



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

«ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ VANET»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΑΡΙΑ Γ. ΦΛΩΡΟΥ

ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΑΘ. ΧΟΥΘΗ

Επιβλέπων : ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Δ. ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ Ε.Μ.Π

Αθήνα, Δεκέμβριος 2013

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

‘ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ VANET’

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΑΡΙΑ Γ. ΦΛΩΡΟΥ

ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΑΘ. ΧΟΥΘΗ

Επιβλέπων : ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Δ. ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ Ε.Μ.Π

.....
Αθ. Παναγόπουλος
Λέκτορας ΕΜΠ

.....
Φ. Κωνσταντίνου
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Ι. Κανελλόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Δεκέμβριος 2013

(Υπογραφή)

.....

ΦΛΩΡΟΥ Γ. ΜΑΡΙΑ

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

(Υπογραφή)

.....

ΧΟΥΘΗ ΑΘ. ΒΑΣΙΛΙΚΗ

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

© 2013 – 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.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τα πρόσωπα που μας στήριξαν και μας βοήθησαν να φέρουμε εις πέρας αυτό το έργο και να ολοκληρώσουμε τις σπουδές μας στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά, θα θέλαμε να εκφράσουμε πολλές ευχαριστίες στον επιβλέποντα της διπλωματικής, κύριο Αθανάσιο Δ. Παναγόπουλο, Επίκουρο στη σχολή ΗΜΜΥ Ε.Μ.Π., για τη συνεχή και έγκυρη βοήθεια που μας παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Ευχαριστούμε θερμά για την βοήθεια, την υποστήριξη και τις συμβουλές που μας παρείχε.

Ακόμα, ιδιαίτερες ευχαριστίες θα θέλαμε να δώσουμε και στον Διδάκτορα στη σχολή ΗΜΜΥ Ε.Μ.Π, Γιώργο Πιτσιλαδή για την δική του συνεισφορά και την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που δεχτήκαμε.

Τέλος, θα θέλαμε να αφιερώσουμε την διπλωματική εργασία στις οικογένειές μας. Ευχαριστούμε για την ηθική υποστήριξη κατά τη διάρκεια των σπουδών μας, ευχαριστούμε πολύ για τη συμπαράσταση, την υπομονή και τη συνεχή αγάπη και ανοχή τους.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2013

Περίληψη

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η υλοποίηση και η μελέτη μιας κατηγορίας αδόμητων δικτύων και συγκεκριμένα των κινητών ad-hoc δικτύων (VANETs). Αρχικά, γίνεται μια επισκόπηση για τη λειτουργία τους, τις εφαρμογές τους καθώς και για τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζουν.

Τα Vehicular ad hoc Networks (VANETs) , είναι ένα είδος ασύρματου δικτύου που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων. Οι κόμβοι του δικτύου είναι τώρα τα οχήματα και η τοπολογία του δικτύου αλλάζει διαρκώς με μεγάλες ταχύτητες. Επομένως, η κατασκευή τέτοιων δικτύων είναι μία πρόκληση, αφού δεν μπορούν να ισχύουν τα ίδια πρωτόκολλα και αρχές με τα απλά ad hoc wireless δίκτυα. Η αρχική ιδέα για ένα τέτοιο δίκτυο οχημάτων, που αποτελεί βασικό μέρος των έξυπνων συστημάτων μεταφοράς (Intelligent Transportation Systems) ανήκει σε μια ομάδα μηχανικών της Delphi Delco Electronics Systems και IBM corporation, εν έτει 1998.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ασχολούμαστε με τεχνικές που είναι απαραίτητες σε όλες τις αρχιτεκτονικές VANETs. Το 1^ο κεφάλαιο είναι μια εισαγωγή στα VANET και στις εφαρμογές τους. Αναφέρεται αρχικά η τεχνολογία στην οποία βασίζεται η σχεδίαση τους. Στο 2^ο κεφάλαιο εξετάζουμε τις βασικές αρχιτεκτονικές των VANETs και ασχολούμαστε με τα πρωτόκολλα στα οποία στηρίζεται η τεχνολογία των VANET, όπως είναι το WAVE και το IEEE 802.11. Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται μία προσομοίωση, στην προσπάθεια να γίνει ανάλυση στο θέμα της κυκλοφοριακής συμφόρησης (πρόβλημα που εμφανίζεται συχνά στα VANET). Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το Cloud Model και γίνεται περαιτέρω ανάλυση στους κινδύνους και τις προκλήσεις ασφάλειας. Τέλος, στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δίκτυα ανοχής καθυστέρησης, όπως επίσης και τα δίκτυα οχημάτων με ανοχή στις καθυστερήσεις.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ : αδόμητα δίκτυα, μοντέλα κινητικότητας, κυκλοφοριακή συμφόρηση, κινητοί κόμβοι, μοντέλα κινητικότητας, μοντέλο κινητικότητας τυχαίων στάσεων, μοντέλο κινητικότητας τυχαίας κατεύθυνσης, απώλειες διαδρομής, σκίαση, προσομοίωση, ισχύς κόμβων-πομπών, όρια περιοχής, ταχύτητα κόμβων, αριθμός κόμβων δικτύου, συνδεσιμότητα, προκλήσεις VC μοντέλου, προκλήσεις ασφάλειας, σχέσεις εμπιστοσύνης, δίκτυα ανοχής σε καθυστέρηση, σχέδια και εφαρμογές VDTN.

ABSTRACT

Aim of this diplomatic essay is to analyze and study of a category of ad hoc networks and more specifically the vehicular ad-hoc networks (VANETs). Initially, becomes a review for their operation, their applications, as well as for the advantages and disadvantages that they present.

Vehicular ad hoc Networks (VANETs), is a type of wireless network that allows the communication between vehicles. The nodes of network are now the vehicles and the topology of network change constantly with big speeds. Consequently, the manufacture of such networks is a challenge, after they cannot be in effect the same protocols and beginnings with the simple ad hoc wireless networks. The initial idea for such network of vehicles that constitutes basic part of intelligent systems of transport (Intelligent Transportation Systems), belongs in a team of engineers of Delphi Delco Electronics Systems and IBM corporation, 1998.

In the present diplomatic work we dealt with techniques that are essential in all architectural VANETs. In chapter 1 is presented an import in the VANET and in their applications. Initially is reported the technology on which were based the scientists for their designing. In the chapter 2 we examine the basic architectures of VANETs and we dealt with the protocols which are used in VANET technology, as are the WAVE and IEEE 802.11 protocols . In chapter 3 is presented a simulation for reducing traffic jams via Vanets. In the 4 chapter is presented the Cloud Model and becomes further analysis in the dangers and the challenges of security. Finally, in chapter 5 are presented the networks of tolerance of delay, as also and the networks of vehicles with tolerance in the delays.

KEYWORDS

Ad hoc networks, mobile nodes, mobility models, Random Waypoint Mobility Model, Random Direction Mobility Model, path loss attenuation, shadowing, area borders, node's speed, number of nodes, connectivity, probability of isolation, vehicular model, WAVE, CALM, cloud model, trust relationships, routing, multicast and anycast transmission, RTT, UDP, VDTN networks.

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 :ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 Βασικά Χαρακτηριστικά VANET	13
1.2 VTI Αρχιτεκτονική	14
1.3 Μοντέλα Κινητικότητας.....	15
1.3.1 Ατομικά Μοντέλα Κινητικότητας	15
1.3.2 Ομαδικά Μοντέλα Κινητικότητας	15
1.4 Σκίαση.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: IEEE 802.11	17
2.1 ΤΟ IEEE 802.11 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ	17
2.1.1 Car to Car Consortium (C2C-CC)	18
2.2 CALM.....	19
2.3 WAVE	20
2.4 Σύγκριση	24
2.5 IEEE 802.11p για VANET	26
2.5.1 IEEE 802.11 MAC Layer	27
2.5.2 IEEE 802.11 φυσικό στρώμα για VANETs	29
2.6 WAVE (IEEE 802.11p).....	31
2.7 ADHOC MAC	32
2.7.1 Κατευθυντική Κεραία βασισμένη σε πρωτόκολλο MAC.....	33
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΜΦΟΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	37
3.1 ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΜΕΣΩ VANETS.....	37
3.2 ΘΕΩΡΙΑ ΜΕΡΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ	38
3.3 ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	40
3.4 ΣΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΝΗΣΗ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ.....	41
3.5 ΚΙΝΗΣΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΟΔΗΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	43
3.6 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ	44
3.6.1 Εγκατάσταση Προσομοιωτή.....	44
3.6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	47
3.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....	50

3.8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	51
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....	56
4.1 Προκλήσεις VC μοντέλου	56
4.1.1 Περιγραφή VC μοντέλου	57
4.1.2 Επισκόπηση VC μοντέλου.....	57
4.1.3 Πιθανές εφαρμογές VC.....	58
4.2 Ασφάλεια και κίνδυνοι.....	59
4.2.1 Ασφάλεια και προσωπικές επιθέσεις στο VC	59
4.2.2 πιστοποίηση ταυτότητας των κόμβων υψηλής κινητικότητας.....	61
4.3 ΣΧΕΣΕΙΣ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ	61
4.4 ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ ΚΑΙ ΨΕΥΔΟΝΥΜΟ ΘΕΣΗΣ	62
4.5 Εξελιξιμότητα	63
4.6 VC ΜΗΝΥΜΑΤΑ	63
4.6.1 ΜΗΝΥΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	63
4.6.2 ΕΜΠΙΣΤΕΥΤΙΚΑ ΜΗΝΥΜΑΤΑ (Confidential Messages)	65
4.7 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	65
4.7.1 CLOUD MODEL.....	66
4.7.1.1 Εικονικές μηχανές VCs	67
4.7.2 ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ VCs	69
4.7.2.1 Σχέσεις Εμπιστοσύνης (Trust Relationship)	69
4.7.2.2 Πιστοποίηση ταυτότητας και εμπιστευτικότητα	70
4.7.3 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....	71
4.7.3.1 Περισσότερα οχήματα, ασφαλέστερο σύννεφο που απαιτείται:.....	71
4.7.4 ενίσχυση της εξελιξιμότητας των συστημάτων ασφάλειας.	72
4.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟ ΔΙΚΤΥΑ ΑΝΟΧΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	
ΑΝΟΧΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ	76
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	76
5.2 ΔΙΚΤΥΑ ΑΝΟΧΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ	79
5.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	79
5.2.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΔΕΣΜΗΣ	80
5.2.3 ΑΛΛΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ.....	82

5.2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	83
5.2.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΕΣ	84
5.3 ΔΙΚΤΥΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΑΝΟΧΗ ΣΤΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ	85
5.4 ΣΧΕΔΙΑ VTDN ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	90
5.4.1 ΣΧΕΔΙΟ KioskNet	90
5.4.2 ΤΟ ΣΧΕΔΙΟ DieselNet	91
5.4.3 Σχέδιο VDTN	93
5.4.4 Σχέδιο CarTel	94
5.4.5 Σχέδιο EMMA	95
5.4.6 Κίνηση-μέσω του προγράμματος Διαδικτύου (Drive-Thru Internet)	95
5.4.7 ΣΧΕΔΙΟ CONDOR.....	96
5.4.8 Non-DTN Projects	97
5.4.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....	100
5.5 ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ.....	101
5.5.1 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ (Routing).....	101
5.5.2 ANYCAST ΚΑΙ MULTICAST ΔΙΑΝΟΜΗ.....	103
5.5.3 Εφαρμογές και εξελιξιμότητα	103
5.5.4 Προσαρμοστής στρώματος σύγκλισης (Convergence Layer Adapter)	104
5.5.5 ΑΣΦΑΛΕΙΑ	104
5.5.6 ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ.....	105
5.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	105
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	106

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 :ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τις αρχές της δεκαετίας του '80 μέχρι και σήμερα οι έρευνες για την επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων έχουν σημειώσει μεγάλη πρόοδο. Αυτό συνέβη αφενός εξαιτίας της αλματώδους ανάπτυξης της τεχνολογίας και αφετέρου λόγω της συνεχής εξέλιξης της τεχνολογίας IEEE 802.11. Φυσικά τα κυβελωτά δίκτυα προσφέρουν ικανοποιητική μετάδοση φωνής και πληροφοριών, ωστόσο δεν ενδείκνυνται για επικοινωνία οχήματος-προς-όχημα (V2V) και οχήματος-προς-υποδομή (V2I).

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ασύρματα δίκτυα ανήκουν σε δύο κατηγορίες : η μία είναι των δικτύων υποδομής (infrastructure) και η άλλη των μη δομημένων (ad hoc) δικτύων. Στην πρώτη κατηγορία υπάρχει ένας κεντρικός σταθμός που συντονίζει τους υπόλοιπους και διαχειρίζεται τις πληροφορίες. Αντιθέτως, στην δεύτερη κατηγορία όλοι οι σταθμοί του δικτύου είναι ισοδύναμοι μεταξύ τους.

Ειδικότερα τα Vanets (αδόμητα δίκτυα οχημάτων), είναι μια κατηγορία κινητών αδόμητων δικτύων (Mobile Ad hoc Networks-MANET) όπου τα οχήματα αποτελούν και τους κόμβους του δικτύου και επικοινωνούν είτε μεταξύ τους είτε με σταθμούς βάσης (roadside units-RSUs) που βρίσκονται σε κρίσιμα σημεία του δικτύου. Τα RSUs μπορούν να συνδεθούν σε δίκτυο κορμού και έτσι διάφορες υπηρεσίες όπως η πρόσβαση στο διαδίκτυο να παρέχονται στα οχήματα.

Προκειμένου τα οχήματα να καταστούν «έξυπνα» είναι απαραίτητο να εφοδιαστούν με τους κατάλληλους πομποδέκτες (-on-board units OBU) τοποθετημένους πάνω ή και μέσα στο όχημα. Αν και οι κόμβοι είναι κινητοί, όπως και στα MANET, η κινητικότητά τους γίνεται αυστηρά μέσα στα όρια των δρόμων, σε αντίθεση με τα MANET όπου οι κινήσεις είναι τυχαίες. Ακόμα, οι κόμβοι στα VANETs χαρακτηρίζονται από υψηλή κινητικότητα και γρήγορες και εναλλασσόμενες χωρικές αλλαγές.

Τα VANET παρουσιάζουν μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον καθώς μπορούν να συνεισφέρουν στην ασφάλεια των επιβατών με πολλές εφαρμογές. Για παράδειγμα η εκπομπή ενός προειδοποιητικού μηνύματος από ένα απότομα επιβραδυνόμενο όχημα, η δυνατότητα για ένα όχημα που εμπλέκεται σε τροχαίο να ειδοποιήσει πιθανά κοντινά οχήματα για βοήθεια ή και διάφορα άλλα προειδοποιητικά μηνύματα (καθίζηση εδάφους,

κλειστός δρόμος κλπ) είναι μερικά μόνο παραδείγματα που αποδεικνύουν τη χρησιμότητα των VANET.

Μεγάλο ενδιαφέρον έχουν επίσης και οι εφαρμογές τους ως προς την εξυπηρέτηση των επιβατών. Πληροφορίες για τυχόν συμφόρηση σε οδικές οδούς ώστε οι οδηγοί να αλλάξουν πορεία, η αυτόματη πληρωμή των διοδίων και η ενημέρωση για διάφορες διαθέσιμες θέσεις παρκαρίσματος. Βέβαια σε όλες τις εφαρμογές αυτές, η ποσότητα της πληροφορίας που μπορεί να μεταδοθεί είναι περιορισμένη, όμως τόσο η αξιοπιστία μετάδοσης όσο και η καθυστέρηση και διάδοση πακέτων έχουν μεγάλη σημασία.

Σε ένα σύστημα VANET τα οχήματα αποτελούν κύριο και αναπόσπαστο κομμάτι. Οι προσωπικές συσκευές τοποθετούνται από το χρήστη επάνω στο όχημα και μπορεί να είναι είτε GPS είτε συσκευές με εφαρμογές πολυμέσων (ακόμα και κινητά τηλέφωνα). Ο εξοπλισμός δρόμου ποικίλλει και μπορεί να αποτελείται από φωτεινούς σηματοδότες, πινακίδες σήμανσης, ακόμα και σταθερούς αναμεταδότες που λειτουργούν ως ακίνητοι κόμβοι του δικτύου και συμβάλλουν στη γρήγορη και αξιόπιστη μετάδοση των μηνυμάτων. Τα RSU μπορούν να είναι αποκομμένα ή και να συνδέονται μεταξύ τους. Τέλος, τα VANET διαθέτουν και τον κύριο εξοπλισμό που λειτουργεί ως κέντρο ελέγχου του δικτύου. Βασικές λειτουργίες είναι να συλλέγει δεδομένα από τα RSU, να προβλέπει μελλοντικές συνθήκες του δικτύου όπως πχ συμφόρηση, να δίνει εντολές στα RSU κλπ.

Για την μελέτη και την υλοποίηση των κινητών αδόμητων ασύρματων δικτύων έχουν προταθεί διάφορα πρωτόκολλα MAC. Καθώς δεν μπορεί να υποτεθεί κάποιος κεντρικός συντονισμός ή κάποιο πρωτόκολλο χειραγίας και δεδομένου ότι πολλές εφαρμογές μεταδίδουν πληροφορίες προς διάφορα περιβάλλοντα οχήματα, είναι απαραίτητη η χρήση ενός ενιαίου κοινού καναλιού ελέγχου. Αυτό φυσικά είναι και η πρόκληση για τη σχεδίαση των VANET.

Το πρότυπο IEEE 802.11: Καλύπτει το φυσικό επίπεδο αλλά και το MAC επίπεδο των ασύρματων δικτύων. Διακρίνει τοπολογίες δικτύου υποδομής (με access point που συνδέει το δίκτυο 802.11 με την υποδομή του ενσύρματου δικτύου κορμού LAN) και τοπολογίες ad hoc. Οι υπηρεσίες του στρώματος MAC υποστηρίζουν μηχανισμούς για έλεγχο αυθεντικότητας, απόκρυψη, διαχείριση συχνοτήτων και εξοικονόμηση ισχύος. Επίσης το στρώμα MAC καθορίζει δύο διαφορετικά σχήματα πρόσβασης στο κοινό μέσο που ακολουθούν παρακάτω. Αξίζει να σημειωθεί ότι από τα διάφορα πρωτόκολλα που έχουν προταθεί για τα VANET, ορισμένα αναφέρονται διεξοδικά στο θέμα της ασφάλειας, όπως το IEEE 802.11e χωρίς όμως να λαμβάνει υπ' όψιν το πολυκαναλικό περιβάλλον του DSRC.

Πρώτον τη λειτουργία κατανεμημένου συντονισμού (Distributed Coordination Function (DCF)). Η DCF σχεδιάστηκε για ασύγχρονη μετάδοση δεδομένων, όπου όλοι οι σταθμοί έχουν ίσες ευκαιρίες για πρόσβαση στο δίκτυο. Δηλαδή ο ένας κόμβος ανταγωνίζεται τον άλλον για πρόσβαση στο δίκτυο. Η DCF βασίζεται στη CSMA-CA. Η ανίχνευση φέροντος στο πρότυπο IEEE 802.11 γίνεται τόσο στην ασύρματη διεπαφή όσο και στο υπόστρωμα MAC. Στη φυσική ανίχνευση φέροντος, διαπιστώνεται η παρουσία άλλων χρηστών με την ανάλυση όλων των λαμβανόμενων πακέτων. Επιπλέον, ανιχνεύεται η δραστηριότητα στο δίκτυο μέσω της σχετικής έντασης του σήματος που προέρχεται από άλλες πηγές. Στα VANETs χρησιμοποιείται για επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων. Δεν παρέχει υποστήριξη για διαφοροποίηση υπηρεσιών και επομένως δεν ενδείκνυται για την

εξυπηρέτηση κίνησης, αλλά αποδίδει καλύτερα σε περιπτώσεις που το προσφερόμενο φορτίο παρουσιάζει χαρακτηριστικά ριπής.

Δεύτερο είναι το Point Coordination Function (PCF) : σχεδιάστηκε κυρίως για μεταφορά κίνησης που είναι ευαίσθητη σε καθυστερήσεις. Στα VANET χρησιμοποιείται για επικοινωνία των οχημάτων και των εγκατεστημένων σταθμών βάσης στις άκρες των δρόμων (δηλαδή το συναντάμε πάντα στα δίκτυα με υποδομή V2I, όχι στα ad hoc).

Το IEEE 802.11p (γνωστό και ως WAVE πρωτόκολλο) χρησιμοποιείται και για τη V2V και για τη V2I επικοινωνία (με εύρος περίπου 1000m) επομένως χρειάζεται να αντιμετωπίζει καταστάσεις που η μετάδοση γίνεται σε μικρά χρονικά διαστήματα. Το MAC επίπεδο του χρησιμοποιεί CSMA/CA ως βασικό τρόπο πρόσβασης στο μέσο, και ένα κανάλι ελέγχου που διευθετεί τις μεταδόσεις.

Φυσικά, γίνεται αντιληπτό πως υπάρχουν πολλοί και διάφοροι περιορισμοί στην περιγραφή των VANET σύμφωνα με τα μοντέλα κινητικότητας. Για παράδειγμα οι περιορισμοί των κινήσεων των οχημάτων (άρα και ο βαθμός ελευθερίας του) αποτελούνται από τις οδούς και τα κτίρια του συστήματος μακροσκοπικά. Σε μία μικροσκοπική ανάλυση θα μπορούσαμε να πούμε ότι περιορισμούς αποτελούν τα γειτονικά οχήματα, οι πεζοί, ακόμα και από ιδιομορφίες που οφείλονται στον τύπο του οχήματος ή και στις συνήθειες των οδηγών.

1.1 Βασικά Χαρακτηριστικά VANET

Βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα ρεαλιστικό μοντέλο κινητικότητας είναι:

- Ρεαλιστικούς και ακριβείς τοπολογικούς χάρτες που να μπορούν να διαχειριστούν τις πυκνότητες των δρόμων και να περιέχουν παρόδους, οδούς και σχετικές ταχύτητες.
- Ομαλές επιβραδύνσεις και ταχύτητες καθώς τα οχήματα δεν σταματούν και δεν κινούνται απότομα.
- Επίσης, πρέπει να συμπεριληφθούν τα εμπόδια (ευρείας έννοιας) όπως για παράδειγμα ακόμα και η κινητικότητα των ασύρματων εμποδίων επικοινωνίας.
- Σημεία έλξης, καθώς είναι γνωστό όλοι οδηγούν σε παρόμοιους τελικούς προορισμούς και σε μακροσκοπική ανάλυση, τα οχήματα κινούνται μεταξύ σημείων απέχθειας και σημείων έλξης.
- Επιπρόσθετα, σημαντικό χαρακτηριστικό είναι και ο χρόνος προσομοίωσης, η μη τυχαία διανομή των οχημάτων και ο τρόπος οδήγησης

Συνολικά υπάρχουν τρεις αρχιτεκτονικές δικτύου που εμφανίζονται στα VANET, αρχικά πρόκειται για την αμιγώς κυβελωτή/WLAN αρχιτεκτονική. Σε αυτή την περίπτωση το δίκτυο χρησιμοποιεί πύλες δικτύου (gateways) ή access points που βρίσκονται συνήθως σε διασταυρώσεις, ώστε να συνδέσει κόμβους (στην προκειμένη περίπτωση τα οχήματα) με το διαδίκτυο, να συλλέξει δεδομένα από τους κόμβους, να τους μεταδώσει πληροφορίες ή και να

τους δρομολογήσει. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική παρέχει συνδεσιμότητα και καλύτερη ποιότητα επικοινωνίας καθώς αποτελείται από σταθερό κόμβο. Ανασταλτικός παράγοντας στην υλοποίησή της είναι το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του σταθερού εξοπλισμού.

1.2 VTI Αρχιτεκτονική

Στη συνέχεια μελετήθηκε η αμιγώς Ad-hoc αρχιτεκτονική στην οποία υφίστανται μόνο κινητοί κόμβοι και συσκευές RSU. Η επικοινωνία γίνεται μέσω γειτονικών κόμβων ή (για μακρινές αποστάσεις) μέσω πολλαπλών βημάτων (hops). Δεν απαιτείται κάποια σταθερή δομή αφού το δίκτυο οργανώνεται μόνο του. Την απόδοση και σε αυτή την περίπτωση επηρεάζει η κίνηση των κόμβων και η μη συνεχή παρουσία τους σε όλα τα σημεία του δικτύου.

Έτσι προέκυψε η υβριδική αρχιτεκτονική που είναι συνδυασμός των προαναφερθέντων. Για την υλοποίηση του δικτύου λαμβάνονται υπ' όψιν οι συνδέσεις οχημάτων- σταθερού εξοπλισμού (VTI-Vehicle to Infrastructure) και μέσω συνδέσεων οχήματος- οχήματος (VTV).

Αυτό που καθίσταται φανερό είναι πως τα VANET μπορούν να συνδυάσουν την αρχιτεκτονική του WLAN και των κυψελωτών δικτύων ώστε να σχηματίσουν τελικά το δικό τους δίκτυο. Ειδικότερα, η έννοια του κυψελωτού συστήματος έγκειται στην αντικατάσταση ενός πομπού μεγάλης ισχύος από πολλούς πομπούς μικρότερης ισχύος, ο καθένας από τους οποίους καλύπτει μικρό τμήμα της περιοχής εξυπηρέτησης ενός συστήματος, που είναι και η λεγόμενη κυψέλη. Όπως έχει αναφερθεί στα VANET κάθε πομπός έχει μια εμβέλεια, πέρα από την οποία δεν μπορεί να επικοινωνήσει με το περιβάλλον του. Έτσι για την υλοποίηση ενός δικτύου VANET, η συστηματική χωρική κατανομή των σταθμών βάσης και των ομάδων συχνοτήτων στην περιοχή εξυπηρέτησης και η μείωση της εκπεμπόμενης ισχύος για αποφυγή παρεμβολών κρίνονται απαραίτητες.

Όμως η κίνηση των κόμβων αποτελεί βασικό παράγοντα στην διαμόρφωση του δικτύου. Έχουν γίνει πολλές έρευνες ώστε να ανακαλυφθεί ένα αρκετά ρεαλιστικό μοντέλο, επιτυχημένες και μη. Αποδοτικότερο αποδείχτηκε πως είναι το VanetMobiSim (VANET Mobility Simulator) που είναι ένας προσομοιωτής κίνησης οχημάτων και είναι 'απόγονος' του CanuMobiSim. Σύμφωνα με αυτό μπορούμε να δημιουργήσουμε το χάρτη του περιβάλλοντός μας, να εισάγουμε πινακίδες και διασταυρώσεις καθώς επίσης και να επιλέξουμε τρόπο κίνησης των οχημάτων.

Στον χάρτη αυτό λοιπόν, παριστάνουμε τα κτίρια, τους σηματοδότες και όλες τις παραμέτρους που διαθέτουμε ώστε να δούμε για τις πυκνές περιοχές οι οποίες έχουν έντονη παρουσία στα σημεία ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια με αλλαγές όπως η πρόσθεση πάροδων και φωτεινών σηματοδότην 'ελέγχουμε' κατά τρόπο το δίκτυο. Με άλλα εργαλεία παρουσιάζουμε και την οδική συμπεριφορά του οδηγού, προσθέτοντας μοντέλα επιβράδυνσης και ταχύτητας στις οδικές διασταυρώσεις.

1.3 Μοντέλα Κινητικότητας

Δύο είναι τα κυρίαρχα είδη μοντέλων κινητικότητας: τα μοντέλα ίχνους και τα συνθετικά μοντέλα. Και τα δύο περιλαμβάνουν κινητούς κόμβους (ΚΚ), στα μοντέλα ίχνους απεικονίζονται με μεγάλη ακρίβεια τα πραγματικά συστήματα σε μεγάλη περίοδο παρατήρησης. Το πρόβλημα είναι πως σε δίκτυα ad hoc δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν αν δεν υπάρχουν ήδη τα ίχνη. Λύση σε αυτό δίνουν τα συνθετικά μοντέλα που αναπαριστούν ρεαλιστικά τους ΚΚ χωρίς ίχνη. Τα συνθετικά μοντέλα χωρίζονται με τη σειρά τους σε δύο ομάδες: τα ατομικά και τα ομαδικά μοντέλα κινητικότητας.

1.3.1 Ατομικά Μοντέλα Κινητικότητας

Στα ατομικά μοντέλα κινητικότητας υπάγονται τα τυχαία μοντέλα κινητικότητας (Random-based mobility models), όπως είναι το μοντέλο κινητικότητας τυχαίου περιπάτου (Random Walk Mobility Model), το μοντέλο κινητικότητας τυχαίων στάσεων (Random Waypoint Mobility Model), το μοντέλο κινητικότητας τυχαίας κατεύθυνσης (Random Direction Mobility Model), και στα μοντέλα κινητικότητας με χρονική εξάρτηση (Mobility models with temporal dependency). Χαρακτηριστικό παράδειγμα μοντέλου με χρονική εξάρτηση είναι το μοντέλο κινητικότητας Gauss-Markov, η πιθανοτική εκδοχή του μοντέλου κινητικότητας τυχαίου περιπάτου, το ομαλό τυχαίο μοντέλο κινητικότητας (Smooth Random Mobility Model) και το μοντέλο κινητικότητας περιοχής προσομοίωσης χωρίς σύνορα (Boundless Simulation Area Mobility Model).

Ακόμα μία κατηγορία είναι και τα μοντέλα κινητικότητας με γεωγραφικό περιορισμό. Τέτοια είναι το μοντέλο κινητικότητας τμήματος πόλης (City Section Mobility Model), το μοντέλο κινητικότητας μονοπατιού (Pathway Mobility Model) και το μοντέλο κινητικότητας με εμπόδια (Obstacle mobility Model).

1.3.2 Ομαδικά Μοντέλα Κινητικότητας

Όλα τα παραπάνω παριστάνουν μοντέλα κινητικότητας με πολλούς κόμβους των οποίων οι κινήσεις είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Στα ad hoc δίκτυα όμως οι κινητοί κόμβοι κινούνται μαζί. Έτσι, για την μοντελοποίηση τους χρησιμοποιούνται τα ομαδικά μοντέλα κινητικότητας. Τα πιο σημαντικά είναι :

- το ομαδικό μοντέλο κινητικότητας σημείου αναφοράς (Reference Point Group Mobility Model-RPGM) που μπορεί να αναπαραστήσει και το μοντέλο κινητικότητας χώρου ευθύνης (In-Place Model), το μοντέλο κινητικότητας

επικάλυψης (Overlap Mobility Model) και το μοντέλο κινητικότητας συνεδρίου (Convention Mobility Model).

- το μοντέλο κινητικότητας στήλης (Column Mobility Model).
- το ομαδικό μοντέλο κινητικότητας καταδίωξης (Pursue Group Mobility Model)
- το μοντέλο κινητικότητας νομαδικής κοινότητας (Nomadic Community Mobility Model) και τέλος,
- το τυχαίο μοντέλο κινητικότητας εκθετικής συσχέτισης (Exponential Correlated Mobility Model).

1.4 Σκίαση

Η σκίαση αποτελεί σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τη συνδεσιμότητα ενός ad hoc δικτύου. Σκίαση εμφανίζεται λόγω ύπαρξης εμποδίων ανάμεσα σε πομπό και δέκτη με αποτέλεσμα να μεταβάλλουν την ισχύ του σήματος. Για να γίνει μετάδοση δεδομένων πρέπει να υπάρχει συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη. Από καθαρά γεωμετρικά χαρακτηριστικά, αν η απόσταση το επιτρέπει γίνεται η μετάδοση. Η σκίαση όμως είναι τυχαίος παράγοντας και έτσι μπορούμε να έχουμε μετάδοση ακόμα και αν η απόσταση είναι μεγαλύτερη από την επιτρεπτή ή και να λειτουργήσει αντίθετα. Ακόμα ένας ανασταλτικός παράγοντας είναι και οι απώλειες διαδρομής (Path loss factor). Οι απώλειες διαδρομής οφείλονται στις επιδράσεις του καναλιού διάδοσης και μπορούν να επιδρούν και σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις.

Σε κάθε σταθμό βάσης κατανέμεται ένα μέρος του συνόλου καναλιών έτσι ώστε όλα τα διαθέσιμα κανάλια να παρέχονται σε μικρό αριθμό γειτονικών σταθμών βάσης. Με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιούνται οι παρεμβολές τόσο μεταξύ των σταθμών όσο και μεταξύ των χρηστών που εξυπηρετούνται από τους σταθμούς βάσης. Με συστηματική χωρική κατανομή των σταθμών βάσης και των ομάδων συχνοτήτων, τα διαθέσιμα κανάλια μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν όσες φορές χρειάζεται, ενώ παράλληλα οι στάθμες των παρεμβολών διατηρούνται κάτω από τα αποδεκτά επίπεδα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: IEEE 802.11

2.1 ΤΟ IEEE 802.11 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ



Αρκετά MAC πρωτόκολλα έχουν προταθεί για VANETs προκειμένου η επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων να επιτυγχάνεται μέγιστη ασφάλεια κυκλοφορίας, υψηλή απόδοση μεταφοράς και μείωση των επιπτώσεων μεταφοράς στο περιβάλλον. Γι' αυτό το σκοπό οργανισμοί όπως ο Διεθνής πρότυπος οργανισμός (ISO-International Standard Organisation), το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE- Institute of Electrical and Electronic Engineers) και τη GeoNet συνεργάζονται επάνω στις προτάσεις αρχιτεκτονικής των ITS(intelligent transportation systems)που εξετάζουν το κρίσιμο πρόβλημα της ασφάλειας της κυκλοφορίας. Έπειτα από πολλές προσπάθειες κατάφεραν συνδυάζοντας διαφορετικές εφαρμογές και πρωτόκολλα να επιτύχουν λύσεις στο παραπάνω πρόβλημα. Έτσι προτάθηκαν :

- Από τη GeoNet το C2C-CC (Car to Car Communication Consortium), που εφαρμόζεται ευρέως στην ευρωπαϊκή αυτοκινητοβιομηχανία, ειδικεύεται σε θέματα ασφάλειας. Το C2CNet είναι βασισμένο στη γεωγραφική δρομολόγηση.
- Από την ISO το CALM (Continuous Long Interface for Long to Medium range), που αρχικά σχεδιάστηκε με σκοπό να αντιμετωπίσει τα ζητήματα συνεχούς επικοινωνίας μεταξύ των οχημάτων και μεταξύ των οχημάτων και της υποδομής ακρών του δρόμου. Η έννοια του CALM είναι βασισμένη στο ετερογενές συνεταιριστικό πλαίσιο επικοινωνίας για να παρέχει τη συνεχή επικοινωνία στη μεταφορά χρηστών.

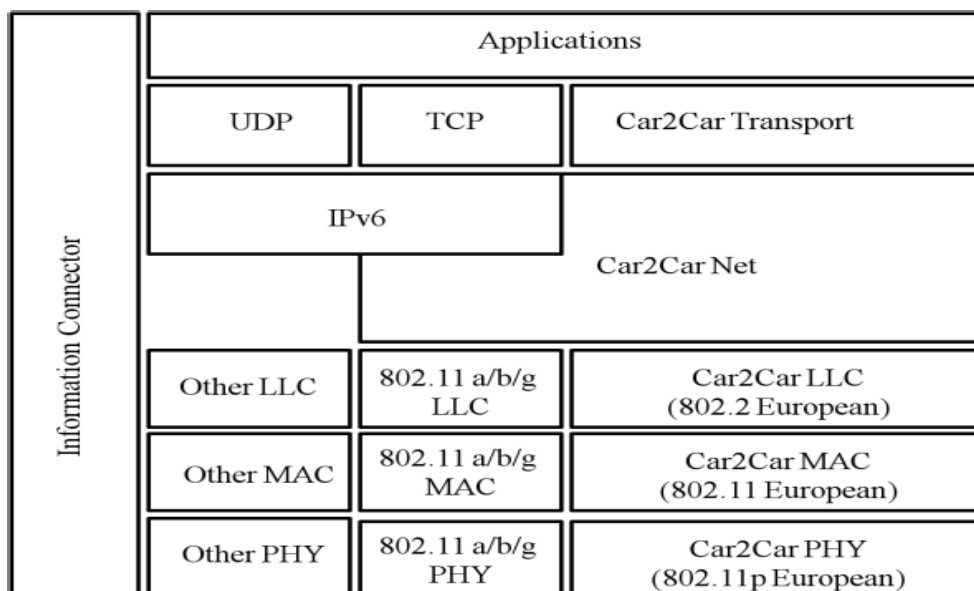
- Από την IEEE μια πλήρη λίστα πρωτοκόλλου της οικογένειας 1609 που ονομάζεται και 'WAVE' (ασύρματη πρόσβαση στο τροχαίο περιβάλλον- Wireless Access in Vehicular Environment), και βασίζεται εξ ολοκλήρου στο 802.11p.

2.1.1 Car to Car Consortium (C2C-CC)

Το C2C-CC [1] έχει σαν στόχο την καθιέρωση του ευρωπαϊκού πρότυπου βιομηχανίας στις ενεργές εφαρμογές ασφάλειας. Έτσι, σχεδιάζουν το πρωτόκολλο C2CNet, που διαφέρει από το IP. Το πρωτόκολλο προορίζεται για χρήση και στις ασφαλείς εφαρμογές αλλά και στις μη ασφαλείς εφαρμογές. Εξετάζεται βέβαια και η υλοποίηση ενός ενιαίου πρωτοκόλλου που να ανταποκρίνεται και στα δύο είδη εφαρμογών επικοινωνίας. Διαθέσιμο εύρος ζώνης 30MHz αφιερώνεται για τις εφαρμογές ασφάλειας στα 5.9 MHz [2]. Το στρώμα δικτύου του C2C-CC παρέχεται και για την μετακίνηση των οχημάτων. Τα χαρακτηριστικά του C2C-CC [11] είναι :

- Γρήγορη μετάδοση πληροφοριών για V2V και V2I επικοινωνίες.
- Υποστήριξη στη μετάδοση μηνυμάτων ασφάλειας και πληροφόρησης.
- Διαφορετικές περιορισμένου φάσματος ασύρματες τεχνολογίες του τοπικού LAN, συμπεριλαμβανομένου IEEE 802.11 τεχνολογιών.

Διαχωρίζονται όπως φαίνεται παρακάτω στο σχήμα (1) :



σχήμα 1. C2C-RCC αρχιτεκτονική

Σε αντίθεση με το Wave και το Calm, οι εφαρμογές ασφαλείας δεν εμφανίζουν περιορισμούς στο στρώμα μεταφοράς και δικτύου του C2C-CC. Οι εφαρμογές μη ασφαλείας μπορούν να χρησιμοποιήσουν και το παραδοσιακό TCP/ IP για να έχουν πρόσβαση στις ασύρματες επικοινωνίες. Τα RSUs μπορούν να χρησιμοποιήσουν και το C2CNet σε στρώμα IP.

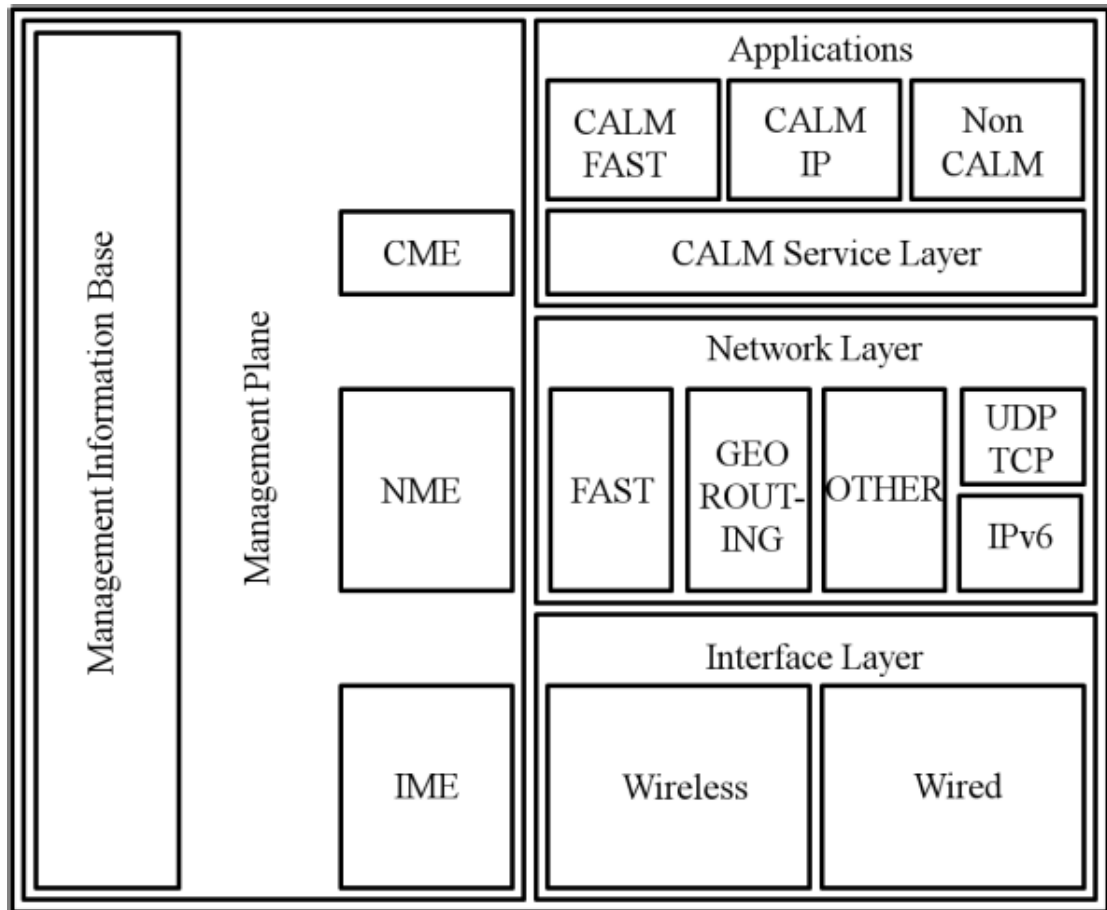
2.2 CALM

Το ISO CALM [2] έχει ως σκοπό να παρέχει συνεχή V2V, V2I και V2O (όπου O υποδεικνύει άλλη επικοινωνία διεπαφών) που είναι βασισμένη σε διάφορα προγράμματα όπως τα COOPERS και SAFESPOT. Ακόμα, το C2C-CC συνδύασε το CALM, για να παρέχει πολλαπλές διεπαφές στα τροχαία δίκτυα επικοινωνίας. Τα πρότυπα CALM είναι βασισμένα στα πλαίσια του DSRC και έχουν υιοθετηθεί σε πολλές χώρες όπως είναι η Αυστραλία, περιοχές της Ασίας και της Νότιας Αμερικής. Όταν πρόκειται για κοντινές και σύντομες αποστάσεις, το CALM συνιστά υπέρυθρες ακτίνες, όμως για μεγάλες αποστάσεις, αποδοτικότερη θεωρείται η χρήση του GSM, UMTS ή οποιασδήποτε άλλης τεχνολογίας, διαθέσιμης στο στρώμα PHY. Ακόμα, παρόλο που έχει υψηλό κόστος το CALM προβλέπει και ενδεχόμενη χρήση δορυφόρου.

Η CCME, που ορίζεται στο CALM, παρέχει ευελιξία και προσαρμοστικότητα στα χαρακτηριστικά γνωρίσματά της. Η CCME αποτελείται από τρία χαρακτηριστικά ως ακολούθως :

- **CALM Interface Manager**: ελέγχει και καταχωρεί τη θέση σε κάθε διεπαφή επικοινωνίας (CI) καθώς και την ποιότητα των καναλιών που βοηθούν στη λήψη των αποφάσεων.
- **CALM Network Manager**: διαχειρίζεται την διαδικασία της παράδοσης σε εναλλακτικά μέσα.
- **CALM/ Application Manager**: εξασφαλίζει τις απαιτούμενες προϋποθέσεις για τη μετάδοση. Αλληλεπιδρά με τις διεπαφές ώστε να έχει τις απαραίτητες πληροφορίες για το κατάλληλο μέσο και στη συνέχεια καθοδηγεί το CALM Network Manager για να εγκατασταθεί η σύνδεση. Ακόμα δίνει τη δυνατότητα σε κάποιον IPv6 κόμβο να μετακινηθεί από μία μάσκα υποδικτύου IP σε μία άλλη. Το πρωτόκολλο IETF NEMO αναφέρεται στη διαχείριση κινητικότητας ενός δικτύου.

Το σχήμα 2 εμφανίζει τις σχέσεις μεταξύ των υπηρεσιών του CALM [10]:

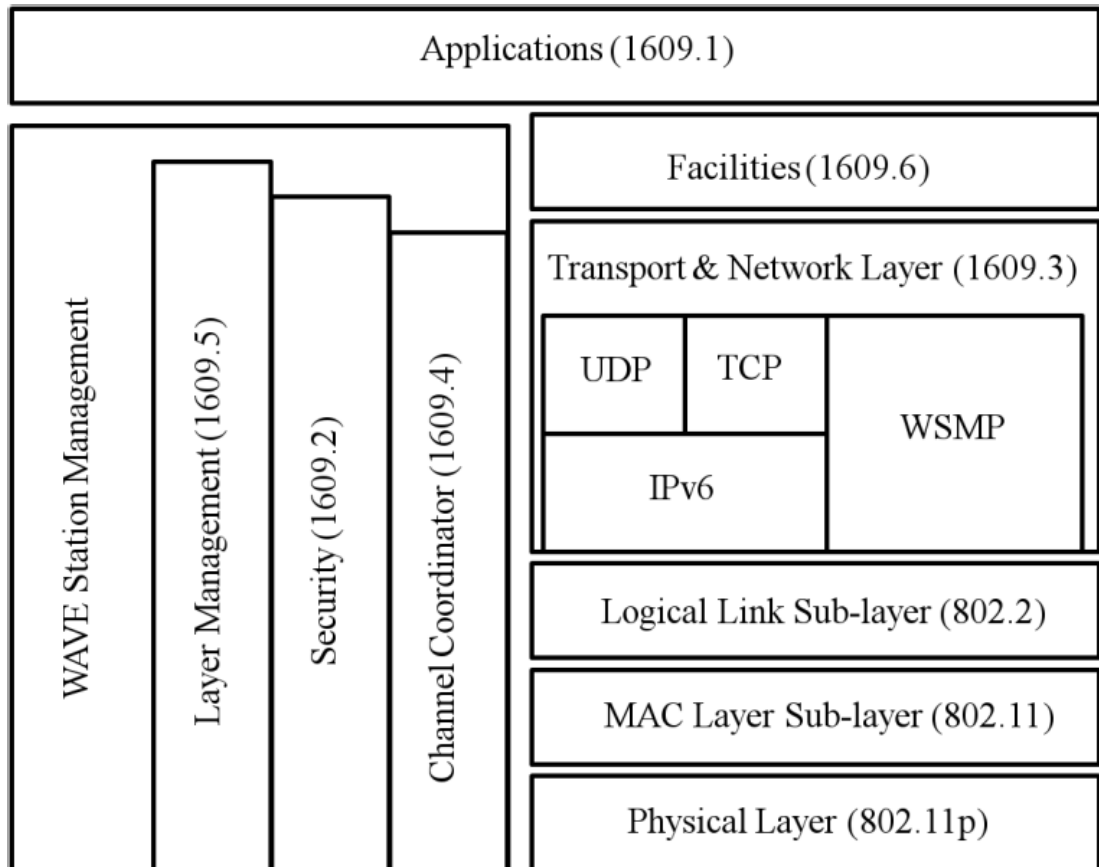


Σχήμα 2 . CALM αρχιτεκτονική.

Η ISO CALM διαθέτει εύκολο σχεδιασμό και απαιτεί λιγότερο από 1ms για οργάνωση μίας σύνδεσης. Αυτό το χαρακτηριστικό την καθιστά δημοφιλή, δεδομένου ότι παρέχει συνδυασμό διαφορετικών τεχνολογιών στην επικοινωνία, και ταυτόχρονα μπορεί να διαχειριστεί και μελλοντικές τεχνολογίες. Εντούτοις, οι ερευνητές αντιμετωπίζουν ακόμα προβλήματα για την εφαρμογή τους. Μπορεί η CALM να είναι συνδυασμός τεχνολογιών, όμως η παροχή τους από τις διάφορες διεπαφές απαιτεί σκληρή εργασία. Δυστυχώς, δεν υπάρχει ακόμα μία πλήρης λίστα πρωτοκόλλων.

2.3 WAVE

Υπάρχουν διαφορετικά πρότυπα που ανήκουν στο IEEE και διαχωρίζονται όπως στο σχήμα (3) :



Σχήμα 3. WAVE αρχιτεκτονική

Το κάθε στρώμα διαχειρίζεται και διαφορετικά ζητήματα [4]. Οι τύποι των εφαρμογών χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Ασφάλεια
- Πληροφορία και διασκέδαση.

Αναλυτικότερα, οι λειτουργίες είναι οι εξής για το κάθε τμήμα:

- Το IEEE P1609.0- **σχέδιο προτύπου για ασύρματη πρόσβαση** σε περιβάλλον Οχημάτων (WAVE): περιγράφει την αρχιτεκτονική WAVE και τις υπηρεσίες που απαιτούνται για πολυκαναλικές DSRC / WAVE συσκευές που επικοινωνούν σε ένα κινητό περιβάλλον οχημάτων.
- Το IEEE 1609.1- **Διαχείριση Πόρων**: προσδιορίζει τις υπηρεσίες, τις διασυνδέσεις και την διαχείριση πόρων του WAVE. Ο διαχειριστής περιγράφει τα δεδομένα και τις υπηρεσίες διαχείρισης που προσφέρονται στο πλαίσιο της αρχιτεκτονικής WAVE. Ορίζει τις μορφές μηνυμάτων και των εντολών και τις κατάλληλες απαντήσεις σε αυτά τα μηνύματα, τις μορφές αποθήκευσης των δεδομένων που πρέπει να χρησιμοποιούνται από τις εφαρμογές που επικοινωνούν μεταξύ των συνιστωσών της αρχιτεκτονικής, το καθεστώς και τους τύπους των μηνυμάτων αίτησης.

