν την αυθεντικοποίησης και όλα τα υπόλοιπα κομμάτια επικοινωνίας και εξοπλισμού του δικτύου τα οποία βρίσκονται κοντά στον δρόμο [33].

Πιο συγκεκριμένα, η DSRC είναι μια ασύρματη τεχνολογία η οποία επιτρέπει την αμφίρροπη αποστολή μηνυμάτων στιγμιαία χρησιμοποιώντας την ζώνη σήματος 5.9 GHz με μέγιστη απόσταση τα 300 μετρά. Παρέχει και πολύ μεγάλο ποσοστό μετάδοσης δεδομένων κατά τη διάρκεια κίνησης με υψηλή

ταχύτητα. Βασικός τρόπος επικοινωνίας του είναι το V2X ενώ κομμάτια του δικτύου θεωρούνται και οι πεζοί και οι ποδηλάτες [34]-[36].

Ο «Εξοπλισμός δρόμου» (RSE) αντιπροσωπεύει τις οδικές συσκευές *Connected Vehicle* που χρησιμοποιούνται για την αποστολή μηνυμάτων και τη λήψη μηνυμάτων από κοντινά οχήματα που χρησιμοποιούν *Dedicated Short Range Communications (DSRC)* ή άλλες εναλλακτικές τεχνολογίες ασύρματων επικοινωνιών. Υποστηρίζονται επίσης επικοινωνίες με παρακείμενο εξοπλισμό πεδίου και κέντρα υποστήριξης που παρακολουθούν και ελέγχουν το RSE. Αυτή η συσκευή λειτουργεί από σταθερή θέση και μπορεί να αναπτυχθεί μόνιμα ή μια φορητή συσκευή που βρίσκεται προσωρινά κοντά σε τροχαίο συμβάν, κατασκευή στον δρόμο ή άλλο συμβάν. Περιλαμβάνει επεξεργαστή, αποθήκευση δεδομένων και δυνατότητες επικοινωνίας που υποστηρίζουν ασφαλείς επικοινωνίες με διερχόμενα οχήματα, άλλο εξοπλισμό πεδίου και κέντρα. [37]



Εικόνα 7: Απεικόνιση αρχιτεκτονικής πρωτοκόλλου DSRC [38]

Επικοινωνία με RSE

Ο «Συνδεδεμένος Οδικός Εξοπλισμός Οχήματος» (CV RSE) αντιπροσωπεύει τις οδικές συσκευές *Συνδεδεμένου Οχήματος* που χρησιμοποιούνται για την αποστολή μηνυμάτων και τη λήψη μηνυμάτων από κοντινά οχήματα που χρησιμοποιούν *Ειδικές Επικοινωνίες Μικρής Εμβέλειας (DSRC)* ή άλλες εναλλακτικές τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας. Υποστηρίζονται επίσης επικοινωνίες με παρακείμενο

εξοπλισμό πεδίου και κέντρα υποστήριξης που παρακολουθούν και ελέγχουν το RSE. Αυτή η συσκευή λειτουργεί από σταθερή θέση και μπορεί να αναπτυχθεί μόνιμα ή μια φορητή συσκευή που βρίσκεται προσωρινά κοντά σε τροχαίο συμβάν, κατασκευή δρόμου ή ειδικό συμβάν. Περιλαμβάνει επεξεργαστή, αποθήκευση δεδομένων και δυνατότητες επικοινωνίας που υποστηρίζουν ασφαλείς επικοινωνίες με διερχόμενα οχήματα, άλλο εξοπλισμό πεδίου και κέντρα. (<https://www.arc-it.net/html/triples/s11d84f941.html>)

RSE είναι όλος ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με οχήματα εκτός αυτών, δηλαδή κάμερες, αισθητήρες, και είναι το βασικό σκέλος της επικοινωνίας V2I αφού επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ πολλαπλών εφαρμογών που έχουν ως απώτερο σκοπό την ορθή και ασφαλή κυκλοφορία.

Μέσω του RSE μπορούν τα οχήματα να ανανεώνουν τα πιστοποιητικά τους, να αναφέρουν κακόβουλη συμπεριφορά άλλων οδηγών, να χάσουν τα πιστοποιητικά τους λόγω δικιάς τους κακής συμπεριφοράς και να δέχονται ανανέωση στους κανόνες οδικής ασφάλειας. Ταυτόχρονα είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα ξεχωριστό ράδιο DRSC για να μπορούν να δέχονται αποκλειστικά ανανέωσης επικοινωνίας. Έτσι θα χρειαστούν δυο ραδιόφωνα DRSC για την ορθή χρήση αυτού του επικοινωνιακού συστήματος, ένα για την χρήση των πιστοποιητικών και ένα για τις ανανέωσης που γίνονται.

Βέβαια αυτός ο περιορισμός προϋποθέτει ότι το όχημα δεν συνδέεται με κάποιο άλλο δίκτυο επικοινωνίας, όπως wi-fi, κινητό ή ακόμη και δορυφορικό σήμα. Σε αυτήν την περίπτωση χρειάζεται μόνο ένας πομπός DRSC αφού ο άλλος τρόπος επικοινωνίας καλύπτει τις απαιτήσεις αυτές.

Επικοινωνία SCMS

Για το κομμάτι της επικοινωνίας από την άλλη, το DRSC χρησιμοποιεί την μέθοδο αυθεντικοποίησης δημοσίου κλειδιού, το οποίο παρέχει κωδικοποίηση δημοσίου κλειδιού εξασφαλίζοντας έτσι όλες τις βασικές αρχές της ασφάλειας, έλεγχος ταυτότητας, εμπιστευτικότητα, ακεραιότητα, μη απόρριψη και έλεγχος πρόσβασης.

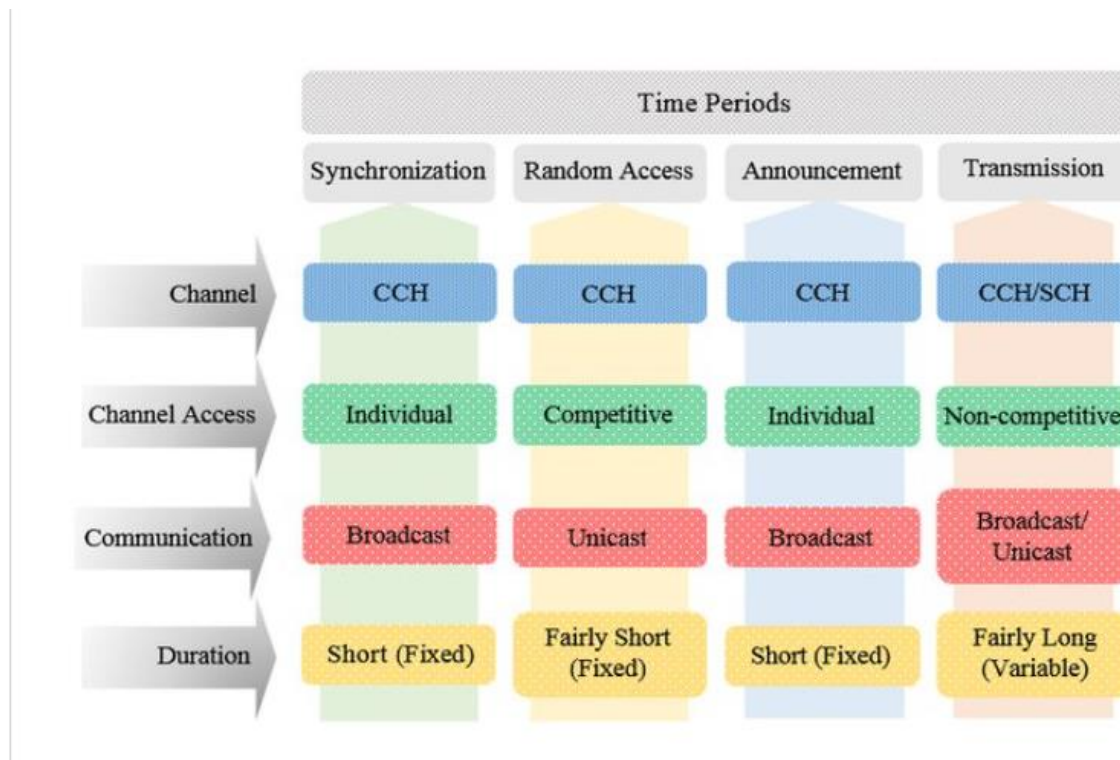
Το SCMS επιλέχθηκε μετά από την ζήτηση του σε εθνικό επίπεδο λόγω της ανάγκης ενός συστήματος για την αυθεντικοποίησης της ταυτότητας κάθε χρήστη. Κάνανε 8 ερωτήσεις προς κατασκευαστές οχημάτων, προγραμματιστές και προμηθευτές εξαρτημάτων λογισμικού, εμπειρογνώμονες κρυπτογραφίας, οντότητες διαχείρισης πιστοποιητικών κ.α., που καλύπτουν θέματα όπως οι δομές διακυβέρνησης για το SCMS, ο σχεδιασμός του SCMS, η απαραίτητη αρχική επένδυση κεφαλαίου, το πιθανό επιχειρηματικό μοντέλο, η οικονομική βιωσιμότητα

του SCSSM και το ενδιαφέρον του ερωτώμενου να ανταπεξέλθει στην λειτουργία ορισμένων ή όλων των στοιχείων ενός SCSS.

Η Διαχείριση Ασφάλειας και Διαπιστευτηρίων (SCM) είναι μια εφαρμογή υποστήριξης που χρησιμοποιείται για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας επικοινωνίας μεταξύ κινητών συσκευών και άλλων φορητών συσκευών ή συσκευών στο δρόμο και για την προστασία των δεδομένων που χειρίζονται από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση. Η εφαρμογή εκχωρεί διαπιστευτήρια εμπιστοσύνης σε αναγνωρισμένες κινητές συσκευές και συσκευές υποδομής στο περιβάλλον συνδεδεμένου οχήματος, έτσι ώστε αυτές οι συσκευές να θεωρούνται αξιόπιστες από άλλες συσκευές που λαμβάνουν διαπιστευτήρια εμπιστοσύνης από την εφαρμογή SCM. Η εφαρμογή επιτρέπει την αίτηση και την ανάκληση διαπιστευτηρίων, καθώς και την εξασφάλιση της ανταλλαγής διαπιστευτηρίων εμπιστοσύνης μεταξύ των μερών, έτσι ώστε κανένα άλλο μέρος να μην μπορεί να υποκλέψει και να χρησιμοποιήσει αυτά τα διαπιστευτήρια παράνομα. Η εφαρμογή παρέχει ασφάλεια στις μεταδόσεις μεταξύ συνδεδεμένων συσκευών, διασφαλίζοντας την αυθεντικότητα και την ακεραιότητα των μεταδόσεων. Πρόσθετα χαρακτηριστικά ασφαλείας περιλαμβάνουν προστασία απορρήτου, εξουσιοδότηση και ορισμό κατηγορίας προνομίων, καθώς και μη άρνηση προέλευσης. (<https://local.iteris.com/cvria/html/applications/app63.html>)

Υπάρχουν δυο μέθοδοι για την αυθεντικοποίηση μηνυμάτων, με πρώτη προς μελέτη την SCSS η οποία είναι μια μέθοδος που βασίζεται κυρίως στην επικοινωνία με άλλα οχήματα. Βασικός τρόπος ταυτοποίησης είναι με την χρήση πιστοποιητικών και η λειτουργία του περιλαμβάνει όλο υλικό, λογισμικό, άτομα, πολιτικές, πρότυπα και διαδικασίες που απαιτούνται για τη δημιουργία, διαχείριση, διανομή, παρακολούθηση και ανάκληση ψηφιακών αυτών των πιστοποιητικών.

