



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και
των Υπολογιστών

Δικτύων Επικοινωνιών και Κατανεμημένων Συστημάτων,

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές
Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Μιχάλης Α. Τσικανδυλάκης
A.M. 19020

Εισηγητές:
Δρ Ιωάννης Χοχλιούρος, Καθηγητής
Δρ Αντώνιος Μπόγγρης, Καθηγητής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές
Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)**

**Μιχαήλ Α. Τσικανδουλάκης
Α.Μ. 19020**

Εισηγητές:

**Δρ Ιωάννης Χοχλιούρος, Καθηγητής
Δρ Αντώνιος Μπόγρης, Καθηγητής**

Εξεταστική Επιτροπή:

**Δρ Ιωάννης Χοχλιούρος, Καθηγητής
Δρ Αντώνιος Μπόγρης, Καθηγητής
Δρ Μυριδάκης Νικόλαος, Καθηγητής**

Ημερομηνία εξέτασης :

26-05-2021

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Τσικανδουλάκης Μιχαήλ του... Αντωνίου ., με αριθμό μητρώου 19020 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών ...Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και των Υπολογιστών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών.. της Σχολής.....ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ..... του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το Διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Ο Δηλών



Μιχαήλ Τσικανδουλάκης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώθηκε μέσα σε μία εποχή παγκόσμιας επιδημίας του COVID-19, όπου η δια ζώσης συνομιλία με τους καθηγητές, με τους συμφοιτητές και με την επίσκεψη στη βιβλιοθήκη του εκπαιδευτικού ιδρύματος του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής ήταν πολύ δύσκολη. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές μου, τον κ. Ιωάννη Χοχλιούρο και τον κ. Αντώνιο Μπόγρη που με υποστήριξαν για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής και για τις πολύτιμες συμβουλές, πληροφορίες αλλά και γνώσεις που μου έδωσαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Επίσης πρέπει να αναφέρω ότι η βοήθεια του Πανεπιστημιακού Ιδρύματος Δυτικής Αττικής με την υπηρεσία Open VPN και τη σύνδεση του ακαδημαϊκού μου λογαριασμού σε διαδικτυακές τοποθεσίες που αφορούσαν σε πανεπιστήμια, επιστημονικές εργασίες και εκπαιδευτικούς οργανισμούς ήταν σημαντική για την αναζήτηση των επιστημονικών αρθρογραφιών .

Με μοναδικό εφόδιο τον υπολογιστή, το Διαδίκτυο, την όρεξη, την περιέργεια για τις επικοινωνίες «Vehicle to Everything» («V2X») και φυσικά με τις οδηγίες των επιβλεπόντων καθηγητών ολοκληρώθηκε η διπλωματική, η οποία ίσως να είναι και η μοναδική στην Ελληνική βιβλιογραφία που να περιέχει ένα τόσο εμπειριστατωμένο υλικό που να ανταποκρίνεται σε όλες τις πτυχές ενός δικτύου με επικοινωνία V2X.

Επίσης να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες για τον κ. Χοχλιούρο που πέραν από τις πολύτιμες συμβουλές και γνώσεις του, με βοήθησε και στη συντακτική διόρθωση της εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την ανάδειξη, τη διερεύνηση και την παρουσίαση της επικοινωνίας V2X (Vehicle to Everything). Η επικοινωνία V2X ανάλογα με τη σύνδεση που πραγματοποιεί το όχημα διακρίνεται σε επιμέρους κατηγορίες. Αυτές είναι: V2I (Vehicle to Infrastructure), V2N (Vehicle to Network), V2P (Vehicle to Pedestrian), V2V (Vehicle to Vehicle) και V2D (Vehicle to Device). Επίσης οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στην επικοινωνία των οχημάτων χωρίζονται ανάλογα με το κατά πόσο σχετίζονται με θέματα ασφάλειας ή όχι. Αυτή τη στιγμή η επικοινωνία V2X λειτουργεί με δύο βασικές τεχνολογίες, οι οποίες βασίζονται: α) στα πρότυπα των φορέων IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) και SAE (Society of Automotive Engineering) με ονομαζόμενη τεχνολογία DSRC (Distance Short Range Communication) για τις ΗΠΑ και αντίστοιχα σε συνεργασία με τους Οργανισμούς ETSI (European Telecommunications Standards Institute) και CEN (European Committee for Standardization) όπου έχει δημιουργηθεί το τεχνολογικό πρότυπο ITS-G5 (Intelligent Transport Systems –ραδιοσυχνότητας 5GHz) για την Ευρώπη, και β) στα πρότυπα της τεχνολογίας LTE (Long Term Evolution) του Οργανισμού 3GPP (the Third Generation Partnership Project) η οποία είναι κυψελοειδής τεχνολογία σε διεθνές επίπεδο. Η βελτίωση της οδικής ασφάλειας έχει ανάγκη από αξιόπιστη μεταφορά των μηνυμάτων ανάμεσα στα οχήματα και με ελάχιστη καθυστέρηση. Το βασικό πρότυπο IEEE 802.11p που χρησιμοποιείτο αρχικά δεν ικανοποιούσε αυτές τις απαιτήσεις και ως εκ τούτου έλαβε χώρα αναβάθμιση του πρότυπου σε IEEE802.11bd, το οποίο αξιοποιείται στα κυψελοειδή δίκτυα 4^{ης} γενιάς LTE, ως υβριδική τεχνολογία. Η κυψελοειδής τεχνολογία αξιοποίησε πλήρως την επικοινωνία V2X λόγω της καλύτερης συμβατότητας των τεχνολογιών, του καλύτερου χρόνου απόκρισης σε υψηλές ταχύτητες και της καλύτερης απόδοσης του δικτύου, σε συνολικότερο επίπεδο. Εντούτοις, λόγω των πολλών περιορισμών που αντιμετωπίζουν τα δίκτυα της 4^{ης} γενιάς, (όπως το υψηλό κόστος ανάπτυξης, η χαμηλή αξιοπιστία ή η αδυναμία αντιμετώπισης υψηλής κινητικότητας του δικτύου) οι φορείς τηλεπικοινωνίας και αυτοκινητοβιομηχανίας στράφηκαν προς τα δίκτυα της 5^{ης} γενιάς (5G). Δύο σημαντικά έργα της Ευρωπαϊκής Ένωσης που ασχοληθήκαν με την τεχνολογία 5G και την επικοινωνία V2X μέσω του χρηματοδοτικού ανταγωνιστικού προγράμματος καινοτομίας Horizon 2020 (H2020) είναι το 5G-DRIVE και το 5GCAR. Κάθε έργο έχει αναλύσει περιπτώσεις χρήσης και σενάρια για τις εφαρμογές V2X. Η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών όπως: Υπολογιστική Πολλαπλή Πρόσβαση στα Άκρα του δικτύου (Multi-Access Edge Computing –MEC), Φετοτεμαχισμός του Δικτύου (Network Slicing), τεχνολογίες υπολογιστικής νέφους (cloud computing) ή τεχνολογίες υπολογιστικής ομίχλης (fog computing), Εξυπηρετητές Πλέγματος και Ίδεατά Δίκτυα (Virtual Networks- VFs) έχουν δώσει στο επιστημονικό και διεθνές πεδίο (που ασχολείται με τις επικοινωνίες V2X) πολλαπλές δυνατότητες που ενσωματώνουν απαιτήσεις για πολύ υψηλή αξιοπιστία, χαμηλή καθυστέρηση και ενίσχυση της ασφάλειας του δικτύου. Κατά συνέπεια η αυτόνομη οδήγηση, η κίνηση των οχημάτων σε ομάδες και η πλήρης «αντίληψη» του οχήματος καθίσταται πλέον πραγματικότητα. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU), το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI), ο φορέας 3GPP και τα ερευνητικά προγράμματα 5GCAR και 5G-DRIVE έχουν δώσει το παρών τους με πρότυπα, τυποποιητικές δράσεις, και πραγματικά σενάρια με περιπτώσεις χρήσης για τα δίκτυα V2X. Όλα τα παραπάνω καθιστούν πλέον το όραμα της πλήρους αυτόνομης οδήγησης, του περιορισμού των οδικών ατυχημάτων και της μείωσης των ρύπων στο ελάχιστο, σε μία δυνατή και βιώσιμη πραγματικότητα.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνεται μία σύντομη ιστορική αναφορά και έπειτα επεξηγούνται οι κατηγορίες της επικοινωνίας V2X. Κάθε κατηγορία μπορεί να χρησιμοποιεί και διαφορετική Τεχνολογία Ραδιοπρόσβασης (RAT) ή διαφορετική διεπαφή της ίδιας ραδιοτεχνολογίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία παρουσίαση των εφαρμογών που χρησιμοποιεί η επικοινωνία V2X και αναφέρονται αντιπροσωπευτικά παραδείγματα. Επίσης, επεξηγούνται οι πιο σημαντικοί λόγοι χρήσης των εφαρμογών ασφάλειας και το πόσο είναι χρήσιμες σε ένα δίκτυο οχημάτων.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση σε τεχνικά θέματα που αφορούν στο στρώμα MAC (Ελέγχου Πρόσβασης Μέσων – Medium Access Control), στο Φυσικό στρώμα (Physical Layer - PHY) του δικτύου, και στους δυο βασικούς τύπους της επικοινωνίας V2X (ήτοι LTE-V2X και DSRC /ITS-G5). Αναλύονται τα πρότυπα, το εύρος ζώνης των καναλιών και οι διαφορές ή ομοιότητες μεταξύ τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται οι πιο σημαντικοί Οργανισμοί ανάπτυξης προτύπων, όπως το ETSI στην Ευρώπη, το ANSI στις ΗΠΑ και οι ITU, ISO και IEEE σε διεθνές επίπεδο. Επίσης, αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των προτύπων IEEE802.11p και IEEE802.11bd της επικοινωνίας V2X στο στρώμα MAC και στο Φυσικό στρώμα και αναλύονται οι περιορισμοί που θέτει η τεχνολογία V2X - DSRC όπως είναι το υψηλό κόστος επικοινωνίας, η χαμηλή αξιοπιστία ή τα θέματα ασφάλειας, και τελικά αναλύεται το πώς οδηγούμαστε προς της χρήση της τεχνολογίας C-V2X.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η κυψελοειδής τεχνολογία C-V2X, περιγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά στα δυο βασικά στρώματα (Φυσικό και MAC) και αναλύονται οι διεπαφές της τεχνολογίας για την επικοινωνία C-V2X καθώς και τα πλεονεκτήματά της.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στα δίκτυα 5^{ης} γενιάς και αναφέρεται η συμβολή τους στην επικοινωνία V2X. Αναφέρεται το εύρος ζώνης της τεχνολογίας σε διεθνές επίπεδο και γίνεται η ανάδειξη των πλεονεκτημάτων της συγκεκριμένης γενιάς όσον αφορά στην απόδοση του εύρους ζώνης, στην ενεργειακή απόδοση ή στη μέγιστη ταχύτητα του οχήματος. Επίσης, επεξηγούνται τα τεχνικά χαρακτηριστικά για τα δύο τελευταία στρώματα του δικτύου και γίνεται μία σύγκριση μεταξύ των τεχνολογιών LTE-V2X και 5G NR-V2X. Επιπλέον λαμβάνει χώρα μία επεξηγηματική προσέγγιση για ορισμένες καινοτόμες τεχνολογίες όπως η τεχνολογία των χιλιοστομετρικών κυμάτων (millimeter-waves) καθώς και για τις υπηρεσίες που υποστηρίζει ένα δίκτυο 5G NR (5G New Radio) όπως είναι η υπηρεσία που απαιτεί εξαιρετικά αξιόπιστη και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνία (URLLC – Ultra Reliable and Low Latency Communications).

Στο έβδομο κεφάλαιο αναλύονται η δομή του ερευνητικού προγράμματος 5GCAR, τα αντικείμενα με τα οποία αυτό ασχολήθηκε, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του δικτύου για την επικοινωνία V2X και οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει ένα δίκτυο V2X 5^{ης} γενιάς όσον αφορά στην ασφάλεια. Τέλος αναφέρονται τα νέα επιχειρηματικά μοντέλα που προτείνονται και γίνεται μία επισκόπηση της μελέτης που έχει υλοποιηθεί σχετικά, για το εύρος ζώνης 5G – V2X.

Στο όγδοο κεφάλαιο αναλύεται εν συντομία η τεχνολογία του τεμαχισμού του δικτύου (network slicing). Γίνεται αναφορά στο ερευνητικό πρόγραμμα 5G NORMA, καθώς αυτό έχει προτείνει μία ευέλικτη αρχιτεκτονική τεμαχισμού δικτύου από άκρο σε-άκρο (end-to-end, E2E). Έπειτα γίνεται μία παρουσίαση των τεχνολογικών χαρακτηριστικών του Δικτύου Ραδιοπρόσβασης και του Δικτύου Κορμού σε ένα τεμαχισμένο δίκτυο και παρουσιάζεται ένα υπόδειγμα σχετικής αρχιτεκτονικής 5G-V2X. Έπειτα, αναλύονται οι υπηρεσίες V2X και οι «φέτες» του τεμαχισμένου δικτύου καθώς επίσης και το πώς γίνεται η συνεργασία μεταξύ τους. Τέλος παρουσιάζεται ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα από το έργο 5GCAR αναφορικά με ένα τεμαχισμένο δίκτυο, με τους φορείς που συμμετέχουν σε αυτό.

Στο ένατο κεφάλαιο περιγράφεται η τεχνολογία Υπολογιστικής Πολλαπλής Πρόσβασης στα Άκρα (MEC) σε ένα δίκτυο V2X. Αναλύεται η αρχιτεκτονική δικτύου 5G και MEC και το ποιες υπηρεσίες έχουν όφελος από τη χρήση αυτής της τεχνολογίας. Επίσης αναφέρονται τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας, παρουσιάζεται η συνεργασία της τεχνολογίας του τεμαχισμού του δικτύου με την τεχνολογία MEC και τέλος αναφέρονται τα πιο σημαντικά ζητήματα όσον αφορά στην ασφάλεια στα άκρα του δικτύου.

Το δέκατο κεφάλαιο αφιερώνεται στη μελέτη για τις τεχνικές προδιαγραφές, τις συστάσεις, τις υπηρεσίες και τις απαιτήσεις που έχουν ορίσει οι φορείς-οργανισμοί τυποποίησης όπως οι ETSI, ITU, NGMN, EU DG MOVE και NHTSA για τις περιπτώσεις χρήσης V2X που έχουν δημιουργήσει και αναλύσει, κατά περίπτωση.

Στο ενδέκατο κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση των πέντε κατηγοριών των περιπτώσεων χρήσης του έργου 5GCAR και η παρουσίαση ενός αντιπροσωπευτικού παραδείγματος από κάθε κατηγορία όπως είναι η Συγχώνευση Λωρίδας (Συνεργατικός Ελιγμός), η εφαρμογή «Βλέπω - διαμέσου» (Συνεργατική Αντίληψη), η Προστασία Ευάλωτου Πεζού (Συνεργατική Ασφάλεια), η Απόκτηση

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Τοπικού Χάρτη Υψηλής Ανάλυσης (Αυτόνομη Πλοήγηση) και η Αυτόνομη Στάθμευση (Απομακρυσμένη Οδήγηση).

Καταλήγουμε με μία σύντομη εννοιολογική επισκόπηση ως επίλογο.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Δίκτυα επικοινωνιών υπολογιστών, Δίκτυα οχημάτων
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Δίκτυα επικοινωνιών, κινητές επικοινωνίες, δίκτυα 5^{ης} γενιάς, 5G, V2X

ABSTRACT

This thesis deals with the furtherance, investigation and presentation of V2X (Vehicle to Everything) communication. V2X communication is divided into categories depending on the connection made by the vehicle. These are: V2I (Vehicle to Infrastructure), V2N (Vehicle to Everything), V2P (Vehicle to Pedestrian), V2V (Vehicle to Vehicle) and V2D (Vehicle to Device). Also, the applications that are applied in the communication of vehicles are divided according to their relevance to safety issues or not. V2X communication currently operates on two “key technologies, which are based on: (i) the standards of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), SAE (Society of Automotive Engineering) with a technology called as DSRC (Distance Short Range Communication) for the USA, also with ETSI (European Telecommunications Standards Institute) and CEN (European Committee for Standardization) where the ITS-G5 (Intelligent Transport Systems – 5 GHz) technology standard for Europe has been created, and; (ii) the technology standards LTE (Long Term Evolution) of 3GPP which is a cellular technology Internationally. The improvement of road safety requires reliable transmission of messages between vehicles and with minimal latency. The basic IEEE 802.11p standard initially used, did not “meet” these requirements and the standard was upgraded to IEEE802.11bd, which is used in 4G LTE cellular networks as a hybrid technology. But cellular technology has taken full advantage of V2X communication due to better technology compatibility, better response times at high speeds and better network performance. However, due to the many limitations faced by the 4th generation networks (such as high development costs, low reliability or the inability to cope with high mobility of the network), telecommunications and automotive companies turned to the 5th generation networks. Two major European Union projects dealing with 5G technology and V2X communication through the Horizon 2020 innovation program are 5G-DRIVE and 5GCAR. Each project has analyzed dedicated Use Cases and scenarios for V2X applications. The integration of technologies: Multi-Access Edge Computing (MEC), Network Slicing, Cloud / Fog, Grid Servers and Virtual Networks (VFs) have given to the scientific members (dealing with V2X communications) technology features that incorporate the requirements of very high reliability, low latency, network security and now autonomous driving, platooning and complete perception of the vehicle become a reality. The International Telecommunication Union (ITU), the European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 3GPP and the 5GCAR, 5G-DRIVE research projects have come up with standards, standardization-related actions and real-world use scenarios for V2X networks that make vision of the autonomous driving, zeroing in on accidents and reducing emissions to a minimum.

More specifically, in the first chapter of the thesis a brief historical overview is made and then the categories of V2X communication are explained. Each category may also use a different Radio Access Technology (RAT) or a different interface of the same radio technology.

The second chapter provides an overview of the applications used by V2X communication and provides some representative examples. It also explains the most important reasons for using security applications and how useful these are in a vehicle network.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

The third chapter analyzes technical issues concerning the MAC layer and the PHY layer in the two basic types of V2X communication, which is LTE-V2X and DSRC/ITS-G5. The standards, the bandwidth of the channels and the differences – or similarities – between them are also discussed.

The fourth chapter lists the most important Standards Development Organizations (SDOs), such as the ETSI in Europe, the ANSI in the USA and the ITU, the ISO and the IEEE at international level. Also, the technical characteristics of the IEEE802.11p and IEEE802.11bd standards of V2X communication in the MAC and in the PHY layers are analyzed together with limitations of V2X - DSRC technology such as high communication cost, low reliability or security issues, as we finally get towards implementing C-V2X technology.

The fifth chapter presents the C-V2X cellular technology; here we describe the technical characteristics of the two basic layers (PHY and MAC) and analyze the interfaces of the C-V2X communication technology as well as its advantages.

The sixth chapter introduces the 5th generation (5G) networks and discusses their contribution to the context of V2X communication. The bandwidth of the technology at international level is reported and we also highlight the 5G advantages in terms of bandwidth performance, energy efficiency or maximum vehicle speed. The technical characteristics of the last two layers of the network are explained and a comparison is made between LTE-V2X and 5G NR-V2X technologies. In addition we provide an explanation of innovative technologies (such as millimeter-waves technology) and services supporting a 5G NR network (such as Ultra-highly Reliable and Low Latency Communications - URLLC).

The seventh chapter analyzes the structure of the 5GCAR research project, its fundamental objectives and the proposed network architecture for V2X communication together with security challenges for a 5G V2X network based on that project's context. We also refer to new business models proposed by this a project and we make a reference to the project's study that has been realised for the 5G-V2X bandwidth.

The eighth chapter briefly analyzes the technology of network slicing. Reference is made to the 5G NORMA EU-funded research project, as it proposes a flexible end-to-end network slicing architecture. Then we present the technological features of the Radio Access Network and of the Core Network in a network slicing system and a model of 5G-V2X architecture is presented. Following to the above, the V2X services and the slices of the network slicing are analyzed. Finally, a representative example coming from the scope of the 5GCAR EU-funded research is presented.

The ninth chapter describes the Multiple - Access Edge Computing (MEC) technology in a V2X network. The 5G and MEC network architecture are analyzed and we also discuss services that can have benefit from this technology. We assess potential advantages as well as the cooperation of the network slicing technology with the MEC technology. We also focus on the most important issues regarding security at the Edge Network.

The tenth chapter is dedicated to the study of the technical specifications, recommendations, services and requirements set by the standard organizations in a wider context, so that to include ETSI, ITU, NGMN, EU DG MOVE and NHTSA for the V2X Use Cases.

The eleventh chapter analyzes the five categories of Use Cases coming from the 5GCAR project and presents a representative example from each separate category such as Lane Merge (Cooperative Maneuver), See-through (Cooperative Perception), Vulnerable Pedestrian Protection (Cooperative Security), High definition local map acquisition (Autonomous Navigation) and Automated Parking (Remote Driving).

We conclude with a short conceptual overview as an epilogue.

SCIENTIFIC AREA: Computer Communication Networks, Vehicle Networks

KEY WORDS: Communication networks, mobile communications, 5G networks, V2X

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	23
1.1 Ιστορική αναδρομή	23
1.2 Επικοινωνία V2X	23
1.3 Επικοινωνία οχήματος με δίκτυο (V2N).....	24
1.4 Επικοινωνία οχήματος με υποδομή (V2I)	24
1.5 Επικοινωνία οχήματος με όχημα (V2V)	24
1.6 Επικοινωνία οχήματος με πεζό (V2P)	24
1.7 Επικοινωνία οχήματος με συσκευή (V2D)	24
2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ V2X	26
2.1 Εφαρμογές ασφάλειας.....	26
2.1 Εφαρμογές μη σχετιζόμενες με την ασφάλεια	28
3. ΤΥΠΟΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ V2X	29
3.1 Επικοινωνία DSRC	29
3.1.1 Κανάλια επικοινωνίας DSRC	32
3.2 Επικοινωνία ITS-G5	33
3.2.1 Κανάλια επικοινωνίας ITS-G5	37
3.3 Επικοινωνία LTE-V2X.....	39
3.3.1 Τεχνολογία LTE.....	39
3.3.2 Τεχνολογία LTE-V2X (Έκδοση 14).....	41
3.4 Αρχιτεκτονική της επικοινωνίας LTE- V2X.....	43
4. ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	45
4.1 Ευρώπη	46
4.2 Η.Π.Α.	47
4.3 Διεθνές επίπεδο	47
4.4 IEEE 802.11p.....	49
4.5 IEEE 802.11 bd.....	50
4.5.1 Απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί το πρότυπο IEEE802.11bd.....	50
4.5.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του IEEE 802.11 bd στο Φυσικό Στρώμα (PHY).....	51
4.5.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά του IEEE 802.11bd στο Στρώμα MAC.....	54
4.6 Περιορισμοί στην Τεχνολογία V2X – DSRC	56
5. Η ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ V2X	58
5.1 Η εξέλιξη της τεχνολογίας C-V2X	58
5.2 Διεπαφές της επικοινωνίας κυψελοειδούς δικτύου V2X	59
5.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά δικτύου C-V2X στο Φυσικό στρώμα (PHY)	60
5.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά δικτύου C-V2X στο στρώμα MAC	61

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

5.5 Πλεονεκτήματα του κυψελοειδούς δικτύου C-V2X.....	64
5.5.1 Απόδοση δικτύου.....	64
5.5.2 Συμβατότητα.....	65
5.5.3 Χαμηλός χρόνος απόκρισης και υψηλές ταχύτητες.....	65
5.5.4 Εξελιγμένος συγχρονισμός δικτύου.....	65
6. ΔΙΚΤΥΑ 5^{ΗΞ} ΓΕΝΙΑΣ NR-V2X.....	66
6.1 Το Εύρος Ζώνης 5G.....	67
6.2 Η εξέλιξη του 5G NR-V2X από LTE-V2X (4G).....	68
6.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά του 5G NR στο Φυσικό στρώμα (PHY).....	70
6.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά του 5G NR στο στρώμα MAC.....	72
6.5 Καταστάσεις Λειτουργίας του δικτύου 5G NR.....	75
6.5 Τι υποστηρίζει η τεχνολογία New Radio 5G V2X.....	78
6.5.1 Εξελιγμένη ασύρματη επικοινωνία.....	78
6.5.2 Εξελιγμένες υπηρεσίες.....	79
7. ΤΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ 5GCAR.....	81
7.1 Η Δομή του Προγράμματος 5GCAR.....	82
7.2 Αρχιτεκτονική τεχνολογίας 5G-V2X.....	84
7.3 Επιχειρηματικά μοντέλα.....	88
7.4 Ανάλυση του Εύρους Ζώνης.....	88
8. ΤΕΜΑΧΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 5^{ΗΞ} ΓΕΝΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ V2X.....	91
8.1 Ταχεία Επισκόπηση.....	91
8.2 Η Αρχιτεκτονική δικτύου του έργου 5G NORMA.....	95
8.2.1 Ο Τεμαχισμός του Δικτύου.....	96
8.2.2 Δικτυακός Προγραμματισμός σε δίκτυα 5 ^{ης} γενιάς.....	97
8.3 Τεμαχισμός του Δικτύου για επικοινωνίες 5G-V2X.....	99
8.3.1 Τεμαχισμός του Δικτύου Ραδιοπρόσβασης.....	99
8.3.2 Τεμαχισμός του Δικτύου Κορμού.....	101
8.4 Παράδειγμα Αρχιτεκτονικής Τεμαχισμένου Δικτύου για επικοινωνίες V2X.....	103
8.5 Τύποι «Δικτυακών φετών».....	105
8.6 «Φέτες» βασισμένες σε δίκτυο 5 ^{ης} γενιάς V2X.....	106
8.7 Παράδειγμα διαμόρφωσης Τεμαχισμένου Δικτύου 5G-V2X.....	108
9. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΣΤΑ ΑΚΡΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ V2X.....	110
9.1 Τεχνικές Βελτιώσεις – Συστάσεις για MEC.....	110
9.2 Υπολογιστική στα Άκρα σε δίκτυα 5 ^{ης} γενιάς.....	111
9.3 Αρχιτεκτονική 5G & MEC.....	112
9.4 Δίκτυο C-V2X & MEC.....	114
9.5 Πλεονεκτήματα της αρχιτεκτονικής MEC.....	116
9.6 Τεμαχισμός του Δικτύου και MEC.....	117

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

9.7 Η Ασφάλεια σε ένα Δίκτυο 5G και MEC-V2X	118
10. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΧΡΗΣΗΣ V2X	120
10.1 Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU).....	120
10.2 Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI).....	123
10.2.1 ETSI TC ITS - Τεχνικές προδιαγραφές Έκδοσης 1	124
10.2.2 ETSI TC ITS- Τεχνικές προδιαγραφές Έκδοσης 2:	124
10.3 Συνεταιριστικό Έργο 3ης Γενιάς (3GPP)	126
10.3.1 3GPP – Τεχνικές Προδιαγραφές Έκδοσης 14	126
10.3.2 3GPP- Τεχνικές Προδιαγραφές Έκδοσης 15	128
10.3.3 3GPP- Τεχνικές Προδιαγραφές Έκδοσης 16.....	129
10.4 Συμμαχία Κινητών Δικτύων Επόμενης Γενιάς (NGMN Alliance)	132
10.5 Γενική Διεύθυνση Κινητικότητας και Μεταφορών της ΕΕ (EU DG MOVE)	133
10.6 Εθνική Αρχή Οδικής Ασφάλειας (NHTSA)	134
11. ΣΕΝΑΡΙΑ 5GCAR ΚΑΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ	137
11.1 Αξιολόγηση Σεναρίου.....	137
11.2 Ανάλυση Κατηγοριών Περιπτώσεων Χρήσης	138
11.3 Ανάλυση Περιπτώσεων Χρήσης.....	140
11.3.1 Συγχώνευση Λωρίδας	141
11.3.2 Βλέπω διαμέσου	142
11.3.3 Προστασία Ευάλωτου πεζού	143
11.3.4 Απόκτηση τοπικού χάρτη Πλοήγησης υψηλής ανάλυσης	144
11.3.5 Αυτόνομη Στάθμευση	146
Αντί Επιλόγου	148
Βιβλιογραφία:	149

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Κατηγορίες επικοινωνίας V2X.....	25
Σχήμα 2. Αρχιτεκτονική επικοινωνίας δικτύου V2X.....	27
Σχήμα 3. Σχέση μεταξύ των προτύπων που υποστηρίζει το WAVE.....	31
Σχήμα 4. Καθορισμός Πρωτοκόλλων- Τυποποιήσεων - DSCR στις ΗΠΑ.....	31
Σχήμα 5. Καθορισμός Πρωτοκόλλων- Τυποποιήσεων – C-ITS στην Ευρώπη.....	35
Σχήμα 6. Αρχιτεκτονική δικτύου τεχνολογίας LTE Έκδ.12 - D2D.....	40
Σχήμα 7. Λειτουργίες 3 και 4 της διεπαφής PC5 ενός δικτύου C-V2X.....	42
Σχήμα 8. Διεπαφές Uu και PC5 στην επικοινωνία LTE V2X.....	43
Σχήμα 9. Αρχιτεκτονική LTE για V2X επικοινωνίες από την 3GPP.....	43
Σχήμα 10. Η εξέλιξη της κυψελοειδούς τεχνολογίας C-V2X.....	58
Σχήμα 11. Διαμόρφωση Χρονικού Πλαισίου και Χρονοθυρίδας.....	61
Σχήμα 12. Αλγόριθμος Semi-Persistent Scheduling.....	63
Σχήμα 13. Εύρος Ζώνης IMT-2020.....	67
Σχήμα 14. Η εξέλιξη της 3GPP σε 5G NR-V2X.....	68
Σχήμα 15. Αποδόσεις IMT: IMT-Advanced και IMT-2020.....	69
Σχήμα 16. Τύποι Επικοινωνίας NR - V2X.....	73
Σχήμα 17. Παράδειγμα Μεταβλητότητας χρονικού πλαισίου 5G-NR.....	74
Σχήμα 18. Παραδείγματα Προσαρμοσμένων υποπλαισίων 5G NR.....	75
Σχήμα 19. Αυτόνομη λειτουργία σε δίκτυο 5G NR.....	76
Σχήμα 20. Μη Αυτόνομη λειτουργία σε δίκτυο 5G.....	76
Σχήμα 21. Αρχιτεκτονική από άκρο σε άκρο επικοινωνίας 5G-V2X.....	84
Σχήμα 22. Διαδικασίες και αντιστοίχιση σε τομείς του δικτύου.....	87
Σχήμα 23. Ανάλυση εύρους ζώνης σε διάφορες περιοχές του κόσμου.....	89
Σχήμα 24. Ανάλυση Εύρους ζώνης με βάση τη ζώνη συχνότητας.....	90
Σχήμα 25. Η βασική δομή του Τεμαχισμού του Δικτύου σε τεχνολογία 5 ^{ης} γενιάς.....	92
Σχήμα 26. Παροχή Υπηρεσιών από Παρόχους και Μισθωτές σε ένα κάθετο πολυεπίπεδο ιδεατό δίκτυο.....	94
Σχήμα 27. Η σχεδίαση της ιδέας για την αρχιτεκτονική του προγράμματος 5G NORMA.....	96
Σχήμα 28. Παράδειγμα δικτυακού προγραμματισμού στο πρόγραμμα 5G NORMA.....	97
Σχήμα 29. Οδηγός Υπηρεσιών για δίκτυα 5ης γενιάς.....	98
Σχήμα 30. Οι Επιλογές του τεμαχισμού του Δικτύου Ραδιοπρόσβασης με βάση το πρόγραμμα 5GCAR.....	100
Σχήμα 31. Δομή Τεμαχισμένου δικτύου 5G-V2X.....	102
Σχήμα 32. Αρχιτεκτονική Δικτύου V2X με τεμαχισμό (πρόγραμμα 5G NORMA).....	104
Σχήμα 33. Τύποι «Δικτυακών Φετών».....	105
Σχήμα 34. «Φέτες» τεμαχισμένου δικτύου βασισμένες στις Υπηρεσίες V2X.....	107
Σχήμα 35. Παράδειγμα διαμόρφωσης ενός τεμαχισμένου δικτύου V2X.....	108
Σχήμα 36. Αρχιτεκτονική Υπηρεσιών Δικτύου 5ης γενιάς.....	112
Σχήμα 37. Αρχιτεκτονική Συστήματος MEC.....	114
Σχήμα 38. Προτεινόμενη αρχιτεκτονική MEC.....	115
Σχήμα 39. Παράδειγμα Υπηρεσιών επικοινωνίας V2X σε αρχιτεκτονική MEC.....	117
Σχήμα 40. Τεμαχισμένο Δίκτυο με αρχιτεκτονική MEC.....	118
Σχήμα 41. Υπηρεσία ασφάλειας V2X δια μέσου του διακομιστή Οδικής Ασφάλειας.....	128
Σχήμα 42. Περίπτωση Χρήσης : Ασφάλεια Ευάλωτου Χρήστη (VRU).....	130
Σχήμα 43. Προσέγγιση της αξιολόγησης ενός σεναρίου 5GCAR.....	138
Σχήμα 44. Η περίπτωση χρήσης Συγχώνευση Λωρίδας.....	141
Σχήμα 45. Η περίπτωση χρήσης Βλέπω διαμέσου.....	142

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Σχήμα 46. Η περίπτωση χρήσης Προστασία Ευάλωτου πεζού με τη βοήθεια παρόχου τηλεπικοινωνίας	143
Σχήμα 47. Η περίπτωση χρήσης Απόκτηση Τοπικού Χάρτη Υψηλής Ακρίβειας	145
Σχήμα 48. Η περίπτωση χρήσης της Αυτόνομης Στάθμευσης	146

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Εφαρμογές Ασφάλειας	27
Πίνακας 2. Καθορισμός Εύρους Ζωνών και Εφαρμογών με DSCR στις ΗΠΑ	33
Πίνακας 3. Καθορισμός Εύρους Ζωνών και Εφαρμογών στην Ευρώπη	38
Πίνακας 4. Σύγκριση τεχνολογιών μεταξύ DSCR και Cellular για δίκτυα V2X	44
Πίνακας 5. Οργανισμοί Ανάπτυξης Προτύπων στο ITS (Εθνικοί και Διεθνείς)	45
Πίνακας 6. Βασικές διαφορές μεταξύ 802.11p και 802.11bd.....	55
Πίνακας 7. Αριθμός χρονικού πλαισίου ανά υποπλαίσιο (sub frame).....	73
Πίνακας 8. Σύγκριση μεταξύ C-V2X και 5G NR-V2X	77
Πίνακας 9. Περιπτώσεις χρήσης ITU-R	122
Πίνακας 10. Περιπτώσεις χρήσης και εφαρμογών V2X – ETSI	125
Πίνακας 11. Απαιτήσεις των περιπτώσεων χρήσης V2X- 3GPP.....	127
Πίνακας 12. Λίστα με τις περιπτώσεις χρήσης (Έκδοση 15-16).....	131
Πίνακας 13. Απαιτήσεις Εμπειρίας χρήστη – «Κινητή Ευρυζωνική μετάδοση σε οχήματα» – NGMN	132
Πίνακας 14. Απαιτήσεις Απόδοσης του συστήματος – «Κινητή Ευρυζωνική μετάδοση σε οχήματα» – NGMN	132
Πίνακας 15. Απαιτήσεις Εμπειρίας χρήστη - «Υψηλή αξιοπιστία και πολύ χαμηλή καθυστέρηση» – NGMN	133
Πίνακας 16. Περιπτώσεις χρήσης «Ημέρα Ένα V2X»	134
Πίνακας 17. Σενάρια Ασφάλειας βασισμένα στη τεχνολογία DSRC	135

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

2G	The Second Generation of Mobile Communications
3G	The Third Generation of Mobile Communications
3GPP	The 3 rd Generation Partnership Project
3GPP2	The 3 rd Generation Partnership Project 2
4G	The Fourth Generation of Mobile Communications
5G	The Fifth Generation of Mobile Communications
5GAA	5G-Automotive Association
5GC	5G Core
5G NORMA	5G Novel Radio Multiservice adaptive network Architecture
ABS	Antilock Braking System
ACK/NACK	ACKnowledgment / Negative ACKnowledgment
AF	Application Function
ANSI	American National Standards Institute
AP	Access Point
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ARQ	Automatic Repeat Request
AS	Application Server
ASN.1	Abstract Syntax Notation One
ASTM	American Society for Testing and Materials International
AU	Application Unit
AUSF	Authentication Server Function
BBU	Baseband Unit
BCC	Binary Convolution Code
BCG	Broadband Content Guide
BE	Best-Effort
BER	Block Error Rate
BK	Background
BLER	Block Error Rate
BS/LCW	Blind Spot/Lane Change Warning
BSM	Basic Safety Message
BSS	Basic Service Set
BTS	Basic Transport Protocol
C2C-CC	Car2Car Communication Consortium
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport Systems
C-RAN	Cloud RAN
CA	Carrier Aggregation
CALM	Communications Access for Land Mobiles
CAM	Cooperative Awareness Message
CAMF	Core Access and Mobility Management Function
CAMP	Crash Avoidance Metrics Partnership
CAV	Connected and Automated Vehicles
CBP	Channel Busy Percentage
CCH	Control CHannel
CEN	European Committee for Standardization
CENELEC	European Committee for Electro-technical Standardization

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

CERT	Computer Emergency Response Team
CN	Core Network
CP	Cyclic Prefix
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance
CSMA / CD	Carrier Sense Multiple Access / Collision Detect
D-SDNC	Dedicated- SDN Controller
D2D	Device-to-Device
DC	Data Center
DCC	Decentralized Congestion Control
DCC	Distributed Congestion Control
DCM	Dual Carrier Modulation
DECC	Dedicated Error Correction Packet
DEN	Decentralized Environmental Notification
DENM	Decentralized Environmental Notification Message
DG MOVE	Directorate-General for Mobility and Transport
DMRS	Demodulation Reference Signal
DN	Data Network
DNPW	Do Not Pass Warning
DSRC	Dedicated Short Range Communication
DVB	Digital Video Broadcasting
E2E	End-To-End
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Access Network
EC	European Commission
ECC	European Electronic Communication Committee
ECC	Elliptic-Curve Cryptography
ECDSA	Elliptic Curve Digital Signature Algorithm
EDCA	Enhanced Distributed Channel Access
EEBL	Emergency Electronic Brake Light
EEC	European Communication Committee
eMBB	enhanced Mobile Broadband
eMBMS	evolved Multimedia Broadcast and Multicast Service
EN	European Norm
eNB	eNodeB
EPC	Evolved Packet Core
ESC	Electronic Stability Control
ESO	European Standards Organization
ESP	Electronic Stability Program
ETC	Electronic Toll Collection
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communication Commission
FCW	Forward Collision Warning
FDD	Frequency Division Duplex
FEC	Forward Error Correction
GN	GeoNetworking
GN6	GeoNetworking to IPv6
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HSS	Home Subscriber System
HT	Hotspot

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

IaaS	Infrastructure as a Service
ICRW	Intersection Collision Risk Warning
ICT	Information and Communication Technology
ID, id	Identifier
IEC	International Electro technical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IMA	Intersection Movement Assist
IMT	International Mobile Telecommunications
InP	Infrastructure network Provider
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IPv6	Internet Protocol version 6
ISO	International Organization for Standardization
ITS	Intelligent Transport System
ITU	International Telecommunication Union
ITU-R	ITU Radio-communication Sector
IVC	Inter-Vehicle Communication
IVI	In-Vehicle Information
IVS	In-Vehicle signage
JISC	Japanese Industrial Standards Committee
KATS	Korean Agency for Technology and Standards
KPI	Key Performance Indicator
LCRW	Longitudinal Collision Risk Warning
LCS	Location Service
LDM	Local Dynamic Map
LDPC	Low-Density Parity Check
LiDAR	Light Detection And Ranging
LoS	Line of Sight
LTA	Left Turn Assist
LTE	Long Term Evolution
LTE-V2X	Long Term Evolution for Vehicle to Everything
MAC	Medium Access Control
MANO	Management and Orchestration
MAP	Map Data
MBB	Mobile Broadband
MCS	Modulation and Coding Scheme
MEC	Mobile Edge Computing
MEC	Multi-access Edge Computing
MIH	Media Independent Handover
MIMO	Multi-Input Multi-Output
MIP	Mobile IP
MME	Mobility Management Entity
mMTC	massive Machine-Type Communications
MNO	Mobile Network Operator
MU-MIMO	Multi-User MIMO
MVEDR	Motor Vehicle Event Data Recorder
NEF	Network Exposure Function
NF	Network Function
NFV	Network Function Virtualization

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

NGMN	Next Generation Mobile Networks
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
NLOS	Non-Line-of-Sight
NR	New Radio
NRF	Network function Repository Function
NSSF	Network Slice Slection Function
NTCIP	International and National Transportation Communications for ITS Protocol
NWDAF	Network Data Analytics Function
OBU	On-Board Unit
OBD	On-Board Diagnostics
OCB	Outside Context of a Basic Service Set
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access
ONF	Open Network Foundation
P-GW	Packet Data Network Gateway
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PCF	Policy Control Function
PCRF	Policy and Charging Rule Function
PDA	personal Digital Assistant
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PER	Packet Error Rate
PHY	Physical layer
PKI	Public Key Infrastructure
PLMN	Public Land Mobile Network
PoA	Point of Attachment
PRB	Physical Resource Block
ProSe	Proximity Service
PSBCH	Physical Sidelink Broadcast Channel
PSCCH	Physical Sidelink Control Channel
PSFCH	Physical Sidelink Feedback Channel
PSSCH	Physical Sidelink Shared Channel
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RB	Resource Block
RC	Reselection Counter
RE	Resource Element
RHS	Road Hazard Signaling
RHW	Road Hazard Warning
RLAN	Radio Local Area Network
RLC	Radio Link Control
RRH	Remote Radio Head
RRI	Resource Reservation Interval
RS	Reed Solomon
RSRP	Reference Signal Received Power
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RSU	Road Side Unit

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

S-GW	Serving Gateway
S-SDNC	Shared- SDN Controller
SAE	Society of Automotive Engineers International
SB-SPS	Sensing-Based Semi-Persistent Scheduling
SBA	Service Based Architecture
SC	Single-Carrier
SC-FDMA	Single-Carrier Frequency Domain Multiple Access
SCH	Service CHannel
SDMC	SW-Defined Mobile Network Control
SDN	Software Defined Networking
SDO	Standard Development Organization
SDO	Software Defined Orchestrator
SIFS	Short Inter Frame Space
SLSS	Sidelink Synchronization Signal
SMF	Session Management Function
SNR	Signal to Noise Ratio
SON	Self- Organising Network
SPAT	Signal Phase and Timing
SRM	Signal Request Message
SSM	Signal Status Message
STBC	Space Time Block Coding
SUPRA	Stateful Utilization-based Power Adaptation
SW	Software
TB	Transmit Block
TC	Technical Committee
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TIAA	Telematics Industry Application Alliance
TS	Technical Specification
TTA	Telecommunication Technology Association
TTI	Transmission Time Interval
TWT	Target Wake Time
UDM	Unified Data Management
UDP	User Datagram Protocol
UE	User Equipment
UPF	User Plane Function
URLLC	Ultra-Reliable Low-Latency Communications
USDOT	U.S. Department of Transportation
UTRAN	Universal Terrestrial Access Network
V2X	Vehicle to Everything
V2D	Vehicle to Device
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2N	Vehicle to Network
V2P	Vehicle to Pedestrian
V2V	Vehicle to Vehicle
VANET	Vehicular Adhoc NETwork
VI	Video
VLC	Visible Light Communication
VM	Virtual Machine
VNF	Virtual Network Function

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

VO	Voice
WAN	Wide Area Network
WAP	Wireless Access Point
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments
WHO	World Health Organization
Wifi, Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WRC	World Radio- communication Conference
WSMP	WAVE Short Message Protocol
WWW, www	World Wide Web

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται το τι ακριβώς σημαίνει «επικοινωνία V2X» και γίνεται μία σύντομη αναφορά στην ιστορία της επικοινωνίας των οχημάτων. Επίσης, αναφέρονται ποιες είναι οι επιμέρους κατηγορίες της επικοινωνίας τύπου V2X. Ακόμα, επισημαίνεται ποιος είναι ο σκοπός της επικοινωνίας V2X και για ποιους λόγους είναι σημαντική μία επικοινωνία οχημάτων που υποστηρίζει τεχνολογία V2X.

1.1 Ιστορική αναδρομή

Η ιστορία της επικοινωνίας μεταξύ των οχημάτων ξεκίνησε αρκετά χρόνια πριν. Συγκεκριμένα, παρουσιάστηκε για πρώτη φορά με τη βοήθεια της επικοινωνίας και του ελέγχου ένα μοντέλο αυτοματοποίησης κεντρικών οδών στη Διεθνή Έκθεση Futurama της Νέας Υόρκης το 1939. Το πρότυπο, τελικά, μοντέλο, υλοποιήθηκε από την General Motor Corporation το 1960. Το μοντέλο στηριζόταν σε τέσσερις βασικούς πυλώνες ήτοι: την ασφάλεια, την αποδοτικότητα, την ευκολία οδήγησης και την ταχύτητα [1].

1.2 Επικοινωνία V2X

Η επικοινωνία V2X είναι μία συλλογή από τεχνολογίες δικτύων, οχημάτων, τηλεπικοινωνιών και αισθητήρων με καινοτόμες μεθόδους. Ένα δίκτυο V2X τελικά συνδέει ένα όχημα ή ένα μέσο μεταφοράς με οτιδήποτε. Αυτό το «οτιδήποτε» μπορεί να είναι σταθερές κεραιές κινητής τηλεφωνίας, έξυπνα φανάρια, ένας κόμβος διακομιστής σε δίκτυο υπολογιστικής νέφους ή ομίχλης¹, το Διαδίκτυο, ένα άλλο όχημα, ένα μέσο μεταφοράς ή ακόμη και κάποιος πεζός [1]. Η ιδέα του V2X χρησιμοποιεί την τελευταία γενιά πληροφορίας και επικοινωνίας της τεχνολογίας για να επιτύχει πανκατευθυντική δικτυακή σύνδεση. Ο σκοπός του δικτύου V2X δεν είναι μόνο να υποστηρίζει τα οχήματα και τα αντικείμενα ώστε να επικοινωνούν μεταξύ τους προωθώντας την καινοτομία και την εξέλιξη των εφαρμογών της αυτόνομης οδήγησης, αλλά ταυτόχρονα συνεισφέρει ουσιαστικά στη δημιουργία ενός «έξυπνου» κυκλοφοριακού συστήματος με νέες εφαρμογές και υπηρεσίες που συμβάλουν στην ασφάλεια των πεζών και των οδηγών/ συνοδηγών, στην αποτελεσματικότερη διαχείριση της κίνησης στους δρόμους και γενικά στη δημιουργία μίας «έξυπνης» πόλης. Η επικοινωνία V2X δεν δημιουργεί μόνο ένα πιο βολικό και ασφαλές περιβάλλον, αλλά επιπλέον συμβάλλει στη βελτίωση της καθημερινής κίνησης στους δρόμους, στη μείωση των τροχαίων ατυχημάτων, στη μείωση της κατανάλωσης των καυσίμων και κατά συνέπεια στη μείωση της μόλυνσης του περιβάλλοντος.

Η επικοινωνία V2X χωρίζεται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Επικοινωνία οχήματος με δίκτυο (Vehicle-to-Network (V2N))**
- **Επικοινωνία οχήματος με Υποδομή (Vehicle-to-Infrastructure (V2I))**
- **Επικοινωνία οχήματος με όχημα (Vehicle-to-Vehicle (V2V))**
- **Επικοινωνία οχήματος με πεζό (Vehicle-to-Pedestrian (V2P))**
- **Επικοινωνία οχήματος με συσκευή (Vehicle-to-Device (V2D))**

¹ Απόδοση των όρων “cloud computing” και “fog computing”. Η υπολογιστική νέφους είναι η διάθεση υπολογιστικών πόρων μέσω του Διαδικτύου (π.χ. Servers, apps, κτλ.), από κεντρικά συστήματα που βρίσκονται απομακρυσμένα από τον τελικό χρήστη, τα οποία τον εξυπηρετούν αυτοματοποιώντας διαδικασίες, παρέχοντας ευκολίες και ευελιξία σύνδεσης. Η υπολογιστική ομίχλης είναι μία μορφή αρχιτεκτονικής η οποία χρησιμοποιεί συσκευές στα άκρα του δικτύου για το υπολογισμό ενός κατάλληλου συνόλου δράσεων υπολογισμού, αποθήκευσης πληροφορίας και τοπικής επικοινωνίας και που δρομολογείται στο βασικό κορμό του Διαδικτύου.

1.3 Επικοινωνία οχήματος με δίκτυο (V2N)

Είναι η επικοινωνία που λαμβάνει μέρος μεταξύ του οχήματος και του δικτύου, δηλαδή η επικοινωνία μέσα από μία αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων. Το δίκτυο μπορεί να περιέχει τεχνολογία δικτύωσης νέφους (Cloud Networking), τεχνολογία δικτύωσης ομίχλης (Fog Networking), δίκτυα πλέγματος (Grid Networks) και κέντρα δεδομένων (Data Centers). Η υποδομή του δικτύου μπορεί να περιέχει σημεία αναμετάδοσης σήματος (Hotspots) και κυψελοειδείς σταθμούς βάσης.

1.4 Επικοινωνία οχήματος με υποδομή (V2I)

Είναι η επικοινωνία που καθορίζεται από τη σύνδεση μεταξύ ενός οχήματος και των υποδομών παρακείμενου δικτύου. Μία υποδομή δικτύου μπορεί να περιέχει στοιχεία μονάδων τοποθετημένων στην άκρη του οδοστρώματος που ονομάζονται Παρόδιες Μονάδες (Road Side Units - RSUs) και μπορεί να είναι κάμερες, έξυπνα φανάρια, οδικά σήματα, παρκόμετρα, κτλ. Ένα Νοήμον Σύστημα Μεταφορών (Intelligent Transportation System - ITS) μεταφέρει πληροφορίες όπως το όριο της ταχύτητας, οι καιρικές συνθήκες ή η ενημέρωση σχετικά με ατυχήματα από τους αισθητήρες των υποδομών του δικτύου μέσω της επικοινωνίας V2I [2]. Επίσης τα πρότυπα των υποδομών του δικτύου καθορίζονται από τους κατασκευαστές σε συνεργασία με όλους τους αρμόδιους φορείς.

1.5 Επικοινωνία οχήματος με όχημα (V2V)

Είναι η επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων, η οποία βασίζεται σε ζώνες συχνοτήτων για συσκευές μικρής εμβέλειας όπως στην περίπτωση της επικοινωνίας V2I. Επίσης ενίοτε καλείται και με χρήση του αγγλικού όρου “Vehicular Adhoc Network” (VANET), ενώ ονομάζεται και “Inter-Vehicle Communication” (IVC) όταν η ασύρματη σύνδεση γίνεται μεταξύ της εσωτερικής μονάδας του αυτοκινήτου (On Board Unit -OBU) και της μονάδας επικοινωνίας που βρίσκεται στην άκρη του οδοστρώματος, δηλαδή με μία παρόδια μονάδα (RSU) [3]. Εάν δύο οχήματα βρίσκονται κοντά, τότε αυτά επικοινωνούν απευθείας σε πραγματικό χρόνο, αλλιώς χρησιμοποιούν τα γειτονικά οχήματα ως κόμβους για να προωθήσουν τα δεδομένα τους [1].

1.6 Επικοινωνία οχήματος με πεζό (V2P)

Είναι η επικοινωνία η οποία επιτρέπει τη σύνδεση μεταξύ ενός οχήματος με κάποιον πεζό, ο οποίος μπορεί να έχει κάποιον αισθητήρα επικοινωνίας στο κινητό του ή σε κάποια άλλη έξυπνη συσκευή (όπως π.χ. ένα ρολόι). Η επικοινωνία με πεζούς που δεν διαθέτουν συσκευή επικοινωνίας γίνεται από το όχημα με αισθητήρες που διαθέτουν τεχνολογίες LiDAR² (Light Detection And Ranging), με VLC³ (Visible Light Communication) καθώς επίσης με ραντάρ και κάμερες 360°.

1.7 Επικοινωνία οχήματος με συσκευή (V2D)

Είναι η σύνδεση μεταξύ ενός οχήματος με κάποια ηλεκτρονική συσκευή, η οποία μπορεί να συνδεθεί απευθείας στο όχημα χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνητικά κύματα με τεχνολογία όπως Bluetooth, Wi-Fi και LTE-Direct⁴, χωρίς την παρέμβαση της υποδομής του δικτύου από την πλευρά της συσκευής. Επίσης, η ηλεκτρονική συσκευή μπορεί να βρίσκεται στα χέρια ενός επιβάτη, ενός ποδηλάτη ή ενός μοτοσικλετιστή, κτλ.

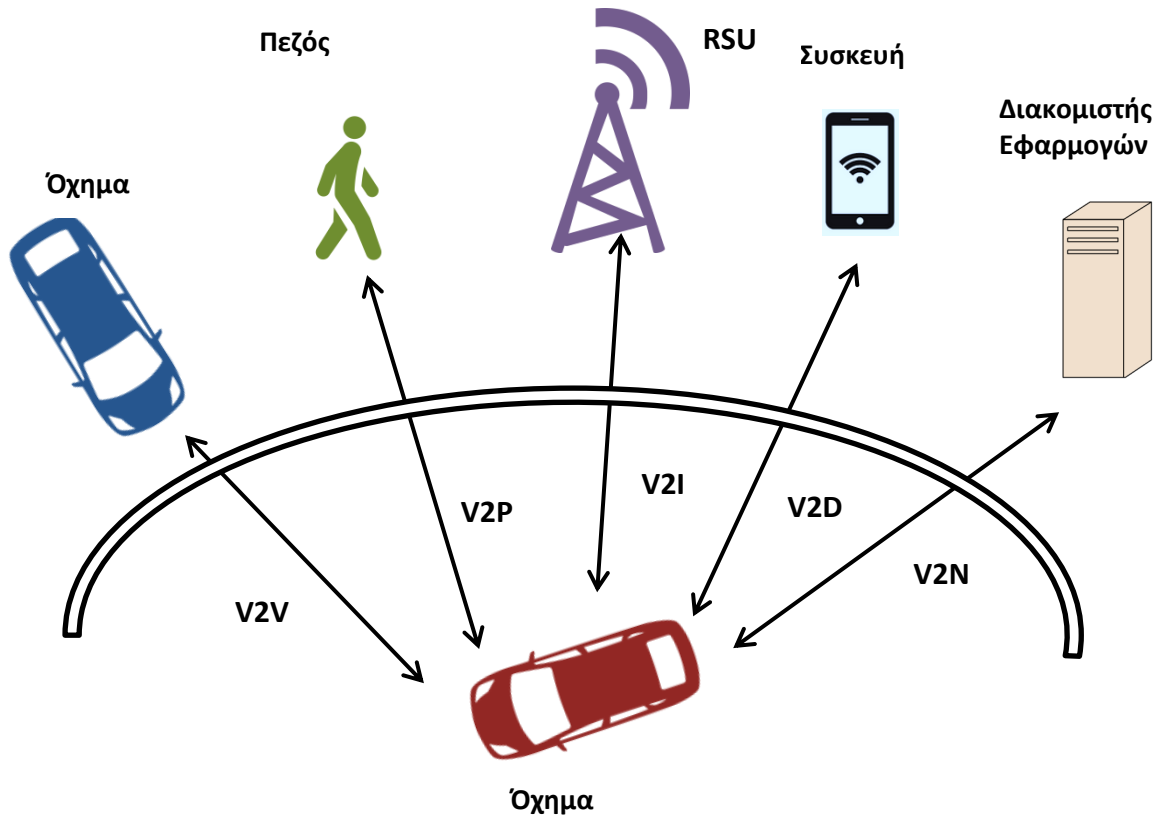
² Το LiDAR είναι μία τεχνολογία που βασίζεται στην εκπομπή της παλμικής ακτινοβολίας λέιζερ.

³ Το VLC είναι μία τεχνολογία που χρησιμοποιεί για επικοινωνία το ορατό φως μεταξύ 400 – 800 THz [4].

⁴ Η τεχνολογία LTE- Direct έχει εμβέλεια περίπου στα 500 μέτρα και συνδέει συσκευή με συσκευή απευθείας χωρίς τη διαμεσολάβηση κάποιου Σταθμού Βάσης [5].

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Στο παρακάτω Σχήμα 1 παρατηρούμε ενδεικτικά τις διάφορες κατηγορίες της επικοινωνίας V2X.



Σχήμα 1. Κατηγορίες επικοινωνίας V2X

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ V2X

Ο κύριος σκοπός της επικοινωνίας V2X είναι να παρέχεται μία ασφαλής, σίγουρη, άνετη και φιλική ως προς το περιβάλλον κίνηση στους δρόμους. Οι εφαρμογές μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες ήτοι, τις εφαρμογές ασφάλειας και τις μη σχετιζόμενες με θέματα ασφάλειας. Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται οι πιο σημαντικοί λόγοι που χρησιμοποιούνται οι εφαρμογές ασφάλειας και αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο οι συγκεκριμένες εφαρμογές βοηθούν τον οδηγό. Παρέχονται τεχνικές λεπτομέρειες όσον αφορά στην επικοινωνία μεταξύ των διακριτών εφαρμογών. Επίσης παρουσιάζονται σε πίνακα οι απαιτήσεις των εφαρμογών ασφάλειας. Επιπλέον, δίνονται παραδείγματα για τη χρήση των εφαρμογών που δεν έχουν σχέση με την ασφάλεια και σχετικά με το κατά πόσο χρήσιμες είναι αυτές σε ένα δίκτυο οχημάτων.

2.1 Εφαρμογές ασφάλειας

Οι εφαρμογές ασφάλειας βοηθούν τον οδηγό για την αποφυγή ατυχημάτων. Εστιάζουν άμεσα στο περιβάλλον του οδηγού για προειδοποίηση με ηχητικό ή οπτικό σήμα για την πρόληψη ατυχημάτων και αφορούν στην ασφάλεια του οδηγού. Τα πιο σημαντικά ατυχήματα που μπορούν να προβλεφθούν αφορούν σε [6]- [9]:

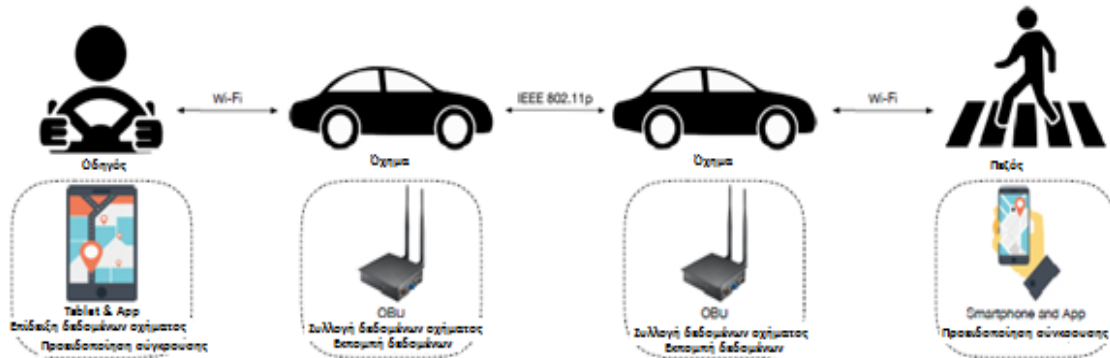
- Τροχαίες παραβιάσεις (πχ. παραβίαση σηματοδότη).
- Διερχόμενους πεζούς.
- Τυχόν διερχόμενα ζώα.
- Ανεπάντεχα αντικείμενα που ενδέχεται να βρεθούν μπροστά από το όχημα.
- Οδήγηση σε λάθος κατεύθυνση.
- Συντήρηση-επισκευή οδοστρώματος.
- Έλεγχο επιφάνειας οδοστρώματος (ολισθηρότητα, κλίση).
- Όριο ταχύτητας.
- Καιρικές συνθήκες.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα το πώς οι εφαρμογές ασφάλειας βοηθούν τον οδηγό για την αποφυγή ενός ατυχήματος, είναι σημαντικό να εξετάσουμε την τεχνική υποδομή που διασφαλίζει την κατάλληλη επικοινωνία μεταξύ του οδηγού του οχήματος και άλλων οχημάτων ή άλλων υποδομών και/ή ηνοτήτων. Στο παρακάτω Σχήμα 2 ([6]) παρατηρούμε το πώς γίνεται η επικοινωνία μεταξύ του πεζού και του οδηγού και με ποια τεχνολογία επικοινωνίας επιτυγχάνεται αυτό. Τα οχήματα περιέχουν μία ενσωματωμένη συσκευή που ονομάζεται Εποχούμενη Μονάδα (On Board Unit - OBU), η οποία είναι τοποθετημένη μέσα στο όχημα και χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή των πληροφοριών με άλλες Παρόδιες Μονάδες (RSUs) ή άλλες Εποχούμενες Μονάδες (OBUs). Η RSU είναι μία μονάδα με δικτυακή σύνδεση μικρής εμβέλειας βασισμένη κυρίως στο πρότυπο IEEE802.11p⁵ και η οποία μπορεί επίσης να περιέχει δικτυακό εξοπλισμό για σύνδεση με τον Σταθμό Βάσης ενός δικτύου V2X. Ο ρόλος των RSUs είναι να συλλέγουν τις πληροφορίες που αποστέλλουν τα οχήματα. Η RSU βρίσκεται δίπλα στο οδόστρωμα, σε συγκεκριμένες θέσεις, όπως π.χ. κοντά σε οδικές διασταυρώσεις ή σε σημεία στάθμευσης. Τουναντίον, η OBU διαθέτει επεξεργαστή, μονάδα αποθήκευσης για εγγραφή/ανάγνωση δεδομένων, μονάδα GPS (Global Position System) και ειδικό λογισμικό για σύνδεση με άλλες OBUs. Οι σημαντικότερες λειτουργίες που μας παρέχει αυτή η συσκευή είναι η ασύρματη ραδιοπρόσβαση στο δίκτυο, η απευθείας σύνδεση σε κανάλι επικοινωνίας μεταξύ των οχημάτων για εφαρμογές πλοήγησης, έλεγχο της συμφόρησης του

⁵ Το πρότυπο IEEE802.11p επεξηγείται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3, βάσει της αντίστοιχης βιβλιογραφικής παραπομπής [15].

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

δικτύου, αξιόπιστη μεταφορά των μηνυμάτων και για την ασφάλεια των δεδομένων. Επιπλέον, δύναται ώστε να μας παρέχει πληροφορίες για την θέση και την ταχύτητα του οχήματος καθώς και την κατανάλωση του καυσίμου μέσω της θύρας OBD-RS232⁶ (είναι η θύρα που συνδέει τον «εγκέφαλο» του οχήματος με εξωτερικές συσκευές). Επίσης υπάρχει η AU (Application Unit) η οποία είναι η συσκευή που συνδέεται με την OBU και χρησιμοποιεί τις δυνατότητές της. Μπορεί να είναι μία κονσόλα που περιέχει ειδικό λογισμικό για εφαρμογές ασφάλειας ή μπορεί να είναι μία συσκευή PDA (personal Digital Assistant) που να έχει σύνδεση στο Διαδίκτυο. Η AU συνδέεται με την OBU ενσύρματα ή ασύρματα ([3], [6]).



Σχήμα 2. Αρχιτεκτονική επικοινωνίας δικτύου V2X

Οι εφαρμογές ασφάλειας πραγματοποιούνται συνήθως στην κατηγορία της επικοινωνίας V2V ή και V2I. Η επικοινωνία V2V χρησιμοποιείται για πολύ κρίσιμες καταστάσεις ασφάλειας, ενώ η επικοινωνία V2I χρησιμοποιείται συνήθως για τις υπόλοιπες εφαρμογές ασφάλειας. Ως παράδειγμα μπορούμε να σκεφτούμε ότι εάν ένα αυτοκίνητο είχε ένα συμβάν με ένα άλλο όχημα μετωπικά, τότε ο ενσωματωμένος αισθητήρας επαφής ενεργοποιείται και εκτελεί – σε ευρυζωνική μετάδοση – ένα μήνυμα κινδύνου ή ειδοποίησης στα άλλα οχήματα χρησιμοποιώντας δίκτυο Ad-hoc⁷ επικοινωνίας σε επίπεδο V2V. Εφόσον τα άλλα διερχόμενα αυτοκίνητα λάβουν το μήνυμα θα ελαττώσουν την ταχύτητά τους, για αποφυγή ενός πιθανού νέου ατυχήματος. Τέτοιες περιπτώσεις είναι πολύ χρήσιμες για αυτοκινητόδρομους όπου υπάρχει ομίχλη ή κακοκαιρία. Οι εφαρμογές ασφάλειας παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής όταν υφίστανται τέτοιου είδους καταστάσεις.

Υπάρχουν απαιτήσεις για τις παραπάνω συγκεκριμένες εφαρμογές που αφορούν στην καθυστέρηση, στην αξιοπιστία και στην εμβέλεια. Αναφορικά, οι απαιτήσεις φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 1 ([1]).

Πίνακας 1. Εφαρμογές Ασφάλειας

Σήματα Ασφάλειας / Υπηρεσίες σχετιζόμενες με την ασφάλεια	Μέγιστος Χρόνος (milli-second)	Μέγιστη Απόσταση (μέτρα)
Ειδοποιήσεις σημάτων : πριν-μετά σύγκρουση	~ 20 msec έως ~ 0.5 sec	~ 50 m έως 300 m
Ειδοποίηση σήματος : Αλλαγή λωρίδας	~ 100 msec	~ 300 m
Ειδοποίηση σήματος : πίσω φώτα φρένου	~ 100 msec	~ 300 m

⁶ OBD (On-Board Diagnostics) είναι ένα τυποποιημένο πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται μεταξύ πολλαπλών οχημάτων για την ανάκτηση πληροφοριών σχετικών με διαγνωστικά που αφορούν στο όχημα. Οι πληροφορίες δημιουργούνται από μηχανές ή δομοστοιχεία ελέγχου της μηχανής, στο όχημα.

⁷ Τα Ad-hoc δίκτυα δημιουργούνται μεταξύ 2 ή περισσότερων δικτυακών συσκευών, χωρίς τη χρήση ασύρματου δρομολογητή ή κάποιου σημείου πρόσβασης. Πηγή: <https://www.sciencedirect.com>

Ειδοποίηση σήματος : τυφλό σημείο	~ 100 msec	~ 150 m
Ειδοποίηση σήματος : διάβαση πεζών	~ 100 msec	~ 200 m
Ειδοποίηση σήματος : περιοχή με έργα	~ 1 sec	~ 300 m

2.1 Εφαρμογές μη σχετιζόμενες με την ασφάλεια

Ως εφαρμογές μη σχετιζόμενες με την ασφάλεια ορίζονται αυτές που σκοπό έχουν την ενημέρωση του οδηγού όσον αφορά στο όχημα, στο περιβάλλον στο οποίο κινείται το όχημα και στη συνεργασία με άλλους οδηγούς. Οι πιο σημαντικές εφαρμογές που αφορούν σε αυτή την κατηγορία έχουν σχέση με ([10] -[12]):

1. Την κίνηση του οχήματος.
2. Έξυπνα φανάρια.
3. Το περιβάλλον που κινείται το όχημα.
4. Τη συντήρηση του αυτοκινήτου.
5. Τα διόδια.
6. Την ψυχαγωγία – διασκέδαση.
7. Τα κοινωνικά δίκτυα οχημάτων.
8. Γενικές πληρωμές.
9. Υπηρεσίες (τρόφιμα, βενζίνη, διασκέδαση, ιατρική βοήθεια).
10. Κίνηση σε ομάδα οχημάτων.

Η Παρόδια Μονάδα (RSU) παρέχει πληροφορίες στα οχήματα με περιοδική ευρυεκπομπή. Εάν υποθέσουμε ότι το όχημα βρίσκεται σε μία άγνωστη τοποθεσία και ο οδηγός χρειαστεί βοήθεια, τότε αυτός θα μπορέσει μέσω των προσωπικών μηνυμάτων που στέλνονται από τη μονάδα RSU προς το όχημά του να βρει εύκολα το κοντινότερο νοσοκομείο ή φαρμακείο. Αυτό δύναται να αφορά και σε άλλη παρεμφερή υπηρεσία, όπως π.χ. το γέμισμα του ρεζερβουάρ καυσίμου.

Σε ένα άλλο παράδειγμα που αφορά στα έξυπνα φανάρια, ένας ελεγκτής φαναριών στέλνει περιοδικά πληροφορίες στα κοντινά οχήματα με επικοινωνία V2I. Ο οδηγός, με βάση τις παραπάνω πληροφορίες μπορεί να προσαρμόσει την ταχύτητα του αυτοκινήτου του, ώστε να αποφύγει τα περιττά φρεναρίσματα ή τις επιταχύνσεις, με όφελος τη λιγότερη κατανάλωση του καυσίμου και τη λιγότερη εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα.

Στην περίπτωση της κίνησης σε ομάδα οχημάτων, ενεργοποιείται ο μηχανισμός της αυτόνομης οδήγησης με επικοινωνία V2V. Εάν τα οχήματα επικοινωνούν μεταξύ τους θα μπορούν να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να υπάρχει συνεργασία. Η συγκεκριμένη επικοινωνία V2V μπορεί να συμβάλει στην ομαλότερη αποσυμφόρηση του οδικού κυκλοφοριακού δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρχει μία συνεχόμενη κυκλοφοριακή άνεση στο οδικό δίκτυο που θα έχει ως αποτέλεσμα τη λιγότερη εκπομπή των καυσαερίων από τα οχήματα και τη λιγότερη κατανάλωση καυσίμου καθώς πολλά οχήματα κινούνται σαν μία ενιαία μονάδα.

Στις υπηρεσίες της ψυχαγωγίας - διασκέδασης, ο οδηγός και οι επιβάτες μπορούν να χρησιμοποιήσουν πολλές εφαρμογές από την κονσόλα του οχήματος, όπως ήχο, εικόνα, μηνύματα, τηλέφωνο, οδικούς χάρτες, κ.α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. ΤΥΠΟΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ V2X

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τους δύο βασικούς τύπους της επικοινωνίας V2X. Ο ένας είναι ο τύπος της επικοινωνίας που βασίζεται στα πρότυπα του οργανισμού IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers⁸) και ο άλλος τύπος επικοινωνίας βασίζεται στα πρότυπα του οργανισμού 3GPP⁹ αναφορικά με την τεχνολογία LTE (Long Term Evolution¹⁰). Θα γίνει ανάλυση στα στρώματα του δικτύου, στα πρωτόκολλα και στις τεχνολογίες των προτύπων που χρησιμοποιούνται, στο εύρος ζώνης και στα κανάλια για τις αντίστοιχες υπηρεσίες και τέλος θα παρουσιαστεί πίνακας με τις σημαντικότερες διαφορές ή/και ομοιότητες των τύπων επικοινωνίας.

Η επικοινωνία V2X χρησιμοποιεί τις εξελίξεις της επιστήμης των επικοινωνιών και της πληροφορικής για να μπορέσει να πραγματοποιήσει δικτυακές συνδέσεις οχήματος με άλλο όχημα, οχήματος με την υποδομή του δικτύου, οχήματος με πεζό, οχήματος με δίκτυο Νέφους / Ομίχλης / στα Άκρα. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για κάθε κατηγορία του δικτύου επικοινωνίας (V2I, V2V, V2P, V2N) - όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή της εργασίας - οφείλει να συνδέει μεταξύ τους τα διάφορα στοιχεία που συνθέτουν το δίκτυο μεταφοράς όπως είναι οι πεζοί, τα οχήματα, οι παρόδιες μονάδες και γενικά οι μονάδες που συνθέτουν τη δομή του δικτύου. Το «δίκτυο V2X», υπό μία ευρύτερη έννοια, συμβάλει όχι μόνο στην τεχνολογία της αυτοματοποίησης στην οδήγηση, αλλά και σε ένα γενικότερο πλαίσιο οικοδόμησης ενός ευφυούς συστήματος μεταφορών, προωθώντας την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών μεταφοράς στο οδικό δίκτυο.

Προς το παρόν υπάρχουν δύο τύποι επικοινωνίας που χρησιμοποιούν την «ιδιότητα» V2X. Αυτοί είναι οι εξής [13]:

- Αποκλειστική Επικοινωνία Μικρής Εμβέλειας (Dedicated Short Range Communication - (DSRC) / Νοήμον Σύστημα Μεταφοράς-G5 (Intelligent Transport System-G5 (ITS- G5)), και
- Μακροχρόνια Εξέλιξη για V2X (Long Term Evolution for V2X (LTE – V2X)).

3.1 Επικοινωνία DSRC

Η επικοινωνία τύπου DSRC¹¹ βασίζεται στα πρότυπα των IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) και SAE (Society of Automotive Engineering) των ΗΠΑ [14]. Το Φυσικό (PHY) στρώμα και το στρώμα MAC του δικτύου χρησιμοποιούν το πρότυπο IEEE 802.11p [15]. Το συγκεκριμένο πρότυπο είναι εγκεκριμένο ειδικά για να ενταχθεί στην ασύρματη πρόσβαση σε ένα περιβάλλον με οχήματα (Wireless Access In Vehicular Environments – WAVE) [16]. Το πρότυπο αυτό περιλαμβάνει την ανταλλαγή των δεδομένων με οχήματα που διατηρούν υψηλή ταχύτητα και μεταξύ οχημάτων και Παρόδιων Μονάδων (RSUs) στη ζώνη συχνοτήτων 5.9 GHz (5.850 – 5.925 GHz). Επίσης το παραπάνω πρωτόκολλο 802.11p απλοποιεί την επαλήθευση ταυτότητας (authentication), τις συνδεδεμένες λειτουργίες και την αποστολή των δεδομένων, ενεργοποιώντας έτσι τη μετάδοση ευρυεκπομπής (Broadcast) απευθείας στα γειτονικά οχήματα και στους πεζούς με ασφάλεια [13]. Η αρχιτεκτονική του δικτύου και τα πρωτόκολλα ασφάλειας καθορίζονται από την οικογένεια του

⁸ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.ieee.org/>

⁹ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.3gpp.org/>

¹⁰ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>

¹¹ Το σύστημα Dedicated Short Range Communication (DSRC) που αναπτύσσεται στη Βόρεια Αμερική, εξυπηρετεί επικοινωνίες μικρής ή μέτριας απόστασης και υποστηρίζει τη δημόσια ασφάλεια και τις ιδιωτικές ενέργειες. Αυτό σημαίνει ότι είναι ένα «συμπλήρωμα» των κυψελοειδών επικοινωνιών και παρέχει πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων, τα οποία δεδομένα μεταφέρονται με λεπτομέρειες που συντομεύουν την επικοινωνιακή σύνδεση ενώ απομονώνονται σχετικά μικρές περιφερειακές επικοινωνίες που είναι σημαντικές.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

προτύπου IEEE 1609 WAVE ([17]-[20]) που είναι βασισμένη στο IEEE 802.11p. Το πρότυπο IEEE1609.2 [18] καθορίζει τη μορφοποίηση και την επεξεργασία των μηνυμάτων ασφάλειας για τις ασύρματες σε πρόσβαση συσκευές σε ένα περιβάλλον δικτύου WAVE, περιλαμβάνοντας μεθόδους ασφάλειας για ασφαλή αποστολή των μηνυμάτων από τις εφαρμογές V2X [18]. Στο στρώμα των εφαρμογών V2X το πρότυπο SAE J2735 [21] καθορίζει τον τύπο μηνυμάτων που χρησιμοποιούνται από εφαρμογές οι οποίες κάνουν χρήση των επικοινωνιών μικρής εμβέλειας στη συχνότητα των 5.9 GHz για ασύρματη πρόσβαση, δηλαδή σε DSRC / WAVE επικοινωνιακά συστήματα. Επίσης η δομή των μηνυμάτων, τα δεδομένα και η αρχιτεκτονική του προτύπου J2735 είναι σχεδιασμένα για να χρησιμοποιούνται και από εφαρμογές που συνδυάζονται με άλλες τεχνολογίες ασύρματων επικοινωνιών [21].

Ο τύπος της επικοινωνίας DSRC προέρχεται από μία μελέτη του Αμερικανικού Οργανισμού Μεταφορών (US Department of Transportation) βασισμένη στο έργο “Communications Access for Land Mobiles¹²” (CALM) που είναι μία μελέτη του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (International Organization for Standardization - ISO). Μεταξύ άλλων, ο ISO περιγράφει και καθορίζει τις υπηρεσίες και τα πρότυπα σε δίκτυα μεταξύ των οχημάτων, όπως π.χ. για την ασφάλεια, τα διόδια και τις εμπορικές συναλλαγές μεταξύ των οχημάτων και του δικτύου. Η τεχνολογία DSRC χρησιμοποιεί την πολυπλεξία ορθογωνικής διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM). Η παραπάνω πολυπλεξία είναι ένα είδος μετάδοσης πολλαπλών φερόντων (Multicarrier transmission) αλλά με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως η χρήση μεγάλου αριθμού υποφερόντων στενού εύρους ζώνης και πυκνής τοποθέτησης των υποφερόντων. Η απόσταση των υποφερόντων εξαρτάται από το περιβάλλον. Και επειδή το περιβάλλον του δικτύου V2X έχει χρονική διασπορά και διασπορά λόγω εξάπλωσης Doppler εξαιτίας της γρήγορης κίνησης των οχημάτων, η συγκεκριμένη μορφή πολυπλεξίας βοηθά στη μείωση των παρεμβολών που δημιουργούνται από τις παραπάνω μορφές διασποράς [22].

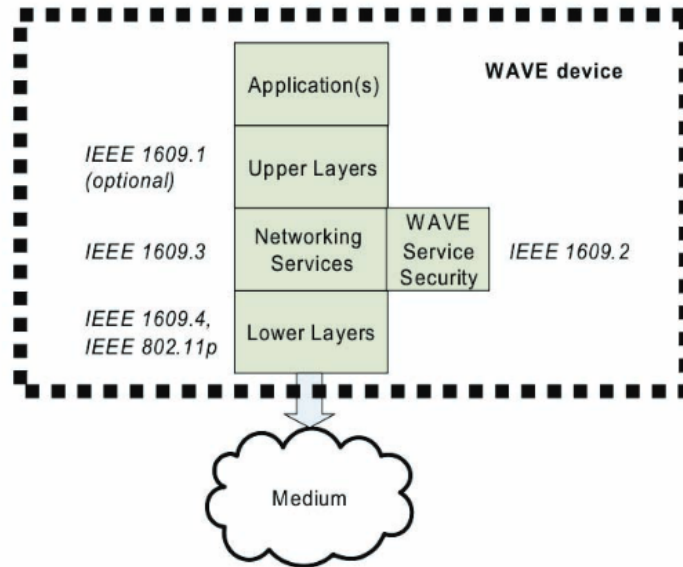
Συμπερασματικά με τα όσα αναφέραμε προηγουμένως, μπορούμε να συμπληρώσουμε ότι η DSRC αποτελείται από την οικογένεια IEEE1609 και IEEE802.11p. Τα πρότυπα από την οικογένεια IEEE1609 μας καθορίζουν τα εξής [23]:

- Διαχείριση των πόρων (1609.1) [17]
- Υπηρεσίες ασφαλείας (1609.2) [18]
- Υπηρεσίες στο στρώμα Δικτύου (1609.3) [19]
- Πολυκαναλικές λειτουργίες (1609.4) [20]
- Ηλεκτρονικές πληρωμές (1609.11) [24]

Στο παρακάτω Σχήμα 3 ([25]) παρουσιάζεται η κατανομή των προτύπων στα στρώματα ενός δικτύου ασύρματης πρόσβασης σε ένα περιβάλλον με οχήματα (wireless access in vehicular environments - WAVE).

