



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



Πτυχιακή εργασία

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΤΥΧΑΙΑ ΔΙΚΤΥΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ



Του φοιτητή
Παραστατίδη Παντελή
Αρ. Μητρώου 06/3064

Επιβλέπων καθηγητής
Δημόκας Νικόλαος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Κύριος στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη, δημιουργία και προσομοίωση ενός νέου πρωτοκόλλου διάχυσης δεδομένων σε τυχαία ασύρματα δίκτυα οχημάτων. Τα ασύρματα δίκτυα οχημάτων αποτελούνται από ένα τυχαίο αριθμό οχημάτων τα οποία κινούνται σε προκαθορισμένες πορείες και μπορούν να στέλνουν και να λαμβάνουν μηνύματα. Το κυριότερο πρόβλημα που μας απασχόλησε κατά την μελέτη και συγγραφή της πτυχιακής εργασίας, είναι η δημιουργία ενός αποδοτικού πρωτοκόλλου, το οποίο θα ικανοποιεί δύο σημαντικά κριτήρια. Το πρώτο κριτήριο είναι η παράδοση των μηνυμάτων να επιτυγχάνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα, ενώ το δεύτερο σχετίζεται με τον όσο το δυνατόν μικρότερο αριθμό εκπομπών που πρέπει να πραγματοποιηθούν προκειμένου να γίνει η διασπορά του μηνυμάτων. Όσο μικρότερος είναι ο αριθμός των επανεκπομπών τόσο μειώνονται και οι συγκρούσεις μεταξύ των μηνυμάτων, ο συναγωνισμός μεταξύ των κόμβων για την απόκτηση του ασύρματου μέσου και συνεπώς μειώνεται ο χρόνος παράδοσης των μηνυμάτων.

Το βασικό κίνητρο για την επιλογή και εκπόνηση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας, είναι το μεγάλο ενδιαφέρον για την τεχνολογία των ασύρματων δικτύων οχημάτων, καθώς και η ανάπτυξη μιας νέας τεχνικής σε μια τεχνολογία η οποία είναι άγνωστη στο ευρύ κοινό και έχει σημειώσει μεγάλη και ραγδαία ανάπτυξη ειδικά την τελευταία δεκαετία.

Η εφαρμογή των διαφόρων τεχνικών των ασύρματων δικτύων προς όφελος των επιβαινόντων στα οχήματα αποτελεί τον απώτερο σκοπό ολόκληρης αυτής της προσπάθειας.

Παραστατίδης Παντελής
Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η βελτίωση της ασφάλειας στο δρόμο αποτελεί ένα θέμα έντονου ενδιαφέροντος και έρευνας. Ένας πιθανός τρόπος να εμποδίσουμε τα ατυχήματα είναι η χρήση εφαρμογών ασφαλείας οι οποίες μπορούν και επικοινωνούν διαμέσου του ασύρματου δικτύου. Επιπρόσθετα, όλο και περισσότεροι άνθρωποι επιθυμούν να έχουν εφαρμογές ψυχαγωγίας στο αυτοκίνητο. Με τα πρόσφατα επιτεύγματα στην υπολογιστική και στις τεχνολογίες ασύρματων επικοινωνιών, δίκτυα τα οποία μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για τέτοιου είδους εφαρμογές έχουν αρχίσει να αναδύονται. Τα δίκτυα είναι κινητά, απαιτούν ελάχιστη ή καθόλου υποδομή και υποστηρίζουν τις εφαρμογές σε μια δυναμική, τυχαία και πολλαπλών κόμβων (multihop) τοπολογία. Τα τυχαία δίκτυα οχημάτων (Vehicular Ad Hoc Networks, VANETs) είναι μια ειδική περίπτωση κινητών τυχαίων δικτύων. Μπορούν να σχηματιστούν μεταξύ οχημάτων, με επικοινωνία από όχημα σε όχημα ή μεταξύ οχημάτων και υποδομής με επικοινωνία από όχημα σε υποδομή. Για να επιτύχουμε την αποδοτική και ομαλή λειτουργία των τυχαίων δικτύων οχημάτων, είναι απαραίτητη η μελέτη και δημιουργία καινοτόμων πολιτικών για την δρομολόγηση και διάχυση των δεδομένων.

Το πρωτόκολλο που προτείνουμε ονομάζεται DRP (Distance based Routing Protocol). Το πρωτόκολλο στοχεύει στην αποδοτική και αποτελεσματική διάχυση των μηνυμάτων σε ένα ασύρματο δίκτυο οχημάτων. Η διάχυση των μηνυμάτων όμως μπορεί να επιφέρει συγκρούσεις και συναγωνισμό για την απόκτηση του ασύρματου μέσου με συνέπεια την αποτυχία στη μετάδοση. Η παρούσα εργασία προτείνει έναν αποδοτικό αλγόριθμο, ο οποίος επιλέγει τον κόμβο που θα μεταδώσει ξανά το μήνυμα με βάση την απόστασή του από τον αποστολέα. Όσο μακρύτερα βρίσκεται ένας κόμβος τόσο περισσότερες πιθανότητες έχει να εκλεγεί ως κόμβος αναμεταδότης. Επιπρόσθετα, προτείνουμε και μια πιο υβριδική μορφή του πρωτοκόλλου που ονομάζεται H-DRP (Hybrid-DRP). Σε αυτήν την περίπτωση όλοι οι κόμβοι που λαμβάνουν το πακέτο έχουν το δικαίωμα να το μεταδώσουν μια φορά στην περίπτωση που ανακαλύψουν καινούργιους γείτονες.

ABSTRACT

Improving road safety is a subject of intense interest and research. One possible way of preventing accidents is by using safety applications that communicate through wireless networks. Also, as more and more people afford cars, the demand for in-vehicle entertainment is increasing. With the recent developments in computing and wireless communication technologies, networks that can form the basis for such applications can be envisioned. The networks will be completely mobile, require little or no infrastructure, and support the applications in a dynamic, random, and multihop topology. Vehicle ad hoc networks (VANETs) are a special case of mobile ad hoc networks. They can be formed between vehicles with vehicle to vehicle (V2V) communication or between vehicles and an infrastructure with vehicle to infrastructure (V2I) communication. In order to achieve the proper and smooth operation of this type of network, it is more than necessary the study and construction of routing and data dissemination protocols.

We suggest a data dissemination protocol called DRP (Distance based Routing Protocol). DRP focuses on the efficient and effective data dissemination in a vehicular ad hoc network. However, data dissemination can cause collisions and contention about the acquisition of wireless mean. Thus, transmission failure and poor data dissemination could be achieved. In order to prevent this, we propose an efficient algorithm that elects the network node to rebroadcast a message based on the distance from the sender. A network node is selected as a relay node when it has the biggest distance from the sender. We, also, suggest a more hybrid instance of the same protocol, called H-DRP (Hybrid-DRP). In this case, all nodes which have received the packet have the chance to forward it once.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω, ιδιαιτέρως τον κ. Δημόκα για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε και για τις ώρες που δαπάνησε ώστε να κάνουμε τις συναντήσεις ειδικά κατά την διάρκεια του καλοκαιριού. Χωρίς την συμβολή του αυτή η εργασία δεν θα είχε ολοκληρωθεί ποτέ.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος μου για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν και ιδιαιτέρως τους κκ. Χαρχαλάκη και Ψαρρά γιατί με την διδασκαλία τους με μύησαν στον κόσμο των δικτύων.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους ανθρώπους που ενδιαφέρονταν κατά την διάρκεια της συγγραφής της πτυχιακής, για το θέμα της και την εξέλιξή της και ιδιαιτέρως στους συναδέλφους μου στην εταιρία που εκπόνησα την πρακτική μου άσκηση, για το συνεχές ενδιαφέρον τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και όλους τους ανθρώπους που με στήριξαν κατά την διάρκεια των σπουδών μου και όχι μόνο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	9
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	11
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	15
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ VANETs.....	15
1.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΤΩΝ VANETs.....	16
1.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ VANETs	17
1.3 ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΤΑ VANETs	18
1.4 ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	22
1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ VANETs	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	32
ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	32
2.1 J-SIM	33
2.2 VANETMOBISIM	43
2.3 E-WORLD.....	45
2.4 OPENSTREETMAP.ORG	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	47
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ	47
3.1 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ TOPOLOGY-BASED	48
3.1.1 PROACTIVE ROUTING	48
3.1.2 REACTIVE ROUTING	49
3.2 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ POSITION BASED.....	55
3.2.1 NON DELAY TOLERANT NETWORKS (NON-DTN).	56
3.3 BROADCAST ROUTING	72
3.4 GEOCAST BASED ROUTING.....	73
3.5 CLUSTER BASED ROUTING	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	79
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ DRP	79
4.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ.....	80
4.2 ΔΟΜΗ ΠΑΚΕΤΟΥ	81
4.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΤΟΥ DRP	83
3.4 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΤΟΥ Η-DRP.	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	95
ΣΕΝΑΡΙΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	95
5.1 ΣΕΝΑΡΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	95
5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	96
5.2.1 ΣΕΝΑΡΙΟ 1	97
5.2.1.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	97
5.2.1.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	98
5.2.2 ΣΕΝΑΡΙΟ 2.....	99
5.2.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	99
5.2.2.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	99
5.2.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 3.....	100
5.2.3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	100
5.2.3.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	101
5.3 ΣΕΝΑΡΙΑ 1,2 ΚΑΙ 3 ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ Η-DRP.	101
5.3.1 ΣΕΝΑΡΙΟ 1.....	102
5.3.1.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	102
5.3.1.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	104
5.3.2 ΣΕΝΑΡΙΟ 2.....	105
5.3.2.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	107
5.3.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 3.....	107
5.3.3.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	110

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ	111
ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ	113
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	115
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	119
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	121
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	142

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1– Αρχιτεκτονικές των VANETs	16
Σχήμα 2 - Περιοδική εκπομπή (beaconing).	18
Σχήμα 3 – Εκπομπή βάσει γεωγραφικών παραμέτρων (geobroadcasting).....	19
Σχήμα 4 – Δρομολόγηση ένα προς ένα (unicast routing).	20
Σχήμα 5 – Προηγμένη διάχυση δεδομένων (advanced data dissemination).	20
Σχήμα 6 – Συγκομιδή πληροφορίας (information aggregation).	21
Σχήμα 7 – Προειδοποίηση προς απόφυγή πρόσθιας σύγκρουσης.....	25
Σχήμα 8 - Προειδοποίηση για επικίνδυνο σημείο στο οδόστρωμα.	26
Σχήμα 9 – Components, Ports και Data Flow στο J-SIM.....	33
Σχήμα 10 – Εσωτερική δομή κόμβου.	35
Σχήμα 11 – Συστατικά ασύρματου κινητού κόμβου.	37
Σχήμα 12 – Παράδειγμα Grid μετάδοσης σήματος.	38
Σχήμα 13 – Παράδειγμα τοπολογίας δικτύου.	39
Σχήμα 14 – Δημιουργία και σύνδεση εσωτερικών συστατικών ενός συνόλου κόμβων.....	40
Σχήμα 15 – Κώδικας ορισμού κίνησης κόμβων.	41
Σχήμα 16 - Παράδειγμα κίνησης κόμβων με το plotter του J-SIM.....	42
Σχήμα 17 – Παράδειγμα αρχείου εξαγωγής στοιχείων κίνησης από το VanetMobisim.....	44
Σχήμα 18 – Στιγμιότυπο από το E-World.	45
Σχήμα 19 – Παράδειγμα μετατροπής του χάρτη σε .xml αρχείο με στόχο να χρησιμοποιηθεί από το VanetMobisim.	46
Σχήμα 20 - Πρωτόκολλα δρομολόγησης στα VANETs.....	47
Σχήμα 21 – Ανεύρεση διαδρομής με αποστολή του πακέτου RREQ.....	51
Σχήμα 22 – Διαδρομή του RREP προς τον πηγαίο κόμβο.	52
Σχήμα 23 – Παράδειγμα εύρεσης διαδρομής του DSR.....	54
Σχήμα 24 – Διαδικασία προώθησης με χρήση του GPSR.....	57
Σχήμα 25 - Παράδειγμα δρομολόγησης πρωτοκόλλου GPCR.	60
Σχήμα 26 – GRSJ+ vs. GPCR.....	61
Σχήμα 27 – Παράδειγμα δρομολόγησης του πρωτοκόλλου GyTAR.....	65

Σχήμα 28 – Παράδειγμα επιλογής επόμενου μεταφορέα του πακέτου με την μέθοδο του κοντινότερου σημείου (Nearest Point).	70
Σχήμα 29 – Παράδειγμα cluster based δρομολόγησης.	75
Σχήμα 30 – Πακέτο πρωτοκόλλου DRP.	81
Σχήμα 31 – Αποστολή Beacon στους εντός εμβέλειας κόμβους.	84
Σχήμα 32 – Παράδειγμα δημιουργίας και προώθησης του πακέτου με το DRP. ...	85
Σχήμα 33 – Παραδείγματα προώθησης πακέτων με το DRP.	87
Σχήμα 34 – Διάγραμμα Ροής αλγόριθμου προώθησης πακέτων με το DRP.	88
Σχήμα 35 – Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου που χρησιμοποιεί το H-DRP.	90
Σχήμα 36 – Διάγραμμα ροής αλγόριθμου προώθησης πακέτων σε νέους γείτονες.	91
Σχήμα 37 – Παράδειγμα χωρίς την χρήση της συγχώνευσης των πεδίων.	92
Σχήμα 38 – Παράδειγμα μετά την χρήση συγχώνευσης των πεδίων.	93
Σχήμα 39 – Γεωγραφική περιοχή προσομοίωσης των σεναρίων VANETs.	96
Σχήμα 40 - Γράφημα Ποσοστού-Παράδοσης Πακέτων	103
Σχήμα 41 - Γράφημα Χρόνου-Καθυστερήσης στην παράδοση των πακέτων.	103
Σχήμα 42 - Γράφημα Αριθμού-Broadcast στην διαδικασία προώθησης του πακέτου.	104
Σχήμα 43 - Γράφημα Ποσοστού-Παράδοσης Πακέτων.	105
Σχήμα 44 - Γράφημα Χρόνου-Καθυστερήσης στην παράδοση πακέτων.	106
Σχήμα 45 - Γράφημα Αριθμού-Broadcasts για την προώθηση του πακέτου.	106
Σχήμα 46 - Γράφημα Ποσοστού-Παράδοσης Πακέτων.	108
Σχήμα 47 - Γράφημα Χρόνου-Καθυστερήσης στην παράδοση πακέτων.	109
Σχήμα 48 - Γράφημα Αριθμού-Broadcast για την προώθηση του πακέτου.	109

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 – Ενδεικτικές εφαρμογές στα VANETs	29
Πίνακας 2 – Συνοπτική περιγραφή πρωτοκόλλων στα VANETs	76
Πίνακας 3 – Παράδειγμα πίνακα γειτόνων.....	84
Πίνακας 4 - Σταθερές παράμετροι των σεναρίων προσομοίωσης.....	96
Πίνακας 5 - Παράμετροι 1 ^{ου} Σεναρίου.....	97
Πίνακας 6 - Αποτελέσματα 1 ^{ου} Σεναρίου.....	98
Πίνακας 7 - Παράμετροι 2 ^{ου} Σεναρίου.....	99
Πίνακας 8 - Αποτελέσματα 2 ^{ου} Σεναρίου.....	99
Πίνακας 9 - Παράμετροι 3 ^{ου} Σεναρίου.....	100
Πίνακας 10 - Αποτελέσματα 3 ^{ου} Σεναρίου.....	100
Πίνακας 11 - Αποτελέσματα 1ου Σεναρίου με χρήση H-DRP.....	102

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

I. VANETs

Τα ασύρματα δίκτυα οχημάτων (Vehicular Ad hoc Networks, VANETs) είναι ένας τύπος δικτύων με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που δεν συναντάμε στα κοινά δίκτυα. Στα δίκτυα αυτά δίνεται η δυνατότητα άμεσης επικοινωνίας μεταξύ οχημάτων (Vehicle-to-Vehicle, V2V) και μεταξύ οχήματος και σταθερής υποδομής (Vehicle-to-Infrastructure, V2I). Βασικός σκοπός αυτής της επικοινωνίας είναι η ανταλλαγή μηνυμάτων και πληροφοριών που αφορούν την ασφάλεια και τα διάφορα συμβάντα σε ένα οδικό δίκτυο. Παρόλα αυτά, οι εφαρμογές των VANETs έχουν επεκταθεί και σε τομείς όπως η ενημέρωση και η ψυχαγωγία των οδηγών. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα ανταλλαγής ενός μεγάλου φάσματος πληροφοριών, όχι απαραίτητα σχετικές με την ασφάλεια. Η τεχνολογία αυτή είναι σε έξαρση ειδικά την τελευταία δεκαετία, παρόλο που βρίσκεται υπό έρευνα από τις αρχές της δεκαετίας του '80. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτού του είδους των δικτύων απαιτούν ακόμα πιο ιδιαίτερες στρατηγικές έρευνας και υλοποίησης τεχνικών διάδοσης των δεδομένων. Λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα τα χαρακτηριστικά των τυχαίων δικτύων οχημάτων, είναι επιτακτική η ανάγκη της δημιουργίας νέων πρωτοκόλλων διάδοσης των δεδομένων που έχουν ελάχιστα κοινά χαρακτηριστικά με τα πρωτόκολλα δρομολόγησης των κοινών δικτύων. Αυτό ήταν και το υψηλό κίνητρο αυτής της πτυχιακής εργασίας.

II. Αντικείμενο της εργασίας

Στην εργασία αυτή, γίνεται μελέτη και προσομοίωση ενός πρωτοκόλλου διάχυσης δεδομένων σε τυχαία ασύρματα δίκτυα οχημάτων όπως είναι τα VANETs. Βασική ιδέα του νέου πρωτοκόλλου που μελετήσαμε και υλοποιήσαμε είναι η διάδοση της πληροφορίας σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή. Κύριοι στόχοι είναι η παραλαβή των πληροφοριών από το σύνολο των οχημάτων που βρίσκονται στην περιοχή εκείνη, με μικρή καθυστέρηση όσον αφορά τον χρόνο παραλαβής και όσο το δυνατό λίγες επανεκπομπές και προωθήσεις της πληροφορίας από τα οχήματα.

Το βασικότερο κίνητρο είναι η υλοποίηση μιας τεχνικής η οποία δεν υπάρχει έως αυτή την στιγμή στα VANETs και που ως στόχο έχει την ανάπτυξη της

τεχνολογίας των ασύρματων δικτύων οχημάτων. Μιας τεχνολογίας που εφαρμόζεται σε έναν τομέα που αφορά την καθημερινότητά μας, καθώς η μετακίνηση του μεγαλύτερου μέρους του πληθυσμού γίνεται σε καθημερινή βάση είτε με ιδιωτικά οχήματα είτε με τα μέσα μαζικής μεταφοράς.

III. Περιεχόμενα της εργασίας

Η εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια:

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1, γίνεται μια εισαγωγή στην τεχνολογία των VANETs. Περιγράφονται οι αρχιτεκτονικές, τα χαρακτηριστικά, τα πρότυπα επικοινωνίας και οι εφαρμογές τους.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2, περιγράφονται αναλυτικά τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη και την προσομοίωση του πρωτοκόλλου που προτείνουμε και δίνονται ενδεικτικά εικόνες και κομμάτια κώδικα, ούτως ώστε να γίνουν πιο κατανοητός ο τρόπος που προγραμματίστηκε το πρωτόκολλο και διεξήχθησαν οι προσομοιώσεις.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3, γίνεται μια σύντομη περιγραφή των περισσότερων γνωστών πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Σκοπός της περιγραφής αυτής είναι να έχει ο αναγνώστης μια γενική εικόνα των πρωτοκόλλων που υπάρχουν, τις λειτουργίες τους και τα θετικά και αρνητικά σημεία τους. Έτσι γίνεται πιο εύκολο να κατανοήσει το πρωτόκολλο που προτείνουμε και να το συγκρίνει με τα ήδη υπάρχοντα.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4, παρουσιάζουμε με κάθε λεπτομέρεια το πρωτόκολλο που προτείνουμε. Αναλύουμε το πακέτο που κατασκευάσαμε αποκλειστικά για το πρωτόκολλο και τον πίνακα κάθε κόμβου στον οποίο περιέχονται οι γειτονικοί κόμβοι και η απόσταση από αυτούς. Επίσης, περιγράφουμε τις λειτουργίες που εκτελεί το πρωτόκολλο και παραθέτουμε εικόνες προκειμένου να γίνουν πιο εύκολα κατανοητές. Τέλος, προτείνουμε και την υλοποίηση μιας πιο υβριδικής μορφής του πρωτοκόλλου και αναλύουμε με διαγράμματα ροής και εικόνες την συμπεριφορά του.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5, παραθέτουμε την γεωγραφική περιοχή και τα σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να γίνουν οι προσομοιώσεις της λειτουργίας του πρωτοκόλλου. Δοκιμάζουμε την συμπεριφορά του πρωτοκόλλου με 50, 100 και 200 οχήματα και εκτελούμε 5 ή 10 προσομοιώσεις για κάθε περίπτωση, προκειμένου τα αποτελέσματα που θα λάβουμε να είναι όσο το δυνατό στατιστικά

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Παραστατίδη Παντελή

σωστά. Επίσης, εκτελούμε τις ίδιες διαδικασίες για την υβριδική μορφή του πρωτοκόλλου και πραγματοποιούμε σύγκριση και ανάλυση όλων των αποτελεσμάτων.

Στο τέλος, εξάγουμε τα ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ που επιδέχεται το πρωτόκολλο.

Επίσης, στα Παραρτήματα τις εργασίας παρατίθενται μεγάλα κομμάτια κώδικα, που συγγράφηκαν για να υλοποιηθεί το πρωτόκολλο και να εκτελεστούν οι προσομοιώσεις των δικτύων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ VANETS

Η ιδέα της ασύρματης επικοινωνίας των οχημάτων άρχισε να εντυπωσιάζει του ερευνητές από τις αρχές τις δεκαετίας του '80. Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί μια έξαρση στην έρευνα και ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας. Στην έξαρση αυτή συνέβαλε κυρίως η ύπαρξη ασύρματων τεχνολογιών σε συνδυασμό με την επιθυμία των βιομηχανιών αυτοκινήτου για την βελτίωση της ασφάλειας και θεμάτων που αφορούν το περιβάλλον καθώς και την άνεση που μπορεί να προσφέρει το αυτοκίνητο στους επιβάτες. Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (cellular networks) προσφέρουν φωνητική επικοινωνία καθώς και πληροφοριακές υπηρεσίες στον οδηγό και στους επιβάτες, ωστόσο δεν καθιστούν δυνατή την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων (vehicle-to-vehicle), ή οχημάτων με σταθερές υποδομές (vehicle-to-infrastructure).

Σε αντίθεση με τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, τα ασύρματα δίκτυα οχημάτων (vehicular ad-hoc networks, VANETs) δίνουν την δυνατότητα άμεσης επικοινωνίας μεταξύ οχημάτων και μεταξύ οχημάτων και ασύρματων σταθερών συστημάτων που βρίσκονται στους δρόμους (Road side units, RSUs), προκειμένου να ανταλλάξουν επείγουσες και σοβαρές προειδοποιήσεις ή πληροφορίες για την κίνηση, με όσο το δυνατόν μικρή καθυστέρηση (latency).

Τα κύρια οφέλη της ασύρματης επικοινωνίας οχημάτων είναι η οδική ασφάλεια, η αποτελεσματική κίνηση στους δρόμους με την αποφυγή της κυκλοφοριακής συμφόρησης και η χρήση μέσα στο όχημα διάφορων εφαρμογών μέσω Internet.

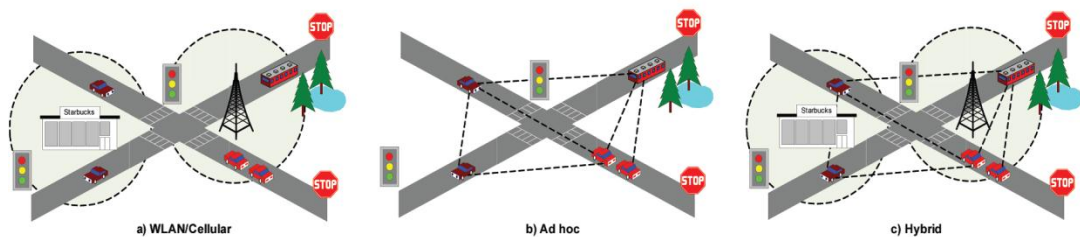
Τα VANETs μοιράζονται κάποια κοινά χαρακτηριστικά με τα αδόμετα κινητά ασύρματα δίκτυα (Mobile Ad-hoc Networks, MANETs). Το κοινό χαρακτηριστικό τους είναι η κίνηση των κόμβων του δικτύου καθώς και η πλήρης υπόσταση του κάθε κόμβου που τους δίνει την δυνατότητα να ενεργήσουν αυτόνομα λαμβάνοντας και στέλνοντας πληροφορίες. Οι κύριες διαφορές τους είναι ότι οι

κόμβοι των MANETs δεν μπορούν να επαναφορτιστούν και έχουν σχεδόν τυχαία και ακανόνιστη κίνηση, ενώ οι κόμβοι των VANETs επαναφορτίζονται και η κίνηση τους περιορίζεται βάσει της τοπολογίας των δρόμων.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου αναλύονται οι αρχιτεκτονικές των VANETs, τα πρότυπα και χαρακτηριστικά τέτοιου είδους δικτύων καθώς και οι εφαρμογές τους.

1.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΤΩΝ VANETs

Σύμφωνα με το Σχήμα 1 μπορούμε να διακρίνουμε τρεις διαφορετικές αρχιτεκτονικές για τα δίκτυα τύπου VANET: 1) Τα αμιγώς κινητά/ασύρματα τοπικά δίκτυα (cellular/WLAN), 2) τα δίκτυα με άμεση επικοινωνία (ad hoc networks) και 3) τα υβριδικά δίκτυα, που αποτελούν έναν συνδυασμό των δυο προηγούμενων αρχιτεκτονικών.



Σχήμα 1– Αρχιτεκτονικές των VANETs

Στα αμιγώς κινητά/ασύρματα δίκτυα τα οχήματα συνδέονται στο Internet με την βοήθεια των κεραιών της κινητής τηλεφωνίας ή σταθερών ασύρματων σημείων (WLAN/Cellular). Αυτό προϋποθέτει την ύπαρξη σταθερών υποδομών σε μεγάλο γεωγραφικό πλάτος και σε δυσπρόσιτες περιοχές. Το κόστος για τέτοιου είδους υποδομή είναι δυσβάσταχτο. Για αυτόν τον λόγο θα πρέπει τα οχήματα να έχουν την δυνατότητα να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, εάν και εφόσον διαθέτουν ασύρματους αισθητήρες. Έτσι, τα οχήματα πρέπει να μπορούν να ανταλλάξουν μεταξύ τους πληροφορίες για την κίνηση χωρίς την ύπαρξη σταθερών υποδομών. Αυτή είναι η αμιγώς άμεση επικοινωνία (Ad hoc). Στην περίπτωση που υπάρχουν σταθερά ασύρματα σημεία σε συνδυασμό με την ύπαρξη ασυρμάτων αισθητήρων και συσκευών στο αυτοκίνητο, τα οχήματα μπορούν να εκμεταλλευτούν τις

σταθερές υποδομές προκειμένου να επικοινωνήσουν μεταξύ τους ή να συνδεθούν στο Internet. Αυτού του τύπου η αρχιτεκτονική είναι η υβριδική (Hybrid).

1.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ VANETS

Τα VANETS διαθέτουν κάποια χαρακτηριστικά που τα καθιστούν διαφορετικά από κάθε άλλου είδους δίκτυα. Τα χαρακτηριστικά αυτά αποτελούν και την κύρια διαφορά των VANETS από τα MANETS.

- **Δυναμική τοπολογία.** Η τοπολογία σε ένα τέτοιου είδους δίκτυο μεταβάλλεται συχνά αφού οι ταχύτητες είναι μεγάλες, κυρίως σε μεγάλους αυτοκινητόδρομους.
- **Δίκτυο με συχνές διακοπές στην σύνδεση.** Λόγω της μεγάλης ταχύτητας που μπορεί να έχουν οι κόμβοι, συχνά παρατηρείται η διακοπή της σύνδεσης μεταξύ δυο οχημάτων την ώρα που μεταδίδουν μηνύματα. Το πρόβλημα γίνεται μεγαλύτερο όταν αναφερόμαστε σε τοπολογίες με μικρή ή μεγάλη πυκνότητα κόμβων, καθώς και σε τοπολογίες που ανάλογα με την ώρα της μέρας ή άλλες ειδικές συνθήκες, όπως ο καιρός, έχουν διαφορετικό πλήθος κόμβων. Ένα καλό και ολοκληρωμένο πρωτόκολλο δρομολόγησης θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να λαμβάνει όλες αυτές τις παραμέτρους υπ' όψιν και να προσαρμόζει ανάλογα την λειτουργία μετάδοσης των δεδομένων.
- **Συμπεριφορά κίνησης.** Τα οχήματα κινούνται βασιζόμενα σε μια συγκεκριμένη συμπεριφορά συναρτήσε των δρόμων, των φαναριών, των ορίων ταχύτητας, της κίνησης καθώς και της συμπεριφοράς του οδηγού. Έτσι, τα διάφορα πρωτόκολλα δρομολόγησης θα πρέπει να μελετούνται, να υλοποιούνται και να εξετάζονται σε τέτοιες συνθήκες. Η προσομοίωση, δηλαδή, σε εργαστηριακό επίπεδο θα πρέπει να γίνεται με ειδικά εργαλεία που προσομοιώνουν όσο το δυνατό περισσότερο τις πραγματικές συνθήκες στους δρόμους.
- **Μοντέλο διάδοσης δεδομένων.** Το μοντέλο διάδοσης δεδομένων δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς εμπόδια, αφού είναι έντονη και συνεχής η παρουσία κτιρίων, δέντρων και άλλων οχημάτων. Έτσι, είναι μεγάλη η

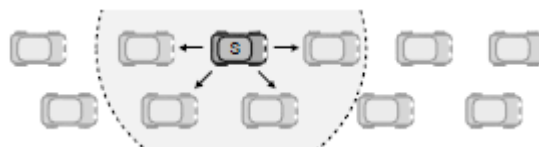
ανάγκη ύπαρξης ενός αποτελεσματικού μοντέλου που θα λαμβάνει όλες αυτές τις παραμέτρους υπ' όψιν.

- **Απεριόριστη ενέργεια και αποθηκευτικός χώρος.** Τα οχήματα σε αντίθεση με τους σταθερούς κόμβους σε δίκτυα αισθητήρων, έχουν ανεξάντλητη ενέργεια και μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Δεν τίθεται θέμα αποθηκευτικού χώρου των πακέτων που λαμβάνονται ούτε και του τρόπου που επεξεργάζονται.
- **Ενσωματωμένοι αισθητήρες.** Οι κόμβοι διαθέτουν ενσωματωμένο σύστημα GPS, γνωρίζοντας ανά πάσα στιγμή την τοποθεσία και την ταχύτητα τους. Οι πληροφορίες αυτές είναι εξαιρετικά χρήσιμες για την λειτουργία του πρωτόκολλου δρομολόγησης. Μέσω των ενσωματωμένων αισθητήρων που διαθέτουν τα αυτοκίνητα, οι πληροφορίες αυτές διαδίδονται σε όλο το δίκτυο.

1.3 ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΤΑ VANETS

Παρατηρούμε ότι υπάρχουν διάφορες αρχιτεκτονικές και πολλά ετερογενή χαρακτηριστικά για τα VANET δίκτυα. Αυτό δυσκολεύει σε μεγάλο βαθμό την μελέτη και εφαρμογή πρωτοκόλλων δρομολόγησης που θα ικανοποιούν τις εκάστοτε αρχιτεκτονικές, και τα διάφορα χαρακτηριστικά των δικτύων. Για αυτόν τον λόγο έχει γίνει μια σημαντική προσπάθεια να κατηγοριοποιηθούν διάφοροι τρόποι επικοινωνίας ανάμεσα στα οχήματα και έτσι να καθοριστούν κάποια πρότυπα επικοινωνίας στα VANETs (Schoch et al., 2008).

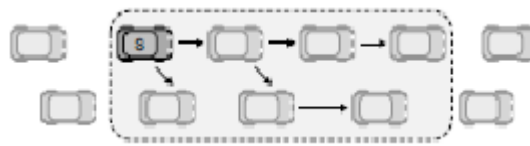
- **Περιοδική εκπομπή.** Σκοπός της περιοδικής εκπομπής μηνυμάτων (beaconing) είναι η συνεχής ενημέρωση των κόμβων με την κατάσταση των γειτόνων τους (Σχήμα 2).



Σχήμα 2 - Περιοδική εκπομπή (beaconing).

Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να αφορούν την θέση, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του εκάστοτε οχήματος. Τα πακέτα στέλνονται ως link layer broadcasts σε όλους τους κόμβους που είναι μέσα στην ακτίνα λήψης. Η εκπομπή τους είναι περιοδική, αλλά μπορεί να προκληθεί και έπειτα από διάφορα συμβάντα, όπως η ύπαρξη ατυχήματος. Η επικοινωνία είναι χωρίς καθορισμένη κατεύθυνση και τα πακέτα δημιουργούνται από τον αποστολέα μέσω των ασύρματων αισθητήρων του.

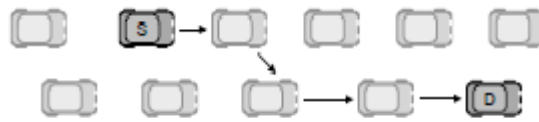
- **Εκπομπή βάσει γεωγραφικών παραμέτρων.** Στην εκπομπή βάσει γεωγραφικών παραμέτρων (geobroadcast) γίνεται άμεση διάχυση της πληροφορίας σε γεωγραφικά μεγάλη τοπολογία (Σχήμα 3).



Σχήμα 3 – Εκπομπή βάσει γεωγραφικών παραμέτρων (geobroadcasting).

Ο αποστολέας του πακέτου καθορίζει μια περιοχή λήψης του πακέτου και το στέλνει στους γειτονικούς κόμβους του. Οι παραλήπτες μέσα σε αυτήν την περιοχή λαμβάνουν το πακέτο και το προωθούν, χωρίς να το επεξεργαστούν, στους δικούς τους γειτονικούς κόμβους. Η εκπομπή συμβαίνει μόνο μετά από την πρόκληση ενός συμβάντος ή στην περίπτωση που ένας κόμβος θέλει να μοιραστεί μια πληροφορία με όλους τους υπόλοιπους σε μία μεγάλη περιοχή. Η αποστολή των πακέτων είναι χωρίς κατεύθυνση. Το είδος της πληροφορίας παράγεται και καθορίζεται από τον αποστολέα. Για παράδειγμα, στην περίπτωση ατυχήματος οι αισθητήρες είναι ικανοί να αξιολογήσουν το συμβάν και να στείλουν αμέσως την πληροφορία. Ο χρόνος αποστολής και λήψης πακέτων πρέπει να είναι μικρός καθότι οι πληροφορίες που διαδίδονται έχουν συνήθως ιδιαίτερη σημασία.

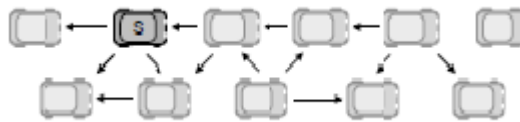
- **Δρομολόγηση ένα προς ένα.** Στην δρομολόγηση ένα προς ένα (unicast routing) των πακέτων, η επικοινωνία αφορά δύο κόμβους. Ο αποστολέας του πακέτου στέλνει τα δεδομένα με σκοπό την λήψη τους από έναν συγκεκριμένο παραλήπτη ή από πολλούς παραλήπτες σε κάποια συγκεκριμένη περιοχή (Σχήμα 4).



Σχήμα 4 – Δρομολόγηση ένα προς ένα (unicast routing).

Στην αποστολή αυτή συμμετέχουν φυσικά και οι ενδιάμεσοι κόμβοι που προωθούν τα πακέτα. Αυτό το πρότυπο επικοινωνίας χρησιμεύει κυρίως για την επικοινωνία ύστερα από απαίτηση του οδηγού-χρήστη του συστήματος, προκειμένου να επικοινωνήσει με κάποιον άλλον οδηγό. Η επικοινωνία μπορεί είναι μονόδρομη αλλά και αμφίδρομη και τα δεδομένα που περιέχονται στα πακέτα δεν μπορούν να μεταβληθούν από τους ενδιάμεσους κόμβους. Λόγω του ότι η επικοινωνία αυτή δεν καλύπτει θέματα ασφάλειας, δεν υπάρχει απαίτηση για γρήγορη και άμεση παραλαβή των πακέτων.

- **Προηγμένη διάχυση δεδομένων.** Στο πρότυπο της προηγμένης διάχυσης δεδομένων (advanced data dissemination), τα οχήματα ανταλλάσσουν πακέτα προκειμένου αυτά να ληφθούν από όσο το δυνατόν περισσότερους κόμβους σε ένα δίκτυο (Σχήμα 5).

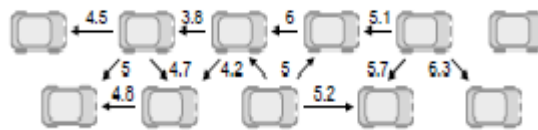


Σχήμα 5 – Προηγμένη διάχυση δεδομένων (advanced data dissemination).

Κύριος στόχος είναι το μήνυμα να το λάβουν και κόμβοι που εισέρχονται αργότερα στο δίκτυο και δεν αποτελούσαν μέρος του δικτύου, όπου βρίσκονται οι υπόλοιποι κόμβοι που συμμετέχουν στην διαδικασία αποστολής και λήψης του πακέτου. Τα πακέτα στέλνονται συνήθως με single hop broadcast και αποθηκεύονται από τον παραλήπτη. Εκείνος τα αποστέλλει, με την σειρά του, είτε μετά το πέρας κάποιας χρονικής στιγμής που έχει προκαθοριστεί από τον αρχικό αποστολέα, είτε μετά την ανακάλυψη ενός νέου γείτονα. Την αποστολή τέτοιου είδους πακέτων μπορεί να προκαλέσει ένα γεγονός ή μια νέα πληροφορία που θεωρείται αξιοσημείωτη και χρήσιμη στους οδηγούς. Η αποστολή του πακέτου δεν

έχει προκαθορισμένη κατεύθυνση. Το πακέτο περιέχει συνήθως metadata, όπως η τοποθεσία και η ταχύτητα του αρχικού κόμβου-αποστολέα. Οι πληροφορίες αυτές μένουν αμετάβλητες από τους άλλους κόμβους. Σε αυτού του είδους το πρότυπο δεν δίνεται έμφαση στην χρονική καθυστέρηση λήψης του πακέτου, καθότι οι κόμβοι δεν πραγματοποιούν άμεση επανεκπομπή της πληροφορίας αλλά την αποθηκεύουν και στην στέλνουν αργότερα. Έμφαση δίνεται στον τρόπο διάχυσης των δεδομένων, ούτως ώστε να ληφθούν από όσο το δυνατόν περισσότερα οχήματα.

- **Συγκομιδή πληροφορίας.** Το τελευταίο πρότυπο επικοινωνίας στα δίκτυα VANETs αναφέρεται στην μεγάλη συγκομιδή και άθροιση πληροφορίας (information aggregation). Σε αντίθεση με όλους τους υπόλοιπους τρόπους επικοινωνίας, οι κόμβοι έχουν την δυνατότητα να παρέμβουν και να επεξεργαστούν ανάλογα τα πακέτα που λαμβάνουν προτού τα προωθήσουν σε άλλους κόμβους. Παρόλα αυτά έχει τον ίδιο στόχο με το παραπάνω πρότυπο επικοινωνίας, δηλαδή την διάδοση της πληροφορίας σε όλα τα οχήματα του δικτύου (Σχήμα 6).



Σχήμα 6 – Συγκομιδή πληροφορίας (information aggregation).

Το κύριο συστατικό αυτής της επικοινωνίας είναι η ύπαρξη μιας κοινής βάσης πληροφοριών. Η βάση αυτή ενημερώνεται από το τοπικό όχημα που την διατηρεί αλλά και από τα άλλα οχήματα που στέλνουν πληροφορίες σχετικές με αυτήν. Κομμάτια αυτής της βάσης στέλνονται περιοδικά ή μετά από απαίτηση κάποιου κόμβου. Τα πακέτα δεν προωθούνται από τον παραλήπτη εκτός εάν αφορούν την τοπική βάση που διαθέτει. Στην περίπτωση αυτή ο παραλήπτης ενημερώνει την βάση και συγχωνεύει την νέα πληροφορία που προκύπτει από την ενημέρωση της βάσης. Έπειτα, προωθεί το πακέτο. Παράδειγμα μια τέτοιας βάσης πληροφοριών είναι η ύπαρξη κίνησης στους δρόμους. Έτσι, πληροφορίες για αυτήν την κατάσταση αθροίζονται και προωθούνται και σε άλλους κόμβους προκειμένου να έχουν πλήρη γνώση. Η κατεύθυνση των δεδομένων είναι

φυσικά ακανόνιστη. Στο πρότυπο αυτό δίνεται έμφαση κυρίως στο περιεχόμενο και στην εγκυρότητα της πληροφορίας που διαδίδεται και όχι τόσο στην χρονική καθυστέρηση παράδοσης του πακέτου. Αυτό σημαίνει ότι το δεν είναι κατάλληλο για διάδοση επείγουσας πληροφορίας.

1.4 ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Τα πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας απλοποιούν την ανάπτυξη προϊόντων, συμβάλλουν στην μείωση του κόστους και καθιστούν δυνατή στους χρήστες την σύγκριση προϊόντων που αφορούν τα VANETs (Zeadally et al., 2010). Μόνο μέσα από την χρήση τέτοιων προτύπων ασύρματης επικοινωνίας μπορούν να ικανοποιηθούν απαιτήσεις μεγάλης συνδεσιμότητας και λειτουργικότητας ενός τέτοιου ιδιαίτερου δικτύου, καθώς αποτελούν ένα σταθερό σημείο αναφοράς για την ανάπτυξη νέων προϊόντων που αφορούν τα VANETs. Αυτό ευνοεί την δημιουργία νέων τεχνολογιών σε μικρό χρονικό διάστημα. Υπάρχουν πολλά πρότυπα που σχετίζονται με το ασύρματο μέσο σε περιβάλλοντα οχημάτων. Τα πρότυπα αυτά, ποικίλλουν ανάλογα με τον εξοπλισμό των οχημάτων και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και σχετίζονται με απαιτήσεις ασφάλειας, δρομολόγησης, διευθυνσιοδότησης και λειτουργικότητας.