Αυτή η μέθοδος βέβαια είναι ακόμη σε εξέλιξη και έχει ως πρότυπο την ομαδοποίηση των λειτουργιών ανάλογα με την λειτουργία που εκτελούν. Αυτή τη στιγμή οι σχεδιαστές της SCSS προσπαθούν να εξελίξουν πολιτικές και διαδικασίες έτσι ώστε να μπορέσουν να υποστηρίξουν τις λειτουργίες V2V. Παρόλη την ευχρηστία του όμως, αυτό το σύστημα με χρήση πιστοποιητικών όμως έχει το μειονέκτημα πως θα πρέπει να δημιουργεί πάρα πολλά πιστοποιητικά σε ένα μικρό χρονικό διάστημα. Αυτός ο φόρτος εργασίας είναι ανέφικτο να εκτελεσθεί αφού έχει υπολογισθεί πως για έναν χρόνο λειτουργίας θα χρειάζονται παραπάνω από 100.000 πιστοποιητικά. Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με την ανάθεση 20 πιστοποιητικών την εβδομάδα, και συνολικά 1050 το χρόνο, τα οποία όμως εναλλάσσονται ανά εύλογα χρονικά διαστήματα.



Εικόνα 8: Λειτουργία μηνυμάτων πρωτοκόλλου DSRC [38]

Ο τρόπος που επιτυγχάνεται η ασφάλεια με αυτόν τον τρόπο είναι με την χρήση των εναλλασσόμενων πιστοποιητικών, ακόμα και να τα χρησιμοποιήσει κάποιο άλλο κακόβουλο λογισμικό ή χρήστης, αυτά είναι έγκυρα μόνο για μια εβδομάδα και αλλάζουν τακτικά μέσα σε αυτήν.

Ο τρόπος που λειτουργεί σε κανονικό περιβάλλον είναι με την ταυτοποίηση όλων των οχημάτων που το χρησιμοποιούν έτσι ώστε να μπορούν να δεχτούν τις πληροφορίες ασφάλειας που απαιτούνται και έτσι να πάρουν και το ψηφιακό πιστοποιητικό τους. Μετά από αυτήν την διαδικασία μπορούν να ανταλλάξουν πληροφορίες με άλλα οχήματα στο βεληνεκές των 5.9 GHz. Οι εφαρμογές με τις οποίες γίνεται η επικοινωνία υπολογίζουν τον κίνδυνο και το ρίσκο μαζί με την βέλτιστη πορεία για την αποφυγή εμποδίων και οδικής συμφόρησης. Έτσι επιτυγχάνεται η επικοινωνία V2V.

Με τα πιστοποιητικά που παρέχονται γίνεται η ταυτοποίηση του κάθε οδηγού ενώ εμποδίζει την αλλαγή αυτών από εξωτερικό χρήστη. Έχουν γίνει και προτάσεις βέβαια, για την αυτόματη ακύρωση πιστοποιητικού όταν ο οδηγός παρανομεί ή πράττει αντίθετα με τον κώδικα οδικής ασφάλειας και να δημιουργείται μια λίστα με αυτά τα πιστοποιητικά και τον λόγο αναβολής του πιστοποιητικού του το οποίο θα μπορεί να ελέγχεται από άλλους οδηγούς έτσι ώστε να μπορούν να γνωρίζουν την επικινδυνότητα του κάθε συνοδηγού τους.

2.3 Προστασία προσωπικών δεδομένων

Η ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων είναι προφανώς ένα από τα κυριότερα σημεία της επικοινωνίας μεταξύ οχημάτων, και γενικότερα του Διαδικτύου ή οποιουδήποτε δικτύου περιλαμβάνει σύνδεση με απομακρυσμένους χρήστες. Το RSE προφανώς πέφτει σε αυτήν την κατηγορία και έτσι έχει και εφαρμογές ασφάλειας για τους χρήστες του [38].

Το Privacy Protection είναι μια εφαρμογή υποστήριξης για το δίκτυο των οχημάτων που παρέχει την προστασία απορρήτου που είναι απαραίτητη για τη λειτουργία άλλων συνδεδεμένων εφαρμογών. Η Προστασία απορρήτου αποκρύπτει τα αναγνωριστικά δικτύου των συσκευών προκειμένου να επιτραπεί η επικοινωνία με τη διαχείριση πιστοποιητικών [39].

Το Core Authorization είναι μια εφαρμογή υποστήριξης συνδεδεμένου οχήματος που διαχειρίζεται τους μηχανισμούς εξουσιοδότησης για τον καθορισμό ρόλων, ευθυνών και αδειών για άλλες συνδεδεμένες εφαρμογές οχημάτων. Αυτό επιτρέπει στους διαχειριστές συστήματος να δημιουργήσουν λειτουργικά περιβάλλοντα όπου διαφορετικοί χρήστες του δικτύου οχημάτων να μπορούν να έχουν διαφορετικές δυνατότητες. Για παράδειγμα, ορισμένα στοιχεία Mobile ενδέχεται να έχουν εξουσιοδότηση να ζητούν προτεραιότητα σήματος ή ορισμένα Κέντρα μπορεί να έχουν άδεια να χρησιμοποιούν την υπηρεσία γεωγραφικής μετάδοσης, ανάλογα με τα δικαιώματα που έχουν [40].

Ταυτόχρονα, αντί να χρησιμοποιεί και να αποθηκεύει προσωπικές πληροφορίες, τις αντικαθιστά με ψευδώνυμα και προσωρινά αναγνωρίστηκα, με πιο απλά λογία τα κωδικοποιεί, για να μην μπορούν να αναγνωριστούν από ξένους χρήστες. Για εφαρμογές οι οποίες έχουν δικαιώματα σε κομμάτια κάποιων υπηρεσιών, περνούν αυτές τις πληροφορίες μετά την κωδικοποίηση τους εκτός από περίπτωση που είναι απαγορευτικό να μην τις λάβουν.

Αυτές οι μεταφορές δεδομένων χρησιμοποιούν πολύ περιορισμένο αριθμό δεδομένων για να μειώσουν το ρίσκο διαρρεύσεις αυτών, ενώ παράλληλα έχουν και μικρή μνήμη έτσι ώστε να μην παραμένουν οι πληροφορίες στο δίκτυο παραπάνω από ό,τι πρέπει. Με αυτούς τους τρόπους μειώνεται ο χρόνος παρουσίας των πληροφοριών στο δίκτυο και έτσι και ο κίνδυνος κλοπής τους.

Αλλά πιο σημαντικός τρόπος είναι ο συμβιβασμός του με τους ορισμούς του GDPR το οποίο εξασφαλίζει τον σεβασμό προσωπικών δεδομένων και της προστασίας τους. Δίνεται βέβαια η δυνατότητα στον κάθε χρήστη να μπορεί να δώσει το δικαίωμα της παροχής δεδομένων του σε συγκεκριμένες εφαρμογές άλλα πάντα δίνεται η δυνατότητα άρσεις αυτών σε περίπτωση που ο χρήστης αλλάξει γνώμη.

Αξιο αναφοράς είναι η περιγραφή του GDPR, το οποίο είναι ένα σύνολο νομοθεσιών οι οποίες αφορούν τα προσωπικά δεδομένα και την προστασία αυτών και ψηφίστηκε και εφαρμόστηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση το 2018 και συμπεριλαμβάνει και οργανισμούς εκτός Ευρώπης οι οποίοι, όμως, συνεργάζονται με αυτήν ή έχουν κέντρα μέσα σε χώρα που ανήκει σε αυτή. Το GDPR βασίζεται σε πολλές θεμελιώδεις αρχές σχετικά με την επεξεργασία προσωπικών δεδομένων. Αυτές οι αρχές περιλαμβάνουν τη νομιμότητα, τη δικαιοσύνη και τη διαφάνεια.

2.4 Προειδοποιήσεις οδικής ασφαλείας

Βασικό στοιχείο του RSE είναι οι πληροφορίες που μεταδίδονται μέσα στο δίκτυο. Το δίκτυο πρέπει να δημιουργεί μια σειρά προτεραιότητας η οποία να βασίζεται στην επικινδυνότητα και το πόσο επείγει μια συγκεκριμένη κατάσταση καθώς και το πόσο κοντά είναι σε αυτήν ο κάθε χρήστης του δικτύου. Ταυτόχρονα θα πρέπει να υπάρχει ένα σετ από σταθερές πληροφορίες οι οποίες να δίνουν μια ολοκληρωμένη εικόνα για το περιβάλλον στο οποίο κατευθύνεται. Αυτή η μετάδοση γίνεται με την χρήση του IEEE 802.11p και την μεθοδολογία DRSC που έχουμε αναφέρει παραπάνω [41].

Υπάρχουν πολλές πληροφορίες απαραίτητες για την οδική ασφάλεια τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιήσει ένας οδηγός όπως η κατάσταση του περιβάλλοντος, πριν καν μπούμε σε πράγματα όπως η κίνηση. Ο καιρός είναι πολύ σημαντικός παράγοντας διότι επηρεάζει άμεσα τον τρόπο οδήγησης. Μέρα με καταιγίδα για παράδειγμα, δεν πρέπει να αναπτύσσει ταχύτητα ο οδηγός, ή όταν έχει πάγο θα πρέπει να βάλει προστατευτικές αλυσίδες πριν ξεκινήσει.

Μέρες με πολύ κρύο είναι σημαντικό να αναφέρει το γεγονός πως το αμάξι χρειάζεται ένα χρονικό διάστημα να μείνει στάσιμο πριν ξεκινήσει την πορεία έτσι ώστε να ζεσταθεί. Θα μπορούσε λοιπόν να δίνει έναν αναμενόμενο χρόνο στασιμότητας. Μέρες με ομίχλη από την άλλη μπορεί να δίνει την συμβουλή πορείας με χαμηλή ταχύτητα και ανοιχτά φωτά.

Αυτές τις πληροφορίες μπορεί να τις λαμβάνει από το υπόλοιπο δίκτυο ή αν αυτό είναι δυνατόν, από το Διαδίκτυο. Αυτές οι πληροφορίες είναι εξαιρετικά σημαντικές για κατάσταση έκτακτης ανάγκης, επειδή οι πυροσβέστες ή τα ασθενοφόρα π.χ. να έχουν γνώση για το πως να ανταπεξέλθουν στην εκάστοτε κατάσταση με την υψηλότερη ταχύτητα. Μοτοσυκλετιστές από την άλλη επίσης έχουν μεγαλύτερη ανάγκη για αυτές τις πληροφορίες από απλούς οδηγούς αφού είναι και πιο εκτεθειμένοι με το όχημα που χρησιμοποιούν.

Η εφαρμογή Road Weather Information and Routing Support παρέχει τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων οδικού καιρού από συνδεδεμένα οχήματα και άλλες πηγές και χρήση αυτών των δεδομένων για την ανάπτυξη βραχυπρόθεσμων προειδοποιήσεων ή συμβουλών που μπορούν να παρέχονται σε μεμονωμένα οχήματα αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης ή σε αποστολείς έκτακτης ανάγκης. Οι πληροφορίες μπορεί να προέρχονται είτε από οχήματα που λειτουργούν από το ευρύ κοινό και εμπορικές οντότητες (συμπεριλαμβανομένων επιβατικών αυτοκινήτων και φορτηγών) είτε από εξειδικευμένα οχήματα και οχήματα δημόσιου στόλου (όπως εκχιονιστικά μηχανήματα, φορτηγά συντήρησης και άλλα οχήματα πρακτορείου). Τα ανεπεξέργαστα δεδομένα θα υποβληθούν σε επεξεργασία σε ένα κέντρο ελέγχου για τη δημιουργία εξόδων δεδομένων βάσει του οδικού τμήματος. Η επεξεργασία θα περιλαμβάνει επίσης έναν αλγόριθμο ειδοποιήσεων οχημάτων οδικού καιρού για τη δημιουργία ειδοποιήσεων σύντομου χρονικού ορίζοντα που θα προωθούνται στα συστήματα των χρηστών και θα είναι διαθέσιμες στους αποστολείς απόκρισης έκτακτης ανάγκης. Οι ειδοποιήσεις σύντομου χρονικού ορίζοντα που προωθούνται στους οδηγούς και τους αποστολείς οχημάτων έκτακτης ανάγκης θα περιλαμβάνουν πληροφορίες για ισχυρούς ανέμους, λιμνάζοντα νερά και πλημμύρες δρόμων. Αυτές οι πληροφορίες θα ληφθούν από άλλα σταθερά και απομακρυσμένα συστήματα παρατήρησης και θα παρέχονται με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη γεωγραφική ακρίβεια. Επιπλέον, οι πληροφορίες που συλλέγονται μπορούν να συνδυαστούν με παρατηρήσεις και προβλέψεις από άλλες πηγές για να παρέχουν μεσοπρόθεσμες (επόμενες 2-12 ώρες) ή μακροπρόθεσμες (περισσότερες από 12 ώρες) συμβουλές μέσω μιας ποικιλίας διεπαφών, συμπεριλαμβανομένων των διασυνδέσεων που βασίζονται στον ιστό και των συνδεδεμένων οχημάτων [41].