¹² Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: [https://web.archive.org/web/20110715020929, http://www.isotc204wg16.org/concept](https://web.archive.org/web/20110715020929/http://www.isotc204wg16.org/concept)

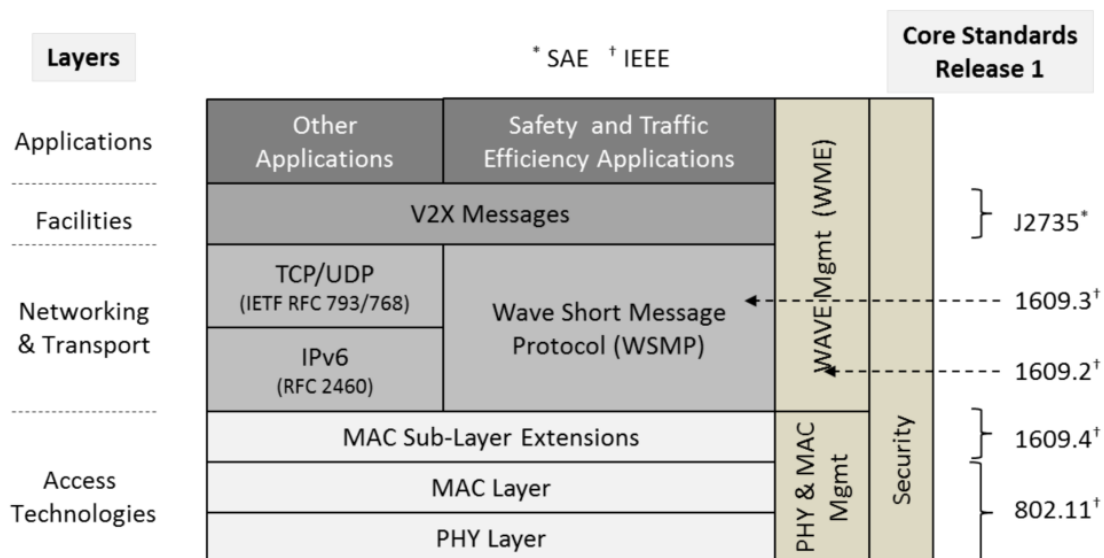
Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)



Σχήμα 3. Σχέση μεταξύ των προτύπων που υποστηρίζει το WAVE

Πολλές εφαρμογές V2X εφαρμόζουν άμεση επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων ή μεταξύ των οχημάτων και των RSUs και για το σκοπό αυτό έχει τύχει αξιοποίησης η σειρά προτύπων IEEE 1609. Δηλαδή, για ένα δίκτυο με ασύρματη πρόσβαση σε ένα περιβάλλον με οχήματα (WAVE), η αρχιτεκτονική του δικτύου προσδιορίζεται σε πέντε διαφορετικά πρότυπα και η κατανομή τους στα στρώματα της δικτυακής δομής φαίνεται στο παραπάνω Σχήμα 3. Παρατηρούμε ότι τα πρότυπα IEEE 802.11p [15] και IEEE 1609.4 [20] βρίσκονται στα χαμηλότερα στρώματα του δικτύου. Συγκεκριμένα, το IEEE 1609.4 μας περιγράφει τη δημιουργία των καναλιών και την ιεράρχηση των διαφορετικών τύπων μηνυμάτων στο στρώμα MAC. Το IEEE 1609.3 [19] περιγράφει το πώς γίνεται η διαχείριση των διαφορετικών πρωτοκόλλων, ενώ το IEEE 1609.2 [18] αναφέρεται στις τεχνικές ασφάλειας που χρησιμοποιούνται για την κρυπτογράφηση των πακέτων WAVE. Τέλος, το IEEE 1609.1 [17] διαχειρίζεται την πιθανή διεπαφή εάν τελικά δημιουργηθεί μεταξύ του στρώματος εφαρμογών και του στρώματος δικτύου.

Στο παρακάτω Σχήμα 4 ([22]) εμφανίζονται πιο αναλυτικά τα στρώματα του δικτύου, όπως επίσης τα πρωτόκολλα και οι τεχνολογίες των προτύπων που λαμβάνουν μέρος για έναν τύπο επικοινωνίας DSCR.



Σχήμα 4. Καθορισμός Πρωτοκόλλων- Τυποποιήσεων - DSCR στις ΗΠΑ

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Στρώμα Τεχνολογιών Πρόσβασης (Φυσικό στρώμα, στρώμα MAC και επεκτάσεις υποστρώματος MAC): Στο Φυσικό στρώμα και στο στρώμα MAC λαμβάνει μέρος το πρότυπο της οικογένειας IEEE 802.11 [26] και το IEEE 1609.4 [20]. Το IEEE802.11 καθορίζει ένα βασικό σύνολο υπηρεσιών (BSS) όπου οι σταθμοί θα πρέπει πρώτα να συνδεθούν, πριν αυτοί μπορέσουν να στείλουν ή να παραλάβουν τα δεδομένα. Το IEEE802.11p περιέχει μία λειτουργία που ονομάζεται “Outside Context of BSS” ή “OCB”. Σε αυτή τη λειτουργία δεν χρειάζεται ο έλεγχος επαλήθευσης ταυτότητας (αυθεντικότητας) ή κάποια άλλη σχέση σύνδεσης και η μόνη παράμετρος που πρέπει να οριστεί είναι η συχνότητα και το εύρος ζώνης του καναλιού που γίνεται η επικοινωνία [27]. Έτσι, επιτρέπεται στους σταθμούς να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα χωρίς αναγνώριση και εγγραφή σε μία δικτυακή υποδομή ή σε ένα ad-hoc δίκτυο. Ως αποτέλεσμα, ο χρόνος που χρειάζεται για να ενεργοποιηθεί μία ασύρματη συσκευή μειώνεται σημαντικά. Επιπλέον, το υποστρώμα MAC έχει επεκτάσεις οι οποίες υποστηρίζουν την εναλλαγή καναλιών, όπως ορίζεται στο IEEE1609.4 [20]. Η εναλλαγή των καναλιών επιτρέπει την ταυτόχρονη πρόσβαση σε κανάλι ελέγχου και σε κανάλι υπηρεσιών.

Στρώμα Δικτύωσης και Μεταφοράς: Το IPv6 (Πρωτόκολλο Διαδικτύου έκδοση 6) το οποίο είναι το προεπιλεγμένο πρωτόκολλο δικτύωσης σε πολλά σημερινά δίκτυα και σε συνδυασμό με τα πρωτόκολλα TCP (Transport Control Protocol – Πρωτόκολλο Ελέγχου Μεταφοράς) / UDP (User Datagram Protocol - Πρωτόκολλο Δεδομενογράμματος Χρήστη) χρησιμοποιούνται στην επικοινωνία DSRC. Το πρωτόκολλο σύντομων μηνυμάτων WAVE (WAVE Short Message Protocol – WSMP) έχει καθοριστεί με βάση το IEEE1609.3 [19] και ορίζει μία συγκεκριμένη μορφή μηνύματος η οποία είναι αποδοτική μόνο για απευθείας μετάδοση. Το ελάχιστο μέγεθος κεφαλίδας είναι 5 bytes (δυφιοσυλλαβές) σε αντιστοιχία με το UDP που είναι στις 52 bytes. Είναι ένα μικρό πρωτόκολλο που δεν προσφέρει πολλές λειτουργίες στο στρώμα του δικτύου αλλά προκαλεί λιγότερη συμφόρηση δεδομένων στο δίκτυο. Η ασφάλεια βασίζεται σε τυποποίηση κατά το IEEE1609.2 [18] και παρέχει έλεγχο αυθεντικότητας και προαιρετική κρυπτογράφηση στα μηνύματα DSRC, βάσει ψηφιακών υπογραφών και με κατάλληλα πιστοποιητικά. Το πιστοποιητικό που χρησιμοποιείται από τα οχήματα έχει περιορισμένη ισχύ και ανανεώνεται συχνά, για περισσότερη ασφάλεια.

Στρώμα Ευκολιών: Εδώ υπάρχει ένα υποστρώμα μηνυμάτων που παρέχει απευθείας επικοινωνία με τις εφαρμογές V2X και βασίζεται στην τυποποίηση κατά SAE J2735 [21]. Τα μηνύματα χρησιμοποιούν κωδικοποίηση ASN.1 (Abstract Syntax Notation One) που είναι μία τυπική περιγραφική γλώσσα η οποία καθορίζει τη δομή δεδομένων και χρησιμοποιείται ευρέως στις τηλεπικοινωνίες, στη δικτύωση των υπολογιστών και στην κρυπτογραφία. Οι δομές δεδομένων περιέχουν πληροφορίες που σχετίζονται με το όχημα όπως η θέση, η ταχύτητα, η επιτάχυνση ή η γεωγραφική τοποθεσία του οχήματος.

Στρώμα Εφαρμογών: Εδώ καθορίζονται οι εφαρμογές ασφάλειας, αποδοτικότητας κίνησης καθώς και άλλες εφαρμογές.

3.1.1 Κανάλια επικοινωνίας DSRC

Η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (Federal Communication Commission - FCC) των ΗΠΑ έχει εκχωρήσει αποκλειστικά για την επικοινωνία οχήματος με όχημα (V2V) και για την επικοινωνία οχήματος με υποδομή δικτύου (V2I) ένα εύρος ζώνης στα 75 MHz επικοινωνίας DSRC στη ζώνη συχνοτήτων των 5.9 GHz [28]. Η επικοινωνία DSRC χρησιμοποιεί επτά κανάλια των 10 MHz και ένα κανάλι των 5 MHz. Κάθε κανάλι υποστηρίζει ένα εύρος ζώνης από 3 Mbps έως 27 Mbps. Επίσης δίνεται η δυνατότητα σε δύο κανάλια ώστε να ενωθούν και έτσι να αποδώσουν ένα μέγιστο ρυθμό μετάδοσης στα 54 Mbps [1]. Η απόσταση επικοινωνίας που καλύπτει η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι μέχρι ένα χιλιόμετρο και παρέχει μικρή καθυστέρηση (latency) στην επικοινωνία. Υπάρχει ένα κανάλι ελέγχου (Control Channel - CCH) και τα άλλα έξι είναι κανάλια υπηρεσιών (Service Channels - SSHs). Το κανάλι των 5 MHz είναι δεσμευμένο για μελλοντική χρήση. Το κανάλι ελέγχου (CCH) έχει τον αριθμό 178, είναι κανάλι προεπιλογής και υψηλής προτεραιότητας και χρησιμοποιείται κυρίως

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

για τις κρίσιμες εφαρμογές ασφάλειας. Τα υπόλοιπα έξι κανάλια υπηρεσιών (CCHs) χρησιμοποιούνται για τις λοιπές εφαρμογές ασφάλειας όσο και για εφαρμογές μη σχετιζόμενες με την ασφάλεια [1]. Στο κανάλι ελέγχου CCH 178 ο κόμβος RSU μπορεί να εκπέμπει μηνύματα, όπως σχετικά με το υψόμετρο, την ταχύτητα, μηνύματα ασφάλειας που περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με ατυχήματα, απότομα φρεναρίσματα, κακή κατάσταση του οδοστρώματος, κ.α.

Στον παρακάτω Πίνακα 2 ([1]) παρατηρούμε τις ζώνες συχνοτήτων ενός δικτύου βασισμένου στο IEEE802.11p που βρίσκεται στις ΗΠΑ και τις εφαρμογές που λαμβάνουν μέρος σε αυτές τις συχνότητες.

Πίνακας 2. Καθορισμός Εύρους Ζωνών και Εφαρμογών με DSCR στις ΗΠΑ

Κανάλι	CH	SCH 172	SCH 174	SCH 176	CCH 178	SCH 180	SCH 182	SCH 184
Συχνότητα (GHz)	5.850 - 5.855	5.855 – 5.865	5.865 – 5.875	5.875 – 5.885	5.885 – 5.895	5.895 – 5.905	5.905 – 5.915	5.915 – 5.925
Υπηρεσίες και Εφαρμογές	Δεσμευμένο για μελλοντική χρήση	Υψηλή διαθεσιμότητα εφαρμογών με πολλή χαμηλή καθυστέρηση	Μέτριας Εμβέλειας Υπηρεσίες για ιδιωτική χρήση ασφάλειας ή μη σχετιζόμενη με την ασφάλεια	Υψηλής προτεραιότητας κανάλι για κρίσιμες εφαρμογές ασφάλειας	Μικρής Εμβέλειας Υπηρεσίες : για ιδιωτική χρήση ασφάλειας ή χρήση μη σχετιζόμενη με την ασφάλεια	Δημόσια Ασφάλεια		

3.2 Επικοινωνία ITS-G5

Στην Ευρώπη το αντίστοιχο πρότυπο που στηρίζεται στο IEEE 802.11p [15] είναι το ITS-G5. Διάφοροι οργανισμοί ανάπτυξης προτύπων (Standards Development Organizations - SDOs) συνεργάζονται με φορείς της αγοράς και με αρμόδιες Αρχές και συντάσσουν, δημοσιεύουν, ενημερώνουν και τηρούν πρότυπα. Οι διαφορετικοί SDOs οδήγησαν σε διαφορετικά πρότυπα μεταξύ της Αμερικής και της Ευρώπης. Ο πιο γνωστός οργανισμός ανάπτυξης προτύπων στην Ευρώπη στον τομέα του Συνεργατικού Νοήμονος Συστήματος Μεταφοράς (Cooperative - Intelligent Transport System C-ITS) είναι το ETSI (European Telecommunications Standards Institute¹³) και ακολουθεί η CEN (European Committee for Standardization¹⁴) με την Τεχνική Επιτροπή (CEN TC 278 – Intelligent Transport Systems) [29]. Η CEN έχει συνεργασία με τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO - International Organization for Standardization¹⁵) για τη σχεδίαση κοινών προδιαγραφών με υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (EC- European Commission) [30]. Ο εκσυγχρονισμός και η ψηφιοποίηση των συστημάτων μεταφορών έχουν αυξανόμενο ενδιαφέρον για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή λόγω πολλών πλεονεκτημάτων, όπως η υποστήριξη κυκλοφοριακής αποσυμφόρησης, η αύξηση της οδικής ασφάλειας, η αντιμετώπιση προβλημάτων που σχετίζονται με εκπομπές καυσαερίων και τέλος η ανάπτυξη της οικονομίας στον τομέα των μεταφορών. Τελικά, η CEN και το ETSI συνέταξαν ένα σύνολο προτύπων που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του ευρωπαϊκού επικοινωνιακού συστήματος V2X. Το ETSI ασχολήθηκε με τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις ενός επικοινωνιακού συστήματος για τις εφαρμογές V2V, ενώ η CEN ασχολήθηκε κυρίως με τα πρότυπα που διέπουν τις εφαρμογές V2I.

Το ITS-G5¹⁶ είναι ένα σύνολο ευρωπαϊκών πρωτοκόλλων και παραμέτρων για επικοινωνίες οχήματος προς όχημα (V2V) και οχήματος προς υποδομή (V2I) βασισμένο στο πρότυπο IEEE802.11

¹³ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.etsi.org/>

¹⁴ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.cencenelec.eu/aboutus/Pages/default.aspx>

¹⁵ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.iso.org/home.html>

¹⁶ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: European Telecommunication Standards Institute (ETSI): EN 302 663 V1.3.1 (2020-01): Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band.

https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302663/01.03.01_60/en_302663v010301p.pdf

Επίσης βλέπε τη βιβλιογραφική παραπομπή [109].

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

[26] (γνωστό ως Wi-Fi) και στην τροπολογία αυτού κατά το 802.11p [15] που χρησιμοποιείται για την ασύρματη πρόσβαση σε ένα περιβάλλον με οχήματα [31]. Έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει επικοινωνίες με μικρή καθυστέρηση (latency), λιγότερο από 100 msec, γεγονός το οποίο είναι πολύ σημαντικό για τις εφαρμογές ασφάλειας και για τις εφαρμογές όπου ο χρόνος παίζει καθοριστικό ρόλο (πχ. έξυπνα φανάρια, τροχιά οχήματος, παραβίαση σηματοδότη, διερχόμενοι πεζοί). Έτσι, η γρήγορη ανταλλαγή πληροφοριών μπορεί να μετριάσει ή να αποτρέψει περιπτώσεις ατυχημάτων. Τα ευρωπαϊκά πρότυπα του ITS-G5 καθορίζουν τα πρωτόκολλα και το εύρος ζώνης που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ των σταθμών βάσης [31].

Η διαδικασία κατανομής των συχνοτήτων στην Ευρώπη ξεκίνησε το 2005 από το ETSI και σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών (ECC - European Electronic Communication Committee¹⁷) προέκυψε κατοχύρωση των ευρωπαϊκών συχνοτήτων [31]. Το ETSI έλαβε υπόψη του τις υπάρχουσες συχνότητες των ΗΠΑ με βάση το κανάλι ελέγχου, οι οποίες ήταν από 5.875 GHz έως 5.895 GHz. Τελικά το εν λόγω κανάλι στην Ευρώπη έλαβε 10 MHz υψηλότερα ως κανάλι ελέγχου από 5.885 GHz έως 5.905 GHz. Παρά τη διαφορά συχνοτήτων προτείνεται οι ίδιες συσκευές να μπορούν να επικοινωνούν και στις δυο ζώνες συχνοτήτων της Ευρώπης και της Αμερικής, αν και χρειάζονται διαφορετικό υλισμικό (hardware) και λογισμικό (software) συσκευής. Επίσης στις ΗΠΑ έχει γίνει θέμα συζήτησης το κατά πόσο η ασφάλεια και η αξιοπιστία υπηρεσιών που παρέχει το Νοήμον Σύστημα Μεταφορών (ITS-Intelligent Transport System) είναι επαρκείς, ιδίως δε όταν η συχνότητα καθίσταται κοινόχρηστη με εφαρμογές Wi-Fi που συνδέονται σε μη αδειοδοτημένες συσκευές. Παρομοίως, στην Ευρώπη η Ευρωπαϊκή Επιτροπή είχε αναθέσει στην Ομάδα Αντιμετώπισης Έκτακτης Ανάγκης για Υπολογιστές (CERT - Computer Emergency Response Team¹⁸) να ερευνήσει τις δυνατότητες ασφάλειας για την από κοινού χρήση ζωνών συχνοτήτων. Η απάντηση που δόθηκε από τη CERT ήταν ότι «δεν υπάρχει αρκετή ασφάλεια για υπηρεσίες ITS που μοιράζονται την ίδια ζώνη συχνοτήτων» (CERT – 2015). Η συνολική ευθύνη για την ανάπτυξη των ευρωπαϊκών προτύπων για το Συνεργατικό Νοήμον Σύστημα Μεταφοράς C-ITS (Cooperative intelligent Transport System) μερίστηκε μεταξύ του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) και της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης (European Committee for Standardization - CEN) με συντονισμό από τον Διεθνή Οργανισμό Προτυποποίησης (ISO) [31].

Το ETSI δημιουργεί πρότυπα που έχουν παγκόσμια εφαρμογή στις τεχνολογίες της πληροφορικής και των επικοινωνιών (Information and Communications Technologies - ICT). Τα πρότυπα που παράγει έχουν τη συναίνεση 800 μελών από 64 κράτη και το ETSI είναι επίσημα αναγνωρισμένο από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή ως ο αρμόδιος Ευρωπαϊκός Οργανισμός Τυποποίησης. Η διαδικασία ανάπτυξης προτύπων καθορίζεται από Τεχνικές Επιτροπές και Ομάδες Εργασίας, οι οποίες περιέχουν προσωπικό που εξειδικεύεται σε μία συγκεκριμένη κατηγορία εργασιών. Τα πρότυπα του ETSI είναι ελεύθερα προς χρήση και διατίθεται δωρεάν. Το ETSI έχει δημιουργήσει πέντε ομάδες εργασιών (αποκαλούμενες ως «Working Groups - WGs») με κάθε ομάδα να εξυπηρετεί εξειδικευμένες εργασίες. Η κατηγοριοποίηση είναι όπως παρακάτω [31]:

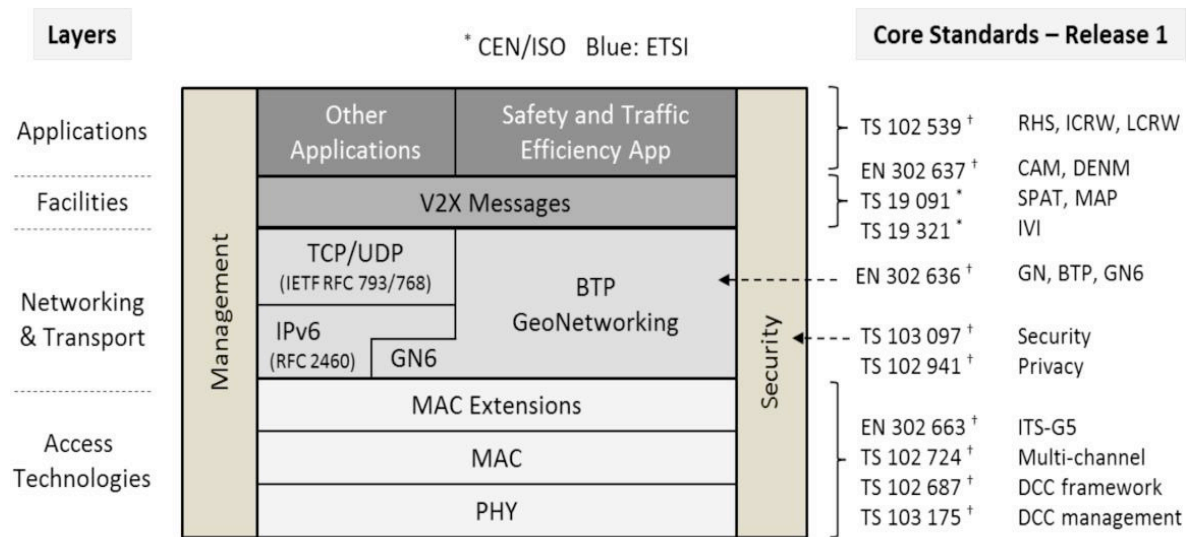
- WG1 – Απαιτήσεις χρηστών και εφαρμογών.
- WG2 – Αρχιτεκτονική και διαστρωματικά θέματα.
- WG3 – Μεταφορά και δίκτυα.
- WG4 – Μέσα και θέματα που σχετίζονται με τα αυτά.
- WG5 – Ασφάλεια.

Στο παρακάτω Σχήμα 5 ([22]) εμφανίζονται αναλυτικά τα στρώματα του δικτύου, καθώς και τα πρωτόκολλα και οι συναφείς τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη. Έπειτα, αναλύονται το καθένα ξεχωριστά.

¹⁷ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://ec.europa.eu/jrc/en/event/workshop/ecc-meetings>

¹⁸ Βλέπε, μεταξύ άλλων: https://op.europa.eu/en/web/who-is-who/organization/-/organization/DIGIT/COM_CRF_241519

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)



Σχήμα 5. Καθορισμός Πρωτοκόλλων- Τυποποιήσεων – C-ITS στην Ευρώπη

Στρώμα Τεχνολογιών Πρόσβασης (Φυσικό στρώμα, στρώμα MAC και επεκτάσεις MAC): Στο στρώμα Τεχνολογιών Πρόσβασης, το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 302 663 [32] περιγράφει τα δύο χαμηλότερα στρώματα ενός δικτύου που υποστηρίζει επικοινωνία V2V (Όχημα προς Όχημα) σε ένα ad hoc δίκτυο που χρησιμοποιεί συχνότητα στα 5.9 GHz, κατοχυρωμένη στην Ευρώπη. Η τεχνολογία που έχει καθοριστεί στο Στρώμα Τεχνολογιών Πρόσβασης ονομάζεται ITS-G5.

Η Τεχνική Προδιαγραφή TS 102 724 [33] περιγράφει θέματα για τη λειτουργία των καναλιών ITS-G5A και ITS-G5B όπως είναι η ανάθεση των προτεραιοτήτων πρόσβασης του καναλιού, συμπεριλαμβανομένης και της λειτουργίας πολυκαναλικής υποστήριξης η οποία περιλαμβάνει τη λειτουργία καναλιών ελέγχου και υπηρεσιών για ITS-G5. Επίσης περιγράφει τη χρήση καναλιών για εφαρμογές οδικής ασφάλειας - βελτίωση της κυκλοφορίας, έλεγχο ροής δεδομένων ανά κανάλι και ανά κυκλοφορία, κ.α.

Η Τεχνική Προδιαγραφή TS 102 687 [34] περιγράφει θέματα για τη λειτουργία αλγορίθμων Αποκεντρωμένου Ελέγχου Συμφόρησης (Decentralized Congestion Control - DCC). Ο μηχανισμός DCC είναι αναγκαίος σε ad hoc δίκτυα όπου ο αριθμός των σταθμών επικοινωνίας δεν είναι γνωστός, εξαρχής. Σε ένα δίκτυο Οχημάτων ad hoc (Vehicular ad hoc network – VANET) ο αριθμός των οχημάτων μπορεί να αυξηθεί ραγδαία, όπως για παράδειγμα σε ένα απρόσμενο συμβάν, και ο μηχανισμός DCC θα πρέπει να μοιράσει τους πεπερασμένους πόρους του δικτύου, καταλλήλως. Επίσης ο μηχανισμός DCC ελέγχει την κυκλοφορία των δεδομένων για αποφυγή συμφόρησης των καναλιών. Ο αλγόριθμος MAC προγραμματίζει μεταδόσεις για αποφυγή παρεμβολών μεταξύ των σταθμών επικοινωνίας. Επίσης σε ένα VANET, όταν ο μηχανισμός DCC είναι ενεργός μπορεί να γίνεται σταδιακή υποβάθμιση στην προτεραιότητα εκτέλεσης διαφόρων εφαρμογών, όπου κάποιες εφαρμογές μπορεί να σταματήσουν προσωρινά.

Στην Τεχνική Προδιαγραφή TS 103 175 [35] προσδιορίζεται η λειτουργία πολλαπλών στρωμάτων του μηχανισμού Αποκεντρωμένου Ελέγχου Συμφόρησης (DCC), δηλαδή επικεντρώνεται στις εσωτερικές λειτουργίες διαχείρισης DCC που σχετίζονται με τα διαφορετικά στρώματα αρχιτεκτονικής του DCC και τις απαραίτητες λειτουργίες για την υποστήριξη του μηχανισμού DCC. Επίσης η εν λόγω TS περιέχει διαδικασίες ελέγχου δοκιμών και τις αντίστοιχες περιπτώσεις χρήσης αυτών.

Στρώμα Δικτύωσης και Μεταφοράς: Σε αυτό το στρώμα το πρότυπο EN 302 636 [36] αναφέρεται στο Πρωτόκολλο Γεωδικτύωσης (GeoNetworking - GN) του στρώματος δικτύου. Το GeoNetworking

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

[37] είναι ένα πρωτόκολλο για ad hoc δίκτυα βασισμένα στην ασύρματη τεχνολογία, όπως το ITS-G5. Επεξεργάζεται γεωγραφικές θέσεις για τη μετάδοση πληροφοριών, δηλαδή κάνει χρήση γεωγραφικών θέσεων για διευθυνσιοδότηση και για μεταφορά πακέτων σε διαφορετικού τύπου δίκτυα. Οι βασικές λειτουργίες που παρέχει είναι η γεωγραφική διεύθυνση και η γεωγραφική προώθηση. Η τελευταία λαμβάνει χώρα σε μία γεωγραφική περιοχή χωρίς να χρειάζεται πίνακας δρομολόγησης, διότι η δρομολόγηση πραγματοποιείται με βάση τη γεωγραφική διεύθυνση στο πακέτο δεδομένων. Επίσης το πρότυπο EN 302 636 [36] προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά του Βασικού Πρωτοκόλλου Μεταφοράς (Basic Transport Protocol - BTP) το οποίο παρέχει υπηρεσία μεταφοράς από άκρο-σε-άκρο σε ένα δίκτυο ITS ad hoc χωρίς να χρειάζεται η εξασφάλιση σύνδεσης του κόμβου (γεγονός που συνεπάγεται αύξηση της ταχύτητας μεταφοράς δεδομένων αλλά λιγότερη αξιοπιστία). Επιπλέον, στο Στρώμα Δικτύωσης και Μεταφοράς βρίσκονται το Πρωτόκολλο Γεωδικτύωσης σε IPv6 (GeoNetworking to IPv6 – GN6) και τα πρωτόκολλα TCP/UDP και IPv6.

Η Τεχνική Προδιαγραφή TS 103 097 [38] αναφέρεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει μία ασφαλής δομή δεδομένων, συμπεριλαμβανομένης της κεφαλίδας, στα χαρακτηριστικά μορφοποιήσεων των πιστοποιητικών. Οι πολιτικές ασφάλειας απαιτούν τη διασφάλιση των δομών δεδομένων, όπως τα μηνύματα που αποστέλλονται ή αποθηκεύονται στα Νοήμονα Συστήματα Μεταφορών (ITS).

Η Τεχνική Προδιαγραφή TS 102 941 [39] καλύπτει θέματα που καθορίζουν τη διαχείριση απορρήτου που απαιτείται για την υποστήριξη της ασφάλειας την οποία χρειάζεται ένα περιβάλλον Νοήμονος Συστήματος Μεταφοράς. Επίσης, στη συγκεκριμένη προδιαγραφή αναγνωρίζονται και προδιαγράφονται υπηρεσίες ασφάλειας για τον καθορισμό και τη συντήρηση οντοτήτων και κρυπτογραφικών κλειδιών σε ένα σύστημα ITS. Βασικός σκοπός είναι η διάθεση λειτουργιών επί των οποίων μπορούν να δομηθούν εφαρμογές για τη διασφάλιση της εμπιστευτικότητας και για τη διατήρηση του απορρήτου σε ένα σύστημα ITS.

Στρώμα Ευκολιών: Η Τεχνική Προδιαγραφή TS 19 091 [40] καθορίζει θέματα σχετικά με τα μηνύματα, τη δομή δεδομένων και τα στοιχεία τους για υποστήριξη της επικοινωνίας με τις RSUs και τα οχήματα, έτσι ώστε να βελτιώνεται η ασφάλεια των εφαρμογών, η κινητικότητα και η περιβαλλοντική απόδοση. Η προδιαγραφή επικεντρώνεται στον ορισμό των μηνυμάτων SPAT (Signal Phase and Timing – Μήνυμα Φάσης και Χρονισμού του Σήματος), MAP (Map Data – Δεδομένα Map), SSM (Signal Status Message – Μήνυμα Στάτου Σήματος) και SRM (Signal Request Message – Μήνυμα Αίτησης Σήματος) τα οποία υποστηρίζουν σχετικές περιπτώσεις χρήσης. Τα παραπάνω μηνύματα έχουν σκοπό να ενημερώσουν τα οχήματα για τις καταστάσεις του οδικού δικτύου όπως επίσης και για να παράσχουν πληροφορίες σχετικά με την ενημέρωση για την κυκλοφορία (όπως π.χ. την κατάσταση του φωτεινού σηματοδότη και την παροχή προτεραιότητας σε ειδικά οχήματα). Ειδικότερα, τα μηνύματα MAP περιέχουν πληροφορίες για όλα τα οδικά δίκτυα, όλα τα μέσα μεταφοράς και για τις οδικές διασταυρώσεις για τους πεζούς. Τα μηνύματα SPAT περιέχουν πληροφορίες για την κατάσταση των σημάτων κυκλοφορίας σε μία οδική διασταύρωση. Τα μηνύματα SSM και SRM ορίστηκαν για την παροχή πληροφοριών όσον αφορά στην προτεραιότητα του οχήματος σε μία διασταύρωση ή στην αίτηση μηνύματος για παροχή προτεραιότητας [41].

Η Τεχνική Προδιαγραφή TS 19 321 [42] ορίζει τις δομές των δεδομένων IVI (In-Vehicle Information) που απαιτούνται από διαφορετικές υπηρεσίες ITS για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των σταθμών ITS. Σκοπός του IVI είναι να ενημερώσει τον άνθρωπο που χρησιμοποιεί το οδικό δίκτυο ή τα οχήματα σχετικά με πληροφορίες ταξιδιού (όπως π.χ. με προειδοποιήσεις επικινδυνότητας του δρόμου, επαναδρομολόγηση - εκ νέου χάραξη πορείας, προειδοποιήσεις για οδικά έργα, κτλ.).

Το πρότυπο EN 302 637 [43] προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά, τις προδιαγραφές της βασικής υπηρεσίας CAM (Cooperative Awareness Message – Συνεργατικό Μήνυμα Ενημερότητας) καθώς και τις προδιαγραφές για το χειρισμό των μηνυμάτων. Τα CAMs στην οδική κυκλοφορία ενημερώνουν όλα τα είδη των οχημάτων (όπως αυτοκίνητα, φορτηγά, μοτοσυκλέτες, ποδήλατα) ή ακόμη και

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

πεζούς καθώς και τις Παρόδιες Μονάδες του δικτύου συμπεριλαμβανομένων των μπαρών ασφάλειας, οδικών πινακίδων, έξυπνων φαναριών, κτλ. Τα CAMs παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την παρουσία των οχημάτων, τις θέσεις αυτών καθώς και με τη βασική κατάσταση επικοινωνίας των σταθμών ITS με οχήματα και τους γειτονικούς τους σταθμούς. Λαμβάνοντας μηνύματα CAM, ο σταθμός ITS ενημερώνει τους γειτονικούς σταθμούς ITS με πληροφορίες για τη θέση, την κίνηση των οχημάτων καθώς και τις βασικές πληροφορίες του αισθητήρα, οπότε οι γειτονικοί σταθμοί ITS ενεργούν ανάλογα. Επίσης το ίδιο πρότυπο EN 302 637-3 [44] (στην ενότητά του No.3) καθορίζει το μήνυμα DENM (Decentralized Environmental Notification Message – Αποκεντρωμένο Περιβαλλοντικό Μήνυμα) και το χειρισμό του σχετικού πρωτοκόλλου. Το DENM περιέχει πληροφορίες που σχετίζονται με την επικινδυνότητα του δρόμου ή με μη κανονικές συνθήκες κυκλοφορίας. Στο βασικό σύνολο εφαρμογών (BSA) που έχει ορίσει η Τεχνική Επιτροπή TC ITS¹⁹ του ETSI, υπάρχει η εφαρμογή RHW (Road Hazard Warning – Προειδοποίηση Οδικής Επικινδυνότητας) που καθορίζεται από πολλές περιπτώσεις χρήσης με στόχο τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας και της κυκλοφορίας²⁰. Η παραπάνω Τεχνική Επιτροπή ορίζει τη βασική υπηρεσία DEN (Decentralized Environmental Notification - Αποκεντρωμένη Περιβαλλοντική Ειδοποίηση) η οποία υποστηρίζει την εφαρμογή RHW. Η βασική υπηρεσία DEN υποστηρίζει τις εφαρμογές στο Στρώμα Ευκολιών και διαχειρίζεται, επεξεργάζεται και συνθέτει τα DENMs.

Στρώμα Εφαρμογών: Εδώ καθορίζονται οι εφαρμογές που σχετίζονται -ή μη- με την ασφάλεια καθώς και άλλες, όπως η Ψηφιακή Βιντεοεκπομπή (Digital Video Broadcasting²¹ - DVB) ή η μεταφορά πληροφοριών περιεχομένου με ευρυεκπομπή για χρήση από τον οδηγό (Broadband Content Guide²² - BCG) μέσω του πρωτοκόλλου Διαδικτύου (Internet Protocol - IP). Η Τεχνική Προδιαγραφή TS 102 539 [45] καθορίζει τη μεταφορά πληροφοριών TV-Anytime²³, μέσω ενός συνεχούς ενεργοποιημένου αμφίδρομου δικτύου IP. Επιτρέπεται η μετάδοση μεταδεδομένων (meta-data) που περιγράφουν «ζωντανή» ευρυζωνική μετάδοση, περιεχόμενο κατ'απαίτηση (on-demand) και υπηρεσίες λήψης που παρέχονται από οποιονδήποτε τύπο δικτύου χρησιμοποιώντας προδιαγραφές DVB. Επίσης, στο Στρώμα Εφαρμογών καθορίζονται και οι ειδικές εφαρμογές ως εξής: Σηματοδότηση Οδικού Κινδύνου (Road Hazard Signaling - RHS), Προειδοποίηση Κινδύνου Σύγκρουσης σε Διασταύρωση (Intersection Collision Risk Warning- ICRW), Προειδοποίηση Κινδύνου Διαμήκους Σύγκρουσης (Longitudinal Collision Risk Warning - LCRW). Οι παραπάνω εφαρμογές αναφέρονται σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Η εφαρμογή RHS αναφέρεται στην πιθανή περίπτωση που πλησιάζει όχημα έκτακτης ανάγκης ή σε θέσεις του δρόμου που είναι επικίνδυνες ή όταν ενεργοποιείται η ηλεκτρονική λυχνία πέδησης. Η εφαρμογή ICRW αναφέρεται στην πιθανή περίπτωση κινδύνου σύγκρουσης σε μία οδική διασταύρωση. Η εφαρμογή LCRW αναφέρεται στην πιθανή μετωπική σύγκρουση οχημάτων με άλλο προσερχόμενο όχημα.

3.2.1 Κανάλια επικοινωνίας ITS-G5

Οι δύο τελευταίοι χαρακτήρες του ITS-G5 προέρχονται από τη λειτουργία της συχνότητας στα 5.9 GHz με χρήση καναλιών των 10 MHz το καθένα. Το ευρωπαϊκό εύρος ζώνης στην εν λόγω ζώνη υποδιαιρείται σε τμήματα από το A μέχρι το D. Το ITS- G5A αντιπροσωπεύει το κύριο εύρος ζώνης 30 MHz και είναι αφιερωμένο στις εφαρμογές ασφάλειας. Το ITS- G5B καλύπτει ένα εύρος ζώνης 20 MHz και χρησιμοποιείται για εφαρμογές που δεν έχουν σχέση με ασφάλεια. Το ITS-G5C υφίσταται

¹⁹ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://portal.etsi.org/TB-SiteMap/ITS/its-tor>

²⁰ Βλέπε επίσης, μεταξύ άλλων: ETSI TS 102 940 V1.1.1 (2012-06): “Intelligent Transport Systems (ITS); Security; ITS communications security architecture and security management”.

²¹ Βλέπε επίσης: <https://dvb.org/>

²² Για περισσότερα στοιχεία βλέπε επίσης: <https://dvb.org/?standard=carriage-of-broadband-content-guide-bcg-information-over-internet-protocol-ip>

²³ Το TV-Anytime είναι ένα σύνολο προδιαγραφών που καθορίζουν την παράδοση των πολυμεσικών δεδομένων σε ένα τοπικό χώρο αποθήκευσης ενός χρήστη (πηγή: <https://en.Wikipedia.org>)

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

για τις υπόλοιπες εφαρμογές ενώ το ITS-G5D είναι δεσμευμένο για μελλοντικές χρήσεις υπηρεσιών ITS [22]. Παρακάτω βλέπουμε πιο αναλυτικά τις συχνότητες που χρησιμοποιεί η επικοινωνία ITS-G5.

- ITS-G5A: Από 5.875 GHz έως 5.905 GHz. Σε αυτές τις συχνότητες εντάσσονται οι εφαρμογές που είναι σχετικές με την ασφάλεια οχημάτων και πεζών.
- ITS-G5B: Από 5.855 GHz έως 5.875 GHz. Σε αυτές τις συχνότητες εντάσσονται οι εφαρμογές που δεν είναι σχετικές με την ασφάλεια οχημάτων και πεζών.
- ITS-G5C: Από 5.470 GHz έως 5.725 GHz. Σε αυτές τις συχνότητες εντάσσονται οι υπόλοιπες εφαρμογές.

Στον παρακάτω Πίνακα 3 ([1]) παρατηρούμε τα κανάλια που αντιπροσωπεύουν τον καθορισμό του εύρους συχνοτήτων του δικτύου V2X στην Ευρώπη.

Πίνακας 3. Καθορισμός Εύρους Ζωνών και Εφαρμογών στην Ευρώπη

Κανάλι	SCH 172	SCH 174	SCH 176	SCH 178	CCH 180	SCH 182	SCH 184
Συχνότητα (GHz)	5.855 – 5.865	5.865 – 5.875	5.875 – 5.885	5.885 – 5.895	5.895 – 5.905	5.905 – 5.910	5.910 – 5.915
Υπηρεσίες και Εφαρμογές	Κανάλια για εφαρμογές μη σχετιζόμενες με την ασφάλεια, όπως διόδια, έξυπνα φανάρια, TV-Anywhere ITS – G5B		Κανάλια που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές ασφάλειας και βελτίωσης της κυκλοφορίας ITS –G5A		Υψηλής προτεραιότητας κανάλι για κρίσιμες εφαρμογές ασφαλείας ITS-G5A	Κανάλια που χρησιμεύουν για μελλοντική χρήση συστημάτων C-ITS ITS-G5D	

Παρατηρούμε ότι το εύρος ζώνης είναι χωρισμένο σε έξι κανάλια Υπηρεσιών (SCH) και σε ένα κανάλι ελέγχου (CCH) με βάση το πρότυπο IEEE 1609.4.

Υπάρχει ένα εύρος συχνοτήτων από πέντε κανάλια το κάθε ένα από 5.855 έως 5.905 GHz, το οποίο και χωρίζεται σε κανάλια των 10 MHz. Υπάρχουν δύο κανάλια των 5 MHz στη ζώνη συχνοτήτων από 5.905 έως 5.915 GHz που είναι δεσμευμένα για μελλοντική χρήση συστημάτων ITS. Τα κανάλια υποστηρίζουν ένα εύρος ζώνης από 3 Mbps έως 27 Mbps. Επίσης επιτρέπεται να συνδυαστούν δύο κανάλια SCH και να δώσουν ένα κανάλι με συχνότητα 20 MHz, με υψηλό ρυθμό δεδομένων στα 57 Mbps.

Το πρότυπο ITS-G5C με ζώνη συχνοτήτων 5.470 GHz - 5.725GHz μπορεί να έχει ένα κανάλι συχνότητας 10 MHz ή 20 MHz, είναι αφιερωμένο για την επικοινωνία V2I και μπορεί να μοιράζεται το εύρος ζώνης με τοπικά ραδιοδίκτυα (Radio Local Networks - RLANS) που χρησιμοποιούνται από συσκευές Wi-Fi.

3.3 Επικοινωνία LTE-V2X

Η επικοινωνία LTE-V2X είναι μία ασύρματη τεχνολογία V2X με υψηλό ρυθμό δεδομένων, βασισμένη στην εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών LTE όπως ορίζεται από τον φορέα 3GPP (3rd Generation Partnership Project) [46].

3.3.1 Τεχνολογία LTE

Η τεχνολογία LTE (Long Term Evolution) παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 2008 και ονομάστηκε LTE Έκδοση 8²⁴ (LTE Rel.8) από την 3GPP, προσφέροντας υπηρεσίες βασιζόμενες σε τεχνολογία IP, συμπεριλαμβανομένης και της φωνής. Η επόμενη γενιά (**Έκδοση 9**²⁵) προσέφερε σημαντικά επιπλέον στοιχεία όπως [1]:

- Βελτιωμένη απόδοση.
- Παράλληλη χρήση πολλαπλών καναλιών (MIMO - Multi-Input Multi-Output).
- Εσωτερικός συντονισμός των παρεμβολών στις κυψέλες για καλύτερο συντονισμό των σταθμών βάσης.
- Χρήση πρόσβασης ορθογώνιας πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (OFDMA) στην κατερχόμενη ζεύξη.
- Χρήση Πολλαπλής Πρόσβασης Διαίρεσης Συχνότητας με Απλή Φέρουσα (SC-FDMA) στην ανερχόμενη ζεύξη.
- Υποστήριξη FDD (Frequency Division Duplex - Συχνοδιαιρετική Αμφίδρομη Επικοινωνία) και TDD (Time Division Duplex - Χρονοδιαιρετική Αμφίδρομη Επικοινωνία).
- Υποστήριξη υψηλής κινητικότητας μέχρι 350 Km/ώρα.

Στην Έκδοση 10²⁶ (LTE-Advance) επιτεύχθηκε αύξηση της ταχύτητας δεδομένων από 100 Mbps σε 600 Mbps με τεχνικές όπως [47]:

- CA (Carrier Aggregation – Συνάθροιση Φέρουσας) όπου συγχωνεύονται πολλαπλά κανάλια είτε από την ίδια ζώνη συχνοτήτων είτε από διαφορετικές ζώνες και υποστηρίζονται υψηλές ταχύτητες.
- Βελτίωση της εκπομπής από πολλαπλές κεραιές όπου η χωρική πολυπλεξία στην κατερχόμενη ζεύξη επεκτείνεται στα 8 επίπεδα, από τα τέσσερα, με μέγιστο εύρος ζώνης τα 100 MHz (4G+).
- Υποστήριξη “Relaying” («Αναμετάδοσης») (τρόπος επικοινωνίας του τερματικού με το δίκτυο μέσω ενός κόμβου “Relay” ο οποίος συνδέεται ασύρματα με έναν Σταθμό Βάσης) για ετερογενή δίκτυα για να συνδέονται οι συνδρομητές που βρίσκονται στο περιθώριο του εύρους σήματος με μικρή κεραία (relay cell).
- Βελτίωση συντονισμού των σταθμών βάσης σε ετερογενή δίκτυα όπου υπάρχουν femtocells και picocells.

Στην Έκδοση 11²⁷ παρέχεται η δυνατότητα σε έναν κινητό σταθμό ώστε να λαμβάνει δεδομένα ταυτόχρονα από περισσότερα από ένα σημεία μετάδοσης. Δηλαδή έχουμε [47]:

- Μετάδοση σε ένα τερματικό από ένα σημείο αλλά ο προγραμματισμός και η σύνδεση πραγματοποιούνται μεταξύ πολλών σημείων (multipoint coordination/transmission – πολυσημειακός συντονισμός/εκπομπή).
- Μεταγωγή της κίνησης προς ένα τερματικό μεταξύ διαφορετικών σημείων, γεγονός που συνεπάγεται «δικαιότερη» κατανομή (dynamic point selection – δυναμική επιλογή σημείου).

²⁴ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.3gpp.org/specifications/releases/72-release-8>

²⁵ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.3gpp.org/specifications/releases/71-release-9>

²⁶ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.3gpp.org/specifications/releases/70-release-10>

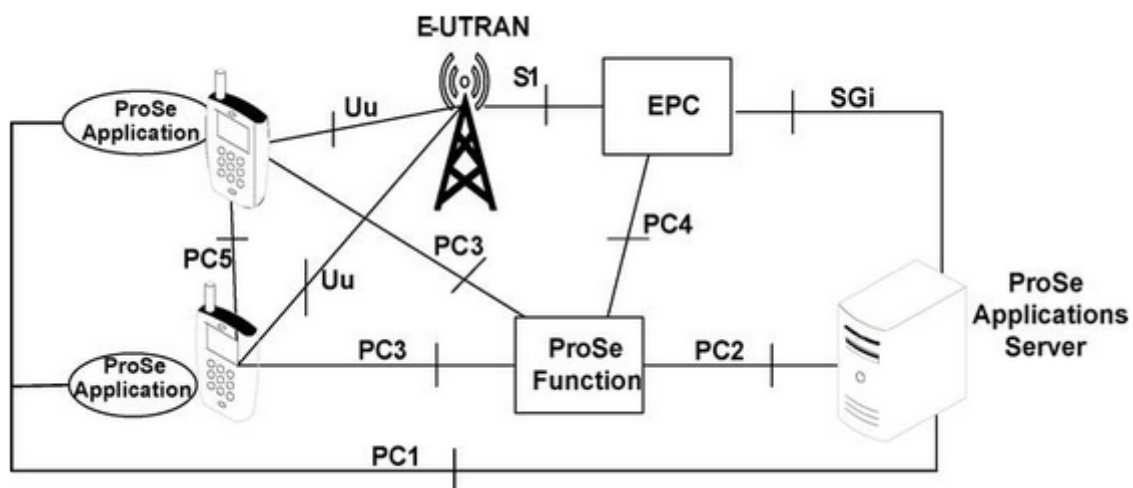
²⁷ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.3gpp.org/specifications/releases/69-release-11>

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

- Συμπληρωματική δομή ελέγχου για υποστήριξη παρεμβολών.
- Βελτίωση του CA.
- Δυνατότητες και κοινοποίηση εκδόσεων των τερματικών ανάλογα με την έκδοση LTE.
- Διαχειριζόμενος χρονοπρογραμματισμός για μείωση της παρεμβολής του τερματικού που εξυπηρετείται από άλλον σταθμό βάσης.
- Αυξομείωση ισχύος του σταθμού βάσης για αποφυγή παρεμβολών.
- Μεταβολή κατεύθυνσης της ακτίνας – περιοχής κάλυψης (Beam Forming – Σχηματισμός Δέσμης).

Στην Έκδοση 12²⁸/13²⁹ η επικοινωνία V2V στηρίχθηκε στην επικοινωνία D2D (Device-to-Device) που είναι η απευθείας σύνδεση μεταξύ συσκευών χρηστών σε ένα κυψελοειδές δίκτυο χωρίς τη συνδρομή ενός σταθμού βάσης. Η εκπομπή γίνεται σε αδειοδοτημένα κανάλια σήματος και όχι όπως με την τεχνολογία Wi-Fi, Bluetooth³⁰, ZigBee³¹. Οι επικοινωνίες LTE D2D ορίζονται ως μέρος των υπηρεσιών εγγύτητας (Proximity Services - ProSe) με χαρακτηριστικά και τυποποιήσεις που καθορίζονται από τον φορέα 3GPP. Οι ProSe ανέπτυξαν την επικοινωνία V2V για ασφαλείς υπηρεσίες στο κοινό. Το LTE-A ProSe περιλαμβάνει επιπλέον λειτουργίες και διακομιστές ProSe που συνδέονται με άλλες συσκευές διαμέσου νέων διεπαφών (των PC2 έως PC4). Για να εξασφαλιστεί η επικοινωνία D2D μεταξύ συσκευών χρήστη (user equipments - UEs) δημιουργήθηκε η διεπαφή PC5 γνωστή και ως SideLink (Πλευρική Ζεύξη) στο Φυσικό στρώμα [1].

Το Σχήμα 6 δείχνει τη νέα Υπηρεσία εγγύτητας **LTE-A ProSe** που βρίσκεται στο Δίκτυο Κορμού LTE (Evolved Packet Core (Εξελιγμένο Πακέτο Πυρήνα) - EPC), η οποία επιτρέπει στις συσκευές να ανακαλύπτουν όμοιές τους, με τις οποίες μπορούν να συνδεθούν για να εξυπηρετήσουν τις υπηρεσίες επικοινωνίας D2D. Η λειτουργία ProSe επιτρέπει στους χρήστες να επικοινωνούν απευθείας και να ανταλλάσσουν δεδομένα με τις γειτονικές συσκευές, στέλνοντας ένα μήνυμα εγγραφής στο σταθμό eNB³² με ένα αναγνωριστικό ID ProSe. Το eNB οργανώνει την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών χρησιμοποιώντας τα κανάλια ελέγχου. Μόλις οι συσκευές επικοινωνίας ελεγχθούν από τον σταθμό eNB, τότε μπορούν να επικοινωνήσουν απευθείας χρησιμοποιώντας τη διεπαφή PC5 όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6³³.



Σχήμα 6. Αρχιτεκτονική δικτύου τεχνολογίας LTE Έκδ.12 - D2D

²⁸ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.3gpp.org/specifications/releases/68-release-12>

²⁹ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.3gpp.org/release-13>

³⁰ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε, μεταξύ άλλων: <https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>

³¹ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε, μεταξύ άλλων: <https://en.wikipedia.org/wiki/Zigbee>

³² Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε, μεταξύ άλλων: <https://en.wikipedia.org/wiki/ENodeB>

³³ Πηγή: <https://www.intechopen.com>.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Στην Έκδοση 13 έγινε εισαγωγή της υποστήριξης των υπηρεσιών ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service-QoS) για κάθε πακέτο δεδομένων. Η κατανομή πόρων στην επικοινωνία D2D υποστηρίχθηκε με δύο Λειτουργίες [1]:

- Λειτουργία 1: Σε αυτή την κατάσταση υπάρχει ένας δικτυακός χρονοπρογραμματιζόμενος μηχανισμός όπου, όταν ένας εξοπλισμός χρήστη (User Equipment - UE) αιτείται πόρους, ένας εμπλεκόμενος κόμβος (eNB) τους εξασφαλίζει για αποστολή προς τον χρήστη.
- Λειτουργία 2: Σε αυτή την κατάσταση υπάρχει ένας αυτόματος μηχανισμός όπου ο εμπλεκόμενος κόμβος (eNB) διαχειρίζεται πόρους D2D και τους διαθέτει μέσω ευρυεκπομπής, ενώ ο UE επιλέγει τους απαιτούμενους πόρους για την αποστολή αυτών.

Για την επικοινωνία D2D έχουμε αντίστοιχα :

- **Τύπος 1:** Στον τύπο 1 γίνεται αυτόνομη επικοινωνία όπου ο UE επιλέγει έναν πόρο από μία πηγή πόρων (resource pool) και ο eNB διαμορφώνει τον επιλεγμένο πόρο για επικοινωνία D2D.
- **Τύπος 2:** Οι πόροι του UE παρέχονται απευθείας από τον eNB.

3.3.2 Τεχνολογία LTE-V2X (Έκδοση 14)

Η Έκδοση 14³⁴ παρουσιάστηκε για πρώτη φορά τον Σεπτέμβριο του 2016 από τον φορέα 3GPP. Η τεχνολογία LTE-V2X για επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων, ήρθε σαν εναλλακτική λύση έναντι της επικοινωνίας DSRC. Οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών και οι αυτοκινητοβιομηχανίες αποδέχτηκαν την τεχνολογία C-V2X, διότι σε συνδυασμό με τα κυψελοειδή δίκτυα LTE για επικοινωνία V2N υπήρχαν διακριτές δυνατότητες για [22]:

- Καλύτερη κάλυψη για επικοινωνία V2N, αξιοποιώντας την υπάρχουσα δομή δικτύου.
- Χαμηλό κόστος εγκατάστασης υποδομής δικτύου.
- Βελτιωμένη αξιοπιστία υπηρεσιών.
- Βελτιωμένη ασφάλεια.
- Καλύτερη ευελιξία ανάπτυξης τόσο σε μικρές και σε μεγάλες εφαρμογές.
- Περισσότερες υπηρεσίες στη διαθεσιμότητα των οχημάτων, όπως υποστήριξη ψυχαγωγίας.

Σήμερα, σχεδόν όλα τα οχήματα περιέχουν ενσωματωμένους μηχανισμούς συστημάτων συνδεδεμένους με κυψελοειδές δίκτυο για εφαρμογές GPS, μουσικής, βίντεο, μηνυμάτων, τηλεφωνίας, παιχνιδιών, επιγραμμικής (online) συντήρησης του οχήματος κ.α. Το κυψελοειδές δίκτυο εξασφαλίζει σύνδεση με το Δικτυακό Νέφος μέσω αδειοδοτημένων συχνοτήτων και χρησιμοποιεί αρχιτεκτονικές φετοτεμαχισμού του Δικτύου (Network Slicing - NS).

Στην επικοινωνία V2X, επειδή η απευθείας διεπαφή SideLink PC5 (Έκδοση 12/13) δεν καλύπτει τις ανάγκες του δικτύου V2X (όπως την αξιοπιστία, την ταχύτητα των οχημάτων (μέχρι 250 km/ώρα), την υψηλή πυκνότητα στους κόμβους του δικτύου), έγινε εισαγωγή μίας νέας έκδοσης της διεπαφής PC5 (στην Έκδοση 14). Η νέα διεπαφή PC5 εξελίχθηκε για να μπορεί να διανέμει τις ταχέως μεταβαλλόμενες πληροφορίες ενός οχήματος, όπως τη θέση, την ταχύτητα, την κατεύθυνση και για να μπορεί να υποστηρίζει τις υπηρεσίες V2X (όπως π.χ. την αυτόνομη οδήγηση). Επίσης δύναται να πραγματοποιεί μερισμό πληροφοριών από τους αισθητήρες αλλά και για να υποστηρίζει κίνηση σε ομάδα οχημάτων. Έτσι, για την επικοινωνία D2D που είναι μέρος των υπηρεσιών ProSe (Proximity Service) οι βασικές τροποποιήσεις συνίστανται στα εξής [46]:

³⁴ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.3gpp.org/release-14>
Βλέπε επίσης την προσέγγιση σύμφωνα με τη βιβλιογραφική παραπομπή [109].

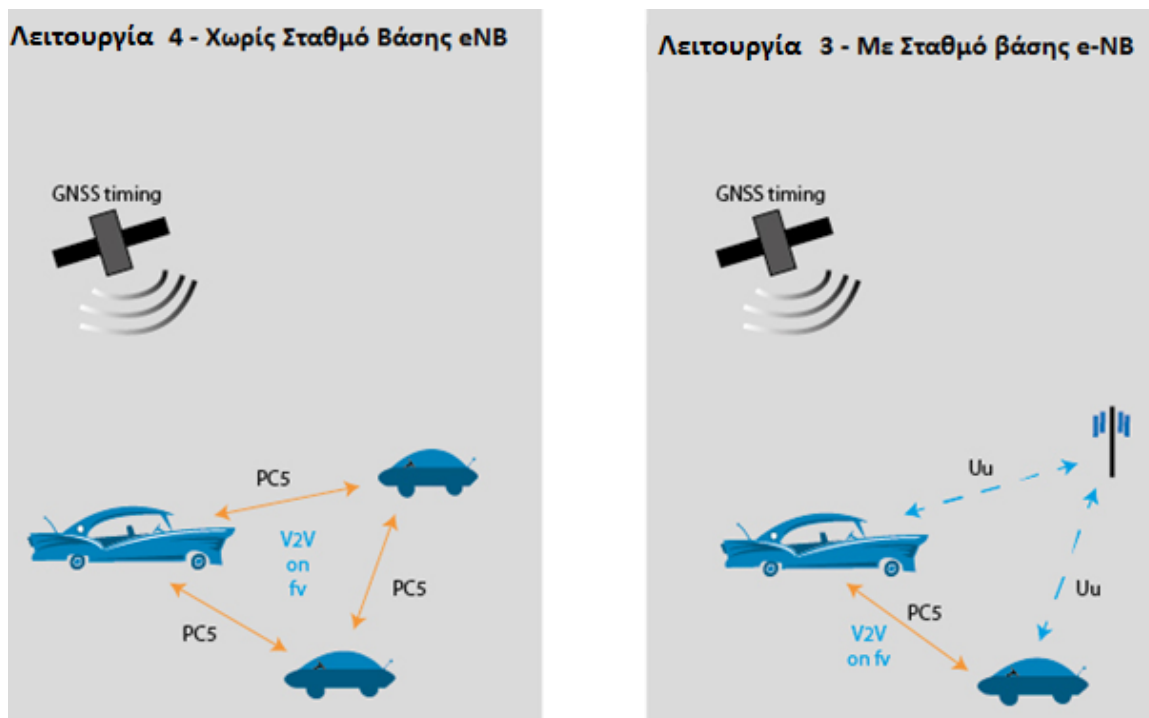
Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

1. Έχουν προστεθεί επιπλέον σύμβολα DMRS ³⁵ (Demodulation Reference Signal) για τη διαχείριση της υψηλής εξάπλωσης Doppler (ταχύτητες έως και 500 km/ώρα) σε υψηλή ζώνη συχνοτήτων (ITS 5.9 GHz).
2. Γίνεται καλύτερη διαχείριση στην ανάθεση του χρονοπρογραμματισμού (scheduling) και στην ανάθεση των πόρων των δεδομένων (data resources) της υποδομής του δικτύου.
3. Γίνεται χρήση του Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Πλοήγησης (GNSS) για την επίτευξη συγχρονισμού. (Μειονέκτημα μπορεί να θεωρηθεί η περίπτωση που το σήμα GNSS λείπει, π.χ. σε σήραγγες).

Επιπλέον, στη διεπαφή PC5 προστέθηκαν δύο λειτουργίες [46]:

- Λειτουργία 3: Η χρονοπρογραμματιζόμενη διαχείριση και ο έλεγχος για τις παρεμβολές γίνεται από τους κεντρικούς σταθμούς βάσης (eNBs) μέσω σημάτων ελέγχου από τη διεπαφή Uu. Η κατανομή των πόρων πραγματοποιείται με κεντρικό τρόπο από το κυψελοειδές δίκτυο. Ο σταθμός βάσης θα εκχωρήσει τους πόρους που χρειάζεται το όχημα, δυναμικά για το δίκτυο V2V.
- Λειτουργία 4: Η διαχείριση για χρονοπρογραμματισμό και ο έλεγχος για τις παρεμβολές γίνονται αποκλειστικά από κατανεμημένους αλγορίθμους που εφαρμόζονται μεταξύ των οχημάτων. Οι αλγόριθμοι βασίζονται στους αισθητήρες μέσω της διεπαφής PC5, χρησιμοποιώντας τη ζώνη συχνοτήτων 5.9 GHz. Έχει καλύτερη απόδοση σε σχέση με το 802.11p και παρέχει καλύτερη ασφάλεια.

Στο παρακάτω Σχήμα 6 ([46]) παρουσιάζονται οι Λειτουργίες 3 και 4 της διεπαφής PC5.



Σχήμα 7. Λειτουργίες 3 και 4 της διεπαφής PC5 ενός δικτύου C-V2X

³⁵ Τα DMRS είναι αποδιαμορφωμένα σήματα αναφοράς που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του καναλιού και μόνο τότε αποστέλλονται.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

MME: Mobility Management Entity (Οντότητα Διαχείρισης της Κινητικότητας): Είναι το πεδίο ελέγχου του δικτύου κορμού. Είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση των κλειδιών, καταστάσεων “idle to active” («άεργο σε ενεργό») και για τη διαχείριση συνδέσεων (έναρξη/τερματισμός)

S-GW (Serving Gateway – Πύλη Εξυπηρέτησης): Είναι η μονάδα που συνδέει το δίκτυο κορμού με οποιοδήποτε εξωτερικό δίκτυο ραδιοπρόσβασης RAN (Radio Access Network). Επίσης διαχειρίζεται την κινητικότητα δεδομένων μεταξύ των χρηστών-οχημάτων.

P-GW (Packet Gateway – Πύλη Πακέτων): Αυτή η μονάδα πρακτικά συνδέει το δίκτυο κορμού με το Διαδίκτυο.

HSS (Home Subscriber Server – Εξυπηρετητής Οικιακών Συνδρομητών): Είναι μία βάση δεδομένων που περιέχει πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με τους χρήστες. Παρέχει επίσης λειτουργίες υποστήριξης για τη διαχείριση της κινητικότητας, τη ρύθμιση των κλήσεων και συνόδων, τον έλεγχο της ταυτότητας του χρήστη και την εξουσιοδότηση της πρόσβασης.

Στον παρακάτω Πίνακα 4 φαίνεται μία σύγκριση μεταξύ του C-V2X και του IEEE802.11p (DSRC) σε πολλά επίπεδα που αφορούν στη συνδεσιμότητα, στην καθυστέρηση, στην τεχνολογία, στην υποστήριξη υψηλής κινητικότητας, στην εξέλιξη, στην ανάπτυξη, κ.α. ([1], [49]).

Πίνακας 4. Σύγκριση τεχνολογιών μεταξύ DSRC και Cellular για δίκτυα V2X

Στοιχείο	DSRC – V2X	C – V2X Έκδοση 14/15, 16
Πρότυπο	IEEE 802.11 p	3GPP Έκδοση 15 ³⁶ /16 ³⁷
Εύρος Συχνότητας	5.86 – 5.92 GHz	700 MHz- 100 GHz
Εύρος κάλυψης	Μέχρι 1 χιλιόμετρο	Μεγαλύτερο από 1 χιλιόμετρο
Δυφιακός Ρυθμός	3 – 27 Mbps	Μέχρι 20 Gbps
Τεχνολογία Επικοινωνίας	OFDM με CSMA, εξασφαλίζει σταθερή επικοινωνία σε πυκνό και δυναμικό περιβάλλον. Δεν εξαρτάται από το σήμα GPS	SC-FDM, κωδικοποίηση και HARQ
Καθυστέρηση	Χαμηλή για V2V επικοινωνίες	Πολύ χαμηλή –μικρότερο από 1 ms
Υποστήριξη κινητικότητας	Μέχρι 60 km/ώρα	Μέχρι 500 km/ώρα
Υποστήριξη επικοινωνίας V2V και V2I	Ναι	Ναι
Τεχνολογία εξέλιξης	IEEE 802.11p /bd	Συμβατότητα με LTE Έκδοση 14/15
Συνδεσιμότητα	Υβριδικό μοντέλο, σύνδεση με κυψελοειδές δίκτυο για εφαρμογές που δεν σχετίζονται με την ασφάλεια	Υβριδικό μοντέλο, σύνδεση με γειτονικά οχήματα βασισμένη στη διεπαφή PC5.
Τωρινή/Μελλοντική προοπτική	Συμβατότητα και επέκταση του 802.11p σε 802.11bd	Έκδοση 16 βασισμένη στο 5G NR και λειτουργία σε διαφορετικά κανάλια

³⁶ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.3gpp.org/release-15>

³⁷ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.3gpp.org/release-16>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μιλήσουμε για τους οργανισμούς που υπάρχουν και στηρίζουν την επικοινωνία V2X, ανά τον κόσμο. Θα αναφέρουμε τους πιο σημαντικούς οργανισμούς στην Ευρώπη, στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και σε ευρύτερο διεθνές επίπεδο. Θα αναλύσουμε το βασικό πρότυπο της επικοινωνίας που είναι το IEEE802.11p, καθώς επίσης και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του στο στρώμα MAC και στο Φυσικό στρώμα. Επίσης, θα αναφέρουμε την εξέλιξη του προτύπου 802.11p σε 802.11bd με εστίαση στα αντίστοιχα τεχνικά χαρακτηριστικά. Στο τέλος του κεφαλαίου αναφέρονται τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας DSRC με βάση τις συγκεκριμένες δράσεις τυποποιήσεις των συναφών οργανισμών.

Η αυτοκινητοβιομηχανία, σε συνεργασία με τους Οργανισμούς Ανάπτυξης Προτύπων (Standards Development Organizations - SDOs), μέσω δράσεων έρευνας και συνεργειών με την ακαδημαϊκή κοινότητα όπως και με τους φορείς-«παίκτες» της αγοράς, έχει αναπτύξει πολλά και διαφορετικά πρότυπα για την υποστήριξη υφιστάμενων αλλά και μελλοντικών εφαρμογών ITS. Υπάρχουν Διεθνείς Οργανισμοί Τυποποίησης και Εθνικοί Οργανισμοί Τυποποίησης σε όλο τον κόσμο (όπως π.χ. στην Ευρώπη στις Η.Π.Α. και στην Ιαπωνία). Στον παρακάτω Πίνακα 5 ([1]) παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι οργανισμοί τυποποίησης σε ευρωπαϊκό και σε διεθνές επίπεδο.

Πίνακας 5. Οργανισμοί Ανάπτυξης Προτύπων στο ITS (Εθνικοί και Διεθνείς)

Διεθνείς SDOs	International Telecommunication Union (Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών)		ITU
	The 3rd Generation Partnership Project (Εταιρισμικό έργο 3 ^{ης} Γενιάς)		3GPP
	International Organization for Standardization (Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης)		ISO
	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών)		IEEE
	American Society for Testing and Materials International (Αμερικανική Εταιρεία για Δοκιμές και Υλικά)		Διεθνής ASTM
	Society of Automotive Engineers International (Εταιρεία Μηχανικών Αυτοκίνησης)		Διεθνής SAE
	Internet Engineering Task Force (Ομάδα Έργου Μηχανίκευσης Ίντερνετ)		IETF
Τοπικοί SDOs	Ευρώπη	European Committee for Standardization (Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης)	CEN
		European Committee for Electrotechnical Standardization (Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης)	CENLEC

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

		European Telecommunications Standards Institute (Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων)	ETSI
	ΗΠΑ	American National Standards Institute (Αμερικανικό Ινστιτούτο Εθνικών Προτύπων)	ANSI
	Ιαπωνία	Japanese Industrial Standards Committee (Ιαπωνική Επιτροπή Βιομηχανικών Προτύπων)	JISC
		Association of Radio Industries and Businesses (Σύνδεσμος Ραδιοβιομηχανιών και Ραδιοεπιχειρήσεων)	ARIB
	Κορέα	Korean Agency for Technology and Standards (Κορεατική Υπηρεσία Τεχνολογίας και Προτύπων)	KATS
		Telecommunication Technology Association (Σύνδεσμος για την Τεχνολογία των Τηλεπικοινωνιών)	TTA

Τα βασικά πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί για την τεχνολογία ITS στην Ευρώπη, στις Η.Π.Α. και σε διεθνές επίπεδο και τα οποία αφορούν στην επικοινωνία των οχημάτων, αναλύονται παρακάτω.

4.1 Ευρώπη

Στην Ευρώπη τα πρότυπα αναπτύσσονται από τους Οργανισμούς Ανάπτυξης Προτύπων που αναγνωρίζονται επίσημα από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ). Αυτοί οι οργανισμοί είναι γνωστοί ως Ευρωπαϊκοί Οργανισμοί Προτύπων (European Standards Organizations - ESOs) και αναφέρονται ως εξής: Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης (CENELEC), Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) και Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI).

- Η CENELEC έχει αναλάβει το ηλεκτροτεχνικό μέρος των προτύπων.
- Η CEN είναι υπεύθυνη για ένα ευρύ φάσμα των μεταφορών και για εφαρμογές ICT (Information and Communication Technology) οι οποίες περιλαμβάνουν προϊόντα που μεταδίδουν, αποθηκεύουν και επεξεργάζονται ηλεκτρονικές πληροφορίες.
- Το ETSI είναι και αυτό υπεύθυνο για τους τομείς της τεχνολογίας των επικοινωνιών και της πληροφορικής.

Οι ESOs συνεργάζονται μεταξύ τους αλλά και με άλλους διεθνείς SDOs, όπως τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO), το IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) και την SAE (Society of Automotive Engineers) με στόχο τη δημιουργία προτύπων ITS που να είναι διεθνώς εναρμονισμένα, κάτι που είναι απαραίτητο για τη διαλειτουργικότητα σε παγκόσμιο επίπεδο.

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, έχουν συσταθεί Τεχνικές Επιτροπές των ESOs :

- CEN: CEN/TC 278 για ITS [50]
- CENELEC: CENELEC/TC 226 για τον οδικό εξοπλισμό [51]
- ETSI: ETSI TC ITS [52]

Η CEN/TC 278 και η ETSI TC ITS εμπεριέχουν διάφορες Ομάδες Εργασίας (Working Groups-WGs), καθεμία εκ των οποίων είναι υπεύθυνη για έναν συγκεκριμένο τομέα ITS. Η CEN/TC 278

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

συνεργάζεται στενά με την ETSI TC ITS και την αντίστοιχη ISO TC 204 [53] για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των προτύπων. Συνολικά υπάρχουν 17 WGs [1].

4.2 Η.Π.Α.

Στις Η.Π.Α., ο επίσημος εκπρόσωπος για τα πρότυπα του ISO είναι το ANSI. Το ANSI είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός που στοχεύει στην ευρύτερη ανάπτυξη και διάδοση των προτύπων. Η βιβλιοθήκη προτύπων IT του ANSI περιέχει ένα σύνολο προτύπων από τους φορείς IEEE, ISO και SAE. Το Υπουργείο Μεταφορών των Η.Π.Α. (U.S. Department of Transportation- USDOT) διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία τυποποίησης που αφορά στα θέματα αναφορικά με την επικοινωνία των οχημάτων. Τα πρότυπα τεχνολογίας της επικοινωνίας οχημάτων συνήθως εκδίδονται από το IEEE, την SAE και τις Επικοινωνίες για Διεθνείς και Εθνικές Μεταφορές ITS (International and National Transportation Communications for ITS Protocol - NTCIP) [1].

Τα πρότυπα ITS που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη εφαρμογών της επικοινωνίας οχημάτων είναι τα εξής:

- SAE J2735 [21].
- SAE J2945 / 1 [54].
- IEEE 1609 (Περιλαμβάνει τα IEEE 1609.2, 1609.3, 1609.4, 1609.11, IEEE 1609.12) [55].
- IEEE 802.11p [15].

Το πρότυπο SAE J2945/1 καθορίζει τις απαιτήσεις του συστήματος για ένα σύστημα επικοινωνιών ασφάλειας οχήματος προς όχημα (V2V), συμπεριλαμβανομένων των προτύπων που καθορίζουν λειτουργικές απαιτήσεις και απαιτήσεις απόδοσης. Το σύστημα επικοινωνίας μεταδίδει και λαμβάνει το Βασικό Μήνυμα Ασφάλειας (Basic Safety Message - BSM) που προσδιορίζεται βάσει του προτύπου SAE J2735 (όπως έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 3). Το Πρότυπο SAE J2735 καθορίζει ένα σύνολο μηνυμάτων, τη δομή δεδομένων και τα στοιχεία των δεδομένων, ειδικά για τη χρήση από εφαρμογές που θα χρησιμοποιήσουν αποκλειστικά επικοινωνίες μικρής εμβέλειας στη συχνότητα των 5.9 GHz, για ασύρματη πρόσβαση σε περιβάλλον με οχήματα. Η οικογένεια από τα πρότυπα IEEE 1609 καλύπτει την έλλειψη που υπάρχει όσον αφορά στη συνεχόμενη υψηλή ταχύτητα επικοινωνίας μεταξύ οχημάτων και παρόχου και την έλλειψη ομοιογενών διεπαφών μεταξύ διαφορετικών αυτοκινητοβιομηχανιών. Το IEEE 802.11p είναι μία εγκεκριμένη τροποποίηση του προτύπου IEEE 802.11 για προσθήκη ασύρματης πρόσβασης σε περιβάλλον με οχήματα, το οποίο εμπεριέχει ένα σύστημα επικοινωνίας μεταξύ των οχημάτων. Αυτό περιλαμβάνει την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ οχημάτων σε υψηλή ταχύτητα και μεταξύ οχημάτων και παρόδων μονάδων σε μία ζώνη συχνοτήτων από 5.855 GHz έως 5.925 GHz [56].

4.3 Διεθνές επίπεδο

Σε διεθνές επίπεδο, οι ITU, ISO και IEEE είναι οι κύριοι Οργανισμοί Ανάπτυξης Προτύπων (SDOs) οι οποίοι συμμετέχουν στη διαδικασία τυποποίησης των επικοινωνιών ITS. Αντικείμενο ενασχόλησής τους είναι το να επιταχύνουν τη διαδικασία ανάπτυξης επικοινωνιών ITS, όπως και το να παρέχουν εναρμονισμένα πρότυπα ITS σε όλο τον κόσμο ελαχιστοποιώντας τις ασυμβατότητες τεχνολογιών, μειώνοντας το κόστος τους και διασφαλίζοντας τη συμβατότητα λειτουργίας μεταξύ διαφορετικών αρχιτεκτονικών και εξοπλισμού του συστήματος επικοινωνίας.

Η ITU είναι ο αρμόδιος οργανισμός για τις τηλεπικοινωνίες και τη διακίνηση της πληροφορίας και λειτουργεί υπό την αιγίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ). Η ITU βασίζεται στη σύμπραξη δημόσιου-ιδιωτικού τομέα και επί του παρόντος έχει μέλη από 193 χώρες (κράτη μέλη) και περίπου 800 ιδιωτικά και ακαδημαϊκά ιδρύματα. Η ITU χωρίζεται σε τρεις τομείς, ήτοι: ITU-R (Ραδιοεπικοινωνίες), ITU-T (Δημιουργία Προτύπων στις Τηλεπικοινωνίες) και ITU-D (Συμμετοχή στην Ανάπτυξη των Τηλεπικοινωνιών).

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Ο ISO είναι ένας ανεξάρτητος, μη κυβερνητικός διεθνής οργανισμός με έδρα τη Γενεύη της Ελβετίας. Ιδρύθηκε το έτος 1947 και συνεργάζεται στενά με την ITU και τη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (International Electrotechnical Commission - IEC). Έχει παγκόσμια αναγνώριση με συμμετοχή 162 εθνικών φορέων τυποποίησης. Έχει δημοσιεύσει περισσότερα από 21.000 διεθνή πρότυπα και σχετικά έγγραφα και είναι ένας από τους μεγαλύτερους δημιουργούς διεθνών προτύπων στον κόσμο [1].

Το IEEE είναι ο μεγαλύτερος μη κερδοσκοπικός οργανισμός στον κόσμο που επικεντρώνεται στα θέματα της τεχνολογίας και συμβάλει στην πρόοδο και εξέλιξη αυτής. Έχει περισσότερα από 423.000 μέλη, σε περισσότερες από 160 χώρες σε όλο τον κόσμο. Ο οργανισμός αυτός στοχεύει στην προώθηση καινοτομιών, στη δημιουργία και επέκταση της διεθνούς αγοράς, στην προστασία της υγείας και της δημόσιας ασφάλειας και στην προαγωγή της τεχνολογίας και της εκπαίδευσης για την ανθρωπότητα αλλά και για τους επαγγελματίες του κάθε τομέα. Η δραστηριότητα του IEEE η οποία σχετίζεται με την επικοινωνία στον τομέα ITS μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες:

- *Οικογένεια προτύπων IEEE 802*: Η συγκεκριμένη οικογένεια προτύπων αποτελείται από 71 δημοσιευμένα πρότυπα, με 54 υπό ανάπτυξη. Τα ευρέως χρησιμοποιούμενα πρότυπα IEEE 802 υφίστανται για δίκτυα Ethernet, για γεφύρωση διαφορετικών δικτύων, για ιδεατή γεφύρωση, για ασύρματα δίκτυα τοπολογίας LAN, για ασύρματα δίκτυα τοπολογίας MAN, για ασύρματη συνύπαρξη (wireless coexistence) συστημάτων από διαφορετικά δίκτυα και για υπηρεσίες Media Independent Handover (MIH)³⁸. Επίσης υπάρχει μία ειδική ομάδα εργασίας για την εξειδίκευση κάθε προτύπου. Επιπλέον, η οικογένεια προτύπων IEEE 802 συντονίζεται και με άλλους εθνικούς και/ή διεθνείς οργανισμούς τυποποίησης, συμπεριλαμβανομένου και του ISO ο οποίος έχει δημοσιεύσει ορισμένα πρότυπα IEEE 802 ως διεθνή πρότυπα. Η Ομάδα Εργασίας ρ έχει βελτιώσει το IEEE 802.11a και έχει μεριμνήσει για την έκδοση του προτύπου IEEE 802.11p σχετικά με επικοινωνία οχημάτων [57].
- *Οικογένεια προτύπων IEEE 1609*: Η οικογένεια προτύπων IEEE 1609 για ασύρματη πρόσβαση σε ένα περιβάλλον με οχήματα (WAVE), καθορίζει την αρχιτεκτονική ενός συνόλου υπηρεσιών και διεπαφών για ασφαλείς ασύρματες επικοινωνίες οχήματος προς όχημα - V2V και οχήματος προς υποδομή- V2I [23].
- *Το πρότυπο IEEE 1616*: Αυτό το πρότυπο ορίζει ένα πρωτόκολλο για συμβατότητα δεδομένων εξόδου σε καταγραφικά συστήματα συμβάντων μηχανοκίνητων οχημάτων (Motor Vehicle Event Data Recorder - MVEDR)³⁹. Αυτό το πρότυπο δεν καθορίζει το ποια συγκεκριμένα στοιχεία δεδομένων θα καταγράφονται ή θα συλλέγονται. Ισχύει για όλους τους τύπους μηχανοκίνητων οχημάτων που διαθέτουν άδεια κυκλοφορίας σε δημόσιους δρόμους. Οι συσκευές προσφέρονται ανεξάρτητες ή ενσωματωμένες εντός του οχήματος, μετά από την αγορά του εξοπλισμού. Είναι παρόμοιο με τα μαύρα κουτιά που χρησιμοποιούνται στα αεροσκάφη για την παρακολούθηση των ατυχημάτων [58].

³⁸ Media Independent Handover (MIH) σημαίνει τη μεταφορά μίας σύνδεσης ενός χρήστη σε ένα βασικό σταθμό ενός κυψελοειδούς δικτύου αλλά σε διαφορετικό κανάλι για την εξασφάλιση της κινητικότητας του τελικού χρήστη.

³⁹ Οι εγγραφείς δεδομένων MVEDR είναι συσκευές οι οποίες συλλέγουν, καταγράφουν, αποθηκεύουν και εξάγουν δεδομένα που σχετίζονται με προκαθορισμένα συμβάντα μηχανοκίνητων οχημάτων.