- Το IEEE 1609.2- **Υπηρεσίες Ασφαλείας των Εφαρμογών και Διαχείρισης των Μηνυμάτων** : ορίζει ασφαλείς μορφές μηνυμάτων και την επεξεργασία τους. Αυτό το πρότυπο καθορίζει επίσης τις περιπτώσεις για τη χρήση της ασφαλούς ανταλλαγής μηνυμάτων και πώς αυτά τα μηνύματα θα πρέπει να υποβάλλονται σε επεξεργασία με βάση το σκοπό της ανταλλαγής.
- Το IEEE 1609.3 **-Δικτυακές Υπηρεσίες** : ορίζει τα υποστρώματα Δικτύων και Υπηρεσιών των Μεταφορών, περιλαμβανομένης της αντιμετώπισης και της δρομολόγησης, για την υποστήριξη της ασφαλούς ανταλλαγής δεδομένων WAVE. Ορίζει επίσης τα WAVE γραπτά μηνύματα, προσφέροντας ένα αποτελεσματικό WAVE πρότυπο σε συγκεκριμένη εναλλακτική λύση για το IPv6 (Internet Protocol version 6) που μπορεί να υποστηρίζεται απευθείας από τις εφαρμογές. Περαιτέρω, το πρότυπο αυτό καθορίζει τη Διαχείριση Βάσης Πληροφοριών (MIB) για τη στοίβα του πρωτοκόλλου WAVE.
- Το 1609.4 **MultiChannel Operations –Πολυκαναλικές Εφαρμογές** και παρέχει βελτιώσεις στο IEEE 802.11 Media Access Control (MAC) για τη στήριξη WAVE εφαρμογών.
- το 1609.5- **Διαχείριση του στρώματος**.
- το 1609.6 προσφέρει ένα στρώμα μεταξύ της μεταφοράς και του στρώματος εφαρμογής και χρησιμοποιείται για πρόσθετα στοιχεία στο στρώμα εφαρμογών.
- **Το IEEE P1609.11 OvertheAir ανταλλαγής δεδομένων πρωτοκόλλου των ευφών συστημάτων μεταφορών (ITS)** που καθορίζει τις υπηρεσίες και την ασφάλεια των μορφών μηνυμάτων για να στηρίξει τις ασφαλείς ηλεκτρονικές πληρωμές.

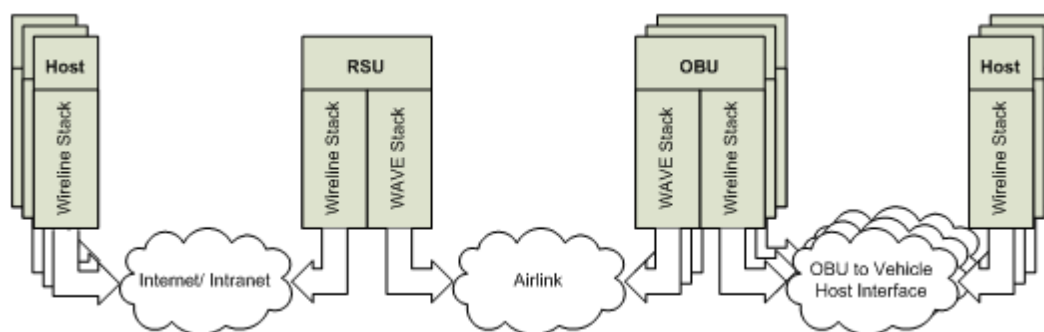
Συλλογικά το **IEEE 1609 πλαίσιο προτύπων για ασύρματη πρόσβαση σε τροχαία περιβάλλοντα (WAVE)** [5] περιγράφει την ασύρματη ανταλλαγή δεδομένων, την ασφάλεια, και τη παρουσίαση των υπηρεσιών μεταξύ των οχημάτων και των συσκευών, καθώς και τα στρώματα των ισχυόντων πρωτοκόλλων εφαρμογής που απαιτούνται για την πρόσβαση στις επικοινωνίες με τα οχήματα . Περιγράφει το φυσικό μηχανισμό της επικοινωνίας, καθώς και την εντολή και τις υπηρεσίες διαχείρισης, και παρέχει δύο επιλογές (WAVE σύντομο μήνυμα και IPv6) για την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και μεταξύ οχημάτων και των συσκευών. Τα πρότυπα αυτά αποτελούν τη βάση για το σχεδιασμό των εφαρμογών που διασυνδέονται με το περιβάλλον WAVE και παρέχουν υπηρεσίες δικτύου, έτσι ώστε οι εφαρμογές [6] να μπορούν να είναι αδιάλειπτες, χωρίς σχέση με συγκεκριμένους παραγωγούς, συμπεριλαμβανομένων της αποθήκευσης δεδομένων, τους μηχανισμούς πρόσβασης, τη διαχείριση των συσκευών και την ασφαλή διέλευση των μηνυμάτων.

Η αρχιτεκτονική, οι διασυνδέσεις και τα μηνύματα που καθορίζονται στο **IEEE 1609 πλαίσιο προτύπων για ασύρματη πρόσβαση σε τροχαία περιβάλλοντα (WAVE)** στηρίζουν τη λειτουργία των ασφαλών ασύρματων επικοινωνιών μεταξύ των οχημάτων και των υποδομών, καθώς και ανάμεσα στα οχήματα. Οι αιτήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτά τα πρότυπα, σε συνδυασμό με το φάσμα των 5,9 GHz και το ραδιοεξοπλισμό για την παροχή, για παράδειγμα, υπηρεσιών προς τους οδηγούς, τους φορείς εκμετάλλευσης των εγκαταστάσεων και του προσωπικού συντήρησης.

Το WAVE επιτρέπει μόνο μία και μοναδική επιλογή MAC στρώματος, όπως για παράδειγμα το 802.11p [6], με αποτέλεσμα να περιορίζεται ο βαθμός ελευθερίας των δραστηριοτήτων. Εν τούτοις, προσομοιωτές όπως οι NCTUns , προσφέρουν την κατάλληλη υποστήριξη στο πρωτόκολλο, έτσι ώστε οι ερευνητές να μπορούν να χρησιμοποιήσουν και άλλες δυνατότητες του στρώματος MAC.

Το IEEE 802.11p περιγράφει τη λειτουργία στρώματος MAC της εφαρμογής WAVE. Οι κόμβοι στα Vanets μπορούν να κινηθούν πολύ γρήγορα, οδηγώντας έτσι σε τοπολογικές αλλαγές. Η WAVE χρησιμοποιεί όπως φαίνεται στο σχήμα (4) , δύο διαθέσιμες υπηρεσίες για τη διαχείριση της τοπολογίας. Το βασικό σύνολο υπηρεσιών [4] (WBSS- Basic Service Set) εφαρμόζεται στην επικοινωνία μεταξύ RSUs και OBUs, ενώ μοιάζει στις προδιαγραφές με το 802.11a για την επικοινωνία των κόμβων με τα σημεία πρόσβασης. Το δεύτερο σύνολο είναι το WAVE independent basic service set- WIBSS και υποστηρίζει την επικοινωνία μεταξύ δύο κόμβων σε πλέγμα, πχ V2V χωρίς συμμετοχή RSU.

ΣΥΣΤΗΜΑ WAVE



Σχήμα 4. σύστημα WAVE

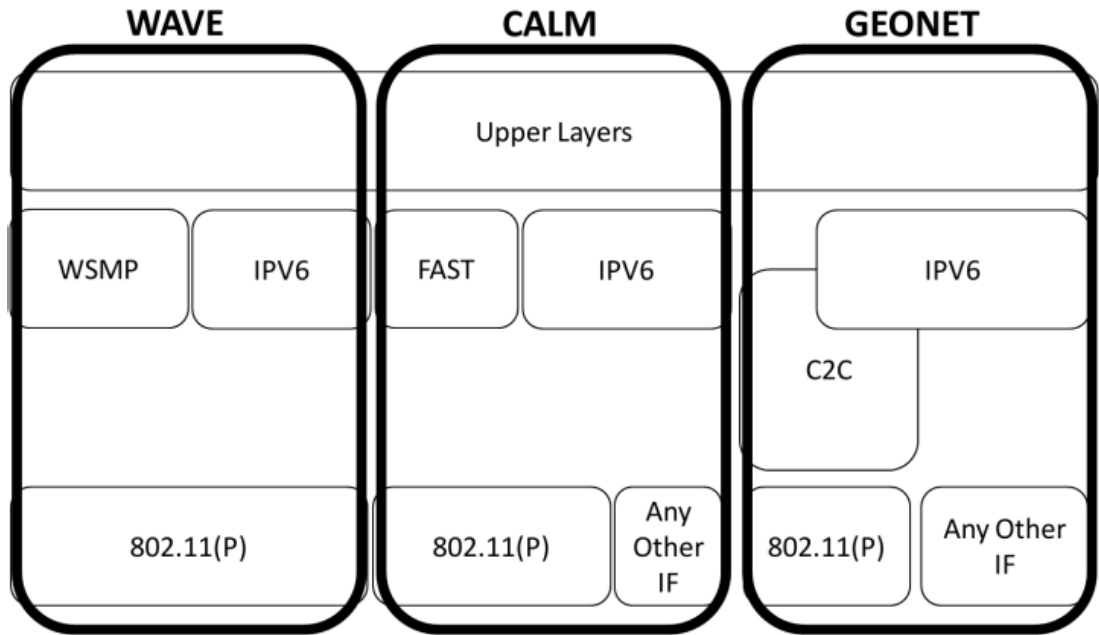
Πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με τις διάφορες πτυχές του WAVE. Μερικοί έχουν πραγματοποιήσει ακόμα και αξιολόγηση απόδοσης στα χαμηλότερα στρώματα και παρουσίασαν την τροποποιημένες τους προτάσεις.

2.4 Σύγκριση

Parameters/Protocol Stacks	C2C-CC	CALM	WAVE
Promotion Identity	Industry consortium of car manufacturers	Standard body	Standard body
Focused on	Car to car multi-hop and geo networking.	Multiple media (802.11p, DSRC, W-LAN etc)	Only 802.11p at MAC layer for purely emergency messages
PHY Layer	DSRC and other WLAN standards	Combination of different technologies	DSRC only
Wireless Technology	Support for Media Dependent and Media Independent Part	Interface Abstraction	Only PHY layers specific to 802.11p
Target Applications	Safety	Non safety and Critical	Safety
Support for Application Types	Active Safety, Traffic Efficiency, Infotainment	Non-IP CALM Aware, IPV6 CALM Aware, IPV6 Legacy	Safety Non-IP, Non Safety IPV6
Addressing Schemes	Geo-routing	Mainly IP addressing	IP addressing
Routing Schemes	Based on MAC protocol (Receiver based) plus IPV6	Mobile IPV6	Different channel allocation plus IPV6
Security issues	Different procedures adopted like certificate etc	Not very clearly defined and addressed	Defined procedures like certificates and signatures
Number of Hops	Single Hop & Multi-hop	Single hop	Single Hop
Communication Mode	Uni-cast, Broad-cast, Geo-uni-cast, Geo-broadcast	Uni-cast, Broad-cast	Uni-cast
Group Addressing	Geo-Addressing	Via Service Initialization	Via WBSS
Flexibility	Flexible and ideal to adapt	Very flexible but has lot of confusions	Not flexible , restricted to single MAC layer
Simulators	GeoNet claimed to have patch in NCTUns but do not have any open source simulator	No open source simulator	Open source simulator i.e. NCTUns

Πίνακας 1. Πίνακας σύγκρισης

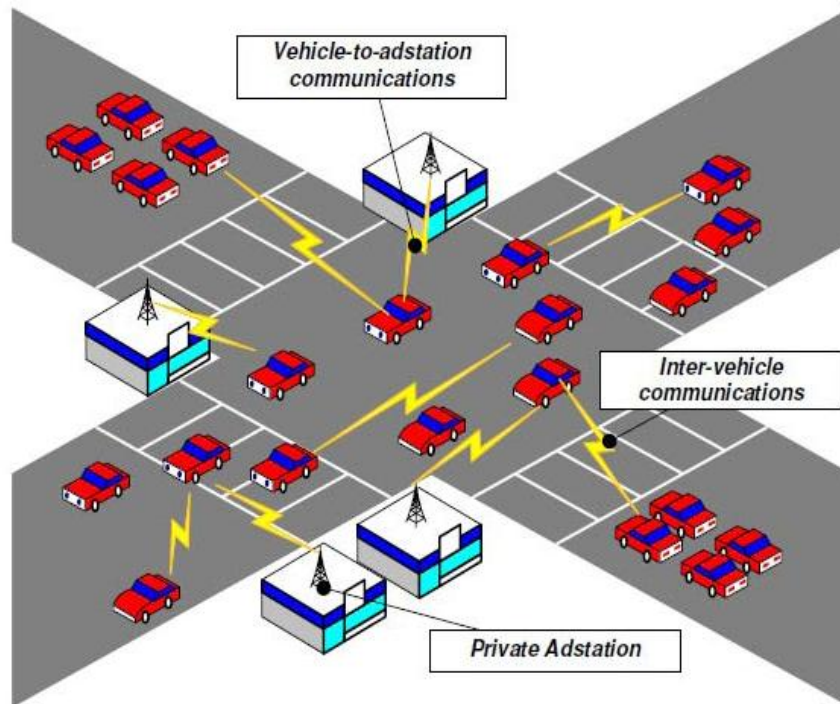
Συγκρίσεις μεταξύ των διαθέσιμων πρωτοκόλλων έχουν αποδείξει πως για την περιορισμένου φάσματος επικοινωνία, οι δύο καλύτερες επιλογές είναι η WAVE και C2C-CC. Τα C2C-CC μπορούν να χρησιμοποιήσουν πολλαπλές διεπαφές και πρωτόκολλα MAC, χαρακτηριστικό το οποίο και τα καθιστά ιδιαίτερα αποδοτικά. Δυστυχώς όμως, δεν υπάρχει κατάλληλος προσομοιωτής πηγής και έτσι δεν είναι αποτελεσματική η χρήση και η υλοποίησή τους.



Σχήμα 5. VANET Architecture Comparison

Ακόμα η WAVE όσο αφορά το στρώμα MAC δεν είναι ιδιαίτερα ευέλικτη, επειδή το IEEE 802.11p μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιορισμένου φάσματος επικοινωνία. Επιπλέον, κάθε όχημα πρέπει να έχει μια IEEE 802.11p διεπαφή. Ωστόσο, είναι κατάλληλο για τα μηνύματα ασφαλείας δεδομένου ότι η επείγουσα πληροφορία μπορεί να μεταδοθεί με προτεραιότητα. Η WAVE είναι δημοφιλής μεταξύ των ερευνητών επειδή είναι η μόνη αρχιτεκτονική που παρέχει πλήρη υποστήριξη προσομοίωσης [6], [7], [8], [9]. Σε αντίθεση το NCTUns υποστηρίζει τη λίστα του πρωτοκόλλου IEEE 802.11p, αλλά δεν παρέχει την κατάλληλη υποστήριξη για IPv6 και WSMP. Η ISO CALM είναι συνδυασμός διαφορετικών τεχνολογιών από το 802.11p στο UMTS, έτσι ώστε να καθιστά την παράδοση των διεπαφών σε πολύπλοκη εργασία. Προς το παρόν, δεν υπάρχει κατάλληλος προσομοιωτής που να υποστηρίζει απόλυτα την πλήρη CALM λίστα πρωτοκόλλου. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι εάν το κριτήριο επιλογής μιας λίστας είναι η ευελιξία, πρέπει να επιλέξουμε το C2C-CC. Σε διαφορετική περίπτωση κρίνεται καταλληλότερη η WAVE που είναι και λιγότερο σύνθετη. Ταυτόχρονα, οι εφαρμογές λειτουργίας αναδεικνύουν τα C2C-CC και C2CNet καθώς και το παραδοσιακό TCP/UDP ως τα πιο αποδοτικά με χρήση πρωτοκόλλου IP. Επιπρόσθετα, τα C2C-CC πραγματεύονται την καταλληλότητά του σε εφαρμογές όπως η μπροστινή αποφυγή σύγκρουσης, την παραβίαση κόκκινου σηματοδότη κλπ ενώ στην WAVE και CALM τέτοιες λεπτομέρειες δεν είναι διαθέσιμες.

2.5 IEEE 802.11p για VANET



Ειδικότερα, το IEEE 802.11 περιγράφει ασύρματα πρότυπα επικοινωνίας που μπορούν να λειτουργήσουν με δύο τρόπους:

- Σε έναν συγκεντρωμένο τρόπο, όπου τα κινητά τερματικά επικοινωνούν με ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης, ή
- Σε έναν ειδικό τρόπο, όπου οι κινητοί κόμβοι επιτρέπεται να επικοινωνήσουν και να αλληλεπιδράσουν άμεσα, χωρίς τη χρήση συγκεκριμένης υποδομής.

Λόγω του χαμηλού κόστους και της μεγάλης διαθεσιμότητας στην αγορά, τα IEEE 802.11 χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές των VANET και εξετάζουν το φυσικό στρώμα και το στρώμα MAC.

2.5.1 IEEE 802.11 MAC Layer

Στην IEEE 802.11, η λειτουργία καταναμεμένου συντονισμού (Distributed Coordination Function-DCF) [12] είναι υπεύθυνη για τη μέση πρόσβαση βασισμένη σε CSMA/CA (δηλαδή CSMA με αποφυγή σύγκρουσης). Δηλαδή, πριν τη μετάδοση, η συσκευή 'ακούει' το δίκτυο για να αποφευχθούν οι συγκρούσεις. Η λειτουργία συντονισμού σε PCF είναι μια άλλη μέθοδος για να υπάρχει πρόσβαση στο μέσο που σχεδιάζεται για τα συγκεντρωμένα δίκτυα και υπηρεσίες.

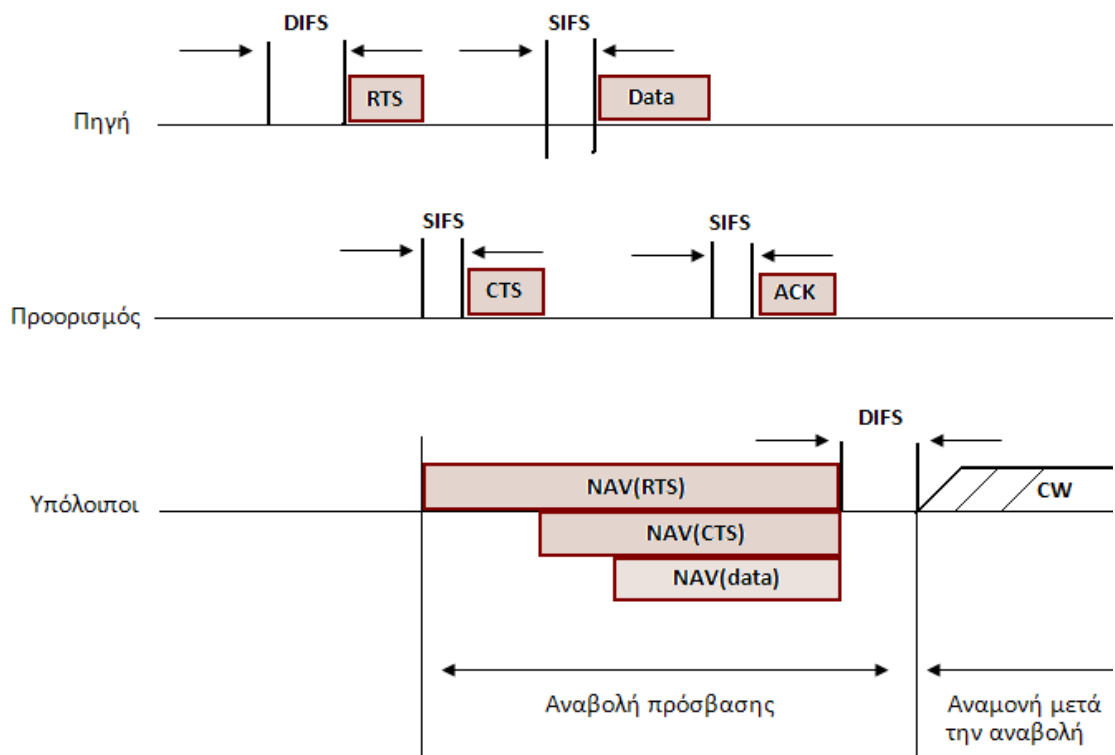
Η DCF έχει σχεδιαστεί για ασύγχρονη μετάδοση δεδομένων, όπου όλοι οι σταθμοί που έχουν να μεταδώσουν δεδομένα έχουν ίσες ευκαιρίες για πρόσβαση στο δίκτυο. Ο ένας κόμβος δηλαδή, ανταγωνίζεται τον άλλο για πρόσβαση στο δίκτυο, κι έτσι υπάρχει δίκαια πρόσβαση στο δίκτυο από όλους τους σταθμούς. Η DCF βασίζεται στην CSMA-CA. Η ανίχνευση φέροντος στο πρότυπο IEEE 802.11 γίνεται τόσο στην ασύρματη διεπαφή, αναφερόμενη ως φυσική ανίχνευση (physical carrier sensing), όσο στο υπόστρωμα MAC, αναφερόμενη ως νοητή ανίχνευση φέροντος (virtual carrier sensing). Στη φυσική ανίχνευση φέροντος, διαπιστώνεται η παρουσία άλλων χρηστών WLAN IEEE 802.11 με την ανάλυση όλων των λαμβανόμενων πακέτων [13]. Επίσης, ανιχνεύεται η δραστηριότητα στο δίκτυο μέσω της σχετικής έντασης του σήματος που προέρχεται από άλλες πηγές.

Αντιθέτως, η PCF (Point Coordination Function) είναι προαιρετική, βασίζεται σε σύστημα polling που ελέγχεται από ένα Access Point, και σχεδιάστηκε κυρίως για μεταφορά κίνησης που είναι ευαίσθητη σε καθυστερήσεις. Στα VANETs χρησιμοποιείται για την επικοινωνία των οχημάτων και των εγκατεστημένων σταθμών βάσης στις άκρες των δρόμων (δηλαδή απαντάται πάντα στα δίκτυα με υποδομή V2R, όχι στα ad hoc). Μπορεί να υποστηρίξει ποιότητα υπηρεσιών και για να γίνει αυτό προδιαγράφονται τέσσερις τύποι περιόδων σιγής μεταξύ των μεταδιδόμενων πλαισίων (inter-frame spacing-IFS). Τα χρονικά αυτά διαστήματα παρέχουν μηχανισμούς εκχώρησης προτεραιοτήτων. Τα IFS είναι αναγκαστικές περίοδοι σιγής στο φυσικό μέσο μετάδοσης. Μετά το πέρας κάθε μετάδοσης, όλοι οι σταθμοί που έχουν να στείλουν πλαίσια πληροφορίας, περιμένουν για χρονικό διάστημα ίσο με ένα από τα τέσσερα διαθέσιμα είδη IFS, ανάλογα με το βαθμό προτεραιότητας του προς αποστολή πλαισίου [14]. Το μικρότερης διάρκειας διάστημα ονομάζεται Short IFS (SIFS) και χρησιμοποιείται για τα πλαίσια με τη μέγιστη προτεραιότητα, όπως τα πλαίσια ACK και CTS.

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω, δύο μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν IEEE 802.11 για να καθορίσουν εάν το μέσο είναι μη απασχόλησης ή όχι. Η *φυσική αντίληψη μεταφορών* (physical carrier sensing) εξαρτάται από το φυσικό στρώμα και το υλικό (hardware) που χρησιμοποιεί. Βέβαια, δεν μπορεί να υπερνικήσει το κρυμμένο τελικό πρόβλημα, δεδομένου ότι το κρυμμένο τερματικό δεν μπορεί να 'ακουστεί'. Η *εικονική αντίληψη μεταφορών* (virtual carrier sensing) είναι αντιθέτως βασισμένη στο δίκτυο κατανομής δικτύων (NAV). Το NAV είναι ένα χρονόμετρο που δείχνει τη διάρκεια κατά την οποία το μέσο θα είναι πολυάσχολο. Εάν το NAV είναι διαφορετικό από μηδέν, το μέσο είναι υποδειγμένο ως πολυάσχολο (busy).

Στα ασύρματα δίκτυα μερικά διαστήματα, αποκαλούμενα διαστήματα διά-πλαισίων (IFSs- Inter-Frames Spacings), τίθενται μεταξύ δύο διαδοχικών πλαισίων μετάδοσης για να ρυθμιστεί η μέση διαδικασία πρόσβασης. Κατά την ειδική του χρήση IEEE 802.11 για VANETs, πριν την προσπάθεια μετάδοσης, κάθε όχημα πρέπει πρώτα να ελέγχει την κατάσταση του μέσου. Εάν ανιχνεύσει μη-απασχόληση για έναν ορισμένο χρόνο διάρκειας (DIFS), το όχημα μπορεί να μεταδώσει. Διαφορετικά, υπαναχωρεί και προσπαθεί πάλι μετά από ένα χρονικό διάστημα που επιλέγεται μέσα σε ένα παράθυρο ισχυρισμού (CW-contention window).

Για να έχει πρόσβαση στο μέσο, η IEEE 802.11 είναι κυρίως βασισμένη στην ανταλλαγή πακέτων RTS/CTS/ACK. Όταν ένα όχημα θέλει να έχει πρόσβαση στο μέσο, αυτό ανιχνεύει το μέσο. Ακολουθείται η εξής διαδικασία :



Στέλνει ένα πακέτο RTS με την ταυτότητά του και το χρόνο διάρκειας ολόκληρης της μετάδοσης. Όλοι οι γείτονες του οχήματος δεκτών ακούνε το πακέτο RTS και το σύνολο NAV τους σύμφωνα με το χρόνο διάρκειας μετάδοσης που υποδεικνύεται στο πακέτο RTS. Μετά τη λήψη του RTS, εάν ο δέκτης είναι έτοιμος να λάβει τη μετάδοση, περιμένει έναν σύντομο IFS (SIFS) χρόνο και απαντά έπειτα με την αποστολή ενός πακέτου CTS συμπεριλαμβανομένου του χρόνου της διάρκειας μετάδοσης. Όλοι οι γείτονες που λαμβάνουν αυτό το CTS θέτουν το NAV τους σύμφωνα με τον πρότυπο χρόνο διάρκειας της μετάδοσης.

Κατά λήψη του CTS, το όχημα αποστολής περιμένει SIFS χρόνο πριν ξεκινήσει τη μετάδοση στοιχείων. Το όχημα δεκτών, μετά από την επιτυχή λήψη των στοιχείων, περιμένει ένα άλλο SIFS και στη συνέχεια στέλνει ένα ACK μόνο στον αποστολέα. Κάθε τερματικό θέτει το NAV του σε μηδέν μετά από τη λήψη ενός πακέτου ACK. Έτσι, με την εναλλάξ αποστολή πακέτων τέτοιου τύπου, αποφεύγονται και οι συγκρούσεις.

2.5.2 IEEE 802.11 φυσικό στρώμα για VANETs

Καλύπτει τόσο το φυσικό επίπεδο, όσο και το MAC επίπεδο των ασυρμάτων δικτύων. Διακρίνει τοπολογίες δικτύου υποδομής (με access points που συνδέει το δίκτυο 802.11 με την υποδομή του ενσύρματου δικτύου κορμού LAN) και τοπολογίες ad hoc .

Οι υπηρεσίες του στρώματος MAC στο IEEE 802.11 υποστηρίζουν μηχανισμούς για έλεγχο αυθεντικότητας , απόκρυψη, διαχείριση συχνοτήτων και εξοικονόμηση ισχύος.

Οι ζώνες συχνοτήτων είναι κατά ISM (Industrial Scientific Medical) ενώ η επιλογή της ζώνης λειτουργίας στο φάσμα συχνοτήτων επηρεάζει , όπως είναι λογικό, τις απαιτήσεις ισχύος και τη ραδιοκάλυψη (μεγαλύτερες απαιτήσεις ισχύος στις υψηλότερες συχνότητες). Έχουν προταθεί διάφορες IEEE 802.11 εκδόσεις σχετικές με το φυσικό στρώμα.

Οι διασημότεροι είναι 802.11b, 802.11a, και 802.11g. Πολλές άλλες εκδόσεις προτείνονται ως αυξήσεις ή επεκτάσεις αυτών, για παράδειγμα, το 802.11i, το οποίο περιλαμβάνει την ασφάλεια.

Το 802.11b είναι από τα δημοφιλέστερα και ευρέως αποδεκτά ασύρματα πρότυπα δικτύωσης. Όπως το 802.11g, και το 802.11b χρησιμοποιεί τη ζώνη 2.4 Ghz, όπου η ύπαρξη παρεμβολής είναι δυνατή με τα ασύρματα τηλέφωνα, τους φούρνους μικροκυμάτων, τις ασύρματες φωτογραφικές μηχανές IP, και άλλες συσκευές που χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη.

Θεωρητικά, το IEEE 802.11b μπορεί να φθάσει μέχρι και σε 11 Mb/s, αλλά στην πράξη, λόγω των γενικών εξόδων του πρωτοκόλλου CSMA/CA, μπορούν να φθάσουν σε μόνο περίπου 7.5 Mb/s.

Σε αντίθεση με τα 802.11b και 802.11g, το 802.11a χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνότητας 5 Ghz. Η θεωρητική μέγιστη απόδοση είναι 54 Mb/s, αλλά κατά τη διάρκεια της χρήσης φθάνει σε 25 Mb/s το πολύ.

Η ζώνη 5 Ghz δίνει στο 802.11a το πλεονέκτημα λιγότερης παρέμβασης, αλλά δυστυχώς, δεν του επιτρέπει να διαπεράσει τους τοίχους και άλλα εμπόδια.

Πρ ότυπο	Ζώ νη Συχνότη των	Ρυθ μός μετάδοσης στο φυσικό στρώμα	Ρυθ μός μετάδοσης στο στρώμα δικτύου	Τρό πος μετάδοσης	Συμ βατό με:	Κό ριο μειονέκτη μα	Κύ ριο πλεονέκτη μα	
11	802. GHz	2.4 Mbps	2 Mbps	1.2 Mbps	FH SS/ DS SS	Καν ένα	Μεγ αλύτερη εμβέλεια	
11a	802. GHz	5.0 Mbps	54 Mbps	32 Mbps	OF DM	Καν ένα	Υψ ηλότερος ρυθμός μετάδοσης σε περιοχή συχνότη των με μικρό συνωστισ μό	
11b	802. GHz	2.4 Mbps	11 Mbps	6-7 Mbps	DS SS	802. 11	Χα μηλός ρυθμός μετάδοσης για πολλές νέες εφαρμογές	Ευρ έως χρησιμοπο ιούμενο - Μεγαλύτε ρη εμβέλεια
11g	802. GHz	2.4 Mbps	54 Mbps	32 Mbps	OF DM	802. 11/ 802. 11b	Μεγ αλύτερος ρυθμός μετάδοσης στην περιοχή των 2.4 GHz. Περ ιορισμένο ς αριθμός WLAN στο ίδιο μέρος- μεγαλύτερ η εμβέλεια από το 802.11a	

Πίνακας 2. Συνοπτικός Πίνακας

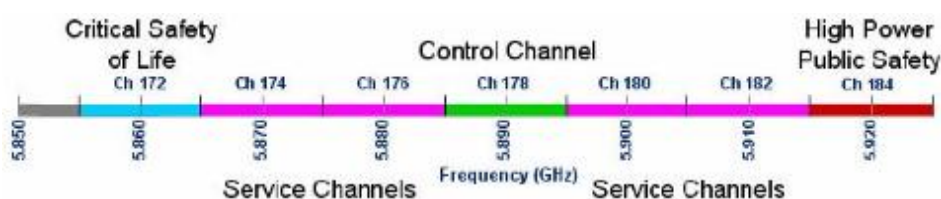
Η 802.11g τεχνολογία μπορεί να φθάσει στο ίδιο υψηλότερο θεωρητικό ποσοστό του 802.11a (δηλ., με περίπου τη μέγιστη καθαρή απόδοση 25 Mb/s). Τα 802.11g και 802.11b είναι συμβατά και μπορούν να εργαστούν από κοινού. Το super G , είναι ένα νέο ιδιόκτητο χαρακτηριστικό γνώρισμα που χρησιμοποιείται από μερικά προϊόντα στην αγορά, και μπορεί να επιτρέψει στην ταχύτητα δικτύων για να φθάσει μέχρι και 108 Mb/s με τη χρησιμοποίηση της σύνδεσης καναλιών του 802.11g, τα οποία μπορούν να συνδέσουν δύο κανάλια των 20 MHz από κοινού.

2.6 WAVE (IEEE 802.11p).

Η IEEE ερευνά μια νέα τροποποίηση των προτύπων PHY/MAC 802.11 που σχεδιάζονται για VANETs: η ασύρματη πρόσβαση στα τροχαία περιβάλλοντα (WAVE), η οποία αναφέρεται επίσης και ως IEEE 802.11p [17]. Οι απαιτήσεις για αυτήν την τροποποίηση προέρχονται συνήθως από τις τροχαίες έννοιες και τις εφαρμογές ασφάλειας (επικοινωνίες μεταξύ των οχημάτων ή μεταξύ των οχημάτων και των οδικών υποδομών), όπου η αξιοπιστία και η χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση είναι εξαιρετικά σημαντικές. Παραδείγματος χάριν, πρωτοβουλία ολοκλήρωσης υποδομής οχημάτων στις Ηνωμένες Πολιτείες προτείνει ότι οι πληροφορίες για ένα ατύχημα πρέπει να μεταδοθεί μέσω VANET μέσα σε μισό δευτερόλεπτο σε όλα τα εξοπλισμένα οχήματα σε ακτίνα 500 μέτρων.

Σύμφωνα με το στρώμα MAC, η WAVE χρησιμοποιεί CSMA/CA ως βασικό μέσο πρόσβασης για τη διανομή συνδέσεων και πρέπει πιθανώς να χρησιμοποιήσει ένα κανάλι ελέγχου για να οργανώσει τις μεταδόσεις, οι οποίες πρέπει έπειτα να διαβιβαστούν πέρα από μερικά κανάλια μετάδοσης.

Στο στρώμα PHY, το 802.11p πρέπει να λειτουργήσει στα 5.850-5.925 GHz στη Βόρεια Αμερική. Με τη χρησιμοποίηση του συστήματος OFDM, παρέχει και το όχημα στο όχημα (V2V) και το όχημα στις ασύρματες επικοινωνίες υποδομής (V2I) για αποστάσεις μέχρι 1000m, λαμβάνοντας υπόψη το περιβάλλον, δηλαδή απόλυτες και σχετικές υψηλές ταχύτητες (μέχρι 200 km/h), γρήγορη εξασθένιση πολλαπλών διαδρομών και διαφορετικά σενάρια (αγροτικές οδοί, εθνική οδός, και πόλη). Λειτουργώντας στα 10 MHz, τα κανάλια πρέπει να επιτρέψουν την επικοινωνία μεταξύ ωφέλιμων φορτίων επικοινωνίας στα 3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, και 27 Mb/s. Και χρησιμοποιώντας τα προαιρετικά κανάλια 20 MHz, επιτρέπονται και τα ωφέλιμα φορτία στοιχείων μέχρι 54 Mb/s.



Σχήμα 6. DSRC φάσμα, 7 κανάλια στα 5. 1

2.7 ADHOC MAC

Το ADHOC MAC [14] είναι ένα πρωτόκολλο της MAC του ευρωπαϊκού προγράμματος CarTALK2000 (FleetNET είναι η συνέχειά του) με σκοπό να σχεδιάσει νέες λύσεις για VANETs.

Είναι ένα MAC πρωτόκολλο για VANETs με θυρίδες [18], βασισμένο στο πρότυπο ALOHA αξιόπιστης κράτησης (Reliable Reservation ALOHA). Το RR-ALOHA είναι ένας συνδυασμός slotted ALOHA και TDM ALOHA (Time Division Multiplexing Aloha), όπου ένας συγκεκριμένος αριθμός από θυρίδες αποτελούν μια ομάδα ή ένα πλαίσιο. Μια ελεύθερη θυρίδα σε ένα πλαίσιο θεωρείται διαθέσιμη για όλους τους άλλους κόμβους. Αν ένας κόμβος καταλάβει μια συγκεκριμένη θυρίδα, την κρατάει για όλα τα επόμενα πλαίσια, μέχρι να τελειώσει το μήνυμά του. Μόλις ο κόμβος τελειώσει τη μετάδοση των δεδομένων, αφήνει τη θυρίδα ελεύθερη, επιτρέποντας έτσι άλλους κόμβους να τη χρησιμοποιήσουν.

Το αξιόπιστο πρωτόκολλο R-ALOHA (RR-ALOHA), που χρησιμοποιείται στο ADHOC MAC, προτάθηκε κατ' επέκταση του επιφυλακτικού R-ALOHA (Reservation ALOHA) για να επιτύχει το δυναμικό μηχανισμό TDMA με έναν συγκεκριμένο τρόπο, όπου κάθε ενεργό όχημα πρέπει να επιλέξει για το ένα βασικό κανάλι (BCH), το οποίο είναι αυλάκωση ενός χρόνου επαναλαμβανόμενου περιοδικά σε διαδοχικά πλαίσια. Επιπλέον, κάθε όχημα πρέπει να έχει μια σφαιρική άποψη των μεταδόσεων σε μια γειτονιά για να υπερνικήσει το κρυμμένο τελικό πρόβλημα. Για αυτό, σε RR-ALOHA κάθε όχημα στέλνει στο BCH του τις πληροφορίες πλαισίων του (FI), που είναι ένα διάνυσμα με τις καταχωρήσεις N που προσδιορίζουν πώς προσδιόρισε τη θέση των προηγούμενων χρονικών αυλακώσεων N στο προηγούμενο πλαίσιο.

Κάθε κόμβος καλείται να μεταδώσει ένα διάνυσμα που διευκρινίζει πώς ο κόμβος έλεγξε την κατάσταση των θυρίδων στο προηγούμενο πλαίσιο (δηλαδή την πληροφορία του ποιος κόμβος εκπέμπει και σε ποια χρονοθυρίδα). Η μετάδοση γίνεται στη θυρίδα που έχει δοθεί στο συγκεκριμένο κόμβο. Κάθε κόμβος λοιπόν που λαμβάνει αυτό το μήνυμα ανανεώνει τη γνώση του για την κατάσταση του συστήματος, βασίζόμενος σε αυτό το διάνυσμα κατάστασης που λαμβάνει από κάθε κόμβο. Όταν ένας νέος κόμβος (όχημα) μπαίνει στην περιοχή, πρώτα κοιτάει όλο το πλαίσιο και ψάχνει να βρει μια διαθέσιμη θυρίδα σε αυτό που να μπορέσει να εκπέμπει. Μόλις ο κόμβος επιχειρήσει τη μετάδοση στη διαθέσιμη θυρίδα, παρατηρεί τα διανύσματα κατάστασης του συστήματος που λαμβάνει από τους άλλους κόμβους στο επόμενο πλαίσιο. Αν όλοι οι γειτονικοί κόμβοι αναφέρουν στη θυρίδα που εκπέμπει ο νέος κόμβος, την ID (ταυτότητα) του νέου κόμβου, τότε αυτό υπονοεί ότι η συγκεκριμένη θυρίδα είναι δεσμευμένη για τον καινούργιο κόμβο στη γειτονιά των δύο βημάτων (two-hop neighbourhood) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον καινούργιο κόμβο στα επόμενα πλαίσια.

2.7.1 Κατευθυντική Κεραία βασισμένη σε πρωτόκολλο MAC.

Με μια κατευθυντική κεραία, τα τερματικά μπορούν να μεταδώσουν σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Γενικά, κατά τη χρησιμοποίηση αυτής της τεχνολογίας, το διάστημα μετάδοσης γύρω από ένα τερματικό διαιρείται σε γωνίες μετάδοσης N των βαθμών ($360/N$). Το κύριο πλεονέκτημα κατά τη χρησιμοποίηση αυτής της προσέγγισης μειώνει τις συγκρούσεις μετάδοσης, καθώς επίσης και αυξάνει τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των καναλιών.

Η χρήση κατευθυντικών κεραιών [15] έχει μια ελπιδοφόρο θέση στην εφαρμογή στα VANETs, και ιδιαίτερα, για τα ζητήματα της MAC. Στα VANETs, οι μετακινήσεις των κόμβων περιορίζονται από τη δομή των δρόμων και τους οδικούς κανόνες (π.χ., αντίθετες ρεύματα οδήγησης στον ίδιο δρόμο). Οι κατευθυντικές κεραιές θα βοηθούσαν σίγουρα στη μείωση των παρεμβάσεων και των συγκρούσεων στις τρέχουσες μεταδόσεις.

Δύο πρωτόκολλα για τη χρήση κατευθυντικών κεραιών έχουν προταθεί ως τα περισσότερο αποδοτικά.

Έχει αποδειχτεί ότι με τη χρήση κατευθυντικών κεραιών [16], οι συγκρούσεις μετάδοσης μπορούν να μειωθούν και ταυτόχρονα ο ρυθμός επαναχρησιμοποίησης των καναλιών μπορεί να αυξηθεί. Θεωρητικά, έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν τα υπάρχοντα πρωτόκολλα MAC (και ειδικά για VANET), αλλά δυστυχώς, τα κατευθυντικά συστήματα είναι ακόμα σύνθετα και δύσχρηστα σε πραγματικές εφαρμογές.

Οι κατευθυντικές κεραιές στα ad hoc δίκτυα προσφέρουν περισσότερα πλεονεκτήματα, επειδή αυξάνουν τη χωρική επαναχρησιμοποίηση (spatial reuse) του ασύρματου καναλιού. Αν, επιπλέον, έχουν και αρκετά μεγάλο κέρδος, τότε έχουν και μεγαλύτερη εμβέλεια και το μήνυμα μπορεί να φτάσει στον προορισμό του σε λιγότερα βήματα (hops).

Για τις κατευθυντικές κεραιές, διακρίνουμε δύο περιπτώσεις :

1. Κίνηση σε λεωφόρους (highway traffic scenario) ,όπου θεωρούμε ότι έχουμε δύο λοβούς που καλύπτουν την περιοχή γύρω από το όχημα- εκπομπό και

2. Κίνηση μέσα στην πόλη (urban scenario) , όπου θεωρούμε ότι οι απαραίτητοι λοβοί για να καλύψουν την περιοχή γύρω από τον εκπομπό είναι 4, ώστε να καλύπτουν περιμετρικά την περιοχή γύρω από το όχημα.

Ειδικότερα, ορισμένα πρόσφατα προτεινόμενα MAC πρωτόκολλα που υπάρχουν ήδη στη βιβλιογραφία και που λειτουργούν στο καθορισμένο πολυκάναλο περιβάλλον του DSRC, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν παράλληλα και στα VANETs είναι τα εξής:

• **Dynamical Assignment (D-Mac):** Θεωρεί ότι κάθε κόμβος είναι εφοδιασμένος με δύο πομποδέκτες , έναν που λαμβάνει τα σήματα ελέγχου (όπως τα RTS,CTS) και έναν για να μεταδίδει τα πακέτα δεδομένων. Έτσι, μπορούμε να έχουμε σύγχρονη μετάδοση στο κανάλι ελέγχου (CCH) και στο κανάλι υπηρεσιών (SCH), χωρίς να χρειάζεται να υπάρχει συγχρονισμός, οπότε και οι τροποποιήσεις του πρωτοκόλλου θα είναι λιγότερες σε κάθε κανάλι. Είναι, όμως, αντισυμβατικό και σπάταλο να έχουμε δύο πομποδέκτες.

• **McMAC πρωτόκολλο:** Έχει δημιουργηθεί για μη δομημένα ασύρματα δίκτυα. Σύμφωνα με αυτό, υπάρχει ένα χρονικό διάστημα («διάστημα κράτησης») κατά το οποίο διαλέγεται ένα κοινό ελεύθερο κανάλι για τις επικοινωνίες μεταξύ πομπών και δεκτών. Όλοι

οι κόμβοι συναντιούνται σε αυτό το προκαθορισμένο κανάλι, ανταλλάσσουν μηνύματα ελέγχου ώστε να αποφασίσουν πώς θα οριστεί η επικοινωνία κατά το διάστημα των δεδομένων (data phase). Για τη διαχείριση των καναλιών, στο διάστημα ελέγχου (control phase) χρησιμοποιείται μια λίστα προτιμώμενων καναλιών η οποία καταγράφει τη χρησιμοποίηση των καναλιών που βρίσκονται εντός εμβέλειας μετάδοσης για το συγκεκριμένο κόμβο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Car to Car Communication Consortium Manifesto, v1.1 (August 2007)
- [2] Olivia, B., Martin, K., et al.: A Network Centric Simulation Environment for CALM-based Cooperative Vehicular Systems: SIMUTools. In: Proceedings of the 3rd International ICST; Conference on Simulation Tools and Techniques, Torremolinos, Malaga, Spain, March 15–19 (2010), ISBN 978-963-9799-87-5
- [3] Task Group p, IEEE P802.11p: Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE). draft standard ed. IEEE Computer Society, Los Alamitos (2006)
- [4] Wang, S.Y., Lin, C.C., et al.: On Multi-hop Forwarding over WBSS-based IEEE 802.11(p)/1609 Networks. In: IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Tokyo, September 13-16 (2009), E-ISSN 978-1- 4244-5123-4
- [5] Farah, A.E., Bertrand, D.: A Light Architecture for Opportunistic Vehicle-to-Infrastructure Communications. In: Proceedings of the 8th ACM International Workshop on Mobility Management and Wireless Access, MobiWac 2010, Bodrum, Turkey, October 17-18 (2010)
- [6] Yi, W., Akram, A., et al.: IEEE 802.11p Performance Evaluation and Protocol Enhancement. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, Columbus, OH, USA, September 22-24 (2008)
- [7] Todd, M., Tammy, M., et al.: Measuring the Performance of IEEE 802.11p Using ns-2 Simulator for Vehicular Networks. In: IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT), Ames IA (2008).
- [8] Stephan, E.: Performance Evaluation of the IEEE 802.11p WAVE Communication Standard. In: 66th IEEE International Conference on Vehicular Technology, VTC (2007)
- [9] Kang, L.C., Huang, L.C.: Development of Telematics Communication System with WAVE DSRC. In: Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, San Antonio, TX, USA (October 2009)
- [10] European ITS Communication Architecture: Overall Framework, Proof of Concept and Implementation, Draft Version 2.0, COMeSafety Specific Support Action (October 2008).
- [11] Final GeoNet Specification, GeoNet Deliverable D2.2 (January 2010).
- [12] Huaqun Guo. *Automotive Informatics and Communicative Systems. Principles in Vehicular Networks and Data Exchange*. Information Science REFERENCE.
- [13] Μ.Ε.Θεολόγου. *Δίκτυα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών* (σελ. 718-732). Εκδόσεις Τζιόλα
- [14] “A MultiChannel MAC Protocol for AdHoc Wireless Networks”, Proceedings of ACM Mobihoc '04, May 2004

[15] “*Improvement of Multichannel MAC protocol for dense VANET with Directional Antennas*”, Xu Xie, Furong Wang, Kewei Li, Peng Zhang, Hao Wang, WCNC 2009 proceedings, IEEE Communications Society.

[16] “*A Dynamic MultiChannel MAC for AdHoc LAN*” ,Proceedings of International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks (ISPAN '00), Dallas/Richardson, Texas, USA, pp.232, Dec 2000.

[17] “*A WAVEcompliant MAC Protocol to Support Vehicle to Infrastructure NonSafety Applications*”, Marica Amadeo, Claudia Campolo, Antonella Molinaro, Giuseppe Ruggeri, Communications Workshops, 2009. ICC Workshops 2009.

[18] “*A Dynamic MultiChannel MAC for AdHoc LA*”, S.L. Wu, C.Y. Lin and Y.C. Tseng, Proceedings of International Symposium on Parallel Architectures , Algorithms and Networks (ISPAN '00), pp.232, Dec 2000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΜΦΟΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ

3.1 ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΜΕΣΩ VANETS

Η μετάβαση από την ελεύθερη ροή στη συμφόρηση στους αυτοκινητόδρομους συχνά προκαλείται αυθόρμητα, παρά το γεγονός ότι ο δρόμος θα μπορούσε να ικανοποιήσει απαιτήσεις μεγαλύτερης κυκλοφορίας. Οι λόγοι για μία τέτοια διακοπή της κυκλοφορίας είναι διαταράξεις που προκαλούνται από τους οδηγούς σε πυκνή κυκλοφοριακή κίνηση. Παρουσιάζουμε μία στρατηγική για να μειωθεί η κυκλοφοριακή συμφόρηση με τη βοήθεια της επικοινωνίας μεταξύ των οχημάτων. Περιοδικά εκπεμπόμενοι φάροι χρησιμοποιούνται για να αναλύσουν την κυκλοφοριακή ροή και να ειδοποιήσουν τους άλλους οδηγούς για μία πιθανή διακοπή της κυκλοφορίας. Οι οδηγοί που λαμβάνουν την ειδοποίηση καλούνται να κρατήσουν μεγαλύτερο κενό από τον προηγούμενο τους. . Κάνοντας αυτό, είναι λιγότερο πιθανό να αποτελέσουν την πηγή διαταραχών, που μπορούν να προκαλέσουν την κυκλοφοριακή διακοπή. Αναλύουμε την προτεινόμενη στρατηγική μέσω εξομοιώσεων με ηλεκτρονικό υπολογιστή και ερευνούμε ποιο μέρος των επικοινωνούντων οχημάτων είναι απαραίτητο μέχρι να παρατηρηθεί μία προνομιακή επίδραση στην κυκλοφοριακή ροή. Δείχνουμε ότι τα ποσοστά εισχώρησης κάτω του 10% μπορούν να έχουν αξιοσημείωτη επίδραση στην ροή της κίνησης και τις ώρες αιχμής. Με σκοπό την εφαρμογή ενός ρεαλιστικού μοντέλου κίνησης, αυξάνουμε περισσότερο το βαθμό ρεαλισμού με τη χρήση εμπειρικών δεδομένων κυκλοφορίας με ανιχνευτές βρόγχων σε γερμανικό αυτοκινητόδρομο Autobahn.

