



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Χρήση του δικτύου LTE στα Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΠΑΚΙΡΤΖΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

Επιβλέπων : Παναγιώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Χρήση του δικτύου LTE στα Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΠΑΚΙΡΤΖΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

Επιβλέπων : Παναγιώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Παναγιώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χρήστος Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Φικιώρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

.....

ΜΠΑΚΙΡΤΖΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Μπακιρτζής Στέφανος, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστήριο Σημείωμα

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή Παναγιώτη Κωττή για την ευκαιρία που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την διπλωματική μου εργασία υπό την επίβλεψή του, την άριστη συνεργασία, την εμπιστοσύνη και την βοήθεια του δίχως την οποία δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Τέλος, περισσότερα από όλα, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφερε όλα αυτά τα χρόνια κατά την διάρκεια των σπουδών μου και για τη βοήθεια του στην διαδικασία κατανόησης του ρόλου και του τρόπου σκέψης ενός μηχανικού.

Περίληψη

Στη παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η δομή και η λειτουργία των Ευφυών Συστημάτων Μεταφορών. Τα Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (ΕΣΜ) συνδυάζουν τις τεχνολογίες της πληροφορικής και των επικοινωνιών, με στόχο να παρέχουν στους χρήστες των μέσων μεταφοράς καινοτόμες υπηρεσίες υψηλής ποιότητας και να καταστήσουν τις μεταφορές στο σύνολό τους πιο ασφαλείς, αποτελεσματικές και φιλικές προς το περιβάλλον.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γενικά στοιχεία ενός Ευφυούς Συστήματος Μεταφορών. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην αρχιτεκτονική των πρωτοκόλλων, αναλύοντας ξεχωριστά τα επιμέρους στρώματα που εμπεριέχονται σε αυτή. Επίσης, παρουσιάζονται τα λειτουργικά στοιχεία ενός Ευφυούς Συστήματος Μεταφορών και περιγράφεται η αρχιτεκτονική του δικτύου μέσω του οποίου διασυνδέονται οι σταθμοί που λειτουργούν εντός του Ευφυούς Συστήματος Μεταφορών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται από τους σταθμούς στο στρώμα δικτύωσης και μεταφοράς.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται εκτενώς οι προδιαγραφές για τη μετάδοση των πακέτων GeoNetworking και αναλύονται τα επιμέρους στοιχεία που εμπεριέχονται σε πακέτα GeoNetworking. Επίσης, αναλύεται η τεχνολογία 802.11p, που είναι η βασική τεχνολογία για την ασύρματη επικοινωνία οχημάτων, και παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματά της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δίκτυα τέταρτης γενιάς ως εναλλακτική υποψήφια τεχνολογία για την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων. Γίνεται μια σύντομη περιγραφή της δομής των δικτύων τέταρτης γενιάς και εξετάζεται η λειτουργικότητά τους για συγκεκριμένες υπηρεσίες και εφαρμογές των Ευφυών Συστημάτων Μεταφορών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για μια σειρά προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν για την επικοινωνία οχημάτων σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η αποδοτικότητα της τεχνολογίας 802.11p για την περιοδική ευρυεκπομπή μηνυμάτων σε γειτονικούς σταθμούς οχημάτων επί τη Λεωφόρου Κηφισίας.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη διεξαγωγή των προσομοιώσεων και εξετάζονται οι προοπτικές και δυνατότητες σε επόμενα στάδια στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας.

Abstract

The aim of this thesis is to illustrate the structure and the operation of Intelligent Transportation Networks. Intelligent Transportation Networks (ITS) combine information and communication technologies, in order to provide to the users' of transportation means high quality services and to render transportations, as a whole, more efficient, safe and environmentally friendly.

Chapter one, demonstrates the general components of an ITS. Particular emphasis is attributed to the protocol architecture, elaborating on the distinct layers that it includes. Additionally, the functional components of an ITS are described along with the architecture of the network via which the separate stations of an ITS communicate.

Chapter two, delineates the basic protocols that the ITS station's use in the networking and transportation layer.

Chapter three, illustrates the specifications for the transmission of GeoNetworking packets and it analyzes the individual elements that are included in the GeoNetworking packets. Furthermore, this chapter describes the 802.11p technology, which is the de-facto technology for wireless vehicle to vehicle communication and it summarizes its advantages.

Chapter four demonstrates the fourth Generation networks as an alternative technology for the communication between vehicles. There is a brief description of fourth Generation networks' structure and their functionality for specific ITS applications and services are assessed.

Chapter five includes the results of a number of simulations conducted to test vehicle to vehicle communication in highways. In particular, it was examined the efficiency of the 802.11p technology for periodically broadcasted messages to neighboring stations in Kifisias Avenue.

Finally, chapter six summarizes current thesis results', as well as, the perspectives and the potential further scientific research in the scope of this thesis.

Keywords: Intelligent Transportation System, vehicle to vehicle, GeoNetworking, ad-hoc, 802.11p, LTE

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	7
Abstract.....	8
Κατάλογος συντημήσεων	12
Ευρετήριο Σχημάτων	14
Ευρετήριο Πινάκων.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ ΕΥΦΥΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	17
Σχήμα 1.1: Αρχιτεκτονική συστήματος ITS.	18
1.1 Αρχιτεκτονική δικτύων για σταθμούς ITS.....	18
1.2 Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων	23
1.2.1 Στρώμα Πρόσβασης.....	24
1.2.2 Στρώμα Δικτύωσης και Μεταφοράς.....	25
1.2.3 Στρώμα Λειτουργιών.....	28
1.2.4 Στρώμα Εφαρμογών.....	30
1.2.5 Οντότητα Διαχείρισης.....	32
1.2.6 Οντότητα Ασφάλειας	35
1.3 Λειτουργικά στοιχεία ενός συστήματος ITS	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΤΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	41
2.1 Το πρωτόκολλο GeoNetworking.....	41
2.2 Σχήματα Δρομολόγησης	42
2.3 Προσδιορισμός γεωγραφικής περιοχής.....	43
2.4 Βασικό πρωτόκολλο μεταφοράς	45
2.5 GeoNetworking και IPv6 – GN6	49
2.5.1 Εικονικοί σύνδεσμοι, εικονικές διεπαφές και πολυεκπομπή	50
2.5.2 Δομή και Μεταφορά πακέτων.....	54
2.6 Σύνοψη Κεφαλαίου.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ GEONETWORKING ΚΑΙ AD HOC ΔΙΚΤΥΑ.....	59
3.1 Προδιαγραφές για μεταδόσεις που εξαρτώνται από το μέσο μετάδοσης.....	60
3.1.1 Δομές δεδομένων	62
3.1.2 Δομή πακέτων.....	64
3.1.2.1 Κοινή Επικεφαλίδα	66
3.1.2.2 Εκτεταμένη επικεφαλίδα.....	69

3.1.3 Λειτουργίες Πρωτοκόλλου GeoNetworking	71
3.1.3.1 Λειτουργίες Δικτύου	71
3.1.3.2 Λειτουργίες Διαχείρισης Πακέτων	75
3.2 Λειτουργίες εξαρτώμενες από το μέσο	78
3.2.1 Η τεχνολογία IEEE 802.11	78
3.2.2 Η τεχνολογία ITS-G5	83
3.2.2 Πρόσθετα στοιχεία της τεχνολογίας ITS-G5	86
3.3 Σύνοψη κεφαλαίου	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΣΤΑ ΕΥΦΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	90
4.1 Σύντομη περιγραφή των δικτύων LTE	92
4.2 Εφαρμοσιμότητα της LTE τεχνολογίας σε ITS εφαρμογές	94
4.3 Μελλοντικές προοπτικές και ανάγκες	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ 802.11p ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ITS ΣΤΑΘΜΩΝ ΕΠΙ ΤΗΣ ΛΕΩΦΟΡΟΥ ΚΗΦΙΣΙΑΣ.....	98
5.1 Χρήση της τεχνολογίας 802.11p	101
5.1.1 Επίδραση της συχνότητας αποστολής των CAM	101
5.1.2 Επίδραση της ταχύτητας των οχημάτων	105
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ	108
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	110
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:ΜΕΓΑΛΟΣ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΘΕΣΗΣ	113
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β:ΠΙΝΑΚΕΣ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΚΕΦΑΛΙΔΑΣ	116
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ:ΒΑΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	121

Κατάλογος συντμήσεων

- AAAC: Authentication , Authorization , Accounting and Charging Systems
- AIFS : Arbitration Interframe Space
- AP :Access Point
- API : Application Programming Interface
- AS : Access Stratum
- AU : Application Unit
- BSS: Basic Service Set
- CALM: Continuous Air-interface Long and Medium range
- CAMs : Co-operative Awareness Messages
- CBR: Channel Busy Ratio
- CCU : Communication &Control Unit
- CH : Cluster Head
- CI : Communication Interface
- CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
- CW: Contention Window
- D2D: Device to Device
- DCC: Decentralizes Central Control
- DCF : Distributed Coordination Function
- DENM : Decentralized Environmental Notification Messages
- FDD : Frequency Division Duplex
- FIFO : First In First Out
- GN_ADDR : GeoNetworking Address
- GVL : Geographical Virtual Links
- H2H : Human to Human
- HLR: Home Location Server
- HMI :Human Machine Interface
- HSS: Home Subscriber Server
- IUMC: Inter-Units Management Communications
- LDM : Local Dynamic Map
- LL_ADDR : Link Layer Address
- LocT : Location Table
- LocTE : Location Table Entry
- LPV : Local Position Vector
- LSB : Least Significant Bit
- MAC : Medium Access Control
- MBMS : Multimedia Broadcast Multicast Service
- ME2E : Mean End to End Delay
- MIB : Managed Information Base
- MME : Management Mobility Entity
- MS : Mobile Station
- MT : Mobile Terminal
- MTU: Maximum Transfer Unit
- NAS :Non Access Stratum

- NBMA : Non-Broadcast Multi -Access
- NEMO : Network Mobility Basic Support
- NS3: Network Simulator 3
- OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- IP: Internet Protocol
- ISO : International Organization for Standardization
- ITS : Intelligent Transportation System
- ITSC: ITS communication
- ITS-s : ITS station
- PDA : Personal Digital Assistant
- PDP: Protocol Data Control
- PDU : Protocol Data Unit
- PV : Position Vector
- QoS : Quality of Service
- QCI: QoS Class Identifier
- RA : Router Advertisement
- RACH :Random Access Channel
- RSU: Road Side Unit
- SAF : Service Advertisement Frame
- SAP : Service Access Points
- SCF: Service Context Frame
- SE : Sender
- SHB : Single Hop Broadcast
- SLAAC: Stateless Address Auto Configuration
- SN: Sequence Number
- SO : Source
- SOA : Service Oriented Architecture
- SUMO: Simulation of Urban Mobility
- TDD: Time Division Duplex
- TE : Terminal Equipment
- TVL: Topological Virtual Links
- TPEG-RTM: Transport Protocol Expert Group-Road Traffic Messages
- TSB : Topologically-scoped Broadcast
- VANET : Vehicular Ad Hoc Networks
- VoIP : Voice over IP
- WGS -84 : World Geodetic System 1984

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Αρχιτεκτονική συστήματος ITS.....	17
Σχήμα 1.2: Εξωτερικά δίκτυα που συμμετέχουν στο δίκτυο διασύνδεσης σταθμών.	18
Σχήμα 1.3: Αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου του δικτύου διασύνδεσης σταθμών που περιέχει ιδιότητα τοπικά δίκτυα.....	19
Σχήμα 1.4: Ad hoc δίκτυο συνδέεται μέσω του δικτύου πρόσβασης στο κεντρικό δίκτυο.....	19
Σχήμα 1.5: Δίκτυο πρόσβασης συνδέεται απευθείας στο κεντρικό δίκτυο.	20
Σχήμα 1.6: Δημόσιο δίκτυο συνδέεται σε ένα κεντρικό δίκτυο.	20
Σχήμα 1.7: Ιδιωτικό δίκτυο συνδέεται σε ένα κεντρικό δίκτυο.....	21
Σχήμα 1.8: Εμπειριστατωμένο μοντέλο αρχιτεκτονικής πρωτοκόλλων σε σταθμούς συστημάτων ITS.....	22
Σχήμα 1.9: Λεπτομέρειες στρώματος πρόσβασης.....	23
Σχήμα 1.10: Λεπτομέρειες στρώματος Δικτύωσης και Μεταφοράς.....	24
Σχήμα 1.11: Στοίβα πρωτοκόλλου GeoNetworking σε ITS σταθμό.	25
Σχήμα 1.12: Στοίβα πρωτοκόλλου IPv6 σε ITS σταθμό.....	25
Σχήμα 1.13: Συνδυασμός στοίβας πρωτοκόλλου IPv6 και GeoNetworking σε ITS σταθμό.....	26
Σχήμα 1.14: SAPs που παρέχονται από το στρώμα Δικτύωσης και Μεταφοράς.	26
Σχήμα 1.15: SAPs που χρησιμοποιούνται από το στρώμα Δικτύωσης και Μεταφοράς.....	27
Σχήμα 1.16: Λεπτομέρειες στρώματος Λειτουργιών.....	28
Σχήμα 1.17: Τυπικές ITS εφαρμογές.....	30
Σχήμα 1.18: Λεπτομέρειες οντότητας Διαχείρισης.....	31
Σχήμα 1.19: Προσέγγιση CEN DSRC.....	33
Σχήμα 1.20: Προσέγγιση WAVE.....	34
Σχήμα 1.21: Μπλοκ διάγραμμα με τις ροές δεδομένων που απαιτούνται για την αντιστοίχιση εφαρμογών σε CI....	34
Σχήμα 1.22: Κατηγορίες ITS υποσυστημάτων.....	36
Σχήμα 1.23: Μορφή πύλης και παράδειγμα επικοινωνίας εσωτερικού δικτύου με ιδιόκτητο μέσω πύλης σε υποσύστημα οχήματος.....	37
Σχήμα 1.24: Μορφή δρομολογητή και χρήση του σε RSU.....	38
Σχήμα 1.25: Μορφή περιφερειακού δρομολογητή.....	39
Σχήμα 2.1: Γεωγραφική προώθηση GeoUnicast.....	41
Σχήμα 2.2: Γεωγραφική προώθηση GeoBroadcast.....	42
Σχήμα 2.3: Γεωγραφική προώθηση TSB.....	42
Σχήμα 2.4: Κυκλική περιοχή.....	43
Σχήμα 2.5: Ορθογώνια περιοχή.....	44
Σχήμα 2.6: Ελλειψοειδής περιοχή.....	44
Σχήμα 2.7: SAPs, SDUs, PDU s που σχετίζονται με το BTP.....	46
Σχήμα 2.8: Δομή BTP πακέτου.....	46
Σχήμα 2.9: BTP επικεφαλίδα τύπου A.....	46
Σχήμα 2.10: BTP επικεφαλίδα τύπου B.....	47
Σχήμα 2.11: Στοιχείο αίτησης BTP-Data.....	47
Σχήμα 2.12: Πρωτόκολλα στο GN6.....	48
Σχήμα 2.13: Στοιχείο αίτησης GN6-UNITDATA.....	49
Σχήμα 2.14: Παράδειγμα χρήσης GVL, TVI και εικονικών διεπαφών.....	51
Σχήμα 2.15: Δομή GN6 πακέτου.....	53

Σχήμα 2.16: Μηχανισμός σύραγγας στο στρώμα 2 για σταθμό στον οποίο ο GeoAdhoc δρομολογητής και ο δρομολογητής πρόσβασης βρίσκονται σε ξεχωριστή φυσική οντότητα.....	56
Σχήμα 3.1: SAPs, SDUs, PDUs σχετικά με το GeoNetworking.....	56
Σχήμα 3.2: Μορφή διεύθυνσης δρομολογητή.....	59
Σχήμα 3.3: Δομή γενικού πλαισίου.....	63
Σχήμα 3.4: Πεδία επικεφαλίδας GeoNetworking.....	64
Σχήμα 3.5: Δομή πίνακα μεγάλου μήκους.....	64
Σχήμα 3.6: Δομή πίνακα μικρού μήκους.....	64
Σχήμα 3.7: Δομή κοινής επικεφαλίδας.....	65
Σχήμα 3.8: Δομή πεδίου TC.....	67
Σχήμα 3.9: Δομή εκτεταμένης επικεφαλίδας σε GeoUnicast πακέτα.....	68
Σχήμα 3.10: Δομή εκτεταμένης επικεφαλίδας σε TSB πακέτα.....	68
Σχήμα 3.11: Δομή εκτεταμένης επικεφαλίδας σε SHB πακέτα.....	68
Σχήμα 3.12: Δομή εκτεταμένης επικεφαλίδας σε GeoBroadcast/GeoAnycast πακέτα.....	69
Σχήμα 3.13: Δομή εκτεταμένης επικεφαλίδας σε πακέτα σηματοδοσίας.....	69
Σχήμα 3.14: Δομή εκτεταμένης επικεφαλίδας σε πακέτα αίτησης LS.....	69
Σχήμα 3.15: Δομή εκτεταμένης επικεφαλίδας σε πακέτα απάντησης LS.....	69
Σχήμα 3.16: Παράδειγμα διαδικασίας εντοπισμού.....	72
Σχήμα 3.17: Πληροφορίες αίτησης GN-DATA.....	75
Σχήμα 3.18: Ανεξάρτητο και εκτεταμένο BSS.....	78
Σχήμα 3.19: Δομή πλαισίου δεδομένων του IEEE 802.11.....	79
Σχήμα 3.20: Περιεχόμενα διευθύνσεων πλαισίου δεδομένων σύμφωνα με τα bit ελέγχου.....	79
Σχήμα 3.21: Διαδικασία πρόσβασης στα κανάλια για (α) πολυεκπομπή και απλή (β) εκπομπή.....	81
Σχήμα 3.22: Κατανομή συχνοτήτων στην τεχνολογία ITS-G5.....	83
Σχήμα 3.23: Μέγιστη πυκνότητα φασματικής ισχύος μετάδοσης για κάθε κανάλι.....	84
Σχήμα 3.24: Επισκόπηση της ανταλλαγής πληροφοριών και τοποθέτηση του DCC στη στοίβα πρωτοκόλλων.....	85
Σχήμα 4.1: Αρχιτεκτονική δικτύων LTE. Οντότητες δικτύου πρόσβασης και δικτύου κορμού.....	92
Σχήμα 4.2: Ευρυεκπομπή CAM σε δίκτυο LTE.....	94
Σχήμα 4.3 : Απλή εκπομπή και πολυεκπομπή DENM σε δίκτυο LTE. Μόνο τα οχήματα εντός της περιοχής ενδιαφέροντος λαμβάνουν το μήνυμα.....	95
Σχήμα 5.1: Μορφοποίηση της Λεωφόρου Κηφισίας με το πρόγραμμα SUMO.....	97
Σχήμα 5.2: Στιγμιότυπο για τα τρία διαφορετικά σενάρια κίνησης (i) χαμηλή, (ii) μέτρια, (iii) υψηλή.....	98
Σχήμα 5.3: Δίκτυο οχημάτων με τη χρήση της τεχνολογίας 802.11p και LTE.....	98
Σχήμα 5.4: Μετάδοση V2V μηνυμάτων σε δίκτυο βασισμένο στο 802.11p.....	100
Σχήμα 5.5: PDR συστήματος συναρτήσει της συχνότητας αποστολής CAMs σε δίκτυο οχημάτων βασισμένο στο 802.11p.....	102
Σχήμα 5.6: Διεκπεραιωτική ικανότητα κάθε σύνδεσης συναρτήσει της συχνότητας αποστολής CAMs σε δίκτυο οχημάτων βασισμένο στο 802.11p.....	103
Σχήμα 5.7: Καθυστερήση μηνύματος συναρτήσει της συχνότητας αποστολής CAMs σε δίκτυο οχημάτων βασισμένο στο 802.11p.....	103
Σχήμα 5.8: PDR συστήματος συναρτήσει της ταχύτητας σε δίκτυο οχημάτων βασισμένο στο 802.11p.....	105
Σχήμα 5.9: Throughput συναρτήσει της ταχύτητας των οχημάτων σε δίκτυο βασισμένο στο πρότυπο 802.11p.....	105
Σχήμα 5.10: Καθυστερήση από άκρη σε άκρη συναρτήσει της ταχύτητας σε δίκτυο οχημάτων βασισμένο στο 802.11p.....	106

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1: Γνωστές θύρες BTP.....	45
Πίνακας 3.1: Πεδία της διεύθυνσης δρομολογητή	60
Πίνακας 3.2: Πεδία κοινής επικεφαλίδας.	65
Πίνακας 3.3:Πιθανές τιμές του πεδίου Next Header.....	66
Πίνακας 3.4:Πιθανές του πεδίου Header Type.	67
Πίνακας 3.5: Ρύθμιση επικεφαλίδας για πακέτα σηματοδοσίας.....	72
Πίνακας 3.6: Ρύθμιση επικεφαλίδας για πακέτα αίτησης LS.....	73
Πίνακας 3.7: Ρυθμοί μετάδοσης, σχήματα διαμόρφωσης και ρυθμοί κώδικα στο πρότυπο 802.11p.	80
Πίνακας 3.8: Διαμοίραση καναλιών.	83
Πίνακας 3.9: Κατανομή καναλιών σε μπάντες συχνοτήτων.	84
Πίνακας 3.10: Κατηγορίες κίνησης για την τεχνολογία ITS-G5.....	86
Πίνακας 4.1: Κύριες υποψήφιες τεχνολογίες για τις on road επικοινωνίες.....	89
Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα για σενάριο χαμηλό πλήθος οχημάτων.	101
Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα για σενάριο μέτριο πλήθος οχημάτων.	101
Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα για σενάριο υψηλό πλήθος οχημάτων.	101
Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα για σενάριο χαμηλού πλήθους.	104
Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα για σενάριο μέτριου πλήθους.	104
Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα για σενάριο υψηλού πλήθους.	104

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ ΕΥΦΥΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

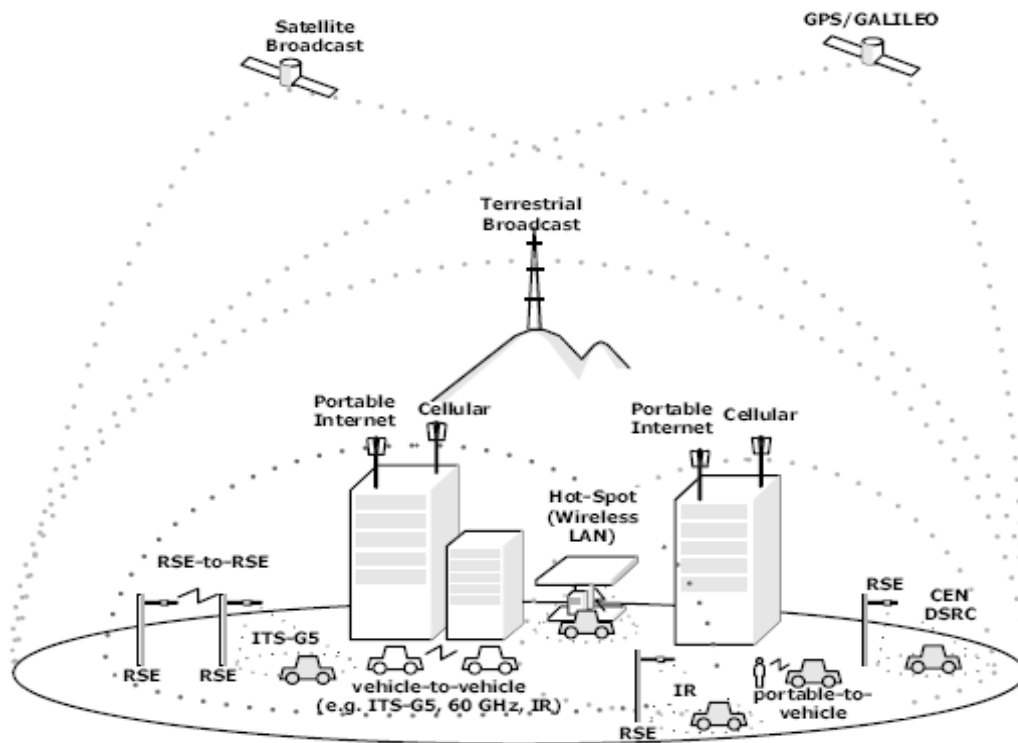
Τα Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (Intelligent Transportation System, ITS) αποτελούν συνδυασμό τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών εφαρμοσμένο στον τομέα των μεταφορών με στόχο την αποδοτικότερη, ασφαλέστερη, οικονομικότερη και φιλικότερη προς το περιβάλλον λειτουργία των συστημάτων μεταφοράς ανθρώπων και αγαθών, κάνοντας χρήση των σύγχρονων τεχνολογιών και επιτρέποντας την ανταλλαγή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο .

Χαρακτηριστικές εφαρμογές ITS σε αστικά δίκτυα είναι :

- Έξυπνη φωτεινή σηματοδότηση για καλύτερη διαχείριση κυκλοφορίας
- Πληροφόρηση οδηγών (χρόνος διαδρομής, εναλλακτικές διαδρομές, έκτακτα περιστατικά/ ενημέρωση για επερχόμενο κίνδυνο)
- Συνδυασμένη πληροφόρηση χρηστών για οχήματα ιδιωτικής χρήσεως (ΙΧ) και μέσα μαζικής μεταφοράς(MMM) (χρόνοι άφιξης, διαθεσιμότητα θέσεων στάθμευσης σε parking, δρομολόγια MMM)
- Ενοποιημένα συστήματα τιμολόγησης (ηλεκτρονικό εισιτήριο MMM, διόδια, στάθμευση)
- Έλεγχος πρόσβασης στα αστικά κέντρα (δακτύλιος ,αστικά διόδια)
- Έλεγχος παραβάσεων

Από τη χρήση συστημάτων ITS προκύπτουν οφέλη σε πολλούς τομείς. Συγκεκριμένα, επιτυγχάνεται ορθολογική διαχείριση των υφιστάμενων υποδομών και πόρων, με αποτέλεσμα την καλύτερη κατανομή του κυκλοφοριακού φόρτου στο οδικό δίκτυο και την εξοικονόμηση χιλιάδων ανθρωποωρών ετησίως. Εξοικονομείται ενέργεια και μειώνονται οι ατμοσφαιρικοί ρύποι λόγω των μειωμένων καθυστερήσεων. Βελτιώνεται η οδική ασφάλεια αλλά και ο βαθμός εξυπηρέτησης των πολιτών

Η γενικότερη αρχιτεκτονική ενός συστήματος ITS σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα φαίνεται στο σχήμα 1.1. Η τυποποιημένη αυτή μορφή προκύπτει από το πρότυπο ISO/TC 204 το οποίο είναι χωρισμένο σε 16 ομάδες εργασίας και καλύπτει όλες τις λειτουργίες ενός ITS εκτός από αυτές που σχετίζονται με τη μεταφορά πληροφοριών εντός του οχήματος και με τον έλεγχο του συστήματος. Για τις δυο τελευταίες κατηγορίες λειτουργιών, ακολουθείται το πρότυπο ISO/TC 22. Η σουίτα πρωτοκόλλων για το σύστημα επικοινωνιών ονομάζεται CALM (Continuous Air-interface Long and Medium range) και είναι προϊόν της δέκατης έκτης ομάδας εργασίας του ISO/TC 204



Σχήμα 1.1: Αρχιτεκτονική συστήματος ITS.

1.1 Αρχιτεκτονική δικτύων για σταθμούς ITS

Η αρχιτεκτονική του δικτύου μέσω του οποίου διασυνδέονται οι σταθμοί ITS που παρουσιάζονται στην ενότητα 1.3, περιλαμβάνει εσωτερικά και εξωτερικά δίκτυα. Τα εξωτερικά δίκτυα χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση μεταξύ σταθμών ή για τη σύνδεση ενός σταθμού σε μια άλλη οντότητα του δικτύου. Τα εσωτερικά δίκτυα χρησιμοποιούνται για την διασύνδεση μεταξύ στοιχείων του ίδιου σταθμού

Τα εξωτερικά δίκτυα έχουν τις εξής μορφές :

- ITS ad-hoc δίκτυο.

Επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων, προσωπικών σταθμών και σταθμών που βρίσκονται παραπλεύρως του δρόμου. Η επικοινωνία βασίζεται σε ασύρματες τεχνολογίες μικρής εμβέλειας (Dedicated short range communications, DSRC) και επιτρέπει την κινητικότητα των σταθμών, διαμορφώνοντας τοπολογίες δικτύων όπου δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάποιας συντονιστικής αρχής. Παράδειγμα ad hoc δικτύου είναι ένα δίκτυο οχημάτων, παράπλευρων σταθμών και προσωπικών σταθμών

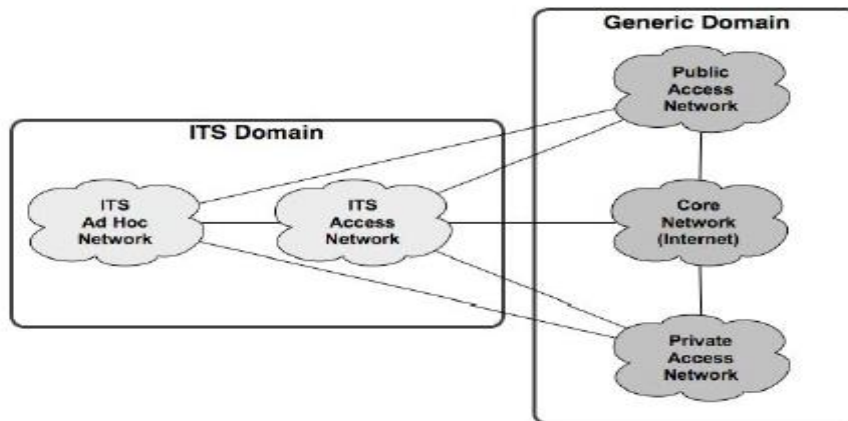
που διασυνδέεται μέσω της ασύρματης τεχνολογίας ITS-G5 που έχει ως βάση το πρότυπο 802.11p.

- Δίκτυο πρόσβασης

Είναι ένα εξειδικευμένο δίκτυο δημόσιο ή ιδιωτικό το οποίο παρέχει πρόσβαση σε συγκεκριμένες υπηρεσίες και εφαρμογές. Επίσης, συνδέει τους παράπλευρους σταθμούς μεταξύ τους ή με οχήματα τα οποία βρίσκονται στο ίδιο δίκτυο πρόσβασης. Με αυτόν τον τρόπο, τα οχήματα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας ως διαμεσολαβητή τον παράπλευρο σταθμό, οπότε δεν χρειάζεται να βρίσκονται σε ad hoc λειτουργία. Ένα παράδειγμα χρήσης του δικτύου πρόσβασης είναι όταν κάποιος παράπλευρος σταθμός (Road Side Unit, RSU) σε ένα αυτοκινητόδρομο επικοινωνεί με το κεντρικό ITS σταθμό.

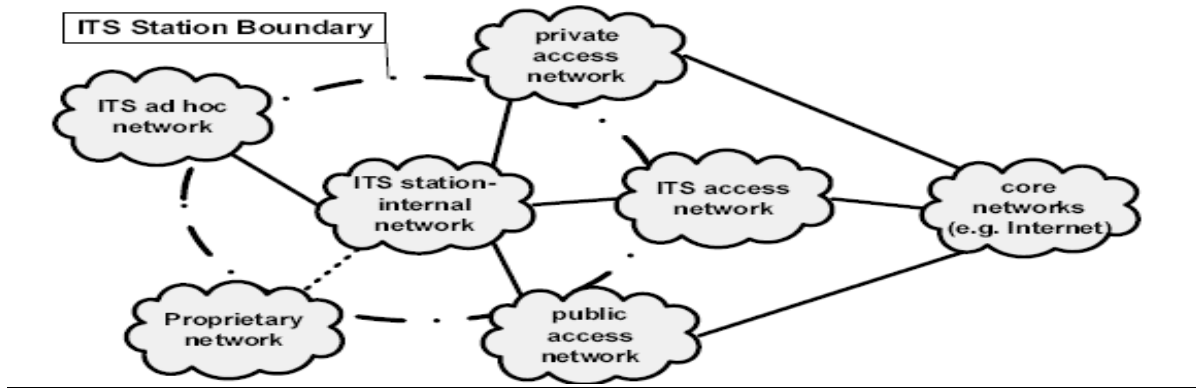
Τα δημόσια δίκτυα παρέχουν πρόσβαση σε δίκτυα γενικού σκοπού τα οποία είναι προσβάσιμα σε όλους. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί το δίκτυο IMT-2000 που συνδέει οχήματα στο Διαδίκτυο. Τα ιδιωτικά δίκτυα παρέχουν υπηρεσίες δεδομένων σε μικρότερες ομάδες χρηστών ώστε να έχουν ασφαλή πρόσβαση σε κάποιο άλλο δίκτυο, π.χ σύνδεση των οχημάτων σε ιδιωτικά δίκτυα εταιριών

- Κεντρικό Δίκτυο (Internet)



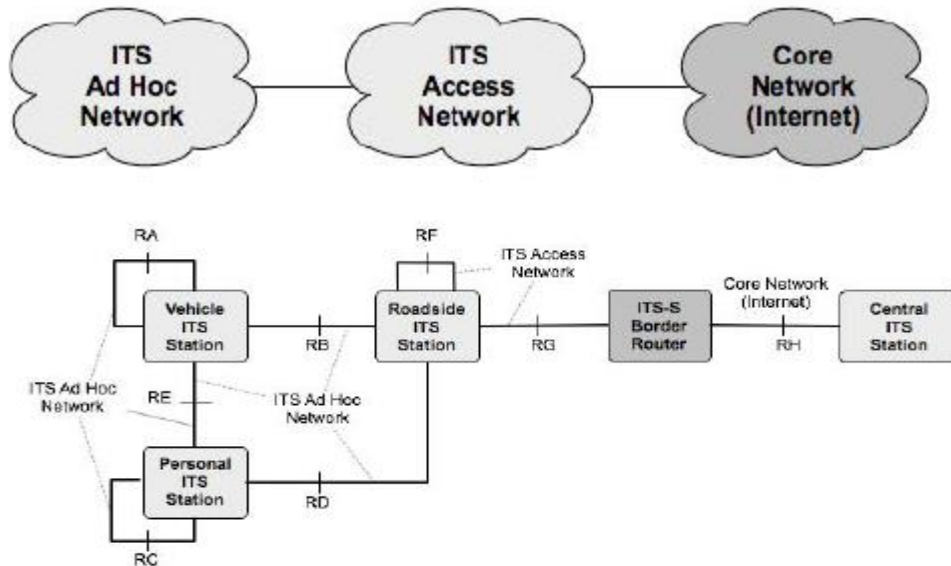
Σχήμα 1.2: Εξωτερικά δίκτυα που συμμετέχουν στο δίκτυο διασύνδεσης σταθμών.

Εκτός από τα προαναφερθέντα δίκτυα, ένα σύστημα ITS μπορεί να περιέχει και ιδιόκτητα τοπικά δίκτυα, όπως είναι το δίκτυο ελέγχου περιοχής (Controller Area Network, CAN) για τα οχήματα. Η αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου για τέτοια δίκτυα φαίνεται στο σχήμα 1.3



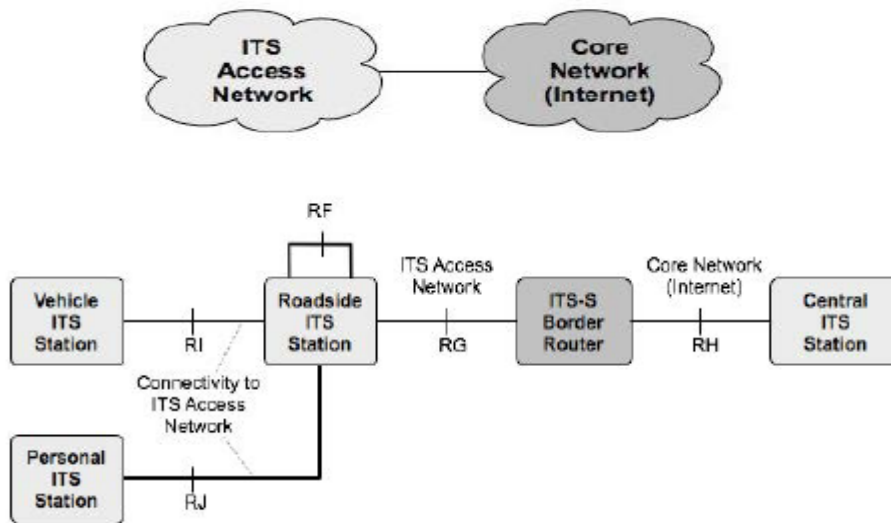
Σχήμα 1.3: Αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου του δικτύου διασύνδεσης σταθμών που περιέχει ιδιόκτητα τοπικά δίκτυα.

Η αρχιτεκτονική αυτή μπορεί να αναπτυχθεί κατά διάφορους τρόπους ώστε να προσαρμόζεται σε συγκεκριμένες οικονομικές, ρυθμιστικές και συνθήκες. Διακρίνονται τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση που απεικονίζεται στο σχήμα 1.4, ένα ad hoc δίκτυο συνδέεται μέσω του δικτύου πρόσβασης στο κεντρικό δίκτυο.



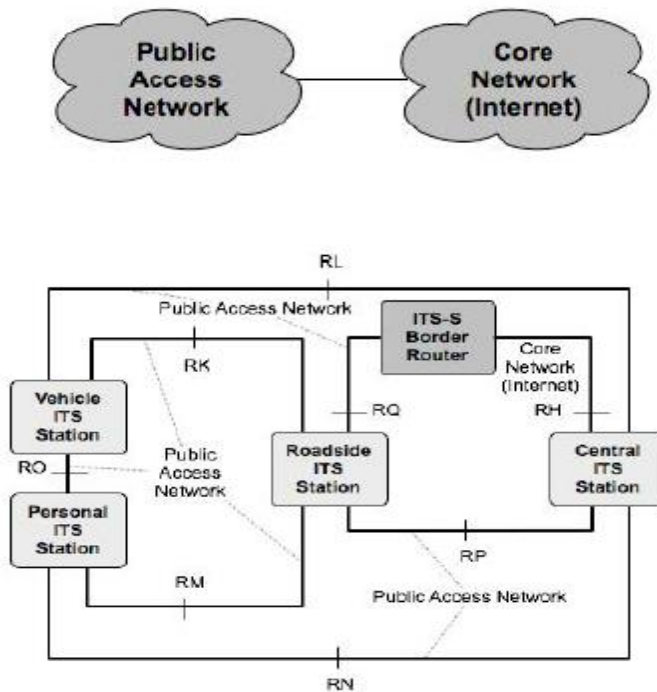
Σχήμα 1.4: Ad hoc δίκτυο συνδέεται μέσω του δικτύου πρόσβασης στο κεντρικό δίκτυο.

Στην δεύτερη περίπτωση που απεικονίζεται στο σχήμα 1.5 ένα δίκτυο πρόσβασης συνδέεται απευθείας στο κεντρικό δίκτυο.



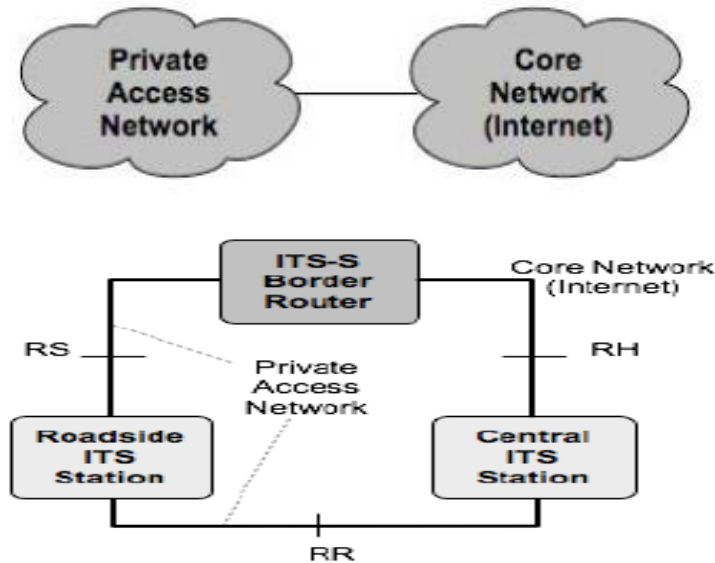
Σχήμα 1.5: Δίκτυο πρόσβασης συνδέεται απευθείας στο κεντρικό δίκτυο.

Στην τρίτη περίπτωση του σχήματος 1.6, ένα δημόσιο δίκτυο συνδέεται σε ένα κεντρικό δίκτυο.



Σχήμα 1.6: Δημόσιο δίκτυο συνδέεται σε ένα κεντρικό δίκτυο.

Στην τέταρτη περίπτωση του σχήματος 1.7, ένα ιδιωτικό δίκτυο συνδέεται στο κεντρικό δίκτυο.



Σχήμα 1.7: Ιδιωτικό δίκτυο συνδέεται σε ένα κεντρικό δίκτυο.

Όπως φαίνεται από τα προαναφερθέντα σχήματα, οι βασικές περιπτώσεις επικοινωνίας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση το είδος των τερματικών που επικοινωνούν σε: (i) όχημα προς όχημα (vehicle to vehicle, V2V), (ii) παράπλευρο σταθμός προς όχημα (Road side unit to vehicle, R2V ή I2V), (iii) όχημα προς παράπλευρο σταθμό (Vehicle to Road side unit, V2R ή V2I), (iv) παράπλευρος σταθμός προς παράπλευρο σταθμό (Road side unit to road side unit, R2R).

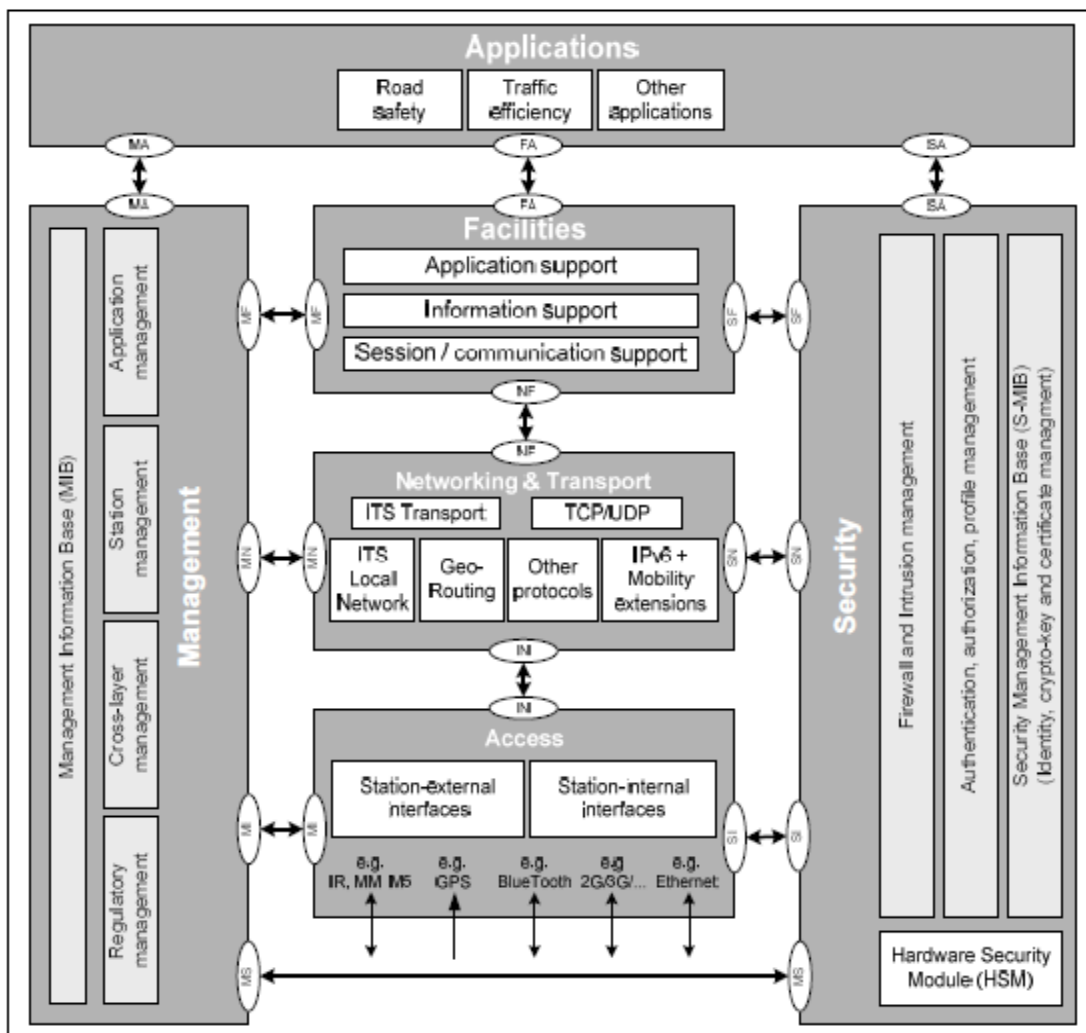
Κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει, επίσης, με βάση τον τρόπο υλοποίησης της σύνδεσης μεταξύ των τερματικών. Οι διαθέσιμοι τρόποι είναι: (i) σημείο προς σημείο από ένα σταθμό σε έναν άλλο, (ii) σημείο προς πολλά σημεία από ένα σταθμό προς πολλούς, (iii) GeoAnycast από ένα σταθμό προς έναν άλλο τυχαίο που βρίσκεται εντός μιας καθορισμένης γεωγραφικής περιοχής και (iv) GeoBroadcast από ένα σταθμό προς όλους τους σταθμούς που βρίσκονται εντός μιας καθορισμένης γεωγραφικής περιοχής.

Τέλος, διάκριση μπορεί να γίνει και ως προς τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η πρόσβαση στο στρώμα δικτύωσης και μεταφοράς. Αυτό μπορεί να γίνει είτε απευθείας, π.χ. εφαρμογές για την ασφάλεια και την αποδοτική διαχείριση της κίνησης, είτε έμμεσα, π.χ. εφαρμογές που έχουν πρόσβαση μέσω ενός ενδιάμεσου στρώματος όπως είναι το IPv6.

1.2 Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων

Η αρχιτεκτονική και η ιεραρχία των πρωτοκόλλων των σταθμών ενός συστήματος ITS ακολουθεί τις αρχές του μοντέλου OSI όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.8. Τα τρία πρώτα μπλοκ που βρίσκονται στο μέσο του σχήματος, αφορούν τη λειτουργικότητα της στοίβας πρωτοκόλλων επικοινωνιών του OSI.

Όπως θα παρουσιαστεί και στα επόμενα κεφάλαια, το πρώτο μπλοκ “Πρόσβασης” αντιπροσωπεύει τις λειτουργίες των επιπέδων 1 και 2 του OSI, το επίπεδο “Δικτύωσης και Μεταφοράς” αντιπροσωπεύει τις λειτουργίες των επιπέδων 3 και 4 του OSI, ενώ τέλος το επίπεδο “Λειτουργιών” αντιπροσωπεύει τις λειτουργίες των επιπέδων 5, 6 και 7 του OSI.