4.4 IEEE 802.11p

Το 802.11p [15] είναι μία τροποποιημένη έκδοση του προτύπου 802.11 [26] και λειτουργεί για σενάρια υψηλής κινητικότητας οχημάτων. Η Ομάδα Εργασίας “IEEE Task Group p” ξεκίνησε την ενασχόληση με το παραπάνω πρότυπο το 2004 και οριστικοποίησε το έργο της το 2010. Προέκυψαν διορθώσεις το 2012 για τη διευκόλυνση της επικοινωνίας οχήματος με υποδομή (V2I) και οχήματος με όχημα (V2V). Το IEEE802.p είναι βασισμένο στο πρότυπο ASTM E2213-03 [59]. Το ASTM E2213-03 θέτει τις προδιαγραφές για το Φυσικό στρώμα και το στρώμα MAC σε μία ασύρματη επικοινωνία, χρησιμοποιώντας υπηρεσίες DSRC. Σκοπός του είναι το να παρέχει ασύρματες επικοινωνίες μικρών αποστάσεων μεταξύ των οχημάτων και των RSUs. Οι επικοινωνίες κυμαίνονται σε αποστάσεις ορατότητας μικρότερες των χιλίων μέτρων και σε ένα εύρος συχνοτήτων εντός της ζώνης των 5.9 GHz ([1], [60]).

Στην Ιαπωνία το αντίστοιχο πρότυπο είναι το ARIB STD-T109 [61] το οποίο δεν χρησιμοποιείται στη ζώνη συχνοτήτων 5.9 GHz, διότι η ζώνη συχνοτήτων 5770 MHz – 5850 MHz είναι δεσμευμένη για το ασύρματο σύστημα αυτόματης είσπραξης διοδίων (Electronic Toll Collection - ETC). Για την επικοινωνία ITS χρησιμοποιείται μία ζώνη συχνοτήτων 755.5 MHz – 764.5 MHz, η οποία εξασφαλίζει μεγαλύτερη απόσταση επικοινωνίας και υποστήριξη επικοινωνίας NLOS⁴⁰ (Non-Line-of-Sight – Μη Οπτικής Επαφής). Επίσης έχουν ληφθεί υπόψη τα διεθνή πρότυπα, όπως για παράδειγμα η συμβατότητα με τις προδιαγραφές της Ευρώπης και των Η.Π.Α. όσον αφορά στις προδιαγραφές του Φυσικού στρώματος [1].

Φυσικό στρώμα (PHY): Το Φυσικό στρώμα του IEEE802.p χρησιμοποιεί ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM)⁴¹, που είναι το σχήμα μετάδοσης το οποίο έχει επιλεγεί για την τεχνολογία 3GPP LTE. Το κανάλι που χρησιμοποιείται έχει μειωμένο εύρος ζώνης στο μισό σε σχέση με το IEEE 802.11 (δηλαδή από 20 MHz στα 10 MHz) και επιπλέον διπλάσια διάρκεια συμβόλων OFDMA. Ως αποτέλεσμα προκύπτει μείωση της φέρουσας στα 156.25 KHz και αυτό γίνεται για την καλύτερη διαχείριση της χρονικής διασποράς και αλληλοεπικάλυψης των συμβόλων του καναλιού σε ένα δίκτυο οχημάτων. Ο ρυθμός δεδομένων έχει επίσης μειωθεί στο μισό σε σχέση με το 802.11 (54 Mbps) και ορίζεται στα 27 Mbps. Ο αριθμός υποφερουσών είναι 52 και παραμένει ο ίδιος σε σχέση με το 802.11 [1] [60].

Στρώμα MAC: Το συγκεκριμένο στρώμα του 802.11p είναι βασισμένο στο IEEE 802.11e [62] (Enhanced Distributed Channel Access – EDCA - 2003) το οποίο είναι μία ειδική έκδοση του 802.11 και το οποίο χρησιμοποιεί «μηχανισμούς» αμφισβήτησης και προτεραιότητας για υποστήριξη της ποιότητας υπηρεσιών (QoS). Δίνεται προτεραιότητα στην πρόσβαση του καναλιού, ανάλογα με το σε ποια κατηγορία ανήκουν τα δεδομένα του δικτύου. Αυτό επιτρέπει τη μετάδοση μηνυμάτων έκτακτης ανάγκης σε μικρότερο χρόνο. Επίσης χρησιμοποιείται η CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance - Πολλαπλή Πρόσβαση με Επαίσθηση Φέρουσας και Αποφυγή Σύγκρουσης) η οποία είναι μία μέθοδος για την ανίχνευση του φορέα ηλεκτρομαγνητικού σήματος στα δίκτυα 802.11, για την αποφυγή συγκρούσεων των μεταδόσεων σε ένα κανάλι. Δηλαδή, οι κόμβοι του δικτύου ξεκινούν τη μετάδοση σήματος μόνο όταν το κανάλι ανιχνευθεί σε κατάσταση αδράνειας. Τούτο συμβαίνει σε αντίθεση με τη μέθοδο CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detect - Πολλαπλή Πρόσβαση με Επαίσθηση Φέρουσας και Ανίχνευση σύγκρουσης) η οποία ξεκινά τη μετάδοση του σήματος στο κανάλι μόνο μετά από ανίχνευση σύγκρουσης δεδομένων. Οι παραπάνω κατηγορίες μπορούν να αντιστοιχίζονται σε εφαρμογές ασφάλειας και σε εφαρμογές μη σχετιζόμενες με την ασφάλεια ([1], [60]).

⁴⁰ Non-Line-of-Sight (NLoS) σημαίνει ότι στις ραδιοεπικοινωνίες το κανάλι επικοινωνεί μεταξύ κεραίας εκπομπής και κεραίας λήψης, χωρίς να υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ τους.

⁴¹ Το OFDM είναι ένα είδος μετάδοσης πολλαπλών φερόντων αλλά με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά (χρήση μεγάλου αριθμού υποφερουσών, πυκνή τοποθέτηση υποφερουσών).

4.5 IEEE 802.11 bd

Τον Δεκέμβριο του 2018 ορίστηκε μία νέα Ομάδα Εργασίας για να διερευνήσει τις αλλαγές που έπρεπε να γίνουν στο πρότυπο IEEE 802.11p. Αυτές οι βελτιώσεις περιελάμβαναν τη χρήση αποτελεσματικών τεχνικών όπως κωδικοποίηση LDPC⁴² (Low-Density Parity Check – Έλεγχος Ισοτιμίας Χαμηλής Πυκνότητας), κωδικοποίηση STBC⁴³ (Space Time Block Coding – Κωδικοποίηση Χωροχρονικής Πλοκάδας) και εισαγωγή μεσαίων συμβόλων αναφοράς (midambles⁴⁴). Επίσης, λόγω των εξελίξεων των προτύπων στον τομέα επικοινωνιών C-V2X, η Ομάδα “Task Group bd” έθεσε ως στόχο τον καθορισμό ενός τρόπου μετάδοσης δεδομένων ο οποίος θα μπορεί να ανταπεξέρχεται σε ταχύτητα οχήματος στα 500 km/ώρα. Ακόμα, επιδιώκεται το να οριστεί ένας τρόπος μετάδοσης που θα μειώνει το επίπεδο θορύβου στον χαμηλότερο ρυθμό δεδομένων που ορίζει το πρότυπο IEEE 802.11p ανά 3 dB, για την αύξηση της εμβέλειας επικοινωνίας [60].

4.5.1 Απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί το πρότυπο IEEE802.11bd

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του IEEE 802.11p δόθηκε έμφαση στην ανάπτυξη ενός προτύπου επικοινωνίας μεταξύ των οχημάτων που θα συνέβαλε στην ασφάλεια των οχημάτων, στην καλύτερη διαχείριση της κυκλοφορίας αλλά και σε άλλες εφαρμογές που βοηθούν το δίκτυο V2X (όπως π.χ. στη στάθμευση και στα διαγνωστικά προγράμματα οχημάτων, κτλ.). Οι απαιτήσεις που καθορίστηκαν για το πρότυπο IEEE 802.11p ήταν για υποστήριξη μετάδοσης δεδομένων σε σχετικές ταχύτητες έως 200 km/ώρα με χρόνο απόκρισης περίπου στα 100 msec και με εμβέλεια επικοινωνίας έως χίλια μέτρα. Το Φυσικό στρώμα και το στρώμα MAC του προτύπου IEEE 802.11p προήλθαν από τα αντίστοιχα στρώματα του 802.11a [63]. Το πρότυπο 802.11a κυκλοφόρησε το έτος 1999. Από τότε, ωστόσο, το 802.11a έχει δώσει τη θέση του σε νέα πρότυπα όπως τα πρότυπα 802.11n [64] και 802.11ac [65], ενώ το 802.11ax [66] εγκρίθηκε πρόσφατα (Φεβρουάριος 2021).

Το IEEE 802.11a είναι ένα πρότυπο που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων μέσω ασύρματου δικτύου. Χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων των 5 GHz και υποστηρίζει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων από 1.5 έως 54 Mbps.

Το IEEE 802.11n είναι ένα πρότυπο ασύρματης δικτύωσης που αξιοποιεί τη χρήση πολλαπλών κεραιών για την αύξηση της διεκπεραιωτικότητας του δικτύου (network throughput) με αύξηση του ρυθμού δεδομένων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις ζώνες συχνοτήτων 2.4 GHz ή 5 GHz. Εισήγαγε την υποστήριξη MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output). Η χρήση του MIMO-OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού δεδομένων, διατηρώντας ταυτόχρονα το εύρος ζώνης του 802.11a. Σε ένα κανάλι 20 MHz με ένα απλό χωρικό ρεύμα δεδομένων επιτυγχάνεται αύξηση του καθαρού ρυθμού δεδομένων σε 72 Mbps από τα 54Mbps που υποστήριζε το πρότυπο 802.11a, και μέγιστος ρυθμός δεδομένων σε 600 Mbps με τη χρήση 4 χωρικών ρευμάτων δεδομένων σε ένα κανάλι εύρους 40 MHz.

Το IEEE 802.11ac είναι ένα πρότυπο ασύρματης δικτύωσης, παρέχοντας ασύρματα τοπικά δίκτυα υψηλής διεκπεραιωτικότητας (Wireless Local Area Networks- WLANs) στη ζώνη συχνοτήτων των 5 GHz. Έχει επίσης χαρακτηριστεί ως Wi-Fi. Διαθέτει διεκπεραιωτικότητα πολλαπλών σταθμών της

⁴² Η κωδικοποίηση LDPC περιλαμβάνει ένα γραμμικό κώδικα διόρθωσης σφαλμάτων που βρίσκει αυξανόμενη χρήση σε εφαρμογές που απαιτούν αξιόπιστη και πολύ αποτελεσματική μεταφορά πληροφοριών μέσω περιορισμένου εύρους ζώνης ή μέσω περιορισμένων συνδέσμων της επιστροφής των καναλιών με παρουσία θορύβου.

⁴³ Η κωδικοποίηση STBC είναι μία τεχνική που χρησιμοποιείται στις ασύρματες επικοινωνίες. Γίνεται μία μετάδοση πολλαπλών αντιγράφων μίας σειράς δεδομένων σε πολλαπλές κεραιές για τη βελτίωση της αξιοπιστίας της μεταφοράς των δεδομένων. Με αυτό τον τρόπο αντιμετωπίζονται οι καταστάσεις της σκέδασης, ανάκλασης, διάθλασης, κτλ. του μεταδιδόμενου σήματος που δημιουργούνται από το περιβάλλον. Πηγή: <https://en.wikipedia.org>.

⁴⁴ Ως “midamble” νοείται ένα τμήμα δεδομένων εντοπισμένων στο μέσο ενός αρχείου δεδομένων ρεύματος δεδομένων.

τάξης τουλάχιστον των 1.1 Gbps, με διεπεραιωτικότητα απλής ζεύξης τουλάχιστον 500 Mbps. Η παραπάνω απόδοση επιτυγχάνεται με την υποστήριξη περισσότερων χωρικών ρευμάτων MIMO - έως οκτώ - (έως 4 χωρικά ρεύματα υποστήριζε το 802.11n), με κατερχόμενη ζεύξη (downlink) MU-MIMO⁴⁵ επιτρέποντας την κατανομή χωρικών ρευμάτων σε περισσότερες από μία συσκευές ταυτόχρονα (έως τέσσερις χρήστες) και διαμόρφωση υψηλής πυκνότητας (έως 256 QAM⁴⁶). Δηλαδή ο κόμβος που λειτουργεί με βάση το πρότυπο IEEE802.11ac μπορεί να στείλει 256 (2⁸) διαφορετικούς συνδυασμούς φάσης και πλάτους του ηλεκτρομαγνητικού σήματος ανά δευτερόλεπτο με 8 bits ανά «σύμβολο»⁴⁷, με αποτέλεσμα τη μέγιστη απόδοση του εύρους ζώνης.

Το IEEE 802.11ax είναι ένα πρότυπο που έχει επιφέρει πολλές σημαντικές αναβαθμίσεις στην τεχνολογία Wi-Fi. Ονομάζεται και Wi-Fi 6. Χρησιμοποιεί ταυτόχρονα τις ζώνες συχνοτήτων 2.4 GHz και 5 GHz για βελτίωση της απόδοσης. Χρησιμοποιεί διαμόρφωση υψηλής τάξης έως 1024-QAM για ακόμα μεγαλύτερη αύξηση της απόδοσης. Εφαρμόζει την τεχνολογία ειδικού χρόνου αφύπνισης συσκευής (Target Wake Time -TWT) για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Επίσης εισάγει καλύτερες μεθόδους ελέγχου ισχύος για να αποφευχθούν οι παρεμβολές στα γειτονικά δίκτυα [66]. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το πρότυπο 802.11p αναπτύχθηκε με τις τεχνικές των προηγμένων στρωμάτων (Φυσικό και MAC) οι οποίες είναι τεχνικές δεκαετιών και εισήχθησαν από τα πρότυπα 802.11n/ac/ax, εύλογα προκύπτει ότι υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης τεχνικών για ενίσχυση του 802.11p. Με αυτή την ιδέα δημιουργήθηκε η Ομάδα Εργασίας 802.11bd, η οποία έθεσε τις παρακάτω απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί το αντίστοιχο πρότυπο IEEE 802.11bd [60].

1. *Συνύπαρξη*: Το πρότυπο IEEE 802.11bd θα πρέπει να μπορεί να συνυπάρχει και να είναι πλήρως συνεργάσιμο με το πρότυπο IEEE802.11p. Αυτό σημαίνει ότι οι συσκευές που λειτουργούν με βάση το πρότυπο IEEE 802.11bd και εκείνες οι συσκευές που λειτουργούν με βάση το πρότυπο IEEE 802.11p θα πρέπει να μπορούν να ανιχνεύουν τις μεταξύ τους μεταδόσεις, προκειμένου να αποφευχθούν οι ταυτόχρονες μεταδόσεις και οι συγκρούσεις των δεδομένων.
2. *Συνεργασία*: Τα πρότυπα IEEE802.11p και IEEE802.11bd θα πρέπει να είναι πλήρως λειτουργικά μεταξύ τους. Έτσι, συσκευές οι οποίες λειτουργούν με βάση το πρότυπο IEEE802.11p πρέπει να είναι σε θέση ώστε να αποκωδικοποιούν τις μεταδόσεις δεδομένων που γίνονται με βάση το πρότυπο IEEE802.11bd και το αντίστροφο.
3. *Ισότιμη αντιμετώπιση*: Στα κανάλια όπου συνυπάρχουν και τα δυο πρότυπα 802.11p και 802.11bd θα πρέπει να υπάρχουν «ισάξια» δυνατότητες εκμετάλλευσης του καναλιού ισάξια, όπως σχετικά με την επικοινωνία και την πρόσβαση σε ένα κανάλι.
4. *Συμβατότητα*: Οι συσκευές που είναι βασισμένες στο πρότυπο IEEE802.11bd θα πρέπει να είναι με τουλάχιστον έναν τρόπο λειτουργίας συμβατές με τις συσκευές οι οποίες βασίζονται στην προηγούμενη έκδοση, δηλαδή την IEEE802.11p.

4.5.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του IEEE 802.11 bd στο Φυσικό Στρώμα (PHY)

Τα παρακάτω χαρακτηριστικά αναφέρονται στις αλλαγές που έχουν καθιερωθεί στο πρότυπο IEEE 802.11bd στο Φυσικό στρώμα του δικτύου και οι οποίες αφορούν σε ([49], [60]):

- Επανεκπομπή σήματος.
- Μεσαία σύμβολα αναφοράς (midambles).
- Παραμετροποίηση OFDM.
- Σχήμα σε υψηλότερη διαμόρφωση.
- Κώδικα διόρθωσης λάθους LDPC.
- Αξιοπιστία εκπομπής σήματος.
- Διπλή διαμόρφωση του φορέα σήματος (Dual Carrier Modulation-DCM).
- Συχνότητες Χιλιοστομετρικών Κυμάτων (Millimeter Waves).

⁴⁵ MU-MIMO σημαίνει MIMO πολλαπλών χρηστών (multi-user MIMO).

⁴⁶ Το QAM είναι ένα σχήμα διαμόρφωσης υψηλής τάξης που χρησιμοποιείται από το δίκτυο κατά τη μετάδοση των δεδομένων.

⁴⁷ Το «σύμβολο» είναι ο μοναδικός συνδυασμός φάσης και πλάτους του σήματος.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Επανεκπομπή σήματος: Το πρότυπο IEEE802.11bd για να αυξήσει την αξιοπιστία στην αποστολή δεδομένων αλλά και για να μετριάσει τη χρονική διασπορά, υιοθέτησε την αναμετάδοση των πακέτων. Με μέγιστη αναμετάδοση τις τρεις φορές, ο αριθμός των επανεκπομπών μπορεί να καθοριστεί από τη συμφόρηση του καναλιού. Οι αποστολές δεδομένων και οι αναμεταδόσεις δεδομένων γίνονται είτε με βάση την αρχική προσχώρηση που υπάρχει στο κανάλι είτε χρησιμοποιώντας «μηχανισμούς» με ανταγωνιστικές διαδικασίες.

Μεσαία σύμβολα αναφοράς (midambles): Το “midamble είναι μία ακολουθία συμβόλων που εισάγονται μεταξύ των συμβόλων των δεδομένων για να γίνεται η εκτίμηση του καναλιού. Σε σύγκριση με το “preamble”-«προοίμιο» (χρησιμοποιείται στο IEEE 802.11p) όπου εισάγεται στην αρχή των συμβόλων OFDM των δεδομένων για την αρχική εκτίμηση του καναλιού, το “midamble” προσφέρεται για εκτίμηση των καναλιών που έχουν ισχυρή χρονομεταβλητότητα, δηλαδή περιέχουν μεταβλητές που μεταβάλλονται πολύ γρήγορα. Μερικά από τα αποτελέσματα της μεταβολής του καναλιού είναι η εξασθένηση σήματος που επηρεάζει την ποιότητα σήματος, οι παρεμβολές και το φαινόμενο Doppler. Οι μεταβλητές που μεταβάλλουν το κανάλι μπορεί να είναι ο χρόνος, η γεωγραφική τοποθεσία ή η ραδιοσυχνότητα. Η μείωση απόστασης μεταξύ των φερουσών με εύρος ζώνης από 312.5 KHz στα 156.25 KHz δημιούργησε αύξηση της χρονικής διασποράς και της διασποράς Doppler για μεσαίες ταχύτητες. Για την αποφυγή αυτού του προβλήματος εισήχθη η μεσαία ακολουθία συμβόλων αναφοράς που έχουν την ίδια δομή και λειτουργία με τα αρχικά σύμβολα αναφοράς του 802.11p (τα οποία υπήρχαν στην αρχή του πλαισίου για την αρχική εκτίμηση καναλιού). Η ακολουθία συμβόλων εισάγεται περιοδικά ανάμεσα στα σύμβολα OFDM των δεδομένων και είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για να μετριάσει το φαινόμενο Doppler.

Παραμετροποίηση OFDM: Το πρότυπο IEEE802.11bd χρησιμοποιεί αποδοτικότερες παραμετροποιήσεις OFDM, όπως μείωση της απόστασης μεταξύ των υποφερουσών και αύξηση των υποφερουσών. Η OFDM προσφέρει καλύτερη απόδοση εύρους ζώνης από το πρότυπο IEEE802.11p. Η απόδοση του σήματος OFDM αυξάνει, όσο μικραίνουμε την απόσταση μεταξύ των υποφερουσών, με το κυκλικό πρόθεμα να παραμένει αναλλοίωτο. Το κυκλικό πρόθεμα καθιστά το σήμα OFDM μη μεταβλητό στη χρονική διασπορά, εφόσον η χρονική διασπορά δεν υπερβαίνει το χρονικό μήκος του προθέματος.

Σχήμα Υψηλότερης Διαμόρφωσης: Το πρότυπο IEEE802.11bd έχει υιοθετήσει ένα σχήμα υψηλής διαμόρφωσης 256-QAM, σε σχέση με το πρότυπο IEEE802.11ac. Αυτό γίνεται διότι σε αυτό το πρότυπο χρησιμοποιούνται σύμβολα αναφοράς ανάμεσα στα σύμβολα δεδομένων και το κανάλι μπορεί να εκτιμηθεί με περισσότερη ακρίβεια, άρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχήμα με υψηλότερη διαμόρφωση κωδικοποίησης. Με ένα εύρος ζώνης στα 20 MHz και με ένα σχήμα υψηλής διαμόρφωσης 256-QAM, μπορεί να γίνει αναμετάδοση μηνυμάτων αποστέλλοντας κάθε σύμβολο OFDM σε δύο διαφορετικές υποφέρουσες. Αυτό, σε συνδυασμό με τον κώδικα διόρθωσης λάθους LDPC και τα μεσαία σύμβολα αναφοράς, συμβάλει στην επίτευξη της καλύτερης αξιοπιστίας παράδοσης των μηνυμάτων.

Κώδικας διόρθωσης λάθους LDPC: Η κωδικοποίηση διόρθωσης λάθους LDPC έχει υιοθετηθεί από τα πρότυπα IEEE802.11n/ac λόγω της υψηλής απόδοσης. Ενώ το πρότυπο IEEE802.11p χρησιμοποιεί την κωδικοποίηση διόρθωσης λάθους BCC (Binary Convolution Code), το πρότυπο IEEE802.11bd αντικατέστησε την τεχνική BCC με την τεχνική LDPC, για περισσότερη αξιοπιστία στη διόρθωση λαθών.

Αξιοπιστία εκπομπής σήματος: Η αξιοπιστία εκπομπής σήματος επιτυγχάνεται με την επανεκπομπή του σήματος. Παρέχεται έτσι αξιοπιστία και μετριάσμος της εξασθένησης του σήματος λόγω των πολλαπλών διαδρομών, με την αναμετάδοση πακέτων (έως το πολύ τρεις φορές) να θεωρείται ως μέρος του προτύπου IEEE 802.11bd. Ο αριθμός των επανεκπομπών μπορεί να ρυθμιστεί ανάλογα με

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

τη συμφόρηση του καναλιού. Ο προτεινόμενος μηχανισμός επανεκπομπών αποδίδει μία βελτίωση 4 dB στο λόγο σήματος προς θόρυβο (Signal to Noise Ratio - SNR) για ένα συγκεκριμένο ποσοστό σφάλματος του πακέτου (Packet Error Rate - PER⁴⁸).

Διπλή διαμόρφωση του φορέα σήματος (Dual Carrier Modulation - DCM): Η DCM είναι ένα πολύ γνωστό σχήμα μετάδοσης για την επεξεργασία διαφορετικών συχνοτήτων στις ασύρματες επικοινωνίες. Είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται από το πρότυπο 802.11ax και περιλαμβάνει τη μετάδοση του ίδιου συμβόλου δύο φορές σε πολύ απομακρυσμένες υποφέρουσες για να επιτευχθεί ποικιλομορφία συχνότητας. Επειδή η κάθε μετάδοση των συμβόλων επαναλαμβάνεται πάνω σε δύο υποφέρουσες, η διαμόρφωση σήματος πρέπει να εκτελεστεί διπλά έτσι ώστε να διατηρηθεί ο ρυθμός απόδοσης του δικτύου. Τελικά, το DCM μπορεί να συμβάλει και στην αποδοτικότητα του BLER⁴⁹ (Block Error Rate – Λόγος Πλοκαδικών Σφαλμάτων) δεδομένου του γεγονότος ότι έχουμε διπλή διαμόρφωση.

Συχνότητες Χιλιοστομετρικών Κυμάτων (Millimeter Waves): Οι συγκεκριμένες συχνότητες είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα με ζώνη συχνοτήτων 30 – 300 GHz. Η επικοινωνία επιτυγχάνεται σε μικρές αποστάσεις αλλά με πολύ υψηλό ρυθμό απόδοσης, δίνοντας καλύτερη απόδοση σε απαιτητικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν ρευμάτωση βίντεο (video streaming) ή λήψη τρισδιάστατων χαρτών πλοήγησης, κτλ. Το πρότυπο IEEE802.11bd υποστηρίζει αυτές τις συχνότητες στηριζόμενο στο πρότυπο IEEE 802.11ad [68].

⁴⁸ Το PER (Packet Error Rate – Ρυθμός Σφαλμάτων Πακέτου) χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της απόδοσης του δέκτη ενός τερματικού πρόσβασης. Το PER είναι η αναλογία, σε ποσοστό, του αριθμού των πακέτων δοκιμών που δεν έχουν ληφθεί επιτυχώς από το τερματικό πρόσβασης προς τον αριθμό των πακέτων δοκιμών που αποστέλλονται στο τερματικό πρόσβασης από το σύνολο των δοκιμαστικών δοκιμών. Πηγή: <http://rfmw.em.keysight.com/>

⁴⁹ Το BLER (Block Error Rate – Λόγος Πλοκαδικών Σφαλμάτων) χρησιμοποιείται για δοκιμές απαιτήσεων απόδοσης του καναλιού. Το BLER είναι ένας τύπος ποιότητας μέτρησης στις τηλεπικοινωνίες. Είναι ο λόγος του αριθμού λανθασμένων πλοκάδων (blocks) δια του συνολικού αριθμού πλοκάδων που ελήφθησαν από ένα ψηφιακό κύκλωμα. «Πλοκάδα» είναι η μικρότερη ποσότητα δεδομένων που μπορεί να δεχθεί ένα κανάλι από ένα συνεχόμενο σύνολο δυφίων (bits) ή δυφιοσυλλαβών (bytes). Πηγή: <https://telecompedia.net/block-error-rate-in-lte/>.

4.5.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά του IEEE 802.11bd στο Στρώμα MAC

Οι νέες εξελίξεις στην τεχνολογία επικοινωνιών V2X έφεραν τα παρακάτω χαρακτηριστικά που αναφέρονται στο στρώμα MAC του δικτύου στο πρότυπο IEEE 802.11bd. Υπάρχουν νέες περιπτώσεις χρήστη όπως η αυτόνομη οδήγηση που μπορούν να λειτουργήσουν και να υλοποιηθούν με βάση τα νέα χαρακτηριστικά που είναι τα παρακάτω [60]:

- DECC (Dedicated Error Correction Packet).
- Γρήγορη εξυπηρέτηση υπηρεσιών.
- Γρήγορη αρχική σύνδεση στους κόμβους ή στους σταθμούς βάσης.

DECC (Dedicated Error Correction Packet): Ένα ξεχωριστό πακέτο διόρθωσης σφαλμάτων αποστέλλεται στο σταθμό του δικτύου μετά από την αναμονή του χρονικού πλαισίου SIFS⁵⁰ (Short Inter Frame Space – Σύντομο Διαπλαισιακό Διάστημα). Το πακέτο αποστολής διαιρείται σε πλοκάδες⁵¹ όπου περιέχονται τα δυφία δεδομένων (data bits) και τα κωδικοποιημένα δυφία ισοτιμίας⁵² (parity bits) με βάση τον αλγόριθμο Reed Solomon (RS). Για ένα συγκεκριμένο αριθμό δυφίων δεδομένων, τα δυφία ισοτιμίας τα οποία βρίσκονται στην επικεφαλίδα της πλοκάδας αυξομειώνονται, ανάλογα με την ταχύτητα του οχήματος και την κίνηση του δικτύου. Δηλαδή, για μικρές ταχύτητες όπου ο ρυθμός πακέτων λάθους στα δεδομένα είναι μικρός, τα δυφία ισοτιμίας που τοποθετούνται στην κεφαλίδα της πλοκάδας δεδομένων είναι λιγότερα, με αποτέλεσμα να έχουμε μικρότερη κεφαλίδα στην αποστολή δεδομένων. Αντίστοιχα, τα δυφία ισοτιμίας για υψηλές ταχύτητες είναι περισσότερα, διότι έχουμε περισσότερη πιθανότητα σφαλμάτων των δεδομένων. Επίσης όταν το δίκτυο είναι φορτωμένο, χρησιμοποιούνται λιγότερα δυφία ισοτιμίας για την αποσυμφόρηση του δικτύου.

Γρήγορη εξυπηρέτηση Υπηρεσιών - Γρήγορη αρχική σύνδεση: Το πρότυπο IEEE802.11bd χρησιμοποιεί τη λειτουργία OCB (Outside the Context of a Basic Service Set (BSS) – Έξω από το Πλαίσιο ενός Συνόλου Βασικών Υπηρεσιών) την οποία έχει κληρονομήσει από το πρότυπο IEEE802.11p. Η λειτουργία αυτή σημαίνει ότι οι σταθμοί που δεν είναι μέλη ενός Βασικού Συνόλου Υπηρεσιών (Basic Service Set - BSS) – δηλαδή μέλη μίας υποομάδας συσκευών εντός ενός συνόλου υπηρεσιών που λειτουργούν με τα ίδια χαρακτηριστικά πρόσβασης μέσω του φυσικού στρώματος (π.χ. ραδιοσυχνότητα, σχήμα διαμόρφωσης, ρυθμίσεις ασφαλείας, κτλ.) – δεν χρειάζονται ξεχωριστή σύνδεση και έλεγχο της επαλήθευσης ταυτότητας (authentication). Στις ειδικές περιπτώσεις στις οποίες η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων απαιτεί τη λειτουργία BSS, ενεργοποιείται η λειτουργία γρήγορου ελέγχου ταυτότητας (Fast BSS transition) όπου γίνεται έλεγχος ταυτότητας με γρήγορες διαδικασίες χρησιμοποιώντας κλειδιά ασφαλείας και κατανομή των πόρων. Επίσης τα παραπάνω γίνονται με γρήγορες αρχικές συνδέσεις σε Σημεία Πρόσβασης (Access Points - APs), μειώνοντας έτσι σημαντικά τον χρόνο σύνδεσης με τα οχήματα τα οποία κινούνται σε υψηλές ταχύτητες.

⁵⁰ Το SIFS είναι το διάστημα μεταξύ των πλαισίων πριν από τη μετάδοση μίας αίτησης επιβεβαίωσης.

⁵¹ Το μέγεθος μίας πλοκάδας ορίζεται ως το άθροισμα των δυφίων δεδομένων και των δυφίων ισοτιμίας.

⁵² Τα δυφία ισοτιμίας χρησιμοποιούνται για να μειώσουν την πιθανότητα έξαρσης των σφαλμάτων.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Στον παρακάτω Πίνακα 6 ([49], [60]) φαίνονται οι σημαντικότερες διαφορές μεταξύ των προτύπων IEEE802.11bd και IEEE802.11p.

Πίνακας 6.Βασικές διαφορές μεταξύ 802.11p και 802.11bd

Χαρακτηριστικό	IEEE 802.11p	IEEE 802.11bd
Ζώνη Συχνότητας	5.9 GHz	5.9 GHz
Διάστημα υποφέρουσας OFDMA	156.25 KHz	78.125 KHz, 156.25KHz, 312.5 KHz
Κωδικοποίηση Καναλιού	BCC	LDPC
Αναμεταδόσεις	Καμία	Εξαρτάται από ταχύτητα, συμφόρηση δικτύου, μέχρι 3 αναμεταδόσεις
Σχήμα Διαμόρφωσης	Μέχρι 64-QAM	Μέχρι 256-QAM
Βασική Τεχνολογία	802.11 a/n	802.11 n/ac
Εύρος Ζώνης Καναλιού	10 MHz	10 MHz ή ένα κανάλι 20 MHz
Μετάβαση σε Fast- BSS λειτουργία μετάδοσης	Όχι	Ναι
Διόρθωση Λαθών	Μέρος του πακέτου δεδομένων	Αποστέλλεται ξεχωριστό πακέτο
Μείωση φαινομένου Doppler	Καμία	Με εισαγωγή συμβόλων αναφοράς “midambles” ανά τακτά χρονικά διαστήματα, για εκτίμηση καναλιού
Εκτίμηση Καναλιού	“Preambles”	“midambles”
Χωρική ροή	Μία	Πολλαπλή
Κωδικοποίηση FEC	BCC	LDPC

4.6 Περιορισμοί στην Τεχνολογία V2X – DSRC

Η τεχνολογία επικοινωνίας DSRC έχει σχεδιαστεί για να ικανοποιεί αποτελεσματικά – και με υψηλή απόδοση – τις απαιτήσεις του δικτύου V2X. Με βάση τα ευρωπαϊκά πρότυπα και τα πρότυπα των Η.Π.Α. τα οποία έρχονται σε συμβατότητα με τα πρότυπα του οργανισμού ETSI (European Telecommunications Standards Institute) και με την τεχνολογία WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment), έχει καθοριστεί η ζώνη συχνοτήτων των 5.9 GHz για τα δίκτυα V2X και, αναβαθμίζοντας τα πρότυπα Wi-Fi, με το πρότυπο IEEE802.11p. Η τεχνολογία επικοινωνίας V2X-DSRC μπορεί να υποστηρίξει επικοινωνία για δίκτυα ad-hoc V2X. Η συνεργασία των συνεργατικών δράσεων όπως το “Car2Car Communication Consortium⁵³” (C2C-CC) στην Ευρώπη και “Crash Avoidance Metrics Partnership⁵⁴” (CAMP) στις Η.Π.Α. έχει συμβάλει στην ενίσχυση των υπηρεσιών V2X [69]. Ωστόσο, οι περιορισμοί στην τεχνολογία DSRC σε ένα δίκτυο V2X έχουν επιβεβαιωθεί λόγω διαφορετικών τύπων επικοινωνίας και λόγω της αλλαγής των σημείων σύνδεσης του δικτύου από τον κόμβο ενώ η επικοινωνία θα πρέπει να παραμείνει χωρίς διακοπή. Τα πρότυπα DSRC ορίζουν απαιτήσεις για τις υπηρεσίες ασφάλειας και τις υπηρεσίες που δεν είναι σχετικές με την ασφάλεια ενός δικτύου V2X. Η τεχνολογία DSRC έχει πολλά μειονεκτήματα, όπως οι συγκρούσεις δεδομένων μεταξύ των συσκευών, των χρηστών ή των οχημάτων λόγω του προβλήματος της αδυναμίας εύρεσης του κόμβου και της αδυναμίας συγχρονισμού της επικοινωνίας. Όλα τα παραπάνω υποβαθμίζουν τη συνολική απόδοση του δικτύου. Επιπλέον, το υψηλό κόστος ανάπτυξης των RSUs είναι επίσης ένα σημαντικό μειονέκτημα. Αυτές οι προκλήσεις αποτρέπουν τις βελτιώσεις τεχνολογίας DSRC στο μέλλον.

Παρακάτω παρουσιάζονται και αναλύονται τα πιο σημαντικά μειονεκτήματα ενός δικτύου V2X βασισμένο σε τεχνολογία DSRC [69]:

- Περιορισμένη κατανομή πόρων.
- Υψηλό κόστος ανάπτυξης.
- Αδυναμία αντιμετώπισης υψηλής κινητικότητας.
- Χαμηλή αξιοπιστία.
- Υψηλό κόστος επικοινωνίας.
- Θέματα ασφάλειας σε δίκτυα υψηλής κινητικότητας.
- *Περιορισμένη κατανομή πόρων:*

Το δίκτυο V2X αποτελείται από διαφορετικά «κομμάτια» επικοινωνίας με διαφορετικά μοτίβα επικοινωνίας στο κάθε «κομμάτι», υψηλές καταστάσεις κινητικότητας και με διαφορετικές καταστάσεις δικτύου και τοπολογίας. Επίσης υπάρχουν εφαρμογές και υπηρεσίες που απαιτούν πολλά μηνύματα ασφάλειας και μηνύματα διαχείρισης της ενέργειας στη μετάδοση των δεδομένων. Όλα τα παραπάνω χρειάζονται πολλούς πόρους επικοινωνίας με εύλογη διαχείριση και συντονισμό των εμπλεκόμενων πόρων. Τα οχήματα «μοιράζονται» το ίδιο μέσο επικοινωνίας με τους ίδιους πόρους του δικτύου. Επομένως, η τεχνολογία DSRC πρέπει να επιτρέψει αποτελεσματικές λύσεις πρόσβασης στο δίκτυο, για την καλύτερη διαχείριση των δικτυακών πόρων.

- *Υψηλό κόστος ανάπτυξης:* Η τεχνολογία DSRC βασίζεται στην υπάρχουσα υποδομή του αρχικού δικτύου για την υποστήριξη της συνδεσιμότητας και της ανταλλαγής των δεδομένων μεταξύ των οχημάτων. Εντούτοις, σήμερα υπάρχουν υπηρεσίες και εφαρμογές που απαιτούν υψηλά επίπεδα ασφάλειας με υψηλή αξιοπιστία και πολύ χαμηλή καθυστέρηση. Οι υπάρχουσες δομές του δικτύου δεν μπορούν πάντα να ανταπεξέλθουν πλήρως στις σημερινές απαιτήσεις και θα πρέπει να υπάρξει αναβάθμιση στις συναφείς δικτυακές υποδομές. Αυτό συνάγεται υψηλό κόστος στην ανάπτυξη της τεχνολογίας DSRC.
- *Αδυναμία αντιμετώπισης υψηλής κινητικότητας:* Σε ένα δίκτυο V2X υπάρχουν πολλά μηνύματα σήμανσης ευρείας εκπομπής, ενώ οι μεταδόσεις αυτών των σημάτων

⁵³ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.car-2-car.org/>

⁵⁴ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://www.campllc.org/>

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

«καταναλώνουν» γρήγορα το εύρος ζώνης και αποτρέπουν την επεκτασιμότητα του δικτύου. Πρέπει να δημιουργηθεί μία «ευέλικτη» λύση ελέγχου της δέσμευσης του εύρους ζώνης από τα μηνύματα σήμανσης, για την ελαχιστοποίηση της συμφόρησης και για την αύξηση της επεκτασιμότητας του δικτύου, ιδίως για σενάρια υψηλής δικτυακής κίνησης. Η τεχνολογία DSRC υποστηρίζει προσαρμοστικές τεχνικές όσον αφορά στη συχνότητα των μηνυμάτων για την επέκταση του δικτύου. Ωστόσο, αυτές οι τεχνικές δεν μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά σε δίκτυα με υψηλή κινητικότητα.

- *Χαμηλή αξιοπιστία:* Λόγω της υψηλής κινητικότητας, της συμφόρησης των δικτύων και της μεγάλης κλίμακας των δικτύων, οι αποτυχίες των μηνυμάτων σε μία τεχνολογία επικοινωνίας DSRC είναι ένα συχνό φαινόμενο. Επίσης, υπάρχουν και τα υψηλά ποσοστά παρεμβολών σε δίκτυα μεγάλης κλίμακας. Οι εφαρμογές V2X απαιτούν αξιόπιστη παράδοση με χαμηλή καθυστέρηση. Ο μηχανισμός της τεχνολογίας DSRC δεν προβλέπει αναμετάδοση αποτυχημένων μηνυμάτων. Και επειδή η αξιοπιστία για την ποιότητα των υπηρεσιών (QoS) είναι πολύ σημαντική, ιδίως για εφαρμογές ασφάλειας, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στην ενίσχυση της αξιόπιστης μεταφοράς των μηνυμάτων V2X.
- *Υψηλό κόστος σε επικοινωνία:* Στην τεχνολογία V2X υπάρχουν μηνύματα ασφάλειας που μεταδίδονται περιοδικά για τη μετάδοση πληροφοριών σχετικά με τους δρόμους και τα γειτονικά οχήματα, γεγονός που οδηγεί σε υψηλή κίνηση δεδομένων στο δίκτυο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το να επηρεάζεται η απόδοση του δικτύου και το να αυξάνεται η καθυστέρηση καθώς γίνεται κατανάλωση του κοινόχρηστου εύρους ζώνης. Ωστόσο, έχουν προταθεί πολλές προσαρμοστικές προσεγγίσεις για την αλλαγή της συχνότητας των μηνυμάτων σήμανσης και για τη μείωση της γενικής μετάδοσης δεδομένων στην επικοινωνία, γεγονός που καθιστά το πρότυπο IEEE 802.11p ακατάλληλο για εφαρμογές εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης και υψηλού ρυθμού δεδομένων. Η εξέλιξη του προτύπου IEEE802.11p στο IEEE802.11bd έχει βοηθήσει αρκετά στη μείωση του κόστους της επικοινωνίας.
- *Θέματα ασφάλειας σε δίκτυα υψηλής κινητικότητας:* Στην τεχνολογία DSRC ο μηχανισμός ασφάλειας του προτύπου IEEE 1609.2 [18] βασίζεται στο πρωτόκολλο Υποδομή Δημόσιου Κλειδιού⁵⁵ (Public Key Infrastructure - PKI) το οποίο χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο Ψηφιακής Υπογραφής Ελλειπτικής Καμπύλης (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm - ECDSA⁵⁶). Αυτός είναι ένας αλγόριθμος κρυπτογράφησης που χρησιμοποιεί την κρυπτογραφία ελλειπτικής καμπύλης (Elliptic-Curve Cryptography - ECC)⁵⁷ η οποία στηρίζεται στην κρυπτογραφία των ζευγών δημοσίου και ιδιωτικού κλειδιού για την αποκρυπτογράφηση και την κρυπτογράφηση της κίνησης των δεδομένων και για την πιστοποίηση των μηνυμάτων που αφορούν σε ελέγχους ταυτότητας. Αν και το επίπεδο ασφάλειας είναι υψηλό στην τεχνολογία DSRC, το πρωτόκολλο PKI με τον μηχανισμό αλγορίθμου ECDSA ελέγχει το κάθε μήνυμα ξεχωριστά, με αποτέλεσμα το να παράγει υψηλό κόστος επικοινωνίας και μεγάλο επεξεργαστικό χρόνο. Αυτό οδηγεί σε μείωση της απόδοσης του δικτύου. Σε δίκτυα υψηλής κινητικότητας η τεχνολογία DSRC δεν μπορεί να προσφέρει τις απαιτήσεις υψηλής αξιοπιστίας και της χαμηλής καθυστέρησης των εφαρμογών V2X.

⁵⁵ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε επίσης, μεταξύ άλλων: https://en.wikipedia.org/wiki/Public_key_infrastructure

⁵⁶ Βλέπε επίσης: https://en.wikipedia.org/wiki/Elliptic_Curve_Digital_Signature_Algorithm

⁵⁷ Βλέπε επίσης: https://en.wikipedia.org/wiki/Elliptic-curve_cryptography

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

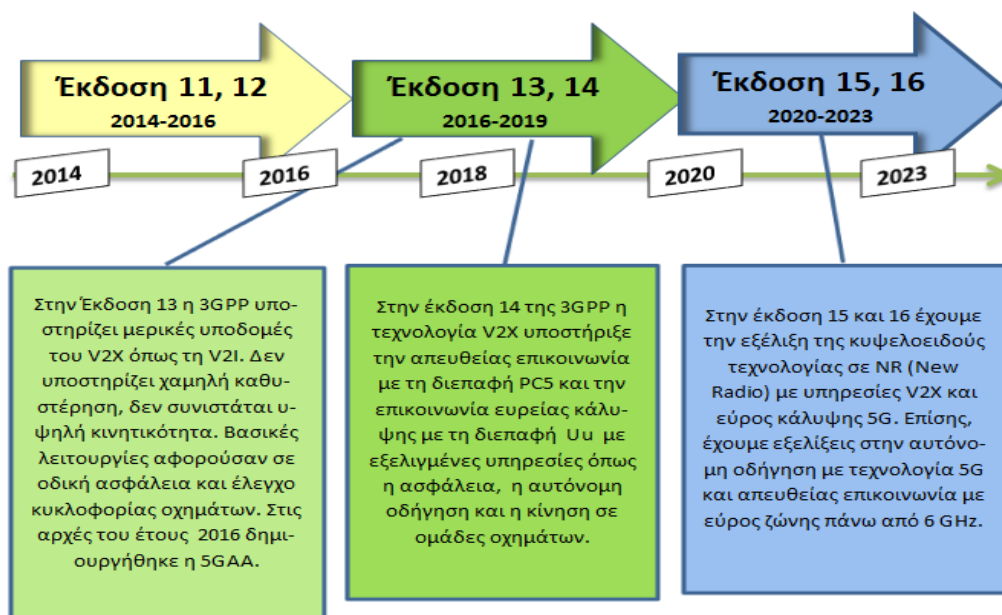
5. Η ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ V2X

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε την εξέλιξη της τεχνολογίας C-V2X και θα αναλύσουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης τεχνολογίας στα δύο βασικά στρώματα (Φυσικό και MAC). Θα εξετάσουμε τις διεπαφές που χρησιμοποιεί η κυψελοειδής τεχνολογία για ένα δικτυακό περιβάλλον με οχήματα και τέλος θα αναφέρουμε τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα του δικτύου C-V2X.

Η κυψελοειδής τεχνολογία (Cellular V2X - C-V2X) είναι η τεχνολογία που επιτρέπει σε ένα όχημα να επικοινωνεί και να ανταλλάσει πληροφορίες με άλλα οχήματα γύρω του, άμεσα και σε πραγματικό χρόνο, ενώ παράλληλα του επιτρέπει να επικοινωνεί και με δικτυακές υποδομές, ακόμη και με ανθρώπους που απλά έχουν στην τσέπη τους ένα «έξυπνο» κινητό ή άλλη κατάλληλη συσκευή. Αναπτύχθηκε από τον οργανισμό 3GPP με βάση την τεχνολογία της ραδιοπρόσβασης στην Έκδοση 14, όπου έχουν γίνει οι κατάλληλες τροποποιήσεις για την υποστήριξη της τεχνολογίας επικοινωνίας ενός δικτύου V2X. Η τεχνολογία LTE για οχήματα (LTE-Vehicle – LTE-V) εισήχθη στα δίκτυα οχημάτων ως εναλλακτική τεχνολογία, εκτός από την τεχνολογία DSRC. Η LTE-V υποσχέθηκε χαμηλά κόστη, ταχεία ανάπτυξη και εγκατάσταση υποδομών με βάση τις ήδη υπάρχουσες, έτσι ώστε να καταστεί το δημόσιο δίκτυο μεταφορών αποτελεσματικότερο και περισσότερο προσβάσιμο [49]. Η τεχνολογία C-V2X επιτρέπει παράλληλα την ταυτόχρονη επικοινωνία μεταξύ πολλαπλών οχημάτων, δικτυακών υποδομών και πεζών σε μία αρκετά μεγάλη ακτίνα. Το κυψελοειδές δίκτυο παρέχει πρόσβαση στην τεχνολογία Νέφους (cloud) μέσω της αδειοδοτημένης ζώνης συχνοτήτων, χρησιμοποιώντας την αρχιτεκτονική φετοτεμαχισμού του δικτύου (network slicing). Για τις εμπορικές εφαρμογές, όπως η πρόσβαση σε φωνή ή σε δεδομένα, το C-V2X μπορεί να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία επικοινωνίας Οχήματος με το Δίκτυο (V2N) σε υπάρχοντα αδειοδοτημένα κυψελοειδή δίκτυα [49].

5.1 Η εξέλιξη της τεχνολογίας C-V2X

Στο παρακάτω Σχήμα 10 ([69]) παρουσιάζεται η εξέλιξη της τεχνολογίας C-V2X.



Σχήμα 10. Η Εξέλιξη της κυψελοειδούς τεχνολογίας C-V2X

Οι Εκδόσεις 12/13 είχαν σχεδιαστεί για να παρέχουν σενάρια με υψηλό φόρτο δεδομένων και χαμηλή καθυστέρηση στις απαιτήσεις των εφαρμογών επικοινωνίας Συσκευής-με-Συσκευή (Device-to-Device - D2D). Η κατηγορία της επικοινωνίας V2V βασίστηκε στην επικοινωνία D2D. Στην Έκδοση 13 έγινε η υποστήριξη των υπηρεσιών ποιότητας με δύο επιπλέον Λειτουργίες (τη Λειτουργία 1 και τη Λειτουργία 2 για την καλύτερη κατανομή των πόρων). Όμως αυτό δεν ήταν αρκετό για να καλύψει τις απαιτήσεις των κρίσιμων εφαρμογών ασφάλειας ή των μηνυμάτων σήμανσης όπως τα CAMs (Cooperative Awareness Messages) ή τα DENMs (Decentralized Environmental Notification Messages) στα οποία έχουμε αναφέρει και στο Κεφάλαιο 3. Η Έκδοση 14 της LTE ήρθε το 2016 για να καλύψει αυτό το κενό, στηριζόμενη στην κυψελοειδή τεχνολογία. Η επικοινωνία LTE-V2X περιέχει δύο απαραίτητες διεπαφές, ήτοι: τη διεπαφή ευρείας κάλυψης (Uu) και τη διεπαφή άμεσης επικοινωνίας (PC5 ή sidelink). Η διεπαφή Uu καλύπτει τις ανάγκες για τις υπηρεσίες V2N, ενώ η διεπαφή PC5 μπορεί να ανταποκριθεί επαρκώς για τις εφαρμογές V2I και V2V με απαιτήσεις υψηλής αξιοπιστίας και χαμηλής καθυστέρησης [69]. Ο φορέας 3GPP ανακοίνωσε την τεχνολογία 5G στο τέλος του έτους 2019. Η τεχνολογία 5G στηρίχθηκε στην τέταρτη γενιά LTE της κινητής τηλεφωνίας. Τα σήματα 5G ταξιδεύουν σε μικρές αποστάσεις με μεγάλη ανοχή στα εμπόδια, στις παρεμβολές και στις καιρικές συνθήκες. Οι προηγούμενες τεχνολογίες ραδιοκυμάτων χρησιμοποιούν χαμηλής συχνότητας κύματα για να μεταφέρουν δεδομένα σε μεγάλες αποστάσεις αλλά με μεγάλες καθυστερήσεις σχετικά με ό,τι αφορά στην τεχνολογία V2X, ενώ υπάρχουν και θέματα αξιοπιστίας. Η τεχνολογία 5G-NR υποστηρίζει εφαρμογές με υψηλό δείκτη ασφάλειας, υψηλό ρυθμό απόδοσης δικτύου, υψηλή αξιοπιστία και πολύ χαμηλή καθυστέρηση. Επίσης υποστηρίζει διαχείριση για Δίκτυα οριζόμενα από το Λογισμικό (Software Defined Networks - SDNs), απλή δικτυακή τοπολογία, υπηρεσίες εγγύτητας (ProSe) και νεφοϋπολογιστική (Cloud Computing) [69].

5.2 Διεπαφές της επικοινωνίας κυψελοειδούς δικτύου V2X

Στο παρελθόν, θεωρήθηκε ότι οι κυψελοειδείς επικοινωνίες δεν μπορούσαν να υποστηρίξουν εφαρμογές ασφάλειας των οχημάτων που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση, επειδή το μήνυμα θα έπρεπε να μεταδοθεί μέσω της υποδομής του δικτύου. Όμως οι κυψελοειδείς επικοινωνίες εμφανίστηκαν στην τεχνολογία επικοινωνίας των οχημάτων με τις Εκδόσεις 12/13 του 3GPP οι οποίες υποστηρίζουν τη σύνδεση D2D. Με την έλευση της επικοινωνίας D2D επιτρέπεται η άμεση επικοινωνία μεταξύ των γειτονικών οχημάτων. Αυτή η τεχνολογία βελτιώθηκε περαιτέρω με τις Εκδόσεις 14 και 15 του 3GPP [60].

Η τεχνολογία C-V2X περιέχει τρόπους μετάδοσης που επιτρέπουν την απευθείας σύνδεση σε ένα δίκτυο V2X μέσω της διεπαφής PC5, με βάση το κανάλι "Sidelink". Το LTE Sidelink είναι μία «προσθήκη» στη τεχνολογία LTE που επιτρέπει την άμεση επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών LTE χωρίς να χρειάζεται να επικοινωνήσουν μέσω του σταθμού βάσης. Το LTE Sidelink ορίστηκε από τον οργανισμό 3GPP στην Έκδοση 12, ως πρότυπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις δημόσιες επικοινωνίες επίσης εμπεριέχοντας ασφάλεια στις μεταδόσεις των δεδομένων [70]. Η διεπαφή PC5 αναφέρεται στη σύνδεση δια της οποίας τα οχήματα συνδέονται με άλλους κόμβους του δικτύου (RSUs, οχήματα, UEs) απευθείας μέσω του ίδιου καναλιού και δεν απαιτείται σύνδεση με τον σταθμό βάσης. Η Έκδοση 14 του 3GPP περιλάμβανε δύο πρόσθετες λειτουργίες της μετάδοσης για να επιτρέψει στις επικοινωνίες V2X να υποστηρίζουν χαμηλή καθυστέρηση [49]. Οι δύο λειτουργίες μετάδοσης είναι η Λειτουργία 3 και η Λειτουργία 4, όπως εξηγήσαμε και στην παράγραφο 3.3. Συγκεκριμένα, στη Λειτουργία 4, εάν η συσκευή χρήστη (UE) βρίσκεται σε περιβάλλον εντός κάλυψης, το δίκτυο ενημερώνει τις παραμέτρους⁵⁸ σύνδεσης στο όχημα διαμέσου του καναλιού

⁵⁸ Οι παράμετροι περιλαμβάνουν τη συχνότητα του φέροντος σήματος, τα σήματα συγχρονισμού, το σχήμα διαμόρφωσης του καναλιού, τον αριθμό των καναλιών ανά πλαίσιο χρόνου και τον αριθμό των RBs (Re-

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Sidelink. Σε αντίθετη περίπτωση όπου το όχημα είναι εκτός κάλυψης, χρησιμοποιούνται προκαθορισμένοι παράμετροι σύνδεσης.

Το κυψελοειδές δίκτυο C-V2X μπορεί να λειτουργήσει σε εντός ή εκτός κάλυψης περιβάλλοντα με τους δύο τύπους διεπαφών [49]:

- *Διεπαφή Κυψελοειδούς επικοινωνίας*, χρησιμοποιώντας ασύρματη μετάδοση, δηλαδή διεπαφή LTE-Uu μεταξύ της συσκευής χρήστη (User Equipment-UE) και του κεντρικού σταθμού (eNodeB). Κάθε συσκευή χρήστη (UE) που υποστηρίζει το πρωτόκολλο διεπαφής LTE-Uu μεταδίδει το σήμα του στην ανερχόμενη ζεύξη του Σταθμού Βάσης (eNB) και ο σταθμός βάσης (eNB) μεταδίδει το σήμα στον προορισμό συσκευής χρήστη (UE) στην κατερχόμενη ζεύξη.
- *Διεπαφή Απευθείας επικοινωνίας*, χρησιμοποιώντας κανάλι Sidelink διεπαφής PC5 στη ζώνη συχνοτήτων ITS - 5.9 GHz και παρέχοντας ιδιωτικότητα. Επιπλέον, δεν χρειάζεται για τη συγκεκριμένη διεπαφή κάθε πακέτο δεδομένων να υπόκειται σε επεξεργασία μέσω του σταθμού βάσης (eNodeB). Οι κόμβοι του δικτύου μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη διεπαφή PC5 παρουσία του Σταθμού Βάσης είτε χωρίς αυτόν.

5.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά δικτύου C-V2X στο Φυσικό στρώμα (PHY)

Το δίκτυο C-V2X χρησιμοποιεί την τεχνική SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access - Πολλαπλή Πρόσβαση Διάρθρωσης Συχνότητας Μονής Φέρουσας) και υποστηρίζει κανάλια με εύρος ζώνης 10 MHz ή 20 MHz. Η τεχνική αυτή έχει αποδειχθεί ότι επιτυγχάνει χαμηλότερες τιμές PAPR⁵⁹ σε σχέση με τη συμβατική OFDMA. Στη συμβατική OFDMA προκαλείται στα σύμβολα ένας μεγάλος λόγος μέγιστης προς μέση ισχύος. Αυτό οφείλεται στην πιθανότητα να συμβάλουν όλες οι υποφέρουσες προσθετικά, λόγω του μεγάλου πλήθους αυτών. Αυτό δεν προκαλεί πρόβλημα στους σταθμούς βάσης, όμως αυξάνει το απαιτούμενο κόστος ενέργειας των συσκευών [71].

Τα κανάλια διαιρούνται σε χρονικά πλαίσια των 10 ms και κάθε πλαίσιο έχει διάρκεια 1 ms. Κάθε χρονικό πλαίσιο αποτελείται από 2 χρονοθυρίδες των 0.5 ms, όπου κάθε χρονοθυρίδα περιέχει επτά σύμβολα SC-FDMA. Άρα, κάθε χρονικό πλαίσιο έχει 14 σύμβολα SC-FDMA. Από τα δεκατέσσερα σύμβολα, τα εννέα θα χρησιμοποιηθούν για την αποστολή των δεδομένων. Τα υπόλοιπα 5 θα χρησιμοποιηθούν ως εξής: τα 4 σύμβολα θα βοηθήσουν στην εκτίμηση του καναλιού (π.χ. για μείωση φαινομένου Doppler στις υψηλές ταχύτητες) ως σύμβολα-πιλότοι και ονομάζονται DMRSs (De-Modulation Reference Symbols – Σύμβολα Αναφοράς Αποδιαμόρφωσης), ενώ το τελευταίο σύμβολο κάθε υποφέρουσας θα δεσμευτεί ως ζώνη προστασίας για τη μείωση των παρεμβολών. Κάθε υποφέρουσα έχει εύρος ζώνης 15 KHz. Η μικρότερη μονάδα που μπορεί να ανατεθεί στο όχημα είναι το RB (Resource Block), που περιλαμβάνει 12 υποφέρουσες των 15 KHz σε διάρκεια μίας «σχισής» (0.5 ms) με εύρος ζώνης 180 KHz. Τα δεδομένα αποστέλλονται σε TBs⁶⁰ (Transmitted Blocks – Εκπεμπόμενες Πλοκάδες). Οι TBs μεταδίδονται μέσω των φυσικών μεριζόμενων καναλιών πλευρικής ζεύξης (Physical Sidelink Shared Channels - PSSCH). Το κανάλι PSSCH μπορεί επίσης να μεταφέρει Βασικά Μηνύματα Ασφάλειας (Basic Safety Messages – BSMs) και συμβάντων για την αποφυγή συγκρούσεων των πακέτων. Οι Πληροφορίες Ελέγχου Πλευρικής Ζεύξης SCI (Sidelink Control Information) μεταδίδονται μέσω των φυσικών καναλιών ελέγχου (PSSCHs). Κάθε κόμβος που θέλει να διαβιβάσει μία TB πρέπει επίσης να διαβιβάσει και την αντίστοιχη πληροφορία ελέγχου SCI. Το SCI περιέχει πληροφορίες για την κωδικοποίηση και τη διαμόρφωση του σχήματος που

source Blocks - Πλοκάδες Πόρων) που μπορούν να ανατεθούν στο όχημα. Το RB είναι μία ομάδα συμβόλων OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing).

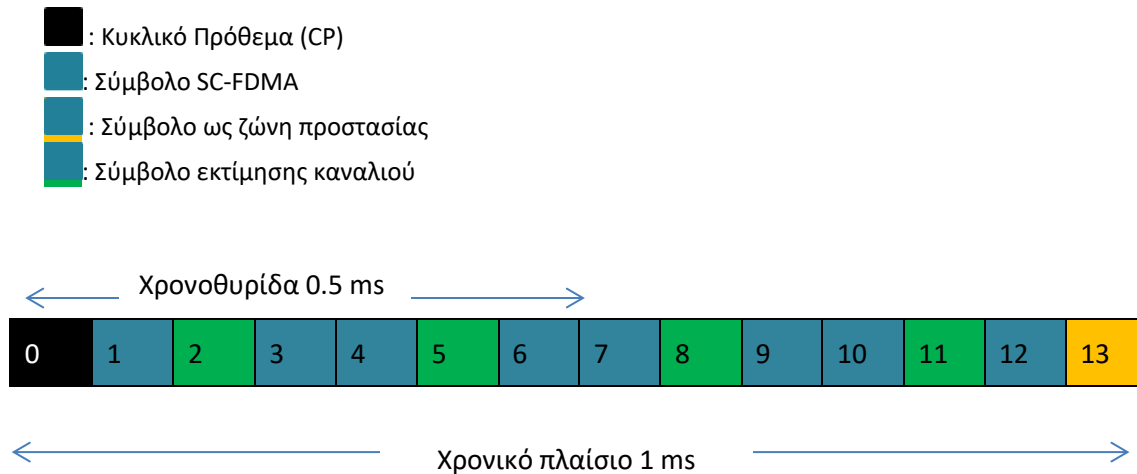
⁵⁹ PAPR (Peak to Average Power Ratio - PAPR) είναι ο λόγος μέγιστης προς μέση ισχύ.

⁶⁰ Τα TBs είναι ομάδες των RB και περιλαμβάνουν ένα ολοκληρωμένο πακέτο δεδομένων (πχ. Μηνύματα ειδοποίησης, μηνύματα σήμανσης, πληροφορίες ταχύτητας, πληροφορίες θέσης).

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

χρησιμοποιήθηκε για την αποστολή της TB. Κάθε TB μπορεί να μεταδοθεί χρησιμοποιώντας κωδικοποίηση διαμόρφωσης μετατόπισης φάσης με ορθογωνισμό (Quadrature Phase Shift Keying - QPSK) ή δεκαεξαδική διαμόρφωση πλάτους με ορθογωνισμό (φάσης) (16-Quadrature Amplitude Modulation - 16QAM) σε κάθε υποφέρουσα OFDM ([60], [72]). Πριν από κάθε σύμβολο OFDM, προστίθεται ένα κυκλικό πρόθεμα⁶¹ (Cyclic Prefix – CP).

Στο παρακάτω Σχήμα 11 φαίνεται η διαμόρφωση ενός χρονικού πλαισίου 1 ms .



Σχήμα 11. Διαμόρφωση Χρονικού Πλαισίου και Χρονοθυρίδας

5.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά δικτύου C-V2X στο στρώμα MAC

Η λειτουργία 4 του δικτύου C-V2X ενεργεί χωρίς την υποστήριξη της υποδομής του δικτύου, παρόλο που οι συσκευές χρηστών (UEs) θα μπορούσαν να καλύπτονται από τον σταθμό βάσης (eNB). Επίσης, χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο αλγόριθμο για την κράτηση και τη μετάδοση των πόρων στο δίκτυο. Το πρωτόκολλο SB-SPS (Sensing-Based Semi-Persistent Scheduling – Βασισμένος σε Επαίσθηση Ημι-Εμμένων Χρονοπρογραμματισμός) υιοθετεί αυτή την τεχνική. Τα παρακάτω βήματα δείχνουν την ακολουθία του αλγορίθμου Sensing-Based Semi-Persistent Scheduling ο οποίος χωρίζεται σε δύο μέρη, ήτοι: Sensing και Semi-Persistent Scheduling [60].

Βήματα Sensing (Επαίσθηση):

1. Καθορισμός επιλογής χρονικού παραθύρου:

Τα οχήματα θα επιλέξουν ένα χρονικό παράθυρο επιλογής, το οποίο είναι ο χρόνος που αντιστοιχεί σε ένα πλαίσιο των RBs, από το οποίο τα οχήματα θα επιλέξουν τις TBs για τη μετάδοση των δεδομένων. Το χρονικό παράθυρο επιλογής εξαρτάται από τις απαιτήσεις της καθυστέρησης και η τιμή του είναι συνήθως μεταξύ 20 ms και 100 ms. Η επιλογή ενός μικρού χρονικού παραθύρου σίγουρα θα μειώσει την καθυστέρηση, αλλά μπορεί να επιφέρει περισσότερες συγκρούσεις δεδομένων σε ένα δίκτυο με μεγάλη κίνηση δεδομένων.

2. Εκτίμηση και υπολογισμός ελεύθερων πόρων:

⁶¹ Το κυκλικό πρόθεμα είναι μία επανάληψη των τελευταίων δειγμάτων του συμβόλου, το οποίο εξαλείφει την επίδραση της διασυμβολικής παρεμβολής που οφείλεται στη χρονική διασπορά του διαύλου και της παρεμβολής μεταξύ των φερουσών.

Ένα όχημα με βάση τις ληφθείσες πληροφορίες ελέγχου (Sidelink Control Information-SCI) τις οποίες λαμβάνει από τα γειτονικά του οχήματα, υπολογίζει τους πόρους του δικτύου που χρησιμοποιούνται και, αποκλείοντας τους ευρισκόμενους σε χρήση, υπολογίζει τους λοιπούς διαθέσιμους πόρους, με αυτό να γίνεται σε μία περίοδο από τουλάχιστον χίλια χρονικά πλαίσια των 1 ms. Επιπλέον, εάν η Λαμβανόμενη Ισχύς του Σήματος Αναφοράς (Reference Signal Received Power - RSRP) που υπάρχει σε έναν πόρο είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι ισχύος (με βάση τις προδιαγραφές που καθορίζονται από την Τεχνική Προδιαγραφή ETSI TS 132 762 [73]) τότε ο συγκεκριμένος πόρος υπολογίζεται ως «όντας απασχολημένος». Εφόσον έχουν αποκλειστεί οι απασχολημένοι πόροι από τα οχήματα ή από τις συσκευές χρηστών (UEs) γίνεται η επιλογή από τους 20% πρώτους πόρους που διαθέτουν τον μικρότερο Ενδεικτη Έντασης Σήματος Λήψης (Received Signal Strength Indicator - RSSI) διότι όση μεγαλύτερη είναι η δραστηριότητα μεταφοράς δεδομένων τόσο υψηλότερο είναι και το RSSI. Εάν οι διαθέσιμοι πόροι είναι λιγότεροι από το 20% του χρονικού παραθύρου επιλογής, τότε η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται, αλλά με μία αύξηση της τιμής του κατωφλίου του RSRP κατά 3 dB.

Σημείωση: Ο δείκτης RSSI καθορίζεται από τη μέτρηση σε ολόκληρο το εύρος ζώνης σε αντίθεση με την ισχύ RSRP η οποία μετρά τη μέση τιμή ισχύος για κάθε RE⁶² (Resource Element – Στοιχείο Πόρων).

3. Αποστολή και επιλογή πόρων:

Μετά την εύρεση των καλύτερων 20% των διαθέσιμων πόρων, το όχημα επιλέγει τυχαία ένα πόρο ανάμεσα από αυτούς για την πρώτη αποστολή δεδομένων. Το όχημα μπορεί να διατηρήσει τους ίδιους πόρους για μεταγενέστερες μεταδόσεις που χρειάζονται τον ίδιο χρόνο μετάδοσης. Ο αριθμός των μεταγενέστερων μεταδόσεων καθορίζεται από το στρώμα MAC.

Βήματα Semi-Persistent Scheduling:

Το Διάστημα Δέσμευσης Πόρων (Resource Reservation Interval - RRI) επηρεάζει σημαντικά την απόδοση του ρυθμού δεδομένων των πακέτων, ενώ η πιθανότητα διατήρησης των ίδιων πόρων έχει μικρή επίδραση σε σενάρια συμφόρησης στην κυκλοφορία των οχημάτων. Ο λόγος συνίσταται στο γεγονός ότι όταν η συμφόρηση είναι σοβαρή, παραμένει περιορισμένος ο αριθμός των διαθέσιμων πόρων και, λόγω έλλειψης επαρκών πόρων, τα οχήματα καταλήγουν ώστε να επιλέξουν ξανά τους ίδιους πόρους. Ο στόχος του Semi-Persistent Scheduling είναι να βελτιστοποιήσει τη διαχείριση πόρων αποφεύγοντας την επιλογή πόρου από το ίδιο όχημα κατ'επανάληψη, και να μειώσει τις συγκρούσεις μεταδόσεων δεδομένων ανάμεσα στα οχήματα [74].

Όπως περιγράφεται στην εργασία [60], κάθε μετάδοση πακέτων συνδέεται με έναν μετρητή RC (Reselection Counter – Απαριθμητής Επανεπιλογής), ο οποίος μετρά τον αριθμό των πακέτων που το όχημα μπορεί να μεταδίδει συνεχόμενα. Η τιμή του μετρητή RC εξαρτάται από τον ρυθμό που λαμβάνονται τα πακέτα.

Το όχημα μεταδίδει κάθε πακέτο με ένα συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο σε κάθε διαφορετικό χρόνο κράτησης/δέσμευσης πόρων, δηλαδή σε κάθε RRI. Το RRI καθορίζει και την τιμή του RC η οποία είναι μία τυχαία τιμή από ένα εύρος τιμών μεταξύ [C1, C2].

Ειδικότερα[75]:

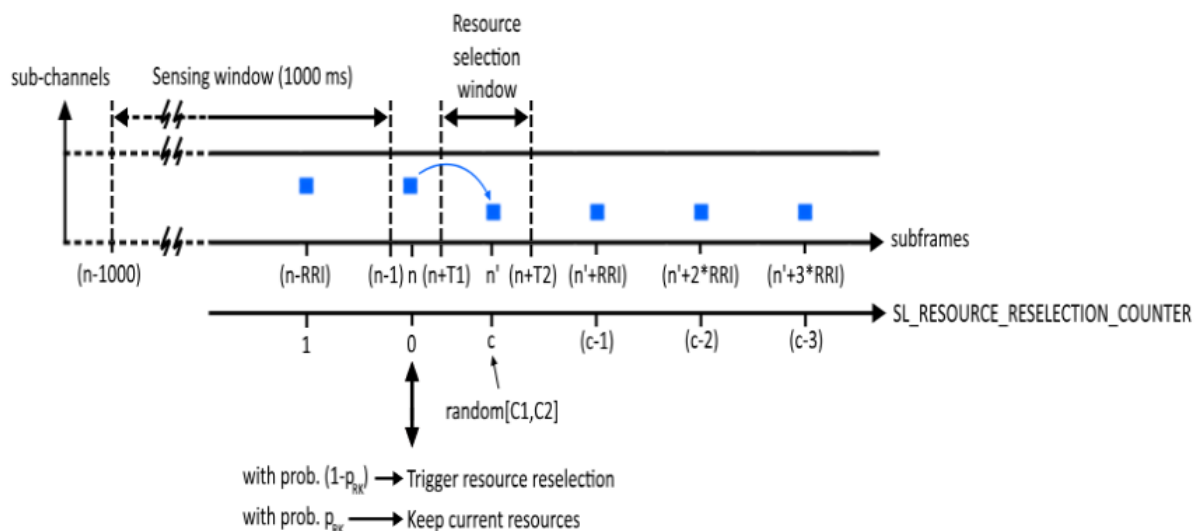
- Για RRI με τιμή ίση με 100 ms ή μεγαλύτερη, τότε [C1, C2]=[5, 15].
- Για RRI με τιμή ίση με 50 ms, τότε [C1, C2]=[10, 30].
- Για RRI με τιμή ίση με 20 ms, τότε [C1, C2]=[25, 75].

⁶² Το RE είναι η μικρότερη διακριτή μονάδα που μεταφέρει δεδομένα και αποτελείται από μία υποφέρουσα με διάρκεια ενός συμβόλου OFDM.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Σε κάθε μετάδοση του πακέτου από το όχημα μέσω ενός συγκεκριμένου πόρου, ο μετρητής RC μειώνεται κατά ένα. Μόλις ο μετρητής RC μηδενιστεί, ο UE έχει δύο επιλογές: Είτε να διατηρήσει τους τωρινούς πόρους με μία πιθανότητα p_{RK} (probResourceKeep), είτε να ενεργοποιηθεί ξανά η διαδικασία επιλογής πόρων με την τεχνική Sensing (Επαίσθηση) που εξηγήσαμε παραπάνω, με πιθανότητα $(1-p_{RK})$. Και στις δυο περιπτώσεις η τιμή του RC είναι ένας ακέραιος αριθμός που καθορίζεται μεταξύ του C1 και C2. Εάν επιλεγεί η περίπτωση διαδικασίας νέων πόρων, το όχημα δημιουργεί ένα σύνολο υποψηφίων πόρων στο χρονικό παράθυρο επιλογής πόρων. Το χρονικό παράθυρο επιλογής πόρων αντιστοιχεί σε ένα εύρος από τα χρονικά υποπλαίσια $n + T1$ και $n + T2$, όπου n είναι το τρέχον χρονικό υποπλαίσιο. Το $T1$ εξαρτάται από την καθυστέρηση διεργασίας του οχήματος και το $T2$ πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις καθυστέρησης που είναι μεταξύ 20 ms και 100 ms, όπως αναφέραμε στη διαδικασία Sensing. Οι υποψήφιοι πόροι δημιουργούνται με βάση τους πόρους που είχαν προηγουμένως ανιχνευτεί στο χρονικό παράθυρο ανίχνευσης, δηλαδή μετά από χίλια χρονικά πλαίσια των 1 ms. Το όχημα επιλέγει τυχαία έναν από αυτούς τους υποψηφίους πόρους και συνεχίζει τη μετάδοση των πακέτων στον συγκεκριμένο πόρο συχνότητας έως ότου ενεργοποιηθεί ξανά η επανεπιλογή πόρων [75]. Όταν ο μετρητής RC μηδενιστεί, η πιθανότητα p_{RK} να διατηρήσει τους προηγούμενους πόρους είναι μεταξύ 0 και 0.8, ενώ για τη μη διατήρηση των πόρων η πιθανότητα $(1-p_{RK})$ είναι μεταξύ 0.2 και 1 [60].

Στο παρακάτω Σχήμα 12 [75] παρουσιάζεται ο αλγόριθμος Semi-Persistent Scheduling με βάση την 3GPP - Έκδοση 14.



Σχήμα 12. Αλγόριθμος Semi-Persistent Scheduling

Σημείωση:

Σε περίπτωση που δύο οχήματα επιλέξουν στον ίδιο χρόνο τον ίδιο πόρο συχνότητας για μετάδοση, η σύγκρουση δεδομένων δεν μπορεί να αποφευχθεί αλλά ούτε να ανιχνευθεί και από τα δύο οχήματα. Οπότε σε περίπτωση σύγκρουσης δεδομένων, ο αλγόριθμος Semi-Persistent Scheduling θα επιμείνει σε πολλά μηνύματα, χωρίς το όχημα να γνωρίζει για την τυχόν σύγκρουση. Επιπλέον, λόγω των συγκεκριμένων προτύπων συχνότητων που περιέχουν μηνύματα, η πιθανότητα των οχημάτων να επιλέγουν το ίδιο χρονικό διάστημα για ανταλλαγή μηνυμάτων είναι μεγάλη. Για αυτό το λόγο ο αλγόριθμος δεν ονομάζεται Persistent (Εμμένων) αλλά Semi-Persistent (Ημι-Εμμένων).

5.5 Πλεονεκτήματα του κυψελοειδούς δικτύου C-V2X

5.5.1 Απόδοση δικτύου

Η επικοινωνία C-V2X υποστηρίζει δίκτυα υψηλής κινητικότητας με υψηλή αξιοπιστία και έχει εξελιγμένα χαρακτηριστικά για τη διαμόρφωση του σήματος, τις τεχνικές κωδικοποίησης και τους σταθμούς λήψης. Την υποστήριξη των δικτύων υψηλής κινητικότητας την πετυχαίνει με τη μείωση του ποσοστού σφάλματος (Packet Error Rate - PER), χρησιμοποιώντας έναν αποτελεσματικό αλγόριθμο για τον έλεγχο της συμφόρησης του δικτύου. Επίσης πετυχαίνει διπλασιασμό του εύρους της επικοινωνίας όπου οι σταθμοί αποστολής και λήψης είναι ορατοί μεταξύ τους, δηλαδή σε τύπο καναλιού σήματος LoS (Line-of-Sight – Οπτικής Επαφής) και αύξηση της απόδοσης της επικοινωνίας σε κανάλια όπου ο σταθμός λήψης και αποστολής σήματος δεν έχουν οπτική επαφή, δηλαδή σε NLOS (Non-Line-Of-Sight) [69]. Ένας καταναμεμημένος αλγόριθμος για τον έλεγχο της συμφόρησης του δικτύου είναι ο DCC (Distributed Congestion Control – Καταναμεμημένος Έλεγχος Συμφόρησης). Ο κύριος σκοπός του DCC είναι να ελαττώσει τη μείωση του ποσοστού σφάλματος των πακέτων. Σε ένα δίκτυο VANET (Vehicle Ad-hoc NETwork) υπάρχουν συνεχόμενες συγκρούσεις πακέτων υπό υψηλό φόρτο δικτύου, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε ένα εντελώς αναποτελεσματικό δίκτυο. Υπάρχουν δύο επιλογές για την επίλυση του παραπάνω ζητήματος, ήτοι: α) Έλεγχος της ισχύος του σήματος άρα και της εμβέλειας του, και β) έλεγχος του ρυθμού μετάδοσης των μηνυμάτων [76].

α) Έλεγχος εμβέλειας της μετάδοσης του σήματος: Χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος SUPRA (Stateful Utilization-based Power Adaptation – Προσαρμογή Ισχύος Φίλτρου βασισμένο σε Χρήση) ο οποίος χρησιμοποιεί την προηγούμενη τιμή της ισχύος του σήματος για να βρει την κατάλληλη νέα τιμή. Είναι μία γραμμική συνάρτηση της μεταβλητής CBP (Channel Busy Percentage - Επί τοις Εκατό Κανάλι Απασχολημένο), όπου CBP είναι το ποσοστό του απασχολημένου καναλιού για ένα δεδομένο χρονικό πλαίσιο. Ο έλεγχος γίνεται με την κατάλληλη ρύθμιση της ισχύος του σήματος.

β) Έλεγχος ρυθμού μετάδοσης των μηνυμάτων: Ο αλγόριθμος ελέγχου ρυθμού μετάδοσης (Rate Control) καθορίζει το χρόνο μετάδοσης με βάση το πόσα γειτονικά οχήματα υπάρχουν γύρω από το χώρο του και σε ποια απόσταση (εγγύτητα). Υπάρχει ένας μέγιστος επιτρεπόμενος χρόνος μετάδοσης. Επιπλέον, για τη διατήρηση των απαιτήσεων ασφάλειας, ο αλγόριθμος χρειάζεται μία ανατροφοδότηση από την εφαρμογή ασφάλειας που υπάρχει στο ανώτερο στρώμα του δικτύου.

Όπως είδαμε και στην προηγούμενη ενότητα, το δίκτυο C-V2X υποστηρίζει μηχανισμούς για την κατανομή των πόρων για την εξασφάλιση της απόδοσης του δικτύου, ειδικότερα για τα δίκτυα υψηλής κινητικότητας. Εξασφαλίζοντας ότι τα οχήματα δεν χρησιμοποιούν τους ίδιους πόρους, βελτιώνεται η απόδοση του δικτύου. Για τις απευθείας επικοινωνίες, το δίκτυο C-V2X βασίζεται στη διεπαφή PC5 που σχεδιάστηκε για να βελτιώσει την απόδοση του δικτύου, χρησιμοποιώντας τις ελάχιστες απαιτήσεις του 4G, όπως:

- Χρησιμοποίηση επιπλέον Συμβόλων Αναφοράς Αποδιαμόρφωσης (Demodulation Reference Symbols - DMRs), συγκεκριμένα 4 αντί για 3 για την αντιμετώπιση του φαινομένου Doppler και των παρεμβολών σε ταχύτητες που φτάνουν τα 500 km/ώρα στην υψηλή ζώνη των συχνοτήτων 5.9 GHz.
- Χρησιμοποίηση μίας εκχώρησης χρονοπρογραμματισμού πόρων (resource scheduling assignment) για την ανερχόμενη ζεύξη, όπου τα σήματα ελέγχου και τα δεδομένα αποστέλλονται σε ένα απλό χρονικό πλαίσιο από ομάδες πόρων (Physical Resource Blocks - PRBs) που βρίσκονται σε μία χρονοθυρίδα 0.5 ms.
- Για τη διαχείριση του προγραμματισμού των πόρων εκτός κάλυψης δικτύου, εισήχθη ο μηχανισμός που βασίζεται στον αλγόριθμο sensing-Based semi-persistent. Χρησιμοποιείται

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

κυρίως για τον έλεγχο και τον υπολογισμό της τωρινής αλλά και της μελλοντικής συμφόρησης ενός δικτύου.