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι μία ενόχληση με την οποία είναι εξοικειωμένοι οι περισσότεροι αυτοκινητιστές. Κοστίζει χρόνο, καύσιμα και κατ' επέκταση χρήματα. Στο 2010, για παράδειγμα, το μέσο μετακινούμενο με αυτοκίνητο άτομο ξόδεψε επιπλέον 34 ώρες στο αυτοκίνητό του και σπατάλησε 14 γαλόνια καυσίμου απλά ως αποτέλεσμα της συμφόρησης [1]. Μία σύγκριση με το 1982 (14 ώρες, 6 γαλόνια) δείχνει ότι ο όλο και μεγαλύτερος κυκλοφοριακός όγκος θέτει ένα συνεχώς αυξανόμενο πρόβλημα στα συστήματα μεταφοράς.

Απλά η επέκταση του δικτύου του δρόμου δεν ικανοποιεί την καταπολέμηση της συμφόρησης εξαιτίας χωρικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών περιορισμών. Πρόσφατη πρόοδος στον τομέα της πληροφοριακής και επικοινωνιακής τεχνολογίας, όμως, υπόσχεται να κάνει τα σημερινά συστήματα μεταφοράς όχι μόνο πιο αποτελεσματικά αλλά επίσης και ασφαλέστερα, πιο αξιόπιστα και πιο εύχρηστα. Τα δίκτυα οχημάτων ad hoc (VANETs) θεωρούνται το κεντρικό τμήμα αυτών των πανέξυπνων συστημάτων μεταφοράς (ITSs). Τα VANETs επιτρέπουν σε όλους τους παράγοντες που λαμβάνουν μέρος στην κυκλοφορία (π.χ. οχήματα, φωτεινή σηματοδότες ή στις μονάδες στην άκρη του δρόμου) να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να συντονίζουν τη συμπεριφορά τους. Δεδομένου ότι δεν απαιτείται υποκείμενη υποδομή και η ανταλλαγή μηνυμάτων διεξάγεται με μικρούς χρόνους καθυστέρησης, θεωρούμε ότι τα VANETs είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο για τη μείωση της συμφόρησης στο πλαίσιο των ITSs.

Θα εξετάσουμε το ζήτημα του πώς η επικοινωνία μεταξύ οχημάτων μπορεί να εφαρμοστεί για να κάνει τη μεταφορά πιο αποτελεσματική. Η προσέγγισή μας βασίζεται σε

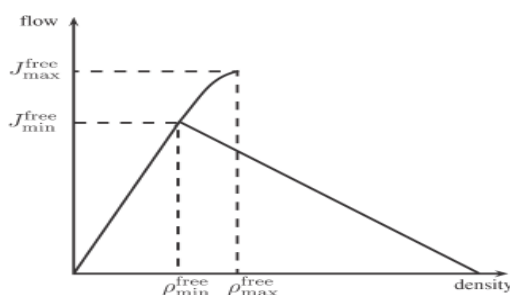
δύο σημεία: Τα οχήματα αυτόνομα εκτιμούν την τρέχουσα κυκλοφοριακή κατάσταση και εκπέμπουν την πληροφορία, και βασιζόμενα σε αυτή την εκτίμηση και αν απαιτείται από την κατάσταση της κυκλοφορίας, τα οχήματα υιοθετούν τη δική τους οδηγική συμπεριφορά. Η προσέγγισή μας έχει ως σκοπό να ταυτοποιήσει «κρίσιμα» σημεία του δρόμου και να εμποδίσει μία κυκλοφοριακή συμφόρηση πριν πραγματικά συμβεί. Για αυτό, θα δείξουμε ότι, για την εκτίμηση της δυναμικής της κυκλοφοριακής ροής, μία ανάλυση βασιζόμενη εξ' ολοκλήρου στην πυκνότητα δεν επαρκεί. Επομένως, είναι απαραίτητο να κατανοηθεί η φύση της κυκλοφοριακής διακοπής, η οποία περιγράφει μία αυθόρμητη μείωση της ταχύτητας σε ένα τμήμα του δρόμου συχνά μία διακοπή συμβαίνει αυθόρμητα χωρίς προφανή αιτία όπως ένα εργοτάξιο ή ένα ατύχημα. Στην πραγματικότητα προκαλείται από την κακή συμπεριφορά των οδηγών σε πυκνή κυκλοφορία. Άρα, προτείνουμε, χρησιμοποιώντας περιοδικά εκπεμπόμενα σήματα, να αναλύεται η τρέχουσα κυκλοφοριακή κατάσταση. Τα οχήματα που επικοινωνούν μεταξύ τους αλλάζουν την οδηγική συμπεριφορά τους και πληροφορούν τα οχήματα που ακολουθούν για την ύπαρξη της πυκνής κυκλοφορίας. Αφού ένα όχημα αλλάξει την οδηγική συμπεριφορά του, αναμένεται να μην αποτελέσει την αιτία της κυκλοφοριακής διακοπής. Αυτό κάνει τη μέθοδό μας διαφορετική από πολλές προηγούμενες προσεγγίσεις που οδηγούν τα οχήματα σε δρόμους με λιγότερη συμφόρηση.

Τα περιοδικά σήματα που χρησιμοποιούμε για την ανταλλαγή μηνυμάτων είναι ουσιώδη για τις ασφαλέστερες εφαρμογές [2] και έχουν επομένως μελετηθεί εκτεταμένα [3]. Οι προκλήσεις για τους σχεδιαστές των πρωτοκόλλων της ενδο-οχηματικής επικοινωνίας θέτονται επί τάπητος, π.χ. από τον Moreno [4]. Επειδή είναι ανέφικτο να πραγματοποιηθούν πραγματικά πειράματα ευρείας κλίμακας, οι προσομοιώσεις με ηλεκτρονικούς υπολογιστές έχουν καταστεί ένα πολύτιμο όργανο σε αυτό το πεδίο της έρευνας. Για να εκτιμηθεί η επίδραση της προτεινόμενης στρατηγικής, χρησιμοποιούμε προσομοιώσεις με ηλεκτρονικούς υπολογιστές με πολύ ρεαλιστική αναπαραγωγή και κυκλοφοριακά μοντέλα. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιούμε εμπειρικά κυκλοφοριακά δεδομένα από ένα γερμανικό αυτοκινητόδρομο όπου έχει παρατηρηθεί κυκλοφοριακή διακοπή. Το απαραίτητο ποσοστό εισχώρησης για την προτεινόμενη στρατηγική ώστε να γίνει αποτελεσματική, θα αποτελέσει επίσης επίκεντρο αυτής της μελέτης.

3.2 ΘΕΩΡΙΑ ΜΕΡΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ

Η κυκλοφοριακή ροή στην οποία κάθε οδηγός οχήματος συμβάλλει παρουσιάζει μία πλούσια ποικιλία φαινομένων: από μεταθέσεις της δυναμικής φάσης για αυτό-οργάνωση σε διαμόρφωση κρουστικών κυμάτων. Εκ τούτου, υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον στην κατανόηση της σχέσης ανάμεσα στην κυκλοφοριακή ροή J (τυπικά μετρήσιμη σε οχήματα ανά ώρα και λωρίδα) και στην πυκνότητα των οχημάτων ρ (οχήματα αν χιλιόμετρα) τόσο από θεωρητικής όσο και από πρακτικής άποψης. Αυτή η σχέση μπορεί να εκφραστεί με τη μορφή του *θεμελιώδους διαγράμματος*, όπως στο Σχ. 7: Για χαμηλές και υψηλές πυκνότητες, το σχήμα του γίνεται εύκολα κατανοητό. Σε χαμηλές πυκνότητες, $\rho < \rho_{min}^{free}$, τα οχήματα μπορούν ταξιδέψουν στην επιθυμητή τους ταχύτητα και τα επιπλέον οχήματα αυξάνουν γραμμικά τη συνολική ροή. Σε υψηλές πυκνότητες, $\rho > \rho_{max}^{free}$, από την άλλη πλευρά, τα οχήματα

παρεμποδίζουν το ένα το άλλο και εξαναγκάζουν τους άλλους να επιβραδύνουν. Για αυτές τις δύο περιοχές, η θεμελιώδης σχέση ανάμεσα σε ροή και πυκνότητα μπορεί να εκφραστεί από τη γραμμική εξίσωση $J=v \cdot \rho$, όπου v αντιστοιχεί στη μέση ταχύτητα των οχημάτων στο συγκεκριμένο κομμάτι του δρόμου. Ανάμεσα στις δύο περιοχές, όμως, υπάρχει μία μεταβαλλόμενη περιοχή $\rho_{\min}^{\text{free}} < \rho < \rho_{\max}^{\text{free}}$ όπου η επιθυμία του οδηγού να ταξιδέψει με μέγιστη ταχύτητα και η τάση να παρεμποδίζει ο ένας τον άλλον ανταγωνίζονται και όπου η ροή παίρνει δύο τιμές εξαρτώμενη από το ιστορικό του συστήματος. Πιο πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι η ροή μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή ανάμεσα στους δύο κλάδους και ότι οι καταστάσεις συμφόρησης καλύπτουν μία 2-D περιοχή στο πεδίο πυκνότητας της ροής [5]. Η ροή μπορεί αυθόρμητα να αλλάξει από ελεύθερη (άνω κλάδος) σε συμφόρηση (κάτω κλάδος) στην ίδια πυκνότητα χωρίς προφανή λόγο. Έτσι, αυτό το φαινόμενο αναφέρεται επίσης ως «συμφόρηση-φάντασμα». Αυτή η αυθόρμητη διακοπή έχει ως αποτέλεσμα ένα κύμα στάσης-και-εκκίνησης που διαδίδεται ενάντια στην κατεύθυνση του ταξιδιού. Κάποιοι διαπίστωσε ότι το κύμα στάσης-και-εκκίνησης έχει καθολικά χαρακτηριστικά: Η ταχύτητα διάδοσής του, για παράδειγμα, είναι σχεδόν - 15χμ/ώρα – ανεξάρτητα από το αν η μέτρηση γίνεται σε ένα γερμανικό ή σε αμερικάνικο αυτοκινητόδρομο [6].



Σχήμα 7. Διάγραμμα ροής -πυκνότητας

Η ερώτηση του τι προκαλεί αυτή τη διακοπή δεν ήταν σαφής για πολύ καιρό. Ένα από τα πρώτα και πιο απλοϊκά μοντέλα [7] που μπορούσαν να αναπαράγουν τα εμπειρικά ευρήματα ενσωμάτωσαν μία στοχαστική συνιστώσα που αντανάκλα την ανικανότητα των οδηγών να διατηρούν μία σταθερή ταχύτητα. Στα παραπάνω μοντέλα συμπεραίνεται ότι αφού επιτευχθεί μία κρίσιμη πυκνότητα οχημάτων, μικρές διαταραχές (π.χ. ένας οδηγός πατάει φρένο πολύ δυνατά) αρκούν για να προκαλέσουν κυκλοφοριακή διακοπή, εξαναγκάζοντας όλα τα οχήματα να επιβραδύνουν.

Τα εμπειρικά στοιχεία αυτής της υπόθεσης δόθηκαν από ένα ενδιαφέρον απλό πείραμα [8]: Ζητήθηκε σε οδηγούς να διατηρήσουν μία σταθερή ταχύτητα και μία σταθερή απόσταση ενώ οδηγούν σε κυκλικό δρόμο. Μετά από μερικά λεπτά κάποιος παρατήρησε το σχηματισμό μπλοκαρισμένων οχημάτων να πορεύονται αντίθετα στην κατεύθυνση οδήγησης ακριβώς όπως είχε προβλεφθεί από τις προσομοιώσεις.

Από τις δοθείσες παρατηρήσεις, κάποιος μπορεί να καταλήξει σε τρία συμπεράσματα.

- Δυναμική κυκλοφορίας που έχει αξιολογηθεί αποκλειστικά από την πυκνότητα οχημάτων μπορεί να αποτύχει σε ένα συγκεκριμένο εύρος πυκνότητας.
- Η κυκλοφοριακή συμφόρηση μπορεί να διευκολυνθεί μειώνοντας τις διαταραχές της κυκλοφοριακής ροής και διατηρώντας την πυκνότητα κάτω από $\rho < \rho_{\min}^{\text{free}}$.

- Κάθε μικροσκοπικό μοντέλο κίνησης που χρησιμοποιήθηκε για προσομοιώσεις VANET θα έπρεπε να είναι ικανό να αναπαράγει μακροσκοπικά φαινόμενα όπως η κυκλοφοριακή διακοπή και μεταβολή του θεμελιώδους διαγράμματος.

Για πιο λεπτομερή ανασκόπηση της θεωρίας της κυκλοφοριακής ροής, βλέπετε τα π.χ. [5] ή [9].

3.3 ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τα VANETs επιτρέπουν τη στενή σύνδεση της φυσικής οδήγησης και του συστήματος επικοινωνίας, το οποίο απαιτεί από εμάς να εξετάσουμε της επιρροή της κάθε περιοχής στην άλλη. Αυτό ορίζεται ως κυβερνο-φυσικό σύστημα [10]. Η ανάγκη για μία εφαρμογή-προσανατολισμένη προσέγγιση που αφορά τους συγκεκριμένους στόχους της κυκλοφοριακής κίνησης για το σχεδιασμό του πρωτοκόλλου VANET έχει πρόσφατα προκύψει για δίκτυα ευρείας ζώνης μεταφοράς σχετικά με τους προσομοιωτές [11] και για την κατανόηση της επίδρασης της επικοινωνίας στην ασφαλή οδήγηση σε μικροσκοπικό επίπεδο [12]. Σε αυτό το πνεύμα, μελετούμε την εφαρμογή μείωσης των συμφορήσεων ώστε να σχεδιάσουμε ένα πρωτόκολλο για την συμπεριφορά των οχημάτων. Αξιοποιούμε την πληροφορία που στέλνεται από το κανονικό περιοδικό σήμα έτσι ώστε κανένα επιπλέον πρωτόκολλο επικοινωνίας να απαιτείται. Ως εκ τούτου, παραιτούμαστε από τη συζήτηση σχετικά με απόψεις περί ασφάλειας της εφαρμογής μας και αναφερόμαστε στην αντίστοιχη βιβλιογραφία [13].

Η εκτίμηση της κυκλοφοριακής κατάστασης, που εφαρμόζεται για το χρονικό καθορισμό αλλαγής της οδηγικής συμπεριφοράς, έχει ήδη ερευνηθεί στο πλαίσιο του στίγματος προσαρμογής. Χάρη στη φύση των VANETs, όπου η τοπολογία μεταβάλλεται ραγδαία, ένα σχήμα στατικού στίγματος (δηλαδή, σταθερό διάστημα σήματος και σταθερό εύρος μετάδοσης) είναι πιθανό να δείξει μία αύξηση συγκρούσεων πολλών οχημάτων σε πυκνότητες μεγάλων οχημάτων. Για αυτό το λόγο, προτάθηκε να προσαρμοστεί είτε το διάστημα του σήματος [14] ή το εύρος μετάδοσης [15] εξαρτώμενο από την πυκνότητα των οχημάτων της περιοχής. Για να εκτιμηθεί η τοπική πυκνότητα, οι δημιουργοί πρότειναν να αναλυθεί το μοτίβο κινητικότητας του οχήματος [14] ή ο αριθμός των συγκρούσεων [15], αντίστοιχα. Έδειξαν ότι αυτά τα προσαρμοστικά σχήματα επιτρέπουν μία πιο αποτελεσματική και αξιόπιστη χρήση των πόρων του δικτύου.

Εφαρμογές που έχουν σαν στόχο τη διευκόλυνση της συμφόρησης, όμως, απαιτούν περισσότερες πληροφορίες παρά γνώση σχετικά με την τοπική πυκνότητα οχημάτων: Διάφορες έρευνες ([16]-[18]) προτάθηκαν χρησιμοποιώντας VANETs για να ταυτοποιήσουν δρόμους με συμφόρηση και να προσφέρουν εναλλακτικές διαδρομές με λιγότερη συμφόρηση. Επιπρόσθετα, με το ρίσκο πρόκλησης συμφόρησης στις εναλλακτικές διαδρομές, αυτές οι στρατηγικές καθίστανται εφικτές αφού έχει πραγματοποιηθεί μια κυκλοφοριακή διακοπή.

Πιο πρωτοποριακές προσεγγίσεις ερευνούν την επίδραση της οδηγικής συμπεριφοράς που προκαλεί τη διακοπή. Ο Kerper και οι συνεργάτες του [19] πρότειναν ότι τα ανταλλασσόμενα μηνύματα θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν το μήκος του συνιστώμενου κενού που τα οχήματα πρέπει να διατηρούν. Τα οχήματα που προσαρμόζουν το κενό τους σύμφωνα με τη σύσταση είναι λιγότερο πιθανό να προκαλέσουν κυκλοφοριακή διακοπή. Παρόμοια, ο Fekete και οι συνεργάτες του [20] πρότεινε τα οχήματα να προσαρμόζουν την ταχύτητά τους στην μέση ταχύτητα των γειτονικών οχημάτων, η οποία καθορίζεται από την επικοινωνία που πραγματοποιείται μεταξύ των οχημάτων, και έτσι να μειώνεται η ανομοιογένεια στην κυκλοφοριακή ροή. Οι δύο προηγούμενες εργασίες μελέτησαν την επίδραση των στρατηγικών τους για σχετικά μεγάλα ποσοστά εισχώρησης των οχημάτων που επικοινωνούν της τάξης του 100% και 60% αντίστοιχα. Τέτοια ποσοστά θα επιτευχθούν μόνο πολύ μετά την επιτυχημένη εισαγωγή των συσκευών VANET στην αγορά. Επιπλέον, δεν είναι σαφές πότε, αν όχι ποτέ, τα οχήματα θα είναι έτοιμα να αλλάξουν τη συμπεριφορά κατά την οδήγηση.

Πρόσφατα, ο Knorr και ο Schreckenberg βρήκαν [21] ευνοϊκό αντίκτυπο των VANETs στην κυκλοφοριακή ροή για ποσοστά εισχώρησης σημαντικά κάτω από 50%. Δώσανε συστάσεις τόσο για το πότε όσο και για το πώς αλλάζει η οδηγική συμπεριφορά. Η προσομοίωσή τους, όμως, βασιζόταν σε ιδανικές συνθήκες κυκλοφορίας και επικοινωνίας και δεν λάμβαναν υπόψη τα ανθρώπινα όρια, δηλαδή το χρόνο αντίδρασης στην προσαρμογή στη συμπεριφορά οδήγησης.

Σε αυτή τη μελέτη, θα παρουσιάσουμε μία στρατηγική βασιζόμενη στα VANETs για τη μείωση των συμφορήσεων, που αφορά συγκεκριμένα το χρόνο της ανθρώπινης αντίδρασης και καθίσταται αποτελεσματική σε χαμηλά ποσοστά εισχώρησης. Οι προσομοιώσεις όχι μόνο χρησιμοποιούν ρεαλιστική αναπαραγωγή μέσω ραδιοφώνου και μοντέλα κινητικότητας αλλά επίσης εμπειρικά δεδομένα κίνησης από ένα γερμανικό αυτοκινητόδρομο, γεγονός που κάνει αυτή τη μελέτη να ξεχωρίζει από όλες τις παραπάνω μελέτες.

3.4 ΣΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΝΗΣΗ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ.

Η προσέγγισή μας να χρησιμοποιήσουμε επικοινωνία μέσω οχημάτων βασίζεται αποκλειστικά στα μηνύματα αναγνωριστικών σημάτων. Τα μηνύματα αναγνωριστικών σημάτων εκπέμπουν περιοδικά μηνύματα κατάστασης που περιλαμβάνουν τη θέση, την ταχύτητα, την επιτάχυνση του οχήματος, ένα όχημα ταυτοποίησης και μια χρονική σφραγίδα. Αυτή η πληροφορία επαρκεί για να εκτιμηθεί η τοπική κατάσταση της κυκλοφορίας [14], [15]. Στην προσέγγισή μας, προτείνουμε να επεκτείνουμε το περιεχόμενο του στίγματος με δύο επιπλέον μεταβλητές: μία θέση c_s και μία μεταβλητή χρόνου c_t μαρκάροντας ένα «κρίσιμο» τμήμα του δρόμου. Σε αυτό το πλαίσιο, θα ορίζουμε ένα τμήμα δρόμου ως κρίσιμο όταν η διακοπή είναι πιθανόν να συμβεί. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που έχουν ήδη σταλεί σε κανονικά στίγματα και απλώς διευρύνοντάς τα με δύο πεδία δεδομένων, δεν δημιουργούμε γενικά έξοδα εξαιτίας το επιπρόσθετων πακέτων στο διαδίκτυο. Το ωφέλιμο μέγεθος των αναγνωριστικών σημάτων υπολογίζεται να είναι λιγότερο από 100Byte, εξαρτώμενο από τα μήκη των

επικεφαλίδων και άλλων στοιχείων όχι άμεσα συσχετιζόμενων με την προσέγγισή μας. Όμως, για να προσέξουμε τις αναμενόμενες μελλοντικές απαιτήσεις, π.χ. ασφάλεια, διορθώνουμε το μέγεθος του σήματος στα 500Byte με τις ακόλουθες μελέτες μας ώστε να υποδείξουμε ότι η προσέγγισή μας είναι ικανή να δουλέψει με αυτά τα μεγέθη σήματος. Από τα σήματα που ένα όχημα λαμβάνει κατά ένα διάστημα $[t, t+\Delta t]$, μπορεί να υπολογίσει τη μέση ταχύτητα $\bar{v}_a(t)$ από όλα τα προπορευόμενα οχήματα που εκπέμπουν σήμα. Όταν η μέση ταχύτητα πέφτει κάτω από ένα δοσμένο κατώτατο όριο T_v για δύο διαδοχικά διαστήματα ($\bar{v}_a(t - \Delta t) < T_v$ και $\bar{v}_a(t) < T_v$), σημειώνει το τμήμα ως κρίσιμο θέτοντας $c_t \leftarrow t$ και $c_s \leftarrow x(t) + m$, όπου $x(t)$ δείχνει την τρέχουσα θέση του οχήματος σε χρόνο t και το m δείχνει ένα μέσο εύρος επικοινωνίας. Τα οχήματα που λαμβάνουν μήνυμα για μία κρίσιμη κατάσταση επισυνάπτουν την πληροφορία στα δικά τους αναγνωριστικά σήματα. [βλ. Σχ.8(a)].

Τα οχήματα χρησιμοποιούν αυτή την πληροφορία για να αποφασίσουν αν θα αλλάξουν την οδηγική συμπεριφορά τους. Για αυτή την απόφαση, το όχημα πρέπει να κρίνει τη σχετικότητα αυτής της πληροφορίας. Η πληροφορία για ένα κρίσιμο τμήμα του δρόμου θεωρείται ως σχετική αν το όχημα είναι κοντά στο δεδομένο τμήμα, αν το πλησιάζει, και αν η πληροφορία είναι επαρκώς ενημερωμένη [βλ. Σχ.8(b)]. Εισάγοντας μία μεταβλητή Boolean, b , η οποία υποδεικνύει αν πρέπει να αλλάξει η οδηγική συμπεριφορά, και κατώτατες τιμές χρόνου και διαστήματος T_t και T_s αντίστοιχα, οι προαναφερθείσες συνθήκες μπορούν να γραφούν ως:

```

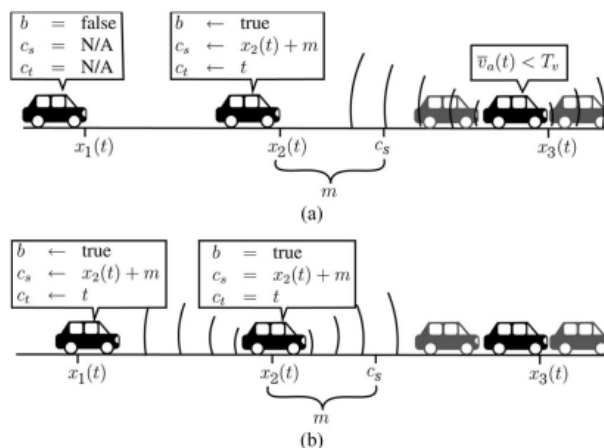
b ← false

if (t - c_t < T_t AND 0 < c_s - x(t) < T_s)

    b ← true.

```

Ως αποτέλεσμα, T_t και T_s καθορίζουν μία περιοχή σχετικότητας για την πληροφορία της κυκλοφορίας. Αυτή η περιοχή σχετικότητας μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του φορτίου στο ραδιοφωνικό κανάλι. Η προειδοποίηση της συμφόρησης είναι πολύτιμη μόνο για ένα περιορισμένο αριθμό κόμβων στο διαδίκτυο και για αυτό δεν μπορεί να εκπέμπεται έξω από αυτή την περιοχή. Για προσομοιώσεις, θέτουμε $T_t = 30s$ και $T_s = 3km$.



Σχήμα 8. Στρατηγική Προσομοίωσης

Το κατώτατο όριο κάτω από το οποίο μια κυκλοφοριακή συνθήκη καταχωρείται ως «κρίσιμη» έχει τεθεί σε $T_v = 81 \text{ km/h}$. Αυτή η τιμή είναι $10,8 \text{ km/h} (= 3 \text{ m/s})$ κάτω από τη μέγιστη ταχύτητα των φορτηγών στην προσομοίωσή μας (βλ Πίν. 2) και υποδεικνύει αλληλεπιδράσεις οχημάτων και εισχωρήσεις είναι αρκετές ώστε να κάνουν τα ήδη αργοκίνητα οχήματα να επιβραδύνουν επιπλέον (δηλ., φορτηγά). Εμπειρικές παρατηρήσεις που δείχνουν ότι έχει επιτευχθεί η μέγιστη κυκλοφοριακή ροή σχεδόν στα 80 km/h (βλ., π.χ. [22]) υποστηρίζουν την επιλογή της παραμέτρου. Τελικά, θέτουμε $\Delta t = 1 \text{ s}$ και $m = 150 \text{ m}$. Η μεταβλητή εκτιμά την απόσταση προς το κρίσιμο τμήμα του δρόμου. Συγκρινόμενη με τη χρήση της μέσης θέσης των προπορευόμενων οχημάτων που εκπέμπουν σήματα, η επιλογή μίας σταθερής τιμής για το m αποδείχθηκε ως ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα σε χαμηλά ποσοστά εισχώρησης όταν μόνο ένα όχημα που επικοινωνεί γίνεται αντιληπτό μπροστά.

3.5 ΚΙΝΗΣΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΟΔΗΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ.

Η κίνηση του οχήματος βασίζεται στο μοντέλο άνετης οδήγησης (CDM) [23]. Το CDM είναι μία βελτίωση του μοριακού αυτόματου των Nagel – Schreckenberg [7] με επεκτάσεις για κυκλοφορία σε πολλές λωρίδες και ανυπόμονη οδήγηση. Εδώ, περιγράφουμε τις προσαρμογές που κάναμε για αλλαγή στη οδηγική συμπεριφορά σε περίπτωση προσέγγισης σε ένα κρίσιμο τμήμα του δρόμου.

Το CDM περιλαμβάνει ένα πιθανολογικό συστατικό p που προκαλεί μικρές διακυμάνσεις στην ταχύτητα ενός οχήματος αντανακλώντας την ανικανότητα των οδηγών να διατηρήσουν μία σταθερή ταχύτητα. Το πρωτότυπο CDM διακρίνει τρεις περιπτώσεις όταν καθορίζει το p για ένα όχημα n ως εξής :

$$p \leftarrow \begin{cases} p_b, & \text{if } l_{n+1} = \text{true AND } t_h < t_s & (1) \\ p_0, & \text{if } v_n = 0 \text{ AND NOT} & (2) \\ & (l_{n+1} = \text{true AND } t_h < t_s) & (3) \\ p_d, & \text{otherwise.} & \end{cases}$$

Στην πρώτη περίπτωση $p = p_b$, το όχημα n , ακολουθώντας το αυτοκίνητο που προηγείται $n+1$ με χρόνο προόδου t_h , αντιδρά στα ενεργοποιημένα φώτα τροχοπέδης του προηγούμενου οχήματος ($l_{n+1} = \text{true}$) αν είναι μέσα σε ένα χρονικό ορίζοντα t_s ($t_h < t_s$). Αυτή η περίπτωση εισήχθη για να μιμηθεί κατάλληλα την τάση των οδηγών να αντιδρούν υπερβολικά σε πυκνή κίνηση. Αυτό το φαινόμενο, μερικές φορές καλείται «φαινόμενο υπέρ-επιβράδυνσης», και είναι αποτέλεσμα του πεπερασμένου χρόνου απόκρισης στα φώτα τροχοπέδης του μπροστινού αυτοκινήτου. Αν ο χρόνος προόδου είναι πολύ μικρός (δηλ., $t_h < t_s$) ο οδηγός που ακολουθεί κάνει μη αναγκαίο δυνατό ελιγμό με τα φρένα για να αποφύγει τη σύγκρουση. Η δεύτερη περίπτωση ($p = p_0$), επιτυγχάνει ένα ποσοστό μειωμένης επιτάχυνσης για οχήματα που ξεκινούν από την αδράνεια δεδομένου ότι δεν υπάρχουν παρεμποδίσσεις μπροστά ($l_{n+1} = \text{false}$ or $t_h \geq t_s$). Η τελευταία περίπτωση απεικονίζει τυχαίες

διακυμάνσεις που παρατηρούνται ακόμα και σε ελεύθερη κυκλοφοριακή ροή. Από αυτές τις επεξηγήσεις, μπορούμε ήδη να καταλήξουμε στη σχέση $p_d < p_0 < p_b$.

Στο τροποποιημένο μοντέλο, χρειαζόμαστε οχήματα που άλλαξαν την οδηγική συμπεριφορά τους, δηλ., $b \leftarrow true$, ώστε να διατηρηθεί ένα μεγαλύτερο κενό από το μπροστινό αυτοκίνητο. Ένα τέτοιο αυξανόμενο κενό δημιουργείται απλά με το να μην υπάρχει επιτάχυνση μέχρι να μεγαλώσει αρκετά το κενό. Ένα επιπλέον κενό που το σημειώνουμε ως gap_n θεωρείται σαν επαρκώς μεγάλο αν είναι μεγαλύτερο από την απόσταση που διανύεται κατά τη διάρκεια $t_r = 1s$ (t_r είναι ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού). Είναι διαισθητικό ότι ένα μεγαλύτερο κενό μειώνει την πιθανότητα του να συμβεί ένα «φαινόμενο υπερεπιβράδυνσης». (Για λεπτομερέστερη συζήτηση του αντίκτυπου της οδηγικής συμπεριφοράς σε κυκλοφοριακή ροή, αναφερόμαστε σε ένα πρόσφατο άρθρο από τον Kerner [24]).

Ως συνέπεια, τροποποιήσαμε τον υπολογισμό της παραμέτρου τυχαιοποίησης p εισάγοντας μία τέταρτη παράμετρο p_c ($p_0 < p_c < p_b$) ώστε να απεικονισθεί η κατάσταση που περιγράφηκε νωρίτερα :

$$p \leftarrow \begin{cases} p_b, & \text{if } l_{n+1} = true \text{ AND } t_h < t_s \\ & \text{AND } gap_n \leq v_n t_r & (4) \\ p_c, & \text{if } l_{n+1} = true \text{ AND } t_h < t_s \\ & \text{AND } gap_n > v_n t_r & (5) \\ p_0, & \text{if } v_n = 0 \text{ AND NOT} \\ & (l_{n+1} = true \text{ AND } t_h < t_s) & (6) \\ p_d, & \text{otherwise.} & (7) \end{cases}$$

Για τις προσομοιώσεις, υιοθετήσαμε τις τιμές για $p_b=0.94$, $p_0= 0.5$ και $p_d= 0.1$ από [23] και θέσαμε $p_c= 0.8 \cdot p_b$.

3.6 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

Για να επικυρωθεί η προτεινόμενη στρατηγική, χρησιμοποιήσαμε συνδεδεμένο δίκτυο διπλής κατεύθυνσης και τον προσομοιωτή οχηματικής κυκλοφορίας JiST / WANS [25], [26] με επέκταση από τους Ibrahim και Weigle [27] και Klot [28].

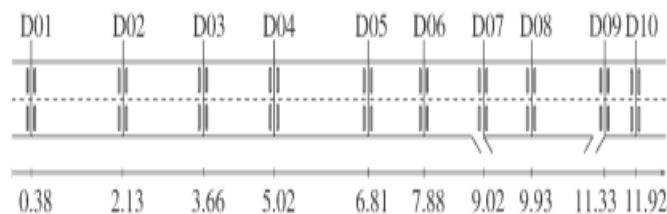
3.6.1 Εγκατάσταση Προσομοιωτή.

Έχουμε επιλέξει ένα σενάριο δυναμικής εθνικής οδού με συνθήκες εμπειρικών συνόρων. Τα οχήματα κινούνται σε τμήμα εθνικής οδού 12 χιλιομέτρων διπλής κατεύθυνσης. Αυτό το τμήμα αντιστοιχεί σε ένα κομμάτι του γερμανικού αυτοκινητόδρομου A044 ανάμεσα στις πόλεις Unna και Werl. Το Σχ.3 δείχνει τη γεωμετρία του εξεταζόμενου τμήματος της εθνικής οδού. Για να αναπαραστήσουμε συνθήκες ανοιχτών ορίων, συμπεριλαμβανομένου την εισροή και την εκροή μέσω των δύο ραμπών, χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα ανίχνευσης της 4^{ης} Νοεμβρίου 2010, που δείχνουν μία αυθόρμητη διακοπή την πρωινή ώρα αιχμής (βλ. Σχ. 4). Η χρονική σειρά του ανιχνευτή D06 όπως απεικονίζεται στο Σχ. 4(a) είναι υποδειγματική για όλους τους ανιχνευτές κατά την άνοδο στη ράμπα : Αφού η διακοπή συνέβη σχεδόν στις 7:15π.μ., τα οχήματα ανόδου πλησιάζοντας την πάνω πάνω ράμπα πρέπει να επιβραδύνουν προκαλώντας ένα μοτίβο κυκλοφοριακής συμφόρησης που

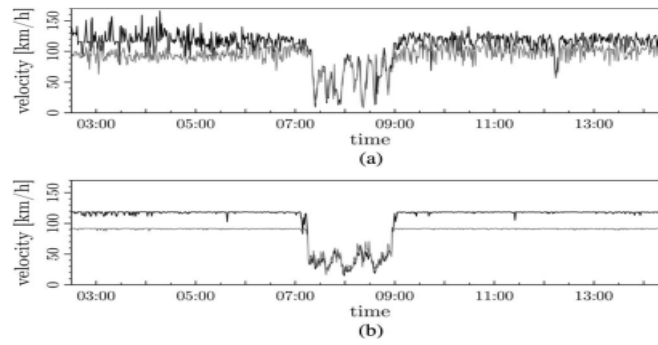
ταξιδεύει προς τας πάνω. Η ροή σε κάθε κατεύθυνση είναι σχεδόν 36000 οχήματα την ημέρα με επιπλέον 7000 οχήματα που προσχωρούν μέσω του συστήματος εισόδου-εξόδου. Τα οχήματα που αφήνουν το σύστημα όπως απαιτείται από τις συνθήκες ορίων είναι επιλεγμένα τυχαία χωρίς καμία προτίμηση σε οχήματα που επικοινωνούν ή όχι. Επομένως η έξοδος δεν επιδρά στην προτεινόμενη στρατηγική, αλλά είναι απαραίτητο αλλά να αναπληρώνει για τα οχήματα μέσω της εισόδου. Παρόμοια, τα οχήματα που εισέρχονται επικοινωνούν σύμφωνα με το δοσμένο ποσοστό εισχώρησης. Η είσοδος αυξάνει την πιθανότητα για μια διακοπή καθώς τα οχήματα που εισέρχονται στο σύστημα είναι πιθανό να προκαλέσουν διακυμάνσεις, οι οποίες είναι η αιτία για τη διακοπή. Για απλούστευση, χρησιμοποιήσαμε ίδια ποσοστά οχημάτων για να απεικονίσουμε την κυκλοφοριακή ροή στο αντίθετο ρεύμα όπου παραλείψαμε την έξοδο και την είσοδο. Το πλάτος της λωρίδας έχει τεθεί στα 3,75 m με επιπλέον 2,5m ανάμεσα στις δύο κατευθύνσεις. Οι προσομοιώσεις χρησιμοποίησαν δύο ευδιάκριτους τύπους οχήματος, δηλαδή «αυτοκίνητα» και «φορτηγά», τα οποία διαφέρουν στο μήκος του οχήματος και στη μέγιστη ταχύτητα, όπως δίνεται στον Πίνακα II.

Κάθε όχημα που είναι εξοπλισμένο με ράδιο μοιράζεται ένα ταυτόσημο σύνολο φυσικών παραμέτρων που συνοψίζεται στον Πίνακα I. Όλες οι τιμές συμφωνούν με τα πρότυπα σχέδια [29]. Σαν ποσοστό δεδομένων, επιλέξαμε το ελάχιστο των υποχρεωτικών ποσοστών 3, 6 και 12 Mbits/s. Για τη διαμόρφωση της διάδοσης με ράδιο και της εξασθένησης των σημάτων, χρησιμοποιήσαμε το μοντέλο Nakagami- m [30], το οποίο είναι κατάλληλο για περιβάλλον εθνικής οδού, όπως δείχναν οι εμπειρικές μελέτες [31] και [32]. Για αποστάσεις επικοινωνίας 80 m και πάνω, θέτουμε $m = 0,75$. Για μικρότερες αποστάσεις, όμως, θέτουμε $m = 1,5$, καθώς για μικρές αποστάσεις είναι πιθανό να υπάρχει καθαρό οπτικό πεδίο. (Σε αυτό το σημείο, φαιμέται σωστό να αναφερθούμε σε μερικές πολύ πρόσφατες μελέτες [33], [34] που υπόσχονται μία καλύτερη διαμόρφωση απώλειας πορείας θεωρώντας ρητά τα οχήματα ως εμπόδια στη διάδοση των σημάτων.)

Το επίπεδο μέσης πρόσβασης ελέγχου εφαρμόστηκε σύμφωνα με το πρότυπο [29]. Τα μηνύματα κατάστασης έχουν ένα σταθερό μέγεθος των 500 B και εκπέμπουν με συχνότητα 4 Hz. Πρέπει να σημειωθεί ότι τόσο το μέγεθος του μηνύματος όσο και η συχνότητα μετάδοσης συμπληρώνουν τις απαιτήσεις επικοινωνίας για τις ασφαλείς εφαρμογές που παρουσιάζονται την παραπομπή [2].



Σχήμα 9. Προσομοίωση Εθνικής οδού



Σχήμα 10 : Σύγκριση δεδομένων πραγματικού ανιχνευτή(a) D06 (Σχ.9) και ενός ανιχνευτή από την προσομοίωσή μας (b) που τοποθετήθηκαν στην ίδια θέση. Οι ανιχνευτές της προσομοίωσης μετρούν την ταχύτητα των διερχόμενων οχημάτων και επιστρέφουν τη μέση τιμή αθροισμένη κατά διαστήματα του 1 λεπτού σε αναλογία με τον πραγματικό ανιχνευτή. Και οι δύο χρονικές σειρές δείχνουν μία διακοπή στις ταχύτητες που έχουν ανιχνευτεί κατά την πρωινή ώρα αιχμής (περίπου 07:15 π.μ. ως 9:00 π.μ.) Οι πραγματικοί ανιχνευτές διακρίνουν δύο τύπους οχημάτων, δηλαδή αυτοκίνητα και φορτηγά, κι έτσι εξηγούνται οι δύο καμπύλες στα σχήματα: Η χρονική σειρά των αυτοκινήτων είναι σχεδιασμένη με μαύρη γραμμή ενώ η χρονική σειρά των φορτηγών με γκρι γραμμή. Χρησιμοποιήσαμε δύο διαφορετικούς τύπους οχημάτων στις προσομοιώσεις μας για να δειχθεί αυτό το γεγονός. Καθώς όλα τα οχήματα του ίδιου τύπου μοιράζονται ένα ταυτόσημο σύνολο παραμέτρων (Πίνακας II), οι διακυμάνσεις σε ελεύθερη κυκλοφοριακή ροή είναι λιγότερο αισθητές στις προσομοιώσεις (b) παρά στην πραγματική ζωή (a).

PHY	
fading interference	Nakagami-m cumulative noise & capture effect
transmission power	17 dBm
reception threshold	-81 dBm
sensitivity threshold	-91 dBm
noise	-99 dBm
antenna gain	0 dBm
SINR	10
data rate	3 Mbits/s
MAC	
beacon size	500 B
beacon interval	250 ms
jitter	4%

Πίνακας 3-1 : ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΡΑΔΙΟΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΡΑΔΙΟΚΑΝΑΛΙΩΝ

vehicle properties	
max. velocity of cars	33.0 m/s
max. velocity of trucks	25.5 m/s
vehicle length of cars	7.5 m
vehicle length of trucks	15.0 m

Πίνακας 3-2: τύποι οχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις.

3.6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

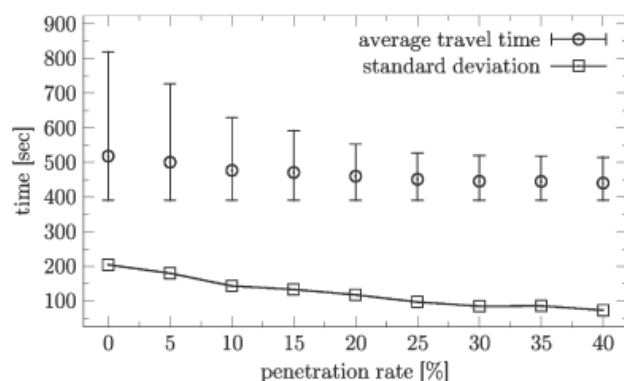
Για να εκτιμήσουμε το αντίκτυπο της επικοινωνίας οχημάτων στην κυκλοφοριακή ροή, αναλύσαμε τους χρόνους ταξιδιού για το συγκεκριμένο τμήμα της εθνικής οδού και τις δοσμένες οριακές συνθήκες. Ο χρόνος ταξιδιού είναι πιθανόν το πιο διαισθητικό μέτρο ποιότητας. Το Σχ. 11 δείχνει τους μέσους χρόνους ταξιδιού για διαφορετικά ποσοστά εισχώρησης των επικοινωνούντων οχημάτων. Για να προκύψει ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων διεξήχθησαν τουλάχιστον πέντε ανεξάρτητες προσομοιώσεις ανα ποσοστό εισχώρησης. Ο μέσος όρος ταξιδιού πέφτει από 518s χωρίς διαοχηματική επικοινωνία σε 440s όταν το 40% όλων των οχημάτων είναι εξοπλισμένα με συσκευές επικοινωνίας. Αυτό αντιστοιχεί σε μία μείωση του χρόνου ταξιδιού περισσότερο από 15%. Οι ράβδοι σφάλματος σημειώνουν τη θέση των ποσοστιαίων μονάδων 0,1 και 0,9 αντίστοιχα, το οποίο σημαίνει ότι το 80% όλων των οχημάτων μπορούσαν να διασχίσουν το τμήμα της οδού μέσα σε ένα διάστημα που έχει υποδειχθεί ως σφάλμα. Το χαμηλότερο όριο έχει οροθετηθεί κυρίως από τον ελάχιστο χρόνο ταξιδιού ακολουθούμενο από τη μέγιστη ταχύτητα των οχημάτων (Πίνακας II). Το άνω όριο, από την άλλη πλευρά, αντανακλά τη δυναμική της κυκλοφορίας και την ύπαρξη των διακοπών. Εδώ τα οφέλη της διαοχηματικής επικοινωνίας γίνονται πιο προφανή με το ¼ όλων των οχημάτων ικανά να επικοινωνούν με το 0,9 πέφτει περισσότερο από 35% από 819 σε 527s. Επιπλέον, η χαμηλότερη καμπύλη στο Σχ.11 δείχνει την πρότυπη απόκλιση των παρατηρούμενων χρόνων ταξιδιού. Η πρότυπη απόκλιση των χρόνων ταξιδιού μπορεί να κατανοηθεί σαν ένα μέτρο της αξιοπιστίας του χρόνου ταξιδιού και δείχνει παρόμοια εξάρτηση στο ποσοστό εισχώρησης με το ¼ των οχημάτων ικανά να επικοινωνούν, η τιμή της πρότυπης απόκλισης μετράει μόνο 96s, συγκρινόμενη με περισσότερα από 20s όταν η επικοινωνία έχει διακοπεί.

Για να καθορίσουμε τη μέση αύξηση του χρόνου καθυστέρησης σε κάθε σενάριο, υπολογίσαμε ένα βέλτιστο ρόνο ταξιδιού. Για να γίνει αυτό, ένα όχημα ξεκινούσε κάθε δευτερόλεπτο της ημέρας προσομοίωσης σε ένα άδειο δρόμο και καταγράφαμε τον αντίστοιχο χρόνο ταξιδιού. Λαμβάνοντας υπόψη το ποσοστό των φορτηγών και του αυξημένου χρόνου ταξιδιού των φορτηγών εξαιτίας της μειωμένης μέγιστης ταχύτητάς τους (βλ. Πίνακας II), κανείς αποκτά ένα βέλτιστο μέση χρόνο ταξιδιού της τάξης των 425s. Αυτός ο χρόνος χρησιμοποιείται ως τιμή αναφοράς στο Σχ. 12, το οποίο δείχνει το πόσο τα σενάρια αποκλίνουν από την ιδανική συνθήκη χωρίς αλληλεπιδράσεις.

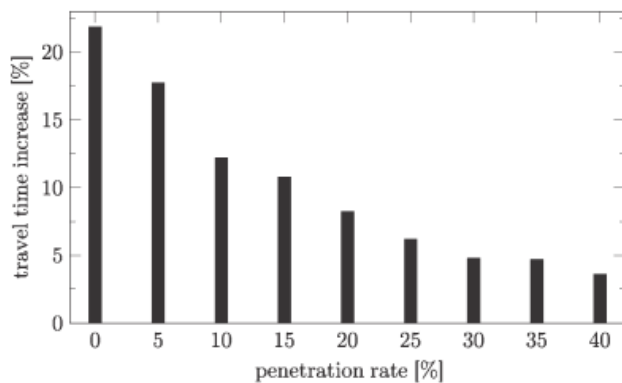
Η χρονική δυναμική της κυκλοφορίας φαίνεται στο Σχ.13 που οι χρόνοι ταξιδιού κάθε οχήματος παρουσιάζονται συναρτήσει της ώρας της ημέρας. Η εφαρμογή της επικοινωνίας οχημάτων μειώνει σημαντικά τη διάρκεια και την σοβαρότητα της δικοπής που παρατηρείται από τις 6:30 π.μ. ως τις 9:30 π.μ. Αυτό το αποτέλεσμα επιβεβαιώνεται από την ανάλυση των δεδομένων του στάσιμου ανιχνευτή.

Στο Τμήμα 3.4, οι μεταβλητές T_s και T_t εισήχθησαν για να προσδιορίσουν την περιοχή σχετικότητας για την πληροφορία σχετικά με την κυκλοφορία. Μόνο οχήματα μέσα στην χωροχρονική περιοχή αλλάζουν την οδηγική συμπεριφορά τους σε απόκριση σε ληφθέντα μηνύματα. Για να ελέγξουμε την ευαισθησία των αποτελεσμάτων μας πάνω στις μεταβλητές T_s και T_t , τροποποιήσαμε τις πρότυπες τιμές $T_s = 3\text{km}$ $T_t = 30\text{s}$ και να λύσαμε τους χρόνους ταξιδιού στο διάστημα από 6 π.μ. ως 9 π.μ., όπου συμβαίνουν οι περισσότερες διακυμάνσεις [βλ. Σχ. 10(a)]. Όπως φαίνεται στο Σχ. 11, η ποιοτική συμπεριφορά των χρόνων ταξιδιού διατηρούνται όταν αλλάζουν οι T_s και T_t κατά $\pm 1/3$ της αρχικής τιμής. Οι Lee και Kim έκαναν μία παρόμοια παρατήρηση όταν μελετούσαν τη διάλυση των κυκλοφοριακών συμφορήσεων αφού εισήγαγαν επιπλέον τοπικές αλληλεπιδράσεις. Για τις τοπικές αλληλεπιδράσεις που εισήγαγαν, κάθε όχημα αξιολόγησε την ταχύτητα ενός μόνο κατερχόμενου οχήματος σε απόσταση d . Τα αποτελέσματά τους είναι ανεξάρτητα της απόστασης d σε ένα ευρύ φάσμα.