Σχήμα 1.8: Εμπειρισταωμένο μοντέλο αρχιτεκτονικής πρωτοκόλλων σε σταθμούς συστημάτων ITS.

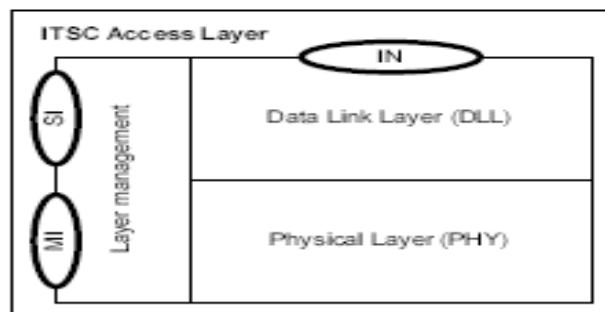
Το κατακόρυφο αριστερό μπλοκ “Διαχείρισης” είναι επιφορτισμένο με τη διαχείριση των επικοινωνιών σε ένα σταθμό ITS και παρέχει πρόσβαση στη βάση πληροφοριών διαχείρισης.

Το κατακόρυφο δεξί μπλοκ “Ασφάλειας” παρέχει υπηρεσίας ασφάλειας στη στοίβα πρωτοκόλλων OSI. Το μπλοκ ασφάλειας μπορεί να θεωρηθεί και ως ειδικό τμήμα της οντότητας “Διαχείρισης”. Τα επιμέρους μπλοκ συνδέονται μεταξύ τους είτε μέσω ορατών διεπαφών, είτε μέσω σημείων πρόσβασης υπηρεσιών (SAPs).

1.2.1 Στρώμα Πρόσβασης

Το στρώμα πρόσβασης (Access Layer, AL) αποτελείται από τρία τμήματα. Το πρώτο τμήμα είναι το φυσικό στρώμα (Physical Layer, PHY) που συνδέεται φυσικά στο μέσο επικοινωνίας. Το δεύτερο τμήμα είναι το στρώμα ζεύξης δεδομένων (Data Link Layer, DLL) που διαχωρίζεται στο υποστρώμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Medium Access Control, MAC) και στο υποστρώμα ελέγχου λογικής σύνδεσης (Logical Link Control, LLC). Το τρίτο τμήμα είναι το τμήμα διαχείρισης του στρώματος πρόσβασης και είναι επιφορτισμένο να διαχειρίζεται τα δυο προηγούμενα τμήματα.

Το στρώμα πρόσβασης εμπεριέχει τα ποικίλα επικοινωνιακά μέσα και πρωτόκολλα που σχετίζονται με το φυσικό στρώμα και με το στρώμα ζεύξης δεδομένων. Οι τεχνολογίες πρόσβασης είναι κατά βάση ασύρματες και χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία του σταθμού με άλλους σταθμούς, όπως επίσης και για την επικοινωνία διαφορετικών οντοτήτων στο εσωτερικό του ίδιου σταθμού.



Σχήμα 1.9: Λεπτομέρειες στρώματος πρόσβασης.

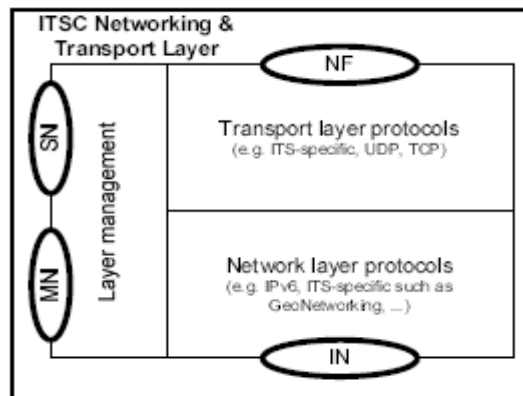
Συνεπώς, οι διεπαφές επικοινωνίας (Communication Interface, CIs) χωρίζονται σε εσωτερικές και εξωτερικές. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.9, το στρώμα πρόσβασης έχει τρεις εσωτερικές διεπαφές τις IN , MI και SI. Η πρώτη συνδέεται με το στρώμα δικτύωσης και μεταφοράς παρέχοντας υπηρεσίες επικοινωνιών του στρώματος ζεύξης, η δεύτερη συνδέεται με την οντότητα διαχείρισης και η τρίτη με την οντότητα ασφάλειας. Για την εξωτερική επικοινωνία χρησιμοποιούνται συστήματα επικοινωνιών όπως το GPRS , UMTS , WiMAX τα οποία δημιουργούν λογικές συνδέσεις μέσω των οποίων μεταφέρονται δεδομένα.

Τα λογικά κανάλια είναι υπεύθυνα για τη διαχείριση του σταθμού, για την ανταλλαγή δεδομένων των ITS εφαρμογών, για τη διάδοση πληροφοριών και για άλλα ζητήματα όπως παροχή Internet και μετάδοση βίντεο.

Η προτεραιότητα των αιτήσεων μετάδοσης στο στρώμα πρόσβασης μπορεί ελέγχεται από δυο σημεία. Το ένα κοντά στην διεπαφή IN για τη διαχείριση συγκρούσεων από την κίνηση μεταξύ υπηρεσιών του ίδιου σταθμού και το άλλο στο φυσικό στρώμα για την διαχείριση συγκρούσεων στο φυσικό κανάλι επικοινωνίας από κίνηση που προέρχεται από διαφορετικούς σταθμούς .

1.2.2 Στρώμα Δικτύωσης και Μεταφοράς

Το στρώμα Δικτύωσης και Μεταφοράς χωρίζεται σε τρία τμήματα . Το πρώτο περιέχει τα πρωτόκολλα που αφορούν τη μεταφορά δεδομένων .Αυτά μπορεί να είναι είτε τα UDP/TCP είτε εξειδικευμένα πρωτόκολλα μεταφοράς για ITSC.



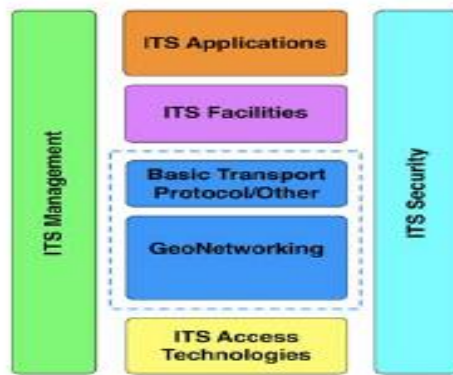
Σχήμα 1.10: Λεπτομέρειες στρώματος Δικτύωσης και Μεταφοράς.

Το δεύτερο τμήμα περιέχει τα πρωτόκολλα που σχετίζονται με ζητήματα δικτύων .Μερικά από πιθανά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται ως τώρα στα ITSC είναι το GeoNetworking , το IPv6 με υποστήριξη κινητικότητας , η χρήση IPv6 πάνω από το GeoNetworking, και το CALM FAST. Τέλος, το τρίτο τμήμα είναι επιφορτισμένο με τη διαχείριση των άλλων δυο επιπέδων.

Συνεπώς, το στρώμα δικτύωσης και μεταφοράς περιέχει τα πρωτόκολλα που είναι απαραίτητα για τη διακίνηση δεδομένων μεταξύ ITS σταθμών και από ITS σταθμούς σε άλλους κόμβους του δικτύου π.χ. σε κόμβους του κεντρικού δικτύου (Internet). Τα ITS πρωτόκολλα δικτύου παρέχουν μια από άκρο σε άκρο μεταφορά δεδομένων και περιλαμβάνουν τη δρομολόγηση των δεδομένων από την πηγή στον προορισμό καθώς και τη διανομή των δεδομένων σε γεωγραφικές περιοχές.

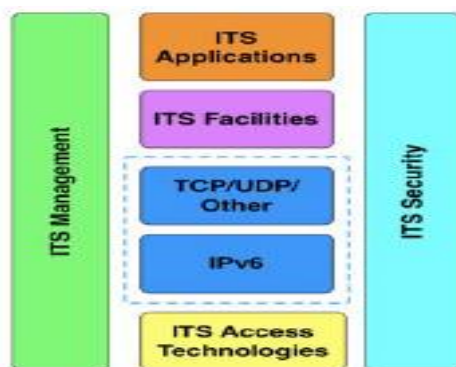
Για τη διασύνδεση του στρώματος δικτύωσης και μεταφοράς με τα υπόλοιπα στρώματα χρησιμοποιούνται τέσσερις εσωτερικές διεπαφές. Η διεπαφή IN που συνδέεται με το στρώμα λειτουργιών παρέχοντας υπηρεσίες επικοινωνιών, η διεπαφή NM που το συνδέει με το στρώμα διαχείρισης, η διεπαφή SN που συνδέεται με την οντότητα ασφάλειας και ,τέλος, η διεπαφή IN που συνδέεται με το φυσικό στρώμα.

Πολύ σημαντική, επίσης, είναι και η διασύνδεση μεταξύ των πρωτοκόλλων δικτύωσης και των πρωτοκόλλων μεταφοράς ώστε να διασφαλιστεί η λειτουργικότητα της αρχιτεκτονικής πρωτοκόλλων των σταθμών. Διακρίνονται τρεις κύριες περιπτώσεις ανάλογα με το πρωτόκολλο δικτύου που χρησιμοποιείται. Η πρώτη είναι αυτή της στοίβας πρωτοκόλλου GeoNetworking, όπου χρησιμοποιείται ως πρωτόκολλο δικτύου το GeoNetworking και στο στρώμα μεταφοράς το κατάλληλο ITS πρωτόκολλο μεταφοράς (συνήθως το BTP) όπως φαίνεται στο σχήμα 1.11.



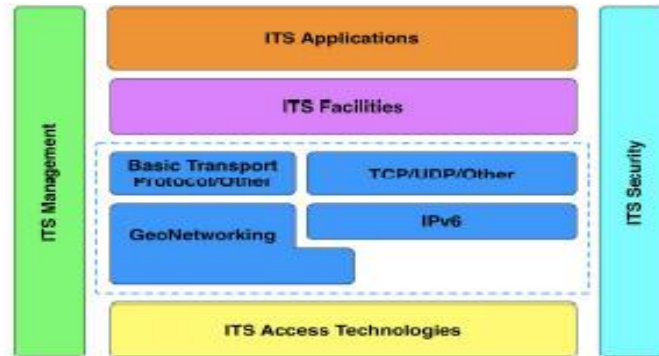
Σχήμα 1.11: Στοίβα πρωτοκόλλου GeoNetworking σε ITS σταθμό.

Η δεύτερη είναι αυτή του σχήματος 1.12, όπου υλοποιείται η στοίβα πρωτοκόλλου IPv6. Στο στρώμα δικτύου χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο IPv6 και στο στρώμα μεταφοράς το πρωτόκολλο UDP ή TCP .



Σχήμα 1.12: Στοίβα πρωτοκόλλου IPv6 σε ITS σταθμό.

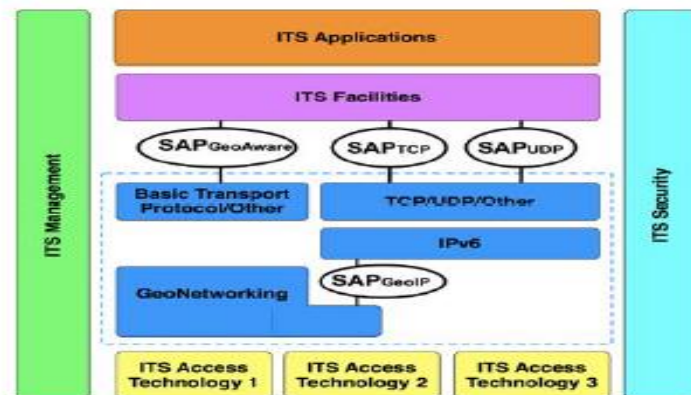
Η τρίτη περίπτωση είναι συνδυασμός των δυο προηγούμενων, όπου το πρωτόκολλο IP εφαρμόζεται πάνω από το πρωτόκολλο GeoNetworking, όπως αναφέρεται στην παράγραφο 2.4 ή απευθείας πάνω από τις ITS τεχνολογίες πρόσβασης.



Σχήμα 1.13: Συνδυασμός στοίβας πρωτοκόλλου IPv6 και GeoNetworking σε ITS σταθμό.

Για να είναι οι υπηρεσίες των πρωτοκόλλων διαθέσιμες είτε σε άλλα στρώματα είτε σε άλλα πρωτόκολλα, χρησιμοποιούνται σημεία πρόσβασης υπηρεσιών (Service Access Points, SAPs). Αντίστοιχα με το πρωτόκολλο δικτύου που χρησιμοποιείται, η διεπαφή NF πρέπει να υποστηρίζει ένα από τα ακόλουθα SAPs

- $SAP_{GeoAware}$: Για υπηρεσίες πρωτοκόλλων του στρώματος λειτουργιών που χρησιμοποιούν τις δυνατότητες του πρωτοκόλλου GeoNetworking, π.χ. διευθυνσιοδότηση γεωγραφικών περιοχών χωρίς να βασίζονται στην IP διεύθυνση για τη δρομολόγηση.
- SAP_{UDP} : Για ITS εφαρμογές και λειτουργίες που βασίζονται στο Internet και χρησιμοποιούν UDP.
- SAP_{TCP} : Για ITS εφαρμογές και λειτουργίες που βασίζονται στο Internet και χρησιμοποιούν TCP.



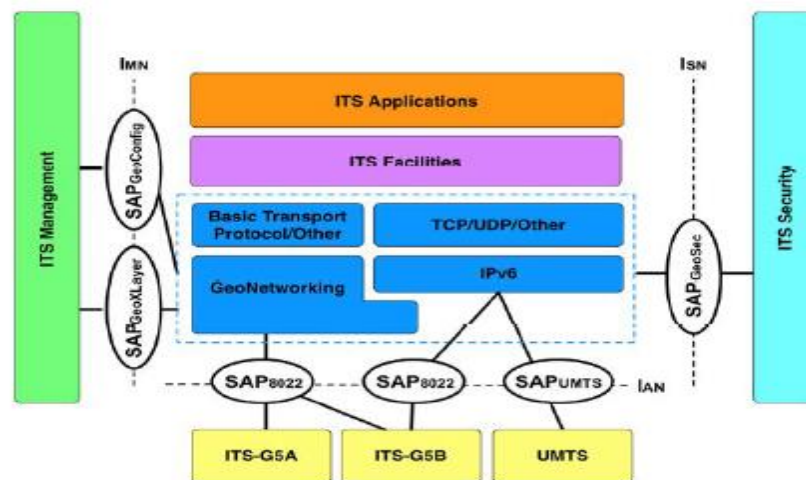
Σχήμα 1.14: SAPs που παρέχονται από το στρώμα Δικτύωσης και Μεταφοράς.

Επίσης, υπάρχει το SAP_{GeoIP} το οποίο βρίσκεται εντός του στρώματος δικτύωσης και μεταφοράς και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά πακέτων IP πάνω από το GeoNetworking. Για τη σύνδεση του GeoNetworking με την οντότητα διαχείρισης και την οντότητα ασφαλείας, η διεπαφή MN και η διεπαφή SN πρέπει να υποστηρίζει τα ακόλουθα SAPs.

- $SAP_{GeoConfig}$: Χρησιμεύει για τη ρύθμιση του GeoNetworking.
- $SAP_{GeoXlayer}$: Για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών στρωμάτων.
- SAP_{GeoSec} : Ανταλλαγή πληροφοριών ασφαλείας μεταξύ του GeoNetworking και του συστήματος μεταφοράς.

Τέλος, η διεπαφή IN πρέπει να υποστηρίζει τα ακόλουθα SAPs

- SAP_{8022} : Δημιουργούνται από τεχνολογίες πρόσβασης που βασίζονται στο 802.2 LLC/SNAP.
- SAP_{UMTS} : Για τη διασύνδεση του IPv6 και του UMTS.

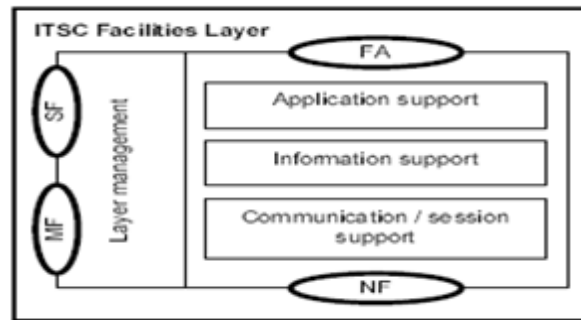


Σχήμα 1.15: SAPs που χρησιμοποιούνται από το στρώμα Δικτύωσης και Μεταφοράς .

1.2.3 Στρώμα Λειτουργιών

Το στρώμα Λειτουργιών περιέχει λειτουργίες από τα επίπεδα εφαρμογών, παρουσίασης και συνόδου του OSI με κατάλληλες τροποποιήσεις ώστε να είναι αποδοτικά για ITSC . Το στρώμα λειτουργιών είναι χωρισμένο σε τέσσερα τμήματα. Το πρώτο σχετίζεται με την υποστήριξη εφαρμογών, το δεύτερο με την υποστήριξη πληροφοριών, το τρίτο με την υποστήριξη επικοινωνιών και το τέταρτο μεριμνά για τη διαχείριση των υπόλοιπων τριών τμημάτων .

Το στρώμα λειτουργιών συνδέεται με τις ITS εφαρμογές μέσω της διεπαφής FA, ενώ μέσω των διεπαφών SF και MF συνδέεται με τις οντότητες ασφάλειας και διαχείρισης αντίστοιχα. Τέλος, με τη διεπαφή NF συνδέεται με το στρώμα δικτύωσης και μεταφοράς.



Σχήμα 1.16: Λεπτομέριες στρώματος Λειτουργιών.

Οι λειτουργίες που επιτελούνται περιλαμβάνουν:

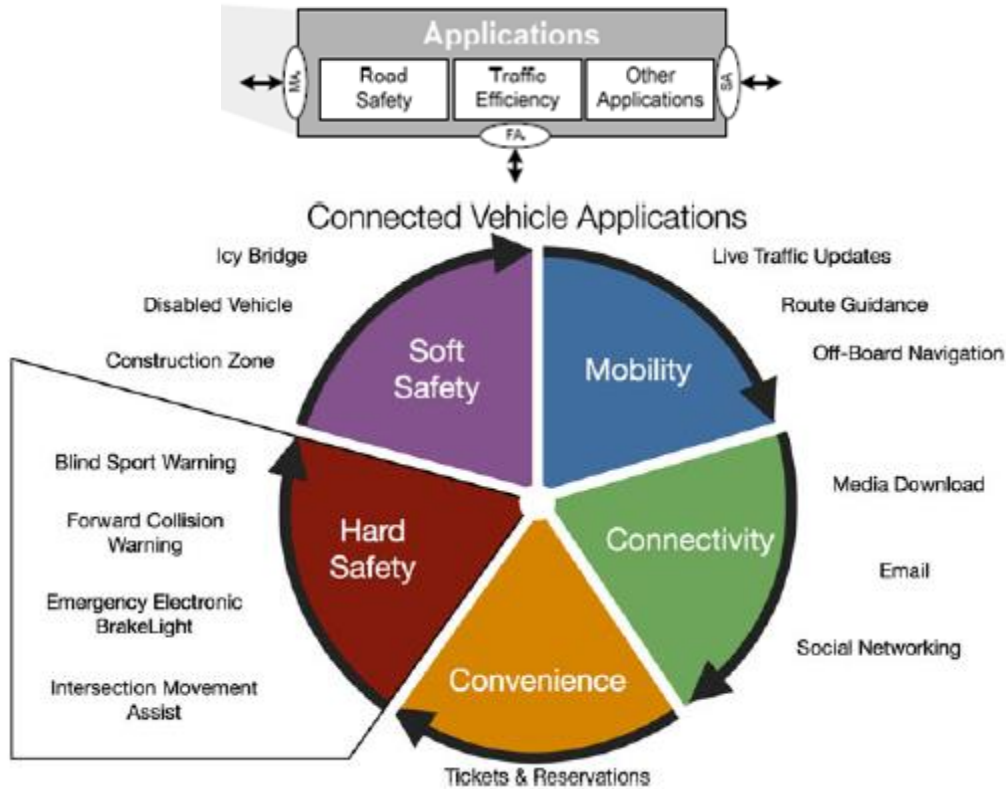
- Υποστήριξη αλληλεπίδρασης ανθρώπου μηχανής (Human Machine Interaction, HMI) μέσω της οποίας παρουσιάζονται στο χρήστη πληροφορίες του συστήματος.
- Υποστήριξη της αναπαράστασης των δεδομένων, όπου λαμβάνουν χώρα η κωδικοποίηση και η αποκωδικοποίηση των δεδομένων ανάλογα με τη γλώσσα που χρησιμοποιείται π.χ. ASN1.
- Υποστήριξη διευθυνσιοδότησης, όπου επιλέγεται ο τρόπος διεθυνσιοδότησης των κατώτερων επιπέδων.
- Υποστήριξη θέσης και χρόνου, όπου παρέχονται πληροφορίες της γεωγραφικής θέσης (μήκος, πλάτος, ύψος) και του πραγματικού χρόνου.
- Υποστήριξη τοπικού δυναμικού χάρτη (Local Dynamic Map , LDM) [i.1].
Οι σημαντικές εφαρμογές ενός συστήματος που μεριμνά για την ασφάλεια στο δρόμο επωφελούνται από τη χρήση ψηφιακών χαρτών. Τέτοιοι χάρτες μπορούν να περιλαμβάνουν πληροφορίες για λωρίδες διαχωρισμού, κράσπεδα, διαβάσεις πεζών, ποδηλατοδρόμους, σηματοδότες και σήματα της τροχαίας. Επίσης, στο δυναμικό χάρτη μπορούν να παρουσιάζονται και δυναμικά αντικείμενα που δημιουργούνται από άλλους χρήστες- οχήματα που βρίσκονται στο δρόμο εκείνη τη στιγμή.
- Υποστήριξη των ITS-S εφαρμογών, επιτρέποντας τη λήψη και την ενεργοποίηση νέων εφαρμογών λογισμικού και την ανανέωση των υπαρχουσών εφαρμογών.
- Υποστήριξη εφαρμογών SOA, για τη λειτουργία υπηρεσιών χαλαρής σύζευξης και υπηρεσιών δικτύου.

- Υποστήριξη ελέγχου συνάφειας, όπου ελέγχεται κατά πόσο τα μηνύματα που λαμβάνονται είναι σχετικά με το γενικό πλαίσιο.
- Υποστήριξη διαχείρισης των δυνατοτήτων του σταθμού.
- Υποστήριξη για το συνδυασμό και τη συγχώνευση δεδομένων από διαφορετικές πηγές αλλά και την ενημέρωση των δεδομένων.
- Υποστήριξη για την παροχή δεδομένων του σταθμού, όπου διανέμονται στατικές ή δυναμικές πληροφορίες του σταθμού οι οποίες είναι αναγκαίες σε άλλες υπηρεσίες και λειτουργίες.
- Υποστήριξη για τη διαχείριση των μηνυμάτων που χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή δεδομένων. Τέτοια μηνύματα μπορεί να είναι :
 1. Ειδοποίηση περιβαλλοντικά αποκεντρωμένων μηνυμάτων (Decentralized Environmental Notification Messages , DENM) [i.2].
 2. Μηνύματα γεγονότων τα οποία ενεργοποιούνται από τον εντοπισμό κάποιου γεγονότος και επαναλαμβάνονται όσο το γεγονός είναι αντιληπτό από το σταθμό που το εντόπισε. Τυπικά μηνύματα γεγονότος είναι τα DENM και τα TPEG-RTM (Transport Protocol Expert Group – Road Traffic Messages).
 3. Περιοδικά μηνύματα. Παράδειγμα είναι τα CAMs [i.3] που εκπέμπονται περιοδικά από το στρώμα λειτουργιών σε συγκεκριμένη συχνότητα που ικανοποιεί τόσο τις απαιτήσεις του εφαρμογών ασφάλειας δρόμου, όσο και τις απαιτήσεις του στρώματος δικτύωσης και μεταφοράς.
 4. Μηνύματα υπηρεσιών τα οποία διαχειρίζονται συνεδρίες. Παραδείγματα είναι τα γενικά μηνύματα υπηρεσιών που είναι απαντήσεις στα μηνύματα αναγγελίας υπηρεσιών και τα μηνύματα αίτησης ή απάντησης που περιέχουν PDU αίτησης ή απάντησης από το στρώμα εφαρμογών.
- Υποστήριξη επανάληψης μετάδοσης μηνυμάτων, όπου ζητείται επαναλαμβανόμενα η μετάδοση μηνυμάτων ανάλογα με τις απαιτήσεις εγκατάστασης της εκάστοτε εφαρμογής.
- Υποστήριξη DSRC εφαρμογών.
- Επιλογή καναλιού, όπου επιλέγεται η κατάλληλη διεπαφή επικοινωνιών για τη μετάδοση του μηνύματος.
- Σύνδεση στο στρώμα εφαρμογών παρέχοντας υπηρεσίες του FA-SAP.
- Σύνδεση στο στρώμα δικτύωσης και μεταφοράς χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες του NF-SAP.

1.2.4 Στρώμα Εφαρμογών

Μια εφαρμογή ITS προκύπτει από τη συνεργασία δύο ή περισσότερων συμπληρωματικών ITS-s εφαρμογών. Οι εφαρμογές ITS μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε εκείνες που αφορούν (i) την ασφάλεια δρόμου (road safety), (ii) τη διαχείριση της κίνησης (traffic efficiency) και (iii)

υπόλοιπες εφαρμογές που σχετίζονται με τη συνδεσιμότητα και την εξυπηρέτηση του χρήστη (Infotainment).



Σχήμα 1.17: Τυπικές ITS εφαρμογές.

Οι εφαρμογές ασφάλειας δρόμου στοχεύουν στη μείωση των ατυχημάτων και έχουν συγκεκριμένες αυστηρές απαιτήσεις ως προς το χρόνο και την αξιοπιστία παράδοσης. Υπάρχουν δυο είδη μηνυμάτων ασφαλείας, εκείνα των οποίων η μετάδοση είναι περιοδική (CAMs) [i.3] και εκείνα των οποίων η μετάδοση ενεργοποιείται από κάποιο γεγονός (DENMs) [i.2]. Τα CAMs ευρυεκπέμπονται περιοδικά από κάθε όχημα στους γείτονες του, κάνοντας τους γνωστή την παρουσία, τη θέση, την ταχύτητα και άλλες πληροφορίες του οχήματος. Τα DENMs είναι μικρά μηνύματα που ευρυεκπέμπονται στους γείτονες για να τους ειδοποιήσουν για κάποιο επικίνδυνο γεγονός (απότομο φρενάρισμα, ολισθηρός δρόμος, κίνδυνος σύγκρουσης κ.α).

Οι εφαρμογές διαχείρισης της κίνησης στοχεύουν στη βελτιστοποίηση των ροών οχημάτων, μειώνοντας το χρόνο ταξιδιού και την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Αυτές οι εφαρμογές δεν έχουν αυστηρές απαιτήσεις ως προς το χρόνο και την αξιοπιστία παράδοσης, αλλά όταν αυτά τα δύο χαρακτηριστικά χειροτερεύουν, μειώνεται η απόδοση των εφαρμογών. Αυτή η κατηγορία εφαρμογών απαιτεί τη συλλογή πληροφοριών από εσωτερικούς και εξωτερικούς αισθητήρες και την αποστολή αυτών των πληροφοριών (Flow Car Data, FCD) σε

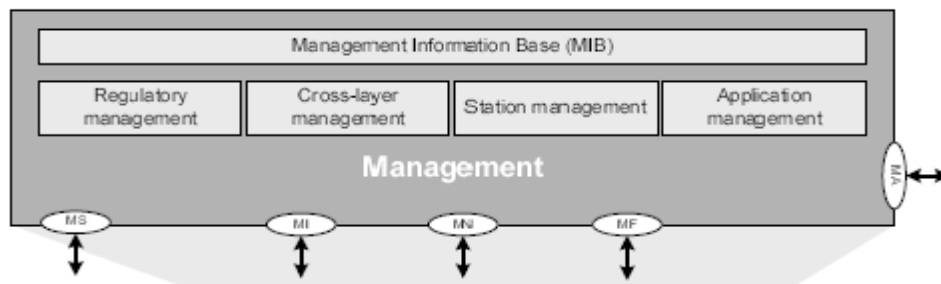
απομακρυσμένους σέρβερ διαχείρισης. Εκεί γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων, η παρακολούθηση και η πρόβλεψη της κυκλοφοριακής κίνησης και ενδεχόμενης συμφόρησης, και η αποστολή έγκυρων πληροφοριών κίνησης πίσω στα συστήματα πλοήγησης των οχημάτων υποδεικνύοντας τις βέλτιστες εναλλακτικές διαδρομές.

Τα πρότυπα των ITSC πρέπει να είναι σχεδιασμένα ώστε να υποστηρίζουν πολλαπλές κατηγορίες εφαρμογών συμπεριλαμβανομένων αυτών που υποστηρίζουν τη λειτουργία του οχήματος. Με κριτήριο το πόσο αυτές οι υπηρεσίες στηρίζονται στις υπηρεσίες επικοινωνιών, κάθε κατηγορία υπηρεσιών επιβάλλει λιγότερο ή περισσότερο αυστηρές απαιτήσεις ως προς την αξιοπιστία, την ασφάλεια, την περίοδο αδράνειας και άλλες παραμέτρους. Όλες οι εφαρμογές συνδέονται με μια εφαρμογή προτεραιότητας που υποδεικνύει τη σειρά εκτέλεσής τους με βάση τις πρακτικές και τις λειτουργικές τους απαιτήσεις. Επίσης, όλες οι εφαρμογές συνδέονται με ένα συγκεκριμένου τύπου λογικό κανάλι για τη μετάδοση δεδομένων.

Η συντήρηση των εφαρμογών, όπως η εγκατάσταση, η απεγκατάσταση και η ενημέρωσή τους, πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η προστασία του σταθμού από κακόβουλες εφαρμογές. Οι λειτουργίες αυτές παρέχονται μέσω του στρώματος εφαρμογών και της αλληλεπίδρασής του με τις οντότητες ασφάλειας και διαχείρισης μέσω των διεπαφών SF και MF, αντίστοιχα. Επίσης, για να διασφαλιστεί η συντήρηση, όλες οι εφαρμογές και τα συσχετιζόμενα με αυτές μηνύματα καταγράφονται σε ένα διαχειριστή εγγραφών ITS, ο οποίος παρέχει σε κάθε εφαρμογή ένα αναγνωριστικό αριθμό και απαγορεύει την πρόσβαση στο στρώμα υπηρεσιών ή στο στρώμα διαχείρισης ή στο στρώμα ασφάλειας ανάλογα με τη φύση της εφαρμογής.

1.2.5 Οντότητα Διαχείρισης

Εντός της οντότητας διαχείρισης βρίσκεται μια βάση πληροφοριών διαχείρισης (Managed Information Base, MIB) και πέντε διεπαφές μέσω των οποίων η οντότητα ενώνεται με τα υπόλοιπα στρώματα. Η διεπαφή MI την ενώνει με το στρώμα πρόσβασης, η διεπαφή MN με το στρώμα δικτύωσης και μεταφοράς, η διεπαφή MF με το στρώμα λειτουργιών, η διεπαφή AM με τις ITS εφαρμογές και η διεπαφή MS με την οντότητα ασφάλειας.



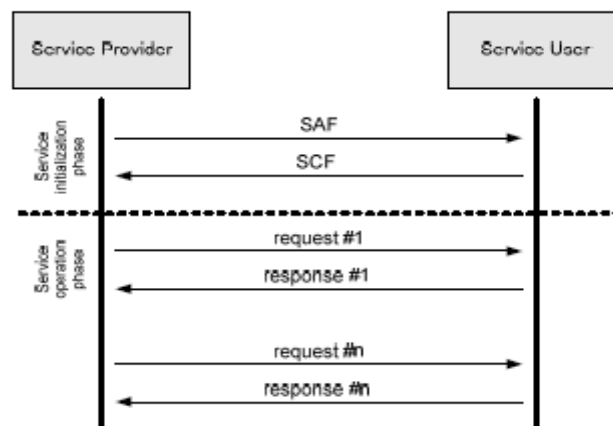
Σχήμα 1.18: Λεπτομέρειες οντότητας Διαχείρισης.

Οι λειτουργίες που εκτελούνται στην οντότητα αυτή σχετίζονται με:

- Διαχείριση σύνδεσης διεπαφών.
- Διαχείριση της επικοινωνίας μεταξύ των επιμέρους μονάδων (Inter Management Communications , IMC).
- Διαχείριση δικτύωσης.
- Διαχείριση υπηρεσιών επικοινωνίας που περιλαμβάνει:
 1. Ρύθμιση και ανανέωση των συστημάτων διαχείρισης επικοινωνιών.
 2. Συμμόρφωση στα ισχύοντα ρυθμιστικά πλαίσια.
 3. Καταγραφή και προώθηση των οικονομικών χρεώσεων ανάλογα με τη χρήση των υπηρεσιών.
 4. Παρακολούθηση λαθών κατά τη μετάδοση μηνυμάτων, κατάλληλες ειδοποιήσεις, αυτόματη καταστολή της κακής λειτουργίας συμπεριλαμβάνοντας την εναλλαγή σε ένα άλλο σύστημα.
 5. Διαχείριση και διόρθωση λαθών.
Όταν το ITS σύστημα υποστηρίζει και υπηρεσίες ασφάλειας δρόμου, τότε περιλαμβάνει και την παρακολούθηση του επίπεδου υπηρεσιών και την καταγραφή της επίδοσης του συστήματος ως προς την παράδοση των πακέτων
- Διαχείριση ITS εφαρμογών
Διαχείριση της εγκατάστασης , της ρύθμισης και της ενημέρωσης των ITS-s εφαρμογών. Υποστήριξης αντιμετώπισης λαθών κατά τη λειτουργία των εφαρμογών και, τέλος, παροχή μέτρων προστασίας για τη μείωση επιβλαβών συμπεριφορών από κάποιες εφαρμογές .
- Διαχείριση σταθμού
- Γενική διαχείριση της κίνησης και της συμφόρησης των δεδομένων
Δεδομένου ότι το εύρος ζώνης είναι περιορισμένο και ότι στα πραγματικά συστήματα ο αριθμός των σταθμών που θα προσπαθήσουν να αποκτήσουν πρόσβασης στο κανάλι επικοινωνίας ταυτόχρονα είναι πολύ μεγάλος, καθίσταται αναγκαία η εξεύρεση τρόπων ώστε η τηλεπικοινωνιακή κίνηση που διακινείται στο φυσικό δίαυλο να μην είναι πολύ μεγάλη. Τέτοιοι μηχανισμοί είναι οι εξής :
 1. Δυναμική τροποποίηση των παραμέτρων του στρώματος πρόσβασης, ακόμα και σε κάθε πακέτο ξεχωριστά.
 2. Δυναμική τροποποίηση της προτεραιότητας πρόσβασης καναλιού για επιλεγμένα πακέτα.
 3. Αλλαγή της διεπαφής επικοινωνίας, που συχνά αναφέρεται και ως εικονική μετάβαση.
 4. Δυναμική τροποποίηση του ρυθμού επανάληψης των περιοδικών μηνυμάτων
- Διαχείριση της γνωστοποίησης υπηρεσιών
Ένα ITS σύστημα πρέπει να υποστηρίζει μηχανισμούς έλξης και ώθησης ώστε να επιτρέπει στους σταθμούς να αναγνωρίσουν την ύπαρξη μιας υπηρεσίας .Οι

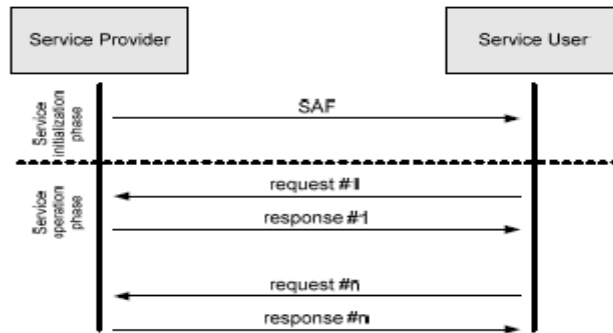
μηχανισμοί ώθησης είναι γνωστοί ως “γνωστοποιήσεις ITS εφαρμογών” και υλοποιούνται με διαφορετικούς τρόπους για διαφορετικά πλαίσια. Ένας τρόπος υλοποίησης τους σε ένα ασύρματο δίκτυο ενός βήματος (single-hop) περιγράφεται από το πρότυπο FAST. Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, ένας διαχειριστής γνωστοποιήσεων είναι επιφορτισμένος να συλλέγει τις αιτήσεις από τις ITS-s εφαρμογές και, στη συνέχεια, να εκκινεί μια περιοδική μετάδοση μηνυμάτων γνωστοποίησης υπηρεσίας ανάλογα με τις απαιτήσεις εγκατάστασης. Επίσης, λαμβάνει μηνύματα γνωστοποίησης από ομότιμους σταθμούς και επεξεργάζεται τα δεδομένα που περιέχουν.

Υπάρχουν δύο τρόποι για την υλοποίηση του προτύπου. Ο πρώτος είναι η προσέγγιση CEN DSRC, όπου ένα πλαίσιο γνωστοποίησης υπηρεσιών (Service Advertisement Frame, SAF) και ένα γενικό πλαίσιο υπηρεσιών (Service Context Frame, SCF) αποστέλλονται μέσω της ασύρματης σύνδεσης μεταφέροντας τα δεδομένα γνωστοποίησης.



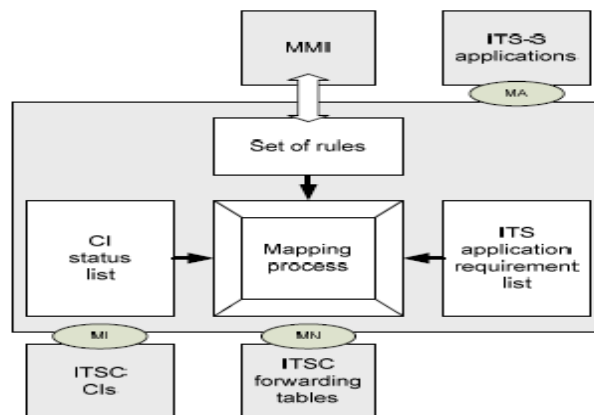
Σχήμα 1.19: Προσέγγιση CEN DSRC.

Ο δεύτερος είναι η προσέγγιση WAVE η οποία περιγράφεται στη παράγραφο 3.2.1 και δεν χρησιμοποιεί SCF. Το πλαίσιο γνωστοποίησης υπηρεσιών μεταδίδεται είτε μέσω του λογικού καναλιού 1 (Service Channel 1, SCH1) είτε μέσω κάποιου καθορισμένου λογικού καναλιού που αντιστοιχεί στην εκάστοτε εφαρμογή. Όλα τα άλλα πλαίσια μεταδίδονται μέσω του λογικού καναλιού δύο είτε μέσω κάποιου εξιδανικευμένου καναλιού.



Σχήμα 1.20: Προσέγγιση WAVE.

- Διαχείριση συστημάτων προστασίας.
- Αντιστοίχιση των εφαρμογών σε διεπαφές επικοινωνίας (Communication Interface, CI)
Για τη βέλτιστη δυναμική αντιστοίχιση απαιτείται από τα υπόλοιπα στρώματα η μεταφορά δεδομένων προς την οντότητα διαχείρισης, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.20.



Σχήμα 1.21: Μπλοκ διάγραμμα με τις ροές δεδομένων που απαιτούνται για την αντιστοίχιση των εφαρμογών σε CI.

Τα κριτήρια για την επιλογή της καταλληλότερης CI για την παροχή μια υπηρεσίας σε μια ITS-s εφαρμογή είναι: (i) οι τηλεπικοινωνιακές ανάγκες/απαιτήσεις της εφαρμογής, (ii) το είδος, η κατάσταση και οι ιδιότητες των διαθέσιμων καναλιών και (iii) οι ισχύοντες κανόνες που περιγράφονται στο [i.4].

1.2.6 Οντότητα Ασφάλειας

Περιέχει λειτουργίες ασφάλειας που σχετίζονται με τη στοίβα πρωτοκόλλων επικοινωνιών ενός ITSC, με το σταθμό ενός ITS και με τις εφαρμογές ενός ITS. Μερικές από τις λειτουργίες που επιτελεί είναι οι εξής:

- Τείχος προστασίας και διαχείριση εισβολών
- Διαχείριση του προφίλ επιβεβαίωσης και παροχής άδειας
- Ταυτοποίηση και διαχείριση των κλειδιού κωδικοποίησης

Περιέχει μονάδες ασφάλειας του υλικού και μια κοινή βάση πληροφοριών ασφάλειας. Επίσης, περιέχει πέντε διεπαφές για τη σύνδεση της οντότητας με τα υπόλοιπα στρώματα και την παροχή υπηρεσιών ασφάλειας σε αυτά. Η διεπαφή SI τη συνδέει με το στρώμα πρόσβασης, η διεπαφή SN με το στρώμα δικτύωσης και μεταφοράς, η διεπαφή SF με το στρώμα λειτουργιών, η διεπαφή SA με τις ITS εφαρμογές και η διεπαφή MS με την οντότητα διαχείρισης.

1.3 Λειτουργικά στοιχεία ενός συστήματος ITS

Σε ένα σύστημα ITS συνυπάρχουν τα τέσσερα ακόλουθα υποσυστήματα

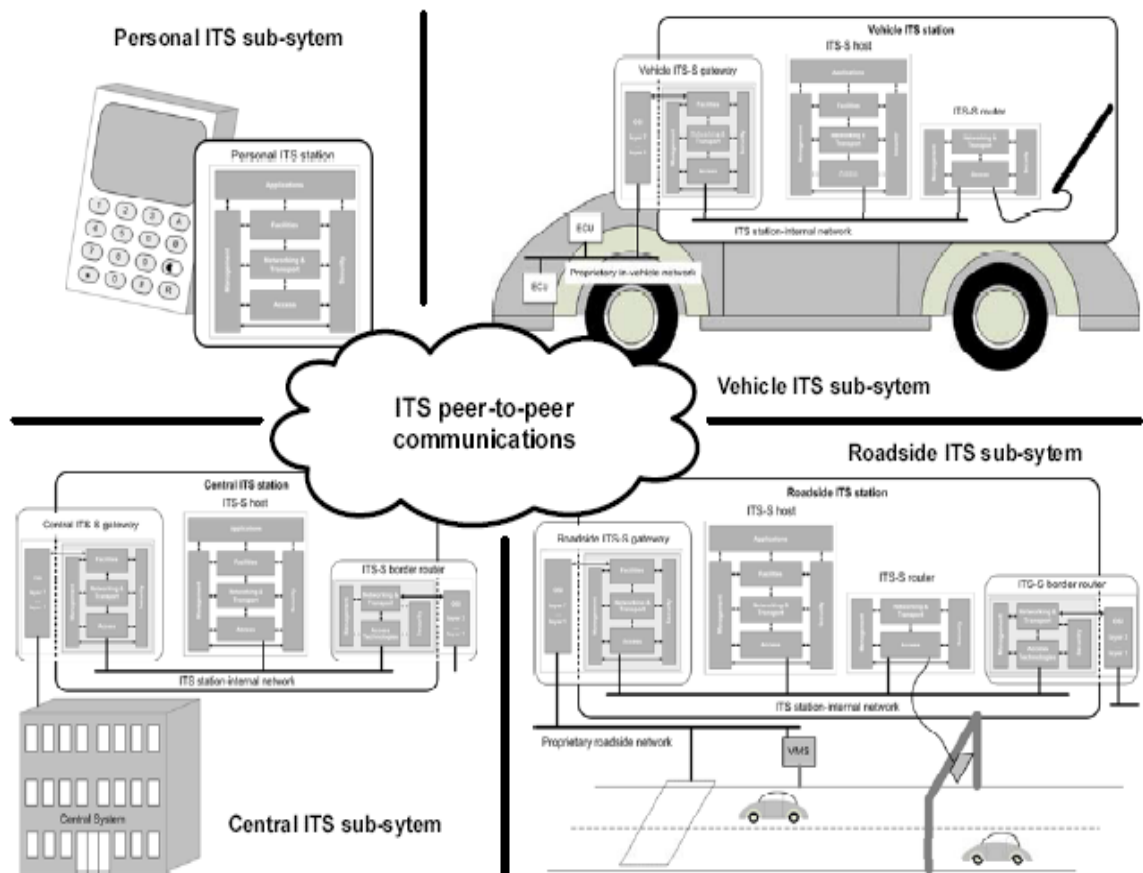
- Προσωπικό υποσύστημα ITS
Περιλαμβάνει συσκευές των χρηστών όπως smartphones και tablets που τους παρέχει ITS εφαρμογές και λειτουργίες επικοινωνιών. Επίσης, μπορεί να εκτελεί HMI λειτουργίες μέσω του εσωτερικού δικτύου ITS
- Κεντρικό υποσύστημα ITS.
Εγκατεστημένο σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις συμβάλλει στη συγκεντρωτική διαχείριση και μέριμνα των επιμέρους υποσυστημάτων, συμβάλλοντας στη συντονισμένη λειτουργία του συστήματος ITS και στη συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία πληροφοριών.
- ITS υποσύστημα οχήματος
Περιλαμβάνει αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία, μηχανές που είναι είτε κινούμενα είτε σταθμευμένα.
- ITS Υποσυστήματα που βρίσκονται παραπλεύρως του δρόμου (Road Side Unit, RSU).
εγκατεστημένα συνήθως σε φωτεινούς σηματοδότες, πυλώνες και σε άλλα σημεία στην άκρη του δρόμου.

Κάθε υποσύστημα περιέχει ένα σταθμό ITS, ο οποίος ανάλογα με τις συνθήκες μπορεί να περιέχει διαφορετικά λειτουργικά στοιχεία που απεικονίζονται στο σχήμα 1.20. Οι λειτουργίες ενός σταθμού μπορούν να υλοποιούνται εντός μιας ή και περισσότερων φυσικών οντοτήτων .

Οι πληροφορίες κατάστασης των σταθμών (διεύθυνση κόμβου στο δίκτυο, γεωγραφική θέση, ταχύτητα, κατεύθυνση, χρονική σφραγίδα) διατηρούνται σε μια βάση δεδομένων στην οποία έχει πρόσβαση το στρώμα δικτύωσης και μεταφοράς. Η ανταλλαγή αυτών των πληροφοριών μπορεί να γίνει είτε άμεσα μέσω ενός πρωτοκόλλου ανταλλαγής πληροφοριών κατάστασης, είτε έμμεσα μέσω της περιοδικής εκπομπής πακέτων που περιλαμβάνουν πληροφορίες κατάστασης.

Ένας σταθμός μπορεί να έχει δυο ρόλους: (i) να λειτουργεί ως κόμβος του δικτύου ITS λαμβάνοντας ή προωθώντας μηνύματα και (ii) να βρίσκεται στην άκρη του δικτύου και να συνδέει διαφορετικά δίκτυα μέσω του εσωτερικού δικτύου που έχει ο ίδιος ο σταθμός.