- *Ελαχιστοποίηση του ποσοστού σφάλματος BER (Block Error Rate) για ταχύτητες έως και 500 km/ώρα.*

5.5.2 Συμβατότητα

Το δίκτυο C-V2X υποστηρίζει συμβατότητα για παρελθοντικές και μελλοντικές τεχνολογίες επικοινωνιών V2X. Μετά την Έκδοση 14, με τις νέες εκδόσεις του οργανισμού 3GPP τα δίκτυα επικοινωνιών V2X δεν χρειάζονται την ασύρματη κάλυψη ή την υποδομή του δικτύου. Το κυψελοειδές δίκτυο C-V2X που είναι βασισμένο στην τεχνολογία 5G-NR έχει σχεδιαστεί για να παρέχει υψηλούς ρυθμούς απόδοσης, υψηλή αξιοπιστία, ασφάλεια και σταθερότητα. Επίσης το δίκτυο 5G μπορεί να υποστηρίξει αξιόπιστες εφαρμογές. Επίσης, η λειτουργικότητα που προσφέρει το δίκτυο C-V2X μπορεί να υποστηριχθεί από την υπάρχουσα υποδομή του κυψελοειδούς δικτύου και να προσφέρει λύσεις που να είναι οικονομικά αποδεκτές, σε σχέση με τα υψηλά κόστη της τεχνολογίας δικτύου DSRC [69].

5.5.3 Χαμηλός χρόνος απόκρισης και υψηλές ταχύτητες

Το κυψελοειδές δίκτυο C-V2X έχει σχεδιαστεί από την αρχή για να μπορεί να προσφέρει σενάρια με υψηλές ταχύτητες μαζί με αξιοπιστία, χωρίς να χρειάζεται εγκαταστάσεις νέων σταθμών λήψης. Επιπλέον, μετά τις Εκδόσεις 14/15, το δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει ταχύτητες σχεδόν – και ίσως παραπάνω από – 500 km/ώρα με ένα εύρος ζώνης ITS - 5.9 GHz. Το δίκτυο τεχνολογίας DSRC χρειάζεται νέα βελτίωση έτσι ώστε να μπορεί να μεταφέρει μελλοντικές υψηλές ταχύτητες στα δεδομένα. Επίσης το κυψελοειδές δίκτυο C-V2X προσφέρει χαμηλή καθυστέρηση σε χρόνο λιγότερο από 4 ms για απαιτητικές εφαρμογές που τη χρειάζονται, όπως τα μηνύματα για την ασφάλεια του οχήματος [69].

5.5.4 Εξελιγμένος συγχρονισμός δικτύου

Σε ένα κυψελοειδές δίκτυο C-V2X υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου μπορεί να επιτευχθεί μία επικοινωνία. Αυτές είναι μεταξύ των οχημάτων, μεταξύ των οχημάτων και της Παρόδιας Μονάδας (Road Side Unit) ή μεταξύ των οχημάτων και της συσκευής χρήστη (πεζού). Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις χρειάζεται να γίνεται συγχρονισμός του δικτύου πριν μεταφερθούν τα δεδομένα από τις κατάλληλες πηγές του δικτύου. Ο πιο διαδεδομένος συγχρονισμός πετυχαίνεται με το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης GNSS. Όμως υπάρχουν και σενάρια όπου δεν υπάρχει σήμα από το δορυφόρο ή έχουμε απώλεια σήματος λόγω των παρεμβολών. Τότε ο οργανισμός 3GPP καθορίζει μία άλλη πηγή συγχρονισμού όπως είναι τα γειτονικά οχήματα ή κάποιος σταθμός χρονισμού [69]. Αν μία συσκευή χρήστη (V2X-UE) έχει σύνδεση με σταθμό E-UTRAN (πχ. με eNB) τότε μεταδίδεται ένα σήμα συγχρονισμού προς τον σταθμό βάσης και η συσκευή του χρήστη συγχρονίζεται με αυτόν. Όμως, εάν δεν υπάρχει εμβέλεια σήματος μεταξύ των συσκευών χρηστών (V2X-UE) και του Σταθμού Βάσης τότε αποστέλλεται ένα Σήμα Άμεσου Συγχρονισμού Πλευρικής Ζεύξης (Sidelink Direct Synchronization Signal - SLSS) μέσω του καναλιού PSBCH. Οι βασικές πηγές άντλησης συγχρονισμού από τις οποίες μία συσκευή χρήστη (V2X-UE) μπορεί να αντλήσει το δικό της συγχρονισμό είναι: το GNSS, το eNB που εξυπηρετεί, ένα άλλο σήμα συγχρονισμού SLSS που μεταδίδει μία συσκευή χρήστη (UE) ή το δικό της εσωτερικό ρολόι. Γενικά, το GNSS ή το eNB θεωρούνται ως πηγές αναφοράς συγχρονισμού υψηλής ποιότητας. Ως έσχατη λύση, μία συσκευή χρήστη (UE) η οποία δεν μπορεί να βρει μία άλλη πηγή αναφοράς συγχρονισμού, θα χρησιμοποιήσει το δικό της εσωτερικό ρολόι για τη μετάδοση του σήματος συγχρονισμού SLSS. Το σήμα συγχρονισμού SLSS αποστέλλεται σε παραπάνω από μία πηγές αναφοράς και επιλέγεται η καλύτερη πηγή συγχρονισμού. Αυτό γίνεται με ένα ειδικό κύκλωμα επεξεργασίας συγχρονισμού των συσκευών που υποστηρίζει το κυψελοειδές δίκτυο [77].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. ΔΙΚΤΥΑ 5^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ NR-V2X

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μιλήσουμε για τα δίκτυα της 5^{ης} γενιάς και για το κατά πόσο έχουν συμβάλει στην εξέλιξη της τεχνολογίας ενός δικτύου V2X. Θα αναφερθούμε στο εύρος ζώνης που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη τεχνολογία σε διεθνές επίπεδο. Επίσης, θα παρουσιαστεί με σύντομη αναφορά η εξέλιξη του δικτύου 5G NR –V2X ως εξέλιξη του LTE-V2X και θα αναδειχθούν τα πλεονεκτήματα του δικτύου 5^{ης} γενιάς σε διάφορους τομείς όπως η καθυστέρηση, η απόδοση του εύρους ζώνης, η μέγιστη ταχύτητα συσκευής χρήστη ή η ενεργειακή απόδοση. Παρακάτω θα επισημάνουμε τα πιο σημαντικά τεχνικά χαρακτηριστικά που έχουν αναβαθμιστεί και στα δύο στρώματα του δικτύου (Φυσικό, MAC) μαζί με τις δύο βασικές λειτουργίες (δηλαδή την Αυτόνομη και τη Μη Αυτόνομη Λειτουργία). Τέλος, θα προβούμε σε σύγκριση μεταξύ των τεχνολογιών 4^{ης} και 5^{ης} γενιάς, παρουσιάζοντας τις διαφορές και τις ομοιότητές τους σε έναν πίνακα. Έπειτα, θα επισημάνουμε τις βασικές τεχνολογίες και υπηρεσίες που υποστηρίζει ένα δίκτυο 5G-NR.

Τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς (LTE) μπορούν να θεωρηθούν ως ο θεμελιώδης πυρήνας της τεχνολογίας 5G. Οι μεταδόσεις που γίνονται με την τεχνολογία 5G βασίζονται στον μεγάλο αριθμό σταθμών βάσης οι οποίοι βρίσκονται σε πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ τους. Αντίθετα, η τεχνολογία 4^{ης} γενιάς (4G) βασίζεται σε πύργους υψηλής ισχύος που επιτρέπουν στις συσκευές χρήστη (UEs) να υλοποιούν αποστολή και λήψη των δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις. Με την τεχνολογία της Ραδιοπρόσβασης RAT-4G (Radio Access Technology-4G) δεν μπορεί να υποστηριχθεί πολύ χαμηλή καθυστέρηση (1 ms), υψηλή αξιοπιστία (σχεδόν 100%) και ρυθμός δεδομένων τάξης Gbps. Σήμερα, ένα πλήρως αυτοματοποιημένο όχημα χρειάζεται ένα αξιόπιστο, επεκτάσιμο, διαθέσιμο και ευέλικτο δίκτυο για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του οχήματος και της υποδομής [1].

Η τεχνολογία 5^{ης} γενιάς (RAT-5G) στοχεύει σε δίκτυα τα οποία θα είναι κλιμακοθετήσιμα (scalable networks), θα υποστηρίζουν πολυμέσα, φωνή και δεδομένα σε ένα μόνο δίκτυο (δίκτυα σύγκλισης - converged networks) και θα έχουν συνδεσιμότητα παντού (ubiquitous connectivity). Οι παραπάνω προϋποθέσεις δημιουργούν νέες ευκαιρίες, νέες υπηρεσίες και νέες εφαρμογές που θα καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα από περιπτώσεις χρήσεων του δικτύου. Τα οχήματα της επόμενης γενιάς θα είναι εξοπλισμένα με κάμερες, ραντάρ, παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (GNSS), ασύρματες τεχνολογίες και διάφορους τύπους αισθητήρων για την υποστήριξη της αυτόνομης οδήγησης.

Μία πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την πραγματοποίηση επικοινωνιών V2X και αυτόνομης οδήγησης είναι το 5G New Radio⁶³ (NR). Το δίκτυο 5G παρέχει εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία, χαμηλή καθυστέρηση, υψηλό ρυθμό απόδοσης και καλύτερη ενεργειακή διαχείριση. Η τεχνολογία 5G (RAT-5G) υποστηρίζει υπηρεσίες όπως: βελτιωμένη κινητή ευρυζωνική σύνδεση (enhanced mobile broadband – eMBB⁶⁴) και επικοινωνίες με συνδέσεις από πολύ μεγάλο πλήθος ηλεκτρονικών συσκευών τύπου μηχανής (massive machine-type communications - mMTC). Η υπηρεσία mMTC θα επιτρέψει στα μελλοντικά οχήματα χωρίς οδηγό ώστε να έχουν συνεχώς «αίσθηση του περιβάλλοντος» από τους αισθητήρες των οχημάτων ή από την υποδομή του δικτύου και εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες με πολύ χαμηλή καθυστέρηση (Ultra-Reliable Low-Latency

⁶³ Για περισσότερες πληροφορίες, μεταξύ άλλων, βλέπε: https://en.wikipedia.org/wiki/5G_NR

⁶⁴ Η υπηρεσία eMBB παρέχει έναν ρυθμό δεδομένων τουλάχιστον 10 Gbps για την ανερχόμενη ζεύξη και 20 Gbps για τα κανάλια της κατερχόμενης ζεύξης. Αυτό διασφαλίζει τη σωστή λειτουργία για την τηλεδιάσκεψη / ψυχαγωγία / βίντεο εντός του οχήματος. Επίσης, υπάρχει αρκετά καλή υποστήριξη για υπηρεσίες πολυμέσων ή λήψης χαρτών υψηλής ακρίβειας. Για περισσότερες πληροφορίες για το eMBB βλέπε τη βιβλιογραφική παραπομπή [109].

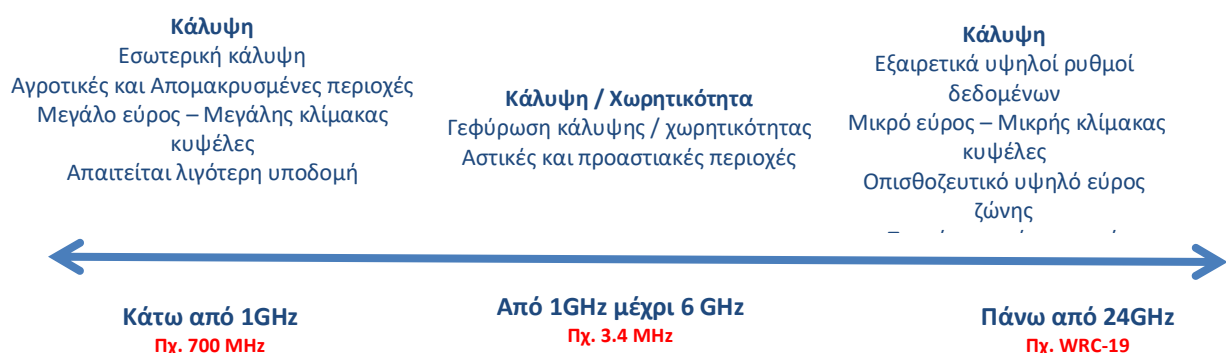
Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Communications-URLLC). Η υπηρεσία URLLC στοχεύει σε ένα χρονικό διάστημα μετάδοσης (Transmission Time Interval - TTI) μηνυμάτων στο 1 ms και σε αξιοπιστία 99,999% στις μεταδόσεις. Οι παραπάνω τιμές είναι αναγκαίες για την αυτόνομη οδήγηση [78].

6.1 Το Εύρος Ζώνης 5G

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunications Union - ITU) καθορίζει το εύρος ζώνης που θα χρησιμοποιηθεί σε παγκόσμια κλίμακα. Επίσης προσδιορίζει συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων που θα διατεθούν για τις υπηρεσίες των Διεθνών Κινητών Τηλεπικοινωνιών (International Mobile Telecommunications - IMT). Οι τεχνολογίες κινητών επικοινωνιών, 3G, 4G και 5G ονομάζονται IMT-2000, IMT-Advanced και IMT-2020, αντίστοιχα. Το πρότυπο IMT-2020 ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του έτους 2020 και η δημοσιοποίηση του εγγράφου IMT-2020.SPECS έγινε τον Φεβρουάριο του έτους 2021⁶⁵.

Τα Παγκόσμια Συνέδρια Ραδιοεπικοινωνιών (World Radio communication Conferences – WRCs⁶⁶) γίνονται κάθε τέσσερα χρόνια. Τα αποτελέσματα σχετικά με τον προσδιορισμό της ζώνης συχνοτήτων για τη μελλοντική ανάπτυξη της τεχνολογίας IMT έχουν ήδη ληφθεί (Ψήφισμα 238) στο προηγούμενο συνέδριό του (WRC-15) που έγινε το έτος 2015 [79]. Στο Συνέδριο Ραδιοεπικοινωνιών (28 Οκτωβρίου έως 22 Νοεμβρίου του έτους 2019) στο Σάμ Ελ Σέιχ της Αιγύπτου με τρεις χιλιάδες εκπροσώπους από όλο τον κόσμο έλαβε χώρα συζήτηση σχετικά με ενδεχόμενο αναθεώρησης των Κανονισμών της ITU περί χρήσης του εύρους ζώνης. Οι ζώνες συχνοτήτων 24.25-27.5 GHz, 37-43.5 GHz, 45.5-47 GHz, 47.2-48.2 και 66-71 GHz, προσδιορίστηκαν ως ζώνες συχνοτήτων 5G. Οι ζώνες συχνοτήτων 45.5-47 GHz και 47.2-48.2 GHz δεν αναγνωρίστηκαν αμέσως σε παγκόσμια βάση, κυρίως λόγω των συγκρούσεων με άλλα επικοινωνιακά συστήματα της Κίνας και της Τουρκίας. Η ζώνη συχνοτήτων 4.8-4.99 GHz αναγνωρίστηκε ως ζώνη 5G σε 40 χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Κίνας, της Νότιας Αφρικής, της Νιγηρίας, της Γκάμπια, της Ουρουγουάης και του Ιράν. Η ζώνη 24.25-27.5 GHz είχε αποτελέσει αντικείμενο αντιπαράθεσης λόγω των εκπομπών που γινόταν στη δορυφορική ζώνη συχνοτήτων 23.6-24 GHz και χρησιμοποιήθηκε για τους δορυφόρους που εντοπίζουν τα καιρικά φαινόμενα [80]. Στο παρακάτω Σχήμα 13 ([81]) παρατηρούμε το εύρος ζώνης που υποστηρίζει η τεχνολογία 5^{ης} γενιάς (5G) με τη στήριξη των Διεθνών Κινητών Τηλεπικοινωνιών (IMT).



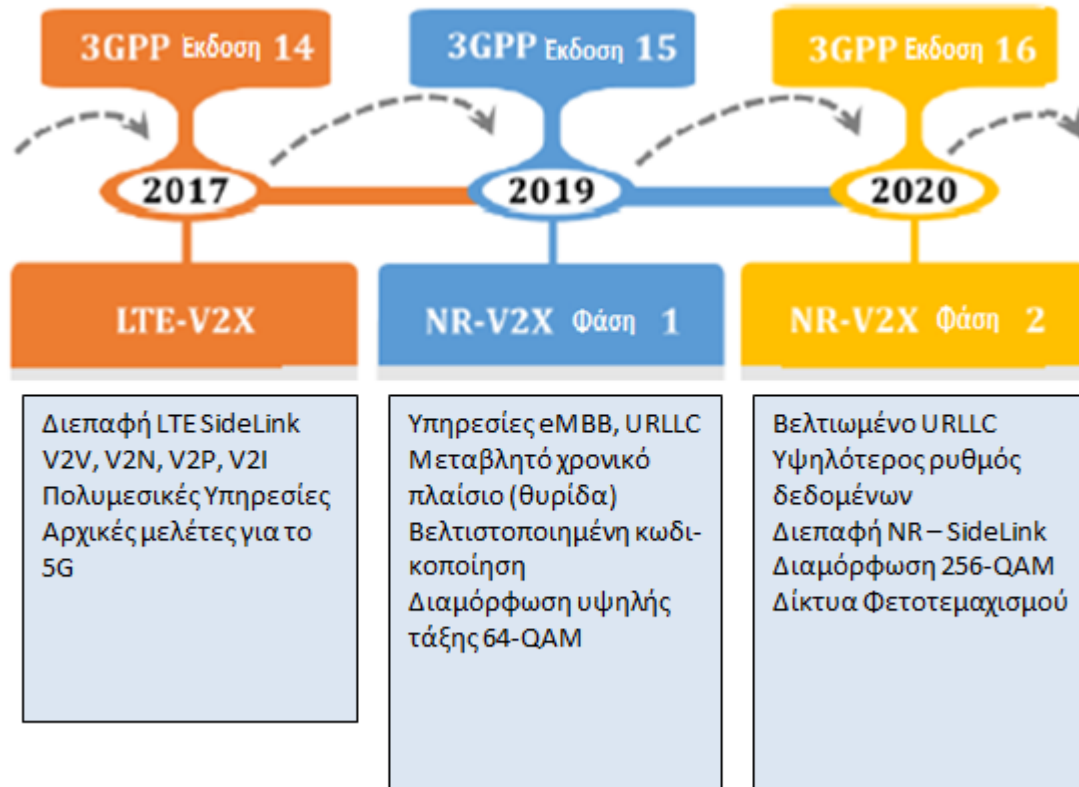
Σχήμα 13. Εύρος Ζώνης IMT-2020

⁶⁵ Πηγή [:<https://www.3gpp.org>].

⁶⁶ Βλέπε επίσης: <https://www.itu.int/en/ITU-R/conferences/wrc/Pages/default.aspx>

6.2 Η εξέλιξη του 5G NR-V2X από LTE-V2X (4G)

Στο παρακάτω Σχήμα 14 ([78]) παρατηρούμε τη σταδιακή εξέλιξη της 4^{ης} γενιάς δικτύου προς την 5^η γενιά NR-V2X.



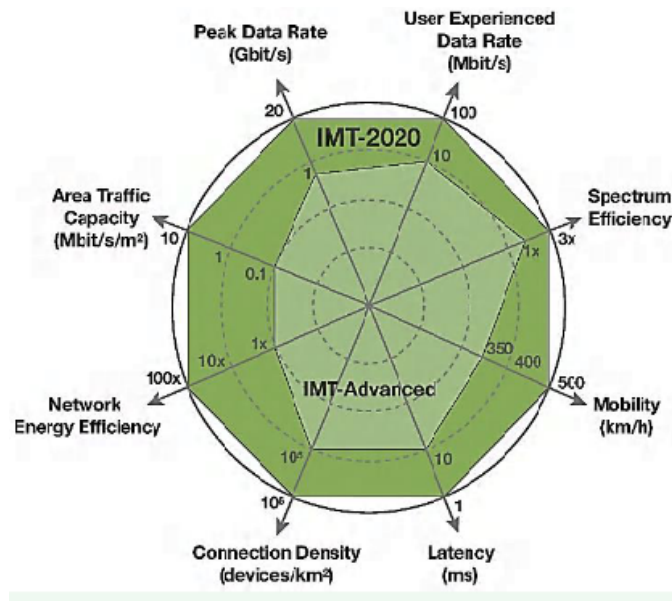
Σχήμα 14. Η εξέλιξη της 3GPP σε 5G NR-V2X

Το έτος 2016, το πρώτο κυψελοειδές δίκτυο V2X ονομάστηκε ως LTE-V2X σύμφωνα με την Έκδοση 14 από τον φορέα 3GPP, όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τη χρονιά του 2016 μία συνεργατική δράση των παγκόσμιων αυτοκινητοβιομηχανιών, των εταιρειών τηλεπικοινωνιών και των εταιρειών της πληροφορικής παρουσιάστηκε με το όνομα 5GAA (5G-Automotive Association). Στόχος αυτής της πολυεθνικής συνεργατικής δράσης ήταν να αναδειχθούν οι δυνατότητες της τεχνολογίας 5G, με βάση την ήδη υπάρχουσα κυψελοειδή τεχνολογία LTE-C-V2X, για την προσφορά εκπληκτικών ταχυτήτων και πολύ αυξημένων δυνατοτήτων. Επίσης, η 5GAA θα παρείχε την κατάλληλη προώθηση στις παγκόσμιες αγορές και θα βοηθούσε στη δημιουργία λύσεων συνδεσιμότητας και διαθεσιμότητας σε δίκτυα τεχνολογίας 5G. Όλα αυτά διευκόλυναν στην τυποποίηση της τεχνολογίας C-V2X. Το έτος 2017, ο φορέας 3GPP ανέπτυξε τις δυνατότητες της τεχνολογίας C-V2X που υπήρχε για την απευθείας σύνδεση συσκευής χρήστη (UE) με το κανάλι SideLink στη διεπαφή PC5, αλλά και για την ανάπτυξη δυνατοτήτων σχετικά με τη μετάδοση δεδομένων μέσω του Σταθμού Βάσης δια της διεπαφής LTE-Uu. Η πρώτη έκδοση του 5G NR δημοσιεύτηκε το έτος 2018 από τον φορέα 3GPP με την Έκδοση 15. Το έτος 2019, ο φορέας 3GPP συνέχισε τις έρευνες ανάπτυξης πάνω στην κυψελοειδή τεχνολογία και χρησιμοποίησε τα αποτελέσματα των ερευνών στις πρώτες δοκιμές της Έκδοσης 16. Αυτό έγινε με αναδιαμόρφωση των προτύπων και με δοκιμές βασισμένες στην Έκδοση 14, έτσι ώστε να μπορούν όλες μαζί οι τεχνολογίες να συνυπάρχουν. Επίσης, με την Έκδοση 16 η τεχνολογία 5G NR αλλά και η αναβαθμισμένη τεχνολογία C-V2X παρέχουν πρόσθετα χαρακτηριστικά στις επικοινωνίες, όπως κίνηση οχημάτων σε ομάδα βασισμένη στην επικοινωνία με τη διεπαφή PC5, απομακρυσμένη οδήγηση και ασφαλή οδήγηση που στηρίζεται στη συνεχόμενη «επαγρύπνηση» των αισθητήρων

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

του οχήματος (έτσι ώστε αυτό να ανταποκρίνεται σε κρίσιμες καταστάσεις). Η Έκδοση 17⁶⁷ είναι στις προτεραιότητες του φορέα 3GPP και αναμένεται να ολοκληρωθεί περί τα μέσα του 2021. Με την αναβάθμιση της Έκδοσης 16, το έτος 2019 το 5G NR εξασφάλιζε και κάλυπτε τις περαιτέρω ανάγκες της αυτόνομης οδήγησης στην τωρινή και μελλοντική βιομηχανία αυτοκινήτων. Η προσεχής αναβαθμισμένη έκδοση αναμένεται στην αγορά μέχρι τα τέλη του 2023 [49].

Στο παρακάτω Σχήμα 15 ([81]) παρουσιάζονται οι αποδόσεις της τεχνολογίας 5^{ης} γενιάς IMT-2020 σε σχέση με την τεχνολογία 4^{ης} γενιάς IMT-Advanced σε διάφορους τομείς όπως η καθυστέρηση, ο ρυθμός δεδομένων, η απόδοση του εύρους ζώνης, η μέγιστη ταχύτητα συσκευής χρήστη (UE), η πυκνότητα του δικτύου, η ενεργειακή απόδοση το και πόσα Mbit ανά δευτερόλεπτο μπορούν να αποδοθούν ανά τετραγωνικό μέτρο (Mbit/s/m²).



Σχήμα 15. Αποδόσεις IMT: IMT-Advanced και IMT-2020

⁶⁷ Βλέπε επίσης: <https://www.3gpp.org/release-17>

6.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά του 5G NR στο Φυσικό στρώμα (PHY)

Μερικά από τα πιο σημαντικά τεχνικά χαρακτηριστικά και μηχανισμούς του 5G-NR στο Φυσικό στρώμα, περιγράφονται παρακάτω [60]:

Λειτουργία NR-Sidelink: Το 5G NR καθορίζει 2 τύπους λειτουργίας για το κανάλι SideLink που αφορούν στην επικοινωνία δικτύου V2X. Έχουμε επομένως τη Λειτουργία-1 και τη Λειτουργία-2. Αυτοί οι 2 μηχανισμοί είναι παρόμοιοι με τη Λειτουργία-3 και τη Λειτουργία-4 του κυψελοειδούς δικτύου C-V2X αλλά με κάποιες σημαντικές αλλαγές. Στη *Λειτουργία-1*, τα οχήματα επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους αλλά εντός του εύρους ζώνης που καλύπτει ο σταθμός βάσης 5G NR (gNodeB), ο οποίος κατανέμει τους πόρους στα οχήματα. Τα οχήματα μπορούν να λάβουν τους πόρους από έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης. Οι σταθμοί βάσης κατανέμουν τους πόρους με δυο ειδών τρόπους, ήτοι: με δυναμική παραχώρηση και με διαμορφωμένη παραχώρηση.

Με τη δυναμική παραχώρηση: Όταν η συσκευή χρήστη (UE) ζητήσει πόρους από τον Σταθμό Βάσης, τότε κατά τη διάρκεια επεξεργασίας των (τεσσάρων) μηνυμάτων που χρησιμοποιούνται από τη συσκευή χρήστη για μία άμεση σύνδεση SideLink, ο gNB θα εκχωρήσει προσωρινά ένα κανάλι για τη μετάδοση δεδομένων της συσκευής χρήστη, αλλά μόνο εφόσον οι αιτήσεις των πόρων UE ικανοποιούνται από το συγκεκριμένο κανάλι. Επίσης μία αποστολή από UE μπορεί να είναι μία πλοκάδα εκπομπής δεδομένων (Transmit Block - TB) και τούτο συνιστάται για περιπτώσεις μεταδόσεων που δεν απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση [82].

Με τη διαμορφωμένη παραχώρηση: Η συσκευή χρήστη (UE) μπορεί να ζητήσει από τον Σταθμό Βάσης πόρους τους οποίους δεν έχει άμεση ανάγκη και να εκτελέσει τη χρονικά δαπανηρή διαδικασία επεξεργασίας των (τεσσάρων) μηνυμάτων για τη δέσμευση αυτών των πόρων. Εάν γίνουν αποδεκτά τα αιτήματα μηνυμάτων για τη δέσμευση των πόρων της συσκευής του χρήστη από τον σταθμό, τότε γίνεται η παραχώρηση των πόρων, περιοδικά. Η συσκευή χρήστη μπορεί να χρησιμοποιήσει τους πόρους άμεσα και χωρίς καθυστέρηση, εφόσον τους χρειαστεί. Αυτή η περίπτωση είναι κατάλληλη για μεταδόσεις που χρειάζονται πολύ χαμηλή καθυστέρηση [82].

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της *Λειτουργίας-1* είναι το ότι τα οχήματα στέλνουν πληροφορίες για την τοποθεσία τους και για την επίτευξη της επιλεκτικής, ως προς την κατεύθυνση, εκπομπής τους (πληροφορίες δέσμης - beam information). Αυτές είναι οι πληροφορίες που θα χρησιμοποιήσει ο σταθμός βάσης (gNB) για να αποδώσει τους πόρους με βελτιωμένη χωρική επαναχρησιμοποίηση στα οχήματα.

Στη *Λειτουργία-2* η επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων γίνεται χωρίς κάποια βοήθεια από τον κεντρικό Σταθμό Βάσης, δηλαδή τα οχήματα βρίσκονται εκτός κάλυψης του Σταθμού Βάσης με τους πόρους αυτών να κατανέμονται αυτόνομα. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης λειτουργίας είναι ότι παρέχει πρόσθετες λειτουργίες που βοηθούν στον μερισμό των πόρων που γίνεται από τα οχήματα, δηλαδή αποστέλλοντας πληροφορίες για τους δεσμευμένους πόρους των οχημάτων καθώς και για την ποιότητα του καναλιού που εξυπηρετούνται τα οχήματα. Τέτοιου είδους μηχανισμοί επιτρέπουν την ανατροφοδότηση των πληροφοριών και βελτιώνουν την αυτόνομη κατανομή των πόρων στα οχήματα. Για μαζικές αναμεταδόσεις, όπως για παράδειγμα την αυτόνομη οδήγηση σε μία ομάδα οχημάτων όπου μπορεί ένα όχημα να αναλάβει το ρόλο του «αρχηγού» (ή του επικεφαλής) και για να διαχειρίζεται αυτό μόνο του τις πληροφορίες αντί μίας ομάδας οχημάτων, τούτο αποφέρει λιγότερη συμφόρηση στο δίκτυο. Στα δίκτυα C-V2X το κανάλι SideLink στη Λειτουργία-4 δεν είχε άλλες κατηγορίες λειτουργιών. Στα δίκτυα 5G NR στη Λειτουργία-2 δημιουργήθηκαν τέσσερις υποκατηγορίες βασισμένες πάνω στη Λειτουργία-2 [83]:

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

- *Λειτουργία-2-a*: Κάθε συσκευή χρήστη (UE) μπορεί να επιλέξει τους πόρους της αυτόνομα μέσω του αλγορίθμου Sensing-Based Semi-Persistent Scheduling, με παρόμοια λειτουργία όπως στη Λειτουργία-4 της τεχνολογίας C-V2X.
- *Λειτουργία-2-b*: Είναι μία συνεργατική κατανομημένη προσέγγιση για τη διαχείριση των πόρων, όπου οι συσκευές χρηστών (UEs) μπορούν να αλληλοβοηθούνται για τον προσδιορισμό των καταλληλότερων πόρων μετάδοσης.
- *Λειτουργία-2-c*: Μία συσκευή χρήστη (UE) επιλέγει τους πόρους βάσει ενός προκαθορισμένου προγραμματισμού αίτησης για αυτούς.
- *Λειτουργία-2-d*: Μία συσκευή χρήστη (UE) προγραμματίζει τις απευθείας μεταδόσεις μέσω του καναλιού Sidelink για τις γειτονικές όμως συσκευές χρηστών (UEs).

Μεταβλητή απόσταση υποφέρουσας: Η απόσταση κάθε υποφέρουσας στην τεχνολογία C-V2X της Έκδοσης 14 είναι μία προκαθορισμένη απόσταση με ένα εύρος ζώνης στα 15 KHz. Μία παράμετρος που τοποθετήθηκε από τον οργανισμό 3GPP στην Έκδοση 15 έδωσε τη δυνατότητα αναπροσαρμογής των αποστάσεων των υποφερουσών. Η τεχνολογία NR V2X υποστηρίζει μεγάλο εύρος ζώνης [49]. Το εύρος ζώνης το χωρίζουμε σε κατηγορίες όπως το Χαμηλό-Εύρος (είναι το φάσμα συχνοτήτων κάτω από 1 GHz και με ρυθμό δεδομένων έως 250 Mbps), το Μεσαίο- Εύρος (είναι το φάσμα συχνοτήτων που διακυμαίνεται από 1-6 GHz με ρυθμό δεδομένων έως 1Gbps) και το Υψηλό-Εύρος το οποίο καλύπτει το φάσμα συχνοτήτων που είναι μεγαλύτερο από 6 GHz (όπως τη ζώνη συχνοτήτων Χιλιοστομετρικών Κυμάτων (Millimeter Waves) όπου ο ρυθμός δεδομένων φθάνει τα 10 Gbps). Τελικά, η διακύμανση της απόστασης των υποφερουσών καλύπτει διαφορετικές υπηρεσίες όπως υπηρεσίες με απαιτήσεις μικρής καθυστέρησης, συγκεκριμένου εύρου ζώνης και υπηρεσίες ποιότητας υπηρεσιών (QoS). Το εύρος ζώνης της απόστασης για την κάθε υποφέρουσα μπορεί να είναι 15, 30, 60, 120, 240 και 480 KHz.

Την απόσταση των υποφερουσών σε Εύρος Ζώνης μπορούμε να την υπολογίσουμε με τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$\Delta f = 2^\mu * 15 \text{ KHz} \quad \text{όπου } \mu = 0, 1, 2, 3, 4, 5.$$

Υβριδικό σχήμα αυτόματης αίτησης για αναμετάδοση: Η κυψελοειδής επικοινωνία C-V2X υποστηρίζει αναμετάδοση, χωρίς να ελεγχθεί εάν η αρχική μετάδοση ήταν ανεπιτυχής. Δηλαδή, όταν το όχημα προέλευσης χρειαστεί να κάνει αναμετάδοση σήματος, ενεργοποιεί τη διαδικασία αναμετάδοσης χωρίς να γίνει έλεγχος στο όχημα προορισμού, εάν το τελευταίο έλαβε το σχετικό σήμα. Αυτό, στην περίπτωση που είναι αληθές, δηλαδή εάν παραλήφθηκε το σήμα χωρίς λάθη και χωρίς καθυστέρηση, οδηγεί σε σπατάλη πόρων και η «τυφλή» επανεκπομπή μπορεί να είναι αναποτελεσματική. Στην επικοινωνία NR-V2X εισάγεται ένα νέο κανάλι ανατροφοδότησης το οποίο καλείται ως PSFCH (Physical Sidelink Feedback Channel). Αυτό επιτρέπει την αναμετάδοση στο κανάλι με βάση πληροφορίες που ενημερώνουν για την κατάσταση του καναλιού [78]. Το κανάλι PSFCH μοιράζει τις πληροφορίες από το όχημα προέλευσης προς το όχημα προορισμού και ο μηχανισμός αίτησης για αναμετάδοση είναι μέσω ενός Υβριδικού σχήματος αυτόματης αίτησης για αναμετάδοση (Υβριδική Αυτόματη Αίτηση Επανάληψης Hybrid Automatic Repeat Request- HARQ). Αυτό σημαίνει ότι η τεχνολογία LTE χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό Εμπροσθόδοτου Ελέγχου Σφαλμάτων (Forward Error Correction - FEC) και Αυτόματης Αίτησης Επανάληψης (Automatic Repeat Request - ARQ), δηλαδή για όσα πακέτα δεν διορθώνονται τα λάθη τους από το FEC ζητείται αυτόματα η επαναποστολή τους [47]. Άρα, με βάση τις πληροφορίες στο όχημα προορισμού, μπορούν να λάβουν χώρα επιλεκτικές επαναποστολές.

Κωδικοποίηση καναλιού: Η κωδικοποίηση των καναλιών στην επικοινωνία C-V2X κατέχει καθοριστικό ρόλο όσον αφορά στην κάλυψη από ένα εύρος απαιτήσεων σχετικά με την αξιοπιστία, την καθυστέρηση αποκωδικοποίησης, το μήκος του πακέτου, τη συμβατότητα στον ρυθμό

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

δεδομένων, τη δυνατότητα υποστήριξης του σχήματος Αποτελεσματικής Υβριδικής Αυτόματης Αίτησης Επανάληψης (Efficient Hybrid Automatic Repeat Request) και τον ρυθμό απόδοσης. Για αυτούς τους λόγους, στην τεχνολογία NR-V2X αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν νέες μέθοδοι κωδικοποίησης. Αυτές είναι οι: LDPC (Low-Density Parity Check) και η πολική κωδικοποίηση (polar code) [78]. Η κωδικοποίηση LDPC χρησιμοποιείται για προστασία των δεδομένων, ενώ η πολική κωδικοποίηση⁶⁸ «πολώνει» το κανάλι σε αξιόπιστα και αναξιόπιστα ιδεατά κανάλια δυαδικής εισόδου (Bit) και η πληροφορία στα κανάλια Bit μεταδίδεται στα πιο αξιόπιστα ιδεατά κανάλια.

Σχήμα Διαμόρφωσης και Κωδικοποίησης (Modulation and Coding Scheme - MCS): Η επικοινωνία 5G NR V2X μπορεί να υποστηρίξει μία διακοσιστή πεντηκοστή έκτη διαμόρφωση μετατόπισης φάσης με ορθογωνισμό (φάσης) (256-QAM), σε σύγκριση με τη μέγιστη διαμόρφωση υψηλής τάξης που είναι στα 64-QAM και χρησιμοποιείται στην επικοινωνία C-V2X.

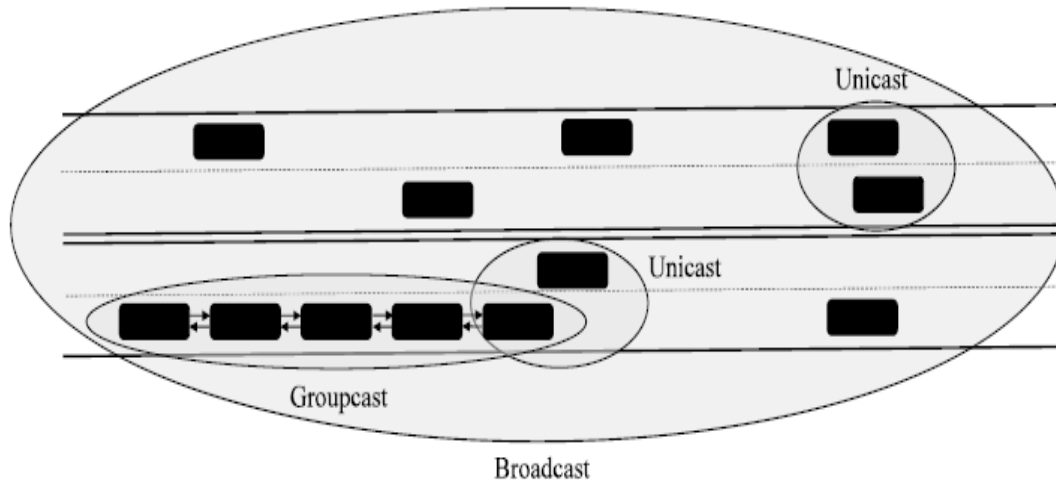
Αριθμός συμβόλων αναφοράς OFDM (DMRS) ανά Χρονικό πλαίσιο: Στο δίκτυο επικοινωνίας C-V2X χρησιμοποιούνται πάντα τέσσερα σύμβολα αναφοράς OFDM για την εκτίμηση του καναλιού. Στο δίκτυο 5G NR V2X τα σύμβολα DMRS μπορούν να προσαρμοστούν δυναμικά ανά χρονικό πλαίσιο.

6.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά του 5G NR στο στρώμα MAC

Ευρυεκπομπή, Μονή Εκπομπή και Ομαδική Εκπομπή: Η επικοινωνία NR V2X στην Έκδοση 16 υποστηρίζει μετάδοση στη διεπαφή Sidelink με τρεις διαφορετικούς τρόπους, ήτοι: Με Ευρυεκπομπή (Broadcast), με Μονή Εκπομπή (Unicast) και με Ομαδική Εκπομπή (Groupcast), ανάλογα με την κάλυψη του δικτύου όπως οι περιπτώσεις πλήρους κάλυψης, μερικής κάλυψης ή η περίπτωση εκτός κάλυψης. Επίσης, όταν μία συσκευή χρήστη (UE) μεταδίδει δεδομένα σε έναν μόνο δέκτη μίας συσκευής χρήστη, τότε χρησιμοποιείται η Μονή Εκπομπή σήματος. Η Ευρυεκπομπή χρησιμοποιείται όταν μία συσκευή χρήστη επικοινωνεί με όλες τις γειτονικές συσκευές χρηστών. Η Ομαδική Εκπομπή έχει εφαρμογή όταν μία συσκευή χρήστη επικοινωνεί με πολλές συσκευές χρηστών, αλλά μόνο για ένα συγκεκριμένο υποσύνολο αυτών. Παράδειγμα βρίσκεται στην ομάδα οχημάτων όπου ο αρχηγός μίας ομάδας οχημάτων επικοινωνεί μόνο με τα μέλη αυτής της ομάδας, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 16 ([83]).

⁶⁸ Η πολική κωδικοποίηση (polar code) χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των καναλιών σε eMBB (enhanced Mobile Broadband) και για URLLC (Ultra Reliability and Low Latency Communication), δηλαδή για βελτιωμένες ευρυζωνικές συνδέσεις που χρειάζονται μεγάλη χωρητικότητα στο κανάλι και για συνδέσεις που φιλοξενούν υπηρεσίες με αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης και αξιοπιστίας.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)



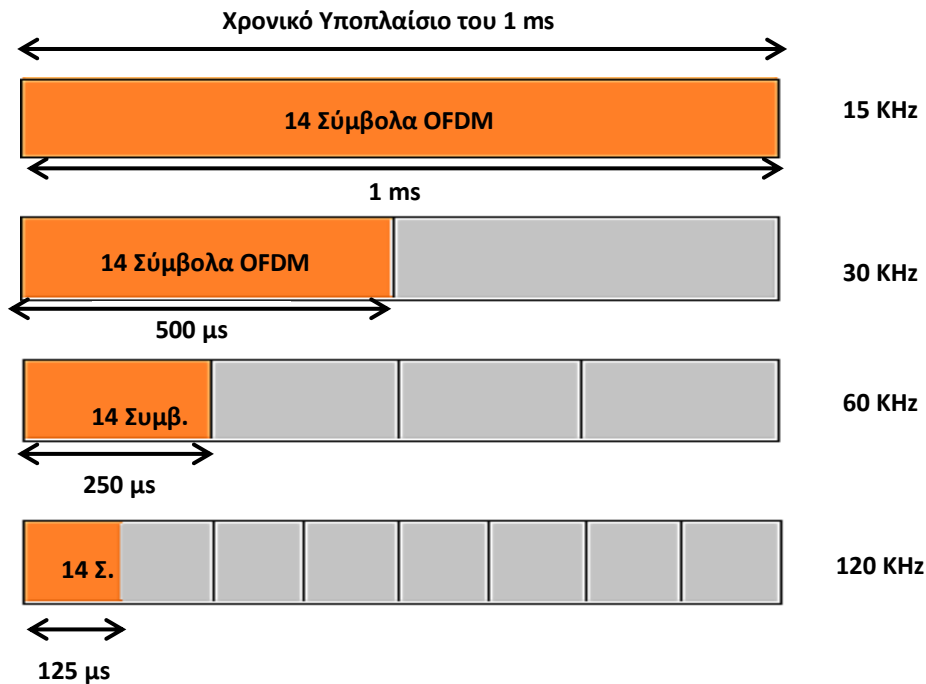
Σχήμα 16. Τύποι Επικοινωνίας NR - V2X

Μεταβλητός αριθμός χρονικών πλαισίων: Το χρονικό πλαίσιο μεταβάλλεται όσο αλλάζει και η απόσταση του εύρους ζώνης ανά υποφέρουσα. Κάθε χρονικό πλαίσιο είναι 10 ms και κάθε χρονικό υποπλαίσιο είναι 1 ms. Δηλαδή, δέκα χρονικά υποπλαίσια του 1 ms βρίσκονται σε ένα βασικό χρονικό πλαίσιο. Κάθε χρονικό υποπλαίσιο του 1 ms έχει 14 σύμβολα. Άρα, καθώς μεταβάλλεται ο αριθμός των χρονικών πλαισίων του 1 ms, μεταβάλλεται και ο αριθμός των συμβόλων OFDM του βασικού χρονικού πλαισίου. Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται οι τιμές αναλυτικά για τα χρονικά πλαίσια, την απόσταση των υποφερουσών και το μήκος του χρονικού πλαισίου. Παράδειγμα χρονικού πλαισίου παρουσιάζεται στο παρακάτω Σχήμα 17. Το μήκος του χρονικού πλαισίου μπορούμε να το υπολογίσουμε ως παρακάτω:

$$\text{Μήκος_Χρ. Π} = 1 \text{ ms} / 2^\mu \quad \text{όπου } \mu = 0, 1, 2, 3, 4, 5.$$

Πίνακας 7.Αριθμός χρονικού πλαισίου ανά υποπλαίσιο (sub frame)

Τιμή μ	Απόσταση Υποφερουσών (εύρος ζώνης)	Χρονικό πλαίσιο ανά υποφέρουσα (ποσότητα)	Μήκος Πλαισίου $1\text{ms}/2^\mu$ (ms)
0	15 kHz	1	$1\text{ms}/2^1=1 \text{ ms}$
1	30 kHz	2	$1\text{ms}/2^2=500 \mu\text{s}$
2	60 kHz	4	$1\text{ms}/2^4=250 \mu\text{s}$
3	120 kHz	8	$1\text{ms}/2^8=125 \mu\text{s}$



Σχήμα 17. Παράδειγμα Μεταβλητότητας χρονικού πλαισίου 5G-NR

Μικρά χρονικά υποπλαίσια για εφαρμογές με χαμηλή καθυστέρηση: Στην τεχνολογία LTE ένα χρονικό υποπλαίσιο περιέχει δεκατέσσερα σύμβολα OFDM. Το μικρό χρονικό υποπλαίσιο μπορεί να περιέχει δύο, τέσσερα ή επτά σύμβολα OFDM χωρίς τα σύμβολα αναφοράς στα όρια του υποπλαισίου και για να ξεκινήσει αμέσως τη μετάδοση των δεδομένων χωρίς κάποιον περιορισμό για υπηρεσίες που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση. Είναι αναποτελεσματική η δέσμευση όλου του χρονικού υποπλαισίου για μεταδόσεις περιορισμένων δεδομένων. Επίσης, με την ομαδοποίηση των χρονικών πλαισίων, δηλαδή την ένωση δύο ή περισσότερων πλαισίων του 1 ms που προσφέρει η τεχνολογία NR-V2X, μπορεί να γίνεται διαχείριση εφαρμογών που μοιράζονται μεγάλα πακέτα δεδομένων [49].

Προσαρμοσμένη δομή χρονικού υποπλαισίου για ανερχόμενη – κατερχόμενη ζεύξη: Στην τεχνολογία 5G NR, η δομή ενός χρονικού υποπλαισίου μπορεί να προσαρμόζεται ανάλογα τις ανάγκες του δικτύου. Δηλαδή γίνεται δυναμική ανάθεση των συμβόλων OFDM που είναι καταχωρημένα στο χρονικό πλαίσιο. Έτσι το δίκτυο εξισορροπεί δυναμικά την κίνησή του για ανερχόμενη και κατερχόμενη ζεύξη. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατή η βελτιστοποίηση της κίνησης όταν εφαρμόζονται διαφορετικοί τύποι υπηρεσίας στο δίκτυο. Στο παρακάτω Σχήμα 18 ([84]) παρουσιάζονται μερικές κατηγορίες της δομής του χρονικού πλαισίου, όπως η πλήρης κατανομή του υποπλαισίου σε δεδομένα ή η βελτιστοποίηση του υποπλαισίου για άμεσες μεταδόσεις δεδομένων (π.χ. URLLC).

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Αυτοτελής δομή υποπλαισίου TDD

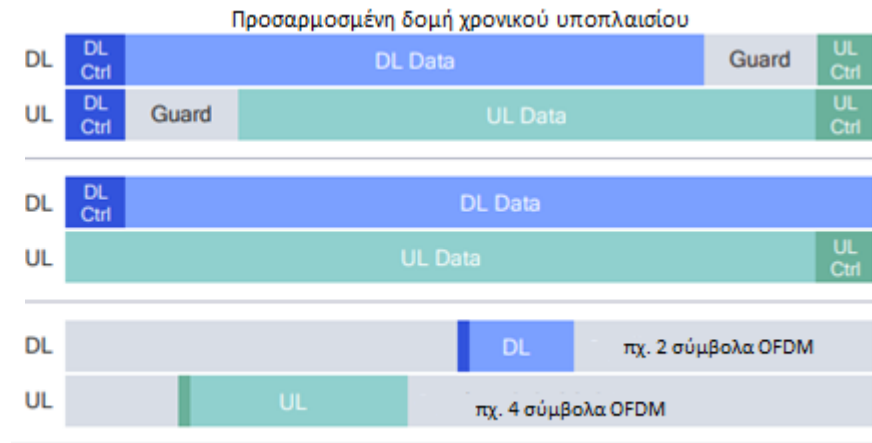
Ομαδοποίηση ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης σε ένα υποπλαίσιο. Τα δεδομένα και τα μηνύματα ACK/SRS βρίσκονται στο ίδιο

Κεντρικό υποπλαίσιο δεδομένων

Αυτός ο σχεδιασμός μειώνει τις παρεμβολές καναλιών ελέγχου κατερχόμενης ζεύξης και ανερχόμενης ζεύξης.

Μίνι υποπλαίσιο

Βέλτιστο για σύντομες και γρήγορες μεταδόσεις δεδομένων όπως στην υπηρεσία URLLC.



Σχήμα 18. Παραδείγματα Προσαρμοσμένων υποπλαισίων 5G NR

Προσαρμοσμένα χρονικά παράθυρα Sensing (Επαίσθησης): Το δίκτυο επικοινωνίας 5G NR-V2X προσαρμόζει τα χρονικά παράθυρα Sensing⁶⁹, με βάση την κινητικότητα των οχημάτων. Σε ένα σενάριο με υψηλή κινητικότητα οχημάτων, το χρονικό παράθυρο Sensing θα πρέπει να μειωθεί διότι οι πληροφορίες των πόρων καθίστανται γρήγορα ξεπερασμένες. Επίσης η τεχνολογία 5G NR-V2X συνιστά παράλειψη του δείκτη μέσης τιμής RSSI (Received Signal Strength Indicator) κατά την επιλογή των πόρων σε ένα κυψελοειδές δίκτυο C-V2X, με αποτέλεσμα την γρήγορη κατανομή πόρων.

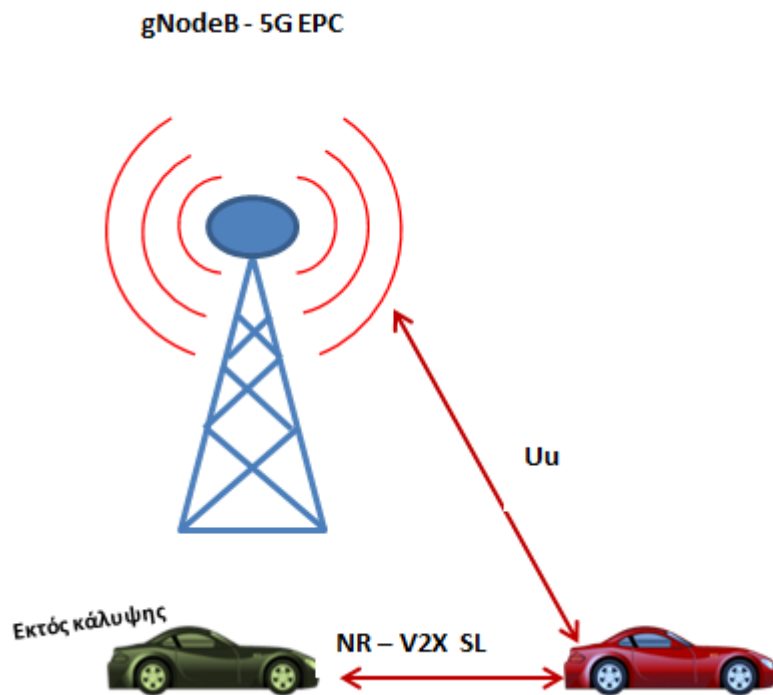
6.5 Καταστάσεις Λειτουργίας του δικτύου 5G NR

Η τεχνολογία 5G NR λειτουργεί σε 2 καταστάσεις λειτουργίας:

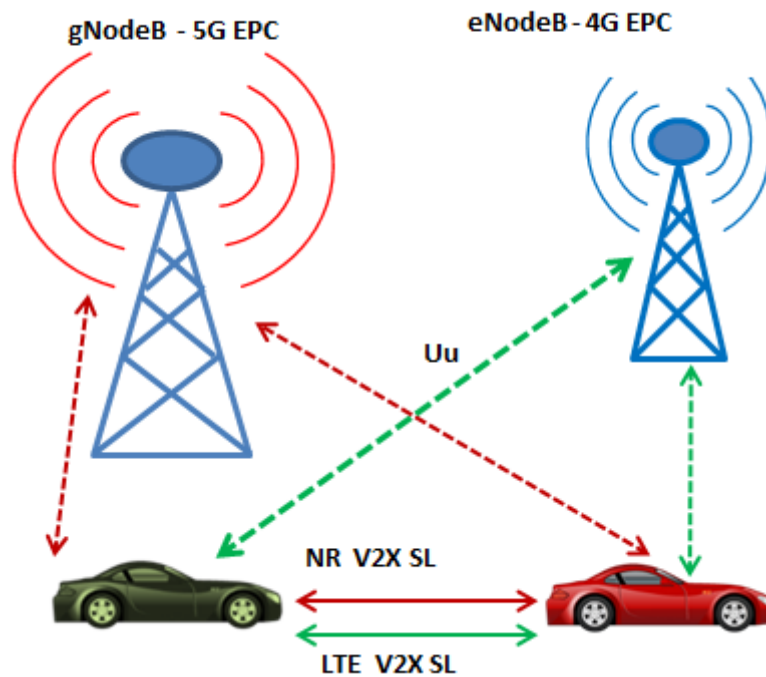
1. *Αυτόνομη λειτουργία.*
2. *Μη Αυτόνομη λειτουργία.*

Στα δίκτυα με Μη Αυτόνομη λειτουργία, οι συσκευές χρήστη (UEs) μπορεί να αποστέλλουν σήμα απευθείας στον Σταθμό Βάσης 5G-NR ή μπορεί να συνδέονται και με προγενέστερους σταθμούς βάσης τεχνολογίας 4G. Αντίθετα, στα δίκτυα με Αυτόνομη λειτουργία, η οποία παρουσιάστηκε στα τέλη του έτους 2018, τα σήματα αποστέλλονται απευθείας στον Σταθμό Βάσης 5G. Επίσης η Αυτόνομη λειτουργία παρέχει ευκολίες πλήρους ελέγχου, χρησιμοποιώντας έναν κεντρικό Σταθμό Βάσης δικτύου 5G. Ο φορέας 3GPP επεξεργάζεται τις επόμενες εκδόσεις από την τεχνολογία 5G NR, έτσι ώστε οι πρόσφατες εκδόσεις να μπορούν να ενσωματωθούν στις μελλοντικές. Επιπλέον ο φορέας 3GPP στοχεύει ώστε να βελτιώσει την επεκτασιμότητα, την απόδοση και την ευελιξία των ασύρματων επικοινωνιών με τη χρήση αδειοδοτημένων – ή μη – ζωνών συχνοτήτων. Στο παρακάτω Σχήμα 19 παρουσιάζεται η Αυτόνομη λειτουργία, και στο Σχήμα 20 η Μη Αυτόνομη λειτουργία ενός δικτύου 5G- V2X ([85]).

⁶⁹ Χρονικό παράθυρο Sensing είναι ο χρόνος που αντιστοιχεί σε μία Πλοκάδα Πόρων (Resource Block - RB).



Σχήμα 19. Αυτόνομη λειτουργία σε δίκτυο 5G NR



Σχήμα 20. Μη Αυτόνομη λειτουργία σε δίκτυο 5G

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Στον παρακάτω Πίνακα 8 ([60], [49], [78]) παρουσιάζονται οι κυριότερες διαφορές ή/και ομοιότητες των συστημάτων επικοινωνίας C-V2X και 5G NR-V2X.

Πίνακας 8. Σύγκριση μεταξύ C-V2X και 5G NR-V2X

Χαρακτηριστικό	C-V2X	5G NR – V2X
Εύρος Ζώνης	Μέχρι 6 GHz	Μέχρι 6 GHz, mmWave (Μέχρι 52 GHz)
Φυσικό Στρώμα	SC-FDMA	SCFDMA, OFDM
Ψηφιακό Beam forming	Μέχρι 8 στρώματα	Μέχρι 12 στρώματα
Κωδικοποίηση καναλιού	Δεδομένα: Κωδικοποίηση Turbo Ελέγχου: Συνελικτική Κωδικοποίηση	Δεδομένα: Κωδικοποίηση LDPC Ελέγχου: Πολική κωδικοποίηση
Πολυπλεξία δεδομένων-ελέγχου	FDM	TDM
Δομή χρονικού πλαισίου	Σε ένα πλαίσιο	Μινι-θυρίδα (mini-slot), Πολλαπλή θυρίδα (multi slot), απλή θυρίδα (slot)
Κωδικοποίηση/Διαμόρφωση Σχήματος υψηλής τάξης (MCS)	QPSK, 16-QAM	QPSK, 16QAM, 64-QAM, 128-QAM, 256-QAM
Απόσταση υποφερόντων	15 kHz	15 kHz, 30 kHz, 60 kHz, 120 KHz, 240 KHz , 480 KHz
Λειτουργίες Sidelink	Λειτουργία -3 και -4	Λειτουργία -1 και -2
Μηχανισμός για γρήγορη κατανομή καναλιού sidelink	Όχι	Ναι
Πολυπλεξία καναλιών PSCCH and PSSCH	FDM	TDM
Επαναμετάδοση	Τυφλή	Προσαρμοσμένη ανάλογα με την κατάσταση του καναλιού
Τύποι μετάδοσης χρονικού πλαισίου	Ευρεκτομπή	Ευρεκτομπή, Ομαδική Εκπομπή και Μονή Εκπομπή
Χρονικό Παράθυρο Sensing	Καθορισμένο	Προσαρμοσμένο
Σύμβολα Αναφοράς (DMRS)	4	Προσαρμοσμένα
Εύρος ζώνης καναλιού	20 MHz	400 MHz
Καθυστέρηση	< 10 ms	< 1ms
Αξιοπιστία	95 -99 %	99.9 – 99.999 %

6.5 Τι υποστηρίζει η τεχνολογία New Radio 5G V2X

Ο στόχος της τεχνολογίας 5^{ης} γενιάς είναι να υποστηρίζει ασύρματα δίκτυα με υψηλή αξιοπιστία, χαμηλή καθυστέρηση και εξαιρετικά υψηλή απόδοση. Μελλοντικά αναμένεται ότι ένας τεράστιος αριθμός δικτύων θα υποστηρίζεται από την τεχνολογία 5G και θα μπορούν να καλύπτονται πολλές νέες υπηρεσίες αλλά και ήδη υπάρχουσες εφαρμογές. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην υπηρεσία εγγύτητας (ProSe) όπου με κατάλληλους αισθητήρες φωτός, αισθητήρες με υπέρυθρη ζώνη συχνότητας ή αισθητήρες ήχου, ένα όχημα θα μπορεί να εντοπίζει εύκολα, γρήγορα και με ασφάλεια τις αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων. Η εφαρμογή τέτοιων υπηρεσιών θα βρίσκει ανταπόκριση σε επικοινωνίες D2D.

6.5.1 Εξελιγμένη ασύρματη επικοινωνία

Τεχνική Πολυπλεξίας OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing): Είναι μία τεχνική πολυπλεξίας που χρησιμοποιείται για την κατανομή πόρων με βάση την κωδικοποίηση συχνότητας. Χρησιμοποιείται και στις περιπτώσεις Wi-Fi και WiMAX. Κάνει χρήση μεγάλου αριθμού φερουσών με στενό εύρος ζώνης και με πυκνή τοποθέτηση των υποφερουσών [47]. Τα σύμβολα μπορεί να ανήκουν σε οποιοδήποτε αλφάβητο (QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 128-QAM, 256-QAM). Πετυχαίνει υψηλές αποδόσεις, ενισχύοντας την ήδη υπάρχουσα τεχνική πολυπλεξίας της LTE, προσφέροντας υποστήριξη διαφόρων εφαρμογών για ένα μεγάλο εύρος ζώνης [85].

Τεχνολογία Χιλιοστομετρικών Κυμάτων (Millimeter Waves): Η τεχνολογία Χιλιοστομετρικών Κυμάτων είναι μέρος της τεχνολογίας 5G και αφορά στη ζώνη συχνοτήτων από 30 GHz έως 300 GHz, δηλαδή σε κύματα με μήκος από 1 έως 10 mm. Είναι μία από τις επερχόμενες τεχνολογίες του 5G. Οδηγεί σε επίτευξη χαμηλής καθυστέρησης και σε υψηλό ρυθμό δεδομένων. Η τεχνολογία *mmWave* (Millimeter-wave) μπορεί να καλύψει πολλά σενάρια, όπως περιπτώσεις χρήσης σε στάδια, εμπορικά κέντρα, πολιτικές συγκεντρώσεις και σε πολλά μέρη όπου πολλές συσκευές χρήστη (UE) οδηγούν σε υψηλή συμφόρηση στο δίκτυο. Ο περιορισμός της τεχνολογίας *mmWave* εξαρτάται από τα εμπόδια και την περιοχή κάλυψης. Η μέγιστη απόσταση που καλύπτει είναι το ένα χιλιόμετρο, η οποία όμως είναι πολύ μικρή για να καλύψει τις αγροτικές περιοχές. Γενικά, θα χρειαστούν πολλοί σταθμοί βάσης για τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Η κάλυψη σε χωριά και σε μακρινές αποστάσεις γίνεται με ένα εύρος συχνοτήτων μέχρι 6 GHz. Στις αγροτικές περιοχές και σε αποστάσεις όπου είναι το ίδιο με τις αστικές, η κάλυψη ενός δικτύου επικοινωνίας V2X γίνεται αποτελεσματικότερα με εύρος ζώνης κάτω από τα 6 GHz και πολλές φορές κάτω και από τα 2 GHz. Αντιθέτως, στις αστικές περιοχές φαίνεται να λειτουργεί πολύ καλά η τεχνολογία 5G NR *mmWave-V2X*, διότι καλύπτει σημαντικό αριθμό οχημάτων σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Επομένως η τεχνολογία *mmWave* μπορεί να έχει καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη της αυτόνομης οδήγησης, καθώς μπορεί να προσφέρει πολύ χαμηλή καθυστέρηση και πολύ υψηλή αξιοπιστία. Επίσης, μπορεί να δώσει αρκετά αξιόπιστες λύσεις στην επικοινωνία V2V όπου υπάρχει αυξημένο φορτίο δεδομένων λόγω μεγάλου αριθμού οχημάτων αλλά και στην επικοινωνία V2I όπου χρησιμοποιείται αυξημένη κίνηση δεδομένων όπως με τις ενημερώσεις των ψηφιακών τρισδιάστατων χαρτών και τις ενημερώσεις εφαρμογών του οχήματος [85].

Τεχνική πολλαπλών κεραιών: Στην τεχνολογία 5G η τεχνική πολλαπλών κεραιών θεωρείται βασικό συστατικό στη δικτυακή υποδομή, διότι μπορεί να αυξηθεί η απόδοση του εύρους ζώνης και να βελτιωθεί η αξιοπιστία σύνδεσης για σενάρια υψηλής κινητικότητας σε δίκτυα V2X (όπως με βελτιωμένες τεχνικές επεξεργασίας σήματος Beamforming ή MIMO). Η τεχνική πολλαπλών κεραιών μπορεί να μας εξασφαλίσει υψηλή αξιοπιστία και χαμηλή καθυστέρηση, σε συνδυασμό με αυτή των *mmWave*. Σε σενάρια με πολλά οχήματα που βρίσκονται γεωγραφικά κοντά μεταξύ τους, μπορεί να γίνει εκμετάλλευση της επιλεκτικής – ως προς την κατεύθυνση – εκπομπής του σήματος από τις γειτονικές κεραιές, για να αυξηθεί η ποιότητα του ληφθέντος σήματος όπως και ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων. Την ίδια στιγμή, το δίκτυο μπορεί να εκμεταλλευτεί τα σήματα θετικής

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

ή αρνητικής αναγνώρισης (ACKnowledgment / Negative ACKnowledgment - ACK/NACK) των οχημάτων (μέσω της διαδικασίας του πρωτοκόλλου επικοινωνίας) και έτσι να ενισχυθεί η αξιοπιστία του δικτύου σε υπηρεσίες ευρυεκπομπής και υπηρεσίες ομαδικής εκπομπής. Για τις επικοινωνίες V2V όπου συχνά υπάρχει οπτική επαφή, η τεχνική πολλαπλών κεραιών βελτιστοποιεί τη χωρητικότητα του καναλιού λόγω του διαχωρισμού κεραιών, στην εκπομπή και στη λήψη, με συνέπεια την αύξηση των χωρικών βαθμών ελευθερίας του σήματος, γεγονός που είναι γραμμικά συνδεδεμένο με την αύξηση της χωρητικότητας του καναλιού [85].

6.5.2 Εξελιγμένες υπηρεσίες

Υποστήριξη κρίσιμων εφαρμογών: Με την υποστήριξη αυτού του τύπου των εφαρμογών, δηλαδή με εφαρμογές που χρησιμοποιούν κρίσιμες υπηρεσίες – όπως η αυτόνομη οδήγηση, οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (επικοινωνία οχήματος με όχημα (V2V)), ο μερισμός αρχείων μεγάλου όγκου πληροφοριών (επικοινωνία οχήματος με την υποδομή του δικτύου (V2I)), η αποφυγή εμποδίων ή η αναγνώριση ανθρώπινου σώματος (επικοινωνία οχήματος με πεζό (V2P)) – και γενικά υπηρεσίες ασφάλειας όπου η αξιοπιστία και η διαθεσιμότητα των πόρων παίζουν καθοριστικό ρόλο. Επίσης ανοίγονται προοπτικές για συνεργατικές δράσεις μεταξύ των τεχνολογιών αυτοκινητοβιομηχανίας, τηλεπικοινωνιών και πληροφορικής, που οδηγούν σε πολύ μεγαλύτερη οδηγική ασφάλεια και περισσότερη σιγουριά από την πλευρά του χρήστη, κάτι το οποίο δεν θα ήταν δυνατόν να επιτευχθεί με τις τωρινές τεχνολογίες.

Επικοινωνίες εξαιρετικά αξιόπιστες και χαμηλής καθυστέρησης (URLLC): Υπάρχουν εφαρμογές στην τεχνολογία της επικοινωνίας των οχημάτων όπου ο χρόνος είναι καθοριστικός και πολλές φορές κρίσιμος. Η υποστήριξη αυτών των εφαρμογών αλλά και η δυνατότητα της τεχνολογίας 5G πετυχαίνει σε αυτόν τον τομέα. Στις επικοινωνίες C-V2X και ιδίως στην περίπτωση της αυτόνομης οδήγησης, έχουμε ένα παράδειγμα κρίσιμης περίπτωσης επικοινωνίας όπου η χαμηλή καθυστέρηση παίζει σημαντικό ρόλο στην ασφάλεια. Περιβαλλοντικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την αποφυγή των εμποδίων, των πεζών και άλλων οχημάτων. Οι RSUs ή τα γειτονικά οχήματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τα δεδομένα από τους αισθητήρες των άλλων οχημάτων και να αξιοποιήσουν τις πληροφορίες για την αυτόνομη οδήγηση. Η ασφάλεια των συσκευών χρηστών (UEs) εξασφαλίζεται με την υποστήριξη της υπηρεσίας URLLC (Ultra Reliable and Low Latency Communications), διότι σε εφαρμογές C-V2X όπου τα οχήματα είναι σε κίνηση, η σύνδεση μεταξύ του οχήματος και της RSU πρέπει να γίνεται στο σωστό χρόνο για να εξασφαλιστεί έτσι η επάρκεια αναφορικά με την ασφάλεια. Επίσης, εφαρμογές ρευμάτωσης όπως είναι η ρευμάτωση βίντεο (video streaming) ή εφαρμογές που χρησιμοποιούν την τεχνολογία LiDAR (Light Detection And Ranging) για την αυτόνομη οδήγηση με ευρυεκπομπή, χρειάζονται χαμηλή καθυστέρηση δικτύου. Ο σωστός χρόνος από το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης GPS (Global Position System) που δίνεται από τα οχήματα, εξασφαλίζει την ακρίβεια και τη σωστή πρόβλεψη κίνησης οχήματος και τοποθεσίας μεταξύ των κινούμενων οχημάτων. Επίσης, για την απευθείας επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων μέσω της διεπαφής PC5 έχουν γίνει πολλές βελτιώσεις τόσο στο Φυσικό στρώμα όσο και στο στρώμα MAC, έτσι ώστε το κανάλι να μπορεί να παρέχει πολύ χαμηλή καθυστέρηση (μικρότερη από 1 ms) για τα δίκτυα 5G [85].

Βελτιωμένες κινητές υπηρεσίες ευρυζωνικότητας (enhanced Mobile Broadband - eMBB): Περιλαμβάνονται περιπτώσεις χρήσης⁷⁰ που θα βελτιώσουν την εμπειρία του χρήστη όπως η πρόσβαση σε περιεχόμενο υψηλής ευκρίνειας, σε νέες υπηρεσίες και δεδομένα. Εφαρμογές που χρειάζονται υψηλό εύρος ζώνης για να αποδώσουν ικανοποιητικά είναι οι εφαρμογές ψυχαγωγίας και οι πολυμεσικές εφαρμογές. Σημαντικές βελτιώσεις που περιλαμβάνονται στην τεχνολογία 5G NR είναι τα mmWave, η τεχνική MIMO, η Gigabit LTE, η κωδικοποίηση του καναλιού και η κοινόχρηστη ζώνη συχνοτήτων [85].

⁷⁰ Περισσότερες περιπτώσεις χρήσης αναφέρονται π.χ. στη βιβλιογραφική παραπομπή [109].

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Μαζικές Επικοινωνίες Τύπου Μηχανής (Massive Machine Type Communications – mMTC): Η συγκεκριμένη κατηγορία χαρακτηρίζεται από ένα μεγάλο διασυνδεδεμένο αριθμό συσκευών και αισθητήρων μικρού κόστους και χαμηλής ενέργειας για τη μετάδοση μικρού όγκου ευαίσθητων δεδομένων. «Οντότητες» που ανήκουν στην παραπάνω κατηγορία όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT), τα έξυπνα σπίτια και οι έξυπνες πόλεις θα μπορούσαν να παράσχουν βελτιωμένες επικοινωνίες με την τεχνολογία 5G να τους αποδίδει χαμηλή καθυστέρηση, υψηλό ρυθμό απόδοσης, υψηλή απόδοση, υποστήριξη πολυμέσων, άμεση ενημέρωση τοποθεσίας και αποδοτική ενημέρωση του εκάστοτε λογισμικού [85]. Εκτιμήσεις για το τέλος του έτους 2021 οδηγούν στη θεώρηση ενός δικτύου 35 δισεκατομμυρίων συσκευών⁷¹. Η επεκτασιμότητα του δικτύου IoT μπορεί να υποστηριχθεί από το δίκτυο 5G NR. Επίσης, στη ζώνη συχνοτήτων του mmWave (από 30 έως 300 GHz) το δίκτυο μπορεί να δώσει εκρηκτική αύξηση στον ρυθμό των δεδομένων, ενεργοποιώντας έτσι δυναμικά το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Οι Μαζικές Επικοινωνίες Τύπου Μηχανής (mMTC) είναι μία καινούργια κατηγορία υπηρεσιών της τεχνολογίας 5G και μπορούν να υποστηρίξουν συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε δίκτυα εξαιρετικά υψηλής πυκνότητας.

⁷¹ Πηγή: <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. ΤΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ 5GCAR



Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύουμε την συμβολή του ερευνητικού προγράμματος 5GCAR για την ανάπτυξη της τεχνολογίας V2X με τη χρήση δικτύων 5^{ης} γενιάς. Αρχικά, αναφέρονται τα αντικείμενα με τα οποία ασχολήθηκε το ως άνω πρόγραμμα όπως και οι φορείς που συμμετείχαν στις δράσεις του έργου. Επίσης αναλύουμε τη δομή του ερευνητικού προγράμματος η οποία αποτελείται από 6 πακέτα εργασίας με το καθένα να έχει αναλάβει συγκεκριμένο αντικείμενο. Έπειτα παρουσιάζεται σχηματικά η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του δικτύου η οποία υποστηρίζει επικοινωνία V2X και αναλύονται θέματα αναφορικά με τις τεχνολογίες που υπάρχουν στο δίκτυο καθώς και διάφορα ζητήματα σχετικά με την εννοχήστρωση και τη διαχείριση του δικτύου, την ασφάλεια, βελτιώσεις που προτείνονται για την Υπολογιστική στα Άκρα του Δικτύου, κτλ. Τέλος, αναφέρονται οι τομείς απασχόλησης των νέων επιχειρηματικών δράσεων που δημιουργούνται με βάση τις καινοτόμες ραδιοτεχνολογίες και τα ιδεατά δίκτυα καθώς και η μελέτη που έχει γίνει από το πρόγραμμα 5GCAR σχετικά με το εύρος ζώνης που υποστηρίζει τα δίκτυα V2X.

Το πρόγραμμα “5G Communication Automotive Research and innovation” (5GCAR⁷²) είναι μέρος του ερευνητικού και αναπτυξιακού ευρωπαϊκού πλαισίου δράσεων (2014-2020) Horizon 2020. Το πρόγραμμα είχε διάρκεια 26 μήνες, με έναρξη από τον Ιούνιο του 2017. Οι σχετικές δράσεις υλοποιήθηκαν στο πλαίσιο του Κοινοτικού Συμβολαίου (Grant Agreement) No.761510. Το πρόγραμμα 5GCAR εντάσσεται στο θεματικό πεδίο της Φάσης 2 (Phase-2) του συνεργατικού πλαισίου 5G-PPP⁷³.

Τα αντικείμενα με τα οποία ασχολήθηκε το πρόγραμμα 5GCAR ήταν τα ακόλουθα [85]:

- **Ανάπτυξη μίας αρχιτεκτονικής στηριζόμενη στην τεχνολογία 5G** η οποία παρείχε βελτιστοποιημένη συνδεσιμότητα δικτύου V2X από άκρο-σε-άκρο, με εξαιρετικά αξιόπιστες και χαμηλής καθυστέρησης υπηρεσίες V2X, οι οποίες υποστηρίζουν την ασφάλεια και το απόρρητο, διαχειρίζονται την ποιότητα της υπηρεσίας, παρέχουν τη διαχείριση ροής κίνησης των δεδομένων σε διαφορετικά RATs και υποστηρίζουν πολλαπλές συνδέσεις σε επικοινωνιακά συστήματα V2X.
- **Συνεργασία πολλαπλών RAT** που επιτρέπουν την ενσωμάτωση υπάρχουσών λύσεων επικοινωνίας και καινοτόμων λύσεων 5G V2X.
- **Ανάπτυξη μίας αποτελεσματικής, ασφαλούς και επεκτάσιμης διεπαφής Sidelink** για επικοινωνίες V2X χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας.

⁷² Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://5gcar.eu/>

⁷³ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε: <https://5g-ppp.eu/5g-ppp-phase-2-projects/>

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

- **Πρόταση ανάπτυξης τεχνικών εντοπισμού θέσης επί τη βάση του 5G**, τόσο για τους «ευάλωτους» χρήστες του δρόμου (όπως πεζοί) όσο και για τα οχήματα, με αποτέλεσμα την αύξηση της ακρίβειας εντοπισμού θέσης.
- **Ανάδειξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων** και νέων εναλλακτικών λύσεων, που υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών 5G V2X.
- **Επίδειξη και επικύρωση του έργου με αξιολόγηση** των ποσοτικών οφελών της τεχνολογίας 5G V2X, χρησιμοποιώντας αυτοματοποιημένα σενάρια οδήγησης σε χώρους δοκιμών.

Η κοινοπραξία του προγράμματος συμπληρωνόταν από τους παρακάτω συμμετέχοντες που εμφανίζονται στην παρακάτω Εικόνα 1. [85], με συντονιστή του έργου την Ericsson.



Εικόνα 1. Φορείς που συμμετείχαν στο πρόγραμμα 5GCAR

7.1 Η Δομή του Προγράμματος 5GCAR

Το συνολικό έργο του προγράμματος 5GCAR αποτελείται από έξι πακέτα εργασίας, ως εξής [85]:

- **Πακέτο Εργασίας 1 (WP1) – Διαχείριση:** Το πρόγραμμα 5GCAR αφορούσε σε μία δράση συνεργατικής διαχείρισης υπό έναν συντονιστή (project coordinator) και έναν τεχνικό διευθυντή (technical manager), οι οποίοι μαζί με τους υπεύθυνους των Πακέτων Εργασίας (WP Leaders) καθοδηγούσαν όλες τις προβλεπόμενες – βάσει του Συμβολαίου – δραστηριότητες.
- **Πακέτο Εργασίας 2 (WP2) – Σενάρια, Επιχειρήσεις, Εύρος Ζώνης:** Αφορούσε στην περιγραφή πιθανών περιπτώσεων χρήσης σε ένα δίκτυο V2X, με διεξοδική ανάλυση των συναφών απαιτήσεων, καθορισμό σχετικών απαιτήσεων των Βασικών Δεικτών Απόδοσης (Key Performance Indicators - KPIs) και ανάλυση των περιβαλλοντικών προδιαγραφών για το δίκτυο 5G, στο πλαίσιο του τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Επίσης διερευνούσε τα τρέχοντα επιχειρηματικά μοντέλα και νέες υπηρεσίες, ενώ εξετάστηκαν ζητήματα σχετικά με το εύρος ζώνης υπό το πρίσμα απαιτήσεων και περιορισμών.
- **Πακέτο Εργασίας 3 (WP3) – Διεπαφές 5G-V2X:** Οι σχετικές δράσεις αφορούσαν στην ανάπτυξη μίας αποτελεσματικής ασύρματης διεπαφής 5G V2X για εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες χαμηλής καθυστέρησης (URLLC) μεταξύ της οδικής υποδομής, των οχημάτων και άλλων χρηστών. Η ασύρματη διεπαφή αποσκοπούσε στην κάλυψη των συνδέσεων μεταξύ οχημάτων και των υποδομών των δικτύου, όσο και στις απευθείας συνδέσεις μεταξύ των

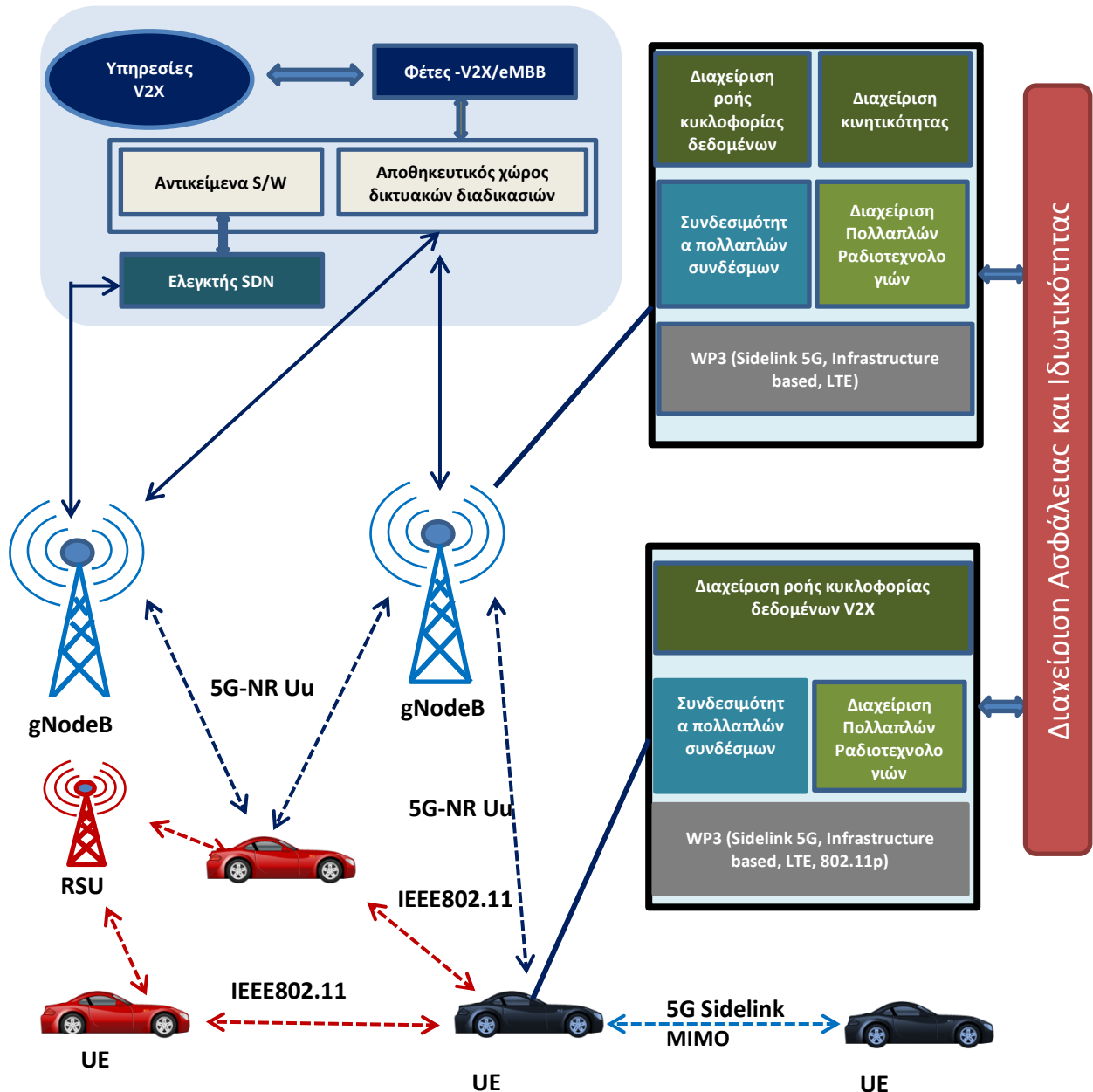
Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

οχημάτων. Έγινε αξιολόγηση των τεχνολογιών με θεωρητική ανάλυση και με προσομοιώσεις συστήματος. Αναπτύχθηκαν τεχνικές εντοπισμού θέσης με τη βοήθεια των ραδιοσυχνότητων.