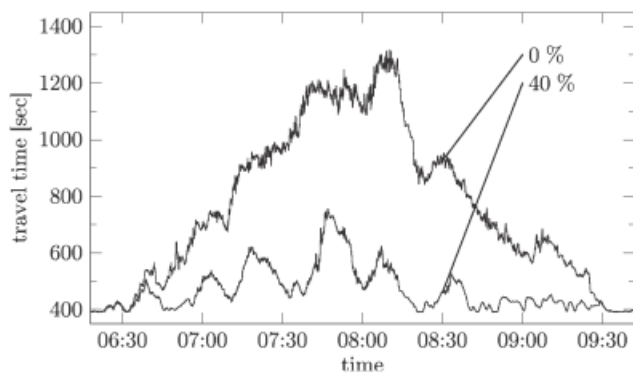
Αν και δεν κάναμε καμία πρόταση για το πως η προτεινόμενη στρατηγική μπορεί να τεθεί σε εφαρμογή, θελήσαμε να αξιολογήσουμε την επιτυχία της αν κάποια οχήματα ή οδηγοί δεν ακολουθούν (ή δεν μπορούν να ακολουθήσουν) τη συνιστώμενη αλλαγή στην οδηγική συμπεριφορά. Για αυτό το σκοπό, επαναλάβαμε τις προσομοιώσεις και κάναμε τα μίσα από τα οχήματα που επικοινωνούν να αγνοούν οποιαδήποτε σύσταση πάνω στην οδηγική συμπεριφορά. Ωστόσο, αυτά τα οχήματα μετέδωσαν σωστά τα μηνύματα, όπως περιγράφηκε νωρίτερα. Συγκρίναμε τους μέσους χρόνους ταξιδιού από αυτές τις προσομοιώσεις με τις προηγούμενες προσομοιώσεις και βρήκαμε πολύ καλή συμφωνία μεταξύ των τιμών για ένα δοσμένο ποσοστό εισχώρησης (π.χ. 40%) και τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το μισό του δοσμένου ποσοστού εισχώρησης (π.χ. 20%) όταν όλα τα επικοινωνούντα οχήματα ακολουθούν τη σύσταση. Ως εκ τούτου, η επιτυχία της στρατηγικής μας εξαρτάται σε κρίσιμο βαθμό από την προθυμία (ή ικανότητα) του οδηγού να ακολουθήσει τη σύσταση, ενώ το όφελος από την καλύτερη συνδεσιμότητα στην τελευταία περίπτωση βρέθηκε αμελητέο.



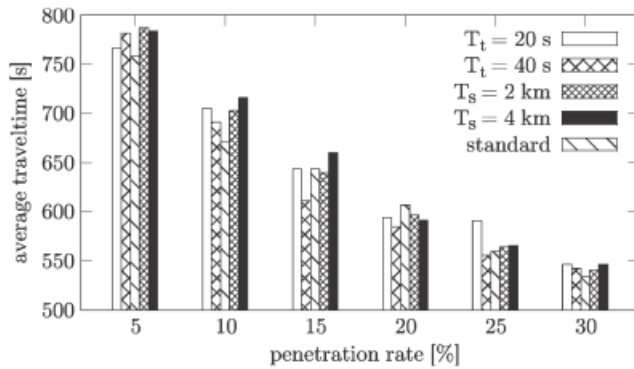
Σχήμα 11 : Μέσοι χρόνοι ταξιδιού για διαφορετικά ποσοστά εισχώρησης. Οι ράβδοι σφάλματος δείχνουν τα ποσοστά 0,1 και 0,9.



Σχήμα 12 : Μέσοι χρόνοι ταξιδιού συγκρινόμενοι με ένα ιδανικό χρόνο ταξιδιού χωρίς αλληλεπίδραση οχημάτων. Αυτός ο χρόνος δεν αναμένεται να επιτευχθεί επειδή, ακόμη και σε αραιές κυκλοφοριακές αλληλεπιδράσεις μεταξύ οχημάτων στην περιοχή συγχώνευσης, η άνοδος κανονικά προκαλεί ελιγμούς πέδησης. Επιπλέον, για ποσοστό εισχώρησης 40%, η αύξηση στο μέσο χρόνο ταξιδιού είναι μόνο 3,6% συγκρινόμενο με τον ιδανικό χρόνο ταξιδιού.



Σχήμα 13 : Εξέλιξη του χρόνου ταξιδιού ενός μόνο οχήματος κατά τη διάρκεια της πρωινής ώρας αιχμής. Για καλύτερη αναγνωσιμότητα, το διάγραμμα δείνει μόνο δεδομένα από οχήματα τύπου αυτοκινήτου, και εφαρμόζεται ένας κινούμενος μέσος όρος των επόμενων δέκα σημείων που δίνουν δεδομένα.



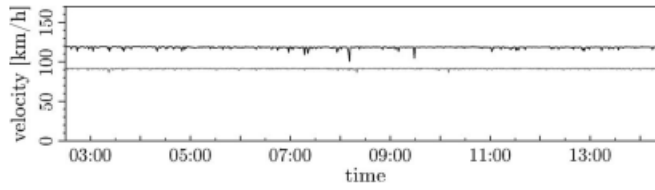
Σχήμα 14 : Μέσος χρόνος ταξιδιού από τις 6π.μ. ως τις 9π.μ. για διαφορετικές τιμές των T_s και T_t . Ο μέσος χρόνος ταξιδιού που προέκυψε με τις αρχικές τιμές των T_s και T_t χρησιμοποιείται ως αναφορά και ορίζεται ως πρότυπη.

3.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Σε αυτό το άρθρο, έχουμε παρουσιάσει μία μέθοδο να μειωθεί η συμφόρηση και να βελτιωθεί η κυκλοφοριακή ροή βασιζόμενοι στη χρήση διαοχηματικής επικοινωνίας. Αποκλειστικά βασιζόμενοι σε μηνύματα περιοδικού αναγνωριστικού σήματος και χρησιμοποιώντας μόνο την ταχύτητα και τη θέση σαν πηγή εκτίμησης της κυκλοφοριακής κατάστασης, η προτεινόμενη μέθοδος δημιουργεί ελάχιστες απαιτήσεις στην τεχνική εφαρμογή.

Το αντίκτυπο της προτεινόμενης στρατηγικής αξιολογήθηκε από προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας έναν αμφίδρομο συνδυασμένο προσομοιωτή. Ο προσομοιωτής κυκλοφορίας χρησιμοποίησε εμπειρικά δεδομένα ανιχνευτή βρόχου, τα οποία δείχνουν μία διακοπή της κυκλοφοριακής ροής κατά την πρωινή ώρα αιχμής και τα οποία ο προσομοιωτής είναι ικανός να αναπαράγει.

Σε αντίθεση με διάφορες προηγούμενες μελέτες (βλ. 3.3) όπου η επιλογή της διαδρομής μεταβλήθηκε σαν απόκριση σε μία υπάρχουσα συμφόρηση, η προσέγγισή μας γίνεται αποτελεσματική πριν συμβεί η συμφόρηση. Για αυτό το σκοπό, η προσέγγισή μας απαιτεί μία ανάλυση της κυκλοφοριακής κατάστασης που δεν λαμβάνει υπόψη μόνο την πυκνότητα των οχημάτων αξιολογώντας την θέση και την ταχύτητα των οχημάτων, τα οχήματα είναι ικανά να αποφασίσουν το πότε και πού να αλλάξουν την οδηγική συμπεριφορά τους. Η επιτυχία αυτής προσέγγισης μπορεί να δειχθεί συγκρίνοντας τα Σχ. 10(a) και 15 με έναν επαρκή αριθμό οχημάτων να εφαρμόζουν τη στρατηγική μας, η αρχική κυκλοφοριακή διακοπή [βλ. Σχ. 10(b)] δεν παρατηρείται πλέον (βλ. Σχ. 15).



Σχήμα 15: Χρονική σειρά από τον ίδιο ανιχνευτή όπως στο Σχ. 4(b) αφού έχει εξοπλιστεί το 40% των οχημάτων με επικοινωνία. Σε αυτή την περίπτωση, η διακοπή που θα μπορούσε εμφανώς να παρατηρηθεί στο σχήμα 10(b) έχει εξαφανιστεί.

Η προσομοίωση έδειξε ότι ακόμη και χαμηλά ποσοστά εισχώρησης επαρκούν να βελτιώσουν σημαντικά την κυκλοφοριακή ροή. Με μόνο ένα στα δέκα οχήματα ικανό να επικοινωνήσει, η αύξηση σε χρόνο ταξιδιού «μειώνεται» από 22% σε 12% συγκρινόμενο με την περίπτωση χωρίς επικοινωνία. Μόνο μικρές βελτιώσεις βρέθηκαν για ποσοστά εισχώρησης 30% και πάνω.

Όλα τα προαναφερθέντα σημεία προτείνουν ότι τα VANETs είναι ένα κατάλληλο μέσο για να αυξηθεί η κυκλοφοριακή αποτελεσματικότητα και να βελτιωθεί η εκτίμηση της κυκλοφοριακής κατάστασης.

3.8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΥΚΙΝΗΣΙΑΣ

Το μοντέλο ευκινησίας που χρησιμοποιείται για προσομοιώσεις βασίζεται στο CDM στην παραπομπή [23]. Είναι ένα κυψελοειδές αυτόματο κυκλοφορίας όπου το διάστημα διακρίνεται σε μονάδες του 1,5 m και ο χρόνος σε διαστήματα του 1s. Η θέση και η ταχύτητα ενός οχήματος n δίνονται ως x_n και u_n αντίστοιχα. Τα οχήματα που πηγαίνουν με τη ροή της κίνησης ορίζονται έτσι ώστε το όχημα μπροστα από το n να λέγεται $n+1$. Για ευκολία, εισάγονται επιπλέον μεταβλητές d_n και $t_h = d_n / u_n$ για να δείχνουν την πρόοδο του διαστήματος και του χρόνου ανάμεσα σε οχήματα n και $n+1$. Το μοντέλο περιλαμβάνει προσδοκούμενα αποτελέσματα λαμβάνοντας υπόψη την κατάσταση των φωτών πέδησης του μπροστινού οχήματος l_{n+1} , προβέποντας την ταχύτητά του $v_{anti} = \min(v_{n+1}, d_{n+1})$ και υπολογίζοντας την αποτελεσματική απόσταση d_n^{eff} ως

$$d_n^{eff} = d_n + \max(v_{anti} - d_{safe}, 0)$$

όπου d_{safe} διέπει την αποτελεσματικότητα της πρόβλεψης (συνήθως $d_{safe} = 7$). Σύμφωνα με τους νόμους που αναφέρονται στο Τμήμα IV, τα επικοινωνούντα οχήματα έχουν ως στόχο να διατηρήσουν ένα μεγαλύτερο κενό όταν ειδοποιούνται για πυκνή κίνηση. Το επιπλέον κενό σημειώνεται ως gap_n . Οι νόμοι της κίνησης στο τροποποιημένο μοντέλο μας διαβάζονται ως εξής (ο ορισμός της μονάδας του χρόνου ως ένα δευτερόλεπτο επιτρέπει να

αντιμετωπίζουμε όλα τα μεγέθη ως αδιάστατα επειδή οι μετατροπές δεν αλλάζουν την αριθμητική τιμή μιας μεταβλητής) :

1) Επιτάχυνση:

$$l_n(t+1) \leftarrow \text{false}$$

$$\text{αν } l_n(t) = l_{n+1}(t) \text{ ή } t_h \geq t_s \text{ τότε : } v_n(t+1) \leftarrow \min(v_n^{\max}, v_n(t) + 1)$$

2) Προσαρμογή του κενού gap_n :

$$\text{αν } (v_n(t+1) > d_n^{\text{eff}} - \text{gap}_n(t) \text{ και } \text{gap}_n(t) > 0) \text{ τότε :}$$

$$\text{αν } (v_n(t+1) > v_n(t)) \text{ τότε :}$$

$$v_n(t+1) \leftarrow v_n(t)$$

$$\text{gap}_n(t+1) \leftarrow \max(d_n^{\text{eff}} - v_n(t+1), 0)$$

3) Καθορισμός της παραμέτρου τυχαιοποίησης p :

$$p \leftarrow \begin{cases} p_b, & \text{if } l_{n+1} = \text{true AND } t_h < t_s \\ & \text{AND } \text{gap}_n \leq v_n t_r \\ p_c, & \text{if } l_{n+1} = \text{true AND } t_h < t_s \\ & \text{AND } \text{gap}_n > v_n t_r \\ p_0, & \text{if } v_n = 0 \text{ AND NOT} \\ & (l_{n+1} = \text{true AND } t_h < t_s) \\ p_d, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

4) Πέδηση:

$$v_n(t+1) \leftarrow \min(d_n^{\text{eff}} - \text{gap}_n(t+1), v_n(t+1))$$

$$l_n(t+1) \leftarrow 1 - \Theta(v_n(t+1) - v_n(t))$$

5) Dawdling

$$\text{αν } (\text{rand}() < p) \text{ τότε :}$$

$$v_n(t+1) \leftarrow \max(v_n(t+1) - 1, 0)$$

$$\text{αν } p = p_b \text{ τότε } l_n(t+1) \leftarrow \text{true}$$

6) Αντίδραση στα μηνύματα προειδοποίησης :

$$\text{gap}_n(t+1) \leftarrow \begin{cases} \min(7s_{\text{car}}, d_n - v_n^{\max}), & \text{if } b_n = \text{true} \\ & \text{AND } d_n > v_n^{\max} \\ 0, & \text{if } b_n = \text{false.} \end{cases}$$

7) Κίνηση αυτοκινήτου:

$$x_n(t+1) \leftarrow x_n(t) + v_n(t+1)$$

Στο πρώτο βήμα, ένα όχημα προσπαθεί να επιταχύνει ως τη μέγιστη ταχύτητά του. Για να αποφευχθεί μη απαραίτητη επιτάχυνς, ελέγχει την κατάσταση των δικών του φωτών πέδησης αλλά και του μπροστινού του και συγκρίνει την πρόοδο του χρόνου του t_h σε έναν ορίζοντα αλληλεπίδρασης που εξαρτάται από την ταχύτητα $t_s = \min(v_n, h)$ (με $h = 6s$). Στο επόμενο βήμα, το επιπλέον κενό gap_n προσαρμόζεται για αποφευχθεί η πέδηση. Αφού καθυριστεί τη παράμετρος τυχαιοποίησης p (βλ. Τμήμα 3.4), το όχημα ελέγχει αν πραγματικά πρέπει να φρενάρει. Η συνάρτηση $\Theta(\cdot)$ δείχνει το βήμα Heaviside της συνάρτησης. Αν ένας τυχαίος αριθμός $\text{rand}()$ ομοιόμορφα παραγόμενος σε $(0,1)$ είναι μικρότερος από την παράμετρο τυχαιοποίησης p , η ταχύτητα είναι μειωμένη κατά μία μονάδα. Τα δύο τελευταία βήματα όπου υπολογίζεται η νέα τιμή του gap_n και κινείται το όχημα είναι εναλλάξιμα. Το μήκος του gap_n περιορίζεται σε ένα πολλαπλάσιο του μήκους ενός επιβατικού αυτοκινήτου s_{car} για να αποφευχθούν μη ρεαλιστικά μεγάλων κενών σε πυκνή κίνηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] D. Schrank, T. Lomax, and B. Eisele, “Urban mobility report 2011,” Texas Transp. Inst., Texas A&M Univ. Syst., College Station, TX, 2011.
- [2] “Vehicle safety communications project—Final report,” U.S. Dept. Transp., Washington, DC, Tech. Rep. DOT HS 810 591, 2006.
- [3] J. Mittag, F. Thomas, J. Härrri, and H. Hartenstein, “A comparison of single- and multi-hop beaconing in Vanets,” in Proc. 6th ACM Int. Work- shop VANET, 2009, pp. 69–78.
- [4] M. T. Moreno, “Inter-vehicle communications: Achieving safety in a distributed wireless environment: Challenges, systems and protocols,” Ph.D. dissertation, Univ. Karlsruhe, Karlsruhe, Germany, 2007.
- [5] B. Kerner, *The Physics of Traffic*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2004.
- [6] H. Rehborn, S. L. Klenov, and J. Palmer, “Common traffic congestion features studied in USA, U.K., and Germany based on Kerner’s three-phase traffic theory,” in Proc. IEEE Intell. Veh. Symp., 2011, pp. 19–24.
- [7] K. Nagel and M. Schreckenberg, “A cellular automaton model for freeway traffic,” *J. Phys. I*, vol. 2, no. 12, pp. 2221–2229, Dec. 1992.
- [8] Y. Sugiyama, M. Fukui, M. Kikuchi, K. Hasebe, A. Nakayama, K. Nishinari, S. Tadaki, and S. Yukawa, “Traffic jams without bottlenecks—Experimental evidence for the physical mechanism of the formation of a jam,” *New J. Phys.*, vol. 10, no. 3, p. 033001, Mar. 2008.
- [9] D. Chowdhury, L. Santen, and A. Schadschneider, “Statistical physics of vehicular traffic and some related systems,” *Phys. Rep.*, vol. 329, no. 4–6, pp. 199–329, May 2000.
- [10] E. A. Lee, *Cyber physical systems: Design challenges*, Elect. Eng. Comput. Sci., Dept., Univ. California, Berkeley, Berkeley, CA, Tech. Rep. UCB/EECS-2008-8. [Online]. Available: <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2008/EECS-2008-8.html>
- [11] T. Gaugel, F. Schmidt-Eisenlohr, J. Mittag, and H. Hartenstein, “A change in perspective: Information-centric modeling of inter-vehicle communication,” in Proc. 8th ACM Int. Workshop VANET, 2011, pp. 61–66.
- [12] D. Baselt, M. Mauve, and B. Scheuermann, “A top-down approach to inter-vehicle communication (poster),” in Proc. 3rd Annu. IEEE VNC, 2011, pp. 123–130.
- [13] F. Kargl, E. Schoch, B. Wiedersheim, and T. Leinmüller, “Secure and efficient beaconing for vehicular networks,” in Proc. 5th ACM Int. Workshop VANET, 2008, pp. 82–83.

- [14] M. Artimy, “Local density estimation and dynamic transmission-range assignment in vehicular ad hoc networks,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 8, no. 3, pp. 400–412, Sep. 2007.
- [15] C. Sommer, O. K. Tonguz, and F. Dressler, “Adaptive beaconing for delay- sensitive and congestion-aware traffic information systems,” in *Proc. 2nd IEEE VNC*, 2010, pp. 1–8.
- [16] J. W. Wedel, B. Schünemann, and I. Radusch, “V2X-based traffic congestion recognition and avoidance,” in *Proc. 10th ISPAN*, 2009, pp. 637–641.
- [17] A. Lakas and M. Chaqfeh, “A novel method for reducing road traffic congestion using vehicular communication,” in *Proc. IWCMC*, 2010, pp. 16–20.
- [18] W. Narzt, U. Wilflingseder, G. Pomberger, D. Kolb, and H. Hortner, “Self-organising congestion evasion strategies using ant-based pheromones,” *IET Intell. Transp. Syst.*, vol. 4, no. 1, pp. 93–102, Mar. 2010.
- [19] B. Kerner, S. Klenov, and A. Brakemeier, “Testbed for wireless vehicle communication: A simulation approach based on three-phase traffic theory,” in *Proc. IEEE Intell. Veh. Symp.*, 2008, pp. 180–185.
- [20] S. P. Fekete, B. Hendriks, C. Tessars, A. Wegener, H. Hellbrück, S. Fischer, and S. Ebers, “Methods for improving the flow of traffic,” in *Organic Computing—A Paradigm Shift for Complex Systems*, C. Müller-Schloer, H. Schmeck, and T. Ungerer, Eds. Basel, Switzerland: Springer-Verlag, 2011, pp. 447–460.
- [21] F. Knorr and M. Schreckenberg, “Influence of inter-vehicle communication on peak hour traffic flow,” *Phys. A*, vol. 391, no. 6, pp. 2225–2231, Mar. 2012.
- [22] *Highway Capacity Manual*, U.S. Nat. Res. Council, Transp. Res. Board, Washington, DC, 1994.
- [23] W. Knospe, L. Santen, A. Schadschneider, and M. Schreckenberg, “A realistic two-lane traffic model for highway traffic,” *J. Phys. A, Math. Gen.*, vol. 35, no. 15, pp. 3369–3388, Apr. 2002.
- [24] B. S. Kerner, “Complexity of spatiotemporal traffic phenomena in flow of identical drivers: Explanation based on fundamental hypothesis of threephase theory,” *Phys. Rev. E, Stat. Nonlin. Soft Matter Phys.*, vol. 85, no. 3, p. 036110, Mar. 2012.
- [25] R. Barr, Z. J. Haas, and R. van Renesse, “JiST: An efficient approach to simulation using virtual machines,” *Softw. Pract. Exp.*, vol. 35, no. 6, pp. 539–576, May 2005. [Online]. Available: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1060168.1060170>
- [26] R. Barr, Z. J. Haas, and R. van Renesse, *Scalable Wireless Ad Hoc Network Simulation*. Boca Raton, FL: Auerbach, 2005, ch. 19.
- [27] K. Ibrahim and M. C. Weigle, “ASH: Application-aware swans with highway mobility (poster),” in *Proc. IEEE INFOCOM Workshop MOVE*, Phoenix, AZ, 2008, pp. 1–6.
- [28] G. Kliot, *Technion Extensions of the JiST/SWANS Simulator*. [Online]. Available: <http://www.cs.technion.ac.il/~gabik/Jist-Swans/>

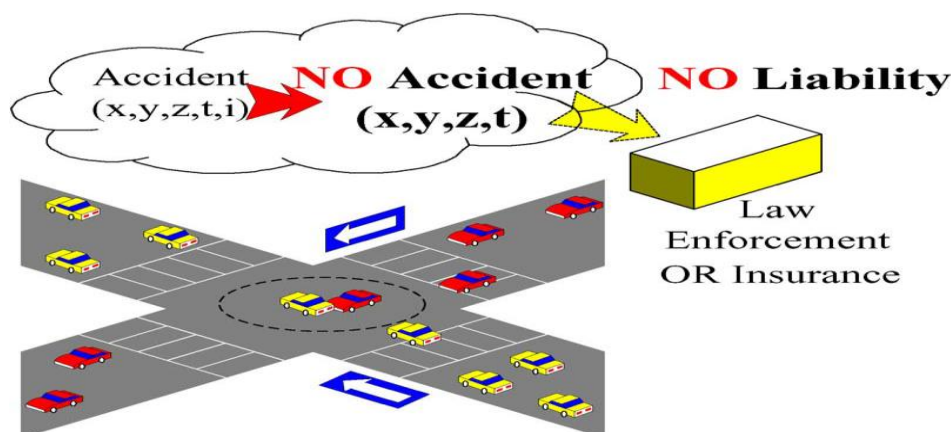
- [29] Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems—5 GHz Band Dedicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, ASTM E 2213-03, 2003.
- [30] M. Nakagami, “The m-distribution—A general formula of intensity distribution of rapid fading,” in *Statistical Methods in Radio Wave Propagation*, W. G. Hoffman, Ed. Oxford, U.K.: Pergamon, 1960, pp. 3–36.
- [31] J. Yin, G. Holland, T. ElBatt, F. Bai, and H. Krishnan, “DSRC channel fading analysis from empirical measurement,” in *Proc. 1st Int. Conf. ChinaCom*, 2006, pp. 1–5.
- [32] V. Taliwal, D. Jiang, H. Mangold, C. Chen, and R. Sengupta, “Empirical determination of channel characteristics for DSRC vehicle-to-vehicle communication,” in *Proc. 1st ACM Int. Workshop VANET*, 2004, p. 88.
- [33] R. Meireles, M. Boban, P. Steenkiste, O. Tonguz, and J. Barros, “Experimental study on the impact of vehicular obstructions in VANETs,” in *Proc. 2nd IEEE VNC*, 2010, pp. 338–345.
- [34] M. Boban, T. T. V. Vinhoza, J. A. Barros, M. Ferreira, and O. K. Tonguz, “Impact of vehicles as obstacles in vehicular ad hoc networks,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 29, no. 1, pp. 15–28, Jan. 2011.
- [35] H. K. Lee and B. J. Kim, “Dissolution of traffic jam via additional local interactions,” *Phys. A*, vol. 390, no. 23/24, pp. 4555–4561, 2011.
- [36] M. Boban, G. Misk, and O. Tonguz, “What is the best achievable QoS for unicast routing in VANET?” in *Proc. 3rd IEEE Workshop Autom. Netw. Appl.*, New Orleans, LA, 2008, pp. 1–10.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Προκλήσεις ασφάλειας

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στην προσπάθεια των ερευνητών να καταστήσουν τα οχήματα της αγοράς περισσότερο ανταγωνιστικά και στην προσπάθεια των κατασκευαστών αυτοκινήτων να προσφέρουν όλο και περισσότερο ισχυρές συσκευές, όπως ισχυρούς υπολογιστές, αισθητήρες, συσκευές ραντάρ, φωτογραφικές μηχανές και πομποδέκτες. Αυτές οι συσκευές εξυπηρετούν ένα σύνολο πελατών που προσδοκούν ποικίλες μορφές ψυχαγωγίας [4]. Επίσης, θα παρουσιαστεί μία εκτενής αναφορά στα προβλήματα των ζητημάτων ασφαλείας που προκύπτουν σε κάθε μοντέλο.

4.1 Προκλήσεις VC μοντέλου

Έπειτα από μια έρευνα του Olariou [1]-[3] και των συνεργατών του με θέμα τις δυνατότητες των οχημάτων, προκύπτει το Vehicular Cloud (VC) μοντέλο. Το VC δίνει την εικόνα ενός ειδικά διαμορφωμένου περιβάλλοντος με αντικείμενα που παραπέμπουν στα χαρακτηριστικά των οχημάτων και βοηθούν σημαντικά στη συλλογή πληροφοριών. Προφανώς, τα ζητήματα ασφαλείας πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου η VC έννοια να υιοθετηθεί ευρέως. Τα συμβατικά δίκτυα είναι σχεδιασμένα για να αποτρέπουν ανεπιθύμητους επισκέπτες στο σύστημα. Εντούτοις, στο VC, όλοι οι χρήστες, συμπεριλαμβανομένων των υψηλού κινδύνου, είναι ίσοι. Οι επιτιθέμενοι μπορούν να υλοποιήσουν τους στόχους τους χρησιμοποιώντας κατάλληλα τις δυνατότητες του μοντέλου, όπως η λήψη των εμπιστευτικών πληροφοριών και να παρέμβουν με αυτόν τον τρόπο στην ακεραιότητα των πληροφοριών. Το Σχήμα 16 εμφανίζει ένα πιθανό παράδειγμα της ακεραιότητας των πληροφοριών στην περίπτωση ενός τροχαίου ατυχήματος. Φανταστείτε ότι ένα ατύχημα έχει εμφανιστεί σε μια διατομή, και το ατύχημα θα αναφερθεί στο VC. Ο οδηγός που είναι υπεύθυνος για το ατύχημα μπορεί να εισβάλει στο VC και να τροποποιήσει το αρχείο του ατυχήματος. Αργότερα, όταν η επιβολή νόμου ή η ασφάλεια οχημάτων ρωτήσει για το ατύχημα, δεν μπορούν να συνδέσουν το ατύχημα με τον οδηγό που το προκάλεσε.



Σχήμα 16 : παράδειγμα ασφάλειας VC

Εκ πρώτης όψεως, οι προκλήσεις φαίνονται παρόμοιες με αυτές των συμβατικών δικτύων. Με μια εκ βαθέων όμως ανάλυση, πολλές μπορούν να εξαλειφθούν ρυθμίζοντας κατάλληλα τα χαρακτηριστικά του VC μοντέλου. Παρακάτω ακολουθεί ο προσδιορισμός και η ανάλυση των προκλήσεων που εμφανίζονται στα VC καθώς και προτεινόμενες λύσεις.

4.1.1 Περιγραφή VC μοντέλου

Τα οχήματα αρχικά ταξινομούνται αυτόνομα σε μορφή νέφους στο οποίο μπορούν να έχουν πρόσβαση εξουσιοδοτημένοι χρήστες. Το νέφος αντικατοπτρίζει υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο, για παράδειγμα αντίγραφο πόλης ή ευφυών συστημάτων μεταφοράς, ώστε τα οχήματα σε αυτό το περιβάλλον να διαμοιράσουν τις δυνατότητες μεταξύ τους. Οι ερευνητές έχουν ασχοληθεί με αυτές τις ικανότητες αλλά δεν έχουν προβλέψει και τις παραμέτρους για την ασφάλεια τόσο για το σύνολο του δικτύου, αλλά και του κάθε στοιχείου ξεχωριστά.

Μία πρόταση για την ασφάλεια στα VANET προέρχεται από τον Yan [5],[6]. Η πρόταση αυτή προϋποθέτει τη χρήση ενός ραντάρ, που χρησιμεύει ως εικονικό μάτι και μπορεί να προσδιορίσει τη θέση των οχημάτων. Μία πιστοποιημένη αρχή (certificate authority-CA) παράγει και δίνει κωδικούς κλειδί σε κάθε όχημα χωριστά ώστε πρόσβαση στους κωδικούς να έχουν μόνο οι πιστοποιημένοι χρήστες και η διαδικασία αυτή ονομάζεται Public Key Infrastructure (PKI). Τα μηνύματα κρυπτογραφούνται και αποστέλλονται μεταξύ των οχημάτων και για να γίνει αυτό εφικτό θα πρέπει να βρίσκονται εντός συγκεκριμένου γεωγραφικού χώρου που προσδιορίζεται κάθε φορά από έναν πομπό που μπορεί να αποκρυπτογραφεί και τα μηνύματα.

Ακόμα μία προτεινόμενη λύση για την ασφάλεια των VANET αποτελεί αρχικά η περιορισμένη πρόσβαση στο μοντέλο. Μία πρόταση του Santos [8] είναι να υπάρχει ένας μόνο συντονιστής που θα πιστοποιεί την κάθε μηχανή του μοντέλου [9]. Όταν ένα VM λειτουργεί, καταγράφει τις πληροφορίες λειτουργίας του, παράγει και καινούριες και τις διαβιβάζει στο κέντρο ελέγχου του σε κάθε χρονική περίοδο έτσι ώστε να γίνεται πιστοποίηση συνεχώς [17],[18]. Το κέντρο ελέγχου μπορεί να αποφανθεί για την ασφάλεια του μοντέλου σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας του.

4.1.2 Επισκόπηση VC μοντέλου

Θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε πως ένα VC μοντέλο αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία :

- Cloud Computing: θεωρείται σκόπιμο οι χρήστες του VC να μη δαπανούν ακριβά ποσά για εγκατάσταση εξοπλισμού και λογισμικού της μηχανής τους. Είναι προτιμότερο να έχουν οποιαδήποτε πρόσβαση σε εξειδικευμένο λογισμικό μέσω του διαδικτύου χωρίς να απαιτείται ακριβό τερματικό. Επιτυγχάνεται με αυτόν τον τρόπο η επεξεργασία και η αποθήκευση των πληροφοριών με αισθητά μικρή οικονομική επιβάρυνση.
- VANET : προκειμένου τα οχήματα να επικοινωνούν μεταξύ τους αρκεί να βρίσκονται εντός του σχεδιασμένου δικτύου. Μειονέκτημα είναι ο περιορισμός που προκύπτει στην εμβέλεια του δικτύου ο οποίος είναι στα 300-1000 μέτρα. Υπάρχουν δύο τύποι VANET : ο ένας είναι τα δίκτυα μηδενικής υποδομής (zero-infrastructure)

και τα δίκτυα υποδομής βασισμένα σε VANET (infrastructure-based VANET) [12]. Δυστυχώς καμία δε χρησιμοποιεί πιστοποιητικά ασφάλειας για την ταυτότητα των οχημάτων, όμως η υποδομή στην οποία στηρίζονται και οι δύο τύποι, έχει τη δυνατότητα να παρέχει ασύρματα σημεία ελέγχου όπου και μπορεί να ρυθμιστεί η ασφάλεια των δικτύων αλλά και για να γίνει εφικτή η επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων ταυτόχρονα.

- VCs: λειτουργούν όπως ακριβώς και τα VANET βασισμένα σε δύο τύπους αντίστοιχα, τα δίκτυα υποδομής βασισμένα σε VC και τα αυτόνομα VC (autonomous VC) [2]. Οι οδηγοί μπορούν να επικοινωνούν μέσω της υποδομής του δρόμου και να ανταλλάσσουν πληροφορίες στην πρώτη περίπτωση, ενώ στη δεύτερη μπορούν, εκτός των άλλων, να συνδυαστούν και κατά τη διάρκεια λειτουργίας για να επικοινωνήσουν σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης ή σε άλλα ειδικά γεγονότα.

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι το VC παρέχει τις υπηρεσίες σε τρία επίπεδα: εφαρμογή, πλατφόρμα, και υποδομή. Οι φορείς παροχής υπηρεσιών χρησιμοποιούν τα επίπεδα διαφορετικά, με βάση πού και πώς προσφέρονται οι υπηρεσίες. Το θεμελιώδες επίπεδο καλείται υποδομή ως υπηρεσία (Infrastructure as a Service-IaaS), όπως είναι ο υπολογισμός, η αποθήκευση, οι συσκευές επικοινωνίας, και το λογισμικό δημιουργούνται ως VM. Το επόμενο επίπεδο είναι πλατφόρμα ως υπηρεσία (Platform as a Service-PaaS), όπου συστατικά και οι υπηρεσίες (όπως το httpd, ftpd, και ο κεντρικός υπολογιστής ηλεκτρονικού ταχυδρομείου) παρέχονται ως υπηρεσίες. Το τελευταίο επίπεδο καλείται λογισμικό όπως μια υπηρεσία (Software as a Service-SaaS), όπου οι εφαρμογές παρέχονται σε ένα «αμοιβή-όπως πηγαίνετε» (pay-as you-go) τύπο.

Το VCs παρέχει έναν οικονομικά αποδοτικό τρόπο να προσφέρει περιεκτικές υπηρεσίες. Παραδείγματος χάριν, ένα φτηνότερο όχημα με την πρόσβαση στο δίκτυο μπορεί να έχει πρόσβαση σε ένα VM με τον ισχυρό υπολογισμό, την επικοινωνία, την ικανότητα αντίληψης, και τη δυνατότητα για μεγάλη αποθήκευση. Πολλές εφαρμογές όπως ειδήσεις κυκλοφορίας, οδικοί όροι, ή ευφυή συστήματα ναυσιπλοΐας μπορούν να παρασχεθούν από ένα VM [14].

4.1.3 Πιθανές εφαρμογές VC

- Συντήρηση οχημάτων: Τα οχήματα λαμβάνουν τις αναπροσαρμογές λογισμικού από το σύννεφο οπότε οι κατασκευαστές οχημάτων φορτώνουν νέα έκδοση του λογισμικού.
- Διαχείριση κυκλοφορίας: Οι οδηγοί μπορούν να λάβουν τη θέση κυκλοφορίας που υποβάλλει η έκθεση (π.χ., συμφόρηση) από VCs.
- Οδική κατάσταση: όπως η πλημμύρα, οι περιοχές και ο πάγος στο οδόστρωμα μπορούν να μοιραστούν σε VCs. Οι οδηγοί θα προειδοποιηθούν εάν υπάρχει σοβαρό πρόβλημα στο δρόμο.
- Επιφυλακές ατυχήματος στις διατομές: Κάτω από την απαιτητική οδήγηση όπως η ομίχλη, βαριά θύελλα, χιόνι, και ο πάγος, ο οδηγός μπορεί να διατάξει αυτήν την υπηρεσία για να τον προειδοποιήσει για πιθανά ατυχήματα στις διατομές, π.χ., ένα ψηλό

κτήριο, μπορεί να περιλάβει το μεγάλης ακρίβειας ραντάρ για να ανιχνεύσει ατυχήματα αυτοκινήτων. Αυτή η υποδομή θα καλύψει το σύνολο της διατομής και θα ανιχνεύει συχνά τη διατομή.

- Εφαρμογές ασφάλειας: Εφαρμογές σχετικές με ζωή, κρίσιμα σενάρια όπως η αποφυγή σύγκρουσης και η προσαρμοστική οδήγηση με αυτόματο πιλότο. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο έλεγχος απαιτεί την ισχυρή προστασία ασφάλειας.
- Ευφυής διαχείριση χώρων στάθμευσης: Τα οχήματα θα είναι σε θέση για να κρατήσει ένα σημείο χώρων στάθμευσης που χρησιμοποιεί το VC. Όλος ο χώρος στάθμευσης και οι πληροφορίες θα είναι διαθέσιμες για τα σύννεφα χωρίς κεντρικό έλεγχο. Τα αιτήματα από τις διαφορετικές φυσικές θέσεις μπορούν να μεταφερθούν στα πιο επιθυμητά μέρη χώρων στάθμευσης.
- Προγραμματισμένες εκκενώσεις: Σε μερικές καταστροφές όπως τυφώνες και τσουνάμι, τα VCs θα συμβάλουν στις οργανωμένες εκκενώσεις.

4.2 Ασφάλεια και κίνδυνοι

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα θέματα ασφάλειας που είναι άμεσα συνδεδεμένα με το VC μοντέλο.

4.2.1 Ασφάλεια και προσωπικές επιθέσεις στο VC

Τα παραδοσιακά συστήματα ασφάλειας είναι συχνά σχεδιασμένα για να αποτρέπουν τους κινδύνους από την είσοδο του συστήματος. Εντούτοις, τα συστήματα ασφάλειας στο VC εμφανίζουν μεγαλύτερη δυσκολία στο να κρατήσουν τους κινδύνους στον κόλπο, επειδή πολλαπλοί χρήστες υπηρεσιών με υψηλή κινητικότητα μπορούν να μοιραστούν την ίδια φυσική υποδομή. Στο VC περιβάλλον, ένας επιτιθέμενος μπορεί εξίσου να μοιραστεί κοινή φυσική μηχανή/υποδομή με τους στόχους του, αν και ανατίθεται σε διαφορετικά VM. Σε αυτό το σημείο, οι απειλές έχουν περισσότερα πλεονεκτήματα από τις απειλές στα παραδοσιακά συστήματα.

Οι κύριοι στόχοι τους είναι να προσβάλλουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- την εμπιστευτικότητα, όπως οι ταυτότητες άλλων χρηστών, πολύτιμα στοιχεία και έγγραφα που καταχωρούνται σχετικά με το VC, και τη θέση των VM.
- την ακεραιότητα, όπως τα πολύτιμα στοιχεία και τα έγγραφα που καταχωρούνται επάνω στο VC, ο εκτελέσιμος κώδικας, και το αποτέλεσμα για το VC.
- την διαθεσιμότητα, όπως οι φυσικές μηχανές και τα στοιχεία συμπεριφοράς υπηρεσιών, και εφαρμογές.

Μια πιθανή μορφή της επίθεσης δίνεται κατωτέρω:

- Εύρεση της γεωγραφικής θέσης του οχήματος στόχου και κίνηση κοντά στο στόχο.
- Χαρτογράφηση της τοπολογίας VC κοντά στην περιοχή του στόχου.

- Πολλαπλάσιες πειραματικές προσβάσεις έναρξης στο σύννεφο, και εύρεση εάν ο στόχος είναι αυτήν την περίοδο στο ίδιο VM.
- Ζήτηση των υπηρεσιών στο ίδιο VM όπου ο στόχος είναι ανοικτός.
- Διαρροή συστημάτων για να λάβει το υψηλότερο προνόμιο που συλλέγει τα δεδομένα [13].

Εξαιτίας των χαρακτηριστικών των VC, πολλές προκλήσεις αντιμετωπίζουν και οι ‘επιτιθέμενοι’ επίσης. Η κινητικότητα των οχημάτων είναι σαν ξίφος με δύο λεπίδες, καθιστώντας δύσκολη την μεμονωμένη επίθεση σε ένα και μόνο όχημα. Κατ’ αρχάς, η πρόσβαση του οχήματος σε κάθε εικονική μηχανή μπορεί να είναι παροδική, καθώς τα οχήματα κινούνται συνεχώς από μια περιοχή σε μια άλλη. Επιπλέον, οι επιτιθέμενοι πρέπει να εντοπίσουν σε ποιά μηχανή/υποδομή βρίσκεται ένας συγκεκριμένος στόχος, επειδή όλοι οι χρήστες στο VC διανέμονται στις εικονικές μηχανές. Εντούτοις, είναι δυνατό να βρεθεί μία κοινή-κατοικία άλλων χρηστών. Τα πειράματα που έχουν γίνει για να πιάσουν και να συγκρίνουν τη μνήμη από τους επεξεργαστές, και τους χρήστες μπορούν να βρουν την κατοικία στην ίδια φυσική μηχανή [13]. Ακόμα, οι επιτιθέμενοι πρέπει να είναι φυσικά συνδυασμένοι με το χρήστη-στόχο και στις ίδιες φυσικές μηχανές. Αυτό θα απαιτήσει από τους επιτιθέμενους να είναι φυσικά παρόντες στην ίδια περιοχή με τα οχήματα στόχων ή σκιά των οχημάτων του στόχου με την ίδια ταχύτητα. Αυτές οι προκλήσεις καθιστούν την επίθεση εξαιρετικά δύσκολη, επειδή η συνύπαρξη είναι δύσκολο να επιτευχθεί και είναι προσωρινή. Τέλος, οι επιτιθέμενοι πρέπει να συλλέξουν πολύτιμες πληροφορίες με ορισμένα προνόμια ή σημεία ασφάλειας.

Οι απειλές στο VC μπορούν να ταξινομηθούν χρήση του συστήματος STRIDE [14]: ένα σύστημα που αναπτύσσεται από τη Microsoft για την ταξινόμηση απειλών ασφάλειας υπολογιστών. Οι κατηγορίες απειλής δίνονται παρακάτω :

- Εξαπάτηση της ταυτότητας των χρηστών: Οι επιτιθέμενοι προσποιούνται να είναι κάποιος άλλος χρήστης για να λάβουν τα στοιχεία και τα πλεονεκτήματα. Με αυτό τον τρόπο θα καταφέρουν να συλλέξουν τις απαραίτητες πληροφορίες.
- Να πειράξει: Οι επιτιθέμενοι αλλάζουν τα στοιχεία και τα τροποποιούν ώστε να σφουρηλατούν πληροφορίες.
- Αποκήρυξη: Οι επιτιθέμενοι χειρίζονται ή σφουρηλατούν τα αποτελέσματα από τα νέα στοιχεία, τις ενέργειες, και τις διαδικασίες.
- Κοινοποίηση πληροφοριών: Οι επιτιθέμενοι αποκαλύπτουν προσωπικές πληροφορίες όπως οι ταυτότητες, νομιμότητα, χρηματοδότηση, κατοικία και γεωγραφικά αρχεία, βιολογικά γνωρίσματα και έθνος.
- Άρνηση της υπηρεσίας: Οι επιτιθέμενοι καθιστούν τα στοιχεία συμπεριφοράς μη διαθέσιμα στους προοριζόμενους χρήστες.
- Δημιουργία προνομίου: Οι επιτιθέμενοι εκμεταλλεύονται ένα προγραμματιστικό λάθος, μια διαρροή, κάποια ρωγμή σχεδίου ή λάθος διαμόρφωσης σε ένα σύστημα ή μια εφαρμογή λογισμικού, για να αποκτήσουν πρόσβαση στα προστατευμένα στοιχεία συμπεριφοράς ή τα στοιχεία που είναι κανονικά προστατευμένα από τους χρήστες.

4.2.2 πιστοποίηση ταυτότητας των κόμβων υψηλής κινητικότητας.

Η πιστοποίηση ταυτότητας ασφάλειας στο VC περιλαμβάνει την επαλήθευση της ταυτότητας του χρήστη και την ακεραιότητα μηνυμάτων. Για να διευθύνει την πιστοποίηση ταυτότητας, υιοθετεί μερικές παραμέτρους [16].

- Κυριότητα : Ένας χρήστης είναι κύριος κάποιας μοναδικής ταυτότητας (π.χ., κάρτα ταυτότητας, σημείο ασφάλειας, και σημείο λογισμικού).
- Γνώση: Ένας χρήστης γνωρίζει μερικά μοναδικά πράγματα [π.χ., κωδικοί πρόσβασης, προσωπικός αριθμός αναγνώρισης και απάντηση πρόκλησης (δηλ., ερωτήσεις ασφάλειας)].
- Βιομετρική: Περιλαμβάνει την υπογραφή, πρόσωπο, φωνή, και δακτυλικό αποτύπωμα.

Εντούτοις, είναι πρόκληση να επικυρωθούν τα οχήματα λόγω υψηλής κινητικότητας. Κατ' αρχάς, η υψηλή κινητικότητα το κάνει δύσκολο να πιστοποιηθούν τα μηνύματα με ένα πλαίσιο θέσης. Δεύτερον, η υψηλή κινητικότητα και μια σύντομη σειρά μετάδοσης μπορεί να οδηγήσουν στον παραλήπτη που είναι εκτός πρόσβασης. Είναι πιθανό ότι ένα όχημα στα σύνορα της πρόσβασης, μπορεί να αλλάξει το σημείο πρόσβασής του ,όταν κατά την πιστοποίηση ταυτότητας το μήνυμα διαβιβάζεται πίσω. Τρίτον, το σημείο ασφάλειας αναπροσαρμόζεται δύσκολα. Μερικά οχήματα μπορούν ακόμη και να σταθμεύσουν για χρόνια χωρίς έναρξη ενός ενιαίου χρόνου. Αυτές οι καταστάσεις καθιστούν τις στοιχειώδεις εργασίες ενημέρωσης του σημείου ασφάλειας σημαντικά πολύπλοκες.

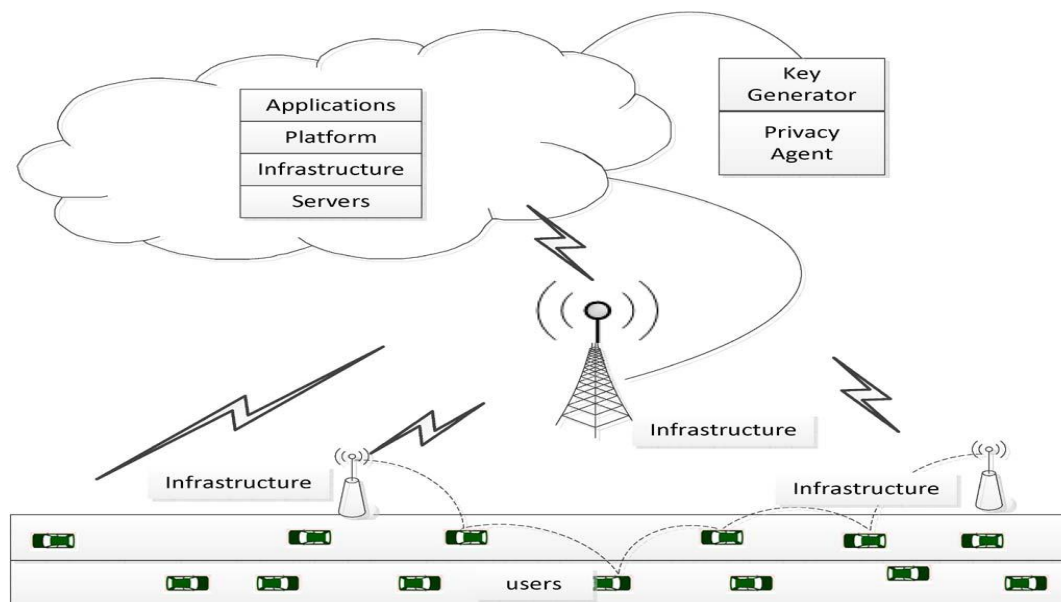
Επιπλέον, είναι προκλητικό να επικυρωθεί ένα όχημα ή η ταυτότητα του οδηγού στο VC. Για να προστατεύσουν τη μυστικότητα, αυτές οι ταυτότητες αντικαθίσταται συχνά από ψευδώνυμα. Η πιστοποίηση ταυτότητας μπορεί να είναι σύνθετη και πολλές φορές καθιστά τις επιθέσεις Sybil αρκετά πιθανές [17].

4.3 ΣΧΕΣΕΙΣ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ

Η εμπιστοσύνη είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες σε οποιοδήποτε ασφαλές σύστημα. Σχέση εμπιστοσύνης μπορεί να υπάρξει με διάφορους τρόπους. Η υπηρεσία δικτύων, οι προμηθευτές και οι οδηγοί οχημάτων έχουν πρόσβαση στην εμπιστοσύνη. Επίσης, μεγάλος αριθμός κυβερνητικών πρακτόρων, π.χ., το τμήμα από τα μηχανοκίνητα οχήματα (Department of Motor Vehicles-DMV) και το γραφείο των μηχανοκίνητων οχημάτων (Bureau of Motor Vehicles-BMV) είναι οργανώσεις βασισμένες στις σχέσεις εμπιστοσύνης. Η σχέση μεταξύ BMV και των οδηγών οχημάτων είναι βασισμένη στην μοναδικότητα και νομιμότητα της ταυτότητας.