Σε πιο βασικά θέματα, είναι οι ειδοποιήσεις για ατυχήματα τα οποία θα πρέπει ή να αποφεύγονται εντελώς ή έστω να δίνεται ένας χώρος για οχήματα έκτακτης ανάγκης κ.α. να μπορούν να εισέλθουν στο συγκεκριμένο χώρο του ατυχήματος. Αν και τέτοιες περιπτώσεις μπορούν βέβαια να αναφέρονται και σε πυρκαγιές ή σε άτομο που έχει κάποιο επείγον θέμα υγείας και χρειάζεται άμεση νοσηλεία.

Η οδική δυσφορήσει είναι προφανώς ένα από τα αναγκαία βασικά κομμάτι της αναφοράς άλλα, σε ένα ίσως πιο ουτοπικό σενάριο, θα μπορούσε να δίνεται η δυνατότητα λήψης πληροφοριών ανάλογα με την ζώνη που βρίσκεται κάποιος. Για παράδειγμα να δίνονται πληροφορίες σύμφωνα με το αν κάποιος βρίσκεται σε ζώνη όπου γίνονται εργασίες, και έτσι να απαιτείται προσοχή από μέρους του οδηγού για να μην πάθει ζημία το αμάξι. Επίσης θα ήταν αξιοσημείωτο να αναφερθεί η είσοδος σε βιομηχανική ζώνη, ειδικά σε άτομα που έχουν αναπνευστικά προβλήματα, έτσι ώστε να αποφύγουν τα προβλήματα που μπορεί να τους δημιουργήσει, ή ακόμη και να αναφέρει μέρες όπου η ατμόσφαιρα να μην είναι καθαρή και να πρέπει να προστατευτεί πριν βγει για οδήγηση.

Αλλά αντικείμενα αναφοράς θεωρώ πως είναι η είσοδος σε σχολική ζώνη, διόδια και διαβάσεις πεζών, και έτσι ο οδηγός να μειώσει την ταχύτητα του, ή ακόμη και να σταματήσει ανάλογος την κατάσταση. Άλλες ειδοποιήσεις μπορούν να περιλαμβάνουν προειδοποίηση για την οδήγηση σε λάθος γραμμή, για την απομάκρυνση από οδό και είσοδος σε καινούργια, ακόμη και άφιξη σε διασταύρωση όπου έχει ΣΤΟΠ η παραχώρηση προτεραιότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Διαστασιοποίηση Road Side Units για πρωτόκολλα 802.11p

3.1 Παράγοντες διαστασιοποίησης για Road Side Units

Πριν εφαρμόσουμε λοιπόν το RSU θα ήταν ορθό να κάνουμε αναφορά στους παράγοντες που μας καλύπτει το σύστημα αυτό. Με αυτόν τον τρόπο θα βρούμε σε ποια κομμάτια υστερεί αυτός ο τρόπος λειτουργίας. Ξεκινώντας λοιπόν από το RSU θα πρέπει να αναφέρουμε το εύρος στο οποίο απευθύνεται, και βασικό χαρακτηριστικό σε αυτό θα πρέπει να είναι η υλοποίηση του σε υψηλό σημείο για να μπορεί να καλύπτει ολόκληρη την περιοχή που αναφέρεται, κατά κύριο λόγο διασταύρωσης και δρόμους ταχείας κυκλοφορίας [42].

Οι συσκευές θα πρέπει να προσαρμόζονται και στην κυκλοφορική δυσφόριση που αναμένουν στο εκάστοτε σημείο γιατί αν είναι αυξημένη θα υπάρχει και μεγαλύτερος φόρτος στο δίκτυο. Για αυτό κιόλας, αν χρησιμοποιούνται περισσότερα κανάλια ταυτόχρονα θα μοιράζεται και η δουλειά μεταξύ τους χωρίς να επιβαρύνεται το δίκτυο. Αυτό θα γίνεται με την ανάθεση συγκεκριμένου αριθμού οχημάτων ανά κανάλι και ανάλογα με τον φόρτο που έχει το κάθε ένα από αυτά [43].

Η τοποθέτηση των κεραιών είναι αρκετά βασική, αφού ανάλογα με την τοποθεσία τους επηρεάζεται και η περιοχή που καλύπτουν αλλά και η αποδοτικότητα τους. Η εγκατάσταση συστημάτων TPC (Transmit Power Control) ο οποίος είναι ένας αλγόριθμος που αποσκοπεί στην βέλτιστη παροχή σήματος. *Το TPC είναι ένας αλγόριθμος που εκτελείται στον ασύρματο ελεγκτή μας κάθε 10 λεπτά από προεπιλογή. Ο κύριος στόχος είναι να ρυθμίσετε ένα APs μετάδοσης ισχύος στη βέλτιστη τιμή του. Αυτή η τιμή θα παρέχει την καλύτερη απόδοση στους πελάτες, αποφεύγοντας παράλληλα παρεμβολές με άλλα AP. Καθώς το AP πιθανότατα θα έχει κεραία στις ζώνες 2,4 GHz και 5 GHz, το TPC θα λειτουργεί ανεξάρτητα. Θα υπάρχει ένα σετ ισχύος εκπομπής για το ραδιόφωνο 2,4 GHz και ένα άλλο για το ραδιόφωνο 5 GHz.* [42]

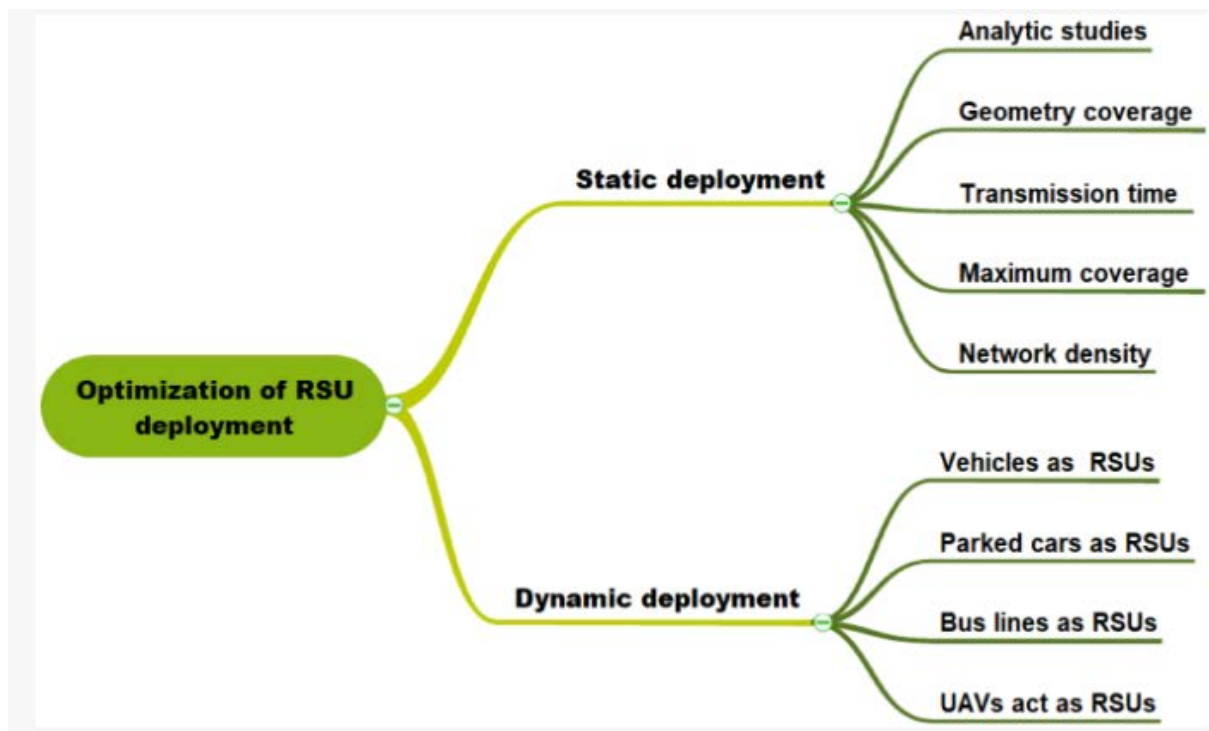
Σε μέγεθος εφαρμογών από την άλλη, θα πρέπει να έχουν καθοριστεί από πριν έτσι ώστε να μπορεί το σύστημα να τις υποστηρίξει σε μέγεθος υλικού και το είδος της ασφάλειας και διαχείριση κυκλοφορίας θα έχει για να προσαρμοστούν ανάλογος. Καθοριστική είναι και η διασύνδεση τους με ένα κεντρικό δίκτυο ή data center ενώ θα πρέπει να έχουν υπόψιν τους παρεμβολές και από άλλα RSU δίκτυα ή ασύρματα δίκτυα σαν αυτά [45].

Περνώντας στη μεριά του σήματος είναι γνωστό ότι επηρεάζεται πάρα πολύ από καιρικές συνθήκες και άλλες παρεμβολές σήματος ή ακόμη και άλλα παρόμοια σήματα τα οποία μπορεί να αναμειχθούν με αυτό και να δημιουργήσουν θόρυβο. Με

βάση αυτό μπορούμε να δούμε ότι σε περιοχές με μεγαλύτερη κυκλοφορία, πολλούς δρόμους, διασταυρώσεις και αλλά τέτοιου είδους σήματα, θα πρέπει να προσαρμόσουμε ανάλογα τη δύναμη του για να μπορεί να καλύπτει και αυτά [46].

Όπως προαναφέραμε, στη χρήση πολλαπλών καναλιών, θα πρέπει να έχουμε και υπόψιν μας την ανάθεση καναλιών έτσι ώστε να μην μπερδευτούν με αλλά κανάλια διαφορετικών διασταυρώσεων, δηλαδή να έχουν έναν τρόπο να τακτοποιούν το δίκτυο στο οποίο θα πρέπει να ανήκουν. Τα ευρύτερα εύρη ζώνης καναλιών μπορούν να υποστηρίξουν υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, αλλά μπορεί να είναι πιο επιρρεπείς σε παρεμβολές [47]. Κεραίες οι οποίες έχουν συγκεκριμένες κατεύθυνσης επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να έχουν συγκεκριμένο μεγαλύτερη ισχύ αλλά και έναν πιο κατευθυνόμενο τρόπο για να λειτουργεί το δίκτυο. Επίσης το δίκτυο θα μπορεί να δίνει προτεραιότητα σε μηνύματα μεγάλης επικινδυνότητας και έτσι και το δίκτυο θα πρέπει να λειτουργεί σε μεγαλύτερες ταχύτητες για να μπορεί να ανταποκριθεί σε αυτές [48].