- **Πακέτο Εργασίας 4 (WP4) – Αρχιτεκτονική 5G-V2X:** Το εν λόγω Πακέτο Εργασίας πρότεινε τη δομή μίας αρχιτεκτονικής 5G-V2X σύμφωνα με τις λύσεις συνδεσιμότητας που είχαν σχεδιαστεί από το WP3, συμπεριλαμβάνοντας τη διαχείριση των πόρων και τη συνδεσιμότητα πολλών ραδιοτεχνολογιών (Radio Access Technologies - RATs). Επιπλέον, μελετήθηκε η δικτυακή σύνδεση με Δίκτυο Οριζόμενο από το Λογισμικό (Software Define Network-SDN) και εισήχθησαν λειτουργίες εικονικού δικτύου (Virtual Network Functions - VNFs) όπως και η τεχνική του τεμαχισμού του δικτύου (network slicing). Επιπλέον, μελετήθηκαν θέματα ασφάλειας και προστασίας δεδομένων για τις επικοινωνίες V2X.
- **Πακέτο Εργασίας 5 (WP5) – Παρουσιάσεις Περιπτώσεων Χρήσης:** Στο εν λόγω WP παρουσιάστηκαν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης σε ένα δίκτυο V2X και ειδικότερα: (i) Συντονισμός συγχώνευσης λωρίδας, (ii) Συνεργατική αντίληψη για ελιγμούς από συνδεδεμένα οχήματα και, (iii) Προστασία ευάλωτων πεζών. Για την υλοποίηση των αντίστοιχων επιδείξεων, συμμετείχαν διάφοροι από τους εμπλεκόμενους φορείς-εταίρους του προγράμματος.
- **Πακέτο Εργασίας 6 (WP6) – Κοινωνικές επιπτώσεις της αυτόνομης οδήγησης:** Το εν λόγω WP είχε ως αντικείμενο μελέτης τις κοινωνικές επιδράσεις που έχει η τεχνολογία επικοινωνίας οχημάτων, με έμφαση στην καλύτερη κατανόηση των κοινωνικών επιπτώσεων σε σχέση με τα επίπεδα πολυπλοκότητας των συστημάτων της αυτόνομης οδήγησης. Γι' αυτόν το λόγο, το 5GCAR έχει δημοσιεύσει σχετικά άρθρα σε διάφορα συνέδρια και περιοδικά. Οι εταίροι του προγράμματος 5GCAR ήταν βασικοί ομιλητές σε διάφορες εκδηλώσεις για επιλεγμένα θέματα που σχετίζονταν με την τεχνολογία 5G για τον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας.

7.2 Αρχιτεκτονική τεχνολογίας 5G-V2X

Στο παρακάτω Σχήμα 21 ([85]) παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική δομή του 5G-V2X . Βασικός στόχος του προγράμματος 5GCAR ήταν η μείωση της καθυστέρησης από άκρο-σε-άκρο, η αύξηση της αξιοπιστίας του δικτύου, η εξασφάλιση της υψηλής διαθεσιμότητας των πόρων του δικτύου, η εγγύηση της διαλειτουργικότητας μεταξύ των διαφορετικών ραδιοτεχνολογιών και η ενίσχυση της επεκτασιμότητας με ταυτόχρονη διασφάλιση της ασφάλειας του δικτύου.



Σχήμα 21. Αρχιτεκτονική από άκρο σε άκρο επικοινωνίας 5G-V2X

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Το Σχήμα 21 παρουσιάζει τα βασικά χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής του δικτύου 5G V2X όπως τη διαχείριση πόρων, τις τεχνικές διαχείρισης για πολλαπλές ραδιοτεχνολογίες, τον τεμαχισμό του δικτύου σε φέτες (network slicing), τις λειτουργίες του ιδεατού δικτύου (Virtual Network Functions - VNFs), τη διαχείριση συνδεσιμότητας με τεχνικές δικτύου ορισμένου από το λογισμικό (Software Define Network - SDN) και τη διαχείριση προσωπικών δεδομένων και ασφάλειας. Σχετικά με το δίκτυο και την αρχιτεκτονική V2X, η έρευνα του WP4 του 5GCAR επικεντρώθηκε στους τομείς αναφορικά με την ενορχήστρωση και τη διαχείριση του δικτύου, την ασφάλεια του δικτύου, τη συνεργασία πολλαπλών διεπαφών, βελτιώσεις υπολογισμών στα άκρα και τις λειτουργίες του δικτύου [85]. Παρακάτω, θα προσπαθήσουμε να περιγράψουμε εν συντομία τους εν λόγω τομείς έρευνας με βάση την προσέγγιση του 5GCAR και το πώς ενδεχομένως μπορούν να επηρεάσουν το μέλλον της επικοινωνίας τύπου V2X.

Ενορχήστρωση και Διαχείριση του Δικτύου: Η αρχιτεκτονική του 5G-V2X περιλαμβάνει στην ενότητα ενορχήστρωσης και διαχείρισης του δικτύου όλες τις απαραίτητες δράσεις για την αποτελεσματική ανάπτυξη και αυτοματοποίηση λειτουργιών που είναι απαραίτητες για την υποστήριξη των επικοινωνιών. [85].

Ασφάλεια του Δικτύου: Η ασφάλεια σε ένα δίκτυο επικοινωνίας V2X πρέπει να αποτελεί αντικείμενο προσεκτικής μελέτης, διότι μπορεί να έχει σοβαρές και ενίοτε επιβλαβείς επιπτώσεις στις εφαρμογές των εμπλεκόμενων οχημάτων. Το πρόγραμμα 5GCAR πρότεινε δύο λύσεις για τον έλεγχο της ασφάλειας και της ακεραιότητας των μηνυμάτων 5G-V2X των οχημάτων. Η πρώτη προσέγγιση ασφάλειας τέθηκε ώστε να λειτουργεί με καταναμημένο τρόπο στο δίκτυο, δηλαδή τα δεδομένα να κατανέμονται στις συσκευές του δικτύου από το στρώμα Εφαρμογής της συσκευής χρήστη (UE), ενώ η δεύτερη προσέγγιση προτάθηκε για να εκμεταλλεύεται την τρέχουσα συνδεσιμότητα του δικτύου, έτσι ώστε να παρέχεται ισχυρότερη ασφάλεια [85].

Συνεργασία Πολλαπλών Διεπαφών: Οι εφαρμογές V2X χρησιμοποιούν τη διεπαφή Uu η οποία είναι βασισμένη στην υποδομή του δικτύου καθώς και την απευθείας διεπαφή Sidelink που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία V2V. Οι δύο διεπαφές έχουν διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά. Η διεπαφή Sidelink παρέχει καλύτερη απόδοση στη διάθεση των πόρων, με χαμηλή καθυστέρηση και υποστήριξη εκτός κάλυψης. Από την άλλη πλευρά, η διεπαφή Uu προσφέρει υψηλότερη αξιοπιστία και υψηλότερο ρυθμό δεδομένων. Το πρόγραμμα 5GCAR διαπίστωσε ότι η χρησιμοποίηση μίας μόνο διεπαφής στο δίκτυο ενδέχεται να μην επαρκεί για την κάλυψη των απαιτήσεων σύνθετων εφαρμογών V2X. Επίσης, το γεγονός ότι το περιβάλλον του δικτύου περιβάλλεται από πολλαπλές ραδιοτεχνολογίες και το ότι κάθε ραδιοτεχνολογία έχει τα δικά της χαρακτηριστικά, εκλήφθηκε υπόψη στις προαναφερθείσες προκλήσεις και στην προσέγγιση του προγράμματος [85].

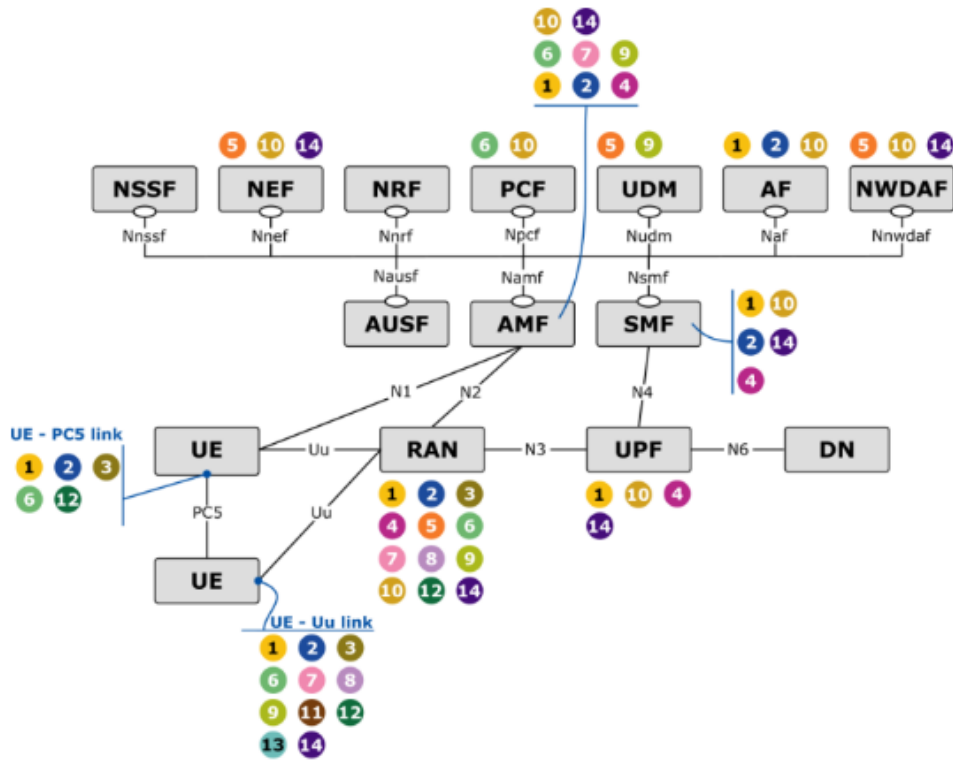
Βελτιώσεις της Υπολογιστικής Στα Άκρα: Η χρησιμοποίηση των υπολογιστικών δυνατοτήτων στα Άκρα του δικτύου, γνωστή ως «Υπολογιστική Πολλαπλής Πρόσβασης στα Άκρα» (Multi-access Edge Computing - MEC) είναι κρίσιμη για την υποστήριξη περιπτώσεων χρήσης με οχήματα. Το πρόγραμμα 5GCAR πρότεινε βελτιώσεις στη διαχείριση των εργασιών που εκτελούνται σε διακομιστές MEC για κινητές συσκευές χρηστών (UEs). Μία προταθείσα βελτίωση αφορούσε στην περίπτωση ενός οχήματος που προβλέπεται να αλλάξει σύνδεση από τον Σταθμό Βάσης προς έναν άλλο Σταθμό Βάσης συνδεδεμένο σε έναν διαφορετικό διακομιστή MEC, με τις εκκρεμείς εργασίες επεξεργασίας δεδομένων να μεταφέρονται εκ των προτέρων στον νέο Σταθμό Βάσης (με σκοπό την ελαχιστοποίηση τυχόν διακοπής εργασίας που προκαλείται από την αλλαγή της σύνδεσης). Μία δεύτερη προτεινόμενη βελτίωση, αφορούσε στη χρήση χιλιοστομετρικών κυμάτων (mmWave) για τη μείωση της καθυστέρησης από άκρο-σε-άκρο αναφορικά με τους συνολικούς υπολογισμούς στα άκρα (λαμβάνοντας υπόψη την εκφόρτωση των εργασιών από τους κεντρικούς διακομιστές στους διακομιστές MEC με υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων) [85].

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Λειτουργίες του Δικτύου: Οι λειτουργίες του δικτύου επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της παροχής υπηρεσιών όπως τη μείωση της καθυστέρησης, την εδραίωση της σύνδεσης, τη διαχείριση της κινητικότητας. Οι επιδράσεις είναι εντονότερες σε περιβάλλοντα με οχήματα. Το 5GCAR πρόσθεσε λειτουργίες στην αρχιτεκτονική του δικτύου 5G-V2X οι οποίες δεν περιορίζονται μόνο στην κινητικότητα των οχημάτων, αλλά ήταν επίσης σχετικές με την περιαγωγή, την κυκλοφορία των οχημάτων και την ανταλλαγή των απαιτήσεων των υπηρεσιών επεκτείνοντας τις παραμέτρους ποιότητας της υπηρεσίας (QoS). Συνολικά, παρουσιάστηκαν δεκατέσσερα τεχνικά στοιχεία λειτουργιών και πραγματοποιήθηκε μία ενδεδειγμένη μελέτη των επιπτώσεών τους στην αρχιτεκτονική [85]. Από το παρακάτω Σχήμα 22 ([85]) παρατηρούμε τις διαδικασίες που έχουν τύχει αντιστοίχισης με τα τεχνικά στοιχεία του δικτύου (όπως τις διεπαφές, την υπολογιστική στα άκρα, τη διάθεση Υπηρεσίας ως Υποδομή (IaaS), τη συνδεσιμότητα πολλών διαφορετικών ραδιοτεχνολογιών, την υποστήριξη ποιότητας υπηρεσιών, κτλ.). Παρακάτω αναφέρονται τα ονόματα των λειτουργιών με βάση το πρόγραμμα 5GCAR.

- AF:** Application Function (Λειτουργία Εφαρμογών)
- AUSF:** Authentication Server Function (Λειτουργία Επαλήθευσης Ταυτότητας Εξυπηρετητή)
- CAMF:** Core Access and Mobility Management Function (Λειτουργία Διαχείρισης Κινητικότητας και Πυρηνικής Πρόσβασης)
- DN:** Data Network (Δίκτυο Δεδομένων)
- NEF:** Network Exposure Function (Λειτουργία Έκθεσης Δικτύου)
- NRF:** Network Repository Function (Λειτουργία Αποθετηρίου Δικτύου)
- NSSF:** Network Slice Selection Function (Λειτουργία Επιλογής Φέτας Δικτύου)
- NWDAF:** Network Data Analytics Function (Λειτουργία Αναλυτικών Δεδομένων του Δικτύου)
- PCF:** Policy Control Function (Λειτουργία Ελέγχου Πολιτικής)
- RAN:** Radio Access Function (Λειτουργία Ραδιοπρόσβασης)
- SMF:** Session Management Function (Λειτουργία Διαχείρισης Συνόδων)
- UDM:** Unified Data Management (Ενοποιημένη Διαχείριση Δεδομένων)
- UE:** User Equipment (Εξοπλισμός Χρήστη)
- UPF:** User Plane Function (Λειτουργία Επιπέδου Χρήστη)

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)



Σχήμα 22 .Διαδικασίες και αντιστοίχιση σε τομείς του δικτύου

- 1 RSU enabled Smart Zone (SM-Zone) (Ενεργοποίηση έξυπνης Ραδιοπρόσβασης στην περιοχή των RSU)
- 2 Fast application-aware setup of unicast SL (Γρήγορη εγκατάσταση με γνώμονα την εφαρμογή για μονοεκπομπή SL)
- 3 SL and Uu multi-connectivity (Πολλαπλή συνδεσιμότητα SL και Uu)
- 4 Location aware scheduling (Χρονοπρογραμματισμός με γνώμονα την θέση)
- 5 Infrastructure as a Service (IaaS) for vehicular domain (Υποδομή ως υπηρεσία (IaaS) για τομέα οχημάτων)
- 6 Redundant mode PC5 and Uu (Πλεοναστική λειτουργία PC5 και Uu)
- 7 Evolution of infrastructure-based communication for localised V2X traffic (Εξέλιξη της επικοινωνίας που βασίζεται στην υποδομή για εντοπισμένη κίνηση V2X)
- 8 Use case-aware multi-RAT, multi-link connectivity (Περίπτωση χρήσης βασισμένη σε πολλαπλές ραδιοτεχνολογίες, συνδεσιμότητα πολλαπλών ζεύξεων)
- 9 Multi operator solutions for V2X communications (Λύσεις πολλαπλών παρόχων για επικοινωνίες V2X)
- 10 V2X service negotiation (Διαπραγμάτευση υπηρεσίας V2X)
- 11 Edge computing in millimeter Wave Cellular V2X networks (Υπολογιστική στα άκρα με χιλιοστομετρικά κύματα σε κυψελοειδή δίκτυα V2X)
- 12 Dynamic selection of PC5 and Uu communication modes (Δυναμική επιλογή των τρόπων επικοινωνίας PC5 και Uu)
- 13 Security and privacy enablers (Ενεργοποιητές ασφάλειας και ιδιωτικότητας)
- 14 5G core network evolution for edge computing-based mobility (Εξέλιξη δικτύου κορμού 5G για κινητικότητα βασισμένη σε υπολογιστική στα άκρα)

7.3 Επιχειρηματικά μοντέλα

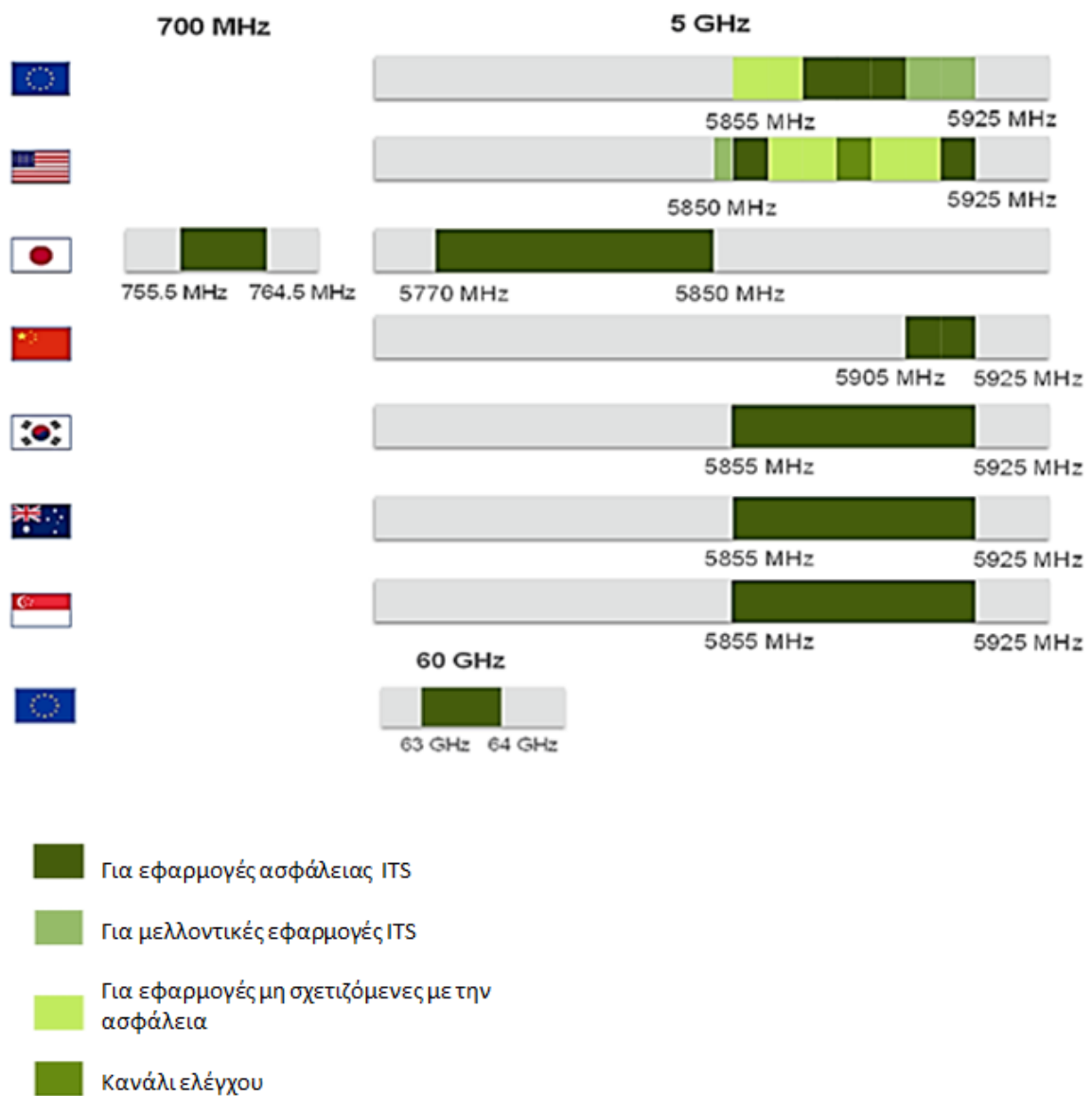
Αντικείμενο μελέτης του WP2 ήταν το να προσδιοριστούν νέα επιχειρηματικά μοντέλα, με βάση τις νέες τεχνολογίες και τα χαρακτηριστικά του 5G. Οι δύο βασικοί παράγοντες που υποστηρίζουν τα νέα επιχειρηματικά μοντέλα είναι οι καινοτόμες ραδιοτεχνολογίες για τις επικοινωνίες V2X που βασίζονται τόσο στην υποδομή του δικτύου όσο και στην απευθείας επικοινωνία. Ένας δεύτερος σημαντικός παράγοντας που μπορεί να προσφέρει νέες επιχειρηματικές ιδέες είναι το ιδεατό δίκτυο. Μπορούν να αναπτυχθούν επιχειρηματικά μοντέλα σε διάφορους τομείς[85]:

1. Τομείς που αφορούν στα *τεχνικά χαρακτηριστικά*
 - a. Τεμαχισμός του Δικτύου
 - b. Υπολογιστική στα Άκρα σε ένα περιβάλλον με κινούμενους κόμβους (MEC)
 - c. Απευθείας Επικοινωνίες
 - d. Εντοπισμός θέσης και έλεγχος της κυκλοφορίας
 - e. Ολοκληρωμένα Δίκτυα που να εστιάζουν σε κινούμενους κόμβους
 - f. Συμπύκνωση του Δικτύου (προσθήκη σταθμών σε ένα υπάρχων Δίκτυο)
2. Τομείς που αφορούν στις *υπηρεσίες*
 - a. Χάρτες που να έχουν δυναμικό περιβάλλον προγράμματος
 - b. Κλήσεις άμεσης ανάγκης
 - c. Ενοικίαση οχημάτων
 - d. Προγνωστική Συντήρηση
 - e. Αντίληψη του περιβάλλοντος μέσω ασύρματης επικοινωνίας και αισθητήρων
 - f. Κράτηση / Πληρωμή Στάθμευσης
 - g. Ψυχαγωγία / βίντεο με συνεχόμενη ροή δεδομένων
3. Τομείς που αφορούν σε *πρακτικά θέματα*
 - a. Στρατηγικές δρομολόγησης
 - b. Περιαγωγής και συντονισμός συνεργασίας μεταξύ παρόχων υπηρεσιών (Roaming and inter-operator coordination)
 - c. Τεχνολογίες του Δικτύου και στάτο OEM (Network technologies and OEMs status)
 - d. Προφίλ και διάθεση καρτών SIM (Profile / SIM card provisioning)

7.4 Ανάλυση του Εύρους Ζώνης

Στόχος του WP2 ήταν το να προσδιορίσει εναλλακτικές λύσεις κάνοντας χρήση κατάλληλου εύρους ζώνης για την παροχή προηγμένων υπηρεσιών και εφαρμογών V2X που χρησιμοποιούν οι τεχνολογίες 5G. Αυτό περιλαμβάνει έρευνα για τις ήδη καθορισμένες ζώνες συχνοτήτων για τα Νοήμονα Συστήματα Μεταφορών (Intelligent Transport System - ITS), καθώς επίσης περιλαμβάνει και τις αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων για τις Διεθνείς Κινητές Τηλεπικοινωνίες (International Mobile Telecommunications - IMT) λαμβάνοντας υπόψη τη συμβατότητά τους σχετικά με την τεχνολογία 5G για τις εφαρμογές V2X σε διαφορετικές περιοχές του κόσμου, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 23 ([85]).

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

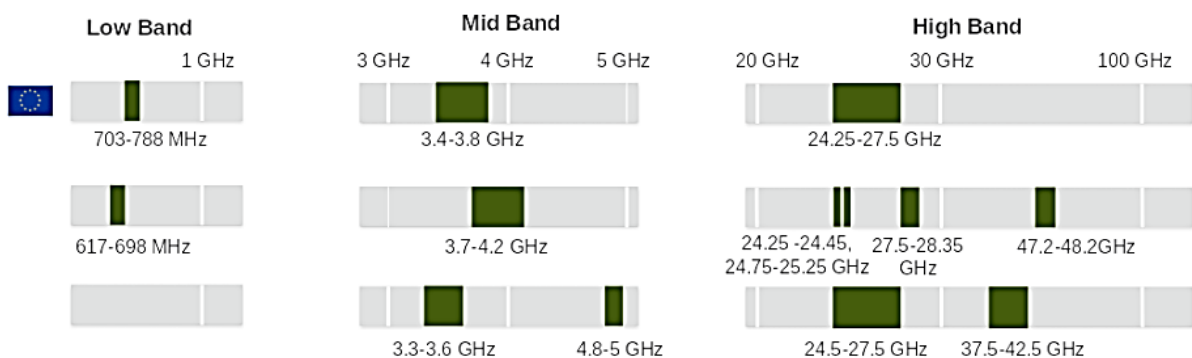


Σχήμα 23. Ανάλυση εύρους ζώνης σε διάφορες περιοχές του κόσμου

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Τα αποτελέσματα της σχετικής έρευνας του προγράμματος 5GCAR δείχνουν ότι:

- Η χρήση εύρους ζώνης 5.9 GHz για τις υπηρεσίες και εφαρμογές ITS που χρησιμοποιούν επικοινωνία οχήματος με όχημα (V2V) μικρής εμβέλειας και οχήματος με υποδομή (V2I), εναρμονίζεται σε πολλές περιοχές του κόσμου.
- Οι αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων για τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας σε όλο τον κόσμο είναι διαθέσιμες και κατάλληλες για την παροχή επικοινωνιών οχήματος με δίκτυο (V2N).
- Για την εκπλήρωση των απαιτήσεων των προηγμένων υπηρεσιών της κινητής τηλεφωνίας 5G, συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών ITS, καθορίζεται ένα νέο εύρος ζώνης 5G σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Οι ζώνες συχνοτήτων εμπίπτουν κυρίως στα 600 MHz έως 700 MHz για το χαμηλό εύρος ζώνης και στις ζώνες συχνοτήτων 3.1-4.2 GHz και 4.4-4.99 GHz για το μεσαίο εύρος ζώνης, καθώς και 26-28 GHz και 38-42 GHz για το υψηλό εύρος ζώνης (Σχήμα 24 [85]).
- Ο συνδυασμός των υποψήφιων ζωνών συχνοτήτων 5G στις περιοχές χαμηλού, μεσαίου και υψηλού εύρους ζώνης σε διαφορετικές περιοχές του κόσμου, θα επιτρέψει την πρόσβαση στις υπηρεσίες ITS που έχουν απαιτήσεις τόσο σε μεγάλο εύρος κάλυψης όσο σε υψηλή χωρητικότητα.
- Σύμφωνα με το πρόγραμμα 5GCAR και τα σενάρια που αναλύθηκαν από το WP2, οι «καλύτερες» ζώνες συχνοτήτων φαίνεται να βρίσκονται στο μεσαίο ή στο χαμηλό εύρος ζώνης με χαμηλότερη απώλεια μετάδοσης σήματος και καλύτερο εύρος κάλυψης. Η περιοχή κάλυψης σήματος έχει προτεραιότητα έναντι του εύρους ζώνης για τις περιπτώσεις χρήσης V2X.



Σχήμα 24. Ανάλυση Εύρους ζώνης με βάση τη ζώνη συχνότητας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

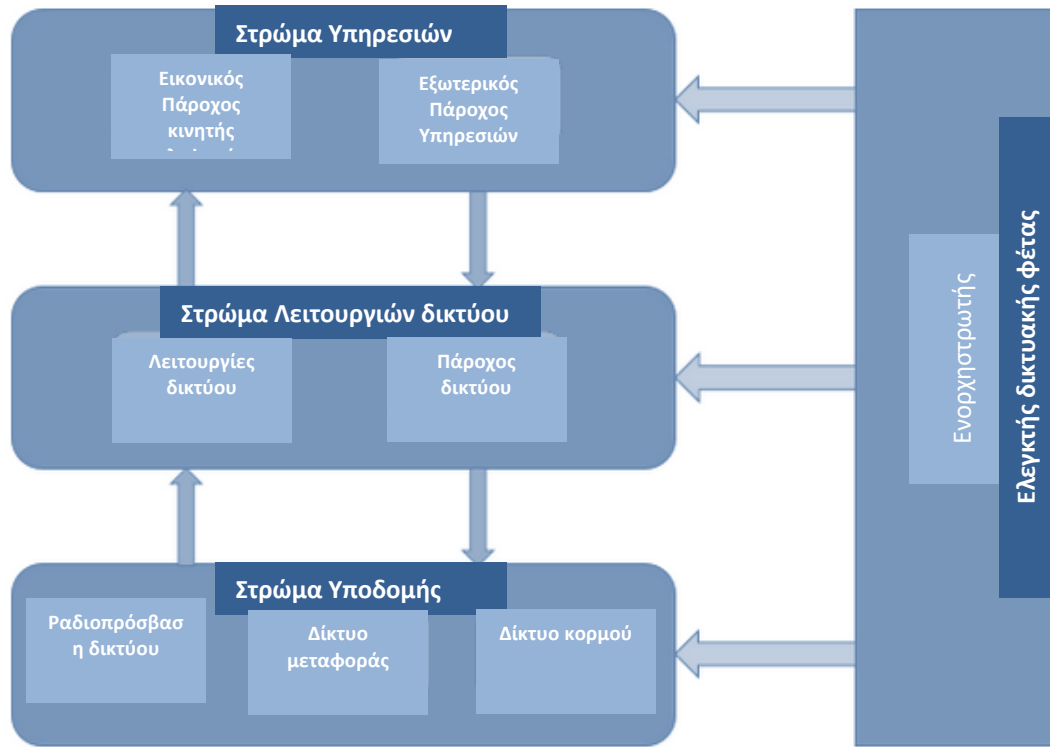
8. ΤΕΜΑΧΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 5^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ V2X

Σε αυτό το κεφάλαιο αρχικά θα προσπαθήσουμε να αναλύσουμε την τεχνολογία τεμαχισμού του δικτύου (network slicing) με μία γρήγορη επισκόπηση σχετικά με τους λόγους που οδήγησαν στη δημιουργία της αλλά και με μία επεξήγηση των βασικών της χαρακτηριστικών. Έπειτα θα παρουσιάσουμε τη δομή ενός τεμαχισμένου δικτύου και θα αναλύσουμε τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη αυτής της τεχνολογίας. Στη συνέχεια θα αναφέρουμε το ερευνητικό πρόγραμμα 5G NORMA το οποίο προτείνει μία ευέλικτη αρχιτεκτονική όσον αφορά στον τεμαχισμό του δικτύου από άκρο-σε-άκρο και θα αναλύσουμε τί το διαφορετικό υφίσταται σε αυτή την αρχιτεκτονική. Μετά, θα επικεντρωθούμε στο τεμαχισμένο δίκτυο της τεχνολογίας 5G-V2X αναλύοντας ξεχωριστά τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά αναφορικά με το Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης και το Δίκτυο Κορμού, παρουσιάζοντας τη δομή ενός τεμαχισμένου δικτύου 5G-V2X με ένα υπόδειγμα αρχιτεκτονικής βασισμένο στο έργο 5G NORMA. Τέλος, θα παρουσιάσουμε τα διαφορετικά «κομμάτια» του δικτύου (τα επονομαζόμενα ως «φέτες») καθώς επίσης και το ποιές υπηρεσίες θα μπορούσαν να έχουν όφελος από αυτά τα «κομμάτια». Ειδικότερα, θα εστιάσουμε σε περιπτώσεις χρήσης V2X που θα μπορούσαν να έχουν κάλυψη των απαιτήσεών τους από τις συγκεκριμένες φέτες του τεμαχισμένου δικτύου. Κλείνοντας το εν λόγω κεφάλαιο, θα παρουσιάζουμε ένα τυπικό παράδειγμα από το πρόγραμμα 5GCAR που αναφέρεται στη λειτουργία ενός τεμαχισμένου δικτύου και το οποίο απεικονίζει τα βασικά τμήματα του δικτύου (RAN, CN, Edge Cloud, Central Cloud) όπως και τους φορείς που εμπλέκονται σε αυτά.

8.1 Ταχεία Επισκόπηση

Η βασική ιδέα του τεμαχισμού του δικτύου προήλθε από το γεγονός ότι τα δίκτυα υποστηρίζουν πολλαπλές υπηρεσίες που παρέχονται πάνω από την ίδια αρχιτεκτονική χωρίς καθόλου ελαστικότητα στο δίκτυο, ενώ η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται από την ίδια υποδομή του δικτύου που υπάρχει στο βασικό Δίκτυο Κορμού (CN). Η ιδέα πίσω από τον τεμαχισμό του δικτύου είναι η αντικατάσταση ενός φυσικού δικτύου από πολλαπλά λογισμικά δίκτυα που λειτουργούν σε μία κοινόχρηστη υποδομή. Αυτά τα ιδεατά δίκτυα ονομάζονται «φέτες» του δικτύου. Σε κάθε υπηρεσία – ή πάροχο – μπορεί να παρασχεθεί η δική του λογική δικτυακή κατάσταση δικτύου («φέτα»), για την ικανοποίηση συγκεκριμένων απαιτήσεων. Ο τεμαχισμός του δικτύου μπορεί να υποστηρίξει κατ' απαίτηση προσαρμοσμένες υπηρεσίες για διαφορετικά σενάρια εφαρμογής, ενώ χρησιμοποιείται το ίδιο υποκείμενο φυσικό δίκτυο. Οι πόροι του δικτύου μπορούν να αποδοθούν δυναμικά και αποτελεσματικά σε ιδεατά τμήματα του δικτύου, σύμφωνα με τις αντίστοιχες απαιτήσεις ποιότητας των υπηρεσιών. Τα δίκτυα 5G ικανοποιούν διαφορετικές απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS) χρηστών σε διαφορετικά σενάρια (π.χ. συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ή χαμηλή καθυστέρηση). Σε περιπτώσεις χρήσης όπου απαιτείται συνεχόμενη κάλυψη, το δίκτυο 5G θα πρέπει να παρέχει στους χρήστες υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας δεδομένων ανά πάσα στιγμή και οπουδήποτε, ακόμη και στις άκρες των κυψελών του δικτύου έστω και εάν υπάρχει κινητικότητα υψηλής ταχύτητας (π.χ. σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις έως 500 km/ώρα).

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)



Σχήμα 25. Η βασική δομή του Τεμαχισμού του Δικτύου σε τεχνολογία 5^{ης} γενιάς

Στο Σχήμα 25⁷⁴ παρουσιάζεται μία προσέγγιση της δομής του τεμαχισμού του δικτύου 5G (με βάση την εταιρεία RantCell). Ο τεμαχισμός του δικτύου βασίζεται στην ιδέα ότι θα διαχωρίζει την αρχική αρχιτεκτονική του δικτύου σε πολλαπλά λογικά και ανεξάρτητα δίκτυα, τα οποία έχουν διαμορφωθεί ώστε να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά στις διάφορες απαιτήσεις των υπηρεσιών. Για να επιτευχθεί μία τέτοια προσέγγιση χρησιμοποιούνται πολλές τεχνικές, όπως η διαχείριση των πόρων, η εικονικοποίηση του δικτύου και η ενορχήστρωση [87].

Διαχείριση των πόρων του δικτύου: Σε ένα γενικότερο πλαίσιο αναφοράς, ένας πόρος (resource) είναι μία διαχειρίσιμη «οντότητα» η οποία ορίζεται από ένα σύνολο χαρακτηριστικών ή ικανοτήτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή μίας συγκεκριμένης υπηρεσίας-εφαρμογής. Μία φέτα δικτύου αποτελείται από μία «συλλογή» πόρων οι οποίοι συνδυάζονται κατάλληλα μεταξύ τους για να πληρούν τις απαιτήσεις της κάθε περίπτωσης χρήσης. Με βάση την εργασία [87], οι πόροι χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, ήτοι: σε Λειτουργίες του Δικτύου (Network Functions - NFs) και σε πόρους της Υποδομής του Δικτύου.

Οι *Λειτουργίες του Δικτύου* (NFs) είναι ένα σύνολο λειτουργικών πλοκάδων (functional blocks) που παρέχουν συγκεκριμένες δυνατότητες στο δίκτυο για την υποστήριξη και την υλοποίηση των υπηρεσιών που απαιτεί η κάθε περίπτωση χρήσης. Κατά κανόνα υλοποιούνται ως υποστάσεις του λογισμικού που «τρέχει» σε πόρους των υποδομών και οι συνεπώς οι NFs μπορεί να είναι φυσικές (συνδυασμός υλισμικού (HW) και λογισμικού (SW) που διατίθενται από τους κατασκευαστές, καθορίζοντας μία φυσική εφαρμογή ειδικού σκοπού) και/ή ιδεατές (το λογισμικό λειτουργίας του δικτύου αποσυνδέεται από το υλισμικό επί του οποίου «τρέχει») λειτουργίες.

⁷⁴ Πηγή: <https://www.rantcell.com/5g-network-slicing.html>

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Οι Πόροι Υποδομής είναι το ετερογενές υλισμικό και το απαραίτητο λογισμικό για τη φιλοξενία και τη σύνδεση των NFs. Περιλαμβάνουν το υλισμικό που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των δεδομένων, τη χωρητικότητα αποθήκευσης, τους πόρους δικτύωσης (π.χ. συνδέσμους και συσκευές μεταγωγής/δρομολόγησης που επιτρέπουν τη δικτυακή συνδεσιμότητα) και φυσικό ενεργητικό που χρησιμοποιείται για ραδιοπρόσβαση. Οι παραπάνω πόροι υποδομής και τα χαρακτηριστικά τους είναι κατάλληλοι για να χρησιμοποιηθούν στον τεμαχισμό του δικτύου. Θα πρέπει όμως να υπόκεινται σε αφαιρετική προσέγγιση και να επιμερίζονται λογικά υποστηρίζοντας μηχανισμούς εικονικοποίησης και ορίζοντας ιδεατούς πόρους που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τον ίδιο τρόπο όπως οι φυσικοί πόροι.

Εικονικοποίηση (virtualization): Η εικονικοποίηση είναι μία βασική διαδικασία για τον τεμαχισμό του δικτύου, καθώς επιτρέπει την αποτελεσματική κοινή χρήση των πόρων μεταξύ των φετών του τεμαχισμένου δικτύου. Πρόκειται για μία μορφή αφαίρεσης πόρων χρησιμοποιώντας κατάλληλες τεχνικές. Η αφαίρεση πόρων είναι η παράσταση ενός πόρου υπό όρους των ιδιοχαρακτηριστικών που ταιριάζουν σε προκαθορισμένα κριτήρια επιλογής ενώ αποκρύπτονται ή αγνοούνται επόψεις μη σχετιζόμενες με τέτοια κριτήρια, σε μία προσπάθεια για την απλοποίηση της χρήσης και της διαχείρισης αυτού του πόρου με επωφελή τρόπο. Οι πόροι που πρόκειται να υποστούν εικονικοποίηση μπορεί να είναι φυσικοί πόροι ή ήδη εικονικοποιημένοι πόροι, υποστηρίζοντας μία αναδρομική σχηματομορφή με διαφορετικά αφαιρετικά στρώματα. Ακριβώς όπως η εικονικοποίηση σε έναν διακομιστή καθιστά τις ιδεατές-εικονικές μηχανές (virtual machines - VMs) ανεξάρτητες από το υποκείμενο φυσικό υλισμικό, η εικονικοποίηση του δικτύου επιτρέπει τη δημιουργία πολλαπλών απομονωμένων ιδεατών δικτύων πλήρως αποσυνδεδεμένων από το υποκείμενο φυσικό δίκτυο και που είναι σε θέση ώστε να τρέχουν με ασφάλεια σε αυτό [87].

Ενορχήστρωση (orchestration): Η ενορχήστρωση είναι μία βασική διαδικασία για τον δικτυακό τεμαχισμό. Υπό μία γενικότερη θεώρηση, η ενορχήστρωση νοείται ως η δυνατότητα της «σύνδεσης» και του συντονισμού ανόμοιων πραγμάτων σε ένα συνεκτικό σύνολο. Σε ένα περιβάλλον τεμαχισμού, όπου υπάρχουν πολλοί και διαφορετικοί εμπλεκόμενοι «παίκτες», ο ενορχηστρωτής είναι απαραίτητος ώστε να συντονίζει τις διαφαινόμενες ως ανόμοιες δικτυακές διεργασίες για τη δημιουργία, τη διαχείριση και την παράδοση υπηρεσιών. Σύμφωνα με το Open Network Foundation⁷⁵ (ONF) [4], η ενορχήστρωση ορίζεται ως η συνεχής διεργασία επιλογής πόρων για την πλήρωση, με το βέλτιστο τρόπο, των απαιτήσεων υπηρεσιών των πελατών. Η ιδέα «βέλτιστος» αναφέρεται στην πολιτική βελτιστοποίησης που διέπει τη συμπεριφορά του ενορχηστρωτή, που αναμένεται να πληροί όλες τις ειδικές πολιτικές και τις SLAs που σχετίζονται με τους πελάτες (π.χ. μισθωτές και τελικοί χρήστες) οι οποίοι αιτούνται υπηρεσίες. Ο όρος «συνεχής» σημαίνει ότι οι διαθέσιμοι πόροι, τα αιτήματα για διάθεση υπηρεσιών και τα κριτήρια βελτιστοποίησης μπορεί να μεταβάλλονται στη ροή του χρόνου. Στο εν λόγω πλαίσιο και όπως επίσης αναφέρεται σε παραπομπή του [87], η ενορχήστρωση επίσης προσδιορίζεται ως το χαρακτηριστικό καθορισμού ενός ελεγκτή SDN (υπενθυμίζεται ότι η έννοια «πελάτης» είναι έννοια που χρησιμοποιείται στο πλαίσιο αναφοράς SDN). Το ίδρυμα ONF (Open Networking Foundation⁷⁶) δηλώνει ότι οι λειτουργίες του ενορχηστρωτή περιλαμβάνουν επικύρωση απαιτήσεων που ζητούνται ειδικά από τον πελάτη, διάρθρωση πόρων και ειδοποίηση συμβάντων. Ωστόσο, στην ίδια εργασία υποστηρίζεται η ιδέα ότι στον τεμαχισμό του δικτύου η ενορχήστρωση δεν μπορεί να εκτελείται από μία μεμονωμένη κεντροποιημένη οντότητα, όχι μόνο λόγω της πολυπλοκότητας και εξαιτίας του ευρέος πεδίου των δράσεων ενορχήστρωσης, αλλά και επειδή είναι απαραίτητη η διατήρηση της ανεξαρτησίας της διαχείρισης και της υποστήριξης της δυνατότητας αναδρομής. Γενικά, φαίνεται ως καταλληλότερο ένα πλαίσιο στο οποίο κάθε «παίκτης» εικονικοποίησης διαθέτει μία οντότητα όπου επιτελούνται λειτουργίες ενορχήστρωσης για την πλήρωση των προηγουμένως αναφερθέντων απαιτήσεων. Οι οντότητες θα πρέπει να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να εκχωρούν λειτουργικότητες μεταξύ

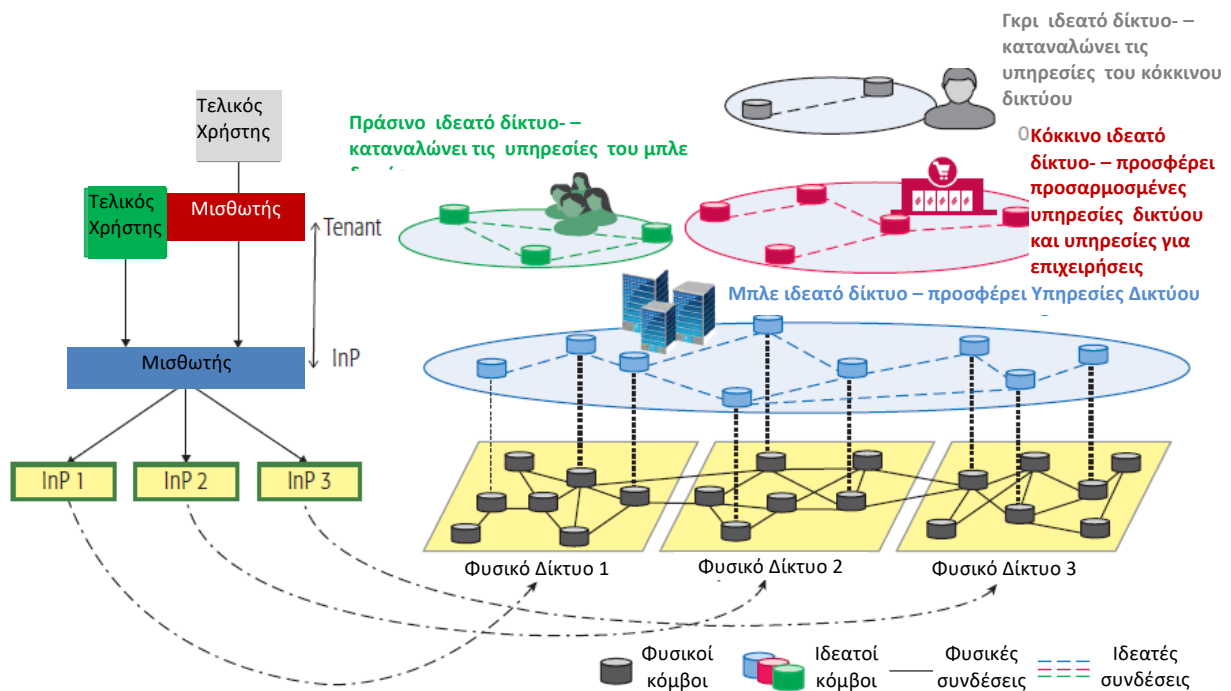
⁷⁵ Βλέπε: Open Network Foundation (2016, February): ONF TR-521: “SDN Architecture”, Issue 1.1. https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/TR-521_SDN_Architecture_issue_1.1.pdf

⁷⁶ Βλέπε: <https://opennetworking.org/>

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

τους, ούτως ώστε να διασφαλίζεται το ότι οι υπηρεσίες που παρέχονται σε ένα συγκεκριμένο αφαιρετικό στρώμα πληρούν τις απαιτούμενες επιδόσεις, με μία βέλτιστη χρησιμοποίηση των πόρων.

Στο παρακάτω Σχήμα 26 ([87]), φαίνεται ο τεμαχισμός του δικτύου όπου εμπλέκονται διάφοροι «παίκτες» (Πάροχοι Υποδομής (Infrastructure network Providers-InPs), Μισθωτές (Tenants), Τελικοί Χρήστες (End-users)), Φυσικοί κόμβοι (Physical nodes), Ιδεατοί κόμβοι (Virtual nodes), Φυσικές συνδέσεις (Physical links), Ιδεατές συνδέσεις (Virtual links), Φυσικά δίκτυα (Physical networks) και Υπηρεσίες (Services).



Σχήμα 26. Παροχή Υπηρεσιών από Παρόχους και Μισθωτές σε ένα κάθετο πολυεπίπεδο ιδεατό δίκτυο

Απομόνωση: Η απομόνωση είναι μία βασική απαίτηση για τη λειτουργία των παράλληλων φετών σε ένα από κοινού μεριζόμενο υποστρώμα του δικτύου. Με βάση το σκεπτικό της εργασίας [87], η απομόνωση πρέπει να εξεταστεί σε τρεις διαφορετικές καταστάσεις, ήτοι: σχετικά με τις *Επιδόσεις*, την *Ασφάλεια* - *Απόρρητο* και τη *Διαχείριση*.

Επιδόσεις: Κάθε «φέτα» ορίζεται έτσι ώστε να πληροί συγκεκριμένες απαιτήσεις υπηρεσίας. Οι επιδόσεις συνήθως μπορούν να αξιολογούνται με τη μορφή Βασικών Δεικτών Επιδόσεων (Key Performance Indicators - KPIs)⁷⁷. Η απομόνωση επιδόσεων είναι ένα θέμα που εξετάζεται σε προσέγγιση E2E και θα πρέπει να διασφαλίζει ότι πάντοτε πληρούνται συγκεκριμένες, ως προς τις υπηρεσίες, απαιτήσεις επιδόσεων πάνω σε κάθε φέτα, ανεξάρτητα από τη συμφόρηση του δικτύου και τις στάθμες επιδόσεων των άλλων φετών του δικτύου.

Ασφάλεια και απόρρητο: Επιθέσεις ή σφάλματα πάνω σε μία φέτα δεν θα πρέπει να έχουν αντίκτυπο σε άλλες φέτες του δικτύου. Επιπλέον, κάθε φέτα πρέπει να έχει ανεξάρτητες λειτουργίες ασφάλειας που θα εμποδίζουν μη εξουσιοδοτημένες οντότητες από το να έχουν πρόσβαση σε ανάγνωση ή σε εγγραφή ειδικών πληροφοριών διάρθρωσης/διαχείρισης/χρέωσης. Ταυτόχρονα, οι

⁷⁷ Τα KPIs είναι «εργαλεία» που μας επιτρέπουν να μετράμε και να αξιολογούμε την ποιότητα ενός δικτύου, δηλαδή την καθυστέρηση, την απώλεια πακέτου των δεδομένων, τα επιτυχή ποσοστά μετάδοσης σήματος από έναν σταθμό σε έναν άλλο, κτλ.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

εν λόγω λειτουργίες ασφάλειας θα πρέπει να είναι σε θέση ώστε να καταγράφουν τέτοιου είδους απόπειρες, εξουσιοδοτημένες ή μη.

Διαχείριση: Κάθε φέτα υπόκειται σε ανεξάρτητη διαχείριση, σαν να επρόκειτο για ξεχωριστό δίκτυο.

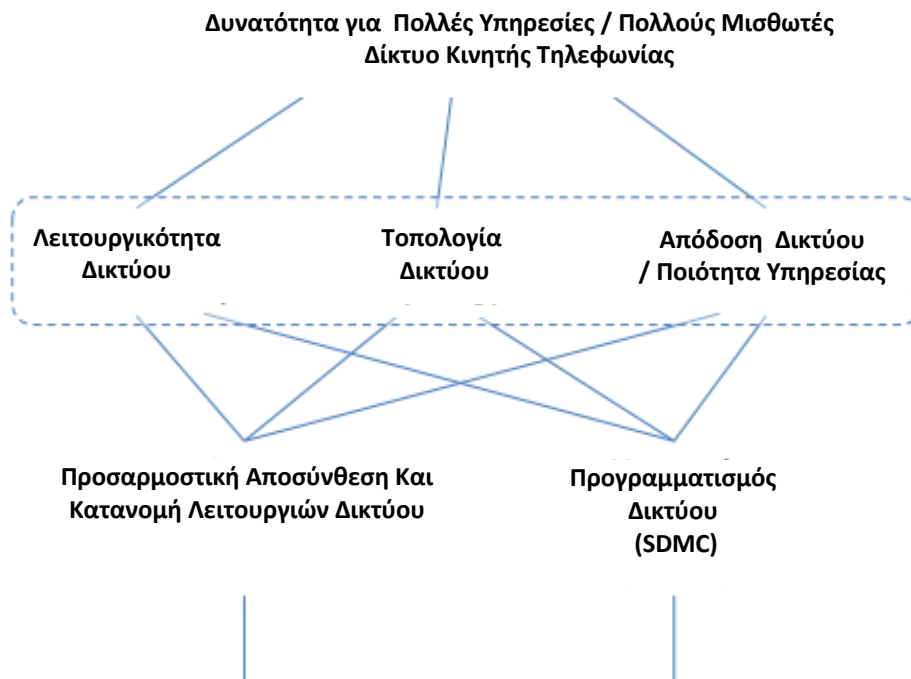
Επίσης σε κάθε επίπεδο εικονικοποίησης, για να επιτευχθεί η απομόνωση, θα πρέπει να καθορίζεται ένα σύνολο από κατάλληλες πολιτικές (λίστα κανόνων που περιγράφουν το πώς θα πρέπει να απομονώνονται, κατά τρόπο ενδεδειγμένο, διαφορετικές οντότητες υποκείμενες σε διαχείριση) και μηχανισμών (δηλαδή το πώς θα εξυπηρετούνται οι κανόνες βάσει συγκεκριμένων διεργασιών). Για την επίτευξη της απαιτούμενης στάθμης απομόνωσης χρειάζεται διαλειτουργία/συνεργασία μεταξύ εικονικοποίησης και εντοπισμού

8.2 Η Αρχιτεκτονική δικτύου του έργου 5G NORMA

Το ερευνητικό πρόγραμμα 5G NORMA⁷⁸ (“5G Novel Radio Multiservice adaptive network Architecture”) [88] που αναφέρεται στην αρχιτεκτονική του δικτύου, μας εξηγεί ότι σε σχέση με το παρελθόν όπου οι αρχιτεκτονικές των δικτύων κινητής τηλεφωνίας σχεδιάστηκαν για να παρέχουν ένα περιορισμένο σύνολο υπηρεσιών (κυρίως υπηρεσίες φωνής και Διαδικτύου) η εισαγωγή νέων δικτυακών τεχνολογιών όπως η Δικτύωση Οριζόμενη από το Λογισμικό (Software Define Network - SDN) και η Εικονικοποίηση των Λειτουργιών του Δικτύου (Network Function Virtualization - NFV), οδήγησαν στην εξερεύνηση νέων ιδεών με πολλαπλές δυνατότητες.

Το πρόγραμμα 5G NORMA προτείνει μία ευέλικτη ιδέα αρχιτεκτονικής του δικτύου όσον αφορά στον τεμαχισμό του δικτύου από άκρο-σε-άκρο (End-To-End - E2E), έτσι ώστε να παρέχει και για να διαχειρίζεται προσαρμοσμένες περιπτώσεις του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Αυτές οι περιπτώσεις καθορίζονται από τις απαιτήσεις της υπηρεσίας για κάθε μεμονωμένη «φέτα» του τεμαχισμένου δικτύου, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να είναι οικονομικά και ενεργειακά αποδοτικές. Το πρόγραμμα υλοποιήθηκε σύμφωνα με το Κοινοτικό Συμβόλαιο (Grant Agreement) No.671584. Στο παρακάτω Σχήμα 27 ([88]) αποτυπώνεται η ιδέα της αρχιτεκτονικής του έργου 5G NORMA.

⁷⁸ Βλέπε επίσης: <http://www.it.uc3m.es/wnl/5gnorma/>



Σχήμα 27. Η σχεδίαση της Ιδέας για την αρχιτεκτονικής του προγράμματος 5G NORMA

8.2.1 Ο Τεμαχισμός του Δικτύου

Όπως εξηγήσαμε και παραπάνω, ο Τεμαχισμός του Δικτύου είναι η διαχείριση διαφορετικών ιδεατών δικτύων από άκρο-σε-άκρο που αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστά και ανεξάρτητα δίκτυα σε μία κοινόχρηστη φυσική υποδομή. Αυτά τα ιδεατά τμήματα του δικτύου ονομάζονται «δικτυακές φέτες». Στις επικοινωνίες V2X απαιτείται η αξιόπιστη χρήση των πόρων του δικτύου, η υψηλή ευελιξία και η χαμηλή καθυστέρηση. Με βάση το πρόγραμμα 5G NORMA χρησιμοποιείται Δίκτυο Οριζόμενο από το Λογισμικό (SDN) και γίνεται χρήση εικονικοποίησης του δικτύου με τις κατάλληλες διαδικασίες (Network Functions Virtualization - NFV). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα βελτιωμένους και ευέλικτους σταθμούς βάσης 5G με κεντρικούς ελεγκτές που βασίζονται σε λογισμικό και με υποδομή ραδιοτεχνολογίας που βασίζεται επίσης στο λογισμικό.

Σε κάθε υπηρεσία – ή μισθωτή – του δικτύου μπορεί να παρέχεται ξεχωριστά δική τους «δικτυακή φέτα», δηλαδή ένα ειδικό ξεχωριστό λογικό δίκτυο που ικανοποιεί τις συγκεκριμένες τιθέμενες απαιτήσεις της υπηρεσίας ή του μισθωτή. Το ερευνητικό πρόγραμμα 5G-NORMA έχει οριοθετήσει μία ξεχωριστή αντίληψη όσον αφορά στην ποιότητα της υπηρεσίας που παρέχει η κάθε «δικτυακή φέτα», με το να ορίζει σε τουλάχιστον τρία σημεία τη διαφορά μεταξύ τους [88], ήτοι:

1. *Αναφορικά με τη λειτουργία:* Κάθε «δικτυακή φέτα» («φέτα») μπορεί να έχει τις δικές της δικτυακές λειτουργίες, δηλαδή μία τελείως διαφορετική λειτουργική αρχιτεκτονική αναλόγως με τις απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιήσει για συγκεκριμένες υπηρεσίες, ενώ όλες οι «δικτυακές φέτες» μπορούν να λειτουργούν στην ίδια φυσική υποδομή του δικτύου.
2. *Αναφορικά με την τοπολογία:* Κάθε «δικτυακή φέτα» μπορεί να έχει διαφορετική τοπολογία ανάλογα με τις ανάγκες των υπηρεσιών. Ως «τοπολογία» αναφέρεται το σύνολο των κόμβων της υποδομής του δικτύου, όπως οι σταθμοί βάσης, τα σημεία πρόσβασης, οι διακομιστές των άκρων και τα Κέντρα Δεδομένων (Data Centers) που χρησιμοποιούνται από μία «δικτυακή φέτα». Επίσης στην παραπάνω τοπολογία περιλαμβάνεται και η υποδομή όπου δημιουργούνται οι λειτουργίες του ιδεατού δικτύου. Κάθε «δικτυακή φέτα» μπορεί να μοιράζεται πλήρως ή εν μέρει την ίδια φυσική υποδομή του δικτύου.

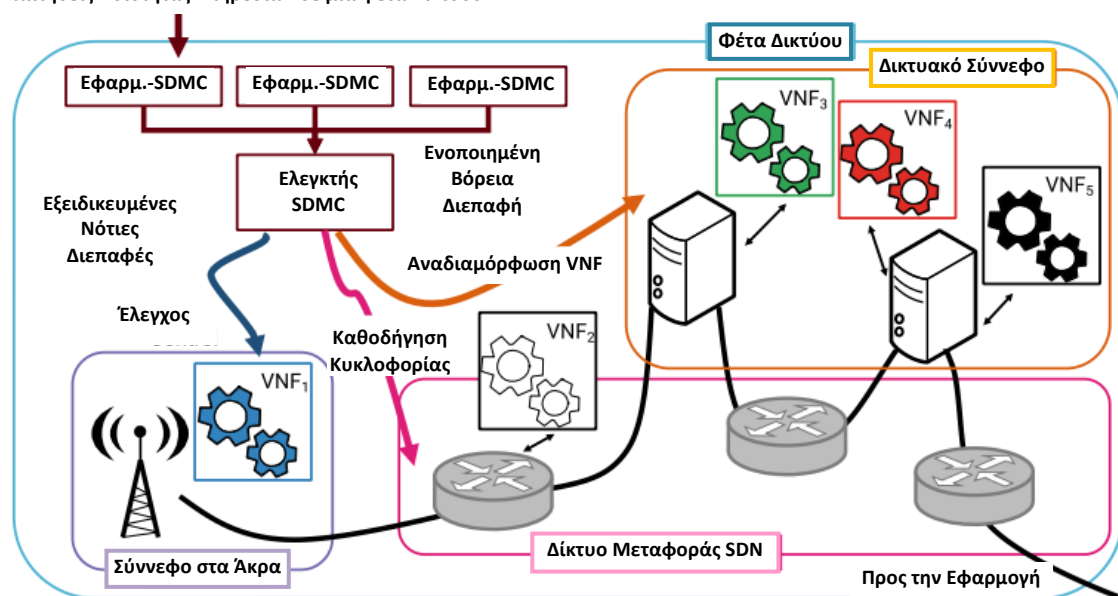
3. Αναφορικά με την απόδοση και την ποιότητα της υπηρεσίας: Οι πόροι του δικτύου πρέπει να κατανομούνται ανάλογα με τις υπηρεσίες που εξυπηρετεί η κάθε «δικτυακή φέτα». Π.χ. για τις υπηρεσίες ευρυζωνικής σύνδεσης σε ένα κυψελοειδές δίκτυο (Mobile Broadband - MBB) η «φέτα» θα πρέπει είναι εξοπλισμένη με μεγαλύτερο αριθμό ραδιοπόρων σε σχέση με μία «φέτα» που χρησιμοποιείται για τις υπηρεσίες μέτρησης έξυπνων συστημάτων (Smart Metering).

8.2.2 Δικτυακός Προγραμματισμός σε δίκτυα 5^{ης} γενιάς

Τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς φέρουν την έννοια του προγραμματισμού του δικτύου πέρα από αυτό, κάτι που σήμερα είναι δυνατό με Δίκτυο Οριζόμενο από το Λογισμικό (SDN). Στο έργο 5G NORMA η δυνατότητα προγραμματισμού αναφέρεται ως SW-Defined Mobile Network Control SDMC (Έλεγχος Κινητού Δικτύου Οριζόμενος από το Λογισμικό). Ενώ το SDN διαχωρίζει τις δυνατότητες δρομολόγησης και προώθησης ενός μεταγωγέα δικτύου (switch), το SDMC εκτελεί λειτουργία διαχωρισμού για οποιαδήποτε λογική διαδικασία του δικτύου. Δηλαδή, οι βασικές λειτουργίες του SDN επεκτείνονται σε όλα τα επίπεδα του ελέγχου και των δεδομένων, καθώς και στις λειτουργίες διαχείρισης που αναπτύσσονται συνήθως στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Ένα παράδειγμα αυτής της επέκτασης της λειτουργίας SDN σε όλα τα επίπεδα του δικτύου εμφανίζεται στο Σχήμα 28 ([88]), όπου παρατηρούμε ότι ο ενισχυμένος ελεγκτής SDMC μίας «δικτυακής φέτας» με απαιτήσεις ποιότητας της υπηρεσίας μοιράζει τις δυνατότητες δρομολόγησης και προώθησης στο Νέφος στα Άκρα (Edge Cloud), στο Δίκτυο Μεταφοράς (Transport Network) και στο Νέφος. Δηλαδή, γίνεται μία λογική μεταφορά δεδομένων του δικτύου από το Σταθμό Βάσης μέσω της λογικής SDN και επαναπρογραμματισμός σε ένα δικτυακό νέφος.

Αξιοποιώντας τον προγραμματισμό του SDMC, οι φορείς του δικτύου μπορούν να ταιριάζουν τις ανάγκες τους σε κάθε περίπτωση απλά επαναπρογραμματίζοντας τον ελεγκτή και τις λογικές λειτουργίες του δικτύου με πολύ μεγάλα οφέλη, διότι το δίκτυο δεν χρειάζεται καθόλου νέα συμπληρωματική υποδομή για την υποστήριξη νέων υπηρεσιών.

Απαιτήσεις Ποιότητας Υπηρεσιών σε μία φέτα Δικτύου



Σχήμα 28. Παράδειγμα δικτυακού προγραμματισμού στο πρόγραμμα 5G NORMA

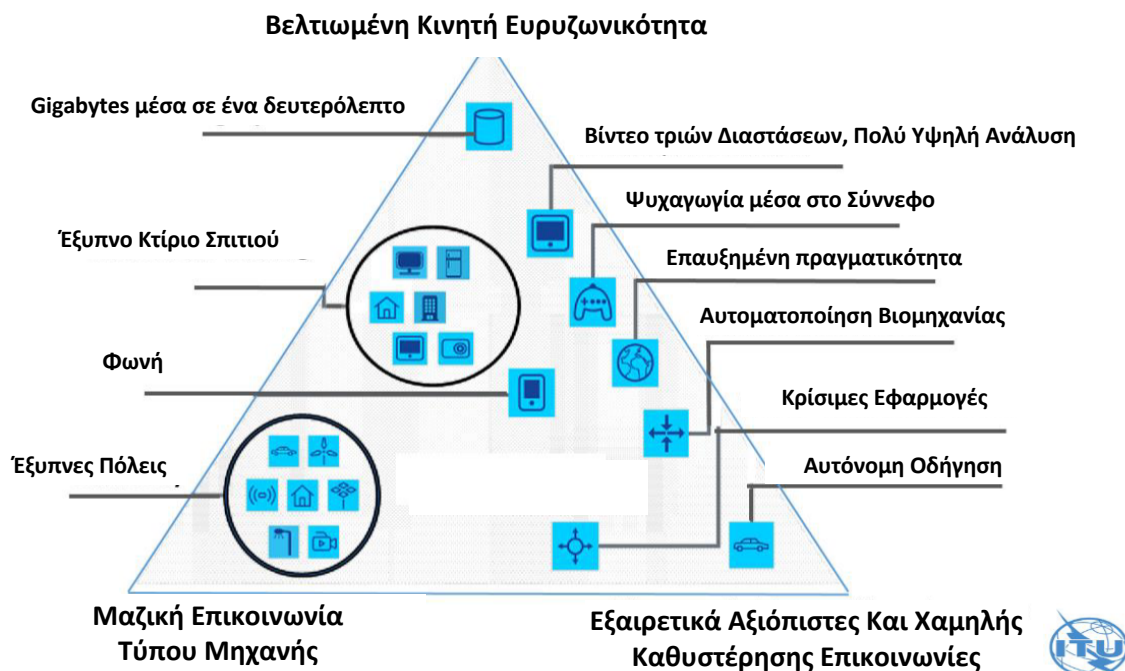
Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Οι βασικές λειτουργίες που μπορεί να εκτελέσει ένας SDMC είναι :

1. *Διαδικασίες ελέγχου δικτύωσης*: Ιδίως για τη διαχείριση της κινητικότητας, τη διαχείριση της διαδικασίας ασφαλούς επεξεργασίας πολλαπλών αιτημάτων για μία υπηρεσία του δικτύου, αλλά και για τον έλεγχο ποιότητας της υπηρεσίας και ποιότητας της εμπειρίας του χρήστη (QoS και QoE).
2. *Διαδικασίες ελέγχου συνδεσιμότητας*: Κυρίως για την προώθηση των πακέτων και τη μεταφορά βάσει του Δικτύου του Οριζόμενου από το Λογισμικό (SDN).
3. *Διαδικασίες ελέγχου ασύρματης επικοινωνίας* (π.χ. προσαρμογή και προγραμματισμός δικτυακών συνδέσεων).

Όταν εφαρμόζονται οι *διαδικασίες ελέγχου ασύρματης επικοινωνίας*, δεν έχουν σχέση με τη σύνδεση της φυσικής υποδομής (π.χ. LTE eNB), αλλά μάλλον σχετίζονται με ανεξάρτητο λογισμικό και μπορούν να τύχουν διαχείρισης μέσα από προσέγγιση η οποία καθορίζεται από το λογισμικό. Αυτές οι διαδικασίες εκτελούνται από έναν προγραμματιζόμενο συγκεντρωτικό ελεγκτή που αφαιρεί και επομένως ομογενοποιεί τις διαφορετικές τεχνολογίες και εφαρμογές του δικτύου. Ένας τέτοιος ελεγκτής καθιστά τις «δικτυακές φέτες» προγραμματιζόμενες, ελέγχοντας έτσι την τοπολογία και τη λειτουργικότητα μίας ακολουθίας ενεργειών που εφαρμόζονται σε μία ροή δεδομένων, καθώς θα καθιστά προγραμματιζόμενους και τους πόρους μίας «δικτυακής φέτας» του δικτύου [88].

Στο παρακάτω Σχήμα 29⁷⁹ παρατηρούμε τις υπηρεσίες που μπορούν να προσφέρονται από την εξέλιξη του δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5^{ης} γενιάς.



Σχήμα 29. Οδηγός Υπηρεσιών για δίκτυα 5ης γενιάς

⁷⁹ Πηγή: https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/standardization/20170402/Documents/S2_4.%20Presentation%20IMT%202020%20Requirements-how%20developing%20countries%20can%20cope.pdf

8.3 Τεμαχισμός του Δικτύου για επικοινωνίες 5G-V2X

Ο τεμαχισμός του δικτύου διαχωρίζει τις λειτουργίες του δικτύου (Network Functions - NFs) και τους πόρους του δικτύου, με βάση τις ανάγκες της αγοράς και τα συμφωνητικά διασφάλισης ποιότητας που συντάσσονται μεταξύ των πελατών και των παρόχων για κάθε υπηρεσία και/ή εφαρμογή πάνω σε μία κοινή υποδομή του δικτύου. Τεμαχίζοντας το μερίδιο του δικτύου που αναλογεί στο βασικό κορμό του, επηρεάζουμε τις λειτουργίες του Επιπέδου Ελέγχου (Control Plane - CP) όπως τη διαχείριση της κινητικότητας, τη διαχείριση συνόδου, τον έλεγχο πιστοποίησης αλλά και τις λειτουργίες του Επιπέδου Χρήστη (User Plane - UP) όπως τη δρομολόγηση και προώθηση των πακέτων, την επιθεώρηση των πακέτων και τη διαχείριση της ποιότητας της υπηρεσίας. Οι παραπάνω λειτουργίες γίνονται αυτορυθμιζόμενες και αυτοπρογραμματιζόμενες. Όσον αφορά στον τεμαχισμό του τμήματος της ραδιοπρόσβασης ενός δικτύου, η δυσκολία του τεμαχισμού είναι πιο πολύπλοκη και τούτο διότι το συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου (RAN) αποτελείται από διαφορετικές ραδιοτεχνολογίες. Ο τεμαχισμός του δικτύου τόσο στο βασικό κορμό του όσο και στο τμήμα της ραδιοπρόσβασης που κατέχει, πρέπει να υφίσταται έτσι ώστε να διασφαλίζεται επαρκής συνεργασία μεταξύ των λειτουργιών των παραπάνω τμημάτων, προκειμένου το δίκτυο να μπορεί να ικανοποιήσει τις διαφορετικές απαιτήσεις των εφαρμογών V2X [85]. Δηλαδή, στο τμήμα της ραδιοπρόσβασης ενός δικτύου, η χρήση του τεμαχισμού συνεπάγεται την εκχώρηση των πόρων των Τεχνολογιών Ραδιοπρόσβασης (RAT) του δικτύου σε κάθε «φέτα», σύμφωνα με τις αναμενόμενες απαιτήσεις και λειτουργίες των εφαρμογών V2X (όπως εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση, υψηλό εύρος ζώνης, μεγάλη αξιοπιστία επικοινωνίας). Επίσης απαιτείται δημιουργία ξεχωριστής «φέτας» απομονωμένης από τις άλλες «φέτες», για τη διατήρηση της ποιότητας της υπηρεσίας.

8.3.1 Τεμαχισμός του Δικτύου Ραδιοπρόσβασης

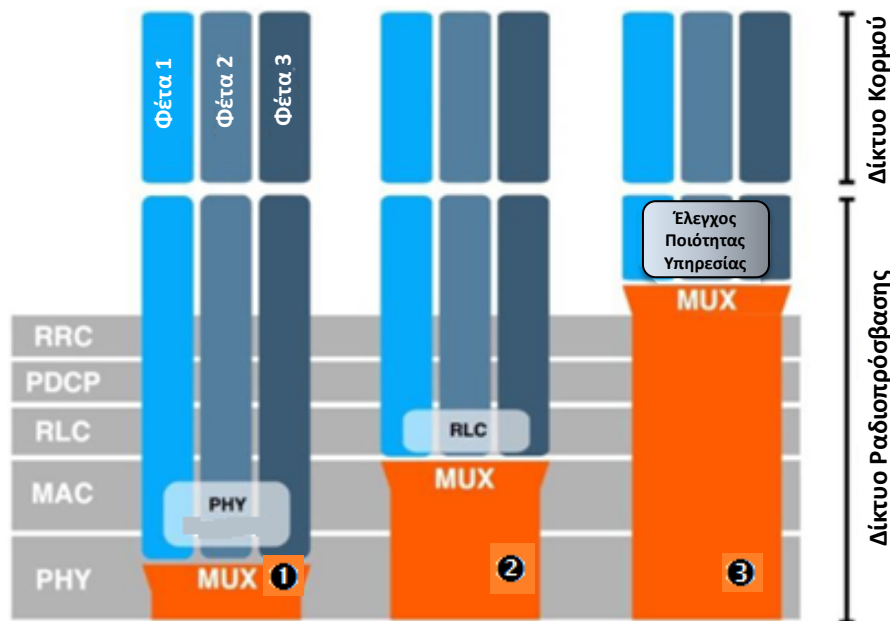
Η τεχνολογία 5^{ης} γενιάς θα αξιοποιήσει την ύπαρξη των τεχνολογιών 3GPP (π.χ. LTE, 5G NR) αλλά και εκτός 3GPP (π.χ. 802.11). Μία «φέτα» σε ένα δίκτυο επικοινωνίας V2X περιλαμβάνει ρυθμίσεις που αφορούν: (i) Στην επιλογή της τεχνολογίας ραδιοπρόσβασης που θα μπορεί να ικανοποιήσει τους δείκτες απόδοσης της «φέτας». (ii) Στην ευελιξία για αλλαγή του Σταθμού Βάσης του δικτύου αλλά και για αλλαγή των συνθηκών που επικρατούν σε ένα δίκτυο (όπως η ποιότητα σύνδεσης, η μείωση ελεύθερων πόρων, κτλ.). Για παράδειγμα, η «φέτα» που υποστηρίζει την αυτόνομη οδήγηση βασίζεται στις επικοινωνίες με διεπαφή Sidelink, όμως εάν η κινητικότητα του δικτύου αλλάξει υπό συνθήκες πυκνότητας τότε θα μπορούσε να γίνει αναδιάρθρωση της ρύθμισης της «φέτας» για εναλλαγή επικοινωνίας από τη διεπαφή PC5 στη διεπαφή Uu. Επιπλέον, οι πόροι των τεχνολογιών ραδιοπρόσβασης (RATs) από το Δικτυακό Νέφος μπορούν να διατεθούν δυναμικά στους Σταθμούς Βάσης (eNodeBs), χρησιμοποιώντας την τεχνολογία της εικονικοποίησης ανάλογα με τον φόρτο του δικτύου. Τούτο σημαίνει προσαρμοστικότητα, κάτι το οποίο είναι χρήσιμο στα διαφορετικά σενάρια του δικτύου V2X [85].

Βασικός σκοπός του τεμαχισμού του ραδιοδικτύου (RAN) είναι να επιτύχει την κοινή χρήση και την ευέλικτη διαχείριση των δικτυακών πόρων. Αυτό περιλαμβάνει την εκχώρηση των ραδιοπόρων σε κάθε «φέτα», σύμφωνα με τις αναμενόμενες απαιτήσεις και λειτουργίες της κάθε υπηρεσίας. Έτσι το RAN θα παρέχει την απαιτούμενη ευελιξία στον σχεδιασμό, για οποιαδήποτε ανάγκη του δικτύου. Επίσης κάθε «φέτα» θα μπορεί να ρυθμίζεται δυναμικά με βάση τα χαρακτηριστικά του δικτύου (όπως η εκπομπή του σήματος (δηλαδή ευρυεκπομπή, απλή εκπομπή, πολλαπλή εκπομπή), τον φόρτο κίνησης αλλά και με βάση τις απαιτήσεις της ποιότητας της υπηρεσίας. Επίσης στο RAN θα πρέπει να υπάρχει η κεντρική διαχείριση των λειτουργιών σε σχέση με τον κλασικό τρόπο που γινόταν ο κατανομημένος διαχωρισμός λειτουργιών σε κάθε Σταθμό Βάσης. Αυτή η κεντρική διαχείριση έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των μηνυμάτων σηματοδότησης και τη μείωση του χρόνου παράδοσης των μηνυμάτων [85].

Ο τεμαχισμός στο RAN υποστηρίζει, σε μία ενιαία υποδομή δικτύου, πληθώρα διαφορετικών κατηγοριών υπηρεσιών για ένα δίκτυο V2X, οι οποίες προσφέρονται από διάφορους παρόχους. Με

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

βάση το πρόγραμμα 5GCAR [89] κάθε χρήστης οχήματος θα μπορεί να συνδέεται, ανά πάσα στιγμή, σε διάφορες «φέτες», όπου η καθεμία εξυπηρετεί μία συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης που προσφέρεται από έναν συγκεκριμένο μισθωτή. Ο τεμαχισμός του RAN ισοδυναμεί με τη διαχείριση του περιορισμένου διαθέσιμου εύρους ζώνης για τις συσκευές χρηστών (UE) που ζητούν διαφορετικά είδη υπηρεσιών. Κατά την προσέγγιση του προγράμματος 5GCAR, ο φορέας 3GPP (στην Έκδοση 16) δεν προσθέτει δυνατότητες για τεμαχισμό του RAN αλλά πετυχαίνει τον στόχο μέσω του στρώματος MAC με χρονοπρογραμματισμό και διαχείριση των ραδιοπόρων. Το πρόγραμμα 5GCAR προτείνει τρεις σχετικές περιπτώσεις, όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 30 ([89]).