Οι παράπλευροι σταθμοί και οι σταθμοί οχημάτων αποτελούνται από δύο υπό-μονάδες. Η πρώτη ονομάζεται μονάδα επικοινωνιών και ελέγχου (Communication and Control Unit, CCU) και η δεύτερη μονάδα εφαρμογών (Application Unit, AU). Γενικά, η CCU εκτελεί μια στοίβα πρωτοκόλλων επικοινωνιών και η AU εκτελεί ένα σύνολο εφαρμογών και αξιοποιεί τις επικοινωνιακές δυνατότητες της CCU.



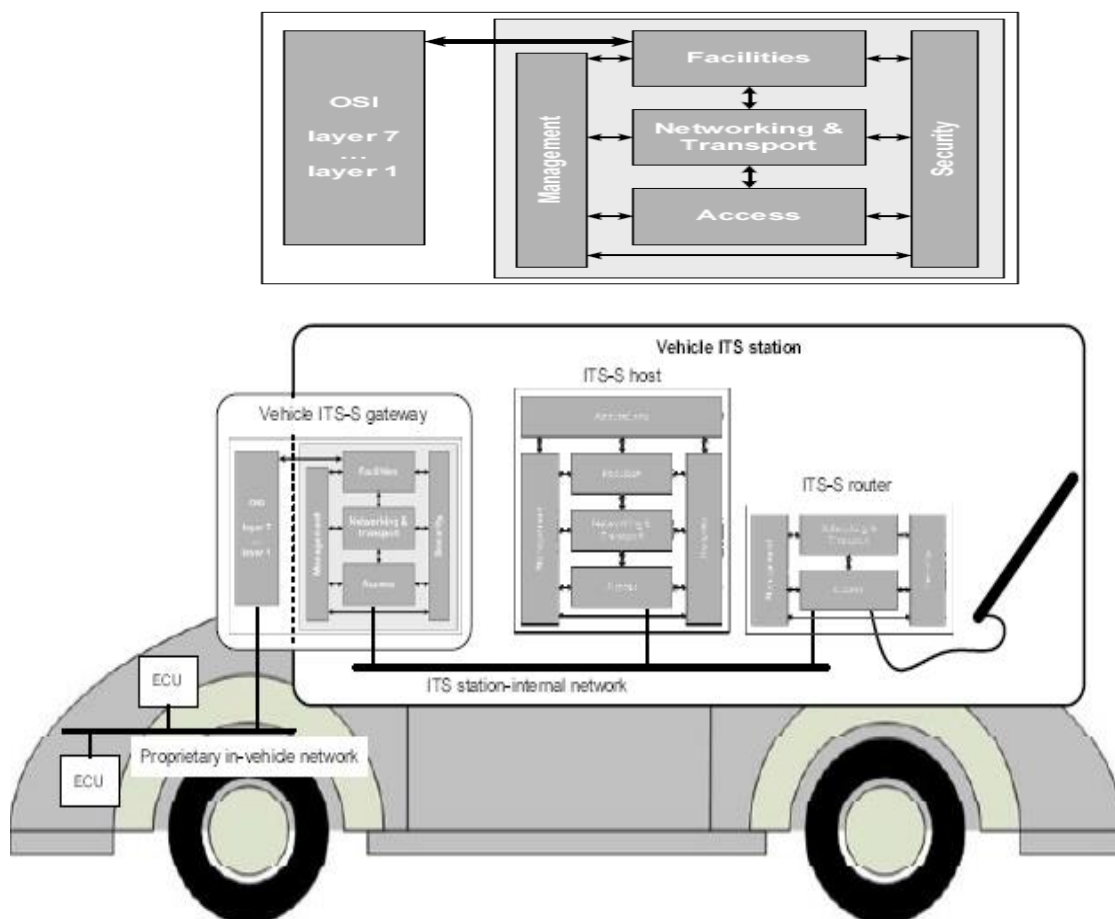
Σχήμα 1.22: Κατηγορίες ITS υποσυστημάτων.

Μια συνηθισμένη υλοποίηση είναι τα τρία πρώτα στρώματα της στοίβας πρωτοκόλλων να εκτελούνται από τη CCU και το στρώμα εφαρμογών να βρίσκεται στην AU. Επειδή όμως η διάκριση των δύο μονάδων είναι λογική, υπάρχει η και δυνατότητα όλα τα επίπεδα να υλοποιούνται στην ίδια φυσική οντότητα. Η CCU πρέπει να είναι εφοδιασμένη με μια τουλάχιστον εξωτερική διεπαφή ώστε να παρέχει τη δυνατότητα σύνδεσης στο ad hoc δίκτυο ή στο δίκτυο πρόσβασης, ενώ μπορεί να έχει μια ή περισσότερες εσωτερικές. Η AU πρέπει να είναι εφοδιασμένη με μια ή περισσότερες εσωτερικές διεπαφές, ενώ μπορεί να έχει και μια

εξωτερική διεπαφή επικοινωνιών για να συνδέεται προς κάποιο ιδιόκτητο δίκτυο. Για παράδειγμα, στο σχήμα 1.21 η CCU που βρίσκεται εντός της πύλης επικοινωνεί μέσω μιας εξωτερικής διεπαφής με το ιδιόκτητο δίκτυο του οχήματος, ενώ μέσω μιας εσωτερικής διεπαφής με το εσωτερικό δίκτυο του οχήματος

Τα δομικά στοιχεία ενός σταθμού είναι τα εξής:

- ITS-s εξυπηρετητής(ITS-s host), ο οποίος περιέχει τουλάχιστον τις ITS-s εφαρμογές και τις απαιτούμενες λειτουργίες για την υλοποίηση της αρχιτεκτονικής αναφοράς ITS σταθμών.
- ITS-s πύλη(ITS-s gateway), η οποία διασυνδέει δύο διαφορετικές στοίβες πρωτοκόλλων OSI μεταξύ των επιπέδων 5 και 7. Επιπλέον, είναι σε θέση να μετατρέψει πρωτόκολλα αντίστοιχα με τις λειτουργίες που επιτελούνται.

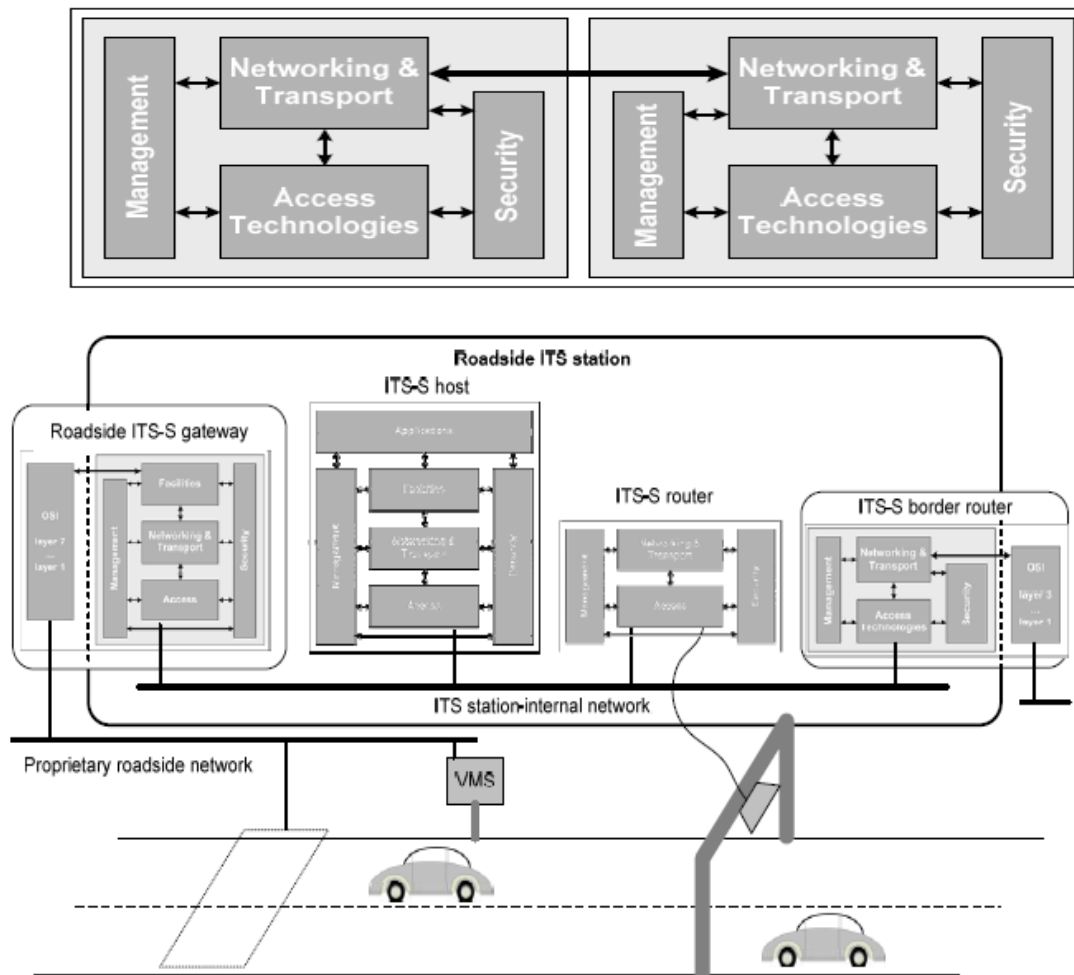


Σχήμα 1.23: Μορφή πύλης και παράδειγμα επικοινωνίας εσωτερικού δικτύου με ιδιόκτητο μέσω πύλης σε υποσύστημα οχήματος.

Η δεξιά στοίβα συνήθως συνδέεται με το εσωτερικό δίκτυο σταθμών ενός ITS, ενώ η αριστερή συνήθως συνδέεται σε ιδιόκτητο δίκτυο. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.21, η ITS-s πύλη συνδέει στοιχεία που βρίσκονται πάνω στο ιδιόκτητο δίκτυο του οχήματος

με το εσωτερικό δίκτυο του σταθμού. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα μεταφέρονται πληροφορίες για την κατάσταση του οχήματος από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (Electronic Control Unit, ECU) στον ITS σταθμό .

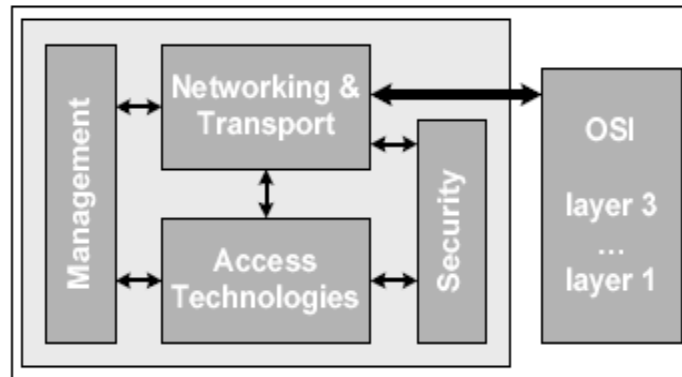
- ITS-s δρομολογητής, ο οποίος συνδέει δυο στοίβες πρωτοκόλλων ITS στο επίπεδο 3 για τη δρομολόγηση πακέτων μεταξύ δύο σταθμών μέσω μιας σειράς ετερογενών δικτύων. Ενδεχομένως, ο δρομολογητής να έχει τη δυνατότητα μετατροπής πρωτοκόλλων.



Σχήμα 1.24: Μορφή δρομολογητή και χρήση του σε RSU

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.22, η μια στοίβα πρωτοκόλλων συνδέεται συνήθως με το εσωτερικό δίκτυο ενώ η δεύτερη είναι η στοίβα πρωτοκόλλων κάποιου άλλου υποσυστήματος ή μονάδας. Στην προκειμένη περίπτωση, το άλλο υποσύστημα είναι όχημα και η εναλλακτική μονάδα περιφερειακός δρομολογητής.

- ITS περιφερειακός δρομολογητής, ο οποίος πραγματοποιεί τις ίδιες λειτουργίες με ένα απλό δρομολογητή με τη διαφορά ότι η στοίβα πρωτοκόλλων του εξωτερικού δικτύου δεν ακολουθεί κατ' ανάγκη την αρχιτεκτονική και τις αρχές προστασίας του συστήματος ITS. Συνεπώς, έχει τη δυνατότητα να διασυνδέει δίκτυα του ITS τομέα με δίκτυα του γενικού τομέα. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.21 ο περιφερειακός δρομολογητής συνδέεται στο εσωτερικό δίκτυο και σε κάποιο άλλο εξωτερικό δίκτυο, ενώ η μορφή του φαίνεται στο Σχήμα 1.22



Σχήμα 1.25: Μορφή περιφερειακού δρομολογητή

Με βάση τα προαναφερθέντα δομικά στοιχεία, η CCU μπορεί να διαχωριστεί περαιτέρω στα εξής τύπου στοιχεία τα οποία λειτουργούν στο επίπεδο δικτύου :

- Ad hoc δρομολογητής: Συνεργάζεται με ad hoc δίκτυα και εκτελεί το κατά περίπτωση κατάλληλο ad hoc πρωτόκολλο δικτύωσης
- Κινητός δρομολογητής: Είναι το στοιχείο δικτύου ενός οχήματος που παρέχει στο εσωτερικό δίκτυο IP συνδεσιμότητα με το δρομολογητή πρόσβασης. Επίσης, είναι ικανό να αλλάξει το σημείο διασύνδεσης του με το δίκτυο πρόσβασης
- Δρομολογητής πρόσβασης: Είναι μέρος του δικτύου πρόσβασης και παρέχει IP συνδεσιμότητα με άλλους σταθμούς και λειτουργεί ως προεπιλεγμένος δρομολογητής για τους σταθμούς που εξυπηρετεί .
- Πύλη πρόσβασης δικτύου: Είναι ένας ITS-s περιφερειακός δρομολογητής που συνδέει ένα εσωτερικό δίκτυο και ένα δίκτυο πρόσβασης είτε ένα δίκτυο πρόσβασης με το κεντρικό δίκτυο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΤΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο εμπεριέχονται τα βασικά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται από τους ITS-S σταθμούς στο στρώμα δικτύωσης και μεταφοράς. Στην παράγραφο 2.1 παρουσιάζεται το πρωτόκολλο GeoNetworking που χρησιμοποιείται για την μετάδοση πακέτων βασισμένη σε γεωγραφικές συντεταγμένες, ενώ στις ακόλουθες δυο παραγράφους παρουσιάζονται τα πιθανά σχήματα και γεωγραφικές περιοχές δρομολόγησης αντίστοιχα. Στην παράγραφο 2.4 αναλύεται το βασικό πρωτόκολλο μεταφοράς που χρησιμοποιείται στο στρώμα μεταφοράς και τέλος στην παράγραφο 2.5 αναλύεται η διασύνδεση του GeoNetworking με το IPv6 και μεταφορά των πακέτων.

2.1 Το πρωτόκολλο GeoNetworking

Οι ασύρματες επικοινωνίες είναι ο ακρογωνιαίος λίθος των συστημάτων ITS. Πολλές ITS εφαρμογές απαιτούν ταχεία και απευθείας επικοινωνία, η οποία είναι δυνατό να επιτευχθεί μέσω των ad hoc δικτύων. Το GeoNetworking είναι ένα πρωτόκολλο του στρώματος δικτύου για ad hoc επικοινωνίες βασισμένο σε ασύρματες τεχνολογίες όπως η ITS-G5 Αρχικά είχε προταθεί για ad hoc δίκτυα κινητών τηλεφώνων, αλλά αργότερα χρησιμοποιήθηκε για ad hoc δίκτυα οχημάτων (Vehicular Ad hoc Networks, VANET) και για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Παρέχει τη δυνατότητα για επικοινωνία σε περιβάλλοντα με υψηλή κινητικότητα χρηστών και συχνά μεταβαλλόμενη τοπολογία χωρίς να απαιτεί την ύπαρξη κάποιας συντονιστικής αρχής, χρησιμοποιώντας γεωγραφικές συντεταγμένες για τη διάδοση πληροφοριών και τη μεταφορά πακέτων δεδομένων. Επιπλέον, προσφέρει υπηρεσίες ασύρματων επικοινωνιών με πολλαπλά βήματα, όπου οι κόμβοι του ad hoc δικτύου προωθούν πακέτα δεδομένων εκ μέρους των υπολοίπων, επεκτείνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την εμβέλεια μετάδοσης.

Στα VANETs, το GeoNetworking παρέχει ασύρματη επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και μεταξύ οχημάτων και RSUs. Υποστηρίζει εφαρμογές με ετερογενείς απαιτήσεις όπως αυτές που αφορούν την ασφάλεια του δρόμου, την αποδοτική διαχείριση της κίνησης και εφαρμογές διασκέδασης και ενημέρωσης. Συγκεκριμένα, επιτρέπει την περιοδική μετάδοση μηνυμάτων κατάστασης ασφάλειας σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, την ταχεία διάδοση πακέτων πολλαπλών βημάτων επείγουσας ειδοποίησης σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές και τη μετάδοση πακέτων που αφορούν Internet εφαρμογές.

Παρέχει δυο βασικές λειτουργίες: (i) τη γεωγραφική διευθυνσιοδότηση και (ii) τη γεωγραφική προώθηση πακέτων. Σε αντίθεση με τη διευθυνσιοδότηση στα κλασικά δίκτυα όπου σε κάθε φυσικό κόμβο αποδίδεται ένα εικονικό όνομα το οποίο και χρησιμοποιεί για τη λήψη και την αποστολή πακέτων (π.χ. διεύθυνση IP), το GeoNetworking μπορεί να αποστέλλει πακέτα σε ένα κόμβο με βάση την τοποθεσία του ή ακόμα και σε πολλούς κόμβους που βρίσκονται μέσα

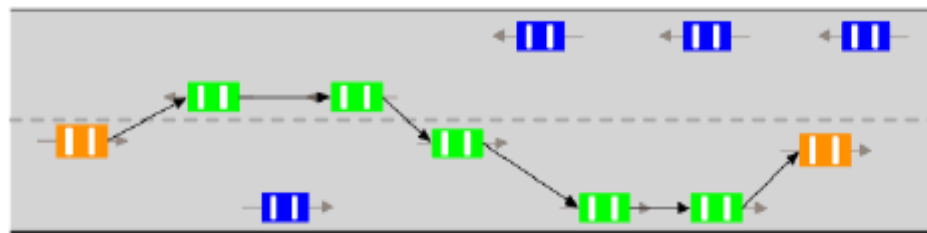
στην ίδια γεωγραφική περιοχή. Για τη γεωγραφική προώθηση, το GeoNetworking υποθέτει ότι κάθε κόμβος έχει μια περιορισμένη εκτίμηση για την τοπολογία του δικτύου στην κοντινή του περιοχή και ότι κάθε πακέτο φέρει μια γεωγραφική διεύθυνση που είναι είτε η γεωγραφική θέση είτε η γεωγραφική περιοχή του προορισμού. Όταν ένα κόμβος λαμβάνει ένα πακέτο, λαμβάνει μια αυτόνομη απόφαση για την προώθηση του πακέτου συγκρίνοντας τη γεωγραφική διεύθυνση του πακέτου με την εκτίμηση που έχει ο κόμβος για την τοπολογία του δικτύου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα πακέτα να μπορούν να μεταδοθούν ενόσω οι κόμβοι βρίσκονται σε κίνηση χωρίς να χρειάζεται η εγκατάσταση και η διατήρηση πινάκων δρομολόγησης σε κάθε κόμβο.

Η πλέον καινοτόμος μέθοδος διανομής πακέτο με βάση τη γεωγραφική δρομολόγηση είναι η στόχευση ενός μηνύματος σε μια γεωγραφική περιοχή. Στην πράξη, ένα όχημα μπορεί να επιλέξει μια συγκεκριμένη και καλά οριοθετημένη γεωγραφική περιοχή, στην οποία θα μεταφέρονται τα μηνύματα. Τα ενδιαμέσα οχήματα λειτουργούν ως αναμεταδότες μηνυμάτων και μόνο τα οχήματα που βρίσκονται στην επιθυμητή γεωγραφική περιοχή επεξεργάζονται το μήνυμα και το προωθούν στις ανάλογες εφαρμογές. Με αυτόν τον τρόπο, αν υπάρξει ένα κρίσιμο γεγονός ή κάποια ειδοποίηση θα ενημερωθούν μόνο τα οχήματα που επηρεάζονται.

2.2 Σχήματα Δρομολόγησης

Το GeoNetworking υποστηρίζει τις ακόλουθες επιλογές για τη γεωγραφική προώθησης πακέτων:

- GeoUnicast : Μια μέθοδος παράδοσης ενός μηνύματος μεταξύ δυο κόμβων είναι μέσω πολλαπλών ασύρματων βημάτων, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1. Όταν ένας κόμβος επιθυμεί να στείλει πακέτο σε συγκεκριμένο δέκτη, προηγουμένως καθορίζει τη θέση του παραλήπτη και, στη συνέχεια, προωθεί το πακέτο σε κάποιο κόμβο προσανατολισμένο προς τον προορισμό που με τη σειρά του επαναπροωθεί το πακέτο μέχρι αυτό να φθάσει στο προορισμό του.

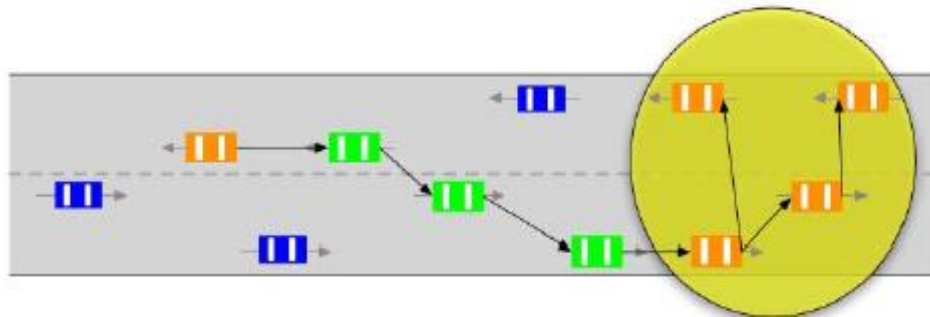


Σχήμα 2.1: Γεωγραφική προώθηση GeoUnicast

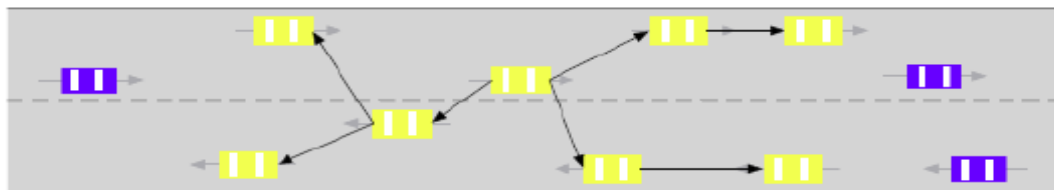
- GeoBroadcast: Ένα πακέτο προωθείται βήμα με βήμα μέχρι να φθάσει στη γεωγραφική περιοχή που καθορίζεται από αυτό. Όταν βρεθεί σε αυτήν, οι κόμβοι που το

λαμβάνουν ευρυεκπέμπουν το μήνυμα για να το λάβουν όλοι οι υπόλοιποι κόμβοι που βρίσκονται εντός αυτής. Η διαφορά αυτής της μεθόδου από τη μέθοδο GeoAnycast είναι ότι, στη δεύτερη, οι κόμβοι που βρίσκονται εντός της στοχευόμενης περιοχής προορισμού δεν ευρυεκπέμπουν το μήνυμα. Η μέθοδος GeoBroadcast παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.2.

- Τοπολογική ευρυεκπομπή συγκεκριμένης εμβέλειας (Topologically-scoped Broadcast, TSB) : Η πηγή επιλέγει την ευρυεκπομπή n βημάτων ενός μηνύματος. Όταν $n = 1$, δηλαδή πρόκειται για εκπομπή ενός βήματος, τότε η μέθοδος ονομάζεται SHB(Single Hop Broadcast, SHB). Η μέθοδος TSB φαίνεται στο Σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.2: Γεωγραφική προώθηση GeoBroadcast.



Σχήμα 2.3: Γεωγραφική προώθηση TSB.

2.3 Προσδιορισμός γεωγραφικής περιοχής

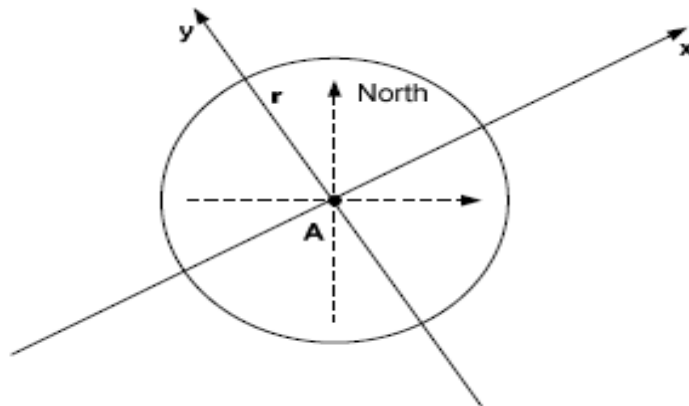
Οι γεωγραφικές περιοχές που χρησιμοποιούνται από το πρωτόκολλο GeoNetworking καθορίζονται από συγκεκριμένα γεωμετρικά σχήματα. Ορίζονται τρία είδη περιοχών και κάθε σταθμός μπορεί να χρησιμοποιήσει μια συνάρτηση $F(x,y)$ για να προσδιορίσει αν ένα σημείο $P(x,y)$ βρίσκεται εντός, εκτός, στα όρια ή στο κέντρο της γεωγραφικής περιοχής που χρησιμοποιείται. Η συνάρτηση $F(x, y)$ έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

$$F(x, y) \begin{cases} = 1 & \text{για } x = y = 0, \text{ δηλαδή στο κέντρο της περιοχής} \\ > 0 & \text{εντός της γεωγραφικής περιοχής} \\ = 0 & \text{στα όρια της γεωγραφικής περιοχής} \\ < 0 & \text{εκτός της γεωγραφικής περιοχής} \end{cases} \quad (2.1)$$

όπου x, y οι γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου P . Το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται τοποθετείται στο κέντρο του εκάστοτε γεωγραφικού σχήματος και η τετμημένη του είναι παράλληλη προς τη μεγάλη πλευρά του σχήματος. Το σημείο P ορίζεται ως προς αυτό το σύστημα συντεταγμένων και όχι ως προς το κανονικό σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων μήκους και πλάτους που υπάρχει.

Υπάρχουν οι εξής περιπτώσεις:

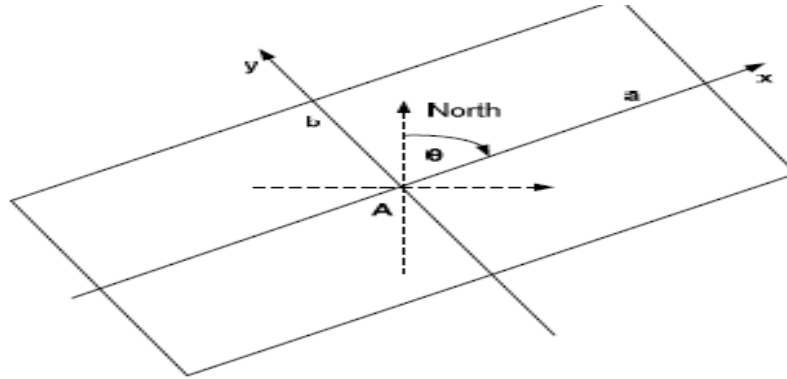
- **Κυκλικές περιοχές**
Για τον προσδιορισμό μια κυκλικής περιοχής απαιτείται ένα σημείο A το οποίο φέρει τις συντεταγμένες του κέντρου του κύκλου και η παράμετρος r που προσδιορίζει την ακτίνα του κύκλου.



Σχήμα 2.4: Κυκλική περιοχή.

Η εξίσωση που χρησιμοποιείται είναι: $F(x, y) = 1 - \left(\frac{x}{r}\right)^2 - \left(\frac{y}{r}\right)^2$ (2.2)

- **Ορθογώνιες περιοχές**
Η τετραγωνική περιοχή εκτός από το σημείο A απαιτεί για τον προσδιορισμό της και τις παραμέτρους a, b και θ . Η παράμετρος a δηλώνει την απόσταση μεταξύ του κέντρου A και της μικρής πλευράς του ορθογωνίου, ενώ η απόσταση b την απόσταση μεταξύ του κέντρου A και της μεγάλης πλευράς. Το θ δηλώνει την αζιμουθιακή γωνία της μικρής πλευράς του ορθογωνίου.

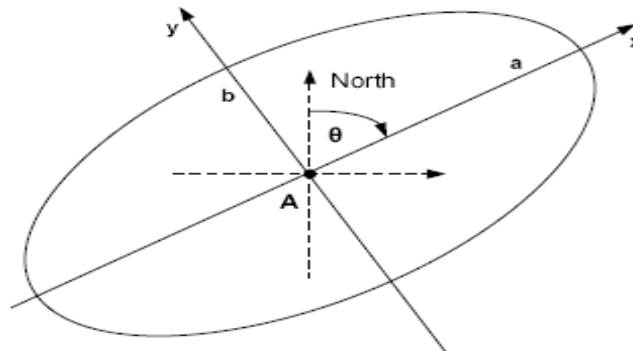


Σχήμα 2.5: Ορθογώνια περιοχή.

Η εξίσωση που χρησιμοποιείται είναι:
$$F(x, y) = \min \left\{ 1 - \left(\frac{x}{a} \right)^2, 1 - \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right\} \quad (2.3)$$

- Ελλειψοειδείς περιοχές

Για τον προσδιορισμό της ελλειψοειδούς περιοχής απαιτούνται οι συντεταγμένες A του κέντρου της, η παράμετρος a του μήκους του μεγάλου ημιάξονα της έλλειψης, η παράμετρος b του μήκους του μικρού ημιάξονα της έλλειψης και η αζιμουθιακή γωνιά θ που σχηματίζει ο μεγάλος ημιάξονας με το οριζόντιο επίπεδο.



Σχήμα 2.6: Ελλειψοειδής περιοχή.

Η εξίσωση που χρησιμοποιείται είναι:
$$F(x, y) = 1 - \left(\frac{x}{a} \right)^2 - \left(\frac{y}{b} \right)^2 \quad (2.4)$$

2.4 Βασικό πρωτόκολλο μεταφοράς

Το βασικό πρωτόκολλο μεταφοράς (Basic Transport Protocol, BTP) επιτρέπει στα πρωτόκολλα του στρώματος λειτουργιών να έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες του GeoNetworking και

καθιστά δυνατή τη μεταφορά πληροφοριών που αφορούν τον έλεγχο του GeoNetworking. Χρησιμοποιείται για να παρέχει από άκρο σε άκρο (End to End, E2E) ασυνδεδασμένες υπηρεσίες μεταφοράς σε ITS ad hoc δίκτυα. Κύριος σκοπός του BTP είναι η πολύπλεξη μηνυμάτων που προέρχονται από διαφορετικές διαδικασίες του στρώματος λειτουργιών και η μετάδοση πακέτων μέσω του πρωτοκόλλου GeoNetworking, όπως επίσης και η αποπολύπλεξη στον προορισμό.

Για την πολύπλεξη/αποπολύπλεξη, το BTP χρησιμοποιεί θύρες, οι οποίες αποτελούν τερματικό σημείο της επικοινωνίας και προσδιορίζουν την οντότητα πρωτοκόλλου του ITS σταθμού αποστολής και λήψης, αντίστοιχα. Αποτελούν εσωτερικές διευθύνσεις των 16bit που υπάρχουν σε κάθε σταθμό και η χρήση τους είναι παρόμοια με εκείνη κατά τη μεταφορά πακέτων δυο σταδίων του πρωτόκολλου IP, όπου το IP παρέχει τη δρομολόγηση του πακέτου και το πρωτόκολλο μεταφοράς, π.χ. UDP, πολυπλέκει/αποπολυπλέκει τα μηνύματα. Κατ' αναλογία, το GeoNetworking υποστηρίζει τη δρομολόγηση των πακέτων και το BTP παραδίδει τα πακέτα στο στρώμα λειτουργιών. Επίσης, το BTP, όπως και το IP, υιοθετεί την έννοια των γνωστών θυρών, σύμφωνα με την οποία συγκεκριμένες υπηρεσίες του στρώματος λειτουργιών δεσμεύουν προκαθορισμένες και σταθερές τιμές για τις θύρες που χρησιμοποιούν. Οι γνωστές θύρες του BTP παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

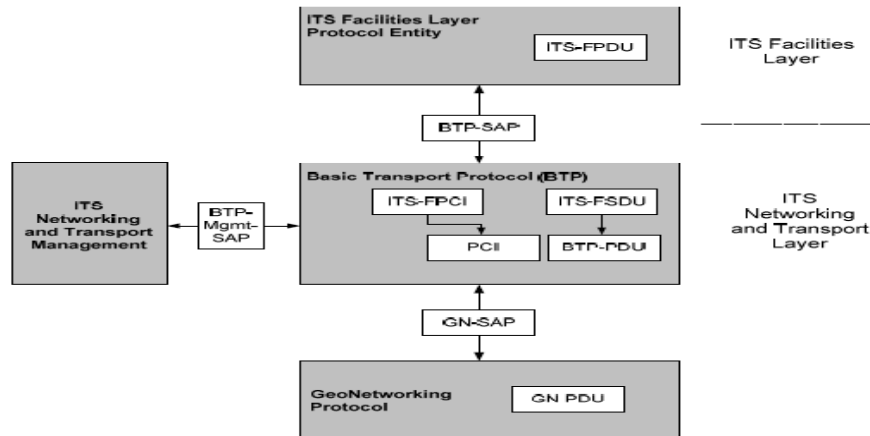
Γνωστές BTP θύρες	Οντότητα-υπηρεσία του στρώματος εφαρμογών
2001	CAM
2002	DENM
2003	MAP
2004	SPAT
2005	SAM

Πίνακας 2.1: Γνωστές θύρες BTP.

Το BTP έχει επικεφαλίδα μήκους 4 bytes και απαιτεί πολύ μικρή επεξεργασία. Παρέχει αναξιόπιστη μετάδοση πακέτων και, ως εκ τούτου, μπορεί στον προορισμό τα πακέτα να φθάνουν σε λανθασμένη σειρά, να λαμβάνονται αντίγραφα και του ίδιου πακέτου ή να υπάρχουν απώλειες πακέτων. Συνεπώς, οι οντότητες που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο πρέπει είτε να είναι ανεκτικές στην αναξιόπιστη μεταφορά πακέτων είτε να έχουν κατάλληλους μηχανισμούς για την παροχή αξιόπιστης επικοινωνίας.

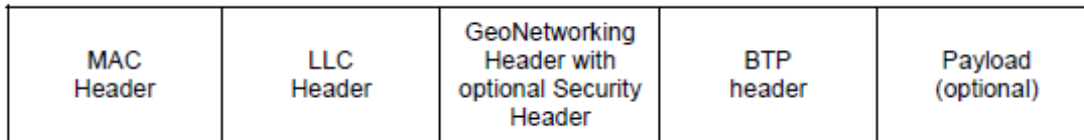
Μέσω του BTP-SAP, το BTP δέχεται την PDU του ανώτερου πρωτοκόλλου και τα στοιχεία της επιλεγμένης υπηρεσίας τα οποία περιέχουν διαφορετικού τύπου παραμέτρους με βάση τις οποίες επιλέγεται η PCI που θα ενθυλακωθεί στην PDU του BTP. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.6, η SDU του στρώματος λειτουργιών χρησιμοποιείται για την PDU του BTP, ενώ από

τα στοιχεία της FPCI διαμορφώνεται η προς ενθυλάκωση PCI. Τέλος, για τη διασύνδεση του BTP με την οντότητα διαχείρισης χρησιμοποιείται το BTP-Mgmt-SAP



Σχήμα 2.7: SAPs, SDUs ,PDUs που σχετίζονται με το BTP.

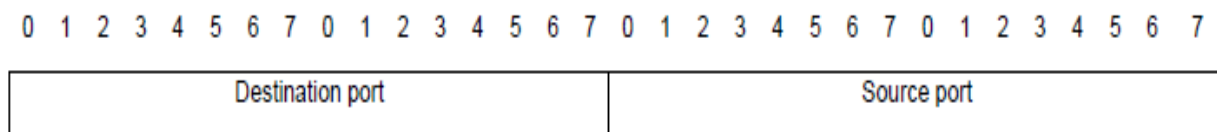
Όπως θα παρουσιασθεί στο Κεφάλαιο 3, η δομή των πακέτων BTP ακολουθεί τη δομή ενός πακέτου GeoNetworking περιέχοντας την πρόσθετη BTP επικεφαλίδα .



Σχήμα 2.8: Δομή BTP πακέτου

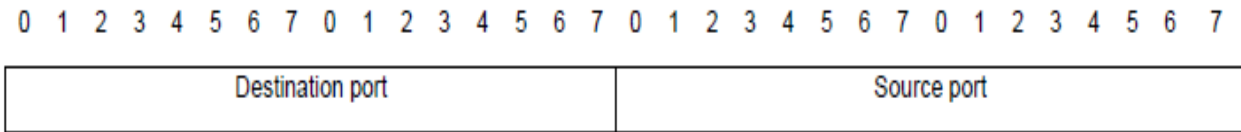
Το BTP υποστηρίζει δύο είδη επικεφαλίδας: Τύπου A για τα διαδραστικά πακέτα και τύπου B για τα μη διαδραστικά πακέτα. Η επιλογή γίνεται με γνώμονα την τιμή του πεδίου Next Header της επικεφαλίδας GeoNetworking. Αν αυτή είναι ένα η επικεφαλίδα είναι τύπου A, αν είναι δυο είναι τύπου B.

Οι επικεφαλίδες τύπου A εμπεριέχουν μόνο τη θύρα προορισμού και αποστολέα . Η θύρα προορισμού αντιστοιχεί στην οντότητα πρωτοκόλλου του στρώματος λειτουργιών για την οποία προορίζεται η BTP-PDU. Η θύρα αποστολέα υποδεικνύει τη θύρα που χρησιμοποίησε ο αποστολέας για την αποστολή της FSDU και δηλώνει επίσης τη θύρα στην οποία πρέπει να σταλεί η απάντηση του παραλήπτη όταν αυτή υπάρχει.



Σχήμα 2.9: BTP επικεφαλίδα τύπου A.

Οι επικεφαλίδες τύπου B εμπεριέχουν θύρα προορισμού , αλλά όχι θύρα αποστολέα . Το δεύτερο πεδίο περιέχει πρόσθετες πληροφορίες για τη θύρα προορισμού αν αυτή είναι κάποια από τις “ γνωστές ” θύρες , ειδάλλως έχει την τιμή μηδέν



Σχήμα 2.10: BTP επικεφαλίδα τύπου B.

Για τη δημιουργία ενός πακέτου BTP, αρχικά πρέπει πρώτα να ληφθεί ένα στοιχείο αίτησης (primitive request) BTP-Data το οποίο έχει την ακόλουθη μορφή

```

BTP-Data.request (
    BTP type,
    Source port, (optional)
    Destination port,
    Destination port info, (optional)
    GN Packet transport type,
    GN Destination address,
    GN Communication profile,
    GN Security profile, (optional)
    GN Maximum packet lifetime, (optional)
    GN Repetition interval, (optional)
    GN Maximum repetition time, (optional)
    GN Maximum hop limit, (optional)
    GN Traffic class,
    Length,
    Data
)
    
```

Σχήμα 2.11: Στοιχείο αίτησης BTP-Data.

Η παράμετρος BTP type προσδιορίζει αν το πακέτο θα είναι διαδραστικό ή όχι και συνεπώς προσδιορίζει και τον τύπο της επικεφαλίδας. Τα πεδία που αφορούν τις θύρες συμπληρώνονται ανάλογα με τον τύπο της επικεφαλίδας όσα δεν χρειάζονται παραμένουν κενά. .

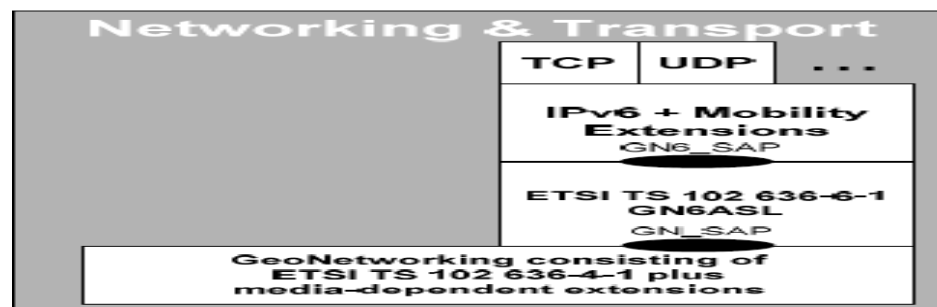
Αφού δημιουργηθεί η επικεφαλίδα, προστίθεται στην FSDU που αποτελεί το τμήμα πληροφορίας, ώστε να δημιουργηθεί η BTP-SDU η οποία προωθείται στο GeoNetworking μέσω του GN-SAP . Όσα πεδία φέρουν το πρόθεμα GN στο BTP-Data αγνοούνται από το BTP και προωθούνται κενά στο GeoNetworking όπου και θα συμπληρωθούν. Η σημασία των πεδίων αυτών αναλύεται στο Κεφ. 3.

2.5 GeoNetworking και IPv6 – GN6

Οι εφαρμογές που είναι σχεδιασμένες για το GeoNetworking εκμεταλλεύονται την δυνατότητα που παρέχει το GeoNetworking για γεωγραφική διευθυνσιοδότηση και δρομολόγηση. Μέσω αυτών των δυο δυνατοτήτων, ικανοποιούνται οι απαιτήσεις πολλών υπηρεσιών των οποίων το πεδίο εφαρμογής είναι περιορισμένο σε δίκτυα που είναι αποσυνδεδεμένα από μεγαλύτερα υπάρχοντα δίκτυα.

Ωστόσο, αρκετές εφαρμογές απαιτούν την ενσωμάτωση των σταθμών σε μεγαλύτερα δίκτυα όπως το Internet ή άλλα ιδιωτικά δίκτυα μετάδοσης. Για να συνδεθούν δίκτυα που βασίζονται στο GeoNetworking με δίκτυα που χρησιμοποιούν το IP, τα οποία άλλωστε αντιπροσωπεύουν την πλειοψηφία των αναπτυγμένων μεγάλων δικτύων, είναι απαραίτητο οι GeoNetworking σταθμοί να μπορούν να συμπεριφέρονται ως Internet εξυπηρετητές ή δρομολογητές .

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων οι σταθμοί ενός ITS πρέπει να υποστηρίζουν μόνο την έκδοση 6 του IP (IPv6) [i.5]. Σε αυτήν την έκδοση, προστίθενται οι επεκτάσεις που αφορούν την κινητικότητα. Η προκαθορισμένη επέκταση για δίκτυα σχεδιασμένα σύμφωνα με την αρχιτεκτονική του Κεφ.1 είναι το πρωτόκολλο NEMO BS.



Σχήμα 2.12: Πρωτόκολλα στο GN6.

Για τη διασύνδεση των δύο προτύπων στο στρώμα μεταφοράς και δικτύωσης, χρησιμοποιείται ένα υποστρώμα προσαρμογής (GN6ASL) που παρουσιάζεται στο IPv6 ως ένα πρωτόκολλο του στρώματος ζεύξης το οποίο βασίζεται στο GeoNetworking. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το IPv6 μπορεί να αξιοποιεί τις δυνατότητες του GeoNetworking για επικοινωνία σημείου προς σημείο ή σημείου προς πολλά σημεία, όπως επίσης και τις επιλογές GeoAnycast και GeoBroadcast.

Οι υπηρεσίες του GN6ASL προσφέρονται στο IPv6 μέσω του GN6_SAP το οποίο παρέχει μη αναγνωρισμένες υπηρεσίες χωρίς σύνδεση, δηλαδή ένα σύνολο υπηρεσιών μεταφοράς δεδομένων μέσω των οποίων οι οντότητες πρωτοκόλλου IPv6 διαφορετικών Geoadhoc δρομολογητών μπορούν να ανταλλάξουν IPv6 πακέτα χωρίς την εγκαθίδρυση σύνδεσης.

Τα στοιχεία τα οποία σχετίζονται με τις συγκεκριμένες υπηρεσίες είναι το GN6-UNITDATA.request, μέσω του οποίου ζητείται να σταλεί μια GN6SDU, και το GN6-UNITDATA.indication το οποίο υποδεικνύει την άφιξη μιας IPv6 επικεφαλίδας. Τα δύο στοιχεία έχουν παρόμοια μορφή, αλλά στα στοιχεία αίτησης υπάρχει η πρόσθετη παράμετρος προτεραιότητας.

Η διεύθυνση παραλήπτη μπορεί να είναι είτε ατομική είτε ομαδική, ενώ η διεύθυνση του αποστολέα πολλές φορές αφήνεται κενή για να συμπληρωθεί από το GeoNetworking. Το πεδίο GN6SDU καθορίζει τα δεδομένα της GN6 υπηρεσίας που θα αποσταλούν και περιέχει την IPv6 επικεφαλίδα και το ωφέλιμο φορτίο. Η παράμετρος της προτεραιότητας καθορίζει το πόσο επείγουσα είναι η μεταφορά των δεδομένων και λαμβάνει τιμές από 0 έως 255.

```
GN6-UNITDATA.request(  
    destination address,  
    source address,  
    gn6sdu,  
    priority  
)
```

Σχήμα 2.13: Στοιχείο αίτησης GN6-UNITDATA.

2.5.1 Εικονικοί σύνδεσμοι, εικονικές διεπαφές και πολυεκπομπή

Κατά τη χρήση υπηρεσιών πολυεκπομπής, δημιουργούνται εικονικές συνδέσεις που δεσμεύουν πολλαπλές φυσικές συνδέσεις. Υπάρχουν δύο κατηγορίες εικονικών συνδέσεων πολυεκπομπής. Η πρώτη υποστηρίζει τοπικές συνδέσεις πολυεκπομπής εντός ενός γεωγραφικά οριοθετημένου πεδίου, ενώ η δεύτερη υποστηρίζει πολυεκπομπή που δεν υπόκειται σε γεωγραφικά όρια.

Για την εγκαθίδρυση των συνδέσεων που απαιτεί το IPv6, υπάρχουν δύο είδη συνδέσεων. Ο εικονικός γεωγραφικός σύνδεσμος (Geographical Virtual Link, GVL) και ο εικονικός τοπολογικός σύνδεσμος (Topological Virtual Link, TVL). Σε κάθε δρομολογητή υπάρχει ακριβώς ένας TVL και τουλάχιστον ένας GVL. Ο πρώτος υλοποιεί NBMA εικονικές συνδέσεις που δεσμεύουν πολλαπλές φυσικές συνδέσεις εντός μιας γεωγραφικά καθορισμένης περιοχής, ενώ ο δεύτερος χρησιμοποιείται για να υλοποιεί τις δύο κατηγορίες που περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο..

Κάθε GVL σχετίζεται με μοναδική GeoBroadcast/GeoAnycast περιοχή η οποία προσδιορίζεται (i) από τις γεωγραφικές συντεταγμένες μήκους και πλάτους του κέντρου συντεταγμένων της, (ii) την απόσταση τύπου a και τύπου b και τέλος (iii) τη γωνία του γεωγραφικού σχήματος από το Νότο. Οι πληροφορίες αυτές προέρχονται είτε από την επικεφαλίδα GeoNetworking είτε από την οντότητα διαχείρισης του σταθμού. Από την άλλη πλευρά, ένας TVL επιτρέπει την τοπική σύνδεση και ανταλλαγή μηνυμάτων απλής εκπομπής μεταξύ δρομολογητών που βρίσκονται σε κοντινές γεωγραφικές περιοχής και όχι απαραίτητα στην ίδια .