Άλλοι παράγοντες που θα πρέπει να έχουμε υπόψιν μας βέβαια είναι και το είδος του εξοπλισμού που θα έχουμε στα χέρια μας, οπτική ίνα, ασύρματο κλπ. για να εξασφαλίσουμε την αξιοπιστία του συστήματος. Θα πρέπει να εφαρμοστούν και άλλες στρατηγικές για την αντιμετώπιση παρεμβολών συχνότητας, για τον έλεγχο ισχύος και την προσαρμοστική διαμόρφωση του δικτύου [49].



Εικόνα 9: Ταξινόμηση διαστασιοποίησης RSU [50]

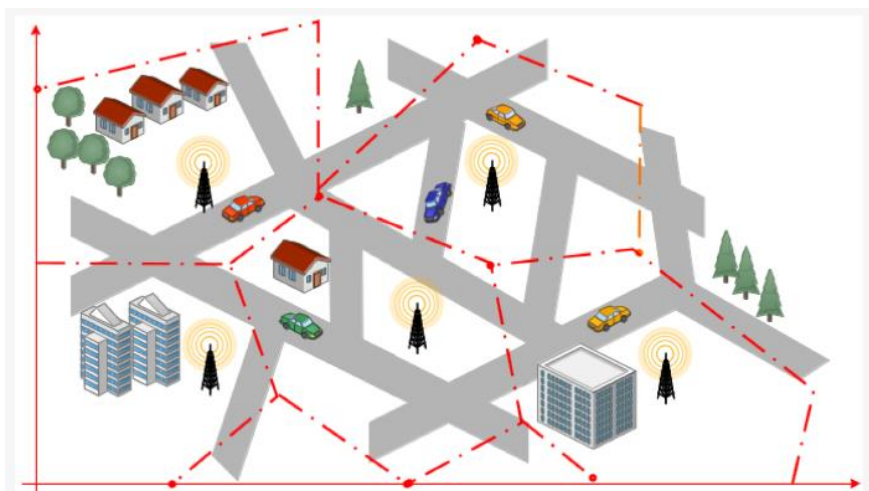
Τέλος θα πρέπει να σιγουρευτεί ότι το δίκτυο μπορεί να ανταπεξέλθει σε αυτό που του ζητείται χωρίς να υποβαθμίζεται σιγά σιγά. Οπότε κάτι που θα πρέπει να έχουν υπόψιν γενικότερα είναι η αντοχή του δικτύου, με δευτερεύοντες τρόπους διασφαλίσεις αυτού και να εξασφαλίσουν τη λειτουργικότητα του ακόμη και αν γίνουν λάθη [50].

3.2 Διαδικασία εγκατάστασης Road Side Units

Προφανώς, η κανονική εφαρμογή του RSU ξεκινάει και με το υλικό του κομμάτι, με εγκατάσταση των απαραίτητων μονάδων σε τακτικά σημεία για την βέλτιστη λειτουργία του δικτύου. Αυτές οι τοποθεσίες θα πρέπει να μπορούν να καλύπτουν διασταύρωση, φανάρια και τοποθεσίες με υψηλή κίνηση. Σκοπός είναι να καλύπτουν και όσο το δυνατόν μεγαλύτερες εκτάσεις μπορούν, έχοντας υπόψιν και τυχόν φυσικά εμπόδια [51].

Μετέπειτα θα πρέπει να ρυθμιστούν τα RSU με τις απαραίτητες παραμέτρους, ανάλογα και με την αναμενόμενη κυκλοφοριακή δυσφόριση στο συγκεκριμένο σημείο καθώς και την ανάθεση καναλιών ενώ θα πρέπει να έχουν αξιόπιστη σύνδεση με το data center ή το κεντρικό δίκτυο του συστήματος. Θα πρέπει να έχει προνοηθεί επίσης και η προστασία των RSU από τα καιρικά φαινόμενα, τα οποία επηρεάζουν το σήμα [52].

Σε ποιο μακροπρόθεσμο στόχο, θα πρέπει και τα οχήματα να έχουν αντίστοιχους δέκτες για να μπορούν να επικοινωνήσουν με το δίκτυο αυτό. Αυτές οι συσκευές είναι γνωστές και ως Onboard Units το οποίο είναι υπεύθυνο για την διαχείριση δεδομένων που αφορούν την κίνηση του οχήματος καθώς και την οδήγηση και αλλά στοιχεία που έχουν να κάνουν με αυτόν τον τομέα, και να τα αποστέλλει στον κατάλληλο πάροχο [53].



Εικόνα 10: Διάγραμμα Voronoi για διαστασιοποίηση RSU σε αστική τοπολογία [50]

Πιο συγκεκριμένα, μια OBU (on-board unit) είναι μια ηλεκτρονική συσκευή εγκατεστημένη σε ένα όχημα που καταγράφει δεδομένα κίνησης και οδήγησης και μπορεί να συνδεθεί με συστήματα πλοήγησης στην άκρη του δρόμου και δορυφορικής πλοήγησης. Χρησιμοποιούνται γενικά για την αυτοματοποιημένη τιμολόγηση και καταγραφή διοδίων, που αναφέρονται ως ηλεκτρονική είσπραξη διοδίων (ETC), αλλά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για πρόσθετες υπηρεσίες. Για παράδειγμα, τα OBU μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποθήκευση δεδομένων διάγνωσης και έκτακτης ανάγκης, σχεδιασμό διαδρομής και πλοήγηση. Επιπλέον, είναι σε θέση να χειρίζονται την επικοινωνία από όχημα με όχημα (V2V), από όχημα σε υποδομή (V2I) και από όχημα σε δρόμο (V2R). [54]

Υπάρχουν δυο τρόποι που μπορεί να λειτουργήσει αυτό το Unit ανάλογα με τον τρόπο που εκπέμπει το σήμα του. Πρώτος και κύριος είναι ο τρόπος μετάδοσης χρησιμοποιώντας ραδιοφωνικά κύματα το οποίο στη συγκεκριμένη περίπτωση λαμβάνει σήμα από έναν πάροχο, το επεξεργάζεται και αποστέλλει δεδομένα ξανά σε αυτόν. Υπάρχει βέβαια και η περίπτωση της δορυφορικής μετάδοσης στην οποία περίπτωση χρησιμοποιούν ένα δεκτή GPS το οποίο λαμβάνει σήματα και τα στέλνει με μορφή SMS στο κεντρικό δίκτυο όπου και υπολογίζουν τα δεδομένα που λαμβάνουν και από άλλα οχήματα καθώς και πληροφορίες για την συσκευή. Υπάρχει βέβαια και η λειτουργία έκτακτης ανάγκης στην οποία περίπτωση το OBU στέλνει συνεχόμενα δεδομένα σε άλλα units στην μορφή βασικών μηνυμάτων ασφάλειας (BSM) [55].

Το επόμενο βήμα είναι η εγκατάσταση πρωτόκολλων επικοινωνίας και ασφάλειας του δικτύου. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να έχει υπόψιν του τον τρόπο που ανταλλάσσονται οι πληροφορίες μεταξύ οχημάτων και RSU. Με βάση αυτό μπορούν να δημιουργηθούν δίκτυα επικοινωνίας οχημάτων γνωστά ως VANET [56].

Τα δίκτυα VANET έχουν πάρα πολλές εφαρμογές οι οποίες θα ήταν χρήσιμες σε αυτού του είδους δικτύου που προσπαθούμε να εφαρμόσουμε και είναι το γενικότερο όνομα αυτού. Πολλές από τις τεχνολογίες που απαιτούνται για την εγκατάσταση και την διατήρηση του είναι ήδη αναγκαίες για τα RSU, όπως το DRSC, οπότε μπορεί και ευκολά να καλυφθούν οι ανάγκες του [57].

Κάποια από τα προτερήματα αυτού του δικτύου είναι λειτουργίες όπως τα ηλεκτρονικά φώτα φρένων, τα οποία επιτρέπουν σε έναν οδηγό ή σε ένα αυτόνομο όχημα να σταματάει και να αντιδρά σε οχήματα τα οποία δεν μπορεί να δει. Επίσης εκτελεί την λειτουργία Platooning η οποία κάνει αμάξια να κρατάνε την κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους χωρίς να χτυπάνε. Μεταδίδει πληροφορίες μεταξύ κυκλοφοριακών δικτύων έτσι ώστε να υπάρχει καλύτερη ολική εικόνα για την δυσφόρηση που μπορεί να υπάρχει [58].

Παράλληλα δίνει τη δυνατότητά για Υπηρεσίες Έκτακτης Ανάγκης Οδικών Μεταφορών, όπου μεταδίδονται πληροφορίες μεταξύ των δικτύων για την βέλτιστη πορεία για οχήματα έκτακτης ανάγκης, έτσι ώστε να αποφεύγονται πορείες που υπάρχει μεγάλη κίνηση, ή να υπολογίζεται η πιο σύντομη διαδρομή. Άλλες Οδικές υπηρεσίες που παρέχει είναι η δυνατότητά αναφοράς για την τοπική κοινότητα στην οποία βρίσκεται το όχημα, με αναφορές για προσφορές, γιορτές κ.α. αλλά βρίσκεται ακόμη στο κομμάτι της υλοποίησης. Τέλος, η Ηλεκτρονική Εισπραξη Διοδίων είναι ακριβώς αυτό που ακούγεται αλλά υπάρχουν δυο παράμετροι για την σωστή λειτουργία του, ο αξιόπιστος γεωγραφικός εντοπισμός του οχήματος όταν διασχίζει την πόρτα διοδίων και η εξασφάλιση της επικοινωνίας κατά τη διαδικασία της συναλλαγής [59].

3.3 Υπόδειγμα εγκατάστασης Road Side Units

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω θα δούμε την πειραματική τους εγκατάσταση από μια εταιρεία η οποία είναι παγκοσμίως γνωστή και έχει ακριβώς αυτόν τον σκοπό, την εγκατάσταση και την λειτουργία roadside units. Αυτή η εταιρεία είναι η Yunex, και κομμάτι της λειτουργίας της είναι η χρήση, όπως αναφέρει, έξυπνων διασταυρώσεων, τη διαχείριση της κυκλοφορίας από έξυπνα συστήματα, προσομοιώσεις καταστάσεων με την χρήση ΑΙ καθώς και άλλες υπηρεσίες για την διατήρηση των δρόμων [60].

Πιο συγκεκριμένα συνεργάζονται με εταιρείες όπως η Aimsun η οποία είναι υπεύθυνη για την λειτουργία των RSU και την διατήρηση τους σε καλή κατάσταση. Μετά συνεργάζονται με την ATC η οποία έχει κάνει καινοτομία με την χρήση προσαρμοζόμενης τεχνολογίας για την εκάστοτε περίπτωση, ανάλογα και με την αναμενόμενη κίνηση. Τέλος, συνεργάζονται με την VMZ Berlin η οποία αποσκοπεί στην ανάπτυξη εννοιών διαχείρισης της κυκλοφορίας, εφαρμόζει και λειτουργεί υπηρεσίες πληροφοριών και διεξάγει έρευνα για το μέλλον των μεταφορών.