Σχήμα 30. Οι Επιλογές του τεμαχισμού του Δικτύου Ραδιοπρόσβασης με βάση το πρόγραμμα 5GCAR

- 1 Κάθε «φέτα» έχει τη δική της ανεξάρτητη στοίβα ξεκινώντας πάνω από το Φυσικό στρώμα. Η λειτουργία της μετάδοσης των δεδομένων υπόκειται σε μερισμό μεταξύ όλων των «φετών» του δικτύου, ενώ όλες οι άλλες λειτουργίες είναι συγκεκριμένες για κάθε «φέτα». Αυτή η επιλογή είναι χρήσιμη για την ανάμειξη/συνδυασμό διαφορετικών τεχνολογιών ραδιοπρόσβασης. Υπάρχει αποτελεσματική απομόνωση της κίνησης μεταξύ των «φετών», αλλά δεν υπάρχει αρκετή ευελιξία.
- 2 Σε αυτή την επιλογή το Φυσικό στρώμα και το στρώμα MAC είναι κοινά σε όλες τις «φέτες», ενώ τα επίπεδα από το στρώμα RLC (Radio Link Control - Έλεγχος Πρόσβασης Μέσων) και άνω είναι μοναδικά για κάθε «φέτα». Αυτή η διαμόρφωση υποδηλώνει ότι υπάρχει ένας μοναδικός χρονοπρογραμματιστής στρώματος MAC για όλες τις «φέτες». Αυτή είναι μία ικανοποιητική επιλογή, εάν επιθυμούμε μία μορφή μερικής απομόνωσης καθώς και ευελιξία στο δίκτυο.
- 3 Εφαρμόζεται τεμαχισμός στο Δίκτυο Κορμού με κοινόχρηστο το Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης. Είναι μία περίπτωση όπου υπάρχουν πολλοί πάροχοι, με θεώρηση διαφορετικής ποιότητας υπηρεσίας στο τμήμα του RAN. Αυτή η λύση είναι η βέλτιστη όσον αφορά στο κέρδος της πολυπλεξίας, το οποίο σημαίνει μείωση του κόστους της επικοινωνίας, ενίσχυση της συνδεσιμότητας, κέρδος στη διαχείριση των ραδιοπόρων και αύξηση στη χωρητικότητα του δικτύου, αλλά δεν μπορεί να διασφαλιστεί η απομόνωση της κίνησης των δεδομένων.

8.3.2 Τεμαχισμός του Δικτύου Κορμού

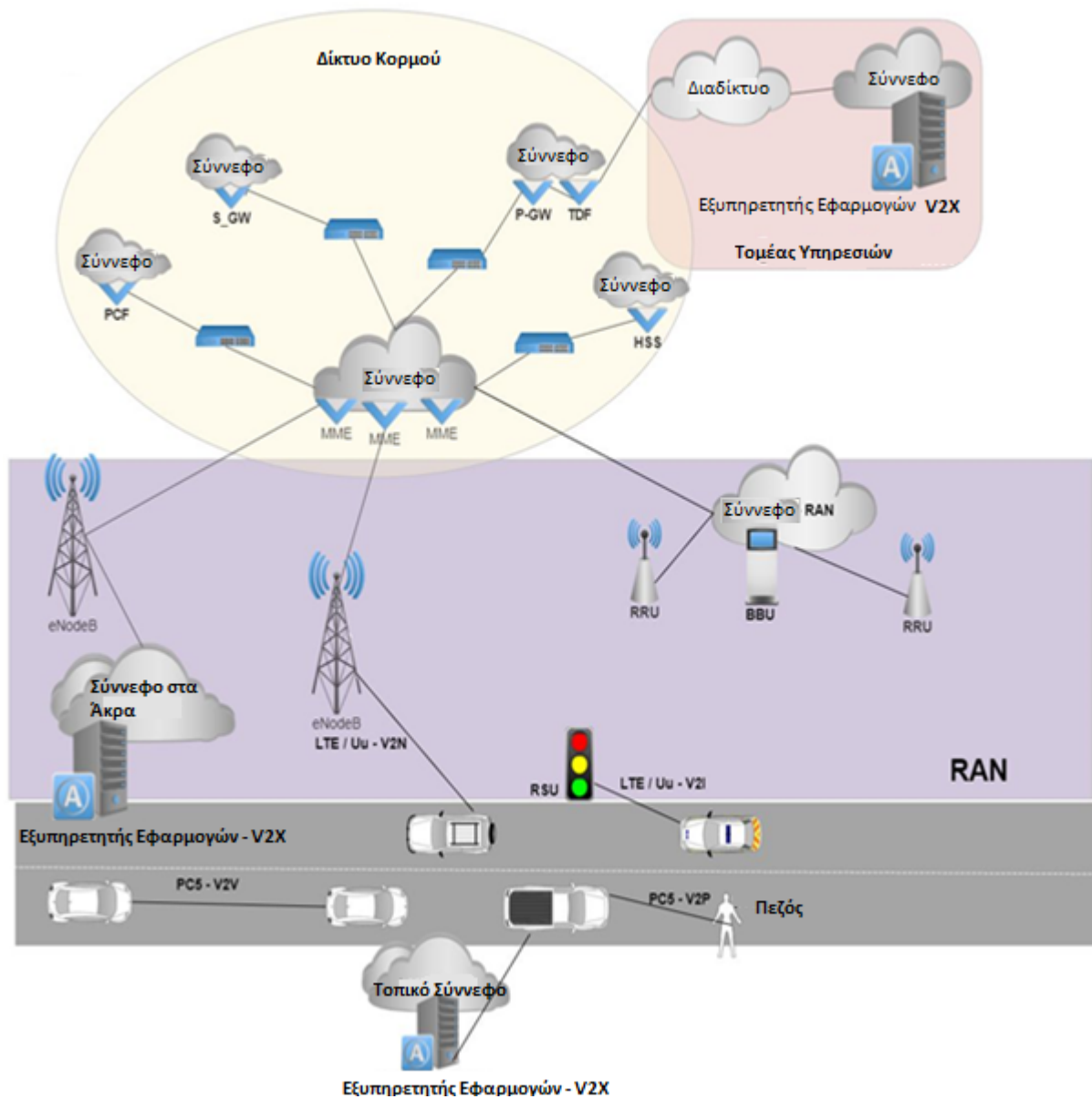
Ο τεμαχισμός του Δικτύου Κορμού (CN) καθίσταται εφικτός, βάσει μίας σειράς τεχνολογικών εξελίξεων που έχουν λάβει χώρα κατά τα τελευταία χρόνια (περιλαμβανομένων του SDN και του NFV). Με την τεχνολογία της εικονικοποίησης και του λογισμικού του οριζόμενου από τη δικτύωση, οι λειτουργίες του δικτύου δεν εφαρμόζονται πλέον από ειδικό υλισμικό αλλά εφαρμόζονται ως διαδικασίες λογισμικού που εκτελούνται σε ιδεατό περιβάλλον, το οποίο φιλοξενείται σε φυσικούς διακομιστές. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει σε βασικά τμήματα του δικτύου να προσαρμόζονται στην υποστήριξη ειδικών αναγκών μίας συγκεκριμένης περίπτωσης χρήσης. Μία προσέγγιση του προγράμματος 5GCAR [89] για τις δικτυακές λειτουργίες του CN και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά συνίσταται στα κάτωθι:

- Κάθε «φέτα» θα πρέπει να εφαρμόζει τις Δικτυακές Λειτουργίες (Network Functions - NFs) που είναι απαραίτητες μόνο για την υποστήριξη ενός καθορισμένου συνόλου υπηρεσιών. Ορισμένες δικτυακές λειτουργίες ενδέχεται να μην χρειάζονται για μία δεδομένη υπηρεσία. Επιπλέον, κάθε διαμόρφωση δικτυακής λειτουργίας θα πρέπει να γίνεται μόνο με λογισμικό που είναι κατάλληλο για τη συγκεκριμένη υπηρεσία και κάθε λειτουργία θα πρέπει να είναι βελτιστοποιημένη για κάθε περίπτωση χρήσης.
- Οι υπολογιστικοί, αποθηκευτικοί και δικτυακοί πόροι που έχουν εκχωρηθεί στο ιδεατό περιβάλλον του δικτύου για την υποστήριξη της ποιότητας των υπηρεσιών όπου είναι αφιερωμένοι, θα πρέπει να αποδίδονται σε κάθε δικτυακή λειτουργία. Για παράδειγμα, στις δικτυακές λειτουργίες που είναι αφιερωμένες στις «φέτες» οι οποίες προσφέρουν υψηλότερη αξιοπιστία, θα πρέπει να τους αποδίδονται πόροι ευρισκόμενοι σε υψηλότερο βαθμό πλεονασμού.
- Οι δικτυακές λειτουργίες μπορούν να αναπτυχθούν στην καταλληλότερη τοποθεσία, όπως στο Κεντρικό Νέφος, στο Νέφος των Άκρων ή στα ενδιάμεσα Κέντρα Δεδομένων. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα για τις περιπτώσεις στις οποίες τίθενται ειδικές απαιτήσεις, όπως κρίσιμες υπηρεσίες για την ασφάλεια του οχήματος όπου η καθυστέρηση από το Δίκτυο Μεταφοράς μειώνεται, μετακινώντας την επεξεργασία της στάθμης δεδομένων όσο το δυνατόν πιο κοντά στους χρήστες.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι το δίκτυο κορμού του δικτύου 5G μπορεί να παρέχει ξεχωριστά δίκτυα σε ξεχωριστές υπηρεσίες ή κάθετα δίκτυα με ευέλικτο και προσαρμοστικό τρόπο. Αυτό επιτυγχάνεται με τον διαχωρισμό του Επιπέδου Χρήστη (User Plane) και του Επιπέδου Ελέγχου (Control Plane) μέσα από Δίκτυο Οριζόμενο από το Λογισμικό (SDN), από Δικτυακές Λειτουργίες (NF) και από εικονικοποίηση των λειτουργιών του δικτύου (NFV). Η τεχνολογία SDN χρησιμοποιείται με αποτέλεσμα την κεντροποίηση και τον έλεγχο όλου του δικτύου από έναν κεντρικό ελεγκτή και τη διανομή και προώθηση των δεδομένων ανάλογα την υπηρεσία και την κίνηση του δικτύου. Αυτό βέβαια συνδυάζεται με την τεχνολογία της εικονικοποίησης, καθώς γίνεται και ο κατάλληλος μερισμός των υπάρχοντων πόρων του δικτύου.

Στο παρακάτω Σχήμα 31 ([85]) παρουσιάζεται η δομή ενός τεμαχισμένου δικτύου 5G-V2X, βασισμένη στο Δίκτυο Κορμού (CN), στο Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης (RAN), στον Τομέα Υπηρεσιών (Service Domain), με σύνδεση στο Νέφος των Άκρων, με χρησιμοποίηση των τεχνολογιών SDN και NFV.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)



Σχήμα 31. Δομή Τεμαχισμένου δικτύου 5G-V2X

- RAN: Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης
- MME: Οντότητα Διαχείρισης Κινητικότητας
- S-GW: Πύλη Εξυπηρέτησης
- P-GW: Πύλη Πακέτων Δεδομένων
- HSS: Εξυπηρετητής Οικιακού Συνδρομητή
- PCF: Λειτουργία Ελέγχου Πολιτικής
- BBU: Μονάδα Ζώνης Βάσης
- RRH: Απομακρυσμένο Ραδιοάκρο
- TDF: Λειτουργία Ανίχνευσης Κίνησης
- RSU: Παρόδια Μονάδα
- V2I: Όχημα με Υποδομή
- V2N: Όχημα με Δίκτυο
- V2P: Όχημα με Πεζό
- V2V: Όχημα με Όχημα
- V2X: Όχημα με Οτιδήποτε

8.4 Παράδειγμα Αρχιτεκτονικής Τεμαχισμένου Δικτύου για επικοινωνίες V2X

Στο παρακάτω Σχήμα 32 ([90]) παρατηρούμε την αρχιτεκτονική ενός τεμαχισμένου δικτύου που στηρίζεται στην αρχιτεκτονική δικτύου του ερευνητικού προγράμματος 5G NORMA και του οργανισμού ETSI. Η αρχιτεκτονική τεμαχισμού αποτελείται από τρία επίπεδα/στάθμες. Το επίπεδο της Υποδομής, το επίπεδο του Ελέγχου και το επίπεδο των Υπηρεσιών. Επιπλέον, υπάρχει το καθιερωμένο επίπεδο Διαχείρισης και Ενορχήστρωσης, που ουσιαστικά «επιβλέπει» και «συντονίζει» την ορθή λειτουργία των τριών προηγούμενων.

Διακρίνουμε τα εξής:

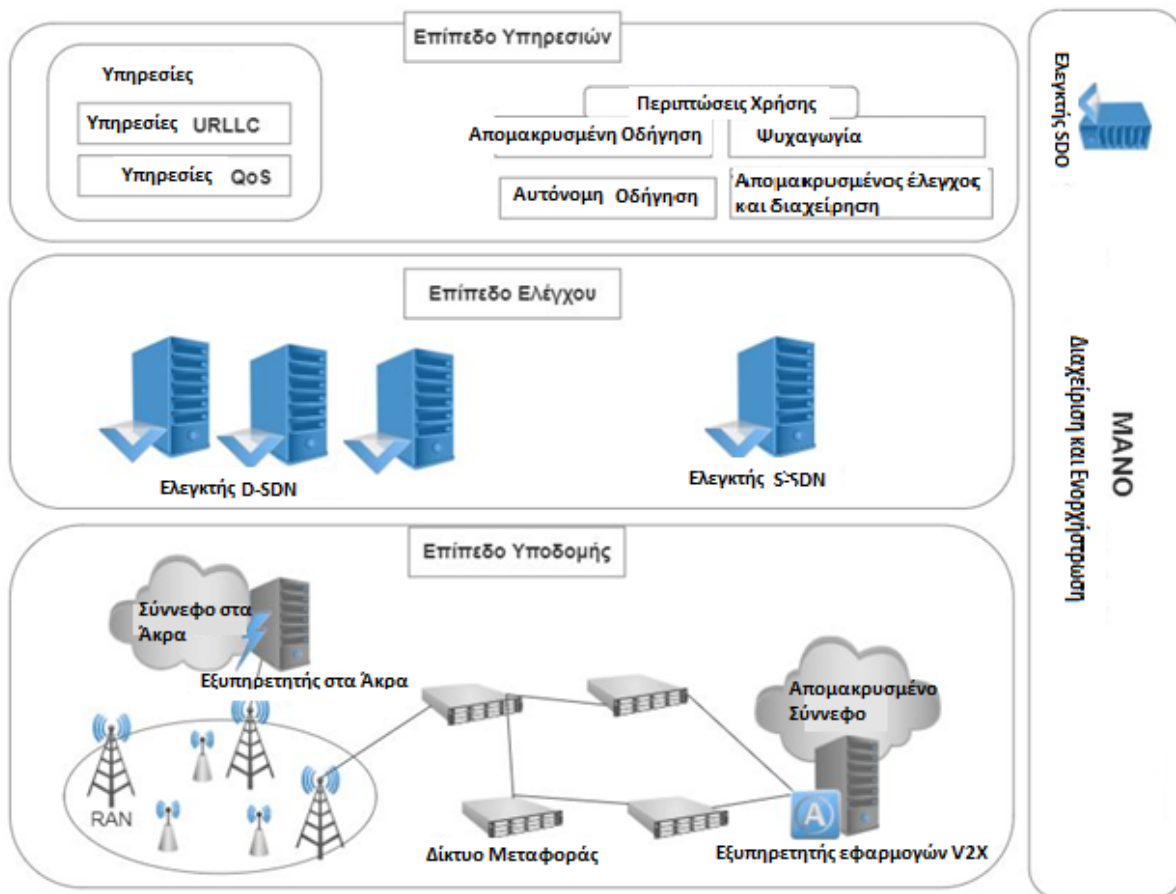
Επίπεδο Υποδομής: Το επίπεδο Υποδομής αποτελείται από όλο το φυσικό δίκτυο υποδομής που εκτείνεται από το Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης μέχρι το Δίκτυο Κορμού. Περιλαμβάνει τους κόμβους και τις συσκευές του Δικτύου Ραδιοπρόσβασης, το Δίκτυο Μεταφοράς και τους κόμβους αποθήκευσης και επεξεργασίας δεδομένων.

Επίπεδο Έλεγχου: Το επίπεδο Ελέγχου ενσωματώνει τις λογικές συμπεριφορές του δικτύου που ελέγχουν μία «φέτα». Αποτελείται από δύο βασικούς ελεγκτές SDN. Τον ελεγκτή Αποκλειστικού SDN (Dedicated SDN D-SDNC) και τον Ελεγκτή Μεριζόμενου SDN (Shared SDN - S-SDNC). Στον ελεγκτή D-SDN εφαρμόζονται οι λειτουργίες του δικτύου που είναι αφιερωμένες μόνο για μία «φέτα» (όπως σχετικά με τη διαχείριση της κινητικότητας εντός της «φέτας», τον έλεγχο της πρόσβασης, την πιστοποίηση και την ασφάλεια). Στον ελεγκτή S-SDN εφαρμόζονται κοινόχρηστες δικτυακές λειτουργίες της «φέτας» (όπως σχετικά με την εξισορρόπηση του φόρτου μεταξύ των «φετών», τη διαχείριση της κινητικότητας μεταξύ των «φετών» και την επιλογή της κατάλληλης «φέτας»).

Επίπεδο Υπηρεσιών: Το επίπεδο Υπηρεσιών περιλαμβάνει τις υπηρεσίες και τις περιπτώσεις χρήσης για κάθε πελάτη της αγοράς, για τον οποίο έχουν σχεδιαστεί οι «φέτες».

Επίπεδο Διαχείρισης και Ενορχήστρωσης: Το επίπεδο Διαχείρισης και Ενορχήστρωσης (Management and Orchestration - MANO) είναι υπεύθυνο για την αναγνώριση της «φέτας», την οργάνωση και τη διαχείρισή της. Το επίπεδο MANO αποτελείται κυρίως από έναν ελεγκτή SDN που ονομάζεται SDO (Software Defined Orchestrator). Ο συγκεκριμένος ελεγκτής επιτρέπει τη μεταπομπή (handover) των πόρων μεταξύ των «φετών», δηλαδή όταν η συσκευή του χρήστη (UE) χρειαστεί να αλλάξει Σημείο Προσάρτησης (Point of Attachment - PoA) λόγω της κινητικότητας, οπότε θα πρέπει η συσκευή χρήστη να μεταβεί σε καινούργια «φέτα» αλλά με τον ίδιο πάροχο.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

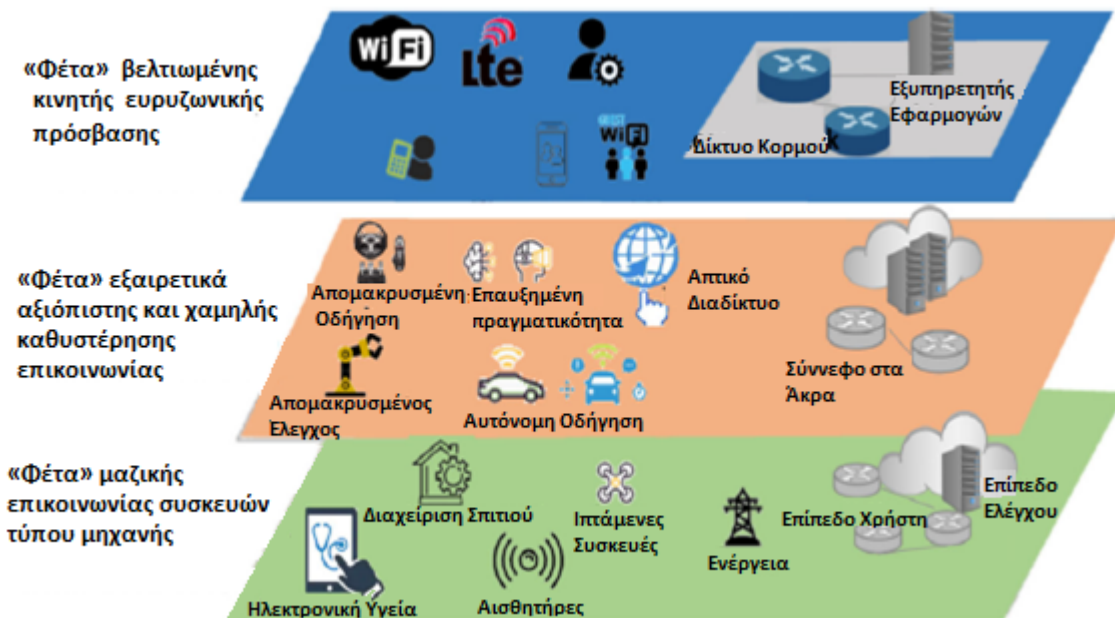


Σχήμα 32. Αρχιτεκτονική Δικτύου V2X με τεμαχισμό (πρόγραμμα 5G NORMA)

8.5. Τύποι «Δικτυακών φετών»

Με βάση τον συνεργατικό φορέα 5GPPP όπως αναφέρει στη σελίδα 5 και 6 του εγγράφου “5G-PPP use cases and performance evaluation models”⁸⁰ καθώς και με τη βιβλιογραφική παραπομπή [90], έχουν οριστεί τρεις τύποι για τις «δικτυακές φέτες» που αντιπροσωπεύουν τις γενικές υπηρεσίες που αντίστοιχα προσφέρουν, όπως: η βελτιωμένη κινητή ευρυζωνική πρόσβαση (enhanced Mobile BroadBand - eMBB), η μαζική επικοινωνία συσκευών τύπου μηχανής (massive Machine Type Communications - mMTC) και η εξαιρετικά αξιόπιστη και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνία (Ultra Reliable Low Latency Communication - URLLC). Αυτές οι «φέτες» περιγράφονται (Σχήμα 33) ως εξής [90]:

- «Φέτα» βελτιωμένης κινητής ευρυζωνικής πρόσβασης: Στη συγκεκριμένη «φέτα» απαιτείται να υπάρχει βελτιωμένο εύρος κινητής ευρυζωνικής πρόσβασης, για να μπορεί να υποστηρίξονται σταθερές συνδέσεις με πολύ υψηλό ρυθμό δεδομένων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αφορά στην ικανοποίηση απαιτήσεων πολυμεσικών υπηρεσιών, όπως η ρευσμάτωση βίντεο υψηλής ευκρίνειας σε ένα όχημα.
- «Φέτα» μαζικής επικοινωνίας συσκευών τύπου μηχανής: Αυτή η «φέτα» θα πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει και να διατηρήσει τον τεράστιο φόρτο κυκλοφορίας του δικτύου από τις συνδεδεμένες συσκευές, που σποραδικά αναμεταδίδουν μικρά πακέτα σημαντικών πληροφοριών όπως δίκτυα αισθητήρων που αναπτύσσονται στις έξυπνες πόλεις ή η συναλλαγή πληροφοριών μεταξύ πολλών οχημάτων.
- «Φέτα» εξαιρετικά αξιόπιστης και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνίας: Η εν λόγω «φέτα» θα πρέπει να υποστηρίξει υπηρεσίες που χρειάζονται χαμηλές καθυστερήσεις και πολύ υψηλή αξιοπιστία στις επικοινωνίες με ασφάλεια, όπως την αυτόνομη οδήγηση.



Σχήμα 33. Τύποι «Δικτυακών Φετών»

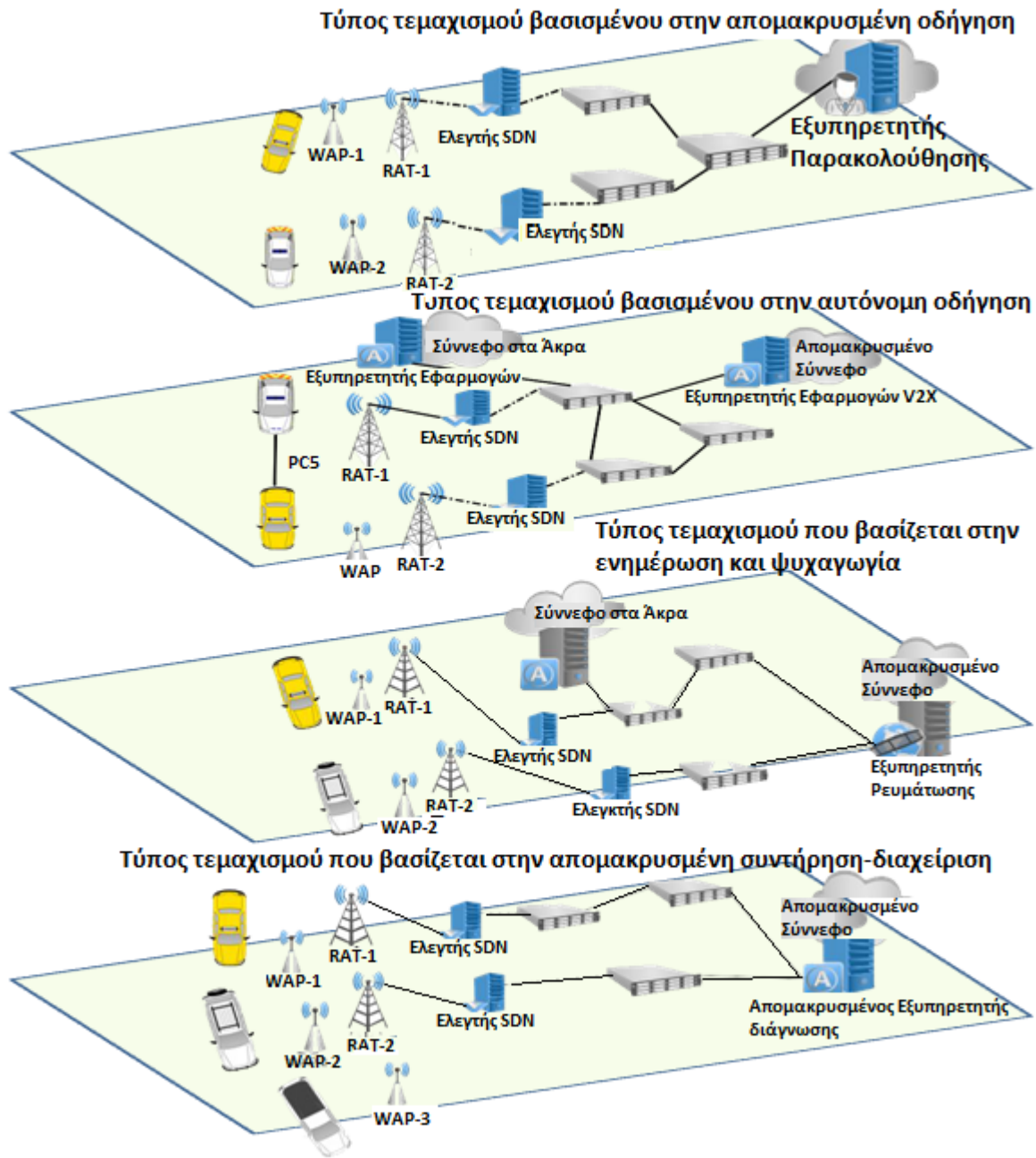
⁸⁰ Πηγή: Elayoubi, S., & Maternia, M. (2016): “5G-PPP use cases and Performance evaluation modeling. 5G PPP White Paper”.

8.6 «Φέτες» βασισμένες σε δίκτυο 5^{ης} γενιάς V2X

Υπάρχουν υπηρεσίες σε ένα δίκτυο V2X που χρειάζονται ταυτόχρονη υποστήριξη σε ξεχωριστές «φέτες» διότι εξυπηρετούν διαφορετικές ανάγκες ποιότητας υπηρεσίας και κινητικότητας. Π.χ. στην αυτόνομη οδήγηση, ο έλεγχος οχημάτων από απόσταση και οι εφαρμογές ασφάλειας πρέπει να εξυπηρετούνται ταυτόχρονα. Όμως η διαφορετικότητα αυτών αναφορικά με τα προσφερόμενα χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας, οδηγεί στην ανάγκη για διαφορετικές «φέτες» πάνω στην ίδια δικτυακή υποδομή. Τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς έχουν βελτιώσει σημαντικά την απόδοση του δικτύου όσον αφορά στην καθυστέρηση, στην αξιοπιστία, στην απόδοση και στην κινητικότητα ενώ ταυτόχρονα ικανοποιούνται απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών προς διαφορετικούς χρήστες, σε διαφορετικές εφαρμογές. Στην κατάσταση τεμαχισμού ενός δικτύου 5G-V2X, η υψηλή κινητικότητα του οχήματος προϋποθέτει την απαίτηση να τροποποιηθεί το σημείο σύνδεσης, κάτι το οποίο ενεργοποιεί τη μεταβίβαση δεδομένων σε διαφορετικό κανάλι και αυτό συνεπάγεται την αλλαγή της «δικτυακής φέτας» [85]. Παρακάτω στο Σχήμα 34 ([90]) παρουσιάζονται τέσσερα μοντέλα διαφορετικών «φετών» που καλύπτουν τις περιπτώσεις χρήσης του δικτύου V2X, όπου κάθε περίπτωση καλύπτει και μία ξεχωριστή ανάγκη υπηρεσιών. Παρουσιάζονται οι περιπτώσεις χρήσης για τις οποίες χρειάζονται ξεχωριστές δράσεις τεμαχισμού και «φετοποίησης» στην ίδια υποδομή ενός δικτύου V2X [90]. Διακρίνονται οι κάτωθι περιπτώσεις:

- Τύπος τεμαχισμού βασισμένου στην απομακρυσμένη οδήγηση (Tele-operated driving): Εδώ θα πρέπει να εξασφαλιστεί η πλήρης υποστήριξη της επικοινωνίας από άκρο-σε-άκρο με χαμηλή καθυστέρηση και πολύ υψηλή αξιοπιστία μεταξύ του οχήματος και του κεντρικού σταθμού χειρισμού του οχήματος. Ο κεντρικός σταθμός χειρισμού είναι συνήθως εκτός του δικτύου κορμού της δικτυακής υποδομής του δικτύου V2X.
- Τύπος τεμαχισμού βασισμένου στην αυτόνομη οδήγηση (autonomous driving): Αυτή η «φέτα» καλύπτει δύο βασικά χαρακτηριστικά όσον αφορά στην επικοινωνία μεταξύ των σταθμών βάσης και των οχημάτων. Πρώτον εξασφαλίζεται η πολύ χαμηλή καθυστέρηση (1-2 ms) για επικοινωνία V2V και δεύτερον διασφαλίζεται η εξαιρετικά αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων με χαμηλή καθυστέρηση στην επικοινωνία V2I, δηλαδή μεταξύ του οχήματος και της υποδομής του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται με Διακομιστές Εφαρμογών που λειτουργούν στα Άκρα και υποστηρίζονται από την τεχνολογία Νέφους των Άκρων.
- Τύπος τεμαχισμού που βασίζεται στην ενημέρωση και ψυχαγωγία (infotainment): Η συγκεκριμένη «φέτα» πρέπει να εξασφαλίζει υψηλό ρυθμό απόδοσης του δικτύου στις υπηρεσίες ψυχαγωγίας και τη διασφάλιση μεταφοράς πολυμεσικών δεδομένων μεταξύ των οχημάτων και του διακομιστή εφαρμογών ψυχαγωγίας ενός δικτύου V2X.
- Τύπος τεμαχισμού που βασίζεται στην απομακρυσμένη συντήρηση-διαχείριση (remote diagnostic - management): Αυτή η «φέτα» έχει ρυθμιστεί για να παρέχεται η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ πολλών οχημάτων και του απομακρυσμένου διακομιστή εφαρμογών V2X που βρίσκεται έξω από το δίκτυο του κορμού. Τα δεδομένα εκπέμπονται σε χαμηλή συχνότητα (μικρότερη από 1 GHz) για κάλυψη μεγάλων αποστάσεων.

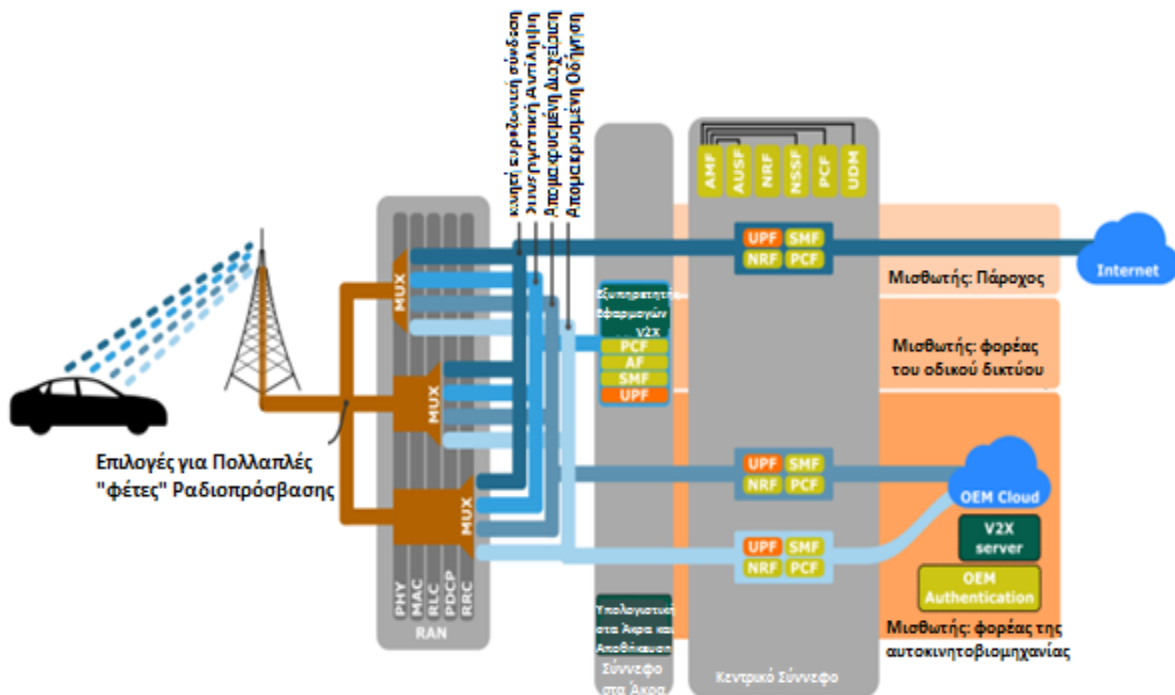
Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)



Σχήμα 34. «Φέτες» τεμαχισμένου δικτύου βασισμένες στις Υπηρεσίες V2X

8.7 Παράδειγμα διαμόρφωσης Τεμαχισμένου Δικτύου 5G-V2X

Μία τεχνολογία που θα αναλύσουμε παρακάτω και η οποία βοηθά σημαντικά στην ανάπτυξη των υπηρεσιών V2X είναι η «Υπολογιστική στα Άκρα» (“Edge Computing”). Συγκεκριμένα, η Κινητή Υπολογιστική στα Άκρα (Mobile Edge Computing - MEC) είναι μία τεχνολογία αρχιτεκτονικής δικτύου κινητής επικοινωνίας που ενσωματώνει τις δυνατότητες της επεξεργασίας στα άκρα του δικτύου και η οποία βασίζεται στους πόρους της κινητής τηλεφωνίας που βρίσκονται στην άκρη του δικτύου. Γενικότερα, εκτελεί εφαρμογές και σχετικές εργασίες επεξεργασίας πιο κοντά στη συσκευή χρήστη (UE), οπότε η συμφόρηση του δικτύου μειώνεται ενώ οι εφαρμογές V2X έχουν καλύτερη απόδοση. Η τεχνολογία τεμαχισμού του δικτύου επιτρέπει την υποστήριξη ενός πλήθους διαφορετικών υπηρεσιών V2X οι οποίες προσφέρονται από διαφορετικούς παρόχους. Στο παρακάτω Σχήμα 35 ([89]) παρουσιάζεται ένα τυπικό παράδειγμα διαμόρφωσης ενός τεμαχισμένου δικτύου V2X κατά την προσέγγιση του ερευνητικού προγράμματος 5GCAR, όπου τα οχήματα συνδέονται σε ξεχωριστές «φέτες» του δικτύου και κάθε τεμαχισμένο τμήμα εξυπηρετεί μία συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης. Το Σχήμα 35 απεικονίζει τα τρία βασικά τμήματα όπου θα αναπτυχθούν οι λειτουργίες του δικτύου, όπως το Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης (RAN), το Δίκτυο Κορμού (CN) που επιμερίζεται στην Υπολογιστική Νέφος στα Άκρα (Edge Cloud) και στο Κεντρικό Νέφος (Central Cloud). Συγκεκριμένα εμπλέκονται φορείς από τρεις τομείς της αγοράς (ήτοι: τηλεπικοινωνίες, οδικό δίκτυο και αυτοκινητοβιομηχανίες), οι οποίοι προσφέρουν διαφορετικές υπηρεσίες στο όχημα.



Σχήμα 35. Παράδειγμα διαμόρφωσης ενός τεμαχισμένου δικτύου V2X

- AUSF:** Authentication Server Function (Λειτουργία Επαλήθευσης Ταυτότητας Εξυπηρετητή)
- CAMF:** Core Access and Mobility Management Function (Λειτουργία Διαχείρισης Κινητικότητας και Πυρηνικής Πρόσβασης)
- NRF:** Network Repository Function (Λειτουργία Αποθετηρίου Δικτύου)
- NSSF:** Network Slice Selection Function (Λειτουργία Επιλογής Φέτας Δικτύου)
- PCF:** Policy Control Function (Λειτουργία Ελέγχου Πολιτικής)
- SMF:** Session Management Function (Λειτουργία Διαχείρισης Συνόδων)
- UDM:** Unified Data Management (Ενοποιημένη Διαχείριση Δεδομένων)
- UPF:** User Plane Function (Λειτουργία Επιπέδου Χρήστη)

■ : Επίπεδο Ελέγχου ■ : Επίπεδο Χρήστη

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Στο τμήμα του Δικτύου Ραδιοπρόσβασης (RAN) εμφανίζονται τρεις πιθανές καταστάσεις τεμαχισμένου δικτύου που θα αναλύσουμε παρακάτω. Το Νέφος Υπολογιστικής στα Άκρα περιλαμβάνει τις δικτυακές λειτουργίες που απαιτούνται από την εκάστοτε περίπτωση χρήσης για την εγγύτητα των συσκευών του χρήστη (όπως η Υπολογιστική στα Άκρα Πολλαπλής πρόσβασης (Multi-access Edge Computing - MEC) και η αποθήκευση δεδομένων). Τέλος το Κεντρικό Νέφος περιλαμβάνει όλες τις κοινές λειτουργίες ελέγχου «φετών» και τις εξατομικευμένες λειτουργίες δικτύου που απαιτεί η κάθε περίπτωση χρήσης για να συνδεθεί στο Διαδίκτυο ή σε ένα δημόσιο δίκτυο. Όλες οι «φέτες» αναπτύσσονται στην ίδια φυσική υποδομή και υπόκεινται σε διαχείριση από έναν πάροχο κινητών επικοινωνιών (Mobile Network Operator - MNO), ο οποίος μπορεί να είναι επίσης και ο μισθωτής των «φετών» του δικτύου, οπότε λειτουργεί ως πάροχος κινητών εικονικών επικοινωνιών (Mobile Virtual Network Operator - MVNO). [89]

Ο Πάροχος – ή μισθωτής – τηλεπικοινωνιών διαχειρίζεται μία «φέτα» βελτιωμένης κινητής ευρυζωνικής πρόσβασης (eMBB) για να παρέχεται πολύ υψηλός ρυθμός δεδομένων, με την εν λόγω «φέτα» να προορίζεται για υπηρεσίες με σταθερές συνδέσεις και με πολύ υψηλό ρυθμό δεδομένων (όπως π.χ. για ψυχαγωγία).

Ο φορέας του οδικού δικτύου (που ενίοτε μπορεί να είναι σχετική αρμόδια Αρχή) επικεντρώνεται σε υπηρεσίες που είναι κρίσιμες για την ασφάλεια όπως τα μηνύματα που παρέχουν πληροφορίες για πινακίδες κυκλοφορίας ή για μηνύματα άμεσου κινδύνου. Οι παραπάνω υπηρεσίες χρειάζονται «φέτα» αξιόπιστης και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνίας (uRLLC). Οι πόροι του δικτύου που θα χρησιμοποιηθούν βρίσκονται στο Νέφος Υπολογιστικής στα Άκρα προκειμένου να μειωθεί η απόσταση επεξεργασίας των δεδομένων μεταξύ του οχήματος και του Δικτύου Κορμού, με στόχο τη μείωση της καθυστέρησης στο ελάχιστο και την έγκαιρη λήψη των μηνυμάτων ασφάλειας.

Ο φορέας από τον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας προσφέρει στο παράδειγμα δύο πολύ διαφορετικούς τύπους υπηρεσιών, δηλαδή την απομακρυσμένη υποστήριξη και την οδήγηση από απόσταση, που απαιτούν τον προσδιορισμό δύο ξεχωριστών «φετών». Η απομακρυσμένη υποστήριξη αφορά στη συλλογή δεδομένων σχετικά με τη χρήση των εξαρτημάτων του οχήματος, προκειμένου να διευκολύνεται η συντήρηση των οχημάτων. Γίνεται μετάδοση μικρών πακέτων σε μεγάλο αριθμό οχημάτων και, λόγω της εμπιστευτικότητας που πρέπει να διασφαλίζεται, τα πακέτα αυτά χωρίζονται από τις διαδικασίες που ελέγχουν τη ροή της κίνησης των δεδομένων. Εδώ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και μία «φέτα» μαζικής επικοινωνίας συσκευών τύπου μηχανής (mMTC), ενώ τα δεδομένα θα μπορούσαν να παραδοθούν στο Νέφος του φορέα της αυτοκινητοβιομηχανίας μέσω μίας «φέτας» ικανής ώστε να υποστηρίζει βελτιωμένη κινητή ευρυζωνική πρόσβαση (eMBB). Από την άλλη μεριά, η οδήγηση από απόσταση είναι μία υπηρεσία που χρειάζεται ραδιοπόρους ανά πάσα στιγμή και είναι κρίσιμη όσον αφορά στην καθυστέρηση και στην αξιοπιστία. Επιπλέον, θα πρέπει ταυτόχρονα να υποστηρίζει βίντεο σε πραγματικό χρόνο το οποίο θα λαμβάνει από τους αισθητήρες των οχημάτων στην ανερχόμενη ζεύξη και μία αξιόπιστη παράδοση των δεδομένων στην κατερχόμενη ζεύξη. Οπότε χρειάζεται μία «φέτα» αξιόπιστης και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνίας (uRLLC).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

9. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΣΤΑ ΑΚΡΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ V2X

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουμε τη σημασία της τεχνολογίας Υπολογιστική Πολλαπλής Πρόσβασης στα Άκρα (MEC) σε ένα δίκτυο V2X. Θα παρουσιάσουμε τις τεχνικές βελτιώσεις και τις συστάσεις που προτείνει το ερευνητικό πρόγραμμα 5GCAR για τη λειτουργία που πρέπει να επιτελεί η τεχνολογία MEC σε ένα δίκτυο V2X. Έπειτα θα αναφέρουμε το πώς ένα δίκτυο 5^{ης} γενιάς εκμεταλλεύεται αυτή την τεχνολογία και ποιές διαδικασίες χρησιμοποιεί στην αρχιτεκτονική του για να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία MEC. Επίσης θα παρουσιάσουμε μία προτεινόμενη αρχιτεκτονική MEC σε κυψελοειδές δίκτυο V2X και θα συζητήσουμε το πώς ωφελούνται οι υπηρεσίες σε αυτό το δίκτυο. Στη συνέχεια, θα περιγράψουμε τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας MEC τα οποία έχουν εφαρμογή στις υπηρεσίες του δικτύου και τέλος θα αναφέρουμε τις πιο σημαντικές προκλήσεις που αντιμετωπίζει η συγκεκριμένη τεχνολογία, όσον αφορά στην ασφάλεια.

Με την επεξεργασία των δεδομένων στο Κεντρικό Νέφος και στην επικοινωνία από Άκρο σε Άκρο τίθενται ζητήματα ασφάλειας, πτωχής απόδοσης του δικτύου και χαμηλής καθυστέρησης, λόγω της αρχιτεκτονικής του κεντρικού διακομιστή ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση από τη συσκευή του χρήστη (UE). Με την τεχνολογία της επεξεργασίας των δεδομένων στα άκρα του δικτύου επιλύονται πολλά από τα παραπάνω θέματα και βελτιώνονται σημαντικά οι συναφείς περιπτώσεις χρήσης V2X [91]. Με την εγκατάσταση των διακομιστών Υπολογιστικής Πολλαπλής Πρόσβασης στα Άκρα (Multi-access Edge Computing – MEC) προστίθεται ένα ακόμη Σημείο Πρόσβασης (Point of Access) στο δίκτυο κορμού. Η τεχνολογία της Υπολογιστικής Πολλαπλής Πρόσβασης στα Άκρα μπορεί να αποτελείται από δρομολογητές, μεταγωγείς, εξοπλισμό πρόσβασης του δικτύου και γενικά ό,τι ολοκληρώνει ένα Νέφος. Καθώς τα οχήματα αυξάνονται και οι εφαρμογές V2X αναπτύσσονται συνεχώς, οι απαιτήσεις στις περιπτώσεις χρήσης ενός δικτύου επικοινωνίας V2X αυξάνονται σημαντικά και η τεχνολογία MEC δίνει τη δυνατότητα στους παρόχους ώστε να διαχειρίζονται καλύτερα την κίνηση του δικτύου όπως και τις απαιτήσεις που χρειάζεται στους ραδιοπόρους. Η τεχνολογία Υπολογιστική στα Άκρα (Edge Computing - EC) μπορεί να μεταφέρει τις εργασίες της επεξεργασίας των δεδομένων από το Νέφος στις συσκευές που υπάρχουν στα άκρα του δικτύου και έτσι να αντιμετωπίζει σενάρια που είναι κρίσιμα όσον αφορά στην καθυστέρηση (όπως είναι π.χ. η αυτόνομη οδήγηση).

9.1 Τεχνικές Βελτιώσεις – Συστάσεις για MEC

Σύμφωνα με το ερευνητικό πρόγραμμα 5GCAR [89] έχουν καθοριστεί τεχνικές για τη σύνδεση της τεχνολογίας Υπολογιστικής Πολλαπλής Πρόσβασης στα Άκρα με τα χιλιοστομετρικά κύματα (mmWave). Τα οφέλη είναι πολλά όπως για παράδειγμα ο μετριασμός του περιορισμού της επεξεργασίας των δεδομένων που προορίζονται για τα οχήματα που εξυπηρετούν σενάρια με χαμηλή καθυστέρηση, οπότε τα οχήματα μπορούν να λαμβάνουν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας πριν απομακρυνθούν από το εύρος κάλυψης του Σημείου Πρόσβασης (Access Point) το οποίο είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία των δεδομένων στα άκρα. Η ειδική μελέτη του προγράμματος 5GCAR συνιστά τις παρακάτω τεχνικές βελτιώσεις που αφορούν στη συνεργασία με τεχνολογία χιλιοστομετρικών κυμάτων. Διακρίνονται τα κάτωθι:

1. Μείωση της καθυστέρησης από Άκρο-σε-Άκρο του δικτύου, για πολύπλοκες και πολλές πράξεις υπολογισμών.
2. Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των οχημάτων ή των συσκευών χρήστη (UEs) μεταφέροντας τους πολύπλοκους υπολογισμούς στο Νέφος στα Άκρα μέσω των κόμβων πρόσβασης, αυξάνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής των μπαταριών και δίνοντας τη δυνατότητα για έξυπνα οχήματα χαμηλού κόστους.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

3. Μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης του δικτύου, λόγω της εκτέλεσης των υπολογιστικών εργασιών στο Νέφος στα Άκρα.

Το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιών Προτύπων (ETSI) δημοσίευσε ένα έγγραφο που είναι βασισμένο στις περιπτώσεις χρήσης MEC για την επικοινωνία V2X [91] στο οποίο αναλύθηκαν οι προδιαγραφές λειτουργικότητας για τη χρήση της τεχνολογίας MEC που υποστηρίζει εφαρμογές V2X. Επίσης, η εν λόγω προσέγγιση αναλύει και επισημαίνει τους περιορισμούς της τεχνολογίας MEC όσον αφορά στην υποστήριξη των εφαρμογών V2X. Εστιάζει στις προδιαγραφές που χρειάζονται για ένα περιβάλλον V2X όπου θα υπάρχει υποστήριξη από πολλούς παρόχους με πολλά διαφορετικά δίκτυα και με πολλαπλές προσβάσεις. Επίσης έχει δώσει ιδιαίτερη σημασία και στις υπηρεσίες V2X-MEC με τον καθορισμό σημαντικών πληροφοριών (όπως π.χ. για τις λειτουργίες V2X, για τις ροές δεδομένων και για τη μορφοποίηση των δεδομένων).

Μερικές ενδιαφέρουσες συστάσεις των λειτουργιών και των υπηρεσιών V2X MEC είναι [91] οι εξής:

- Η τεχνολογία Υπολογιστική Πολλαπλής Πρόσβασης στα Άκρα (MEC) θα πρέπει να παρέχει διαλειτουργικότητα για την ανταλλαγή πληροφοριών V2X μεταξύ των οχημάτων, όταν υπάρχει σύνδεση διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης ή διαφορετικών παρόχων κινητής τηλεφωνίας ή διαφορετικών δικτύων.
- Η τεχνολογία MEC θα πρέπει να διασφαλίζει αδιάλειπτα την παροχή υπηρεσιών και την κάλυψη πρόσβασης του δικτύου σε όλο το γεωγραφικό εύρος μίας χώρας και ανάμεσα σε πολλούς παρόχους.
- Η τεχνολογία MEC θα πρέπει να παρέχει τη σωστή διαλειτουργικότητα σε ένα περιβάλλον με πολλούς παρόχους που να επιτρέπει στις εφαρμογές MEC να επικοινωνούν με ασφάλεια στα διάφορα συστήματα ακόμα και με απουσία του κυψελοειδούς δικτύου.
- Η τεχνολογία MEC θα πρέπει να παρέχει πληροφορίες ανατροφοδότησης από το δίκτυο στα οχήματα προκειμένου να παρέχονται εγγυήσεις αξιοπιστίας του καναλιού επικοινωνίας.
- Η τεχνολογία MEC θα πρέπει να παρέχει ασφάλεια στην επικοινωνία των εφαρμογών MEC που γίνεται από πολλαπλούς παρόχους, με λειτουργίες ελέγχου V2X στο Δίκτυο Κορμού.

9.2 Υπολογιστική στα Άκρα σε δίκτυα 5^{ης} γενιάς

Η τεχνολογία «Υπολογιστική στα Άκρα» (Edge Computing) έχει αναπτυχθεί στα δίκτυα LTE 4^{ης} γενιάς. Για τα δίκτυα LTE που έχουν αναπτυχθεί ήδη για αρκετά χρόνια, σχεδιάστηκε η λύση της Υπολογιστικής Πολλαπλής Πρόσβασης στα Άκρα (MEC) ως πρόσθετο χαρακτηριστικό σε ένα δίκτυο 4G (για την προσφορά υπηρεσιών στα άκρα του δικτύου). Κατά συνέπεια, το σύστημα MEC όπως ορίζεται και στις σχετικές προδιαγραφές του, είναι σε μεγάλο βαθμό αυτόνομο. Όμως με την τεχνολογία 5G η Υπολογιστική στα Άκρα θεωρείται ως μία από τις βασικές τεχνολογίες που απαιτούνται για την υποστήριξη της χαμηλής καθυστέρησης μαζί με σημαντικές υπηρεσίες στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Η αρχιτεκτονική συστήματος 5^{ης} γενιάς σχεδιάστηκε από την αρχή για να παρέχεται αποτελεσματική και ευέλικτη υποστήριξη στα άκρα ώστε το δίκτυο να επιτυγχάνει την υψηλότερη απόδοση και τη βέλτιστη ποιότητα εμπειρίας. Η προσέγγιση σχεδιασμού που ακολούθησε ο φορέας 3GPP επιτρέπει στην τεχνολογία MEC να χρησιμοποιεί τις Λειτουργίες Εφαρμογών (Application Functions - AFs) που αξιοποιούν τις υπηρεσίες και τις πληροφορίες που προσφέρονται από άλλες λειτουργίες του δικτύου 3GPP, βάσει των διαμορφωμένων πολιτικών [92].

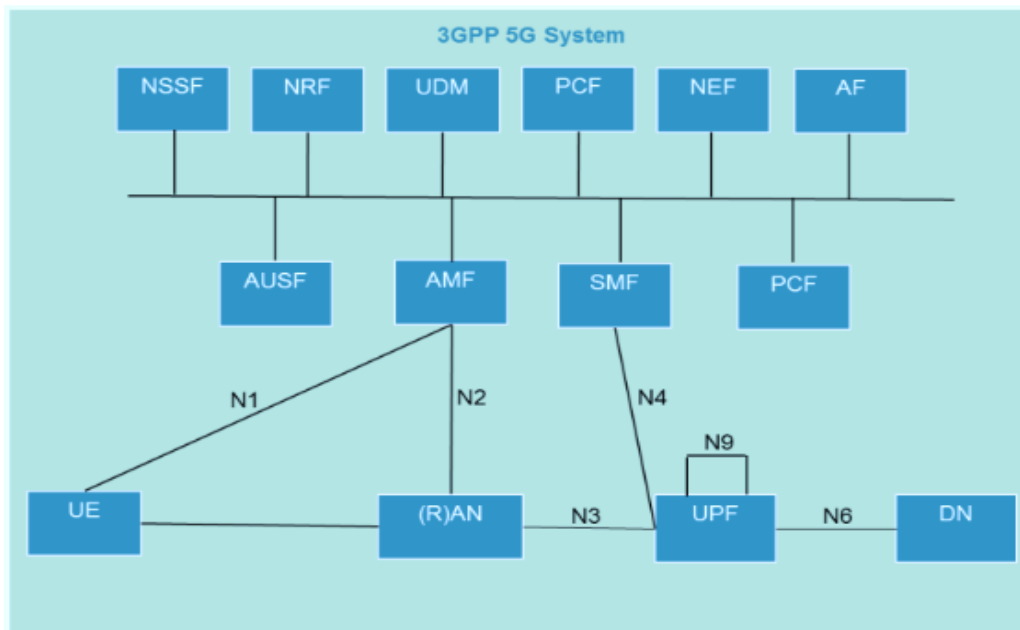
Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Η νέα αρχιτεκτονική 5G περιγράφεται και εξηγείται με περισσότερες λεπτομέρειες στην επόμενη ενότητα.

9.3 Αρχιτεκτονική 5G & MEC

Η υποστήριξη όλων των περιπτώσεων χρήσης με ίδια και κοινή αρχιτεκτονική σημαίνει σημαντικές αλλαγές σχεδιασμού τόσο για το Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης όσο και για το Δίκτυο Κορμού [92].

Στο παρακάτω Σχήμα 36 [92] παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του Συστήματος 3GPP 5G βασισμένο στις Βασικές Υπηρεσίες (Service Based Architecture-SBA) και στο Σχήμα 37 [92] παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του Συστήματος MEC.



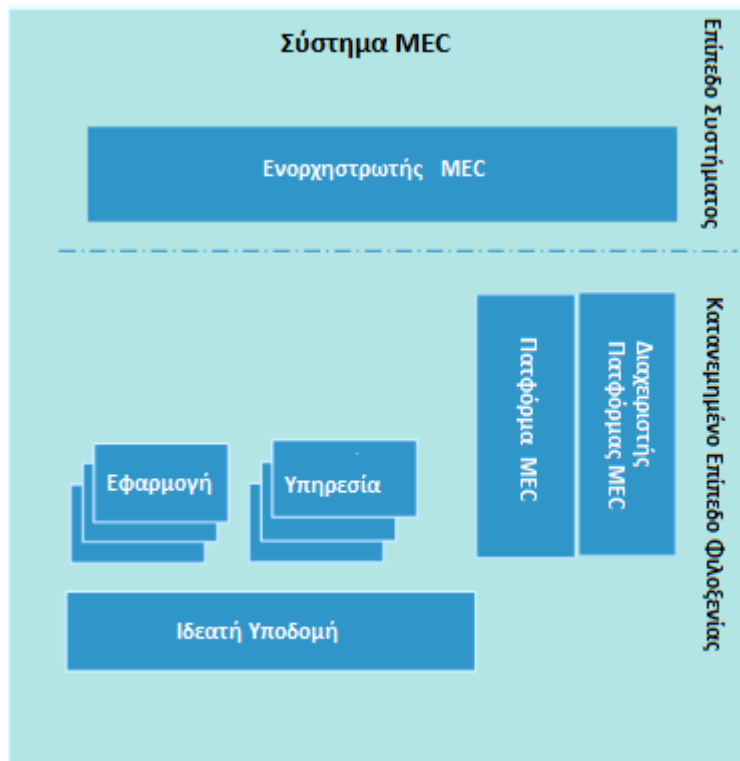
Σχήμα 36. Αρχιτεκτονική Υπηρεσιών Δικτύου 5ης γενιάς

Οι Λειτουργίες (Functions) του δικτύου και οι υπηρεσίες που παράγουν, καταχωρούνται σε μία Λειτουργία Πόρων του Δικτύου (Network Resource Function - NRF), ενώ στο σύστημα MEC οι υπηρεσίες που παράγονται από τις εφαρμογές MEC εγγράφονται στο μητρώο υπηρεσιών της πλατφόρμας MEC. Για να χρησιμοποιηθεί μία υπηρεσία, εφόσον περάσει από τον έλεγχο προσβασιμότητας μία λειτουργία του δικτύου μπορεί να αλληλεπιδρά άμεσα με τη λειτουργία που παράγει την υπηρεσία [92]. Παρακάτω δίνεται η ανάλυση για την κάθε λειτουργία του συστήματος 5^{ης} γενιάς που παρουσιάζεται στο Σχήμα 36.

- NSSF (Network Slice Selection Function – Λειτουργία Επιλογή Δικτυακής Φέτας): Η λειτουργία επιλογής «φέτας» ενός τεμαχισμένου δικτύου είναι η λειτουργία που βοηθά στην επιλογή της κατάλληλης «φέτας» ενός δικτύου για τους χρήστες και στην κατανομή των απαραίτητων Λειτουργιών Διαχείρισης Πρόσβασης (Access Management Functions - AMF).
- NRF (Network Resource Function – Λειτουργία Πόρων Δικτύου): Είναι μία λειτουργία που έχει καταχωρημένες όλες τις λειτουργίες του δικτύου και τις υπηρεσίες που παράγουν, ενώ στην περίπτωση MEC οι υπηρεσίες που παράγονται από τις εφαρμογές MEC είναι καταχωρημένες στο μητρώο υπηρεσιών της πλατφόρμας MEC.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

- UDM (Unified Data Management – Ενοποιημένη Διαχείριση Δεδομένων): Η λειτουργία είναι υπεύθυνη για τις υπηρεσίες που σχετίζονται με τους χρήστες και τις συνδρομές τους. Δημιουργεί τα διαπιστευτήρια ελέγχου, διαχειρίζεται πληροφορίες που είναι σχετικές με την πιστοποίηση του χρήστη, καταχωρεί τις άδειες πρόσβασης, υποστηρίζει λειτουργίες παρακολούθησης και εκτελεί λειτουργίες διαχείρισης συνδρομών.
- PCF (Policy Control Function – Λειτουργία Ελέγχου Πολιτικής): Είναι μία λειτουργία που χρησιμοποιείται για πολιτικές και κανόνες. Επίσης, τη χρησιμοποιεί η Λειτουργία Εφαρμογών (Application Function – AF) όπως και η πλατφόρμα MEC για να επηρεάσει τους κανόνες καθοδήγησης της κυκλοφορίας.
- NEF (Network Exposure Function – Λειτουργία Έκθεσης Δικτύου): Είναι μία λειτουργία που λαμβάνει χώρα ως κεντρικό σημείο για όλες τις υπηρεσίες και έχει επίσης τον βασικό ρόλο για την έγκριση όλων των αιτημάτων πρόσβασης που προέρχονται από το εξωτερικό του συστήματος.
- AF (Application Function – Λειτουργία Εφαρμογών): Είναι μία λειτουργία που καλύπτει ένα ευρύ φάσμα από εφαρμογές στην τεχνολογία 5G.
- AUSF (Authentication Server Function – Λειτουργία Επαλήθευσης Ταυτότητας Εξυπηρετητή): Είναι μία λειτουργία που έχει να κάνει με τις λειτουργίες που σχετίζονται με τον έλεγχο της ταυτότητας.
- AMF (Access and Mobility Management Function – Λειτουργία Διαχείρισης Πρόσβασης και Κινητικότητας): Η λειτουργία δέχεται όλες τις αιτήσεις για σύνδεση από τον χρήστη και είναι υπεύθυνη για το χειρισμό της σύνδεσης ή για εργασίες που έχουν να κάνουν με την κινητικότητα.
- SMF (Session Management Function – Λειτουργία Διαχείρισης Συνόδου): Η λειτουργία ορίζει παραμέτρους διαμόρφωσης στην UPF για τη διεύθυνση της κίνησης και διασφαλίζει την κατάλληλη δρομολόγηση των πακέτων ενώ εγγυάται την παράδοση των εισερχόμενων πακέτων μέσω μίας ειδοποίησης κατερχόμενης ζεύξης.
- UPF (User Plane Function – Λειτουργία Επιπέδου Χρήστη): Η λειτουργία είναι υπεύθυνη για τη δρομολόγηση και προώθηση των πακέτων, την επιθεώρηση των πακέτων, τη διαχείριση της ποιότητας των υπηρεσιών και για τη σύνδεση σε εξωτερικό δίκτυο.



Σχήμα 37. Αρχιτεκτονική Συστήματος MEC

Στο σύστημα MEC στο Σχήμα 37, ο ενορχηστρωτής MEC είναι μία λειτουργική μονάδα η οποία, ενεργώντας ως Λειτουργία Εφαρμογών (AF) μπορεί να αλληλεπιδράσει με την NEF του συστήματος 5G ή σε ορισμένα σενάρια να αλληλεπιδράσει απευθείας με τις συγκεκριμένες λειτουργίες του συστήματος 5G. Στο έγγραφο “ETSI White Paper No.28 MEC in 5G Networks” [92] του φορέα ETSI, στη σελίδα 8 θεωρείται ότι το MEC αναπτύσσεται στο σημείο αναφοράς N6, δηλαδή σε ένα δίκτυο δεδομένων που βρίσκεται εξωτερικά από το σύστημα 5G. Αυτό ενεργοποιείται από την ευελιξία που υπάρχει για τον εντοπισμό της UPF. Ο κατακεμημένος διακομιστής MEC μπορεί να φιλοξενήσει, εκτός από τις εφαρμογές MEC, ένα λογισμικό που επιτρέπει σε εφαρμογές, συστήματα και υπηρεσίες να επικοινωνούν μεταξύ τους (message broker) ως μία υπηρεσία πλατφόρμας MEC, έτσι ώστε να γίνεται πιο γρήγορη η επεξεργασία των δεδομένων [92].

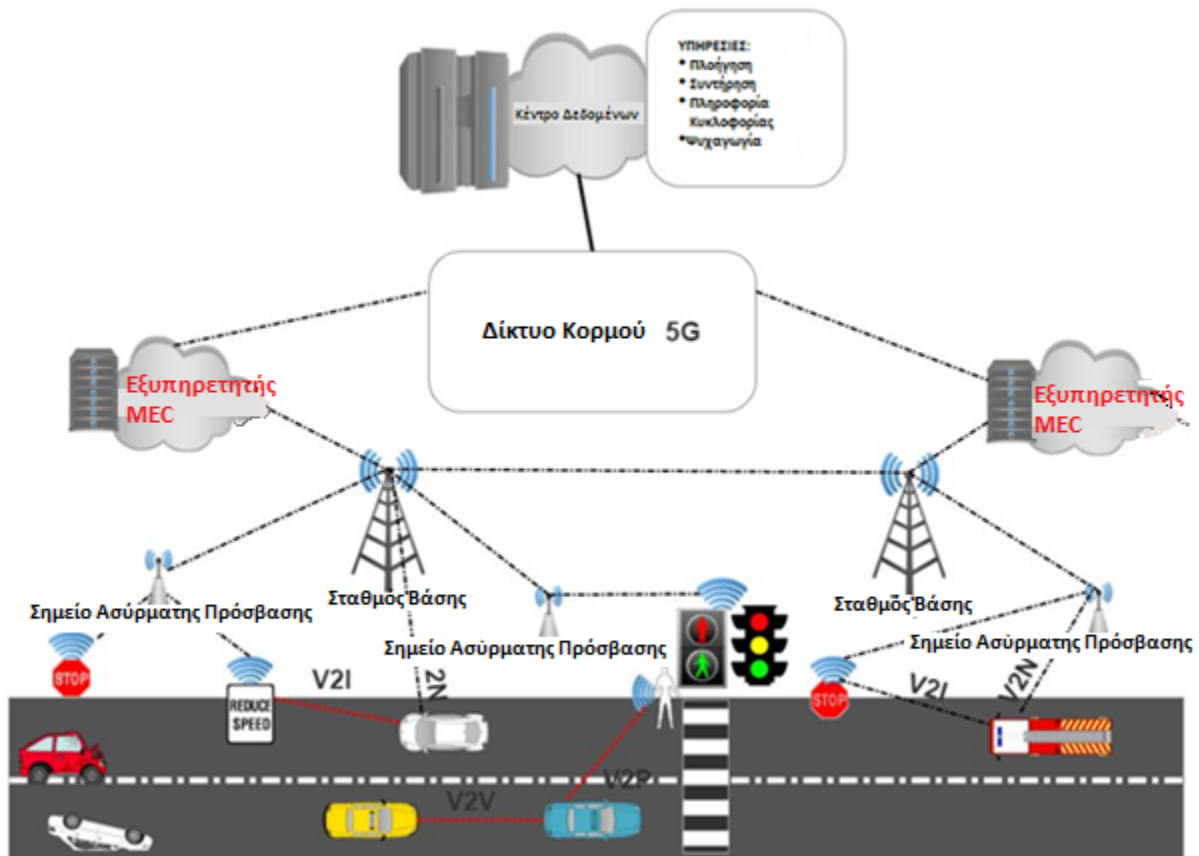
9.4 Δίκτυο C-V2X & MEC

Στην τεχνολογία της πληροφορίας, η εικονικοποίηση και το Νέφος έχουν οδηγήσει σε επανάσταση στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών και έχει αναπτυχθεί ένα περιβάλλον με καινούργιες υπηρεσίες. Σε ένα υφιστάμενο δίκτυο LTE, τα συγκεντρωτικά Κέντρα Δεδομένων Νέφους (Cloud Data Centers) μπορούν να φιλοξενήσουν εφαρμογές με μεγάλο υπολογιστικό φόρτο, ώστε να επωφεληθούν οι συσκευές χρήστη (UEs) που έχουν περιορισμένους πόρους. Το υφιστάμενο κυψελοειδές δικτυακό σύστημα που χαρακτηρίζεται από κεντρικούς διακομιστές, όπως έχουμε αναφέρει, δεν μπορεί να ανταπεξέλθει ικανοποιητικά σε ένα δίκτυο V2X διότι η μεταφορά των δεδομένων από ένα όχημα σε έναν κεντρικό διακομιστή νέφους δημιουργεί μεγάλη καθυστέρηση όπως και δυσκολία στην εκπομπή των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Όμως με τις ειδικά σχεδιασμένες εφαρμογές για δίκτυα V2X, τον τεμαχισμό του δικτύου σε «φέτες» ειδικά προσαρμοσμένες για επικοινωνία V2X και με τη μεταφορά ενός μέρους των υπολογισμών των δεδομένων στα Άκρα του δικτύου, προκύπτει ότι οι υπηρεσίες της συσκευής του χρήστη (UE) θα μπορούν να εφαρμόζουν αιτήσεις για συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας. Για να μεταφέρουμε την υπολογιστική αξία των δεδομένων στα άκρα του δικτύου, μία αρχική λύση ήταν η Υπολογιστική

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Ομίχλης (Fog Computing) η οποία επέκτεινε τις υπηρεσίες Νέφους στα Άκρα του δικτύου, αλλά δεν καθορίζει ένα συγκεκριμένο πλαίσιο αρχιτεκτονικής για τους διακομιστές στα Άκρα. Με βάση την εργασία [93], η Nokia παρουσίασε για πρώτη φορά ένα δικτυακό παγκόσμιο σύστημα βασισμένο σε Κινητή Υπολογιστική στα Άκρα (MEC), στο οποίο η υπολογιστική του δομή – η οποία προέρχεται από τους διακομιστές εφαρμογών νέφους – είναι πλήρως ενσωματωμένη σε ευέλικτους σταθμούς βάσης. Την έρευνα για την υπολογιστική νέφους σε σχέση με ένα περιβάλλον Δικτύου Ραδιοπρόσβασης σε ένα κυψελοειδές σύστημα, ακολούθησαν και άλλες εταιρείες όπως η IBM, η Vodafone, η Intel και η Huawei [93].

Στο παρακάτω Σχήμα 38 παρουσιάζεται μία προτεινόμενη αρχιτεκτονική MEC η οποία είναι μία προσέγγιση βάσει της εργασίας [93], όπου υπάρχει ο κεντρικός διακομιστής εφαρμογών νέφους που εκτελεί βασικές υπηρεσίες σε ένα δίκτυο V2X (όπως υπηρεσίες πλοήγησης ή πληροφορίες κυκλοφορίας). Έπειτα, συνδέεται με το δίκτυο κορμού που είναι βασισμένο σε τεχνολογία 5G. Το Δίκτυο Κορμού 5G συνδέεται με το Υπολογιστικό Νέφος όπου υπάρχουν Διακομιστές MEC. Το Υπολογιστικό Νέφος συνδέεται με τους τοπικούς σταθμούς βάσης και αυτοί συνδέονται με Παρόδιες Μονάδες (RSUs) ή με συσκευές χρήστη (οχήματα, έξυπνα τηλέφωνα, κτλ.) Επίσης οι Παρόδιες Μονάδες συνδέονται με τους αισθητήρες των οχημάτων ή με έξυπνους αισθητήρες που τους έχει τοποθετήσει η αρμόδια Δημόσια Οδική Αρχή (πχ. έξυπνοι σηματοδότες, πινακίδες, κτλ.). Με την αρχιτεκτονική του Σχήματος 38, οι βασικοί και κρίσιμοι υπολογισμοί των υπηρεσιών γίνονται κοντά στη συσκευή του χρήστη (UE).



Σχήμα 38. Προτεινόμενη αρχιτεκτονική MEC

9.5 Πλεονεκτήματα της αρχιτεκτονικής MEC

Μείωση καθυστέρησης της υπηρεσίας: Καθώς η υπηρεσία εκτελείται κοντά στον τελικό χρήστη, ο χρόνος επιστροφής της επεξεργασίας των δεδομένων μειώνεται και ο χρόνος της παροχής υπηρεσίας επιταχύνεται σε μεγάλο βαθμό. Σε μία μελέτη που αναφέρει η εργασία [93], έτυχε δοκιμής η καθυστέρηση μεταφοράς τόσο από τη διεπαφή S1-CP (S1-Επίπεδο Ελέγχου) όσο και από τη διεπαφή S1-UP (Επίπεδο Χρήστη). Το αποτέλεσμα βρέθηκε να είναι της τάξης 2ms-15ms και 1ms-15ms, αντίστοιχα. Επίσης, μετρήθηκε το μέσο αποτέλεσμα της καθυστέρησης ενός πακέτου “Ping” ενός χρήστη σε ένα σύστημα TD-LTE μεγέθους 32 δυφιοσυλλαβών και βρέθηκε να είναι 24ms. Στην αρχιτεκτονική MEC, με αξιόπιστες οπτικές ίνες μικρής απόστασης συνδεδεμένες μεταξύ του διακομιστή MEC και των σταθμών βάσης, η καθυστέρηση μεταφοράς μέσω των διεπαφών S1 τόσο στο Επίπεδο Ελέγχου όσο και στο Επίπεδο Χρήστη μειώθηκε σημαντικά. Η σημαντική μείωση καθυστέρησης ωφελεί, σε μεγάλο βαθμό, υπηρεσίες με απαίτηση εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης (όπως είναι π.χ. η αυτόνομη οδήγηση).

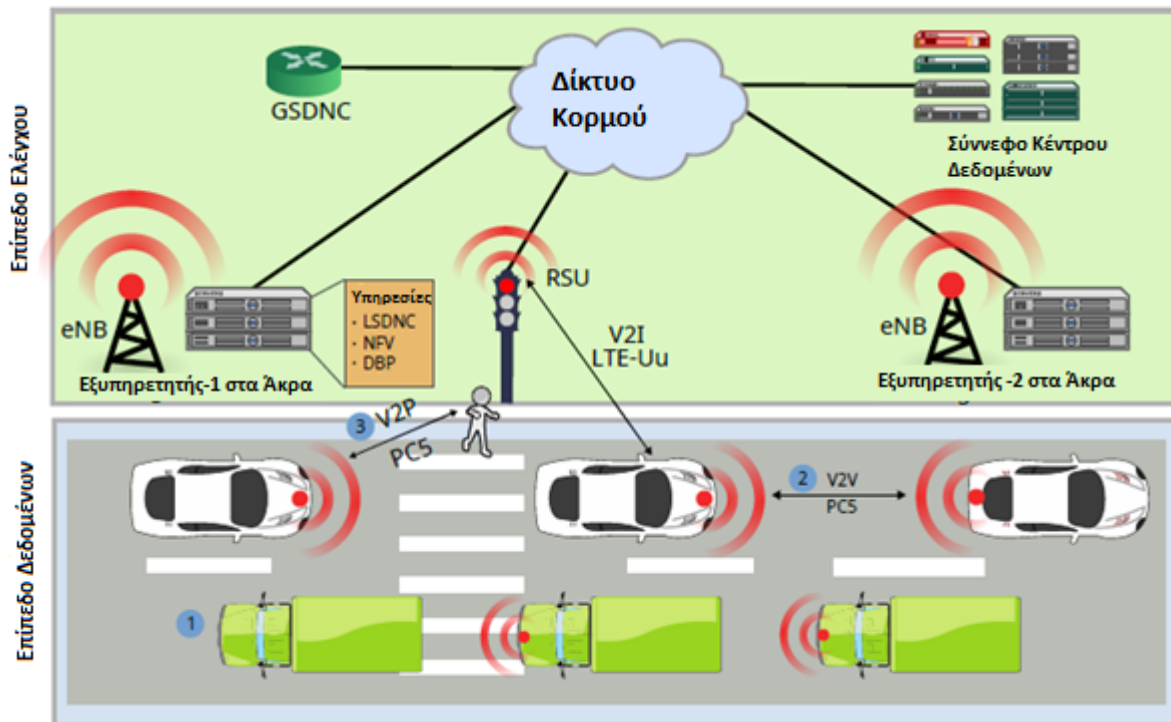
Παροχή ευέλικτων υπηρεσιών: Με το συνδυασμό της τεχνολογίας εικονικοποίησης, οι εφαρμογές MEC και οι εφαρμογές Εικονικοποίησης Λειτουργιών Δικτύου (NFV) μπορούν να συνεργαστούν σε μία πλατφόρμα MEC, να προγραμματιστούν ειδικά για υπηρεσίες που ανήκουν σε μία ομάδα χρηστών ή ατομικά σε έναν χρήστη και να προσαρμοστούν έτσι ώστε να μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις του χρήστη ως προς την ποιότητα της υπηρεσίας ή της εμπειρίας. Η προσαρμογή των υπηρεσιών επιτυγχάνεται λόγω της τεχνολογίας της εικονικοποίησης με τις ειδικά προσαρμοσμένες «φέτες» του δικτύου και οι απαιτήσεις των υπηρεσιών επιτυγχάνονται λόγω της τεχνολογίας Υπολογιστικής στα Άκρα [93].

Πληροφορίες δικτύου σε πραγματικό χρόνο: Εξουσιοδοτημένες εφαρμογές και Ιδεατές Λειτουργίες Δικτύου (VNFs) που φιλοξενούνται στον διακομιστή MEC επιτρέπεται να έχουν πρόσβαση σε καινοτόμες πληροφορίες του δικτύου και σε χαρακτηριστικά του χρήστη. Οι διαθέσιμες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο (όπως το αναγνωριστικό της κυψέλης και η τοποθεσία του χρήστη) μπορούν να υποβληθούν σε περαιτέρω επεξεργασία και να δημιουργήσουν νέες υπηρεσίες (όπως η υψηλή ακρίβεια εντοπισμού θέσης των οχημάτων) [93].

Διευκόλυνση της συνεργασίας μεταξύ των σταθμών βάσης: Ο διακομιστής MEC υπόσχεται να διευκολύνει τη συνεργασία μεταξύ των σταθμών βάσης διότι έχουν ανατεθεί σε αυτόν ικανότητες κεντρικού ελέγχου και συντονισμού. Επιτυγχάνεται ελαχιστοποίηση των αλληλεπιδράσεων και επίσης δύναται να απλοποιηθεί η διαδικασία εκτέλεσης ορισμένων θεμελιωδών λειτουργιών του δικτύου (όπως όταν ο αποστολέας και ο παραλήπτης είναι ο ίδιος και στην ίδια κυψέλη (inter-cell handover – διακυψελική μεταπομπή)). Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο στο δίκτυο V2X, όπου τα οχήματα έχουν υψηλή κινητικότητα [93].

Ελαχιστοποίηση της συμφόρησης του δικτύου: Σε ένα δίκτυο οχημάτων δημιουργείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα μία μεγάλη ποσότητα μικρών πακέτων, τα οποία δημιουργούν δικτυακή συμφόρηση. Η εκτέλεση μόνο των συγκεκριμένων υπηρεσιών στον διακομιστή MEC που βρίσκεται σε ένα Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης μειώνει σημαντικά τον όγκο της ροής της κίνησης προς το Δίκτυο Κορμού. Επίσης, μειώνεται και ο φόρτος της επεξεργασίας στο Κεντρικό Σύννεφο και έτσι γίνεται ελαχιστοποίηση της συμφόρησης και σε άλλα μέρη του δικτύου [93].

Στο παρακάτω Σχήμα 39 [94] παρουσιάζονται τρία παραδείγματα από περιπτώσεις χρήσης σε επικοινωνία V2X που επωφελούνται από μία αρχιτεκτονική Υπολογιστική Πολλαπλής Πρόσβασης στα Άκρα (MEC).

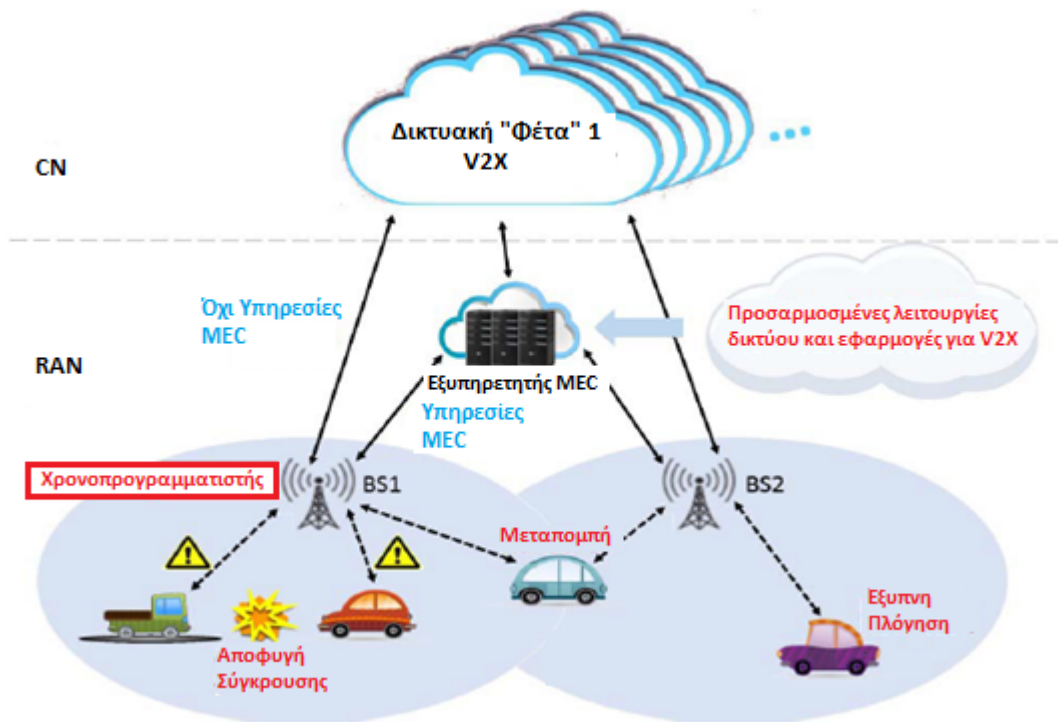


Σχήμα 39. Παράδειγμα Υπηρεσιών επικοινωνίας V2X σε αρχιτεκτονική MEC

- ❶ Κίνηση σε ομάδα οχημάτων (Platooning)
- ❷ Συνεργατική Δικτύωση (Collaborative networking)
- ❸ Ασφάλεια σε ευάλωτο οδικό χρήστη (Vulnerable Road User - VRU)

9.6 Τεμαχισμός του Δικτύου και MEC

Σκοπός του δικτυακού τεμαχισμού είναι η ικανοποίηση των απαιτήσεων των χρηστών μέσα από ένα ευρύ φάσμα των περιπτώσεων χρήσης σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Εφόσον εφαρμοστεί η τεχνολογία της εικονικοποίησης στους πόρους του δικτύου, ένα τμήμα του δικτύου («φέτα») σχηματίζει ένα λογισμικό δίκτυο από άκρο-σε-άκρο, το οποίο παρέχει μία ή περισσότερες δικτυακές λειτουργίες για την εξυπηρέτηση των ειδικών απαιτήσεων της «φέτας» (π.χ. πάροχοι ή εταιρικοί χρήστες). Επίσης, ο τεμαχισμός του δικτύου παρέχει καλύτερη χρήση των πόρων του δικτύου καθώς κάθε «φέτα» προσαρμόζεται στις ανάγκες που απαιτούνται από τις υπηρεσίες που την χρησιμοποιούν [93]. Για το σενάριο που περιλαμβάνει οχήματα, θα πρέπει να δημιουργηθεί μία δικτυακή «φέτα» με αρκετά χαμηλή καθυστέρηση και υψηλή αξιοπιστία, για την παροχή των κρίσιμων υπηρεσιών V2X. Η αρχιτεκτονική MEC συμβάλλει σημαντικά στην ευελιξία ενός τεμαχισμένου δικτύου διότι συγκεκριμένες βασικές υπηρεσίες μίας δικτυακής «φέτας» μπορούν να τοποθετηθούν επιλεκτικά στα Άκρα του δικτύου, προκειμένου να ταιριάζουν με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις του χρήστη και για να βελτιώσουν την ποιότητα υπηρεσίας. Οι πόροι και οι εφαρμογές στο περιβάλλον MEC θα πρέπει επίσης να είναι σε τεμαχισμό και να αποδέχονται την ενοποιημένη ενορχήστρωση και διαχείριση. Με την εκχώρηση ποικίλων υπηρεσιών του δικτύου, με ευέλικτο και δυναμικό τρόπο στους διακομιστές MEC και στο Κεντρικό Νέφος του Κέντρου Δεδομένων, το δίκτυο μπορεί να παρέχει πιο προσαρμοσμένες υπηρεσίες όπως φαίνεται και στο Σχήμα 40 [93].