Εντούτοις, ο μεγάλος πληθυσμός των οχημάτων δημιουργεί δυσχέρειες στις σχέσεις εμπιστοσύνης σε όλα τα οχήματα και σε οποιαδήποτε στιγμή, έχοντας όμως και περιστασιακές εξαιρέσεις. Επιπλέον, οι οδηγοί είναι όλο και περισσότερο ανήσυχοι για τη μυστικότητά τους. Η παρακολούθηση οχημάτων/οδηγών προκαλεί ανησυχίες στις

περισσότερες περιπτώσεις. Κατά συνέπεια, ψευδώνυμα εφαρμόζονται συχνά στα οχήματα. Φυσικά, πάντα απαιτείται ένα επίπεδο εμπιστοσύνης όσον αφορά την ταυτότητα του χρήστη. Μερικές εφαρμογές, όπως η έρευνα αξιοπιστίας ατυχήματος από την επιβολή ή την ασφάλεια νόμου, οι ασφαλιστικές επιχειρήσεις θέτουν τον οδηγό ως υπαίτιο. Επομένως, υποθέτουμε ότι ένα χαμηλό επίπεδο της σχέσης εμπιστοσύνης υπάρχει σε VANETs.



Σχήμα 17 : Τα οχήματα επικοινωνούν συχνά μέσω της multihop μετάδοσης. Σε ένα αίτημα, η απάντηση θα έχει πολλούς συμμετέχοντες πχ χρήστες, πολλαπλούς υπολογιστές κλπ.

Στα VCs, είναι πολύ πιο δύσκολο να χτιστούν οι σχέσεις εμπιστοσύνης από ότι στα τροχαία δίκτυα και το συμβατικό υπολογισμό σύννεφων. Στο Σχήμα 17 εμφανίζεται ένα παράδειγμα των πολλαπλών συμμετεχόντων σε ένα VC. Ένα VC είναι συχνά βασισμένο σε DSRC. Πολλές εφαρμογές, χρειάζονται multihop μετάδοση (μετάδοση πολλαπλών βημάτων) καθοδηγώντας τους κόμβους που περιλαμβάνονται στην επικοινωνία. Επομένως, το VC έχει κληρονομήσει την ανάγκη της καθιέρωσης σχέσεων εμπιστοσύνης μεταξύ πολλαπλών οχημάτων, της υποδομής ακρών του δρόμου και των δικτύων.

Σε αυτό το έγγραφο, υποθέτουμε ότι η VC υποδομή σύννεφων είναι πιστοποιημένη, οι VC φορείς παροχής υπηρεσιών αξιόπιστοι όπως και η μεγάλη πλειοψηφία από VC χρήστες και οι επιτιθέμενοι έχουν το ίδιο πρόνομα όπως οι κανονικοί χρήστες.

4.4 ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ ΚΑΙ ΨΕΥΔΟΝΥΜΟ ΘΕΣΗΣ

Οι περισσότερες, εάν όχι όλες, VC εφαρμογές στηρίζονται στις πληροφορίες της ακριβούς θέσης. Επομένως, οι πληροφορίες θέσης πρέπει να επικυρωθούν. Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για να επικυρώσουν τις πληροφορίες θέσης: ενεργή και ενεργητική. Οχήματα ή υποδομές με ραντάρ (πχ η φωτογραφική μηχανή, κ.λπ.) μπορούν να εκτελέσουν την ενεργό

επικύρωση θέσης. Στα ραντάρ η είσοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επικυρώσει τις πληροφορίες θέσης. Οχήματα ή υποδομή χωρίς ραντάρ, ή σε μια κατάσταση όπου η ανίχνευση του ραντάρ δεν είναι δυνατή, μπορούν να επικυρώσουν τις πληροφορίες θέσης εφαρμόζοντας τις στατιστικές μεθόδους [5], [18].

Η ταυτότητα ενός οχήματος είναι συχνά μπλεγμένη με την ταυτότητα του ιδιοκτήτη. Λόγω των νομικών και ασφαλιστικών ζητημάτων, η μοναδική ταυτότητα ενός οχήματος (όπως ο αριθμός ταυτότητας οχημάτων, πρωτόκολλο ή διεύθυνση διαδικτύου και hostname) συνδέεται συχνά με την ταυτότητα του ιδιοκτήτη. Επομένως, η καταδίωξη ενός οχήματος μπορεί συχνά να εισβάλει στη μυστικότητα του ιδιοκτήτη. Για να προστατεύσει τη μυστικότητα, μπορεί να αντικαταστήσει την τροχαία ταυτότητα από ένα ψευδώνυμο. Η πραγματική ταυτότητα μπορεί μόνο να ανακαλυφθεί από το κέντρο υπηρεσιών Pseudonymization, το οποίο είναι εξασφαλισμένο και με εμπιστευμένη οντότητα. Το ψευδώνυμο υπόκειται στο χρόνο αδράνειας. Κατόπιν τη λήξη, ένα νέο ψευδώνυμο θα ανατεθεί. Ψηφιακές άδειες κυκλοφορίας (DLPs- Digital Licence Plates) ή ηλεκτρονικές πινακίδες κυκλοφορίας, τα οποία είναι μια συσκευή που μεταδίδει περιοδικά μια μοναδική συμβολοσειρά ταυτότητας, έχει προταθεί. Τα προσωρινά δημόσια κλειδιά όπως DLPs μπορούν να προστατεύσουν τη μυστικότητα κατά τη μετάδοση [7].

4.5 Εξελιξιμότητα

Τα συστήματα ασφάλειας για VCs πρέπει να είναι εξελικτικά για να χειριστούν το δυναμικά μεταβαλλόμενο αριθμό οχημάτων. Τα συστήματα ασφάλειας πρέπει να χειρίζονται όχι μόνο την κανονική αλλά και την πρόσθετη κυκλοφορία επίσης, π.χ., η μεγάλη ένταση του ήχου της κυκλοφορίας που προκαλείται από τα πρόσθετα γεγονότα (π.χ., τα παιχνίδια ποδοσφαίρου, αέρας, κ.λπ.) . Η μεταβλητότητα της κυκλοφορίας παράγει τις δυναμικές απαιτήσεις στην ασφάλεια. Παραδείγματος χάριν, φανταστείτε στο κέντρο της πόλης μια περιοχή με αρκετές υπεραγορές και καταστήματα που παίρνουν τις κατατάξεις από τα οχήματα στην κυκλοφορία, και ολοκληρώστε με τις πληροφορίες πιστωτικών καρτών. Για να προστατευτεί η πιστωτική κάρτα, κρυπτογραφικοί αλγόριθμοι πρέπει να εφαρμοστούν. Εντούτοις, οι περιεκτικοί αλγόριθμοι μειώνουν την αποδοτικότητα του χρόνου απόκρισης επικοινωνίας. Επομένως, απαιτούνται καλύτεροι αλγόριθμοι και, ίσως, λιγότερο περιεκτικά συστήματα ασφάλειας, προκειμένου να επιταχυνθεί ο χρόνος απόκρισης.

4.6 VC ΜΗΝΥΜΑΤΑ

4.6.1 ΜΗΝΥΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Το αρχικό κίνητρο για τα VANET ήταν η διάδοση των μηνυμάτων ασφάλειας κυκλοφορίας. Με βάση το επίπεδο έκτακτης ανάγκης, υπάρχουν τρεις τύποι μηνυμάτων ασφάλειας.

- Επιπέδου-1: περιέχει δημόσιες πληροφορίες κυκλοφορίας. Πληροφορία ανταλλαγής (π.χ., κυκλοφοριακή συμφόρηση) που έμμεσα έχει επιπτώσεις στην ασφάλεια άλλων οχημάτων, π.χ., σε μια συμφόρηση η πιθανότητα των ατυχημάτων αυξάνεται. Αυτός ο τύπος μηνύματος δεν είναι ευαίσθητος στην καθυστέρηση επικοινωνίας, αλλά στις ανάγκες μυστικότητας για να προστατευθεί.

- Επιπέδου-2: αποτελείται από συνεταιριστικά μηνύματα ασφάλειας. Έτσι, μπορεί να γίνει ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ οχημάτων για συνεταιριστικές εφαρμογές αποφυγής ατυχήματος.

- Επιπέδου-3: περιέχει τα μηνύματα ευθύνης. Αφότου συμβεί κάποιο ατύχημα, θα υπάρξουν μηνύματα ευθύνης που παράγονται από την επιβολή του νόμου. Αυτά τα μηνύματα περιέχουν σημαντικά στοιχεία για την ευθύνη και συνδέονται από ορισμένη χρονική σειρά. Οι πληροφορίες μυστικότητας παραμένουν προστατευμένες..

Μια κοινή μορφή των μηνυμάτων ασφάλειας είναι τα timestamp, δηλαδή απεικονίζουν πώς μεταβάλλεται η γεωγραφική θέση, η ταχύτητα και η κατεύθυνση και το ποσοστό αλλαγής ταχύτητας από το τελευταίο μήνυμα μετάδοσης. Το μήνυμα ασφάλειας θα επισυνάψει πληροφορίες όπως η δημόσια κυκλοφορία και τα ατυχήματα. Το επισυναπτόμενο μήνυμα μπορεί να βοηθήσει να καθοριστεί η ευθύνη. Οι πληροφορίες ταυτότητας οδηγών δεν είναι απαραίτητο να είναι μέρος του μηνύματος ασφάλειας. Τα ψευδώνυμα μπορούν να εφαρμοστούν για να προστατεύσουν την ταυτότητα του οδηγού. Η υπογραφή του μηνύματος ασφάλειας μετά από το σχέδιο υπογραφών ElGamal [19], καθορίζεται με τρεις παραμέτρους:

- H : δείκτης συμφόρησης
- p : ένας πρώτος αριθμός που εξασφαλίζει ότι ο διακριτός λογάριθμος p είναι πολύπλοκος στον υπολογισμό.
- $g < p$: τυχαία επιλεγμένος παράγοντας από μια πολλαπλή ομάδα ακεραίων.

Κάθε όχημα έχει τα βασικά ζεύγη κλειδιών PKI:

- ιδιωτικό κλειδί S
- δημόσιο κλειδί $\langle g, p, T \rangle$ όπου $T = g^S \text{ mod } p$

Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα μήνυμα m μπορεί να συνδυαστεί όπως $m|T$, όπου το T είναι timestamp. Για κάθε μήνυμα m που υπογράφεται, τρία βήματα ακολουθούνται:

- Δημιουργία βασικού δημόσιου/ιδιωτικού κλειδιού S_m (ιδιωτικό) και $T_m = g^{S_m}$ (δημόσιο)
- Μετάδοση του μηνύματος $dm = H(m/T_m)$ και υπογραφή μηνύματος $X = S_m + d_m S \text{ mod } (p - 1)$.
- Αποστολή των m, T_m, X .

Για την πιστοποίηση του μηνύματος έχουμε τα αντίστοιχα βήματα:

- Μετάδοση του μηνύματος $dm = H(m/T_m)$.
- Υπολογισμός $Y_1 = g^X, Y_2 = T_m T^{dm}$
- Σύγκριση Y_1, Y_2 . Αν $Y_1 = Y_2$ τότε είναι σωστό γιατί

$$Y_1 = g^X = g^{S_m + d_m S} = g^{S_m} g^{d_m S} = T_m g^{S d_m} = T_m T^{d_m} = Y_2.$$

4.6.2 ΕΜΠΙΣΤΕΥΤΙΚΑ ΜΗΝΥΜΑΤΑ (Confidential Messages)

Για να εξασφαλίσει την εμπιστευτικότητα ένα ευαίσθητο μήνυμα, το μήνυμα θα πρέπει να υπογραφεί και να κρυπτογραφηθεί. Υποθέστε ότι το όχημα A στέλνει ένα ευαίσθητο μήνυμα m στο όχημα B. Κάθε όχημα έχει το δημόσιο/ιδιωτικό πλήκτρο PKI του ζευγάρι κλειδιών. Σκεπτόμενοι τα γενικά έξοδα του χρόνου επεξεργασίας PKI, μπορούμε προσαρμόσουμε έναν συμμετρικό αλγόριθμο κρυπτογράφησης. Εντούτοις, στην ανταλλαγή πρέπει ακόμα να χρησιμοποιήσουμε ακόμα ένα μυστικό πλήκτρο για την υποστήριξη PKI. Η χειραψία για την ανταλλαγή του μυστικού πλήκτρου καθορίζεται ως εξής:

$$A \rightarrow B : B/K/T_{pub}B, SigB/K/T_{pri}A$$

όπου A, B : οι ταυτότητες των οχημάτων A και B.

K : το μυστικό κοινό πλήκτρο για τα A και B

m : το ευαίσθητο μήνυμα

T : timestamp

Pub^B : δημόσιο κλειδί B

Pri_A : ιδιωτικό κλειδί A

Μόλις ξέρουν το A και το B και οι δύο το μυστικό βασικό K, μπορούν να επικοινωνήσουν με τη χρησιμοποίηση μιας γνωστής πιστοποίησης ταυτότητας μηνυμάτων σε κώδικα (MAC ή HMAC). Το κομμάτιασμα του ευαίσθητου μηνύματος γίνεται ως εξής:

$$A \leftrightarrow B : m, MAC_K m.$$

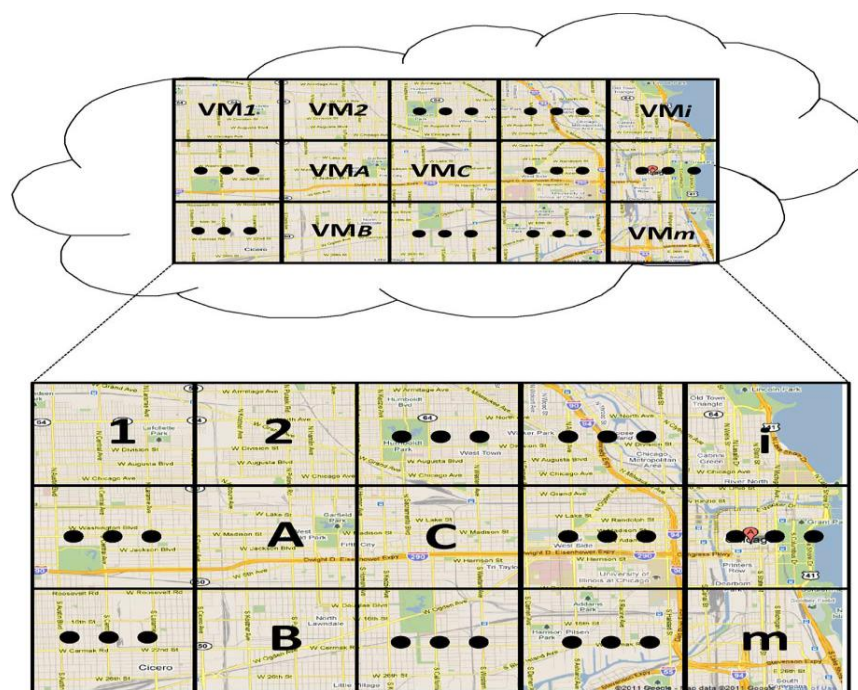
Υπάρχουν πιθανά προβλήματα με αυτήν την προσέγγιση. Σαν μειονέκτημα από τη συμμετρική κρυπτογράφηση, η ακεραιότητα και η προέλευση των στοιχείων, δεν μπορεί να εξασφαλιστεί, αν και η πιθανότητα από τα στοιχεία που αλλάζουν λαθραία είναι εξαιρετικά χαμηλή. Για να επιτευχθεί ένα υψηλότερο επίπεδο της ασφάλειας των ευαίσθητων μηνυμάτων, πρέπει να μπορούν να εφαρμοστούν οι ενεργοί μηχανισμοί ασφάλειας [5] ή να υιοθετηθεί η κρυπτογράφηση PKI με κόστος ένα ορισμένο ποσό αποδοτικότητας.

4.7 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Σε αυτό το τμήμα, προσφέρουμε μια πρώτη προσπάθεια στην εξέταση αρκετών από τις προκλήσεις που συζητήθηκαν προηγουμένως. Αρχίζουμε με την περιγραφή των δύο VC μοντέλων, δηλ., η υποδομή (infrastructure) και ad-hoc-μοντέλα (ad-hoc-based models) . Καταδεικνύουμε έπειτα τους αλγόριθμους για να ενισχύσουμε την πιστοποίηση ταυτότητας από τα οχήματα υψηλής-κινητικότητας, να διαμορφώσουμε την προσαρμοσμένη ασφάλεια και να βελτιώσουμε την εξελιξιμότητα των συστημάτων ασφάλειας.

4.7.1 CLOUD MODEL

Το σύννεφο σε αυτήν την πρόταση συνδέεται με τα διάφορα πλέγματα. Μια πόλη ή μια περιοχή κυκλοφορίας χωρίζεται στα πλέγματα. Το μέγεθος προκαθορίζεται, π.χ., 700 τετραγωνικά μέτρα και με δύο συντεταγμένες. Το πλέγμα μιας πόλης εμφανίζεται στο Σχήμα 18. Κάθε κύτταρο συνδέεται με μια εικονική μηχανή στο σύννεφο. Η εικονική μηχανή μπορεί να απαιτήσει δυναμικά στοιχεία συμπεριφοράς από το σύννεφο. Παραδείγματος χάριν, όταν το πλέγμα είναι κορεσμένο, η αντίστοιχη εικονική μηχανή θα ζητήσει περισσότερη επικοινωνία, αποθήκευση, και στοιχεία συμπεριφοράς υπολογισμού. Το σύννεφο θα είναι σε θέση να δανειστεί αυτά τα στοιχεία συμπεριφοράς από τη μη απασχολημένη εικονική μηχανή, η οποία συνδέεται με το αραιό πλέγμα κυκλοφορίας. Επομένως, η κυκλοφορία ολόκληρης της πόλης μπορεί να χαρτογραφηθεί στο σύννεφο.



Σχήμα 18 : απεικόνιση πόλης σε κελιά, κάθε κελί αποτελεί μία μηχανή.

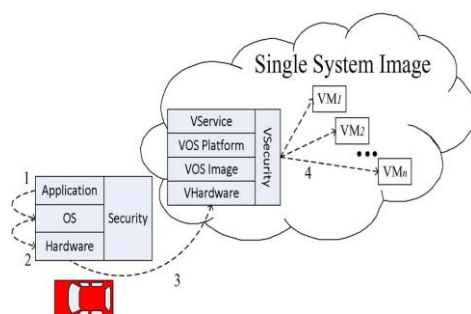
Αυτό το μοντέλο παρέχει επίσης υψηλή ικανότητα στην προσαρμογή των συνθηκών και του συστήματος ασφάλειας. Παραδείγματος χάριν, ένας στο κέντρο της πόλης ή της περιοχή ρωτά συχνά για τα κενά σημεία χώρων στάθμευσης και τις θέσεις συμφόρησης. Η αντίστοιχη εικονική μηχανή μπορεί να είναι ειδικά διαμορφωμένη και βελτιστοποιημένη στον έξυπνο χώρο στάθμευσης. Σε μια απασχολημένη διατομή, η υπηρεσία μπορεί να ειδικευτεί και να βελτιστοποιηθεί. Μια πιθανή λύση είναι να συλλεχθούν και να ταξινομηθούν όλες οι πληροφορίες κινητικότητας των οχημάτων στη διασταύρωση. Όταν τα οχήματα είναι επίσης το ένα κοντά στο άλλο, με την εξέταση της απόστασης και της

σχετικής ταχύτητας, τα οχήματα θα λάβουν έναν συναγερμό από το σύννεφο. Ακόμα και τα φτηνότερα αυτοκίνητα που δεν έχουν ραντάρ στο σύστημα ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιήσουν τα οφέλη από την προειδοποίηση σύγκρουσης στο σύστημα σύννεφων.

Αυτό που διακρίνει τα οχήματα από τους πρότυπους κόμβους σε έναν συμβατικό σύννεφο είναι η αυτονομία και η κινητικότητα. Πράγματι, μεγάλοι αριθμοί οχημάτων ξοδεύουν ουσιαστικό χρόνο στο δρόμο και εμπλέκονται σε δυναμικά μεταβαλλόμενες καταστάσεις. Σε τέτοιες καταστάσεις, τα οχήματα έχουν τη δυνατότητα να λύσουν συνεταιριστικά τα προβλήματα που θα έπαιρναν σε ένα συγκεντρωμένο σύστημα ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, που καθιστά τη λύση άχρηστη [2]. Τα οχήματα διαμορφώνουν αυτόματα ένα σύννεφο με τη σύνδεση εικονικών κυττάρων, τα οποία είναι ομάδα οχημάτων. Κάθε ένα εικονικό κύτταρο συνδέεται με μια εικονική μηχανή, στην οποία τα οχήματα συμβάλλουν στον εφεδρικό υπολογισμό και στην αποθήκευσή τους. Η ομάδα οχημάτων κινείται σχεδόν στην ίδια ταχύτητα. Δεδομένου ότι τα οχήματα είναι κατασκευαστές σύννεφων και χρήστες σύννεφων, όλα τα οχήματα μέσα σε ένα κύτταρο μπορούν άμεσα να λάβουν τα πακέτα από κάθε άλλο. Ένας ηγέτης κυττάρων μπορεί να εκλεχτεί για να επικοινωνήσει με άλλο σύννεφο [5].

4.7.1.1 Εικονικές μηχανές VCs

Σε αυτήν την παράγραφο θα περιγραφεί ο τρόπος που διαμορφώνεται το σύννεφο και πώς μπορεί να του παρασχεθεί η υπηρεσία. Η επικοινωνία μεταξύ ενός οχήματος και του σύννεφου πραγματοποιείται μέσω μιας μοναδικής εισόδου. Το σύννεφο παρέχει ένα ενιαίο σύστημα σε κάθε μεμονωμένη εικονική μηχανή που εμφανίζεται στο σχήμα 19. Κάθε ένα όχημα έχει μια εικόνα κόμβων η οποία περιλαμβάνει τους οδηγούς υλικού, τα λειτουργικά συστήματα, το σύστημα ασφάλειας και εφαρμογές, όπως εμφανίζεται στο σχήμα 20. Όταν οι εφαρμογές του οχήματος στέλνουν ένα αίτημα στο σύννεφο, το αίτημα θα διαβιβαστεί στο λειτουργικό σύστημα και έπειτα στο υλικό (οδηγός δικτύων). Το αίτημα θα σταλεί από το ασύρματο δίκτυο και θα παραληφθεί από την εικόνα συστημάτων σύννεφων. Ο διαθέτης του σύννεφου θα εντοπίσει ποιά εικονική μηχανή πρέπει να είναι αρμόδια για την εκπομπή και τη διαβίβαση του μηνύματος. Εάν το αίτημα πρέπει να έχει πρόσβαση σε άλλες εικονικές μηχανές, π.χ., που ελέγχουν τη θέση κυκλοφοριακής συμφόρησης μιας πόλης σε ένα απομακρυσμένο κράτος, η εικονική μηχανή μπορεί να επικοινωνήσει και με άλλες εικονικές μηχανές επίσης.

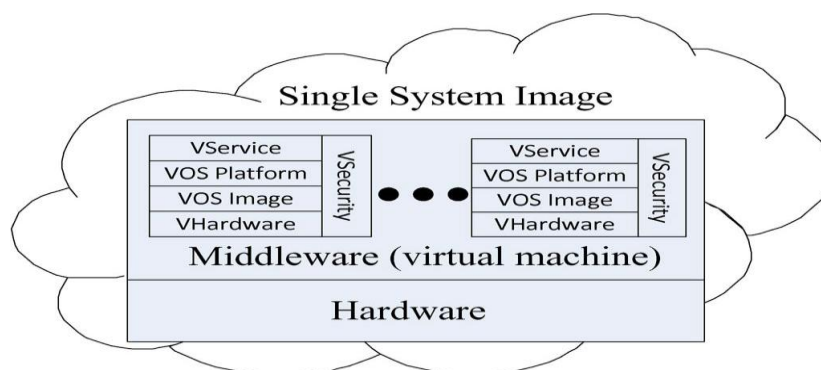


Σχήμα 19 : επικοινωνία κόμβου- εικονικής μηχανής



Σχήμα 20 : κόμβος οχήματος

Το VC είναι μια ενιαία εικόνα συστημάτων που αποτελείται από διάφορες εικονικές μηχανές. Μια ενιαία εικόνα μπορεί να δημιουργηθεί από ένα στρώμα μεταξύ του συστήματος διευθυντών υλικού και των εικονικών μηχανών, όπως φαίνεται στο σχήμα 21.



Σχήμα 21 : Σύσταση νέφους

Πιο συγκεκριμένα, το middleware είναι ένα λειτουργικό σύστημα σύννεφων και μια πλατφόρμα που δεσμεύουν ένα μεγάλο αριθμό εικονικών μηχανών. Κάθε εικονική μηχανή αποτελείται από το εικονικό υλικό, εικονικά λειτουργικά συστήματα, την εικονική πλατφόρμα λειτουργικών συστημάτων, το εικονικό σύστημα ασφάλειας, και εικονικές υπηρεσίες, όπως φαίνεται στο σχήμα 22.



Σχήμα 22 : Σύσταση εικονικής μηχανής

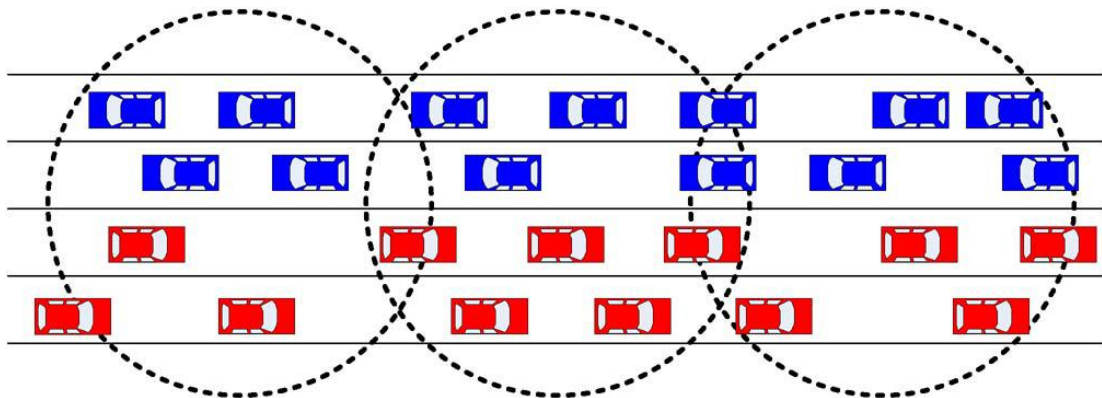
Το εικονικό υλικό αποτελείται από διάφορους πραγματικούς υπολογιστές που ενεργούν ουσιαστικά όπως οι πραγματικοί και παρέχει τη διπροσωπία του υλικού και έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί με οποιοδήποτε παρόν λειτουργικό σύστημα, όπως Linux/Unix ή τα Windows. Η εικονική πλατφόρμα περιλαμβάνει όχι μόνο το λειτουργικό σύστημα, αλλά και διάφορες εφαρμογές όπως ο κεντρικός υπολογιστής και οι βάσεις δεδομένων του δικτύου. Το εικονικό σύστημα ασφάλειας είναι ένα σύνολο πλήρων λύσεων ασφάλειας και τα προσαρμοσμένα πρωτόκολλα ασφάλειας μπορούν διαμορφώνονται και αντικαθίσταται. Οι εικονικές υπηρεσίες είναι πραγματικές υπηρεσίες που διαμορφώνονται για τη σχετική κυκλοφορία περιοχής/ πλέγματος.

4.7.2 ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ VCs

4.7.2.1 Σχέσεις Εμπιστοσύνης (Trust Relationship)

Σε μια υποδομή VC, οι σχέσεις εμπιστοσύνης μπορούν να χτιστούν από τις υποδομές που κατασκευάζονται από τις αρχές όπως BMV/DMV ή άλλες αντιπροσωπεύει μεταφορών. Η υποδομή θα επικυρωθεί και θα ανατεθεί με βασικά ζευγάρια ασφάλειας. Η υποδομή καταχωρεί τα βασικά ζευγάρια σε 'θωρακισμένες' συσκευές. Όπως φαίνεται στο σχήμα 17, τα οχήματα επικοινωνούν με την υποδομή βασισμένα στο σημείο πρόσβασης. Η υποδομή είναι αρκετά ικανή για να χειριστεί τους μεγάλους αριθμούς προσβάσεων στη σειρά μετάδοσης. Η εξελιξιμότητα των σχέσεων εμπιστοσύνης μπορεί να πέτυχε επειδή η υποδομή συνδέεται η μια με την άλλη από τα σταθερά δίκτυα.

Τα οχήματα διαμορφώνουν αυτόματα ένα σύννεφο με την εικονική σύνδεση σε κύτταρα, τα οποία μπορούν να είναι ομάδα οχημάτων. Κάθε ένα εικονικό κύτταρο συνδέεται με μια εικονική μηχανή στην οποία τα οχήματα δανείζονται τον εφεδρικό υπολογισμό και την αποθήκευση. Η ομάδα οχημάτων κινείται σχεδόν στην ίδια πραγματική ταχύτητα. Δεδομένου ότι τα οχήματα είναι κατασκευαστές σύννεφων και χρήστες σύννεφων, όλα τα οχήματα μέσα σε ένα κύτταρο μπορούν άμεσα να λάβουν τα πακέτα από κάθε άλλο. Ένας ηγέτης κυττάρων μπορεί να εκλεχτεί για να επικοινωνήσει με άλλο σύννεφα όπως φαίνεται και στο Σχήμα 24.



Σχήμα 23 : σχέση εμπιστοσύνης VC

Αξίζει να σημειωθεί πως αν η πλειοψηφία των οχημάτων θεωρεί τον ηγέτη κακόβουλο, το αρχείο του ηγέτη κινείται προς τον πίνακα δυσπιστίας (βλ σχήμα 24). Διαφορετικά, τα αρχεία που στέλνονται από τον ηγέτη τοποθετούνται στον πίνακα εμπιστοσύνης (σχήμα 23).

4.7.2.2 Πιστοποίηση ταυτότητας και εμπιστευτικότητα



Σχήμα 24 : Γεωγραφικός έλεγχος ασφάλειας.

Για την πιστοποίηση ταυτότητας και εμπιστευτικότητας, προτείνεται ένας γεωγραφικός μηχανισμός ασφάλειας. Τα μηνύματα κρυπτογραφούνται με ένα γεωγραφικό πλήκτρο θέσης που προσδιορίζει μια περιοχή αποκρυπτογράφησης. Αυτό παρέχει τη φυσική ασφάλεια, επειδή ένα όχημα πρέπει να είναι φυσικά παρών στην περιοχή αποκρυπτογράφησης έτσι ώστε να αποκρυπτογραφήσει το κρυπτογράφημα που αντιστοιχεί στο πλήκτρο θέσης. Στο σχήμα 24, το σκιασμένο τετράγωνο αποτελεί μια θέση βασισμένη στον περιοχή ασφάλειας. Το όχημα a προσδιορίζει την περιοχή, δημιουργεί το πλήκτρο

θέσης, κρυπτογραφεί το μήνυμα, και στέλνει το κρυπτογράφημα στα οχήματα σε αυτή την περιοχή. Τα οχήματα εκτός της περιοχής όπως το b, το c, το d, και το e δεν μπορούν να αποκρυπτογραφήσουν το μήνυμα. Μόνο το όχημα f μπορεί να αποκρυπτογραφήσει το μήνυμα, επειδή είναι μέσα στην περιοχή αποκρυπτογράφησης. Εφόσον περιοχή αποκρυπτογράφησης μπορεί να προσδιοριστεί δυναμικά, οι επιθέσεις είναι εξαιρετικά δύσκολο να υλοποιηθούν.

4.7.3 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Είναι σημαντικό το VC να μπορεί να διαμορφώσει δυναμικά πρωτόκολλα ασφάλειας για να αντικαταστήσουν τις στρατηγικές ασφάλειας. Θα αρχίσουμε με τη διαμόρφωση των πρωτοκόλλων ασφάλειας και την περιγραφή μιας ευφυούς μεθόδου διαχείρισης.

4.7.3.1 Περισσότερα οχήματα, ασφαλέστερο σύννεφο που απαιτείται:

Το σύννεφο θα παράσχει στα οχήματα μια ενιαία εικόνα συστημάτων που είναι διαφανής από τις λεπτομέρειες των αλλαγών συστήματος ασφάλειας. Παρατηρούμε το γεγονός ότι όσα περισσότερα τα οχήματα που περιλαμβάνονται, τόσο ασφαλέστερο και ακριβέστερο πρέπει να είναι ένα πρωτόκολλο. Παρόμοια γεγονότα μπορούν να βρεθούν άλλωστε και στην καθημερινή ζωή. Οι αερολιμένες είναι συχνά συσσωρευμένοι, και η ασφάλεια είναι συχνά πιο αυστηρή από ότι σε άλλες περιπτώσεις.

Ενδιαφερόμαστε για το ακόλουθο πρόβλημα: να αξιολογήσουμε τον αναμενόμενο αριθμό των οχημάτων σε οποιαδήποτε στιγμή. Εξετάζεται ένα κύτταρο με την πεπερασμένη ικανότητα N . Στο χρόνο $t = 0$, το κύτταρο περιέχει το $N_0 \geq 0$ αυτοκίνητα. Μετά από αυτόν, τα αυτοκίνητα φθάνουν και αναχωρούν στα χρονικά εξαρτημένα ποσοστά, όπως περιγράφεται έπειτα. Εάν το κύτταρο περιέχει K , ($0 \leq K \leq N$) αυτοκίνητα σε χρόνο t , τότε το ποσοστό άφιξης των οχημάτων $a_k(t)$ είναι :

$$a_k(t) = \frac{N-k}{N} \lambda(t)$$

Και ο ρυθμός αναχώρησης των οχημάτων (car departure rate $\beta_k(t)$) είναι :

$$\beta_k(t) = k \mu(t)$$

όπου για $t \geq 0$, $\lambda(t)$ και $\mu(t)$ ολοκληρώσιμες συναρτήσεις στο $[0, t]$. Τώρα θεωρώντας ότι η διαδικασία $\{X(t)/t \geq 0\}$ για $1 \leq k \leq N$, η πιθανότητα να εμφανιστεί το φαινόμενο $X=k$ είναι :

$$P_k(t) = \Pr\{X(t) = k\}$$

Σημαντικοί παράγοντες θα είναι και οι μεταβλητές $E[X(t)]$ και $Var[X(t)]$. για λόγους ευκολίας θέτουμε $P_k=0$ για $k < 0$ και $k > N$ και ορισμένο στο $k \in (-\infty, +\infty)$. Το ενδεχόμενο για $t=0$ να έχουμε n_0 οχήματα είναι $P_k(0)=1$ αν $k=0$ και 0 σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση. Έστω h , πολύ μικρό, τότε στο διάστημα $[t, t+h]$ η πιθανότητα να έχω ίδιο ρυθμό άφιξης και

αναχώρησης είναι: o_h . Τότε η πιθανότητα του $P_k(t+h)$ αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία :

- 1) $P_k(t)[1 - h(N - k/N)\lambda(t) - kh\mu(t) + o(h)]$.
- 2) $P_{k-1}(t)[h(N - k + 1/N)\lambda(t) + o(h)]$.
- 3) $P_{k+1}(t)[(k + 1)h\mu(t) + o(h)]$.

Άρα η πιθανότητα προκύπτει ίση με

$$P_k(t) = 1 - e^{-h(t)} \int_0^t \mu(u) e^{h(u)} du$$

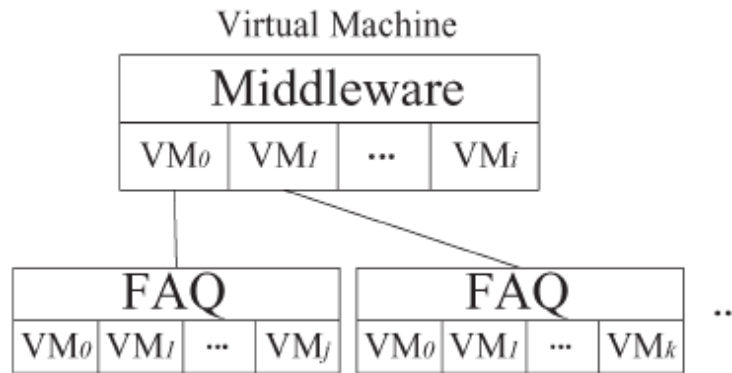
Όπου:
$$h(x) = \int_0^x \left[\frac{\lambda(s)}{N} + \mu(s) \right] ds$$

οπότε θα είναι:

$$E[X(t)] = e^{-h(t)} \left[n_0 + \int_0^t \lambda(u) e^{h(u)} du \right]$$

4.7.4 ενίσχυση της εξελιξιμότητας των συστημάτων ασφάλειας.

Όταν ο πληθυσμός των οχημάτων αυξάνεται σε μια ορισμένη περιοχή, όχι μόνο η εξελιξιμότητα του VC αλλά και η εξελιξιμότητα της ασφάλειας γίνονται ένα σοβαρό και πολύπλοκο πρόβλημα. Στο μοντέλο σύννεφών μας, η εξελιξιμότητα του συστήματος ασφάλειας μπορεί να ενισχυθεί από έναν εικονικό αλγόριθμο τμήματος μηχανών, ο οποίος αποτελεί έναν ιδιαίτερα εξελικτικό αλγόριθμο. Όταν ο αριθμός πρόσβασης μιας εικονικής μηχανής αυξάνεται και είναι μεγαλύτερος από την ευαισθησία, οι εικονικές μηχανές (VM) θα διαιρεθούν σε πολλαπλάσιες subvirtual μηχανές (ως VM- ημι- εικονικές μηχανές). Κάθε εικονική μηχανή θα λάβει τα ίδια στοιχεία συμπεριφοράς όπως το αρχικό VM. Εάν η πρόσβαση από ένα όχημα χτυπά το FAQ, το middleware στέλνει άμεσα την απάντηση. Εάν η πρόσβαση χάνει το FAQ, το middleware προωθεί σχετικό μήνυμα σε ένα σχετικό μη απασχολημένο VM. Αυτό μπορεί περαιτέρω να μειώσει το φόρτο εργασίας (βλ σχήμα 25).



Σχήμα 25 : διαχωρισμός εικονικής μηχανής σε πολλαπλές ζώνες.

4.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάσαμε τις προκλήσεις ασφάλειας των VANETs, στο μοντέλο VANET. Έχουμε εισαγάγει αρχικά τις προκλήσεις ασφάλειας και μυστικότητας των δικτύων VC που πρέπει να αντιμετωπίσουν, και έχουμε επίσης εξετασμένες πιθανές λύσεις ασφάλειας. Αν και μερικές από τις λύσεις μπορούν τεχνικά να υλοποιηθούν, εμφανίζουν και αρκετές μοναδικές προκλήσεις. Παραδείγματος χάριν, οι επιτιθέμενοι μπορούν να εντοπιστούν φυσικά στον ίδιο κεντρικό υπολογιστή σύννεφων. Τα οχήματα έχουν υψηλή κινητικότητα και η επικοινωνία είναι εγγενώς ασταθής. Έχουμε παράσχει ένα κατευθυντικό σύστημα ασφάλειας το οποίο με την κατάλληλη αρχιτεκτονική μπορεί να χειριστεί αρκετές (αν όχι όλες) τις προκλήσεις σε VCs. Πολλές εφαρμογές μπορούν να αναπτυχθούν σε VCs ώσπου στο μέλλον μια συγκεκριμένη εφαρμογή θα είναι ικανή να αναλύσει και παρέχει τις λύσεις ασφάλειας που ακόμα αναζητούνται.

Η εκτενής εργασία της ασφάλειας και της μυστικότητας σε VCs γίνεται ένα σύνθετο σύστημα και απαιτείται ένας συστηματικός και συνθετικός τρόπος για να εφαρμοστεί στα ευφυή συστήματα μεταφορών [20], [21]. Μόνο με τις κοινές προσπάθειες και τη στενή συνεργασία μεταξύ διαφορετικών οργανώσεων όπως η επιβολή νόμου, κυβέρνησης, της αυτοκινητοβιομηχανίας και των ακαδημαϊκών μπορούν τα VC δίκτυα να παρέχουν στερεές και εφικτές λύσεις ασφάλειας και μυστικότητας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]- S. Arif, S. Olariu, J. Wang, G. Yan, W. Yang, and I. Khalil, “Datacenter at the airport: Reasoning about time-dependent parking lot occupancy,” *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, 2012, <https://csdl2.computer.org/csdl/trans/td/preprint/ttd2012990021-abs.html>
- [2] - S. Olariu, M. Eltoweissy, and M. Younis, “Toward autonomous vehicular clouds,” *ICST Trans. Mobile Commun. Comput.*, vol. 11, no. 7–9, pp. 1– 11, Jul.–Sep. 2011.
- [3]- S. Olariu, I. Khalil, and M. Abuelela, “Taking VANET to the clouds,” *Int. J. Pervasive Comput. Commun.*, vol. 7, no. 1, pp. 7–21, 2011. [4] L. Li, J. Song, F.-Y. Wang, W. Niehsen, and N. Zheng, “IVS 05: New developments and research trends for intelligent vehicles,” *IEEE Intell. Syst.*, vol. 20, no. 4, pp. 10–14, Jul./Aug. 2005.
- [4] G. Yan and S. Olariu, “A probabilistic analysis of link duration in vehicular ad hoc networks,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 12, no. 4, pp. 1227–1236, Dec. 2011.
- [5] G. Yan, S. Olariu, and M. C. Weigle, “Providing VANET security through active position detection,” *Comput. Commun.*, vol. 31, no. 12, pp. 2883– 2897, Jul. 2008, Special Issue on Mobility Protocols for ITS/VANET.
- [6] G. Yan, S. Olariu, and M. Weigle, “Providing location security in vehicular ad hoc networks,” *IEEE Wireless Commun.*, vol. 16, no. 6, pp. 48–55, Dec. 2009.
- [7] J. Sun, C. Zhang, Y. Zhang, and Y. M. Fang, “An identity-based security system for user privacy in vehicular ad hoc networks,” *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 21, no. 9, pp. 1227–1239, Sep. 2010.
- [8] J. A. Blackley, J. Peltier, and T. R. Peltier, *Information Security Fundamentals*. New York: Auerbach, 2004.
- [9] N. Santos, K. P. Gummadi, and R. Rodrigues, “Toward trusted cloud computing,” in *Proc. HotCloud*, Jun. 2009.
- [10] S. Berger, R. Cáceres, K. A. Goldman, R. Perez, R. Sailer, and L. van Doorn, “VTPM: Virtualizing the trusted platform module,” in *Proc. 15th Conf. USENIX Sec. Symp.*, Berkeley, CA, 2006, pp. 305–320.
- [11] D. G. Murray, G. Milos, and S. Hand, “Improving XEN security through disaggregation,” in *Proc. 4th ACM SIGPLAN/SIGOPS Int. Conf. VEE*, New York, 2008, pp. 151–160.
- [12] T. Ristenpart, E. Tromer, H. Shacham, and S. Savage, “Hey, you, get off of my cloud: Exploring information leakage in third-party compute clouds,” in *Proc. 16th ACM Conf. CCS*, 2009, pp. 199–212.
- [13] SIRIT-Technologies, White paper. DSRC technology and the DSRC industry consortium (DIC) prototype team.

- [14] D. Wen, G. Yan, N. Zheng, L. Shen, and L. Li, "Toward cognitive vehicles," *IEEE Intell. Syst. Mag.*, vol. 26, no. 3, pp. 76–80, May–Jun. 2011.
- [15] Microsoft, The stride threat model. [Online]. <http://msdn.microsoft.com>
- [16] Fed. Fin. Inst. Examination Council, Authentication in an Internet banking environment2009. Available: http://www.ffiec.gov/pdf/authentication_guidance.pdf
- [17] J. Douceur, "The sybil attack," in *Proc. Rev. Papers 1st Int. Workshop Peer-to-Peer Syst.*, 2002, vol. 2429, pp. 251–260.
- [18] G. Yan, W. Yang, E. F. Shaner, and D. B. Rawat, "Intrusion-tolerant location information services in intelligent vehicular networks," *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 135, pp. 699–705, 2011.
- [19] T. ElGamal, "A public key cryptosystem and a signature scheme based on discrete logarithms," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-31, no. 4, pp. 469–472, Jul. 1985.
- [20] J. Li, S. Tang, X. Wang, W. Duan, and F.-Y. Wang, "Growing artificial transportation systems: A rule-based iterative design process," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 12, no. 2, pp. 322–332, Jun. 2011.
- [21] F.-Y. Wang, "Parallel control and management for intelligent transportation systems: Concepts, architectures, and applications," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 11, no. 3, pp. 630–638, Sep. 2010

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟ ΔΙΚΤΥΑ ΑΝΟΧΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΟΧΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

Αυτό το έγγραφο παρέχει μία εισαγωγική ανασκόπηση των Δικτύων Οχημάτων που παρουσιάζουν Ανοχή στην Καθυστέρηση. Αρχικά, δίνεται μία εισαγωγή στα Δίκτυα Ανοχής Καθυστέρησης και στα Δίκτυα Οχημάτων Ανοχής Καθυστέρησης. Τα σχήματα και πρωτόκολλα Ανοχής Καθυστέρησης μπορούν να βοηθήσουν σε καταστάσεις όπου το δίκτυο συνδεσιμότητας είναι αραιό ή με μεγάλες μεταβολές στην πυκνότητα, ή ακόμη όταν δεν υπάρχει συνδεσιμότητα από άκρο σε άκρο, παρέχοντας μία λύση επικοινωνιών για εφαρμογές που δεν συμβαίνουν σε πραγματικό χρόνο. Μερικά πρόσθετα θέματα αντιμετωπίζονται σε αυτό το έγγραφο και δίνεται μία εισαγωγική περιγραφή των των εφαρμογών και των πιο σημαντικών σχεδίων. Εν τέλει, συζητούνται κάποιες ερευνητικές προκλήσεις και περιγράφονται λεπτομερώς τα συμπεράσματα.

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

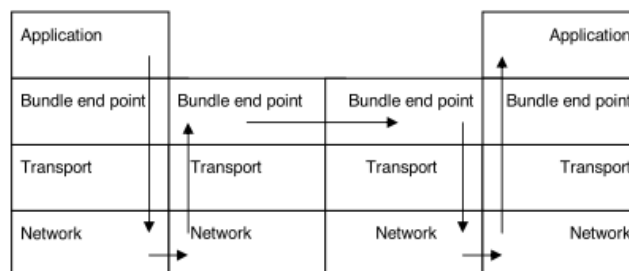
Στις μέρες μας, η συνεχόμενη και απεριόριστη συνδεσιμότητα στο Internet μοιάζει να είναι αρκετά κοινή για ένα μεγάλο αριθμό κινητών και σταθερών συσκευών. Όμως, η αλήθεια είναι ότι η μόνιμη συνδεσιμότητα δεν είναι ο κανόνας παντού ή ακόμα σε ορισμένες περιπτώσεις όχι απαραίτητα υποχρεωτική. Έτσι, χρειάζονται περαιτέρω έρευνα και τεχνικές λύσεις έτσι ώστε να υπερνικηθεί η έλλειψη συνδεσιμότητας για να επιτραπούν οι επικοινωνίες μεταξύ κόμβων και εφαρμογών σε περιπτώσεις διακοπής. Τα Δίκτυα Ανοχής Καθυστέρησης (DTNs) [1] είναι δίκτυα που επιτρέπουν την επικοινωνία όπου τίθεται θέμα συνδεσιμότητας όπως αραιή και σποραδική συνδεσιμότητα, μεγάλη και μεταβλητή καθυστέρηση, υψηλή λανθάνουσα κατάσταση, υψηλά ποσοστά σφάλματος, ποσοστά υψηλά ασύμμετρων δεδομένων και ακόμη ανυπαρξία συνδεσιμότητας από άκρο σε άκρο. Ένα παράδειγμα ενός από αυτά τα σενάρια δικτύων είναι το IP πάνω από Εναέριους Μεταφορείς (IPoAC) το οποίο είναι μία πρόταση που χιουμοριστικά σκοπεύει στη μεταφορά κυκλοφορίας IP με πουλιά όπως οικόσιτα περιστέρια. Το IPoAC αρχικά περιγράφηκε σε RFC 1149 [2] που κυκλοφόρησε την 1^η Απριλίου 1990 (Πρωταπριλιά). Σύμφωνα με RFC, τυπώθηκαν διαγράμματα σε δεκαεξαδικό σύστημα πάνω σε ένα χάρτινο κύλινδρο. Το χαρτί τυλίχθηκε στο πόδι του περιστεριού με κολλητική ταινία. Κατά την παραλαβή, το χαρτί σαρώθηκε. Αυτό εφαρμόστηκε από τη Ομάδα Χρήστη Bergen Linux και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 26. Εννιά πακέτα στάλθηκαν σε απόσταση σχεδόν 5 χμ, όπου το καθένα μεταφερόταν από ένα περιστέρι περιέχοντας ένα πακέτο ping (ICMP Αίτηση Ηχούς). Η καταγραφή της συνεδρίασης δείχνει ότι τέσσερις αποκρίσεις ελήφθησαν με ευρέως μεταβαλλόμενους χρόνους ταξιδιού μετ' επιστροφής, κατά μέσο όρο 1,5 ώρες, και ένα ποσοστό απώλειας πακέτων της τάξης του 55% . Φυσικά, με αυτές τις υψηλές και ευρέως

μεταβαλλόμενες καθυστερήσεις και ποσοστά απώλειας πακέτων, τα πρωτόκολλα Internet, δεν θα δούλευαν σωστά, έχοντας σαν αποτέλεσμα διακοπές και ακυρώσεις.