Χρησιμοποιώντας λοιπόν ένα από τα πολλά παραδείγματα που παρουσιάζουν στην ιστοσελίδα τους, θα αναλύσουμε συγκεκριμένα την περίπτωση της εγκατάστασης τους στο τούνελ της Δυτικής Αποβάθρας στο Σύδνεϋ της Αυστραλίας. Στην ιστοσελίδα τους μπορούμε να δούμε τα εξής:

- *Η σήραγγα Western Harbour είναι μια νέα διάβαση κάτω από το λιμάνι του Σίδνεϊ στο Σίδνεϊ της Αυστραλίας. Η διδυμη σήραγγα αυτοκινητόδρομου μήκους 6,5 χιλιομέτρων θα έχει τρεις λωρίδες προς κάθε κατεύθυνση και θα μεταμορφώσει τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι και τα αγαθά κινούνται στην πόλη δημιουργώντας μια δυτική παράκαμψη του Sydney CBD, αφαιρώντας την πίεση από τη γέφυρα του λιμανιού του Σίδνεϊ, τη σήραγγα του λιμανιού του Σίδνεϊ, τη γέφυρα Anzac και Western Distributor διαδρόμοι.*

- *Η Yunex Traffic Australia έχει συνάψει σύμβαση για την κατασκευή και εγκατάσταση του Συστήματος Διαχείρισης και Ελέγχου Επιχειρήσεων (OMCS) για αυτό το έργο.*
- *Η Yunex Traffic θα συνεργαστεί με την Transport for NSW και την ACCIONA για την ανάπτυξη του ολοκληρωμένου συστήματος ελέγχου αυτοκινητοδρόμων, Yuttraffic Varia.*
- *Εναρμονίζοντας την κυκλοφορία και επιτρέποντας αυτοματοποιημένες απαντήσεις σε κρίσιμα γεγονότα, το Yuttraffic Varia αυξάνει την ασφάλεια στις σήραγγες και μειώνει τη συμφόρηση.*

Το δίκτυο λοιπόν λαμβάνει πολλαπλές πληροφορίες της οποίες πρέπει να διαχειριστεί ένας χειριστής, αυτές η πληροφορίες περιλαμβάνουν στοιχεία για την κίνηση, την τοποθεσία και την ταχύτητα των οχημάτων. Η Yunex θα εφαρμόσει αυτό το σύστημα και άλλα υποσυστήματα για τον συντονισμό των οχημάτων και της κίνησης και όπως παραθέτει η ίδια η εταιρεία, η κατάσταση αυτή της πόλης είναι μια πόλη κοινή που βρίσκουν σε διάφορες πόλεις στον κόσμο.

Βασικός στόχος τους πάντα είναι η εξασφάλιση της ασφάλειας των οδηγών, για αυτό μεταφέρει πολλές επικίνδυνες καταστάσεις στο αυτόματο κομμάτι του δικτύου έτσι ώστε να ανταποκρίνεται και άμεσα σε αυτές τις καταστάσεις. Με αυτόν τον τρόπο προστατεύονται οι οδηγοί από πραγματικά επικίνδυνες καταστάσεις, όπως φωτιές ή κάποιο δυστύχημα, με μεγάλη ταχύτητα, αφού έχουν μπει σε μια “λίστα προτεραιότητας” με αυτά ως πρωταρχικό τους στόχο.

Με χρόνο λειτουργίας άνω του 99,9%, το Yuttraffic Varia είναι ένα λογισμικό στο οποίο μπορούν να βασιστούν οι χειριστές της σήραγγας. Για την αξιοπιστία της, η Yuttraffic Varia έχει λάβει την πιστοποίηση SIL-2 για πρώην έργα ως μία από τις πρώτες εφαρμογές του είδους της στην αγορά [60].

Μετέπειτα, μπορούμε να δούμε ότι η εγκατάσταση αυτού του συστήματος είναι χωρισμένο σε δυο στάδια. Ότι είδαμε ως τώρα ήταν καθαρά το κομμάτι που αποτελεί το υλικό και λογισμικό κομμάτι για την εγκατάσταση του δικτύου RSU σε αυτήν την τοποθεσία. Μπορούμε να δούμε όμως ότι απαιτείται και η κατασκευή καινούργιων δρόμων έτσι ώστε να καλυφθούν και άλλες περιπτώσεις ατυχημάτων ή κυκλοφοριακών δυσφοριών.

Η σήραγγα του δυτικού λιμανιού παραδίδεται σε δύο στάδια. Η ACCIONA παραδίδει το Στάδιο 2. Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει την εκσκαφή και την κατασκευή ενός υπόγειου αυτοκινητόδρομου από την Cove Street Rozelle στο Βόρειο Σίδνεϊ, με απευθείας συνδέσεις προς και από τον αυτοκινητόδρομο Warringah, μια ράμπα εκτός δρόμου προς την οδό Falcon και μια ράμπα από την οδό Berry στο North Σίδνεϊ. Η

σύμβαση περιλαμβάνει επίσης καταστήματα εξαερισμού, εγκαταστάσεις αυτοκινητοδρόμων και μηχανική και ηλεκτρική τοποθέτηση ολόκληρης της σήραγγας. (<https://www.yunextraffic.com/yunex-traffic-western-harbour-tunnel-sydney/>)

Εν κατακλείδι, με βάση την παραπάνω περίπτωση, η οποία βέβαια είναι μια από τις πολλές που έχει αναλάβει αυτή η εταιρεία, μπορούμε να δούμε ότι η ανάπτυξη της χρήσης RSU βρίσκεται ήδη σε μια άνοδο. Με πάνω από 24 χώρες παγκόσμιος σε συνεργασία με την συγκεκριμένη εταιρεία, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, καθώς και άλλες πιο ισχυρές χώρες όπως η Αμερική, το Ηνωμένο Βασίλειο κ.α. Βέβαια ο σκοπός αυτής της εταιρείας δεν είναι μόνο η εγκατάσταση RSU αλλά είναι και αυτό βασικό τους εργαλείο για την σωστή ρύθμιση της κυκλοφορίας, κάτι το οποίο θα χρησιμοποιήσουν όλο και περισσότερο στο κοντινό μέλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Σενάριο εργασίας

4.1 Μελέτη σημασίας παραμέτρων φυσικού στρώματος στην διαστασιοποίηση RSU

Η ανάπτυξη RSU για επικοινωνίες οχημάτων αποτελεί βασικό στοιχείο για τη δημιουργία συνδεδεμένων και ευφυών συστημάτων μεταφορών. Οι πλευρικές μονάδες επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και υποδομών (V2I), ενισχύοντας την ασφάλεια, τη διαχείριση της κυκλοφορίας και την αποδοτικότητα των δρόμων.

Το φυσικό επίπεδο, το οποίο είναι το θεμελιώδες επίπεδο στο μοντέλο Open Systems Interconnection (OSI), ορίζει τις θεμελιώδεις παραμέτρους μετάδοσης και λήψης που απαιτούνται για αυτές τις επικοινωνίες. Στο πλαίσιο της ανάπτυξης RSU για δίκτυα οχημάτων, οι βασικές παράμετροι του φυσικού στρώματος περιλαμβάνουν την επιλογή συχνότητας, την ισχύ μετάδοσης, τις διαμορφώσεις κεραιών, τις μεθόδους πρόσβασης στο κανάλι και τις τεχνικές διαμόρφωσης. Το παρόν δοκίμιο εξετάζει λεπτομερώς καθεμία από αυτές τις παραμέτρους και διερευνά τη σημασία τους για τη βελτιστοποίηση της λειτουργικότητας της RSU σε συστήματα επικοινωνιών οχημάτων.

Επιλογή συχνότητας

Η επιλογή της συχνότητας λειτουργίας είναι θεμελιώδης για την επιτυχή ανάπτυξη των RSU, καθώς επηρεάζει άμεσα τα χαρακτηριστικά διάδοσης, τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και το εύρος των επικοινωνιών. Σε γενικές γραμμές, οι επικοινωνίες οχημάτων χρησιμοποιούν τεχνολογίες αποκλειστικής επικοινωνίας μικρής εμβέλειας (DSRC) και κυψελοειδούς επικοινωνίας οχήματος προς τα πάντα (C-V2X), οι οποίες λειτουργούν εντός καθορισμένων ζωνών συχνότητας. Το DSRC λειτουργεί συνήθως στη ζώνη των 5,9 GHz, η οποία προορίζεται σε πολλές περιοχές για εφαρμογές V2I, ενώ το C-V2X μπορεί να χρησιμοποιεί τόσο τα 5,9 GHz όσο και τις κυψελοειδείς ζώνες κάτω των 6 GHz ή το φάσμα των χιλιοστομετρικών κυμάτων για μετάδοση δεδομένων υψηλής ταχύτητας. Η επιλογή μεταξύ αυτών των συχνότητων εξαρτάται από συμβιβασμούς όπως η εξασθένηση του σήματος, με τις χαμηλότερες συχνότητες να προσφέρουν γενικά μεγαλύτερη εμβέλεια και καλύτερη διείσδυση μέσα από εμπόδια όπως τα κτίρια, αλλά ενδεχομένως χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων σε σύγκριση με τις υψηλότερες συχνότητες.

Οι συχνότητες λειτουργίας στο φάσμα των χιλιοστομετρικών κυμάτων (24 GHz και άνω) αναδύονται ως πολλά υποσχόμενες επιλογές για επικοινωνίες οχημάτων υψηλού ρυθμού δεδομένων, ιδίως για εφαρμογές όπως η αυτόνομη οδήγηση, οι οποίες απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση και υψηλό εύρος ζώνης. Ωστόσο, αυτές οι συχνότητες αντιμετωπίζουν προκλήσεις με την εξασθένηση του σήματος λόγω

περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως η βροχή και άλλα εμπόδια, καθιστώντας την επιλογή της συχνότητας κρίσιμη. Επιπλέον, οι κανονιστικοί περιορισμοί σε κάθε χώρα μπορεί να επιβάλλουν περιορισμούς σε ορισμένες ζώνες συχνότητων, επηρεάζοντας την επιλογή της συχνότητας λειτουργίας για την ανάπτυξη RSU.

Ισχύς μετάδοσης

Η ισχύς μετάδοσης είναι μια άλλη κρίσιμη παράμετρος, καθώς καθορίζει την εμβέλεια επικοινωνίας και επηρεάζει την ισχύ του σήματος, η οποία επηρεάζει την αξιοπιστία και την ποιότητα των συνδέσεων επικοινωνίας οχημάτων. Η υψηλότερη ισχύς μετάδοσης επιτρέπει στις RSU να καλύπτουν μεγαλύτερη εμβέλεια και να διατηρούν αξιόπιστη επικοινωνία με τα οχήματα ακόμη και από απόσταση, υποστηρίζοντας εφαρμογές όπως η βοήθεια πλοήγησης σε πραγματικό χρόνο και οι προειδοποιήσεις σύγκρουσης. Ωστόσο, η υψηλότερη ισχύς μετάδοσης μπορεί επίσης να οδηγήσει σε αυξημένες παρεμβολές με άλλα συστήματα επικοινωνίας, ιδίως σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές με πολλές RSU σε κοντινή απόσταση. Ως εκ τούτου, η επίτευξη ενός βέλτιστου επιπέδου ισχύος μετάδοσης που εξισορροπεί την εμβέλεια και ελαχιστοποιεί τις παρεμβολές είναι απαραίτητη.

Για παράδειγμα, η προσαρμογή της ισχύος μετάδοσης σύμφωνα με τις οδικές συνθήκες σε πραγματικό χρόνο, την πυκνότητα των οχημάτων και άλλους παράγοντες του περιβάλλοντος μπορεί να βελτιστοποιήσει την απόδοση του δικτύου, εξοικονομώντας παράλληλα ενέργεια και μειώνοντας τις παρεμβολές. Οι τεχνικές ελέγχου ισχύος χρησιμοποιούνται συχνά για τη δυναμική προσαρμογή της ισχύος μετάδοσης, διατηρώντας μια αποτελεσματική σύνδεση επικοινωνίας υπό μεταβαλλόμενες συνθήκες. Επιπλέον, οι κανονισμοί συχνά περιορίζουν την ισχύ μετάδοσης για να περιορίσουν τις παρεμβολές σε περιβάλλοντα κοινού φάσματος, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την επιθυμητή εμβέλεια επικοινωνίας για τις RSU, υπογραμμίζοντας την ανάγκη προσεκτικού σχεδιασμού και διαχείρισης ισχύος.