Σχήμα 40. Τεμαχισμένο Δίκτυο με αρχιτεκτονική MEC

9.7 Η Ασφάλεια σε ένα Δίκτυο 5G και MEC-V2X

Στα δίκτυα, η τεχνολογία 5G και η Υπολογιστική στα Άκρα που βασίζονται σε επικοινωνίες V2X υποστηρίζουν υψηλό φόρτο δικτύου σε δεδομένα μεταξύ των οχημάτων και του Νέφους στα Άκρα. Η αρχιτεκτονική Υπολογιστική Πολλαπλής Πρόσβασης στα Άκρα (MEC) παρέχει αποτελεσματικά υπηρεσίες ποιότητας υπηρεσιών στα Άκρα, εύκολη επεκτασιμότητα του δικτύου, μείωση της πολυπλοκότητας των διαδικασιών του δικτύου και ανάπτυξη των υπηρεσιών 5G. Ένα σημαντικό στοιχείο για τα δίκτυα MEC τα οποία βασίζονται στην τεχνολογία 5G είναι το να μπορούν να αποτρέψουν τις κακόβουλες επιθέσεις που γίνονται από τους κόμβους προς τα Άκρα και προς τους Διακομιστές MEC. Γι'αυτόν το λόγο, παρακάτω αναλύονται ζητήματα και προκλήσεις που αντιμετωπίζει ένα δίκτυο MEC-V2X βασισμένο στην τεχνολογία 5G όπως και το ποιές τεχνικές ασφάλειας πρέπει να εφαρμόζονται (κατά την προσέγγιση της εργασίας [49]). Επισημαίνονται τα εξής:

Διαφάνεια Δεδομένων: Οι πάροχοι που διαχειρίζονται το Νέφος στα Άκρα ενός δικτύου 5G μπορούν και παρακολουθούν με πλήρη έλεγχο τα δεδομένα τα οποία προέρχονται από εξωτερικές πηγές καθώς και τη διακίνηση των πληροφοριών από τα οχήματα, ενώ οι χρήστες στα οχήματα δεν μπορούν να ελέγξουν τις πληροφορίες που λαμβάνουν μέχρι οι πληροφορίες να τύχουν επεξεργασίας από τους διακομιστές που υπάρχουν στο Νέφος στα Άκρα του δικτύου. Η παραπάνω αδυναμία ελέγχου των πληροφοριών από τους χρήστες οχημάτων προκαλεί μείζονα πρόκληση για τη σωστή λειτουργία του ελέγχου, την πιστοποίηση και την παρακολούθηση της ροής των δεδομένων, κάτι που είναι αναγκαίο για να εξασφαλιστεί η διαφάνεια στις κρίσιμες υπηρεσίες σε ένα δίκτυο 5G με χρήση επικοινωνίας V2X.

Ιδιωτικοποίηση Δεδομένων: Οι πάροχοι που διαχειρίζονται το Νέφος στα Άκρα ενός δικτύου 5G, διαχειρίζονται τα προσωπικά δεδομένα των χρηστών στα Κέντρα Δεδομένων MEC. Όμως οι χρήστες των οχημάτων δεν γνωρίζουν τη ροή των δεδομένων και το ποιός πραγματικά ελέγχει τις προσωπικές τους πληροφορίες. Η ιδιωτικότητα είναι ένα από τα σημαντικά θέματα όσον αφορά

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

στην προστασία και στην ευαισθησία των δεδομένων για τα οχήματα σε ένα δίκτυο 5G MEC. Εάν ένας διακομιστής MEC δεχθεί επίθεση από έναν εισβολέα, υπάρχει περίπτωση το όχημα να λαμβάνει ένα πλήθος από άχρηστες πληροφορίες που θα θέσουν σε κίνδυνο την ιδιωτικότητα των δεδομένων του. Εν μέρει το θέμα έχει επιλυθεί με μέσα όπως η τεχνική της ομαδικής υπογραφής για επικοινωνία V2V. Εντούτοις, αυτό είναι ένα ζήτημα που πρέπει να αναλυθεί εκτενέστερα όσον αφορά στην επικοινωνία V2X που βασίζεται σε δίκτυο 5G.

Ακεραιότητα Δεδομένων: Η ακεραιότητα των δεδομένων παίζει κρίσιμο ρόλο στα δίκτυα V2X και πρέπει συνεχώς να γίνεται επαλήθευση της ταυτότητας των δεδομένων. Τα δεδομένα του δικτύου 5G ελέγχονται και αποθηκεύονται με ασφάλεια όσον αφορά στην ακεραιότητα αυτών, όμως τα δεδομένα που προέρχονται από εξωτερικές πηγές (οχήματα, πεζοί, συσκευές χρήστη) και τα οποία αποθηκεύονται στον διακομιστή MEC δημιουργούν μία κατάσταση ανησυχίας όσον αφορά στη διαγραφή ή στη μετατροπή ή στην αλλαγή δεδομένων χωρίς την πρότερη γνώση του χρήστη. Και αυτό είναι ένα ζήτημα που επιλύεται με περιοδική επαλήθευση των δεδομένων.

Διαθεσιμότητα δεδομένων: Σε ένα δίκτυο οχημάτων η διαθεσιμότητα των δεδομένων έχει βασικό ρόλο στις απαιτήσεις των υπηρεσιών. Τα δεδομένα αντιγράφονται και αποθηκεύονται στους διακομιστές MEC που βρίσκονται σε ένα Νέφος στα Άκρα όμως, υπάρχουν περιπτώσεις όπου ο αριθμός των οχημάτων αυξάνεται υπερβολικά, άρα πραγματοποιούνται υψηλές σε αριθμό συνδέσεις στους διακομιστές MEC, επομένως η ζήτηση των κρίσιμων πληροφοριών ή υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο καθίσταται δυσκολότερη. Στην περίπτωση που οι διακομιστές MEC δέχονται κακόβουλες επιθέσεις, η σύνδεσή τους μπορεί να διακοπεί, με αποτέλεσμα τη μη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

10. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΧΡΗΣΗΣ V2X

Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται οι συστάσεις, οι τεχνικές προδιαγραφές, οι υπηρεσίες και οι απαιτήσεις για τις περιπτώσεις χρήσης V2X που έχουν δημιουργηθεί από διαφορετικούς φορείς τυποποίησης ή ερευνητικές κοινότητες. Με βάση το ερευνητικό πρόγραμμα 5GCAR έχει πραγματοποιηθεί ανάλυση των υπάρχουσών περιπτώσεων χρήσης V2X για την απόκτηση των απαραίτητων πληροφοριών και τη δόμηση των περιπτώσεων χρήσης 5GCAR (που θα περιγράψουμε στο επόμενο κεφάλαιο). Παρακάτω, παρουσιάζονται τα σχετικά ευρήματα από τη μελέτη κατά την παραπομπή [95]. Η ανάλυση των περιπτώσεων χρήσης V2X αναφέρονται για τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunications Union- ITU), το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιών Προτύπων (European Telecommunications Standards Institute - ETSI), το Εταιρισμικό Έργο 3^{ης} Γενιάς (3rd Generation Partnership Project - 3GPP), τη Συμμαχία Κινητών Δικτύων Επόμενης Γενιάς (Next Generation Mobile Networks (NGMN) Alliance), τη Γενική Διεύθυνση Κινητικότητας και Μεταφορών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Europe Union Directorate-General for Mobility and Transport-(EU DG MOVE) και τον κυβερνητικό οργανισμό Εθνική Αρχή Οδικής Ασφάλειας (National Highway Traffic Safety Administration - NHTSA) των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Κάθε φορέας ορίζει συστάσεις που θα πρέπει να τηρούνται για την εφαρμογή του σεναρίου V2X, όπως επίσης και τεχνικές προδιαγραφές και πρότυπα. Σημαντική είναι και η μελέτη του έργου 5G-DRIVE⁸¹ που έχει αναλύσει βασικές περιπτώσεις χρήσης για ένα δίκτυο V2X, όπως την “GLOSA” (Green Light Optimal Speed Advisory) που συμβάλει στην ομαλότερη οδική κυκλοφορία, τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και σε περιβαλλοντική απόδοση, αλλά και στην περίπτωση χρήσης “Intelligent Intersection” (Ευφυής Διάβαση) που βοηθά στην ασφάλεια του πεζού με συνεργατικά μηνύματα αλλά στοχεύει και στη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου V2X.

10.1 Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU)

Στη μελέτη περιγραφής των σεναρίων του ερευνητικού προγράμματος 5GCAR [95] αναφέρεται ότι μέσω της Σύστασης ITU-R 2083-0 [96], ο Τομέας Ραδιοεπικοινωνιών της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU Radio Communication - ITU-R) περιγράφει ένα σύνολο στόχων για μελλοντική ανάπτυξη συστημάτων των Διεθνών Κινητών Τηλεπικοινωνιών (International Mobile Telecommunication - IMT) για το έτος 2020 και μετά. Λαμβάνοντας υπόψη την τεχνολογία 5G, περιγράφεται μία μεγάλη ποικιλία δυνατοτήτων που σχετίζονται με τα προβλεπόμενα σενάρια χρήσης, καθώς και το σενάριο του οχήματος χωρίς οδηγό. Μερικά σημαντικά στοιχεία που αναφέρει το έγγραφο της παραπάνω Σύστασης είναι τα εξής:

Πολύ χαμηλή καθυστέρηση – Υψηλή αξιοπιστία: Υπάρχει διαρκώς αυξανόμενη ανάγκη για πολύ χαμηλή καθυστέρηση και υψηλή αξιοπιστία στην επικοινωνία των οχημάτων και τούτο πρέπει να τυγχάνει υποστήριξης. Στις πόλεις, η ανάγκη της επίλυσης του κυκλοφοριακού ζητήματος σε ένα οδικό δίκτυο, είναι μεγάλη. Μεταξύ των περιπτώσεων χρήσης αναφέρεται και το σενάριο της οδήγησης χωρίς οδηγό καθώς και το σενάριο της βελτιστοποίησης ελέγχου της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, όπου η υψηλή αξιοπιστία και η χαμηλή καθυστέρηση μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ποιότητα ζωής των πολιτών.

Υποστήριξη μεγάλου αριθμού χρηστών: Υπάρχουν σενάρια στα οποία αναμένεται υψηλή ανταλλαγή των δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων και των υπηρεσιών της ψυχαγωγίας, ενώ

⁸¹ 5G-DRIVE (“5G Harmonised Research and Trials for serVice Evolution between EU and China”- Grant Agreement No814956). Για περισσότερες αναφορές και αναλύσεις σχετικά με τις V2X προσεγγίσεις του έργου 5G-DRIVE βλέπε τη βιβλιογραφική παραπομπή [110]

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

μπορεί ένας μεγάλος αριθμός χρηστών να είναι ενεργοί ταυτόχρονα (όπως η κίνηση οχημάτων σε ομάδα). Προτείνεται ως βασική περίπτωση χρήσης η κυκλοφοριακή συμφόρηση και γίνεται αναφορά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις οχημάτων της αστυνομίας, της πυροσβεστικής και των ασθενοφόρων, όπου θα πρέπει να υπάρχει μία γρήγορη επικοινωνία στα δίκτυα.

Υψηλή ποιότητα επικοινωνίας σε υψηλή κινητικότητα: Η συνεχόμενη κάλυψη των αποστάσεων σε μικρότερο χρόνο στη σημερινή κοινωνία, σημαίνει υψηλές ταχύτητες μεταφορικών μέσων. Και για αυτόν το λόγο είναι απαραίτητο για τα δίκτυα του μέλλοντος ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν τη σταθερότητα, την αξιοπιστία και τις υπηρεσίες ποιότητας υπηρεσίας, για κάθε εφαρμογή και υπηρεσία. Οι περιπτώσεις χρήσης των επικοινωνιών σε οχήματα και τρένα υψηλής ταχύτητας θεωρούνται ως βασικές λύσεις κάλυψης μεγάλων αποστάσεων και αναμένεται να αναπτυχθούν σε πολλές χώρες.

Διαδίκτυο των Πραγμάτων: Η ταχεία ανάπτυξη του Διαδικτύου και η σύνδεση πολλών συσκευών μεταξύ τους προϋποθέτει τη σύνδεσή τους στο Διαδίκτυο ή τη σύνδεση μεταξύ τους από κοντινή απόσταση. Οι συσκευές μπορεί να είναι έξυπνα κινητά τηλέφωνα, αισθητήρες, ενεργοποιητές, κάμερες, κτλ. Για να μπορεί να ενσωματωθεί το Διαδίκτυο των Πραγμάτων σε μία επικοινωνία V2X και για να χρησιμοποιηθεί σε σενάρια κρίσιμων περιπτώσεων χρήσης (όπως η αυτόνομη οδήγηση), είναι απαραίτητο το να διασφαλιστεί η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η υψηλή αξιοπιστία, η επεκτασιμότητα των δικτύων και η χαμηλή καθυστέρηση.

Συμβατότητα των εφαρμογών: Στα συστήματα των Διεθνών Κινητών Τηλεπικοινωνίας είναι λογικό το να υπάρχουν διαφορετικές εφαρμογές με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και ιδιαίτερες απαιτήσεις. Αυτές οι εφαρμογές θα πρέπει να συνυπάρξουν και να μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους.

Εφαρμογές ακριβούς εντοπισμού θέσης: Η αναβάθμιση και η υποστήριξη των συστημάτων που έχουν να κάνουν με την ακριβή εύρεση της τοποθεσίας και του εντοπισμού, θα βοηθήσουν σημαντικά στη δημιουργία νέων εφαρμογών που θα βασίζονται στα συστήματα εντοπισμού θέσης. Συγκεκριμένα, τα μη επανδρωμένα οχήματα θα ωφεληθούν από τη συγκεκριμένη αναβάθμιση.

Για να δοθεί λύση στα παραπάνω ζητήματα υπάρχει ένα σύνολο απαιτήσεων που πρέπει να τηρείται το οποίο ονομάζεται IMT-2020 [96] και το οποίο πληροί τις απαιτήσεις της τεχνολογίας 5G. Η εξέλιξη νέων τεχνολογιών όπως η ανάπτυξη Δικτύου Οριζόμενου από Λογισμικό (SDN) και της Εικονικοποίησης των Λειτουργιών του Δικτύου (NFVs) ενεργοποιεί σε μεγάλη κλίμακα αισθητήρες, ενεργοποιητές και άλλες συσκευές που δεν υπόκεινται σε χειρισμό από ανθρώπους και γι' αυτό επιτυγχάνεται μαζική επικοινωνία συσκευών τύπου μηχανής (mMTC) η οποία δίνει έμφαση σε πολύ υψηλή αξιοπιστία, στη χαμηλή καθυστέρηση, στη διασφάλιση της ενεργειακής απόδοσης και στο χαμηλό κόστος των συσκευών. Στον παρακάτω Πίνακα 9 παρουσιάζεται ένας κατάλογος από τις οκτώ περιπτώσεις χρήσης που περιέχονται στη Σύσταση ITU-R M.1890 [98].

Πίνακας 9. Περίπτώσεις χρήσης ITU-R

α/ α	Κατηγορία Περίπτωσης Χρήσης	Περίπτωση Χρήσης
1	Προηγμένα Συστήματα Έλεγχου Οχημάτων	<ul style="list-style-type: none"> • Αποφυγή μετωπικής σύγκρουσης. • Αποφυγή πλευρικής σύγκρουσης. • Αποφυγή σύγκρουσης σε σταυροδρόμι . • Συστήματα βελτίωσης όρασης: <i>Βελτιώνεται η ικανότητα του οδηγού ώστε να βλέπει το δρόμο και τα αντικείμενα που είναι πάνω ή κατά μήκος του δρόμου.</i> • Ανάπτυξη περιορισμού πριν από τη σύγκρουση: <i>Προβλέπεται τυχόν επικείμενη σύγκρουση και ενεργοποιούνται συστήματα ασφάλειας των επιβατών πριν από τη σύγκρουση.</i> • Αυτοματοποιημένα οδικά συστήματα. • Ετοιμότητα ασφάλειας: <i>Παρέχονται μηνύματα προειδοποίησης σχετικά με την κατάσταση του οδηγού, του οχήματος και του δρόμου.</i>
2	Προηγμένα Συστήματα Διαχείρισης Κυκλοφορίας	<ul style="list-style-type: none"> • Παρακολούθηση και έλεγχος κυκλοφοριακού δικτύου: <i>Διαχείριση της κίνησης της κυκλοφορίας σε δρόμους και αυτοκινητόδρομους.</i> • Διαχείριση της ταξιδιωτικής ζήτησης: <i>Υποστήριξη πολιτικών και κανονισμών που έχουν σχεδιαστεί για το μετριασμό των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων της κυκλοφοριακής συμφόρησης.</i> • Εντοπισμός και διαχείριση συμβάντων: <i>Παροχή βοήθειας στους δημόσιους και ιδιωτικούς οργανισμούς για να εντοπίζουν γρήγορα τα περιστατικά ώστε να ανταποκριθούν και να ελαχιστοποιήσουν τις επιπτώσεις των περιστατικών στην κίνηση.</i> • Δοκιμή και μετριασμός εκπομπών: <i>Παρέχονται πληροφορίες για την παρακολούθηση της ποιότητας της περιοχής κάλυψης και για την ανάπτυξη στρατηγικών βελτίωσης της ποιότητας της περιοχής κάλυψης.</i> • Διαχείριση στάθμευσης: <i>Παρέχονται πληροφορίες για χώρους στάθμευσης ή για τη διαχείριση της εισόδου και της εξόδου οχημάτων.</i>
3	Προηγμένα Συστήματα Πληροφοριών Ταξιδιού	<ul style="list-style-type: none"> • Πληροφορίες ταξιδιού πριν από το ταξίδι: <i>Παροχή πληροφοριών για την επιλογή του καλύτερου τρόπου μεταφοράς, της ώρας αναχώρησης και της διαδρομής.</i> • Πληροφορίες για τον οδηγό κατά τη διαδρομή: <i>Παροχή συμβουλών για τον οδηγό και υπογραφή αναγνώρισης στο όχημα για ευκολία και ασφάλεια κατά τη διάρκεια του ταξιδιού.</i> • Πληροφορίες διέλευσης κατά τη διαδρομή: <i>Παροχή πληροφοριών σε ταξιδιώτες που χρησιμοποιούν δημόσιες συγκοινωνίες μετά την έναρξη του ταξιδιού.</i> • Καθοδήγηση διαδρομής: <i>Παρέχει απλών οδηγιών προς τους ταξιδιώτες, για το πώς να φτάσουν καλύτερα στους προορισμούς τους.</i> • Αντιστοίχιση και κράτηση διαδρομής: <i>Η κοινή χρήση διαδρομής καθίσταται ευκολότερη και βολικότερη.</i>
4	Προηγμένα Συστήματα Δημόσιων Μεταφορών	<ul style="list-style-type: none"> • Διαχείριση δημόσιων μεταφορών: <i>Αυτοματοποίηση λειτουργιών, προγραμματισμός και διαχείριση λειτουργιών συστημάτων δημόσιας συγκοινωνίας.</i>

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

		<ul style="list-style-type: none"> • Παρακολούθηση και παρακολούθηση ασφάλειας: <i>Ανίχνευση της ασφαλούς κατάστασης ενός επαγγελματικού οχήματος, φορτίου και του οδηγού.</i>
5	Προηγμένα Συστήματα Διαχείρισης Ομάδας Οχημάτων	<ul style="list-style-type: none"> • Διαχείριση οχημάτων: <i>Παροχή ηλεκτρονικής αγοράς πιστοποιητικών και αυτόματης αναφοράς χιλιομέτρων και καυσίμων.</i> • Διαχείριση ομάδας οχημάτων • Προκαθορισμός οχήματος: <i>Διευκόλυνση του εγχώριου και διεθνούς εκτελωνισμού, ελαχιστοποιώντας τις στάσεις.</i> • Αυτοματοποιημένες επιθεωρήσεις ασφάλειας για το μήκος του δρόμου: <i>Διευκόλυνση των ελέγχων που γίνονται κατά μήκος του δρόμου.</i> • Αντιμετώπιση επικίνδυνων υλικών: <i>Παρέχει άμεσης περιγραφή των επικίνδυνων υλικών προς τους υπευθύνους για θέματα έκτακτης ανάγκης.</i>
6	Συστήματα Διαχείρισης Έκτακτης Ανάγκης	<ul style="list-style-type: none"> • Ειδοποίηση έκτακτης ανάγκης και προσωπική ασφάλεια: <i>Παρέχει άμεσης ειδοποίησης για ένα συμβάν και άμεσου αιτήματος για βοήθεια.</i> • Ασφάλεια δημόσιων ταξιδιών: <i>Δημιουργία ενός ασφαλούς περιβάλλον για τους παρόχους δημόσιων μεταφορών.</i> • Διαχείριση οχημάτων έκτακτης ανάγκης: <i>Μείωση του χρόνου που χρειάζονται τα οχήματα έκτακτης ανάγκης για να ανταποκριθούν σε ένα συμβάν.</i>
7	Υπηρεσίες Ηλεκτρονικών Πληρωμών	<ul style="list-style-type: none"> • Υπηρεσίες ηλεκτρονικών πληρωμών: <i>Επιτρέπεται στους ταξιδιώτες να πληρώνουν ηλεκτρονικά για τις υπηρεσίες μεταφοράς με βάση την επικοινωνία του οχήματος με υποδομή (V2I).</i> • Υπηρεσίες ηλεκτρονικών πληρωμών: <i>Επιτρέπεται στους ταξιδιώτες να πληρώνουν ηλεκτρονικά για τις υπηρεσίες μεταφοράς με βάση το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα και με την επικοινωνία ευρείας περιοχής.</i>
8	Υποστηρικτικά Συστήματα Πεζών	<ul style="list-style-type: none"> • Οδηγίες διαδρομής πεζών: <i>Βοήθεια στους πεζούς ώστε να βρίσκουν τις κατάλληλες οδηγίες για να πηγαίνουν στους προορισμούς τους.</i> • Αποφυγή ατυχημάτων οχήματος-πεζών: <i>Ανίχνευση επικίνδυνων καταστάσεων και παροχή του απαραίτητου συναγερμού τόσο για τους πεζούς όσο και για τους οδηγούς.</i>

10.2 Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI)

Οι περιπτώσεις χρήσεις σε ένα δίκτυο V2X έχουν περιγραφεί στην Τεχνική Έκθεση ETSI TR 102 638 BSA (Basic Set of Applications) [99] και αναφέρονται στην οδική ασφάλεια, στη βελτίωση της οδικής κυκλοφορίας και σε άλλα θέματα (όπως ενημέρωση πολυμεσικών αρχείων, οικολογική οδήγηση, υπηρεσία SOS, αυτόματη στάθμευση, κτλ.). Η Τεχνική Έκθεση TR 102 638 BSA αναπτύχθηκε το έτος 2010 και καλύπτει ένα μεγάλο εύρος περιπτώσεων χρήσης και εφαρμογών, όπως φαίνεται και στον παρακάτω Πίνακα 10. Υποστηρίχθηκε από την 1^η έκδοση προτύπων του ETSI ITS. Είναι υπό αναθεώρηση για να καλύψει τις ανάγκες προτύπων της 2^{ης} έκδοσης του ETSI ITS [95].

10.2.1 ETSI TC ITS - Τεχνικές προδιαγραφές Έκδοσης 1

Το ETSI έχει ορίσει πρότυπα για τρεις υπηρεσίες οδικής ασφάλειας μέσα στο πλαίσιο των χαρακτηριστικών ITS της Έκδοσης 1:

- Υπηρεσία σηματοδότησης οδικού κινδύνου (Road Hazard Signaling service - RHS)
- Εφαρμογή προειδοποίησης κινδύνου μετωπικής σύγκρουσης (Longitudinal Collision Risk Warning application - LCRW)
- Εφαρμογή προειδοποίησης κινδύνου σύγκρουσης σε σταυροδρόμι (Intersection Collision Risk Warning application - ICRW)

Οι παραπάνω υπηρεσίες συνεισφέρουν στην ασφάλεια καθώς και στην επαγρύπνηση του οδηγού, για την αποφυγή των συγκρούσεων. Αυτό επιτυγχάνεται με μηνύματα DENM (Decentralized Environmental Notification Messages) και με παροχή πληροφοριών στον οδηγό σχετικά με την επικινδυνότητα του δρόμου. Αυτό γίνεται με [95]:

- «Πληροφόρηση του οδηγού»: Η οποία επιτυγχάνεται μέσω ψηφιακών ευρυζωνικών καναλιών ή μέσω του κυψελοειδούς δικτύου ή με την υπηρεσία “In-Vehicle signage – IVS” που παρέχει δυναμικές πληροφορίες από τη σηματοδότηση κυκλοφορίας του δρόμου. Έτσι ο οδηγός ενημερώνεται άμεσα για τους ισχύοντες κανονισμούς, τις συμβουλές που αφορούν στην κυκλοφορία ανά πάσα στιγμή και όχι μόνο όταν διέρχεται από μία σταθερή πινακίδα ή από κιγκλιδώματα όπου εκπέμπονται τέτοιου είδους δεδομένα.
- «Ευαισθητοποίηση του οδηγού» που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή RHS κατά τη λήψη των μηνυμάτων DENM (Decentralized Environment Notification Message) και CAM (Cooperative Awareness Messages).
- «Προειδοποίηση του οδηγού» που επιτυγχάνεται με τις εφαρμογές ICRW και LCRW κατά τη λήψη μηνυμάτων DENM και CAM (Cooperative Awareness Messages) σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ETSI TC ITS WG1.

10.2.2 ETSI TC ITS- Τεχνικές προδιαγραφές Έκδοσης 2:

Το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) έχει ξεκινήσει μελέτες από το έτος 2016 για να εκδώσει συγκεκριμένα πρότυπα σε νέες υπηρεσίες ITS που θα εφαρμόζονται στο πλαίσιο των προτύπων του ETSI ITS της Έκδοσης 2. Αυτές οι νέες περιπτώσεις χρήσης αφορούν αντίστοιχα στις εφαρμογές ITS που έχουν σχέση με την οδική ασφάλεια και στη βελτίωση της κυκλοφορίας. Αναφέρονται στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Συνεργατική Προσαρμοστική Πλοήγηση (Cooperative Adaptive Cruise Control - CACC) [100]
- Προστασία Ευάλωτων Χρηστών (Vulnerable Road User protection) [101]
- Κίνηση σε ομάδα οχημάτων (Platooning) [102]

CACC: Η εφαρμογή CACC (Cooperative Adaptive Cruise Control) ορίζει ένα σύστημα βοήθειας οδήγησης που προσαρμόζει την ταχύτητα του οχήματος αυτόματα, έτσι ώστε να διατηρείται το σωστό χρονικό περιθώριο μεταξύ των οχημάτων, ανάλογα με την κυκλοφορία που υπάρχει στο οδικό δίκτυο κάνοντας χρήση των πληροφοριών από την κοινοποίηση των γειτονικών οχημάτων ή την υποδομή του δικτύου. Επίσης η εφαρμογή CACC αποτελεί επέκταση του συστήματος Adaptive Cruise Control (ACC) και παρέχει καλύτερο χρόνο ανταπόκρισης, λόγω της επικοινωνίας Vehicle to Vehicle (V2V).

VRU-Protection: Η εφαρμογή VRU-Protection (Vulnerable Road User-Protection) χρησιμοποιείται για την αύξηση της ευαισθητοποίησης του οδηγού και της περαιτέρω ασφάλειας μαζί με τη διαχείριση

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

της κυκλοφορίας μέσω των σταθμών ITS. Οι εφαρμογές VRU-Protection αφορούν στους ευάλωτους χρήστες όπως οι πεζοί, οι μοτοσυκλέτες, τα ποδήλατα και εκείνοι που συμμετέχουν στην κυκλοφορία ενός οδικού δικτύου αλλά με μειωμένη κινητικότητα (πχ. με Skateboard ή ηλεκτρικό πατίνι). Παρέχονται άμεσα πληροφορίες σε ανθρώπους ή σε αυτόματα συστήματα. Επίσης μπορούν να δημιουργηθούν μηνύματα ειδοποίησης “VRU-collision risk warnings” αποστέλλοντάς τα αυτοματοποιημένα διαμέσου των Σταθμών ITS και σε άλλους Σταθμούς ITS προκειμένου να ληφθούν τα μηνύματα και από άλλους «ευάλωτους» χρήστες που εμπλέκονται σε ένα σενάριο (όπως με μοτοσυκλέτες, πεζούς ή ποδήλατα).

Platooning: Το βασικότερο πλεονέκτημα της κίνησης σε μία ομάδα οχημάτων είναι η διατήρηση ενός πολύ μικρού χρονικού διαστήματος μεταξύ των οχημάτων, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα τις απαιτήσεις οδικής ασφάλειας. Το χρονικό κενό μεταξύ των οχημάτων είναι πολύ μικρό και για να διασφαλιστεί ο χρόνος ανταπόκρισης που είναι λιγότερος από 0.5sec τούτο χρειάζεται να γίνεται με λειτουργίες αυτόνομης οδήγησης διότι λογικά είναι αδύνατο να εφαρμοστεί σε χειροκίνητη οδήγηση (όταν ο ανθρώπινος χρόνος αντίδρασης είναι περίπου 1.31-1.6 sec). Η κίνηση σε ομάδα οχημάτων απαιτεί την αυτόνομη οδήγηση αλλά και πλευρικούς ελέγχους. Το κυριότερο οφέλη της είναι η μειωμένη κατανάλωση καυσίμου λόγω της μειωμένης αντίστασης του αέρα, η βελτιστοποίηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, αλλά και η μείωση των τροχαίων ατυχημάτων καθώς δεν υπάρχει το ανθρώπινο σφάλμα.

Στον παρακάτω πίνακα 10 φαίνονται οι σημαντικότερες περιπτώσεις χρήσης και οι εφαρμογές ενός δικτύου V2X που αναφέρονται στο τεχνικό εγχειρίδιο ETSI- TR 102 638 [99].

Πίνακας 10. Περιπτώσεις χρήσης και εφαρμογών V2X – ETSI

A/A	Κατηγορία Εφαρμογών	Εφαρμογή	Περίπτωση Χρήσης
1	Ενεργητική ασφάλεια στο δρόμο	<i>Βοήθεια οδήγησης – Συνεργατική συνειδητοποίηση</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Προειδοποίηση για όχημα έκτακτης ανάγκης • Ένδειξη αργοπορίας του οχήματος • Προειδοποίηση σύγκρουσης σε σταυροδρόμι • Ένδειξη προσέγγισης μοτοσυκλέτας
		<i>Βοήθεια οδήγησης – Προειδοποίηση για κίνδυνο στο δρόμο</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ηλεκτρονικά φώτα φρένων έκτακτης ανάγκης • Προειδοποίηση για οδήγηση σε λάθος κατεύθυνση του δρόμου • Στατικό όχημα - ατύχημα • Στατικό όχημα - πρόβλημα οχήματος • Προειδοποίηση κατάστασης κυκλοφορίας • Προειδοποίηση παραβίασης σήματος οδικής κυκλοφορίας • Προειδοποίηση για οδικά έργα • Προειδοποίηση κινδύνου σύγκρουσης • Αποκεντρωμένα δεδομένα αυτοκινήτων - Επικίνδυνη τοποθεσία • Αποκεντρωμένα δεδομένα αυτοκινήτων - Βροχοπτώσεις • Αποκεντρωμένα δεδομένα αυτοκινήτων - Πρόσφυση δρόμου • Αποκεντρωμένα δεδομένα αυτοκινήτων - Ορατότητα • Αποκεντρωμένα δεδομένα αυτοκινήτων – Άνεμος
2	Συνεργατική κυκλοφοριακή απόδοση	<i>Διαχείριση ταχύτητας</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ειδοποίηση για τα όρια της ταχύτητας • Συμβουλή βέλτιστης ταχύτητας για το σηματοδοτημένο κυκλοφορίας
		<i>Συνεργατική πλοήγηση</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Πληροφορίες κυκλοφορίας και προτεινόμενο δρομολόγιο

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

			<ul style="list-style-type: none"> • Βελτιωμένη καθοδήγηση και πλοήγηση της διαδρομής • Προειδοποίηση για περιορισμένη πρόσβασης και ειδοποίηση παράκαμψης • Εσωτερική σήμανση για το όχημα
3	Συνεργατικές τοπικές υπηρεσίες	Υπηρεσίες βάσει τοποθεσίας	<ul style="list-style-type: none"> • Ειδοποίηση σημείου ενδιαφέροντος • Αυτόματος έλεγχος της πρόσβασης και διαχείριση της στάθμευσης • Τοπικό ηλεκτρονικό εμπόριο ITS • Λήψη πολυμέσων
4	Υπηρεσίες παγκόσμιου διαδικτύου	Υπηρεσίες κοινότητας	<ul style="list-style-type: none"> • Ασφαλιστικές και χρηματοοικονομικές υπηρεσίες • Διαχείριση ομάδας οχημάτων
		Διαχείριση Κύκλου ζωής των σταθμών ITS	<ul style="list-style-type: none"> • Παροχή και ενημέρωση λογισμικού / δεδομένων των οχημάτων • Βαθμονόμηση των δεδομένων του οχήματος και των RSU

10.3 Συνεταιριστικό Έργο 3ης Γενιάς (3GPP)

Ο φορέας 3GPP έχει δημοσιεύσει τις τεχνικές προδιαγραφές που πρέπει να υιοθετήσουν οι υπηρεσίες για ένα δίκτυο V2X και συγκεκριμένα, η Τεχνική Προδιαγραφή 3GPP TS 22.185 [102] που συνιστά την Έκδοση 14 και η οποία δημοσιεύτηκε τον Μάρτιο του έτους 2016, είναι η πρώτη που επικεντρώνεται στις περιπτώσεις χρήσεις και τις απαιτήσεις που χρειάζεται ένα δίκτυο V2X [95]. Τον Μάρτιο του 2017 δημοσιοποιήθηκε η Τεχνική Προδιαγραφή 3GPP TS 22.186 (Έκδοση 15) [103] με εστίαση σε προηγμένα σενάρια V2X με υποστήριξη της τεχνολογίας 5G, περιλαμβάνοντας πιο αυστηρές απαιτήσεις και περισσότερο βελτιωμένες λειτουργίες. Η συγκεκριμένη Έκδοση 15 παρουσιάζει τις απαιτήσεις σε διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης ενός δικτύου V2X, με έμφαση στην αυτόνομη οδήγηση και στη χαμηλή καθυστέρηση [95].

10.3.1 3GPP – Τεχνικές Προδιαγραφές Έκδοσης 14

Η Τεχνική Προδιαγραφή 3GPP TS 22.185 [102] (Έκδοση 14) επικεντρώνεται στις περιπτώσεις χρήσης που παρουσιάζονται στην Τεχνική Έκθεση ETSI TR 102 638 [99], δηλαδή το πρώτο κείμενο που εξέδωσε το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιών Προτύπων (ETSI) αναφορικά με τα Νοήμονα Συστήματα Μεταφορών (ITS). Το περιεχόμενο του κειμένου ETSI TR 102 638 επικεντρώνεται στην ασφάλεια της οδήγησης, στη διαχείριση κυκλοφορίας αλλά και σε άλλες υπηρεσίες που σχετίζονται με την ψυχαγωγία, τη στάθμευση, το εμπόριο, την ενοικίαση, τους χάρτες, τον συγχρονισμό των προσωπικών δεδομένων, την οικολογική οδήγηση, την ειδοποίηση κλεμμένου οχήματος, την απομακρυσμένη συντήρηση και έγκαιρη ειδοποίηση του οχήματος, τη διαχείριση ομάδας οχημάτων, κτλ.

Επίσης, το πρώτο σύνολο των απαιτήσεων χρήσης V2X του ETSI TR 102 638 (δηλαδή για περιπτώσεις ασφάλειας, διαχείρισης της κυκλοφορίας και για υπηρεσίες ψυχαγωγίας) έχει επίσης μελετηθεί και από την Εθνική Αρχή Οδικής Ασφάλειας (NHTSA) των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής όπου υπάρχει ευαισθητοποίηση για το περιβάλλον, για αύξηση της ασφάλειας και για τη βελτίωση της κυκλοφορίας του οδικού δικτύου.

Με βάση τις προδιαγραφές του φορέα 3GPP, η επικοινωνία στηρίζεται κυρίως σε μηνύματα ειδοποίησης CAM (Co-operative Awareness Message) και DNM (Decentralized environmental Notification Message). Αυτό γίνεται με μία περιοδικότητα μετάδοσης έως 10Hz για μηνύματα άμεσης ανάγκης ή και χαμηλότερης συχνότητας για μηνύματα λιγότερο επείγοντα (όπως π.χ. μία προειδοποίηση για οδικά έργα). Η απαίτηση καθυστέρησης μονής κατεύθυνσης από άκρο-σε-άκρο

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

είναι μεταξύ 100 ms και 1000 ms. Επίσης η απαίτηση που ζητείται για αξιοπιστία είναι της τάξης του 95% [95].

Στον παρακάτω Πίνακα 11 [95] φαίνονται οι καταχωρήσεις απαιτήσεων για την Έκδοση 14 με βάση την Τεχνική Έκθεση 3GPP TR 22.885 [105].

Πίνακας 11. Απαιτήσεις των περιπτώσεων χρήσης V2X- 3GPP

	Αποτελεσματική απόσταση *	Απόλυτη ταχύτητα ενός UE που υποστηρίζει υπηρεσίες V2X	Σχετική ταχύτητα μεταξύ δύο UEs που υποστηρίζουν υπηρεσίες V2X	Μέγιστη ανεκτή λανθάνουσα καθυστέρηση	Ελάχιστη αξιοπιστία λήψης μηνύματος ράδιο στρώματος
Προαστιακή οδός / Κύρια οδός	200 m	50 km/h	100 km/h	100 ms	90%
Δρόμος ελεύθερης κίνησης/Αυτοκινητόδρομος	320 m	160 km/h	280 km/h	100 ms	80%
Οδός ταχείς Κυκλοφορίας (Autobahn)	320 m	280 km/h	280 km/h	100 ms	80%
NLOS/ Αστική	150 m	50 km/h	100 km/h	100 ms	90%
Αστική διάβαση **	50 m	50 km/h	100 km/h	100 ms	95%
Περιοχή Συγκροτήματος / Αγορών	50 m	30 km/h	30 km/h	100 ms	90%
Επικείμενη σύγκρουση	20 m	80 km/h	160 km/h	20 ms ***	95%

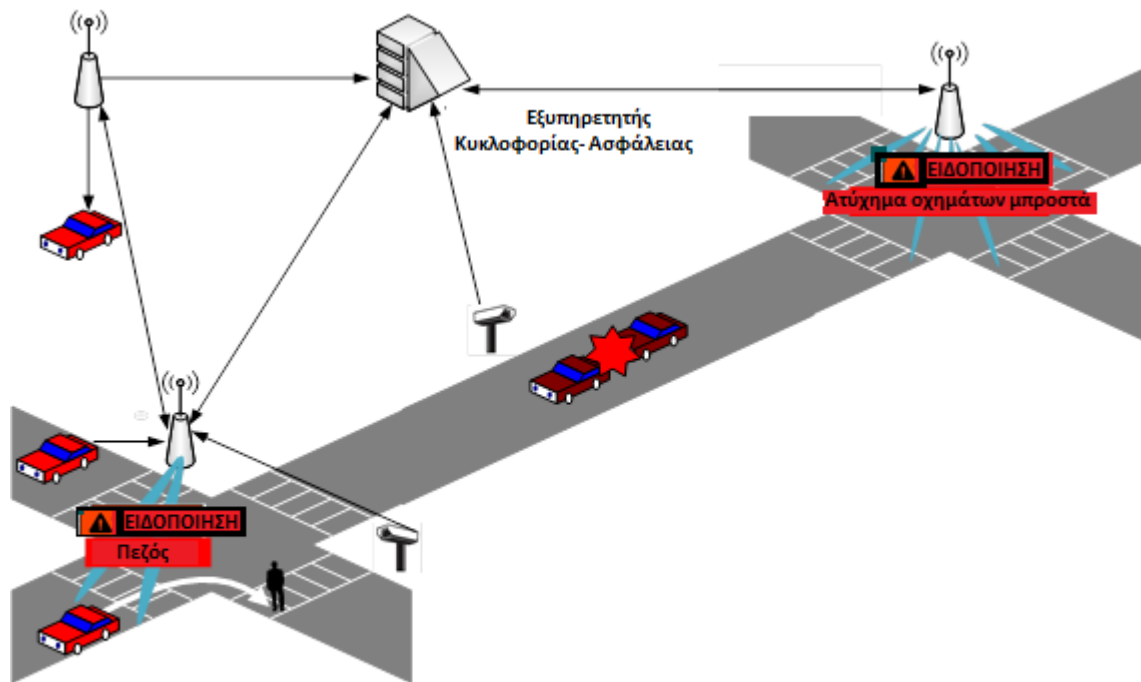
Σημείωση *: Για την υποστήριξη του χρόνου TTC (Time To Collision) των 4 δευτερολέπτων, δηλαδή τον χρόνο ασφάλειας πριν επιτευχθεί μία μετωπική σύγκρουση, το πραγματικό εύρος της απόστασης είναι μεγαλύτερο διότι απαιτούνται πολλαπλές μεταδόσεις V2X για την αξιοπιστία της μετάδοσης

Σημείωση **: Το συγκεκριμένο σενάριο αντιπροσωπεύει ένα νέο περιστατικό που δημιουργείται σε μικρό χρονικό διάστημα και απαιτεί υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας για να διασφαλιστεί η έγκαιρη παράδοση των μηνυμάτων, επομένως η τελική αξιοπιστία μετάδοσης ενδέχεται να μην είναι η κατάλληλη.

Σημείωση ***: Στο επίπεδο της εφαρμογής του δικτύου V2X απαιτείται να μην υπάρχει διαδοχική απώλεια του πακέτου για περισσότερο από 5%. όμως, εάν η πιθανότητα απώλειας ενός μηνύματος είναι μικρότερη από 20%, ικανοποιείται πάλι η απαίτηση της απώλειας του πακέτου, λόγω της αναμετάδοσης σήματος στο Φυσικό στρώμα (PHY) και του γρήγορου ρυθμού μετάδοσης στο επίπεδο εφαρμογής.

Στο παρακάτω Σχήμα 41 [105] παρουσιάζεται το σενάριο όπου οι κόμβοι της υποδομής του δικτύου (RSU) και οι διακομιστές οδικής ασφάλειας συνεργάζονται και δημιουργούν μηνύματα οδικής ασφάλειας για την ασφάλεια ενός οδικού δικτύου.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)



Σχήμα 41.Υπηρεσία ασφάλειας V2X δια μέσου του διακομιστή Οδικής Ασφάλειας

10.3.2 3GPP- Τεχνικές Προδιαγραφές Έκδοσης 15

Η Έκδοση 15 του Τεχνικής Προδιαγραφής 3GPP TR 22.886 [106] και της Τεχνικής Προδιαγραφής 3GPP TS 22.186 [104] παρουσιάζουν τις περιπτώσεις χρήσης με προηγμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά, δηλαδή με υψηλές απαιτήσεις όπως η αυτόνομη οδήγηση, η απομακρυσμένη οδήγηση ή σενάρια με έκτακτες συνθήκες που χρειάζονται πολύ μικρή καθυστέρηση και πολύ μεγάλη αξιοπιστία. Οι τεχνικές προδιαγραφές που χρειάζονται οι υπηρεσίες V2X για να εξυπηρετήσουν αυτές τις αναβαθμισμένες περιπτώσεις χρήσης ενός δικτύου V2X συγκεντρώθηκαν σε 5 γενικές κατηγορίες περιπτώσεων [95].

1. *Προηγμένη Οδήγηση:* Ενεργοποιείται η πλήρης ή μερική αυτόνομη οδήγηση, δίνοντας τη δυνατότητα στα οχήματα να συντονίζουν και να συγχρονίζουν τις μανούβρες και τους ελιγμούς μεταξύ τους.
2. *Εκτεταμένοι Αισθητήρες:* Ενεργοποιείται η ανταλλαγή ροής των δεδομένων ή των επεξεργασμένων δεδομένων μέσω των τοπικών αισθητήρων ή των «ζωντανών» εικόνων/βίντεο και έτσι αυξάνεται η «αντίληψη» του οχήματος, ανεξάρτητα από τους αισθητήρες που περιλαμβάνει το όχημα και από το τι μπορεί αυτό να ανιχνεύσει.
3. *Κίνηση σε Ομάδα Οχημάτων:* Ενεργοποιείται μία δυναμική ομάδα από οχήματα που ταξιδεύουν από κοινού με συγκεκριμένη ταχύτητα και σε μικρότερη απόσταση από ό,τι σε συνηθισμένη οδήγηση.
4. *Απομακρυσμένη Οδήγηση:* Ενεργοποιείται η οδήγηση από απόσταση με μία κονσόλα (αναλόγιο) χειρισμού από κάποιον χρήστη ή από μία εφαρμογή V2X που διαχειρίζεται το απομακρυσμένο όχημα και έχει εφαρμογή σε επιβάτες που δεν μπορούν να οδηγήσουν μόνοι τους ή στην περίπτωση όπου το όχημα βρίσκεται σε επικίνδυνο περιβάλλον.
5. *Γενικά Θέματα:* Εδώ αναφέρονται όλες οι υπόλοιπες περιπτώσεις χρήσης που πρέπει να ικανοποιούν τις τεχνικές προδιαγραφές που απαιτούνται από ένα δίκτυο V2X. Συμπεριλαμβάνονται η αλλαγή του Δικτύου Ραδιοπρόσβασης με χρήση πολλαπλών εξοπλισμών ραδιοπρόσβασης (multi-RAT) και οι απαιτήσεις επικοινωνίας που σχετίζονται με όλα τα σενάρια, κτλ.

10.3.3 3GPP- Τεχνικές Προδιαγραφές Έκδοσης 16

Η Έκδοση 16 της Τεχνικής Έκθεσης 3GPP TR 22.886 [107] που έλαβε χώρα τον Ιούνιο του 2018, συνέβη με σκοπό τον εντοπισμό των περιπτώσεων χρήσης και πιθανών απαιτήσεών τους και για την αναβάθμιση των υπηρεσιών V2X στους ακόλουθους τομείς [107]:

- Υποστήριξη για υπηρεσίες V2X που δεν σχετίζονται με την ασφάλεια όπως η ψυχαγωγία με υψηλή ταχύτητα δεδομένων και σε κίνηση, κινητό σημείο σύνδεσης / γραφείο / σπίτι ή δυναμική ενημέρωση ψηφιακού χάρτη.
- Υποστήριξη για υπηρεσίες ασφάλειας V2X όπως η αυτόνομη οδήγηση, η κίνηση σε ομάδα οχημάτων, ο χειρισμός προτεραιότητας μεταξύ υπηρεσιών V2X που σχετίζονται με την ασφάλεια και άλλων υπηρεσιών.
- Υποστήριξη για υπηρεσίες V2X σε πολλαπλές ραδιοτεχνολογίες 3GPP, όπως σε LTE, σε Νέας Γενιάς Τεχνολογία Ραδιοπρόσβασης (RAT-NR) και σε διάφορα περιβάλλοντα δικτύων όπως η διαλειτουργικότητα με τεχνολογία V2X εκτός 3GPP (π.χ. ITS-G5, DSRC, ITS-Connect).

Ο προσδιορισμός των περιπτώσεων χρήσης και των πιθανών απαιτήσεων καλύπτει τόσο την εξελιγμένη Τεχνολογία Ραδιοπρόσβασης (RAT) LTE όσο και την Τεχνολογία της Ραδιοπρόσβασης της Νέας Γενιάς (RAT-NR) 3GPP. Επίσης καλύπτει τη λειτουργία V2X χρησιμοποιώντας Τεχνολογίες Ραδιοπρόσβασης 3GPP όπου δεν υπάρχουν τεχνολογίες 3GPP V2X (π.χ. ITS-G5, DSRC, ITS-Connect). Οι τεχνικές απαιτήσεις της Τεχνικής Έκθεσης υποστηρίζουν τις υπηρεσίες για δίκτυα V2X με βελτιωμένα σενάρια περιπτώσεων χρήσης, αυστηρότερα κριτήρια και με απαιτήσεις για προηγμένες καταστάσεις όπου δεν μπορούν να καλυφθούν με την Τεχνική Προδιαγραφή 3GPP TS 22.185 [102].

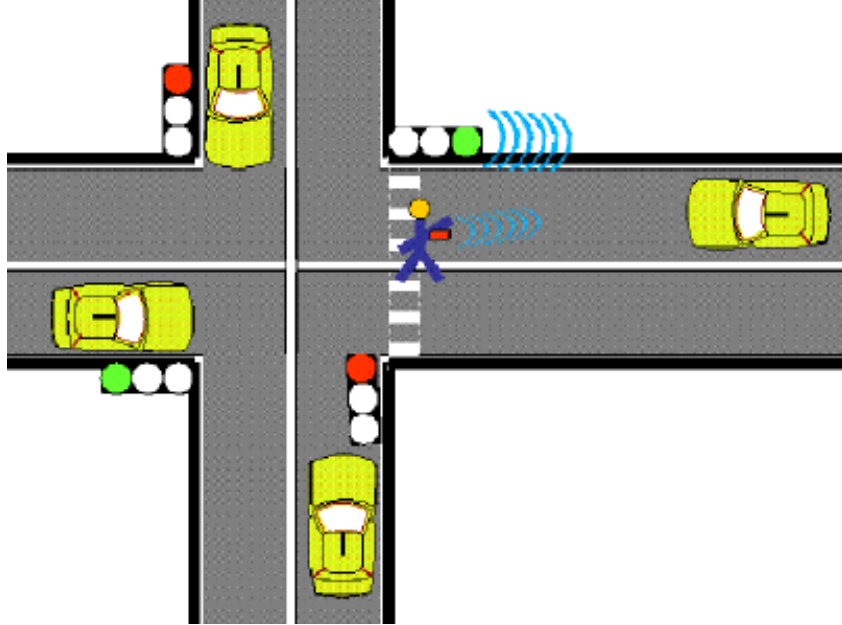
Η συγκεκριμένη έκδοση αναφέρεται στις 5 γενικές κατηγορίες περιπτώσεων της Έκδοσης 15, όπως: *Προηγμένη Οδήγηση, Εκτεταμένοι Αισθητήρες, Κίνηση σε Ομάδα Οχημάτων, Απομακρυσμένη Οδήγηση, Γενικά Θέματα.*

Επίσης, σε πολλές διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης οι εφαρμογές μοιράζονται το ίδιο μήνυμα δικτύου V2X. Έτσι, όταν οι πληροφορίες περιλαμβάνονται σε ένα μήνυμα DENM (Decentralized environmental Notification Message), αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από πολλές εφαρμογές, όπως είναι τα φώτα πέδησης έκτακτης ανάγκης, η προειδοποίηση λανθασμένου τρόπου οδήγησης και ούτω καθεξής. Συνεπώς, δεν υφίσταται η ανάγκη για κάθε εφαρμογή ώστε να δημιουργεί ξεχωριστά μηνύματα δικτύου V2X. Στο παρακάτω Σχήμα 42 [105] παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ασφάλειας ενός ευάλωτου χρήστη στο δρόμο.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Περιγραφή:

Αυτή η περίπτωση χρήσης περιγράφει το σενάριο κατά το οποίο ένα όχημα και ένας πεζός είναι και οι δύο εξοπλισμένοι με δυνατότητες δικτύου V2X, ανιχνεύουν ο ένας την παρουσία του άλλου και ειδοποιούν μεταξύ τους εάν υπάρχει επικείμενος κίνδυνος ατυχήματος. Η ικανότητα να μοιράζονται το ίδιο μήνυμα DENM επεκτείνει το όφελος της υπηρεσίας ασφάλειας V2X στους πεζούς και σε άλλους ευάλωτους χρήστες του δρόμου (π.χ. ποδηλάτες, μοτοσυκλέτες, κτλ.).



Σχήμα 42. Περίπτωση Χρήσης : Ασφάλεια Ευάλωτου Χρήστη (VRU)

Σημείωση:

Το κείμενο ETSI TR 102.638 [99] ορίζει μία παρόμοια περίπτωση χρήσης προειδοποίησης ευάλωτων χρηστών, όπου μία συσκευή του χρήστη εκπέμπει μηνύματα CAM με πληροφορίες σχετικά με την παρουσία, την πορεία και την ταχύτητα του ευάλωτου χρήστη. Τα κοντινά οχήματα μπορούν να λαμβάνουν, να αποκωδικοποιούν και να επεξεργάζονται τα μηνύματα CAM και συνεπώς να παρέχουν προειδοποιήσεις στον οδηγό για την αποφυγή της σύγκρουσης με τον ευάλωτο χρήστη. Αυτή η περίπτωση χρήσης απαιτεί μέγιστο χρόνο καθυστέρησης τα 100 ms και μία ελάχιστη συχνότητα μετάδοσης μηνυμάτων CAM, με 1 μήνυμα ανά δευτερόλεπτο.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Στον παρακάτω Πίνακα 12 φαίνονται οι περιπτώσεις χρήσης για προηγμένες καταστάσεις οδήγησης, για εκτεταμένους αισθητήρες, για απομακρυσμένη οδήγηση και για περιπτώσεις γενικής χρήσης με βάση τις Τεχνικές Προδιαγραφές 3GPP TR 22.886 Έκδοσης 15 και της Έκδοσης 16 ([106], [107]).

Πίνακας 12. Λίστα με τις περιπτώσεις χρήσης (Έκδοση 15-16)

Κατηγορία Περίπτωση Χρήσης	Περίπτωση Χρήσης
Προηγμένη Οδήγηση	Συνεργατική Αποφυγή Σύγκρουσης
	Κοινοποίηση πληροφοριών για ημιαυτόνομη οδήγηση
	Κοινοποίηση πληροφοριών για πλήρη αυτοματοποιημένη οδήγηση
	Ευθυγράμμιση τροχιάς οχήματος έκτακτης ανάγκης
	Παροχή πληροφοριών ασφάλειας για σταυροδρόμι με οδήγηση μέσα στην πόλη
	Συνεργασία Αλλαγής Λωρίδας για αυτόνομα οχήματα
	Έκθεση βίντεο 3D για σενάριο V2X
Εκτεταμένοι αισθητήρες	Αυτοκίνητο: Κοινή χρήση αισθητήρων και χαρτών
	Συλλογική αντίληψη για το περιβάλλον
	Κοινή χρήση των δεδομένων βίντεο για αυτόματη οδήγηση
Απομακρυσμένη Οδήγηση	Υποστήριξη eV2X για απομακρυσμένη οδήγηση
	Απομακρυσμένη υποστήριξη
	Επικοινωνία οχημάτων μεταξύ διαφορετικών 3GPP RAT
Περιπτώσεις Χρήσης που χρησιμοποιούνται μόνο για τις γενικές απαιτήσεις	Περιβάλλον πολλαπλών Δημόσιων Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας (Public Land Mobile Network- PLMN)
	Περίπτωση Χρήσης σε Πολλαπλή Ραδιοτεχνολογία (RAT)
	Περίπτωση Χρήσης σε περιοχή εκτός κάλυψης 5G
	Δυναμική κοινή χρήση
	Σύνδεση μέσω οχήματος
	Ασφαλής ενημέρωση λογισμικού για την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου

Παρατηρήσεις:

- Οι πλήρεις αυτοματοποιημένες περιπτώσεις χρήσης οδήγησης δεν απαιτούν ανθρώπινη παρέμβαση.
- Τα εμπλεκόμενα οχήματα ενεργοποιούν μία συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης για λόγους ασφαλείας (π.χ. ελιγμός έκτακτης ανάγκης).

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

- Τα αυτόνομα οχήματα αναλαμβάνουν να συντονίσουν και να σχεδιάσουν τους ελιγμούς, με βάση την ενσωματωμένη περιβαλλοντική αντίληψη.
- Όλα τα αυτοματοποιημένα οχήματα βασίζονται στην υπόθεση ότι σχεδιάζουν συνεχώς τις τροχιές τους, βάσει του παρατηρούμενου περιβάλλοντος.
- Λόγω των απαιτήσεων ασφάλειας, η αυτοματοποιημένη οδήγηση ορίζει τις πιο αυστηρές απαιτήσεις απόδοσης για το επίπεδο επικοινωνίας όσον αφορά στην καθυστέρηση, στην αξιοπιστία και στη χωρητικότητα του δικτύου.
- Αλλαγή Λωρίδας με Συνεννόηση, Αποφυγή Σύγκρουσης με Συνεργασία και Διαχείριση Ομάδας Οχημάτων είναι τυπικά παραδείγματα περιπτώσεων χρήσης V2X, όπου συμμετέχουν συνδεδεμένα αυτοματοποιημένα οχήματα.
- Στα αυτοματοποιημένα οχήματα οι απαιτήσεις απόδοσης σε ορισμένες περιπτώσεις χρήσης απαιτούν εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία (99.999%), με πολύ χαμηλή καθυστέρηση από άκρο-σε-άκρο και υψηλότερο ρυθμό δεδομένων.

10.4 Συμμαχία Κινητών Δικτύων Επόμενης Γενιάς (NGMN Alliance)

Στο κείμενο της NGMN [108] οι περιπτώσεις χρήσης που σχετίζονται με την τεχνολογία 5G έχουν αναλυθεί σε 25 διαφορετικές περιπτώσεις. Τα πεδία εφαρμογής της NGMN ήταν πολύ ευρύτερα από εκείνα του 3GPP και του ETSI, ενώ επίσης υπάρχουν και περιπτώσεις χρήσης που «στοχεύουν» σε μεγαλύτερη κινητικότητα των χρηστών. Η κατηγορία «Υψηλότερη κινητικότητα χρήστη» αποτελείται από τις ακόλουθες δύο περιπτώσεις: «Κινητή ευρυζωνική μετάδοση σε οχήματα» και «Συνδεδεσιμότητα των αεροπλάνων». Η «Κινητή ευρυζωνική μετάδοση στα οχήματα» αναφέρεται σε αυτοκίνητα και τρένα. Στον Πίνακα 13 [95] και στον Πίνακα 14 [95] παρουσιάζονται οι απαιτήσεις της εμπειρίας του χρήστη και οι απαιτήσεις της απόδοσης του συστήματος της κατηγορίας περίπτωσης χρήσης «Κινητής ευρυζωνικής μετάδοση σε οχήματα» [95].

Πίνακας 13. Απαιτήσεις Εμπειρίας χρήστη – «Κινητή Ευρυζωνική μετάδοση σε οχήματα» – NGMN

Κατηγορία Χρήσης	Περίπτωσης	Ρυθμός Μετάδοσης	Καθυστέρηση από Άκρο-σε-Άκρο	Κινητικότητα
Κινητή ευρυζωνική μετάδοση σε οχήματα σε αυτοκίνητα και Τρένα		Κατερχόμενη Ζεύξη : 50 Mbps Ανερχόμενη Ζεύξη : 25 Mbps	10 ms	Μέχρι 500 km/ώρα

Πίνακας 14. Απαιτήσεις Απόδοσης του συστήματος – «Κινητή Ευρυζωνική μετάδοση σε οχήματα» – NGMN

Κατηγορία Χρήσης	Περίπτωσης	Πυκνότητα συνδεδεσιμότητας χρηστών ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο	Πυκνότητα κυκλοφορίας δεδομένων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο
Κινητή ευρυζωνική μετάδοση σε οχήματα σε αυτοκίνητα και Τρένα		2000 / km ² (500 ενεργοί χρήστες ανά τρένο x 4 τρένα ή 1 ενεργός χρήστης ανά αυτοκίνητο x 2000 αυτοκίνητα)	Κατερχόμενη Ζεύξη: 100 Gbps / km ² (25 Gbps ανά τρένο , 50 Mbps ανά αυτοκίνητο) Ανερχόμενη Ζεύξη: 50 Gbps / χιλ ² (12.5 Gbps ανά τρένο, 25 Mbps ανά αυτοκίνητο)

Μία άλλη περίπτωση χρήσης είναι ο «Αυτόνομος έλεγχος της κυκλοφορίας και της οδήγησης» από την κατηγορία της περίπτωσης χρήσης «Εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία και εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση» που ανήκει στην γενικότερη κατηγορία «Εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία». Αυτή η περίπτωση χρήσης στοχεύει σε υψηλή κινητικότητα, χαμηλή καθυστέρηση και υψηλή αξιοπιστία.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Στον παρακάτω Πίνακα 15 [95] παρουσιάζονται οι απαιτήσεις εμπειρίας του χρήστη όσον αφορά στη χαμηλή καθυστέρηση και στην υψηλή αξιοπιστία σε υψηλή κινητικότητα.

Πίνακας 15. Απαιτήσεις Εμπειρίας χρήστη - «Υψηλή αξιοπιστία και πολύ χαμηλή καθυστέρηση» – NGMN

Κατηγορία Χρήσης	Περίπτωσης	Ρυθμός Μετάδοσης	Καθυστέρηση από Άκρο-σε-Άκρο	Κινητικότητα
Υψηλή αξιοπιστία και πολύ χαμηλή καθυστέρηση		Κατερχόμενη Ζεύξη: Από 50 Kbps έως 10 Mbps Ανερχόμενη Ζεύξη: Από μερικά Kbps έως 10 Mbps	1 ms	Ανά Ζήτηση : Από 0 km/ώρα μέχρι 500 km/ώρα

10.5 Γενική Διεύθυνση Κινητικότητας και Μεταφορών της ΕΕ (EU DG MOVE)

Η EU DG MOVE⁸² έχει χωρίσει τους τομείς μεταφορών σε Αέρα, Δρόμο, Ράγες, Θάλασσα και τρόπους Προσθαλάσωσης σε νησί. Ο στόχος της πολιτικής των χερσαίων μεταφορών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) είναι το να προωθήσει μία κινητικότητα που να είναι αποτελεσματική, ασφαλής και φιλική προς το περιβάλλον. Οι στόχοι της ΕΕ για τις οδικές μεταφορές είναι η προώθηση αποτελεσματικών υπηρεσιών όπως οι μεταφορές εμπορευμάτων και επιβατικές μεταφορές, η δημιουργία δίκαιων συνθηκών ανταγωνισμού, η προώθηση τεχνικών προτύπων ασφαλέστερων και πιο φιλικών προς το περιβάλλον και η παροχή εγγυήσεων ότι οι κανόνες των οδικών μεταφορών εφαρμόζονται αποτελεσματικά και χωρίς διακρίσεις. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή στις 30 Νοεμβρίου 2016 υιοθέτησε μία Ευρωπαϊκή Στρατηγική⁸³ για τα Συνεργατικά Νοήμονα Συστήματα Μεταφορών (C-ITS).

Το ακόλουθο σύνολο περιπτώσεων χρήσης της οδικής ασφάλειας ή της διαχείρισης της κυκλοφορίας ορίστηκε ως φάση ανάπτυξης «Ημέρα Ένα V2X». Αυτή η λίστα των περιπτώσεων χρήσης, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 16 [95] επιβεβαιώθηκε από την Πλατφόρμα C-ITS που καθοδηγείται από την DG MOVE, όπου συμμετείχαν διάφοροι φορείς του τομέα των μεταφορών (κατασκευαστές αυτοκινήτων, προμηθευτές, οδικές αρχές, ενώσεις αυτοκινήτων) [95].

⁸² Πηγή: <https://ec.europa.eu/transport/>.

⁸³ European Commission: Communication on “A European strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems, a milestone towards cooperative, connected and automated mobility”, [COM(2016) 766 final].

Πίνακας 16. Περιπτώσεις χρήσης «Ημέρα Ένα V2X»

Περίπτωση Χρήσης	V2X	Κατηγορία / Περιβάλλον
Ηλεκτρονικό φως πέδησης έκτακτης ανάγκης	V2V	Ασφάλεια
Πλησιάζει όχημα έκτακτης ανάγκης	V2V	Ασφάλεια
Όχημα με αργοπορία ή είναι σταθερό	V2V	Ασφάλεια
Προειδοποίηση για κυκλοφοριακή συμφόρηση	V2V	Ασφάλεια
Ειδοποίηση επικίνδυνης τοποθεσίας	V2I	Αυτοκινητόδρομος
Προειδοποίηση για οδικά έργα	V2I	Αυτοκινητόδρομος
Καιρικές συνθήκες	V2I	Αυτοκινητόδρομος
Σήμανση εντός του οχήματος	V2I	Αυτοκινητόδρομος
Όρια ταχύτητας εντός του οχήματος	V2I	Αυτοκινητόδρομος
Έλεγχος των δεδομένων του οχήματος	V2I	Αυτοκινητόδρομος
Απόσβεση κραδασμών	V2I	Αυτοκινητόδρομος
GLOSA / Time to Green (TTG)	V2I	Πόλη
Παραβίαση σήματος / Ασφάλεια για σταυροδρόμι	V2I	Πόλη
Αίτημα προτεραιότητας σήματος κυκλοφορίας από καθορισμένα οχήματα	V2I	Πόλη

10.6 Εθνική Αρχή Οδικής Ασφάλειας (NHTSA)

Τα μεγαλύτερα οφέλη στην ασφάλεια των αυτοκινητοδρόμων τα επόμενα χρόνια θα προκύψουν από την ευρεία εφαρμογή των τεχνολογιών αποφυγής ατυχημάτων καθώς και με συνεχείς βελτιώσεις στην αντιμετώπιση της σύγκρουσης των οχημάτων που μειώνουν τους θανάτους και τους τραυματισμούς. Τον Φεβρουάριο του 2015 η Αρχή NHTSA στις Η.Π.Α. ανακοίνωσε ότι θα προσθέσει δύο τύπους ασφάλειας στον κατάλογο των προτεινόμενων προηγμένων λειτουργιών ασφαλείας στο Νέο Πρόγραμμα Αξιολόγησης του Αυτοκινήτου και οι οποίες αφορούσαν στα αυτόματα συστήματα πέδησης έκτακτης ανάγκης, ήτοι: την υποστήριξη για άμεσο φρενάρισμα και τη δυναμική φρένων. Αυτές οι τεχνολογίες, μαζί με τις τεχνολογίες που απαιτούνται ως τυπικός εξοπλισμός όπως ο ηλεκτρονικός έλεγχος ευστάθειας (Electronic Stability Control - ESC), βοηθούν τα οχήματα να αντιδράσουν σε επικίνδυνες καταστάσεις, αλλά δεν βοηθούν τους οδηγούς να αντιδράσουν νωρίτερα. Αυτό θα απαιτούσε από τα οχήματα να μεταδίδουν μηνύματα στα γειτονικά οχήματα σχετικά με την ταχύτητα, την κατάσταση των φρένων και άλλες πληροφορίες και να λαμβάνουν τις ίδιες πληροφορίες από αυτά. Οι δυνατότητες της εμβέλειας και της οπτικής προβολής για την επικοινωνία V2V είναι καλύτερες από αυτές που βασίζονται μόνο σε ραντάρ και κάμερα. Στην τεχνολογία DSRC υπάρχει ένα μεγαλύτερο εύρος πεδίου με 360° οπτικής προβολής, δηλαδή παρέχεται μία πλατφόρμα που επιτρέπει στα οχήματα να αντιλαμβάνονται ορισμένες απειλές τις οποίες δεν δύνανται να αντιληφθούν οι αισθητήρες, οι κάμερες ή τα ραντάρ. Παρακάτω, στον Πίνακα 17 [95] παρουσιάζονται τα 10 κορυφαία σενάρια ανά προτεραιότητα πριν

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

γίνει σύγκρουση οχημάτων, η οποία θα μπορούσε ενδεχομένως να αντιμετωπιστεί με την επικοινωνία V2V [95].

Πίνακας 17. Σενάρια Ασφάλειας βασισμένα στη τεχνολογία DSRC

A/A	Σενάρια πριν από τη σύγκρουση	Ομαδοποίηση πριν από τη σύγκρουση	Εφαρμογή σχετιζόμενη με την ασφάλεια	Ακρωνύμια
1	Το όχημα «αρχηγός» σταμάτησε	Πίσω άκρο	Forward Collision Warning (Ειδοποίηση μετωπικής σύγκρουσης)	FCW
2	Το όχημα «αρχηγός» κινείται	Πίσω άκρο	Forward Collision Warning (Ειδοποίηση μετωπικής σύγκρουσης)	FCW
3	Το όχημα «αρχηγός» επιβραδύνει	Πίσω άκρο	Emergency Electronic Brake Light (Ηλεκτρονικό φώς πέδησης άμεσης ανάγκης)	EEBL
4	Σταυροδρόμι μπροστά χωρίς σηματοδότηση	Ένωση δρόμων σε σταυροδρόμι	Intersection Movement Assist (Υποβοήθηση κίνησης σε σταυροδρόμι)	IMA
5	Αριστερή στροφή / αντίθετη κατεύθυνση	Αριστερή στροφή κατά τη διέλευση	Left Turn Assist (Υποβοήθηση για αριστερή στροφή)	LTA
6	Αντίθετη κατεύθυνση / Χωρίς ελιγμό	Αντίθετη κατεύθυνση	Do Not Pass Warning (Προειδοποίηση «Μην Περάσετε»)	DNPW
7	Αντίθετη κατεύθυνση /Με ελιγμό	Αντίθετη κατεύθυνση	Do Not Pass Warning (Προειδοποίηση «Μην Περάσετε»)	DNPW
8	Αλλαγή λωρίδων /Ίδια κατεύθυνση	Αλλαγή λωρίδας	Blind Spot/Lane Change Warning (Τυφλό σημείο / Προειδοποίηση αλλαγής Λωρίδας)	BS/LCW
9	Στροφή /Ίδια κατεύθυνση	Αλλαγή λωρίδας	Blind Spot/Lane Change Warning (Τυφλό σημείο / Προειδοποίηση αλλαγής Λωρίδας)	BS/LCW
10	Ολίσθηση /Ίδια κατεύθυνση	Αλλαγή λωρίδας	Blind Spot/Lane Change Warning (Τυφλό σημείο / Προειδοποίηση αλλαγής Λωρίδας)	BS/LCW

1. *Ειδοποίηση μετωπικής σύγκρουσης (FCW)*: Προειδοποιεί τους οδηγούς για τα οχήματα που βρίσκονται μπροστά τους όταν αυτά σταματούν, επιβραδύνουν ή οδεύουν σιγά.
2. *Ηλεκτρονικό φώς πέδησης άμεσης ανάγκης (EEBL)*: Προειδοποιεί τους οδηγούς για έντονο φρενάρισμα. Το EEBL θα πρέπει να αναμεταδίδει το σήμα του φρένου της έκτακτης ανάγκης, για να το λαμβάνουν οι εφαρμογές των γειτονικών οχημάτων, ώστε να καθορίζουν τη σχετικότητα του συμβάντος και για να ειδοποιούν τους οδηγούς.
3. *Υποβοήθηση κίνησης σε σταυροδρόμι (IMA)*: Προειδοποιεί τους οδηγούς που πλησιάζουν από μία πλευρική οδό σε μία διασταύρωση. Η IMA έχει σχεδιαστεί για να αποφευχθούν οι συγκρούσεις οι οποίες γίνονται στις διασταυρώσεις οδών που είναι τα πιο σοβαρά ατυχήματα, βάσει των αριθμών θνησιμότητας.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

4. *Υποβοήθηση για αριστερή στροφή (LTA)*: Προειδοποιεί τους οδηγούς για την παρουσία της τρέχουσας κυκλοφορίας που υπάρχει στην αντίθετη κατεύθυνση του δρόμου, όταν γίνεται απόπειρα στροφής. Με την LTA αντιμετωπίζονται οι συγκρούσεις όταν ένα εμπλεκόμενο όχημα κάνει αριστερή στροφή στη διασταύρωση και ένα άλλο όχημα πορεύεται από την αντίθετη κατεύθυνση.
5. *Προειδοποίηση «Μην Περάσετε» (DNPW)*: Προειδοποιεί τον οδηγό για ένα επερχόμενο όχημα αντίθετης κατεύθυνσης όταν ο οδηγός επιχειρεί να προσπεράσει ένα πιο αργό όχημα σε έναν δρόμο δύο λωρίδων. Με την DNPW ενημερώνονται οι οδηγοί για να αποφύγουν τις συγκρούσεις (μετωπικές ή πλευρικές) που προκύπτουν από τους ελιγμούς.
6. *Τυφλό σημείο / Προειδοποίηση αλλαγής λωρίδας (BS / LCW)*: Προειδοποιεί τους οδηγούς για την επικείμενη παρουσία των οχημάτων που πλησιάζουν ή όταν βρίσκονται στο «τυφλό σημείο» πεδίου προβολής του οδηγού στη διπλανή λωρίδα. Με την BS / LCW αντιμετωπίζονται ατυχήματα όταν ένα όχημα κάνει αλλαγή οδικής λωρίδας και ελιγμούς πριν από τη σύγκρουση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

11. ΣΕΝΑΡΙΑ 5GCAR ΚΑΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουμε τη μελέτη προσέγγισης και αξιολόγησης των σεναρίων που έχει γίνει από το ερευνητικό πρόγραμμα 5GCAR, καθώς και τα σενάρια και τις περιπτώσεις χρήσης. Θα γίνει ανάλυση για τις πέντε κατηγορίες των περιπτώσεων χρήσης που είναι: ο Συνεργατικός Ελιγμός, η Συνεργατική Αντίληψη, η Συνεργατική Ασφάλεια, η Αυτόνομη Πλοήγηση και η Απομακρυσμένη Οδήγηση. Στο τέλος θα γίνει η περιγραφή και ο σχεδιασμός από ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα της κάθε κατηγορίας με βάση τη προσέγγιση του 5GCAR.

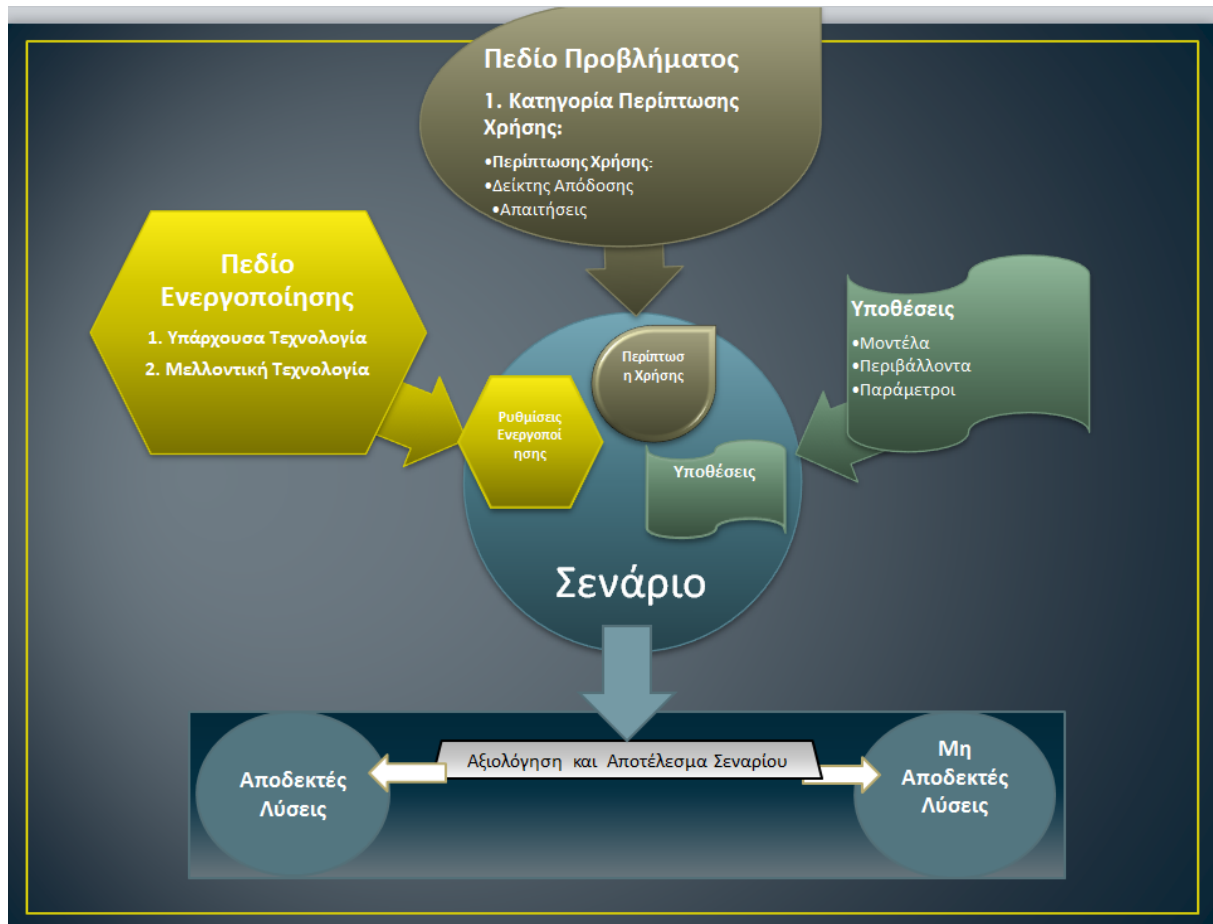
11.1 Αξιολόγηση Σεναρίου

Το ερευνητικό πρόγραμμα 5GCAR για να αναλύσει τα σενάρια και τις περιπτώσεις χρήσης που χρησιμοποιούνται σε ένα δίκτυο V2X, εστίαστηκε στη μελέτη μίας ουσιαστικότερης ανάλυσης και εξέτασε την κάθε περίπτωση μέσα από ένα περιβάλλον που αποτελείται από τρία ξεχωριστά πεδία [95]. Πρόκειται για το πεδίο *Πρόβλημα*, το πεδίο *Ενεργοποίηση* και το πεδίο *Λύση*.