Η ερευνητική ομάδα DTN (DTNRG) [4], που αποτελεί μέρος της ομάδας εργασίας διαδικτύου (IRTF), έχει προτείνει μία αρχιτεκτονική [5] και ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας [6] (Bundle protocol) για DTNs. Για DTNs, προστίθεται ένα επίπεδο επιστρώματος προσανατολισμένο προς το μήνυμα που λέγεται «Επίπεδο Δέσμης». Αυτό το επίπεδο υπάρχει πάνω από τα επίπεδα μεταφοράς των δικτύων που συνδέει (σχήμα 27). Οι μονάδες δεδομένων εφαρμογών μετατρέπονται από το Επίπεδο Δέσμης σε μία ή περισσότερες μονάδες δεδομένων πρωτοκόλλου που ονομάζονται «bundles=δέσμες», οι οποίες προωθούνται από κόμβους DTN σύμφωνα με το πρωτόκολλο Δέσμης. Η ιδέα είναι να ενώσει σε ένα «μπόγο» όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για μία διεξαγωγή, ελαχιστοποιώντας τον αριθμό των συναλλαγών των ταξιδιών μετ' επιστροφής, το οποίο είναι πολύ χρήσιμο όταν ο χρόνος αυτών των ταξιδιών είναι πολύ μεγάλος. Για να βοηθηθεί η δρομολόγηση και η σχεδίαση των αποφάσεων, οι δέσμες περιέχουν ένα πρότυπο χρόνο αναφοράς, χρήσιμο σαν δείκτη ζωής, μία κατηγορία ανάθεσης υπηρεσιών και ένα δείκτη μήκους.

```
Script started on Sat Apr 28 11:24:09 2001
vegard@gyversalen:~$ /sbin/ifconfig tun0
tun0 Link encap:Point-to-Point Protocol
inet addr:10.0.3.2 P-t-P:10.0.3.1 Mask:255.255.255.255
UP POINTOPOINT RUNNING NOARP MULTICAST MTU:150 Metric:1
RX packets:1 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
TX packets:2 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0 collisions:0
RX bytes:88 (88.0 b) TX bytes:168 (168.0 b)
vegard@gyversalen:~$ ping -i 900 10.0.3.1
PING 10.0.3.1 (10.0.3.1): 56 data bytes
64 bytes from 10.0.3.1: icmp_seq=0 ttl=255 time=6165731.1 ms
64 bytes from 10.0.3.1: icmp_seq=4 ttl=255 time=3211900.8 ms
64 bytes from 10.0.3.1: icmp_seq=2 ttl=255 time=5124922.8 ms
64 bytes from 10.0.3.1: icmp_seq=1 ttl=255 time=6388671.9 ms
--- 10.0.3.1 ping statistics ---
9 packets transmitted, 4 packets received, 55% packet loss
round-trip min/avg/max = 3211900.8/5222806.6/6388671.9 ms
vegard@gyversalen:~$ exit
Script done on Sat Apr 28 14:14:28 2001
```

Σχήμα 26 : Καταχώρηση συνεδρίας IPoAC που περιλαμβάνει το αποτέλεσμα μίας εντολής ping καταγράφοντας τους χρόνους ταξιδιων μετ' επιστροφής περίπου των 1,5 ωρών και ποσοστό απώλειας πακέτων τάξης του 55%.



Σχήμα 27 : Πρωτόκολλο Bundle σε στοίβα πρωτοκόλλων.

Το πρωτόκολλο Δέσμης περιλαμβάνει μία μεταφορά hop-by-hop αξιόπιστης ευθύνης παράδοσης, που ονομάζεται μεταφορά φύλαξης δέσμης, και μία προαιρετική άκρο-προς-άκρο επιβεβαίωση. Όταν οι κόμβοι αποδέχονται την φύλαξη μίας δέσμης, δεσμεύονται να διατηρήσουν ένα αντίγραφο της δέσμης μέχρις ότου η ευθύνη να μεταβιβαστεί σε άλλο κόμβο. Μόνιμη αποθήκευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κόμβους DTN ώστε να βοηθήσει

στην καταπολέμηση της διακοπής λειτουργίας του δικτύου, αποθηκεύοντας μηνύματα με ασφάλεια μέχρι να προκύψει ευκαιρία επαφής.

Τα Δίκτυα VDTN είναι δίκτυα DTN όπου τα οχήματα επικοινωνούν μεταξύ τους και με σταθερούς κόμβους τοποθετημένους κατά μήκος των δρόμων, προκειμένου να διαδίδονται τα μηνύματα. Μερικές από τις πιθανές εφαρμογές αυτών των δικτύων είναι οι εξής: κοινοποίηση των συνθηκών κυκλοφορίας (απροσδόκητες συμφορήσεις), προειδοποιήσεις τροχαίων ατυχημάτων, δελτία καιρού (πάγος, χιόνι, ομίχλη, άνεμος), διαφημίσεις (δωρεάν θέσεις στάθμευσης, προσιτές τιμών καυσίμων, κλπ.), συνεργατική αποφυγή σύγκρουσης οχημάτων, πρόσβαση σε internet και e-mail, ή ακόμη και συλλογή πληροφοριών που συλλέγονται από τα οχήματα όπως ανωμαλίες οδοστρώματος. Δίκτυα οχημάτων έχουν επίσης έχουν προταθεί για την υλοποίηση παροδικών δικτύων ώστε να επωφεληθεί η ανάπτυξη των κοινοτήτων και δικτύων αποκατάστασης των καταστροφών.

Ως παράδειγμα, σκεφτείτε μια τηλεματική εφαρμογή βασισμένη σε ιστό σε ένα όχημα, όπου ο οδηγός επιθυμεί να λάβει τις σχετικές πληροφορίες όταν εισέρχεται σε μια ορεινή περιοχή. Υπάρχει χιόνι ή άλλες δυσμενείς καιρικές συνθήκες; Πού είναι το φθηνότερο κοντινό πρατήριο καυσίμων; Αν υπήρχε καλή κάλυψη κυψελοειδούς δικτύου, η συσκευή τηλεματικής στο όχημα θα μπορούσε να στείλει ένα αίτημα σε κάποιο διακομιστή. Ένα τυπικό αίτημα θα απαιτεί ένα χρόνο ταξιδιού μετ' επιστροφής (RTT) για να μετατρέψει ένα όνομα διακομιστή σε μια διεύθυνση, ένα άλλο RTT για να εγκαταστήσει μία σύνδεση πρωτοκόλλου ελέγχου μετάδοσης (TCP), μια άλλη RTT για να σταλθεί ένα αίτημα πρωτοκόλλου μεταφοράς υπερκειμένου (HTTP), και όταν η απάντηση ληφθεί και ερμηνευτεί, επιπλέον αιτήσεις θα πρέπει να σταλούν για να ανακτηθούν επιπλέον απαραίτητα αντικείμενα που απαιτούν πολλούς χρόνους RTT και κάποιους χρόνους μεταφοράς. Τότε η σύνδεση θα μπορούσε να κλείσει, λαμβάνοντας ένα επιπλέον RTT. Εάν η σύνδεση δικτύου είναι διακοπτόμενη, τέτοια ακολουθία των αλληλεπιδράσεων του πρωτοκόλλου δεν μπορεί ποτέ να ολοκληρωθεί επιτυχία. Μια λύση θα μπορούσε να είναι η ομαδοποίηση μηνύματος για το αίτημα ώστε να μετατραπεί η διεύθυνση και να ληφθούν όλα τα μέρη της απάντησης. Αυτό το πακέτο θα σταλεί χωρίς σύνδεση, λύνοντας το πρόβλημα RTT σε ένα μόνο RTT.

Στη συνέχεια, όμως, υπάρχει το πρόβλημα της εύρεσης μιας διαδρομής για τη μεταφορά δεδομένων από άκρο σε άκρο. Αν δεν υπάρχει διαθέσιμη υποδομή του δικτύου, το όχημα πρέπει να μεταφέρει το μήνυμα μέχρι να υπάρξει μια ευκαιρία επαφής. Οι επαφές αυτές μπορούν να είναι με άλλα οχήματα ή με κόμβους υποδομής. Αν ένας από αυτούς έχει την απάντηση στο αρχικό αίτημα, το πρόβλημα έχει λυθεί. Αν δεν το κάνει, θα άξιζε ένας έλεγχος αν μπορεί να δημιουργηθεί ένα μονοπάτι μέσω αυτού του οχήματος λαμβάνοντας κάποιες βήματα προς τον προορισμό. Αλλά αν η πυκνότητα οχημάτων είναι χαμηλή, δεν μπορεί να υπάρξει κανένα μονοπάτι από άκρο σε άκρο. Έτσι, υπάρχει ένα δίλημμα: πρέπει η δέσμη να μεταφερθεί σε αυτό το όχημα, ή να διατηρηθεί σε αναμονή για μια καλύτερη ευκαιρία επαφής; Μια εναλλακτική που αυξάνει την πιθανότητα παράδοσης και μειώνει την καθυστέρηση είναι να μεταφερθεί το πακέτο και να κρατηθεί ένα αντίγραφο. Έτσι, υπάρχει ένα αντίγραφο της δέσμης που αναλώνει μετάδοση και αποθήκευση πόρων. Αυτό το αντίγραφο μπορεί να επαναληφθεί ξανά και ξανά με το ίδιο το κόστος και τα πιθανά οφέλη, που τείνουν να μειώνονται, έτσι ώστε τουλάχιστον ένας χρόνος λήξης θα πρέπει να υπάρχει για να διαγραφούν τα αντίγραφα δέσμης μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Όταν η δέσμη φθάνει στο σημείο προορισμού, μια δέσμη απάντησης δημιουργείται και η διαδικασία ξεκινά και πάλι για να σταλεί πίσω. Το παράδειγμα δικτύωσης αποθήκευση-και-προώθηση που εξελίχθηκε σε ένα παράδειγμα ανταλλαγής πακέτων έχει μια εναλλακτική λύση που είναι ένα

πρότυπο αποθήκευσης, μεταφοράς και προώθησης όπου δέσμες μπορούν επίσης να μεταφέρονται από τους κόμβους του δικτύου από ένα μέρος στο άλλο, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα των επικοινωνιών. Δυστυχώς, η μεταφορά είναι πολύ βραδύτερη από τη μετάδοση. Αυτό το πρότυπο επιτρέπει επικοινωνία σε δύσκολες συνθήκες αν είναι αποδεκτές πρόσθετες καθυστερήσεις. Φυσικά, η διεξαγωγή και η μεταφορά των δεμάτων δημιουργεί μια σειρά από ερευνητικές προκλήσεις, π.χ. ποιες πληροφορίες πρέπει να ομαδοποιούνται; πόσα αντίγραφα θα πρέπει να δημιουργηθούν; ποιες δέσμες θα πρέπει να μεταφερθούν πρώτα; Μπορούν παροντικές ή παρελθοντικές πληροφορίες για την τοποθεσία και τις επαφές να χρησιμοποιηθούν ώστε να επιτευχθεί βελτίωση της αποτελεσματικότητας; πότε πρέπει να πέσουν οι δέσμες; μπορούν αιτήματα/απαντήσεις να αποθηκευτούν; Αν οι επαφές δεν είναι αρκετά μεγάλες, οι δέσμες πρέπει να κατακερματιστούν; μπορούμε να εμπιστευτούμε τους άλλους κόμβους; πότε πρέπει να μετατραπούν τα ονόματα;

Το υπόλοιπο της εργασίας δομείται ως εξής. Το Τμήμα II παρουσιάζει μια επισκόπηση των DTN. Μερικά επιπλέον εισαγωγικά σεμινάρια για τα DTN είναι διαθέσιμα στο [4]. Το Τμήμα III παρέχει μια λεπτομερή περιγραφή των VDTNs. Το Τμήμα IV παρουσιάζει ορισμένα έργα και εφαρμογές VDTN. Το Τμήμα V παρουσιάζει ορισμένα συγκεκριμένα θέματα έρευνας. Το Τμήμα VI Αναφέρει τα συμπεράσματα της εργασίας.

5.2 ΔΙΚΤΥΑ ΑΝΟΧΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

5.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ιδέα της δικτύωσης ανοχής καθυστέρησης είχε αρχικά προταθεί ως μια προσέγγιση για το Διαπλανητικό Διαδίκτυο (IPN) [7] [8]. Η επικοινωνία σε βάθος χώρου μπορεί να πάσχει από πολύ μεγάλες λανθάνουσες, χαμηλά ποσοστά δεδομένων, ενδεχομένως περιόδους λήψης και διαβίβασης που δεν είναι συνάρτηση του χρόνου, και διακοπτόμενη προγραμματισμένη συνδεσιμότητα.

Η σουίτα πρωτοκόλλων του Internet δεν ταιριάζει στα DTN σενάρια. Το TCP παραδίδει δεδομένα για μετάδοση, έτσι οποιαδήποτε απώλεια δεδομένων έχει ως αποτέλεσμα τουλάχιστον μία καθυστέρηση RTT και μειωμένη ρυθμαπόδοση. Δημιουργία μιας σύνδεσης TCP απαιτεί τουλάχιστον ένα RTT. Εάν η λανθάνουσα υπερβαίνει τη διάρκεια δυνατότητας επικοινωνίας, κανένα στοιχείο δεν θα ρέει. Ο μηχανισμός αργής εκκίνησης παίρνει πολύ χρόνο για να αυξήσει τη ρυθμαπόδοση, εάν ο RTT είναι μεγάλος, μειώνοντας την μετάδοση αποτελεσματικότητας. Επιπλέον, οι TCP αναμεταδόσεις είναι από άκρο σε άκρο, κάτι το οποίο μπορεί να είναι αναποτελεσματικό για υψηλές αναλογίες απώλειας. Επιπροσθέτως, ρυθμιστικά διαλύματα απαιτούνται για ένα RTT σε μέγιστο ρυθμό δεδομένων, το οποίο θα μπορούσε να γίνει σημαντικό για συνθήκες ανοχής καθυστέρησης. Το Πρωτόκολλο Διαγράμματος Δεδομένων Χρήστη (UDP), αφήνει την ευθύνη αναγνώρισης και αναμετάδοσης δεδομένων στην εφαρμογή ή σε κάποιο πρότυπο υλικό-λογισμικό (π.χ. Κλήση Απομακρυσμένης Διαδικασίας, Επίκληση Απομακρυσμένης Μεθόδου), με αποτέλεσμα παρόμοια προβλήματα. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης επίσης επηρεάζονται καθώς βασίζονται στις έγκαιρες ενημερώσεις, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένες ερμηνείες του τι συμβαίνει. Επιπλέον, τα περισσότερα πρωτόκολλα

δρομολόγησης υποθέτουν ότι τα το δίκτυο δεν είναι χωρισμένο - μια κατάσταση τυπική για DTN συνθήκες. Το BGP (Πρωτόκολλο Πύλης Συνόρου), υπεύθυνο για δρομολόγηση μεταξύ IP αυτόνομων συστημάτων, είναι κατασκευασμένο σε TCP και περιορίζεται από τα TCP λειτουργικά θέματα που συζητήθηκαν παραπάνω.

Ενώ αρκετές βελτιστοποιήσεις έχουν αναπτυχθεί για τη βελτίωση της απόδοσης του TCP πάνω από δορυφορικές μεταδόσεις [9] [10], οι επικοινωνίες διαστήματος παρουσιάζουν μια πρόκληση που απαιτεί τη χρήση ειδικά προσαρμοσμένων πρωτοκόλλων. Η Συμβουλευτική Επιτροπή για Συστήματα Δεδομένων Διαστήματος (CCSDS) [11] έχει αντιμετωπίσει αυτό το θέμα τυποποιώντας τα πρωτόκολλα για τις συνθήκες αυτές.

Η ώθηση στην αγορά μιας ευρείας ποικιλίας δικτύων, ad hoc και ασύρματων τεχνολογιών δικτύων-αισθητήρων που μπορεί να γρήγορα να διαφέρει στη συνδεσιμότητα με το δίκτυο, παρουσιάζει τη νέες ευκαιρίες-πρόκληση για DTN. Μερικές λύσεις έχουν βρεθεί για αυτές τις περιπτώσεις, αλλά δεν ήταν αρκετά γενικές για ένα ευρεία εφαρμογή. Η έρευνα DTN έχει ως κύριο στόχο την παροχή μιας γενικής αρχιτεκτονικής του δικτύου, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις όπου λαμβάνουν χώρα διαρκείς καθυστερήσεις από άκρο σε άκρο, συχνές διαταραχές του δικτύου ή υψηλή πιθανότητα σφάλματος.

5.2.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΔΕΣΜΗΣ

Τα επίπεδα δέσμης αποθηκεύουν και προωθούν δέσμες (ονομάζονται επίσης μηνύματα) μεταξύ των κόμβων. Ένα πρωτόκολλο επιπέδου δέσμης χρησιμοποιείται σε όλα τα DTN. Αντί να λειτουργεί από άκρο-προς-άκρο όπως τα πρωτόκολλα μεταφοράς Internet, το επίπεδο δέσμης σχηματίζει επικάλυψη που χρησιμοποιεί ένα μεταβαλλόμενο παράδειγμα αποθήκευσης, μεταφοράς και προώθησης μηνύματος. Μηνύματα ή τμήματα αυτών των μηνυμάτων κινούνται (προωθούνται) από μια θέση αποθήκευσης σε έναν κόμβο σε μία θέση αποθήκευσης σε ένα άλλο κόμβο, κατά μήκος μιας διαδρομής που φτάνει τελικά τον προορισμό. Οι δύο περιπτώσεις ενδιαμέσου πρωτοκόλλου δέσμης στην εικόνα (2) αντιπροσωπεύουν πύλες μεταξύ των δύο δικτύων. Φυσικά, αυτό μπορεί να γενικευθεί για οποιονδήποτε αριθμό πυλών. Τα πρωτόκολλα τα οποία χρησιμοποιούνται στα επίπεδα κάτω από το επίπεδο δέσμης μπορεί να είναι ποικίλα και επιλέγονται σύμφωνα με το επικοινωνιακό περιβάλλον της κάθε περιοχής. Τα δίκτυα μπορεί να είναι οποιουδήποτε είδους, π.χ. επίγειο Internet, σύνδεσμοι διαστήματος, ad-hoc δίκτυα ή ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

Οι εφαρμογές που τρέχουν πάνω από το πρωτόκολλο δέσμης επικοινωνούν και περιοδικά. Τα μηνύματα θα πρέπει να είναι πολύ όσο το δυνατόν αυτόνομες ατομικές μονάδες εργασίας. Μηνύματα θα πρέπει να αποστέλλονται ασύγχρονα, χωρίς αναμονή για την επόμενη ανταπόκριση πριν από την αποστολή του επόμενου μηνύματος. Για παράδειγμα, μία εφαρμογή μεταφοράς αρχείου DTN δεν θα ξεκινήσει ένα διάλογο, όπως στο Πρωτόκολλο Μεταφοράς Αρχείου (FTP). Θα ομαδοποιούσε τα ονόματα των απαιτούμενων αρχείων με όνομα χρήστη, κωδικό πρόσβασης και είδος μεταφοράς σε ένα μήνυμα που πρέπει να σταλεί και στη συνέχεια, θα περίμενε για ένα μόνο μήνυμα με τα ζητούμενα στοιχεία. Αυτό θα κάνει

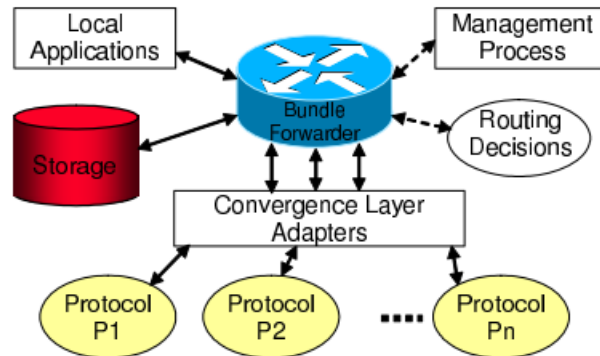
την επικοινωνία πιο αποτελεσματική με την παρουσία μεγάλων καθυστερήσεων ή διαταραχές σύνδεσης.

Ένας κόμβος DTN είναι μια οντότητα ικανή να εκτελέσει μια περίπτωση του πρωτοκόλλου δέσμης. Οι κόμβοι αναγνωρίζονται από Ταυτοποιητές Τελικού σημείου (EID). Κάθε EID αναφέρεται σε έναν ή περισσότερους κόμβους δέσμης. Όταν η EID αναφέρεται σε περισσότερους από έναν κόμβους, βρισκόμαστε σε μια κατάσταση πολλαπλής διανομής. Μια EID είναι ένας Ταυτοποιητής Ομοιόμορφων Πόρων (URI) από συντακτικής άποψης. Συνήθως, χρησιμοποιείται η κανονική μορφή: `dtm :/ <nodeidentifier>/< applicationtag>`. Η χαρτογράφηση των EID σε διευθύνσεις χαμηλότερου επιπέδου ολοκληρώνεται όταν αποφασίζεται να προωθηθούν οι δέσμες. Αυτό απαιτεί ένα μηχανισμό μετάφρασης, η οποία βασίζεται στην αρχή της όψιμης δέσμησης στην αρχιτεκτονική DTN. Η αρχή αυτή καθορίζει ότι η μετάφραση σε μία διεύθυνση χαμηλότερου επιπέδου θα πρέπει να εμφανίζεται όσο πιο κοντά στο τελικό προορισμό είναι δυνατό. Σε ένα δίκτυο με συχνές διαταραχές, η όψιμη δέσμηση είναι πλεονεκτική επειδή ο χρόνος διέλευσης ενός μηνύματος μπορεί να υπερβαίνει το χρονικό διάστημα ισχύος της μίας δέσμησης, καθιστώντας τη σύνδεση στην πηγή αδύνατη ή άκυρη [5].

Το πρωτόκολλο δέσμης DTN υποθέτει ότι η επαφή μεταξύ κόμβων δεν είναι πάντα διαθέσιμη. Η επικοινωνία είναι μόνο δυνατή σε ορισμένες χρονικές περιόδους, το οποίο είναι διαφορετικό από την υπόθεση που γίνεται στο Διαδίκτυο. Κατά τη διάρκεια της επαφής, ένα ορισμένος αριθμός bits μπορεί να μεταδοθεί, η οποία καθορίζει τον όγκο της επαφής. Εάν τα δεδομένα που θα μεταφερθούν υπερβαίνουν τον όγκο των οποιασδήποτε γνωστής επαφής, η δέσμη πρέπει να είναι κατακερματισμένη. Δυο τύποι του κατακερματισμού προβλέπονται: δυναμική και αντιδραστική. Στο δυναμικό κατακερματισμό, ένας κόμβος DTN μπορεί να χωρίσει ένα σύνολο δεδομένων εφαρμογών σε πολλά μικρότερα τμήματα και να διαβιβάζει κάθε σύνολο ως ανεξάρτητη δέσμη. Αυτή η προσέγγιση ονομάζεται ενεργός κατακερματισμός, επειδή χρησιμοποιείται κυρίως όταν οι όγκοι επαφών είναι γνωστοί (ή προβλεπόμενοι) εκ των προτέρων. Στον αντιδραστικό κατακερματισμό, οι κόμβοι DTN στην επικοινωνία μπορούν να τεμαχίσουν μία δέσμη συντονισμένα όταν μια δέσμη είναι μόνο εν μέρει μεταφερθεί το επίπεδο υποδοχής δέσμης που τροποποιεί την εισερχόμενη δέσμη για να δείξει ότι τα δεδομένα που λαμβάνονται είναι ένα θραύσμα και το διαβιβάζει κανονικά ο κόμβος αποστολέα περικόπτει το επιτυχώς μεταφερόμενο μέρος από το αρχικό πακέτο και διατηρεί το μη παραδοτέο κομμάτι για μεταγενέστερη επικοινωνία. Αυτή η προσέγγιση καλείται αντιδραστική κατακερματισμός επειδή η διεργασία κατακερματισμού συναντάται αφού μια απόπειρα μεταφοράς έχει πραγματοποιηθεί [5].

Ο τύπος επαφής εξαρτάται από το δίκτυο. Μπορούν να εκτείνονται από μόνιμα, τα οποία είναι τύπου Internet, ως ευκαιριακά, τα οποία είναι χαρακτηριστικά ad-hoc δίκτυα. Προβλεπόμενες επαφές απαιτούν την ανάλυση των προηγούμενων παρατηρούμενων επαφών ώστε να προβλέπονται οι μελλοντικές ευκαιρίες για τη μετάδοση δεδομένων. Μπορούν επίσης να προγραμματίζονται επαφές, π.χ. για **περιβάλλον επικοινωνίας**. Σε αυτό το τελευταίο είδος επικοινωνίας, ο αποστολέας και ο δέκτης πρέπει να συγχρονιστούν, το οποίο απαιτεί για τις δύο πλευρές, τουλάχιστον, να έχουν ελαφρώς συγχρονισμένα ρολόγια. Είναι αμφίβολο αν αυτή η απαίτηση για συγχρονισμό θα πρέπει να είναι υποχρεωτική στο μέλλον για το πρωτόκολλο δέσμης, εκτός αν πρόκειται προγραμματισμένες επαφές. Η παρούσα έρευνα πηγαίνει προς την κατεύθυνση της αφαίρεσης της απαίτησης για συγχρονισμό χρόνου στο πρωτόκολλο δέσμης, εισάγοντας ένα σχήμα στο οποίο δέσμες λήγουν με βάση ταυτοποιητές και καταμέτρηση βημάτων.

Δεδομένου ότι τα πρωτόκολλα κάτω από το επίπεδο δεσμών μπορούν να παρέχουν τη διαφορετική σημασιολογία, μια συλλογή προσαρμοστών ειδικευμένων πρωτοκόλλων επιπέδου σύγκλισης παρέχει τις απαραίτητες λειτουργίες για να μεταφερθούν οι δέσμες σε κάθε ένα από τα αντίστοιχα πρωτόκολλα [1], όπως φαίνεται στο σχήμα 28. Σε αυτήν την εννοιολογική αρχιτεκτονική εφαρμογής, ένας κεντρικός προωθητής είναι αρμόδιος για την κίνηση των δεσμών μεταξύ των εφαρμογών, των προσαρμοστών επιπέδου σύγκλισης και της αποθήκευσης, σύμφωνα με τις αποφάσεις που λαμβάνονται από αλγόριθμους δρομολόγησης. Τα βέλη δείχνουν τις αλληλεπιδράσεις, οι οποίες μπορούν να φέρουν είτε τις δέσμες είτε τις οδηγίες.



Σχήμα 28 : ένα παράδειγμα δείχνει πώς ένας προωθητής δέσμης αλληλεπιδρά με την αποθήκευση, τις αποφάσεις δρομολόγησης και τους προσαρμοστές επιπέδων σύγκλισης, ώστε να χρησιμοποιήσει τα διάφορα πρωτόκολλα για παράδοση.

5.2.3 ΑΛΛΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ

Αν κοιτάξουμε τα χαμηλότερα επίπεδα και να προσπαθήσουμε να έρθουμε αντιμέτωποι με ανοχή καθυστέρησης και δυσλειτουργία σε ένα περιβάλλον σημείου-προς-σημείο, εμείς επίσης, θα οδηγηθούμε σε ένα διαφορετικό είδος των πρωτοκόλλων. Η πιο γνωστό πρωτόκολλο για λειτουργία σε ένα υποκείμενο συνδέσμου σημείου-προς-σημείο με εξαιρετικά μεγάλη καθυστέρηση είναι το πρωτόκολλο μετάδοσης Licklider (LTP) [12]. Το LTP πήρε το όνομά του προς τιμήν του JCR Licklider, ενός από τους πρωτοπόρους του ARPANET, που οραματίστηκε την ύπαρξη διαπλανητικών συνδέσεων στο μέλλον. Το LTP επινοήθηκε για επικοινωνιακές συνδέσεις σε βάθος διαστήματος με ενιαίο βήμα, αν και μπορεί επίσης να είναι χρήσιμο για επίγεια δίκτυα, όπου μπορεί να προκύψει δυσλειτουργία. Το LTP μπορεί να απομονώσει την πολυπλοκότητα ενός δυσλειτουργικού περιβάλλον από το επίπεδο εφαρμογής. Επιπλέον, χάρη στο σχεδιασμό του, το LTP είναι ένα καλό επίπεδο σύγκλισης για να υποστηρίξει το πρωτόκολλο δέσμης. Στο LTP, όλες οι παράμετροι που απαιτούνται για τη λειτουργικότητα πρέπει να έχουν συμφωνηθεί πριν από εμφάνιση μιας επαφής, αφού σε ένα αποδιοργανωτικό περιβάλλον, δεν υπάρχει πιθανότητα διαπραγμάτευσης παραμέτρων. Για το λόγο αυτό, το LTP απαιτεί πληροφορίες σχετικά με τις προηγούμενες και επικείμενες επαφές.

Υπάρχουν εναλλακτικά πρωτόκολλα DTN στην προσέγγιση δέσμης / LTP. Παρόλο που η τελευταία είναι η προτιμώμενη προσέγγιση σήμερα, αφού το DTN είναι ένας σχετικά

πρόσφατος τομέας έρευνας στη δικτύωση, κάποια νέα πρωτόκολλα μπορεί να φαίνεται ότι να αποδειχθεί πιο ευνοϊκά. Μια έρευνα σχετικά με τα πρωτόκολλα για την επικοινωνία διαστήματος δίνεται στο [13]. Από τις υπάρχουσες προτάσεις, αξίζει να αναφερθεί τα : πρωτόκολλο LTP-T [14], TP-Planet [15] και DS-TP [16]. Το LTP- T είναι μια επέκταση του LTP ώστε να παρέχει ένα πρωτόκολλο επιπέδου μεταφοράς, το οποία μπορεί να είναι χρήσιμο για τις περιπτώσεις στις οποίες το LTP χρησιμοποιείται σε όλες τις οι συνδέσεις μιας διαδρομής. Σε αυτή την περίπτωση, η κατοχή του LTP-T πρωτοκόλλου μεταφοράς μπορεί να αποδειχθεί ότι είναι πιο αποτελεσματική από το «τρέξιμο» του πρωτοκόλλου δέσμης πάνω στο LTP. Το TP- Planet είναι μια άλλη πρόταση για ένα πρωτόκολλο μεταφοράς, του οποίου στόχος είναι να δημιουργηθεί ένα πρωτόκολλο μεταφοράς που να «τρέχει» κατευθείαν πάνω από το IP το οποίο να είναι θέση να χειριστεί υψηλή λανθάνουσα κατάσταση συνδέσμων. Τέλος, το Πρωτόκολλο επικοινωνίας Σε Βάθος Διαστήματος (DS-TP) μπορεί να γίνει δύο φορές πιο γρήγορα από τα συμβατικά πρωτόκολλα με τη χρήση τεχνικών, όπως η δυναμική μετάδοση και αναμετάδοση προγραμματίζοντας κανόνες, προκειμένου να αντιμετωπισθούν τα μοναδικά χαρακτηριστικά περιβάλλοντος δικτύωσης σε βάρος διαστήματος.

5.2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ιδέα των DTN ήταν αρχικά σχεδιασμένη για την επικοινωνία με διαστημόπλοια, για να αντισταθμίσει αποσυνδέσεις σε διαπλανητικές αποστάσεις. Ωστόσο, με το πέρασμα των χρόνων, οι ερευνητές έχουν εντοπίσει πολλά επίγεια περιβάλλοντα όπου οι DTN έννοιες μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Για παράδειγμα, τα υποβρύχια δίκτυα κάνουν χρήση του προτύπου DTN για να ενεργοποιούν τις εφαρμογές για συλλογή ωκεανογραφικών δεδομένων, παρακολούθηση της ρύπανσης, υπεράκτια αναζήτηση, πρόληψη καταστροφής, βοήθεια πλοήγησης και εφαρμογές τακτικής παρακολούθησης [17]. Τα δίκτυα παρακολούθησης άγριας φύσης, τα οποία σχεδιάστηκαν για την έρευνα στη βιολογία, επιτρέπουν την παρακολούθηση της μακροχρόνιας συμπεριφορά των άγριων ζώων σε μεγάλη περιοχή. Παραδείγματα έργων σε αυτόν τον τομέα είναι το ZebraNet [18] για παρακολούθηση ζεβρών, το SWIM [19] για την παρακολούθηση φαλαινών, και το TurtleNet για την παρακολούθηση χελωνών [20].

Αραιά ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (π.χ. διάστημα, επίγεια, και αεροπορικά), μπορούν επίσης να εφαρμόσουν την DTN τεχνολογία [21]. Αυτά τα δίκτυα που χρησιμοποιούνται συνήθως για την παρακολούθηση της επιστήμης και της επικίνδυνων γεγονότων, όπως σεισμοί, ηφαίστεια, πλημμύρες, δασικές πυρκαγιές, θάλασσα σχηματισμός πάγου και διάλυση, κατάψυξη και απόψυξη λιμνών, και περιβαλλοντικής παρακολούθησης. Το πρόβλημα της παροχής δεδομένων επικοινωνιών σε απομακρυσμένες και υπανάπτυκτες αγροτικές κοινότητες στις αναπτυσσόμενες χώρες έχει αντιμετωπιστεί από διάφορα σχέδια με προσεγγίσεις που επικεντρώνονται στην ασύγχρονη (αποσυνδεδεμένη) μετάδοση μηνυμάτων από τα συστήματα μεταφορών [26]. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τα DakNet [24], Συνδεσιμότητα Δικτύου Saami (SNC) [25], Ψηφιακή Ταχυμεταφορά Wizzy [23], Δικτύωση για τις Επικοινωνίες Κοινοτήτων (N4C) [22], First Mile Solutions [27] και KioskNet [28].

Τα δίκτυα ανθρώπων, που ονομάζονται επίσης δίκτυα μετατροπής τσέπης και τα κοινωνικά δίκτυα διερευνούν τις δυνατότητες μεταφοράς μεταξύ των κινητών ασύρματων

συσκευών που μεταφέρονται από τον άνθρωπο για τη μεταφορά δεδομένων [29]. Τα δίκτυα αυτά επιτρέπουν στις εφαρμογές που διαβιβάζουν τα στοιχεία με βάση κοινωνικό ενδιαφέρον των ανθρώπων (π.χ., ειδήσεις, μουσική, ταινίες, τέχνες). Ενσωματώνοντας τις ιδέες περί DTN στα στρατιωτικά τακτικά δίκτυα μπορούν να διευκολύνουν τις επικοινωνίες σε εχθρικά περιβάλλοντα (πεδία των μαχών), όπου μια υποδομή δικτύου είναι διαθέσιμη [30]. Οι αρχές των DTN μπορούν επίσης να ληφθούν υπόψη για δίκτυα αποκατάστασης καταστροφών. Αυτά τα δίκτυα μπορούν να υποστηρίξουν την επικοινωνία στις περιοχές που επλήγησαν από καταστροφές και έχουν έλλειψη επικοινωνιακής υποδομής [31].

5.2.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΕΣ

Πολλές εφαρμογές των DTN πρωτοκόλλων και εξομοιωτές αναφέρονται στο [32]. Μόνο τα πιο σημαντικά περιγράφονται εδώ. Η εφαρμογή αναφοράς πρωτοκόλλου δέσμης καλείται DTN2. Εκτός από το πρωτόκολλο δέσμης, η DTN2 υποστηρίζει επίσης προαιρετικά το πρωτόκολλο ασφαλείας δέσμης για την παροχή αυθεντικότητας και / ή για την προστασία της ακεραιότητας για μεταδιδόμενες δέσμες αν απαιτείται από την εφαρμογή. Δέσμες μπορούν να μεταδοθούν μέσω είτε IP επιπέδων μεταφοράς ή μέσω διαφόρων επιπέδων συνδέσμου συμπεριλαμβανομένου τα Ethernet και Bluetooth. Υποστήριξη για LTP παρέχεται μέσω LTPlib που μπορούν να καταρτιστούν σε DTN2. Η DTN2 εφαρμόζει μια σειρά από επίπεδα σύγκλισης συνδέονται μεταξύ δέσμης και πρωτοκόλλων μεταφοράς. Η DTN2 παρέχει επίσης έναν αριθμό μηχανισμών δρομολόγησης για να κατευθύνει την προώθηση των δεσμών στους προορισμούς τους, συμπεριλαμβανομένου ενός στατικού συστήματος δρομολόγησης που βασίζεται σε προ-ρυθμισμένες οδούς. Τέλος, η DTN2 παρέχει κάποιες εφαρμογές-παραδείγματα όπως dtncping ώστε να ελέγχει τη λειτουργία του δικτύου, dtncsend και dtncrcvn ώστε να στέλνει και να λαμβάνει δέσμες, και dtncpr και dtncprd για να στέλνει και να λαμβάνει αρχεία.

Η DTN2 έχει επίσης το δικό της πλαίσιο προσομοίωσης που δεν έχει κυκλοφορήσει ακόμα. Τα χειρόγραφα της TCL (Γλώσσα Εντολών Εργαλείων) επιτρέπουν τη δημιουργία κόμβων και συνδέσεων, τη δημιουργία της κυκλοφορίας, τη ρύθμιση προσομοίωσης και την ανάκτηση των στατιστικών.

Το Δίκτυο Διαπλανητικής Κάλυψης (ION) [33] είναι μία εφαρμογή του πρωτοκόλλου Δέσμης, LTP, και των CCSDS Πρωτόκολλο Παράδοσης αρχείου (CFDP) και Υπηρεσία Ασύγχρονου Μηνύματος (AMS). Η CFDP είναι μια υπηρεσία εφαρμογής-επιπέδου που πραγματοποιεί την κατάτμηση, μετάδοση, λήψη, επανασυναρμολόγηση, και παράδοση των αρχείων με ένα τρόπο ανεκτικό στην καθυστέρηση. Η AMS είναι μια υπηρεσία εφαρμογής-επιπέδου για τη διανομή μηνυμάτων με βάση το μοντέλο δημοσιοποίηση / συνδρομή ή ο πελάτη / διακομιστή. Οι CFDP και AMS δεν αποτελούν μέρος της αρχιτεκτονικής DTN, αλλά χρησιμοποιούν DTN πρωτόκολλα. Το ION έχει σχεδιαστεί για να ενεργοποιεί φθηνή εισαγωγή της λειτουργικότητας του DTN σε ενσωματωμένα συστήματα, όπως ρομποτικό διαστημικό σκάφος. Το ION εφαρμόζει διάφορους προσαρμογείς σύγκλισης-επιπέδου: TCP (διαλειτουργική με DTN2), UDP (επίσης διαλειτουργικό με DTN2), Υπηρεσία Αναμετάδοσης Δέσμης, απλοποιημένη TCP και LTP.

Ο προσομοιωτής Περιβάλλοντος Ευκαιριακής Δικτύωσης (ONE) [34] [35] είναι ένας προσομοιωτής βασισμένος σε Java που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για την αξιολόγηση της πρωτοκόλλων DTN δρομολόγησης και εφαρμογής. Ο συγγραφέας επιδεικνύουν τις τεράστιες δυνατότητες που υποστηρίζονται από τον προσομοιωτή και είναι κρίσιμες για την εφαρμογή των διαφόρων συνθηκών σε DTN, συμπεριλαμβανομένης της κινητικότητας και δημιουργίας γεγονότων, της ανταλλαγής μηνυμάτων, μιας βασικής έννοιας της κατανάλωσης ενέργειας, της οπτικοποίησης και ανάλυσης, διασυνδέσεων για την εισαγωγή και την εξαγωγή ίχνων κινητικότητας, γεγονότων και ολόκληρων μηνυμάτων. Υποστηρίζονται τα ακόλουθα πρωτόκολλα δρομολόγησης DTN: 1) Άμεση Παράδοση, 2) Πρώτη Επαφή, 3) Spray-and-Wait, 4) Επιδημία, 5) PRoPHET, και 6) MaxProp. Αυτά τα πρωτόκολλα περιγράφονται στο τμήμα V.A. Μοντέλα κινητικότητας καθορίζουν τους αλγόριθμους και τους κανόνες που παράγουν τα μονοπάτια κίνησης κόμβου. Τρεις τύποι σύνθετων μοντέλων κυκλοφορίας περιλαμβάνονται στον προσομοιωτή: 1) τυχαία κίνηση, 2) τυχαία κίνηση που περιορίζεται από χάρτη, και 3) κίνηση βασισμένη στην ανθρώπινη συμπεριφορά. Μια εκτεταμένη έρευνα σχετικά με τα μοντέλα κινητικότητας παρέχεται στο [36].

Ο προσομοιωτής του Εθνικού Πανεπιστημίου Chiao Tung (NCTUns) [37] [38] δεν έχει ειδική στήριξη για πρωτόκολλα DTN. Ωστόσο, αξίζει μια αναφορά, καθώς υποστηρίζει πρωτόκολλα σημαντικά για δίκτυα οχημάτων Ad hoc (VANETs) όπως το IEEE 802.11p/1609 WAVE (Ασύρματη σύνδεση σε Δίκτυα οχημάτων) και Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (ITS), συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων όχημα-σε-όχημα (V2V) και των συστημάτων όχημα-σε-υποδομή (V2I). Ο NCTUns είναι ένας προσομοιωτής και εξομοιωτής δικτύου ανοιχτού συστήματος βασισμένος στη C++ που σχεδιάστηκε για να λειτουργεί με Red Hat Fedora 12 Linux. Μια Γραφική Διεπαφή Χρήστη (GUI) επιτρέπει τη δημιουργία αρχείων Tcl για να περιγράψει τη στοίβα πρωτόκολλο των κόμβων, τη συνδεσιμότητα μεταξύ των κόμβων και τη διαμόρφωση τους. Επιπροσθέτως, η GUI παρέχει οπτική παρατήρηση του προσομοιωμένου δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των κινήσεων του κόμβου. Το NCTUns υποστηρίζει μικροσκοπικά μοντέλα κινητικότητας συμπεριλαμβανομένων των ακολουθούμενων αυτοκινήτων και την αλλαγή λωρίδας.

Για την ανάπτυξη εφαρμογών VDTN, η καλύτερη επιλογή είναι να χρησιμοποιηθεί η εφαρμογή αναφοράς DTN2, ενώ ο ONE είναι ό,τι καλύτερο όταν πρόκειται για την προσομοίωση συνθηκών VDTN. Ωστόσο, αυτός ο προσομοιωτής δεν υποστηρίζει τα πρωτόκολλα ITS ή μικροσκοπικά μοντέλα κινητικότητας, όπως κάνει ο προσομοιωτής NCTUns. Από την άλλη πλευρά, ο προσομοιωτής NCTUns στερείται υποστήριξης για πρωτόκολλα DTN. Εάν οι λειτουργίες του ITS απαιτούνται πραγματικά, είτε εφαρμόζονται στον προσομοιωτή ONE ή τα DTN πρωτόκολλα εφαρμόζονται στο NCTUns. Μια πιο ολοκληρωμένη έρευνα των προσομοιωτών VANET είναι διαθέσιμη στο [39].

5.3 ΔΙΚΤΥΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΑΝΟΧΗ ΣΤΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ

Τα δίκτυα οχημάτων Ad hoc (VANETs) έχουν αποτελέσει ένα σημαντικό θέμα έρευνας για πολλά χρόνια. Πρόκειται για μια επέκταση των δικτύων για κινητά Ad hoc (MANETs) σε συστήματα οχημάτων, που εκτείνονται σε αεροπλάνα, τρένα, πλοία, αυτοκίνητα και ρομπότ.

Τα MANETs έχουν μια σειρά από χαρακτηριστικά και απαιτήσεις [40]:

- Αυτο-οργάνωση: ένα MANET δεν εξαρτάται από τις προ-υπάρχουσες υποδομές, αλλά, δημιουργείται ένα εσωτερικό ασύρματο δίκτυο τους ίδιους τους κόμβους που λειτουργούν και σαν αναμεταδότες για τη μετάδοση της πληροφορίας εντός του δικτύου.
- Κινητικότητα: κόμβοι κινούνται και τα πρωτόκολλα πρέπει να προσαρμοστούν σε αυτό.
- Αναμετάδοση: ορισμένοι κόμβοι μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας μονάχα άλλους για ενδιάμεσους αναμεταδότες.
- Εξοικονόμηση ενέργειας: κόμβοι είναι συνήθως μικρές συσκευές με περιορισμένη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.
- Επεκτασιμότητα: εφαρμογές μπορούν να αναπτυχθούν ανά πάσα στιγμή, αυξάνοντας την πολυπλοκότητα.
- Ασφάλεια: λόγω της ασύρματης φύσης τους, η ασφάλεια είναι σύνθετο και σημαντικό ζήτημα.

Τα VANETs έχουν ειδικά χαρακτηριστικά [40]:

- Προβλέψιμη κινητικότητα: οι κινήσεις δεν είναι τυχαίες, δεδομένου ότι τα οχήματα πρέπει να μείνουν στο δρόμο, για παράδειγμα.
- Υψηλή κινητικότητα: η τοπολογία του δίκτυο αλλάζει γρήγορα, λόγω της ταχύτητας του οχήματος.
- Μεταβλητή τοπολογία σε τόπο και χρόνο: η τοπολογία του δικτύου εξελίσσεται ανάλογα με το χρόνο (π.χ., κυκλοφοριακή συμφόρηση) και την τοποθεσία (αστικές, αγροτικές).
- Μεγάλη κλίμακα: όλα τα οχήματα είναι εν δυνάμει κόμβοι.
- Τμηματοποιημένα δίκτυα: το εύρος βήματος σε ένα ασύρματο διαχωριστικό δίκτυο είναι περίπου 1000 m, περιορίζοντας το εύρος της επικοινωνίας των οχημάτων.
- Όχι σημαντική ισχύς των περιορισμών υπολογισμού: ένα όχημα μπορεί να παράγει αρκετή δύναμη. Μια εξαίρεση είναι για σταθερούς κόμβους, οι οποίοι μπορεί να λειτουργούν με μπαταρίες.

Η κύρια διαφορά μεταξύ των VANETs και VDTNs είναι ότι τα VANETs υποθέτουν ότι η τέρμα-προς-τέρμα συνδεσιμότητα υπάρχει μέσα κάποια πορεία, ενώ τα VDTNs όχι [41], [43]. Έτσι, οι ιδέες των VANETs είναι πιο κατάλληλες για πυκνά δίκτυα, ενώ τα VDTNs δέχονται επίσης αραιά δίκτυα μέσω του προτύπου αποθήκευση-μεταφορά-προώθηση.

Τα VDTNs επεκτείνουν τα VANETs με τις δυνατότητες του DTN για την υποστήριξη μεγάλων διαταραχών στις συνδέσεις δικτύου. Οι ιδέες DTN που είναι χρήσιμες ως δίκτυα οχημάτων χαρακτηρίζονται από σπάνιες δυνατότητες μετάδοσης και διαλείπουσα συνδεσιμότητα, ειδικά σε αγροτικές ή ορεινές περιοχές. Μια πρόσφατη μελέτη [44] δείχνει ότι η διάρκεια των επαφών μεταξύ αυτοκινήτων που χρησιμοποιούν IEEE 802.11g περνώντας στα 20 Km / h είναι περίπου 40 δευτερόλεπτα, σε 40 Km / h είναι περίπου 15 δευτερόλεπτα και στα 60 Km / h είναι περίπου 11 s. Εάν το πρωτόκολλο TCP χρησιμοποιείται στα 60 χιλιόμετρα / h, η διάρκεια τότε είναι πολύ χαμηλή (μέσος όρος 80 KB) και 4 από τα 10 πειράματα δεν μεταφέρθηκαν καθόλου στοιχεία. Το UDP δίνει καλύτερα αποτελέσματα, με περίπου 2 MB να έχουν μεταφερθεί σε μία επαφή στα 60 Km / h.

Τα περισσότερα από τα προβλήματα σε δίκτυα οχημάτων προκύπτουν από την κινητικότητα και την ταχύτητα των οχημάτων που είναι υπεύθυνα για μια ιδιαίτερα δυναμική τοπολογία του δικτύου και για σύντομη διάρκεια επαφής. Περιορισμένο εύρος μετάδοσης, εμπόδια ραδιοφώνου που οφείλονται σε φυσικούς παράγοντες (π.χ., κτίρια, σήραγγες, έδαφος και βλάστηση), και παρεμβολές (δηλαδή, κανάλια υψηλής συμφόρησης που προκαλούνται από την υψηλή πυκνότητα των κόμβων), οδηγούν σε διαταραχή, διακοπτόμενη συνδεσιμότητα, και σημαντικών ποσοστών ζημιά. Όλες αυτές οι συνθήκες καθιστούν τα δίκτυα οχημάτων αντικείμενο συχνού κατακερματισμού / διαμελισμού (δηλαδή, συνδεσιμότητα άκρο-προς-άκρο μπορεί να μην υπάρχει), με αποτέλεσμα μικρή αποτελεσματική διάμετρο του δικτύου. Επιπλέον, τα δίκτυα οχημάτων έχουν τη δυνατότητα να αναπτυχθούν σε μεγάλη κλίμακα, και η πυκνότητα του κόμβου, το οποίο επηρεάζεται από τη θέση και το χρόνο, μπορεί να είναι εξαιρετικά μεταβλητή. Για παράδειγμα, ένα δίκτυο οχημάτων μπορεί να χαρακτηριστεί ως πυκνό σε μια κυκλοφοριακή συμφόρηση, ενώ σε περιφερειακή κυκλοφορία μπορεί να είναι αραιή. Στην πραγματικότητα, στις αγροτικές περιοχές, το δίκτυο μπορεί να είναι εξαιρετικά αραιό. Για όλα αυτά τα σενάρια, οι DTN μηχανισμοί παρέχουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα.