Οι σύνδεσμοι που περιγράφηκαν προηγουμένως παρέχονται από το GN6ASL στο IPv6 υπό τη μορφή εικονικών διεπαφών δικτύου. Κάθε εικονική διεπαφή σχετίζεται είτε με μοναδικό GVL είτε με μοναδικό TVL και πρέπει να υποστηρίζει αμφίδρομη επικοινωνία. Επίσης μία ή περισσότερες εικονικές διεπαφές σχετίζονται με μοναδική φυσική διεπαφή π.χ μια φυσική διεπαφή του ITS-G5 .

Αν και τα είδη των εικονικών συνδέσμων που χρησιμοποιούνται είναι καθορισμένα, δηλαδή GVL ή TVL, δεν ισχύει το ίδιο για τις εικονικές διεπαφές που καθορίζονται από το είδος της εφαρμογής. Σύμφωνα με το [8] διακρίνονται τρία είδη εικονικών διεπαφών.

Το πρώτο και κυριότερο είδος είναι οι εικονικές διεπαφές τύπου Ethernet V2.0/IEEE 802.3 LAN που συσχετίζονται με GVLs. Η μεταφορά πακέτων IPv6 πάνω από το GeoNetworking μέσω τέτοιου είδους διεπαφών πρέπει να είναι σύμφωνη με τις προδιαγραφές που αναφέρονται στο [i.6]. Η διεύθυνση MAC των διεπαφών εξάγεται από το πεδίο MID μήκους 48 bit που βρίσκεται στη διεύθυνση GeoNetworking του δρομολογητή.

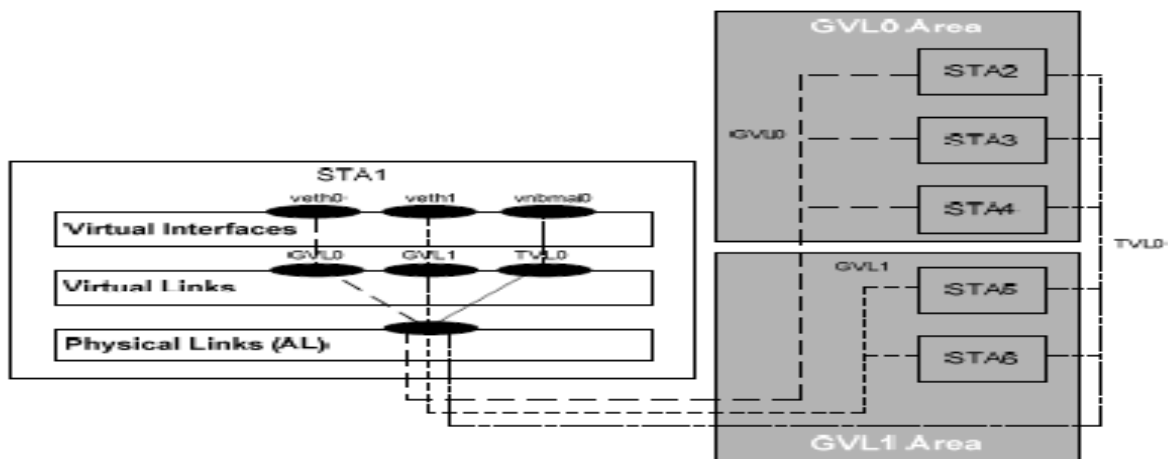
Το δεύτερο είδος είναι οι εικονικές διεπαφές τύπου NBMA που συσχετίζονται με TVLs .Η μεταφορά πακέτων μέσω διεπαφών NBMA πρέπει να ικανοποιεί τις προδιαγραφές που αναφέρονται στην παράγραφο 4.4.1 του [i.7].

Το τρίτο είδος είναι οι εικονικές διεπαφές τύπου σημείου προς σημείο (point to point, P2P), που συσχετίζονται με TVLs. Τέτοιες διεπαφές παρέχονται συνήθως ως τμήματα διαφόρων λειτουργικών συστημάτων VPN tunneling ή χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές του IPv6 που επιτρέπουν τη μεταφορά κίνησης που προέρχεται από τοπικές συνδέσεις πολυεκπομπής μέσω P2P οπτικών επαφών, όπως αυτές που αναφέρονται στο [i.8]. Διαφέρουν από τις φυσικές διεπαφές σημείου προς σημείο ως προς το ότι δεν απαιτούν πρωτόκολλα προσαρμογής του στρώματος ζεύξης όπως είναι το PPP. Τέλος, μια P2P εικονική διεπαφή που δεν υποστηρίζει ευρυεκπομπή ή πολυεκπομπή εκλαμβάνεται ως εικονική NBMA διεπαφή και τυγχάνει αντίστοιχης διαχείρισης.

Τα προηγούμενα απεικονίζονται στο παράδειγμα του Σχήματος 2.13 .Στο IPv6 παρουσιάζονται τρεις εικονικές διεπαφές: veth0 και veth1 τύπου Ethernet V2.0/IEEE 802.3 LAN και vnbma0 τύπου NBMA, έκαστη των οποίων σχετίζεται με μοναδικό εικονικό σύνδεσμο. Οι GVL1 και

GVL2 είναι δυο ξεχωριστοί σύνδεσμοι που αντιστοιχούν σε μια ορθογώνια γεωγραφική περιοχή πολυεκπομπής ενώ μέσω του συνδέσμου TVL0 μπορούν να δημιουργηθούν ζεύξεις μεταξύ μεμονωμένων σταθμών διαφορετικών περιοχών .

Πρακτικά, ο σταθμός 1 θα μπορούσε να είναι ένας παράπλευρος σταθμός που εξυπηρετεί τις περιοχές GVL0 και GVL1. Όταν επιθυμεί να αποστείλει ένα μήνυμα σε όλους τους χρήστες χρησιμοποιεί τους συνδέσμους GVL1 για την περιοχή 1 και GVL0 για την περιοχή 0. Όταν επιθυμεί να επικοινωνήσει με ένα σταθμό μόνο χρησιμοποιεί το σύνδεσμο TVL0. Σε κάθε περίπτωση, το IPv6 χρησιμοποιεί την αντίστοιχη επαφή. Εναλλακτικά, ο σταθμός 1 θα μπορούσε να είναι σταθμός οχήματος ο οποίος για λόγους κάλυψης εξυπηρετείται και από τις δυο περιοχές.



Σχήμα 2.14: Παράδειγμα χρήσης GVL, TVL και εικονικών διεπαφών.

Η πολυεκπομπή γίνεται πάντα μέσω GVLs, είτε είναι κανονικού τύπου, δηλαδή μη γεωγραφική πολυεκπομπή όπου οι διευθύνσεις παράγονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του IPv6 χωρίς να εμπεριέχουν πληροφορίες για τη γεωγραφική περιοχή, είτε γεωγραφική, δηλαδή πολυεκπομπή όπου στις διευθύνσεις εμπεριέχεται κωδικοποίηση των γεωγραφικών περιοχών.

Στην κλασική πολυεκπομπή διακρίνονται οι δύο περιπτώσεις που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου. Η διαδικασία που χρησιμοποιείται και στις δύο περιπτώσεις είναι η ίδια. Επίσης, η ίδια διαδικασία χρησιμοποιείται και για την προώθηση πακέτων τυχαίας εκπομπής. Το εξερχόμενο IPv6 πακέτο εκπέμπεται από το GeoNetworking σε μια GEOBROADCAST/GEOANYCAST επικεφαλίδα, της οποίας η δομή φαίνεται στο Παράρτημα Α. Τα πεδία της επικεφαλίδας συμπληρώνονται από τα αντίστοιχα πεδία της GVL περιοχής που

αντιστοιχεί στον GVL που χρησιμοποιείται. Η κίνηση πολυεκπομπής λαμβάνεται από όλους τους GeoAdhoc δρομολογητές που είναι συνδεδεμένοι στον GVL και το IPv6 αγνοεί την κίνηση από πακέτα πολυεκπομπής για τα οποία ο δρομολογητής δεν έχει συμπεριληφθεί στην ομάδα αποστολής. Οι κλασικοί μηχανισμοί του IPv6 για την κίνηση πολυεκπομπής [i.9], [i.10] αναμένεται να λειτουργήσουν σωστά και για τις εικονικές συνδέσεις.

Η περίπτωση της γεωγραφικής πολυεκπομπής έχει ως στόχο να παρέχει στο IPv6 εφαρμογές οι οποίες μπορούν έχουν ομαδική διεύθυνση παραλήπτη μια ολόκληρη γεωγραφική περιοχή που καθορίζεται από τις συντεταγμένες της και μόνο. Κατά την κλασική και απλούστερη περίπτωση υλοποίησης γεωγραφικής πολυεκπομπής, σε κάθε ITS σταθμό, στον οποίο βρίσκεται ένας GeoAdhoc δρομολογητής, ενσωματώνεται ένας προκαθορισμένος στατικός πίνακας που εμπεριέχει τις αντιστοιχίες μεταξύ προκαθορισμένων γεωγραφικών περιοχών και των IDs των ομάδων πολυεκπομπής. Οι προαναφερθείσες γεωγραφικές περιοχές προσδιορίζονται σχετικά με τη θέση των GeoAdhoc δρομολογητών.

Όμως, η γεωγραφική πολυεκπομπή είναι ακόμα σε πειραματικό επίπεδο και εμφανίζει διάφορα μειονεκτήματα. Συνήθως, για την πολυεκπομπή σε γεωγραφικές περιοχές χρησιμοποιούνται μηχανισμοί μέσω των οποίων η γεωγραφική διεύθυνση προορισμού των πακέτων που διακινούνται κρύβεται από το IPv6. Ένας απλός τρόπος υλοποίησης της προαναφερθείσας ιδέας βασίζεται στις ιδιότητες των GVLs και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τις δύο κατηγορίες κανονικής πολυεκπομπής, χωρίς να χρειάζεται να εισαχθούν νέες IPv6 ομάδες πολυεκπομπής ή τύποι διευθύνσεων. Για τοπικές συνδέσεις, όταν ο δρομολογητής είναι συνδεδεμένος στον GVL που αντιστοιχεί στην επιθυμητή περιοχή, αρκεί να χρησιμοποιήσει την προκαθορισμένη διεύθυνση FF02 που αντιστοιχεί σε αποστολή σε όλους του κόμβους που βρίσκονται στο σύνδεσμο. Για συνδέσεις σε μακρινές περιοχές μέσω μιας απλής σύνδεσης IPv6, ο αποστολέας μεταφέρει τα πακέτα σε ένα δρομολογητή που είναι συνδεδεμένος στο GVL και ο δρομολογητής χρησιμοποιεί την επιλογή για αποστολή σε όλους τους κόμβους.

Μια χαρακτηριστική περίπτωση της προαναφερθείσας μεθόδου είναι αυτή του παράπλευρου σταθμού ο οποίος παρέχει πρόσβαση σε ένα μεγαλύτερο IPv6 δίκτυο. Ο παράπλευρος σταθμός μπορεί να σχετίζεται με μια γεωγραφική περιοχή ενεργοποιώντας τουλάχιστον ένα GVL του οποίου ρυθμίζει την GVL περιοχή. Ως εκ τούτου, ο σταθμός θα μπορεί να γεο-εκπέμψει IPv6 κίνηση στη επιθυμητή περιοχή. Η κίνηση μπορεί να παράγεται από τον ίδιο το σταθμό ή από κάποιον άλλο απομακρυσμένο κόμβο που βρίσκεται στο Internet. Για τη μεταφορά της κίνησης δεδομένων από τον απομακρυσμένο εξυπηρετητή στον παράπλευρο σταθμό, υπάρχουν διάφορες τεχνικές. Ένα παράδειγμα είναι η χρήση IPv6 διευθύνσεων πολυεκπομπής που βασίζονται σε παγκοσμίου επιπέδου προθέματα απλής εκπομπής. Το πρόθεμα υποδικτύου ανατίθεται μονοσήμαντα και απευθείας σε ένα GVL. Αυτή

είναι η μόνη πληροφορία που χρειάζεται να γνωρίζει ένας κόμβος που βρίσκεται στο Internet για να αποστείλει τα πακέτα του. Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πρωτόκολλα στο επίπεδο των εφαρμογών που θα καθοδηγούν τον παράπλευρο σταθμό πώς να διανέμει την κίνηση τοπική κίνηση πολυεκπομπής

2.5.2 Δομή και Μεταφορά πακέτων

Η δομή των πακέτων GN6 όπως αυτή φαίνεται στο φυσικό επίπεδο φαίνεται στο σχήμα 2.13

MAC Header	LLC Header	GeoNetworking Header	GeoNetworking Security Header (optional)	IPv6 Header	IPv6 Payload (optional)	MAC Trailer (optional)
-------------------	-------------------	-----------------------------	---	--------------------	--------------------------------	-------------------------------

Σχήμα 2.15: Δομή GN6 πακέτου.

Η μορφή της επικεφαλίδας IPv6 είναι ίδια με αυτή ενός κανονικού πακέτου IPv6 όπως περιγράφεται στα [i.11], [i.12], [i.13] και [i.14] ενώ η επικεφαλίδα GeoNetworking ακολουθεί τις προδιαγραφές του Κεφ.3. Η ωφέλιμη πληροφορία του IPv6 αποτελείται από ενδεχόμενες επεκτάσεις τις επικεφαλίδας του IPv6, από την επικεφαλίδα του πρωτοκόλλου μεταφοράς (π.χ TCP, UDP) και από ωφέλιμη πληροφορία του πρωτοκόλλου μεταφοράς.

Η MTU_{GN6} των διακινούμενων πακέτων μέσω εικονικών διεπαφών εξαρτάται από δύο παράγοντες. Αφενός, από την MTU_{AL} που μπορεί να υποστηρίξει το στρώμα πρόσβασης. Συγκεκριμένα, η MTU_{GN6} πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση της MTU_{AL} μειωμένη κατά το μέγιστο μέγεθος GEO_{MAX} της επικεφαλίδας GeoNetworking και το μέγιστο μέγεθος $GEOSEC_{MAX}$ της επικεφαλίδας ασφαλείας. Ο δεύτερος περιοριστικός παράγοντας είναι η αντιπροσωπευτική τιμή της MTU_{VI} που μπορεί να υποστηρίξει η εικονική διεπαφή. Επομένως:

$$MTU_{GN6} = \min\{MTU_{VI}, MTU_{AL} - GEO_{MAX} - GEOSEC_{MAX}\} \quad (2.5)$$

Δεδομένου ότι η ελάχιστη απαιτούμενη MTU από το IPv6 είναι 1280 bytes , η χρήση του IPV6 πάνω από το GeoNetworking επιτρέπεται μόνο όταν :

$$MTU_{AL} \geq 1280 + GEO_{MAX} + GEOSEC_{MAX} \quad (2.6)$$

Από την πλευρά των πρωτοκόλλων IPv6 και GN6ASL, για τη μετάδοση των πακέτων ακολουθείται η ίδια διαδικασία ανεξαρτήτως από το αν ο σταθμός ο ίδιος δημιουργεί το πακέτο ή απλά το προωθεί. Αρχικά, το στρώμα IPv6 εκτελεί τις συνηθισμένες του λειτουργίες

όπως σύνθεση της IPv6 επικεφαλίδας, έλεγχο των βάσεων δεδομένων δρομολόγησης και προώθησης, επιλογή εξερχόμενης διεπαφής και καταχώρηση διεύθυνσης αποστολέα. Όσον αφορά τις διεπαφές, το IPv6 δεν είναι σε θέση να διακρίνει αν η διεπαφή που χρησιμοποιείται συσχετίζεται με κάποιον TVL/GVL ή αν είναι κάποια άλλη.

Στην περίπτωση όπου η επιλεγείσα διεπαφή συσχετίζεται με κάποιον από τους GVL/TVL που παρέχονται από το GN6ASL, το υποστρώμα πραγματοποιεί έλεγχο της IPv6 διεύθυνση αποστολέα. Αν η διεύθυνση είχε ρυθμιστεί αυτόματα μέσω του SLAAC[i.14] και το IID της διεύθυνσης δεν ταυτίζεται με την τρέχουσα GN_ADDR του GeoNetworking, τότε το πακέτο απορρίπτεται. Ο ανωτέρω έλεγχος γίνεται ώστε να διατηρηθεί η αποδοτικότητα των μηχανισμών αλλαγής ψευδωνύμων οι οποίοι αποσκοπούν στη διατήρηση του απορρήτου των χρηστών.

Αφού ολοκληρωθεί ο έλεγχος, εκτελείται ανάλυση της διεύθυνσης του στρώματος ζεύξης του παραλήπτη όπως αυτή ορίζεται στην παράγραφο 2.3.3. Στη συνέχεια το IPv6 καλεί μια αίτηση GN6-UNITDATA και, αφού την προωθήσει στο GN6ASL, το υποστρώμα καθορίζει το σύνολο των παραμέτρων που πρέπει να μεταβιβάσει στο GeoNetworking μέσω της αίτησης GN-Data.

Συγκεκριμένα, αν ο τύπος μεταφοράς πακέτου είναι απλής εκπομπής, τότε τίθεται ως GN_Addr η διεύθυνση MAC που υπάρχει στο πεδίο παραλήπτη του GN6-UNITDATA και τα υπόλοιπα πεδία της GN_Addr τίθενται μηδέν. Αν ο τύπος μεταφοράς πακέτου είναι πολυεκπομπής ή τυχαίας εκπομπής, το GN6ASL εκτελεί τις λειτουργίες που περιγράφηκαν στην παράγραφο 2.4.2 για πακέτα πολυεκπομπής που συσχετίζονται με GVLs. Οι παράμετροι των τιμών μέγιστου χρόνου ζωής και διαστήματος επανεκπομπής της αίτησης GN-Data τίθενται μηδέν, ενώ στο πεδίο data και length τοποθετούνται η GN6SDU που φέρει η GN6-UNITDATA και το μέγεθός της αντίστοιχα. Τέλος, μετά τον καθορισμό όλων των παραμέτρων το GN6ASL καλεί μια αίτηση GN-DATA και την προωθεί στο GeoNetworking, το οποίο με βάση το είδος του πακέτου GeoNetworking που παρουσιάζονται στην παράγραφο 3.1.1.2, θα πραγματοποιήσει τις αντίστοιχες διαδικασίες που περιγράφονται στην παράγραφο 3.1.3.2.

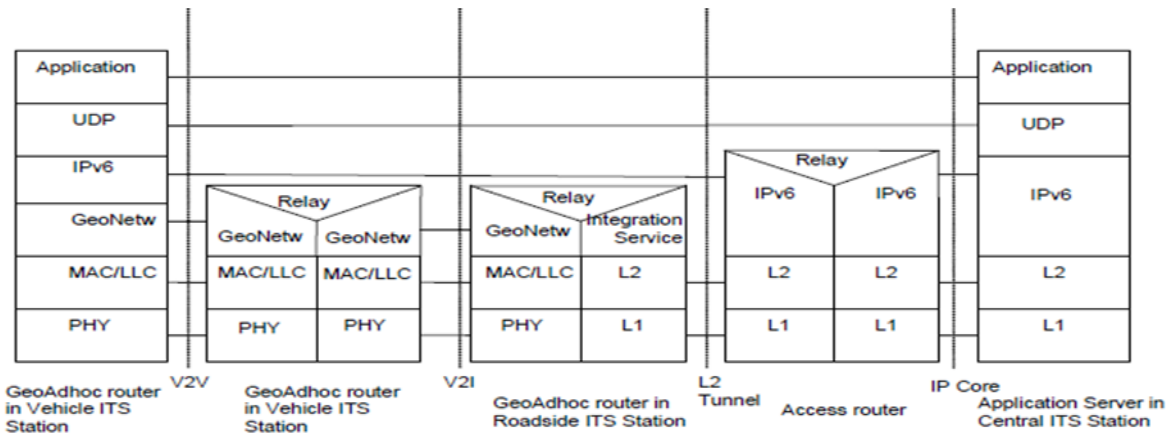
Από την πλευρά του παραλήπτη, όταν ένας δρομολογητής λάβει ένα πακέτο με επικεφαλίδα GeoNetworking που ενθυλακώνει IPv6 επικεφαλίδα, εφόσον πραγματοποιηθούν οι διαδικασίες της παραγράφου 3.1.3.2 από το GeoNetworking, ελέγχεται αν ο παραλήπτης ανήκει στους σταθμούς στους οποίους απευθύνεται το μήνυμα. Στην περίπτωση όπου η απάντηση είναι θετική, καλείται μια υπόδειξη GN-Data για να ενημερώσει το GN6ASL για τη λήψη πακέτου.

Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή του εικονικού συνδέσμου στον οποίο ανήκει το πακέτο. Αν ο τύπος της επικεφαλίδας GeoNetworking είναι GEOBROADCAST/GEOANYCAST, το GN6ASL θα ελέγξει πρώτα αν υπάρχει GVL που η GVL περιοχή του ταυτίζεται με τη διεύθυνση προορισμού

που υπάρχει στην επικεφαλίδα. Αν υπάρχει, τότε επιλέγεται αυτόματα ως εισερχόμενος εικονικός σύνδεσμος. Αν δεν υπάρχει και η επικεφαλίδα φέρει IPv6 RA, τότε θα δημιουργηθεί ένας νέος σύνδεσμος και θα επιλεγεί ως εισερχόμενος εικονικός σύνδεσμος. Στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει GVL που καλύπτει τη συγκεκριμένη περιοχή και δεν εμπεριέχεται RA, το πακέτο απορρίπτεται.

Αν ο τύπος της επικεφαλίδας είναι GEOUNICAST, τότε το GN6ASL θα ελέγξει την εμβέλεια της διεύθυνσης προορισμού. Αν η IPv6 διεύθυνση προορισμού αντιστοιχεί στην τοπική διεύθυνση απλής εκπομπής FE80::<IID>/10 , το GN6ASL θα επιλέξει ως εισερχόμενο εικονικό σύνδεσμο τον TVL του σταθμού . Αν η διεύθυνση προορισμού έχει μεγαλύτερη εμβέλεια από την τοπική διεύθυνση και δεν υπάρχει κανένας GVL του οποίου η GVL περιοχή καλύπτει την διεύθυνση , τότε το πακέτο απορρίπτεται. Αν υπάρχουν GVL των οποίων η GVL περιοχή καλύπτει τη διεύθυνση προορισμού, μεταξύ αυτών επιλέγεται ο GVL ο οποίος συσχετίζεται με εικονικό σύνδεσμο για τον οποίον το IPv6 πρόθεμα της διεύθυνσης προορισμού θεωρείται on-link. Αν υπάρχουν περισσότεροι του ενός GVL για τους οποίους το IPv6 πρόθεμα της διεύθυνσης προορισμού θεωρείται on-link, τότε επιλέγεται ο GVL του οποίου το πρόθεμα έχει το μεγαλύτερο χρονοδιακόπτη ακύρωσης στη λίστα προθεμάτων [i.13], [i.15]. Αφού προσδιορισθεί ο κατάλληλος εικονικός σύνδεσμος το GN6ASL καλεί ένα στοιχείο υπόδειξης GN6-UNIDATA το οποίο θα προωθήσει στο IPv6 .

Τέλος, για τη μεταφορά των πακέτων IPv6 πρέπει να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με το Κεφ.1, ο δρομολογητής πρόσβασης μέσω του οποίου ένα ad hoc δίκτυο έχει πρόσβαση στο Internet και ο GeoAdhoc δρομολογητής που υλοποιεί τις λειτουργίες των πρωτοκόλλων GeoNetworking και GN6ASL, είναι δύο ξεχωριστές λογικές οντότητες του δικτύου που προαιρετικά συμπύσσονται στην ίδια φυσική οντότητα ενός σταθμού. Αν οι δύο οντότητες είναι συμπτυγμένες, ο δρομολογητής πρόσβασης τερματίζει απευθείας τη μεταφορά πακέτων IPv6 και δεν χρειάζονται περαιτέρω λειτουργίες. Αν οι δύο οντότητες υλοποιούνται σε ξεχωριστές φυσικές οντότητες είναι απαραίτητο να επεκταθεί η μεταφορά από το GeoAdhoc δρομολογητή στο δρομολογητή πρόσβασης. Δεδομένου ότι η μεταφορά των πακέτων IPv6 πρέπει να επεκταθεί χωρίς να τροποποιηθεί η μορφή των πακέτων IPv6, είναι αναγκαία η υιοθέτηση μηχανισμών σήραγγας ή κατάλληλων μηχανισμών στο στρώμα δεδομένων. Μια λύση περιγράφεται στο [i.16], ενώ για τη σύνδεση του GeoAdhoc δρομολογητή με το δρομολογητή πρόσβασης, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί μηχανισμός σήραγγας του στρώματος 2, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.15.



Σχήμα 2.12: Μηχανισμός σύραγγας στο στρώμα 2 για σταθμό στον οποίο ο GeoAdhoc δρομολογητής και ο δρομολογητής πρόσβασης βρίσκονται σε ξεχωριστή φυσική οντότητα

2.6 Σύνοψη Κεφαλαίου

- Για την αποστολή μηνυμάτων σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές χρησιμοποιείται στο στρώμα δικτύου το πρωτόκολλο GeoNetworking, το οποίο επιτρέπει τη γεωγραφική διευθυνσιοδότηση και την προώθηση πακέτων με βάση τη γεωγραφική θέση του παραλήπτη.
Τα σχήματα δρομολόγησης που υποστηρίζει είναι: (i) GeoUnicast, (ii) GeoBroadcast, (iii) TSB και οι γεωγραφικές περιοχές που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι (i) κυκλικές, (ii) τετραγωνικές ή (iii) ελλειψοειδείς.
- Για να έχουν τα πρωτόκολλα του στρώματος λειτουργιών πρόσβαση στο GeoNetworking χρησιμοποιείται στο στρώμα μεταφοράς το BTP το οποίο εκτελεί την πολύπλεξη και την αποπολύπλεξη για τις διάφορες διαδικασίες του στρώματος λειτουργιών.
Υποστηρίζει δύο είδη επικεφαλίδας, τύπου A και τύπου B, για διαδραστικά και μη διαδραστικά πακέτα αντίστοιχα.
- Για εφαρμογές που βασίζονται στο Internet χρησιμοποιείται το υποστρώμα προσαρμογής GN6ASL, το οποίο επιτρέπει στο IPv6 να εκμεταλλεύεται τις ιδιότητες του GeoNetworking.
Για την εγκαθίδρυση IPv6 συνδέσεων χρησιμοποιούνται GVLs και TVLs. Σε κάθε δρομολογητή υπάρχει τουλάχιστον ένας GVL που εξυπηρετεί συνδέσεις πολυεκπομπής εντός ή εκτός ενός γεωγραφικά οριοθετημένου χώρου και ακριβώς ένας TVL που εξυπηρετεί NBMA εικονικές συνδέσεις εντός μια γεωγραφικά καθορισμένης περιοχής. Ο GVL σχετίζεται με μια GeoBroadcast/GeoAnycast περιοχή ενώ ο TVL μπορεί να διασύνδεει διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές.

Κάθε εικονική σύνδεση αντιστοιχίζεται σε μια εικονική διεπαφή. Οι GVLS αντιστοιχίζονται σε διεπαφές τύπου Ethernet V2.0/IEEE 802.3 ενώ οι TVLS σε διεπαφές τύπου NBMA ή P2P ανάλογα με την εφαρμογή που εκτελείται.

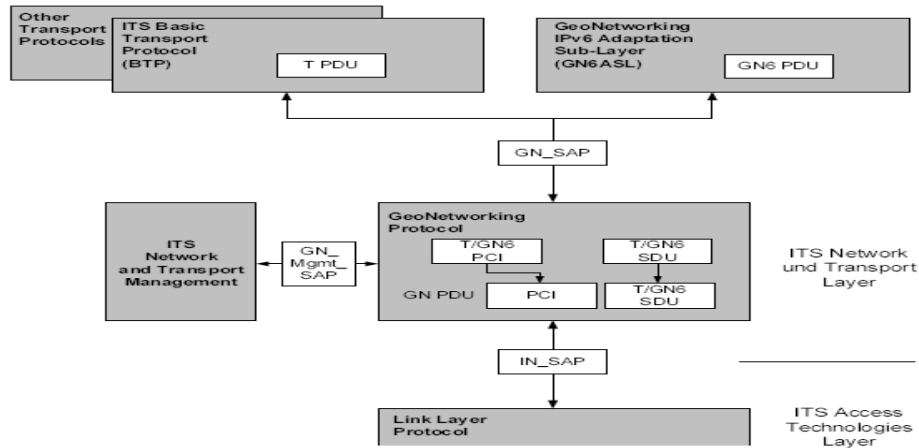
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ GEONETWORKING ΚΑΙ AD HOC ΔΙΚΤΥΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής παρουσίαση του πρωτοκόλλου GeoNetworking του οποίου οι προδιαγραφές διαχωρίζονται με βάση το αν εξαρτώνται ή όχι από το μέσο μετάδοσης και παρουσιάζονται ξεχωριστά στη παράγραφο 3.1 και 3.2. Οι παράγραφος 3.1 περιλαμβάνει τις γενικές προδιαγραφές που είναι ανεξάρτητες από το μέσο μετάδοσης και αφορούν (i) τη δομή της διεύθυνσης GeoNetworking, (ii) τις βασικές δομές δεδομένων, δηλαδή των πίνακα τοποθεσίας και τον τοπικό πίνακα τοποθεσίας, (iii) τη δομή των πακέτων GeoNetworking και τη δομή της κοινής και της εκτεταμένης επικεφαλίδας και (iv) τις λειτουργίες του GeoNetworking που διαχωρίζονται σε λειτουργίες δικτύου και λειτουργίες διαχείρισης πακέτου. Στην παράγραφο 3.2, παρουσιάζονται οι εξαρτώμενες από το μέσο προδιαγραφές για την τεχνολογία G5 και γίνεται μια σύντομη ανάλυση για το πρότυπο στο 802.11p στο οποίο βασίζεται η προαναφερθείσα τεχνολογία.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το GeoNetworking μπορεί να λειτουργήσει πάνω από διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης για ασύρματες επικοινωνίες μικρής εμβέλειας, όπως είναι το ITS-G5 και οι υπέρυθρες. Οι διάφορες τεχνολογίες πρόσβασης για ασύρματες επικοινωνίες μικρής εμβέλειας εμφανίζουν αρκετές ομοιότητες αλλά και διαφορές. Με στόχο την επαναχρησιμοποίηση των προδιαγραφών του GeoNetworking για πολλαπλές τεχνολογίες πρόσβασης, έγινε ο διαχωρισμός των προδιαγραφών σε εκείνες που προσδιορίζουν λειτουργίες που είναι ανεξάρτητες του μέσου μετάδοσης και σε εκείνες που προσδιορίζουν λειτουργίες που εξαρτώνται από το μέσο μετάδοσης. Οι ανεξάρτητες λειτουργίες είναι αυτές που είναι κοινές για όλες τις τεχνολογίες πρόσβασης στις ασύρματες επικοινωνίες μικρής εμβέλειας που χρησιμοποιείται το GeoNetworking. Οι εξαρτώμενες λειτουργίες δρουν ως επέκταση των προηγούμενων για τη διασφάλιση της λειτουργικότητας σε συγκεκριμένες ITS τεχνολογίες πρόσβασης. Ωστόσο, πρέπει να διευκρινιστεί ότι λειτουργίες που εξαρτώνται από το μέσο μετάδοσης και η εκάστοτε επέκταση πάνω σε αυτές αποτελούν την ίδια οντότητα πρωτοκόλλου.

Όπως παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2, το GeoNetworking παρέχει υπηρεσίες σε ανώτερες οντότητες πρωτοκόλλων όπως το BTP και το GN6ASL. Οι υπηρεσίες αυτές παρέχονται μέσω του GN_SAP το οποίο χρησιμοποιεί στοιχεία αίτησης και υπόδειξης GN-DATA για τη μεταφορά της PDU του ανώτερου πρωτοκόλλου και για τη μεταφορά άλλων σημαντικών παραμέτρων. Η PDU του πρωτοκόλλου μεταφοράς θεωρείται ως η SDU του GeoNetworking, όπως δηλαδή γίνεται και στο OSI. Η SDU συμπληρώνεται με την PCI που προκύπτει ανάλογα με τον τύπο του ανώτερου πρωτοκόλλου, για να δημιουργηθεί η GN PDU που θα μεταδοθεί στην ομότιμη οντότητα του παραλήπτη



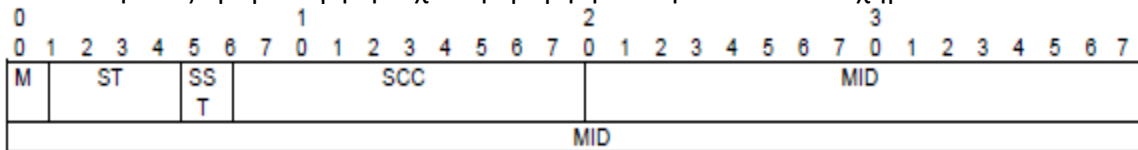
Σχήμα 3.1: SAPs, SDUs, PDUs σχετικά με το GeoNetworking.

3.1 Προδιαγραφές για μεταδόσεις που εξαρτώνται από το μέσο μετάδοσης

Για την απεικόνιση των πακέτων, τα bits ομαδοποιούνται σε bytes και τα bits κάθε οκτάδας παρουσιάζονται πάντα οριζόντια αριθμημένα από το 0 έως το 7. Μέχρι τέσσερις οκτάδες μπορούν να τοποθετηθούν οριζόντια ενώ πολλαπλές ομάδες τετράδων ομαδοποιούνται κατακόρυφα. Η αρίθμηση των οκτάδων εκκινεί από το 0 και καταλήγει στο N.

Η μετάδοση των οκτάδων γίνεται με αύξουσα σειρά και εντός κάθε οκτάδας μεταφέρεται πρώτα το bit με αριθμό μηδέν. Αν ένα πεδίο εμπεριέχεται μέσα σε μια μόνο οκτάδα τότε, το υψηλότερο bit του πεδίου αντιπροσωπεύει ψηφίο χαμηλότερης τάξης αξίας (Least Significant Bit, LSB). Αν ένα πεδίο καλύπτει περισσότερες από μια οκτάδες, τότε η τάξη της αξίας του bit αυξάνεται κατά ένα όταν τελειώνει μια οκτάδα και το LSB είναι το τελευταίο bit της τελευταίας οκτάδας.

Σε ένα δίκτυο που χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο GeoNetworking κάθε GeoAdhoc δρομολογητής έχει μια μοναδική GeoNetworking διεύθυνση GN_Addr. Η διεύθυνση αυτή χρησιμοποιείται στην επικεφαλίδα των πακέτων και προσδιορίζει τις οντότητες που επικοινωνούν. Λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο απεικόνισης που περιγράφηκε προηγουμένως η διεύθυνση ενός δρομολογητή έχει την μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2: Μορφή διεύθυνσης δρομολογητή.

Η ανάλυση κάθε πεδίου φαίνεται στον πίνακα 3.1. Το πρώτο bit δεσμεύεται για να δείχνει αν η διεύθυνση του δικτύου είναι προκαθορισμένη ή ρυθμίζεται χειροκίνητα. Το δεύτερο πεδίο δηλώνει το είδος του σταθμού, το τρίτο αν πρόκειται για ιδιωτικό ή δημόσιο, το τέταρτο έχει τον κωδικό χώρας του σταθμού που αποδίδεται από την ITU-T και το τέταρτο περιέχει τη διεύθυνση του σταθμού που αντιστοιχεί στη διεύθυνση του στρώματος πρόσβασης.

Πίνακας 3.1: Πεδία της διεύθυνσης δρομολογητή

Πεδίο#	Όνομα Πεδίου	Τύπος	Περιγραφή
1	M	1 bit μη προσημασμένου ακεραίου	Αυτό το bit επιτρέπει τη διάκριση μεταξύ των διευθύνσεων του δικτύου που ρυθμίζονται χειροκίνητα και εκείνων που είναι προκαθορισμένες . Λαμβάνει την τιμή ένα ένα όταν ρυθμίζεται χειροκίνητα και μηδέν σε άλλη περίπτωση
2	ST	4 bit μη προσημασμένου ακεραίου	Τύπος του σταθμού ITS Προσδιορισμός τύπου από: Bit 1 : 0 – Σταθμός οχήματος 1-Σταθμός παραπλεύρωσ του δρόμου Bit 2 εως Bit 4 Για σταθμούς παραπλεύρωσ του δρόμου 0-Φανάρι 1- Κανονικός παράπλευρος σταθμός Για σταθμούς οχημάτων 0-ποδήλατο 1-μηχανή 2-αυτοκίνητο 3-φορτηγό 4-λεωφορείο
3	SST	1 bit μη προσημασμένου ακεραίου	Υπο-τύπος σταθμού ITS Για τη διάκριση μεταξύ δημόσιων και ιδιωτικών σταθμών οχημάτων 0-Δημόσιος 1-Ιδιωτικός
4	SSC	10 bit μη προσημασμένου ακεραίου	Αριθμός Χώρας του σταθμού
5	MID	48 bit μη προσημασμένου ακεραίου	Αντιπροσωπεύει το LL_ADDR

3.1.1 Δομές δεδομένων

Ένας δρομολογητής GeoAdhoc διατηρεί δύο τοπικές δομές δεδομένων . Η πρώτη είναι γνωστή ως πίνακας τοποθεσίας (Location Table, LocT). Στη δομή αυτή, αποθηκεύονται πληροφορίες για άλλους σταθμούς που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο GeoNetworking. Η είσοδος που δίνεται στον πίνακα πρέπει να περιέχει τουλάχιστον τα ακόλουθα στοιχεία :

- Τη GeoNetworking διεύθυνση του σταθμού GN_ADDR
- Τη διεύθυνση του στρώματος ζεύξης LL_ADDR
- Τον τύπο του σταθμού
- Ένα πίνακα θέσης (Position Vector, PV) που περιέχει
 1. Γεωγραφική θέση POS(GN_ADDR)
 2. Ταχύτητα S(GN_ADDR)
 3. Κατεύθυνση H(GN_ADDR)
 4. Χρονοσφραγίδα για τη γεωγραφική θέση TST(POS, GN_ADDR)
 5. Ακρίβεια της γεωγραφικής θέσης Acc(POS, GN_ADDR)
 6. Ακρίβεια της ταχύτητας Acc(S, GN_ADDR)
 7. Ακρίβεια του προσανατολισμού –κατεύθυνσης Acc(H, GN_ADDR)
- Τη σημαία LS_PENDING(GN_ADDR) που υποδεικνύει ότι μια υπηρεσία εντοπισμού είναι σε εξέλιξη
- Τη σημαία IS_NEIGHBOUR(GN_ADDR) που υποδεικνύει ότι ένας δρομολογητής GeoAdhoc είναι σε εμβέλεια απευθείας επικοινωνίας
- Τον αριθμό ακολουθίας SN(GN_ADDR) που είναι ο αριθμός ακολουθίας του τελευταίου πακέτου από την πηγή (GN_ADDR) που αναγνωρίστηκε ως “μη αντίγραφο”

Η δεύτερη δομή δεδομένων ονομάζεται τοπικός πίνακας τοποθεσίας (Local Position Vector, LPV) και περιέχει πληροφορίες που σχετίζονται με την τοποθεσία του σταθμού. Ένας τοπικός πίνακας τοποθεσίας περιέχει τουλάχιστον τα κατωτέρω στοιχεία δεδομένων:

- Γεωγραφική θέση POS_LPV
- Ταχύτητα S_LPV
- Κατεύθυνση H_LPV
- Χρονοσφραγίδα για τη γεωγραφική θέση TST_LPV
- Ακρίβεια της γεωγραφικής θέσης Acc_LPV
- Ακρίβεια της ταχύτητας Acc_LPV
- Ακρίβεια του προσανατολισμού –κατεύθυνσης Acc_LPV

Στην αρχή, όλα τα στοιχεία δεδομένων του πίνακα αρχικοποιούνται στην τιμή 0 και ανανεώνονται διαρκώς με συχνότητα που προσδιορίζεται από το πεδίο

itsGnMinimumUpdateFrequency του MIB. Αν η συχνότητα ανανέωσης είναι μικρότερη της συχνότητας MIB, τότε ο δρομολογητής δεν θα μπορεί να διαχειρίζεται πακέτα GeoNetworking.

Εκτός από τον PV και τον LPV, σε κάθε GeoAdhoc δρομολογητή υπάρχουν και τρεις απομονωτές . Στον πρώτο αποθηκεύονται όλα τα πακέτα GeoNetworking κατά τη διεξαγωγή μιας υπηρεσίας εντοπισμού (Location Service, LS) και επί όσο αυτή διαρκεί. Η ελάχιστη τιμή του μεγέθους του απομονωτή προκύπτει από το πεδίο itsGnLocationServicePacketBufferSize του MIB.

Τα πακέτα που φθάνουν στον LS απομονωτή τοποθετούνται στο τέλος της ουράς. Αν όταν το πακέτο φθάσει στον απομονωτή η ουρά είναι γεμάτη, τότε το πρώτο πακέτο της ουράς θα αφαιρεθεί (head drop) και το νέο εισερχόμενο πακέτο θα τοποθετηθεί στο τέλος της. Όταν η διαδικασία εντοπισμού ολοκληρωθεί ο απομονωτής αδειάζει εκκινώντας από το πρώτο στοιχείο που εισήλθε στη ουρά και συνεχίζοντας από το επόμενο (First In First Out, FIFO).

Στην περίπτωση όπου ένα πακέτο παραμένει στην ουρά για περισσότερο χρόνο από το χρόνο ζωής του πακέτου, τότε το πακέτο απορρίπτεται. Αν το πακέτο αποσταλεί πριν λήξει ο χρόνος ζωής του, τότε ο χρόνος ζωής του πακέτου θα μειωθεί κατά το χρόνο που αυτό παρέμεινε στην ουρά. Τέλος, αν η διαδικασία εντοπισμού δεν ολοκληρωθεί όλα τα πακέτα θα απορριφθούν.

Οι άλλοι δύο απομονωτές χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία προώθησης πακέτου. Ο πρώτος (UC) χρησιμοποιείται για την αποθήκευση GeoUnicast πακέτων και ο δεύτερος(BC) για την αποθήκευση GeoBroadcast και GeoAnycast πακέτων. Στην περίπτωση όπου επιτρέπεται και προώθηση με διαχείριση συγκρούσεων (Contention Based Forwarding, CBF), το οποίο συμβαίνει όταν το πεδίο ItsGnGeoUnicastForwardingAlgorithm είναι ρυθμισμένο στο 2, υπάρχει και τέταρτο είδος απομονωτή (CBF) για την αποθήκευση των αντίστοιχων πακέτων. Το ελάχιστο μέγεθος των απομονωτών, UC, BC και CBF καθορίζεται από τα πεδία itsGnUcForwardingPacketBufferSize, itsGnBcForwardingPacketBufferSize και itsGnCbfPacketBufferSize αντίστοιχα.

Η λειτουργία των UC και BC είναι παρόμοια με αυτή του LS απομονωτή. Ο CBF απομονωτής λειτουργεί παρόμοια με τους υπόλοιπους, με την διαφορά ότι για την απόρριψη των πακέτων υπάρχει χρονοδιακόπτης. Η τιμή του χρονοδιακόπτη προκύπτει από τον CBF αλγόριθμο προώθησης και όταν ο χρονοδιακόπτης λήξει το πακέτο απορρίπτεται, χωρίς να επηρεάζεται ο χρόνος ζωής που έχει.

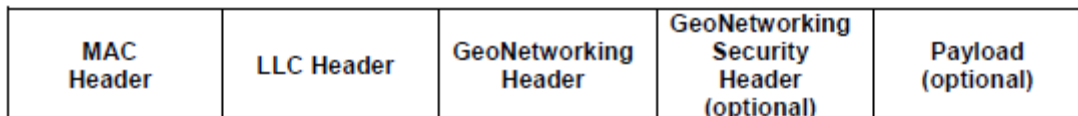
Τέλος, σε όλους του δρομολογητές διατηρείται ένα αριθμός ακολουθίας (Sequence Number SN), ο οποίος καθορίζει την τιμή του πεδίου SN του επόμενου προς μετάδοση πακέτου. Αρχικά η τιμή αυτή τίθεται ίση με το μηδέν και αυξάνεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$SN(P) = (SN(P) + 1) \text{mod} SN_MAX \quad (3.1)$$

όπου SN(P) ο αριθμός ακολουθίας του πακέτου και SN_MAX ο μέγιστος δυνατός αριθμός ακολουθίας. Το SN αυξάνεται μόνο για πακέτα πολλαπλών βημάτων . Τα πακέτα ενός βήματος δεν φέρουν πεδίο SN

3.1.2 Δομή πακέτων

Ένα GeoNetworking πακέτο είναι τμήμα ενός γενικού πλαισίου του οποίου η δομή φαίνεται παρακάτω



Σχήμα 3.3: Δομή γενικού πλαισίου.

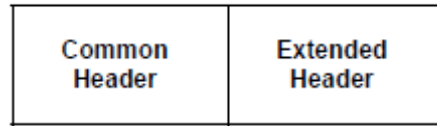
Η επικεφαλίδα MAC προστίθεται από το πρωτόκολλο διαχείρισης πρόσβασης στο μέσο ανάλογα με την ITS τεχνολογία πρόσβασης που χρησιμοποιείται και ενδεχομένως να προσθέτει και άλλες στοιχεία πρωτοκόλλου στο πακέτο. Η επικεφαλίδα LLC, ενημερώνει το στρώμα ζεύξης δεδομένων ποιες ενέργειες πρέπει να πραγματοποιήσει όταν λαμβάνεται ένα πλαίσιο. Η επικεφαλίδα GeoNetworking που θα παρουσιαστεί παρακάτω. Επίσης υπάρχει προαιρετική πρόσθετη επικεφαλίδα για την ασφαλή μετάδοση και τέλος το περιεχόμενο του πλαισίου που δημιουργείται από τα ανώτερα στρώματα και ενδεχομένως να παραλείπεται αν το πλαίσιο είναι πλαίσιο σηματοδοσίας. Στην παρούσα εργασία δεν γίνεται ανάλυση των δυο πρώτων πεδίων, σημειώνεται όμως πως πολλές φορές αυτά συμπληρώνονται από το GeoNetworking ώστε να προσδιορισθεί ο επόμενος παραλήπτης/βήμα του πακέτου.