- **Dedicated Short Range Communication (DSRC).** Το DSRC είναι μια μικρής έως μεσαίας εμβέλειας υπηρεσία επικοινωνίας που αναπτύχθηκε με σκοπό την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων ή οχημάτων-σταθερών σημείων. Τέτοιου είδους επικοινωνία καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών, όπως η ανταλλαγή μηνυμάτων για θέματα ασφάλειας, κυκλοφοριακής συμφόρησης, πληρωμής διοδίων, πληρωμή σε σημεία drive-through, και πολλών άλλων. Στόχος του DSRC είναι να προσφέρει μεγάλη μεταφορά δεδομένων σε σύντομο χρονικό διάστημα με ελάχιστη καθυστέρηση, σε μικρές περιοχές. Το 1999 η FCC (Federal Communication Commission) των Η.Π.Α. όρισε 75MHz εύρος φάσματος στην ζώνη συχνοτήτων 5,9GHz για τον σκοπό του DSRC. Το 2003, η American Society for Testing and Materials (ASTM) ενέκρινε το πρότυπο

ASTM-DSRC, το οποίο ήταν βασισμένο στο φυσικό επίπεδο του IEEE 802.11a και στο 802.11 MAC layer. Το πρότυπο DSRC χωρίζεται σε 7 κανάλια των 10MHz. Ένα κανάλι είναι αυστηρά δεσμευμένο για επικοινωνίες που αφορούν την ασφάλεια, ενώ άλλα δύο κανάλια είναι δεσμευμένα για ιδιαίτερα κρίσιμες συνθήκες που αφορούν θέματα ζωής και δημόσιας ασφάλειας. Τα υπόλοιπα κανάλια είναι ανοιχτά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από οποιαδήποτε εφαρμογή. Παρόλα αυτά οι εφαρμογές που έχουν να κάνουν με την ασφάλεια έχουν, πάντα, προτεραιότητα έναντι των άλλων εφαρμογών.

- **IEEE1609-πρότυπα για ασύρματη επικοινωνία σε περιβάλλοντα οχημάτων (WAVE)(IEEE 802.11p).** Ασύρματη επικοινωνία μεταξύ κινούμενων οχημάτων μπορεί να επιτευχθεί και με υπάρχουσες συσκευές που υλοποιούν το IEEE 802.11a. Οι ταχύτητες που μπορούν να πετύχουν φτάνουν έως και 54Mbps. Παρόλα αυτά οι περιπτώσεις επικοινωνίας στα δίκτυα κινούμενων οχημάτων θέλουν ιδιαίτερη προσοχή γιατί διαθέτουν αυξημένες και συγκεκριμένες απαιτήσεις σε σχέση με τα σταθερά ασύρματα δίκτυα, και αυτό γιατί υπάρχουν αστάθμητοι παράγοντες όπως η κίνηση, οι ταχύτητες και το περιβάλλον οδήγησης. Οι παραδοσιακές λειτουργίες του IEEE 802.11 MAC υποφέρουν από μεγάλο overhead όταν χρησιμοποιούνται σε δίκτυα οχημάτων. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που απαιτείται η προώθηση δεδομένων που αφορούν την ασφάλεια στους δρόμους, είναι αυτονόητο ότι ο χρόνος που θα πρέπει να δαπανηθεί για την ανταλλαγή των πακέτων θα πρέπει να είναι ελάχιστος. Στην περίπτωση που ένας κόμβος «ακούει» το κανάλι για κάποιο beacon από ένα access point σε συνδυασμό με πολλαπλά handshakes (διαδικασία εδραίωσης μιας σύνδεσης δύο κόμβων) έχει ως αντίκτυπο την ανταλλαγή αρκετών πακέτων που έχουν μεγάλο overhead. Καταλαβαίνουμε, λοιπόν, ότι στην απλούστατη περίπτωση που δυο οχήματα κινούνται σε έναν αυτοκινητόδρομο σε αντίθετη κατεύθυνση η ανταλλαγή μηνυμάτων θα πρέπει να γίνει άμεσα. Σε διαφορετική περίπτωση δεν θα καταφέρουν να επικοινωνήσουν. Για αυτό τον λόγο το πρότυπο του DSRC ενσωματώθηκε στο IEEE 802.11 και πλέον μετονομάστηκε σε IEEE 802.11p Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE). Το WAVE ορίζει δύο ειδών

μονάδες: την σταθερή (Road Side Unit, RSU) και την κινητή (On Board Unit, OBU). Οι δύο αυτές μονάδες μπορούν να παίξουν τον ρόλο του παρόχου υπηρεσιών(provider of service) ή του χρήστη υπηρεσιών(user of service) και έχουν την δυνατότητα να εναλλάσσουν τις λειτουργίες τους ανάμεσα σε αυτές τις δυο. Συνήθως οι σταθερές μονάδες WAVE φιλοξενούν κάποιες εφαρμογές που παρέχουν υπηρεσίες, και οι κινητές μονάδες ζητούν και δέχονται τις υπηρεσίες αυτές. Το WAVE χρησιμοποιεί το Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) για να χωρίσει το σήμα σε μερικά χαμηλού φάσματος κανάλια και να παρέχει επικοινωνία με ταχύτητες 3,4,5,6,9,12,18,24 και 27 Mbps σε κανάλια των 10MHz.

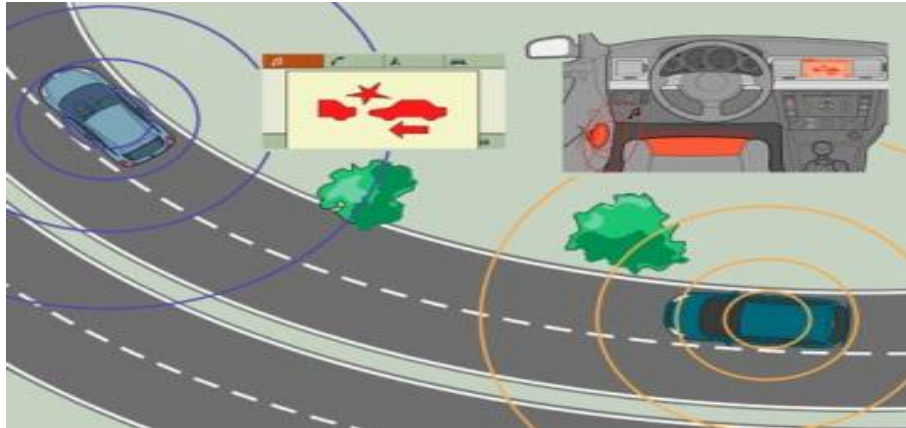
1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ VANETS

Όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω οι εφαρμογές που υφίστανται στα ασύρματα δίκτυα οχημάτων είναι πολλές και ολοένα αυξανόμενες (“Car 2 Car Communication Consortium Manifesto”,2007). Η κύρια σκέψη όταν αναφερόμαστε σε αυτοκίνητα είναι η ασφάλεια που επιβάλλεται να παρέχεται στον οδηγό και στους επιβάτες του οχήματος. Εκεί έχουν βασίσει όλες τους τις έρευνες οι ερευνητές των αυτοκινητοβιομηχανιών. Για αυτό το λόγο έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην ανάπτυξη εφαρμογών που ικανοποιούν αυτήν την απαίτηση. Παρακάτω περιγράφουμε μερικές από τις κύριες εφαρμογές των VANETS.

1. **Ασφάλεια.** Ο κύριος στόχος σε αυτή την περίπτωση είναι η όσο το δυνατόν ασφαλήσ οδήγηση. Αυτό επιτυγχάνεται διαμέσου της επικοινωνίας τον οχημάτων. Έτσι, υπάρχουν σαφείς προειδοποιήσεις προς τον οδηγό για ένα συμβάν αλλά και πιθανές αντιδράσεις και ενέργειες του ίδιου του αυτοκινήτου, χωρίς την συγκατάθεση του οδηγού σε περίπτωση που μια επερχόμενη σύγκρουση δεν μπορεί να αποφευχθεί και ο οδηγός δεν προλαβαίνει να αντιδράσει λογικά και γρήγορα.

a. **Συνεργατική προειδοποίηση πρόσθιας σύγκρουσης.** Τυπικά αίτια μιας πρόσθιας σύγκρουσης είναι ο περισπασμός του οδηγού ή το απότομο φρενάρισμα του μπροστινού οχήματος. Η συνεργατική

προειδοποίηση πρόσθιας σύγκρουσης βοηθά τον οδηγό να αποφύγει μια επερχόμενη σύγκρουση (Σχήμα 7).

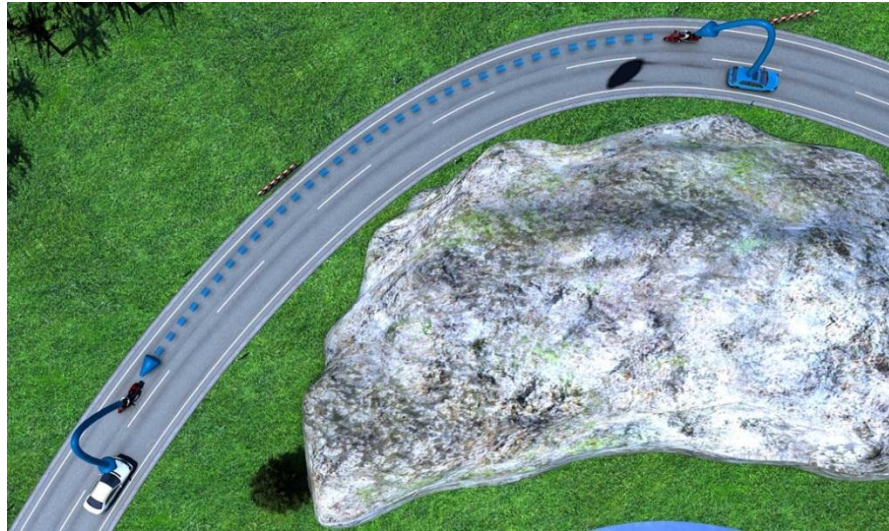


Σχήμα 7 – Προειδοποίηση προς απόφυγή πρόσθιας σύγκρουσης.

Κατά την διάρκεια της οδήγησης τα οχήματα ανταλλάσσουν πληροφορίες σχετικά με την θέση, ταχύτητα και κατεύθυνση που έχουν. Προκειμένου να αποφευχθεί μια τέτοιου είδους σύγκρουση το αυτοκίνητο πρέπει να είναι ικανό να αξιολογήσει την συμπεριφορά του οδηγού του, σε συνδυασμό με τις θέσεις και συμπεριφορές των γειτονικών αυτοκινήτων του. Μόλις το όχημα αντιληφθεί μια επικίνδυνη κατάσταση προειδοποιεί τον οδηγό, όπως διακρίνουμε και στο Σχήμα 7, με ακουστικά και οπτικά μέσα, καθώς και με δόνηση στο μπροστινό μέρος του καθίσματος. Έτσι ο οδηγός θα έχει τον απαιτούμενο χρόνο για να αντιδράσει σωστά και να αποφύγει το τρακάρισμα.

- b. **Προειδοποίηση πριν την επερχόμενη σύγκρουση.** Σε αυτή την περίπτωση η επερχόμενη σύγκρουση είναι αδύνατο να αποφευχθεί παρόλη την επικοινωνία που είχαν τα οχήματα. Ωστόσο, η ανταλλαγή μηνυμάτων δεν σταματάει μεταξύ των οχημάτων. Γίνεται όσο το δυνατόν άμεση ανταλλαγή προκειμένου να αποσαφηνιστούν οι ακριβείς θέσεις των οχημάτων, καθώς και εάν είναι δυνατό το είδος του οχήματος (μοτοσυκλέτα, Ι.Χ., λεωφορείο κλπ.). Αυτές οι επιπρόσθετες πληροφορίες καθορίζουν το ποίοι αερόσακοι θα ανοίξουν, καθώς και την ταχεία ενεργοποίηση της ζώνης και άλλων μηχανισμών ασφάλειας.

- γ. **Προειδοποίηση vehicle-to-vehicle για επικίνδυνο σημείο στο οδόστρωμα.** Στην προειδοποίηση για επικίνδυνο σημείο στο οδόστρωμα το δίκτυο λειτουργεί με τέτοιο τρόπο, ούτως ώστε τα οχήματα να ανταλλάσσουν πληροφορίες για γεγονότα στο δρόμο που επιβάλλουν ιδιαίτερη προσοχή, όπως η ολισθηρότητα του οδοστρώματος ή κατολίσθηση (Σχήμα 8).



Σχήμα 8 - Προειδοποίηση για επικίνδυνο σημείο στο οδόστρωμα.

Το κυρίως πρόβλημα σε αυτή την περίπτωση είναι η δημιουργία πληροφορίας σχετική με μια επικίνδυνη κατάσταση σε μια συγκεκριμένη θέση. Για παράδειγμα, ένα αυτοκίνητο ενεργοποιεί το ηλεκτρονικό σύστημα σταθερότητας (Electronic Stability Program, ESP) μετά από ένα συμβάν. Το όχημα αποσαφηνίζει την ακριβή τοποθεσία και την μοιράζεται ασύρματα με τα επερχόμενα οχήματα. Εκείνα με την σειρά τους την παραδίδουν στον οδηγό ή την εκμεταλλεύονται μόνο τους, προκειμένου να προετοιμάσουν το αυτοκίνητο για ένα τέτοιο γεγονός. Η πληροφορία θα πρέπει να διαμοιραστεί σε όσα αυτοκίνητα πλησιάζουν το σημείο αλλά θα πρέπει να παραμείνει όσο το δυνατό κοντά στην περιοχή, καθώς σε μια περιοχή που απέχει χιλιόμετρα μακριά η πληροφορία αυτή θα είναι παντελώς αχρείαστη. Επίσης, θα μπορούσε να αποθηκευθεί σε ένα RSU, εφόσον υπάρχει, και αυτό με την σειρά του να την μοιράζεται με τα επερχόμενα οχήματα.

2. **Αποφυγή κυκλοφοριακής συμφόρησης.** Οι εφαρμογές που αφορούν την αποτελεσματική διαχείριση της κίνησης, παρέχουν πληροφορίες προς τους διαχειριστές του οδικού δικτύου ή προς τους οδηγούς. Ένα πιο αποτελεσματικό και λειτουργικό οδικό δίκτυο έχει ως αποτέλεσμα λιγότερες καθυστερήσεις στους οδηγούς που το χρησιμοποιούν και λιγότερα κόστη συντήρησης για τους διαχειριστές του.

a. **Ενίσχυση της διαδικασίας πλοήγησης στο οδικό δίκτυο.** Στην περίπτωση αυτή, πληροφορίες στέλνονται από ένα σταθερό σημείο στους οδηγούς. Κάποιος επιτηρεί το οδικό δίκτυο και συλλέγει πληροφορίες σχετικά με τα σημεία που παρατηρείται αυξημένη κίνηση. Κατά την πλοήγηση ενός οχήματος στο δίκτυο τα RSU το τροφοδοτούν με πληροφορίες και δίνουν την δυνατότητα στον οδηγό να επιλέξει άλλο δρόμο, στον οποίο θα αποφύγει τις μεγάλες καθυστερήσεις.

b. **Ιδανική ταχύτητα διάσχισης διασταύρωσης με φωτεινό σηματοδότη.** Κατά την προσέγγιση ενός οχήματος σε μια διασταύρωση με φωτεινό σηματοδότη, το όχημα λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την απόσταση που απομένει για να φτάσει στην διασταύρωση καθώς και για τον χρόνο που απομένει για να αλλάξει το χρώμα του σηματοδότη από πράσινο σε κόκκινο. Έτσι υπολογίζεται αμέσως ποια είναι η ιδανική ταχύτητα που θα πρέπει να έχει το όχημα, ούτως ώστε όταν φτάσει στην διασταύρωση ο σηματοδότης να έχει πράσινο χρώμα και να μην χρειαστεί να σταματήσει ή να πατήσει απότομα φρένο. Αυτό σημαίνει ότι αποφεύγονται οι μεγάλες ουρές και η καθυστέρηση που προκαλεί η ακινητοποίηση των αυτοκινήτων στα φανάρια. Μεγάλη επίπτωση προκαλεί και στην κατανάλωση βενζίνης που μειώνεται αισθητά.

c. **Βοήθεια ενσωμάτωσης στον αυτοκινητόδρομο.** Στους μεγάλους αυτοκινητόδρομους παρατηρείται συχνά πρόβλημα και μεγάλες καθυστερήσεις όταν μεγάλος όγκος οχημάτων επιδιώκει να εισέλθει από μια παράπλευρη είσοδο στην κύρια ροή των οχημάτων. Θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο, εάν υπήρχαν οδηγίες προς τους οδηγούς που εισέρχονται στους αυτοκινητόδρομους ή τους οδηγούς που κινούνται ήδη πάνω στην οδική αρτηρία, για το πώς να αντιδράσουν και να

διαχειριστούν τέτοια κατάσταση. Με την εφαρμογή αυτή το αυτοκίνητο που εισέρχεται στον αυτοκινητόδρομο επικοινωνεί με το αυτοκίνητο που θα είναι στο πλάι του την χρονική στιγμή που θα εισέλθει στην δεξιά λωρίδα της κύριας αρτηρίας. Αυτή η επικοινωνία έχει ως στόχο την είσοδο των οχημάτων στους αυτοκινητόδρομους χωρίς εμπόδια, χωρίς να επηρεάζουν την ομαλή ροή της κίνησης και χωρίς να καθυστερούν τα αυτοκίνητα που κινούνται ήδη στον δρόμο.

3. **Ενημερωτικές, πληροφοριακές και άλλες εφαρμογές.** Αυτές οι εφαρμογές δεν έχουν σχέση με την ασφάλεια ή την αποτελεσματική διαχείριση της κίνησης, αλλά δίνουν την δυνατότητα στον οδηγό να απολαμβάνει διασκέδαση και ενημέρωση σε καθημερινή βάση.

a. **Πρόσβαση στο διαδίκτυο.** Τα οχήματα έχουν την δυνατότητα να μπαίνουν στο διαδίκτυο και να απολαμβάνουν πλήρως τις υπηρεσίες του. Καθιερώνουν μια σύνδεση με ένα RSU, το οποίο λειτουργεί ως προεπιλεγμένη πύλη και έτσι διαμέσου και άλλων οχημάτων, που λειτουργούν ως μεσάζοντες μεταξύ του RSU και του οχήματος που έχει κάνει την αίτηση για πρόσβαση, συνδέονται στο Internet.

b. **Επισημάνσεις σημείων ενδιαφέροντος.** Με αυτή τη λειτουργία, επιχειρήσεις, καταστήματα, τουριστικά μέρη, αξιοθέατα και άλλα σημεία ενδιαφέροντος μπορούν να παίξουν τον ρόλο ενός RSU και να διαφημιστούν παρέχοντας πληροφορίες όπως η ακριβής γεωγραφική θέση τους, η παροχές που διαθέτουν καθώς και οι τιμές των υπηρεσιών που προσφέρουν. Τα οχήματα μπορεί να δράσει και αυτόβουλα αναζητώντας πληροφορίες. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που η στάθμη της βενζίνης είναι χαμηλή το όχημα κάνει broadcast αναζητώντας ένα πρατήριο υγρών. Το κύριο όφελος αυτής της εφαρμογής είναι ότι οι διαφημίσεις αποκτούν ιδιαίτερη αξία αφού ο οδηγός που τις λαμβάνει είναι πολύ κοντά στο σημείο και είναι πιο πιθανό να το επισκευθεί, παρά εάν τις ακούει από το ραδιόφωνο ή τις βλέπει από το Internet.

c. **Απομακρυσμένη διάγνωση.** Ένα συνεργείο αυτοκινήτων μπορεί να επικοινωνήσει με ένα αυτοκίνητο που βρίσκεται στην εμβέλεια του και να διενεργήσει διαγνωστικό έλεγχο ή να ζητήσει πληροφορίες από τον οδηγό για το πρόβλημα που παρουσιάστηκε. Επίσης, μπορεί να

διατρέξει την βάση δεδομένων για να αναζητήσει τυχόν προηγούμενες επισκευές του αυτοκινήτου και ιστορικό. Είναι δυνατή και η αναβάθμιση του λογισμικού του χωρίς να χρειαστεί να επισκευθεί το συνεργείο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση κόστους ελέγχου και επισκευής του οχήματος, καθώς και μείωση του χρόνου αναμονής που έχουν συνήθως οι πελάτες στα συνεργεία.

Αυτές είναι μερικές από τις εφαρμογές των ασύρματων δικτύων οχημάτων. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται επιγραμματικά και άλλες εφαρμογές των VANETs που υλοποιούνται ή βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο.

Πίνακας 1 – Ενδεικτικές εφαρμογές στα VANETs

	Κατάσταση/Σκοπός	Εφαρμογές
Ασφάλεια	Επικίνδυνα χαρακτηριστικά δρόμου	Προειδοποίηση για 1)επικίνδυνες στροφές, 2)χαμηλές γέφυρες, 3)παραβίαση σημάτων STOP ή φωτεινής σηματοδότησης.
	Μη φυσιολογικές συνθήκες στον δρόμο	1)Ενίσχυση ορατότητας. 2)Προειδοποίηση για έργα συντήρησης. 3)Προειδοποίηση για ανώμαλο οδόστρωμα.
	Πιθανή σύγκρουση	Προειδοποίηση για πρόσθια σύγκρουση
	Σύγκρουση	1)Προειδοποίηση πριν την επικείμενη σύγκρουση. 2)Αυτόματη επικοινωνία με οδική ασφάλεια, αστυνομία κλπ.
Δημόσιες Υπηρεσίες	Οχήματα έκτακτης ανάγκης	Προειδοποίηση για 1) επερχόμενο όχημα έκτακτης ανάγκης, 2) όχημα έκτακτης ανάγκης σε κάποιο σημείο στο οδικό δίκτυο.
	Έλεγχος από τις αρχές	Απομακρυσμένος έλεγχος 1)άδειας αυτοκινήτου, 2)διπλώματος οδηγού, 3)τυχόν κλεμμένο όχημα.

	Κατάσταση/Σκοπός	Εφαρμογές
Βελτιωμένο επίπεδο οδήγησης	Ενισχυμένη οδήγηση	1)Ενσωμάτωση στους αυτοκινητόδρομους. 2)Βοήθεια στην προσπέραση. 3)Εμφάνιση της σηματοδότησης σε οθόνη του αυτοκινήτου. 4)Υποβοήθηση στην λειτουργία του συστήματος Cruise Control.
	Αποτελεσματική διαχείριση της κυκλοφοριακής συμφόρησης	1)Επισημάνσεις προς το κέντρο διαχείρισης και εποπτείας του οδικού δικτύου για την κατάσταση του και τυχόν ατυχήματα. 2)Έξυπνος έλεγχος της ροής των οχημάτων. 3)Οδηγίες για καλή και χωρίς καθυστερήσεις πλοήγηση στο οδικό δίκτυο. 4)Εύρεση ελεύθερου σημείου για παρκάρισμα. 5)Εγκατάσταση/Αναβάθμιση χαρτών.
Ενημέρωση/Διασκέδαση και άλλες υπηρεσίες	Συντήρηση του οχήματος	1)Απομακρυσμένος έλεγχος και διάγνωση προβλημάτων του οχήματος. 2)Αναβάθμιση του λογισμικού. 3)Ενημέρωση για απαιτούμενη επισκευή/συντήρηση του οχήματος
	Επιχειρηματικές λύσεις	1)Εποπτεία του στόλου αυτοκινήτων μιας εταιρίας. 2)Εποπτεία ενοικιαζόμενων αυτοκινήτων. 3)Ανακάλυψη φορτίων που έχουν υποστεί υλικές ζημιές.
	Ηλεκτρονική πληρωμή	Πληρωμή 1)διοδίων, 2)θέσης parking, 3)πρατηρίου υγρών καυσίμων, 4)καταστημάτων drive-through.
	Υπηρεσίες διαδικτύου	1)Πρόσβαση στο Internet. 2)Επισημάνσεις για σημεία ενδιαφέροντος.

Συνοψίζοντας, στο πρώτο κεφάλαιο κάναμε μια εισαγωγή στον κόσμο των VANETs. Αναφέραμε εκτενώς τις αρχιτεκτονικές, τα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου δικτύου, τα πρότυπα επικοινωνίας, τα πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας, καθώς και τις εφαρμογές που διαθέτουν και τα οφέλη που δίνουν στους οδηγούς των αυτοκινήτων. Στο επόμενο κεφάλαιο θα περιγράψουμε τα εργαλεία με τα οποία εργαστήκαμε, ούτως ώστε να υλοποιήσουμε το πρωτόκολλο που προτείνουμε και να προσομοιώσουμε την λειτουργία ενός δικτύου VANET.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

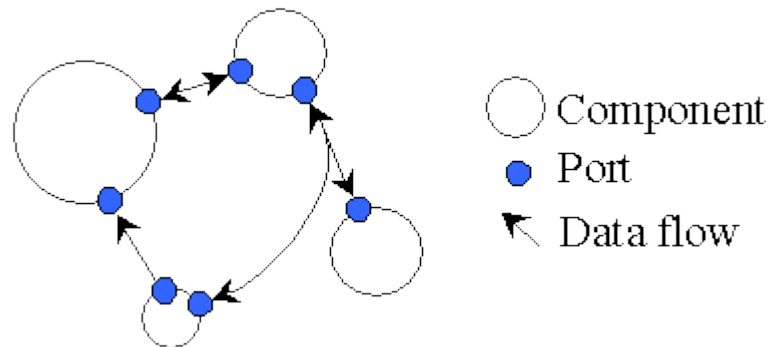
Κύριος στόχος των προσομοιώσεων είναι να παρατηρήσουμε την συμπεριφορά του πρωτοκόλλου και να αξιολογήσουμε τις λειτουργίες του και τα αποτελέσματα που εξάγει. Προκειμένου να γίνουν όλα αυτά επιλέχθηκαν κάποια εργαλεία προσομοίωσης, τα οποία δίνουν το δικαίωμα να δημιουργήσουμε εικονικά ασύρματα δίκτυα κινητών κόμβων και να εξετάσουμε τις συμπεριφορές των κόμβων και την επικοινωνία τους. Επίσης, χρησιμοποιήσαμε εργαλείο για να πάρουμε τα ίχνη (traces) των οχημάτων, ούτως ώστε να φτάσουμε όσο το δυνατό κοντά στην πραγματική κίνηση και συμπεριφορά των οχημάτων σε ένα αστικό δίκτυο. Το αστικό δίκτυο που πάνω στο οποίο κινούνταν με τυχαία κίνηση τα οχήματα, δεν ήταν κάποιο τυχαίο αστικό δίκτυο που σου προσφέρει το εργαλείο, αλλά μια υπαρκτή περιοχή.

Ειδικότερα, τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση του ασύρματου δικτύου οχημάτων είναι τα εξής:

- **J-SIM:** Το J-SIM είναι μια εφαρμογή βασισμένη στην JAVA, η οποία δίνει την δυνατότητα της προσομοίωσης ενός περιβάλλοντος αποτελούμενο από διάφορα «εξαρτήματα» (components).
- **VanetMobiSim:** Το VanetMobiSim είναι μια εφαρμογή ρεαλιστικής προσομοίωσης της κίνησης των οχημάτων σε αστικά δίκτυα. Έχει την δυνατότητα να εξάγει τα ίχνη των οχημάτων.
- **E-World:** Το E-World είναι ένα πρόγραμμα μετατροπής αληθινών χαρτών σε γραφικές παραστάσεις αποτελούμενες από διανύσματα.
- **OpenStreetMap:** Η ιστοσελίδα openstreetmap.org προσφέρει την δυνατότητα εξαγωγής τμήματος αληθινών χαρτών, σε αρχεία τύπου .osm. Το αρχείο που εξήχθη, μετατράπηκε από το E-World σε αρχείο .xml το οποίο χρησιμοποιήθηκε από το VanetMobiSim.

2.1 J-SIM

Το J-SIM είναι ένα περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών, οι οποίες είναι βασισμένες στην αρχιτεκτονική συστατικών, Autonomous Component Architecture, ACA. Η βασική οντότητα του J-SIM είναι τα components. Τα components στο J-SIM επικοινωνούν μεταξύ τους ενώνοντας τις πόρτες που διαθέτουν (ports) και λειτουργούν βάσει συμβολαίων (contracts). Τα συμβόλαια αυτά αποτελούν την συμπεριφορά των components, ορίζουν την διαδικασία αποστολής και λήψης δεδομένων ανάμεσα τους, αλλά παρόλα αυτά δεν ορίζουν ποια components θα συμμετέχουν στην διαδικασία αυτή. Στο Σχήμα 9 απεικονίζονται μερικά components, το πώς είναι συνδεδεμένα καθώς και η ροή των δεδομένων μεταξύ τους.



Σχήμα 9 – Components, Ports και Data Flow στο J-SIM.

Οι πόρτες ενός εξαρτήματος είναι οι πύλες επικοινωνίας με τα υπόλοιπα εξαρτήματα του δικτύου. Τα συμβόλαια είναι δύο ειδών: τα συμβόλαια που αναφέρονται στις πόρτες και τα συμβόλαια που αναφέρονται σε ολόκληρο το εξάρτημα. Τα πρώτα καθορίζουν την συμπεριφορά που θα έχουν οι πόρτες κατά την επικοινωνία τους με τις πόρτες άλλων εξαρτημάτων, ενώ τα δεύτερα καθορίζουν την συμπεριφορά ολόκληρου του εξαρτήματος.

Κάθε οντότητα του δικτύου, όπως το ίδιο το δίκτυο, ένας κόμβος, ένα router, μια σύνδεση, ένα πρωτόκολλο, που προσομοιώνουμε με το J-SIM είναι ένα component. Η γλώσσα JAVA χρησιμοποιείται για να υλοποιηθούν όλες οι κλάσεις και η script γλώσσα Tcl για να κατασκευάσουμε, να παραμετροποιήσουμε ή να ελέγξουμε την προσομοίωση του δικτύου την στιγμή που τρέχει. Σε συνάρτηση με

τις γνωστές εντολές της Tcl, το J-SIM χρησιμοποιεί και άλλες δύο, επιπλέον, ομάδες εντολών:

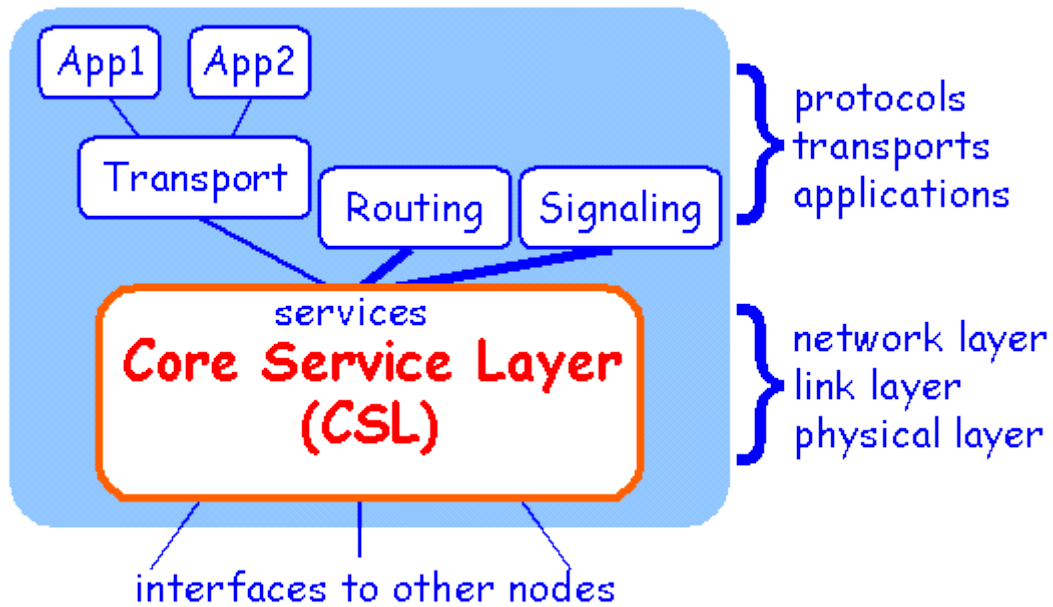
- **Tcl/Java:** αποτελούν την «γέφυρα» μεταξύ της Tcl και της JAVA. Με αυτό το σύνολο των εντολών μπορούμε να δημιουργήσουμε ή να έχουμε πρόσβαση σε οποιαδήποτε αντικείμενα της JAVA στο περιβάλλον της Tcl.
- **RUV system commands:** τα components στην J-SIM οργανώνονται βάσει μιας ιεραρχίας. Η ιεραρχία αυτή, μοιάζει πολύ με το σύστημα αρχείων που εμφανίζεται στα σύγχρονα λειτουργικά συστήματα. Για να γίνει πιο εύκολη η παραμετροποίηση του δικτύου, έχει αναπτυχθεί ένα σύνολο Runtime Virtual (RUV) εντολών, το οποίο δίνει την δυνατότητα να μεταχειριστούμε την ιεραρχία των components με ίδιες εντολές όπως στα συστήματα UNIX.

Για να δημιουργηθεί ένα νέο σενάριο προσομοίωσης δικτύου, απαιτούνται τρεις ενέργειες:

1. Δημιουργία της τοπολογίας
2. Δημιουργία της εσωτερικής δομής των κόμβων
3. Ορισμός και παραμετροποίηση του σεναρίου.

Το βασικό πλαίσιο μιας προσομοίωσης δικτύου στο J-SIM είναι το πλαίσιο INET. Το πλαίσιο INET περιέχει κάποιες βασικές κλάσεις του μοντέλου του δικτύου και ένα σύνολο από κλάσεις και μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία του σεναρίου προσομοίωσης. Ολόκληρο το δίκτυο και οι προσομοιώσεις ακολουθούν τους κανόνες αυτού του πλαισίου. Για παράδειγμα, τα πακέτα του πρωτοκόλλου που κατασκευάσαμε βρίσκονται εμφωλευμένα μέσα στο σώμα του πακέτου INET.

Σε αντίθεση με το γνωστό μοντέλο επιπέδων του OSI, το οποίο αποτελείται από επτά επίπεδα, η J-SIM έχει δυο επίπεδα: το upper layer protocol (UPL) και το core service layer (CSL). Το UPL περιέχει τα πρωτόκολλα δρομολόγησης και όλα εκείνα που έχουν να κάνουν με την μεταφορά των δεδομένων και τις εφαρμογές. Ενώ το CSL παρέχει ένα σύνολο καλά καθορισμένων υπηρεσιών, που είναι κοινές στις περισσότερες αρχιτεκτονικές δικτύων. Στο Σχήμα 10 εμφανίζεται η εσωτερική δομή ενός κόμβου.



Σχήμα 10 – Εσωτερική δομή κόμβου.

Οι κύριες υπηρεσίες που παρέχονται από το CSL και συνδέονται με το UPL είναι:

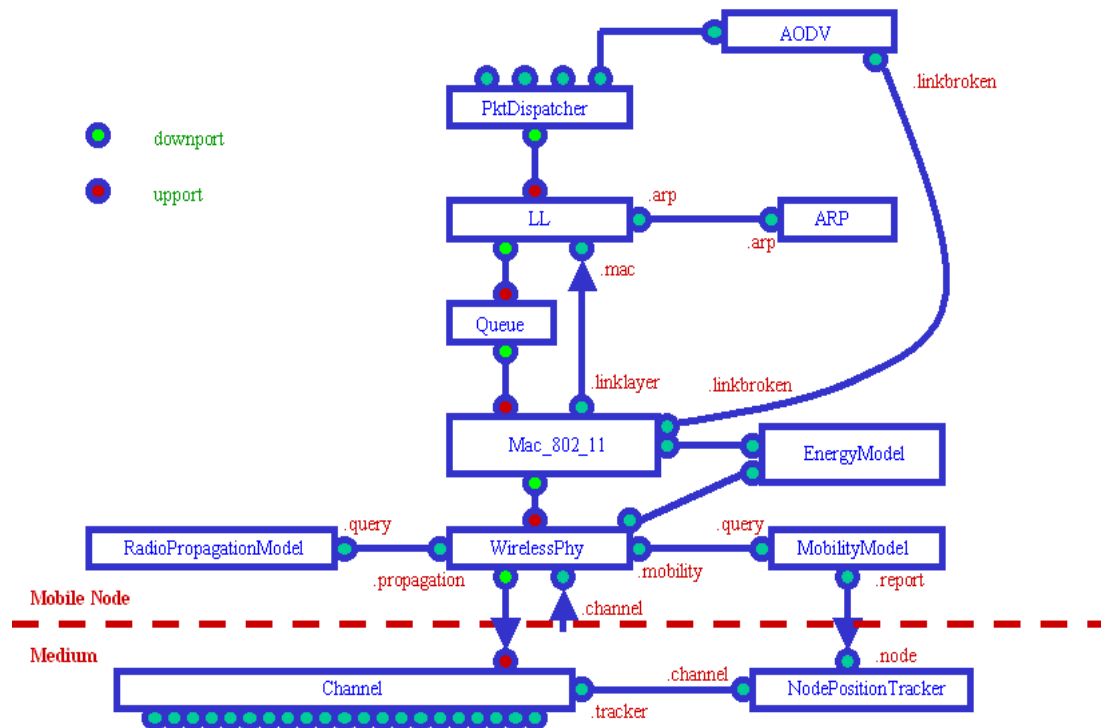
- **Υπηρεσίες δεδομένων (Data Services).** Αποστολή και λήψη πακέτων.
- **Υπηρεσίες ταυτότητας κόμβου (Identity Services).** Επιτρέπει την παραμετροποίηση της ταυτότητας του κόμβου από το upper layer protocol.
- **Υπηρεσίες πίνακα δρομολόγησης (Routing table Services).** Επιτρέπει στο UPL να καθορίζει τον πίνακα δρομολόγησης του κόμβου.
- **Υπηρεσίες που αφορούν τους γείτονες και τα interfaces (Interface/Neighbor Services).** Επιτρέπει στο UPL να ζητά πληροφορίες για τους γείτονες και τα interfaces του κόμβου.
- **Υπηρεσίες Multicast (Multicast Services).** Υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει multicast επικοινωνία στο δίκτυο.
- **Παραμετροποίηση φίλτρων πακέτων (Packet filter configuration Services).** Επιτρέπουν την παραμετροποίηση των φίλτρων των πακέτων από το UPL.

Κύρια σημασία στην αποστολή και λήψη πακέτων σε έναν κόμβο, έχει ένα υπό-εξάρτημα (sub-component), που βρίσκεται μέσα στον πυρήνα (core): το Packet Dispatcher. Το Packet Dispatcher παρέχει υπηρεσίες αποστολής/λήψης δεδομένων στο UPL. Ειδικότερα, προωθεί τα εισερχόμενα στον πυρήνα πακέτα είτε προς τις πόρτες που «οδηγούν» στα ανώτερα επίπεδα (UPL), είτε προς τις πόρτες που είναι συνδεδεμένες με άλλους κόμβους. Αυτό σημαίνει ότι σε περίπτωση που έχει έρθει ένα πακέτο από άλλον κόμβο προωθείται προς το UPL μέσω κάποιας πόρτας, ενώ όταν έχει έρθει ένα πακέτο προς αποστολή στο δίκτυο οδηγείται προς τις εξωτερικές πόρτες.

Το J-SIM δίνει την δυνατότητα προσομοίωσης ενός ασύρματου δικτύου με κινητούς κόμβους, με την εισαγωγή μιας επέκτασης. Παρέχει ένα σύνολο συστατικών που υλοποιεί κάποιες βασικές αρχές που ισχύουν στα ασύρματα δίκτυα κινητών κόμβων. Για να προσομοιωθεί ένας ασύρματος κινητός κόμβος, εισάγονται τρεις επιπλέον κατηγορίες εξαρτημάτων:

- Ένα σύνολο από πρωτόκολλα που υποστηρίζουν ασύρματη επικοινωνία (συμπεριλαμβάνει το AODV, το ARP, το IEEE802.11 κλπ). Σε αυτό το σύνολο προσθέσαμε και το δικό μας πρωτόκολλο διάχυσης δεδομένων.
- Ένα σύνολο εξαρτημάτων που προσομοιώνουν τα φυσικά χαρακτηριστικά των κινητών κόμβων, όπως η θέση και η κίνηση τους, καθώς και η κατανάλωση ενέργειας και η εμβέλεια εκπομπής του σήματος.
- Ένα σύνολο εξαρτημάτων για να προσομοιωθεί το κανάλι επικοινωνίας στο οποίο δουλεύουν οι ασύρματες κάρτες δικτύου που έχουν οι κόμβοι.

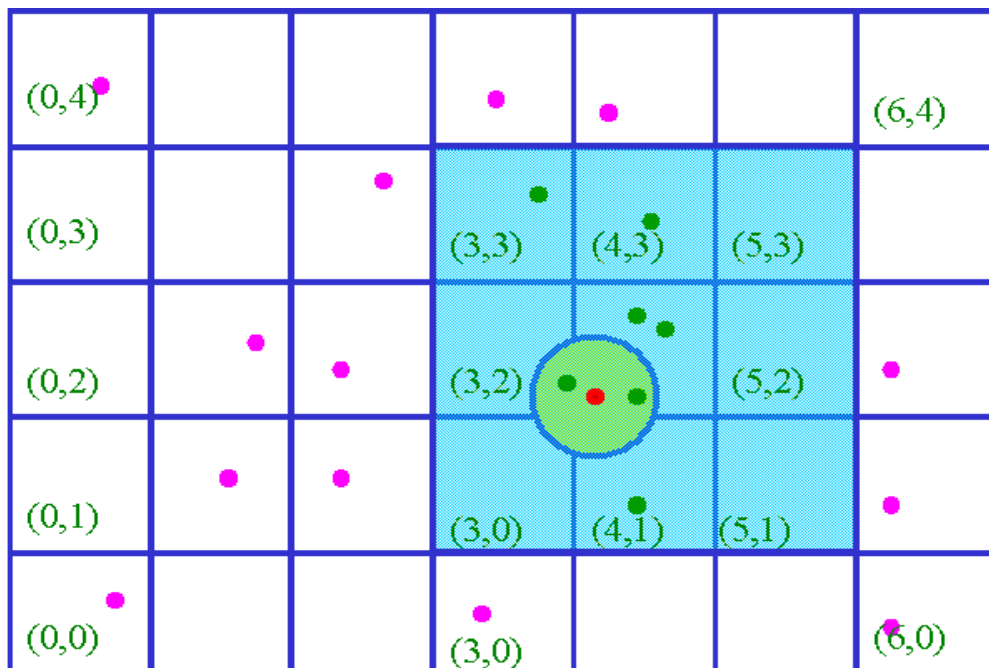
Το Σχήμα 11 αναπαριστά τα διάφορα components που συνθέτουν έναν ασύρματο κινητό κόμβο, καθώς και την σύνδεση του με το κανάλι μετάδοσης. Στην συνέχεια θα αναφέρουμε επιγραμματικά τα components αυτά. Με πράσινες βούλες και κόκκινες βούλες εμφανίζονται οι πόρτες τους και η σύνδεση μεταξύ τους.