Μερικές ενδιαφέρουσες νέες μορφές κόμβων σε VDTNs είναι τα δεδομένα MULEs (Επεκτάσεις κινητού και πανταχού παρόντος δικτύου LAN) [45] και οι μόνιμης αναμετάδοσης κόμβοι [46]. Τα MULEs είναι κινητοί κόμβοι που παίρνουν δεδομένα σε ένα μέρος και τα μεταφέρουν σε άλλο τόπο. Τα MULEs προστίθενται στο δίκτυο για να επεκτείνουν την κάλυψη και / ή τον αριθμό των ευκαιριών επικοινωνίας. Κόμβοι σταθερής αναμετάδοσης είναι σταθερές συσκευές με δυνατότητες αποθήκευσης-και-προώθησης που βρίσκονται σε διασταυρώσεις οδών. Κινητοί κόμβοι τους χρησιμοποιούν για να καταθέσουν και πάρουν δεδομένα. Κόμβοι αναμετάδοσης αυξάνουν του αριθμό των ευκαιριών επικοινωνίας, ευκαιρίες σε συνθήκες με χαμηλή πυκνότητα κόμβου. Ως εκ τούτου, MULEs και κόμβοι αναμετάδοσης συμβάλλουν στην αύξηση αναλογίας παράδοσης των δεσμών, και μείωση της καθυστέρησης των παραδόσεων τους. Η καλύτερη τοποθέτηση για αναμετάδοση κόμβων και το πώς να διαχειριστεί τη διαθέσιμη περιορισμένη αποθήκευση για δέσμες σε διαφορετικούς τύπους των κόμβων είναι ακόμα ερευνητικές προκλήσεις.

Μερικά παραδείγματα των πιθανών εφαρμογών VDTN είναι: βελτίωση της οδικής ασφάλειας (π.χ., συνεργασίας αποφυγής συγκρούσεων, επείγουσα προειδοποίηση φρεναρίσματος, κοινοποίηση κινδύνου στο δρόμο), βελτίωση της ροής της κυκλοφορίας και της χωρητικότητας του δρόμου (π.χ., πρόληψη οδικής συμφόρησης, παρακολούθηση της κατάστασης της κυκλοφορίας), δίκτυα παρακολούθησης αισθητήρων για τη συλλογή δεδομένων (π.χ., τις καιρικές συνθήκες, μετρήσεις ρύπανσης, τις συνθήκες του οδοστρώματος), εμπορικές εφαρμογές (π.χ., εμπορικές διαφημίσεις, δεδομένα εμπορίου, ταξίδια, τουρισμού και αναψυχής πληροφορίες και διαθεσιμότητα χώρου στάθμευσης), εφαρμογές ψυχαγωγίας (π.χ., πρόσβαση στο Internet και ανταλλαγή περιεχομένου πολυμέσων), παροχή συνδεσιμότητας σε απομακρυσμένες αγροτικές κοινότητες και περιφέρειες (π.χ., μεταφοράς αρχείων, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, εναποθηκευμένη πρόσβαση Ιστού, και τηλεϊατρική), βοήθεια στην επικοινωνία μεταξύ σωστικών συνεργειών και άλλων υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης σε περιοχές που έπληξε καταστροφή και στερούνται μια συμβατική υποδομή επικοινωνίας.

Μια έρευνα των πρωτοκόλλων επικοινωνίας μεταξύ οχημάτων και των εφαρμογών τους δίνεται στο [47]. Η έρευνα κατατάσσει τις εφαρμογές σε τέσσερις κατηγορίες:

- Υπηρεσίες γενικών πληροφοριών (κατηγορία 1).

- Υπηρεσίες πληροφοριών για την ασφάλεια των οχημάτων (κατηγορία 2).
- Ατομικός έλεγχος κίνησης με τη χρήση επικοινωνίας μεταξύ οχημάτων (κατηγορία 3).
- Έλεγχος ομαδικής κίνησης χρησιμοποιώντας την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων (κατηγορία 4).

Για τις υπηρεσίες της κατηγορίας 1, καθυστερημένες ή χαμένες πληροφορίες δεν θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια ούτε καθιστούν την εφαρμογή άχρηστη. Παραδείγματα είναι τα ερωτήματα πληροφοριών (π.χ. δελτία καιρού, περιήγηση στον ιστό, επιχειρηματικές υπηρεσίες, οδικές συνθήκες, όγκος της κυκλοφορίας) και εκπομπές συγκεκριμένου πλαισίου (π.χ. διαφήμιση, πηγές ψυχαγωγία). Έτσι, οι δυνατότητες DTN μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα υπηρεσιών της κατηγορίας 1, αυξάνοντας τις αναλογίες παράδοσης μηνυμάτων και μειώνοντας τις καθυστερήσεις σε δύσκολες συνθήκες. Ένα παράδειγμα είναι ο κόμβος αναμετάδοσης στη βάση ενός βουνού που αποθηκεύει προειδοποιήσεις πάγου και ομίχλης από τα αυτοκίνητα που έρχονται κάτω από το βουνό για να τις παρέχουν σε αυτοκίνητα που ανεβαίνουν το βουνό.

Αντίθετα, για τις υπηρεσίες κατηγορίας 2, καθυστερημένες πληροφορίες μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια. Παραδείγματα είναι το πλαίσιο ειδικά για ειδοποιήσεις ασφάλειας που σχετίζονται με πιθανούς κινδύνους, όπως συνθήκες στην επιφάνεια ή μη φυσιολογική συμπεριφορά του οχήματος λόγω ατυχήματος ή κάποιου άλλου είδους αποτυχία. Δεδομένου ότι οι ανεκτές καθυστερήσεις είναι πολύ μικρές, το DTN δεν μπορεί να είναι χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά.

Τέλος, υπηρεσίες των κατηγοριών 3-4 απαιτούν επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο και συνήθως είναι ευαίσθητες σε καθυστερημένα ή χαμένα δεδομένα. Αυτές οι εφαρμογές μπορεί να χρησιμοποιούνται για να ελέγχουν το γκάζι και τα φρένα των οχημάτων σε πραγματικό χρόνο. Ένα παράδειγμα είναι η αποφυγή πρόσκρουσης οχήματος. Πάλι, το DTN μπορεί να μην βελτιώσει την ποιότητα αυτού του είδους των υπηρεσιών, καθώς απαιτείται μόνιμη σύνδεση με μικρή καθυστέρηση.

Ο Πίνακας I παραθέτει τα κύρια χαρακτηριστικά που απαιτούνται από εφαρμογές VDTN. Εάν επιτρέπεται περισσότερος χρόνος για την παράδοση των μηνυμάτων, περισσότερα μηνύματα θα παραδίδονται επιτυχώς. Φυσικά, οι προκύπτοντες πόροι δικτύου που δαπανώνται μπορεί να αυξηθούν, μειώνοντας την επεκτασιμότητα. Αρκετοί μηχανισμοί μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση της κατανάλωσης των πόρων του δικτύου. Ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιλεγεί το καταλληλότερο επόμενο βήμα (s) για ένα μήνυμα. Προγραμματισμός και ιεράρχηση των μηχανισμών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιλέγονται τα μηνύματα που διαβιβάζονται πρώτα μία περιορισμένης διάρκειας επαφή μεταξύ των κόμβων. Μηχανισμοί διαχείρισης και ανακοινώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθαρισμό παλαιότερων μηνυμάτων όταν ο χώρος αποθήκευσης είναι λιγοστός. Ο μηχανισμός μεταφοράς επιμέλειας DTN μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξασφαλιστεί η παράδοση μηνυμάτων σε βάρος της πολυπλοκότητας πρωτοκόλλου και του χώρο αποθήκευσης. Ασφάλεια και παράδοση μηνυμάτων σε ένα κατάλληλο σύνολο προορισμών είναι επίσης σημαντικά χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου. Τα περισσότερα από τα ζητήματα του σχεδιασμού του πρωτοκόλλου που καλύπτουν τις απαιτήσεις αυτών των εφαρμογών είναι ακόμα ερευνητικές προκλήσεις που θα αναλυθούν με περισσότερες λεπτομέρειες. Μια γενική συζήτηση για τα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου μεταξύ οχημάτων χωρίς ιδιαίτερη έμφαση στα VDTNs δίδεται στο [47].

ΠΙΝΑΚΑΣ I

Χαρακτηριστικά πρωτοκόλλου VTDN

Characteristic	Description	Supporting Mechanisms
Latency	End-to-end packet delivery time	Routing protocols, scheduling mechanisms
Delivery ratio	Ratio of delivered messages over transmitted messages	Routing protocols, custody transfer, end-to-end acknowledgement, caching mechanisms
Scalability	Support a large number of nodes, a large number of hops and varying node densities	Routing protocols, prioritization
Routing scheme	Transmission to a single, multiple, all, any, all within a region destinations: unicast, multicast, broadcast, anycast, geocast	Routing protocols, membership services, locating services
Security	Prevent unauthorized access, misuse, modification or denial of use of network resources	Authentication, encryption protocols, security policies

Πίνακας 5-1 : Χαρακτηριστικά VTDN

Η ακόλουθη ενότητα παρέχει περαιτέρω λεπτομέρειες σχετικά με τα VTDN, συνοψίζοντας ορισμένες από τις εφαρμογές της και θα τρέχοντα έργα.

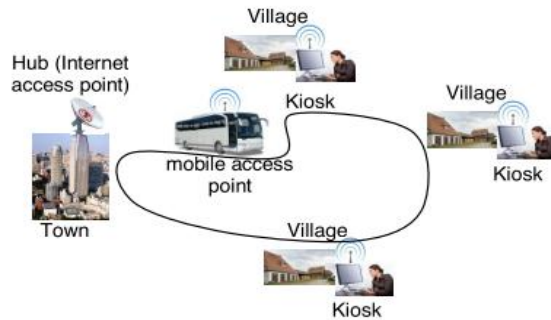
5.4 ΣΧΕΔΙΑ VTDN ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.

5.4.1 ΣΧΕΔΙΟ KioskNet

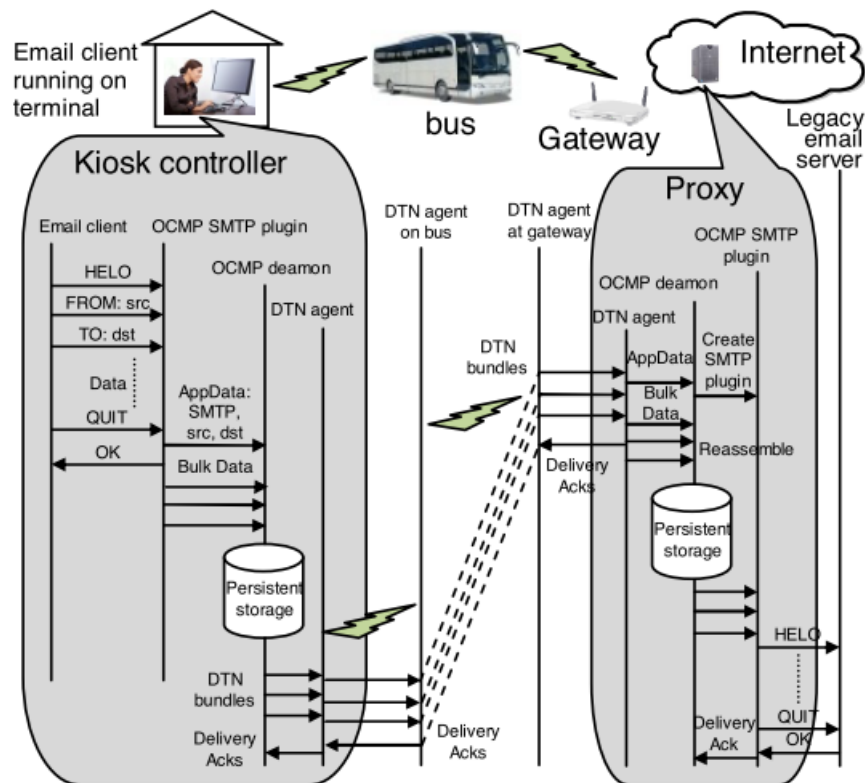
Το σχέδιο KioskNet [48] παρέχει χαμηλού κόστους περίπτερα Διαδικτύου στις αγροτικές περιοχές, με ορισμένες υπηρεσίες, όπως ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, πλοήγηση στο διαδίκτυο, τηλεϊατρική, πληροφορίες για τις τιμές συγκομιδών και φορολογίες. Καθώς τα περίπτερα δεν έχουν μόνιμη σύνδεση στο Internet, ένα λεωφορείο και τα πρωτόκολλα DTN προσφέρουν την πύλη μεταξύ των περιπτέρων και του Διαδικτύου σε μία γειτονική πόλη, όπως εμφανίζεται στο σχήμα 29.

Οι εφαρμογές χρήστη επικοινωνούν με τα πρωτόκολλα DTN, δημιουργώντας δέσμες που είναι αποθηκευμένες σε μόνιμη αποθήκευση μέχρι το λεωφορείο να περάσει από το χωριό. Στη συνέχεια, οι δέσμες μεταφέρονται στον πράκτορα DTN στο λεωφορείο και μεταφέρονται σε μια πόλη που πρέπει να παραδοθούν σε μια πύλη στο Διαδίκτυο. Αυτές οι διαδικασίες απεικονίζονται στο σχήμα 30 για την περίπτωση μιας υπηρεσίας ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Μία εφαρμογή πρωτοκόλλου, που ονομάζεται Πρωτόκολλο Διαχείρισης Ευκαιριακής Σύνδεσης (OCMP), τρέχει πάνω από το επίπεδο δέσμης. Το OCMP παρέχει τη διεπαφή μεταξύ του πελάτη ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και του πράκτορα DTN στο περίπτερο και μεταξύ του πράκτορα DTN στην πύλη και ενός διακομιστή ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.

Το σύστημα είναι ικανό να αναπτυχθεί γρήγορα, είναι χαμηλής ισχύος (μπορεί να είναι παίρνει ρεύμα από ένα ηλιακό πάνελ) και χρησιμοποιεί ελεύθερο λογισμικό που επιτρέπει χαμηλού κόστους πρόσβαση στο Διαδίκτυο, ακόμη και σε απομακρυσμένες περιοχές. Φυσικά, εάν είτε μέσω τηλεφώνου, μακράς εμβέλειας ασύρματη ή υπηρεσία κυψελοειδούς τηλεφώνου είναι διαθέσιμη, ο ελεγκτής του περιπτέρου μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να χρησιμοποιεί αυτές τις συνδέσεις επικοινωνίας σε συνδυασμό με τη μεγαλύτερη πρόσβαση καθυστέρησης που παρέχεται από το λεωφορείο για να πάρει μικρότερες καθυστερήσεις πρόσβασης στο Internet. Το σύστημα επίσης περιλαμβάνει μια διεπαφή χρήστη για τη διαχείριση της τοπικής διοίκησης του περιπτέρου, απομακρυσμένη διαχείριση, συλλογή καταγραφής και εκτεταμένη υποστήριξη της ασφάλειας. Το σχέδιο KioskNet έχει αναπτύξει ένα ολοκληρωμένο σύστημα αποδεικνύοντας ότι τα πρωτόκολλα DTN μπορούν να εκμεταλλευτούν την περιοδική κίνηση των λεωφορείων για τη μεταφορά δεδομένων με οικονομικά αποδοτικό τρόπο μεταξύ απομονωμένων τοποθεσιών, προσφέροντας πολύτιμες υπηρεσίες Διαδικτύου στα φτωχότερα τμήματα του της κοινωνίας των πολιτών.



Σχήμα 29 : ένα λεωφορείο και πρωτόκολλα DTN προσφέρουν την πύλη μεταξύ των περιπτώσεων και του διαδικτύου σε μια γειτονική πόλη.



Σχήμα 30 : Το Πρωτόκολλο Διαχείρισης Ευκαιριακής Σύνδεσης (OCMP) τρέχει στην κορυφή του επιπέδου δέσμης DTN ώστε να επιτρέπονται οι μεταφορές ηλεκτρονικού ταχυδρομείου

5.4.2 ΤΟ ΣΧΕΔΙΟ DieselNet

Το Διαφορετικό Εξωτερικό Κινητό περιβάλλον (DOME) [49] είναι μια πλατφόρμα δοκιμών για μεγάλης κλίμακας κινητό πειραματισμό που συνίσταται από τις τρεις βασικές συνιστώσες του υλικού: το DieselNet δίκτυο οχημάτων, ένα σύνολο των νομαδικών throwboxes και ένα εξωτερικό πλέγμα δικτύου.

Το DieselNet αποτελείται από 40 λεωφορεία διέλευσης, που καλύπτουν μία έκταση 150 τετραγωνικών μιλίων γύρω από το Amherst, το καθένα εξοπλισμένο με ενσωματωμένο υπολογιστή με GPS (Σύστημα Παγκόσμιου Εντοπισμού), κάρτα 802.11abg, 802.11g ασύρματο σημείο πρόσβασης, μόντεμ ασύρματου 3G USB και ένα μόντεμ USB 900MHz RF. Το σημείο πρόσβασης επιτρέπει σε άλλα λεωφορεία, ή αναβάτες λεωφορείου, τη δημιουργία 802.11 συνδέσεων, δίνοντάς τους πρόσβαση στο Διαδίκτυο μέσω μίας εξωτερικής ραδιοεπαφής. Η διεπαφή Wi-Fi αυτή χρησιμοποιείται για σύνδεση σε ξένα σημεία πρόσβασης, συμπεριλαμβανομένων των σημείων πρόσβασης από άλλα λεωφορεία.

Throwboxes είναι ασύρματοι κόμβοι που μπορούν να ενεργήσουν ως κέντρα αναμετάδοσης, δημιουργώντας πρόσθετες δυνατότητες επικοινωνίας μεταξύ των DieselNet λεωφορείων. Τα Throwboxes χρησιμοποιούν μπαταρίες που επαναφορτίζονται από τα ηλιακά κύτταρα. Αν και ένα throwbox συχνά θα παραμένει ακίνητο για αρκετές ώρες ή ημέρες, τα νομαδικά χαρακτηριστικά τους επιτρέπουν σε αυτά να μπορούν να τοποθετηθούν ελαστικά σε όλη την πλατφόρμα δοκιμών DOME.

Το πλέγμα δικτύου αποτελείται από 26 Wi-Fi σημεία πρόσβασης τοποθετημένα σε διαφορετικά κτίρια και πόλους φωτός της πόλης. Το πρώτο παρέχει άμεση σύνδεση με την υποδομή τοπικών ινών, ενώ η δεύτερη παρέχει μια σύνδεση σε όχι περισσότερο από τρία βήματα από το ενσύρματο δίκτυο.

Η πλατφόρμα καλύπτει μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή, από τις αστικές περιοχές με πυκνή σύνδεση στις αγροτικές περιοχές με αραιή συνδεσιμότητα. Παρέχει ένα πλούσιο περιβάλλον για την έρευνα των εννοιών DTN, όπως δρομολόγηση, διαχείριση ενέργειας, σχεδιασμό του συστήματος και σχεδιασμό εφαρμογής. Ίχνη από την κίνηση των λεωφορείων και των επαφών παρέχονται για την ερευνητική κοινότητα να κάνει πειράματα βασισμένα σε μια πραγματική πλατφόρμα δοκιμών.

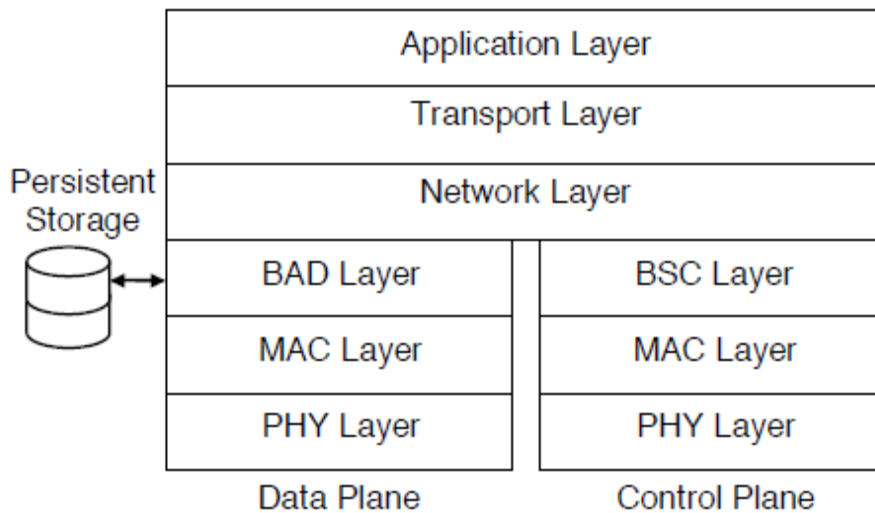
Μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή είναι η ενισχυμένη περιήγηση στο διαδίκτυο για τους χρήστες λεωφορείου [50]. Η χρήση επιθετικής προανάκληση από τους συνδέσμους σε μία συγκεκριμένη σελίδα μπορεί να μετατρέψει μια διαδραστική συνεδρία ιστού σε μία **oneshot** αίτηση / απάντηση επαρκή για μια ευκαιριακή επαφή δικτύου. Η χρήση δρομολόγησης κινητού προς κινητό και προσωρινής αποθήκευσης μπορεί να βελτιώσει τον αριθμό των σχετικών απαντήσεων για αραιά δίκτυα στις αγροτικές περιοχές κατά 58%, αλλά η μέση καθυστέρηση είναι σημαντικά υψηλή σε 6,7 λεπτά, θέτοντα υπό αμφισβήτηση την πρακτικότητά του για διαδραστικές εφαρμογές.

Μια μικρή έκδοση της τεχνολογίας που βασίζεται στα λεωφορεία συνδασμένη με κάποια έξυπνη διαχείριση ενέργειας χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση των υπο-εξαφάνιση χελωνών στην περιοχή Amherst για οικολογικούς σκοπούς και για διατήρησης της βιοποικιλότητας.

Οι κύριες συνεισφορές του σχεδίου DieselNet έχουν πολλά νέα πρωτόκολλα δρομολόγησης και εφαρμογές για DTNs, και τη μακροβιότερη μεγάλης κλίμακας, υψηλής ενεργειακής απόδοσης, ιδιαίτερα διαφοροποιημένη πλατφόρμα κινητών συστημάτων, η οποία αποτελεί μία σημαντική μηχανική πρόκληση.

5.4.3 Σχέδιο VDTN

Το σχέδιο VDTN (Vehicular Delay Tolerant Networks- VDTN) [51] προτείνει μια αρχιτεκτονική στρωμάτων για VDTNs, όπου το στρώμα δεσμών τοποθετείται κάτω από το στρώμα δικτύων αντί επάνω από το στρώμα μεταφορών. Ο στόχος είναι να καθοδηγηθεί το μεγάλο μέγεθος μηνυμάτων αντί των μικρών πακέτων μεγέθους IP. Αυτό οδηγεί σε λιγότερη επεξεργασία και δρομολόγηση πακέτων, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε λιγότερη πολυπλοκότητα, χαμηλότερο κόστος και ενέργεια - αποταμίευση.



Σχήμα 31 : IP -VDTN αρχιτεκτονική

Η αρχιτεκτονική χρησιμοποιεί την εκτός ζώνης σηματοδότηση, όπως φαίνεται στο σχήμα 31. Το BAD στρώμα (Bundle Aggregation and De-Aggregation, BAD) μεταφέρει το σύνολο των μηνυμάτων IP και στη συνέχεια τα προωθεί. Το BSC στρώμα (Bundle Signaling Control- BSC) παρέχει ένα πρωτόκολλο σηματοδότησης στην αρχική φάση οργάνωσης της σύνδεσης. Οι κόμβοι ανταλλάσσουν πληροφορίες ελέγχου για να ανακαλύψει ο ένας τα χαρακτηριστικά του άλλου και προετοιμάζουν ταυτόχρονα και τη μεταφορά στοιχείων. Αυτό το στρώμα περιλαμβάνει επίσης τους αλγορίθμους δρομολόγησης. Ο χωρισμός των πληροφοριών ελέγχου και δεδομένων είναι εννοιολογικά παρόμοιος με το Optical Burst Switching [52].

Το σχέδιο περιέχει τρεις τύπους κόμβων : οι τερματικοί κόμβοι (κάνουν την σύνδεση με τους τελικούς χρήστες), οι κινητοί κόμβοι (μεταφέρουν τα μηνύματα στους τελικούς κόμβους), και οι κόμβοι relay, οι οποίοι είναι σταθεροί και βρίσκονται συνήθως στα σταυροδρόμια του δικτύου για να βελτιώσουν την μετάδοση.

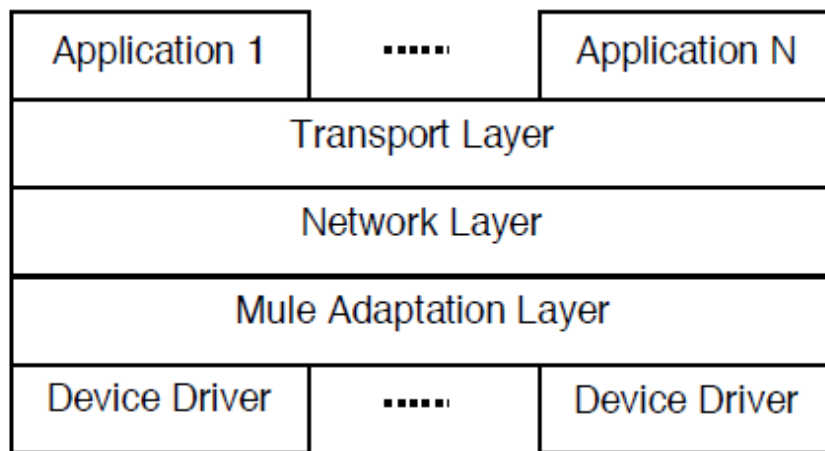
Μια δοκιμή πρωτοτύπων εφαρμόστηκε χρησιμοποιώντας ρομποτικά αυτοκίνητα Lego Mindstorm NXT που εξοπλίζονται με ψηφιακό PDA που συνδέεται σε τον για να εξομοιώσει

τους κινητούς κόμβους (π.χ., οχήματα) [53]. Οι τελικοί κόμβοι και οι κόμβοι relay εξομοιώνονται με χρήση υπολογιστών. Μια σύνδεση Bluetooth είναι πάντα ενεργή για τις εκτός ζώνης πληροφορίες ελέγχου. Όταν χρειάζεται, μια σύνδεση Wi-Fi ενεργοποιείται για να γίνει ανταλλαγή δεδομένων. Αυτό συμβάλλει στην ενέργεια αποταμίευσης, η οποία είναι πολύ σημαντική για τους κόμβους του δικτύου (στάσιμους ή μη). Το πρότυπο αυτό επιτρέπει τη μελέτη και την αξιολόγηση της συμπεριφοράς των κόμβων και όσον αφορά την μετάδοση και την αποθήκευση των δεδομένων και δίνει τη δυνατότητα για την ανάπτυξη νέων πρωτοκόλλων.

Το VDTN σχέδιο αποδεικνύει πως με τον κατάλληλο έλεγχο των κόμβων, μπορεί να επιτευχθεί η εξοικονόμηση ενέργειας και επεξεργασίας δεδομένων. Επίσης, έχει τη δυνατότητα να εξετάσει και περαιτέρω παράγοντες όπως είναι η διαφοροποίηση της κυκλοφορίας, η γεωγραφική δρομολόγηση κλπ.

5.4.4 Σχέδιο CarTel

Το σχέδιο CarTel [54], [55] αποτελείται από δύο δίκτυα DTN: το dPipe και το CafNet. Το dPipe είναι δίκτυο του UNIX και επιτρέπει στους κόμβους να επικοινωνούν μεταξύ τους (σε οποιαδήποτε διεργασία και αν κάνουν), μέσω μιας ασφαλούς διόδου. Το CafNet είναι δίκτυο ανεκτικό σε καθυστερήσεις και η μορφή του δίνεται στο σχήμα 32.



Σχήμα 32 : CafNet αρχιτεκτονική

Η προσαρμογή του στρώματος MULE κρύβει τις λεπτομέρειες του μέσου επικοινωνίας από τα υψηλότερα στρώματα. Αντίθετα από την παραδοσιακή διαπροσωπεία υποδοχών, η CafNet χρησιμοποιεί τις επανακλήσεις σε όλα τα στρώματά της και έτσι δίνει προτεραιότητα στα δυναμικά στοιχεία. Συγχρόνως, το στρώμα δικτύων CafNet παρέχει αποθήκευση για να επιτύχει το ρυθμό χρήσης των δεδομένων όταν η συνδετικότητα των δικτύων είναι εφήμερος (π.χ., μερικά δευτερόλεπτα), κάτι που είναι κοινό χαρακτηριστικό στα τροχαία δίκτυα.

Το CarTel μπορεί και φιλοδοξεί να χρησιμοποιηθεί από τα χιλιάδες αυτοκίνητα και κινητά τηλέφωνα ανά τον κόσμο, τα οποία θα μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο με τη βοήθεια του αισθητήρα που θα περιέχουν. Καθώς το CarTel έχει τη δυνατότητα να συλλέγει και να μεταφέρει πληροφορίες από μία συσκευή σε μία καθορισμένη πύλη, είναι και απόλυτα ικανό να μεταδώσει την οποιαδήποτε πληροφορία, ακόμα και στον πιο απομακρυσμένο κόμβο του δικτύου.

5.4.5 Σχέδιο EMMA

Ο περιβαλλοντικός έλεγχος στις μητροπολιτικές περιοχές (EMMA- Environmental Monitoring in Metropolitan Areas) πρόγραμμα EMMA [56] χρησιμοποιεί ένα δημόσιο δίκτυο μεταφορών για να ελέγξει τη ρύπανση. Οι διάδρομοι έχουν ένα GPS και αισθητήρες ανίχνευσης ρύπανσης που ελέγχουν συνεχώς περιβάλλον. Τα στοιχεία που συλλέγονται διαβιβάζονται μέσω μιας DTN στοίβας σε έναν κεντρικό υπολογιστή όπου και αναλύονται.

Η EMMA εξετάζει δύο τύπους στάσιμων κόμβων DTN: πύλες (gateways) και έξυπνες επιτροπές παρουσίασης. Τα πρώτα παρέχουν διεπαφή μεταξύ των διαδρόμων και της διαχείρισης κυκλοφορίας ευρέως Δίκτυο περιοχής (Wide Area Network (WAN)), και όταν το στοιχείο είναι διαθέσιμο το διαβιβάζουν με τα αποτελέσματα μέτρησης στην αξιολόγηση κεντρικός υπολογιστής μέσω του WAN. Επιπλέον, μηνύματα ελέγχου για την κυκλοφορία ή οι παρουσιάσεις πληροφοριών διαβιβάζονται από το WAN στο DTN. Οι έξυπνες επιτροπές παρουσίασης εμφανίζουν πληροφορίες για τις παρούσες μολυσματικές συγκεντρώσεις. Η μέτρηση και τα αποτελέσματα μαζεύονται από τη διάβαση των οχημάτων και υπολογίζονται αυτόνομα από την επιτροπή. Η παρουσίαση μπορεί επίσης να λάβει μηνύματα από ένα κέντρο ελέγχου (μέσω του DTN) προκειμένου να εμφανιστεί, παραδείγματος χάριν, πληροφορία κυκλοφορίας. Οι παρουσιάσεις ενεργούν επίσης όπως κόμβοι ηλεκτρονόμων, που επιταχύνουν τη διαδικασία διανομής δεσμών.

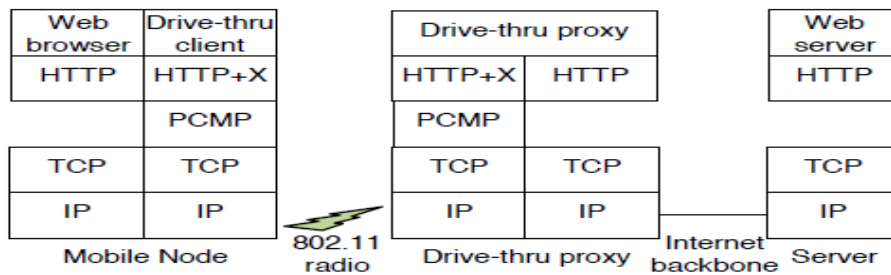
Το πρόγραμμα EMMA έχει δείξει ότι μια δημόσια μεταφορά διαδρόμων δικτύου μπορεί να παρέχει οικονομικώς αποδοτικό περιβαλλοντικό έλεγχο, διαχείριση κυκλοφορίας και λύση υπηρεσιών πληροφοριών. Αν και το EMMA είναι παρόμοιο με το DieselNet σε αρκετές πτυχές, το DieselNet δεν είναι ένα διανεμημένο σύστημα πληροφοριών όπου το μετρημένο στοιχείο διαδίδεται μέσω του δικτύου όπως είναι το EMMA.

5.4.6 Κίνηση-μέσω του προγράμματος Διαδικτύου (Drive-Thru Internet)

Το κίνηση-κατευθείαν προγράμματος Διαδικτύου [57] στοχεύει να παρέχει το διαδίκτυο για πρόσβαση των οχημάτων, με την εκμετάλλευση της διαλείπουσας συνδεσιμότητας στα ασύρματα σημεία πρόσβασης κατά μήκος του δρόμου. Η έννοια PEP (-Performance Enhancing Proxies (PEP) [58] χρησιμοποιείται για να κρύψει τα αποτελέσματα της διαλείπουσας συνδεσιμότητας.

Το σχήμα 33 εμφανίζει την αρχιτεκτονική συστημάτων. Οι κινητοί κόμβοι είναι εξοπλισμένοι με τα πληρεξούσια χρηστών που μεταφέρουν τις αλληλεπιδράσεις του πρωτοκόλλου στρώματος στην αντιστοιχία Drivethru -πληρεξούσιο σε ένα κοντινό ασύρματο

σημείο πρόσβασης. Αυτά τα Drivethru πληρεξούσια έχουν μια άμεση σύνδεση στη σπονδυλική στήλη Διαδικτύου. Η εμμονή περιόδου επικοινωνίας στις αποσυνδέσεις παρέχεται κοντά το επίμονο διοικητικό πρωτόκολλο σύνδεσης (PCMP-Persistent Connection Management Protocol), πρωτόκολλο στρώματος περιόδου επικοινωνίας που λειτουργεί βασισμένος στις συνδέσεις TCP. Η κίνηση-μέσω των πληρεξούσιων μπορεί να εκτελέσει τις λειτουργίες στρώματος εφαρμογής όπως ηλεκτρονικού ταχυδρομείου για να βελτιώσει την απόδοση. Γι' αυτό το στρώμα HTTP στην εικόνα (8) επεκτείνεται χρησιμοποιώντας τα πληρεξούσια. Ένα πιθανό μειονέκτημα αυτής της αρχιτεκτονικής είναι η χρήση από το TCP για τις βραχύβιες επαφές που μπορούν να προκαλέσουν έναν υπερβολικό υπερυψωμένο εμπόδιο.



Σχήμα 33 : Drive-Thru αρχιτεκτονική.

5.4.7 ΣΧΕΔΙΟ CONDOR

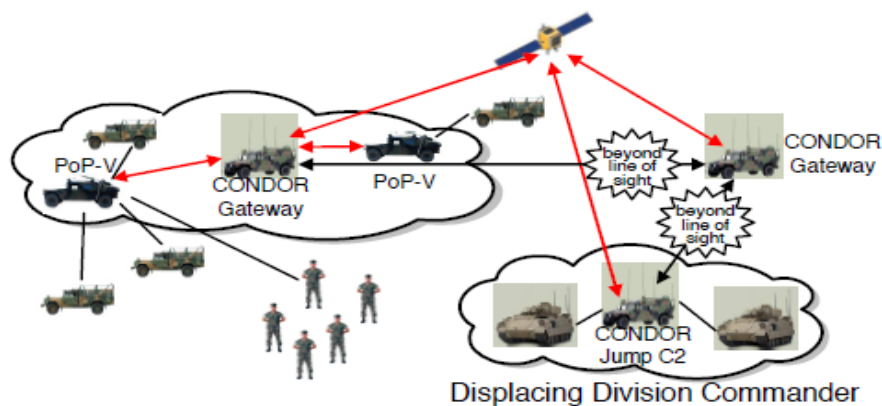
Τα στρατιωτικά συστήματα επικοινωνιών πρέπει να προσαρμοστούν στις καταστάσεις με διάφορες προκλήσεις όπως η έλλειψη σταθερής υποδομής, η έλλειψη στη διαθεσιμότητα φάσματος, δύσκολα περιβάλλοντα διάδοσης και άλλες δυσκολίες.

Το ναυτικό σώμα χρησιμοποιεί ήδη τις έννοιες DTN, και το πρόγραμμα ηλεκτρονόμων οριζόντων (Command and Control, On-the-Move, Network, Digital, Over-the-horizon Relay-CONDOR) [59]. Υπάρχουν τρεις τύποι οχημάτων CONDOR, όπως φαίνεται στο σχήμα 34: Πύλη, Σημείο της παρουσίας, και σημείο του άλματος C2 (εντολή και έλεγχος) οχήματος. Το όχημα πυλών χρησιμοποιείται για να επεκτείνει τις επικοινωνίες πέρα από τη γραμμή θέας, με το γεφύρωμα της ενισχυμένης θέσης και θέση που εκθέτει τα δίκτυα συστημάτων (EPLRS) (α) μέσω του δορυφόρου ανάλογα με τις ανάγκες. Το σημείο του οχήματος παρουσίας (β) συνδέει τα παλαιότερα ραδιόφωνα τεχνολογίας με το EPLRS ή το δορυφόρο συστήματος με δράση ως μεταφραστής και επαναλήπτης. Το C2 λειτουργεί ως όχημα συνδέοντας την κοντινή εντολή με τα οχήματα που χρησιμοποιούν την ασύρματη τεχνολογία.

Για να αποφύγει τις εφαρμογές για την υποστήριξη DTN, το πρόγραμμα CONDOR μετατρέπει τα στοιχεία εφαρμογής στις δέσμες που διαβιβάζουν το δίκτυο DTN. Έτσι, ένα πληρεξούσιο εφαρμογή-στρώματος για SMTP συμπεριφέρεται όπως ένας κεντρικός υπολογιστής SMTP (στους χρήστες SMTP), απαντά με τις κατάλληλες απαντήσεις πρωτοκόλλου SMTP, συλλέγει όλες τις πληροφορίες που αφορούν ένα μήνυμα. Αυτό είναι παρόμοιο με αυτό που είναι διευκρινισμένο για το πρόγραμμα Kiosknet στο σχήμα 5-5.

Ένα πληρεξούσιο DTN/http χτίστηκε επίσης βασισμένος WWOFFLE. Το WWOFFLE ήταν σχεδιασμένο για να είναι μια κρύπτη για τους. Η κρύπτη λαμβάνει τα αιτήματα HTTP από τις πρότυπες μηχανές αναζήτησης Ιστού και τους καταχωρεί στο τοπικό αρχείο για την εύκολη ανάκτηση όταν είναι on-line. Το WWOFFLE χωρίστηκε σε δύο για να διαμορφώσει έναν χρήστη και μια πλευρά κεντρικών υπολογιστών. Η πλευρά χρηστών ζει στο τακτικό κομμάτι του δικτύου, και οι δέσμες χρήσεων DTN για να επικοινωνήσει με πλευρά κεντρικών υπολογιστών. Η πλευρά κεντρικών υπολογιστών υποτίθεται ότι ήταν μόνιμα συνδεμένη με το Διαδίκτυο, έτσι ώστε όταν λαμβάνει τα αιτήματα από τους χρήστες, να μπορεί να ανακτήσει ζητούμενες ιστοσελίδες και να τις περιλάβει σε μια δέσμη που στέλνεται στην πλευρά χρηστών.

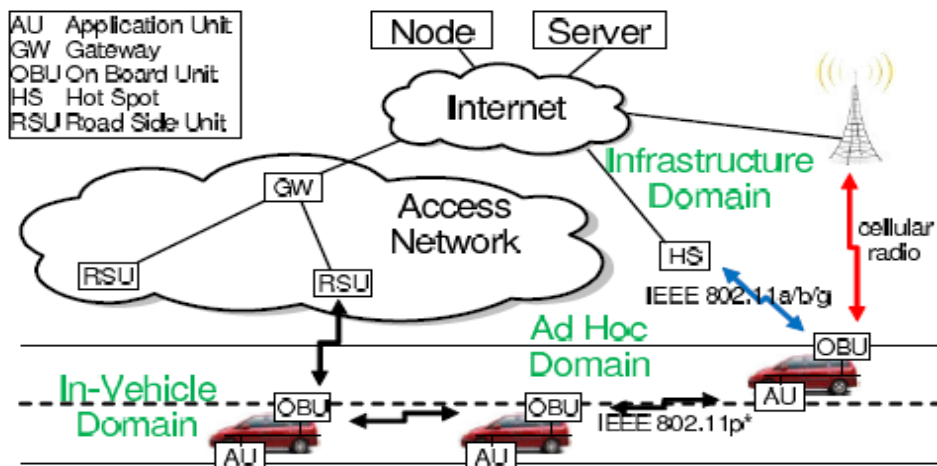
Το πρόγραμμα CONDOR έχει επεκτείνει τα πρωτόκολλα DTN μέσα στα στρατιωτικά περιβάλλοντα που εμφανίζουν και παραδίδουν αποτελεσματικά τα στοιχεία, όπου τα απλά πρωτόκολλα IP δεν έχουν τη δυνατότητα αυτή. Εκτός από τη βελτίωση σε αναλογία παράδοσης πακέτων, η λανθάνουσα κατάσταση μειώνεται και το φορτίο συνδέσεων μειώνεται επίσης δεδομένου ότι υπάρχουν λιγότερες αναμεταδόσεις.



Σχήμα 34 : CONDOR αρχιτεκτονική

5.4.8 Non-DTN Projects

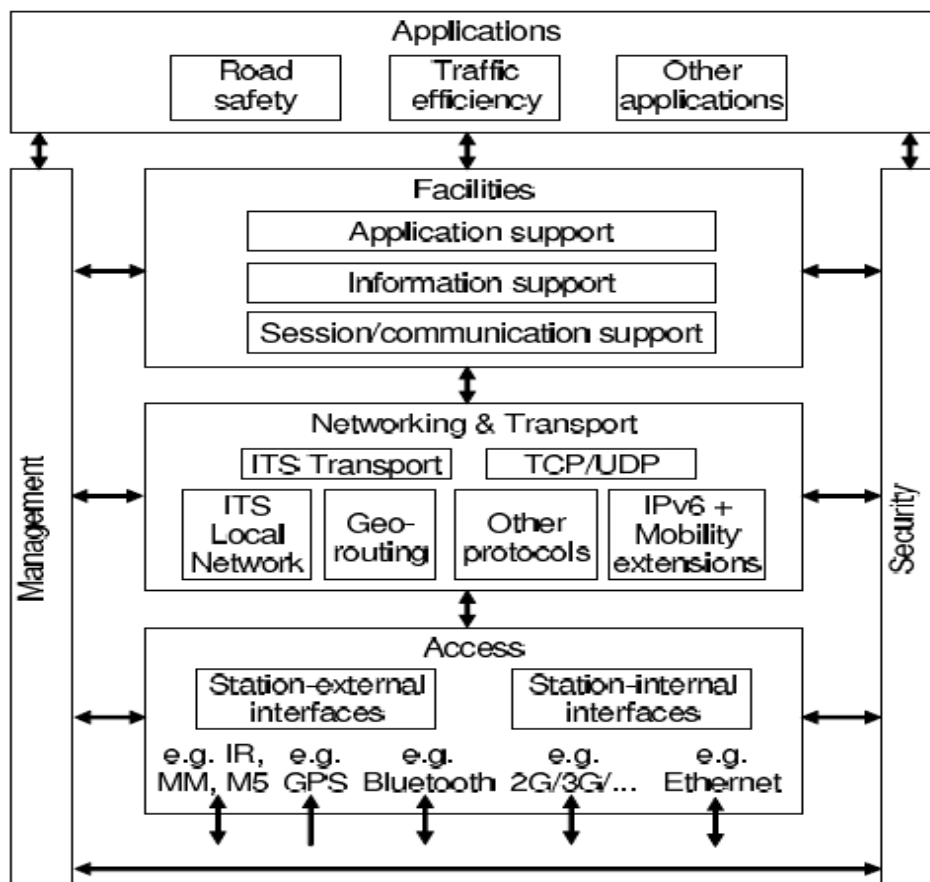
Το Car 2 Car Communication Consortium (C2C-CC) [61] έχει ως στόχο να τυποποιηθούν οι διεπαφές και τα πρωτόκολλα των ασύρματων επικοινωνιών μεταξύ των οχημάτων και του περιβάλλοντός τους στην κατάταξη, για να καταστήσουν τα οχήματα των διαφορετικών κατασκευαστών διαλειτουργικά, όχι μόνο μεταξύ τους αλλά και με τις μονάδες των ακρών του δρόμου. Η αρχιτεκτονική αναφοράς του C2C συστήματος επικοινωνιών παρατίθεται στο σχήμα 35. Περιλαμβάνει τρεις ευδιάκριτες δικτυακές γειτονιές: invehicle, ad hoc, και δικτυακή σταθερή υποδομή (infrastructure). Το invehicle αναφέρεται σε ένα δίκτυο που αποτελείται λογικά από μία μονάδα OBU και (ενδεχομένως μονάδες πολλαπλάσιας) εφαρμογής (AUs).



Σχήμα 35: Car2Car αρχιτεκτονική

Ένα AU είναι μια συσκευή που εκτελεί ένα σύνολο εφαρμογών και χρησιμοποιεί για την επικοινωνία τις ικανότητες του OBU. Ένα AU μπορεί να είναι ένα ενσωματωμένο μέρος ενός οχήματος ή μιας φορητής συσκευής όπως ένα laptop, PDA ή υπολογιστής παιχνιδιών. Ένα OBU είναι τουλάχιστον εξοπλισμένο με την (περιορισμένου φάσματος) ασύρματη συσκευή επικοινωνίας που αφιερώνεται για την οδική ασφάλεια, και ενδεχομένως με άλλες προαιρετικές συσκευές επικοινωνίας. Πρωταρχικός ρόλος ενός RSU είναι η βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Ένα RSU μπορεί να συνδεθεί με ένα δίκτυο υποδομής, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να συνδεθεί με το Διαδίκτυο. Κατά συνέπεια, το RSUs μπορεί να επιτρέψει στα OBUs να έχουν πρόσβαση στην υποδομή. Ένα OBU μπορεί επίσης επικοινωνήσει με τους κόμβους ή τους κεντρικούς υπολογιστές Διαδικτύου μέσω των καυτών σημείων (HS – Hot Spots). Σε περίπτωση που κανένας RSUs ούτε τα HS παρέχουν την πρόσβαση Διαδικτύου, τα OBUs μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν τις ικανότητες επικοινωνίας των κυψελοειδών ραδιοδικτύων εάν είναι ενσωματωμένοι στο OBU, και ιδιαίτερα για τις μη-ασφάλεις εφαρμογές.

Μια απλουστευμένη έκδοση της λίστας πρωτοκόλλου εμφανίζεται στο σχήμα 36. Αυτή η στοίβα κανονικοποιείται από την ευφυή ομάδα εργασίας συστημάτων μεταφορών ΤΟΥ (Intelligent Transport Systems -ITS) [62]. Η λίστα πρωτοκόλλου είναι παρόμοια με μια στοίβα διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων (OSI). Το στρώμα «πρόσβασης» αντιπροσωπεύει τα στρώματα 1 και 2, που παρέχουν την πρόσβαση σε ένα φυσικό δίκτυο. Το στρώμα «δικτύωσης & μεταφορών» αντιπροσωπεύει τα στρώματα 3 και 4, που παρέχουν τη δρομολόγηση και παράδοση των στοιχείων. Το στρώμα «εγκαταστάσεων» αντιπροσωπεύει τα στρώματα 5, 6 και 7, παρέχοντας τη διαχείριση περιόδου επικοινωνίας για να κρύψει την επικοινωνία, τις διασπάσεις και τυχόν καθυστερήσεις. Το στρώμα περιόδου επικοινωνίας παρέχει τις λειτουργίες παρόμοιες με αυτές του στρώματος δεσμών στη στοίβα DTN.



Σχήμα 36 : Intelligent Transport Systems

Ένα σύνολο εφαρμογών προβλέπεται από τα C2C-CC [61] για τη βελτίωση της ασφαλούς οδήγησης, της αποδοτικότητας του δικτύου και της κυκλοφορίας του δικτύου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι : η συνεταιριστική προειδοποίηση σύγκρουσης, που παρέχει βοήθεια στον οδηγό ώστε να αποφύγει τις συγκρούσεις, όπως να ενεργοποιήσει τους αερόσακους πριν τη συντριβή, η ανακοίνωση επικίνδυνης θέσης, να μεταδώσει πληροφορίες που καθιστούν μία θέση επισφαλής (όπως λακκούβες, ολισθηρό οδόστρωμα κλπ), πληροφορίες για αναμενόμενες καθυστερήσεις ή τις καλύτερες διαδρομές, χρήση των φαναριών ώστε ο οδηγός να έχει τη βέλτιστη διαδρομή. Ακόμα, η πρόσβαση στο Διαδίκτυο, δίνει τη δυνατότητα σε εφαρμογές οι οποίες είναι στενά συνδεδεμένες με την IP, όπως για παράδειγμα πληροφορίες για τοπικές επιχειρήσεις, πιθανά σημεία ενδιαφέροντος, ακόμα και πιθανά τουριστικά αξιοθέατα.