Η μέγιστη προς μετάδοση πληροφορία (Maximum Transmit Unit, MTU) ενός GeoNetworking πακέτου εξαρτάται από την μέγιστη προς μετάδοση πληροφορία που μπορούν να υποστηρίξουν οι τεχνολογίες του στρώματος πρόσβασης, από το μέγιστο μέγεθος της GeoNetworking επικεφαλίδας και από το μέγιστο μέγεθος της GeoNetworking επικεφαλίδας ασφαλείας.

$$MTU_{GN} \leq MTU_{AL} - GEO_MAX - GEOSEC_MA \quad (3.2)$$

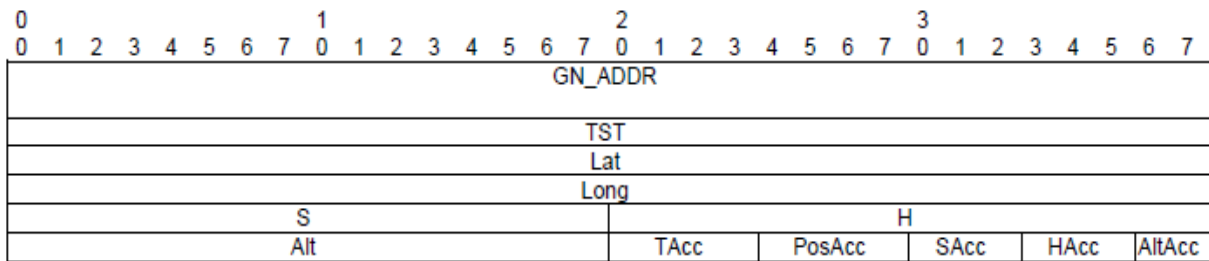
Ανάλογα με την περίπτωση υλοποίησης του GeoNetworking, δηλαδή ή στοίβα πρωτοκόλλου GeoNetworking ή στοίβα πρωτοκόλλου που συνδυάζει το GeoNetworking και το IPv6 που παρουσιάστηκαν στη παράγραφο 1.2.2, επεκτείνεται και η μορφή του πακέτου όπως παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2. Ανεξάρτητα, όμως, της υλοποίησης, η μορφή της επικεφαλίδας GeoNetworking παραμένει ίδια. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.4 αποτελείται

από δυο πεδία, από τα την κοινή επικεφαλίδα και από την εκτεταμένη επικεφαλίδα που εξαρτάται από το σχήμα δρομολόγησης.



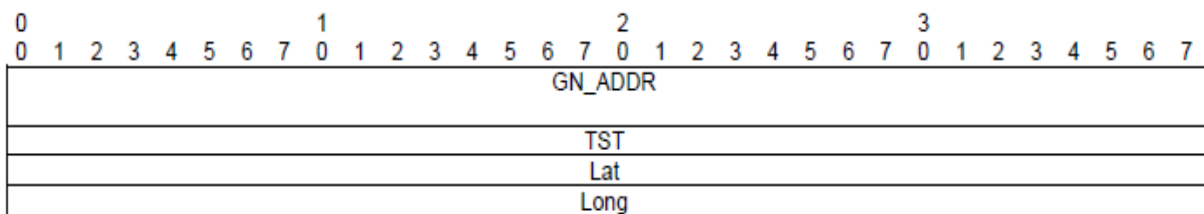
επικεφαλίδα GeoNetworking.

Προς διευκόλυνση της λειτουργικότητας της επικεφαλίδας, χρησιμοποιείται ένα πίνακας θέσης, ο οποίος εμπεριέχει πληροφορίες που σχετίζονται με την τοποθεσία του σταθμού και είναι χρήσιμες για την επικεφαλίδα. Ο πίνακας αυτός μπορεί να είναι είτε μεγάλου είτε μικρού μήκους. Ο πίνακας μεγάλου μήκους έχει την δομή που φαίνεται στον Σχήμα 3.5



Σχήμα 3.5: Δομή πίνακα μεγάλου μήκους.

Ο πίνακας μικρού μήκους, όπως άλλωστε δηλώνει και το όνομα του, εμπεριέχει λιγότερες πληροφορίες για το σταθμό όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.6.

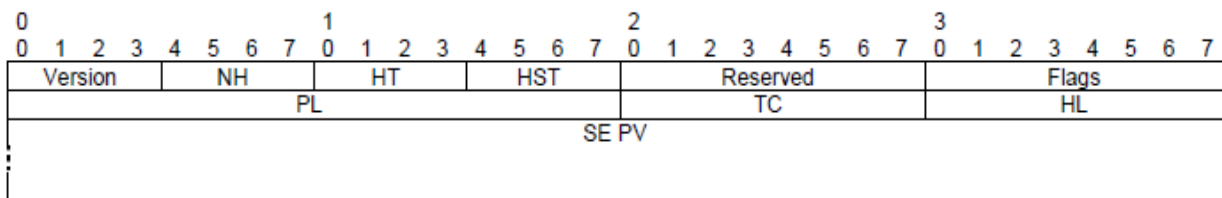


Σχήμα 3.6: Δομή πίνακα μικρού μήκους.

Η οργάνωση και η λειτουργία κάθε πεδίου και για τα δύο είδη πινάκων παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α

3.1.2.1 Κοινή Επικεφαλίδα

Η κοινή επικεφαλίδα που υπάρχει σε κάθε πακέτο, ανεξάρτητα από το σχήμα δρομολόγησης και τη λειτουργία που υλοποιείται, έχει την δομή που φαίνεται στο Σχήμα 3.7



Σχήμα 3.7: Δομή κοινής επικεφαλίδας.

Η οργάνωση και η λειτουργία κάθε πεδίου της κοινής επικεφαλίδας παρατίθενται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2: Πεδία κοινής επικεφαλίδας.

Πεδίο#	Όνομα Πεδίου	Τύπος	Μονάδα Μέτρησης	Περιγραφή
1	Version	4 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Αναγνωρίζει την έκδοση του GeoNetworking
2	NH	4 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Αναγνωρίζει τον τύπο της επικεφαλίδας που ακολουθεί αμέσως μετά από την επικεφαλίδα GeoNetworking, σύμφωνα με τον πίνακα αναφοράς 1
3	HT	4 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Αναγνωρίζει τον τύπο της GeoAdhoc επικεφαλίδας, σύμφωνα με τον πίνακα αναφοράς 2
4	HST	4 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Αναγνωρίζει το υπό-τύπο της GeoAdhoc επικεφαλίδας, σύμφωνα με τον πίνακα αναφοράς 2
5	Reserved		-	Κρατημένο για λειτουργίες που εξαρτώνται από το μέσο μετάδοσης
6	Flags	Πεδίο Bit	-	Bit 0 έως 5 , κρατημένα και ίσα με 0 Bit 6 τύπος σταθμού Bit 7 κρατημένο και ίσο με 0
7	PL	16 bit μη προσημασμένου ακεραίου	bytes	Μήκος της πληροφορίας που ακολουθεί

8	TC	4 υπό - πεδία a) 1 bit μη προσημασμένου ακεραίου b) 3 bit μη προσημασμένου ακεραίου c) 2 bit επιλογής d) 2 bit επιλογής	-	Κατηγορία κίνησης που αντιπροσωπεύει τις απαιτήσεις στο στρώμα λειτουργιών για τη μεταφορά του πακέτου Αποτελείται από τέσσερα υπό-πεδία : Bit 0 : κρατημένο και ίσο με μηδέν Bit 1 έως 3 : Σχετικότητα Εκφράζει τη σχετικότητα ή τη σημασία ενός μηνύματος που έχει δοθεί από την ανώτερη οντότητα πρωτοκόλλου Bit 4 έως 5 : Αξιοπιστία Εκφράζει την πιθανότητα να ληφθεί επιτυχώς ένα πακέτο σε μια γεωγραφική περιοχή Bit 6 έως 7 : Περίοδος Αδράνειας Εκφράζει την περίοδο αδράνειας στην παράδοση του μηνύματος σε μια γεωγραφική περιοχή
9	HL	8 bit μη προσημασμένου ακεραίου	βήματα	Κάθε φορά που ένα δρομολογητής προωθεί το πακέτο το πεδίο HL μειώνεται κατά 1 .Αν η τιμή του γίνει μηδέν, τότε το πακέτο δεν προωθείται περαιτέρω .
10	SE PV	Πίνακας τοποθεσίας μεγάλου μήκους	-	Πίνακας τοποθεσίας μεγάλου μήκους προερχόμενος από τον αποστολέα

Οι πιθανές επιλογές για τον πεδίο Next Header(NH), το οποίο προσδιορίζει το πρωτόκολλο του στρώματος μεταφοράς, φαίνονται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3:Πιθανές τιμές του πεδίου Next Header.

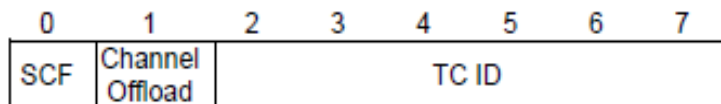
Next Header(NH)	Κωδικοποίηση	Περιγραφή
ANY	0	Μη προσδιορισμένη /άγνωστη
BTP-A	2	Πρωτόκολλο μεταφοράς BTP-A για διαδραστικά πακέτα
BTP-B	2	Πρωτόκολλο μεταφοράς BTP-A για μη διαδραστικά πακέτα
IPv6	3	Επικεφαλίδα Ipv6

Αντίστοιχα στον Πίνακα 3.4, παρουσιάζονται οι πιθανές επιλογές για το πεδίο Header Type (HT) και για το πεδίο Header Sub-Type (HST).

Πίνακας 3.4: Πιθανές του πεδίου Header Type.

Header Type (HT)	Header Sub-Type	Κωδικοποίηση	Περιγραφή
ANY		0	Μη προσδιορισμένη/άγνωστη
	Μη προσδιορισμένη	0	Μη προσδιορισμένη/άγνωστη
BEACON		1	Σηματοδοσία
	Μη προσδιορισμένη	0	Μη προσδιορισμένη/άγνωστη
GEOUNICAST		2	Geounicast
	Μη προσδιορισμένη	0	Μη προσδιορισμένη/άγνωστη
GEOANYCAST		3	Geographically-Scoped Anycast(GAC)
	GEOANYCAST_CIRC	0	Κυκλική περιοχή
	GEOANYCAST_RECT	1	Ορθογώνια περιοχή
	GEOANYCAST_ELIP	2	Ελειψοειδής περιοχή
GEOBROADCAST		4	Geographically-Scoped Broadcast(GBC)
	GEOBROADCAST_CIRC	0	Κυκλική περιοχή
	GEOBROADCAST_RECT	1	Ορθογώνια περιοχή
	GEOBROADCAST_ELIP	2	Ελειψοειδής περιοχή
TSB		5	Topologically-scoped Broadcast(TSB)
	SINGLE_HOP	0	Ευρυεκπομπή ενός βήματος(SHB)
	MULTI_HOP	1	TSB πολλαπλών βημάτων
LS		6	Location Service (LS)
	LS_REQUEST	0	Αίτηση διαδικασίας εντοπισμού
	LS_REPLY	1	Απάντηση διαδικασίας εντοπισμού

Το πεδίο TC έχει την ακόλουθη μορφή:



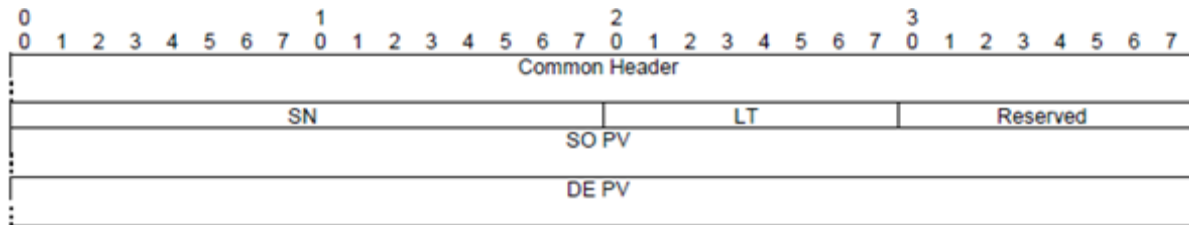
Σχήμα 3.8: Δομή πεδίου TC.

Το πρώτο bit αντιστοιχεί στο υπο-πεδίο SCF (Store-Carry –Forward) το οποίο καταδεικνύει εάν το πακέτο μπορεί να αποθηκευτεί σε κάποιο καταχωρητή όταν δεν υπάρχουν γείτονες για να μεταδοθεί ως προς αυτούς. Το δεύτερο bit λειτουργεί ως bit σημαίας για τον αν το πακέτο μπορεί να μεταδοθεί σε άλλο κανάλι, το οποίο και ορίζεται από το TC ID. Τέλος η μορφή του TC ID προκύπτει από λειτουργίες εξαρτώμενες από το μέσο, όπως π.χ. στην παράγραφο 3.2.2.2 παρουσιάζεται η δομή του TC ID για την τεχνολογία ITS-G5.

3.1.2.2 Εκτεταμένη επικεφαλίδα

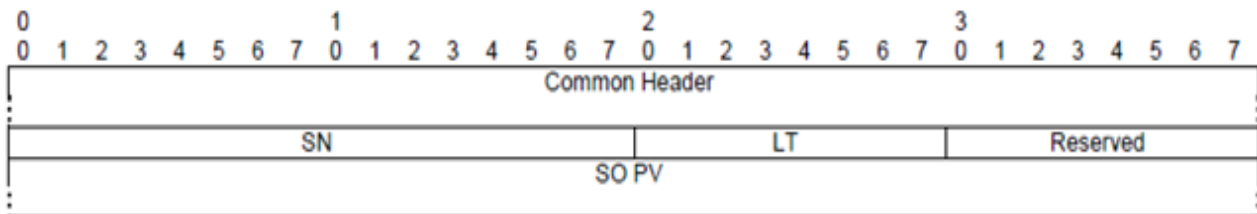
Η εκτεταμένη επικεφαλίδα περιλαμβάνει όσα πεδία έπονται της κοινής επικεφαλίδας και, όπως έχει ήδη αναφερθεί, εξαρτάται από το είδος της εκπομπής και τη λειτουργία που υλοποιείται. Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις, για κάθε μια από τις οποίες δίνονται το σχήμα που απεικονίζει τη δομή της εκτεταμένης επικεφαλίδας και ο πίνακας στον οποίο εξηγούνται τα επιμέρους πεδία της. Οι πίνακες βρίσκονται στο Παράρτημα Β.

a) GeoUnicast



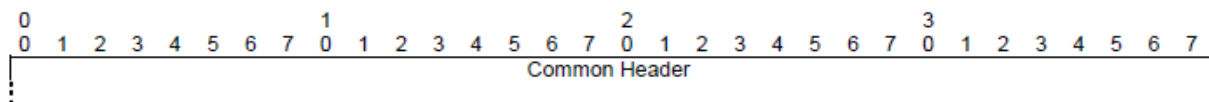
Σχήμα 3.9: Δομή εκτεταμένης επικεφαλίδας σε GeoUnicast πακέτα.

b) TSB



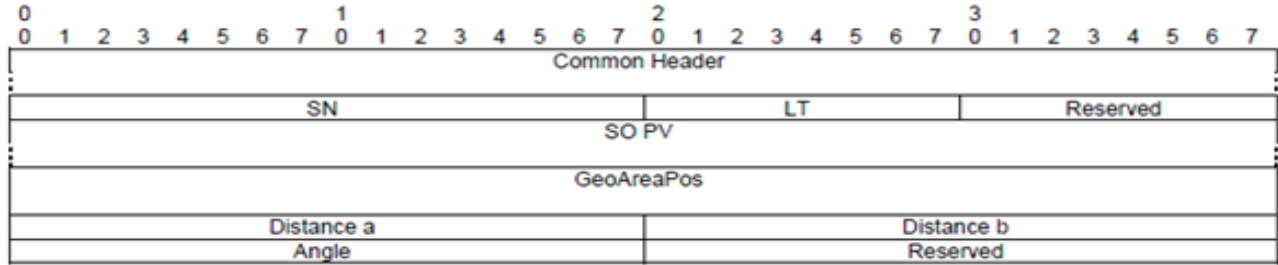
Σχήμα 3.10: Δομή εκτεταμένης επικεφαλίδας σε TSB πακέτα.

c) SHB



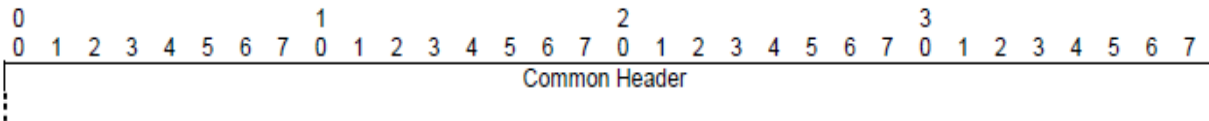
Σχήμα 3.11: Δομή εκτεταμένης επικεφαλίδας σε SHB πακέτα.

d) GeoBroadcast/GeoAnycast



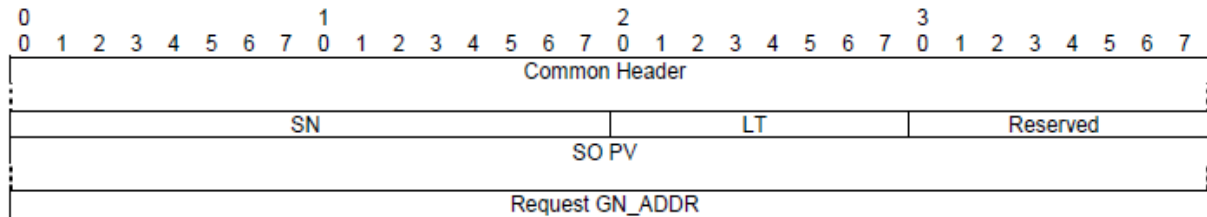
Σχήμα 3.12: Δομή εκτεταμένης επικεφαλίδας σε GeoBroadcast/GeoAnycast πακέτα.

e) BEACON



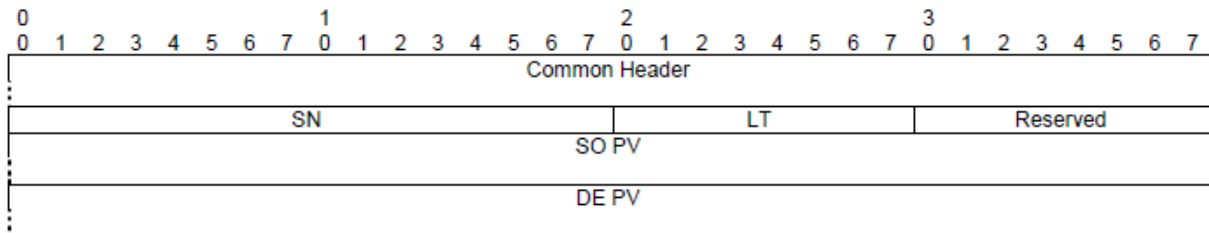
Σχήμα 3.13: Δομή εκτεταμένης επικεφαλίδας σε πακέτα σηματοδοσίας.

f) Αίτηση για Location Service



Σχήμα 3.14: Δομή εκτεταμένης επικεφαλίδας σε πακέτα αίτησης LS.

g) Απάντηση σε Location Service



Σχήμα 3.15: Δομή εκτεταμένης επικεφαλίδας σε πακέτα απάντησης LS.

Πρέπει να τονιστεί ότι ο πίνακας θέσης SO που εμπεριέχεται στη εκτεταμένη επικεφαλίδα αναφέρεται στον πίνακα θέσης της πηγής δηλαδή του GeoAdhoc δρομολογητή που δημιούργησε το μήνυμα. Από την άλλη πλευρά ο πίνακας θέσης SE που εμπεριέχεται στην κοινή επικεφαλίδα αναφέρεται στο πίνακα θέσης του GeoAdhoc δρομολογητή που πρόκειται να μεταδώσει το πακέτο. Συνεπώς, ο πίνακας θέσης SO παραμένει σταθερός μέχρι το πακέτο να φθάσει στον παραλήπτη του, ενώ ο πίνακας θέσης SE αλλάζει σε κάθε βήμα της μετάδοσης αποκτώντας την τιμή του πίνακα θέσης του τελευταίου κόμβου που μετέδωσε το πακέτο.

3.1.3 Λειτουργίες Πρωτοκόλλου GeoNetworking

Οι λειτουργίες του πρωτοκόλλου GeoNetworking χωρίζονται σε εκείνες που αφορούν τη διαχείριση του δικτύου και σε εκείνες που αφορούν τη διαχείριση των πακέτων.

3.1.3.1 Λειτουργίες Δικτύου

Υπάρχουν τέσσερις βασικές λειτουργίες που σχετίζονται με το δίκτυο και επιτελούνται από την πλευρά του GeoNetworking. Η πρώτη αφορά τη ρύθμιση των διευθύνσεων. Κάθε GeoAdhoc δρομολογητής έχει μια αυτό-εκχωρηθείσα αρχική διεύθυνση, η οποία έχει τη δομή που έχει παρουσιαστεί στην ενότητα 3.1. Η τοπική διεύθυνση μπορεί να είναι είτε σταθερή είτε μεταβλητή. Το είδος της καθορίζεται από το πεδίο `itsGnLocalAddrMethod` του MIB.

Όταν η τιμή της διεύθυνσης είναι σταθερή, το πεδίο `itsGnLocalAddrMethod` έχει την τιμή μηδέν και ο δρομολογητής αναθέτει στην τοπική διεύθυνση `GN_ADDR` την τιμή του πεδίου `itsGnLocalGnAddr`. Συνήθως, αυτή η τιμή εκχωρείται μέσω μιας γεννήτριας παραγωγής τυχαίων διευθύνσεων. Η διεύθυνση `GN_ADDR` θα παραμείνει σταθερή εκτός αν το πεδίο `itsGnLocalAddrMethod` αποκτήσει την τιμή ένα.

Αν η τιμή του πεδίου είναι εξ αρχής ένα ή τεθεί αργότερα στην τιμή ένα, αυτό σημαίνει ότι η τιμή της διεύθυνσης είναι μεταβλητή και πλέον υπεύθυνο για την παροχή διεύθυνσης στο δρομολογητή είναι το τμήμα διαχείρισης του στρώματος δικτύωσης και μεταφοράς. Στην περίπτωση όπου το πεδίο `itsGnLocalAddrMethod` έχει την τιμή 1 εξ αρχής, οπότε ο δρομολογητής δεν έχει ακόμα αρχική διεύθυνση, τότε εκείνος μέσω μιας GN-MGMT αίτησης ενημερώνει το τμήμα διαχείρισης του στρώματος δικτύωσης και μεταφοράς. Στη συνέχεια εκείνο παράγει μια κατάλληλη διεύθυνση, την οποία αποστέλλει πίσω στην οντότητα διαχείρισης του στρώματος πρόσβασης του δρομολογητή μέσω μια GN-MGMT απάντησης.

Η διαδικασία για την ενημέρωση της διεύθυνσης του δρομολογητή μπορεί να ενεργοποιηθεί είτε από την πλευρά του δρομολογητή είτε από την πλευρά του τμήματος διαχείρισης του στρώματος δικτύωσης και μεταφοράς. Στην πρώτη περίπτωση, η διαδικασία ενημέρωσης γίνεται με τον ίδιο τρόπο με την διαδικασία αρχικοποίησης μιας μεταβλητής διεύθυνσης. Στη δεύτερη περίπτωση, το τμήμα διαχείρισης του στρώματος δικτύωσης και μεταφοράς αποστέλλει μια αυτόκλητη GN-MGMT απάντηση στο δρομολογητή και μόλις εκείνος την λάβει ανανεώνει τη διεύθυνση του. Ανεξάρτητα από την πλευρά εκκίνησης της ενημέρωσης, η επιλογή μικρής συχνότητας ενημέρωσης μπορεί να βλάψει τη λειτουργία του πρωτοκόλλου.

Το πρωτόκολλο GeoNetworking δεν παρέχει εγγύηση για τη μοναδικότητα της διεύθυνσης που παρέχεται σε κάθε δρομολογητή. Για να έχει κάθε δρομολογητής μοναδική διεύθυνση, πρέπει, όταν λαμβάνει νέο πακέτο, να συγκρίνει την τοπική GN_ADDR διεύθυνση με την διεύθυνση του αποστολέα και του παραλήπτη του μηνύματος. Η σύγκριση που γίνεται βασίζεται στην τιμή του πεδίου MID της GN_ADDR, το οποίο αντιστοιχεί στη διεύθυνση του στρώματος δεδομένων. Αν κατά τη σύγκριση ανιχνευθεί ταύτιση διευθύνσεων, τότε ο δρομολογητής ζητεί νέα διεύθυνση από το τμήμα διαχείρισης του στρώματος δικτύωσης και μεταφοράς μέσω μιας GN-MGMT αίτησης στην οποία αναγράφεται ως αιτία αίτησης η ανίχνευση όμοιας διεύθυνσης.

Η δεύτερη βασική λειτουργία είναι η ενημέρωση του τοπικού πίνακα τοποθεσίας και του χρόνου. Το τμήμα διαχείρισης του στρώματος δικτύωσης και μεταφοράς αποστέλλει μια αυτόκλητη GN-GMMT απάντηση, στην οποία εμπεριέχεται ως παράμετρο είτε ο νέος LPV ,είτε ο χρόνος. Ο δρομολογητής λαμβάνει το μήνυμα και, ανάλογα με την παράμετρο που εμπεριέχει, είτε ανανεώνει τον LPV είτε αλλάζει το χρόνο του τοπικού συστήματος.

Η τρίτη λειτουργία είναι αυτή της σηματοδοσίας η οποία χρησιμοποιείται για τη γνωστοποίηση της θέσης του δρομολογητή στους γείτονές του. Τα πακέτα σηματοδοσίας αποστέλλονται περιοδικά, εκτός αν ο δρομολογητής αποστέλλει άλλα GeoNetworking πακέτα που περιέχουν τον LPV του. Η αποστολή τους γίνεται συνήθως με τη βοήθεια ενός χρονοδιακόπτη που επανέρχεται στην αρχική του τιμή έπειτα από κάθε εκπομπή.

Αρχικά, ο δρομολογητής του αποστολέα δημιουργεί μια GN-PDU με BEACON επικεφαλίδα πακέτου τα πεδία της οποίας ρυθμίζονται όπως φαίνεται Πίνακα 3.5. Στη συνέχεια, εκτελούνται οι λειτουργίες που εξαρτώνται από το μέσο διάδοσης. Εάν η παράμετρος του επικοινωνιακού προφίλ της αίτησης GN-DATA είναι ρυθμισμένη σε UNSPECIFIED, τότε δεν εκτελείται κάποια λειτουργία. Αλλιώς, αν είναι ρυθμισμένη σε ITS-G5A, εκτελούνται οι ενέργειες που θα περιγραφούν στην παράγραφο 3.2. Στη συνέχεια η GN-PDU προωθείται στο πρωτόκολλο του στρώματος ζεύξης μέσω της IN διεπαφής και αποκτά ως διεύθυνση προορισμού τη διεύθυνση ευρυεκπομπής του στρώματος ζεύξης δεδομένων. Τέλος, ενεργοποιείται ο χρονοδιακόπτης για την περιοδική μετάδοση των πακέτων σηματοδοσίας και ο χρόνος λήξης τίθεται ίσος με :

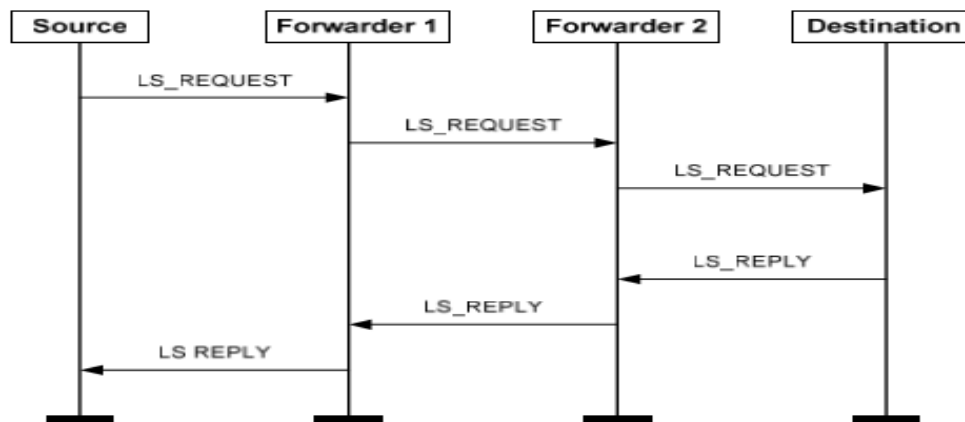
$$T_{timeout} = itsGnBeaconServiceRetransmitTime + RAND[0, itsGnBeaconServiceMaxJitter] \quad (3.3)$$

Η χρήση της συνάρτησης RAND γίνεται ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα συντονισμού μεταξύ των μηνυμάτων σηματοδοσίας γειτονικών δρομολογητών. Αν ξεπαραστεί ο χρόνος $T_{timeout}$ χωρίς να αποσταλλεί κάποιο μήνυμα σηματοδοσίας, τότε εκτελείται από την αρχή η ολόκληρη η εργασία που περιγράφηκε παραπάνω. Κάθε φορά που αποστέλλεται κάποιο μήνυμα σηματοδοσία ο χρονοδιακόπτης τίθεται ξανά μηδενίζεται.

Πίνακας 3.5: Ρύθμιση επικεφαλίδας για πακέτα σηματοδοσίας.

Όνομα πεδίου	Τιμή πεδίου
Version	Πεδίο itsGnProtocolVersion του MIB
NH	0)
HT	1
HST	0
Reserved	0
Flags	Bit 0 έως 5 : 0 Bit 6 : itsGnStationType Bit 7 : 0
PL	0
TC	Bit 0 : 0 (κρατημένο) Bit 1 έως 3 : itsGnTrafficClassRelevance Bit 4 έως 5 :itsGnTrafficClassReliability Bit 6 έως 7 : itsGnTrafficClassLatency
HL	1
SE PV	Τιμές του LPV του αποστολέα

Η τελευταία βασική λειτουργία που επιτελεί το GeoNetworking είναι της υπηρεσίας εντοπισμού, η οποία χρησιμοποιείται όταν κάποιος δρομολογητής θέλει να προσδιορίσει την τοποθεσία άλλου δρομολογητή. Βασίζεται στην ανταλλαγή πακέτων ελέγχου μεταξύ δρομολογητών. Στο Σχήμα 3.16, ο δρομολογητής που ζητάει να πληροφορηθεί για την τοποθεσία εκδίδει ένα πακέτο LS Request με την GN_ADDR του ζητούμενου δρομολογητή. Το πακέτο αυτό προωθείται από τους ενδιάμεσους δρομολογητές μέχρι να φθάσει στον προορισμό του. Όταν ο παραλήπτης λάβει το πακέτο, απαντά με ένα πακέτο LS Reply, προωθείται προς τα πίσω μέσω των ενδιάμεσων δρομολογητών.



Σχήμα 3.16: Παράδειγμα διαδικασίας εντοπισμού.

Στις περιπτώσεις όπου ο αποστολέας θέλει να στείλει ένα πακέτο και δεν έχει την διεύθυνση του παραλήπτη επικαλείται τη διαδικασία εντοπισμού. Πριν εκκινήσει η διαδικασία, ελέγχεται αν σε εξέλιξη υπάρχει κάποια άλλη διαδικασία εντοπισμού για τον συγκεκριμένο παραλήπτη. Στην περίπτωση όπου η σημαία LS_pending φέρει την ένδειξη TRUE, το πακέτο θα τοποθετηθεί στον απομονωτή LS πακέτων χωρίς να εκτελεστεί άλλη ενέργεια. Εφόσον δεν υπάρχει άλλη διαδικασία εντοπισμού σε εξέλιξη τότε αποστέλλεται μια αίτηση LS Request ως πακέτο TSB και οι τιμές των πεδίων του ρυθμίζονται όπως φαίνεται στο Πίνακα 3.6.

Στην συνέχεια, ο δρομολογητής (i) ενεργοποιεί ένα χρονοδιακόπτη T_{LS,GN_ADDR} , στον οποίο ανατίθεται ως χρόνος λήξης η τιμή του πεδίου itsGnLocationServiceRetransmitTimer του MIB και (ii) δημιουργεί ένα μετρητή LS αναμεταδόσεων θέτοντας την αρχική τιμή του σε μηδέν. Τέλος, δίνει στη σημαία LS_pending την τιμή TRUE και δημιουργεί μια νέα θέση στο LocT στην οποία θα εισαχθούν οι πληροφορίες για το νέο σταθμό.

Πίνακας 3.6: Ρύθμιση επικεφαλίδας για πακέτα αίτησης LS.

Όνομα πεδίου	Τιμή πεδίου
Version	Πεδίο itsGnProtocolVersion του MIB
NH	0)
HT	1
HST	0 1
Reserved	0
Flags	Bit 0 έως 5 : 0 Bit 6 : itsGnStationType Bit 7 : 0
PL	0
TC	Bit 0 : 0 (κρατημένο) Bit 1 έως 3 : itsGnTrafficClassRelevance Bit 4 έως 5 :itsGnTrafficClassReliability Bit 6 έως 7 : itsGnTrafficClassLatency
HL	1
SE PV	Τιμές του LPV του αποστολέα
SN	Τιμή του αριθμού ακολουθίας που προβλέπεται για το επόμενο πακέτο
LT	Παράμετρος Maximum lifetime της αίτησης GN-DATA
SO PV	Τιμές του LPV του αποστολέα
Request GN_ADDR	Παράμετρος Destination της αίτησης GN-DATA

Οι δρομολογητές που λαμβάνουν το μήνυμα ελέγχουν αν η ζητούμενη GN_ADDR ταυτίζεται με τη δική τους. Αν δεν ταυτίζεται, ο δρομολογητής εκτελεί τις λειτουργίες που ορίζει η διαδικασία διαχείρισης πακέτων TSB, χωρίς όμως να προωθεί τα δεδομένα της GN-PDU στις

ανώτερες οντότητες πρωτοκόλλων. Αν ταυτίζεται τότε ο δρομολογητής επεξεργάζεται την κοινή επικεφαλίδα και εξετάζει αν το πακέτο που έλαβε είναι αντίγραφο κάποιου άλλου που έχει ήδη παραλάβει. Στη συνέχεια ενημερώνει τον LocT του με τον πίνακα θέσης που φέρει το πακέτο LS Request και θέτει τη σημαία SO_IS_NEIGHBOUR σε FALSE εφόσον η GN_ADDR του αποστολέα δεν είναι ίδια με του παραλήπτη.

Αφού εκτελεστούν οι προηγούμενες ενέργειες, ο δρομολογητής στον οποίο σκόπευε η διαδικασία εντοπισμού αποστέλλει μέσω απλής εκπομπής ένα πακέτο LS Reply. Στην περίπτωση που ο χρόνος λήξης του χρονοδιακόπτη εκπνεύσει και ο αποστολέας δεν έχει λάβει πακέτο LS Reply, ελέγχει την τιμή του RTC_{LS,GN_ADDR} . Αν η τιμή είναι μικρότερη από το μέγιστο αριθμό αναμεταδόσεων, εκδίδει πάλι ένα πακέτο LS Request, μηδενίζει το χρονοδιακόπτη και αυξάνει την τιμή του μετρητή κατά ένα. Αν είναι μεγαλύτερη από ένα αδειάζει τον απομονωτή των πακέτων LS και αφαιρεί από τον LocT τη θέση που είχε κρατήσει για το ζητούμενο δρομολογητή.

Όταν ο αποστολέας λάβει ένα πακέτο LS Reply επεξεργάζεται την κοινή επικεφαλίδα και εξετάζει αν το πακέτο που έλαβε είναι αντίγραφο κάποιου άλλου που έχει ήδη παραλάβει. Στη συνέχεια ενημερώνει τον LocT με τον πίνακα θέσης που φέρει το πακέτο LS Request και θέτει τη σημαία SO_IS_NEIGHBOUR σε FALSE εάν η GN_ADDR του αποστολέα δεν είναι ίδια με του παραλήπτη.

Η επόμενη ενέργεια είναι να αδειάσουν οι απομονωτές. Αρχικά ελέγχεται η σημαία SO_LS_pending και, εφόσον το όρισμα της είναι TRUE, αδειάζει ο LS απομονωτής πακέτων. Όσα πακέτα είχαν αποθηκευτεί σε αυτόν προωθούνται προς τον προορισμό τους και το όρισμα της σημαίας γίνεται false. Έπειτα, ελέγχεται ο UC απομονωτής προώθησης πακέτων και προωθούνται τα αποθηκευμένα πακέτα ώστε να αδειάσει ο απομονωτής. Για να τελειώσει η διαδικασία εντοπισμού, η σημαία LS_pending της διεύθυνση αναζήτησης τίθεται σε false, μηδενίζεται το ρολόι T_{LS,GN_ADDR} και ο μετρητής RTC_{LS,GN_ADDR} .

3.1.3.2 Λειτουργίες Διαχείρισης Πακέτων

Η διαχείριση πακέτων περιλαμβάνει τον καθορισμό του προορισμού (δρομολογητής ή γεωγραφική περιοχή) της T/GN6 –SDU, την εκτέλεση λειτουργιών που σχετίζονται με το είδος του σχήματος δρομολόγησης, τη δημιουργία και τη μεταβίβαση της GN-PDU στο πρωτόκολλο του στρώματος ζεύξης δεδομένων μέσω της IN διεπαφής.

Για τη δημιουργία ενός πακέτου, το GeoNetworking πρέπει να δεχθεί μια αίτηση GN-DATA από το πρωτόκολλο του στρώματος μεταφοράς. Η αίτηση αυτή περιέχει πληροφορίες που αφορούν το είδος του πρωτοκόλλου μεταφοράς που ενεργοποίησε τη δημιουργία του πακέτου, το είδος του πακέτου που μεταφέρεται, τη διεύθυνση παραλήπτη ανάλογα με το είδος του πακέτου, το επικοινωνιακό προφίλ, το μέγιστο χρόνο ζωής, το διάστημα

αναμετάδοσης του πακέτου και το είδος της κίνησης. Επίσης εμπεριέχει τα δεδομένα T/GN6-SDU και το μήκος τους.

```
GN-DATA.request (  
    Upper protocol entity,  
    Packet transport type,  
    Destination,  
    Communication profile,  
    Maximum packet lifetime, (optional)  
    Repetition interval, (optional)  
    Traffic class,  
    Length,  
    Data  
)
```

Σχήμα 3.17: Πληροφορίες αίτησης GN-DATA.

Για πακέτα είδους TSB, SHB και GeoBroadcast οι διαδικασίες είναι παρόμοιες. Αρχικά δημιουργείται μια T/GN6-SDU ως ωφέλιμη πληροφορία και μια TSB/SHB/GeoBroadcast επικεφαλίδα πακέτου, αντίστοιχα με την υλοποίηση. Στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει γείτονας, δηλαδή στον LocT του σταθμού δεν υπάρχει κάποια εγγραφή που να έχει τη σημαία IS_NEIGHBOUR ρυθμισμένη σε TRUE, το πακέτο αποθηκεύεται στον BC απομονωτή και δεν εκτελείται καμία ενέργεια μέχρι να βρεθεί κάποιος γείτονας. .

Εφόσον υπάρχει γείτονας ελέγχεται η τιμή της παραμέτρου του διαστήματος αναμετάδοσης της αίτησης GN-DATA και, εφόσον αυτή έχει μη μηδενική τιμή, το πακέτο αποθηκεύεται ώστε να αναμεταδίδεται με την περίοδο που ορίζεται από το διάστημα αναμετάδοσης μέχρι να λήξει ο μέγιστος χρόνος ζωής. Αν τα πεδία μέγιστου χρόνου ζωής και το διαστήματος αναμετάδοσης δεν έχουν οριστεί από την αίτηση GN-Data, καταχωρίζεται σε αυτά η τιμή των πεδίων itsGnMaxPacketLifetime και itsGnMinPacketRepetitionInterval από την MIB.

Για τα πακέτα GeoBroadcast, πριν τον έλεγχο καθορίζεται η διεύθυνση του στρώματος ζεύξης LL_ADDR_NH του επόμενου κόμβου με την εκτέλεση του κατάλληλου αλγόριθμου προώθησης πακέτων πολυεκπομπής που προκύπτει από το πεδίο itsGnGeoBroadcastForwardingAlgorithm. Αν η διεύθυνση που προκύψει είναι μηδέν, το πακέτο φυλάσσεται στον BC απομονωτή και η διαδικασία σταματά. Το ίδιο γίνεται και για τα πακέτα GeoAnycast, με τη διαφορά ότι στην περίπτωση όπου $F(x, y) < 0$ για να εκτελεστεί ο

αλγόριθμος προώθησης απλής εκπομπής πρέπει το πεδίο `itsGnGeoAreaLineForwarding` της MIB να έχει την τιμή TRUE.

Στην συνέχεια, εκτελούνται οι λειτουργίες που εξαρτώνται από το μέσο μετάδοσης ανάλογα με την τιμή της παραμέτρου του επικοινωνιακού προφίλ π.χ ITS-G5. Αν η παράμετρος έχει την τιμή UNSPECIFIED, δεν εκτελείται κάποια περαιτέρω λειτουργία. Τέλος, μετά την εκτέλεση των λειτουργιών που εξαρτώνται από το μέσο, η GN-PDU προωθείται στο στρώμα ζεύξης μέσω της IN διεπαφής και ως διεύθυνση προορισμού τίθεται η LL_ADDR_NH αν είναι πακέτο GeoBroadcast. Αλλιώς, αν είναι πακέτο TSB ή SHB τίθεται η διεύθυνση ευρυ-εκπομπής του στρώματος ζεύξης.

Για τα πακέτα GeoUnicast, αρχικά πρέπει να ελεγχθεί πρώτα αν υπάρχει στον LocT εγγραφή που να αφορά τον παραλήπτη. Αν δεν υπάρχει, πριν προβεί σε περαιτέρω ενέργεια πρέπει να ενεργοποιήσει μια διαδικασία εντοπισμού. Στην περίπτωση όπου υπάρχει καταχώρηση, το επόμενο βήμα είναι να προσδιοριστεί ο επόμενος κόμβος αποστολής LL_ADDR_NH με την εκτέλεση του κατάλληλου αλγορίθμου απλής εκπομπής που προκύπτει από το πεδίο `itsGnGeoUnicastForwardingAlgorithm` της MIB. Στη συνέχεια, δημιουργείται η T/GN6-SDU και αν η διεύθυνση του επόμενου κόμβου είναι μηδενική το πακέτο τοποθετείται στο UC δρομολογητή. Μετά από αυτό, η πορεία των ενεργειών είναι παρόμοια με αυτήν που αφορά τα πακέτα TSB/SHB/GeoBroadcast.

Δεδομένης της δομής των πακέτων GeoNetworking, γίνεται αντιληπτό ότι για την επεξεργασία των πακέτων ένα τμήμα των εργασιών το οποίο αφορά την κοινή επικεφαλίδα θα είναι κοινό, ενώ ένα άλλο τμήμα των εργασιών που αφορά την εκτεταμένη επικεφαλίδα θα διαφοροποιείται.

Όταν ένας δρομολογητής -προωθητής ή παραλήπτης- λαμβάνει ένα GeoNetworking πακέτο, η πρώτη του ενέργεια είναι να επεξεργαστεί την κοινή επικεφαλίδα. Με βάση των πίνακα θέσης SE που φέρει αυτή, ο δρομολογητής τοποθετεί στον LocT που διατηρεί τα νέα στοιχεία για το δρομολογητή του SE και θέτει τη σημαία IS_NEIGHBOUR στην τιμή TRUE. Έπειτα, αδειάζει όλους του απομονωτές (LS, UC και BC) που περιέχουν πακέτα με προορισμό τον SE, προωθώντας τα πακέτα στον SE. Τέλος ελέγχει την τιμή των πεδίων NH και HT. Αν έστω ένα από τα δυο πεδία έχει μηδενική τιμή, το πακέτο απορρίπτεται και δεν ακολουθεί περαιτέρω επεξεργασία.

Οι επόμενες ενέργειες αφορούν την επεξεργασία της εκτεταμένης επικεφαλίδας και συνεπώς διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος του πακέτου. Η απλούστερη περίπτωση είναι αυτή των πακέτων SHB, όπου, μόλις ένας σταθμός λάβει το μήνυμα και επεξεργαστεί την κοινή επικεφαλίδα, απλώς προωθεί την ωφέλιμη πληροφορία της GN-PDU στο ανώτερο πρωτόκολλο με τη χρήση ενός στοιχείου υπόδειξης GN-DATA.

Στα πακέτα TSB, αφού εξετασθεί η κοινή επικεφαλίδα γίνεται έλεγχος για να εξακριβωθεί αν το πακέτο είναι αντίγραφο. Στην περίπτωση όπου είναι αντίγραφο απορρίπτεται. Από τα πακέτα που γίνονται δεκτά με βάση τον πίνακα θέσης SO της εκτεταμένης επικεφαλίδας, ο δρομολογητής ανανεώνει τις καταχωρήσεις που έχει για τον αποστολέα. Επίσης, αν η GN_ADDR του αποστολέα και της πηγής δεν είναι ίδιες η σημαία IS_NEIGHBOUR του LocT αποκτά την τιμή FALSE. Επειδή στο σχήμα δρομολόγησης TSB οι κόμβοι που προωθούν ένα μήνυμα είναι ταυτόχρονα και παραλήπτες, αφού εκτελεστούν οι προαναφερθείσες ενέργειες κάθε δρομολογητής πρέπει να προωθεί την ωφέλιμη πληροφορία της GN-PDU στο ανώτερο πρωτόκολλο. Έπειτα η τιμή του πεδίου HL μειώνεται κατά ένα και στο πεδίο του πίνακα θέσης SE της κοινής επικεφαλίδας τοποθετείται ο LPV του δρομολογητή. Τέλος, εκτελούνται οι λειτουργίες που εξαρτώνται από το μέσο και η GN-PDU προωθείται στο στρώμα ζεύξης με διεύθυνση προορισμού τη διεύθυνση ευρυ-εκπομπής του στρώματος ζεύξης.

Για τα πακέτα GeoBroadcast/GeoAnycast, εκτελούνται οι ίδιες λειτουργίες με τη διαφορά ότι, για να προωθηθεί ένα πακέτο στο ανώτερο στρώμα, πρέπει $F(x, y) \geq 0$, δηλαδή ο GeoAdhoc δρομολογητής να βρίσκεται μέσα στη γεωγραφική περιοχή στόχευσης. Επίσης, η διεύθυνση προορισμού του στρώματος ζεύξης δεδομένων προκύπτει από την εκτέλεση του αλγορίθμου προώθησης πακέτων πολυεκπομπής.

Για τα πακέτα GeoUnicast, πέραν όσων διαδικασιών αναφέρθηκαν προηγουμένως οι δρομολογητές προώθησης ενημερώνουν την καταχώρηση που έχουν για τον παραλήπτη στον LocT με τον πίνακα θέσης DE PV που φέρει το πακέτο και προωθούν όσα πακέτα βρίσκονται στους απομονωτές LS και UC με προορισμό τον SO. Η διεύθυνση του στρώματος ζεύξης δεδομένων για τον επόμενο κόμβο προκύπτει με την εκτέλεση του αλγορίθμου προώθησης πακέτων απλής εκπομπής. Όλες οι ενέργειες γίνονται χωρίς το μήνυμα να προωθείται σε ανώτερα στρώματα. Το πακέτο προωθείται σε ανώτερα στρώματα μόνο στην περίπτωση όπου ο δρομολογητής συμπίπτει με τον τελικό παραλήπτη.