Σχήμα 11 – Συστατικά ασύρματου κινητού κόμβου.

- **LL:** Το LL υλοποιεί κάποιες βασικές λειτουργίες δευτέρου επιπέδου.
- **ARP:** Υλοποιεί το Address Resolution Protocol και συντηρεί έναν πίνακα με την αντιστοίχιση IP και MAC διευθύνσεων.
- **Mac_802_11:** Το IEEE 802.11 είναι το μοναδικό πρωτόκολλο που υλοποιείται από την ασύρματη επέκταση του J-SIM.
- **Queue:** Τα INETPacket και τα ARP πακέτα, αποθηκεύονται στην ουρά προτού προωθηθούν στο δίκτυο.
- **AODV:** Είναι το πρωτόκολλο δρομολόγησης και μπορεί να αντικατασταθεί από κάποιο άλλο.
- **EnergyModel:** Αναφέρεται στο μοντέλο ενέργειας που ακολουθούν οι κόμβοι. Στην περίπτωση του δικτύου μας δεν λαμβάνεται υπ' όψιν, διότι στα οχήματα η ενέργεια ανανεώνεται συνεχώς.
- **MobilityModel:** Προσομοιώνει την κίνηση των κόμβων και καταγράφει τις θέσεις τους.
- **WirelessPhy:** Παίρνει τον ρόλο της ασύρματης κάρτας δικτύου και υλοποιεί όλες τις λειτουργίες της.

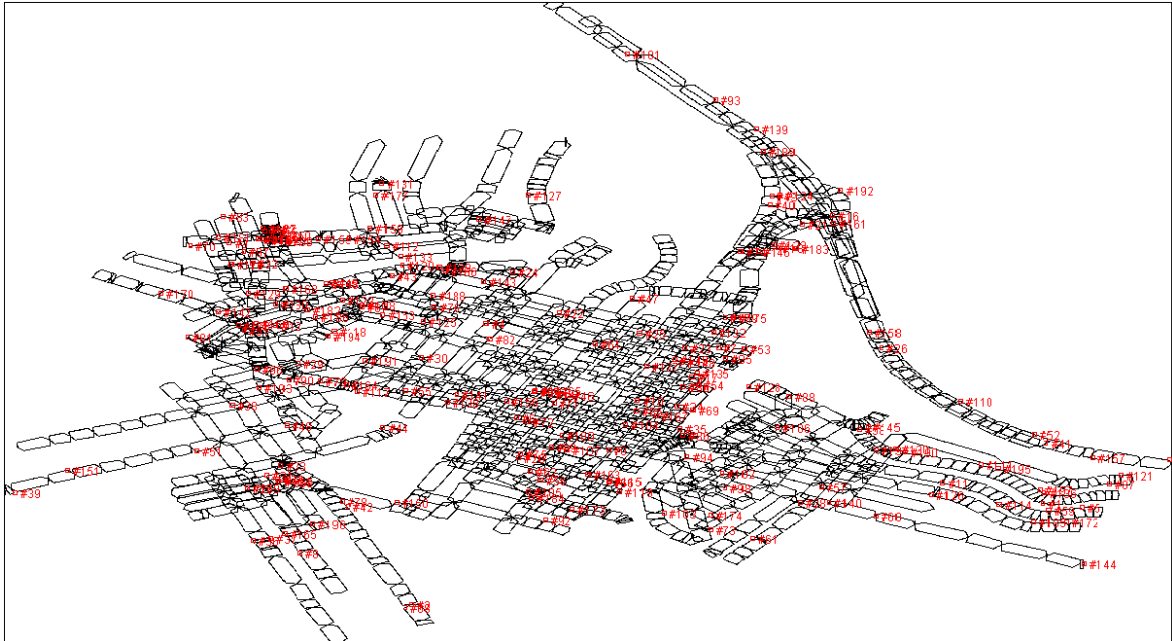
- **RadioPropagationModel:** Αναφέρεται στο μοντέλο διάδοσης του σήματος. Στην J-SIM υλοποιούνται τρία τέτοια μοντέλα: το Free Space Model, το Two-ray Ground Model και το Irregular Terrain Model.
- **Channel:** Προσομοιώνει το μέσο μετάδοσης στην ασύρματη επικοινωνία. Όταν ένα πακέτο φτάνει στο κανάλι, μόνο οι γειτονικοί κόμβοι του αποστολέα λαμβάνουν ένα αντίγραφο του πακέτου. Σε αυτό το σημείο έχει ιδιαίτερη σημασία να παρουσιάσουμε με μια εικόνα ποιοι κόμβοι λαμβάνουν τα πακέτα που στέλνει ένας κόμβος. Η τοπολογία του δικτύου χωρίζεται με πλέγμα, του οποίου τις διαστάσεις ορίζουμε εμείς. Το πακέτο που εκπέμπεται από έναν κόμβο, λαμβάνεται από τους κόμβους που βρίσκονται στα γειτονικά τετράγωνα με το τετράγωνο που βρίσκεται ο κόμβος που εκπέμπει το πακέτο. Στο Σχήμα 12 εμφανίζεται ένα παράδειγμα διάδοσης του σήματος από το κανάλι. Ο αποστολέας (κόκκινη κουκίδα), βρίσκεται στο τετράγωνο με συντεταγμένες (4,2) και το πακέτο που στέλνει λαμβάνεται μόνο από τα τετράγωνα που έχουν έστω και μια κοινή πλευρά με το τετράγωνο που βρίσκεται ο κόμβος.



Σχήμα 12 – Παράδειγμα Grid μετάδοσης σήματος.

- **NodePositionTracker:** καταγράφει την θέση του κάθε κόμβου και καθορίζει την γειννίαση των κόμβων.

Προκειμένου να ξεκινήσει η προσομοίωση του δικτύου, απαιτούνται μερικά βήματα. Το πρώτο είναι η δημιουργία της τοπολογίας του δικτύου. Στην περίπτωση της δικής μας προσομοίωσης η τοπολογία του δικτύου ορίζεται από το E-World, με το οποίο μετατρέψαμε μια αληθινή γεωγραφική περιοχή σε έναν γράφο με διανύσματα, και το VanetMobiSim, το οποίο καθορίζει την κίνηση των κόμβων. Η τοπολογία και η αρχική θέση των κόμβων σε ένα σενάριο με 200 κόμβους φαίνεται στο Σχήμα 13.



Σχήμα 13 – Παράδειγμα τοπολογίας δικτύου.

Στην συνέχεια ορίζονται οι κόμβοι και τα διάφορα components που τους αποτελούν καθώς και το μέσο μετάδοσης. Στο Σχήμα 14 εμφανίζεται κομμάτι του κώδικα στο οποίο διακρίνεται η δημιουργία ενός συνόλου κόμβων, καθώς και η δημιουργία και σύνδεση των εξαρτημάτων που τους συνθέτουν.

```

66  for {set n 0} {$n<50} {incr n} {
67      puts "create $n node"
68
69          mkdir drcl.comp.Component n$n
70          cd n$n
71          set convert [mkdir PositionReportConvert converter]
72          mkdir drcl.inet.mac.PositionReportContract message
73          mkdir drcl.inet.mac.LL ll
74          mkdir drcl.inet.mac.Mac_802_11 mac
75          mkdir drcl.inet.core.queue.FIFO queue
76          mkdir drcl.inet.mac.ARP arp
77          mkdir drcl.inet.mac.RadioPropagationModel radio
78          mkdir drcl.inet.mac.WirelessPhy wireless
79          mkdir drcl.inet.mac.MobilityModel mobility
80          mkdir drcl.inet.core.PktDispatcher pktdispatcher
81          mkdir drcl.inet.protocol.vanetprot.DRP protocol
82          set RT [mkdir drcl.inet.core.RT rt]
83          set ID [mkdir drcl.inet.core.Identity id]
84          ! pktdispatcher bind $RT
85          ! pktdispatcher bind $ID
86
87          puts "$n node created..."
88          puts "connect components in node $n..."
89
90          connect wireless/.mobility@ -and mobility/.query@
91          connect wireless/.propagation@ -and radio/.query@
92          connect wireless/up@ -and mac/down@
93          connect mac/.linklayer@ -to ll/.mac@
94          connect mac/up@ -and queue/output@
95          connect ll/down@ -and queue/up@
96          connect ll/.arp@ -and arp/.arp@
97          connect -c ll/up@ -and pktdispatcher/0@down
98          connect -c protocol/down@ -and pktdispatcher/17@up
99          connect mobility/.query@ -and $convert/query@

```

Σχήμα 14 – Δημιουργία και σύνδεση εσωτερικών συστατικών ενός συνόλου κόμβων.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το J-SIM δίνει την δυνατότητα ορισμού των κόμβων αλλά όχι και της κίνησης τους. Η προεπιλεγμένη μορφή κίνησης των κόμβων σε ένα δίκτυο είναι η τυχαία. Οι κόμβοι, δηλαδή, κινούνται τυχαία και ακανόνιστα στο δίκτυο. Παρόλα αυτά, δίνει την δυνατότητα, μέσω της ύπαρξης της μεθόδου `InstallTrajectory` της κλάσης `MobilityModel`, να ορίσει ο προγραμματιστής την κίνηση των κόμβων. Χρησιμοποιήσαμε λοιπόν αυτήν την μέθοδο ούτως ώστε να εισάγουμε τα ίχνη που πήραμε από το `VanetMobiSim` και να τα ορίσουμε ως

κίνηση του κάθε κόμβου ξεχωριστά. Στο Σχήμα 15 εμφανίζεται το κομμάτι του κώδικα που γράφτηκε για αυτόν τον σκοπό.

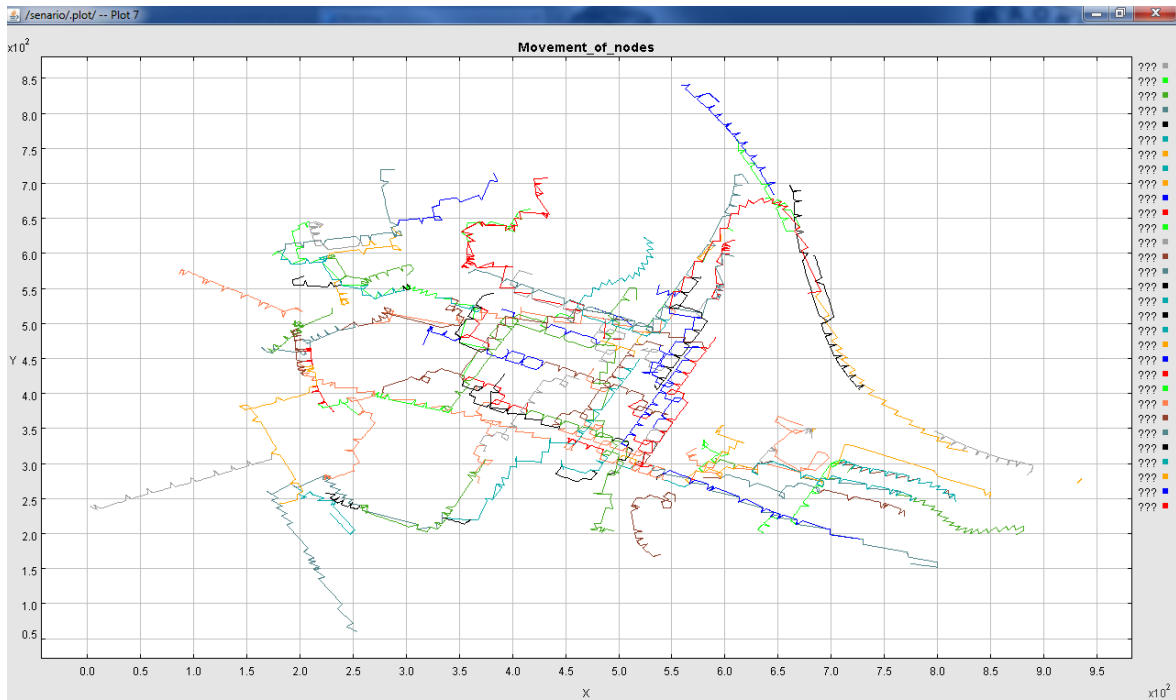
```

285 #ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ.
286
287 if 1 {
288
289     for {set n 0} {$n<200} {incr n} {
290         set t_lst($n) [java::new {double[][]} $table($n)]
291     }
292
293     .....
294     for {set n 0} {$n<200} {incr n} {
295         for {set i 0} {$i<[expr $table($n)-1]} {incr i} {
296             $t_lst($n) set $i [java::new {double[]} 4 "[expr [lindex $array($n,$i) 1]/10]
297                 [lindex $array($n,$i) 2] [lindex $array($n,$i) 3] 0"]
298         }
299         $t_lst($n) set [expr $table($n)-1] [java::new {double[]} 4 "[expr [lindex $array($n,$i) 1]/10]
300             [lindex $array($n,$i) 2] [lindex $array($n,$i) 3] 0"]
301     }
302
303     .....
304     for {set n 0} {$n<200} {incr n} {
305         ! n$n/mobility installTrajectory $t_lst($n)
306     }
307
308     }
309
310     for {set n 0} {$n<200} {incr n} {
311         set t_($n) [java::new {double[][]} $table($n)]
312     }
313
314     .....
315     for {set n 0} {$n<200} {incr n} {
316         for {set i 0} {$i<[expr $table($n)-1]} {incr i} {
317             $t_($n) set $i [java::new {double[]} 5 "[lindex $array($n,$i) 0]
318                 [expr [lindex $array($n,$i) 1]/10] [lindex $array($n,$i) 2]
319                 [lindex $array($n,$i) 3] [lindex $array($n,$i) 4]"]
320         }
321     }
322
323     for {set n 0} {$n<200} {incr n} {
324         ! n$n/protocol setScenario $t_($n) $table($n)
325     }

```

Σχήμα 15 – Κώδικας ορισμού κίνησης κόμβων.

Επίσης, κατασκευάσαμε ένα Plotter ούτως ώστε να παρατηρήσουμε την κίνηση των κόμβων και να εξετάσουμε εάν όντως αντιπροσωπεύει τα εξαγόμενα ίχνη του VanetMobiSim. Στο Σχήμα 16 εμφανίζεται η κίνηση των κόμβων μέσα από το plotter του J-SIM.



Σχήμα 16 - Παράδειγμα κίνησης κόμβων με το plotter του J-SIM.

Στο Παράρτημα Α υπάρχει ένα μεγάλο κομμάτι κώδικα από την αρχικοποίηση του δικτύου, των κόμβων, του μέσου μετάδοσης, της κίνησης των κόμβων και τις ενέργειες που πρέπει να εκτελέσουν οι κόμβοι. Επίσης, στο Παράρτημα Γ υπάρχει ένα κομμάτι κώδικα ορισμού του πακέτου που κατασκευάστηκε για τις ανάγκες του πρωτόκολλου μας και ένα κομμάτι κώδικα με τον αλγόριθμο που υλοποιεί τις κύριες του πρωτοκόλλου.

2.2 VANETMOBISIM

Το VanetMobiSim είναι μια εφαρμογή προσομοίωσης της ρεαλιστικής κίνησης των οχημάτων και είναι μια επέκταση του CANU Mobility Simulation Environment (CanuMobiSim), το οποίο χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση δικτύου με κινητούς κόμβους. Το VanetMobiSim επικεντρώνεται στην κίνηση των οχημάτων και εισάγει ένα σύνολο χαρακτηριστικών, σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο. Στο μακροσκοπικό επίπεδο, το VanetMobiSim έχει την δυνατότητα να εισάγει αληθινούς χάρτες και να υποστηρίζει ρεαλιστικά χαρακτηριστικά, όπως οι δρόμοι με πολλές λωρίδες, ξεχωριστές κατευθύνσεις σε ένα δρόμο, διακύμανση στην ταχύτητα των κόμβων και φωτεινούς σηματοδότες στις διασταυρώσεις. Σε μικροσκοπικό επίπεδο, το VanetMobiSim εισάγει νέα μοντέλα, παρέχοντας ρεαλιστική αλληλοεπίδραση μεταξύ των οχημάτων ή μεταξύ των οχημάτων και των σταθερών υποδομών. Σύμφωνα με τα μοντέλα αυτά, τα οχήματα καθορίζουν την ταχύτητά τους σε σχέση με τα προπορευόμενα οχήματα, έχουν την δυνατότητα να προσπεράσουν άλλα οχήματα και σταματάνε στην περίπτωση που οι φωτεινοί σηματοδότες έχουν χρώμα κόκκινο.

Το VanetMobiSim δίνει στους χρήστες την δυνατότητα να κατασκευάσουν την δική τους τοπολογία, ορίζοντας τον αριθμό των κόμβων, την μέγιστη και ελάχιστη ταχύτητα που μπορούν να έχουν, καθώς και πόσοι φωτεινοί σηματοδότες θα υπάρχουν στην τοπολογία. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα ορισμού του αριθμού των λωρίδων που θα έχουν οι δρόμοι. Στο Σχήμα 13 που παραθέσαμε παραπάνω φαίνεται η τοπολογία έτσι όπως την αντιλαμβάνεται και την σχεδιάζει το VanetMobiSim.

Κύριας σημασίας είναι η δυνατότητα να εξάγουμε τα ίχνη των κόμβων. Στο Σχήμα 17 εμφανίζεται ένα μικρό κομμάτι του αρχείου το οποίο εξάγεται και έχει τα στοιχεία της κίνησης των κόμβων. Στην πρώτη στήλη, εμφανίζεται το ID του κόμβου, στην δεύτερη, η χρονική στιγμή, στην τρίτη και τέταρτη οι συντεταγμένες X και Y του κόμβου και στην πέμπτη η ταχύτητα του κόμβου. Να σημειωθεί ότι οι τοπολογίες του VanetMobiSim, έχουν διαστάσεις 1000x1000.

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Παραστατίδη Παντελή

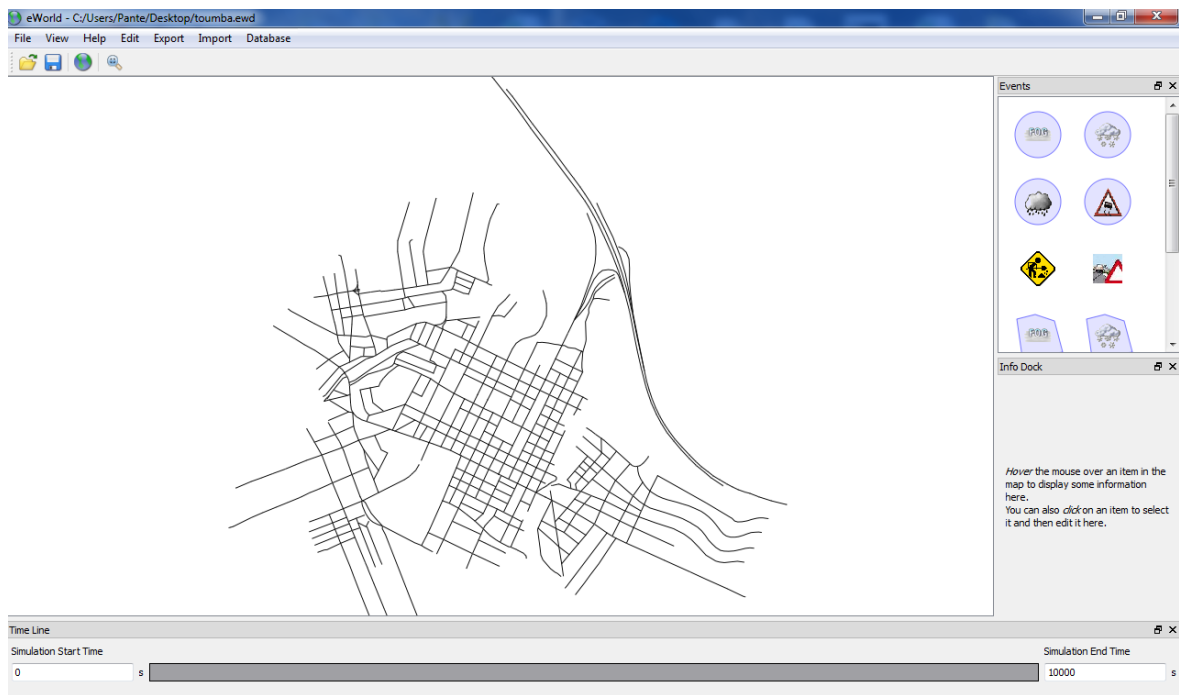
212	4	100.0	515.0390096630006	392.7304951684997	17.252672
213	5	100.0	598.0	584.0	24.208248
214	6	100.0	367.7795941976107	219.2188929430145	33.80036
215	7	100.0	283.54139905813736	391.50954693894636	23.679909
216	8	100.0	303.0	717.0	36.649117
217	9	100.0	877.1022506247456	259.9909975010173	34.12429
218	10	100.0	193.0	499.0	28.527063
219	11	100.0	635.3034739668531	678.8652603314699	35.967113
220	12	100.0	320.5997347344707	393.09933603619677	34.45452
221	13	100.0	524.3609903369994	233.0695048315003	20.29397
222	14	100.0	599.6502525316942	319.54974746830584	32.26477
223	15	100.0	594.0	350.0	32.17398
224	16	100.0	553.0	546.0	33.364365
225	17	100.0	440.3194207456909	349.4662690845931	15.054653
226	18	100.0	286.0	511.0	20.401281
227	19	100.0	220.0	291.0	24.422537
228	20	100.0	306.4425649099458	521.7659847898736	24.1219
229	21	100.0	174.94213590888126	462.5456957570167	19.152372
230	23	100.0	665.0	672.9	29.021748
231	24	100.0	529.8652603314699	194.696526033147	24.35246
232	25	100.0	532.5752140429332	494.0865154144294	37.491783
233	26	100.0	377.0	675.0	33.51392
234	27	100.0	202.5304951684997	454.9390096630006	36.78255
235	28	100.0	371.0	591.4	20.703485
236	29	100.0	601.7006631638033	745.4002652655213	19.49199
237	30	100.0	353.7	583.6	27.261248
238	31	100.0	601.7456957570166	628.2578640911187	18.710691
239	32	100.0	210.15921691364642	643.3864056378821	32.693756
240	34	100.0	452.0	595.0	15.128926
241	35	100.0	331.87286533288096	210.86608166610122	26.594053
242	36	100.0	36.0	255.0	32.638615
243	37	100.0	611.6961342984472	154.53133264396632	17.52422
244	38	100.0	797.4829013735766	271.4243520603649	36.66368
245	40	100.0	691.0572189044905	565.3066090060493	17.035614
246	41	100.0	174.47926163013767	559.1259834531087	18.268656
247	42	100.0	192.0	536.0	22.224817
248	43	100.0	636.0	201.0	22.772207
249	44	100.0	650.5609903369993	223.46950483150027	33.050053
250	45	100.0	302.0	785.0	23.198448
251	46	100.0	351.0	576.8	36.090496
252	47	100.0	205.0	561.0	18.103935
253	48	100.0	165.79436958587524	401.1418715546479	27.21966
254	50	100.0	172.0	567.0	34.100044

Σχήμα 17 – Παράδειγμα αρχείου εξαγωγής στοιχείων κίνησης από το VanetMobisim.

Στο Παράρτημα Β εμφανίζεται μεγάλο κομμάτι του κώδικα για την αρχικοποίηση της τοπολογίας και των χαρακτηριστικών κίνησης των κόμβων.

2.3 E-WORLD

Το E-World είναι ένα λογισμικό το οποίο επιτρέπει την εισαγωγή χαρτών, από ιστοσελίδες, όπως η OpenStreetMap.org (OSM), την επεξεργασία και τον εμπλουτισμό τους. Κύριο πλεονέκτημα του E-World είναι ότι δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εξάγει τον χάρτη ψηφιοποιημένο σε προσομοιωτές κίνησης, όπως το VanetMobiSim. Το αρχείο το οποίο εξάγεται και χρησιμοποιείται από το VanetMobiSim είναι σε μορφή .xml .Μια εικόνα από το E-World εμφανίζεται στο Σχήμα 18. Δεξιά απεικονίζονται κάποια events όπως βροχή, χιονόπτωση, ομίχλη κλπ τα οποία μπορεί να προσθέσει ο χρήστης στο δίκτυο.



Σχήμα 18 – Στιγμιότυπο από το E-World.

2.4 OPENSTREETMAP.ORG

Το OpenStreetMap είναι μια ιστοσελίδα που παρέχει την δυνατότητα εξαγωγής των χαρτών σε αρχεία τύπου .osm . Τα αρχεία αυτά εισάγονται στο E-World και οι δρόμοι αναπαριστώνται με γραμμές, όπως είδαμε στο Σχήμα 18. Στο Σχήμα 19 εμφανίζεται το κομμάτι ενός χάρτη που επιλέχθηκε ως αστικό δίκτυο

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Παραστατίδη Παντελή

στις προσομοιώσεις αυτής της εργασίας και δίπλα του η μετατροπή στο E-World αρχικά και στο VanetMobiSim μετέπειτα. Περισσότερα για την τοπολογία θα αναφέρουμε στο Κεφάλαιο 5, όπου και θα αναλύσουμε τα σενάρια κίνησης των κόμβων.



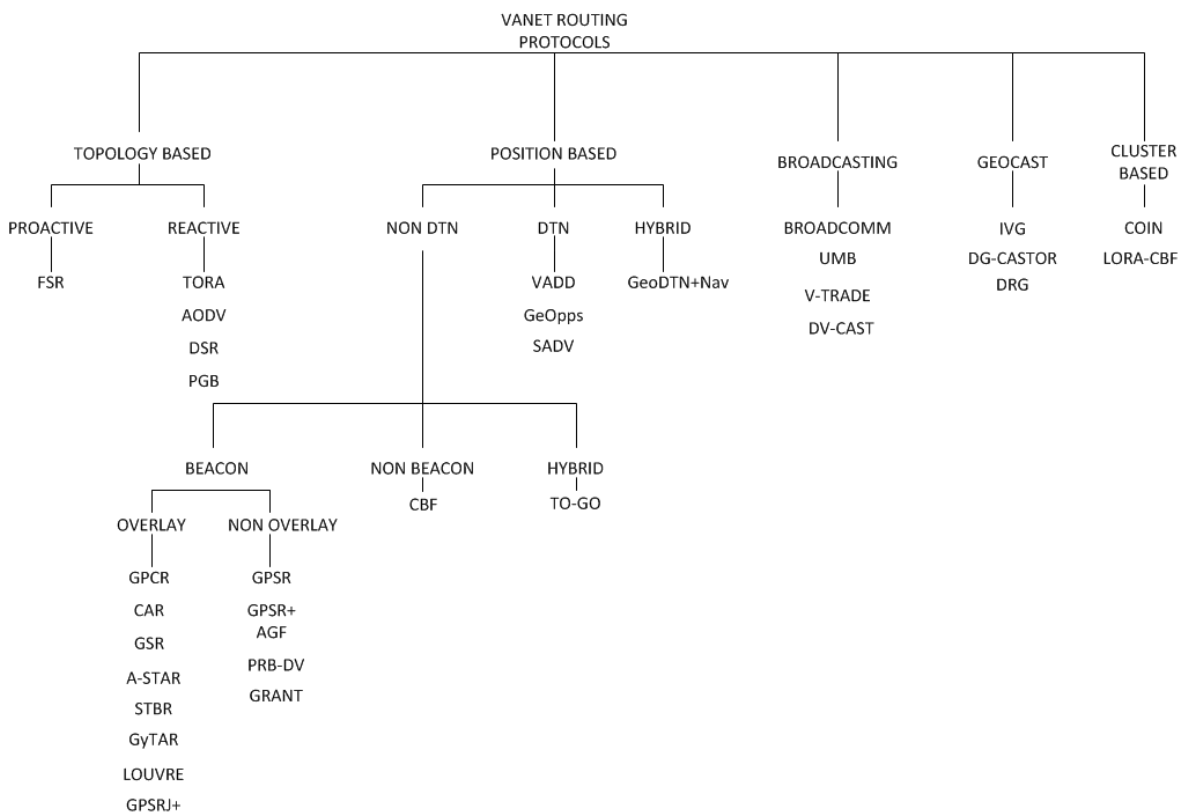
Σχήμα 19 – Παράδειγμα μετατροπής του χάρτη σε .xmi αρχείο με στόχο να χρησιμοποιηθεί από το VanetMobisim.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα κάνουμε μια αναφορά στα πιο γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης, ούτως ώστε να σχηματιστεί μια γενική εικόνα των πρωτοκόλλων πριν αναλύσουμε το πρωτόκολλο που προτείνουμε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

Τα ασύρματα δίκτυα οχημάτων ξεχωρίζουν από τα κοινά ασύρματα δίκτυα με σταθερά access-points για διάφορους λόγους, τους οποίους αναφέραμε στο Κεφάλαιο 1. Τα χαρακτηριστικά που διαθέτουν εφιστούν ιδιαίτερη προσοχή και οι απαιτήσεις που έχουν αιτούνται ειδικής μεταχείρισης. Για αυτό τον λόγο, η μελέτη και υλοποίηση πρωτοκόλλων δρομολόγησης αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση για τους ερευνητές. Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα περιγράψουμε μερικά από τα πιο γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης που έχουν αναπτυχθεί και θα αναφέρουμε τα θετικά και αρνητικά τους σημεία. Στο Σχήμα 20 εμφανίζονται όλα τα πρωτόκολλα δρομολόγησης κατηγοριοποιημένα.



Σχήμα 20 - Πρωτόκολλα δρομολόγησης στα VANETs.

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης μπορούν να χωριστούν σε πέντε κατηγορίες, όπως είδαμε και στο Σχήμα 20. Οι πέντε κατηγορίες είναι οι: Topology based, Position based, Broadcasting, Geocast routing και Cluster Based. Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα αναλύσουμε τα χαρακτηριστικά που έχουν τα πρωτόκολλα τις κάθε κατηγορίας και θα αναφέρουμε τα θετικά και αρνητικά του κάθε πρωτοκόλλου.

3.1 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ TOPOLOGY-BASED

Στην δρομολόγηση βάσει τοπολογίας (topology based routing), γίνεται χρήση των πληροφοριών για τις ήδη υπάρχουσες συνδέσεις του δικτύου προκειμένου να πραγματοποιηθεί η προώθηση ενός πακέτου (Vishal et al., 2010). Η topology based δρομολόγηση χωρίζεται επιμέρους σε δύο υποκατηγορίες: την proactive και reactive δρομολόγηση.

3.1.1 PROACTIVE ROUTING

Η proactive δρομολόγηση ή αλλιώς table based, ονομάζεται έτσι διότι η απόφαση για την δρομολόγηση ενός πακέτου έχει ήδη ληφθεί, αφού οι πληροφορίες για τον επόμενο προορισμό του πακέτου (next hop), συγκρατούνται σε έναν πίνακα και είναι άσχετες με τα αιτήματα για επικοινωνία που μπορεί να δεχτεί ο κόμβος. Πακέτα διατήρησης της σύνδεσης (beacons) στέλνονται με broadcast σε όλο τους κόμβους που βρίσκονται στην ακτίνα εμβέλειας και έτσι δημιουργείται και συντηρείται ένας πίνακας στον οποίο αναφέρεται ο επόμενος κόμβος που πρέπει να σταλθεί το πακέτο προκειμένου να φτάσει σε ένα τελικό προορισμό. Στα θετικά της proactive δρομολόγησης είναι ότι δεν είναι αναγκαία η αναζήτηση διαδρομής για να φτάσει το πακέτο σε έναν προορισμό, καθώς η διαδρομή αυτή υπάρχει ήδη στον πίνακα δρομολόγησης του κάθε κόμβου και απαιτείται μόνο η προσπέλαση του πίνακα για να βρεθεί. Έτσι αποφεύγεται η πλημμύρα του δικτύου (flooding), για την αποσαφήνιση της διαδρομής μεταξύ δυο κόμβων. Και ως δεύτερο πλεονέκτημα, λογίζεται η μικρή καθυστέρηση που

παρατηρείται σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου, για τον ίδιο λόγο που αναφέραμε παραπάνω. Μειονέκτημα αποτελεί η χρήση μεγάλου μέρους bandwidth για αχρησιμοποίητα μονοπάτια του δικτύου. Κύριο πρωτόκολλο δρομολόγησης τύπου proactive είναι το Fisheye State Routing (FSR).

- **FISHEYE STATE ROUTING (FSR).** Το FSR είναι ένα αρκετά λειτουργικό πρωτόκολλο δρομολόγησης, το οποίο συντηρεί και ενημερώνει ένα χάρτη τοπολογίας του δικτύου τον οποίο και μοιράζεται με link state updates με τους γείτονές του και μόνο με αυτούς (Guangyu et al., 2000). Επίσης, οι πληροφορίες που κατέχει κάθε κόμβος εκπέμπονται με διαφορετική συχνότητα. Για παράδειγμα, οι εγγραφές στον πίνακα δρομολόγησης που αφορούν προορισμούς που είναι αρκετά hops μακριά αποστέλλονται πιο σπάνια από ότι εγγραφές που αφορούν κόμβους που βρίσκονται πολύ κοντά. Πλεονεκτήματα του FSR είναι το αισθητά μειωμένο bandwidth λόγω του ότι μοιράζεται μέρος του συνόλου των πληροφοριών που διαθέτει και μόνο με τους γείτονές του. Επίσης, πλεονέκτημα αποτελεί και το μειωμένο overhead δρομολόγησης, καθώς και η σταθερότητα του πίνακα δρομολόγησης, ακόμα και όταν μια σύνδεση παρουσιάσει βλάβη. Σε αυτήν την περίπτωση, δεν υπάρχει κάποιο update πακέτο το οποίο στέλνεται στους κόμβους, οπότε δεν ενημερώνονται εκ νέου οι πίνακες. Μειονεκτήματα του FSR, είναι η μικρή γνώση για απομακρυσμένους κόμβους, ανεπαρκείς πληροφορίες για την ανεύρεση μιας διαδρομής και η πολύ χαμηλή απόδοση σε μικρό δίκτυο. Επίσης, όταν το δίκτυο μεγαλώνει σε όγκο, η πολυπλοκότητα της δημιουργίας, αποθήκευσης και ενημέρωσης του πίνακα μεγαλώνει αισθητά.

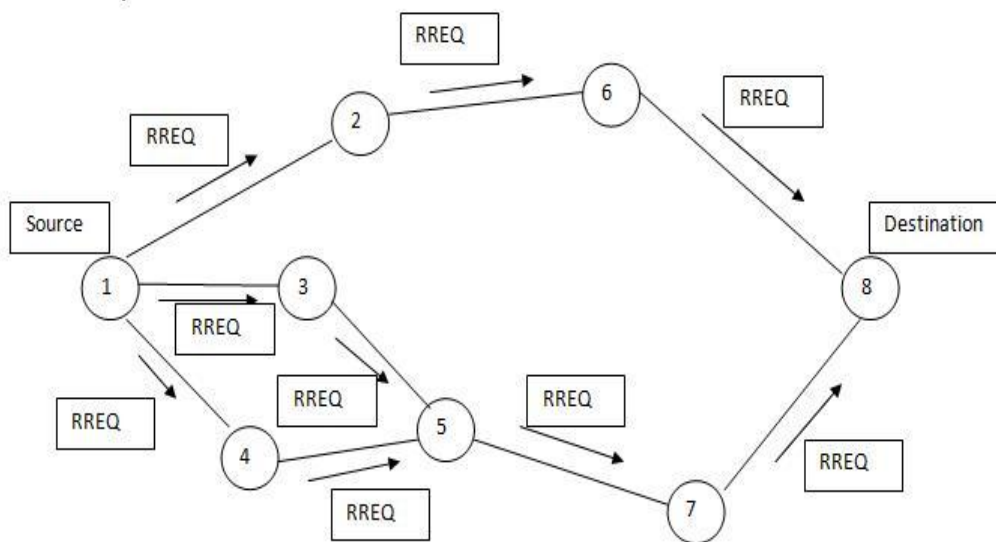
3.1.2 REACTIVE ROUTING

Στην reactive ή αλλιώς on demand δρομολόγηση, γίνεται ανεύρεση και χρήση μιας διαδρομής μόνο όταν ένας κόμβος θέλει να επικοινωνήσει με κάποιον άλλον. Κρατά μόνο τις διαδρομές που χρησιμοποιούνται εκείνη την στιγμή και έτσι μειώνει την επιβάρυνση στο δίκτυο. Σε αυτού του είδους την δρομολόγηση υπάρχουν πακέτα αίτησης εύρεσης διαδρομής (query packets) τα οποία πλημμυρίζουν το δίκτυο με σκοπό την εύρεση μιας διαδρομής μεταξύ δύο κόμβων

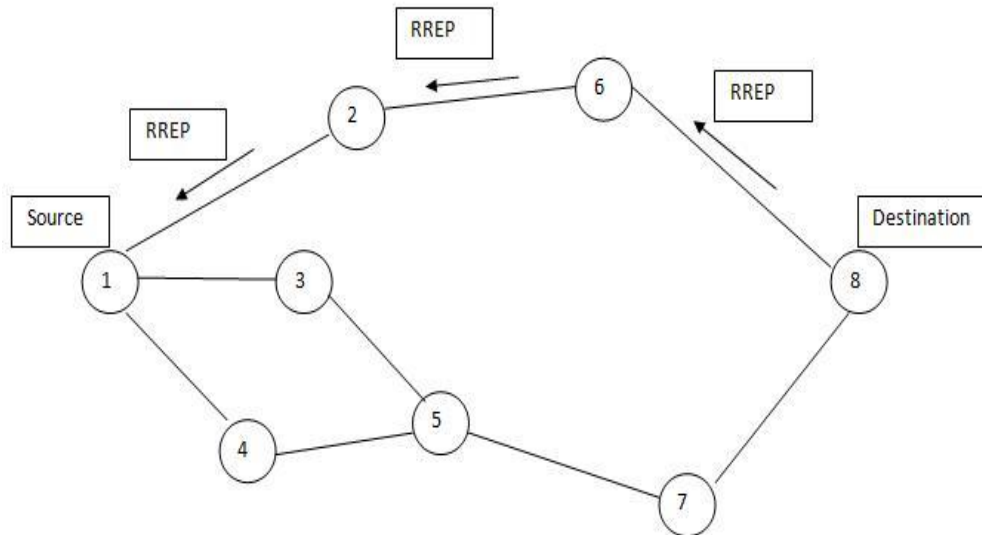
που θέλουν να επικοινωνήσουν. Η φάση αυτή ολοκληρώνεται με την εύρεση της διαδρομής. Κυριότερα πλεονεκτήματα αυτού του είδους δρομολόγησης είναι ότι η διαδικασία ανεύρεσης διαδρομής γίνεται μόνο μετά από απαίτηση ενός κόμβου και δεν υπάρχουν περιοδικές εκπομπές πακέτων. Έτσι υπάρχει περισσότερο διαθέσιμο bandwidth. Στα αρνητικά της Reactive δρομολόγησης είναι η μεγάλη καθυστέρηση στην επικοινωνία (high latency), λόγω τις διαδικασίας ανεύρεσης της διαδρομής καθώς και ότι η επανειλημμένη διαδικασία αποστολής πακέτων broadcast στο δίκτυο (flooding), δημιουργεί μεγάλη συμφόρηση και πρόβλημα στις επικοινωνίες των κόμβων. Μερικά από τα proactive πρωτόκολλα είναι το AODV, το TORA, το AODV+PGB και το DSR.

- **Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV).** Ίσως το πιο διαδεδομένο topology based πρωτόκολλο. Οι διαδρομές ανάμεσα στους κόμβους ανακαλύπτονται, καθιερώνονται και συντηρούνται μόνο εάν είναι αναγκαίο (Perkins et al., 1999). Μηνύματα beacons χρησιμοποιούνται περιοδικά για να εντοπίσουν και να ελέγξουν τις συνδέσεις με τους γείτονες. Στην περίπτωση που ένας κόμβος σταματήσει να λαμβάνει beacons από κάποιον κόμβο που νωρίτερα έστειλε κανονικά, τότε θεωρείται η σύνδεση ως άκυρη. Όταν ένας κόμβος θέλει να στείλει δεδομένα σε έναν απομακρυσμένο κόμβο, ελέγχει πρώτα τον πίνακα δρομολόγησης του. Εάν δεν υπάρχει κάποια γνωστή διαδρομή προς τον απομακρυσμένο κόμβο, τότε κάνει broadcast ένα πακέτο Route Request (RREQ) με στόχο τον απομακρυσμένο κόμβο. Κάθε ενδιαμέσος κόμβος που λαμβάνει το RREQ, καταχωρεί μια διαδρομή προς τον κόμβο που έστειλε το RREQ. Στην συνέχεια και εφ' όσον οι κόμβοι που λαμβάνουν το πακέτο δεν είναι οι τελικοί προορισμοί, δεν έχουν λάβει ξανά το RREQ και δεν ξέρουν κάποια διαδρομή προς τον τελικό προορισμό, προωθούν το πακέτο κάνοντας το broadcast. Εάν ο κόμβος που λαμβάνει το πακέτο είναι αυτός που έχει οριστεί ως κόμβος προορισμός (destination node) ή γνωρίζει την διαδρομή προς τον κόμβο προορισμό, τότε δημιουργεί ένα πακέτο Route Reply (RREP). Το πακέτο RREP είναι ένα unicast πακέτο το οποίο φτάνει βήμα-βήμα προς τον πηγαίο κόμβο (source node). Όταν το πακέτο «ταξιδεύει» στο δίκτυο, οι ενδιάμεσοι κόμβοι σημειώνουν την διαδρομή προς τον κόμβο προορισμό. Εάν ο πηγαίος κόμβος, τελικά, λάβει το πακέτο, τοποθετεί την

διαδρομή στον πίνακα δρομολόγησής του και ξεκινά την αποστολή δεδομένων. Σε περίπτωση που ληφθούν πολλά RREP πακέτα, ο πηγαίος κόμβος τοποθετεί στον πίνακα, τις πληροφορίες του πακέτου που έχει διανύσει την μικρότερη διαδρομή (μικρότερο hop-count). Όσο υπάρχει ροή δεδομένων ανάμεσα στον πηγαίο κόμβο και τον κόμβο προορισμό τότε όλοι οι ενδιάμεσοι κόμβοι θεωρούν την διαδρομή ως έγκυρη. Σε περίπτωση που σταματήσει η ροή τότε βγάζουν την διαδρομή από τον πίνακα τους. Όταν υπάρχει ροή δεδομένων, αλλά ανιχνευθεί πρόβλημα στην διαδρομή, τότε αποστέλλεται ένα πακέτο Router Error (RERR) στον πηγαίο κόμβο και εκείνος με την σειρά του ξεκινάει μια νέα διαδικασία ανεύρεσης διαδρομής. Στο Σχήμα 21 απεικονίζεται ένα παράδειγμα αποστολής πακέτων ανεύρεσης διαδρομής (RREQ), ενώ στο Σχήμα 22 απεικονίζεται το μονοπάτι που ακολουθεί το πακέτο RREP προς τον πηγαίο κόμβο.