Βέλτιστη επιλογή και διάγραμμα ακτινοβολίας κεραιών

Οι τεχνικές διαμόρφωσης κεραιών και ποικιλομορφίας στο φυσικό επίπεδο της RSU επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα και την αξιοπιστία της επικοινωνίας. Η τεχνολογία πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων (MIMO) χρησιμοποιείται συνήθως στις επικοινωνίες οχημάτων, καθώς επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη πολλαπλών ροών δεδομένων, αυξάνοντας την απόδοση και την αξιοπιστία των δεδομένων. Στην ανάπτυξη RSU, η MIMO βελτιώνει τη λήψη σήματος καταπολεμώντας την εξασθένιση πολλαπλών διαδρομών, μια κοινή πρόκληση σε περιβάλλοντα οχημάτων όπου τα σήματα αντανακλώνται από κτίρια, οχήματα και άλλες επιφάνειες. Αξιοποιώντας τη MIMO, οι RSU μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα του σήματος και να διατηρήσουν σταθερές συνδέσεις επικοινωνίας ακόμη και σε δύσκολες συνθήκες.

Μια άλλη ουσιαστική πτυχή είναι η διαμόρφωση δέσμης (beamforming), η οποία εστιάζει την ισχύ του σήματος σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις αντί να την ακτινοβολεί ομοιόμορφα. Αυτή η στοχευμένη προσέγγιση βελτιώνει την ισχύ του σήματος και μειώνει τις παρεμβολές με κοντινές συσκευές, καθιστώντας την ιδιαίτερα πλεονεκτική σε αστικές περιοχές με υψηλή πυκνότητα οχημάτων.

Οι τεχνικές ποικιλομορφίας κεραιών, όπως η χωρική ποικιλομορφία (χρήση πολλαπλών κεραιών σε διαφορετικές θέσεις) και η ποικιλομορφία πόλωσης (χρήση κεραιών με διαφορετικές πολώσεις), ενισχύουν επίσης την αξιοπιστία μειώνοντας την πιθανότητα υποβάθμισης του σήματος λόγω εξασθένησης πολλαπλών διαδρομών και άλλων περιβαλλοντικών παραγόντων. Η διαμόρφωση των RSU με ισχυρές ρυθμίσεις κεραιών είναι επομένως ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση υψηλής ποιότητας, αξιόπιστων συνδέσεων στις επικοινωνίες οχημάτων.

Πρόσβαση στο κανάλι και έλεγχος πρόσβασης στο μέσο (MAC)

Τα πρωτόκολλα πρόσβασης στο κανάλι και MAC είναι απαραίτητα για τη διαχείριση του τρόπου με τον οποίο πολλά οχήματα έχουν πρόσβαση στο κανάλι επικοινωνίας της RSU χωρίς να προκαλούν παρεμβολές. Το φυσικό επίπεδο πρέπει να φιλοξενεί πολλαπλούς χρήστες (οχήματα) που προσπαθούν να αποκτήσουν πρόσβαση στην ίδια RSU, ιδίως κατά τις ώρες αιχμής της κυκλοφορίας ή σε πυκνές αστικές περιοχές. Η πολλαπλή πρόσβαση με αίσθηση φέροντος με αποφυγή σύγκρουσης (CSMA/CA) χρησιμοποιείται συνήθως στην επικοινωνία με βάση το DSRC, όπου κάθε όχημα ανιχνεύει το κανάλι πριν από τη μετάδοση δεδομένων για την αποφυγή συγκρούσεων. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος μπορεί να υποφέρει από προβλήματα καθυστέρησης, ιδίως σε σενάρια υψηλής πυκνότητας, καθώς πολλές συσκευές περιμένουν για ένα διαθέσιμο κανάλι.

Για την αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών, στο φυσικό επίπεδο εφαρμόζονται συχνά μέθοδοι πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου (TDMA) και πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας (FDMA). Η TDMA αναθέτει συγκεκριμένες χρονοθυρίδες στα οχήματα, αποτρέποντας την ταυτόχρονη εκπομπή τους και μειώνοντας τους κινδύνους σύγκρουσης. Η FDMA, από την άλλη πλευρά, διαχωρίζει τους χρήστες με βάση τις ζώνες συχνότητων, επιτρέποντας σε πολλά οχήματα να επικοινωνούν με την RSU χωρίς να περιμένουν για ελεύθερο κανάλι. Η επιλογή του κατάλληλου πρωτοκόλλου πρόσβασης στο κανάλι και MAC είναι επομένως ζωτικής σημασίας για την επίτευξη αξιόπιστων επικοινωνιών χαμηλής καθυστέρησης στην ανάπτυξη RSU.

Τεχνικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης

Οι τεχνικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης είναι βασικές παράμετροι του φυσικού επιπέδου που καθορίζουν τον τρόπο μετάδοσης και λήψης δεδομένων μέσω

της διεπαφής αέρα. Η διαμόρφωση καθορίζει τη μορφή του σήματος, με τεχνικές όπως η τετραγωνική διαμόρφωση πλάτους (QAM) ή η διαμόρφωση με μετατόπιση φάσης (PSK) που χρησιμοποιούνται συνήθως στις επικοινωνίες οχημάτων. Η επιλογή της διαμόρφωσης επηρεάζει τον ρυθμό δεδομένων, την αποδοτικότητα του εύρους ζώνης και την ευρωστία του σήματος- τα σχήματα διαμόρφωσης υψηλότερης τάξης, όπως το 64-QAM, μπορούν να μεταδώσουν περισσότερα δεδομένα αλλά είναι πιο ευαίσθητα στο θόρυβο και τις παρεμβολές, ενώ τα σχήματα χαμηλότερης τάξης είναι πιο ανθεκτικά αλλά παρέχουν χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων. Η επιλογή του κατάλληλου επιπέδου διαμόρφωσης είναι επομένως μια πράξη εξισορρόπησης μεταξύ της απόδοσης δεδομένων και της αξιοπιστίας.

Οι κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων, όπως οι κώδικες Low-Density Parity-Check (LDPC) ή οι κώδικες Turbo, εφαρμόζονται για να διασφαλίσουν την ακεραιότητα των δεδομένων και να μειώσουν τα σφάλματα που προκαλούνται από θόρυβο ή παρεμβολές. Με την ενσωμάτωση ισχυρών σχημάτων κωδικοποίησης, οι RSU μπορούν να διατηρήσουν την ακρίβεια των δεδομένων ακόμη και υπό αντίξοες συνθήκες. Σε περιβάλλοντα υψηλής κινητικότητας που είναι τυπικά για τις επικοινωνίες οχημάτων, χρησιμοποιείται συχνά η προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση (AMC) για τη δυναμική προσαρμογή των σχημάτων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης με βάση τις συνθήκες καναλιού σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η προσαρμοστικότητα διασφαλίζει ότι η μετάδοση δεδομένων παραμένει αποτελεσματική και αξιόπιστη, ιδίως καθώς τα οχήματα κινούνται μέσα σε ποικίλα περιβάλλοντα σήματος γύρω από μια RSU.

4.2 Σενάριο εργασίας για διαστασιοποίηση RSU

Ο κύριος στόχος της μελέτης περίπτωσης είναι να προσδιοριστεί η διαστασιολόγηση των RSU σε VANETs λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος του δρόμου και τον αριθμό των οχημάτων και να διερευνηθεί ο αντίκτυπος των RSUs προκειμένου να βελτιωθούν οι εφαρμογές V2I κατά μήκος των αυτοκινητοδρόμων. Ο στόχος των RSU είναι να βοηθήσουν τα VANET και να βελτιώσουν την παροχή υπηρεσιών προειδοποιητικών μηνυμάτων V2I σχετικά με τη δημόσια ασφάλεια στους αυτοκινητόδρομους. Αναπτύχθηκαν δύο εφαρμογές προειδοποίησης σε ένα προσομοιωμένο περιβάλλον που επιτρέπει τη δημιουργία προειδοποιητικών μηνυμάτων. Η πρώτη αφορά τη δημιουργία προειδοποίησης μετά από μια απλή σύγκρουση/σύγκρουση μεταξύ δύο οχημάτων. Η δεύτερη αναφέρεται σε μια εφαρμογή προειδοποίησης για τις καιρικές συνθήκες. Σημαντικές παράμετροι αυτών των εφαρμογών είναι η πυκνότητα οχημάτων, οι διάφοροι τύποι οχημάτων και οι ρυθμοί MAC Bit [61].

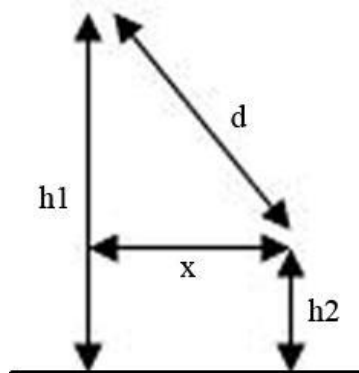
Στόχος είναι να διερευνηθεί ο αντίκτυπος αυτών των εφαρμογών στα μοντέλα κινητικότητας και πώς οι RSU επηρεάζουν την απόδοση του δικτύου, επειδή οι

περισσότερες εφαρμογές ασφάλειας των Ευφυών Συστημάτων Μεταφορών (ITS) βασίζονται στην ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών τύπων επικοινωνίας των VANETs (π.χ. V2V, V2I και V2X) προκειμένου να αποκτήσουν μια ενημερωμένη εικόνα μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης [30]. Επιπλέον, μελετάμε την επίδραση του μεγέθους των οχημάτων και της διάρκειας σύγκρουσης των αυτοκινήτων που εμπλέκονται στη σύγκρουση στην απόδοση του VANET χρησιμοποιώντας ένα μεγαλύτερο οδικό δίκτυο και μεγάλο αριθμό οχημάτων σε σύγκριση με προηγούμενες ερευνητικές εργασίες.

Η εργασία μας επικεντρώνεται στην ανάπτυξη RSU για ένα σενάριο αυτοκινητοδρόμου με βάση τις υπο-βέλτιστες συνθήκες. Αυτή η τοπολογία διαφέρει σημαντικά από τις συνθήκες μακρο-μικροκυψέλης που εξετάζονται σε σενάρια αστικής ανάπτυξης, όπου ένα περιβάλλον με πυκνά εμπόδια και σοβαρή διασπορά επηρεάζουν τη διάδοση του σήματος. Σε ένα σενάριο αυτοκινητόδρομου, αναμένεται μια κυρίαρχη συνιστώσα γραμμής όρασης (LOS), με την κατάλληλη επιλογή του ύψους της κεραίας πομπού. Ως εκ τούτου, η μέση απώλεια διαδρομής μπορεί να εκτιμηθεί με αξιόπιστο τρόπο από τις ντετερμινιστικές εξαρτώμενες από την απόσταση απώλειες εξασθένησης [61]. Η τοπική μέση τιμή της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος μπορεί να εκτιμηθεί από τα χαρακτηριστικά του πομπού και τις μέσες απώλειες διαδρομής και οι ταχείες διακυμάνσεις του πλάτους του σήματος γύρω από αυτή την τοπική μέση τιμή είναι γνωστό ότι ακολουθούν την κατανομή Rice [61].

Όταν λαμβάνεται υπόψη η εξαρτώμενη από την απόσταση εξασθένηση, παρουσία μιας κυρίαρχης συνιστώσας LOS, η μέση απώλεια διαδρομής (σε dB) παρέχεται από τον ακόλουθο τύπο [61]:

$$P_L = 32.45 + 20 \log_{10} f(MHz) + 20 \log_{10} d(km) \quad (1)$$



Εικόνα 11: Ακριβής υπολογισμός του διαχωρισμού T-R [61]

Η πραγματική απόσταση πομπού-δέκτη (διαχωρισμός T-R) υπολογίστηκε με βάση την εικόνα 18, λαμβάνοντας υπόψη έναν κατάλληλα κλιμακωμένο χάρτη της περιοχής καθώς και δεδομένα GPS. Λαμβάνονται υπόψη τα πραγματικά ύψη των κεραιών, επομένως οι υπολογισμοί μας πραγματοποιούνται με βάση ένα τρισδιάστατο μοντέλο καναλιού [19]. Το ύψος της κεραίας του πομπού θεωρήθηκε 7 μέτρα, ενώ για την κεραία του δέκτη θεωρήθηκε ύψος 3 μέτρων.