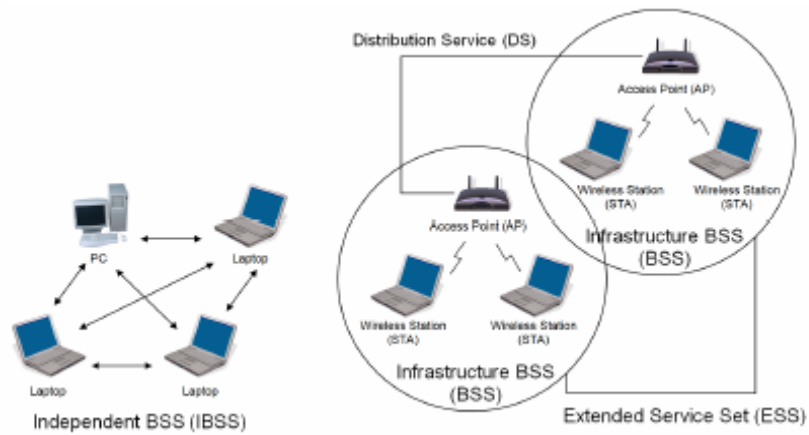
3.2 Λειτουργίες εξαρτώμενες από το μέσο

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου οι λειτουργίες που εξαρτώνται από το μέσο διαφέρουν ανάλογα με την τεχνολογία πρόσβασης που χρησιμοποιείται. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες είναι: (i) WiFi, (ii) υπέρυθρες [i.17], (iii) MM στη ζώνη συχνοτήτων 62-63 GHz [i.18], WiMax. Η παρούσα εργασία εστιάζει στην πρώτη τεχνολογία που είναι η σημαντικότερη για την επικοινωνίες μικρής εμβέλειας και βασίζεται στην οικογένεια προτύπων 802.11.

3.2.1 Η τεχνολογία IEEE 802.11

Ένα σύνολο σταθμών που (i) χρησιμοποιούν την τεχνολογία 802.11, (ii) είναι συνδεδεμένοι σε ένα κοινό σημείο πρόσβασης και (iii) είναι ρυθμισμένοι να επικοινωνούν μεταξύ τους,

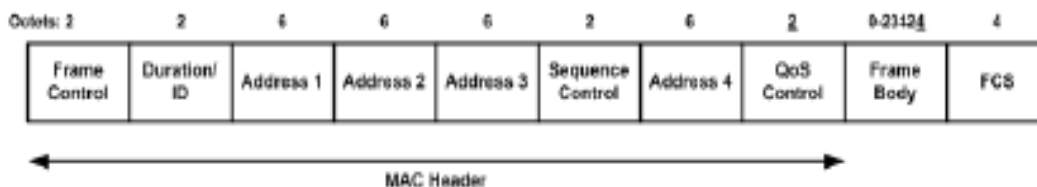
ονομάζεται βασικό σύνολο υπηρεσιών (Basic Service Set, BSS). Σε κάθε BSS υπάρχουν μηχανισμοί που ελέγχουν την πρόσβαση στους πόρους και τις υπηρεσίες του σημείου πρόσβασης και επιτρέπουν το φιλτράρισμα μεταδόσεων από άλλους άγνωστους κοντινούς σταθμούς. Ένας νέος σταθμός ακούει τα μηνύματα σηματοδότησης του σημείου πρόσβασης και προσχωρεί σε ένα BSS μέσω ενός αριθμού διαδραστικών σταδίων που περιέχουν διαδικασίες πιστοποίησης και σύνδεσης. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.18, το πρότυπο 802.11p επιτρέπει στους διαχειριστές κάθε BSS να διασυνδέονται μεταξύ τους μέσω υπηρεσιών διανομής (Distribution Service, DS) και να δημιουργούν ένα σύνολο εκτεταμένων υπηρεσιών (Extended Service Set, ESS). Το ESS εμφανίζεται ως ένα απλό BSS στο επίπεδο LLC των σταθμών που ανήκουν στα επιμέρους BSS.



Σχήμα 3.18: Ανεξάρτητο και εκτεταμένο BSS.

Ένα BSS γίνεται γνωστό στους χρήστες μέσω της ταυτότητας συνόλου υπηρεσιών (Service Set Identification, SSID), η οποία λειτουργεί ως το όνομα του ad hoc δικτύου προς εξωτερικά δίκτυα και χρήστες. Το SSID δεν πρέπει να συγχέεται με το BSSID το οποίο αποτελεί την ταυτότητα ενός BSS, δηλαδή το όνομα με το οποίο είναι γνωστό το BSS στο επίπεδο MAC των χρηστών και το οποίο είναι κοινό για όλους του χρήστες που ανήκουν στο ίδιο BSS. Το φιλτράρισμα μέσω του BSSID είναι βασικός μηχανισμός για την αποκοπή λαμβανόμενων πλαισίων από σταθμούς που δεν είναι μέλη του BSS.

Κάθε πλαίσιο δεδομένων 802.11 περιέχει, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.19, μέχρι τέσσερα πεδία διευθύνσεων τα οποία μπορεί να περιέχουν, (i) διεύθυνση πηγής (Source Address, SA), (ii) διεύθυνση προορισμού (Destination Address, DA), (iii) διεύθυνση σταθμού μετάδοσης (Transmitting station Address, TA), (iv) διεύθυνση σταθμού λήψης (Receiving station Address RA) και το BSSID. Η χρήση των τεσσάρων πεδίων επικεφαλίδας διαφοροποιείται σύμφωνα με τιμές των bit “To Ds” και “From Ds” στο πεδίο ελέγχου του πλαισίου όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.20.



Σχήμα 3.19: Δομή πλαισίου δεδομένων του IEEE 802.11

Κατά την λήψη ενός πλαισίου στο επίπεδο MAC από το φυσικό στρώμα, ελέγχεται αν η διεύθυνση προορισμού ταυτίζεται με τη διεύθυνση του σταθμού λήψης ή, στην περίπτωση που η διεύθυνση προορισμού είναι μια ομαδική διεύθυνση π.χ. ευρυεκπομπή, ελέγχεται το BSSID για να εξασφαλιστεί ότι η πολυεκπομπή προέρχεται από σταθμό εντός του BSS. Μια ειδική περίπτωση του BSSID, είναι η ρύθμιση του σε wildcard, κατά την οποία όλα εκ των 48 bit από τα οποία αποτελείται έχουν την τιμή ένα.

To DS	From DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	RA = DA	TA = SA	BSSID	N/A
0	1	RA = DA	TA = BSSID	SA	N/A
1	0	RA = BSSID	TA = SA	DA	N/A
1	1	RA	TA	DA	SA

Σχήμα 3.20: Περιεχόμενα διευθύνσεων πλαισίου δεδομένων σύμφωνα με τα bit ελέγχου

Το 2004 μια ομάδα εργασίας της IEEE ξεκίνησε την ανάπτυξη μιας τροποποίησης του προτύπου 802.11, η οποία είναι γνωστή ως 802.11p, και είχε ως στόχο να συμπεριλάβει στην οικογένεια προτύπων την επικοινωνία δικτύων οχημάτων. Μια άλλη ομάδα της IEEE, γνωστή ως ομάδα εργασίας 1609, ανέλαβε την ανάπτυξη προδιαγραφών για την κάλυψη περισσότερων στρωμάτων της υπάρχουσας σουίτας πρωτοκόλλων. Το πρότυπο 802.11p και τα πρότυπα 1609.x είναι γνωστά ως πρότυπα ασύρματης πρόσβασης σε περιβάλλοντα οχημάτων (Wireless Access Vehicular Environments, WAVE), γιατί έχουν ως στόχο να διευκολύνουν την παροχή ασύρματης πρόσβασης σε δίκτυα οχημάτων.

Για τους σταθμούς που χρησιμοποιούν το 802.11p, είναι υψίστης σημασίας, να βρίσκονται εκ προεπιλογής στο ίδιο κανάλι και να είναι ρυθμισμένοι στην ίδια BSSID. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της γνωστής ως "WAVE λειτουργίας" κατά την οποία οι σταθμοί επιτρέπεται να αποστέλλουν και να λαμβάνουν πλαίσια δεδομένων με την τιμή της wildcard BSSID, χωρίς να είναι απαραίτητο να ανήκουν σε κάποιο BSS. Ως εκ τούτου, τα οχήματα μπορούν να επικοινωνήσουν απευθείας όταν συναντούνται χωρίς να χρειάζεται κάποια επιπλέον διεργασία παρά μόνο να βρίσκονται στο ίδιο κανάλια και να χρησιμοποιούν την wildcard BSSID.

Επίσης, ως εναλλακτικό τρόπο διασύνδεσης, το πρότυπο WAVE εισάγει ένα νέο τύπο BSS, τον WBSS. Ένας σταθμός δημιουργεί ένα WBSS μεταδίδοντας πρώτα ένα κατά παραγγελία μήνυμα σηματοδότησης, το οποίο γνωστοποιεί την ύπαρξη του WBSS χωρίς όμως να χρειάζεται να αναμεταδίδεται περιοδικά. Το μήνυμα αυτό περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για το σταθμό που το λαμβάνει ώστε εκείνος να αντιληφθεί τις παρεχόμενες υπηρεσίες στο WBSS και να αποφασίσει αν θέλει να συμμετάσχει, όπως επίσης περιέχει και τις πληροφορίες που χρειάζονται για να προβεί στις απαραίτητες ρυθμίσεις των ιδιοτήτων του ώστε να γίνει μέλος τους WBSS. Εν ολίγοις ένας σταθμός μπορεί να αποφασίσει αν θα συμμετάσχει σε μια διαδικασία ένταξης σε ένα BSS μόνο λαμβάνοντας μια γνωστοποίηση WAVE χωρίς να χρειάζεται κάποια περεταίρω αλληλεπίδραση.

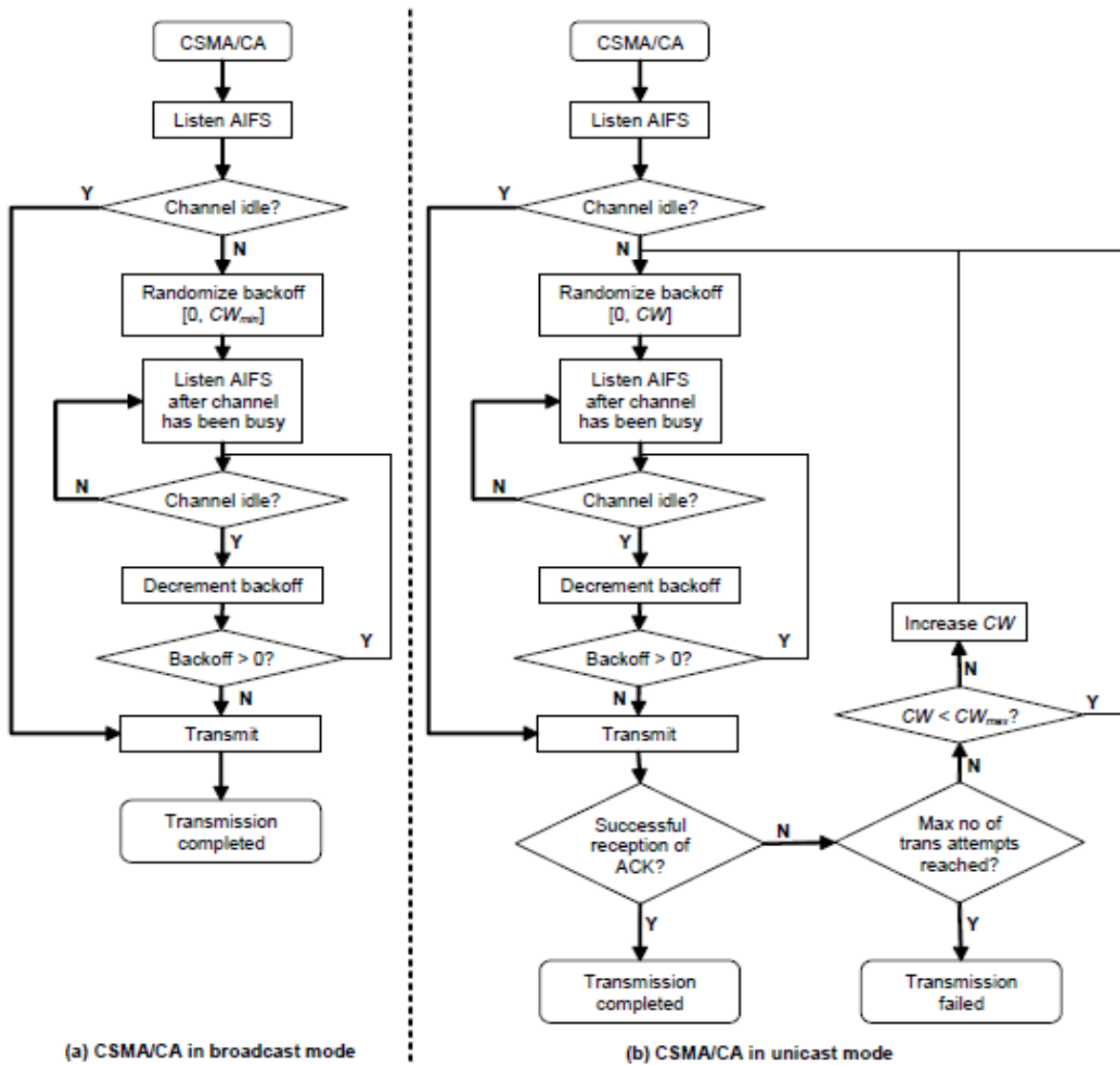
Πρέπει να σημειωθεί πως όταν ένας σταθμός βρίσκεται σε ένα WBSS, αυτό δεν αναιρεί την ιδιότητα του να μεταδίδει μέσω της WAVE λειτουργίας, δηλαδή να χρησιμοποιεί την BSSID wildcard. Τέλος, οι σταθμοί μπορούν να χρησιμοποιούν DS για την επικοινωνία τους υπό την προϋπόθεση ότι τα παιδιά ελέγχου "To DS" και "From DS" του Σχήματος 3.20, έχουν την τιμή ένα. Ωστόσο, οι σταθμοί εντός ενός WBSS που θέλουν να έχουν πρόσβαση σε DS πρέπει να χρησιμοποιούν ένα γνωστό BSSID.

Όσον αφορά το φυσικό στρώμα, το πρότυπο 802.11p, χρησιμοποιείται ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal frequency division multiplexing, OFDM) όπως γίνεται και στο πρότυπο 802.11a με τη διαφορά ότι τα κανάλια που χρησιμοποιούνται είναι εύρους 10MHz. Η βασική ιδέα είναι ο διαχωρισμός του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε μικρότερα υπό-κανάλια των 10MHz, διαμοιράζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο τον υψηλό ρυθμό μετάδοσης σε μικρότερες επιμέρους ροές δεδομένων που μεταδίδονται ταυτόχρονα στα αντίστοιχα ζωνοπερατά κανάλια. Συνολικά, υπάρχουν 52 υποφέρουσες συχνότητες που αντιστοιχούν σε 52 υποκανάλια εκ των οποίων τα 48 χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων και τα 4 είναι κανάλια ελέγχου. Υποστηρίζονται οκτώ διαφορετικοί ρυθμοί μετάδοσης που επιτυγχάνονται με τη χρήση διαφορετικών σχημάτων διαμόρφωσης και ρυθμούς κώδικα.

Πίνακας 3.7: Ρυθμοί μετάδοσης, σχήματα διαμόρφωσης και ρυθμοί κώδικα στο πρότυπο 802.11p.

Transfer rate [Mbit/s]	Modulation scheme	Coding rate	Data bits per OFDM symbol	Coded bits per OFDM symbol
3	BPSK	1/2	24	48
4,5	BPSK	3/4	36	48
6	QPSK	1/2	48	96
9	QPSK	3/4	72	96
12	16-QAM	1/2	96	192
18	16-QAM	3/4	144	192
24	64-QAM	2/3	192	288
27	64-QAM	3/4	216	288

Στο υποστρώμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο εκτελείται ο αλγόριθμος ενισχυμένου συντονισμού κατανεμημένης πρόσβασης (Enhanced Distributed Coordination Access, EDCA) που αποφασίζει τη χρονική στιγμή κατά την οποία ένας κόμβος επιτρέπεται να μεταδώσει και έχει ως σκοπό την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας απώλειας πακέτου και των παρεμβολών εντός του συστήματος. Ο EDCA είναι βασισμένος στην κατανεμημένη λειτουργία συντονισμού (Distributed Coordination Function, DCF) η οποία εκτελεί έναν αλγόριθμο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και αποφυγή συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA) με δυαδική εκθετική υποχώρηση, αλλά προσθέτει στην DCF ιδιότητες ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service, QoS).



Σχήμα 3.21: Διαδικασία πρόσβασης στα κανάλια για (α) πολυεκπομπή και απλή (β) εκπομπή.

Στο πρωτόκολλο CSMA/CA ο κόμβος ελέγχει την κατάσταση του καναλιού πριν μεταδώσει. Αν το κανάλι είναι αδρανές για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, ο κόμβος μπορεί απευθείας να ξεκινήσει τη μετάδοση. Αν το κανάλι γίνει απασχολημένο κατά την περίοδο ακρόασης ο κόμβος εκκινεί μια διαδικασία υποχώρησης. Στον EDCA χρησιμοποιούνται διαστήματα εποπτείας μεταξύ πλαισίων (Arbitration Interframe Space, AIFS) για την υλοποίηση του CSMA/CA

3.2.2 Η τεχνολογία ITS-G5

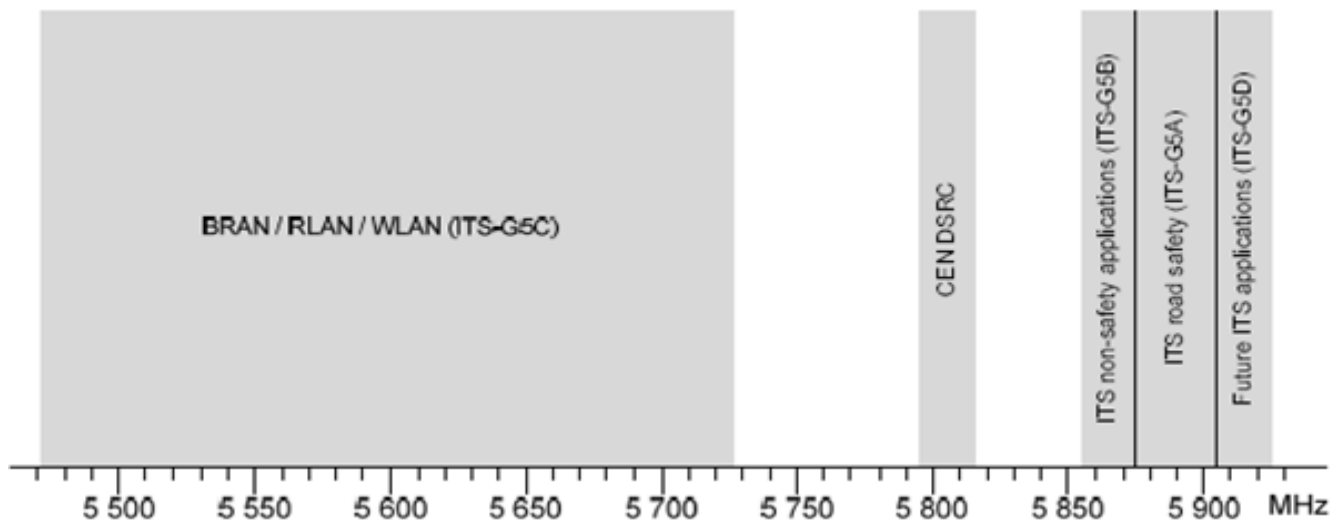
Στην Ευρώπη για την υποστήριξη V2V επικοινωνιών σε ad hoc δίκτυα έχει ανατεθεί η μπάντα συχνοτήτων 5.9 GHz. Οι προδιαγραφές των δυο κατώτερων στρωμάτων (φυσικό και ζεύξης δεδομένων) εμπεριέχονται στο τεχνολογία ITS-G5. Η τεχνολογία ITS-G5 είναι αντίστοιχη της Αμερικάνικης τεχνολογίας WAVE και χρησιμοποιεί υπάρχοντα πρότυπα για την υποστήριξη επικοινωνιών. Οι απαιτήσεις για το φυσικό στρώμα και το υποστρώμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο προκύπτουν από το πρότυπο 802.11p, ενώ οι απαιτήσεις για το υποστρώμα ελέγχου λογικών συνδέσεων από το πρότυπο ANSI/IEEE Std 802.2. Το 802.11p παρέχει πολλαπλές επιλογές για το φυσικό στρώμα και μόνο μια επιλογή με υποστήριξη ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service, QoS) για το υποστρώμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο. Επίσης η τεχνολογία ITS-G5 εμπεριέχει τη δυνατότητα για μεθόδους αποκεντρωμένου ελέγχου συμφόρησης (Decentralizes Congestion Control, DCC), ώστε να ελέγχει το φορτίο του δικτύου και να αποφεύγονται ασταθείς συμπεριφορές.

Η MIB περιέχει τη νέα μεταβλητή dot11OCBAActivated, η οποία όταν είναι ρυθμισμένη σε true δίνει τη δυνατότητα για επικοινωνία που δεν υπόκειται στο πλαίσιο του BSS(Outside the Context of BSS, OCB). Η OCB επικοινωνία στην τεχνολογία ITS-G5 βασίζεται στην αποστολή μηνυμάτων με το BSSID ρυθμισμένο σε wildcard όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 3.2.1.

Επικοινωνίες τύπου OCB δεν απαιτούν διαδικασίες επαλήθευσης και δεν υποστηρίζουν μηχανισμούς ασφάλειας, εξασφαλίζοντας μεγάλη ποσότητα χρόνου που είναι απαραίτητη για επικοινωνίες σε περιβάλλον με χρήστες υψηλής κινητικότητας οι οποίοι μπορούν εύκολα να βρεθούν εκτός της ακτίνας μετάδοσης χωρίς να έχει ολοκληρωθεί η μετάδοση του πακέτου. Επίσης επηρεάζονται και άλλα έμφυτα χαρακτηριστικά της οικογένειας 802.11. Δεν υπάρχει η απαίτηση ότι οι κόμβοι πρέπει πλέον να υπάγονται σε κάποια κοινή συντονιστικής αρχής και σε αντίθεση με τις BSS επικοινωνίες όπου χρειάζεται να διεξαχθεί έρευνα για τα διαθέσιμα κανάλια συχνοτήτων για συμμετάσχει σε μια BSS εδώ απαιτείται οι κόμβοι να βρίσκονται ρυθμισμένοι σε μια προκαθορισμένη συχνότητα όπου μπορούν να αποκτηθούν περισσότερες πληροφορίες για τα διαθέσιμα κανάλια.

Η τεχνολογία ITS-G5 προβλέπει τέσσερις διαφορετικά φάσματα συχνοτήτων για τέσσερις διαφορετικές εφαρμογές. Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.22, το φάσμα συχνοτήτων ITS-G5A έχει ανατεθεί σε εφαρμογές ασφάλειας δρόμου, το φάσμα συχνοτήτων ITS-G5B

εξυπηρετεί εφαρμογές που δεν σχετίζονται με την ασφάλεια δρόμου, το φάσμα συχνοτήτων ITS-G5D θα χρησιμοποιηθεί στο μέλλον για εφαρμογές διαχείρισης κίνησης και τέλος το φάσμα ITS-G5C που σχετίζεται με ευρυζωνικά δίκτυα ράδιο-πρόσβασης (Broadband Radio Access Networks, BRAN), τοπικά ράδιο-δίκτυ (Radio Local Area Network, RLAN) και ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Network, WLAN).



Σχημα 3.22: Κατανομή συχνοτήτων στην τεχνολογία ITS-G5

Η διαμοίραση των καναλιών παρουσιάζεται στο πίνακα 3.7

Πίνακας 3.8: Διαμοίραση καναλιών.

Τύπος καναλιού	Κεντρική συχνότητα	Αριθμός καναλιών	Εύρος καναλιών	Προκαθορισμένος ρυθμός δεδομένων	Όριο ισχύος μετάδοσης	Όριο πυκνότητα ισχύος μετάδοσης
G5-CCH	5900 MHz	180	10 MHz	6 Mbits/s	33 dBm EIRP	23 dBm/MHz
G5-SCH2	5890 MHz	178	10 MHz	12 Mbits/s	23 dBm EIRP	13 dBm/MHz
G5-SCH1	5880 MHz	176	10 MHz	6 Mbits/s	33 dBm EIRP	23 dBm/MHz
G5-SCH3	5870 MHz	174	10 MHz	6 Mbits/s	23 dBm EIRP	13 dBm/MHz
G5-SCH4	5860 MHz	172	10 MHz	6 Mbits/s	0 dBm EIRP	-10 dBm/MHz
G5-SCH5	5850 MHz	182	10 MHz	6 Mbits/s	0 dBm EIRP	-10 dBm/MHz
G5-SCH6	5910 MHz	184	10 MHz	6 Mbits/s	0 dBm EIRP	-10 dBm/MHz
G5-SCH7	5470 έως 5725 MHz	94 έως 45	Ποικίλει	Εξαρτάται από εύρος καναλιού	30 dBm EIRP(DFS master)	17 dBm/MHz
					23 dBm EIRP(DFS slave)	10 dBm/MHz

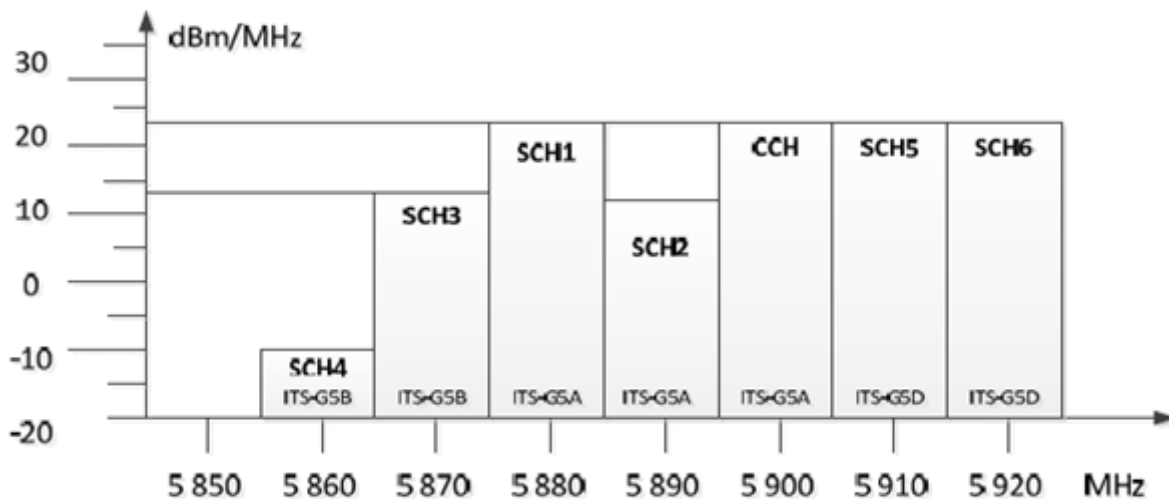
Στον πίνακα 3.8, παρουσιάζεται η κατανομή των καναλιών στις επιμέρους μπάντες συχνοτήτων και άρα στις επιμέρους εφαρμογές. Ένα φυσικό κανάλι χρησιμοποιείται ως κανάλι

ελέγχου (Control Channel, CCH) και ονομάζεται G5-CCH, ενώ επτά φυσικά κανάλια ανατίθενται σε επτά προκαθορισμένα κανάλια υπηρεσιών που ονομάζονται G5-SCHs. Η χρήση των G5-CCH, G5-SCH1 και G5-SCH2 αφορά κυρίως εφαρμογές ασφάλειας δρόμου, ενώ τα κανάλια G5-SCH3 έως G5-SCH5 είναι αφιερωμένα σε εφαρμογές διαχείρισης κίνησης.

Πίνακας 3.9: Κατανομή καναλιών σε μπάντες συχνοτήτων.

Μπάντα Συχνοτήτων	Τύπος καναλιού	Εύρος συχνοτήτων [MHz]	Αριθμός IEEE 802.11 καναλιών
ITS -G5A	G5-CCH	5895 έως 5905	180
	G5-SCH2	5885 έως 5895	178
	G5-SCH1	5875 έως 5885	176
ITS -G5B	G5-SCH3	5865 έως 5875	174
	G5-SCH4	5855 έως 5865	172
ITS -G5C	G5-SCH7	5.470 έως 5725	94 έως 45
ITS -G5D	G5-SCH5	5905 έως 5915	182
	G5-SCH6	5915 έως 5925	184

Στο Σχήμα 3.21, παρουσιάζονται τα όρια πυκνότητας φασματικής ισχύος για τη μετάδοσης σε κάθε κανάλι.



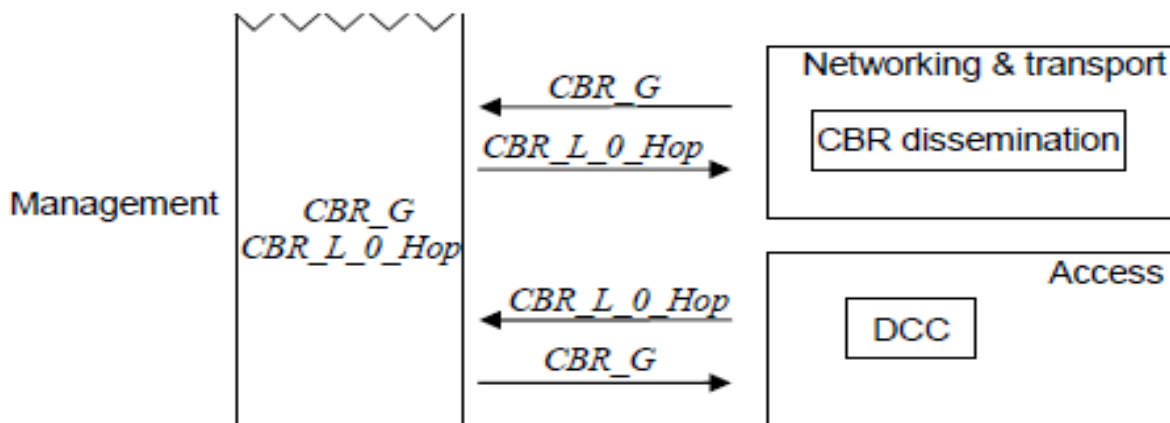
Σχήμα 3.23: Μέγιστη πυκνότητα φασματικής ισχύος μετάδοσης για κάθε κανάλι

3.2.2 Πρόσθετα στοιχεία της τεχνολογίας ITS-G5

Οι ITS εφαρμογές, κυρίως αυτές που σχετίζονται με την ασφάλεια, έχουν υψηλές απαιτήσεις ως προς την αξιοπιστία και την καθυστέρηση των μεταδιδόμενων δεδομένων. Δεδομένου του MAC πρωτοκόλλου και του περιορισμένου εύρους ζώνης της τεχνολογίας ITS-G5, το φορτίο δεδομένων της ασύρματης τεχνολογίας μπορεί να ξεπεράσει τη διαθέσιμη χωρητικότητα σε ορισμένες περιπτώσεις. Ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται DCC μέθοδοι ώστε να αποφευχθεί τυχούσα υπερφόρτωση των καναλιών και κάποια πιθανή ασταθής συμπεριφορά του συστήματος.

Η ανταλλαγή πληροφοριών βασίζεται στη διάδοση τιμών που λειτουργούν ως δείκτες κατάληψης καναλιού (Channel Busy Ratio, CBR) μεταξύ των ITS σταθμών. Η διάδοση των CBR τιμών γνωστοποιεί στους ITS σταθμούς πιθανή συμφόρηση καναλιού σε γειτονικούς ITS σταθμούς στους οποίους ενδεχομένως να συνέβαλε και ο αρχικός σταθμός που θα επιχειρήσει να μεταδώσει δεδομένα. Η αποστολή των CBR τιμών λαμβάνει χώρα στο στρώμα δικτύου και μεταφοράς λόγω, της ευρύτερης εκτίμησης της τοπολογίας του δικτύου και πραγματοποιείται κατά την αποστολή κάθε SHB πακέτου που δημιουργείται στο στρώμα δικτύου και μεταφοράς.

Οι πληροφορίες που ανταλλάσσονται παρέχουν στην οντότητα διαχείρισης του ITS σταθμού μια παράμετρο που ονομάζεται CBR_G . Αυτή η παράμετρος χρησιμοποιείται από τον αλγόριθμο DCC στο στρώμα πρόσβασης κατά τον υπολογισμό του επιτρεπτού χρόνου μετάδοσης μεταξύ των πακέτων. Επίσης στην οντότητα διαχείρισης διαβάζεται η τοπική τιμή CBR που συμβολίζεται ως $CBR_{L_0_Hop}$. Η τιμή αυτή μεταφέρεται στο στρώμα δικτύου και μεταφοράς για να τοποθετηθεί στο πακέτο. Επίσης η νέα τιμή που προκύπτει από τον αλγόριθμο DCC στο στρώμα πρόσβασης μεταφέρεται πίσω στην οντότητα διαχείρισης για να ανανεώνεται διαρκώς η τοπική τιμή CBR όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.22.



Σχήμα 3.24: Επισκόπηση της ανταλλαγής πληροφοριών και τοποθέτηση του DCC στη στοίβα πρωτοκόλλων.

Για να μπορέσει ένας GeoAdhoc δρομολογητής να εκτελέσει αυτές τις πρόσθετες λειτουργίες πρέπει να περιέχει κάποιες επιπλέον παραμέτρους στον πίνακα τοποθεσίας εκτός αυτών που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 3.1.1. Συγκεκριμένα:

- Χρονική σφραγίδα (τοπική ως προς τον σταθμό) της τελευταίας ανανέωσης του εκτεταμένου πίνακα τοποθεσίας, TST_G5.
- Χρονική σφραγίδα στο SO PV της επικεφαλίδα πακέτου SHB, TST_SO_PV_G5
- Τη ισχύ μετάδοσης του πακέτου, TX_POWER_G5
- Το δείκτη λαμβανόμενης ισχύος για το πακέτο που ανανέωσε τον εκτεταμένο πίνακα τοποθεσίας, RSSI_G5
- Το CBR_R_0_Hop, που είναι η διαδιδόμενη τοπική CBR τιμή (η τιμή CBR_L_0_Hop όταν μεταδίδεται μετατρέπεται σε CBR_R_0_Hop)
- Το CBR_R_1_Hop (η CBR_L_1_Hop αποτελεί τη μέγιστη τιμή CBR που έχει ληφθεί από γειτονικό σταθμό ITS σε ένα χρονικό διάστημα, όταν η τιμή αυτή μεταδίδεται γίνεται CBR_R_1_Hop).

Επιπλέον, τα SHB πακέτα διατηρούν την δομή που παρουσιάστηκε στο Σχήμα 3.11, όμως τα τέσσερα δεσμευμένα byte αντικαθίστανται από το πεδίο DDC-MCO, όπου

- Το πρώτο byte περιέχει το τρέχον CBR_L_0_Hop.
- Το δεύτερο byte περιέχει το τρέχον CBR_L_1_Hop.
- Τα πρώτα τέσσερα bit του τρίτου byte αποδίδουν την ισχύς εξόδου του μεταδιδόμενου πακέτου σε E.I.R.P, ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα παραμένουν ελεύθερα για μελλοντική χρήση.
- Το τέταρτο και τελευταίο byte είναι κρατημένα για το MCO.

Τέλος, το υπο-πεδίο TC ID, του πεδίου TC όπως φαίνεται στο Πίνακα 3.8, παρέχει ένα τρόπο για να απονέμεται προτεραιότητα μεταξύ των διάφορων ρών δεδομένων στο στρώμα δικτύωσης και μεταφοράς.

Πίνακας 3.10: Κατηγορίες κίνησης για την τεχνολογία ITS-G5.

TC ID	AC	Κανάλι	Μέγιστη Ισχύς Μετάδοσης[dbm]	MCS	Χρήση
0	AC_VO	CCH	33	6Mbps	DENM υψηλής προτεραιότητας
1	AC_VI	CCH	23	6Mbps	DENM
2	AC_BE	CCH	23	6Mbps	CAM
3	AC_BK	CCH	23	6Mbps	DENM πολλαπλών βημάτων και

Στην οντότητα πρωτοκόλλου πρόσβασης υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές ουρές δεδομένων. Για κάθε συχνότητα των καναλιών μετάδοσης, υπάρχει και ένα αντίστοιχο στρώμα/κατηγορία

πρόσβασης (Access Categories, AC). Αυτό περιέχει τη μέθοδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο, η οποία απονέμει προτεραιότητα σε κάθε ροή δεδομένων χρησιμοποιώντας διαφορετικές περιόδους ακρόασης (Arbitration Inter-Frame Space, AIFS) και διαφορετικά παράθυρα ανταγωνισμού (Contention Window, CW) για τις τέσσερις διαφορετικές ουρές. Οι πιθανές τιμές του TC-ID φαίνονται στον πίνακα 3.8.

3.3 Σύνοψη κεφαλαίου

- Τα πακέτα GeoNetworking περιέχουν ένα τμήμα το οποίο είναι κοινό για όλες τις τεχνολογίες πρόσβασης (ανεξάρτητο του μέσου) και ένα τμήμα το οποίο εξαρτάται από την τεχνολογία πρόσβασης.
- Κάθε GeoAdhoc δρομολογητής έχει μια διεύθυνση GN_Addr η οποία προσδιορίζει τα στοιχεία του.
- Κάθε GeoAdhoc δρομολογητής διατηρεί (i) ένα πίνακα τοποθεσίας που περιέχει πληροφορίες για άλλους σταθμούς που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο GeoNetworking και (ii) ένα τοπικό πίνακα τοποθεσίας που περιέχει πληροφορίες που σχετίζονται με το την τοποθεσία του σταθμού.
- Η επικεφαλίδα GeoNetworking χωρίζεται στην κοινή και στην εκτεταμένη επικεφαλίδα. Για τη διευκόλυνση της λειτουργικότητας κάθε επικεφαλίδας, αντίστοιχα, χρησιμοποιείται ο πίνακας μεγάλου και μικρού μήκους οι οποίοι περιέχουν πληροφορίες για την ενημέρωση των πινάκων τοποθεσίας των γειτονικών σταθμών. Η κοινή επικεφαλίδα συναντάται σε κάθε πακέτο, ανεξάρτητα από το σχήμα δρομολόγησης και τη λειτουργία που υλοποιείται. Η εκτεταμένη επικεφαλίδα περιλαμβάνει όσα πεδία έπονται της κοινής επικεφαλίδας και εξαρτάται από το είδος της εκπομπής και τη λειτουργία που υλοποιείται (GeoUnicast, TSH, SHB, GeoBroadcast/GeoAnycast, Beacon, Αίτηση LS, απάντηση σε LS).
- Οι λειτουργίες του GeoNetworking χωρίζονται σε εκείνες που αφορούν τη διαχείριση του δικτύου και σε εκείνες που αφορούν τη διαχείριση των πακέτων. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται δραστηριότητες όπως, (i) ρύθμιση των διευθύνσεων, (ii) ενημέρωση του τοπικού πίνακα τοποθεσίας και του χρόνου, (iii) σηματοδότηση και (iv) υπηρεσία εντοπισμού. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει (i) το καθορισμό του προορισμού (δρομολογητής ή γεωγραφική περιοχή) της T/GN6 SDU, (ii) την εκτέλεση λειτουργιών που σχετίζονται με το σχήμα δρομολόγησης, (iii) τη δημιουργία και τη μεταβίβαση της GN-PDU στο πρωτόκολλο του στρώματος ζεύξης δεδομένων μέσω της IN διεπαφής
- Κλασσική περίπτωση εξάρτησης από το μέσο αποτελεί η τεχνολογία WiFi. Για την δημιουργία ad hoc δίκτυα για την επικοινωνία οχημάτων, σχεδιάστηκε το πρότυπο 802.11p το οποίο επιτρέπει την OCB επικοινωνία απαλείφοντας κατ' αυτόν τον τρόπο λειτουργίες που σχετίζονται με την ασφάλεια και την εγκαθίδρυση της σύνδεσης.

Η OCB επικοινωνία επιτυγχάνεται είτε (i) μέσω της WAVE λειτουργία κατά την οποία η λήψη και αποστολή γίνονται μέσω wildcard BSSID, (ii) μέσω WBSS, (iii) συνδυασμό των δυο παραπάνω και (iv) χρήση DS.

Το φυσικό στρώμα χρησιμοποιεί την τεχνική OFDM όπως γίνεται και στο πρότυπο 802.11a με τη διαφορά ότι τα κανάλια που χρησιμοποιούνται είναι εύρους 10MHz, λόγω των μικρότερων ροών δεδομένων.

- Το πρότυπο 802.11r στην Αμερική εμπεριέχεται στην αρχιτεκτονική WAVE -ως εκ' τούτου πολλές φορές χρησιμοποιείται και ο όρος WAVE- ενώ στην Ευρώπη εμπεριέχεται στην τεχνολογία ITS-G5. Η τεχνολογία ITS G5 χρησιμοποιεί την πρώτη μέθοδο για την επίτευξη της OCB επικοινωνίας (BSSID wildcard). Επίσης, ένα από τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας αυτής είναι η χρήση DCC μεθόδων για την αποφυγή της υπερφόρτισης του δικτύου.

Για να μπορέσει ένας GeoAdhoc δρομολογητής να εκτελέσει αυτές τις πρόσθετες λειτουργίες πρέπει να περιέχει κάποιες επιπλέον παραμέτρους στον πίνακα τοποθεσίας και τα τέσσερα δεσμευμένα byte των πακέτων SHB αντικαθιστούνται από το πεδίο DDC-MCO.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΣΤΑ ΕΥΦΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Η τεχνολογία IEEE 802.11p αποτελεί το πρότυπο το οποίο υποστηρίζει τις ITS εφαρμογές σε ad hoc δίκτυα. Εύκολη υλοποίηση, χαμηλό κόστος, αποδεδειγμένη απόδοση είναι κάποια από τα πλεονεκτήματα της. Όμως, υποφέρει από προβλήματα επεκτασιμότητας, απεριόριστες καθυστερήσεις όταν δεν υπάρχουν ενδιάμεσοι κόμβοι και απουσία εγγυήσεων για συγκεκριμένο επίπεδο QoS. Επιπλέον, λόγω της περιορισμένης ραδιοεμβέλειας και της απουσίας συνεχούς κάλυψης από RSUs, η τεχνολογία αυτή μπορεί να προσφέρει μόνο διακοπτόμενη και μικρής διάρκειας V2I συνδεσιμότητα. Όλα τα ανωτέρω προκάλεσαν το ενδιαφέρον για τη χρήση των δικτύων τέταρτης γενιάς (Fourth Generation Networks 4G ή Long Term Evolution Networks, LTE) ως πιθανή τεχνολογία πρόσβασης για την υποστήριξη της επικοινωνίας σε δίκτυα οχημάτων.

Πίνακας 4.1: Κύριες υποψήφιες τεχνολογίες για τις on road επικοινωνίες.

Feature	WI-FI	802.11p	UMTS	LTE	LTE-A
Channel width	20 MHz	10 MHz	5 MHz	1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz	Up to 100 MHz
Frequency band(s)	2.4 GHz, 5.2 GHz	5.86–5.92 GHz	700–2600 MHz	700–2690 MHz	450 MHz–4.99 GHz
Bit rate	6-54 Mb/s	3–27 Mb/s	2 Mb/s	Up to 300 Mb/s	Up to 1 Gb/s
Range	Up to 100 m	Up to 1 km	Up to 10 km	Up to 30 km	Up to 30 km
Capacity	Medium	Medium	Low	High	Very High
Coverage	Intermittent	Intermittent	Ubiquitous	Ubiquitous	Ubiquitous
Mobility support	Low	Medium	High	Very high (up to 350 km/h)	Very high (up to 350 km/h)
QoS support	Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)	Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)	QoS classes and bearer selection	QCI and bearer selection	QCI and bearer selection
Broadcast/multicast support	Native broadcast	Native broadcast	Through MBMS	Through eMBMS	Through eMBMS
V2I support	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
V2V support	Native (ad hoc)	Native (ad hoc)	No	No	Potentially, through D2D
Market penetration	High	Low	High	Potentially high	Potentially high

Η τεχνολογία LTE είναι η τρέχουσα ασύρματη ευρυζωνική τεχνολογία, παρέχοντας υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και χαμηλό χρόνο καθυστέρησης σε κινητούς χρήστες. Όπως όλες οι κυψελωτές τεχνολογίες έχει ως πλεονεκτήματα τη μεγάλη περιοχή κάλυψης επιλύοντας το πρόβλημα της χαμηλής και διακοπτόμενης συνδεσιμότητας παρέχοντας τη δυνατότητα για V2I επικοινωνία ακόμα και σε κόμβους υψηλής ταχύτητας. Επίσης μέσω της εκμετάλλευσης των υποδομών του LTE δικτύου προσφέρεται η δυνατότητα για γεφύρωση του δικτύου σε σημεία όπου με άλλη τεχνολογία το δίκτυο θα κατακερματιζόταν καθιστώντας αδύνατη τη V2V επικοινωνία(π.χ όταν σε περιοχές με χαμηλή πυκνότητα οχημάτων δεν υπάρχει ενδιάμεσος κόμβος για να αναμεταδώσει το μήνυμα ή όταν η μετάδοση είναι αδύνατη λόγω απωλειών).

Επιπλέον, η τεχνολογία LTE έχει μεγαλύτερο βαθμό διείσδυσης καθώς είναι συμβατή με συσκευές κοινής χρήσης όπως smart phones και δεν απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό όπως η τεχνολογία 802.11p. Επίσης, η χωρητικότητα που προσφέρει τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη είναι υψηλή (75 και 300 Mbps αντίστοιχα) και δύναται να υποστηρίξει πολλά οχήματα ανά κυψέλη.

Ως εκ τούτου, η τεχνολογία LTE καλύπτει της απαιτήσεις του μεγάλου εύρους ζώνης και της ευαισθησίας σε QoS των infotainment εφαρμογών που περιλαμβάνουν παραδοσιακές αλλά και νέες εφαρμογές που βασίζονται στο Internet (κατέβασμα αρχείων, περιήγηση στο Διαδίκτυο, VoIP, εφαρμογές κοινωνικής δικτύωσης, πρόσβαση cloud κ.α). Η χρήση της, όμως, σε εφαρμογές που αφορούν την ασφάλεια στο δρόμο και τη διαχείριση της κίνησης παραμένει ακόμα πεδίο έρευνας.

Η κύρια ανησυχία προέρχεται από τη συγκεντρωτική αρχιτεκτονική της τεχνολογίας LTE. Η επικοινωνία μεταξύ καίτοι απαιτείται μόνο μια τοπική V2V ανταλλαγή δεδομένων δυο κόμβων περιλαμβάνει πάντα την επικοινωνία με μονάδες υποδομής, προκαλώντας μεγάλες καθυστερήσεις σε κρίσιμες εφαρμογές ασφάλειας. Κάθε φορά, απαιτείται η μετάδοση μέσω των κόμβων υποδομής στο κεντρικό δίκτυο και η διακοπή της κίνησης στον τελικό εξυπηρετητή ώστε να υπάρξει σωστή διανομή των πακέτων στην κάτω ζεύξη. Αυτό συνεπάγεται την ανάγκη για την ύπαρξη νέων εξειδικευμένων οντοτήτων δικτύου και νέων στοιχείων στο δίκτυο κορμού που θα εξασφαλίζουν τη σωστή διανομή των μηνυμάτων ακολουθώντας τα κατά περίπτωση κριτήρια.