Σχήμα 21 – Ανεύρεση διαδρομής με αποστολή του πακέτου RREQ.



Σχήμα 22 – Διαδρομή του RREP προς τον πηγαίο κόμβο.

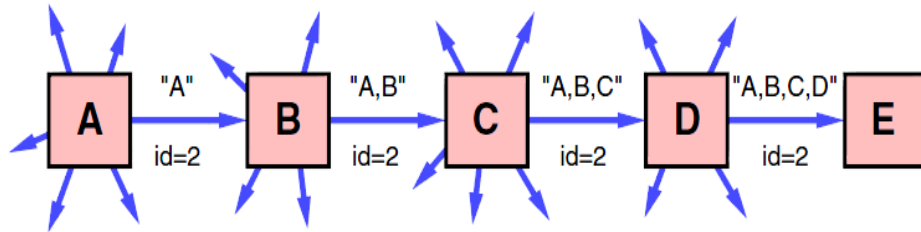
Το AODV μπορεί να λειτουργήσει πολύ καλά σε μεγάλα ad hoc δίκτυα, ενώ ανταποκρίνεται πολύ καλά στην περίπτωση που υπάρχει μια κομμένη σύνδεση στο δίκτυο. Ως μειονεκτήματα του AODV αναφέρεται η καθυστέρηση ανεύρεσης μιας διαδρομής, λόγω της διαδικασίας Route Request και Route Reply, η πιθανότητα σφάλματος σε περίπτωση που οι ενδιαμέσοι κόμβοι έχουν παλαιές εγγραφές στον πίνακα τους και η κατανάλωση αρκετού bandwidth λόγω της ύπαρξης Hello πακέτων.

- **AODV + PGB (Preferred Route Broadcasting).** Το PGB είναι μια τροποποιημένη μορφή του AODV, που ως στόχο έχει να μειώσει την συμφόρηση που ίσως προκαλεί στο δίκτυο η αποστολή πακέτων RREQ για την εύρεση μιας διαδρομής (Naumov, et al., 2006). Επίσης, προσδίδει σταθερότητα σε δίκτυα, όπως τα VANETS, που οι κόμβοι είναι γρήγορα αυτοκίνητα που έχουν συνεχή κίνηση. Κύριο κλειδί αυτής τη τροποποίησης του AODV είναι ότι οι κόμβοι χωρίζονται πλέον σε διαφορετικές ομάδες (groups). Με βάση το ασύρματο σήμα που λαμβάνουν, μπορούν να διακρίνουν εάν βρίσκονται στο επιθυμητό group και ποιος από το group πρέπει να κάνει rebroadcast το μήνυμα. Επειδή όμως, μόνο ένας κόμβος σε κάθε group επιτρέπεται να κάνει rebroadcast το μήνυμα και το group αυτό δεν είναι σίγουρα και το πιο κοντινό στον κόμβο προορισμό, η διαδικασία της εύρεσης διαδρομής μπορεί να κρατήσει αρκετό χρόνο. Σε

περίπτωση που δύο κόμβοι στο ίδιο group, κάνουν broadcast την ίδια χρονική στιγμή, ενδέχεται να υπάρξει διπλασιασμός του ίδιου πακέτου. Για αυτό το λόγο προτάθηκε, στην κεφαλίδα του κάθε πακέτου να αναγράφεται από ποιους κόμβους έχει περάσει ήδη. Η διαδικασία αυτή, συμβαίνει όπως θα περιγράψουμε και στην συνέχεια και στο πρωτόκολλο DSR.

- **Dynamic Source Routing Protocol (DSR).** Το DSR είναι ένα απλό και λειτουργικό πρωτόκολλο δρομολόγησης, το οποίο έχει σχεδιαστεί ειδικά για ασύρματα δίκτυα κινητών κόμβων (Johnson et al.,2000). Χρησιμοποιώντας το DSR το δίκτυο οργανώνεται και παραμετροποιείται μόνο του, χωρίς να χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη δικτυακή υποδομή ή διαχείριση του δικτύου. Οι κόμβοι συνεργάζονται μεταξύ τους για να προωθήσουν πακέτα και να επιτρέψουν την multi-hop επικοινωνία απομακρυσμένων κόμβων. Το πρωτόκολλο DSR επιτρέπει τους κόμβους να ανακαλύψουν μια πηγαία διαδρομή (source route) διαμέσου πολλών κόμβων προς κάθε απομακρυσμένο σημείο στο δίκτυο. Σε κάθε πακέτο δεδομένων που αποστέλλεται από έναν κόμβο, στην κεφαλίδα του πακέτου, υπάρχει η πλήρης ακολουθία των κόμβων που πρέπει να φτάσει το πακέτο, προκειμένου να ληφθεί και από τον κόμβο προορισμό (destination node). Έτσι, είναι σχεδόν αδύνατο να υπάρχει loop στο δίκτυο. Επίσης, συμπεριλαμβάνοντας αυτήν την πληροφορία στην κεφαλίδα των πακέτων οι ενδιάμεσοι κόμβοι που το λαμβάνουν μπορούν και οι ίδιοι να αποθηκεύσουν την διαδρομή προς τον τελικό κόμβο, στον πίνακα δρομολόγησης τους. Δύο είναι οι μηχανισμοί του DSR: η εύρεση της διαδρομής (Route Discovery) και η συντήρηση της διαδρομής (Route Maintenance). Ο πρώτος μηχανισμός είναι απαραίτητος για την εύρεση της διαδρομής ανάμεσα σε δυο απομακρυσμένους κόμβους. Ο πηγαίος κόμβος κάνει broadcast ένα πακέτο για να μάθει την διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσει για τον κόμβο προορισμό. Κάθε ενδιάμεσος κόμβος που λαμβάνει το πακέτο, προσθέτει στην κεφαλίδα το ID του και προωθεί με την σειρά του το πακέτο. Όταν τελικά το πακέτο φτάσει στον κόμβο προορισμό έχει σχηματιστεί πλήρως στην κεφαλίδα η αλληλουχία των κόμβων από τους οποίους πέρασε το πακέτο. Το πακέτο στέλνεται πίσω στον πηγαίο κόμβο και εκείνος γνωρίζοντας πλέον την διαδρομή, ξεκινάει να στέλνει τα

πακέτα δεδομένων. Στο Σχήμα 23 υπάρχει ένα παράδειγμα εύρεσης διαδρομής.



Σχήμα 23 – Παράδειγμα εύρεσης διαδρομής του DSR.

Ο κόμβος A είναι ο πηγαίος κόμβος και ο κόμβος E είναι ο κόμβος προορισμός.

Η συντήρηση της διαδρομής (Route Maintenance) είναι ο μηχανισμός κατά τον οποίο ο πηγαίος κόμβος ελέγχει εάν η διαδρομή προς τον κόμβο προορισμό ισχύει. Όταν συνειδητοποιήσει όταν μια διαδρομή δεν αποφέρει αποτέλεσμα, βλέπει εάν υπάρχουν εναλλακτικές διαδρομές ή ξεκινάει μια νέα διαδικασία εύρεσης διαδρομής. Κυριότερα πλεονεκτήματα του πρωτοκόλλου DSR είναι ότι δεν κάνει περιοδικές εκπομπές πακέτων, για να βρει μια διαδρομή, δεν επιβαρύνει το δίκτυο με περιοδικές εκπομπές πακέτων και δεν κάνει συνεχώς beacon για να βρίσκει τους γείτονές του. Στα μειονεκτήματα υπολογίζουμε την μεγάλη κεφαλίδα σε περίπτωση πολύ μεγάλου δικτύου, καθώς και την μικρή απόδοση που έχει στα μεγάλα δίκτυα. Επίσης, μεγάλο μειονέκτημα αποτελεί και η πλημμύρα πακέτων σε όλο το δίκτυο (flooding) κατά την διαδικασία εύρεσης διαδρομής.

- **TEMPORALLY ORDERED ROUTING ALGORITHM (TORA).** Το πρωτόκολλο TORA, επιδιώκει, όσο το δυνατό, την διάδοση της πληροφορίας σε ένα δίκτυο, ακόμα και στα πιο απομακρυσμένα σημεία του (Park, 1997). Προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, το TORA δεν χρησιμοποιεί την λύση της πιο κοντινής διαδρομής (shortest path), αλλά μια προσέγγιση διαφορετική από τα άλλα πρωτόκολλα του είδους του. Ο αλγόριθμος του TORA κατασκευάζει και συντηρεί έναν κατευθυνόμενο, μη κυκλικό γράφο (Directed Acyclic Graph, DAG), με τους κόμβους να έχουν όλοι τους διαφορετικό ύψος ο ένας από τον άλλον και την ρίζα το δέντρου

να είναι ο πηγαίος κόμβος. Τα δεδομένα ρέουν από τους κόμβους με μεγαλύτερο ύψος σε αυτούς με μικρότερο. Ουσιαστικά μπορούμε να θεωρήσουμε τα δεδομένα ως ένα ρευστό υγρό που ρέει από πάνω προς τα κάτω. Συντηρώντας ένα πλήρως δομημένο σύστημα ύψους των κόμβων, αποφεύγεται το loop και αυτό γιατί τα δεδομένα είναι αδύνατο να σταθούν σε κόμβους με μεγαλύτερο ύψος από τον κόμβο που τα έχει εκείνη την στιγμή. Για να επιτευχθεί αυτό, το σημείο κλειδί είναι η διάδοση της πληροφορίας για κάποια αλλαγή στο δίκτυο σε πολύ κοντινή και μικρή απόσταση. Οι κόμβοι συντηρούν τις πληροφορίες δρομολόγησης μόνο για τους άμεσα συνδεδεμένους κόμβους (one hop nodes). Οι κύριες λειτουργίες του πρωτοκόλλου είναι τρεις: η δημιουργία μιας διαδρομής, η συντήρησή της και η διαγραφή της. Για να κατασκευάσει ένας κόμβος μια διαδρομή κάνει broadcast ένα πακέτο αίτηση (query packet, QRY). Μόλις κάποιος κόμβος λάβει το πακέτο, εξετάζει εάν έχει μια σύνδεση με φορά προς τα κάτω με τον κόμβο προορισμό και τότε στέλνει πίσω ένα πακέτο απάντηση (update packet, UPD). Σε κάθε άλλη περίπτωση, απορρίπτει το πακέτο. Το TORA κατασκευάζει τον γράφο DAG μόνο όταν είναι απαραίτητος. Επίσης, μειώνεται η συμφόρηση στο δίκτυο αφού οι ενδιάμεσοι κόμβοι δεν χρειάζεται να κάνουν όλοι broadcast ένα πακέτο. Παρόλα αυτά, δεν είναι λειτουργικό σε μεγάλα δίκτυα με δυναμική τοπολογία και δεν χρησιμοποιείται, διότι τα πρωτόκολλα DSR και AODV αποδίδουν καλύτερα.

3.2 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ POSITION BASED

Στα πρωτόκολλα δρομολόγησης βάσει θέσης (position based routing) ή αλλιώς geographic routing, η απόφαση για τον επόμενο προορισμό ενός πακέτου (next hop destination), λαμβάνεται με βασικό κριτήριο την γεωγραφική θέση των κόμβων στο δίκτυο. Η θέση του κόμβου προορισμού (destination node) τοποθετείται στην κεφαλίδα του πακέτου από τον πηγαίο κόμβο (source node). Οι κόμβοι που βρίσκονται στην εμβέλεια ενός κόμβου που κάνει beacon, θεωρούνται

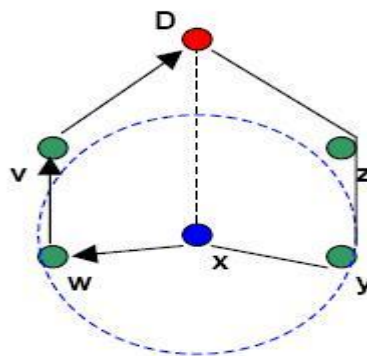
γείτονες του. Αυτού του είδους η δρομολόγηση προϋποθέτει ότι ο κάθε κόμβος γνωρίζει την γεωγραφική του θέση, καθώς και την γεωγραφική θέση του κόμβου προορισμού. Με την διάδοση του GPS η παραπάνω απαίτηση είναι πραγματοποιήσιμη. Τα πρωτόκολλα αυτά υπερτερούν των πρωτοκόλλων που είναι βασισμένα στην τοπολογία (topology based protocols), γιατί δεν καθιερώνουν και δεν συντηρούν διαδρομές ανάμεσα στους κόμβους. Αυτό είναι προτιμότερο, όταν εξετάζουμε δίκτυα σαν τα VANETs που έχουν ιδιαίτερα δυναμική τοπολογία. Η διαδρομή ενός πακέτου καθορίζεται αποκλειστικά από τις γεωγραφικές θέσεις των κόμβων και δεν υφίστανται ούτε πακέτα δημιουργίας διαδρομής αλλά ούτε και πακέτα συντήρησης της διαδρομής. Τα position based πρωτόκολλα, μπορούν να χωριστούν σε τρεις υποομάδες. Τα πρωτόκολλα που είναι ανεκτικά προς την καθυστέρηση (Delay Tolerant Networks, DTN), τα μη ανεκτικά προς την καθυστέρηση πρωτόκολλα (Delay Tolerant Networks, Non-DTN) και τα υβριδικά (Hybrid).

3.2.1 NON DELAY TOLERANT NETWORKS (NON-DTN).

Τα μη ανεκτικά προς την καθυστέρηση δίκτυα (Non-DTN), δεν λαμβάνουν υπ' όψιν τους τις συχνές διακοπές στην σύνδεση μεταξύ των κόμβων, που παρουσιάζουν αρκετά συχνά δίκτυα όπως τα VANETs. Τα Non-DTN πρωτόκολλα χωρίζονται επιμέρους σε τρεις υποκατηγορίες, τα πρωτόκολλα που κάνουν beacon, αυτά που δεν κάνουν (non-beacon) και τα υβριδικά (hybrid). Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν τα beacons κάνουν περιοδική αποστολή πακέτων hello, στα οποία αναφέρονται πληροφορίες όπως το ID του κόμβου που στέλνει το πακέτο, καθώς και η γεωγραφική του θέση. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν beacons για να έχουν συχνή επαφή με τους γείτονές τους, χωρίζονται επίσης σε ακόμα δυο υποκατηγορίες. Τα πρωτόκολλα overlay και non-overlay. Το κύριο χαρακτηριστικό των πρωτοκόλλων non-overlay είναι ότι ένας κόμβος προωθεί το πακέτο στον γείτονα που είναι πιο κοντά στον κόμβο προορισμό. Η στρατηγική αυτή μπορεί να αποτύχει στην απλούστατη περίπτωση, που κανένας γειτονικός κόμβος δεν είναι πιο κοντά στον τελικό προορισμό, από τον ίδιο τον κόμβο που στέλνει το πακέτο. Παρόλα αυτά κάθε πρωτόκολλο διαθέτει

και τον δικό του τρόπο αντιμετώπισης τέτοιου είδους προβλημάτων. Στην συνέχεια θα περιγράψουμε μερικά ευρέως γνωστά πρωτόκολλα Non-DTN → Beacon → Non-Overlay.

- **Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR).** Το GPSR είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που χρησιμοποιεί την θέση των κόμβων και την θέση του κόμβου προορισμού ως βασικά κριτήρια για να αποφασίσει πως θα δρομολογηθεί το πακέτο (Karp, 2000). Το GPSR λαμβάνει αποφάσεις για την δρομολόγηση ενός πακέτου χρησιμοποιώντας πληροφορίες μόνο για τους άμεσα συνδεδεμένους κόμβους με τον κόμβο που είναι έτοιμος να προωθήσει το πακέτο. Κάθε κόμβος προωθεί το πακέτο σε κάποιον άλλον που είναι πιο κοντά στον τελικό προορισμό του πακέτου. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει άλλος κόμβος πιο κοντά στον τελικό, από ότι ο κόμβος που κατέχει το πακέτο τότε έχει φτάσει σε τοπικό μέγιστο (local maximum). Τότε ξεκινάει μια διαδικασία στην οποία ο κόμβος προωθεί το πακέτο με φορά παρόμοια με τους δείκτες του ρολογιού (περιμετρική διαδικασία-perimeter mode), με στόχο να φτάσει το πακέτο σε κόμβο πιο κοντά στον κόμβο προορισμό από ότι όταν ήταν στο τοπικό μέγιστο. Στο Σχήμα 24 έχουμε ένα παράδειγμα τοπικού μέγιστου και διαδικασίας περιμέτρου. Ο κόμβος x έχει το πακέτο και βρίσκεται πιο κοντά στον κόμβο D από κάθε άλλο κόμβο που βρίσκεται μέσα στην εμβέλεια του. Αυτό σημαίνει ότι έχουμε φτάσει στο local maximum. Έτσι, λοιπόν, ξεκινά η διαδικασία περιμέτρου και ο κόμβος x στέλνει το πακέτο στον w, οποίος με την σειρά του το παραδίδει σε κάποιον που είναι πιο κοντά στον τελικό κόμβο D.



Σχήμα 24 – Διαδικασία προώθησης με χρήση του GPSR.

Ο κόμβος x ξεκινά την διαδικασία περιμέτρου(perimeter mode) και στέλνει το πακέτο στον κόμβο w .

Πλεονεκτήματα του GPSR είναι οι δυναμικές αποφάσεις που λαμβάνει για την δρομολόγηση ενός πακέτου, καθώς και το ότι χρειάζεται να γνωρίζει πληροφορίες μόνο για τους γείτονές του. Κύρια μειονεκτήματα του είναι ότι η διαδικασία περιμέτρου μπορεί να οδηγήσει σε loop, καθώς και ότι λόγω της μεγάλης κινητικότητας των κόμβων οι πληροφορίες που διαθέτουν για τις γεωγραφικές θέσεις των γειτόνων τους μπορεί να αποδειχθούν παρωχημένες.

- **GPSR + AGF (Advanced Greedy Forwarding).** Όπως αναφέραμε παραπάνω, το GPSR δεν είναι ιδιαίτερα λειτουργικό όταν οι κόμβοι κινούνται γρήγορα, με αποτέλεσμα στην στους πίνακες δρομολόγησης να υπάρχουν παρωχημένες πληροφορίες για τις θέσεις των κόμβων. Αυτό θα μπορούσε να ξεπεραστεί στέλνοντας πιο συχνά hello πακέτα, αλλά αυτό θα είχε ως συνέπεια την μεγάλη συμφόρηση του δικτύου και πολλές συγκρούσεις και απώλειες πακέτων (collisions). Μια νέα βελτίωση του GPSR είναι το πρωτόκολλο Advanced Greedy Forwarding (AGF) (Naumov, 2006). Πλέον, στα Hello πακέτα που ανταλλάσσονται υπάρχει η ταχύτητα του κάθε κόμβου, η κατεύθυνση στην οποία κινείται, καθώς και η χρονική διάρκεια που προωθείται το πακέτο στο δίκτυο. Ένας κόμβος που λαμβάνει ένα πακέτο, εξετάζει εάν έχει τον κόμβο προορισμό του πακέτου μέσα στον πίνακα που καταχωρεί τους γείτονές του. Εφόσον τον έχει, εξετάζει εάν η εγγραφή είναι έγκυρη βλέποντας τον συνδυασμό ταχύτητας και κατεύθυνσης του ίδιου του κόμβου καθώς και του κόμβου προορισμού. Μαζί με την πληροφορία του χρόνου που έχει ταξιδέψει το πακέτο, μπορεί να κρίνει εάν ο κόμβος προορισμός είναι ακόμα μέσα στην εμβέλεια του. Σε διαφορετική περίπτωση, στέλνει το πακέτο στον κόμβο που είναι πιο κοντά προς τον τελικό. Τα αποτελέσματα του AGF δίνουν τρεις φορές μεγαλύτερη αναλογία στην παράδοση πακέτων στους κόμβους σε σχέση με το GPSR.

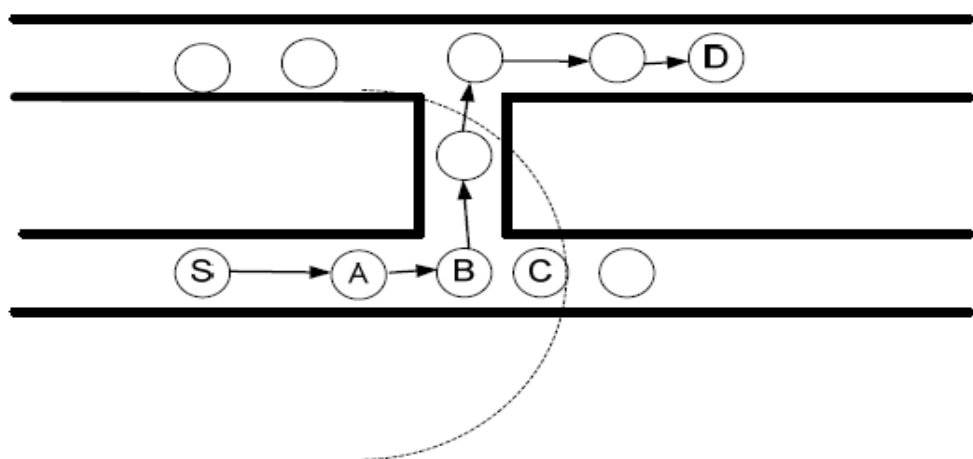
- **Position Based Routing with Distance Vector Recovery (PRB-DV).** Το πρωτόκολλο αυτό είναι σχεδόν παρόμοιο με το GPSR με την

διαφορά ότι έχουν διαφορετική αντιμετώπιση στο πρόβλημα του τοπικού μέγιστου (local maximum) που περιγράψαμε στο GPSR. Σε αυτή την περίπτωση το πρωτόκολλο δρα χρησιμοποιώντας μια λειτουργία του AODV. Ο κόμβος που βρίσκεται στο local maximum κάνει broadcast ένα πακέτο RREQ, το οποίο περιέχει την θέση του καθώς και την θέση του τελικού προορισμού. Ο κόμβος που λαμβάνει το πακέτο εξετάζει εάν είναι πιο κοντά στον κόμβο προορισμό από τον κόμβο που βρισκόταν στο local maximum. Εάν όντως είναι πιο κοντά στέλνει ένα πακέτο RREP στον αρχικό κόμβο. Κάθε ενδιάμεσος κόμβος που λαμβάνει το πακέτο, καταγράφει από ποιόν κόμβο το έλαβε και έτσι ο κόμβος που βρίσκεται στο local maximum δημιουργεί μια διαδρομή προς τον κόμβο προορισμό. Σε κάθε άλλη περίπτωση κάνει οι ενδιάμεσοι κόμβοι κάνουν rebroadcast το πακέτο.

- **Greedy Routing with Abstract Neighbor Table (GRANT).** Το πρωτόκολλο αυτό, δίνει την δυνατότητα στους κόμβους να έχουν μια μεγαλύτερη άποψη του δικτύου γνωρίζοντας x-hop «γειτονίες» μακριά τους (Schnauffer, 2008). Χωρίζει ουσιαστικά του δίκτυο σε γειτονίες κόμβων και χρησιμοποιεί έναν κόμβο από κάθε γειτονία ως αντιπρόσωπό της. Έτσι αποφεύγεται ο μεγάλος αριθμός από beacons ανάμεσα στις «γειτονίες». Παρόλα αυτά, οι μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί για αυτό το πρωτόκολλο δεν είναι ικανές να αναδείξουν εάν υπερτερεί η όχι των άλλων πρωτοκόλλων.

Στην συνέχεια θα περιγράψουμε μερικά πρωτόκολλα Non-DTN→Beacon→Overlay. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης τύπου overlay ονομάζονται έτσι γιατί η διαδικασία της δρομολόγησης λειτουργεί σε μια ομάδα αντιπροσωπευτικών κόμβων που επικαλύπτουν (overlay) το δίκτυο. Σε ένα αστικό περιβάλλον, παρατηρούμε ότι οι αποφάσεις των κόμβων γίνονται συνήθως πάνω σε κάποια διασταύρωση, καθότι εκεί είναι το σημείο που οι κόμβοι ακολουθούν διαφορετική πορεία και μπαίνουν σε διαφορετικό κομμάτι του δρόμου. Έτσι, τα πρωτόκολλα που θα δούμε παρακάτω έχουν να κάνουν με κόμβους που βρίσκονται πάνω σε διασταυρώσεις.

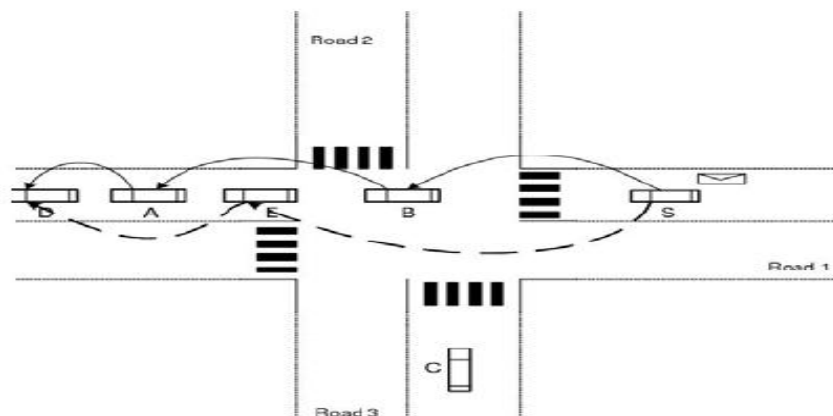
- **Greedy Perimeter Coordinator Routing (GPCR).** Κύρια ιδέα του GPCR είναι το γεγονός ότι οι δρόμοι και οι διασταυρώσεις των δρόμων σχηματίζουν ένα επίπεδο γράφημα, χωρίς να είναι απαραίτητες κάποιες εξωγενείς πληροφορίες όπως οι χάρτες (Lochert et al., 2005). Η λογική του GPCR είναι ότι εφόσον στις πόλεις υπάρχουν φυσικά εμπόδια (κτίρια, δέντρα κλπ) που δυσχεραίνουν την μετάδοση του σήματος, τα πακέτα πρέπει να δρομολογούνται κατά μήκος των δρόμων. Οι διασταυρώσεις θα πρέπει να είναι τα μόνα μέρη που θα πρέπει να λαμβάνονται αποφάσεις για την δρομολόγηση. Έτσι τα πακέτα είναι απαραίτητο να δρομολογούνται σε έναν κόμβο που βρίσκεται σε πάνω σε μια διασταύρωση και όχι σε κόμβους που βρίσκονται μετά την διασταύρωση. Όταν το πακέτο φτάσει στον κόμβο που είναι πάνω στην διασταύρωση τότε εκείνος αποφασίζει για το που θα προωθήσει το πακέτο. Ο γειτονικός κόμβος που έχει κάνει την μεγαλύτερη πρόοδο προς τον τελικό προορισμό είναι και αυτός που θα λάβει το πακέτο από τον κόμβο που βρίσκεται πάνω στην διασταύρωση. Στο Σχήμα 25 διακρίνουμε ένα παράδειγμα λειτουργίας του GPCR. Ο κόμβος S προωθεί το πακέτο στον A και εκείνος με την σειρά του στον B που βρίσκεται πάνω στην διασταύρωση, παρόλο που ο C είναι μέσα στην εμβέλειά του και είναι πιο κοντά στον τελικό κόμβο D. Η επιλογή του όμως αποδεικνύεται σωστή καθώς ο B προωθεί το πακέτο στους κόμβους που σταδιακά βρίσκονται όλο και πιο κοντά στον D.



Σχήμα 25 - Παράδειγμα δρομολόγησης πρωτοκόλλου GPCR.

Όπως παρατηρείται το GPCR είναι πολύ αποδοτικό σε αστικά περιβάλλοντα, παρόλα που σε αυτά είναι δύσκολο να αποσαφηνιστούν οι διασταυρώσεις όταν οι δρόμοι δεν είναι καλά δομημένοι.

- **GPSRJ+.** Το πρωτόκολλο δρομολόγησης GPSRJ+ είναι σχεδόν παρόμοιο με το πρωτόκολλο GPCR, εκτός του ότι έχει την δυνατότητα να αγνοήσει την δρομολόγηση των πακέτων σε κόμβους που βρίσκονται πάνω σε διασταυρώσεις (Lee, 2007). Ένας κόμβος μπορεί να προβλέψει εάν ο γειτονικός του κόμβος, ο οποίος βρίσκεται πάνω σε μια διασταύρωση θα αλλάξει δρόμο ή θα συνεχίσει την ίδια πορεία κατά μήκος του ίδιου δρόμου. Σε περίπτωση που ακολουθήσει διαφορετική διαδρομή ο αρχικός κόμβος του προωθεί το πακέτο. Ειδικά, προωθεί το πακέτο σε έναν κόμβο που είναι πιο κοντά στον προορισμό και πιθανώς να είναι πιο πέρα από την διασταύρωση. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνονται οι εκπομπές στο δίκτυο. Στο Σχήμα 26 βλέπουμε τις διαφορές ανάμεσα στα πρωτόκολλα GPSRJ+ (διακεκομμένες γραμμές) και GPCR(συμπαγείς γραμμές). Ο κόμβος S με την χρήση του GPCR στέλνει το πακέτο στον κόμβο B που βρίσκεται πάνω στην διασταύρωση, ενώ με την χρήση του GPSRJ+ το στέλνει στον κόμβο A που βρίσκεται ακριβώς μετά από την διασταύρωση, προβλέποντας ότι ο κόμβος B δεν θα αλλάξει δρόμο. Όπως παρατηρούμε τα hops με την χρήση του GPSRJ+ είναι λιγότερα σε σχέση με αυτά του GPCR.

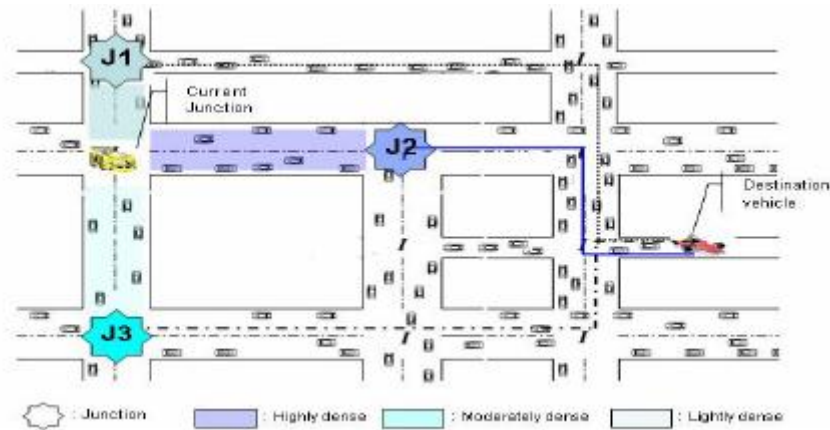


Σχήμα 26 – GRSJ+ vs. GPCR.

- **Connectivity Aware Routing (CAR).** Το CAR είναι ένα πρωτόκολλο, ειδικά σχεδιασμένο για αστικά περιβάλλοντα, καθώς και για αυτοκινητόδρομους (Naumov, 2006). Το CAR αποτελείται από τέσσερα κύρια μέρη: την εύρεση της τοποθεσίας του κόμβου προορισμού καθώς και το μονοπάτι που θα ακολουθήσει το πακέτο προς αυτόν τον κόμβο, την προώθηση του πακέτου σύμφωνα με το μονοπάτι αυτό, την επίβλεψη του μονοπατιού από τους «φρουρούς» και τις διορθώσεις σε τυχόν προβλήματα κατά την διάρκεια της προώθησης του πακέτου. Οι «φρουροί» δεν είναι τίποτα άλλο από κόμβους που επιβλέπουν και καταγράφουν την κίνηση του κόμβου προορισμού, ακόμα και εάν αυτός κινείται σε μια εκ διαμέτρου αντίθετη πορεία σε σχέση με την αρχική του θέση. Το CAR χρησιμοποιεί το AODV για την εύρεση της διαδρομής και το PGB για την διάδοση των δεδομένων. Δεν απαιτείται η ύπαρξη ψηφιακού χάρτη και δεν υφίσταται το πρόβλημα του local maximum. Έχει καλύτερα αποτελέσματα στην παράδοση πακέτων από το GPSR και το GPSR+AGF, αλλά δεν μπορεί να προσαρμοστεί εύκολα όταν αλλάζουν οι συνθήκες της κίνησης στους δρόμους.
- **Geographic Source Routing (GSR).** Για να αντιμετωπιστεί η μεγάλη κινητικότητα των κόμβων καθώς και οι ειδική δομή των δρόμων σε μια πόλη κατασκευάστηκε το πρωτόκολλο GSR (Lochert et al., 2003). Βασική προϋπόθεση για την σωστή λειτουργία του GSR είναι η υποστήριξη με χάρτη της πόλης. Έτσι είναι απαραίτητη η παρουσία GPS ή κάποιου άλλου συστήματος πλοήγησης στο αυτοκίνητο. Το GSR χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο Dijkstra για την εύρεση της πιο κοντινής διαδρομής, πάνω σε έναν γράφο στον οποίο οι κορυφές αποτελούν τις διασταυρώσεις και οι ακμές τους δρόμους που τις ενώνουν. Η ακολουθία των διασταυρώσεων αποτελεί και την διαδρομή προς τον προορισμό. Τα πακέτα προωθούνται ανάμεσα στις διασταυρώσεις. Το GSR έχει καλύτερα αποτελέσματα στην παράδοση πακέτων από το AODV και το DSR. Επίσης, είναι ιδιαίτερα αποδοτικό σε πυκνά δίκτυα, αντιμετωπίζει όμως σοβαρό πρόβλημα σε αραιά δίκτυα, όπου δεν υπάρχουν αρκετοί κόμβοι για να προωθήσουν το πακέτο.

- **Anchor-Based Street and Traffic Aware Routing (A-STAR).** Το A-STAR είναι παρόμοιο με το GSR καθώς χρησιμοποιεί ως σημεία αναφοράς (anchors) τις διασταυρώσεις προκειμένου να κατασκευάσει μια διαδρομή ενός πακέτου (Seet, 2004). Παρόλα αυτά εκμεταλλεύεται με διαφορετικό τρόπο τις πληροφορίες που παρέχονται από τον χάρτη των δρόμων. Το A-STAR υπολογίζει την διαδρομή βάσει τις κίνησης που επικρατεί στους δρόμους. Ο όρος κίνηση αναφέρεται σε όλα τα οχήματα που κινούνται στους δρόμους συμπεριλαμβανομένου των λεωφορείων και άλλων οχημάτων. Έχει παρατηρηθεί ότι στους δρόμους με πολλές λωρίδες και με ειδική λωρίδα για λεωφορεία παρατηρείται και περισσότερη κίνηση. Άρα η συνδεσιμότητα σε τέτοιους δρόμους είναι σχεδόν εγγυημένη αφού πάντα θα υπάρχει κίνηση, άλλες φορές μεγάλη άλλες φορές μικρότερη σε μέγεθος. Λόγω του ότι όλες αυτές οι υποθέσεις είναι στατιστικά αποδεδειγμένες, οι χάρτες που χρησιμοποιεί ο A-STAR ονομάζονται στατιστικά αξιολογημένοι χάρτες (statistically rated maps). Παρόλα αυτά, με την ύπαρξη RSU ή κάποιων συστημάτων που μπορούν να επιβλέπουν και να αξιολογούν το μέγεθος της κίνησης, μπορούν να δημιουργηθούν και δυναμικοί χάρτες (dynamically rate maps) τους οποίους μπορεί να χρησιμοποιήσει το A-STAR. Σύμφωνα με τις παραπάνω πληροφορίες οι δρόμοι με υψηλή κίνηση έχουν μικρότερο βάρος, ενώ οι δρόμοι με μικρότερη κίνηση το αντίθετο. Έτσι για την εύρεση μιας διαδρομής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος εύρεσης διαδρομής μικρότερου βάρους του Dijkstra (least-weight path algorithm). Στην περίπτωση που η προώθηση ενός πακέτου σταματήσει, ο πηγαίος κόμβος επαναπροσδιορίζει μια νέα διαδρομή και το κομμάτι του δρόμου που βρίσκεται εκείνη την στιγμή το πακέτο, χαρακτηρίζεται προσωρινά ως «εκτός λειτουργίας». Έτσι αποφεύγεται για λίγο η χρήση αυτής της διαδρομής και κατ' επέκταση η προβληματική προώθηση πακέτων. Σε συνθήκες χαμηλής κίνησης το A-STAR αποδίδει πολύ καλά, παρόλα αυτά έχει χαμηλότερη απόδοση στην παράδοση πακέτων από το GSR και το GPSR. Επίσης, οι υποθέσεις για το μέγεθος της κίνησης στους δρόμους δεν αντιπροσωπεύουν κατά κανόνα την πραγματικότητα.

- **Street Topology Based Routing (STBR).** Το STBR μοιάζει αρκετά στην λειτουργία με το A-STAR, παρόλα αυτά προχωράει λίγο πιο πέρα, υπολογίζοντας την συνδεσιμότητα στους δρόμους από κόμβους που βρίσκονται επάνω σε διασταυρώσεις. Ένας από τους κόμβους που βρίσκονται σε μια διασταύρωση ορίζεται ως κύριος κόμβος (master node) και είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο συνδεσιμότητας στις επόμενες διασταυρώσεις. Επιπλέον, υπάρχουν άλλες δυο καταστάσεις κόμβων: οι μη κύριοι κόμβοι (slave nodes) οι οποίοι βρίσκονται πάνω σε διασταύρωση αλλά δεν είναι master και οι forwarders οι οποίοι βρίσκονται ανάμεσα στις διασταυρώσεις και προωθούν τα πακέτα. Τα πακέτα με την χρήση του STBR δρομολογούνται βάσει γεωγραφικής απόστασης που έχουν από τον δρόμο στον οποίο βρίσκεται ο κόμβος προορισμός. Το STBR παρουσιάζει προβλήματα όταν δεν λειτουργεί σε αστικά περιβάλλοντα, καθώς αναζητά διασταυρώσεις ακόμα και σε αυτοκινητόδρομους.
- **Greedy Traffic Aware Routing (GyTAR).** Το GyTAR είναι ένα πρωτόκολλο σχεδόν παρόμοιο με τα πρωτόκολλα που προαναφέραμε (Jerbi, 2007). Προϋποθέτει και αυτό την ύπαρξη GPS καθώς και RSU προκειμένου να υπάρχουν ζωντανές πληροφορίες για την κίνηση στους δρόμους. Ένας κόμβος που βρίσκεται πάνω σε μια διασταύρωση και είναι έτοιμος να προωθήσει το πακέτο, εξετάζει τις γεωγραφικές θέσεις των γειτονικών διασταυρώσεων από τον χάρτη. Στο Σχήμα 27 παρουσιάζεται ένα απλό παράδειγμα χρήσης του GyTAR. Το κίτρινο αυτοκίνητο που είναι έτοιμο να προωθήσει το μήνυμα έχει να επιλέξει ανάμεσα στις διασταυρώσεις J1, J2, J3. Εν τέλει, επιλέγει την διασταύρωση J2, καθώς είναι αυτή που παρουσιάζει την μεγαλύτερη πυκνότητα στους κόμβους και είναι πιο κοντά στον τελικό προορισμό του πακέτου.



Σχήμα 27 – Παράδειγμα δρομολόγησης του πρωτοκόλλου GyTAR.

Τα αποτελέσματα στις καθυστερήσεις, στην παράδοση και στην διαδικασία της δρομολόγησης των πακέτων είναι καλύτερα από ότι του GSR. Παρόλα αυτά το GyTAR λειτουργεί μόνο με την ύπαρξη RSU τα οποία δίνουν πληροφορίες για την πυκνότητα των κόμβων στους δρόμους.

- **Landmark Overlays for Urban Vehicular Routing Environment (LOUVRE).** Το LOUVRE είναι και αυτό ένα overlay πρωτόκολλο δρομολόγησης που χρησιμοποιεί ως μετρικές την πυκνότητα των κόμβων και το μήκος των δρόμων για να κατασκευάσει μια διαδρομή ανάμεσα σε δυο κόμβους (LOUVRE et al., 2008). Και αυτό το πρωτόκολλο προϋποθέτει την ύπαρξη GPS για να έχει πλήρη γνώση των χαρτών. Με την χρήση του χάρτη κατασκευάζεται ένα γράφημα στο οποίο οι διασταυρώσεις αποτελούν τις κορυφές του γραφήματος και οι δρόμοι τις ακμές του. Κάθε κόμβος κατασκευάζει έναν πίνακα κατάστασης των συνδέσεων ανάμεσα στις διασταυρώσεις (link state table) στον οποίο λαμβάνονται υπ' όψιν μόνο οι δρόμοι που έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη από ένα κατώφλι που ορίζεται και επιλέγεται η διαδρομή, της οποίας το άθροισμα των μηκών των δρόμων είναι μικρότερο από κάθε άλλο. Στα θετικά του LOUVRE λογίζεται η μη απαραίτητη ύπαρξη RSU στους δρόμους καθώς οι κόμβοι είναι ικανοί μέσω πληροφορίες που ανταλλάσσουν να έχουν γνώση για την πυκνότητα των οχημάτων στους δρόμους. Επίσης, το LOUVRE έχει καλύτερα αποτελέσματα παράδοσης πακέτων από ότι το GPCR και το GPSR.

Τα Non-DTN πρωτόκολλα που περιγράψαμε είχαν έναν κοινό παρονομαστή. Έκαναν όλα περιοδικές αποστολές πακέτων (beacons) σε γειτονικούς κόμβους οι οποίοι βρισκόταν σε διασταυρώσεις ή όχι, προκειμένου να ανταλλάξουν πληροφορίες, όπως η γεωγραφικές θέσεις ή οι ταχύτητες, και να εμπλουτίσουν τους πίνακες δρομολόγησης. Το επόμενο πρωτόκολλο που θα περιγράψουμε δεν χρησιμοποιεί τέτοια μέθοδο και είναι ένα Non-DTN→Non Beacon πρωτόκολλο δρομολόγησης.