Το αυξημένο ύψος της κεραίας πομπού εξασφαλίζει ότι υπάρχει μια φαινομενικά αδιατάρακτη συνιστώσα LOS για ολόκληρη την περιοχή κάλυψης κάθε RSU [61]. Η ανάπτυξη της RSU πραγματοποιείται από την πλευρά της αριστερής λωρίδας κυκλοφορίας. Κάθε λωρίδα υποτίθεται ότι έχει πλάτος 9 μέτρα. Σε αυτή τη μελέτη περίπτωσης εξετάζεται αυτοκινητόδρομος μήκους 6 χιλιομέτρων. Επομένως, πρέπει να επιλεγεί ένα συγκεκριμένο κατώφλι λαμβανόμενης ισχύος (τοπική μέση τιμή) προκειμένου να καθοριστεί η περιοχή κάλυψης κάθε RSU σε σχέση με τις «οριακές συνθήκες» της περιοχής.

Δεδομένου ότι το επίπεδο ευαισθησίας του δέκτη για το πρωτόκολλο IEEE 802.11p είναι στα -89 dBm [61], επιτρέπεται ένα περιθώριο εξασθένισης 4 dB για φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών μικρής κλίμακας, επομένως επιλέγεται ένα κατώφλι -85 dBm ως οριακή συνθήκη για το άκρο της περιοχής κάλυψης κάθε RSU. Μια κεραία πανκατευθυντικής κατεύθυνσης θεωρείται τόσο για την RSU όσο και για τον δέκτη VANET. Θεωρείται συνολική αποτελεσματική ιστροπική ακτινοβολούμενη ισχύς (EIRP) 10 mW (10 dBm) [61] για την RSU εκπομπής.

Θεωρείται κέρδος 2 dB για την κεραία λήψης, το οποίο αντισταθμίζεται από 2 dB υπερβολικής απώλειας διαδρομής, η οποία ορίζεται από τον Jakes ως «η διαφορά (σε ντεσιμπέλ) μεταξύ της υπολογισμένης τιμής της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος στον ελεύθερο χώρο και της πραγματικής μετρούμενης τιμής του τοπικού μέσου λαμβανόμενου σήματος» [61].

Επομένως, η συνολική μέση απώλεια διαδρομής παρέχεται από [61]:

$$L_{total} = PL(d_0) + N \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_{\sigma} \quad (2)$$

Όπου είναι η απώλεια διαδρομής στην απόσταση αναφοράς, ίση με 1 m, είναι ο συντελεστής κλίσης (όπου είναι ο εκθέτης της απώλειας διαδρομής) και είναι η τυχαία μεταβλητή Gauss με μηδενικό μέσο που αντιπροσωπεύει την πλεονάζουσα απώλεια διαδρομής (σε dB).

Για την ανάπτυξη των RSU που ακολουθούν το πρωτόκολλο LTE (PHY), ακολουθούνται τα ακόλουθα βήματα:

- Πρώτα προσδιορίζεται η απόσταση κάλυψης κάθε RSU. Αυτό επιτυγχάνεται με βάση ένα κατώφλι δέκτη. Σ
- ύμφωνα με τις προδιαγραφές του πρωτοκόλλου [1], το επίπεδο ευαισθησίας του δέκτη ορίζεται στα -89 dBm.
- Δεδομένου ότι η φέρουσα συχνότητα για το σύστημα LTE επιλέγεται στα 2,1 GHz, η οποία είναι και η συχνότητα λειτουργίας του UMTS, το κανάλι θεωρείται ότι είναι περιορισμένο από παρεμβολές αντί για περιορισμένο από θόρυβο όπως στην περίπτωση του πρωτοκόλλου 802.11p στα 5,89 GHz.

Εκτεταμένες μετρήσεις καναλιού στα 2,1 GHz σε ανοικτές περιοχές κατέδειξαν επίπεδο παρεμβολής -67 dBm, το οποίο προέρχεται κυρίως από την κίνηση κινητής/κυψελοειδούς τηλεφωνίας. Ένα SNR 2 dB είναι υποχρεωτικό για την επίτευξη ρυθμού 20 Mbps (συνολικός ρυθμός μετάδοσης bit downlink).

Για το σενάριο μας προσομοίωσης, θεωρείται EIRP 40 dBm (LTE BS μεσαίας εμβέλειας/ανοικτής περιοχής).

Η κρίσιμη απόσταση υπολογίζεται σε ακτίνα 2020 m, διάμετρος 4040 m, σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο. Αυτό οδηγεί σε συνολικά 2 RSU LTE για έναν αυτοκινητόδρομο μήκους 6 χλμ. και πλάτους 18 μ.

$$d(m) = 10^{\left[\frac{P_t(dBm) + G_t(dB) - P_R(dBm) + 27,55 - 20 \log_{10} f(MHz)}{20} \right]} \quad (3)$$

Οι υπολογισμοί μας παρέχουν μια κρίσιμη απόσταση 213 μέτρων ως ακτίνα κάθε πανκατευθυντικής κεραίας RSU. Επομένως, κάθε RSU καλύπτει συνολικό μήκος 426 μέτρων κατά μήκος του συνολικού μήκους των 6 χιλιομέτρων του τμήματος αυτοκινητοδρόμου που εξετάζεται στην παρούσα εργασία. Συνολικά, θα χρειαστούν 15 RSU για την κάλυψη ενός αυτοκινητόδρου μήκους 6 χιλιομέτρων και πλάτους 18 μέτρων.

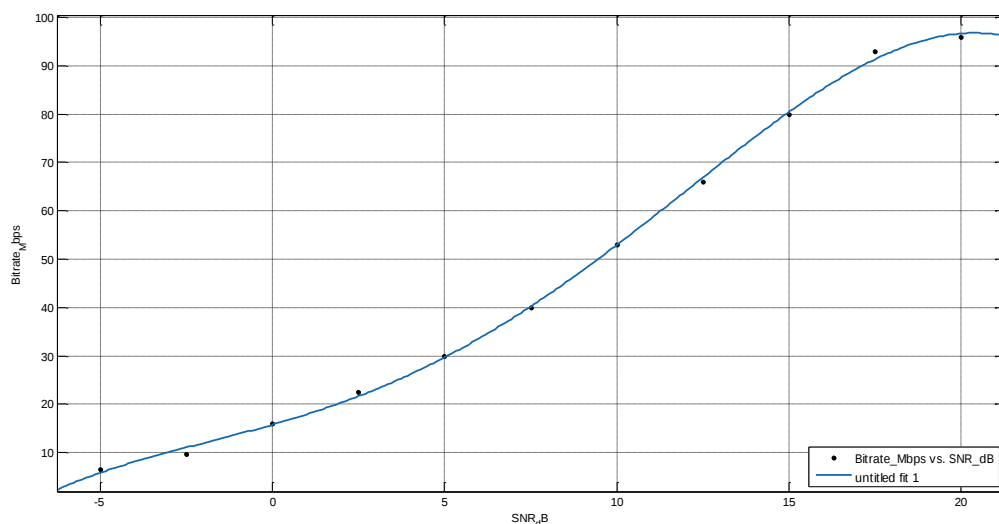
Η πραγματική τοπική μέση τιμή της λαμβανόμενης ισχύος σήματος καθώς και ο επακόλουθος λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR) εξαρτώνται από τη θέση του οχήματος σε σχέση με την εξυπηρετούσα RSU, την ταχύτητα και τη σχετική θέση των οχημάτων για διαφορετικά σενάρια. Η παραδοχή μας για υπερβολική απώλεια διαδρομής 2 dB υποδηλώνει τη μέση τιμή των απωλειών που προκαλούνται από άλλα οχήματα που παρεμβαίνουν στη διαδρομή σήματος. Για τη διαστασιολόγηση της RSU ελήφθη υπόψη ύψος κεραίας δέκτη 3 μέτρων. Καθώς τα εν λόγω οχήματα απομακρύνονται περισσότερο από την RSU προς τα όρια κάθε περιοχής που καλύπτεται από κάθε RSU (7668 τετραγωνικά μέτρα), τα άλλα οχήματα παρεμβαίνουν στη διαδρομή του σήματος. Ωστόσο, η επιλογή ενός ύψους 7 μέτρων

για τη θέση τοποθέτησης της RSU παρέχει ένα κανάλι με λιγότερες χρονικές παραλλαγές και ως επί το πλείστον, εγκαθίσταται LOS.

Η ευρωστία αυτού του σεναρίου διαστασιολόγησης έχει επικυρωθεί στο [22] για το συγκεκριμένο ύψος κεραίας. Η θεώρησή μας για τα πρόσθετα 2 dB πλεονάζουσας απώλειας διαδρομής περιλαμβάνει όλες τις πιθανές απώλειες της χειρότερης περίπτωσης, ανάλογα με τη μεταβλητή πυκνότητα και τη σχετική θέση των οχημάτων σε όλη την εν λόγω τοπολογία. Όπως επιβεβαιώθηκε στο [22], η κατεύθυνση οδήγησης δεν έχει καμία επίπτωση για το εν λόγω ύψος τοποθέτησης.

Δεδομένου ότι θεωρείται μια τιμή κατωφλίου -85 dBm για την τοπική μέση τιμή της λαμβανόμενης ισχύος σήματος και της παραδοχής των επιπέδων θορύβου για να ληφθεί η γενικά θεωρούμενη τιμή -100 dBm [18], το SNR του εν λόγω οχήματος υιοθετεί το κατώφλι των 15 dB. Αυτή η τιμή είναι σύμφωνη με το απαιτούμενο κατώφλι SNR για την επίτευξη ρυθμών δεδομένων έως 18 Mbps, για ταχύτητα οχήματος 120 km/h (περίπου 34 m/s). Ξεπερνά επίσης κατά πολύ τις απαιτήσεις SNR για το μήκος πακέτου για τις ίδιες συνθήκες ταχύτητας και ύψους RSU [43].

Για τις ανάγκες προσδιορισμού του ρυθμού μετάδοσης δημιουργήσαμε στο MATLAB την εξής κατανομή όπως φαίνεται στην Εικόνα 19 με βάση την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στις εργασίες [43]-[44].



Εικόνα 12: Προσδιορισμός ρυθμού μετάδοσης σε σχέση με το SNR για απόσταση που δίνει λαμβανόμενη ισχύ ίση με -85 dBm

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπεράσματα

Η παρούσα πτυχιακή μελέτησε πώς μπορούν να δημιουργηθούν διαφορετικές εφαρμογές σε ένα περιβάλλον προσομοίωσης VANET για την επικοινωνία V2I με τις RSU. Η μελέτη περίπτωσης παρουσίασε μια ανάλυση για τον προσδιορισμό της διαστασιολόγησης των RSU σε έναν αυτοκινητόδρομο, λαμβάνοντας υπόψη τις εξαρτώμενες από την απόσταση ντετερμινιστικές απώλειες διαδρομής καθώς και τις απώλειες διασποράς.

Οι πλεονάζουσες απώλειες διαδρομής θεωρήθηκε ότι ακολουθούν την κατανομή log-normal και τα ύψη των κεραιών θεωρήθηκαν για την απόσταση διαχωρισμού T-R. Ένα κατώφλι με συγκεκριμένο περιθώριο εξασθένισης παρέχει τον απαιτούμενο αριθμό RSU.

Η ανάπτυξη της RSU είναι τέτοια ώστε για τους ρυθμούς μετάδοσης bit και τα μήκη πακέτων που ενδιαφέρουν, το κατώφλι SNR είναι επαρκές για την ικανοποίηση όλων των βασικών απαιτήσεων, για μεταβλητά ύψη οχημάτων και ταχύτητες που κυμαίνονται έως και 35 m/s.