Επίσης, αντίστοιχα με τον τρόπο (απλή εκπομπή ή ευρυεκπομπή) και το κανάλι μετάδοσης που επιλέγεται, υπάρχουν μεταβολές στην καθυστέρηση και το μέγιστο αριθμό των οχημάτων που μπορούν να εξυπηρετηθούν. Ακόμα, για τη μετάδοση ενός μηνύματος ένα όχημα ενδεχομένως να χρειαστεί να μεταβεί από ανενεργή σε ενεργή κατάσταση, δημιουργώντας πρόσθετη καθυστέρηση. Αυτό συμβαίνει γιατί τα προκειμένου να εξοικονομήσουν πόρους τα κυψελωτά

δίκτυα, είναι ρυθμισμένα να διατηρούν τα μη ενεργά τερματικά σε αδρανή κατάσταση και κάθε φορά που τα τερματικά μεταβαίνουν σε ενεργή κατάσταση απαιτείται η εγκατάσταση σύνδεσης. Τέλος, σε περιοχές υψηλής πυκνότητας οχημάτων, το υψηλό φορτίο που δημιουργείται από περιοδικά μεταδιδόμενα μηνύματα υπερβαίνει τη χωρητικότητα του δικτύου

4.1 Σύντομη περιγραφή των δικτύων LTE

Τα συστήματα LTE χαρακτηρίζονται από μια επίπεδη IP αρχιτεκτονική, με μειωμένο αριθμό συσκευών δικτύου σε σχέση με τα δίκτυα προηγούμενης γενιάς. Χάρη στην απλοποιημένη αρχιτεκτονική του, μπορεί να παρέχει θεωρητικά χρόνο ταξιδιού (Round Trip Time, RTT) μικρότερο από 10 ms. Το δίκτυο πρόσβασης αποτελείται από τους εξελιγμένους σταθμούς βάσης eNodeBs ή eNBs, οι οποίοι διαχειρίζονται τους ραδιοπόρους και τις μεταπομπές. Το δίκτυο κορμού αποτελείται από τρεις κύριες οντότητες: (i) την μονάδα διαχείρισης κινητικότητας (Mobile Management Entity, MME) που είναι υπεύθυνη για τις διαδικασίες ελέγχου και την αποθήκευση πληροφοριών που σχετίζονται με τη θέση του χρήστη, (ii) την πύλη εξυπηρέτησης (Server Gateway, S-GW) που είναι υπεύθυνη για τη δρομολόγηση και τη προώθηση δεδομένων όπως επίσης και για την επικοινωνία με τη μονάδα λογισμικού που ελέγχει την εφαρμογή της πολιτικής χρεώσεων, (iii) πύλη του δικτύου πακέτων και δεδομένων (Packet Data Network Gateway, P-GW) που είναι η οντότητα που επιτρέπει την επικοινωνία των δικτύων IP με δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος.

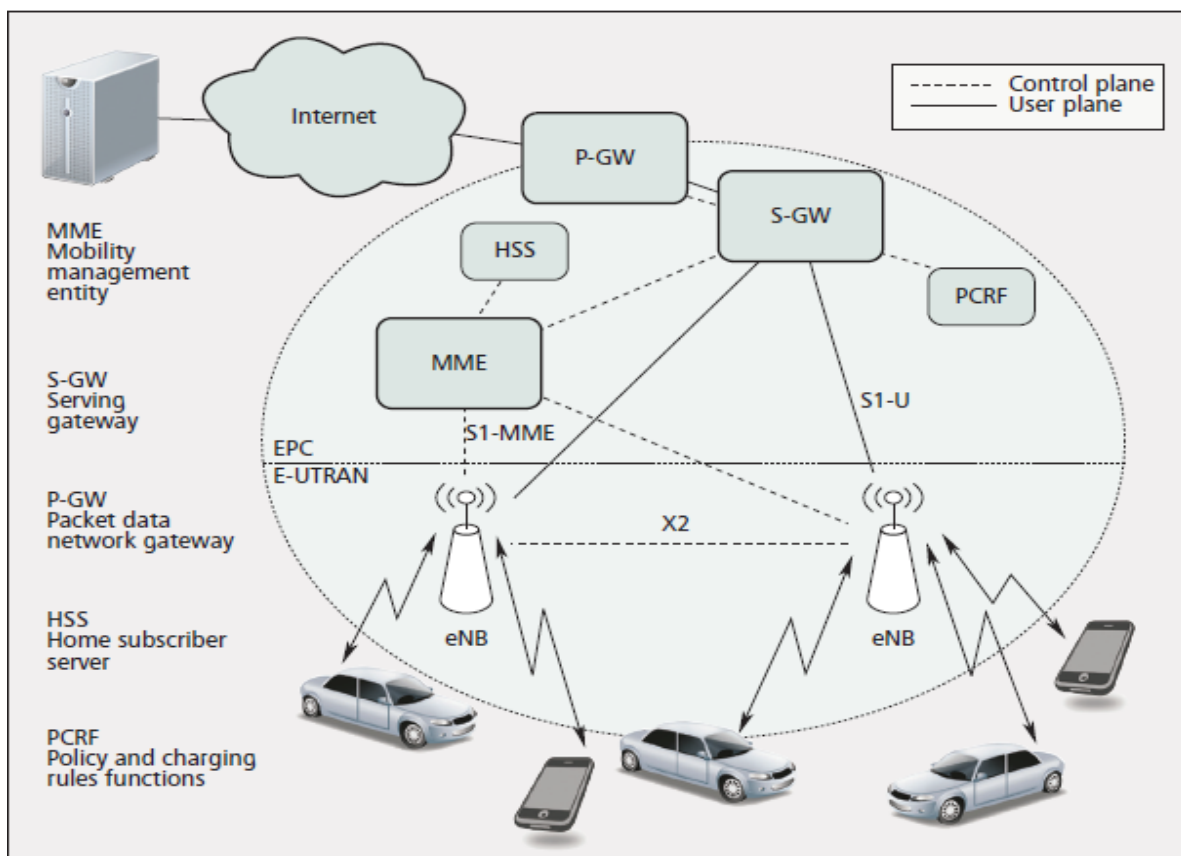
Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.1, το δίκτυο ράδιο-πρόσβασης (Evolved Terrestrial Radio Access Network, E-UTRAN) διαχειρίζεται τη ράδιο-επικοινωνία μεταξύ των κινητών σταθμών και του δικτύου κορμού (Evolve Packet Core, EPC). Ο κάθε κινητός σταθμός LTE κάθε χρονική στιγμή ανήκει σε μια κυψέλη του δικτύου και επικοινωνεί με ένα e-NB. Ο κάθε eNB επικοινωνεί με όλους τους κινητούς σταθμούς που είναι συνδεδεμένοι σε αυτό, μεταφέροντας δεδομένα από και προς αυτούς και επιπλέον ελέγχει βασικές λειτουργίες τους. Εκτός από τους κινητούς σταθμούς, ο κάθε eNB συνδέεται με το δίκτυο κορμού μέσω της διεπαφής S1, αλλά και με τους γειτονικούς σταθμούς eNB μέσω της διεπαφής X2, η οποία μεταφέρει κυρίως μηνύματα σηματοδότησης αλλά και προωθεί πακέτα δεδομένων στην περίπτωση μεταπομπής. Τέλος, το E-UTRAN συνδέεται με το δίκτυο κορμού μέσω της διεπαφής S1 μέσω της οποίας οι eNBs έχουν πρόσβαση στην πύλη εξυπηρέτησης και στη μονάδα διαχείρισης κινητικότητας.

Τα συστήματα LTE έχουν την ευελιξία να υποστηρίζουν διπλεξία διαίρεσης χρόνου (Time Division Duplex, TDD), διπλεξία διαίρεσης συχνότητας (Frequency Division Duplex, FDD) ενώ παρέχουν επίσης κανάλια μεταβλητού εύρους από 1.4 έως 20 MHz. Όσον αφορά την τεχνολογία πρόσβασης χρησιμοποιείται πολλαπλή πρόσβαση ορθογωνικής διαίρεσης συχνότητας στην κάτω ζεύξη (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA) και πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας απλής φέρουσας (Single Carrier OFDMA, SC-

OFDMA) στην άνω ζεύξη. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται τεχνολογίες πολλαπλής εσόδου και εξόδου οι οποίες βελτιώνουν την απόδοση φάσματος κατά ένα παράγοντα ίσο με 4 ακόμα και σε τερματικά υψηλής ταχύτητας, δημιουργώντας έτσι ευνοϊκές προϋποθέσεις για τη χρήση της LTE τεχνολογίας σε δίκτυα οχημάτων.

Τους ραδιοπόρους διαχειρίζονται οι eNBs σε κάθε διάστημα μετάδοσης (διάρκειας 1ms) με σκοπό την επίτευξη συγκεκριμένων επιπέδων QoS, αυξάνοντας παράλληλα το ποσοστό αξιοποίησης των καναλιών. Ρόλο κλειδί στους eNBs έχει ο οντότητα προγραμματισμού πακέτων, η οποία επιλέγει τη ροή που θα εξυπηρετηθεί με βάση τις σχετικές απαιτήσεις QoS όπως αυτές καθορίζονται από την κλάση αναγνώρισης QoS (QoS class identifier, QCI). Επίσης αποφασίζει το κατάλληλο σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης με βάση τα δεδομένα που λαμβάνει από τα κινητά τερματικά στο κανάλι απόδοσης.

Τέλος, τα δίκτυα LTE υποστηρίζουν πολυεκπομπή και ευρυεκπομπή υψηλής ποιότητας μέσω της υπηρεσίας εξελιγμένων πολυμέσων ευρυεκπομπής και πολυεκπομπής (Multimedia Broadcast Multicast Service, MBMS), οι οποία δίνει τη δυνατότητα αποστολής δεδομένων μόνο στους χρήστες είναι εγγεγραμμένοι στην παρεχόμενη υπηρεσία.



Σχήμα 4.1: Αρχιτεκτονική δικτύων LTE. Οντότητες δικτύους πρόσβασης και δικτύου κορμού.

4.2 Εφαρμοσιμότητα της LTE τεχνολογίας σε ITS εφαρμογές

Η καταλληλότητα των δικτύων LTE για την εξυπηρέτηση ITS εφαρμογών εξετάζεται ως προς το είδος των εφαρμογών, δηλαδή η για εφαρμογές ασφάλειας δρόμο ή για εφαρμογές διαχείρισης της κίνησης.

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 1.2.4 οι road safety εφαρμογές απαιτούν είτε την περιοδική V2V μετάδοση δεδομένων σε γειτονικούς κόμβους (CAMs) είτε τη σηματοδοτημένη από κάποιο γεγονός V2I ή V2V επικοινωνία (DENMs). Η μετάδοση τόσο των CAMs όσο και των DENMs εμπλέκει τη μετάδοση από το όχημα σε κάποιο κόμβο υποδομών και την επιτυχημένη διανομή της τηλεπικοινωνιακής κίνησης στα ενδιαφερόμενα οχήματα.

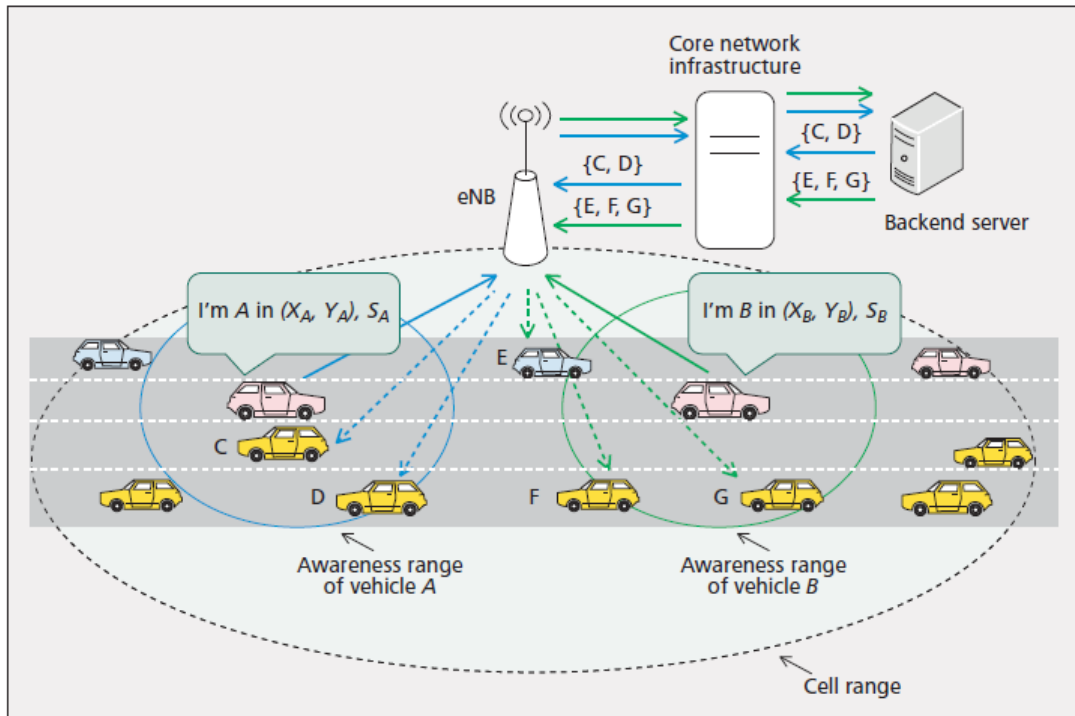
Στην άνω ζεύξη χρησιμοποιείται πάντα απλή εκπομπή, ενώ στην κάτω ζεύξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί απλή εκπομπή ή ευρυεκπομπή αξιοποιώντας τις MBMS δυνατότητες. Στην άνω ζεύξη, το πρόβλημα είναι η επιλογή του καταλληλότερου καναλιού για να μην υπάρχει κίνδυνος συγκρούσεων. Συνήθως, χρησιμοποιείται το κανάλι τυχαίας πρόσβασης (Random Access Channel, RACH). Στην κάτω ζεύξη, το πρόβλημα είναι η βέλτιστη επιλογή του τρόπου εκπομπής καθώς η ευρυεκπομπή είναι αποδοτικότερη ως προς τη διαχείριση των πόρων αλλά μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερες καθυστερήσεις λόγω της διαδικασίας εγκατάστασης MBMSs.

Και στις δυο περιπτώσεις μηνυμάτων, οι προδιαγραφές του ETSI προβλέπουν την παρουσία ειδικού back-end εξυπηρετητή με geocasting δυνατότητα, ο οποίος θα διακόπτει τη ροή της τηλεπικοινωνιακής κίνησης των οχημάτων για την επεξεργαστεί πριν την αναδιανείμει στα ενδιαφερόμενα οχήματα εντός μιας γεωγραφικής περιοχής. Για να μπορέσει ο εξυπηρετητής να αναγνωρίσει τα ενδιαφερόμενα οχήματα, πρέπει να διαθέτει κατάλογο των υπαρχουσών γεωγραφικών περιοχών και τις συντεταγμένες αυτών, τα οχήματα που βρίσκονται εντός κάθε περιοχής σε κάθε χρονική στιγμή, όπως επίσης τη διεύθυνση IP και τη θέση των οχημάτων. Αφού βρεθούν τα ενδιαφερόμενα οχήματα, ο εξυπηρετητής θα διαμοιράζει τη κίνηση μέσω MBMS ή πολλαπλών απλών συνδέσεων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι διαφορετικές προσεγγίσεις στον τρόπο ανάπτυξης του εξυπηρετητή έχουν διαφορετικές επιδράσεις στις διαδικασίες σηματοδοσίας. Αν ο εξυπηρετητής εγκατασταθεί στο δίκτυο κορμού του τηλεπικοινωνιακού παρόχου, τότε ίσως να μπορεί να ανταλλάσει πληροφορίες με την MME η οποία λαμβάνει συχνές ενημερώσεις για τις θέσεις των συνδεδεμένων οχημάτων. Αν βρίσκεται στο Internet, μη συνδεδεμένος με τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο, κάθε όχημα πρέπει να διατηρεί ξεχωριστή, μόνιμη και απευθείας σύνδεση με τον εξυπηρετητή ενημερώνοντας τον ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Όσον αφορά την υποστήριξη CAMs, η κύρια πρόκληση είναι να αποφευχθεί η υπερφόρτωση του συστήματος λόγω της μεγάλης τηλεπικοινωνιακής κίνησης που παράγεται. Αυτή η πρόκληση είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιοχές υψηλής πυκνότητας ή σε ώρες αιχμής. Τις περισσότερες φορές, το LTE δίκτυο αδυνατεί να εξυπηρετήσει τις απαιτήσεις μετάδοσης CAMs, όταν τα eNBs μεταδίδουν με απλή εκπομπή όλα τα ληφθέντα μηνύματα.

Για την καλύτερη αξιοποίηση των πόρων εξετάζεται η ευρυεκπομπή των CAMs, η οποία, όμως, απαιτεί την ύπαρξη του back-end εξυπηρετητή ως συντονιστή γιατί, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.2 όπου ο χρήστης A προσπαθεί να επικοινωνήσει με τα οχήματα C και D ενώ ο χρήστης B με τα οχήματα E, F και G, η περιοχή ενδιαφέροντος του μηνύματος διαφέρει από το εύρος κάλυψης της κυψέλης. Ακόμα βρίσκεται υπό μελέτη η συμπληρωματική χρήση της κυψελωτής τεχνολογίας και του 802.11p [i.19]. Επίσης, εξετάζεται η απλή εκπομπή CAMs με τη χρήση φίλτρων στην κάτω ζεύξη [i.20] ώστε να μειωθεί το φορτίο και να πληρούνται οι απαιτήσεις για την καθυστέρηση. Το φιλτράρισμα βασίζεται στην ιδέα ότι δεν απαιτείται να λαμβάνουν ένα CAM όλα τα οχήματα εντός της κυψέλης αλλά μόνο συγκεκριμένη ομάδων οχημάτων που διαθέτει κάποια χαρακτηριστικά, συνήθως γεωγραφικά, στα μέλη της οποίας αποστέλλεται με απλή εκπομπή το εκάστοτε CAM.



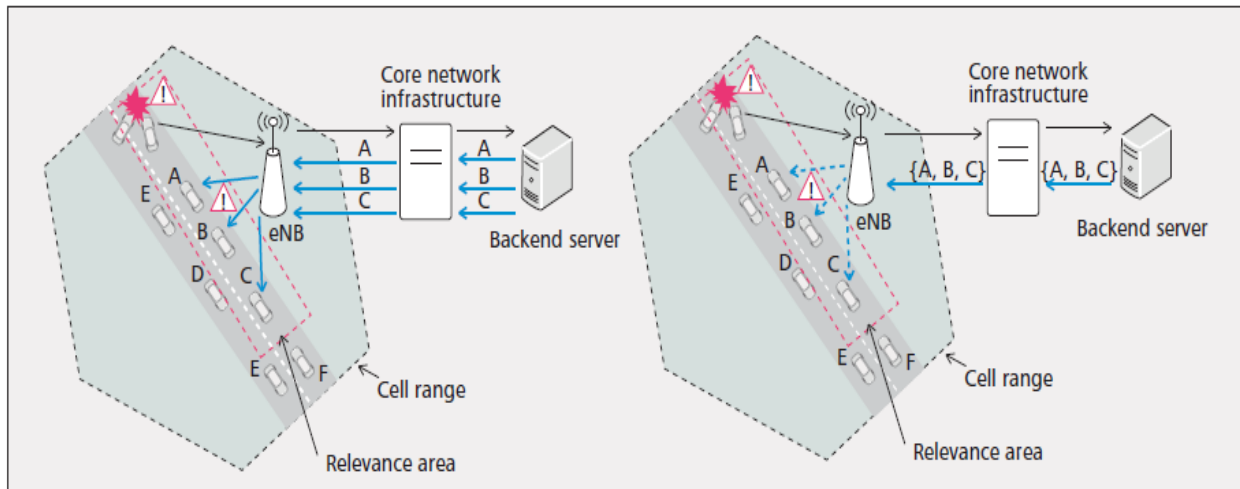
Σχήμα 4.2: Ευρυεκπομπή CAM σε δίκτυο LTE.

Σε αντίθεση με τα CAMs, τα DENMs παράγουν χαμηλότερο φορτίο αφού χρησιμοποιούν πόρους περιστασιακά και για μικρότερο χρονικό διάστημα. Συγκεκριμένα, τα DENMs παράγονται ως αντίδραση σε κάποιο κίνδυνο, έχουν περιορισμένο χρόνο ζωής και μειωμένο

αριθμό παραληπτών. Εδώ, η κύρια πρόκληση έγκειται στην ταυτόχρονη μετάδοση ειδοποιήσεων που αφορούν τον ίδιο κίνδυνο (τρακάρισμα, ολισθηρό έδαφος κλπ).

Σε αυτήν την περίπτωση, ο εξυπηρετητής έχει πάλι το ρόλο συγκεντρωτή και διαχειριστή. Φιλτράρει τις πολλαπλές ειδοποιήσεις γεγονότων στην άνω ζεύξη σύμφωνα με την τοποθεσία, το χρόνο και την επικεφαλίδα του εισερχόμενου μηνύματος, δημιουργώντας ένα ενοποιημένο μήνυμα το οποίο είναι το μόνο που θα αποσταλεί τελικώς [i.21]. Επιπλέον, το όχημα που ανίχνευσε το γεγονός λαμβάνει μια ειδοποίηση γνωστοποίησης, ώστε να μην πραγματοποιήσει μετάδοση του ίδιου DENM πολλές φορές.

Επιτυγχάνεται, λοιπόν, αποφυγή συμφόρησης και συγκρούσεων στην άνω ζεύξη αλλά και εξοικονόμηση πόρων στην κάτω ζεύξη. Επιπλέον, λόγω της ευρείας κάλυψης των δικτύων LTE, εξασφαλίζεται η διαμοίραση των DENMs ακόμα και αν δεν υπάρχουν οχήματα να λειτουργήσουν ως αναμεταδότες.



Σχήμα 4.3 : Απλή εκπομπή και πολυεκπομπή DENM σε δίκτυο LTE. Μόνο τα οχήματα εντός της περιοχής ενδιαφέροντος λαμβάνουν το μήνυμα.

Η δεύτερη κατηγορία εφαρμογών αφορά τις traffic efficiency, εφαρμογές που βασίζονται στη V2I επικοινωνία. Στην πραγματικότητα, λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασης ενός συστήματος RSUs με καθολική κάλυψη, υπάρχουν μόνο λίγα αραιά εγκατεστημένα, RSUs. Η χρήση, λοιπόν, της τεχνολογίας LTE που διαθέτει έτοιμες υποδομές που παρέχουν ευρεία κάλυψη μπορεί να ωφελήσει σε μεγάλο βαθμό τέτοιου είδους επικοινωνία.

Καίτοι δεν υπάρχουν αυστηρές απαιτήσεις ως προς την καθυστέρηση και την αξιοπιστία των FCD, αν η παραγωγή μηνυμάτων αυξηθεί αρκετά, μπορεί να υπερφορτωθεί η άνω ζεύξη και να δημιουργηθούν προβλήματα στις H2H επικοινωνίες. Ωστόσο, έρευνες έχουν δείξει ότι οι

πληροφορίες που συλλέγονται από τα οχήματα είναι αξιόπιστες ακόμα και όταν αυτές προκύπτουν μόνο από ένα μικρό ποσοστό της κίνησης του οδικού δικτύου.

Επίσης, προς μείωση του φορτίου λόγω FCD, έχει προταθεί μια υβριδική κυψελοποίηση [i.22] που βασίζεται στην συνεργασία του δικτύου LTE και της τεχνολογίας 802.11.p. Ο eNB είναι υπεύθυνος (i) για το σχηματισμό υποκυψελών μεταξύ των κόμβων και (ii) για την επιλογή ενός οχήματος ως αντιπροσώπου κάθε υποκυψέλης (Cluster Head, CH). Έπειτα, μόνο ο CH θα μεταδίδει τα συλλεγμένα FCD από την υποκυψέλη στον eNB, βελτιώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο τη διαχείριση φάσματος και ρυθμό παράδοσης πακέτων.

4.3 Μελλοντικές προοπτικές και ανάγκες.

Όπως αναφέρθηκε, ένα από τα μεγάλα μειονεκτήματα της τεχνολογίας LTE είναι η απουσία δυνατότητας για απευθείας V2V επικοινωνία. Μεγάλο μέρος της έρευνας επικεντρώνεται στο να γίνει εφικτή η απευθείας επικοινωνία συσκευής με συσκευής (Device to Device, D2D), χωρίς να διαμεσολαβεί ο eNB. Διαθέτοντας αυτή τη λειτουργία, τα τερματικά σε κοντινή απόσταση θα μπορούν να επικοινωνούν απευθείας απελευθερώνοντας πόρους του eNB. Αν και η D2D αποτελεί ελκυστική λύση, πρέπει πρώτα να διευθετηθούν κάποια σημαντικά ζητήματα, όπως οι παρεμβολές μεταξύ κυψελωτών και D2D επικοινωνιών αλλά και ο τρόπος απόφασης του eNB για το ποια από τις δυο μεθόδους επικοινωνίας είναι η πλέον συμφέρουσα λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση των οχημάτων

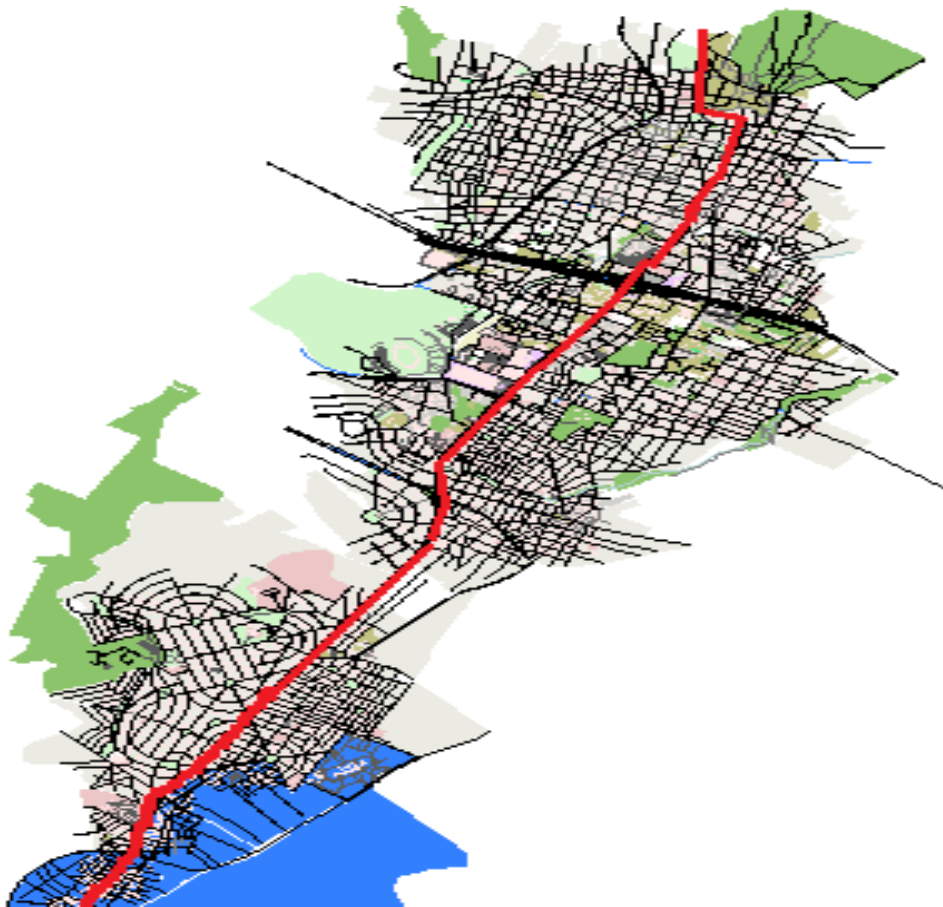
Αναγκαία είναι και η δημιουργία νέων οντοτήτων προγραμματισμού πακέτων καθώς οι παραδοσιακές H2H τεχνικές δεν μπορούν να εφαρμοσθούν απευθείας στις ITS εφαρμογές, ενώ επίσης δεν υπάρχει ακόμα αντιστοίχιση των εφαρμογών σε συγκεκριμένες LTE QoS κλάσεις. Επιπλέον, προκειμένου να καταστεί δυνατή η υποστήριξη ITS εφαρμογών από LTE δίκτυα είναι αναγκαίες οι προσθήκες διορθώσεων στα υπάρχοντα πρότυπα των διεθνών οργανισμών. Για παράδειγμα στο μοντέλο της αρχιτεκτονικής των ITS σταθμών πρέπει να προστεθούν πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο που θα επιλέγεται η τεχνολογία πρόσβασης των δικτύων LTE.

Τέλος σημαντικό ρολό θα διαδραματίσει και η δημιουργία κατάλληλων συσκευών. Αν και η συνδεσιμότητα με το LTE δίκτυο μπορεί να γίνει εύκολα μέσω smartphones υπάρχουν πολλές ανησυχίες για την καταλληλότητα τους λόγω του ότι (i) αποσπούν τον οδηγό, (ii) η εξάρτηση τους από μπαταρία καθιστά αναγκαίο το σχεδιασμό νέων κυκλωμάτων και πρωτόκολλων εξοικονόμησης ενέργειας. Ως εναλλακτική λύση εξετάζεται η ανάπτυξη εξειδικευμένων πλατφορμών εξοπλισμού που θα είναι εγκατεστημένες στο όχημα και θα τροφοδοτούνται από τη μπαταρία του οχήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

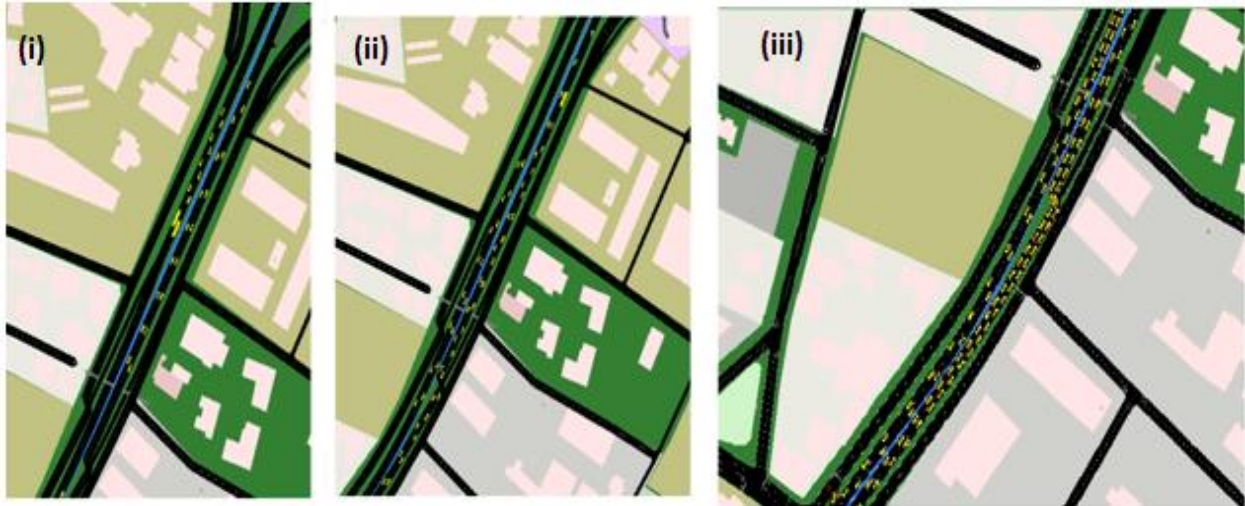
5.ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ 802.11p ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ITS ΣΤΑΘΜΩΝ ΕΠΙ ΤΗΣ ΛΕΩΦΟΡΟΥ ΚΗΦΙΣΙΑΣ

Για τη μελέτη της επίδοσης της ad hoc τεχνολογίας έγινε μια σειρά από προσομοιώσεις στο αστικό περιβάλλον της Αθήνας. Με τη χρήση του προγράμματος προσομοίωσης αστικής κινητικότητας (Simulation of Urban Mobility, SUMO) και του προγράμματος JOSM δημιουργήθηκε το γραφικό περιβάλλον της Λεωφόρου Κηφισίας με συνολικό μήκος 10.2 χλμ όπου τοποθετήθηκαν ροές οχημάτων τόσο στην άνοδο όσο και στην κάθοδο. Το αρχείο κινητικότητας από το χάρτη που δημιουργήθηκε στο SUMO χρησιμοποιήθηκε ως όρισμα στο Network Simulator 3.26, ώστε οι κόμβοι να αποκτήσουν τη δυνατότητα παραγωγής τηλεπικοινωνιακής κίνησης.

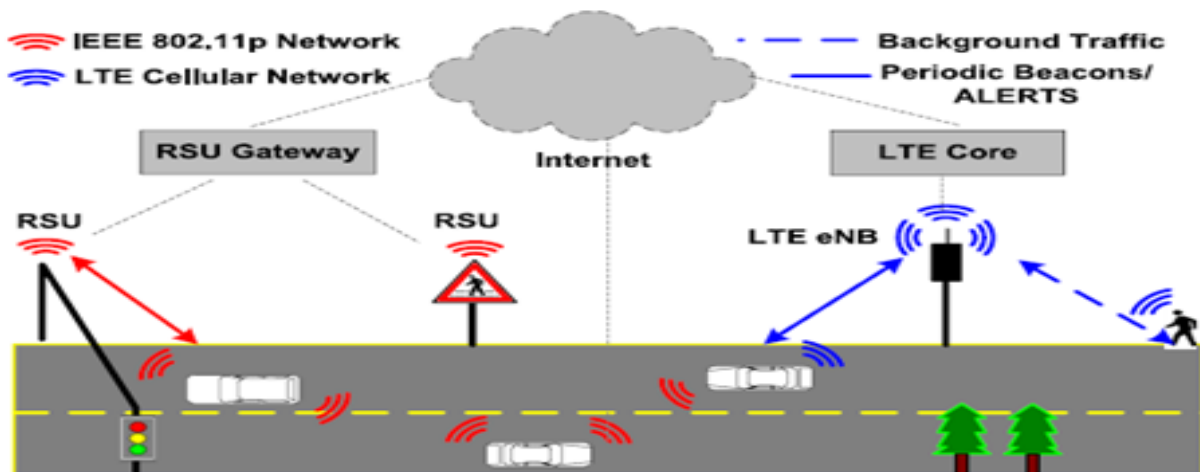


Σχήμα 5.1: Μορφοποίηση της Λεωφόρου Κηφισίας με το πρόγραμμα SUMO.

Εξετάστηκαν τρία σενάρια ως προς το πλήθος των οχημάτων: (i) χαμηλό, όπου κατά μέσο όρο βρισκόταν 500 οχήματα επί της Κηφισίας κάθε χρονική στιγμή, (ii) μέτριο, όπου κατά μέσο όρο βρισκόταν 1000 οχήματα επί της Κηφισίας κάθε χρονική στιγμή και (iii) υψηλό, όπου κατά μέσο όρο βρισκόταν 2000 οχήματα επί της Κηφισίας κάθε χρονική στιγμή. Για όλα τα σενάρια η κίνηση από επιμέρους παράπλευρους δρόμους που βρίσκονται σε όλο το μήκος της Λεωφόρου αγνοήθηκε. Επίσης, κατά τη χρονική διάρκεια της προσομοίωσης το πλήθος των οχημάτων παρουσίαζε μια διασπορά ως προς την μέση τιμή του, της τάξης του 10% με 20%.



Σχήμα 5.2: Στιγμιότυπο για τα τρία διαφορετικά σενάρια κίνησης (i)χαμηλή, (ii) μέτρια, (iii) υψηλή. Η μελέτη που έγινε αφορά την ευρυεκπομπή CAMs, που αποτελούν τον κύριο όγκο του φορτίου στα δίκτυα των ITS. Εκ τούτου, σε όλα τα οχήματα ανατέθηκε να εκπέμπουν ανά συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μηνύματα μέσω των οποίων γνωστοποιούν πληροφορίες για την κατάσταση τους. Τα μηνύματα που αποστέλλονται έχουν μέγεθος $PacketSize = 400$ bytes, με μέγιστο χρόνο αναμονής στην ουρά 50 ms.



Σχήμα 5.3: Δίκτυο οχημάτων με τη χρήση της τεχνολογίας 802.11p και LTE.

Για κάθε σενάριο μεταβλήθηκαν οι εξής παράμετροι : (i) Συχνότητα αποστολής CAMs από 1 έως 10 Hz, (ii) μέση ταχύτητα των οχημάτων από 30 έως 80 χλμ/ώρα. Για κάθε ένα από τα τρία μεγέθη που παρουσιάζονται στη συνέχεια μετρήθηκαν τα αποτελέσματα ανά δευτερόλεπτο και τέλος μετρήθηκε ο μέσος όρος τους για συνολικά 700 δευτερόλεπτα προσομοίωση. Τα μεγέθη που καταγράφηκαν ήταν :

- Διεκπεραιωτική ικανότητα (throughput) σε kbps ανά χρήστη που προσδιορίστηκε μέσω της εξίσωσης:

$$\text{throughput} = \frac{\text{TotalCAMsBytesReceived}_t * \text{PacketSize} * 8}{\text{NumberOfLinks}_t * 1000} \quad (5.1)$$

όπου $\text{TotalCAMsBytesReceived}_t$ είναι το πλήθος των CAMs που μεταδόθηκαν κάθε δευτερόλεπτο και NumberOfLinks_t ο αριθμός των τηλεπικοινωνιακών συνδέσεων στην προσομοίωση κάθε δευτερόλεπτο και PacketSize το μέγεθος του πακέτου.

- Η μέση καθυστέρηση από άκρο σε άκρο (mean end to end delay, ME2E) σε ms που προσδιορίστηκε μέσω της εξίσωσης:

$$\text{ME2E} = \frac{\sum_{n=1}^{\text{Nodes}} \sum_{m=1, m \neq n}^{\text{Nodes}} \frac{\sum_{i=1}^{\text{NumberOfPacketsRxInCoveragefromNodem}} \text{EndToEnd}_i}{\text{NumberOfPacketsRxInCoveragefromNodem}}}{\text{NumberOfLinksWithTransmittedPacket}} \quad (5.2)$$

Όπου Nodes ο αριθμός των κόμβων/οχημάτων, $\text{NumberOfPacketsRxInCoverage}$ ο συνολικός αριθμός των πακέτων που έλαβε ο κόμβος n από τον κόμβο m εντός της περιοχής κάλυψης των 300 μέτρων, EndToEnd_i η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση κάθε πακέτου που έλαβε ο κόμβος n από τον κόμβο m και $\text{NumberOfLinksWithTransmittedPacket}$ το πλήθος των τηλεπικοινωνιακών συνδέσεων στις οποίες μεταδόθηκε πακέτο.

- Ρυθμός παράδοσης πακέτων (Packet Delivery Ratio, PDR) που προσδιορίστηκε μέσω της εξίσωσης 5.3

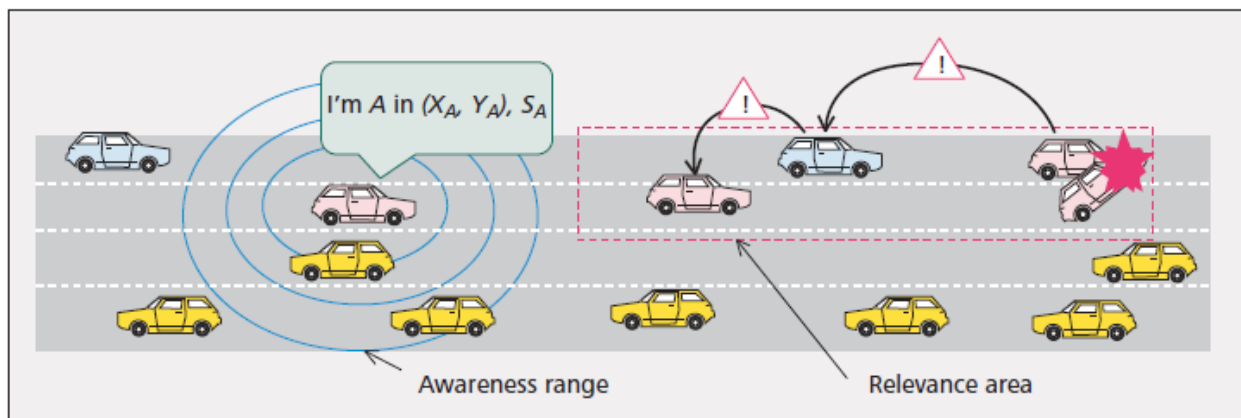
$$\text{PDR} = \frac{\text{TotalPktInCoverageReceived}}{\text{TotalPktExpectedReceived}} \quad (5.3)$$

Όπου $\text{TotalPktInCoverageReceived}$ είναι ο αριθμός των πακέτων που παραδόθηκαν σε χρήστες εντός της ζώνης των 300 μέτρων και $\text{TotalPktExpectedReceived}$ ο αριθμός των πακέτων που αποστάλθηκαν εντός της ζώνης 300 μέτρων. Οι λόγοι απωλειών πακέτου σε μπορεί να είναι : (i) απώλεια σύνδεσης λόγω της ταχείας μετακίνησης των οχημάτων (στα ad hoc δίκτυα), (ii) έντονη συμφόρηση του τηλεπικοινωνιακού καναλιού, (iii) απώλειες διάδοσης.

5.1 Χρήση της τεχνολογίας 802.11p

Αν και όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 1.2.2 το πρωτόκολλο που έχουν παγιωθεί από τον ETSI είναι το BTP/GeoNetworking, σύμφωνα με το [i.23] η χρήση UDP/IP είναι ισοδύναμη όσο αφορά τη μελέτη των καναλιών κατά τη μετάδοση CAMs. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η προσαρμογή των επικεφαλίδων των UDP/IP πακέτων ώστε να είναι όμοια με την περίπτωση μετάδοσης BTP/ GeoNetworking.

Με βάση το [i.23] σε κάθε κόμβο εγκαταστάθηκε μια συσκευή 802.11p που τηρεί τις προδιαγραφές που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 3.2. Το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν QPSK με ρυθμό μετάδοσης 6Mbps, ενώ η μετάδοση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε στο κανάλι ελέγχου G5-CCH με ισχύ μετάδοσης 23dBm και κέρδος πομπού 3dBm. Στον δέκτη, το κατώφλι λήψης τέθηκε στα -95dBm και το κατώφλι εκτίμησης ελεύθερου καναλιού (Clear Channel Assessment, CCA) στα -98dBm, ενώ για τον υπολογισμό των απωλειών κατά μήκος της διαδρομής χρησιμοποιήθηκε λογαριθμικό μοντέλο απωλειών με εκθέτη απώλειας διαδρομής $n=3$ και οι διαλείψεις του διαύλου προσεγγίσθηκαν από το μοντέλο Nakagami.



Σχήμα 5.4: Μετάδοση V2V μηνυμάτων σε δίκτυο βασισμένο στο 802.11p.

5.1.1 Επίδραση της συχνότητας αποστολής των CAM

Για την πρώτη προσομοίωση μεταβλήθηκε η συχνότητα αποστολής μηνυμάτων CAM από 1 έως 10 Hz, δηλαδή το πλήθος των μηνυμάτων CAM που ευρεσκεπέμπει ένα όχημα μεταβάλλεται από 1 έως 10 μηνύματα ανά δευτερόλεπτο. Αν και στη βιβλιογραφία έχουν βρεθεί και εφαρμογές που χρησιμοποιούν τη συχνότητα των 20Hz, επειδή είναι λίγες και σπάνιες ως προς τη χρήση θεωρήθηκε σκόπιμο να μην εξεταστούν. Στους πίνακες 5.1 έως 5.3 φαίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα τρία σενάρια πλήθους οχημάτων κίνησης,

με μέγιστη ταχύτητα οχήματος τα 55km/h. Με βάση αυτά χαράχτηκαν οι γραφικές παραστάσεις για το κάθε μετρήσιμο μέγεθος που φαίνονται στα σχήματα 5.5 έως 5.7.

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα για σενάριο χαμηλό πλήθος οχημάτων.

Συχνότητα αποστολής CAMs(Hz)	Throughput(Kbps)	PDR (%)	End to End Delay(ms)
1	1.982	61.9	1.228
2	3.928	61.9	1.232
4	7.817	61.8	1.23
6	11.26	61.8	1.231
8	15.084	61.8	1.231
10	18.982	61.8	1.231

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα για σενάριο μέτριο πλήθος οχημάτων.

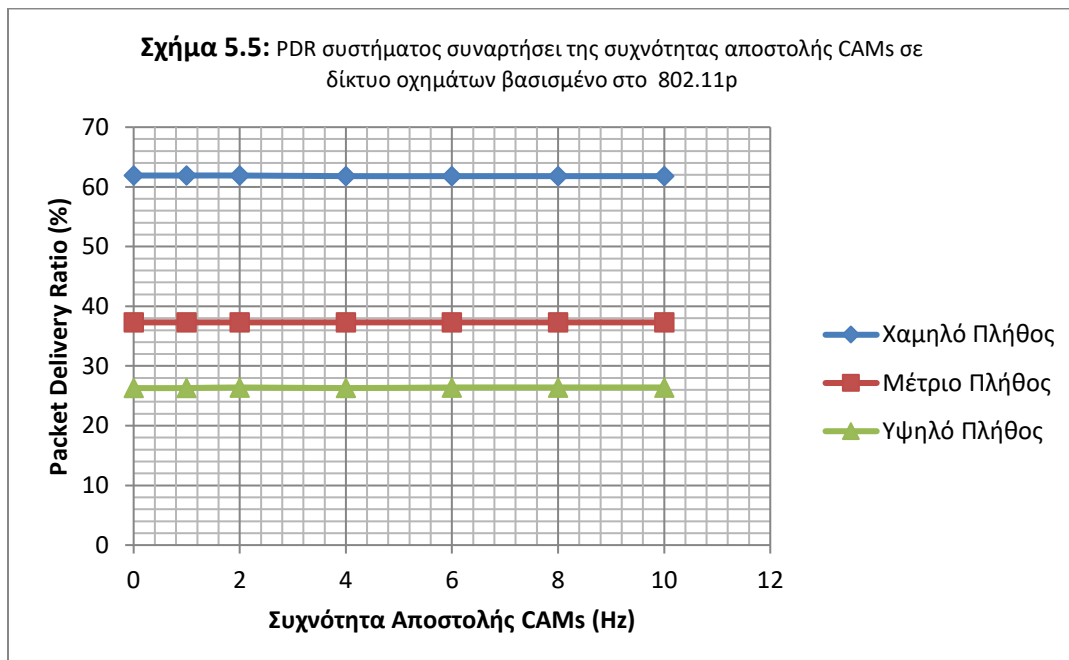
Συχνότητα αποστολής CAMs(Hz)	Throughput(Kbps)	PDR (%)	End to End Delay(ms)
1	0.894	37.3	3.705
2	1.908	37.3	3.823
4	4.208	37.3	3.912
6	6.608	37.3	3.982
8	8.905	37.3	3.987
10	11.237	37.3	4.011

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα για σενάριο υψηλό πλήθος οχημάτων.