- **Contention Based Forwarding (CBF).** Το CBF είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που δεν απαιτεί την μετάδοση περιοδικών πακέτων (beacon) (Fussler et al., 2004). Τα πακέτα δεδομένων μεταδίδονται σε όλες τους γείτονες ενός κόμβου και οι κόμβοι αποφασίζουν μόνοι τους εάν θα το προωθήσουν εκ νέου ή όχι. Ο κόμβος που θα προωθήσει το πακέτο, εκλέγεται ανάμεσα σε άλλους με μια κατανεμημένη χρονική διαδικασία. Κάθε κόμβος όταν λάβει ένα πακέτο δεδομένων θέτει έναν μετρητή χρόνου για να καθορίσει πότε θα μεταδώσει το πακέτο. Όταν ο μετρητής λήξει ο κόμβος προωθεί το πακέτο. Οι υπόλοιποι κόμβοι εφόσον αντιληφθούν την μετάδοση πακέτου με το ίδιο ID με το πακέτο που έχουν προς μετάδοση, ακυρώνουν τον μετρητή και δεν μεταδίδουν το μήνυμα. Όταν ο τελικός κόμβος λάβει το πακέτο στέλνει ένα Ack στους γείτονές του για την επιτυχή λήψη του. Στην κεφαλίδα των πακέτων που ανταλλάσσονται υπάρχουν πληροφορίες όπως το ID και η θέση του κόμβου προορισμού, ένα ID του πακέτου, καθώς και η θέση του πηγαίου κόμβου. Κύριο πλεονέκτημα του CBF είναι η μη χρήση beacons, η αποφυγή των συγκρούσεων στην μετάδοση (packet collisions) και η ύπαρξη μη αποτελεσματικής δρομολόγησης λόγω των άστοχων πινάκων δρομολόγησης. Μειονέκτημα του CBF είναι ότι λειτουργεί καλύτερα σε αυτοκινητόδρομο παρά σε αστικό περιβάλλον στο οποίο παρουσιάζεται συχνά το πρόβλημα του local maximum.

Το επόμενο πρωτόκολλο που θα περιγράψουμε είναι ένα Non-DTN→Hybrid πρωτόκολλο. Το τοποθετούμε στην κατηγορία των υβριδικών πρωτοκόλλων γιατί επιλέγει μια πιο υβριδική προσέγγιση στην διαδικασία των beacons.

- **Topology-assist Geo-Opportunistic Routing (TOGO).** Στην δρομολόγηση με το πρωτόκολλο TOGO τα πακέτα προορίζονται προς κάποιους ειδικούς κόμβους (anchor nodes), οι οποίοι αποφασίζονται βάσει ενός αλγορίθμου πρόβλεψης του επόμενου βήματος (Next-hop Prediction Algorithm) (Lee et al., 2009). Οι κόμβοι που βρίσκονται κοντά σε αυτούς τους ειδικούς κόμβους λαμβάνουν το πακέτο. Οι κόμβοι οι οποίοι ανήκουν στο σετ επιλογής νέων κόμβων για την προώθηση του πακέτου (Forwarding Set Selection), θέτουν έναν μετρητή χρόνου με βάση την σχετική απόστασή τους από τον ειδικό κόμβο. Όσο πιο κοντά βρίσκονται οι κόμβοι προς τον ειδικό κόμβο τόσο περισσότερο μειώνεται ο χρόνος. Ο κόμβος του οποίου ο μετρητής χρόνου θα φτάσει στο τέλος του πρώτος, θα είναι και αυτός που θα μεταδώσει το πακέτο. Οι υπόλοιποι κόμβοι όταν αντιληφθούν την μετάδοση του πακέτου ακυρώνουν τους δικούς τους μετρητές. Το TO-GO χρησιμοποιεί two-hop neighbor beacons προκειμένου να προβλέψει πότε ένας κόμβος μπορεί να παραβλέψει την ύπαρξη κόμβου πάνω στην διασταύρωση και να προωθήσει το πακέτο σε κάποιον που βρίσκεται πιο κοντά στον προορισμό. Η λειτουργία του στην προώθηση των πακέτων είναι παρόμοια με το πρωτόκολλο GPSRJ+. Το TO-GO χρησιμοποιεί ένα τρόπο να επιλέγει το επόμενο σετ από κόμβους που είναι υποψήφιοι να προωθήσουν το πακέτο, τέτοιο ώστε κάθε κόμβος να «ακούει» τον άλλο. Το TO-GO παρουσιάζει σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα στην παράδοση πακέτων με το GPSRJ+ και το GPCR, παρόλα αυτά υστερεί στον χρόνο παράδοσης του πακέτου από άκρη ως άκρη (end to end).

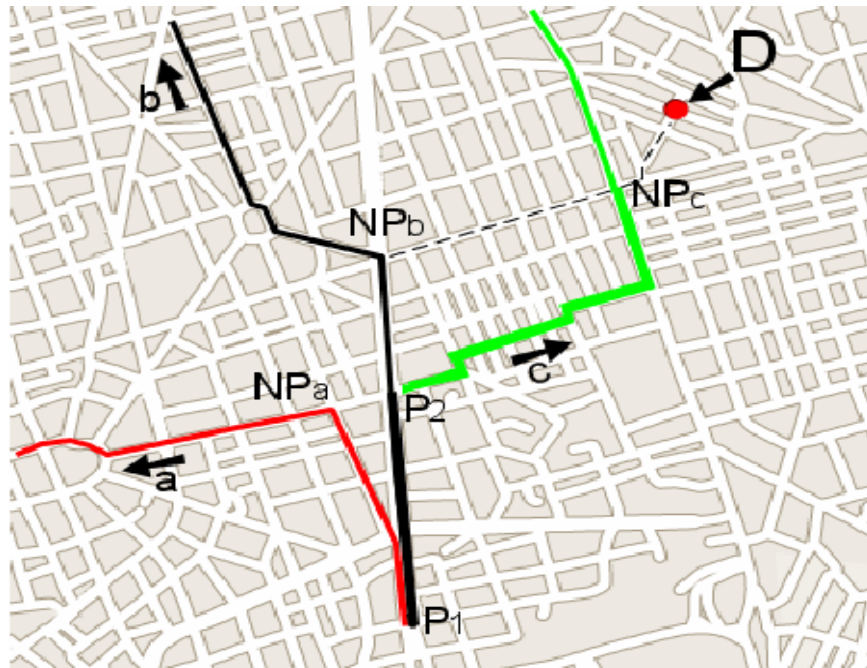
Όλα τα position based πρωτόκολλα που περιγράψαμε έως τώρα στο Κεφάλαιο ήταν πρωτόκολλα τύπου Non-DTN. Στην συνέχεια θα περιγράψουμε πρωτόκολλα που ανήκουν στην κατηγορία των ανεκτικών προς την καθυστέρηση πρωτοκόλλων (Delay Tolerant Network,DTN). Στα VANETs οι κόμβοι είναι ιδιαίτερα κινητικοί με αποτέλεσμα να συναντώνται συχνές διακοπές στην σύνδεση τους. Για να ξεπεραστεί αυτό, οι κόμβοι έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύσουν τα πακέτα όταν δεν βρίσκουν άλλους κόμβους να τα παραδώσουν και να τα μεταδίδουν αργότερα, όταν βρουν νέους κόμβους. Άρα κατανοούμε ότι υπάρχει

ανοχή στην καθυστερημένη παράδοση των πακέτων. Θα περιγράψουμε δυο αξιοσημείωτα πρωτόκολλα δρομολόγησης τύπου DTN, το VADD και το GeOpps.

- **Vehicle Assisted Data Delivery (VADD).** Το VADD είναι βασισμένο στην ιδέα του carry and forward (Zhao et al., 2006). Οι κόμβοι αποθηκεύουν το πακέτο, το «κουβαλάνε» και το προωθούν όταν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες. Το πιο σημαντικό θέμα είναι να επιλεγθεί μια διαδρομή προώθησης του πακέτου που μπορεί να έχει την μικρότερη καθυστέρηση στην παράδοση του πακέτου. Αν και πρωτόκολλα όπως το GPSR είναι πολύ αποδοτικά στην παράδοση πακέτων στα ad hoc δίκτυα, ίσως να μην ταιριάζουν σε αραιά δίκτυα. Το VADD ακολουθεί κάποιες βασικές αρχές: μετάδοση μέσω του ασύρματου καναλιού όσο το δυνατόν περισσότερο. Εάν το πακέτο πρέπει να μεταφερθεί διαμέσου κάποιων δρόμων, οι δρόμοι αυτοί πρέπει να είναι με υψηλή ταχύτητα. Και τέλος, λόγω των απρόβλεπτων αλλαγών σε τέτοιων ειδών δίκτυα, πρέπει να υπάρχει δυναμική επιλογή της διαδρομής που πρέπει να ακολουθήσει το πακέτο κατά την διάρκεια δρομολόγησής του. Κάθε όχημα που έχει ένα πακέτο προς μετάδοση αποφασίζει που θα το προωθήσει όταν βρίσκεται σε κάποια διασταύρωση και επιλέγει την διαδρομή με την μικρότερη καθυστέρηση στην παράδοση πακέτων. Η πρόβλεψη για την καθυστέρηση που παρουσιάζει μια διαδρομή μπορεί να υπολογιστεί με κάποιες παραμέτρους όπως η πυκνότητα των κόμβων, ο μέσος όρος της ταχύτητας που έχουν και το μήκος του δρόμου. Υπάρχουν πολλά πρωτόκολλα που βασίζονται στο VADD και αποτελούν ουσιαστικά βελτιώσεις του. Το Location First Probe (L-VADD), επιλέγει έναν κόμβο που βρίσκεται πιο κοντά στην επόμενη διαδρομή προώθησης του πακέτου, εάν και ο κόμβος μπορεί να κινείται αντίθετα σε σχέση με την διαδρομή αυτή. Το Direction First Probe (D-VADD), επιλέγει έναν κόμβο που κινείται προς την επόμενη διαδρομή προώθησης του πακέτου αν και υπάρχει περίπτωση αυτός ο κόμβος να βρίσκεται πιο μακριά σε σχέση με άλλους από την διαδρομή αυτή. Το Multi-Path Direction First Probe (MD-VADD), επιλέγει παραπάνω από έναν κόμβους που κινούνται προς την κατεύθυνση της διαδρομής προώθησης του πακέτου, ούτως ώστε να μην υπάρξει πιθανότητα ο κόμβος που θα κινηθεί πιο γρήγορα προς τον τελικό προορισμό να μην είναι αυτός που θα

λάβει το πακέτο. Και τέλος, το Hybrid Probe (H-VADD) συνδυάζει το L-VADD και το D-VADD, έτσι ώστε η μεγάλη καθυστέρηση του D-VADD να μεταχειρίζεται από το L-VADD και τα loops δρομολόγησης από το L-VADD να χειρίζονται με την βοήθεια του D-VADD. Ειδικότερα, όταν ένας κόμβος μπαίνει σε μια διασταύρωση το H-VADD συμπεριφέρεται σαν το L-VADD, ενώ στην περίπτωση που ανιχνευθεί ένα routing loop αμέσως μετατρέπεται σε D-VADD έως ότου εγκαταλείψει την διασταύρωση. Σε σύγκριση με το GPSR και τις διαφορετικές προσεγγίσεις του VADD το υβριδικό του μοντέλο (H-VADD) έχει την καλύτερη απόδοση.

- **Geographical Opportunistic Routing (GeOpps).** Το GeOpps είναι και αυτό ένα ανεκτικό προς την καθυστέρηση πρωτόκολλο δρομολόγησης το οποίο βασίζεται στην διαθεσιμότητα πληροφοριών που προσφέρει το GPS, προκειμένου να επιλέξει την διαδρομή που θα ακολουθήσει το πακέτο για να φτάσει σε μια γεωγραφική περιοχή (Leontiadis et al., 2007). Το GeOpps λαμβάνει ως πληροφορία τους προτεινόμενους δρόμους κίνησης ενός αυτοκινήτου που δίνει το GPS και επιλέγει οχήματα που είναι πιο πιθανό να μεταφέρουν το πακέτο κοντά στον τελικό προορισμό του. Η λειτουργία του GeOpps έχει ως εξής: οι γειτονικοί κόμβοι που ακολουθούν τους προτεινόμενους δρόμους για τους προορισμούς που δίνουν οι οδηγοί, υπολογίζουν ποιο θα είναι το κοντινότερο σημείο προς τον προορισμό του πακέτου, που θα φτάσουν. Έπειτα, υπολογίζεται από το σύστημα του GPS ποιά θα είναι η εκτιμώμενη ώρα που θέλει το πακέτο για να φτάσει στον προορισμό του. Το όχημα που μπορεί να παραδώσει το πακέτο γρηγορότερα ή πιο κοντά στον τελικό προορισμό του είναι και αυτό που θα το μεταφέρει. Στο Σχήμα 28 εμφανίζεται ένα παράδειγμα επιλογής του επόμενου μεταφορέα του πακέτου.



Σχήμα 28 – Παράδειγμα επιλογής επόμενου μεταφορέα του πακέτου με τη μέθοδο του κοντινότερου σημείου (Nearest Point).

Διακρίνουμε ότι από τα γειτονικά οχήματα a, b, c, το c είναι αυτό που θα περάσει πιο κοντά από τον τελικό προορισμό (D) του πακέτου και άρα θα πρέπει να είναι και αυτό που θα μεταφέρει το πακέτο.

Η μεγάλη ενότητα των πρωτοκόλλων position based κλείνει με ένα υβριδικό πρωτόκολλο το οποίο περιέχει λειτουργίες όπως η άπληστη προώθηση (greedy forwarding), η περιμετρική προώθηση(perimeter mode) και η ανεκτικότητα στις καθυστερήσεις (DTN).

- **GeoDTN+NAV.** Το GeoDTN+NAV είναι ένα υβριδικό position based πρωτόκολλο, το οποίο προωθεί με άπληστο τρόπο (greedy mode) τα πακέτα επιλέγοντας τον γείτονα που έχει κάνει την μεγαλύτερη πρόοδο προς τον τελικό προορισμό σε σύγκριση με τους άλλους (Cheng et al., 2008). Στην περίπτωση που φτάσει σε local maximum μετατρέπει την λειτουργία του σε περιμετρική (perimeter mode). Με αυτούς του τρόπους, εγγυάται η παράδοση του πακέτου όσο το δίκτυο είναι συνδεδεμένο. Παρόλα αυτά, η θεώρηση ότι το δίκτυο βρίσκεται πάντα σε σύνδεση δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Επίσης, μπορεί να είναι τμηματοποιημένο όταν μιλάμε για αραιό δίκτυο. Οι προηγούμενες

λειτουργίες σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι επαρκείς. Έτσι, εισάγεται και μια νέα λειτουργία παρόμοια με τα DTN πρωτόκολλα. Η λειτουργία αυτή είναι η αποθήκευση και μεταφορά του πακέτου (carry and forward). Επίσης, στο GeoDTN+NAV εισάγεται μία εικονική διεπαφή πλοήγησης (Virtual Navigation Interface, VNI) η οποία παρέχει πρότυπα κίνησης με σκοπό την καλύτερη επιλογή του επόμενου οχήματος για την προώθηση του πακέτου. Κύριος στόχος της VNI είναι να αναζητήσει γειτονικά οχήματα που θα βοηθήσουν στην προώθηση του πακέτου σε απομακρυσμένα τμήματα του δικτύου. Η VNI χωρίζει τα οχήματα με βάση την κίνηση που μπορεί να έχουν σε τέσσερις κατηγορίες: 1) Τα οχήματα που έχουν προκαθορισμένη διαδρομή (αστικά λεωφορεία, τρένα, μετρό), 2)τα οχήματα που έχουν προκαθορισμένο προορισμό (TAXI), 3)τα οχήματα που έχουν ένα προβλέψιμο προορισμό και διαδρομή (Ι.Χ. εξοπλισμένα με GPS) και 4)τα οχήματα που είναι άγνωστη η κίνησή τους. Κάθε όχημα που έχει μια VNI είναι σε θέση να παρέχει πληροφορίες για την διαδρομή που θα ακολουθήσει, καθώς και για το κατά πόσο θα τηρήσει την διαδρομή αυτή ή όχι. Με βάση αυτά τα κριτήρια μπορεί να επιλεγεί και το επόμενο όχημα που θα παραλάβει το πακέτο. Το GeoDTN+NAV είναι ένα πολύ καλό πρωτόκολλο για αραιά και τμηματοποιημένα δίκτυα και παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα στην παράδοση πακέτων από το GPCR και GPSR, παρόλα αυτά υστερεί στον χρόνο παράδοσής τους γιατί χρησιμοποιεί την λειτουργία των DTN πρωτοκόλλων carry and forward.

Περιγράψαμε συνοπτικά κάποια γνωστά Position Based πρωτόκολλα. Τα πρωτόκολλα αυτά αποτελούν μαζί με τα Topology Based τα πιο διαδεδομένα και γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης για δίκτυα όπως τα VANETs. Όπως αναφέραμε στην αρχή του κεφαλαίου υπάρχουν και άλλες τρεις κατηγορίες πρωτοκόλλων: τα Broadcast, τα Cluster Based και τα Geocast. Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα περιγράψουμε πρωτόκολλα δρομολόγησης τύπου Broadcast, Cluster Based και Geocast.

3.3 BROADCAST ROUTING

Η broadcast δρομολόγηση χρησιμοποιείται συχνά στα VANETs, για τον διαμοιρασμό πληροφοριών, όπως η κίνηση, ο καιρός, έκτακτες καταστάσεις στους δρόμους, ανακοινώσεις και διαφημίσεις. Με το πρωτόκολλο αυτό τα δεδομένα στέλνονται σε όλους τους κόμβους του δικτύου, μέσω πλημμύρας των πακέτων (flooding). Αυτή η διαδικασία αποστολής των πακέτων, εγγυάται την παραλαβή των δεδομένων από όλους τους κόμβους, αλλά καταναλώνει μεγάλο μέρος bandwidth και οι κόμβοι ενδέχεται να λάβουν το ίδιο πακέτο πολλές φορές. Τέτοιου είδους πρωτόκολλα, αποδίδουν καλύτερα σε δίκτυα με μικρό αριθμό κόμβων. Παραδείγματα πρωτοκόλλων Broadcast είναι το BROADCAST, το UMB, το V-TRADE και το DV-CAST.

- **BROADCAST.** Το BROADCAST είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης, χρήσιμο κυρίως σε αυτοκινητόδρομους και έχει ιεραρχική δομή. Οι αυτοκινητόδρομοι χωρίζονται σε εικονικά κελιά τα οποία κινούνται σύμφωνα με την κίνηση των οχημάτων. Οι κόμβοι οργανώνονται σε 2 επίπεδα της ιεραρχίας: το πρώτο επίπεδο περιέχει όλους τους κόμβους που βρίσκονται μέσα στο εικονικό κελί και το δεύτερο από τους κόμβους που βρίσκονται κοντά στο κέντρο του κελιού. Αυτοί οι κόμβοι είναι υπεύθυνοι στην μεταχείριση των μηνυμάτων που του στέλνουν οι κόμβοι από το ίδιο κελί, ή κόμβοι από γειτονικά κελιά. Το BROADCAST είναι απλό στην υλοποίηση του και είναι λειτουργικό μόνο σε αυτοκινητόδρομους.
- **Urban Multi-Hop Broadcast (UMB).** Το UMB είναι ένα πρωτόκολλο σχεδιασμένο για να ξεπεραστεί το πρόβλημα της παρεμβολής στην μετάδοση του σήματος, της σύγκρουσης των πακέτων και το πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου κατά την διάρκεια της μετάδοσης με πολλά hops (multi hop broadcasting) (Korkmaz et al., 2004). Στο UMB ο αποστολέας του πακέτου προσπαθεί να επιλέξει τον κόμβο που βρίσκεται πιο μακριά από αυτόν στην κατεύθυνση που θέλει να κάνει broadcast και του προωθεί το πακέτο χωρίς να έχει γνώση της τοπολογίας. Το UMB αποδίδει καλύτερα σε αστικά περιβάλλοντα και με δρόμους που έχουν μεγάλο αριθμό κόμβων.
- **Vector Based Tracing Detection (V-TRADE).** Το V-TRADE είναι ένα broadcast πρωτόκολλο το οποίο λειτουργεί με την βοήθεια GPS. Το V-TRADE ταξινομεί τους γείτονες σε διαφορετικές ομάδες βάσει της κίνησης

και της θέσης τους. Σε κάθε ομάδα κόμβων κάποιοι ελάχιστοι κόμβοι έχουν το δικαίωμα να προωθήσουν το μήνυμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μικρή κατανάλωση σε bandwidth.

- **Distributed Vehicular Broadcast (DV-CAST).** Το DV-CAST έχει σχεδιαστεί με σκοπό την αποτελεσματικότερη μετάδοση και παράδοση ενός πακέτου σε όλους τους επίδοξους αποδέκτες του (Tonguz et al.,2007). Επιπλέον, πρέπει να προσαρμόζεται εύκολα σε όλες τις καταστάσεις της κίνησης στους δρόμους και τέλος, δεν θα πρέπει να επιβαρύνει το δίκτυο σε περίπτωση που υπάρχουν πολλοί κόμβοι. Το DV-CAST χρησιμοποιεί Hello μηνύματα για να γνωρίζει τους γείτονές του και την κατάσταση της σύνδεσης μεταξύ τους προκειμένου να αποφασίσει για την προώθηση του πακέτου. Και αυτό το πρωτόκολλο, προϋποθέτει την γνώση της γεωγραφικής θέσης κάθε οχήματος και άρα την ύπαρξη GPS.

3.4 GEOCAST BASED ROUTING

Μια άλλη κατηγορία πρωτοκόλλων είναι τα Geocast. Τα πρωτόκολλα αυτά είναι βασισμένα στην multicast δρομολόγηση των πακέτων. Το αντικείμενό τους είναι η δρομολόγηση των πακέτων από έναν πηγαίο κόμβο σε όλους τους κόμβους μιας γεωγραφικής περιοχής (Zone Of Relevance, ZOR). Στην ουσία καθορίζεται μια γεωγραφική περιοχή στην οποία θα γίνει και πλημμύρα των πακέτων, αποφεύγοντας έτσι η συμφόρηση και η μεγάλη αποστολή πακέτων στο υπόλοιπο δίκτυο. Στην περιοχή που προορίζεται το πακέτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί unicast προώθηση. Κύρια μειονεκτήματα των πρωτοκόλλων Geocast είναι η τμηματοποίηση του δικτύου, καθώς και ότι ανεπιθύμητοι γείτονες είναι ικανοί να εμποδίσουν την σωστή προώθηση του πακέτου. Το IVG, το DG-CASTOR και το DRG είναι μερικά από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης τύπου Geocast.

- **Inter-Vehicles Geocast (IVG).** Το IVG χρησιμοποιείται για να πληροφορεί τα οχήματα σε ένα αυτοκινητόδρομο για συμβάντα όπως ένα ατύχημα ή κάποιο εμπόδιο στον δρόμο. Σε αυτήν την περίπτωση, επισημαίνεται μια περιοχή κινδύνου σύμφωνα με την κατεύθυνση που

κινούνται τα οχήματα και της θέσης που έχουν. Ο κόμβος που λαμβάνει ένα επείγον μήνυμα δεν πρέπει να το κάνει broadcast αμέσως αλλά πρέπει να περιμένει για κάποιο χρόνο, προκειμένου να πάρει την απόφαση για την περαιτέρω προώθησή του. Εάν ο χρόνος αυτός περάσει και ο κόμβος δεν λάβει το ίδιο μήνυμα από κάποιον άλλο κόμβο, τότε διαπιστώνει ότι δεν υπάρχει κάποιος άλλος κόμβος πίσω από αυτόν που να μεταδίδει το ίδιο πακέτο. Έτσι αρχίζει το broadcast προκειμένου να ενημερώσει τους κόμβους που βρίσκονται από πίσω του.

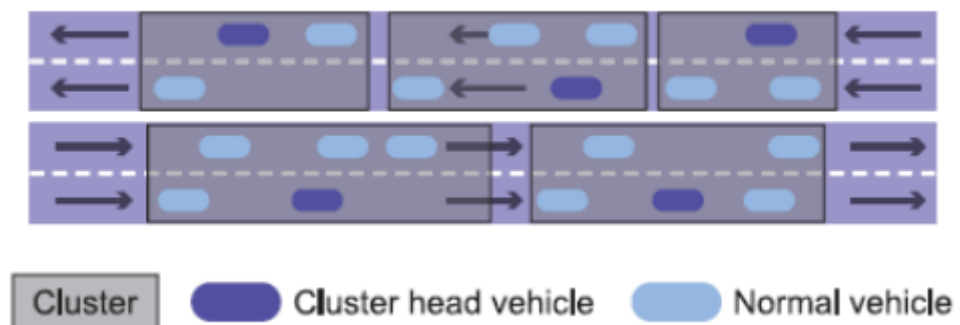
- **Distributed Robust Geocast (DRG).** Το DRG είναι ένα πλήρως κατανεμημένο Geocast πρωτόκολλο δρομολόγησης, το οποίο δεν απαιτεί την ύπαρξη Hello πακέτων και πακέτων ελέγχου της σύνδεσης ενός κόμβου με τους γείτονές του (Kihl et al., 2008). Είναι πολύ ευέλικτο σε συχνές τροποποιήσεις της τοπολογίας και μπορεί να αντιμετωπίσει με επιτυχία ζητήματα όπως η τμηματοποίηση του δικτύου ή η ύπαρξη loop στην δρομολόγηση.
- **Direction-based routing (DG-CASTOR).** Το DG-Castor είναι και αυτό ένα Geocast πρωτόκολλο δρομολόγησης το οποίο έχει δύο κύρια πλεονεκτήματα: προσπαθεί να βρει ένα γειτονικό group από κόμβους οι οποίοι είναι σε θέση να ανταλλάξουν multimedia αρχεία για κάποιο χρονικό διάστημα και μειώνει αισθητά την συμφόρηση στο δίκτυο, καθώς και τις συχνές ανταλλαγές μηνυμάτων των γειτονικών κόμβων (Atechian et al., 2008). Το DG-Castor χρησιμοποιείται κυρίως για εφαρμογές που έχουν να κάνουν με την ενημέρωση, την διασκέδαση και την επικοινωνία μεταξύ των οδηγών των οχημάτων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μειώνει την συμφόρηση στο δίκτυο σε σχέση με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα, ελαττώνοντας την μετάδοση πακέτων σε ολόκληρο το δίκτυο.

3.5 CLUSTER BASED ROUTING

Η τελευταία κατηγορία πρωτοκόλλων δρομολόγησης είναι τα cluster based. Η λογική αυτού του είδους πρωτοκόλλων μοιάζει πολύ με την λογική του broadcast πρωτοκόλλου BROADCAST, που περιγράψαμε παραπάνω. Οι κόμβοι χωρίζονται σε συμπλέγματα (clusters) και το κάθε σύμπλεγμα έχει έναν κόμβο που

αποτελεί την κεφαλή του συμπλέγματος και είναι υπεύθυνος για τον συντονισμό του συμπλέγματος, σε λειτουργίες διαχείρισης του δικτύου. Οι κόμβοι εντός του συμπλέγματος επικοινωνούν άμεσα, ενώ δυο κόμβοι που βρίσκονται σε διαφορετικά συμπλέγματα μπορούν να επικοινωνήσουν μόνο διαμέσου της κεφαλής του κάθε συμπλέγματος. Η εκλογή της κεφαλής σε ένα σύμπλεγμα γίνεται βάσει της δυναμικής των οχημάτων ή μετά από πρόθεση του οδηγού, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους που η εκλογή γίνεται με βάση το ID που έχουν οι κόμβοι. Δύο γνωστά πρωτόκολλα cluster based είναι το COIN και το LORA-CBF.

- **Clustering for Open Inter-vehicular communication Networks. (COIN).** Το COIN είναι ένα cluster based πρωτόκολλο δρομολόγησης το οποίο λειτουργεί ακριβώς όπως περιγράψαμε παραπάνω (Sivagurunathan et al., 2009). Κάθε σύμπλεγμα οχημάτων (cluster) έχει ένα όχημα που αποτελεί την κεφαλή του συμπλέγματος και εκλέγεται με την θέληση του οδηγού ή την δυναμική του οχήματος. Η επικοινωνία μεταξύ των συμπλεγμάτων γίνεται μέσω της κεφαλίδας κάθε συμπλέγματος. Το COIN παράγει σταθερές δομές στο δίκτυο και έτσι ελαττώνεται το overhead. Στο Σχήμα 29 απεικονίζεται ένα παράδειγμα cluster based δρομολόγησης. Τα οχήματα χωρίζονται σε διαφορετικά συμπλέγματα με τα μπλε να αποτελούν την κεφαλή του συμπλέγματος και τα γαλάζια τα απλά μέλη του.



Σχήμα 29 – Παράδειγμα cluster based δρομολόγησης.

- **Location Routing Algorithm with Cluster-Based Routing (LORA_CBF).** Το LORA_CBF είναι και αυτό ένα cluster based πρωτόκολλο δρομολόγησης (Aquino et al., 2006). Κάθε κόμβος μπορεί να είναι είτε η

κεφαλή του συμπλέγματος, είτε ένα απλό μέλος του είτε gateway. Gateways χαρακτηρίζονται οι κόμβοι που είναι συνδεδεμένοι με περισσότερα από ένα συμπλέγματα. Η κεφαλή του συμπλέγματος συντηρεί πληροφορίες για τα μέλη και τα gateways του συμπλέγματος. Τα πακέτα στέλνονται από τον πηγαίο κόμβο στον προορισμό με μια μέθοδο παρόμοια με την άπληστη δρομολόγηση (greedy routing). Εάν η τοποθεσία του προορισμού δεν είναι διαθέσιμη, ο πηγαίος κόμβος εκπέμπει ένα πακέτο location request (LREQ). Τα πακέτα αυτά, είναι παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται στο AODV, αλλά μόνο οι κεφαλές των συμπλεγμάτων και τα gateways είναι υπεύθυνα για την διάδοσή τους.

Εδώ, κλείνει ένα μεγάλο κεφάλαιο περιγραφής των πιο γνωστών πρωτοκόλλων δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται ή δύναται να χρησιμοποιηθούν σε δίκτυα όπως τα VANETs. Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει μια αναλυτική περιγραφή του πρωτοκόλλου που προτείνουμε και θα αναλύσουμε την λογική του και τις λειτουργίες του. Κλείνοντας το τρίτο κεφάλαιο παραθέτουμε έναν πίνακα με τα πρωτόκολλα που περιγράψαμε και μερικές ιδιότητές τους, ώστε να υπάρχει μια γενική εικόνα.

Πίνακας 2 – Συνοπτική περιγραφή πρωτοκόλλων στα VANETs

Πρωτόκολλο Δρομολόγησης	Κατηγορία	Υποκατηγορία	Τύπος Μετάδοσης	Overhead
FSR	Topology Based	Proactive	Unicast	Link States
AODV	Topology Based	Reactive	Unicast	Path States
AODV+PGB	Topology Based	Reactive	Unicast	Path States
DSR	Topology Based	Reactive	Unicast	Path States
TORA	Topology Based	Reactive	Unicast	Path States
GPSR	Position Based	Non-DTN, Beacon, Non-Overlay	Unicast	Beacons
GPSR+AGF	Position Based	Non-DTN, Beacon, Non-Overlay	Unicast	Beacons

Πρωτόκολλο Δρομολόγησης	Κατηγορία	Υποκατηγορία	Τύπος Μετάδοσης	Overhead
PRB-DV	Position Based	Non-DTN, Beacon, Non-Overlay	Unicast	Beacons, Path States
GRANT	Position Based	Non-DTN, Beacon, Non-Overlay	Unicast	Two hop Beacons
GPCR	Position Based	Non-DTN, Beacon, Overlay	Unicast	Beacons
GPSRJ+	Position Based	Non-DTN, Beacon, Overlay	Unicast	Beacons
CAR	Position Based	Non-DTN, Beacon, Overlay	Unicast	Beacons
GSR	Position Based	Non-DTN, Beacon, Overlay	Unicast	Beacons
A-STAR	Position Based	Non-DTN, Beacon, Overlay	Unicast	Beacons
STBR	Position Based	Non-DTN, Beacon, Overlay	Unicast	Beacons
GyTAR	Position Based	Non-DTN, Beacon, Overlay	Unicast	Beacons
LOUVRE	Position Based	Non-DTN, Beacon, Overlay	Unicast	Beacons
CBF	Position Based	Non-DTN, Non-Beacon	Unicast	Data Broadcast
TO-GO	Position Based	Non-DTN, Hybrid	Unicast	Beacons and Data Broadcast
VADD	Position Based	DTN	Unicast	Beacons
GeOpps	Position Based	DTN	Unicast	Beacons
GeoDTN+Nav	Position Based	Hybrid	Unicast	Beacons
BROADCOMM	Broadcast Based		Broadcast	Data Broadcast
UMB	Broadcast Based		Broadcast	Data Broadcast
V-TRADE	Broadcast Based		Broadcast	Data Broadcast
DV-CAST	Broadcast Based		Broadcast	Data Broadcast

Πρωτόκολλο Δρομολόγησης	Κατηγορία	Υποκατηγορία	Τύπος Μετάδοσης	Overhead
IVG	Geocast Based		Geocast	Data Broadcast
DG-CASTOR	Geocast Based		Geocast	Beacons
DRG	Geocast Based		Geocast	Data Broadcast
COIN	Cluster Based		Unicast	Beacons
LORA_CBF	Cluster Based		Unicast	Beacons

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ DRP

Κύριος στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και προσομοίωση ενός πρωτοκόλλου διάχυσης δεδομένων σε τυχαία ασύρματα δίκτυα οχημάτων (VANETs). Το πρωτόκολλο που θα παρουσιάσουμε έχει ως κύριο στόχο την διάδοση δεδομένων και πληροφοριών σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή. Αυτό σημαίνει ότι επιδιώκουμε μέσα από την μελέτη και υλοποίησή του, στον όσο το δυνατόν μεγαλύτερο αριθμό οχημάτων που θα λάβουν την πληροφορία με μικρό χρόνο καθυστέρησης από την πρώτη στιγμή που θα μεταδοθεί το πακέτο. Επίσης, στόχος είναι να παραμείνει ο αριθμός των broadcasts σε χαμηλό επίπεδο, ούτως ώστε να μην υπάρχει μεγάλη συμφόρηση στο δίκτυο και μεγάλος αριθμός συγκρούσεων στην μετάδοση. Η επικοινωνία μπορεί να είναι μεταξύ δύο οχημάτων (vehicle-to-vehicle, V2V) ή/και μεταξύ οχήματος και σταθερού σημείου (vehicle-to-infrastructure, V2I). Βασική ιδέα είναι η πληροφορία που μεταδίδει ένα όχημα ή ένα σταθερό σημείο να λαμβάνεται από όλους τους κόμβους του δικτύου. Το πρωτόκολλο αυτό είναι δομημένο για να εξυπηρετήσει πληροφοριακές και ενημερωτικές εφαρμογές (ανακοινώσεις, διαφημίσεις). Επίσης, είναι κατάλληλο για την διάδοση πληροφοριών για κάποιο έκτακτο συμβάν στον δρόμο.

Το πρωτόκολλο που κατασκευάσαμε ονομάζεται DRP (Distance based Routing Protocol) και είναι ένα position based πρωτόκολλο, καθότι η δρομολόγηση γίνεται βάσει των γεωγραφικών θέσεων των οχημάτων. Μπορούμε να το κατατάξουμε στην κατηγορία των DTN πρωτοκόλλων αφού χρησιμοποιεί την λειτουργία carry and forward και είναι ανεκτικό στην καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων. Χρησιμοποιεί beacons προκειμένου να γνωρίζει τους γείτονες του αλλά και τις γεωγραφικές θέσεις τους. Η σχεδίαση του είναι τέτοια που το κάνει αποδοτικότερο σε αστικά περιβάλλοντα, με μεγάλη πυκνότητα κόμβων παρά σε αυτοκινητόδρομους ή αραιά δίκτυα.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα δώσουμε μια αναλυτική περιγραφή των κύριων λειτουργιών του πρωτοκόλλου, της δομής του πακέτου που κατασκευάσαμε για να καλύπτει τους σκοπούς του πρωτοκόλλου και θα αναλύσουμε προγραμματιστικά και σχηματικά τα σημαντικότερα σημεία του αλγόριθμού του.

4.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ

Το DRP επιτελεί κάποιες βασικές λειτουργίες προκειμένου να επιτευχθεί η διάδοση της πληροφορίας σε όλο το δίκτυο. Οι λειτουργίες αυτές είναι:

- **Περιοδική εκπομπή Hello μηνυμάτων (Beacons).** Τα οχήματα στέλνουν περιοδικά beacons, προκειμένου να κάνουν γνωστή την παρουσία τους στο δίκτυο. Κάθε κόμβος που λαμβάνει ένα τέτοιο πακέτο θεωρεί τον αποστολέα γείτονά του. Τον καταχωρεί σε ένα πίνακα και τον θεωρεί γείτονα μέχρι το πέρας μιας χρονικής στιγμής στην οποία θα πρέπει να ξαναλάβει Hello πακέτο. Εάν δεν λάβει παύει να τον θεωρεί γείτονα.
- **Δημιουργία πακέτων δεδομένων.** Κάθε κόμβος έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει ένα πακέτο δεδομένων και να το προωθήσει στο δίκτυο. Το πακέτο αυτό ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα γιατί έχει ένα αναγνωριστικό του μηνύματος (Message ID) και το ID του κόμβου που το δημιούργησε (Origin Node ID).
- **Προώθηση του πακέτου δεδομένων.** Κάθε όχημα έχει την δυνατότητα να προωθήσει το πακέτο, εάν και εφ' όσον είναι αυτό που έχει επιλεγεί. Η επιλογή του κόμβου που θα προωθήσει το πακέτο είναι βασισμένη σε κάποια κριτήρια που θα αναλύσουμε στην συνέχεια του κεφαλαίου.
- **Carry and Forward.** Κάθε κόμβος που λαμβάνει το πακέτο, το αποθηκεύει είτε στην περίπτωση που δεν έχει γείτονες για να το προωθήσει, είτε στην περίπτωση που έχει. Σε κάθε περίπτωση η λογική είναι να προωθηθεί το πακέτο σε καινούριους γείτονες που θα συναντήσει κάποια μεταγενέστερη χρονική στιγμή από την στιγμή που το έλαβε για πρώτη φορά.

- **Γνωστοποίηση χαρακτηριστικών των κόμβων.** Κάθε κόμβος στην ανταλλαγή πακέτων (Hello, Data) γνωστοποιεί χαρακτηριστικά όπως η γεωγραφική θέση του, η ταχύτητα του και εάν είναι σταθερή υποδομή(RSU) ή κινητός κόμβος(όχημα).

4.2 ΔΟΜΗ ΠΑΚΕΤΟΥ

Προκειμένου να καλύψουμε τις ανάγκες του πρωτοκόλλου κατασκευάσαμε ένα ειδικό πακέτο στο οποίο παρέχονται επαρκείς πληροφορίες ώστε κάθε κόμβος να έχει πληρέστατη γνώση των γειτόνων του, αλλά και γνώση για την διαδικασία προώθησης ενός πακέτου δεδομένων. Στο Σχήμα 30 υπάρχει μια γραφική αναπαράσταση του πακέτου που χρησιμοποιήσαμε για την υλοποίηση του πρωτοκόλλου.

Message ID	Source ID	Destination ID	Protocol	TOS	X coordinate	Y coordinate
Speed	Infrastructure	Time Send	Time	TTL	Origin Node	Receivers
DATA						

Σχήμα 30 – Πακέτο πρωτοκόλλου DRP.

- **Message ID:** Αποτελεί αναγνωριστικό του πακέτου και μαζί με το πεδίο Origin Node συνθέτει την μοναδικότητα του πακέτου. Είναι ένας ακέραιος αριθμός, τον οποίο τοποθετεί κάθε κόμβος στην δημιουργία του πακέτου και μένει αμετάβλητος στην διάρκεια της διάδοσης του πακέτου στο δίκτυο.
- **Source ID:** Ένα μοναδικό αναγνωριστικό του κόμβου που κάνει την μετάδοση του πακέτου. Στην διάρκεια της προώθησης το πεδίο αυτό αλλάζει κάθε φορά που το λαμβάνει κάποιος κόμβος και το προωθεί σε κάποιον άλλον. Προκειμένου να είναι μοναδικό αναγνωριστικό του κάθε κόμβου μια καλή λύση είναι η πινακίδα του αυτοκινήτου ή ο αριθμός άδειας του.
- **Destination ID:** Το αναγνωριστικό του κόμβου προορισμού. Και αυτό το πεδίο αλλάζει κατά την διάρκεια της προώθησης του πακέτου. Κάθε κόμβος

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Παραστατίδη Παντελή

που έχει στην κατοχή του το πακέτο προσθέτει το ID ενός άλλου κόμβου στον οποίο θέλει να το προωθήσει.

- **Protocol.** Αναφέρεται το όνομα του πρωτόκολλο προκειμένου να γνωρίζουν οι κόμβοι πώς να χειριστούν τα πακέτα.
- **Type of Service (ToS):** Ένας αριθμός ο οποίος δηλώνει τι είδους υπηρεσία προσφέρει το πακέτο (Hello packet, Data packet κλπ).
- **X Coordinate:** Η x-συντεταγμένη που βρίσκεται ο κόμβος που έχει στην κατοχή του το πακέτο και το μεταδίδει. Το πρωτόκολλο απαιτεί την ύπαρξη συστήματος GPS στα οχήματα.
- **Y Coordinate:** Η y-συντεταγμένη του κόμβου που μεταδίδει το πακέτο.
- **Speed:** Η ταχύτητα του οχήματος.
- **Infrastructure:** Μια τιμή Boolean η οποία αποσαφηνίζει εάν ο κόμβος είναι σταθερό σημείο ή όχημα.
- **Time Send:** Η χρονική στιγμή που στάλθηκε για πρώτη φορά το πακέτο. Η τιμή παραμένει αμετάβλητη στην διάρκειαδρομολόγησης του πακέτου.
- **Time:** Η πραγματική χρονική στιγμή που προωθείται το πακέτο.
- **Time To Live (TTL):** Έχει αρχική τιμή 255 και μειώνεται κατά 1, κάθε φορά που προωθείται από κάποιον κόμβο. Όταν η τιμή φτάσει στο 0 το πακέτο παύει να προωθείται.
- **Origin Node:** Το αναγνωριστικό του αρχικού κόμβου που μετέδωσε το πακέτο και δεν αλλάζει κατά την διάρκεια προώθησής του πακέτου στο δίκτυο. Μαζί με το Message ID, προσδιορίζουν μονοσήμαντα το πακέτο.
- **Receivers:** Ένας δυναμικός πίνακας στον οποίο κάθε κόμβος που παραλαμβάνει το πακέτο και το προωθεί, προσθέτει σε αυτόν το αναγνωριστικό του. Αυτό γίνεται για να γνωρίζουν οι κόμβοι που το παραλαμβάνουν από πού έχει περάσει το πακέτο και που πρέπει να το παραδώσουν, με σκοπό την καλύτερη διάδοσή του.
- **Data:** Περιέχει τα δεδομένα. Παραμένει αμετάβλητο πεδίο.