Καθώς οι πρωτοβουλίες έξυπνων πόλεων και τα αυτόνομα οχήματα γίνονται πιο διαδεδομένα, τα RSU θα επεκτείνουν πιθανώς τη λειτουργικότητά τους και θα ενσωματωθούν σε αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως το 5G και τα δίκτυα Vehicle-to-Everything (V2X). Τα επερχόμενα πρότυπα όπως το IEEE 802.11bd (V2X επόμενης γενιάς) στοχεύουν στην παροχή μεγαλύτερης εμβέλειας, βελτιωμένης διαχείρισης παρεμβολών και βελτιωμένης απόδοσης δεδομένων. Τα μελλοντικά RSU ενδέχεται να υποστηρίζουν υβριδικές αρχιτεκτονικές που ενσωματώνουν τόσο DSRC όσο και Cellular-V2X (C-V2X), προσφέροντας μια πιο ευέλικτη και ανθεκτική υποδομή επικοινωνίας.

Μακροπρόθεσμα, τα RSU αναμένεται να αποτελέσουν βασικά στοιχεία σε πλήρως αυτόνομα, συνεργατικά συστήματα μεταφορών, όπου τα συνδεδεμένα οχήματα, οι υποδομές και οι πεζοί επικοινωνούν απρόσκοπτα. Η εξάπλωση των RSU θα είναι πιθανότατα αναπόσπαστο μέρος εφαρμογών πέραν της ασφάλειας της κυκλοφορίας, όπως η περιβαλλοντική παρακολούθηση, η αστική ανάλυση και η δυναμική πλοήγηση για αυτόνομους στόλους οχημάτων. Η ενσωμάτωση των RSU με υποδομές IoT μπορεί επίσης να ενισχύσει το ρόλο τους στον αστικό σχεδιασμό και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, παρέχοντας δεδομένα σχετικά με την ποιότητα του αέρα, τα επίπεδα θορύβου και τις οδικές συνθήκες.

1. S. Zeadally, M. A. Javed and E. B. Hamida, "Vehicular communications for ITS: Standardization and challenges", *IEEE Commun. Stand. Mag.*, vol. 4, no. 1, pp. 11-17, Dec. 2020.
2. D. Y. Jia, K. Lu, J. Wang, X. Zhang and X. Shen, "A survey on platoon-based vehicular cyber-physical systems", *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 18, no. 1, pp. 263-284, 1st Quart. 2016.
3. C. Perfecto, J. Del Ser and M. Bennis, "Millimeter-wave V2V communications: Distributed association and beam alignment", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 35, no. 9, pp. 2148-2162, Jun. 2017.
4. E. Ahmed and H. Gharavi, "Cooperative vehicular networking: A survey", *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 19, no. 3, pp. 996-1014, Mar. 2018.
5. J. E. Siegel, D. C. Erb and S. E. Sarma, "A survey of the connected vehicle landscape—Architectures enabling technologies applications and development areas", *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 19, no. 8, pp. 2391-2406, Oct. 2017.
6. B. Blaszczyzyn, P. Mühlethaler and Y. Toor, "Maximizing throughput of linear vehicular ad-hoc NETWORKS (VANETs)—A stochastic approach", *Proc. Eur. Wireless Conf.*, pp. 32-36, May 2009.
7. B. Blaszczyzyn, Mühlethaler and Y. Toor, "Stochastic analysis of Aloha in vehicular ad hoc networks", *Ann. Telecommunications-Annales des Télécommunications*, vol. 68, pp. 95-106, Feb. 2013.
8. Y. Wang, K. Venugopal, R. W. Heath and A. F. Molisch, "MmWave vehicle-to-infrastructure communication: Analysis of urban microcellular networks", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 67, no. 8, pp. 7086-7100, Aug. 2018.
9. Y. Wang, K. Venugopal, A. F. Molisch and R. W. Heath, "Blockage and coverage analysis with mmWave cross street BSs near urban intersections", *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, pp. 1-6, May 2017.
10. F. Baccelli and S. Zuyev, "Stochastic geometry models of mobile communication networks" in *Frontiers in Queueing: Models and Applications in Science and Engineering*, Boca Raton, FL, USA: CRC Press, pp. 227-243, 1996.
11. <https://gr.pinterest.com/pin/490470215640811284/>
12. <https://www.battelle.org/markets/infrastructure/transportation>
13. https://www.researchgate.net/publication/229015790_Performance_Evaluation_of_IEEE_80211_p_Physical_Layer_Infrastructure-to-Vehicle_Real-World_Measurements
14. <https://www.everythingrf.com/community/what-is-ieee-802-11p>
15. https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/smart-mobility_en
16. <https://www.modeshift.com/what-is-an-intelligent-transport-system-and-how-does-it-work/>
17. <https://www.algosystems.gr/en/projects/intelligent-transport-systems/>
18. <https://unece.org/transport/intelligent-transport-systems>
19. <https://www.etsi.org/images/files/ETSITechnologyLeaflets/IntelligentTransportSystems.pdf>
20. <https://www.globalrailwayreview.com/>

21. *The constructor, building ideas*
22. <https://gov2x.com/>
23. <https://auto-talks.com/>
24. <https://www.isarsoft.com/knowledge-hub/v2x>
25. C. Manasseh and R. Sengupta, "Middleware to enhance mobile communications for road safety and traffic mobility applications", *IET Intelligent Transport Systems*, 4(1):24, 2010.
26. IEEE 802.11p, "Draft standard for information technology – telecommunications and information exchange between systems - local and metropolitan area networks - specific requirements: Wireless access in vehicular environments", IEEE P802.11p/D9.0, September 2009.
27. IEEE Std 802.11p-2010, "IEEE Standard for Information technology– Local and metropolitan area networks– Specific requirements– Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments".
28. C. S. Lin, B. C. Chen, and J. C. Lin, "Field test and performance improvement in IEEE 802.11p V2R/R2V environments", in *IEEE International Conference on Communications, IEEE Vehicular Networks & Applications Workshop*, Cape Town, South Africa, May 2010.
29. M. Wellens, B. Westphal, and P. Mahonen, "Performance evaluation of IEEE 802.11-based WLANs in vehicular scenarios", in *IEEE 65th Vehicular Technology Conference*, April 2007, pp. 1167–1171.
30. L. Cheng, B. E. Henty, R. Cooper, and D. D. Stancil, "A measurement study of time-scaled 802.11a waveforms over the mobile-to-mobile vehicular channel at 5.9 GHz", *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, pp. 84–91, May 2008.
31. D. Jiang and L. Delgrossi, "IEEE 802.11p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments," in *IEEE 67th Vehicular Technology Conference*, May 2008, pp. 2036–2040.
32. D. Carona, A. Serrador, P. Mar, R. Abreu, N. Ferreira, T. Meireles, J. Matos, and J. Lopes, "A 802.11p prototype implementation", in *Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2010 IEEE, La Jolla, CA, USA, June 2010.
33. <https://auto-talks.com/technology/dsrc-technology/>
34. <https://piembysystech.com/dsrc-protocol/>
35. K. Y. Ho, P. C. Kang, C. H. Hsu, and C. H. Lin, "Implementation of WAVE/DSRC devices for vehicular communications", in *Computer Communication Control and Automation (3CA)*, 2010 International Symposium on, vol. 2, May 2010.
36. A. Paier, R. Tresch, A. Alonso, D. Smely, P. Meckel, Y. Zhou, and N. Czink, "Average downstream performance of measured IEEE 802.11p infrastructure-to-vehicle links", in *2010 IEEE International Conference on Communications (ICC) Workshops*, pp.1 -5.
37. <https://local.iteris.com/cvria/html/resourceobjects/res90.html>
38. Torabi, Nasser, and Behrouz Shahgholi Ghahfarokhi. "A bandwidth-efficient and fair CSMA/TDMA based multichannel MAC scheme for V2V communications." *Telecommunication Systems* 64 (2017): 367-390.

39. D. W. Matolak, Q. Wu, and I. Sen, "5 GHz Band Vehicle-to-Vehicle Channels: Models for Multiple Values of Channel Bandwidth", IEEE Trans. Vehicular Tech., vol. 59, no. 5, pp. 2620-2625, June 2010.
40. 3GPP TS36.104 version 11.8.2. R11.
41. <https://local.iteris.com/cvria/html/applications/app39.html>
42. <http://www.mixednetworks.com/enwlsd-300-425/transmit-power-control/>
43. P. Vieira, M. P. Queluz, and A. Rodrigues, "LTE Multi Antenna Bit Rate Expectation for Urban Macro-cell Networks", Proc of 7th Ibero-American Congress on Sensors (IBERSENSOR 2010), Lisbon, Portugal, Vol. 1, November, 2010.
44. P. Vieira, M. P. Queluz, and A. Rodrigues, "LTE Spectral Efficiency using Spatial Multiplexing MIMO for Macro-cells", In 2nd IEEE International Conference on Signal Processing and Communication Systems, December 2008.
45. Z. Kovacs, K. I. Pedersen, J. Wigard, F. Frederiksen, and T. E. Kolding, "HSDPA Performance in Mixed Outdoor-Indoor Micro-cell Scenarios" IEEE 17th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp. 1–5, September 2006.
46. Seybold, Introduction to RF Propagation. Hoboken, NJ: Wiley Interscience, 2005.
47. T. Rappaport, Wireless Communications: Principles & Practice. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
48. V. Shivaldova and C. F. Mecklenbraüker, "Real-world measurements-based evaluation of IEEE 802.11p system performance", 5th IEEE International Symposium on Wireless Vehicular Communications (WiVeC), pp. 1 – 5, 2013.
49. M. Boban, R. Meireles, J. Barros, O. Tonguz, and P. Steenkiste, "Exploiting the height of vehicles in vehicular communication", IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), pp. 163 – 170, 2011.
50. Guerna, Abderrahim, Salim Bitam, and Carlos T. Calafate. "Roadside unit deployment in internet of vehicles systems: A survey." *Sensors* 22.9 (2022): 3190.
51. G. Charalampopoulos and T. Dagiuklas, "Performance Evaluation of VANETs with Multiple Car Crashes in Different Traffic Conditions", 7th International Working Conference on Performance & Security Modelling and Evaluation of Cooperative Heterogeneous Networks (HET-NETs) workshop, Ilkley, United Kingdom, 2013
52. JOSM – Java OSM Editor, <https://josm.openstreetmap.de>.
53. OpenStreetMap, <http://www.openstreetmap.org>.
54. [https://www.ptolemus.com/what-is-an-obu-on-board-unit/#:~:text=More%20specifically%2C%20an%20OBU%20\(on,roadside%20and%20satellite%20navigation%20systems.\)](https://www.ptolemus.com/what-is-an-obu-on-board-unit/#:~:text=More%20specifically%2C%20an%20OBU%20(on,roadside%20and%20satellite%20navigation%20systems.))
55. S. Grafling, P. Mahonen, and J. Riihijarvi, "Performance Evaluation of IEEE 1609 WAVE and IEEE 802.11p for Vehicular Communications", International Conference on Ubiquitous and Future Networks, pp. 344-348, 2010.
56. Simulation of Urban Mobility (SUMO), http://sumo.dlr.de/wiki/Main_Page.
57. Veins, The open source vehicular network simulation framework, <http://veins.car2x.org>.

58. Serageldin and A. Krings, "The Impact of Redundancy on DSRC Safety Application Reliability under Different Data Rates", in 6th International Conference on New Technologies, Mobility and Security, 2014.
59. Santa, F. Perenguez, J. C. Cano, A. F. Skarmeta, C. T. Calafate, and P. Manzoni, "Comprehensive vehicular networking platform for V2I and V2V communications within the walkie-talkie project", International Journal of Distributed Sensor Networks, 2013.
60. <https://www.yunextraffic.com>
61. Charalampopoulos, Georgios, Tasos Dagiuklas, and Theofilos Chrysikos. "V2I applications in highways: How RSU dimensioning can improve service delivery." *2016 23rd International Conference on Telecommunications (ICT)*. IEEE, 2016.