Η Tom-Tom HD-πλοήγηση [63] και η εφαρμογή του συστήματος πληροφορίας κυκλοφορίας είναι ήδη διαθέσιμη σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες. Αν και κανένα πρωτόκολλο DTN δεν χρησιμοποιείται, είναι ένα παράδειγμα σε σχεδόν πραγματικού χρόνου τροχαίου συστήματος πληροφοριών. Το Tom-Tom χρησιμοποιεί ένα αμφίδρομο κανάλι επικοινωνίας GPRS για να παραδώσει την πληροφορία κυκλοφορίας και άλλα σχετικά μηνύματα στο όχημα κάθε τρία λεπτά. Αυτές οι πληροφορίες δίνουν μια ακριβή εκτίμηση των χρόνων ταξιδιού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιλέξει έτσι και ο οδηγός τη γρηγορότερη διαδρομή.

Η τεχνολογία συλλογής δεδομένων κυκλοφορίας πυρήνων βασίζεται στην κυψελωτή μετάδοση των τηλεφωνικών δεδομένων (Cellular Floating Phone Data-CFCD) του συστήματος χρησιμοποιώντας ως σήμα στοιχεία από το δίκτυο χειριστών GSM, το οποίο

ενισχύεται από τα GPS-based στοιχεία ελέγχου μαζί με τα συμβατικά στοιχεία που ανιχνεύονται τοπικά από τρίτους όπως τις τοπικές αρχές. Το CFCD είναι βασισμένο στις αλλαγές του συγχρονισμού στις τιμές μέτρησης ενώ ένα GSM είναι σε μια ενεργό κλήση διαρκώς.

Αναμένεται ότι, στο μέλλον, τα αυτοκίνητα θα επικοινωνούν σε τέτοιο επίπεδο όπου θα επιτρέπει ένα πλούσιο σύνολο εφαρμογών. Οι προκλήσεις εμφανίζονται σε όλα τα στρώματα πρωτοκόλλου, από το φυσικό στρώμα μέχρι το στρώμα εφαρμογής. Δεδομένου ότι οι κόμβοι είναι κινητοί, η χρήση των ανεκτικών μηχανισμών καθυστέρησης πρωτοκόλλων αποτελεί έναν παράγοντα που πρέπει να εξεταστεί εκτενώς.

5.4.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Ο πίνακας 5-2 συνοψίζει τα βασικά χαρακτηριστικά των προγραμμάτων. Για κάθε πρόγραμμα, ο βασικός τομέας εφαρμογής είναι υποδειγμένος. Τα περισσότερα προγράμματα εστιάζουν στις εφαρμογές Διαδικτύου όπως ο Ιστός και το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, ενώ λίγοι έχουν τις συγκεκριμένες εφαρμογές οχημάτων. Η λίστα πρωτοκόλλου και τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται παρατίθενται επίσης. Τα περισσότερα προγράμματα χρησιμοποιούν μια πρότυπη στοίβα DTN, ενώ άλλα έχουν δευτερεύουσες τροποποιήσεις σε αυτήν την στοίβα. Η δρομολόγηση και τα πρωτόκολλα θα συζητηθούν περαιτέρω στην παρακάτω παράγραφο.

TABLE II
VDTN PROJECT'S CHARACTERISTICS.

Project	Applications	Protocol Stack	Routing Protocol
KioskNet [48]	Internet access for rural sites	DTN standard stack	Epidemic
DieselNet [49]	Internet access for buses	DTN standard stack	MaxProp, RAPID, or others
VDTN [51]	Internet access for vehicles	Bundle layer below network layer. Separate data and control planes	Epidemic, Spray-and-wait or others
CarTel [55]	Detection of road pavement defects	Mule adaptation layer below network layer	Static, Epidemic
EMMA [56]	Pollution measurements, Traffic information	DTN standard stack	Epidemic
Drive-Thru Internet [57]	E-mail, Web browsing	Session layer above the transport layer	Through infrastructure
CONDOR [59]	Email, Web browsing, IRC, Voice mail	DTN standard stack	Static
C2C-CC [61]	Safety, Traffic Efficiency, Infotainment	Standard OSI stack	Geographic routing
TomTom [63]	Navigation, Traffic information	GSM	Through infrastructure

Πίνακας 5-2 : Βασικά χαρακτηριστικά.

Δυστυχώς, τα περισσότερα προγράμματα VANET δεν εξετάζουν τη χρήση από τις έννοιες DTN, δεδομένου ότι θα αύξαναν βεβαίως την αποδοτικότητα της επικοινωνίας [64],[65],[66]. Εντούτοις, καθώς η διαφορά είναι μόνο στο επίπεδο λογισμικού, αναμένεται

ότι στο μέλλον περισσότερα προγράμματα θα περιλάβουν τις ικανότητες DTN για να βελτιστοποιηθεί η χρήση των περιορισμένων ευκαιριών επαφών μεταξύ των οχημάτων και μείωση στη χρήση των επικοινωνιών υποδομής.

Η αρχιτεκτονική και τα πρωτόκολλα DTN [1],[4] έχουν αποδειχθεί χρήσιμες τεχνολογίες για VDTNs. Η χρήση των MULE κόμβων [45], οι οποίοι κινούν τα στοιχεία από μια θέση προς άλλη, και των relay κόμβων [46], οι οποίοι καταχωρούν τα στοιχεία για την πιο καθυστερημένη παράδοση στη διάβαση από τα οχήματα, μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητα του διά-οχήματος σε μη πραγματικού χρόνου επικοινωνίες [47].

Προγράμματα όπως KioskNet [48] ήταν πρωτοπόρα στο να δείξουν ότι οι θεωρητικές έννοιες DTN μπορεί να είναι αποτελεσματικά χρήσιμες στην πράξη. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης (Routing Protocols) [67] διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στην παράδοση από τα στοιχεία στους προοριζόμενους κόμβους. Οι τυποποιημένες επικοινωνίες οχημάτων πραγματοποιούνται μέσα στα C2C-CC [61], αλλά ακόμα δεν συμπεριλαμβάνουν μηχανισμούς DTN.

5.5 ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

Τα VDTNs αντιμετωπίζουν διάφορα ζητήματα και προκλήσεις όπως αρχιτεκτονική δικτύου, σχέδιο και τυπολογία κόμβων, αλληλεπιδράσεις και συνεργασία, τοπολογία δικτύων, πρότυπο κινητικότητας, σχεδιασμός πακέτων, καθορισμός προτεραιοτήτων, προσαρμοστές στρώματος σύγκλισης, δρομολόγηση πρωτόκολλων, μορφή δεσμών, μηχανισμοί αποθήκευσης, ασφάλεια και υποστηριγμένες εφαρμογές. Σε αυτή την παράγραφο θα παρουσιαστούν τα περισσότερα σημαντικά.

5.5.1 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ (Routing)

Το πρωτόκολλο δεσμών δεν περιγράφει πώς να ιδρυθούν διαδρομές μεταξύ των κόμβων, αλλά ασχολείται μόνο με τη διαβίβαση. Εντούτοις, υπάρχει πλήθος αριθμός μελετών για τα εφαρμόσιμα πρωτόκολλα δρομολόγησης που βασίζονται σε διαφορετικά σχέδια, όπως τα σχέδια χρησμού, επιδημικά σχέδια και σχέδια εκτίμησης [67](βλ [67],[68]). Μερικά χαρακτηριστικά σχέδια δρομολόγησης είναι συνοψισμένα παρακάτω.

Ένα πολύ απλό πρωτόκολλο είναι άμεση παράδοση (Direct Delivery), στην οποία ο κόμβος που περιέχει ένα μήνυμα, το φέρνει ώσπου να συναντήσει τον τελικό του προορισμό.

Στην δρομολόγηση Πρώτης Επαφής (First Contact Routing) τα μηνύματα δεν αντιγράφονται και ακολουθούν τυχαίες διαδρομές.

Στην επιδημική δρομολόγηση (Epidemic Routing) [70] οι κόμβοι συνεχώς αντιγράφουν και μεταδίδουν μηνύματα σε νέους κόμβους, οι οποίοι δεν έχουν αποκτήσει ακόμα αντίγραφο του μηνύματος που μεταδίδουν. Για να επιτευχθεί αυτό, οι κόμβοι διατηρούν στο buffer τα μηνύματα ακόμα και αν δεν υπάρχει ολοκληρωμένη διαδρομή μέχρι τον τελικό προορισμό. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δημιουργούνται πολλά αντίγραφα μηνυμάτων, τα οποία δεν βοηθούν ιδιαίτερα στη μετάδοση, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η χρήση δικτυακών πόρων (αποθήκευση, ισχύς επεξεργασίας, αυξημένο overhead ratio) για ανούσια παραγωγή και αποθήκευση εγγράφων.

Η Spray-and-Wait δρομολόγηση [69] είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης δικτύων ανεκτικών σε καθυστερήσεις το οποίο παρουσιάστηκε το 2005 και έχει υλοποιηθεί από το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια. Επιτυγχάνει αποδοτική διαχείριση των δικτυακών πόρων θέτοντας ένα όριο n στο μέγιστο επιτρεπτό αριθμό αντιγράφων ανά μήνυμα. Το πρωτόκολλο αποτελείται από δύο φάσεις : στην πρώτη φάση (spray) και στη δεύτερη φάση (wait). Μόλις ένα ενιαίο αντίγραφο αφήνεται, διαβιβάζεται μόνο στον τελικό παραλήπτη. Στην φάση spray το αρχικό μήνυμα διοχετεύει στο δίκτυο ένα αντίγραφο σε ξεχωριστά relays. Όταν κάποιο relay λαμβάνει κάποιο αντίγραφο, τότε εισερχόμαστε στη φάση της αναμονής (wait), όπου το

μήνυμα διατηρείται εκεί μέχρι να εντοπιστεί ο κόμβος προσδιορισμού του δικτύου. Έχει αποδειχθεί ότι το πρωτόκολλο αυτό εμφανίζει καλά επίπεδα στην επιτυχή μετάδοση μηνυμάτων, χωρίς πολλά hops, χωρίς υψηλό overhead ratio και χωρίς υπερβολικό αριθμό μηνυμάτων που κινούνται στο δίκτυο.

Το ProPhet (Probalistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity) [72] είναι άλλο ένα πρωτόκολλο πιθανολογικής δρομολόγησης. Βασίζεται στην υπόθεση ότι οι χρήστες δεν κινούνται και τόσο τυχαία όσο πιστεύεται, αλλά ακολουθούν καθημερινώς συγκεκριμένες διαδρομές οι οποίες μπορούν να προβλεφθούν. Επομένως, αν ένας κόμβος έχει επισκεφθεί μία περιοχή αρκετές φορές, τότε θεωρείται αρκετά πιθανό να την επισκεφθεί ξανά. Πλεονέκτημα του Prophet έναντι του Epidemic αποτελεί το μικρότερο overhead ratio και η κάπως υψηλότερη πιθανότητα παράδοσης καθώς τα μηνύματα αποστέλλονται σε 'καλούς' κόμβους με υψηλή πιθανότητα επικοινωνίας με τον τελικό προσδιορισμό σε αντίθεση με το epidemic που το στέλνει σε όποιον κόμβο συναντήσει.

Το MaxProp [65] είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης δικτύων ανεκτικών σε καθυστερήσεις και βασίζεται στην τεχνική της αντιγραφής και πολλαπλής αποστολής μηνυμάτων. Κάνει χρήση της προτεραιοποίησης των σημαντικών μηνυμάτων που πρέπει να μεταδοθούν πρώτα και το διαχωρισμό τους από αυτά που πρέπει να απορριφθούν.

Το RAPID (Resource Allocating Protocol for Intentional DTN Routing) [73] ακολουθεί και αυτό την τεχνική αντιγραφής και πολλαπλής μετάδοσης του MaxProp. Βασίζεται σε τέσσερα στάδια: την αρχικοποίηση, την απευθείας παράδοση (πακέτα που προορίζονται για άμεσα γειτονικούς κόμβους μεταδίδονται), την αντιγραφή (τα πακέτα αντιγράφονται σύμφωνα με την τιμή της οριακής χρησιμότητας) και τον τερματισμό (γίνεται όταν χάνεται η σύνδεση ή έχουν αντιγραφεί όλα τα πακέτα).

Το MORA (Multi Objective Robotic Assistance) [74], είναι ένα πρωτόκολλο παρόμοιο με το RAPID. Επιπρόσθετα, εισάγει και αυτόνομους πράκτορες οι οποίοι προσαρμόζουν την μετάδοση των πακέτων βασισμένοι στις ικανότητες και τις απαιτήσεις των δικτύων.

Το MaxProp και το RAPID αναπτύχθηκαν κάτω από το DieselNet πρόγραμμα. Το DieselNet και το VDTN έχουν χρησιμοποιήσει αρκετά πρωτόκολλα δρομολόγησης. Τα C2C-CC προβλέπουν χρήση της γεωγραφικής δρομολόγησης στην οποία η γεωγραφική θέση από τους κόμβους είναι γνωστή και χρησιμοποιείται για λόγους δρομολόγησης.

Υπάρχουν πολλά σχέδια δρομολόγησης για το ITS. Εντούτοις, μόνο μερικά εξετάζουν τα ανεκτικά σε καθυστερήσεις σενάρια [75]. Από αυτά, κάποια επιλέγουν μονοπάτια μέσω των πυκνότερων περιοχών, τα οποία όμως μπορούν να οδηγήσουν σε συμφόρηση. Άλλα καταχωρούν τα στοιχεία στους σταθερούς κόμβους, μέχρι να περάσει από ένα όχημα που πηγαίνει σε έναν επαρκή προορισμό, κάτι το οποίο μπορεί να διαρκέσει κάποιο χρόνο. Άλλα προσπαθούν να διαβιβάσουν τα στοιχεία στην κατεύθυνση προορισμού, το οποίο μπορεί επίσης να πάρει αρκετό χρόνο. Τέλος, άλλα συνδυάζουν τις πληροφορίες τροχιάς και τις στατιστικές κυκλοφορίας για να ανακαλύψουν το καλύτερο μονοπάτι, το οποίο σαν διαδικασία μπορεί να είναι σύνθετο.

Τρεις άλλες ερευνητικές προκλήσεις σχετικές με τη δρομολόγηση είναι βέλτιστη τοποθέτηση των κόμβων relay [76], η διαφοροποίηση της κυκλοφορίας [77] και ο έλεγχος συμφόρησης [1]. Το πρόβλημα βέλτιστης τοποθέτησης κόμβων relay είναι ένα NP-hard πρόβλημα. Έτσι, πρέπει να βρεθούν οι βέλτιστοι αλγόριθμοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να λύσουν το πρόβλημα. Η διαφοροποίηση κυκλοφορίας είναι ένα πρόβλημα σχεδιασμού για το οποίο μια απόφαση πρέπει να ληφθεί σχετικά με τις δέσμες διαβιβάζεται πρώτα, σε μια περιορισμένη χρονική επαφή μεταξύ των κόμβων και ποιά πρέπει να απορριφθεί πρώτα εάν έχει υπερκαλυφθεί ο χώρος αποθήκευσης. Η συμφόρηση εμφανίζεται όταν τα στοιχεία που κυκλοφορούν στο δίκτυο είναι πάρα πολλά και έτσι τα νέα στοιχεία δεν μπορούν αντιμετωπίζονται κατάλληλα. Διάφοροι μηχανισμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να μειωθεί η συμφόρηση, όπως ο σχεδιασμός πολιτικών, δυναμικός έλεγχος της έντασης των δεσμών, η χρήση ταυτοποίησης των κόμβων που πρέπει να μεταδοθούν και επομένως να διαγράφουν τα συσσωρευμένα αντίγραφα [65] και η επιλογή των λιγότερο κορεσμένων μονοπατιών σε επίπεδο δρομολόγησης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η απόδοση του μεγαλύτερου μέρους τα εισαχθέντα πρωτόκολλα δρομολόγησης εξαρτάται ιδιαίτερα από το επίπεδο συνεργασίας και αυτονομίας

των κόμβων. Εξορισμού, τα περισσότερα πρωτόκολλα υποθέτουν την πλήρη συνεργασία κόμβων και λίγη προσοχή έχει αφιερωθεί για να μελετηθεί η επίδραση των μειωμένων επιπέδων συνεργασίας. Στην πραγματικότητα, με τη εφαρμογή και τον ακριβή καθορισμό των μηχανισμών συνεργασίας, η απόδοση της δρομολόγησης μπορεί βελτιωθεί αρκετά [78].

5.5.2 ANYCAST ΚΑΙ MULTICAST ΔΙΑΝΟΜΗ

Το DTN θέμα της μονής και πολλαπλής διανομής δρομολόγησης είναι ακόμα σε μικρή κλίμακα μελετημένο. Το Anycast αναφέρεται στην παράδοση ενός μηνύματος σε οποιοδήποτε προορισμό από το σύνολο των μελών μιας ομάδας, ενώ η μετάδοση πολλαπλής διανομής κάνει το ίδιο πράγμα αλλά σε όλους τους προορισμούς μέσα στην ομάδα. Όταν η ομάδα προορισμού καθορίζεται από την γεωγραφική της θέση, είναι αποκαλούμενη ως geocast.

Μια επισκόπηση των μοντέλων πολλαπλής διανομής για DTNs παρουσιάζεται [79], αλλά κανένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο δεν προτείνεται. Μια σύγκριση της απόδοσης των διαφορετικών στρατηγικών δρομολόγησης πολλαπλής διανομής για DTNs δίνεται παρακάτω [80], [81]: ένας αλγόριθμος χρησιμοποιείται για να επιλέξει τις καλύτερες επαφές και πού να διαβιβαστούν οι δέσμες για να χτίσει ένα πολλαπλής διανομής δέντρο και να φθάσει στην ομάδα προορισμού. Εάν κανένα end-to-end μονοπάτι δεν βρεθεί, τότε ένα πλήρες δέντρο πολλαπλής διανομής δεν μπορεί να υπάρξει επίσης.

Κανένα από τα προγράμματα VDTN που περιγράφονται στην παράγραφο δεν ασχολείται με το μονής ή πολλαπλής διανομής. Τα C2C-CC προβλέπουν τρεις μεθόδους διανομής[61]. Τοπολογικά, η ραδιοφωνική μετάδοση χρησιμοποιείται για να διαβιβάσει τα στοιχεία στους κόμβους μέσα σε μια δεδομένη απόσταση από τον κόμβο-πηγή, μέσα μια καθορισμένη γεωγραφική περιοχή όπως ένα ορθογώνιο ή ένας κύκλος. Και τελικά, η γεωγραφικά-anycast μετάδοση είναι παρόμοια με την προηγούμενη μέθοδο, μόνο που το μήνυμα δεν διαβιβάζεται περαιτέρω από την περιοχή προορισμού. Το Geocast έχει μεγάλη σημασία στα VDTNs, καθώς είναι συχνά χρήσιμο για να διαδίδονται πληροφορίες έστω και μόνο τοπικά. Επιπλέον, επιτρέπει να υπάρχουν και διάφοροι περιορισμοί στην κατανάλωση των στοιχείων συμπεριφοράς.

5.5.3 Εφαρμογές και εξελιξιμότητα

Η εξελιξιμότητα των προτεινόμενων πρωτοκόλλων DTN ακόμα διερευνάται. Δεν υπάρχει ακόμα καμία επέκταση μεγάλης κλίμακας στα προτεινόμενα πρωτόκολλα DTNs, και όλες οι μελέτες για μεγάλο αριθμό κόμβων είναι αυτήν την περίοδο βασισμένες στις προσομοιώσεις. Η εξελιξιμότητα του δικτύου περιλαμβάνει επίσης τα ζητήματα για το πώς να διαχειριστεί αποτελεσματικά το δίκτυο και πώς να εξετάσει τα προβλήματα λειτουργικότητας όταν αναμειγνύονται διάφοροι χειριστές δικτύων.

Το πρόβλημα της εφαρμογής των στοιχείων στις δέσμες καλείται συσώρευση (bundling). Οι δέσμες πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερες για να ελαχιστοποιηθεί η παρουσία των RTTs διασπάσεων συνδέσεων. Εντούτοις, οι μεγάλες δέσμες μπορούν να απαιτήσουν περισσότερο χρόνο μετάδοσης από αυτόν που είναι διαθέσιμος σε σύντομες επαφές οχημάτων. Αυτό μπορεί να απαιτήσει τον τεμαχισμό, όποιος προκαλεί πρόσθετα γενικά έξοδα. Έτσι, ένας συμβιβασμός στο μέγεθος της δέσμης μπορεί να αποδειχθεί αποδοτικότερο μέτρο.

Εάν η εφαρμογή επιτρέπει την αποθήκευση των στοιχείων στο δίκτυο, για παράδειγμα την εφαρμογή Ιστού, η χρήση της δέσμης μπορεί να βελτιώσει την απόδοση [82] [83]. Έτσι, τα πρόσθετα αντίγραφα δεσμών που δημιουργούνται με τη δρομολόγηση των πρωτοκόλλων στις διαφορετικές θέσεις μπορούν να οδηγήσουν σε ένα πρόσθετο όφελος για τις εφαρμογές εάν οι μέθοδοι αποθήκευσης και ανάκτησης εφαρμόζονται.

5.5.4 Προσαρμοστής στρώματος σύγκλισης (Convergence Layer Adapter)

Μια έρευνα για τα συστήματα επικοινωνιών διά-οχημάτων και την κάλυψη των χαμηλότερων στρωμάτων παρουσιάζεται μέσα στο [84]. Τα IEEE 802.11p πρότυπα για τη MAC και το φυσικό στρώμα των τροχαίων δικτύων [85], παρέχουν μια βελτιστοποιημένη έκδοση Πρωτόκολλων WI-FI για τις επικοινωνίες των οχημάτων. Η σειρά επεκτείνεται μέχρι 1 χλμ. Τα ποσοστά στοιχείων κυμαίνονται από 3Mbit/s ως 27Mbit/s. Μια γρηγορότερη ένωση υποστηρίζεται στο στρώμα της MAC και το IEEE 1609.4 ενισχύει περαιτέρω το στρώμα της MAC με την προσφορά 7 διαφορετικών καναλιών και υποστηρίζει την ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service-QoS) με 4 επίπεδα προτεραιότητας. Ένα από τα κανάλια είναι ορισμένο για την αναμετάδοση πληροφοριών ασφάλειας.

Ενώ η λειτουργία ενός προσαρμοστή στρώματος σύγκλισης IEEE 802.11p φαντάζει φυσικό στο κοντινό μέλλον, οι αντίστοιχες αλληλεπιδράσεις με άλλες ενότητες και VDTN πρωτοκόλλων δεσμών είναι ακόμα σε ερευνητικό επίπεδο ενδιαφέροντος. Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας το λαμβανόμενο δείκτης δύναμης σημάτων (Received Signal Strength Indicator- RSSI) και τις πληροφορίες θέσης παρεχόμενα όλα από το GPS μπορεί να βοηθήσει τη διάρκεια των επαφών. Εάν είναι γνωστή η διάρκεια μιας επαφής, μπορεί να βοηθήσει στις αποφάσεις σχεδιασμού και τεμαχισμού των δεσμών. Επιπλέον, εάν πολλαπλοί κόμβοι είναι προσιτοί, μια απόφαση μπορεί να καθορίσει ποιά επαφή θα μεταδώσει πρώτη ή αν χρειάζεται να γίνει πολλαπλή μετάδοση από πολλούς κόμβους ταυτόχρονα.

Διάφορες ανεπάρκειες του UDP και του TCP προσδιορίστηκαν στην παράγραφο II. Για να εξεταστούν αυτές οι ανεπάρκειες [84], προτείνεται η χρήση πρωτοκόλλων μεταφορών για τις τροχαίες συγκοινωνίες ώστε να τροποποιηθεί το TCP. Μια εναλλακτική λύση είναι να εξεταστούν αυτές οι ανεπάρκειες στο στρώμα δεσμών, επάνω από τη μεταφορά πρωτόκολλου, όπως φαίνεται στην εικόνα [2]. Αυτό επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν ακόμη και διαφορετικά πρωτόκολλα μεταφορών για τα διαφορετικά τμήματα μνήμης μονοπατιών.

5.5.5 ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Η ασφάλεια είναι μια ανησυχία στα DTNs. Αυτό το ζήτημα χρονολογείται από την αρχική προέλευση IPN, στην οποία ήταν ανεπιθύμητη η έκθεση των διαστημικών επικοινωνιών σε ένα παρόμοιο επίπεδο απειλής που δοκιμάστηκε στο Διαδίκτυο. Όταν η έννοια IPN επεκτάθηκε σε επίγειο επίπεδο, για να δημιουργηθούν τα DTNs, η ανησυχία παρέμεινε επειδή είναι δύσκολο να κάνει στοιχειοθέτηση και ανασχηματισμό DTN κόμβων μετά από μια επιτυχή επίθεση. Οι περισσότερες μέθοδοι ασφάλειας δικτύων, κάνουν προσπάθειες να επικυρώσουν τις ταυτότητες των χρηστών και την ακεραιότητα των μηνυμάτων, αλλά δεν προσπαθούν να επικυρώσουν τους δρομολογητές που περιλαμβάνονται στη διαδικασία επικοινωνίας. Στα DTNs, οι δρομολογητές και οι πύλες πρέπει επίσης να επικυρωθούν, και πληροφορίες πομπών πρέπει να επιβεβαιωθούν με τη διαβίβαση των κόμβων. Με αυτόν τον τρόπο, η μεταφορά της απαγορευμένης κυκλοφορίας θα αποτρεπόταν με την πρώτη ευκαιρία. Μια μάλλον λεπτομερής συζήτηση σχετικά με DTN τα ζητήματα ασφάλειας μπορούν να βρεθούν [86], συμπεριλαμβανομένης μιας συζήτησης σχετικά με την καταλληλότητα των ανεκτικών βασικών διοικητικών σχεδίων καθυστέρησης για DTNs, το οποίο είναι ακόμα ένα από τα ανοικτά σημεία στην ασφάλεια DTN.

Η ασφάλεια σε DTN παρουσιάζει επίσης και μερικές ερευνητικές προκλήσεις. Η απαίτηση για τις εκτός ζώνης επαφές, είναι προβληματική σε DTNs. Ένα άλλο ζήτημα είναι η έλλειψη της ανεκτικής μεθόδου καθυστέρησης για τη βασική διαχείριση. Επίσης απουσιάζουν μέθοδοι για την προστασία του δικτύου ενάντια στην ανάλυση κυκλοφορίας,

όπως και μια ελλιπής είναι και κάποια μέθοδος για την εισαγωγή των νέων κόμβων στο δίκτυο χωρίς να επηρεάσει το επίπεδο ασφάλειας.

Από τα προγράμματα VDTN που περιγράφηκαν, μόνο το Kiosknet εξετάζει τα ζητήματα ασφάλειας. Το Kiosknet χρησιμοποιεί το Δείκτη Βασικής υποδομής (PKI) που υπογράφει και που κρυπτογραφεί διαβιβαζόμενα στοιχεία, καθώς επίσης και κρυπτογραφημένους εικονικούς τομείς δίσκων που αποτρέπουν αναρμόδια πρόσβαση στα καταχωρημένα στοιχεία. Τα c2c-CC προβλέπουν επίσης τη χρήση μιας υποδομής πιστοποίησης PKI για την ασφαλή επικοινωνία μεταξύ των κόμβων.

5.5.6 ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ

Η αποτελεσματική λειτουργία των δικτύων VDTN στηρίζεται στη συνεργασία των κόμβων. Στην πραγματικότητα, το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας για αυτά τα δίκτυα υποθέτει ότι κόμβοι είναι πλήρως συνεταιριστικοί (δηλαδή ότι συνεργάζονται με μεταξύ τους). Μια τέτοια συμπεριφορά, όπου προβλέπει μία από κοινού δρομολόγηση με πολλαπλά αντίγραφα, αυξάνει τον αριθμό των πιθανών μονοπατιών μετάδοσης, βελτιώνοντας έτσι κατά συνέπεια την ελαχιστοποίηση της ύπαρξης των ανούσιων μεμονωμένων κόμβων.

Εντούτοις, αυτή η υπόθεση μπορεί να μην είναι και τόσο ρεαλιστική. Οι κόμβοι του δικτύου μπορούν να παρουσιάσουν εγωιστική συμπεριφορά, που προκαλείται από διάφορους λόγους, όπως οι περιορισμοί των στοιχείων συμπεριφοράς (π.χ., αποθήκευση και ενέργεια) ή κακόβουλη συμπεριφορά. Αυτό μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στην απόδοση δικτύων.

Μια λεπτομερής συζήτηση σχετικά με τα ζητήματα συνεργασίας VDTN [87], θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει και την αναθεώρηση της κατάστασης προόδου του πεδίου. Έτσι, ενισχύεται η ανάγκη για την ανάπτυξη ενός μηχανισμού κινήτρου που θα μπορεί να ενεργεί σαν βάση για την επίτευξη της συνεργασίας αυτών των δικτύων.

5.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Τα πρότυπα δίκτυα για το MAC και τα φυσικά στρώματα είναι ολοκληρωμένα. Εντούτοις, το στρώμα δικτύων για τα ανώτερα στρώματα είναι ακόμα σε ερευνητική φάση. Η αρχιτεκτονική DTN και του πρωτοκόλλου δεσμών έχει τυποποιηθεί. Αν και μερικές πτυχές είναι ακόμα ανεξερεύνητες, οι βασικές έννοιες έχουν ήδη επιτυχώς χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στα τροχαία δίκτυα και σε άλλες εφαρμογές.

Τα DTNs εισάγουν ένα παράδειγμα που εκτελεί καλύτερα και με λιγότερες χρήσεις στοιχεία συμπεριφοράς. Το στρώμα δεσμών στο εσωτερικό δίκτυο απαριθμεί και βελτιώνει την παράδοση μηνυμάτων σε αναλογία με τις περιβαλλοντικές προκλήσεις κάθε φορά.

Η περιοχή DTN παρουσίασε αυξανόμενο ενδιαφέρον τα προηγούμενα έτη και αναμένεται ότι η χρήση των εννοιών του για τα τροχαία δίκτυα θα αυξηθεί ακόμα περισσότερο στο κοντινό μέλλον. Τα VDTN είναι ένας αναδυόμενος τομέας της έρευνας με έναν μεγάλο αριθμό πρακτικών εφαρμογών. Με την παροχή των ικανοτήτων DTN σε τροχαίο δίκτυα, νέες προκλητικές καταστάσεις του τροχαίου δικτύου τα μπορούν να υπερνικηθούν, όπως αραιή συνδεσιμότητα, μεταβλητές καθυστερήσεις, υψηλά ποσοστά σφάλματος και μη ύπαρξη από end-to-end μονοπατιού.

Διάφορα προγράμματα VDTN παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Αυτά τα προγράμματα έχουν αποδείξει ότι η μετακίνηση των οχημάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να φέρει στοιχεία από μια θέση σε άλλη. Αυτό μπορεί αφενός να επιφέρει πολύ πιο αργό αποτέλεσμα σε σχέση με τις ενσύρματες ή ασύρματες μεταδόσεις, αλλά αφετέρου μπορεί να παρέχει οικονομικώς αποδοτική υποστήριξη για σε μη-πραγματικού χρόνου εφαρμογές. Τα προγράμματα παρουσίασαν τις διάφορες ερευνητικές προκλήσεις που περιγράφηκαν. Η χρήση από προηγμένους μηχανισμούς δρομολόγησης, ο σχεδιασμός, η διαφοροποίηση της κυκλοφορίας, ο εντοπισμός κόμβων, οι μηχανισμοί αποθήκευσης και άλλοι ρυθμιστικοί παράγοντες μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην απόδοση και στη λειτουργία των VDTNs.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] K. Fall and S. Farrell, "DTN: An Architectural Retrospective", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 26, no. 5, pp. 828-836, June 2008.
- [2] D. Waitzman, "A Standard for the Transmission of IP Datagrams on AviaCarriers", *IETF, RFC 1149*, April 1, 1990.
- [3] IP over Avian Carriers, [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/ IP over Avian Carriers](http://en.wikipedia.org/wiki/IP_over_Avian_Carriers)
- [4] Delay Tolerant Networking Research Group. <http://www.dtnrg.org/wiki>
- [5] V. Cerf et al., "Delay Tolerant Network Architecture", *IETF, RFC 4838*, April 2007.
- [6] K. Scott and S. Burleigh, "Bundle Protocol Specification", *IETF, RFC 5050*, November 2007.
- [7] S. Burleigh, A. Hooke, L. Torgerson, K. Fall, V. Cerf, B. Durst, K. Scott, and H. Weiss, "Delay-Tolerant Networking: An Approach to Interplanetary Internet", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 41, no. 6, pp. 128- 136, June 2003.
- [8] InterPlaNetary (IPN) Internet project. [Online]. Available: <http://www.ipnsig.org/>
- [9] M. Allman et al., "Enhancing TCP Over Satellite Channels using Standard Mechanisms", *IETF, RFC 24 88*, January 1999.
- [10] M. Allman et al., "Enhancing TCP Over Satellite Channels using Standard Mechanisms", *IETF, RFC 2760*, February 2000.
- [11] Consultative Committee for Space Data Systems. <http://public.ccsds.org/>
- [12] M. Ramadas, S. Burleigh and S. Farrell, "Licklider Transmission Protocol - Specification", *IETF RFC 5326*, September 2008.
- [13] R. Wang, T. Taleb, A. Jamalipour, B. Sun, "Protocols for Reliable Data Transport in Space Internet", *IEEE Commun. Surveys Tutorials*, vol. 11, no. 2, pp. 21-32, 2009.
- [14] S. Farrell and V. Cahill, "Evaluating LTP-T: A DTN-Friendly Transport Protocol", *Int. Workshop on Satellite and Space Communications, (IWSSC '07)*, pp. 178-181, Salzburg, Austria, Sept. 2007.
- [15] O. Akan, J. Fang and I. Akyildiz, "TP-Planet: A New Transport Protocol for InterPlanetary Internet", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 22, no. 2, pp. 348-361, Feb. 2004.
- [16] G. Papastergiou, I. Psaras, V. Tsaoussidis, "Deep-Space Transport Protocol: A novel transport scheme for Space DTNs", *Computer Communications*, vol. 32, no. 16, pp. 1757-1767, Oct. 2009.
- [17] J. Partan, J. Kurose, and B. N. Levine, "A Survey of Practical Issues in Underwater Networks", in *1st ACM International Workshop on Underwater Networks, in conjunction with ACM MobiCom 2006*, Los Angeles, California, USA, Sep. 25, 2006, pp. 17 - 24.
- [18] P. Juang, H. Oki, Y. Wang, M. Martonosi, L. S. Peh, and D. Rubenstein, "Energy-Efficient Computing for Wildlife Tracking: Design Tradeoffs and Early Experiences with ZebraNet", *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, vol. 36, no. 5, pp. 96-107, 2002.

- [19] T. Small and Z. J. Haas, "The Shared Wireless Infostation Model – A New Ad Hoc Networking Paradigm (or Where there is a Whale, there is a Way)", in *4th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc 2003)*, Annapolis, MD, USA, June 1-3, 2003.
- [20] UMass Diverse Outdoor Mobile Environment (DOME) project, "UMass TurtleNet", [Online]. Available: <http://prisms.cs.umass.edu/dome/turtlenet>.
- [21] R. Sherwood and S. Chien, "Sensor Webs for Science: New Directions for the Future", in *AIAA Infotech@Aerospace 2007*, Rohnert Park, CA, May 7-10, 2007.
- [22] N4C and eINCLUSION, "Networking for Communications Challenged Communities: Architecture, Test Beds and Innovative Alliances", [Online]. Available: <http://www.n4c.eu/>.
- [23] Wizzy Digital Courier, "Wizzy Digital Courier - leveraging locality", [Online]. Available: <http://www.wizzy.org.za/>.
- [24] A. Pentland, R. Fletcher, and A. Hasson, "DakNet: Rethinking Connectivity in Developing Nations", in *IEEE Computer*, vol. 37, 2004, pp. 78-83.
- [25] A. Doria, M. Uden, and D. P. Pandey, "Providing Connectivity to the Saami Nomadic Community", in *2nd International Conference on Open Collaborative Design for Sustainable Innovation*, Bangalore, India, December, 2002.
- [26] A. Seth, D. Kroeker, M. Zaharia, S. Guo, and S. Keshav, "Low-cost Communication for Rural Internet Kiosks Using Mechanical Backhaul", in *12th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2006)*, Los Angeles, CA, USA, September 24- 29, 2006, pp. 334-345.
- [27] United Villages, Inc., "First Mile Solutions", [Online]. Available: <http://www.firstmilesolutions.com/>.
- [28] Tetherless Computing Lab - University of Waterloo, "The KioskNet Project", [Online]. Available: <http://blizzard.cs.uwaterloo.ca/tetherless/index.php/KioskNet>.
- [29] N. Glance, D. Snowdon, and J.-L. Meunier, "Pollen: Using People as a Communication Medium", *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, vol. 35, no. 4, pp. 429-442, March 2001.
- [30] J. Jormakka, H. Jormakka, and J. Väre, "A Lightweight Management System for a Military Ad Hoc Network", in *Lecture Notes in Computer Science, vol. 5200/2008: Springer Berlin / Heidelberg*, 2008, pp. 533- 543.
- [31] M. Asplund, S. Nadjm-Tehrani, and J. Sigtholm, "Emerging Information Infrastructures: Cooperation in Disasters", in *Lecture Notes in Computer Science, Critical Information Infrastructure Security*, vol. 5508/2009: Springer Berlin / Heidelberg, 2009, pp. 258-270.
- [32] DTN Code. [Online]. <http://www.dtnrg.org/wiki/Code>
- [33] ION (Interplanetary Overlay Network). [Online]. Available: <https://ion.ocp.ohiou.edu/>
- [34] A. Keränen, T. Kärkkäinen and J. Ott, "Simulating Mobility and DTNs with the ONE", *Journal of Communications*, vol. 5, no. 2, pp. 92-105, Feb. 2010.

- [35] The ONE. [Online]. Available: <http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/>
- [36] J. Harri, F. Filali and C. Bonnet, "Mobility Models for Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey and Taxonomy", *IEEE Commun. Surveys Tutorials*, vol. 11, no. 4, pp. 19-41, 2009.
- [37] S. Y. Wang and C. L. Chou, "NCTUns Tool for Wireless Vehicular Communication Network Researches", *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 17, no. 7, pp. 1211-1226, Aug. 2009.
- [38] NCTUns. [Online]. Available: <http://nsl.csie.nctu.edu.tw/nctuns.html>
- [39] F. Martinez, C. Toh, J. Cano, C. Calafate, P. Manzoni, "A survey and comparative study of simulators for vehicular ad hoc networks (VANETs)", *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2009
- [40] F. Gil-Castiñeira, F. J. González-Castaño and L. Franck, "Extending Vehicular CAN Fieldbuses With Delay-Tolerant Networks", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 9, pp. 3307-3314, Sep. 2009.
- [41] M. Zhang and R. S. Wolff, "Routing Protocols for Vehicular Ad Hoc Networks in Rural Areas", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, no. 11, pp. 126-131, Nov. 2008.
- [42] M. Zhang and R. S. Wolff, "A Border Node Based Routing Protocol for Partially Connected Vehicular Ad Hoc Networks", *Journal of Communications*, Academy Publisher, vol. 5, no. 2, pp. 130-143, February 2010.
- [43] N. Wisitpongphan, F. Bai, P. Mudalige, V. Sadekar and O. Tonguz, "Routing in Sparse Vehicular Ad Hoc Wireless Networks", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 25, no. 8, pp. 1538-1556, October 2007.
- [44] M. Rubinstein et al, "Measuring the Capacity of In-Car to In-Car Vehicular Networks", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 11, pp. 128- 136, Nov. 2009.
- [45] R. C. Shah, S. Roy, S. Jain, W. Brunette, "Data MULEs: modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks", *1st IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications*, pp. 30-41, Anchorage, AK, USA, May. 2003.
- [46] V. Soares, F. Farahmand and J. Rodrigues, "Improving Vehicular Delay-Tolerant Network Performance with Relay Nodes", *5th EuroNGI Conference on Next Generation Internet Networks (NGI'2009)*, Aveiro, Portugal, July 1-3, Jul. 2009.
- [47] T. Willke, P. Tientrakool, N. Maxemchuk. "A Survey of Inter-Vehicle Communication Protocols and Their Applications", *IEEE Commun. Surveys Tutorials*, vol. 11, no. 2, pp. 3-20, 2009.
- [48] S. Guo, M. H. Falaki, E. A. Oliver, S. Rahman, A. Seth, M. A. Zaharia and S. Keshav, "Very Low-Cost Internet Access Using KioskNet", *ACM Computer Communication Review*, Oct. 2007.
- [49] H. Soroush, N. Banerjee, A. Balasubramanian, M. D. Corner, B. N. Levine and B. Lynn, "DOME: A Diverse Outdoor Mobile Testbed", *Proc. ACM Intl. Workshop on Hot Topics of Planet-Scale Mobility Measurements (HotPlanet)*, June 2009.

- [50] A. Balasubramanian, B. N. Levine and A. Venkataramani, "Enabling Interactive Web Applications in Hybrid Networks", *Proc. ACM Mobicom*, pp. 70-80, Sep. 2008.
- [51] V. Soares, F. Farahmand and J. Rodrigues, "A Layered Architecture for Vehicular Delay-Tolerant Network", *IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2009)*, Sousse, Tunisia, July 5-8.
- [52] Y. Chen, C. Qiao and X. Yu, "Optical Burst Switching: A New Area in Optical Networking Research", *IEEE Network*, vol. 18. No. 3, pp. 16-23, May 2004.
- [53] J. Dias, J. Isento, B. Silva, V. Soares, P. Salvador, A. Nogueira and J. Rodrigues, "Creation of a Vehicular Delay-Tolerant Network Prototype", *Engenharia'2009 - Inovac, 3o e Desenvolvimento*, UBI, Covilhã, Portugal, Nov. 2009.
- [54] CarTel Project. [Online]. Available: <http://cartel.csail.mit.edu/>
- [55] B. Hull, V. Bychkovsky, K. Chen, M. Goraczko, A. Miu, E. Shih, Y. Zhang, H. Balakrishnan and S. Madden, "CarTel: A Distributed Mobile Sensor Computing System", in *Proc. Fourth Int. Conf. Embedded Netw. Sens. Systems (SenSys'06)*, pp. 125-138, Oct. 2006.
- [56] S. Lahde, M. Doering, W. Pottner, G. Lammert and L. Wolf, "A practical analysis of communication characteristics for mobile and distributed pollution measurements on the road", *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 7, no. 10, pp. 1209-1218, Dec. 2007.
- [57] Jörg Ott, Dirk Kutscher, "From Drive-thru Internet to Delay-tolerant Ad-hoc Networking", *Book chapter in "Mobile Ad-hoc Networks: From Theory to Reality"*, Nova Science Publishers, Inc., 2007.
- [58] J. Border, M. Kojo, J. Griner, G. Montenegro, Z. Shelby, "Performance Enhancing Proxies Intended to Mitigate Link-Related Degradations", *IETF RFC 3135*, June 2001
- [59] K. Scott, "Disruption tolerant networking proxies for on-the-move tactical networks", *Military Communications Conference, MILCOM 2005*, vol. 5, pp. 3226-3231.
- [60] Y. Toor, P. Muhlethaler, A. Laouiti, A. de la Fortelle, "Vehicle Ad Hoc Networks: Applications and Related Technical Issues", *IEEE Commun. Surveys Tutorials*, vol. 10, no. 3, pp. 74-88, 2008.
- [61] Car 2 Car Communication Consortium Manifesto. Overview of the C2CCC System, 2007. [Online]. Available: <http://www.car-2-car.org/>
- [62] Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture; ETSI EN 302 665, v1.1.1, September 2010.
- [63] White paper, "How TomTom's HD Traffic and IQ Routes data provides the very best routing", [Online]. Available: <http://www.tomtom.com/>
- [64] L. Franck and F. Gil-Castineira, "Using Delay Tolerant Networks for Car2Car Communications", *IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2007*, pp. 2573-2578, Vigo, Spain, June 2007.
- [65] J. Burgess, B. Gallagher, D. Jensen, and B.N. Levine, "MaxProp: routing for vehicle-based disruption-tolerant network", in *25th IEEE INFOCOM Conference*, pp. 1688-98, Barcelona, Spain, Apr. 2006.

- [66] V. Cabrera, F. J. Ros and P. M. Ruiz, "Simulation-based Study of Common Issues in VANET Routing Protocols", *IEEE 69th Vehicular Technology Conference, VTC2009-Spring*, Barcelona, Spain, April 2009.
- [67] Z. Zhang, "Routing in Intermittently Connected Mobile Ad Hoc Networks and Delay Tolerant Networks: Overview and Challenges", *IEEE Commun. Surveys Tutorials*, vol. 8, no. 1, pp. 24-37, 2006.
- [68] M. Khabbaz, C. Assi, W. Fawaz, "Disruption-Tolerant Networking: A Comprehensive Survey on Recent Developments and Persisting Challenges", Accepted for publication in *IEEE Commun. Surveys Tutorials*.
- [69] F. Tchakountio and R. Ramanathan, "Tracking Highly Mobile Endpoints", *ACM Workshop Wireless Mobile Multimedia (WoWMoM)*, Rome, Italy, July 2004.
- [70] A. Vahdat and D. Becker, "Epidemic Routing for Partially Connected Ad Hoc Networks", Tech. Rep. CS-200006, Department of Computer Science, Duke University, Durham, NC, 2000.
- [71] Q. He, Y. Li, and X. Fan, "A Study on Buffer Efficiency and Surround Routing Strategy in Delay Tolerant Network", in *Proc. 2009 International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing (DASC 2009)*, pp. 566-570, Chengdu, China, Dec. 2009
- [72] A. Lindgren, A. Doria and O. Schelen, "Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks", in *Proc. First Int. Workshop on Service Assurance with Partial and Intermittent Resources*, pp. 239-254, Fortaleza, Brazil, Sep. 2004.
- [73] A. Balasubramanian, B.N. Levine, and A. Venkataramani, "DTN routing as a resource allocation problem", *ACM Computer Communication Review*, vol. 37, no. 4, pp. 373-384, Oct. 2007.
- [74] B. Burns, O. Brock, and B.N. Levine, "MORA Routing and Capacity Building in Disruption-Tolerant Networks", *Ad Hoc Networks*, Elsevier, vol. 6, no. 4, pp. 600-620, June 2008.
- [75] G. Karagiannis, O. Altintas, E. Ekici, G. Heijenk, B. Jarupan, K. Lin, T. Weil, "Vehicular Networking: A Survey and Tutorial on Requirements, Architectures, Challenges, Standards and Solutions", Accepted for publication in *IEEE Commun. Surveys Tutorials*.
- [76] F. Farahmand, I. Cerutti, A. N. Patel, J. P. Jue and J. Rodrigues, "Performance of vehicular delay-tolerant networks with relay nodes", *Wireless Communications and Mobile Computing Journal*, 2009; 9:1-11.
- [77] V. Soares, F. Farahmand and J. Rodrigues, "Scheduling and Drop Policies for Traffic Differentiation on Vehicular Delay-Tolerant Networks", 17th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM 2009), Croatia, September 24-26, 2009.
- [78] A. Panagakis, A. Vaios, and I. Stavrakakis, "On the Effects of Cooperation in DTNs", in *Proc. 2007 2nd Int. Conf. on Communication System Software, Middleware and Workshops*, pp. 749-754, Bangalore, India, Jan. 2007.
- [79] W. Zhao, M. Ammar, E. Zegura, "Multicasting in Delay Tolerant Networks: Semantic Models and Routing Algorithms", *Proc. SIGCOMM'05*, Aug. 2005.

- [80] Q. Ye, L. Cheng, M. C. Chuah, B. Davison, "Performance comparison of different multicast routing strategies in disruption tolerant networks", *Computer Communications*, vol. 32, pp.1731-1741, Elsevier, 2009.
- [81] J. Santiago, A. Casaca, P. R. Pereira, "Multicast in Delay Tolerant Networks using Probabilities and Mobility Information", *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, An International Journal*, vol. 7, no. 1-2, pp. 51-68, 2009.
- [82] B. Silva, F. Farahmand, J. Rodrigues, "Performance Assessment of Caching and Forwarding Algorithms for Vehicular Delay Tolerant Networks", *Proceedings IEEE Globecom'2010*, Dec. 2010.
- [83] J. Ott and M. Pitk"anen, "DTN-based Content Storage and Retrieval", *IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM 2007) - First IEEE Workshop on Autonomic and Opportunistic Communications (AOC 2007)*, Helsinki, Finland, June 18-21, 2007.
- [84] M. Sichitiu, M. Kihl, "Inter-Vehicle Communication Systems: A Survey", *IEEE Commun. Surveys Tutorials*, vol. 10, no. 2, pp. 88-105, 2008.
- [85] F. Qu, F. Wang, L. Yang, "Intelligent Transportation Spaces: Vehicles, Traffic, Communications, and Beyond", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 11, pp. 136-142, Nov. 2010.
- [86] S. Farrell, S. Symington, H. Weiss, P. Lovell, "Delay-Tolerant Networking Security Overview", *IRTF, draft-irtf-dtnrg-sec-overview-06*, March 2009.
- [87] V. Soares and J. Rodrigues, "Chapter 7: Cooperation in DTN-Based Network Architectures", in *Cooperative Networking*, S. Misra and M. Obaidat (Ed.s), pp. 101-115, ISBN: 978-0-470-74915-9, Wiley, 2011.