4.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΤΟΥ DRP

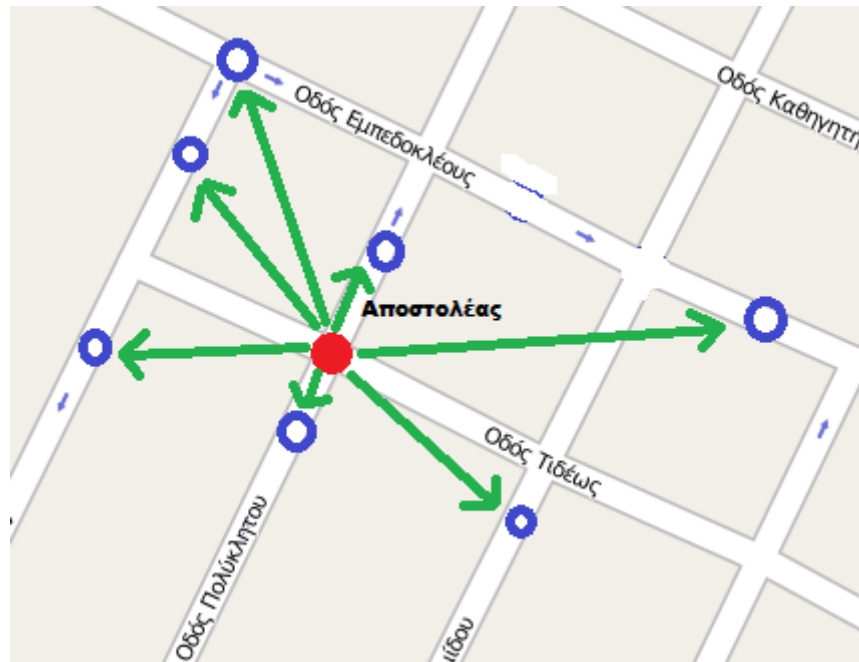
Βασική ιδέα του αλγορίθμου είναι η διάδοση της πληροφορίας σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή, σε σύντομο χρονικό διάστημα και χωρίς την επιβάρυνση του δικτύου. Κύριο σημείο του αλγορίθμου είναι η επιλογή του κόμβου που θα κάνει την προώθηση να γίνεται βάσει της απόστασης (distance) με τον κόμβο που εκπέμπει το πακέτο. Κάθε κόμβος που έχει επιλεγθεί ως ο επόμενος αναμεταδότης του πακέτου και έχει στην κατοχή του το πακέτο, επιλέγει ως επόμενο σταθμό τον κόμβο που βρίσκεται πιο μακριά και είναι φυσικά μέσα στην εμβέλεια του. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να μειωθεί το TTL στο μηδέν, ή να έχουν λάβει όλοι οι κόμβοι στην περιοχή το πακέτο.

Όλες αυτές οι λειτουργίες προϋποθέτουν την χρήση beacons ούτως ώστε οι κόμβοι να γνωρίζουν ανά πάσα στιγμή ποιοι είναι οι γείτονές τους και ποια είναι η απόσταση από αυτούς.

Καταλυτικός παράγοντας στην προώθηση του πακέτου, αποτελεί το γεγονός ότι κάθε κόμβος που μεταδίδει το πακέτο προσθέτει το ID του στο πεδίο Receivers, και έτσι δεν λαμβάνεται υπ' όψιν στην συνέχεια της διαδικασίας.

Αναλυτικά οι λειτουργίες του αλγόριθμου είναι:

- **Περιοδική εκπομπή Hello πακέτων.** Στην προσομοίωση του πρωτοκόλλου τα πακέτα Hello μεταδίδονται κάθε 10 δευτερόλεπτα. Θεωρήσαμε ότι σε ένα αστικό περιβάλλον με κανονικές ή αυξημένες συνθήκες κίνησης, τα 10 δευτερόλεπτα είναι καλός χρόνος, προκειμένου να έχει μεταβληθεί η δομή του δικτύου. Εάν ο χρόνος ήταν μικρότερος, το πιθανότερο ήταν να ανταλλάσσονται πακέτα με τους κόμβους να παραμένουν στο ίδιο σημείο, ενώ εάν ο χρόνος ήταν μεγαλύτερος να μην μπορούν οι κόμβοι να «ακολουθήσουν» την μεγάλη μεταβολή του δικτύου. Στο Σχήμα 31 φαίνεται η διαδικασία αποστολής πακέτων beacons. Κάθε κόμβος που λαμβάνει το μήνυμα, θεωρεί τον κόκκινο κόμβο ως γείτονά του.



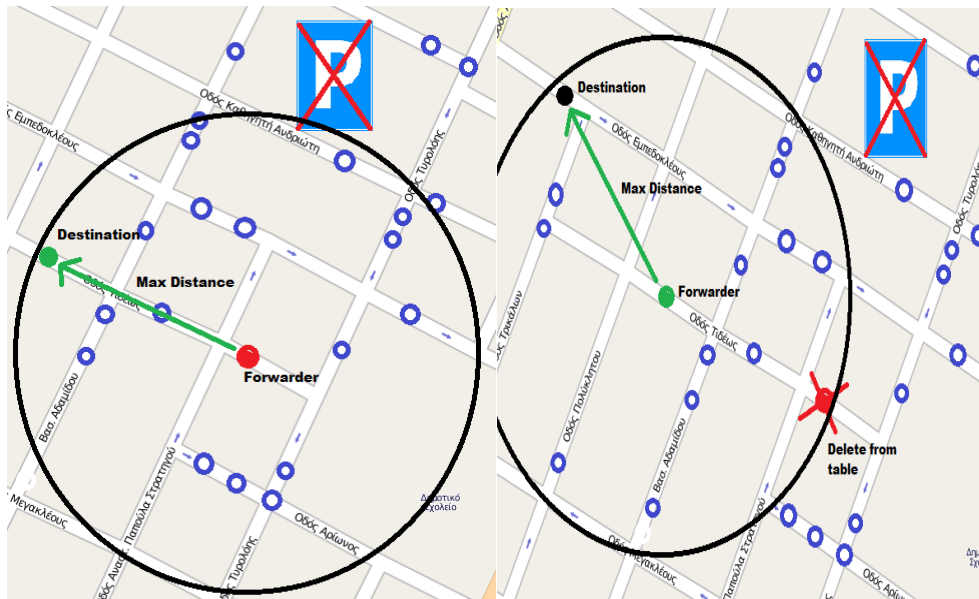
Σχήμα 31 – Αποστολή Beacon στους εντός εμβέλειας κόμβους.

- Καταχώριση γειτονικών κόμβων και αποστάσεων σε δυναμικό πίνακα.** Κάθε κόμβος που λαμβάνει ένα Hello πακέτο, υπολογίζει με το Πυθαγόρειο θεώρημα την απόστασή του από τον αποστολέα του. Έπειτα, καταχωρεί σε ένα δυναμικό πίνακα την χρονική στιγμή (στρογγυλοποιημένη προς τα κάτω), το ID του αποστολέα και την απόσταση μεταξύ τους. Έτσι, ανά πάσα στιγμή κάθε κόμβος ξέρει τους γείτονές του και ποιος βρίσκεται πιο μακριά. Η στρογγυλοποιημένη χρονική στιγμή σημαίνει για παράδειγμα ότι όταν ένας κόμβος λάβει ένα beacon στις 15:32:15, η χρονική στιγμή αυτή μετατρέπεται σε 15:32:10. Αυτό έγινε για ευκολία στα πειράματα, ούτως ώστε να θεωρεί κάθε κόμβος ότι οι γείτονες που έχει ισχύουν για 10 δευτερόλεπτα. Βάσει αυτής της θεώρησης χτίζεται ο δυναμικός πίνακας και λειτουργεί ο αλγόριθμος. Ο Πίνακας 3 αποτελεί παράδειγμα ενός πίνακα γειτόνων (neighbors table).

Πίνακας 3 – Παράδειγμα πίνακα γειτόνων

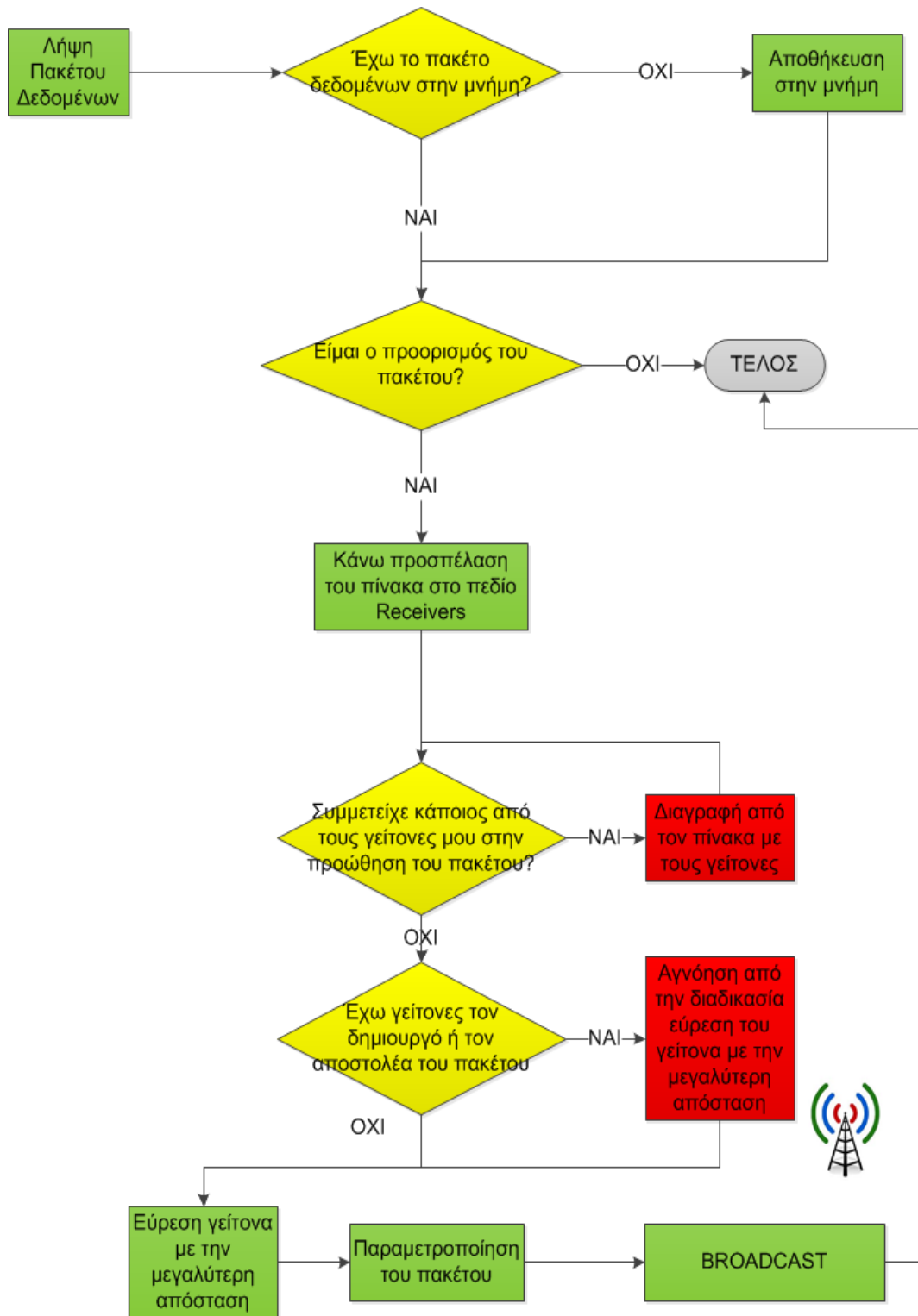
Time	Neighbor ID	Distance
15:32:10	15	40.5
15:32:10	153	52.3
15:32:20	15	45.6
15:32:20	87	68.4
15:32:20	99	70.5

- **Πρωώθηση του πακέτου.** Ένας κόμβος που λαμβάνει το πακέτο δεδομένων εξετάζει το πεδίο Destination ID. Εφ' όσον το πεδίο είναι ίδιο με το ID του, σημαίνει ότι έχει επιλεγθεί ως ο επόμενος κόμβος που πρέπει να προωθήσει το πακέτο. Στην περίπτωση αυτή ο κόμβος κοιτάζει τον πίνακα του και αναζητά τον γείτονα με την μεγαλύτερη απόσταση. Πριν όμως τον επιλέξει διαγράφει τις εγγραφές που αναφέρονται στον κόμβο που δημιούργησε αρχικά το πακέτο και στον προηγούμενο κόμβο που προώθησε το πακέτο. Την εγγραφή που αναφέρεται στον κόμβο που δημιούργησε το πακέτο την διαγράφει γιατί είναι άσκοπο να στείλει την πληροφορία σε αυτόν που την δημιούργησε και την εγγραφή του κόμβου από τον οποίο παρέλαβε το πακέτο την διαγράφει και αυτήν, ούτως ώστε να αποφευχθεί ένα ενδεχόμενο loop μεταξύ των δύο κόμβων. Τέλος, πριν επιλέξει τον κόμβο που θα στείλει το πακέτο, εξετάζει το πεδίο Receivers για να δει από ποιους κόμβους έχει περάσει ήδη το πακέτο. Εάν μέσα στον πίνακα του πεδίου Receivers υπάρχουν κάποιοι κόμβοι που τυγχάνει να είναι και γείτονες του, τους αποκλείει και αυτούς από την διαδικασία επιλογής. Έπειτα, είναι έτοιμος να επιλέξει τον κόμβο στον οποίο θα προωθήσει το πακέτο, προσθέτοντας και αυτός το ID του στον δυναμικό πίνακα του πεδίου Receivers. Στο Σχήμα 33 απεικονίζονται δυο παραδείγματα, στο αριστερό ο κόμβος που έχει το πακέτο αποκλείει από την διαδικασία τον κόμβο που δημιούργησε το πακέτο (Parking) από το οποίο έχει και την μεγαλύτερη απόσταση και επιλέγει τον πράσινο κόμβο για να προωθήσει το πακέτο, αφού αυτός είναι ο γείτονας με την μεγαλύτερη απόσταση μετά την διαγραφή του αρχικού κόμβου από τον πίνακα. Στο δεξί παράδειγμα, ο πράσινος κόμβος προωθεί το πακέτο αποκλείοντας από την διαδικασία τον κόμβο που του το έστειλε και όσους γείτονες του συμμετείχαν πριν στην διαδικασία προώθησής του.



Σχήμα 33 – Παραδείγματα προώθησης πακέτων με το DRP.

Στην περίπτωση που ένας κόμβος λάβει πάνω από μια φορά το πακέτο δεδομένων, το οποίο περιέχει την ίδια πληροφορία, δεν το αποθηκεύει εκ νέου, αλλά συνεχίζει την διαδικασία προώθησης του. Εάν έχει επιλεγθεί ως προορισμός του πακέτου, ακολουθεί τα βήματα του αλγόριθμου για να πραγματοποιήσει την προώθηση, ενώ εάν δεν έχει επιλεγθεί ως ο επόμενος κόμβος που θα προωθήσει το πακέτο, τότε δεν ακολουθεί την διαδικασία που επιτάσσει ο αλγόριθμος. Στο Σχήμα 34 αναπαρίσταται σε ένα διάγραμμα ροής ο αλγόριθμος που αφορά την προώθηση του πακέτου. Με ορθογώνιο εμφανίζονται οι ενέργειες που κάνει ο κόμβος σύμφωνα με το πρωτόκολλο, ενώ με ρόμβο απεικονίζονται οι αποφάσεις που καλείται να λάβει.



Σχήμα 34 – Διάγραμμα Ροής αλγόριθμου προώθησης πακέτων με το DRP.

3.4 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΤΟΥ H-DRP.

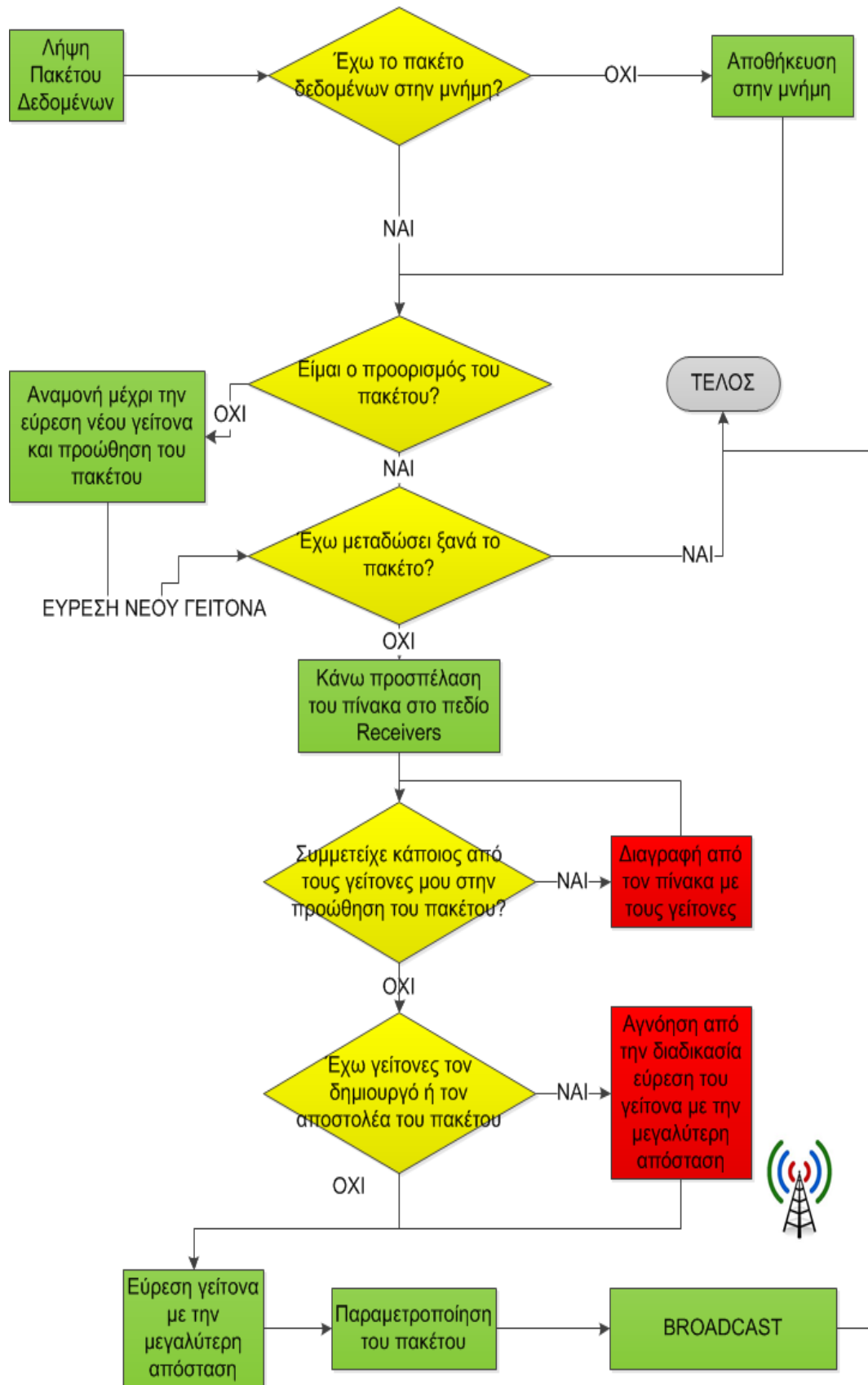
Ο αλγόριθμος του DRP έχει ως κύρια λειτουργία του την εύρεση του πιο μακρινού γείτονα και προώθηση του πακέτου. Εάν δεν υπάρχει γείτονας να προωθηθεί το πακέτο, ο κόμβος που το έχει το αποθηκεύει και το προωθεί όταν και εάν ανακαλύψει καινούριο γείτονα.

Στην διαδικασία προώθησης με τον αλγόριθμο του DRP μπορούν να προκύψουν δυο προβλήματα. Το πρώτο είναι ο κόμβος που θα λάβει το πακέτο να μην βρει κάποιον γείτονα και να απομακρυνθεί τελείως από το δίκτυο χωρίς να προωθήσει κάπου το πακέτο. Το δεύτερο πρόβλημα είναι ο κόμβος που έχει το πακέτο, να επιλέξει έναν κόμβο ως τον πιο μακρινό γείτονα, από τον πίνακα γειτόνων, αλλά εκείνη την χρονική στιγμή ο κόμβος αυτός να έχει απομακρυνθεί και να έχει βγει εκτός εμβέλειας. Και στις δυο περιπτώσεις η δρομολόγηση σταματάει και φτάνει σε μια κατάσταση αδιεξόδου.

Προκειμένου να λυθούν αυτά τα προβλήματα έγιναν μερικές προσθήκες στον αλγόριθμο του DRP και έτσι προέκυψε ένα υπό-πρωτόκολλο, το Hybrid-DRP (H-DRP). Κύρια διαφορά τους είναι ότι στο H-DRP, κάθε κόμβος έχει το δικαίωμα να προωθήσει το πακέτο το πολύ μια φορά, είτε στον πιο μακρινό γείτονα σύμφωνα με την διαδικασία που ορίζεται από το DRP, είτε σε έναν καινούριο γείτονα. Το H-DRP δεν αποτελεί νέο και ξεχωριστό πρωτόκολλο από το DRP, παρά μόνο μια πιο υβριδική μορφή του DRP.

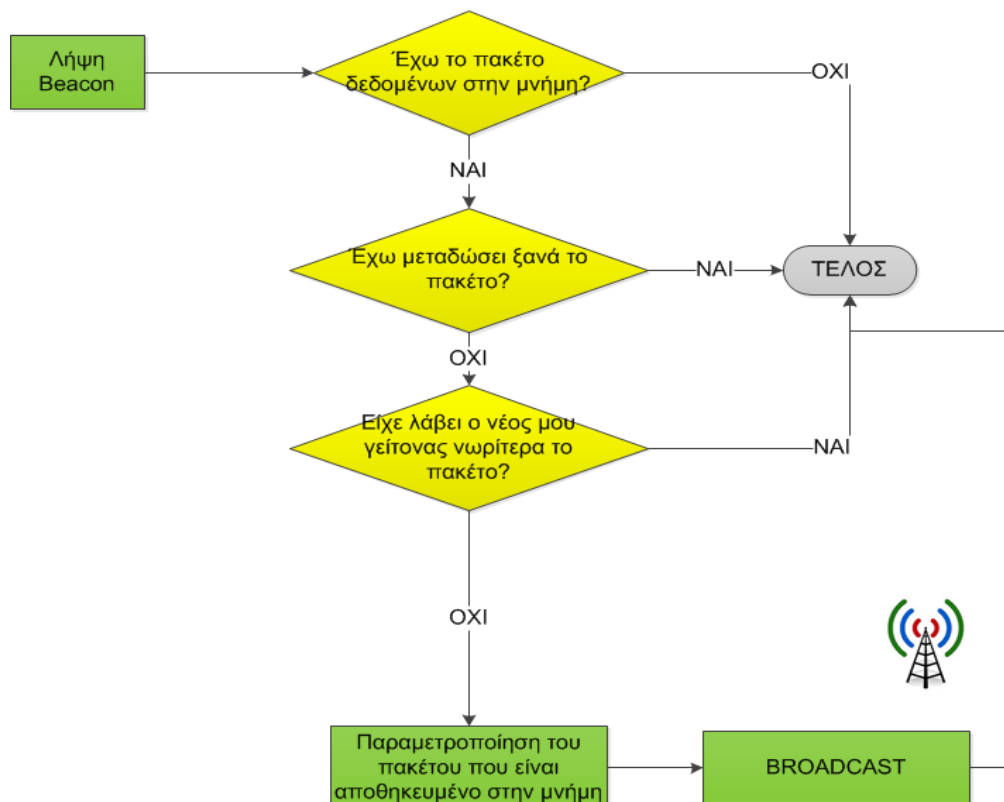
Στην συνέχεια παρουσιάζουμε τα σημεία στα οποία διαφέρουν οι δυο αλγόριθμοι και αναλύουμε δύο νέες λειτουργίες που εισήχθησαν στην υβριδική μορφή του DRP.

- **Προώθηση του πακέτου.** Η προώθηση του πακέτου, γίνεται σε δύο περιπτώσεις. Η πρώτη, ενεργοποιείται εάν ο κόμβος που λαμβάνει το πακέτο έχει επιλεγθεί ως ο επόμενος που πρέπει να το προωθήσει σύμφωνα με την διαδικασία που ορίζεται από τον αλγόριθμο του DRP. Η δεύτερη περίπτωση, ενεργοποιείται όταν ένας κόμβος έχει λάβει το πακέτο χωρίς να είναι αυτός που πρέπει να το προωθήσει αλλά το αποθηκεύει και το μεταδίδει αργότερα σε έναν καινούριο γείτονα του. Στο Σχήμα 35 εμφανίζεται ο αλγόριθμος προώθησης που χρησιμοποιεί το H-DRP.



Σχήμα 35 – Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου που χρησιμοποιεί το H-DRP.

- **Εμφάνιση νέου γείτονα και προώθηση του πακέτου.** Την στιγμή που ένας κόμβος λάβει ένα beacon από έναν άλλο κόμβο, του μεταδίδει το πακέτο δεδομένων, εάν και εφ' όσον δεν έχει μεταδώσει ποτέ πριν το πακέτο που έχει στην μνήμη, ούτως ώστε και ο νέος του γείτονας να λάβει την πληροφορία. Εάν το πακέτο που έχει στην μνήμη, περιέχει στον πίνακα του πεδίου Receivers το ID του νέου γείτονα τότε δεν του προωθεί το πακέτο, γιατί προφανώς ο νέος γείτονας έχει λάβει από αλλού την ίδια πληροφορία. Στην αντίθετη περίπτωση, του το προωθεί και έτσι αρχίζει μια διαδικασία προώθησης του πακέτου. Ο κόμβος που θα λάβει το πακέτο ως νέος γείτονας, θα αποθηκεύσει την πληροφορία και θα συνεχίσει την προώθηση του πακέτου, ακολουθώντας τον αλγόριθμο του πρωτοκόλλου DRP. Έχοντας πάντα υπ' όψιν του, ποιοί κόμβοι έχουν παραλάβει ήδη το πακέτο (εξετάζοντας το πεδίο Receivers του πακέτου), επιλέγει και τον επόμενο προορισμό του πακέτου. Στο Σχήμα 36 εμφανίζεται με διάγραμμα ροής η διαδικασία προώθησης ενός πακέτου σε καινούριο γείτονα.



Σχήμα 36 – Διάγραμμα ροής αλγόριθμου προώθησης πακέτων σε νέους γείτονες.

- **Ειδικές λειτουργίες των κόμβων.** Όπως μπορούμε να διακρίνουμε κύριο ρόλο στην σωστή μετάδοση του πακέτου, έχει το πεδίο Receivers στο οποίο υπάρχει ένας δυναμικός πίνακας με όλα τα ID των κόμβων που έχουν λάβει το πακέτο. Προκειμένου αυτός ο πίνακας να είναι ενημερωμένος, όσο το δυνατόν περισσότερο και οι κόμβοι να έχουν σωστές πληροφορίες για την μετάδοση του πακέτου, εκτελούν δυο διαδικασίες:

Συγχώνευση πινάκων του πεδίου Receivers. Ένας κόμβος προωθεί το πακέτο είτε στον πιο μακρινό του γείτονα, είτε σε έναν νέο του γείτονα. Το πακέτο αυτό περιέχει στο πεδίο Receivers τα ID των κόμβων που έχουν λάβει και προωθείται το πακέτο μέχρι εκείνη την στιγμή. Παρόλα αυτά είναι πολύ πιθανό ο κόμβος στον οποίο προωθείται το πακέτο να έχει λάβει και αυτός το πακέτο από άλλους γείτονες οι οποίοι δεν αναγράφονται στο πεδίο Receivers του κόμβου που είναι έτοιμος να προωθείται αυτή τη στιγμή το πακέτο. Έτσι όταν ο κόμβος λάβει το μήνυμα εξετάζοντας το πεδίο Receivers μπορεί να μεταδώσει το πακέτο σε κόμβους που το έχουν λάβει και το έχουν προωθείσει πριν λίγο. Μια τέτοια περίπτωση παρουσιάζεται στο Σχήμα 37.



Σχήμα 37 – Παράδειγμα χωρίς την χρήση της συγχώνευσης των πεδίων.

Ο κόμβος 30 έχει λάβει το πακέτο με πεδίο Receivers [...,22,25,29] και είναι έτοιμος να το προωθήσει στον κόμβο 50 που είναι ο νέος του γείτονας. Ο κόμβος 50 έχει λάβει και αυτός το πακέτο από άλλους κόμβους και έχει κρατήσει στην μνήμη το πρώτο πακέτο που έλαβε με πεδίο Receivers [...,76,68,97]. Όταν λάβει το πακέτο θα το προωθήσει σύμφωνα με το πεδίο Receivers του πακέτου που έλαβε. Δηλαδή το [...,22,25,29,30]. Σε αυτό το πεδίο δεν αναγράφονται οι κόμβοι [...,76,68,97] οι οποίοι έχουν λάβει το πακέτο και έτσι ο κόμβος 50 μπορεί να ξοδέψει την μια και μοναδική ευκαιρία που έχει να προωθήσει το πακέτο, στέλνοντας το σε έναν από αυτούς. Για αυτό τον λόγο εισήχθη η λειτουργία της συγχώνευσης των πινάκων. Στην περίπτωση αυτή όταν ο κόμβος 30 στέλνει το πακέτο στον κόμβο 50, εκείνος συγκρίνει τα πεδία Receivers του πακέτου που έλαβε από τον 30 και του πακέτου που έχει στην μνήμη. Εάν τα πεδία δεν είναι ίδια τότε τα συγχωνεύει με αποτέλεσμα να είναι πλήρως ενημερωμένος για τους κόμβους που έχουν λάβει το πακέτο, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα λάθους κατά την προώθηση του πακέτου. Στο παράδειγμα μας το πεδίο Receivers που εξετάζει ο 50 και το εισάγει στο πακέτο που θα προωθήσει είναι [...,22,25,29,30,76,68,97]. Στο Σχήμα 38 εμφανίζεται το παράδειγμα με χρήση της λειτουργίας συγχώνευσης των πεδίων.



Σχήμα 38 – Παράδειγμα μετά την χρήση συγχώνευσης των πεδίων.

Ενημέρωση πινάκων του πεδίου Receivers. Η λειτουργία αυτή είναι πιο απλή και έχει τον ίδιο στόχο με την προηγούμενη. Την ενημέρωση του πεδίου Receivers για την αποφυγή λανθασμένης μετάδοσης του πακέτου. Την πρώτη φορά που θα λάβει ένας κόμβος το πακέτο πληροφορίας το αποθηκεύει στην μνήμη. Το πακέτο αυτό έχει ένα συγκεκριμένο πίνακα στο πεδίο Receivers. Όταν βρει κάποιον γείτονα για να μεταδώσει το πακέτο μπορεί ο πίνακας αυτός να είναι παρωχημένος, ειδικά εάν έχει περάσει πάρα πολύ ώρα από την στιγμή που το έλαβε για πρώτη φορά. Για να αποφευχθεί αυτό κάθε φορά που ο κόμβος λαμβάνει ένα πακέτο που περιέχει την ίδια πληροφορία με αυτό που έχει στην μνήμη, εξετάζει το πεδίο Receivers και στην περίπτωση που είναι πιο ενημερωμένο, ενημερώνει και αυτός με την σειρά του το πεδίο Receivers του πακέτου που έχει στην μνήμη.

Αυτά ήταν τα κύρια κομμάτια των αλγόριθμων τα οποία εφαρμόζονται από το πρωτόκολλο DRP και την υβριδική μορφή του, το H-DRP. Στην συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα από τα σενάρια προσομοίωσης, θα εξάγουμε συμπεράσματα και θα αναφέρουμε τις βελτιώσεις που μπορεί να γίνουν στο πρωτόκολλο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΕΝΑΡΙΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο Κεφάλαιο 5 θα προσομοιώσουμε, με την βοήθεια των εργαλείων που αναφέραμε στο Κεφάλαιο 2, διαφορετικά σενάρια για τα VANETs και θα γίνει εξαγωγή και ανάλυση των αποτελεσμάτων, ούτως ώστε να σχηματίσουμε μια γενική εικόνα για τα σημεία που υπερτερεί ή υστερεί το πρωτόκολλο.

5.1 ΣΕΝΑΡΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ

Στόχος μας ήταν να προσομοιώσουμε ένα ασύρματο δίκτυο οχημάτων και υλοποιώντας το πρωτόκολλο που προτείνουμε, να διερευνήσουμε την απόδοση και την αξιοπιστία του. Προκειμένου να συμβεί αυτό, επιλέξαμε να το υλοποιήσουμε σε δίκτυα με 50,100 και 200 κόμβους. Αυτό έγινε για να δούμε τις διαφορές που παρουσιάζει όταν η πυκνότητα των κόμβων είναι μικρή και άρα οι κόμβοι έχουν μεγάλη απόσταση στο δίκτυο και όταν η πυκνότητα είναι μεγάλη και οι κόμβοι βρίσκονται κοντά ο ένας με τον άλλον.

Για κάθε προσομοίωση τα αποτελέσματα που εξάγονται είναι τα εξής:

- **Αριθμός κόμβων που έλαβαν το πακέτο (Reachability).**
- **Καθυστέρηση στην λήψη των πακέτων (Latency).**
- **Αριθμός των broadcasts στο δίκτυο (Total Broadcasts).**

Για το δίκτυο με 50 κόμβους έχουμε λάβει 5 μετρήσεις, ενώ για τα δίκτυα με 100 και 200 κόμβους 10 μετρήσεις, έτσι ώστε να έχουμε μια, στατιστικά, πιο σαφή εικόνα για τα αποτελέσματα που εξάγονται. Η τοπολογία των δρόμων του δικτύου σε όλες τις προσομοιώσεις παραμένει η ίδια και είναι μια πραγματική περιοχή της Θεσσαλονίκης. Στο Κεφάλαιο 2 περιγράψαμε τα εργαλεία και την διαδικασία που ακολουθείται, για να μετατραπεί ένας αληθινός χάρτης σε γράφημα που θα χρησιμοποιηθεί από το VanetMobiSim εξ αρχής και στην συνέχεια από το J-SIM.

Η κίνηση των κόμβων και η προσομοίωση του δικτύου λαμβάνει χώρα στην Άνω Τούμπα και όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 39 είναι μια πολύ μεγάλη γεωγραφική περιοχή με αρκετά καλή ρυμοτόμηση.



Σχήμα 39 – Γεωγραφική περιοχή προσομοίωσης των σεναρίων VANETs.

5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην συνέχεια θα παρουσιάσουμε και θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα για κάθε σενάριο ξεχωριστά. Να σημειωθεί ότι μερικές παράμετροι παραμένουν ίδιες σε όλες τις μετρήσεις και τα σενάρια (Πίνακας 4).

Πίνακας 4 - Σταθερές παράμετροι των σεναρίων προσομοίωσης.

Ελάχιστη Ταχύτητα Κόμβων (km/h)	54
Μέγιστη Ταχύτητα Κόμβων (km/h)	136
Σταθερό Σημείο	Parking Area
Τοποθεσία Σταθερού Σημείου	x=450 y=500
Περιοδικά Beacons (sec)	10
Χρόνος Προσομοίωσης (sec)	300

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Παραστατίδη Παντελή

Το σταθερό σημείο επιλέξαμε να είναι ένα Parking το οποίο κάνει μια φορά broadcast, ένα πακέτο με δεδομένα την πληροφορία “PARKING SPOT EMPTY AT TOUMBA STADIUM”.

Οι χρονικές στιγμές που κάνει για πρώτη φορά broadcast το πακέτο ποικίλλουν από προσομοίωση σε προσομοίωση. Αυτό έγινε για να δούμε πως δρα το πρωτόκολλο και κατ’ επέκταση το δίκτυο σε διαφορετικές περιπτώσεις και συνθήκες.

Τα beacons επιλέξαμε να εκπέμπονται κάθε 10 δευτερόλεπτα λόγω του ότι είναι αρκετός χρόνος ώστε να έχει αλλάξει η τοπολογία του δικτύου. Σε μικρότερο χρόνο τα beacons που θα ανταλλάσσονταν θα ήταν ανάμεσα στους ίδιους κόμβους, ενώ σε μεγαλύτερο θα ήταν πολύ δύσκολο να αποφασιστεί η προώθηση του πακέτου, καθώς οι κόμβοι θα είχαν μη ενημερωμένο πίνακα γειτόνων, με αποτέλεσμα να προωθούν το πακέτο σε κόμβους που δεν είναι πλέον γείτονες. Στην συνέχεια παρουσιάζονται όλα τα σενάρια με πίνακες και γραφικές παραστάσεις. Στο τέλος κάθε σεναρίου εξάγεται και το συμπέρασμα για την λειτουργία και την απόδοση του πρωτοκόλλου.

5.2.1 ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Πίνακας 5 - Παράμετροι 1^{ου} Σεναρίου

Διαστάσεις Τοπολογίας (m)	1000X1000
Αριθμός Κόμβων	50
Broadcast Grid (m)	50
Αριθμός Μετρήσεων	5

5.2.1.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του πρώτου Σεναρίου εμφανίζονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6 - Αποτελέσματα 1^{ου} Σεναρίου.

Sample	Reachability	Latency	Total Broadcasts
1	80%	3,9	25
2	39%	42	8
3	65%	5,76	26
4	53%	85,56	16
5	67%	5,59	29
AVERAGE	61%	28,562	20,8

5.2.1.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πρώτο σενάριο επιλέξαμε τον αριθμό των 50 κόμβων, ούτως ώστε να παρατηρήσουμε την συμπεριφορά του πρωτοκόλλου σε ένα δίκτυο με ιδιαίτερα χαμηλή πυκνότητα και ποσότητα οχημάτων. Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα κυμαίνονται σε μεσαία επίπεδα, αφού η μικρότερη τιμή στον αριθμό παράδοσης πακέτων στους κόμβους είναι 39%, ενώ η μεγαλύτερη 80%. Τα χαμηλά αυτά ποσοστά οφείλονται κυρίως στο ότι η διαδικασία προώθησης του πακέτου φτάνει συχνά σε αδιέξοδο. Το αδιέξοδο αυτό μπορεί να προκληθεί από την αδυναμία του κόμβου που έχει στην κατοχή του το πακέτο να βρει κάποιον κόμβο να το προωθήσει, είτε γιατί όλοι οι γείτονες του το έχουν ήδη λάβει, είτε γιατί μέχρι το πέρας των 300 δευτερολέπτων που διαρκεί η προσομοίωση δεν βρήκε καινούριο γείτονα να το προωθήσει. Αυτό φαίνεται και στην καθυστέρηση στην παράδοση των πακέτων καθότι παρατηρούμε ανόμοιες τιμές. Εκεί που συναντάμε μεγάλες τιμές σημαίνει ότι ο κόμβος που έχει στην κατοχή του το πακέτο το προωθεί μετά από αρκετή ώρα, ενώ στις χαμηλές τιμές σε συνδυασμό με μικρό Reachability, σημαίνει ότι η διαδικασία προώθησης έφτασε γρήγορα σε αδιέξοδο. Ιδανικότερη περίπτωση είναι η πρώτη στην οποία υπάρχει μεγάλο ποσοστό στην παράδοση των πακέτων, ενώ ο χρόνος είναι σε πολύ χαμηλό επίπεδο, που είναι και το θεμιτό. Όσον αφορά τον αριθμό των broadcasts που χρησιμοποιήθηκαν για την προώθηση του πακέτου είναι και αυτός σχετικά υψηλός και είναι απολύτως λογικό αφού οι κόμβοι βρίσκονται έχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους και ουσιαστικά κάθε κόμβος που λαμβάνει το πακέτο είναι και αυτός που θα το μεταδώσει.

5.2.2 ΣΕΝΑΡΙΟ 2

Πίνακας 7 - Παράμετροι 2^{ου} Σεναρίου.

Διαστάσεις Τοπολογίας (m)	1000X1000
Αριθμός Κόμβων	100
Broadcast Grid (m)	50
Αριθμός Μετρήσεων	10

5.2.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του δεύτερου Σεναρίου εμφανίζονται στο Πίνακα 8.

Πίνακας 8 - Αποτελέσματα 2^{ου} Σεναρίου.

Sample	Reachability	Latency	Total Broadcasts
1	84%	8,84	56
2	72%	0,68	49
3	69%	0	33
4	85%	0	36
5	78%	0	41
6	75%	0	29
7	73%	2,3	60
8	64%	0	26
9	88%	35,96	83
10	80%	0	60
AVERAGE	77%	4,778	47,3

5.2.2.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως παρατηρούμε με 100 κόμβους και 50 μέτρα grid εμβέλειας, τα αποτελέσματα είναι αρκετά ικανοποιητικά, με τον μέσο όρο παράδοσης των πακέτων στους κόμβους να είναι 77%. Το σημαντικότερο είναι ότι οι τιμές του πεδίου Reachability κυμαίνονται περίπου στα ίδια επίπεδα αφού δεν έχουμε μεγάλες αποκλείσεις. Αυτό σημαίνει ότι όσες μετρήσεις και να πάρουμε τα

αποτελέσματα θα έχουν σχεδόν την ίδια εικόνα. Όσον αφορά την καθυστέρηση στην παράδοση των πακέτων και των αριθμό των broadcasts για την παράδοση, παρατηρούμε και εκεί ότι εκτός 2-3 μεγάλων αποκλίσεων στις τιμές, τα δείγματα κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα. Το Latency είναι εξαιρετικά μικρό και ο μέσος όρος του πεδίου Total Broadcasts μας δείχνει ότι λιγότεροι από τους μισούς επί του συνόλου των κόμβων χρειάζεται να κάνουν broadcast το πακέτο για να το λάβει το 77% των κόμβων.

5.2.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 3

Πίνακας 9 - Παράμετροι 3^{ου} Σεναρίου.