- Το πεδίο *Πρόβλημα* περιλαμβάνει την κατηγορία των περιπτώσεων χρήσης, τις περιπτώσεις χρήσης, τους δείκτες απόδοσης (KPIs) και τις απαιτήσεις που χρειάζεται η κάθε περίπτωση χρήσης.
- Το πεδίο *Ενεργοποίηση* περιλαμβάνει τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά που χρειάζονται για να υλοποιηθεί ένα σενάριο σε ένα δίκτυο V2X. Μέσα σε αυτό το πεδίο μπορεί να συνυπάρχουν τεχνολογικά στοιχεία παλαιού τύπου, σύγχρονη τεχνολογία ή κάθε τεχνολογία ξεχωριστά.
- Το πεδίο *Λύση* περιλαμβάνει τα σενάρια, τις υποθέσεις των σεναρίων και τις συσχετίσεις μεταξύ των μοντέλων και των παραμέτρων, τα αποτελέσματα των σεναρίων με μελέτη αυτών, τις δυνατές λύσεις όταν τα σενάρια πληρούν όλες τις απαιτήσεις ή και τις μη αποδεκτές λύσεις των σεναρίων όταν τα σενάρια δεν πληρούν τουλάχιστο μία απαίτηση. Κάθε σενάριο πρέπει να έχει μία ρεαλιστική υπόθεση.

Ένα σενάριο 5GCAR αποτελείται από μία περίπτωση χρήσης μαζί με τις προϋποθέσεις και τις συσχετίσεις μεταξύ των μοντέλων και παραμέτρων καθώς και τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά που συμβάλλουν στην δημιουργία του σεναρίου [95]. Για να επιτευχθούν οι περιπτώσεις χρήσης, το όχημα θα πρέπει να διαθέτει πλήρη αντίληψη του χώρου σε συνεχόμενο έλεγχο του περιβάλλοντος από τοπικούς αισθητήρες που καλύπτουν την οπτική γωνία του χώρου με 360°. Αυτό σημαίνει έναν συνδυασμό δεδομένων από τους τοπικούς αισθητήρες που συνήθως συμπληρώνεται με πληροφορίες από άλλα οχήματα, με την υποδομή των Παρόδιων Μονάδων (RSUs) ή από τους Εξυπηρετητές που βρίσκονται στο Κεντρικό Νέφος ή στο Νέφος στα Άκρα.

Στο παρακάτω Σχήμα 43 παρουσιάζεται η μελέτη του 5GCAR όσον αφορά στην προσέγγιση της αξιολόγησης ενός σεναρίου σε ένα δίκτυο V2X [95].



Σχήμα 43. Προσέγγιση της αξιολόγησης ενός σεναρίου 5G-CAR

11.2 Ανάλυση Κατηγοριών Περιπτώσεων Χρήσης

Το πρόγραμμα 5G-CAR έχει καθορίσει πέντε Κατηγορίες Περιπτώσεων Χρήσης, έχοντας υπόψη τις διαφορετικές λειτουργίες που απαιτούν τα οχήματα όταν βρίσκονται σε αυτόνομη ή σε συνεργατική υπηρεσία. Κάθε κατηγορία περίπτωση χρήσης περιλαμβάνει μία σειρά από διαφορετικές περιπτώσεις.

Οι πέντε κατηγορίες περιπτώσεων χρήσης είναι:

- Συνεργατικός Ελιγμός
- Συνεργατική Αντίληψη
- Συνεργατική Ασφάλεια
- Αυτόνομη Πλοήγηση και
- Απομακρυσμένη Οδήγηση.

Συνεργατικός Ελιγμός: Η συγκεκριμένη κατηγορία στηρίζεται στον μερισμό των τοπικών δεδομένων του οχήματος, των οδηγικών προθέσεων του οδηγού και της προγραμματισμένης πορείας του οχήματος. Οι πληροφορίες μερίζονται μέσω των οχημάτων ή μέσω των υποδομών του δικτύου, με ασύρματη επικοινωνία. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται από οχήματα μπορούν να βοηθήσουν σε πρόσθετη γνώση που έχει να κάνει με την οδηγική πρόθεση, την πορεία, τη μελλοντική πληροφορία, τον συντονισμό και τη βελτιστοποίηση της πορείας μεταξύ των οχημάτων. Ο βασικός στόχος είναι η αύξηση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας μέσα από ένα

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

πλήθος οχημάτων. Επίσης πετυχαίνουμε μία αποτελεσματικότερη οδηγική κρίση του οδηγού, μία καλύτερη και πιο ομαλή οδήγηση, τη μείωση εκπομπής καυσαερίων και τη μείωση κατανάλωσης του καυσίμου (όπως στην περίπτωση της κίνησης σε ομάδα οχημάτων). Οι δυσκολίες αυτής της περίπτωσης βασίζονται στην κατανόηση πρόθεσης της τροχιάς του οχήματος, στην ακεραιότητα της πληροφορίας (δεδομένου ότι πρέπει να υπόκειται σε μερισμό μεταξύ των οχημάτων), στην ασφάλεια και στην εμπιστοσύνη των κοινών πληροφοριών, στην ενσωμάτωση των οχημάτων χωρίς την υποστήριξη του δικτύου V2X καθώς και στον έγκαιρο εντοπισμό θέσης και στην επιγραμμική (online) – ή μη – ανάλυση των δεδομένων με χαμηλή καθυστέρηση.

Συνεργατική Αντίληψη: Η συνεργατική αντίληψη βασίζεται στο γεγονός της ανταλλαγής των δεδομένων από πολλές και διαφορετικές πηγές όπως το ραντάρ, το Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης (GNSS), οι αισθητήρες οχημάτων και η Παρόδια Μονάδα (RSU). Για να λειτουργήσει σωστά η συνεργατική αντίληψη, θα πρέπει το σύστημα ανάλυσης των δεδομένων να γνωρίζει τη σχετική θέση που προκύπτει από τους αισθητήρες των διαφορετικών οχημάτων. Με τη συνεργατική αντίληψη επιτυγχάνεται η βελτίωση της οδικής αντίληψης του οδηγού και του οχήματος (όπως η οπτική γωνία πέρα από τη θέση του οδηγού και η επίγνωση των σημείων του οχήματος που είναι δύσκολο να αντιληφτεί ο οδηγός). Επίσης επιτυγχάνεται η ενεργοποίηση της αυτόνομης οδήγησης σε συνδυασμό με τον Τοπικό Δυναμικό Χάρτη (Local Dynamic Map - LDM) όπου οι στατικοί χάρτες συμπληρώνονται με δυναμικά δεδομένα για οδήγηση σε διαφορετικά κυκλοφοριακά περιβάλλοντα. Παράλληλα, με τη συνεργατική αντίληψη αυξάνεται η οδηγική ασφάλεια καθώς παρέχεται περισσότερη βοήθεια για τους ελιγμούς, για αλλαγή λωρίδα και για ομαλότερο φρενάρισμα ανιχνεύοντας αντικείμενα που δεν είναι ορατά στον οδηγό ή σε ένα αυτόνομο όχημα. Επιπλέον, υπάρχει καλύτερη διαχείριση του καυσίμου με λιγότερη εκπομπή καυσαερίων διότι υπάρχει καλύτερη «αντίληψη» στο όχημα άρα και καλύτερη οδήγηση. Επίσης έχουμε αποφυγή των συγκρούσεων και καλύτερη επιλογή της διαδρομής. Η δυσκολία που αντιμετωπίζει αυτή η κατηγορία είναι η ένωση πληροφοριών από διαφορετικούς αισθητήρες, όταν δεν είναι γνωστή η συμβατότητα των δεδομένων όσον αφορά στο σύστημα αναφοράς θέσης και χρόνου (καθώς κάθε σύστημα χάρτη έχει και το δικό του σύστημα ανίχνευσης). Κάθε όχημα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με κάμερα, με αισθητήρες για αναγνώριση των οχημάτων, των ποδηλάτων, των μηχανών, των πεζών και πρέπει επίσης να υπάρχουν περιμετρικοί αισθητήρες για την ανίχνευση των οχημάτων. Επιπλέον, πρέπει να υπάρχει στο όχημα ένα σύστημα ανίχνευσης της θέσης με ακρίβεια του χρόνου-τόπου πέρα από το κλασικό GNSS και φυσικά ένα ασύρματο σύστημα επικοινωνίας για επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων και των υποδομών ενός δικτύου V2X.

Συνεργατική ασφάλεια: Παρέχεται για την ασφάλεια των χρηστών, οι οποίοι μπορεί να είναι πεζοί, ποδηλάτες, μοτοσικλετιστές, ζώα, κτλ. Για να λειτουργήσει σωστά η συγκεκριμένη κατηγορία, θα πρέπει να ανταλλάσσονται οι πληροφορίες που έχουν σχέση με την ανίχνευση του Ευάλωτου Χρήστη (VRU). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τους τοπικούς αισθητήρες, με την κάμερα, με το ραντάρ, με τα συστήματα ανίχνευσης θέσης ή με την κυψελοειδή επικοινωνία εφόσον βέβαια ο χρήστης που χρησιμοποιεί τον δρόμο διαθέτει συσκευή επικοινωνίας (όπως είναι το έξυπνο κινητό τηλέφωνο ή ένα ρολόι ή μία άλλη συσκευή με σύνδεση στο δίκτυο). Μηνύματα ειδοποίησης στέλνονται στο όχημα και αυτό με τη σειρά του μπορεί να εκτελέσει τις κατάλληλες ενέργειες, όπως π.χ. μείωση της ταχύτητας. Η αξιοπιστία των μηνυμάτων μεταξύ των οχημάτων και των χρηστών παίζει καθοριστικό ρόλο στη σωστή αντιμετώπιση και στην άμεση αντίδραση του οχήματος. Χάρη στη συνεργατική αντίληψη η ασφάλεια καθίσταται εφικτή χωρίς επιπλέον κόστος, αφού οι αισθητήρες ήδη υπάρχουν όπως και η υποδομή του δικτύου. Η δυσκολία που αντιμετωπίζει η συγκεκριμένη κατηγορία έχει να κάνει με την ανίχνευση του VRU σε «δύσκολο» περιβάλλον όπως σε κακές συνθήκες φωτισμού ή καιρικές συνθήκες ή στη μη γρήγορη εύρεση της τοποθεσίας του χρήστη από το σύστημα. Τα οχήματα πρέπει να διαθέτουν σύστημα GNSS, γυροσκόπιο και επιταχυνσιόμετρο για τη σωστή εύρεση της θέσης, της επιτάχυνσης, της πορείας και της γωνιακής θέσης του οχήματος σε σχέση με τον VRU.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Αυτόνομη Πλοήγηση: Η συγκεκριμένη κατηγορία βασίζεται στη δημιουργία ενός επιγραμμικού (online) έξυπνου και με υψηλή ανάλυση χάρτη και στη συλλογή των πληροφοριών από τα άλλα οχήματα και από τις υποδομές ενός δικτύου V2X. Η καλύτερη επιλογή διαδρομής μιας ημιαυτόνομης ή πλήρως αυτόνομης πλοήγησης εξαρτάται από τη συλλογή των πληροφοριών από τους αισθητήρες των άλλων οχημάτων. Με την επιλογή της καλύτερης διαδρομής πετυχαίνουμε λιγότερη κατανάλωση ενέργειας και λιγότερο χρόνο για την προσέγγιση του τελικού προορισμού. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του δυναμικού ψηφιακού χάρτη και με τη γνώση της τρέχουσας κατάστασης της κυκλοφορίας του οδικού δικτύου, όπως τη θέση, τη ταχύτητα, την πορεία των άλλων οχημάτων καθώς και την τρέχουσα περιφερειακή οπτική που υπάρχει σε 360° από το αυτόνομο όχημα. Η συμβολή της ασφάλειας είναι μεγάλη διότι οι πληροφορίες που συνθέτουν τον δυναμικό χάρτη προέρχονται από αξιόπιστη και έγκυρη πηγή διακομιστών των παρόχων της κινητής τηλεφωνίας. Η δυσκολία που αντιμετωπίζεται σε αυτή την κατηγορία είναι η επεξεργασία των πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο από όλα τα οχήματα, λαμβάνοντας υπόψη τις υπάρχουσες συνθήκες της κυκλοφορίας (όπως πεζοί, μοτοποδήλατα, σήματα κυκλοφορίας, κτλ.) καθώς και τη δυσκολία της αναβάθμισης του χάρτη σε όλα τα οχήματα που βρίσκονται στην ίδια τοποθεσία για να έχουν την ίδια έκδοση του χάρτη. Επίσης χρειάζεται να υπάρχει ένας διακομιστής MEC κοντά στα οχήματα για τη γρήγορη επεξεργασία και τον μερισμό πληροφοριών του χάρτη στα οχήματα.

Απομακρυσμένη Οδήγηση: Η απομακρυσμένη οδήγηση που γίνεται από τον διαχειριστή χρήστη ή από διακομιστή εφαρμογών έχει σκοπό να προσφέρει περισσότερη ασφάλεια, άνεση και λειτουργικότητα στον οδηγό, αφαιρώντας κάθε οδηγική εργασία που γίνεται μέσα στο όχημα. Ο έλεγχος του οχήματος γίνεται εξωτερικά από το όχημα, με ασύρματη επικοινωνία. Θα πρέπει να ενεργοποιείται και να ελέγχεται ένα σύνολο από διαφορετικούς μηχανισμούς και ενέργειες έξωθεν του οχήματος (όπως ο έλεγχος του τιμονιού, των φρένων, το γκάζι και φυσικά ο έλεγχος όλων των αισθητήρων που περιέχει το όχημα). Επίσης η συνεργασία με τις υποδομές του δικτύου είναι ένα πλεονέκτημα, όπου αυτό είναι δυνατόν. Το σημαντικότερο όμως είναι να παρέχεται ασφάλεια και αυτό γίνεται στο επίπεδο της αντίληψης (χάρτες, αισθητήρες) του οχήματος και στην υποδομή του δικτύου. Τα πλεονεκτήματα της απομακρυσμένης οδήγησης είναι ότι οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν το όχημα ακόμη και στην περίπτωση που δεν μπορούν να οδηγήσουν οι ίδιοι, ακόμη και εάν το όχημα δεν παρουσιάζει πλήρες αυτόματο σύστημα οδήγησης. Επίσης στην αυτόνομη οδήγηση, ο απομακρυσμένος έλεγχος του οχήματος είναι ένα θετικό σημείο ασφαλείας στην περίπτωση προβλήματος. Επιπλέον, ο απομακρυσμένος έλεγχος σε πλήθος οχημάτων αυξάνει σημαντικά την ασφάλεια και την αποδοτικότητα. Η δυσκολία που αντιμετωπίζει η συγκεκριμένη κατηγορία είναι η γρήγορη ανταπόκριση που πρέπει να δίνεται στα συστήματα του οχήματος, σε λιγότερο από μερικά milliseconds. Το εν λόγω γεγονός σημαίνει ότι η καθυστέρηση πρέπει να είναι πάρα πολύ χαμηλή και η αξιοπιστία σχεδόν στο 100%. Ένα άλλο θέμα δυσκολίας είναι η ασφάλεια των πληροφοριών που θα πρέπει να συνοδεύουν το όχημα. Θα πρέπει ο απομακρυσμένος έλεγχος να γίνεται μόνο από τα εξουσιοδοτημένα άτομα ή τους διακομιστές εφαρμογών και πάντα με τις κατάλληλες πιστοποιήσεις ασφαλείας. Το όχημα θα πρέπει να είναι συνεχώς συνδεδεμένο με έναν Διακομιστή Νέφους και με το Κέντρο Ελέγχου από όπου θα λαμβάνει τις πληροφορίες για τον απομακρυσμένο έλεγχο. Επίσης θα πρέπει να επιτρέπεται ο έλεγχος των τεχνικών συστημάτων του οχήματος.

11.3 Ανάλυση Περιπτώσεων Χρήσης

Το 5GCAR έχει επιλέξει για κάθε κατηγορία και μία αντίστοιχη βασική αντιπροσωπευτική χρήση, λαμβάνοντας υπόψη και τον αντίκτυπο που έχει σε διάφορους τομείς όπως στην κοινωνία, στις επιχειρήσεις, στην ασφάλεια, στην εμφάνιση περιπτώσεων χρήσης σε αυτοκινητόδρομους ή σε προαστιακούς δρόμους, σε αστικά ή προαστιακά περιβάλλοντα και στις προκλήσεις που τίθενται στο σύστημα της επικοινωνίας. Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

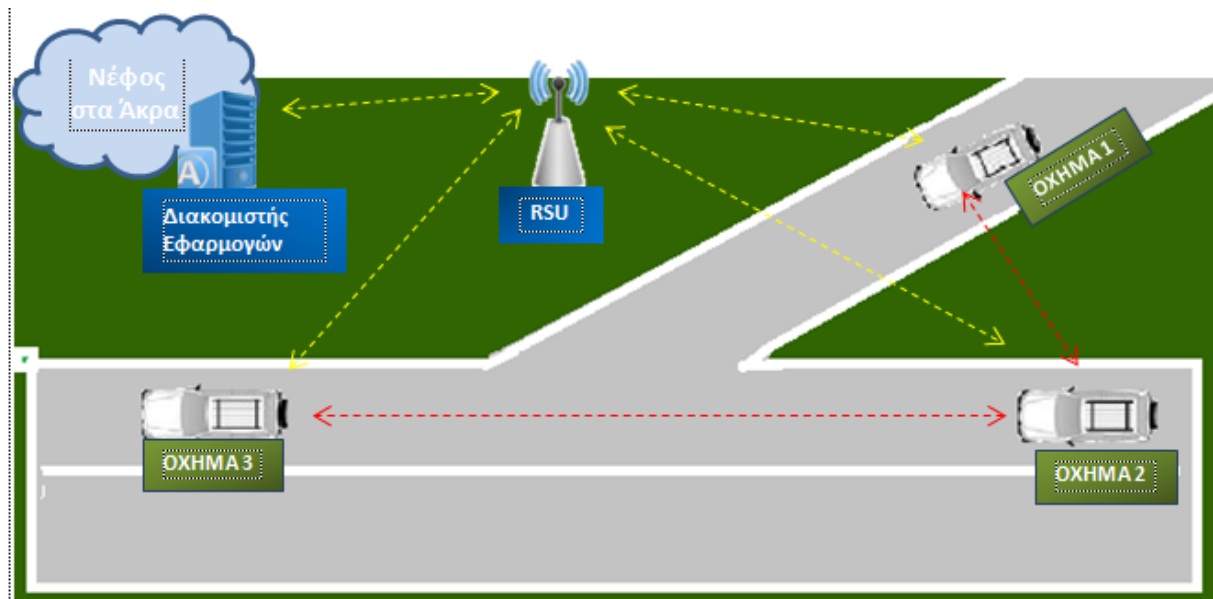
- Συγχώνευση Λωρίδας (Συνεργατικός Ελιγμός)

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

- Βλέπω διαμέσου (Συνεργατική Αντίληψη)
- Προστασία Ευάλωτου πεζού (Συνεργατική Ασφάλεια)
- Απόκτηση τοπικού χάρτη Πλοήγησης υψηλής ανάλυσης (Αυτόνομη Πλοήγηση)
- Αυτόνομη Στάθμευση (Απομακρυσμένη Οδήγηση)

11.3.1 Συγχώνευση Λωρίδας

Αυτή η περίπτωση χρήσης αναφέρεται όταν ένα όχημα έχει την πρόθεση να μεταβεί από έναν δρόμο σε έναν άλλο (Σχήμα 44). Τα οχήματα ανταλλάσσουν μεταξύ τους πληροφορίες που αφορούν στην πορεία, στη θέση και στην ταχύτητα αυτών. Έτσι, με τεχνικές «ένωσης» των πληροφοριών και των δεδομένων, τα εμπλεκόμενα οχήματα ρυθμίζουν ανάλογα την πορεία και την ταχύτητά τους για μία ομαλή και αποτελεσματική συγχώνευση λωρίδας ενός οχήματος.



Σχήμα 44. Η περίπτωση χρήσης Συγχώνευση Λωρίδας

Όχημα 1: Είναι το όχημα που θέλει να εισέλθει από τον παράδρομο στον κύριο δρόμο. Μπορεί να είναι εξοπλισμένο με ασύρματη επικοινωνία και να λαμβάνει μέρος σε ένα δίκτυο V2X ή μπορεί και όχι.

Όχημα 2: Είναι το όχημα που βρίσκεται στον κεντρικό δρόμο και πρέπει να αφήσει το όχημα 1 να εισέλθει από τον διαγώνιο δρόμο. Πρέπει οπωσδήποτε να είναι εξοπλισμένο με ασύρματη επικοινωνία και να λαμβάνει μέρος σε ένα δίκτυο V2X.

Όχημα 3: Είναι ένα προαιρετικό όχημα που βρίσκεται στον κεντρικό δρόμο. Μπορεί να είναι εξοπλισμένο με ασύρματη επικοινωνία και να λαμβάνει μέρος σε ένα δίκτυο V2X ή μπορεί και όχι.

Παρόδια Μονάδα (Road Side Unit-RSU): Είναι μία προαιρετική υποδομή του δικτύου V2X. Μπορεί να παράσχει έναν Τοπικό Δυναμικό Χάρτη (LDM), μία τοπική δυναμική βάση δεδομένων με πληροφορίες από αισθητήρες κινούμενων οχημάτων, από ραντάρ, από αισθητήρες διαμέσου του δρόμου, από εφαρμογές διαχείρισης της κίνησης και από στατικούς χάρτες, καλύπτοντας έτσι την περιοχή της Συγχώνευσης Λωρίδας.

Διακομιστής Εφαρμογών: Είναι μία προαιρετική υποδομή του δικτύου και μπορεί να βοηθήσει στην κάλυψη της περιοχής Συγχώνευση Λωρίδας με εφαρμογές που καλύπτουν την κίνηση του δρόμου,

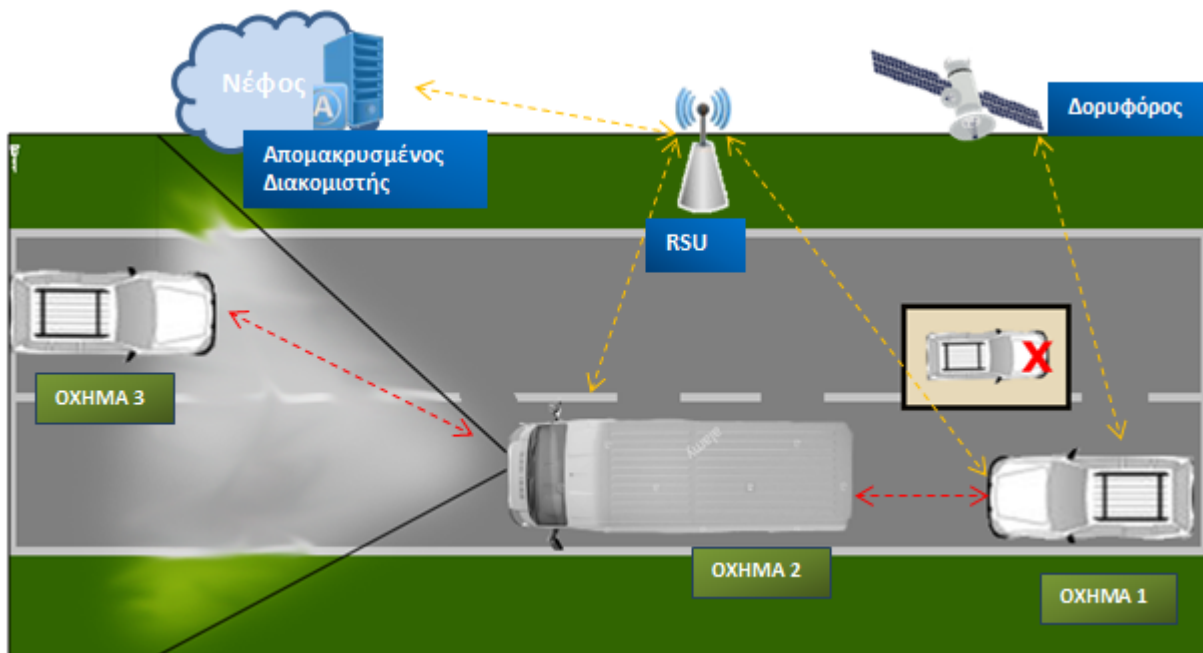
Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

την ασφάλεια για την κίνηση του οδικού δικτύου και για τη μετάδοση μηνυμάτων ειδοποίησης κινδύνου.

Η επικοινωνία γίνεται με μηνύματα «αίτησης συγχώνευσης» και πληροφορίες στάτου όπως η ταχύτητα και η θέση των οχημάτων.

11.3.2 Βλέπω διαμέσου

Σε αυτή την περίπτωση (Σχήμα 45), η εφαρμογή συμβάλει στην εύρεση του αντικειμένου ή προβάλλει σε βίντεο την περιοχή που βρίσκεται ανάμεσα στα συμβαλλόμενα οχήματα για την αύξηση της ασφάλειας στην αυτόνομη οδήγηση ή σε ελιγμό του οδηγού. Με την επεξεργασία των δεδομένων απεικονίζεται το σκηνικό που υπάρχει μπροστά από ένα όχημα μέσα από μία κάμερα η οποία υπάρχει στο μπροστινό όχημα και με μεταφορά της εικόνας στο όπισθεν παρεπόμενο όχημα για ξεκάθαρη άποψη σκηνικού που υπάρχει εμπρός από το όχημα που έπεται. Στο παρακάτω Σχήμα 45 φαίνεται πώς ο οδηγός ή το αυτόνομο όχημα μπορούν να πάρουν αποφάσεις ασφαλών ελιγμών.



Σχήμα 45. Η περίπτωση χρήσης Βλέπω διαμέσου

Όχημα 1: Είναι το όχημα που θέλει να κάνει τον ελιγμό για προσπέραση του οχήματος 2. Πρέπει να διαθέτει ασύρματη επικοινωνία με τα γειτονικά οχήματα, σύστημα GNSS - σύστημα ανίχνευσης θέσης με ακρίβεια, αισθητήρα ανίχνευσης οχημάτων και κάμερα με ενεργοποιημένο το σύστημα LDM (local dynamic map).

Όχημα 2: Είναι το όχημα που βρίσκεται μπροστά από το όχημα 2 στον κεντρικό δρόμο και πρέπει να διαθέτει κάμερα, αισθητήρα ανίχνευσης οχημάτων καθώς και να είναι εξοπλισμένο με ασύρματη επικοινωνία και να λαμβάνει μέρος σε ένα δίκτυο V2X.

Όχημα 3: Είναι ένα όχημα που βρίσκεται στον κεντρικό δρόμο αντίθετης λωρίδας. Μπορεί να είναι εξοπλισμένο με ασύρματη επικοινωνία και να λαμβάνει μέρος σε ένα δίκτυο V2X ή μπορεί και όχι.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

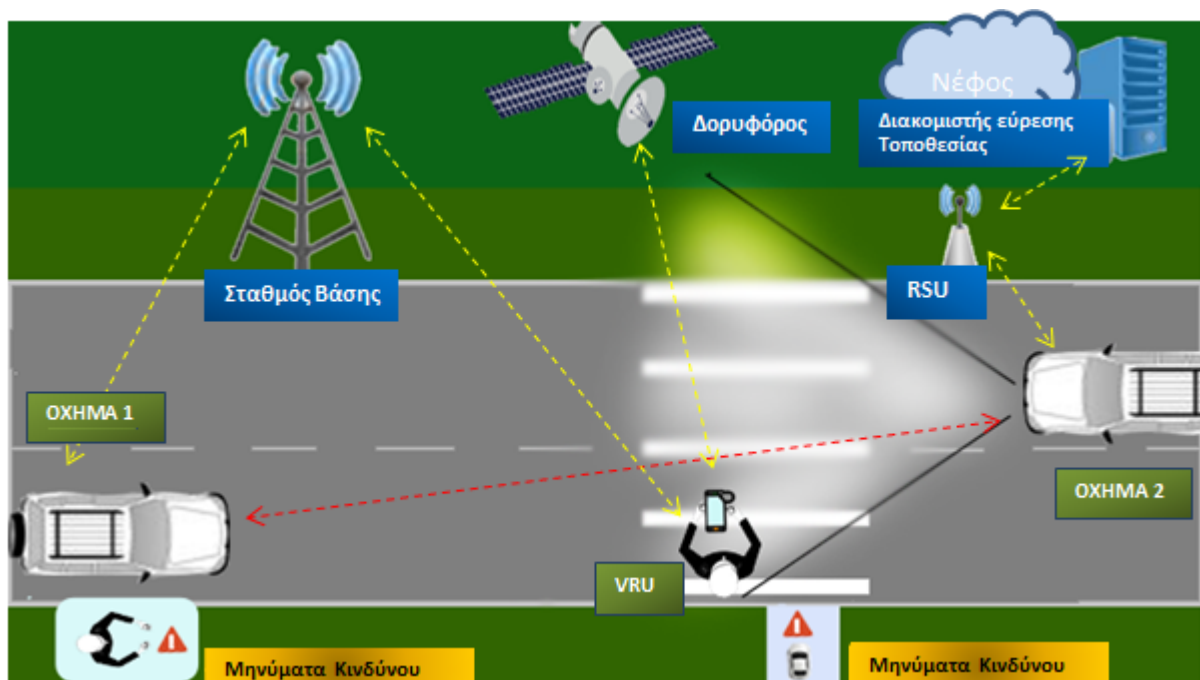
Παρόδια Μονάδα (Road Side Unit-RSU): Είναι η υποδομή του δικτύου V2X. Μπορεί να παρέχει πληροφορίες από αισθητήρες των κινούμενων οχημάτων, από αισθητήρες διαμέσου του δρόμου και από εφαρμογές διαχείρισης της κίνησης με στατικούς χάρτες. Βοηθά στη συνεργατική αντίληψη του οχήματος 1.

Απομακρυσμένος Διακομιστής: Είναι μία υποδομή του δικτύου που μπορεί να βοηθήσει στην κάλυψη της περιοχής με εφαρμογές που καλύπτουν την κίνηση του δρόμου, την ασφάλεια της κίνησης του οδικού δικτύου με μηνύματα ειδοποίησης.

Η επικοινωνία γίνεται με μηνύματα «αίτησης ρευμάτωσης βίντεο» και πληροφορίες στάτου όπως η ταχύτητα και η θέση των οχημάτων.

11.3.3 Προστασία Ευάλωτου πεζού

Η συγκεκριμένη περίπτωση (Σχήμα 46) εξετάζει το γεγονός όπου ένας πεζός διανύει κάθετα τον δρόμο ή κινείται παράλληλα και πολύ κοντά σε αυτόν, χωρίς να υπάρχει πεζοδρόμιο. Επίσης υπάρχουν εμπόδια από την πλευρά του οδηγού και από τον πεζό, οπότε αμφότεροι δεν μπορούν να εντοπίσουν έγκαιρα την τυχόν σύγκρουσή τους. Σχετικό παράδειγμα αφορά σε σταθμευμένα αυτοκίνητα μεγάλου μεγέθους ή σε μειωμένη ορατότητα λόγω καιρικών συνθηκών. Ο πεζός θα πρέπει να διαθέτει συσκευή με σύνδεση σε πάροχο τηλεπικοινωνίας, να έχει ενεργοποιημένο το σύστημα ανίχνευσης της θέσης (με εξελιγμένο αλγόριθμο) και να επιτρέπεται η συγχώνευση των δεδομένων από εξωτερικές πηγές. Το όχημα θα πρέπει να διαθέτει σύστημα κινητής τηλεφωνίας με σύνδεση παρόχου, ασύρματη επικοινωνία με τα γειτονικά οχήματα και γενικά θα πρέπει να μπορεί να επικοινωνήσει με την υποδομή του δικτύου. Η ανίχνευση του VRU θα γίνεται από τη συλλογή των πληροφοριών που θα συγκεντρώνονται από τα γειτονικά οχήματα (κάμερα και αισθητήρες ανίχνευσης αντικειμένων), από τα δεδομένα GNSS ή από τα δεδομένα του κινητού του χρήστη.



Σχήμα 46. Η περίπτωση χρήσης Προστασία Ευάλωτου πεζού με τη βοήθεια παρόχου τηλεπικοινωνίας

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Όχημα 1: Είναι το όχημα που κινείται με ταχύτητα στον κεντρικό δρόμο και κατευθύνεται προς τον VRU. Πρέπει να διαθέτει ασύρματη επικοινωνία με τα γειτονικά οχήματα για ανταλλαγή των πληροφοριών που γίνεται από αισθητήρα ανίχνευσης αντικειμένου, από κάμερα και με ενεργοποιημένο το σύστημα LDM (local dynamic map). Επίσης πρέπει να υπάρχει σύνδεση με τηλεπικοινωνιακό πάροχο.

VRU: Είναι ο χρήστης ο οποίος κατευθύνεται κάθετα στον κεντρικό δρόμο χωρίς να έχει οπτική επαφή με το όχημα 1. Πρέπει να διαθέτει συσκευή που να είναι συνδεδεμένη με πάροχο κινητής τηλεφωνίας και να έχει ενεργοποιημένο το σύστημα ανίχνευσης θέσης της συσκευής.

Όχημα 2: Είναι ένα όχημα που βρίσκεται στον κεντρικό δρόμο και έχει οπτική επαφή με τον VRU μέσω της κάμερας. Έχει ασύρματη επικοινωνία με τα γειτονικά οχήματα, σύνδεση GNSS και σύνδεση με πάροχο κινητής επικοινωνίας.

Παρόδια Μονάδα (Road Side Unit): Είναι η υποδομή του δικτύου V2X. Μπορεί να παρέχει πληροφορίες από τους αισθητήρες των κινούμενων οχημάτων, από εγκατεστημένα ραντάρ που υπάρχουν στο δρόμο και από εφαρμογές διαχείρισης της κίνησης με στατικούς χάρτες. Παρέχοντας έναν Τοπικό Δυναμικό Χάρτη (LDM) στο όχημα 2 βοηθάει στην εύρεση της θέσης του VRU.

Απομακρυσμένος Διακομιστής: Είναι μία υποδομή του δικτύου και μπορεί να βοηθήσει στην γρήγορη εύρεση της θέσης του οχήματος 2 και να παρέχει σημαντικές πληροφορίες για το σύστημα LDM.

Σταθμός Βάσης: Είναι ο κεντρικός σταθμός βάσης ενός παρόχου κινητής τηλεφωνίας. Σε αυτόν συνδέονται το όχημα 1, ο VRU και το όχημα 2.

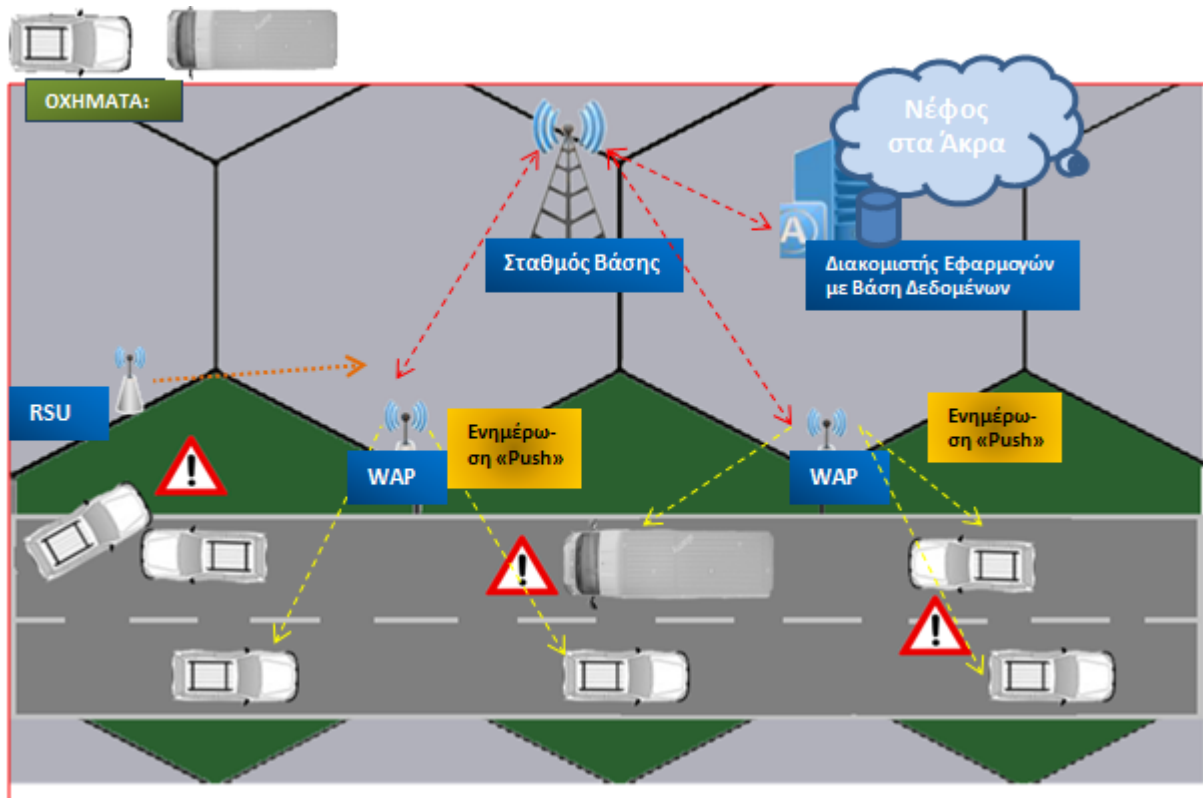
Η επικοινωνία γίνεται με «μηνύματα Κινδύνου» που συνδυάζονται από το όχημα 1 και τον VRU ή και από το όχημα 2 διαμέσω του παρόχου κινητής τηλεφωνίας με πληροφορίες στάτου όπως η ταχύτητα και η θέση του VRU.

11.3.4 Απόκτηση τοπικού χάρτη Πλοήγησης υψηλής ανάλυσης

Το συγκεκριμένο παράδειγμα (Σχήμα 47) αναφέρεται στην απόκτηση ενός δυναμικού χάρτη Πλοήγησης με υψηλή ανάλυση και γρήγορη ανανέωση των πληροφοριών του χάρτη, σε λιγότερο από 10 δευτερόλεπτα σε ορισμένες περιπτώσεις, για ένα όχημα. Για να δημιουργηθεί αυτός ο χάρτης πρέπει να υπάρχει ένας Διακομιστής Εφαρμογών, ο οποίος θα συλλέγει τις πληροφορίες από τους αισθητήρες των διαφορετικών οχημάτων, από τις Παρόδιες Μονάδες (RSUs) της υποδομής του δικτύου και να δημιουργεί μία δυναμική διαδρομή του χάρτη που να εξασφαλίζει την πιο σύντομη διαδρομή προορισμού για την αυτόνομη ή ημιαυτόνομη οδήγηση. Έπειτα η πληροφορία της καλύτερης διαδρομής του Διακομιστή Εφαρμογών οργανώνεται και χωρίζεται – με βάση το Κυψελοειδές Ραδιοσύστημα – σε ευθυγραμμισμένα εξαγωνικά κελιά όπου κάθε κελί έχει και τον αναμεταδότη του. Τα οχήματα λαμβάνουν τις πληροφορίες από τον Διακομιστή Εφαρμογών με την τεχνολογία “Push” («Ωθηση») όπου τα δεδομένα αποστέλλονται από τον Διακομιστή χωρίς να υπάρχει αίτηση από το όχημα (επείγουσες καταστάσεις) και με την τεχνολογία “rolling” («σταθμοσκόπηση») όπου το όχημα στέλνει την πληροφόρηση στον Διακομιστή (χρησιμοποιείται για περιοδικές καταστάσεις του οχήματος όπως για την αποστολή της ταχύτητάς του, το περιβάλλον του μέσω των αισθητήρων, για το εάν λειτουργεί το όχημα με αυτόνομη ή χειροκίνητη οδήγηση, κτλ.). Οι πληροφορίες του χάρτη ανανεώνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα αναλόγως με ποιά τεχνολογία αποστέλλονται τα δεδομένα. Ο στόχος είναι το να γίνεται δυναμική ενημέρωση του χάρτη όταν το όχημα βρίσκεται σε κίνηση. Η ενεργοποίηση του χάρτη για αυτόνομη ή ημιαυτόνομη οδήγηση πρέπει να γίνεται σε όλα τα διαφορετικά περιβάλλοντα (όπως στην επαρχία, στην πόλη, στις κεντρικούς οδούς κτλ.). Τα οχήματα πρέπει να είναι εφοδιασμένα με τεχνολογία

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

ασύρματης επικοινωνίας και να έχουν σύνδεση με έναν πάροχο κινητής τηλεφωνίας για τη σύνδεση με τον Διακομιστή Εφαρμογών



Σχήμα 47.Η περίπτωση χρήσης Απόκτηση Τοπικού Χάρτη Υψηλής Ακρίβειας

Διακομιστής Εφαρμογών στα Άκρα: Είναι η υποδομή του δικτύου V2X που πρέπει να βρίσκεται κοντά στα αντικείμενα μετάδοσης σήματος (οχήματα) διότι εκτελεί υπολογισμούς από διάφορες πηγές όπως από την Παρόδια Μονάδα (RSU) ή τους αισθητήρες των οχημάτων και θα πρέπει να μεταδίδει το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των πληροφοριών σε πολύ σύντομο χρόνο. Οι πληροφορίες του χάρτη κατανέμονται σε επίπεδα από 1 έως 4.

Επίπεδο 1: Περιλαμβάνει τις στατικές πληροφορίες χάρτη από τη συλλογή ενός παρόχου.

Επίπεδο 2: Περιέχει τις βασικές μόνιμες πληροφορίες του χώρου στον χάρτη, όπως τα ορόσημα μέρη, τις φυσικές ή τις τεχνητές κατασκευές.

Επίπεδο 3: Συμπεριλαμβάνει προσωρινές πληροφορίες της περιοχής του χάρτη όπως την ομίχλη (η οποία εντοπίζεται από κάμερα ή από τα φώτα ομίχλης οχημάτων), την ολισθηρότητα του δρόμου (εντοπίζεται από το ABS (Antilock Braking System) ή το ESP (Electronic Stability Program) με την ενεργοποίησή τους από τα οχήματα) .

Επίπεδο 4: Συλλέγει ανανεώσιμες πληροφορίες που λαμβάνονται από τα γειτονικά οχήματα, όπως σχετικά με την ταχύτητα, την πορεία, τη θέση και την επιτάχυνση. Μόλις γίνει η συλλογή όλων των πληροφοριών, ο χάρτης μεταδίδεται στα οχήματα μέσω των ραδιοζεύξεων.

Οχήματα: Είναι τα οχήματα που κινούνται με ταχύτητα στον κεντρικό δρόμο και κατευθύνονται και προς τις δύο λωρίδες του δρόμου. Επίσης πρέπει να υπάρχει σύνδεση με τηλεπικοινωνιακό πάροχο. Τα οχήματα σε μία επείγουσα κατάσταση κινδύνου λαμβάνουν, με την μέθοδο τεχνολογίας “Push” από τον Διακομιστή Εφαρμογών και διαμέσου της Παρόδιας Μονάδας, μηνύματα κινδύνου και ενημερώνεται ο χάρτης των οχημάτων στο επίπεδο 4. Επίσης, ο χάρτης ενημερώνεται με την

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

τεχνολογία “rolling” από τα οχήματα με τις ενημερωμένες πληροφορίες όπως σχετικά με την πορεία, την ταχύτητα, τη θέση, εάν το όχημα είναι αυτόνομο ή όχι, κτλ.

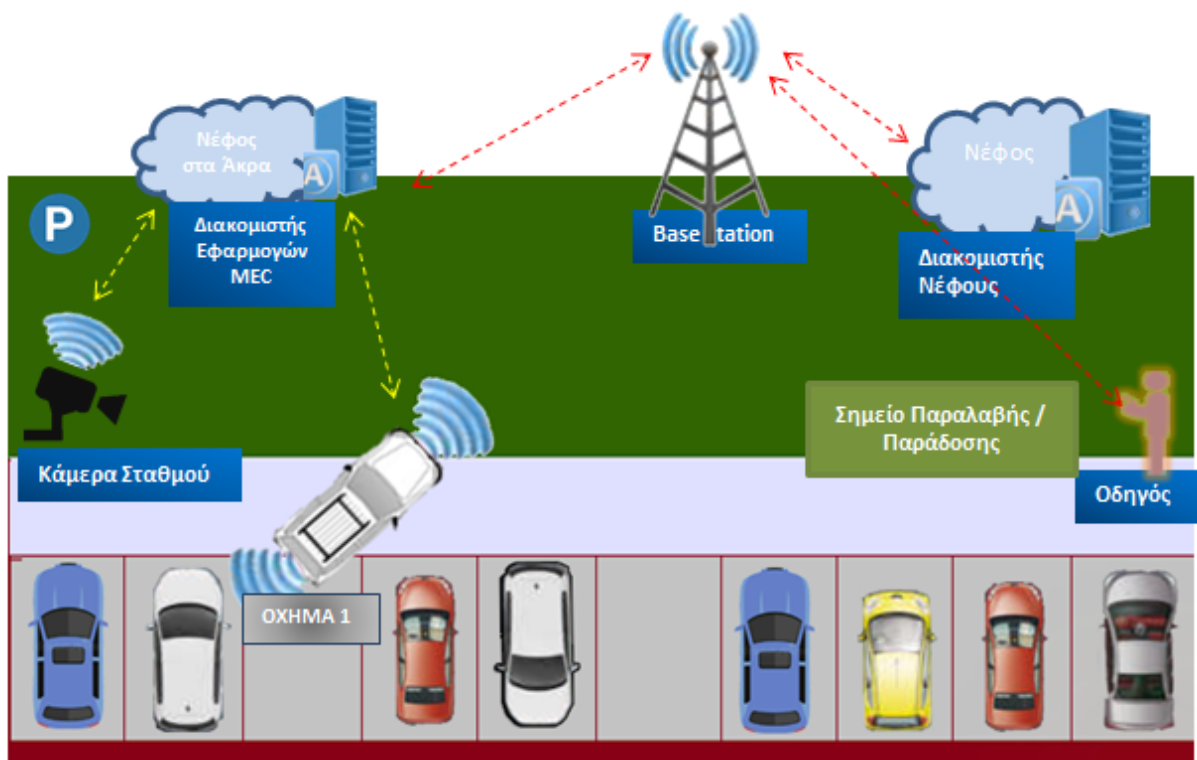
Παρόδια Μονάδα (Road Side Unit): Είναι η υποδομή του δικτύου V2X η οποία αντιλαμβάνεται το ατύχημα από την κάμερα ή από τους αισθητήρες των οχημάτων. Εκπέμπει σήμα κινδύνου στη μονάδα Ασυρμάτου Σημείου Πρόσβασης (Wireless Access Point - WPA) που καλύπτει τα εξαγωνικά κελιά του ραδιοκύματος η οποία με την σειρά της το μεταδίδει στον Σταθμό Βάσης, ο οποίος και το προωθεί στο Διακομιστή MEC.

Σταθμός Βάσης: Είναι ο κεντρικός σταθμός βάσης ενός παρόχου κινητής τηλεφωνίας. Σε αυτόν συνδέονται οι μονάδες Ασυρμάτου Σημείου Πρόσβασης (WAP) και ο Διακομιστής Εφαρμογών με Βάση Δεδομένων.

Η επικοινωνία γίνεται με ενημέρωση του χάρτη πλοήγησης σε 4 επίπεδα που συνδυάζονται από τον Διακομιστή εφαρμογών διαμέσου του παρόχου κινητής τηλεφωνίας. Η ενημέρωση γίνεται σε περιοδικό αργό χρόνο όπως ανά ημέρες για τα επίπεδα 1 και 2 και σε σύντομο χρόνο όπως σε δευτερόλεπτα για την ενημέρωση της πληροφορίας στα επίπεδα 3 και 4 του χάρτη.

11.3.5 Αυτόνομη Στάθμευση

Η περίπτωση της αυτόνομης στάθμευσης (Σχήμα 48) προϋποθέτει ένα όχημα με έλεγχο από απόσταση, επεξεργασία ρευμάτων βίντεο σε πραγματικό χρόνο, αποστολή των δεδομένων από τους αισθητήρες του ελεγχόμενου οχήματος και από τους αισθητήρες/κάμερες του σταθμού στάθμευσης προς τον Διακομιστή Εφαρμογών MEC. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα εξετάζεται η περίπτωση όπου το όχημα ελέγχεται από τον Διακομιστή Εφαρμογών. Το όχημα αφήνεται από τον οδηγό σε ένα συγκεκριμένο σημείο του σταθμού στάθμευσης. Μπορεί να είναι εσωτερικό ή εξωτερικό, ιδιωτικό ή δημόσιο. Υπάρχει πιστοποίηση ελέγχου ασφάλειας ανάμεσα στο όχημα και στον Διακομιστή Νέφους για τη μεταφορά των δεδομένων. Η αντίληψη του οχήματος πρέπει να είναι ικανοποιητική καθώς και οι αισθητήρες/κάμερες του σταθμού στάθμευσης να λειτουργούν σε πολύ υψηλό επίπεδο.



Σχήμα 48. Η περίπτωση χρήσης της Αυτόνομης Στάθμευσης

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

Οδηγός: Ο οδηγός αφήνει το όχημα σε ένα καθορισμένο σημείο θέσης «Παραλαβή/Παράδοση» του σταθμού στάθμευσης και ζητά το αυτόνομο παρκάρισμα.

Διακομιστής Εφαρμογών MEC: Η συγκεκριμένη υποδομή του δικτύου αναλαμβάνει τον έλεγχο του οχήματος. Τα μηχανικά συστήματα του οχήματος (τροχοί, πέδηση, γκάζι) περνούν στον έλεγχο του υπολογιστή. Ο διακομιστής MEC, λαμβάνοντας υπόψη τις πληροφορίες του χάρτη, τα ληφθέντα δεδομένα του αισθητήρα ή της κάμερας από το όχημα και από τις εγκαταστάσεις στάθμευσης, υπολογίζει τις οδηγίες κατεύθυνσης του οχήματος.

Διακομιστής Νέφους: Παρέχει τους χάρτες και την ακριβή θέση του οχήματος και σε συνεργασία με το Διακομιστή Εφαρμογών MEC αναλαμβάνει τον έλεγχο του οχήματος. Λαμβάνει πληροφορίες από τον Διακομιστή Εφαρμογών MEC και τον ενημερώνει στέλνοντας του ανταπόκριση για την πορεία του οχήματος.

Σταθμός Βάσης: Είναι ο κεντρικός σταθμός βάσης ενός παρόχου κινητής τηλεφωνίας. Σε αυτόν συνδέονται οι μονάδες Σημείου Ασύρματης Πρόσβασης (WAP), ο Διακομιστής Εφαρμογών MEC και ο Διακομιστής Νέφους.

Όχημα 1: Είναι το όχημα που προσπαθεί να επιτύχει την αυτόνομη στάθμευση. Με ενεργοποιημένους τους αισθητήρες εμπρός και πίσω από το όχημα καθώς και με το ραντάρ εφόσον διαθέτει το όχημα- ξεκινάει την πορεία του προς την κενή θέση του σταθμού η οποία έχει ενημερωθεί στον Διακομιστή Εφαρμογών MEC από την υποδομή του χώρου του σταθμού. Επίσης το όχημα 1 στέλνει τις πληροφορίες των αισθητήρων του στον Διακομιστή Εφαρμογών MEC για την επεξεργασία της πορείας του.

Η επικοινωνία γίνεται με ασύρματη αμφίδρομη επικοινωνία από τον Διακομιστή Εφαρμογών MEC διάμεσο του παρόχου της κινητής τηλεφωνίας. Η αντίληψη (από: αισθητήρες, κάμερα, Radar, LiDAR, κτλ.) του οχήματος είναι πολύ μεγάλη και μεταδίδει συνεχώς στο διακομιστή νέα δεδομένα, τα οποία επιστρέφονται σε πολύ λίγο χρόνο και με μεγάλη αξιοπιστία. Επίσης τα δεδομένα συνδυάζονται και από τις εγκαταστάσεις της στάθμευσης.

Αντί Επιλόγου

Τα τελευταία 50 χρόνια έχει αρχίσει από τις Η.Π.Α. ένα συστηματικό ενδιαφέρον για την αυτοματοποίηση του οδικού δικτύου και έχει επεκταθεί σε όλο τον κόσμο. Έχουν υπάρξει αρκετές Διεθνείς Εκθέσεις που αφορούν στην αυτοκινητοβιομηχανία και στη διασύνδεση των δικτύων. Μερικές τελευταίες εκθέσεις ανά τον κόσμο είναι: I-Mobility Automotive and Energy Storage Investment event Munich, SAE World Congress Detroit, Autonomous Tech TLV Israel, CES 2019 Israel, CES2020 Las Vegas, TU Automotive Detroit 2020, Eco motion 2020, Smart Mobility Summit Israel, MWC19 Barcelona, CEVA Technology APAC Tokyo. Οι πιο πολλές εκθέσεις αλλά και μελέτες έχουν εστιάσει στην επικοινωνία V2X που αφορά στην ασφάλεια, στην αξιοπιστία, στην ευκολία και στην περιβαλλοντική συνείδηση. Με την τεχνολογία 3GPP 5G NR έχουμε εξασφαλίσει πολύ μικρή καθυστέρηση, πολύ υψηλή αξιοπιστία και πολύ υψηλό ρυθμό ταχύτητας δεδομένων καθιστώντας την επικοινωνία V2X ως ένα από τα μεγαλύτερα ενδιαφέροντα από τις βιομηχανίες, τις κυβερνήσεις και τους τηλεπικοινωνιακούς φορείς.

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organization - WHO) αναφέρει ότι κάθε χρόνο η θνησιμότητα στους πεζούς από τροχαία ατυχήματα φτάνει σχεδόν τα 270.000 άτομα. Η κατηγορία της επικοινωνίας V2P έχει τη δυνατότητα να μειώσει δραστικά αυτούς τους καταστροφικούς αριθμούς. Οι εφαρμογές V2P που διατίθεται σε έξυπνα κινητά και σε άλλες έξυπνες συσκευές επιτρέπουν στους πεζούς να ανταλλάσσουν χρήσιμα δεδομένα με τα οχήματα. Επίσης η τεχνολογία της επικοινωνίας V2V έχει ως στόχο να μετριάσει την κυκλοφοριακή συμφόρηση, τη μείωση της μόλυνσης του περιβάλλοντος από τα καυσαέρια, αλλά και να μειώσει τα τροχαία ατυχήματα. Η τεχνολογία V2I προορίζεται να βοηθήσει στη δημιουργία έξυπνης πόλης και να κάνει τους δρόμους ασφαλέστερους, σε όλο τον κόσμο.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι επικοινωνίας V2X, που στηρίζονται στις τεχνολογίες DSRC (ΗΠΑ) / ITS-G5 (Ευρώπη) και στην LTE-V2X του φορέα 3GPP. Οι τεχνολογίες DSRC / ITS-G5 που στηρίζονται στο αναβαθμισμένο πρότυπο IEEE802.11bd έχουν μειονεκτήματα, όπως το υψηλό κόστος, τους περιορισμένους πόρους και ζητήματα ασφάλειας. Οι τομείς της αυτοκινητοβιομηχανίας, των τηλεπικοινωνιών και των τεχνολογιών πληροφορικής έχουν στραφεί στην κυψελοειδή τεχνολογία C-V2X. Τα πιο βασικά πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι το χαμηλό κόστος, η ταχεία ανάπτυξη και η εγκατάσταση στην ήδη υπάρχουσα υποδομή του δικτύου. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G-NR – V2X και την ενσωμάτωση χιλιοστομετρικών κυμάτων, Υπολογιστικής Πολλαπλής Πρόσβασης στα Άκρα, Τεμαχισμού του Δικτύου και με τα Ιδεατά Δίκτυα, η επικοινωνία V2X έχει εξελιχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό, ανά τον κόσμο. Η ωρίμαση και η εξάπλωση της τεχνολογίας 5G εκτιμάται ότι θα δώσει την ώθηση για την εδραίωση της επικοινωνίας V2X. Μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες όπως η Nissan, η Jaguar, η Ford, η Daimler, η Volkswagen, η Audi και πολλές άλλες έχουν εκφράσει την υποστήριξή⁸⁴ τους για την τεχνολογία επικοινωνίας V2X.

Και, κλείνοντας, ο συντάκτης επιθυμεί να εκφράσει μία προσωπική πρόβλεψη ότι δηλαδή η κυψελοειδής τεχνολογία έχοντας λύσει τα θέματα ασφάλειας αναφορικά με τη διαφάνεια, την ιδιωτικότητα, την ακεραιότητα και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, σε μία δεκαετία από σήμερα όλα τα αυτοκίνητα που θα βγαίνουν στην αγορά θα έχουν προ-ενσωματωμένους κατασκευαστικούς αισθητήρες με σύνδεση σε δίκτυο που θα υποστηρίζει επικοινωνία V2X.

⁸⁴ Πηγή: <https://www.traffictoday.com>

Βιβλιογραφία:

1. P. K. Singh, S.K. Nandia, and S. Nandi (2019, August): **A tutorial survey on vehicular communication state of the art, and future research directions**. Vehicular Communications **18**, pp.1-39. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2019.100164>.
2. N. Raza, S. Jabbar, J. Han, K. Han (2018, June): **Social Vehicle-To-Everything (V2X) communication model for Intelligent Transportation Systems based on 5G scenario**. In: Proceedings of the **2nd International Conference on Future Networks and Distributed Systems (ICFNDS)**, June 26-27, Amman-Jordan (WOSTech'18), pp.1-8. <https://doi.org/10.1145/3231053.3231120>.
3. S. Al-Sultan, M.M. Al-Doori, A.H. Al-Bayatti, and H. Zedan (2014, January): **A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network**. Journal of Network and Computer Applications **37**, pp.380-392. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2013.02.036>.
4. Wikipedia (2020): Visible light communication, [online]. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Visible_light_communication [10 December 2020].
5. U. Can Çabuk, G. Kanakis, and F. Dalkılıç (2016, July): **LTE Direct as a Device-to-Device Network Technology: Use Cases and Security**. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering **5(7)**, pp.401-405. doi: 10.17148/IJARCC.2016.5779.
6. F. Arena, G. Pau, and A. Severino (2019, December): **V2X Communications Applied to Safety of Pedestrians and Vehicles**. Journal of Sensor and Actuator Networks **9(1)**, 3, pp.1-10. <https://doi.org/10.3390/jsan9010003>.
7. S. Lefèvre, J. Petit, R. Bajcsy, C. Laugier, and F. Karg (2013): **Impact of V2X Privacy Strategies on Intersection Collision Avoidance Systems**. In: Proceedings of the 2013 IEEE Vehicular Networking Conference, pp.71-77, IEEE. doi: [10.1109/VNC.2013.6737592](https://doi.org/10.1109/VNC.2013.6737592).
8. T. Zhang, and L. Delgrossi (2012): **Vehicle Safety Communications: Protocols, Security, and Privacy**. John Wiley & Sons, Canada.
9. K. Eccles, F. Gross, M. Liu, and F. Council (2012): **Crash data analyses for vehicle-to- infrastructure communications for safety applications**, pp.23-47, U.S Department of Transportation Federal Highway Administration.
10. G. Cordahi, R. Kamalanathsharma, J. Kolleda, D. Miller, S. Novosad, T. Poling, and S. Sundararajan, (2016, September): **Connected Vehicle Pilot Deployment Program Phase 1, Application Deployment Plan–Tampa (THEA), Technical Report**. <https://trid.trb.org/view/1460679>.
11. C. Suthaputchakun, Z. Sun, and M. Dianati (2012, December): **Applications of vehicular communications for reducing fuel consumption and CO2 emission: the state of the art and research challenges**. IEEE Communications Magazine **50(12)**, pp.108-115. doi: [10.1109/MCOM.2012.6384459](https://doi.org/10.1109/MCOM.2012.6384459).
12. M. Amoozadeh, H. Deng, C.-N. Chuah, H.M. Zhang, and D. Ghosal (2015, April): **Platoon management with cooperative adaptive cruise control enabled by VANET**. Vehicular Communications **2(2)**, pp.110–123. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2015.03.004>.
13. J. Wang, Y. Shao, Y. Ge, and R. Yu (2019): **A Survey of Vehicle to Everything (V2X) Testing**. Sensors **19(2)**, 334, pp.1-20. <https://doi.org/10.3390/s19020334>.
14. J.B. Kenney (2011, July): **Dedicated short-range communications (DSRC) standards in the United States**. Proceedings of the IEEE, **99(7)**, pp.1162-1182. doi: [10.1109/JPROC.2011.2132790](https://doi.org/10.1109/JPROC.2011.2132790).

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

15. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): IEEE Standard for Information Technology - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements - Part11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments; **IEEE Std 802.11p-2010**; IEEE: New York, NY, USA, [2010].
16. D. Jiang, and L. Delgrossi (2008): **IEEE 802.11p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments**. In: Proceedings of VTC Spring 2008, IEEE Vehicular Technology Conference, pp.2036-2040, doi: [10.1109/VETECS.2008.458](https://doi.org/10.1109/VETECS.2008.458).
17. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): IEEE Draft Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - **Resource Manager**; **IEEE Std 1609.1-2016**; IEEE, New York, NY, USA, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4067142>.
18. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): IEEE Draft Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments - **Security Services for Applications and Management Messages**; **IEEE Std 1609.2-2016**; IEEE: New York, NY, USA, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8691892>.
19. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - **Networking Services**; **IEEE Std 1609.3-2016**; IEEE: New York, NY, USA, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7458115>.
20. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): IEEE Draft Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - **Multi-Channel Operation**; **IEEE Std 1609.4-2016**; IEEE: New York, NY, USA, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5551099>.
21. SAE. Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary; **J2735**; SAE: Warrendale, PA, USA, [2016].
22. A. Costandoiu, and M. Leba (2019): Materials Science and Engineering (2018, May): **Convergence of V2X communication systems and next generation networks**. In Proceedings of the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 477, International Conference on Applied Sciences, pp.1-18, available at: <https://iopscience.iop.org/article>.
23. United States Department of Transportation (2009): **IEEE 1609 - Family of Standards for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)**, available at: <https://www.standards.its.dot.gov/factsheets/factsheet/80>.
24. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – **Over-the-Air Electronic Payment Data Exchange Protocol for Intelligent Transportation Systems (ITS)** IEEE: New York, NY, USA, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5692959>.
25. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): **IEEE A GNU Radio based testbed implementation with IEEE 1609 WAVE functionality**, 2009, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5416372>.
26. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks – Specific requirements - **Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications**, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7786995>.
27. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): **IEEE On the Performance of IEEE 802.11p Outside the Context of a BSS Networks**, 2018, pp.1-3, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8580785>.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

28. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): **IEEE 1609.4 DSRC multi-channel operations and its implications on vehicle safety communications**, 2009, pp.1-5, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5416394>.
29. European Committee for Standardization (CEN): **CEN/TC 278 Intelligent transport systems**, available at: <http://www.itsstandards.eu/tc278>.
30. European Commission (2016): M/546 Commission implementing Decision C(2016)808 of 12.2.2016 on a standardisation request to the European standardisation organisations as regards Intelligent Transport Systems (ITS) in urban areas in support of Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010 on the framework for the deployment of Intelligent Transport Systems in the field of road transport and for interfaces with other modes of transport, available at: <http://ec.europa.eu/growth/tools-atabases/mandates/index.cfm?fuseaction=search.detail&id=568#>
31. European Commission (2016, February): MOVE/A3/119-2013-Lot № 5 “Horizontal”: **Study on the Deployment of C-ITS in Europe: Final Report**, (Framework Contract on Impact Assessment and Evaluation Studies in the Field of Transport MOVE/A3/119-2013-Lot No 5 “Horizontal”) pp.110-116, available at: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2016-c-its-deployment-study-final-report.pdf>.
32. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): **ETSI EN 302 663 V1.2.1 (2013-05): “Intelligent Transport Systems (ITS), Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band”** https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302663/01.02.01_30/en_302663v010201v.pdf
33. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): “Intelligent Transport Systems (ITS); Harmonized Channel Specifications for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band”, **ETSI TS 102 724 V1.1.1**, [October 2012].
34. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): “Intelligent Transport Systems (ITS); Decentralized Congestion Control Mechanisms for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz range; Access layer part”, **ETSI TS 102 687 V1.2.1**, [April 2018].
35. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): “Intelligent Transport Systems (ITS); Cross Layer DCC Management Entity for operation in the ITS G5A and ITS G5B medium”, **ETSI TS 103 175 V1.1.1**, [June 2015].
36. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): “Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 5: Transport Protocols; Sub-part 1: Basic Transport Protocol”, **ETSI EN 302 636-5-1 V2.2.0**, [February 2019].
37. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): “Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 1: Requirements”, **ETSI EN 302 636-1 V1.2.1**, [April 2014].
38. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): “Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Security header and certificate formats”, **ETSI TS 103 097 V1.3.1**, [October 2017].
39. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): “Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Trust and Privacy Management”, **ETSI TS 102 941 V1.3.1**, [February 2019].
40. International Organization for Standardization (ISO): “Intelligent Transport Systems - Cooperative ITS - Using V2I and I2V communications for applications related to signalised intersections”. **ISO/ TS 19 091**, [2017].

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

41. P. Spaandermaann, 2014, TNO, NL. **Infrastructural Message Sets Standardization at CEN and ISO status**, pp.1-19, available at: [ITSWORKSHOP/S07 IntelligentIntegratedTransportSystems](https://www.itsworkshop.com/news-events/it-sw-workshop-s07-intelligent-integrated-transport-systems).
42. International Organization for Standardization (ISO): “Intelligent Transport Systems - Cooperative ITS - Dictionary of in-vehicle information (IVI) data structures”, **ISO/ TS 19 321**, [April 2015].
43. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service”, **ETSI EN 302 637-2** V1.3.1, [September 2014].
44. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service”, **ETSI EN 302 637-3** V1.2.2, [November 2014].
45. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): “Digital Video Broadcasting (DVB); Carriage of Broadband Content Guide (BCG) information over Internet Protocol (IP)”, **ETSI TS 102 539** V1.3.1, [April 2010].
46. D. Flore (2016): **Initial Cellular V2X standard completed**, 2016, available at: https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1798-v2x_r14.
47. Α. Μπόγγρης, 2019, ΠΜΣ: Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και των Υπολογιστών: Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών και Εφαρμογές, [2019].
48. M. Muhammad, G. Ali Safdar, (2018, April): **Survey on existing authentication issues for cellular-assisted V2X communication**. Vehicular Communications **12**, pp.50-65, available at: <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2018.01.008>.
49. R. Shrestha, S.Y. Nam, R. Bajracharya and S. Kim (2020, August) Electronics: **Evolution of V2X Communication and Integration of Block chain for Security Enhancements**, Electronics 2020 **9**(9), 1338 <https://doi.org/10.3390/electronics9091338>.
50. European Committee for Standardization (CEN): **CEN/TC 278** Intelligent transport systems, available at: <https://standards.cen.eu>.
51. European Committee for Standardization (CEN): **CEN/TC 226** Intelligent transport systems, available at: <https://standards.cen.eu>.
52. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): Technical Committee (TC) Intelligent Transport Systems (ITS), available at: <https://www.etsi.org/committee/its>.
53. ISO, **ISO/TC 204** Intelligent transport systems, available at: <https://www.iso.org/committee/54706.html>.
54. SAE. Dedicated Short Range Communications (DSRC) On-Board System Requirements for V2V Safety Communications, SAE: **J2945**, [2016].
55. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): IEEE-1609.0, IEEE Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Architecture, IEEE Std. **1609.0-2013** pp.1-78, [2014].
56. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): **IEEE 802.11-2020** - IEEE Approved Draft Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, available at: https://standards.ieee.org/standard/802_11-2020.html.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

57. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): IEEE SA, **IEEE 802**[®] - KEEPING THE WORLD CONNECTED IEEE 802, available at: <https://standards.ieee.org/featured/802/index.html#about>.
58. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): **IEEE 1616-2004** - IEEE Standard for Motor Vehicle Event Data Recorder (MVEDR), available at: <https://standards.ieee.org/standard/1616-2004.html>.
59. ASTM International, 2018, **ASTM E2213** – 03, Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems - 5 GHz Band Dedicated Short-Range Communications (DSRC), Medium Access Control (MAC), and Physical Layer (PHY) Specifications, available at: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?E2213-03>.
60. S. Zeadally, M. Awais Javed, and E. Ben Hamida (2020, March): **Vehicular Communications for ITS: Standardization and Challenges**. IEEE Communications Standards Magazine 4(1) pp.11-17, doi: [10.1109/MCOMSTD.001.1900044](https://doi.org/10.1109/MCOMSTD.001.1900044).
61. Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) (2012, February): **Overview of ARIB Standards (STD-T109)**, available at: https://www.arib.or.jp/english/std_tr/telecommunications/desc/std-t109.html.
62. H. Wu, X. Wang, Q. Zhang, and X. Shen (2006): **IEEE 802.11e Enhanced distributed channel access (EDCA) Throughput Analysis**. In: Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Communications (ICC'06), vol.1, pp.223-228, available at: <http://refhub.edoi:10.1109/ICC.2006.254731>
63. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): IEEE, 1999, **IEEE 802.11a** - IEEE Standard for Telecommunications and Information Exchange Between Systems - LAN/MAN Specific Requirements - Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: High Speed Physical Layer in the 5 GHz band, available at: https://standards.ieee.org/standard/802_11a-1999.html.
64. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): IEEE, 2009, **IEEE 802.11n** - 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 5: Enhancements for Higher Throughput, available at: https://standards.ieee.org/standard/802_11n-2009.html.
65. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): IEEE, 2013, **IEEE 802.11ac** - IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications-- Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz, available at: https://standards.ieee.org/standard/802_11ac-2013.html.
66. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): IEEE **P802.11ax** - IEEE Draft Standard for Information technology-- Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 1: Enhancements for High Efficiency WLAN, available at: <https://standards.ieee.org/project/802.11ax.html>.
67. B.Y. Yacheur, T. Ahmed, and M. Mosbah (2020): **Analysis and Comparison of IEEE 802.11p and IEEE 802.11bd**. In: Proceedings of the International Workshop on Communication Technologies for Vehicles Nets4Cars/Nets4Trans/Nets4Aircraft 2020: Communication Technologies for Vehicles 2020, Lecture Notes in Computer Science book series (LNCS, volume 12574), pp.55-65, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-66030-7_5.
68. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): IEEE, 2012, **IEEE 802.11ad** - IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

- and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 3: Enhancements for Very High Throughput in the 60 GHz Band, available at: https://standards.ieee.org/standard/802_11ad-2012.html.
69. S.A. Abdel Hakeem, A. A. Hady, and H. Kim (2020): **Current and future developments to improve 5G -NewRadio, performance in vehicle-to-everything communications**. Telecommunications Systems 75(1), pp.331-353, doi: [10.1007/s11235-020-00704-7](https://doi.org/10.1007/s11235-020-00704-7).
 70. everythingRF, 2018, Editorial Team, **What is LTE Sidelink**, available at: <https://www.everythingrf.com/community/what-is-lte-sidelink>.
 71. M. Ali, N. Sukar, and M. Pal (2014): **SC-FDMA & OFDMA in LTE physical layer**. International Journal of Engineering Trends and Technology 12(2), pp.74-85 [June 2014].
 72. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): IEEE, 2017, **LTE-V for Sidelink 5G V2X Vehicular Communications: A New 5G Technology for Short-Range Vehicle-to-Everything Communications**, pp.30-33, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8080373>.
 73. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Telecommunication management; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP); Information Service (IS) (3GPP TS 32.762 version 10.4.0 Release 10)”, pp.35-48, **ETSI TS 132 762**, available at: <https://www.etsi.org/>.
 74. Y. Jeon, S. Kuk, and H. Kim, (2018, December): **Reducing Message Collisions in Sensing-Based Semi-Persistent Scheduling (SPS) by Using Reselection Lookaheads in Cellular V2X**. Sensors 2018, 18(12), 4388 <https://doi.org/10.3390/s18124388>.
 75. N. Bonjorn, F. Foukalas, and P. Pop (2018, June): **Enhanced 5g v2x services using sidelink device-to-device communications**. In: Proceedings of the IEEE 2018 17th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net), pp.1-3. IEEE, doi: [10.23919/MedHocNet.2018.8407085](https://doi.org/10.23919/MedHocNet.2018.8407085).
 76. B. Toghi, Md Saifuddin, Y.P. Fallah, and M.O. Mughal (2019): **Analysis of Distributed Congestion Control in Cellular Vehicle-to-everything Networks**. In: Proceedings of the 2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall), pp.1-7. IEEE, doi: [10.1109/VTCFall.2019.8891335](https://doi.org/10.1109/VTCFall.2019.8891335) available at: <https://arxiv.org/pdf/1904.00071.pdf>.
 77. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): “LTE 5G Overall description of Radio Access Network (RAN) aspects for Vehicle-to-everything (V2X) based on LTE and NR (3GPP TR 37.985 version 16.0.0 Release 16)”, **ETSI TR 137 985 V16.0.0**, [July, 2020].
 78. H. Bagheri, Md Noor-A-Rahim, Z. Liu, H. Lee, D. Pesch, K. Moessner, and P. Xiao (2020, September): **5G NR-V2X: Towards Connected and Cooperative Autonomous Driving**, pp.1-7, Cornell University, US, available at: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2009/2009.03638.pdf>.
 79. International Telecommunication Union – Radiocommunication Sector (ITU-R) – Study Groups, 2015, **ITU-R Preparatory Studies for WRC-19**, pp.1-3, available at: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rcpm/Pages/wrc-19-studies.aspx>.
 80. M.J. Marcus (2019, December): **ITU WRC-19 Spectrum Policy Results**. IEEE Wireless Communications, pp.4-5, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8938175>.
 81. J. Restrepo (2019): ITU Regional Economic Dialogue on Information and Communication Technologies for Europe and CIS (RED-2019) regulatory and economic tools for a dynamic ICT market place Odessa, Ukraine: **Spectrum Allocation for 5G International Framework**, pp.1-47, available at: <https://www.itu.int/en/>.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

82. S.-Y. Lien, D.-J. Deng, C.-C. Lin, H.-L. Tsai, et al. (2019): **3GPP NR Sidelink Transmissions Toward 5G V2X**. IEEE Access **8**, pp.35368-35382, doi: [10.1109/ACCESS.2020.2973706](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2973706).
83. G. Naik, B. Choudhury, and J.-M. Park (2019): **IEEE 802.11bd & 5G NR V2X: Evolution of Radio Access Technologies for V2X Communications**. IEEE Access **7**, pp.6-9, doi: [10.1109/ACCESS.2019.2919489](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2919489).
84. Qualcomm (2018, September): **Designing 5G NR - The 3GPP Release 15 global standard for a unified, more capable 5G air interface**, pp.12-17, available at: <https://www.qualcomm.com/>.
85. S.A. Abdel Hakeem, A.A. Hady, and H. Kim (2020): **5G-V2X: standardization, architecture, use cases, network-slicing, and edge-computing**. Wireless Networks **26**(6), pp.1-27, doi: [10.1007/s11276-020-02419-8](https://doi.org/10.1007/s11276-020-02419-8).
86. **5GCAR**, 2019, 5G Communication Automotive Research and innovation, available at: <https://5gcar.eu/>.
87. J. Ordonez-Lucena, P. Ameigeiras, D. Lopez, J.J. Ramos-Munoz, J. Lorca, and J. Folgueira (2017): **Network Slicing in 5g Systems Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures, and Challenges**. IEEE Communications Magazine **55**(5), pp.80-87, doi: [10.1109/MCOM.2017.1600935](https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600935).
88. 5G NORMA Project (2017, October): **Deliverable 3.3: “5G Novel Radio Multiservice adaptive network Architecture”** Final report, pp17-24, available at: http://www.it.uc3m.es/wnl/5gnorma/pdf/5g_norma_d3-3.pdf.
89. 5GCAR Project (2019, March): **Deliverable D4.2: “Final Design and Evaluation of the 5G V2X System Level Architecture and Security Framework”**, available at: https://5gcar.eu/wp-content/uploads/2021/04/5GCAR_D4.2_v1.0.pdf.
90. N. Mouawad, R. Naja, and S. Tohme (2020): **Inter-slice handover management in a V2X slicing environment using bargaining games**. Wireless Networks **26**, pp.3883-3903, doi: [10.1007/s11276-020-02292-5](https://doi.org/10.1007/s11276-020-02292-5).
91. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): **“Multi-access Edge Computing (MEC): Phase 2: Use case and requirements”**, **ETSI GS MEC 002 V2.1.1** [October 2018].
92. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): **ETSI White Paper No.28: MEC in 5G networks**, (June 2018), available at: https://www.etsi.org/images/files/ETSIWhitePapers/etsi_wp28_mec_in_5G_FINAL.pdf.
93. L. Li, Y. Li, and R. Hou (2017): **A Novel Mobile Edge Computing-based Architecture for Future Cellular Vehicular Networks**. In: Proceedings of the 2017 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), pp.1-6, doi: [10.1109/WCNC.2017.7925830](https://doi.org/10.1109/WCNC.2017.7925830).
94. R. Soua, I. Turcanu, F. Adamsky, D. Führer, and T. Engel (2018): **Multi-Access Edge Computing for Vehicular Networks: a Position Paper**. In: 2018 IEEE Globecom Workshops, pp.1-6, doi: [10.1109/GLOCOMW.2018.8644392](https://doi.org/10.1109/GLOCOMW.2018.8644392)
95. 5G-PPP: 5GCAR Project (2017): **Deliverable D2.1: “5GCAR Scenarios, Use Cases, Requirements and KPIs”**, available at: https://5gcar.eu/wp-content/uploads/2021/04/5GCAR_D2.1_v2.0.pdf.
96. International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector (ITU-R) (2015, September): **ITU-R Recommendation M.2083-0: “IMT Vision – “Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond””**, available at: <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2083-0-201509-I/en>.

Επισκόπηση Προτύπων για Εφαρμογές Επικοινωνίας «Vehicle to Everything» («V2X»)

97. 5GPPP: 5G PPP IMT-2020 Evaluation Group, available at: <https://5g-ppp.eu/5g-ppp-imt-2020-evaluation-group/>.
98. International Telecommunication Union – Radiocommunication Sector (ITU-R) (2011, April): **ITU-R Recommendation M.1890: “Intelligent transport systems -Guidelines and objectives”**, available at: <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.1890/en> .
99. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): “Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions”, **ETSI TR 102 638** V1.1.1 [June 2009].
100. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): “Intelligent Transport Systems (ITS); Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC); Pre-standardization study”, **ETSI TR 103 299** V2.1.1 [June 2019].
101. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): “Intelligent Transport System (ITS); Vulnerable Road Users (VRU) awareness; Part 1: Use Cases definition; Release 2”, **ETSI TR 103 300-1** V2.1.1 [September 2019].
102. European Telecommunications Standards Institute (ETSI): “Intelligent Transport Systems (ITS); Platooning; Pre-standardization study”, **ETSI TR 103 298** V0.0.4 [June 2014].
103. The 3rd Generation Partnership Project (3GPP): **3GPP TS 22 185** V15.0.0 (2018-06): “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Service requirements for V2X services, Stage 1 (Release 15)”, available at: https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/22_series/22.185/
104. The 3rd Generation Partnership Project (3GPP): **3GPP TS 22 186** V16.0.0 (2018-09): “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Enhancement of 3GPP support for V2X scenarios”, available at: <https://portal.3gpp>.
105. The 3rd Generation Partnership Project (3GPP):, **3GPP TR 22.885** V14.0.0 (2015-12): “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on LTE support for Vehicle to Everything (V2X) services”, available at: https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/22_series/22.885/.
106. The 3rd Generation Partnership Project (3GPP): **3GPP TR 22.886** V15.0.0 (2016-12): “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services (release 16)”, V15.0.0, available at: https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/22_series/22.886/.
107. The 3rd Generation Partnership Project (3GPP): **3GPP TR 22.886** V16.0.0 (2018-08): “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services (Release 16)”, available at: https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/22_series/22.886.
108. NGMN Alliance (2015, February): 5G White Paper, V1.0, available at: <https://www.ngmn.org/>.
109. A. Kostopoulos, I.P. Chochliouros, J. Ferragut, Y. Ma, M. Kutila, A. Gavras, S. Horsmanheim, K. Zhang, L. Ladid, A. Dardamanis, and M.-A. Kourtis (2020, July): **Use Cases and Standardisation Activities for eMBB and V2X Scenarios**. In: Proceedings of the ICC-2020, pp.1-7. doi: [10.1109/ICCWorkshops49005.2020.9145377](https://doi.org/10.1109/ICCWorkshops49005.2020.9145377).
110. 5G-Drive project (2019, April): **Deliverable 2.2: “Joint Architecture, Use Cases and Spectrum Plan”**, <https://5g-drive.eu/resources-and-results/project-deliverables/> .