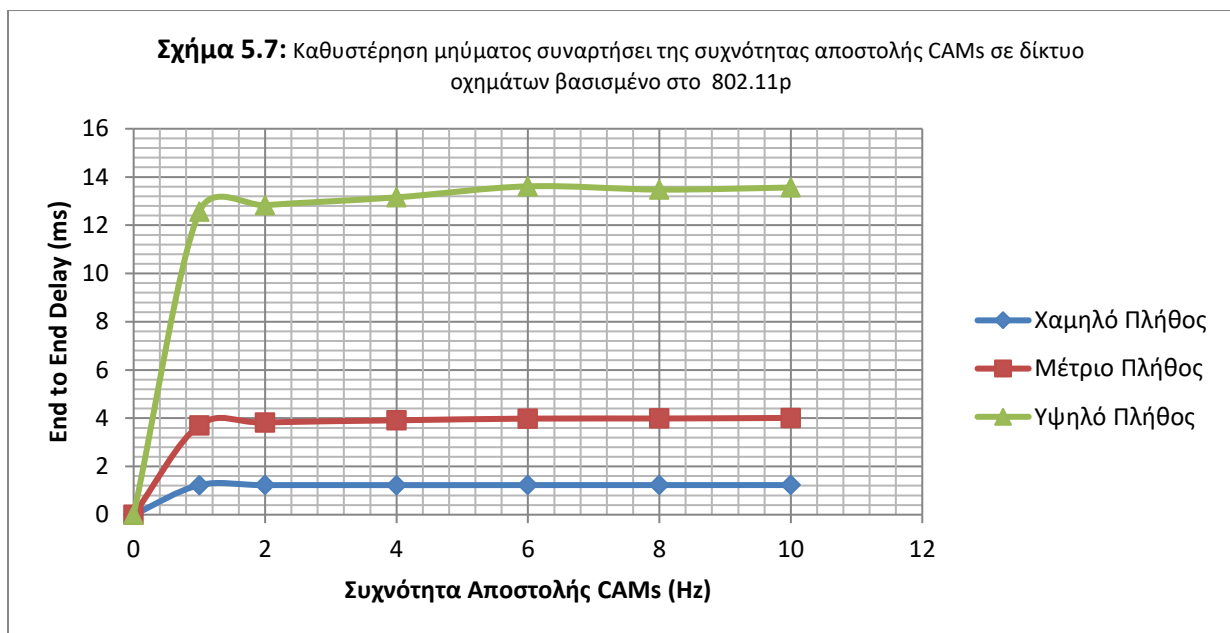
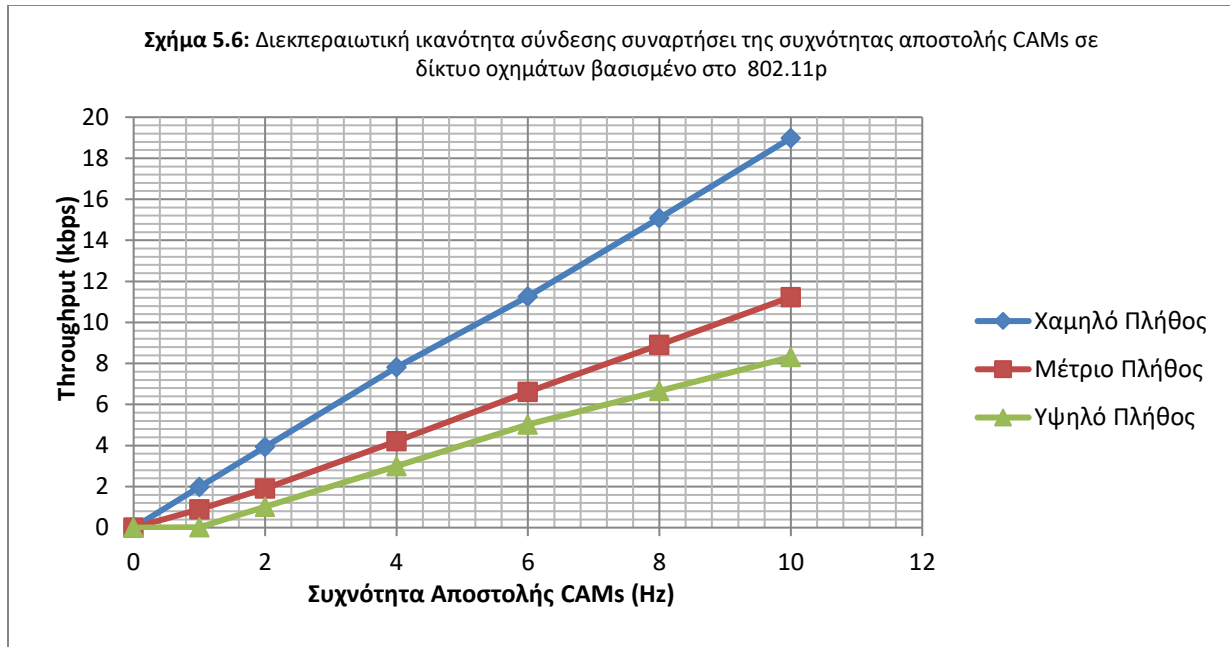
Συχνότητα αποστολής CAMs(Hz)	Throughput(Kbps)	PDR (%)	End to End Delay(ms)
1	0.022	26.3	12.559
2	1.018	26.4	12.831
4	2.991	26.3	13.155
6	5.019	26.4	13.612
8	6.656	26.4	13.471
10	8.313	26.4	13.563

Μια καλή εκτίμηση για την αξιοπιστία του συστήματος μπορεί να γίνει από το ποσοστό παράδοσης πακέτων. Όπως ήταν αναμενόμενο καθώς αυξάνεται το πλήθος των οχημάτων το PDR μειώνεται, δηλαδή χάνονται όλο και περισσότερα πακέτα. Αυτό που δεν ήταν αναμενόμενο είναι η σταθερότητα του PDR με την αύξηση της συχνότητας αποστολής CAMs. Όπως έχει φανεί σε άλλες έρευνες [i.24] η

αύξηση της συχνότητας αποστολής CAMs προκαλεί μείωση του ποσοστού παράδοσης πακέτων γιατί προκαλείται μεγάλη συμφόρηση στο κανάλι, οδηγώντας σε κορεσμό της χωρητικότητας του καναλιού. Η εξήγηση είναι πως στη τοπολογία που εξετάζεται –κίνηση σε Λεωφόρο-, αντίθετα με άλλες έρευνες που διεξήχθησαν σε χαμηλότερες ταχύτητες, ο κύριος παράγοντας απώλειας πακέτων είναι η απώλεια σύνδεσης λόγω της ταχείας μετατόπισης των οχημάτων. Συνεπώς, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των οχημάτων, τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα να διασταυρωθούν οχήματα και να αποκαταστήσουν σύνδεση που θα χαθεί, συμβάλλοντας στη μείωση του PDR. Επιπλέον, η εναπομείνασες συνδέσεις, που έχουν εγκατασταθεί με επιτυχία, δεν αντιμετωπίζουν μεγάλη συμφόρηση στο κανάλι και συνεχίζουν να μεταδίδουν τα μηνύματα τους με επιτυχία, διατηρώντας το ποσοστό απεσταλμένων και ληφθέντων μηνυμάτων αναλογικό και άρα το PDR σταθερό.



Όσον αφορά το throughput, όπως ήταν αναμενόμενο, αυξάνεται καθώς η συχνότητα αποστολής CAMs αυξάνεται και το πλήθος το μηνυμάτων που μεταφέρονται σε κάθε σύνδεση μεγαλώνει. Δραστική μείωση παρατηρείται με την αύξηση του αριθμού των οχημάτων. Αυτό οφείλεται στο ότι με την αύξηση των οχημάτων το πλήθος των συνδέσεων αυξάνεται τετραγωνικά. Σε πολλές, όμως, από αυτές τις συνδέσεις δεν υπάρχει μεταφορά πακέτων για τους λόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι το φορτίο που δημιουργείται σε κάθε σύνδεση, σε κάθε περίπτωση πλήθους οχημάτων και συχνότητας αποστολής CAMs, παραμένει χαμηλό σε σύγκριση με άλλες τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές όπως τις infotainment.



Τέλος, παρατηρώντας το διάγραμμα της καθυστέρησης γίνεται αντιληπτό ότι όσο περισσότερα είναι τα οχήματα στο οδικό δίκτυο τόσο περισσότερο χρόνο χρειάζονται τα μηνύματα που αποστέλλουν για να φθάσουν στον τελικό παραλήπτη. Επίσης, παρατηρείται ότι υπάρχει και σχετική αύξηση της καθυστέρησης με την αύξηση της συχνότητας αποστολής CAMs. Σε αραιά δίκτυα η διαφορά αυτή είναι αμελητέα καθώς τα μηνύματα που μεταφέρονται στο κανάλι είναι πολύ λίγα. Καθώς όμως ο αριθμός των οχημάτων αυξάνεται και άρα τα απεσταλμένα μηνύματα αυξάνονται, η πρόσθετη αύξηση λόγω της συχνότητας μετάδοσης CAMs αρχίζει να δημιουργεί αισθητά αποτελέσματα στην καθυστέρηση. Από τους πίνακες 5.1 έως 5.3, φαίνεται ότι ενώ αρχικά αυτή η διαφορά ήταν αμελητέα, της τάξης περίπου των 3μs, αργότερα αρχίζει να γίνεται αισθητή με 300μs και 1 ms αντίστοιχα.

5.1.2 Επίδραση της ταχύτητας των οχημάτων

Για το δεύτερο είδος προσομοιώσεων μεταβλήθηκε η μέγιστη ταχύτητα των οχημάτων από 30 έως 80 km/h. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε αντίθεση με το πρώτο είδος προσομοιώσεων, εδώ η τοπολογία δεν παραμένει ίδια για τα επιμέρους σενάρια, καθώς μεταβάλλοντας ταχύτητα αλλάζει η θέση των οχημάτων σε κάθε χρονική στιγμή. Ως εκ τούτου, στις προσομοιώσεις υψηλών ταχυτήτων προστέθηκαν ροές οχημάτων ώστε να αντισταθμίζεται ο ταχύτερος ρυθμός εξόδου των οχημάτων από την προσομοίωση, ενώ στις χαμηλότερες το αντίθετο. Τέλος, όλες οι προσομοιώσεις έγιναν με τη συχνότητα εκπομπής CAMs ρυθμισμένη στα 10Hz που είναι και η συνηθέστερη περίπτωση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 5.4 έως 5.6 ενώ στα σχήματα 5.8 έως 5.10 φαίνονται οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις που προέκυψαν.

Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα για σενάριο χαμηλού πλήθους.

Μέγιστη Ταχύτητα (km/h)	Throughput(Kbps)	PDR(%)	End to End Delay(ms)	Αριθμός οχημάτων
30	19.817	63.9	1.281	471
40	19.744	63.9	1.175	477
50	19.162	62.3	1.165	460
60	17.267	56.5	1.215	479
70	15.898	52.2	1.561	479
80	15.384	40.6	1.592	475

Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα για σενάριο μέτριου πλήθους.

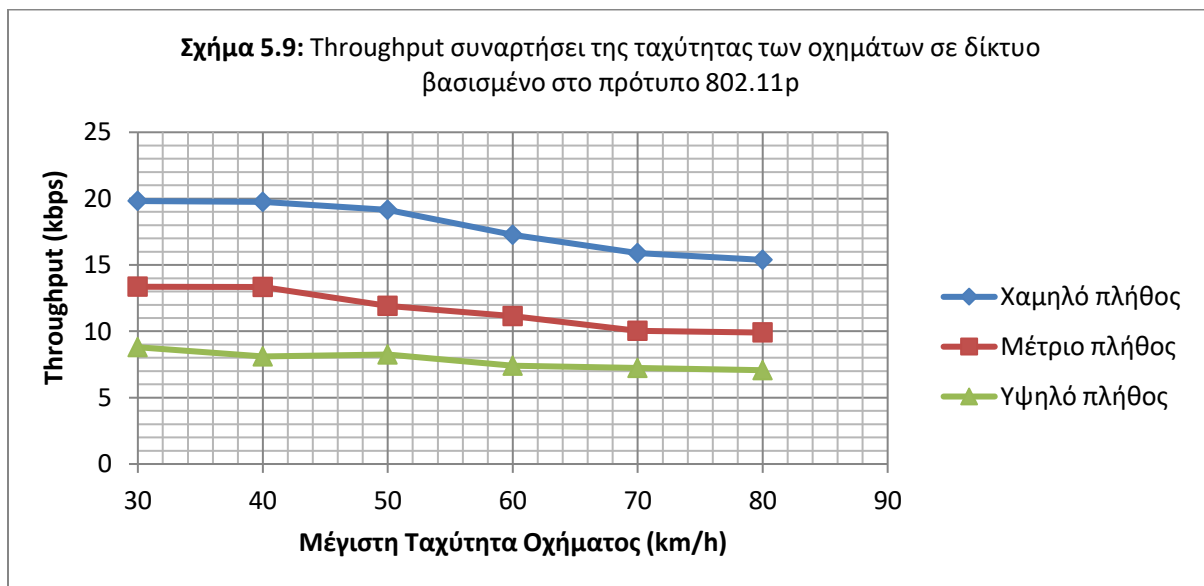
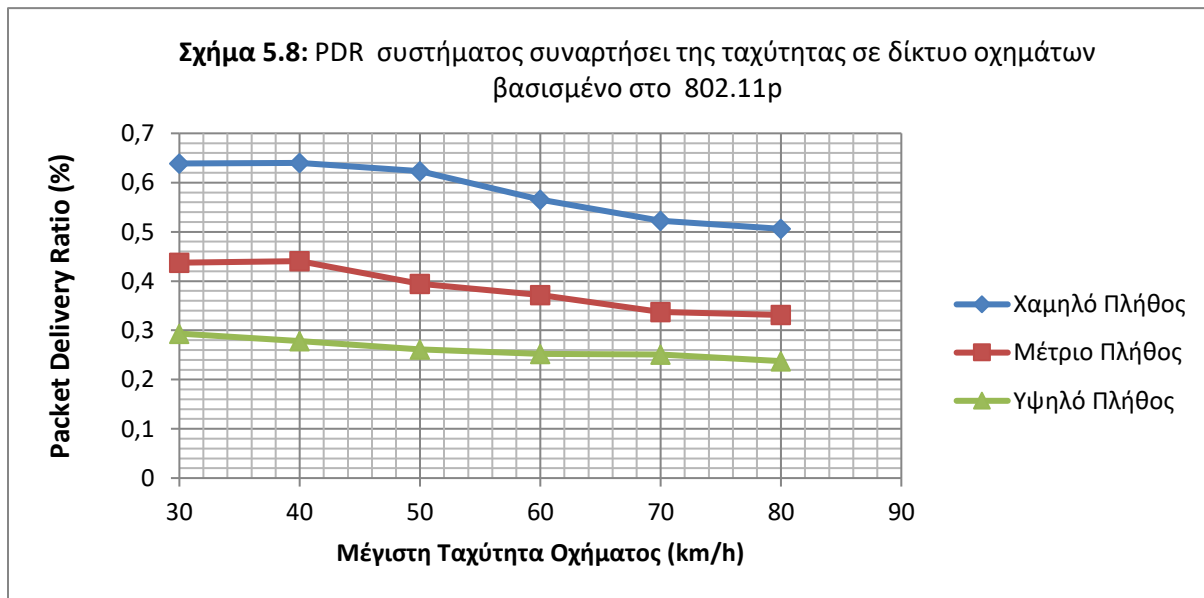
Μέγιστη Ταχύτητα (km/h)	Throughput(Kbps)	PDR(%)	End to End Delay(ms)	Αριθμός οχημάτων
30	13.3586	43.7	3.583	952
40	13.34	44	3.372	900
50	11.91	39.4	3.384	941
60	11.1357	37.1	3.702	947
70	10.0314	33.7	3.567	939
80	9.90571	33.1	4.950	982

Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα για σενάριο υψηλού πλήθους.

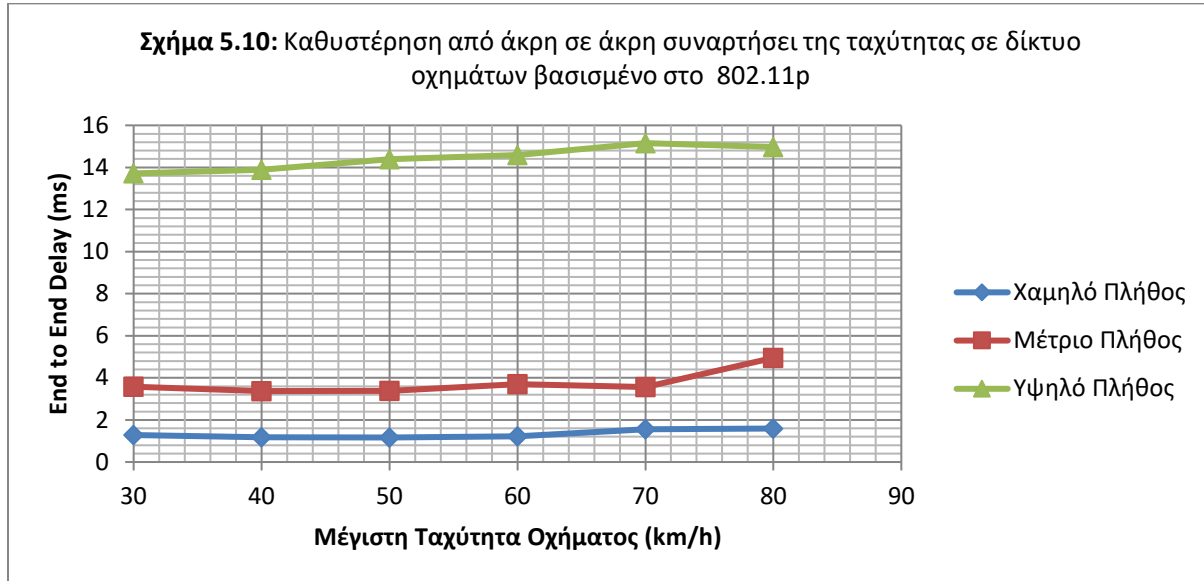
Μέγιστη Ταχύτητα (km/h)	Throughput(Kbps)	PDR (%)	End to End Delay(ms)	Αριθμός οχημάτων
30	8.80	29.3	13.715	2001
40	8.11	27.8	13.894	1974
50	8.25	26.1	14.394	1963
60	7.41	25.1	14.592	2003
70	7.25	25.0	15.154	1986
80	7.07	23.7	14.966	2007

Με την αύξηση της ταχύτητας παρατηρείται μείωση του ρυθμού παράδοσης πακέτων καθώς τα οχήματα απομακρύνονται ταχύτερα μεταξύ τους και άρα αυξάνεται η πιθανότητα απώλειας σύνδεσης. Επίσης, η κλίση της καμπύλης μειώνεται όσο αυξάνεται το πλήθος των οχημάτων, δηλαδή σε δίκτυα με χαμηλό πλήθος οχημάτων η μείωση του PDR λόγω της αύξησης της ταχύτητας γίνεται πιο αισθητή. Αυτό αποδίδεται στο ότι στα αραιά δίκτυα είναι ευκολότερο να κατακερματιστεί το δίκτυο σε αντίθεση με τα δίκτυα υψηλότερου αριθμού οχημάτων όπου η επίτευξη συνδεσιμότητας είναι ευκολότερη.

Ως συνέπεια των προηγούμενων προκύπτει και αντίστοιχη μείωση του throughput. Πράγματι, με την αύξηση της ταχύτητας, το πλήθος των πακέτων που φθάνουν στον τελικό προορισμό μειώνεται, ενώ επίσης τα πυκνότερα δίκτυα είναι ευκολότερο να διατηρήσουν συνδέσεις με επιτυχώς μεταδιδόμενα πακέτα.



Τέλος η καθυστέρηση παραμένει σχεδόν σταθερή με μικρές αυξομειώσεις για μεγάλο εύρος ταχυτήτων, εμφανίζοντας όμως εντονότερες αυξήσεις στις υψηλές ταχύτητες. Αυτή η διαφοροποίηση αποδίδεται κυρίως στην απότομη αύξηση της απόστασης μεταξύ των οχημάτων που παρουσιάζεται σε σενάρια υψηλών ταχυτήτων.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Όπως ήταν αναμενόμενο τόσο η αύξηση του πλήθους των οχημάτων όσο και η αύξηση της ταχύτητας τους έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στα αποτελέσματα. Μεγαλύτερο πλήθος οχημάτων συνεπάγεται ότι περισσότεροι χρήστες ανταγωνίζονται για τους πόρους του καναλιού και ότι υπάρχει αύξηση του τηλεπικοινωνιακού όγκου δεδομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα (i) τη μείωση του ρυθμού παράδοσης πακέτων εφόσον όλο και χαμηλότερο ποσοστό χρηστών μπορεί να έχει πρόσβαση στο κανάλι και αρά απορρίπτονται περισσότερα μηνύματα, (ii) τη μείωση του ρυθμού μετάδοσης κάθε σύνδεση καθώς αυξάνεται ο συνολικός αριθμός συνδέσεων του κάθε χρήστη ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν και περισσότερες απώλειες πακέτων λόγω συμφόρησης και (iii) αύξηση της από άκρο σε άκρο καθυστέρηση λόγω της συμφόρησης του καναλιού. Η αύξηση της συχνότητας σε κάθε σενάριο κίνησης έχει ως αποτέλεσμα (i) την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης αφού σε κάθε εγκαθιδρυμένη σύνδεση μεταφέρεται μεγαλύτερος αριθμός πακέτων, (ii) μικρή αύξηση της καθυστέρησης και (iii) σταθερή τιμή του ποσοστού μετάδοσης πακέτων επειδή ο κύριος περιοριστικός παράγοντας αυτού του μεγέθους είναι η απώλεια σύνδεσης μεταξύ των τερματικών οχημάτων. Η αύξηση της ταχύτητας συνεπάγεται με μεγαλύτερο ποσοστό απώλειας συνδέσεων λόγω της ταχείας κίνησης των οχημάτων και έχει ως αποτέλεσμα (i) τη μείωση του ποσοστού παράδοσης πακέτων αφού είναι πιο πιθανό μια σύνδεση να διακοπεί λόγω απομάκρυνσης των οχημάτων, (ii) τη μείωση του ρυθμού μετάδοσης λόγω της απώλειας πακέτων και (iii) αύξηση της καθυστέρησης αφού τα πακέτα διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις καθώς τα οχήματα απομακρύνονται ταχύτερα. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι σε σενάρια υψηλού αριθμού χρηστών ο ρυθμός μεταβολής του ποσοστού παράδοσης πακέτων και του ρυθμού μετάδοσης είναι μικρότερος από ότι σε σενάρια με χαμηλότερο αριθμό χρηστών, επειδή η πυκνή τοπολογία του δικτύου δεν επιτρέπει την εύκολη απομάκρυνση μεταξύ των οχημάτων.

Γίνεται αντιληπτό, λοιπόν, ότι ακόμα και στην ιδανική περίπτωση που εξετάστηκε, όπου υποτίθεται διαρκής κάλυψη των οδικού δικτύου, το πρότυπο 802.11p δεν μπορεί να ανταπεξέλθει επαρκώς στις τηλεπικοινωνιακές απαιτήσεις. Σε ένα πραγματικό σενάριο τα αποτελέσματα θα ήταν περισσότερο υποβαθμισμένα επειδή (i) είναι αδύνατο να υπάρχει διαρκής συνδεσιμότητα των οχημάτων σε ένα ασύρματο ad hoc δίκτυο, (ii) ακόμα και αν επιτυχανόταν μόνιμη κάλυψη, στα όρια των περιοχών κάλυψης –κατά τη μετάβαση από ένα σημείο πρόσβασης σε κάποιο άλλο- όπου το σήμα θα ήταν ασθενέστερο, οι επιδόσεις θα ήταν χαμηλότερες από ότι σε σημεία όπου το σήμα είναι ισχυρό, (iii) η κίνηση των χρηστών είναι πιο πολύπλοκη και δεν βασίζεται στο απλοποιημένο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

Διαφαίνεται, λοιπόν, η έντονη ανάγκη για τη χρήση και άλλων τεχνολογιών ή για τη συμπληρωματική χρήση τεχνολογιών. Σε επόμενο στάδια της έρευνας, αξίζει να εξεταστεί πως ανταπεξέρχεται η τεχνολογία LTE στην επικοινωνία οχημάτων που βρίσκονται σε δρόμους που επιτρέπουν κίνηση υψηλής ταχύτητας, ενώ για την επικύρωση των αποτελεσμάτων θα ήταν σημαντικό να γίνουν προσομοιώσεις με τη χρήση πραγματικών δεδομένων κίνησης. Επίσης, ενδιαφέρον παρουσιάζει και η πρόσφατη ανάπτυξη και προτυποποίηση της τεχνολογίας LTE D2E, η οποία απαλείφει ένα μεγάλο μειονέκτημα της τεχνολογίας LTE ως προς το χρόνο καθυστέρησης. Τέλος ενδιαφέρον παρουσιάζουν

και σχήματα συνδυασμού τεχνολογιών όπως το παράδειγμα με CH που αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ETSI EN 302 665: "Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture".
- [2] ETSI TS 102 636-1: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 1: Requirements".
- [3] ETSI TS 102 636-2: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications ;GeoNetworking; Part 2: Scenarios".
- [4] ETSI TS 102 636-3: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 3: Network architecture
- [5] ETSI TS 102 636-4-1: "Intelligent Transport System (ITS); Vehicular communications; GeoNetworking; Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to multipoint communications; Sub-part 1: Media independent functionalities".
- [6] ETSI TS 102 636-4-2: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to multipoint communications; Sub-part 2: Media dependent functionalities for ITS-G5A media".
- [7] ETSI TS 102 636-5-1: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 5: Transport Protocols; Sub-part 1: Basic Transport Protocol".
- [8] ETSI TS 102 636-6-1: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 6: Internet Integration; Sub-part 1: Transmission of IPv6 Packets over GeoNetworking Protocols".
- [9] ETSI EN 302 931: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Geographical Area Definition".
- [10] ETSI EN 302 663 V1.2.0 (2012-11): Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band
- [11] *Giuseppe Araniti, Claudia Campolo, Massimo Condoluci, Antonio Iera, and Antonella Molinaro, University Mediterranea of Reggio Calabria, "LTE for Vehicular Networking: A Survey, IEEE Communications Magazine • May 2013*

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [i.1] ETSI EN 302 895: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Local Dynamic Map (LDM) Specification".
- [i.2] ETSI TS 102 637-2: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Co-operative Awareness Basic Service".
- [i.3] ETSI TS 102 637-3: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Application; Part 3: Specification of Decentralized Environmental Notification Basic Service".
- [i.4] ISO/IEC 24102: "Intelligent Transport Systems - Communications access for land mobiles (CALM) - Management ".
- [i.5] IETF RFC 2460: "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification".
- [i.6] IETF RFC 2464: "Transmission of IPv6 Packets over Ethernet Networks".
- [i.7] IETF RFC 2491: "IPv6 over Non-Broadcast Multiple Access (NBMA) networks
- [i.8] Universal TUN/TAP driver for Linux, Solaris and FreeBSD.
- [i.9] IETF RFC 4601: "Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification (Revised)".
- [i.10] IETF RFC 4605: "Internet Group Management Protocol (IGMP) / Multicast Listener Discovery (MLD)-Based Multicast Forwarding ("IGMP/MLD Proxying")".
- [i.11]-IETF RFC 4007: "IPv6 Scoped Address Architecture".
- [i.12] IETF RFC 4291: "IP Version 6 (IPv6) Addressing Architecture".
- [i.13] IETF RFC 4861: "Neighbor Discovery for IP version 6 (IPv6)".
- [i.14] IETF RFC 4862: "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration".
- [i.15] IETF RFC 5942: "IPv6 Subnet Model: The Relationship between Links and Subnet Prefixes".
- [i.16] IEEE "Guidelines For 64-bit Global Identifier (EUI-64)".
- [i.17] ISO 21214, *Intelligent transport systems – Communications access for land mobiles (CALM) – Infra-red Systems*, ISO Std. ISO 21 214, version 1.0, Rev. Stage: 90.92, TC 204, ISO 21214, June 2006, CALM Standard
- [i.18] ISO/DIS 21216-1, *Intelligent transport systems – Communications access for land mobiles (CALM) –CALM Using Millimeter Communications*, ISO/DIS Std. ISO/DIS 21 216, version 1.0, Rev. Stage: 40.20, TC 204, ISO/DIS 21216, April 2009, cALM Standard

[i.19] T. Mangel, T. Kosch, and H. Hartenstein, "A Comparison of UMTS and LTE for Vehicular Safety Communication at Intersections," *IEEE VNC*, 2010.

[i.20] M.-A. Phan, R. Rembarz, and S. Sories, "A Capacity Analysis for the transmission of Event and Cooperative Awareness Messages in LTE Networks," *18th ITS World Congress*, 2011.

[i.21] ETSI TR 102 962, "Intelligent Transport Systems (ITS); Framework for Public Mobile Network," Feb. 2012.

[i.22] G. Remy *et al.*, "LTE4V2X-Collection, Dissemination and Multi-Hop Forwarding," *IEEE ICC*, June 2012.

[i.23] ETSI TR 101 613 V1.1.1 (2015-09) Intelligent Transport Systems (ITS): Cross Layer DCC Management Entity for operation in the ITS G5A and ITS G5B medium. Validation set-up and results

[i.24] Zeeshan Hameed Mir* and Fethi Filali, "LTE and IEEE 802.11p for vehicular networking: a performance evaluation", *Journal on Wireless Communications and Networking* 2014

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΜΕΓΑΛΟΣ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΘΕΣΗΣ

α) Μεγάλος πίνακας θέσης

Πεδίο#	Όνομα Πεδίου	Τύπος	Μονάδα Μέτρησης	Περιγραφή
1	GN_ADDR	64 bit διεύθυνσης	-	Η διεύθυνση δικτύου του δρομολογητή εντός του σταθμού
2	TST	32 bit μη προσημασμένου ακεραίου	ms	Δείχνει την χρονική στιγμή σε ms κατά την οποία το γεωγραφικό πλάτος και μήκος αποκτήθηκαν από το δρομολογητή του σταθμού . Ο χρόνος κωδικοποιείται ως εξής : $TST = TST(UE) \bmod 2^{32}$ όπου TST(UE) είναι ο αριθμός ms από από την εποχή Unix : 1970-01-01 Time 00:00
3	Lat	32 bit προσημασμένου ακεραίου	0.1micro-μοίρες	WGS 84 πλάτος του δρομολογητή
4	Long	32 bit προσημασμένου ακεραίου	0.1micro-μοίρες	WGS 84 μήκος του δρομολογητή
5	S	16 bit προσημασμένου ακεραίου	0.01 m/s	Ταχύτητα του δρομολογητή
6	H	16 bit μη προσημασμένου ακεραίου	0.1 μοίρες	Πορεία του δρομολογητή από την οποία Μετρίεται σε 0.1 της μοίρας από το Νότο
7	Alt	16 bit μη προσημασμένου ακεραίου	m	Υψόμετρο του δρομολογητή
8	Tacc	4 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Δείκτης ακριβείας της τιμής του πεδίου 2 Το διάστημα κατά το οποίο επιτυγχάνεται ακρίβεια 95% ορίζεται ως : $Accuracy_{95\%} = Valueoff (LSbit(TST))2^{TAcc} = 1ms * 2^{TAcc}$ Συνεπώς η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή είναι : 1ms* $2^{0...15} = 1...32768$ ms

9	PosAcc	4 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	<p>Κωδικοποιημένος δείκτης ακριβείας της θέσης .Το διάστημα κατά το οποίο επιτυγχάνεται ακρίβεια 95% ορίζεται ως :</p> $Accuracy_{95\%} = Area (POS , R)$ <p>με POS= LAT, LONG και R =LSB(Long)2^{PosAcc}</p> <p>Το PosAcc = 0000 είναι κρατημένο για να υποδυκνείει ότι το διάστημα ακρίβειας δεν έχει οριστεί .</p> <p>Το μέγιστο λάθος που μπορεί να ανεχθεί το διάστημα ακριβείας 95% είναι 365m</p>
10	SAcc	3 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	<p>Κωδικοποιημένος δείκτης ακριβείας της ταχύτητας .Το διάστημα στο οποίο επιτυγχάνεται ακρίβεια 95% ορίζεται ως :</p> $Accuracy_{95\%} = Valueoff (LSbit(S))2^{SAcc} = 0.01m/s 2^{SAcc}$ <p>Το SAcc = 000 είναι κρατημένο για να υποδυκνείει ότι το διάστημα ακρίβειας δεν έχει οριστεί .</p> <p>Το μέγιστο λάθος που μπορεί να ανεχθεί το διάστημα ακριβείας 95% είναι 1.28 m/s</p>
11	HAcc	3 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	<p>Κωδικοποιημένος δείκτης ακριβείας της πορείας .Το διάστημα στο οποίο επιτυγχάνεται ακρίβεια 95% ορίζεται ως :</p> $Accuracy_{95\%} = Valueoff (LSbit(S))2^{HAcc} = 0.0054932475 * 2^{HAcc}$ <p>Το HAcc = 000 είναι κρατημένο για να υποδυκνείει ότι το διάστημα ακρίβειας δεν έχει οριστεί .</p> <p>Το μέγιστο λάθος που μπορεί να ανεχθεί το διάστημα ακριβείας 95% είναι 0.7 μίρες</p>

12	AltAcc	2 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	<p>Κωδικοποιημένος δείκτης ακριβείας του ύψους .Το διάστημα στο οποίο επιτυγχάνεται ακρίβεια 95% ορίζεται ως :</p> $Valueoff(LSbit(Alt))2^{AltAcc} = 1m * 2^{AltAcc}$ <p>Το Altacc=00 είναι κρατημένο για να υποδυκνείει ότι το διάστημα ακριβείας δεν έχει οριστεί</p> <p>Το μέγιστο λάθος που μπορεί να ανεχθεί το διάστημα ακριβείας 95% είναι 8 μέτρα</p>
----	--------	---------------------------------	---	---

β) Μικρός πίνακας θέσης

Πεδίο#	Όνομα Πεδίου	Τύπος	Μονάδα Μέτρησης	Περιγραφή
1	GN_ADDR	64 bit διεύθυνσης	-	Η διεύθυνση δικτύου του δρομολογητή Εντός του σταθμού
2	TST	3 bit μη προσημασμένου ακεραίου	ms	Δείχνει την χρονική στιγμή σε ms κατά την οποία το γεωγραφικό πλάτος και μήκος αποκτήθηκαν από το δρομολογητή του σταθμού . Ο χρόνος κωδικοποιείται ως εξής : $TST = TST(UE) \bmod$ όπου TST(UE) είναι ο αριθμός ms από από την εποχή Unix : 1970-01-01 Time 00:00
3	Lat	3 bit μη προσημασμένου ακεραίου	0.1micro-μοίρες	WGS 84 πλάτος του δρομολογητή
4	Long	3 bit μη προσημασμένου ακεραίου	0.1micro-μοίρες	WGS 84 μήκος του δρομολογητή

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΠΙΝΑΚΕΣ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΚΕΦΑΛΙΔΑΣ

a) GeoUnicast .

Πεδίο#	Όνομα Πεδίου	Τύπος	Μονάδα Μέτρησης	Περιγραφή
1	Common Header	Κοινή Επικεφαλίδα	-	Εμπεριέχει τα πεδία της κοινής επικεφαλίδας , όπως αυτά περιγράφηκαν πριν
2	SN	16 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Αριθμός ακολουθίας του πακέτου . Χρησιμεύει για την ανίχνευση αντιγράφων
3	LT	8 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Υποδεικνύει τον μέγιστο δυνατό χρόνο , για τον οποίο ένα πακέτο μπορεί να παραμείνει σε κάποιον απομονωτη Bit 0 έως 5: Πολλαπλασιαστής Bit 6 to 7 : Βάση
4	Reserved	8 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Κρατημένο για λειτουργίες μεταδόσεων που εξαρτώνται από το μέσο
5	SO PV	Long position vector	-	Περιέχει τον μεγάλου μήκους πίνακα θέσης του αποστολεά
6	DE PV	Short position vector	-	Περιέχει τον μικρού μήκους πίνακα θέσης του αποστολεά

b) TSB

Πεδίο#	Όνομα Πεδίου	Τύπος	Μονάδα Μέτρησης	Περιγραφή
1	Common Header	Κοινή Επικεφαλίδα	-	Εμπεριέχει τα πεδία της κοινής επικεφαλίδας
2	SN	16 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Αριθμός ακολουθίας του πακέτου . Χρησιμεύει για την ανίχνευση αντιγράφων
3	LT	8 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Υποδεικνύει τον μέγιστο δυνατό χρόνο , για τον οποίο ένα πακέτο μπορεί να παραμείνει σε κάποιον απομονωτη Bit 0 έως 5: Πολλαπλασιαστής Bit 6 to 7 : Βάση
4	Reserved	8 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Κρατημένο για λειτουργίες μεταδόσεων που εξαρτώνται από το μέσο
5	SO PV	Long position vector	-	Περιέχει τον μεγάλου μήκους πίνακα θέσης του αποστολεά

c) SHB

Πεδίο#	Όνομα Πεδίου	Τύπος	Μονάδα Μέτρησης	Περιγραφή
1	Common Header	Κοινή Επικεφαλίδα	-	Εμπεριέχει τα πεδία της κοινής επικεφαλίδας
2	SO PV	Long Position Vector	-	Εμπεριέχει αναφορά στη θέση του πομπού.
3	Reserved	32 bit μη προσημασμένο ακεραίου	-	Κρατημένα για λειτουργίες που εξαρτούνται από το μέσο. Αν δεν χρησιμοποιούνται παίρνουν τιμή μηδέν

d) GeoBroadcast/GeoAnycast

Πεδίο#	Όνομα Πεδίου	Τύπος	Μονάδα Μέτρησης	Περιγραφή
1	Common Header	Κοινή Επικεφαλίδα	-	Εμπεριέχει τα πεδία της κοινής επικεφαλίδας , όπως αυτά περιγράφηκαν πριν
2	SN	16 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Αριθμός ακολουθίας του πακέτου . Χρησιμεύει για την ανίχνευση αντιγράφων
3	LT	8 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Υποδεικνύει τον μέγιστο δυνατό χρόνο , για τον οποίο ένα πακέτο μπορεί να παραμείνει σε κάποιον απομονωτη Bit 0 έως 5: Πολλαπλασιαστής Bit 6 to 7 : Βάση
4	Reserved	8 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Κρατημένο για λειτουργίες μεταδόσεων που εξαρτώνται από το μέσο
5	SO PV	Long position vector	-	Περιέχει τον μεγάλο μήκους πίνακα θέσης του αποστολεά
6	GeoAreapos Latitude	32 bit μη προσημασμένου ακεραίου	0.1 micro-μοίρες	WGS 84 πλάτος για την κεντρική θέση του γεωγραφικού σχήματος(κύκλο , ορθογώνιο έλλειψη)
7	GeoAreapos Longitude	32 bit μη προσημασμένου ακεραίου	0.1 micro-μοίρες	WGS 84 μήκος για την κεντρική θέση του γεωγραφικού σχήματος(κύκλο , ορθογώνιο έλλειψη)
8	Distance a	16 bit μη προσημασμένου ακεραίου	m	Απόσταση a από το γεωγραφικό σχήμα
9	Distance b	16 bit μη προσημασμένου ακεραίου	m	Απόσταση b από το γεωγραφικό σχήμα
10	Angle	16 bit μη προσημασμένου ακεραίου	°	Γωνία του γεωμετρικού σχήματος από το βορρά
11	Reserved	8 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Δεν χρησιμοποιείται

e) BEACON

Πεδίο#	Όνομα Πεδίου	Τύπος	Μονάδα Μέτρησης	Περιγραφή
1	Common Header	Κοινή Επικεφαλίδα	-	Εμπεριέχει τα πεδία της κοινής επικεφαλίδας

f) Αίτηση για Location Service

Πεδίο#	Όνομα Πεδίου	Τύπος	Μονάδα Μέτρησης	Περιγραφή
1	Common Header	Κοινή Επικεφαλίδα	-	Εμπεριέχει τα πεδία της κοινής επικεφαλίδας , όπως αυτά περιγράφηκαν πριν
2	SN	16 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Αριθμός ακολουθίας του πακέτου . Χρησιμεύει για την ανίχνευση αντιγράφων
3	LT	8 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Υποδεικνύει τον μέγιστο δυνατό χρόνο , για τον οποίο ένα πακέτο μπορεί να παραμείνει σε κάποιον απομονωτη Bit 0 έως 5: Πολλαπλασιαστής Bit 6 to 7 : Βάση
4	Reserved	8 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Κρατημένο για λειτουργίες μεταδόσεων που εξαρτώνται από το μέσο
5	SO PV	Long position vector	-	Περιέχει τον μεγάλο μήκους πίνακα τοποθεσίας του αποστολεά
6	Request GN_ADDR	64 bit διεύθυνσης	-	Την διεύθυνση GN_ADDR για τον δρομολογητή για τον οποίο διεξάγεται η διαδικασία εντοπισμού

g) Απάντηση σε Location Service

Πεδίο#	Όνομα Πεδίου	Τύπος	Μονάδα Μέτρησης	Περιγραφή
1	Common Header	Κοινή Επικεφαλίδα	-	Εμπεριέχει τα πεδία της κοινής επικεφαλίδας , όπως αυτά περιγράφηκαν πριν
2	SN	16 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Αριθμός ακολουθίας του πακέτου . Χρησιμεύει για την ανίχνευση αντιγράφων
3	LT	8 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Υποδεικνύει τον μέγιστο δυνατό χρόνο , για τον οποίο ένα πακέτο μπορεί να παραμείνει σε κάποιον απομονωτη Bit 0 έως 5: Πολλαπλασιαστής Bit 6 to 7 : Βάση
4	Reserved	8 bit μη προσημασμένου ακεραίου	-	Κρατημένο για λειτουργίες μεταδόσεων που εξαρτώνται από το μέσο
5	SO PV	Long position vector	-	Περιέχει τον μεγάλο μήκους πίνακα τοποθεσίας του αποστολεά
6	DE PV	Short position vector	-	Περιέχει τον μικρού μήκους πίνακα τοποθεσίας του αποστολεά

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΒΑΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Η βάση διαχείρισης πληροφοριών (Managed Information Base ,MIB) περιέχει σταθερές τιμές που είναι απαραίτητες για την ορθή λειτουργία των δρομολογητών . Αν δεν εκχωρηθεί κάποια άλλη τιμή τα πεδία της MIB διατηρούν την προκαθορισμένη τιμή τους

Όνομα	Προκαθορισμένη τιμή	Σχόλια
itsGnLocalGnAddr	1	Διεύθυνση δρομολογητή
itsGnLocalAddrConfMethod	Αυτόματη(0) Διαχειρίσιμη(1)	Ανάλογα με την τιμή ακολουθείται η διαδικασία της ενότητας 3.1.2.2
itsGnProtocolVersion	TS 102 636-4-1 (V1.1.1) (0)	Έκδοση πρωτοκόλλου όπως προκύπτει από την επικεφαλίδα
itsGnStationType	Όχημα(0) Παράπλευρος σταθμός(1)	Τύπος σταθμού
itsGnMinimumUpdateFrequencyLPV	Για όχηματα (1000) Για παράπλευρο σταθμό(0)	Ελάχιστη συχνότητα ανανέωσης LPV
itsGnMaxSduSize	1398	Μέγιστο μέγεθος SDU σε bytes
itsGnMaxGeoNetworkingHeaderSize	88	Μέγιστο μέγεθος επικεφαλίδας σε bytes
itsGnLifetimeLocTE	20	Χρόνος ζωής μια εγγραφής στον LocT μετρημένος σε sec
itsGnLocationServiceMaxRetrans	10	Μέγιστος αριθμός αναμεταδόσεων πακέτων αιτήσεων εντοπισμού θέσης
itsGnLocationServiceRetransmitTimer	1000	Διάρκεια χρονοδιακόπτη αναμετάδοσης για υπηρεσίες εντοπισμού θέσης (ms)
itsGnLocationServicePacketBufferSize	1024	Μέγεθος απομονωτή πακέτων LS (bytes)
itsGnBeaconServiceRetransmitTimer	3000	Διάρκεια χρονοδιακόπτη αναμετάδοσης για υπηρεσίες σηματοδοσίας (ms)
itsGnBeaconServiceMaxJitter	itsGnMaxPacketLifetime/4	
itsGnDefaultHopLimit	10	Μέγιστος αριθμός βημάτων που μπορεί να κάνει ένα πακέτο κατά τη μετάδοση του

itsGnMaxPacketLifetime	600	Μέγιστος χρόνο ζωής ενός πακέτου κατά τη μεταφορά του (ms)
itsGnMinPacketRepetitionInterval	100	Ελάχιστο όριο του διαστήματος αναμετάδοσης ενός πακέτου
itsGnGeoUnicastForwardingAlgorithm	UNSPECIFIED (0) GREEDY (1) CBF(2)	Αλγόριθμος προώθησης GeoUnicast πακέτων
itsGnGeoBroadcastForwardingAlgorithm	UNSPECIFIED (0) SIMPLE (1)	Αλγόριθμος προώθησης GeoBroadcast πακέτων
itsGnGeoUnicastCbfMinTime	1	Ελάχιστος χρόνος για τον οποίο ένα πακέτο μπορεί να μείνει στον απομονωτή CBF
itsGnGeoUnicastCbfMaxTime	100	Μέγιστος χρόνος για τον οποίο ένα πακέτο μπορεί να μείνει στον απομονωτή CBF
itsGnDefaultMaxCommunicationRange	1000	Θεωρητικά μέγιστη εμβέλεια επικοινωνίας
itsGnGeoAreaLineForwarding	Απενεργοποιημένη (0) Ενεργοποιημένη(1)	Δυνατότητα προώθησης πακέτων GeoBroadcast/GeoAnycast αν ο δρομολογητής βρίσκεται εκτός της γεωγραφικής περιοχής
itsGnUcForwardingPacketBufferSize	256	Μέγεθος UC απομονωτή σε Kbytes
itsGnBcForwardingPacketBufferSize	1024	Μέγεθος BC απομονωτή σε Kbytes
itsGnCbfPacketBufferSize	256	Μέγεθος CB απομονωτή σε Kbytes
itsGnTrafficClassRelevance	3	Σχετικότητα πακέτων
itsGnTrafficClassReliability	Μέτρια (2)	Βαθμός αξιοπιστίας πακέτων
itsGnTrafficClassLatency	Μέτρια (2)	Βαθμός περιόδου αδρανείας πακέτων

Σημειώνεται πως όταν ο αλγόριθμος προώθησης απλής εκπομπής δεν έχει καθοριστεί (0) θα εκτελεστεί από τον δρομολογητή ως προεπιλογή ο αλγόριθμος GREEDY . Παρόμοια και για την προώθηση πακέτων πολυεκπομπής αν δεν έχει καθοριστεί αλγόριθμος (0) επιλέγεται από το δρομολογητή ο SIMPLE