Διαστάσεις Τοπολογίας (m)	1000X1000
Αριθμός Κόμβων	200
Broadcast Grid (m)	50
Αριθμός Μετρήσεων	10

5.2.3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του τρίτου Σεναρίου εμφανίζονται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 10 - Αποτελέσματα 3^{ου} Σεναρίου.

Sample	Reachability	Latency	Total Broadcasts
1	87%	0	92
2	87%	0	101
3	49%	0	18
4	69%	0	63
5	79%	3,96	53
6	88%	0	136
7	84%	0	56
8	63%	0	25
9	65%	0	33
10	92%	0	110
AVERAGE	76%	0,396	68,7

5.2.3.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως παρατηρούμε στο σενάριο 3, ο μέσος όρος των κόμβων που λαμβάνουν το πακέτο αγγίζει το 76% και είναι σχεδόν ίδιος με αυτόν του σεναρίου 2 όπου οι κόμβοι ήταν ακριβώς οι μισοί, με τα ποσοστά να κυμαίνονται από 49% μέχρι και 92%, ενώ καθυστέρηση στην παράδοση των πακέτων είναι μηδενική εκτός μιας περίπτωσης όπου η καθυστέρηση είναι 3,96 δευτερόλεπτα. Ο μέσος όρος των κόμβων που προωθούν και κάνουν broadcast το πακέτο αγγίζει το 34% επί του συνόλου των κόμβων. Τα συμπεράσματα που βγαίνουν από αυτό το σενάριο, όπου υπάρχει μεγαλύτερη πυκνότητα κόμβων στο δίκτυο, είναι ότι τρεις στους τέσσερεις κόμβους λαμβάνουν το πακέτο, σχεδόν την ίδια χρονική στιγμή που εκπέμπεται για πρώτη φορά από το σταθερό σημείο. Επίσης, ο αριθμός των broadcasts δηλώνει ότι χρειάζεται περίπου ένας κόμβος να προωθήσει το πακέτο για να το λάβουν τρεις.

Αυτό που κατανοούμε και από τα τρία σενάρια είναι ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των κόμβων τόσο περισσότερο σταθεροποιούνται και τα αποτελέσματα. Καταλαβαίνουμε, λοιπόν, ότι η συμπεριφορά του πρωτοκόλλου είναι πιο σταθερή όταν υπάρχει μεγάλη πυκνότητα κόμβων στο δίκτυο. Αυτό συμβαίνει διότι η διαδικασία προώθησης του πακέτου, έρχεται πιο δύσκολα σε κατάσταση αδιεξόδου, αφού ο κόμβος που έχει στη κατοχή του το πακέτο έχει περισσότερες πιθανότητες να βρει τον κατάλληλο γείτονα για να το προωθήσει ή σε περίπτωση που δεν υπάρχει, είναι πιο πιθανό στην διάρκεια της προσομοίωσης να το προωθήσει σε έναν καινούριο γείτονά του.

5.3 ΣΕΝΑΡΙΑ 1,2 ΚΑΙ 3 ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ H-DRP.

Εξαιρετικό ενδιαφέρον έχει και η χρήση του DRP στα σενάρια 1,2 και 3 ούτως ώστε να εξετάσουμε πιο από τα 2 πρωτόκολλα είναι και το πιο αποδοτικό. Προκειμένου να γίνει αυτό πήραμε ως δείγμα τις τρεις χειρότερες περιπτώσεις, όσον αφορά την παράδοση των πακέτων, για τα σενάρια με 100 και 200 κόμβους και τις πέντε περιπτώσεις για το σενάριο με 50 κόμβους και εφαρμόσαμε το H-

DRP. Υπενθυμίζουμε ότι στην περίπτωση του H-DRP, κάθε κόμβος που λαμβάνει το πακέτο έχει δικαίωμα να το προωθήσει μια και μόνο μια φορά, είτε ως ο επιλεγμένος κόμβος βάσει της διαδικασίας εύρεσης του πιο μακρινού γείτονα, είτε επειδή έχει συναντήσει έναν καινούριο γείτονα.

Να σημειωθεί ότι και στις τρεις προσομοιώσεις με χρήση του H-DRP, τα ίχνη των οχημάτων και η χρονική στιγμή εκπομπής της πληροφορίας από το Parking, είναι ακριβώς ίδια με τις προσομοιώσεις που εκτελέσαμε με το DRP.

5.3.1 ΣΕΝΑΡΙΟ 1

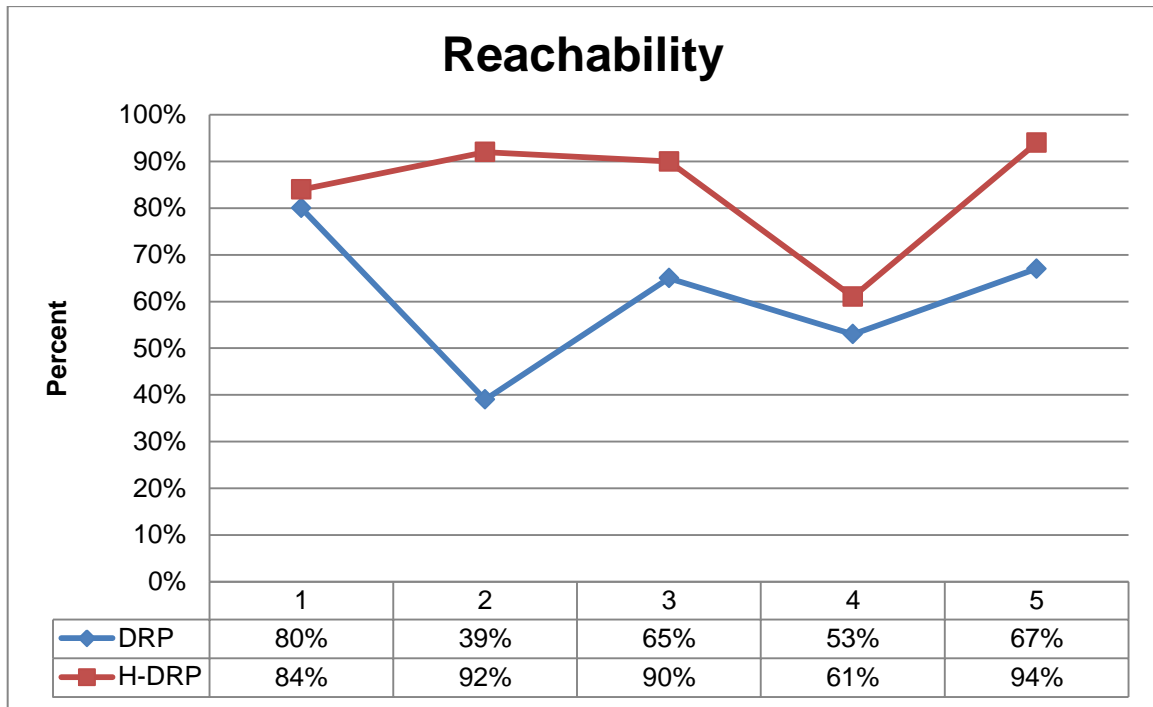
Εκτελέσαμε όλες τις μετρήσεις του πρώτου σεναρίου με χρήση του πρωτοκόλλου DRP και για το πρωτόκολλο H-DRP και λάβαμε τα κάτωθεν αποτελέσματα.

5.3.1.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

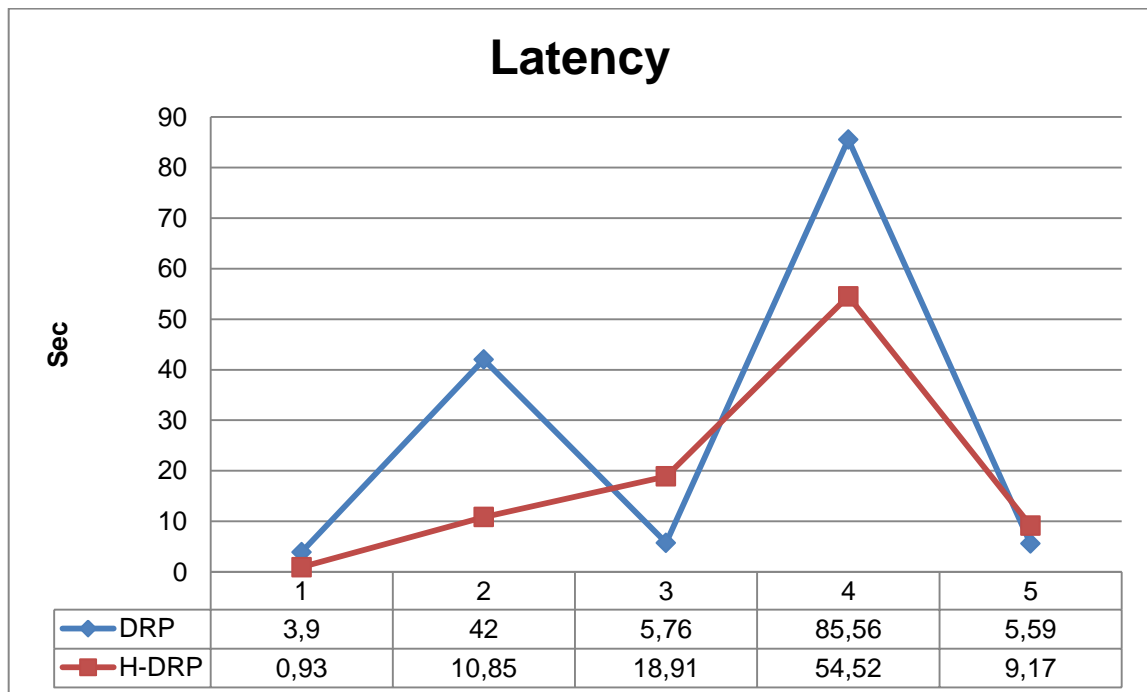
Πίνακας 11 - Αποτελέσματα 1ου Σεναρίου με χρήση H-DRP.

Sample	Reachability	Latency	Total Broadcasts
1	84%	0,93	43
2	92%	10,85	48
3	90%	18,91	46
4	61%	54,52	32
5	94%	9,17	48
AVERAGE	84%	18,876	43,4

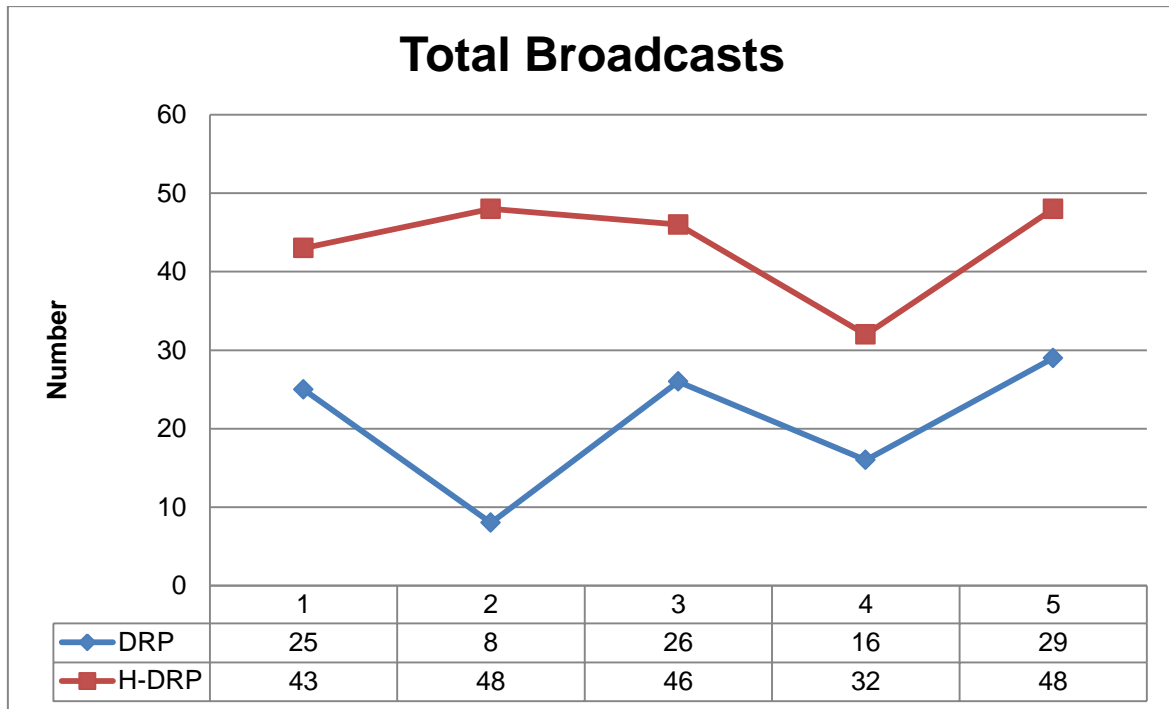
Στα γραφήματα που ακολουθούν εμφανίζονται τα αποτελέσματα των δύο πρωτόκολλων στις ίδιες περιπτώσεις προσομοίωσης του δικτύου.



Σχήμα 40 - Γράφημα Ποσοστού-Παράδοσης Πακέτων



Σχήμα 41 - Γράφημα Χρόνου-Καθυστέρησης στην παράδοση των πακέτων.



Σχήμα 42 - Γράφημα Αριθμού-Broadcast στην διαδικασία προώθησης του πακέτου.

5.3.1.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διαφορά μεταξύ του DRP και του H-DRP, στα δίκτυα με μικρό αριθμό κόμβων και άρα σε δίκτυα που έχουν πολύ μικρή πυκνότητα, είναι εμφανής. Σαφέστατα, παρατηρούμε μια αύξηση στον αριθμό παράδοσης των πακέτων στους κόμβους, η οποία οφείλεται στην δυνατότητα του κάθε κόμβου να έχει το δικαίωμα να προωθήσει το πακέτο. Αυτό σημαίνει ότι δύσκολα η διαδικασία προώθησης του πακέτου θα φτάσει σε κάποιο αδιέξοδο, αλλά και εάν συμβεί αυτό τότε, υπάρχουν εναλλακτικοί κόμβοι που θα συνεχίσουν την διαδικασία. Παράλληλα, παρατηρούμε μια μείωση στην καθυστέρηση παράδοσης του πακέτου. Αυτό συμβαίνει διότι λαμβάνουν μέρος πολλές διαδικασίες προώθησης του πακέτου ταυτόχρονα. Στο DRP ο κόμβος που έχει επιλεγεί ως ο επόμενος που θα προωθήσει το πακέτο, ενδέχεται να βρει καινούριους γείτονες αρκετή ώρα αφού έχει λάβει το πακέτο και έτσι η διαδικασία προώθησης του διαρκεί αρκετά. Αντιθέτως, με το H-DRP διεξάγονται πολλές τέτοιες διαδικασίες ταυτόχρονα και το πακέτο διαχέεται προς όλο το δίκτυο, με μικρότερη καθυστέρηση. Τέλος, ο αριθμός των broadcasts είναι πάντα μεγαλύτερος με την χρήση του H-DRP, αφού

κάθε κόμβος που λαμβάνει το πακέτο το προωθεί σε αντίθεση με το DRP που δικαίωμα προώθησης του έχει μόνο ο επιλεγμένος κόμβος.

5.3.2 ΣΕΝΑΡΙΟ 2

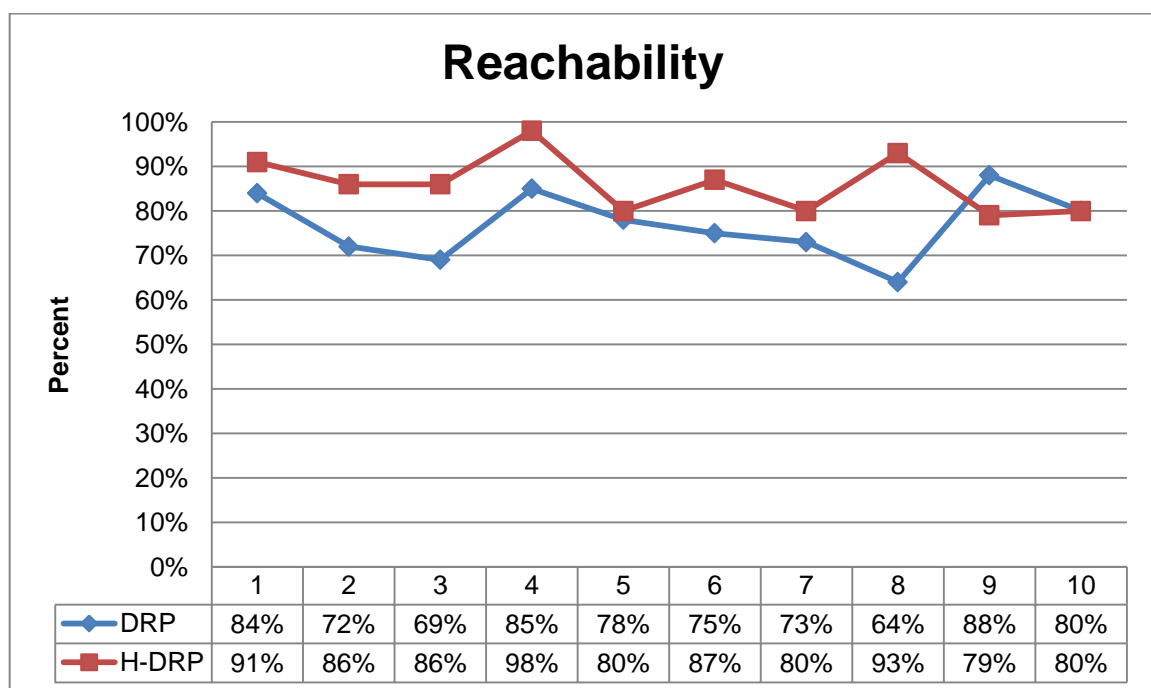
Για το δεύτερο σενάριο εκτελέσαμε την προσομοίωση για τις περιπτώσεις 2,3 και 8. Τα αποτελέσματα με χρήση του DRP είναι:

Sample	Reachability	Latency	Total Broadcasts
2	72%	0,68	49
3	69%	0	33
8	64%	0	26

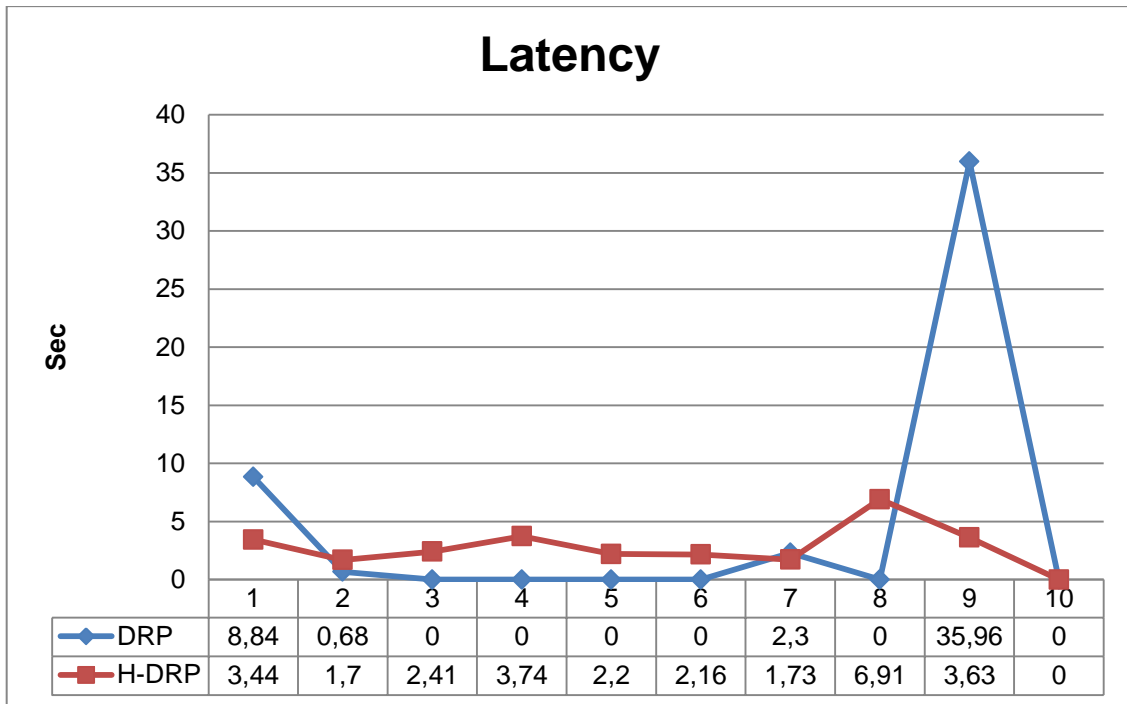
Οι ίδιες περιπτώσεις μετά την προσομοίωση με χρήση του H-DRP διαμορφώνονται ως εξής:

Sample	Reachability	Latency	Total Broadcasts
2	86%	1,7	88
3	86%	2,41	87
8	93%	6,91	95

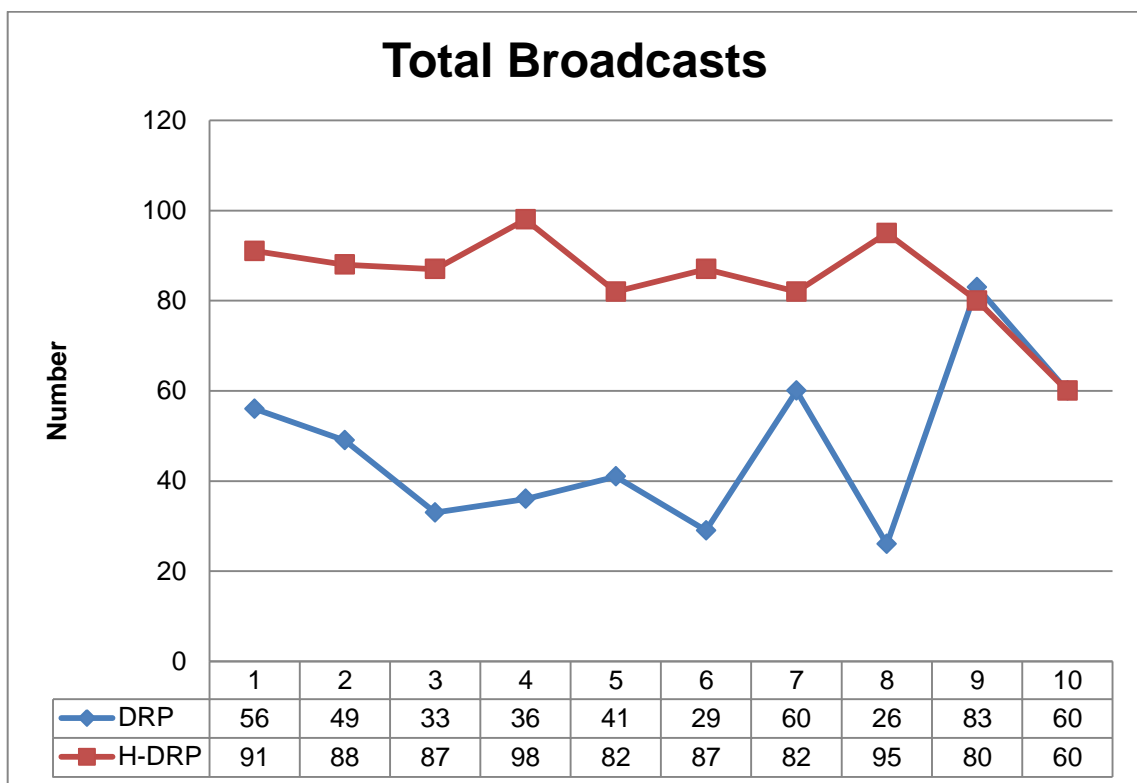
Στα γραφήματα που ακολουθούν απεικονίζεται η σύγκριση μεταξύ των δύο πρωτοκόλλων στις δέκα ίδιες περιπτώσεις.



Σχήμα 43 - Γράφημα Ποσοστού-Παράδοσης Πακέτων.



Σχήμα 44 - Γράφημα Χρόνου-Καθυστερήσης στην παράδοση πακέτων.



Σχήμα 45 - Γράφημα Αριθμού-Broadcasts για την προώθηση του πακέτου.

5.3.2.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά την χρήση του H-DRP, παρατηρήσαμε μια αύξηση στον αριθμό των κόμβων που παρέλαβαν το πακέτο. Αυτό σημαίνει ότι η πληροφορία διαδίδεται με αποδοτικότερο τρόπο, όταν κάθε κόμβος που την έχει στην κατοχή του έχει και το δικαίωμα να την προωθήσει μια φορά. Παρόλα αυτά η λειτουργία του H-DRP έχει μεγαλύτερη σημασία όταν το DRP δίνει πολύ χαμηλά ποσοστά. Σε περιπτώσεις που είναι μεγάλος ο αριθμός των κόμβων που παρέλαβαν το πακέτο με την χρήση του DRP, το H-DRP δεν προσφέρει κάτι πολύ καλύτερο. Η καθυστέρηση αυξήθηκε και αυτή, λόγω του ότι τίθεται πιο συχνά σε εφαρμογή η λειτουργία, carry and forward. Είναι σημαντικό να αντιληφθούμε ότι όσο περισσότεροι κόμβοι υπάρχουν στο δίκτυο τόσο μικρότερη θα είναι η καθυστέρηση στην παράδοση των πακέτων με την χρήση του DRP. Αυτό συμβαίνει γιατί με την ύπαρξη πολλών κόμβων η διαδικασία προώθησης φτάνει δύσκολα σε κατάσταση αδιεξόδου. Η σημαντικότερη αύξηση είναι του αριθμού των broadcasts, αφού ουσιαστικά κάθε κόμβος που έχει το πακέτο το μεταδίδει. Λόγω του ότι οι κόμβοι είναι αδύνατο να είναι ενημερωμένοι για το ποιος έχει παραλάβει το πακέτο, πάντα βρίσκουν έναν γείτονα που υποθέτουν ότι δεν το έχει και του το μεταδίδουν. Συμπεραίνοντας, με την χρήση του H-DRP, είναι σαφέστερα καλύτερο το ποσοστό παράδοσης των πακέτων, ενώ παραμένει σε μικρά επίπεδα και η καθυστέρηση στην παράδοση. Παρόλα αυτά, παρατηρείται μια ραγδαία αύξηση στον αριθμό των broadcasts με αποτέλεσμα την ενδεχόμενη ύπαρξη collisions, στην περίπτωση που υπάρχει κίνηση στους δρόμους και ο αριθμός των αυτοκινήτων είναι αρκετά μεγάλος.

5.3.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 3

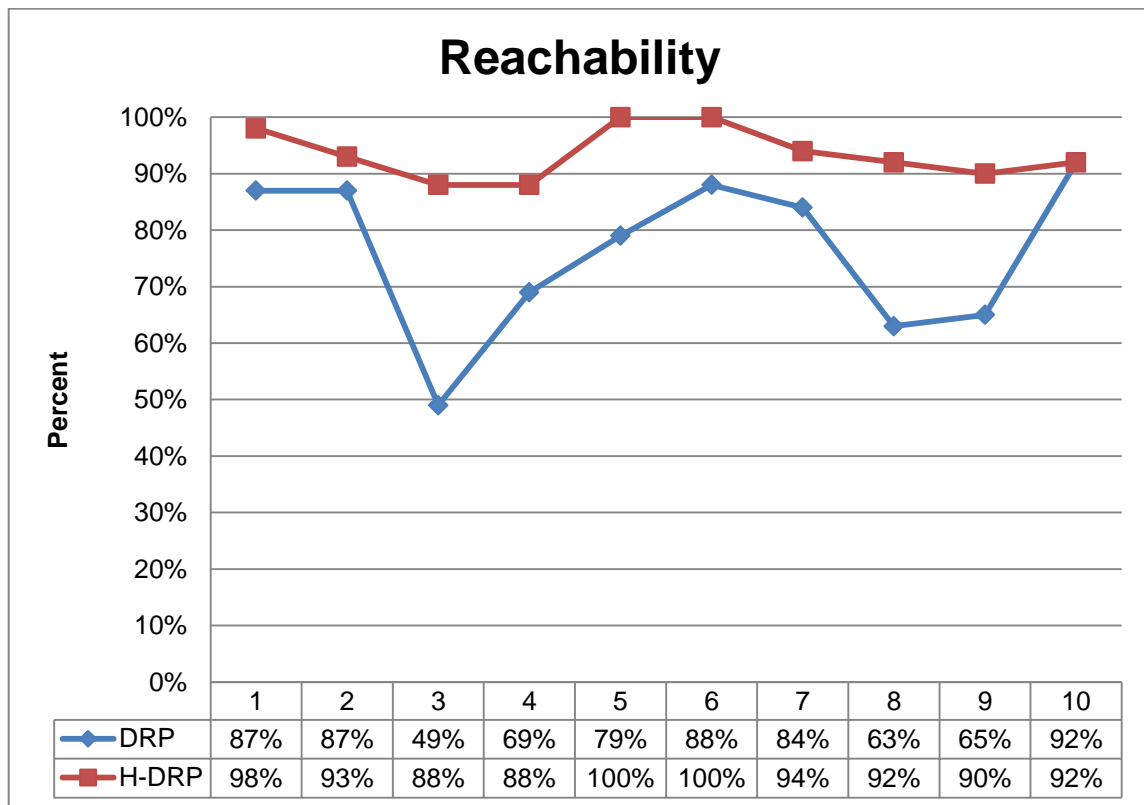
Από το τρίτο σενάριο επιλέξαμε τις περιπτώσεις 3,8 και 9, προκειμένου να τις εξετάσουμε με την χρήση του H-DRP. Τα αποτελέσματα με χρήση του DRP είναι:

Sample	Reachability	Latency	Total Broadcasts
3	49%	0	18
8	63%	0	25
9	65%	0	33

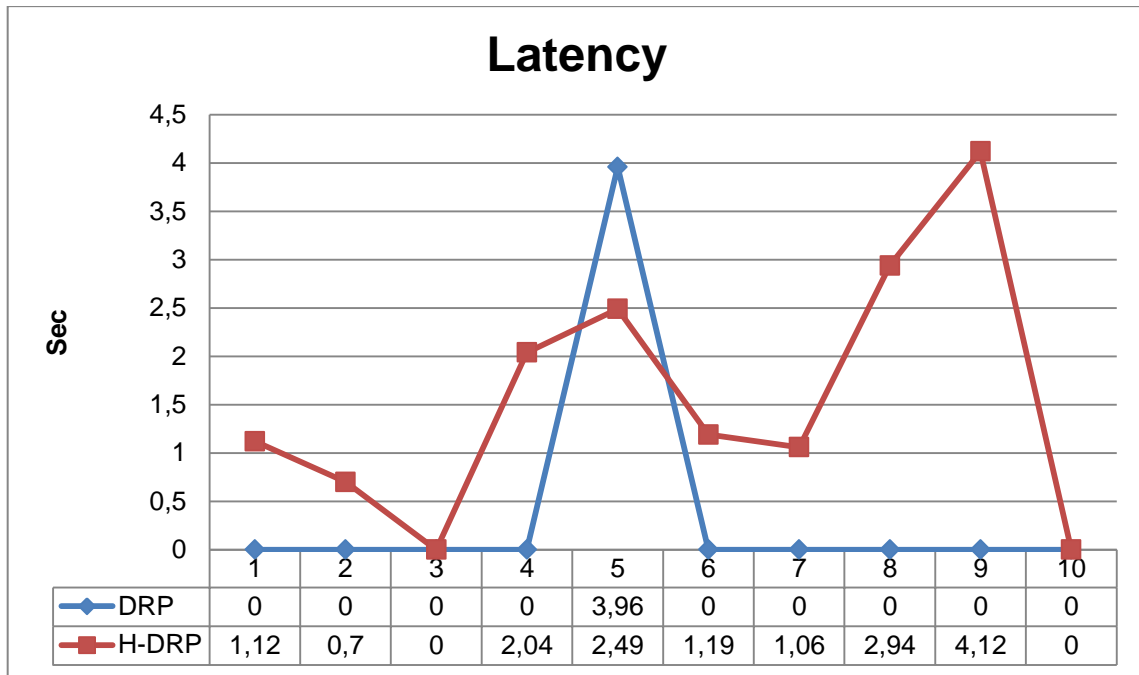
Οι ίδιες περιπτώσεις με χρήση του H-DRP διαμορφώνονται ως εξής:

Sample	Reachability	Latency	Total Broadcasts
3	86%	4,24	171
8	92%	2,94	186
9	90%	4,12	181

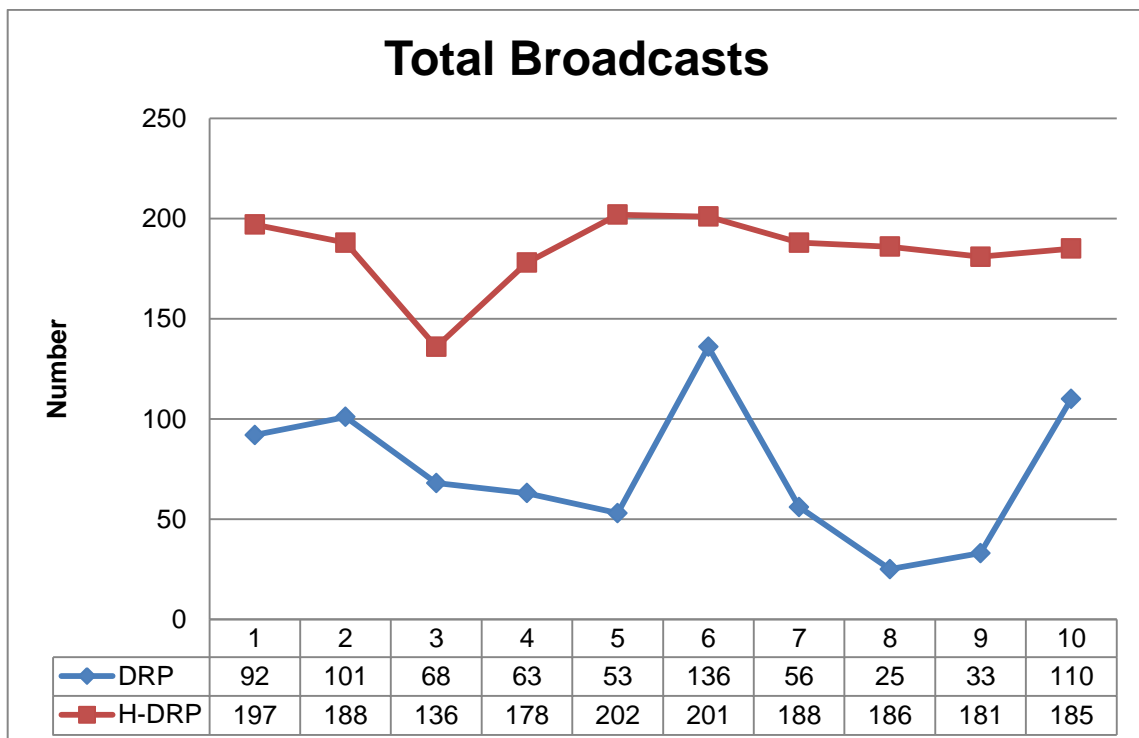
Στα γραφήματα που ακολουθούν απεικονίζεται η σύγκριση μεταξύ των δύο πρωτοκόλλων και στις 10 ίδιες περιπτώσεις.



Σχήμα 46 - Γράφημα Ποσοστού-Παράδοσης Πακέτων.



Σχήμα 47 - Γράφημα Χρόνου-Καθυστέρησης στην παράδοση πακέτων.



Σχήμα 48 - Γράφημα Αριθμού-Broadcast για την προώθηση του πακέτου.

5.3.3.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως και στα σενάρια 1 και 2 έτσι και σε αυτό το σενάριο, όπου οι κόμβοι είναι περισσότεροι παρατηρείται μια μεγάλη αύξηση στην παράδοση πακέτων, με την χρήση του H-DRP. Είναι μεγάλη η αύξηση στο ποσοστό των κόμβων που παρέλαβαν το πακέτο και παρατηρείται και μικρή αύξηση στην καθυστέρηση παράδοσης των πακέτων, χωρίς όμως να αποτελεί αρνητικό παράγοντα γιατί εξακολουθεί να παραμένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Παρόλα αυτά, ο αριθμός των broadcasts είναι σχεδόν ίδιος με τον αριθμό των κόμβων που λαμβάνουν το πακέτο.

Συμπεραίνοντας και λαμβάνοντας υπ' όψιν τα τρία αυτά σενάρια, θεωρούμε ότι και το DRP και το H-DRP, έχουν θετικά και αρνητικά σημεία, στα οποία το ένα υπερτερεί ή υστερεί του άλλου. Στο H-DRP συναντάμε σαφέστατα καλύτερο ποσοστό κόμβων που λαμβάνουν το πακέτο. Αυτός είναι και ο κύριος στόχος ενός τέτοιου πρωτοκόλλου, οπότε και μόνο με αυτό το κριτήριο ίσως θεωρείται το H-DRP μια πολύ καλή επέκταση του DRP. Όσον αφορά την καθυστέρηση στην παράδοση πακέτων θεωρούμε ότι στο DRP η προώθηση και παράδοση των πακέτων είναι σχεδόν άμεση σε δίκτυα με μεγάλη πυκνότητα κόμβων, ενώ με το H-DRP συναντάμε μια καθυστέρηση ελάχιστων δευτερολέπτων, η οποία δεν θεωρείται αξιοσημείωτη. Τέλος, στον αριθμό των broadcasts το DRP έχει σαφή υπεροχή έναντι του H-DRP και είναι αποδοτικότερο σε δίκτυα με μεγάλη πυκνότητα κόμβων, όπου υπάρχουν πιθανότατα να υπάρχουν πολλά collisions.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ

Το DRP είναι ένα πολύ αποδοτικό πρωτόκολλο διάχυσης δεδομένων σε αστικά περιβάλλοντα και ειδικότερα σε περιβάλλοντα με μεγάλο αριθμό οχημάτων. Δύναται να χρησιμοποιηθεί από ενημερωτικές εφαρμογές που έχουν ως στόχο την διάδοση μιας πληροφορίας στο δίκτυο, χωρίς συγκεκριμένο αποδέκτη και με την ανοχή μικρών καθυστερήσεων. Όπως διακρίναμε είτε με την χρήση του DRP, είτε με την χρήση του H-DRP τα ποσοστά παράδοσης των πακέτων σε μια πολύ μεγάλη γεωγραφική περιοχή είναι αρκετά υψηλά και ο χρόνος παράδοσης των πακέτων πολύ χαμηλός. Ο αριθμός των broadcasts διαφέρει ανάλογα με τον αριθμό των κόμβων και την επιλογή ανάμεσα στο DRP και το H-DRP, παρόλα αυτά ο στόχος της παράδοσης των πακέτων με λιγότερα broadcasts από τον αριθμό των κόμβων που θα λάβουν την πληροφορία έχει επιτευχθεί.

Πιο συγκεκριμένα, από τις προσομοιώσεις και τα αποτελέσματα που εξάγουμε κατανοούμε ότι το DRP είναι πιο αποδοτικό στις εξής περιπτώσεις:

- **Μεγάλο αριθμό οχημάτων στο δίκτυο.**
- **Μεγάλη πυκνότητα κόμβων στο δίκτυο.**
- **Μη τμηματοποιημένα δίκτυα (Μη απομακρυσμένοι κόμβοι).**
- **Δίκτυα δομημένα έτσι ώστε να μην υφίσταται αδιέξοδο.**

Η υβριδική μορφή του πρωτοκόλλου DRP, το H-DRP, είναι πιο αποδοτικό και προτιμάται σε όλες τις περιπτώσεις που προαναφέραμε για το DRP συμπεριλαμβανομένων και των κάτωθεν περιπτώσεων:

- **Μικρός αριθμός κόμβων στο δίκτυο.**
- **Μικρή πυκνότητα κόμβων στο δίκτυο.**
- **Τμηματοποιημένο δίκτυο.**
- **Τμηματοποιημένο δίκτυο (Απομακρυσμένοι κόμβοι).**
- **Ανεκτικό σε περίπτωση που μια διαδικασία προώθησης φτάνει σε αδιέξοδο, αφού διεξάγονται πολλές διαδικασίες παράλληλα.**

Φυσικά, παρόλα τα θετικά σημεία του DRP οι βελτιώσεις που επιδέχεται είναι πολλές. Κύρια βελτίωση που πρέπει να γίνει είναι η προσθήκη κατεύθυνσης στην

προώθηση των μηνυμάτων. Ειδικότερα, εάν επιχειρήσουμε να χρησιμοποιήσουμε το DRP σε περιβάλλον αυτοκινητοδρόμων αυτή η προσθήκη είναι αναγκαία ούτως ώστε να μην λαμβάνουν τα πακέτα οχήματα που κινούνται σε αντίθετη κατεύθυνση με αυτή του οχήματος που κάνει το broadcast. Δεύτερη και σημαντική βελτίωση που επιδέχεται το DRP είναι η προώθηση των πακέτων σε συγκεκριμένο τελικό αποδέκτη και όχι σε ένα σύνολο οχημάτων. Αυτή η βελτίωση μπορεί να υλοποιηθεί μόνο με την υλοποίηση της πρώτης βελτίωσης. Εφόσον ένας κόμβος γνωρίζει την τοποθεσία του τελικού προορισμού μπορεί με το DRP και με την προσθήκη κατεύθυνσης στο πακέτο, να το προωθήσει στον στόχο.

Συνοψίζοντας, θεωρούμε μετά την μελέτη και προσομοίωση ενός πρωτοκόλλου διάχυσης δεδομένων, ότι το DRP είναι ένα αξιοσημείωτο πρωτόκολλο διάχυσης δεδομένων σε αστικά περιβάλλοντα. Αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση η μελέτη, εφαρμογή και αξιολόγηση του πρωτοκόλλου σε εξ' ολοκλήρου πραγματικές συνθήκες.

Ως τελική αξιολόγηση της μελέτης που εκπονήσαμε θεωρούμε ότι το DRP με την κανονική ή την υβριδική του μορφή (H-DRP), αποτελεί ένα ολοκληρωμένο πρωτόκολλο διάχυσης δεδομένων σε ασύρματα δίκτυα οχημάτων έτοιμο να χρησιμοποιηθεί από ενημερωτικές εφαρμογές (Infotainment Applications) και εφαρμογές οδικής ασφάλειας(Safety Applications) .

ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ

ACA	Autonomous Component Architecture
AGF	Advanced Greedy Forwarding
AODV	Ad Hoc On Demand Distance Vector
ARP	Address Resolution Protocol
A-STAR	Anchor Based Street and Traffic Aware Routing
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAR	Connectivity Aware Routing
CBF	Contention Based Forwarding
COIN	Clustering for Open Inter-vehicular communication Networks
CSL	Core Service Layer
DAG	Directed Acyclic Graph
DG-CASTOR	Direction based Routing
DRG	Distributed Robust Geocast
DRP	Distance based Routing Protocol
DSR	Dynamic Source Routing Protocol
DSRC	Dedicated Short Range Communication
DTN	Delay Tolerant Networks
DV-CAST	Distributed Vehicular Broadcast
ESP	Electronic Stability Program
FCC	Federal Communication Commission
FSR	Fisheye State Routing
GeOpps	Geographical Opportunistic Routing
GPCR	Greedy Perimeter Coordinator Routing
GPS	Global Positioning System
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing
GRANT	Greedy Routing with Abstract Neighbor Table
GSR	Geographic Source Routing
GyTAR	Greedy Traffic Aware Routing
H-DRP	Hybrid-Distance based Routing Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IVG	Inter-Vehicles Geocast
LL	Link Layer
LORA_CBF	Location Routing Algorithm with Cluster-Based Routing
LOUVRE	Landmark Overlays for Urban Vehicular Routing Environment
LREQ	Location Request
MAC	Media Access Control
MANET	Mobile Ad-Hoc Network
OBU	On Board Unit
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open Systems Interconnection
PGB	Preferred Route Broadcasting
PRB-DV	Position based Routing with Distance Vector

	Recovery
QRY	Query Packet
RREP	Route Reply
RREQ	Route Request
RSU	Road Side Unit
RUV	Runtime Virtual commands
STBR	Street Topology Based Routing
TOGO	Topology-assist Geo-Opportunistic Routing
ToS	Type of Service
TTL	Time To Live
UMB	Urban Multi-Hop Broadcast
UPD	Update Packet
UPL	Upper Layer Protocol
VADD	Vehicle Assisted Data Delivery
VANET	Vehicular Ad-Hoc Network
V-TRADE	Vector based Tracing Detection
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments
WLAN	Wireless Local Area Network

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Κομμάτια κώδικα με γλώσσα Tcl για την κατασκευή και παραμετροποίηση του δικτύου στο οποίο εκτελούνται οι προσομοιώσεις. Ο κώδικας αυτός αναφέρεται στην δημιουργία ενός δικτύου με 50 κόμβους.

```

1 #####
2 #ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 50 ΚΟΜΒΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΚΑΘΕ ΚΟΜΒΟΥ#
3 #####
4
5
6 for {set n 0} {$n<50} {incr n} {
7 puts "create $n node"
8
9 mkdir drcl.comp.Component n$n
10 cd n$n
11 set convert [mkdir PositionReportConvert converter]
12 mkdir drcl.inet.mac.PositionReportContract message
13 mkdir drcl.inet.mac.LL ll
14 mkdir drcl.inet.mac.Mac_802_11 mac
15 mkdir drcl.inet.core.queue.FIFO queue
16 mkdir drcl.inet.mac.ARP arp
17 mkdir drcl.inet.mac.RadioPropagationModel radio
18 mkdir drcl.inet.mac.WirelessPhy wireless
19 mkdir drcl.inet.mac.MobilityModel mobility
20 mkdir drcl.inet.core.PktDispatcher pktdispatcher
21 mkdir drcl.inet.protocol.vanetprot.DRP protocol
22 set RT [mkdir drcl.inet.core.RT rt]
23 set ID [mkdir drcl.inet.core.Identity id]
24 ! pktdispatcher bind $RT
25 ! pktdispatcher bind $ID
26
27 puts "$n node created..."
28 puts "connect components in node $n..."
29
30 connect wireless/.mobility@ -and mobility/.query@
31 connect wireless/.propagation@ -and radio/.query@
32 connect wireless/up@ -and mac/down@
33 connect mac/.linklayer@ -to ll/.mac@
34 connect mac/up@ -and queue/output@
35 connect ll/down@ -and queue/up@
36 connect ll/.arp@ -and arp/.arp@
37 connect -c ll/up@ -and pktdispatcher/0@down
38 connect -c protocol/down@ -and pktdispatcher/17@up
39 connect mobility/.query@ -and $convert/query@
40
41
42
43 puts "configure MAC and IP address of node $n..."
44
45 ! arp setAddresses $n $n
46 ! ll setAddresses $n $n
47 ! mac setMacAddress $n
48 ! wireless setNid $n
49 ! mobility setNid $n
50 ! id setDefaultID $n
51

```

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Παραστατίδη Παντελή

```
52 puts "create topology parameters..."
53 # ! mobility setTopologyParameters maxX maxY minX minY maxZ minZ dx dy dz
54 ! mobility setTopologyParameters 1000.0 1000.0 0.0 0.0 0.0 0.0 50.0 50.0
55 0.0
56 ! mobility setPosition 30.0 [lindex $array($n,0) 1] [lindex $array($n,0)
57 2] 0.0
58
59 cd ..
60 }
61
62 . . .
63
64 #####
65 #ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΥ GRID ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ#
66 #####
67
68 puts "create the channel and tracker..."
69 mkdir drcl.inet.mac.Channel channel
70 mkdir drcl.inet.mac.NodePositionTracker tracker
71 ! tracker setGrid 1000.0 0.0 1000.0 0.0 50.0 50.0
72
73 connect channel/.tracker@ -and tracker/.channel@
74
75 for {set n 0} {$n<51} {incr n} {
76
77 connect n$n/mobility/.report@ -and tracker/.node@
78
79 }
80
81 ! channel setCapacity 120
82
83
84 for {set n 0} {$n<51} {incr n} {
85
86 connect n$n/wireless/down@ -to channel/.node@
87
88 }
89
90 for {set n 0} {$n<51} {incr n} {
91
92 ! channel attachPort $n [! /senario/n$n/wireless/.channel@]
93
94 }
95
96
97 for {set n 0} {$n<50} {incr n} {
98
99 ! n$n/protocol setNode $n [lindex $array($n,0) 2] [lindex $array($n,0) 3]
100
101 }
102
103 #####
104 #ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΕΙΣΑΓΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ VANETMOBISIM#
105 #####
106
107
108 if 1 {
109
110 for {set n 0} {$n<50} {incr n} {
111 set t_lst($n) [java::new {double[][]} $table($n)]
112 }
```

```

113
114
115 for {set n 0} {$n<50} {incr n} {
116 for {set i 0} {$i<$table($n)-1} {incr i} {
117 $t_lst($n) set $i [java::new {double[]} 4 "[expr [lindex $array($n,$i)
118 1]/10] [lindex $array($n,$i) 2] [lindex $array($n,$i) 3] 0"]
119 }
120 $t_lst($n) set [expr $table($n)-1] [java::new {double[]} 4 "[expr [lindex
121 $array($n,$i) 1]/10] [lindex $array($n,$i) 2] [lindex $array($n,$i) 3]
122 0"]
123 }
124
125
126
127 for {set n 0} {$n<50} {incr n} {
128 ! n$n/mobility installTrajectory $t_lst($n)
129 }
130
131 }
132
133
134 for {set n 0} {$n<50} {incr n} {
135 set t_($n) [java::new {double[][]} $table($n)]
136 }
137
138
139 for {set n 0} {$n<50} {incr n} {
140 for {set i 0} {$i<$table($n)-1} {incr i} {
141 $t_($n) set $i [java::new {double[]} 5 "[lindex $array($n,$i) 0] [expr
142 [lindex $array($n,$i) 1]/10] [lindex $array($n,$i) 2] [lindex
143 $array($n,$i) 3] [lindex $array($n,$i) 4]"]
144 }
145 }
146
147
148 for {set n 0} {$n<50} {incr n} {
149 ! n$n/protocol setSenario $t_($n) $table($n)
150 }
151
152
153
154
155
156 setflag trace true n*/pktdispatcher
157
158 #####
159 ##ENAPEH ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ##
160 #####
161
162 puts "simulation begins..."
163
164 set sim [attach_simulator .]
165 $sim stop
166 run .
167
168
169
170 #####
171 ##SEND BEACONS##
172 #####
173

```

```

174
175 for {set i 0} {$i<3000} {set i [expr $i+100]} {
176 for {set m 0} {$m<50} {incr m} {
177 set counter 0
178 set math [expr $i+1*$m]
179 set math_div [expr $math%100]
180 set time [expr double($math-$math_div)]
181 set div [expr $i/10]
182 set math2 [expr $div+0.001*$m]
183 for {set j 0} {$j<$stable($m)} {incr j} {
184 if {[lindex $array($m,$j) 1]==$time} {
185 script "! n$m/protocol findNeighbors {H-DRP} $m [lindex $array($m,$j) 2]
186 [lindex $array($m,$j) 3] [expr [lindex $array($m,$j) 1]/10] [lindex
187 $array($m,$j) 4] false" -at $math2 -on $sim
188 set counter [expr $counter+1]
189 }
190 }
191 if {$counter!=1} {
192 script "! n$m/protocol findNeighbors {H-DRP} $m [lindex $array($m,0) 2]
193 [lindex $array($m,0) 3] [expr $time/10] [lindex $array($m,0) 4] false" -
194 at $math2 -on $sim
195 }
196 }
197 }
198 for {set m 0} {$m<50} {incr m} {
199 set div [expr $i/10]
200 set math [expr $div+0.001*$m]
201 script "! n$m/protocol searchforNeighbours" -at $math -on $sim
202
203
204 }
205 set math [expr $i+100]
206 set math_div [expr $math%100]
207 if {$math_div==0} {
208 set math_div 100
209 }
210 set time [expr double($math-$math_div)]
211 set div [expr $i/10]
212 set math2 [expr $div+0.001*50]
213 script "! n50/protocol findNeighbors {H-DRP} 50 450.0 500.0 [expr
214 $time/10] 0.0 true" -at $math2 -on $sim
215 script "! n50/protocol searchforNeighbours" -at $math2 -on $sim
216 }
217 #####
218 ##SEND DATA PACKET##
219 #####
220 script "! n50/protocol sendPeriodicData {H-DRP} 50 {PARKING SPOT EMPTY AT
221 TOUMBA STADIUM} 450.0 500.0 150.0 0.0 true" -at 150.051 -on $sim
222 #####
223 ##ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΗΣ ΜΝΗΜΗΣ ΔΕΔΟΣΤΕ ΚΟΜΒΟΥ##
224 #####
225 for {set n 0} {$n<51} {incr n} {
226 script "! n$n/protocol dataBuffer" -at 305.0 -on $sim
227 }
228 $sim resume
229 $sim stopAt 305.0

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Κομμάτια κώδικα από τον ορισμό των παραμέτρων προσομοίωσης της κίνησης των κόμβων με το VanetMobiSim και από τα εξαγόμενα ίχνη.

```
1 <?xml version="1.0"?>
2 <universe>
3
4 <!--Ορισμός διαστάσεων της τοπολογίας και του χρόνου προσομοίωσης-->
5
6 <dimx>1000</dimx>
7 <dimy>1000</dimy>
8
9 <extension
10 class="de.uni_stuttgart.informatik.canu.mobisim.simulations.TimeSimulatio
11 n" param="3000.0"/>
12
13 <extension
14 class="de.uni_stuttgart.informatik.canu.spatialmodel.core.SpatialModel"
15 min_x="0" max_x="1000" min_y="0" max_y="1000">
16 <max_traffic_lights>0</max_traffic_lights>
17 <reflect_directions>true</reflect_directions>
18 <number_lane full="false" max="72">1</number_lane>
19 </extension>
20
21 <extension class="eurecom.spatialmodel.extensions.TrafficLight"
22 step="10000"/>
23
24 <extension class="eurecom.usergraph.UserGraph" name="userGraph">
25
26 <vertex> <id>189d7eb</id> <x>507</x> <y>362</y> </vertex>
27
28 <vertex> <id>4c94e5</id> <x>506</x> <y>436</y> </vertex>
29
30
31 .....
32
33
34 <edge> <v1>666d83</v1> <v2>fd9b97</v2> <speed>50</speed> </edge>
35
36 <edge> <v1>aa77d9</v1> <v2>1353154</v2> <speed>80</speed> </edge>
37 </extension>
38
39 <extension name="PosGen"
40 class="de.uni_stuttgart.informatik.canu.tripmodel.generators.RandomInitia
41 lPositionGenerator"/>
42
43 <extension name="TripGen"
44 class="de.uni_stuttgart.informatik.canu.tripmodel.generators.RandomTripGe
45 nerator" >
46 <reflect_directions>true</reflect_directions>
47 <minstay>20.0</minstay> <maxstay>100.0</maxstay>
48 </extension>
49
50 <!-- Ορισμός πλήθους κόμβων, μέγιστης και ελάχιστης ταχύτητας-->
51
```

```
52 <nodegroup n="200">
53 <extension class="polito.uomm.IDM_IM" initposgenerator="PosGen"
54 tripgenerator="TripGen">
55 <minspeed>15.0</minspeed>
56 <maxspeed>38.0</maxspeed>
57 <step>100.0</step>
58 <b>0.5</b>
59 </extension>
60 </nodegroup>
61
62 <!-- Ορισμός αρχείου εξαγωγής των αποτελεσμάτων (ίχνη) -->
63
64 <extension
65 class="de.uni_stuttgart.informatik.canu.mobisim.extensions.TraceOutput"
66 output="ToumbaTrace.txt"><step>100.0</step></extension>
67
68
69 <extension
70 class="de.uni_stuttgart.informatik.canu.mobisimadd.extensions.GUI">
71 <width>1000</width>
72 <height>1000</height>
73 <step>1.0</step>
74 </extension>
75 </universe>
```


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Κομμάτι κώδικα από την κλάση ορισμού του πακέτου και την κλάση υλοποίησης του πρωτοκόλλου.

```

1  /** DRPPacket
2  *
3  *   Pantelis Parastatidis
4  *
5  *
6  **/
7
8  private int id;           /** TO ID ΤΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ **/
9  private String data;     /** ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ **/
10 private long src;        /** TO ID ΤΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΠΟΥ ΕΚΠΕΜΠΕΙ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ**/
11 private long dest;       /** TO ID ΤΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ Ο ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ
12 ΠΑΚΕΤΟΥ**/
13 private int ttl;         /** Time To Live **/
14 private int tos;         /** Type Of Service**/
15 private double dx;       /** Χ-ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΗ **/
16 private double dy;       /** Υ-ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΗ **/
17 private double time;     /** ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΤΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ **/
18 private double speed;    /** ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΠΟΥ ΑΠΟΣΤΕΛΛΕΙ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ
19 **/
20 private long origin;     /** TO ID ΤΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΣΕ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ
21 **/
22 private double time_send; /** Η ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ ΠΟΥ ΣΤΑΛΘΗΚΕ ΓΙΑ ΠΡΩΤΗ
23 ΦΟΡΑ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ **/
24 private boolean stathero; /** ΔΗΛΩΝΕΙ ΕΑΝ Ο ΚΟΜΒΟΣ ΕΙΝΑΙ ΣΤΑΘΕΡΟΣ 'Η
25 ΟΧΙ **/
26 private String prot;     /** ΟΝΟΜΑ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ **/
27 public Vector receiver = new Vector(); /** ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΤΑ ID ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ
28 ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΠΡΟΩΘΗΣΕΙ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ **/
29
30
31 /**Default Constructor**/
32 protected DRPPacket () { super(); }
33
34
35 /**Constructor**/
36 protected DRPPacket(int id_,long origin_, String prot_,Object data_,
37 long src_,long dest_,double dx_,double dy_,double speed_,boolean
38 stathero_,
39 double time_send_,double time_,int tos_,int ttl_) {
40
41 super();
42
43 id = id_;
44 origin = origin_;
45 body = data_;
46 src = src_;
47 dest = dest_;
48 prot = prot_;
49 dx = dx_;
50 dy = dy_;
51 time = time_;

```

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Παραστατίδη Παντελή

```
52 speed = speed_;
53 tos = tos_;
54 ttl = ttl_;
55 time_send = time_send_;
56 stathero = stathero_;
57
58 }
59 /** DRP Protocol
60 *
61 *
62 *     Pantelis Parastatidis
63 *
64 *
65 **/
66
67
68 //ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΠΑΚΕΤΟΥ ΓΙΑ ΑΠΟΣΤΟΛΗ BEACON
69
70 public void findNeighbors(String prot_,long src_,double dx_,double
71 dy_,double time_,double speed_,boolean stathero_) {
72
73     //debug("hello");
74     msgid++;
75     origin = src_;
76     ttl = 2;
77     time_send = time_;
78     vpkt = new
79     DRPPacket(msgid,origin,prot_,"",src_.Address.ANY_ADDR,dx_,dy_,speed_,stat
80 hero_,time_send,time_,REQN,ttl/**,null**/);
81
82
83     outgoing.add(vpkt);
84
85     //debug("I send hello packet"+vpkt);
86
87
88
89 }
90
91
92
93 //ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΟΥ ΚΑΛΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΤΩΝ BEACON
94
95 public void searchforNeighbours() {
96
97
98     downPort.doSending(PktSending.getBcastPack(vpkt,vpkt.getSrc(),Address.ANY
99 _ADDR, true, 255, 0,null));
100
101 }
102
103
104
105
106 //ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΠΑΚΕΤΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
107
108 public void sendPeriodicData(String prot_,long src_, String data_, double
109 dx_, double dy_, double time_,double speed_,boolean stathero_) {
110
111     msgid++;
112     count_broad++;
```

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Παραστατίδη Παντελή

```
113 total_data_broad++;
114 origin = src_;
115 max = 0;
116 time_send = time_;
117 node = new Long(src_);
118
119
120
121 //ΕΥΡΕΣΗ ΤΟΥ ΠΙΟ ΜΑΚΡΙΝΟΥ ΓΕΙΤΟΝΑ
122
123 for(int i=0; i<time.size(); i++){
124
125 //debug("time"+time.get(i));
126 if(((Double)time.get(i)).doubleValue() == time_){
127
128
129 if(((Double)distance.get(i)).doubleValue()>max){
130
131 max = ((Double)distance.get(i)).doubleValue();
132 doubleobj = new Double(max);
133 neigh = ((Long)all_neighbours.get(i)).longValue();
134 longobj = new Long(neigh);
135 time_max = ((Double)time.get(i)).doubleValue();
136 doubleobj_time = new Double(time_max);
137 dest = neigh;
138 //debug("dest"+dest);
139 }
140
141 }
142
143 }
144
145 //debug("Max distance at "+time_+" is: "+doubleobj+"and neigh is
146 "+longobj);
147 max_vector.add(doubleobj);
148 neigh_vector.add(longobj);
149 time_vector.add(doubleobj_time);
150
151 //ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΑΚΕΤΟΥ
152 DRPPacket vpkt_send = new
153 DRPPacket(msgid,origin,prot_,data_,src_,dest,dx_,dy_,speed_,stathero_,time
154 e_send,time_,PSEND,255/**,receivers**/);
155
156 vpkt_send.setReceiver(node);
157 debug("I send periodic data: "+vpkt_send);
158
159
160 //ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΠΑΚΕΤΟΥ
161 downPort.doSending(PktSending.getBcastPack(vpkt_send, src_,
162 Address.ANY_ADDR, true, 255, 0, null));
163
164 outgoing.add(vpkt_send);
165
166
167 }
168
169 // ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΗΣ ΜΝΗΜΗΣ ΟΠΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΟΝΤΑΙ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΚΟΜΒΟΥ.
170
171 public void dataBuffer() {
172
173 int found=0;
```

```

174 DRPPacket vpkt_v = null;
175
176
177 for (int i=0; i<incoming.size(); i++) {
178
179 vpkt_v = (DRPPacket)incoming.get(i);
180
181
182 }
183
184 if(data.size()==0){
185
186 }else{
187     for (int i=0; i<data.size(); i++) {
188
189 vpkt_v = (DRPPacket)data.get(i);
190 debug("Data buffer of node :"+this.getNodeID()+" = "+data.get(i));
191 //debug("VR "+vr);
192
193
194 }
195 }
196
197 }
198
199
200 //ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ ΠΟΥ ΕΧΕΙ Ο ΚΟΜΒΟΣ
201
202 public void counter_further_point(){
203
204
205     System.out.println("NodeID: "+this.getNodeID()+" Further point:
206 "+count_further_point);
207
208
209 }
210
211 public void counter_store(){
212
213
214     System.out.println("NodeID: "+this.getNodeID()+" Store:
215 "+count_store);
216
217
218 }
219
220 public void counter_further_broad(){
221
222
223     System.out.println("NodeID: "+this.getNodeID()+" Further point and
224 broadcast: "+count_further_broad);
225
226
227 }
228
229
230 public void counter_further_non_broad(){
231
232
233     System.out.println("NodeID: "+this.getNodeID()+" Further point but
234 not broadcast: "+count_further_non_broad);

```

```
235
236
237 }
238
239 public void counter_new_neigh_broad() {
240
241     System.out.println("NodeID: "+this.getNodeID()+" Found new
242 neighbour and broadcast: "+count_new_neigh_broad);
243
244 }
245
246 }
247
248
249 public void total_data_broad() {
250
251     System.out.println("NodeID: "+this.getNodeID()+" Total data
252 broadcasts: "+total_data_broad);
253
254 }
255
256 }
257
258 //ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ.
259
260 public void latency() {
261
262     if(data.size()==0) {
263
264         System.out.println("NodeID: "+this.getNodeID()+" Latency: -1");
265
266     }else{
267
268         System.out.println("NodeID: "+this.getNodeID()+" Latency:
269 "+latency);
270
271     }
272 }
273 }
274
275 //ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΕΑΝ ΚΑΘΕ ΚΟΜΒΟΣ ΠΑΡΑΛΑΜΒΑΝΕΙ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ.
276
277 public void reachability() {
278
279     System.out.println("NodeID: "+this.getNodeID()+" Reachability:
280 "+counter_reachability);
281
282 }
283
284 //ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ REACHABILITY, LATENCY ΚΑΙ TOTAL BROADCASTS ΓΙΑ
285 ΚΑΘΕ ΚΟΜΒΟ, ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΕΤΟΙΜΗ ΓΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ MS EXCEL.
286
287 public void exceloutput() {
288
289     System.out.println(this.getNodeID()+"\t"+counter_reachability+"\t"+
290 (int)latency+"\t"+total_data_broad);
291
292 }
293
294
295
```

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Παραστατίδη Παντελή

```
296 //ΜΕΘΟΔΟΣ Η ΟΠΟΙΑ ΚΑΛΕΙΤΑΙ ΟΤΑΝ ΕΝΑ ΠΑΚΕΤΟ ΦΤΑΝΕΙ ΣΕ ΜΙΑ ΠΟΡΤΑ ΤΟΥ ΚΟΜΒΟΥ
297
298 public void dataArriveAtDownPort (Object data_, drcl.comp.Port
299 downPort_){
300
301 if (!(data_ instanceof InetPacket)) {
302     error(data_,"dataArriveAtDownPort()", downPort_, "unknown object");
303 return;
304 }
305
306
307 InetPacket ipkt = (InetPacket)data_;
308 DRPPacket vpkt = (DRPPacket)ipkt.getBody();
309 time_ = vpkt.getTime();
310 tos = vpkt.getTos();
311 src = ipkt.getSource();
312 //debug("vpkt_received: "+vpkt);
313
314
315 if(this.getNodeID()!=50){
316
317     stathero = false;
318
319 }else{
320
321     stathero = true;
322
323 }
324
325
326
327 if(incoming.size()==0){
328
329     incoming.add(vpkt);
330
331 }
332
333
334
335
336 //ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ BEACON ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΟΥ ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΕΙΝΑΙ ΤΟ
337 H-DRP.
338
339 if (vpkt.getTos()==REQN && vpkt.getTTL(>0 && vpkt.getProt().equals("H-
340 DRP")) {
341
342 //ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΑΝ Ο ΚΟΜΒΟΣ ΠΟΥ ΠΑΡΑΛΑΜΒΑΝΕΙ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΗΜΕΙΟ
343 'Η ΕΝΑ ΟΧΗΜΑ.
344
345 if(this.getNodeID()==50){
346     time_ = vpkt.getTime();
347     dx_thisNode = 450.0;
348     dy_thisNode = 500.0;
349     speed_thisNode = 0.0;
350 }else{
351
352 //ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΣΤΙΓΜΗΣ ΠΟΥ ΕΛΑΒΕ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ Ο ΚΟΜΒΟΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ
353 ΣΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΓΡΑΦΗ ΜΕ ΤΗΝ ΙΔΙΑ ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ.
354 for (int i=0; i<table.length-1; i++) {
355
356     if(table[i][1]==time_){
```

```

357
358     pointer=i;
359     break;
360
361 }else{
362
363     pointer=0;
364
365 }
366
367 }
368
369 //ΠΕΡΑΣΜΑ ΤΙΜΩΝ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΣΤΙΓΜΗΣ.
370 time_ = time_ ;
371 dx_thisNode = table[pointer][2];
372 dy_thisNode = table[pointer][3];
373 speed_thisNode = table[pointer][4];
374 }
375
376 origin = vpkt.getOrigin();
377 ttl = vpkt.getTTL()-1;
378
379
380
381 int flag=0;
382
383 for(int i=0; i<incoming.size(); i++){
384
385     vpkt_buffer = (DRPPacket)incoming.get(i);
386     if(vpkt_buffer.getID()==vpkt.getID() &&
387     vpkt_buffer.getOrigin()==vpkt.getOrigin())
388         flag++;
389
390 }
391
392 if (flag==0){
393
394     incoming.add(vpkt);
395
396 }
397
398 int flag_n=0;
399
400 for(int i=0; i<neighbours_packet.size(); i++){
401
402     vpkt_buffer = (DRPPacket)neighbours_packet.get(i);
403
404     if(vpkt_buffer.getID()==vpkt.getID() &&
405     vpkt_buffer.getOrigin()==vpkt.getOrigin())
406         flag++;
407
408 }
409
410 if (flag==0){
411
412     neighbours_packet.add(vpkt);
413
414 }
415
416

```

```

417 //ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΕ VECTORS ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΣΤΙΓΜΗΣ ΠΟΥ ΣΤΑΛΩΝΚΕ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ ΚΑΙ ΤΟ
418 ID ΤΟΥ ΠΗΓΑΙΟΥ ΚΟΜΒΟΥ.
419 longobj =new Long(vpkt.getSrc());
420 hour = new Double(time_);
421 all_neighbours.add(longobj);
422 time.add(hour);
423
424
425 //ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΠΑΚΕΤΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΝΕΟ ΓΕΙΤΟΝΑ.
426
427 if(neighbours.contains(longobj)){
428
429 }
430 else{
431 //ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΑΝ Ο ΚΟΜΒΟΣ ΕΧΕΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΜΕΝΟ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ ΚΑΙ ΕΑΝ ΤΟ ΕΧΩ
432 ΕΑΝΑΜΕΤΑΔΟΣΕΙ.
433 if(data.size()!=0 && status_store==true && count_broad2==0){
434
435     DRPPacket vpkt_data = (DRPPacket)data.get(0);
436     Object dataobj = vpkt_data.getBody();
437     msgid = vpkt_data.getID();
438     time_send = vpkt_data.getTimeSend();
439     ttl = vpkt_data.getTTL()-1;
440     time_ = vpkt.getTime();
441     node = new Long(this.getNodeID());
442
443 //ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΑΝ Ο ΝΕΟΣ ΓΕΙΤΟΝΑΣ ΤΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΕΧΕΙ ΠΡΟΩΘΗΣΕΙ ΠΡΙΝ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ.
444 //ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΤΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ ΣΤΟ ΝΕΟ ΓΕΙΤΟΝΑ.
445 if((vpkt_data.getReceiver()).contains(longobj)){
446 neighbours.add(longobj);
447 }else{
448
449 if((vpkt_data.getReceiver()).contains(node)){
450     DRPPacket vpkt_send = new
451 DRPPacket(msgid,vpkt_data.getOrigin(),vpkt_data.getProt(),dataobj,this.ge
452 tNodeID(),vpkt.getSrc(),dx_thisNode,dy_thisNode,speed_thisNode,stathero,t
453 ime_send,time_,PSEND,ttl/**,vpkt_data.getReceivers**/);
454 for(int i=0; i<(vpkt_data.getReceiver()).size(); i++){
455     vpkt_send.setReceiver((vpkt_data.getReceiver()).get(i));
456 }
457     outgoing.add(vpkt_send);
458     neighbours.add(longobj);
459     count_new_neigh_broad++;
460     downPort.doSending(PktSending.getBcastPack(vpkt_send,this.getNodeID
461 (),drcl.net.Address.ANY_ADDR, true, 255, 0,null));
462     total_data_broad++;
463     status_store=false;
464     debug("total broad "+total_data_broad);
465     count_broad2++;
466
467 }else{
468
469     debug(longobj);
470     DRPPacket vpkt_send = new
471 DRPPacket(msgid,vpkt_data.getOrigin(),vpkt_data.getProt(),dataobj,this.ge
472 tNodeID(),vpkt.getSrc(),dx_thisNode,dy_thisNode,speed_thisNode,stathero,t
473 ime_send,time_,PSEND,ttl/**,receivers**/);
474 for(int i=0; i<(vpkt_data.getReceiver()).size(); i++){
475     vpkt_send.setReceiver((vpkt_data.getReceiver()).get(i));
476 }
477     vpkt_send.setReceiver(node);

```


Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Παραστατίδη Παντελή

```
478     downPort.doSending(PktSending.getBcastPack(vpkt_send,this.getNodeID
479     ( ),drcl.net.Address.ANY_ADDR, true, 255, 0,null));
480     outgoing.add(vpkt_send);
481     neighbours.add(longobj);
482     count_new_neigh_broad++;
483     total_data_broad++;
484     status_store=false;
485     debug("total broad "+total_data_broad);
486     count_broad2++;
487 }
488 }
489
490 }
491
492 }
493 }
494
495 //ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕ ΤΟ ΠΥΘΑΓΟΡΕΙΟ ΘΕΩΡΗΜΑ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΟΜΒΟ ΠΟΥ
496 ΕΣΤΕΙΛΕ ΤΟ ΜΗΝΥΜΑ.
497 double dx_node = vpkt.getDx();
498 double dy_node = vpkt.getDy();
499 double ypo = Math.sqrt(Math.pow(dx_node-dx_thisNode,2)+Math.pow(dy_node-
500 dy_thisNode,2));
501 doubleobj = new Double(ypo);
502 distance.add(doubleobj);
503
504
505
506 //ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ BEACON ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΟΥ ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΕΙΝΑΙ ΤΟ
507 DRP.
508 }else if(vpkt.getTos()==REQN && vpkt.getTTL(>0 &&
509 vpkt.getProt().equals("DRP")){
510
511
512 if(this.getNodeID()==50){
513     time_ = vpkt.getTime();
514     dx_thisNode = 450.0;
515     dy_thisNode = 500.0;
516     speed_thisNode = 0.0;
517 }else{
518
519 for (int i=0; i<table.length-1; i++) {
520
521     if(table[i][1]==time_){
522
523         pointer=i;
524         break;
525
526     }else{
527
528         pointer=0;
529
530     }
531
532 }
533
534
535 time_ = time_;
536 dx_thisNode = table[pointer][2];
537 dy_thisNode = table[pointer][3];
538 speed_thisNode = table[pointer][4];
```

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Παραστατίδη Παντελή

```
539 }
540
541 origin = vpkt.getOrigin();
542 ttl = vpkt.getTTL()-1;
543
544
545
546 int flag=0;
547
548 for(int i=0; i<incoming.size(); i++){
549
550     vpkt_buffer = (DRPPacket)incoming.get(i);
551     if(vpkt_buffer.getID()==vpkt.getID() &&
552     vpkt_buffer.getOrigin()==vpkt.getOrigin())
553         flag++;
554
555 }
556
557 if (flag==0){
558
559     incoming.add(vpkt);
560
561 }
562
563 int flag_n=0;
564
565 for(int i=0; i<neighbours_packet.size(); i++){
566
567     vpkt_buffer = (DRPPacket)neighbours_packet.get(i);
568
569     if(vpkt_buffer.getID()==vpkt.getID() &&
570     vpkt_buffer.getOrigin()==vpkt.getOrigin())
571         flag++;
572
573 }
574
575 if (flag==0){
576
577     neighbours_packet.add(vpkt);
578
579 }
580
581
582
583
584 longobj =new Long(vpkt.getSrc());
585 hour = new Double(time_);
586 all_neighbours.add(longobj);
587 time.add(hour);
588
589
590
591 if(neighbours.contains(longobj)){
592
593 }
594 else{
595 //ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΑΝ Ο ΚΟΜΒΟΣ ΕΧΕΙ ΣΤΗΝ ΜΝΗΜΗ ΤΟΥ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ. ΕΑΝ ΤΟ
596 ΕΧΕΙ ΤΟΤΕ ΤΟ ΠΡΟΩΘΕΙ ΣΤΟΝ ΝΕΟ ΤΟΥ ΓΕΙΤΟΝΑ.
597 //ΜΟΝΟ ΟΙ ΚΟΜΒΟΙ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΕΠΙΛΕΧΘΕΙ ΩΣ ΟΙ ΝΕΟΙ ΠΡΟΩΘΗΤΕΣ ΤΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ
598 ΕΧΟΥΝ ΤΟ ΔΙΚΑΙΩΜΑ ΝΑ ΜΕΤΑΔΩΣΟΥΝ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ ΣΕ ΝΕΟ ΓΕΙΤΟΝΑ
```

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Παραστατίδη Παντελή

```
599 //ΕΦ' ΟΣΟΝ ΤΗΝ ΣΤΙΓΜΗ ΠΟΥ ΤΟ ΠΑΡΕΛΑΒΑΝ ΔΕΝ ΕΙΧΑΝ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟΥΣ ΚΟΜΒΟΥΣ ΝΑ
600 ΤΟ ΠΑΡΑΔΩΣΟΥΝ.
601 if(data.size()!=0 && status_store==true){
602
603     DRPPacket vpkt_data = (DRPPacket)data.get(0);
604     Object dataobj = vpkt_data.getBody();
605     msgid = vpkt_data.getID();
606     time_send = vpkt_data.getTimeSend();
607     ttl = vpkt_data.getTTL()-1;
608     time_ = vpkt.getTime();
609     node = new Long(this.getNodeID());
610
611
612     if((vpkt_data.getReceiver()).contains(longobj)){
613         neighbours.add(longobj);
614     }else{
615
616         if((vpkt_data.getReceiver()).contains(node)){
617             DRPPacket vpkt_send = new
618 DRPPacket(msgid,vpkt_data.getOrigin(),vpkt_data.getProt(),dataobj,this.ge
619 tNodeID(),vpkt.getSrc(),dx_thisNode,dy_thisNode,speed_thisNode,stathero,t
620 ime_send,time_,PSENDD,ttl/**,vpkt_data.getReceivers**/);
621 for(int i=0; i<(vpkt_data.getReceiver()).size(); i++){
622     vpkt_send.setReceiver((vpkt_data.getReceiver()).get(i));
623 }
624     outgoing.add(vpkt_send);
625     neighbours.add(longobj);
626     count_new_neigh_broad++;
627     downPort.doSending(PktSending.getBcastPack(vpkt_send,this.getNodeID
628 (),drcl.net.Address.ANY_ADDR, true, 255, 0,null));
629     total_data_broad++;
630     status_store=false;
631     debug("total broad "+total_data_broad);
632
633
634 }else{
635
636     debug(longobj);
637     DRPPacket vpkt_send = new
638 DRPPacket(msgid,vpkt_data.getOrigin(),vpkt_data.getProt(),dataobj,this.ge
639 tNodeID(),vpkt.getSrc(),dx_thisNode,dy_thisNode,speed_thisNode,stathero,t
640 ime_send,time_,PSENDD,ttl/**,receivers**/);
641 for(int i=0; i<(vpkt_data.getReceiver()).size(); i++){
642     vpkt_send.setReceiver((vpkt_data.getReceiver()).get(i));
643 }
644     vpkt_send.setReceiver(node);
645     downPort.doSending(PktSending.getBcastPack(vpkt_send,this.getNodeID(),drc
646 l.net.Address.ANY_ADDR, true, 255, 0,null));
647     outgoing.add(vpkt_send);
648     neighbours.add(longobj);
649     count_new_neigh_broad++;
650     total_data_broad++;
651     status_store=false;
652     debug("total broad "+total_data_broad);
653
654
655 }
656 }
657
658 }
659
```

```

660
661 }
662
663     double dx_node = vpkt.getDx();
664     double dy_node = vpkt.getDy();
665     double ypo = Math.sqrt(Math.pow(dx_node-
666 dx_thisNode,2)+Math.pow(dy_node-dy_thisNode,2));
667     doubleobj = new Double(ypo);
668     distance.add(doubleobj);
669
670
671
672 //ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΠΑΚΕΤΟ
673 ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.
674
675 }else if(vpkt.getTos()==PSEND && vpkt.getTTL(>0 &&
676 vpkt.getProt().equals("H-DRP")) {
677
678
679
680
681 int flag_i=0;
682 int flag_o=0;
683
684 for(int i=0; i<incoming.size(); i++){
685
686     vpkt_buffer = (DRPPacket)incoming.get(i);
687
688     if(vpkt_buffer.getID()==vpkt.getID() &&
689 vpkt_buffer.getOrigin()==vpkt.getOrigin())
690         flag_i++;
691
692 }
693
694 for(int i=0; i<outgoing.size(); i++){
695
696     vpkt_buffer = (DRPPacket)outgoing.get(i);
697
698     if(vpkt_buffer.getID()==vpkt.getID() &&
699 vpkt_buffer.getOrigin()==vpkt.getOrigin())
700         flag_o++;
701
702 }
703
704
705
706     incoming.add(vpkt);
707
708 //ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΟΥ Ο ΚΟΜΒΟΣ ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΛΑΒΕΙ ΠΡΙΝ ΠΑΚΕΤΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟ
709 ΑΠΟΘΗΚΕΥΕΙ.
710
711 if(data.size()==0){
712
713     //debug("ok");
714     data.add(vpkt);
715     latency = vpkt.getTime() - vpkt.getTimeSend();
716     //debug("latency: "+latency);
717     counter_reachability++;
718
719
720

```

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Παραστατίδη Παντελή

```
721 }
722 }
723
724 //ΕΙΔΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΕΝΑΣ ΚΟΜΒΟΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΕΝΑ
725 ΠΑΚΕΤΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΝΗΜΕΡΩΝΕΙ
726 //ΤΟ ΠΕΔΙΟ RECEIVERS ΤΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΣΤΗΝ ΜΝΗΜΗ.
727 //ΕΑΝ ΤΟ ΔΙΚΟ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟ RECEIVERS ΕΙΝΑΙ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ ΑΠΟ ΟΤΙ ΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟΥ
728 ΠΑΚΕΤΟΥ ΠΟΥ ΕΛΑΒΕ ΤΟΤΕ ΕΝΗΜΕΡΩΝΕΙ ΤΟ ΠΕΔΙΟ RECEIVERS ΤΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ
729 //ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΣΤΗΝ ΜΝΗΜΗ.
730
731
732
733 if(data.size()>0){
734     DRPPacket vpkt_data3 = (DRPPacket)data.get(0);
735
736     if((vpkt_data3.getReceiver()).size()<(vpkt.getReceiver()).size()){
737         (vpkt_data3.getReceiver()).clear();
738
739         for(int i=0; i<(vpkt.getReceiver()).size(); i++){
740
741             Long longobj2 = (Long) (vpkt.getReceiver()).get(i);
742
743             vpkt_data3.setReceiver(longobj2);
744
745         }
746
747         data.clear();
748         data.add(vpkt_data3);
749     }
750
751 }
752
753 }
754
755 }
756
757 }
758
759
760
761 int flag_dataloop=0;
762
763 for(int i=0; i<data.size(); i++){
764     DRPPacket vpkt_data = (DRPPacket)data.get(i);
765
766     if(vpkt_data.getBody().equals(vpkt.getBody())){
767     }
768     else
769         flag_dataloop++;
770 }
771
772 if (flag_dataloop>0){
773     data.add(vpkt);
774 }
775
776 }
777
778
779
780 if(this.getNodeID()==50){
781     time_ = vpkt.getTime();
```

```

782     dx_thisNode = 450.0;
783     dy_thisNode = 500.0;
784     speed_thisNode = 0.0;
785 }
786 else {
787     for (int i=0; i<table.length-1; i++) {
788
789         if(table[i][1]==time_){
790             pointer=i;
791             break;
792         }else
793             pointer=0;
794     }
795
796
797     time_ = vpkt.getTime();
798     dx_thisNode = table[pointer][2];
799     dy_thisNode = table[pointer][3];
800     speed_thisNode = table[pointer][4];
801 }
802 msgid = vpkt.getID();
803 origin = vpkt.getOrigin();
804 reqdata = (String)vpkt.getBody();
805 ttl = vpkt.getTTL()-1;
806 time_send = vpkt.getTimeSend();
807 prot = vpkt.getProt();
808
809
810
811 if(this.getNodeID()==vpkt.getDest() && status==false && count_broad2==0){
812
813     int error=0;
814     int flag_loop=0;
815     double max=0;
816     long nei;
817     long dest = Address.ANY_ADDR;
818     node = new Long(this.getNodeID());
819     count_further_point++;
820
821
822
823
824     //ΕΙΔΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΕΝΑΣ ΚΟΜΒΟΣ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΛΑΒΕΙ ΠΡΙΝ
825     //ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟ ΞΑΝΑΛΑΜΒΑΝΕΙ
826     //ΣΕ ΑΥΤΗΝ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΣΥΓΚΡΙΝΕΙ ΤΟ ΠΕΔΙΟ RECEIVERS ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ ΠΟΥ
827     //ΕΛΑΒΕ ΚΑΙ ΑΠΟ ΑΥΤΟ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΣΤΗΝ ΜΝΗΜΗ
828     //ΚΑΙ ΕΑΝ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΙΔΙΑ ΤΑ ΣΥΓΧΩΝΕΥΕΙ.
829
830
831     if(count_further_point>1){
832         DRPPacket vpkt_data2 = (DRPPacket)data.get(0);
833         for(int i=0; i<(vpkt_data2.getReceiver()).size(); i++){
834             if((vpkt_data2.getReceiver()).get(i) !=(vpkt.getReceiver()).get(i)){
835
836                 error++;
837                 break;
838             }
839         }
840     }
841     if(error!=0){
842         DRPPacket vpkt_data2 = (DRPPacket)data.get(0);

```

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Παραστατίδη Παντελή

```
843 for(int i=0; i<(vpkt_data2.getReceiver()).size(); i++){
844     tmp.add((vpkt_data2.getReceiver()).get(i));
845
846 }
847
848 for(int i=0; i<(vpkt.getReceiver()).size(); i++){
849     if(tmp.contains((vpkt.getReceiver()).get(i))){
850     }
851     else{
852     tmp.add((vpkt.getReceiver()).get(i));
853
854     }
855 }
856
857 (vpkt.getReceiver()).clear();
858 for(int i=0; i<tmp.size(); i++){
859     vpkt.setReceiver(tmp.get(i));
860
861 }
862
863 }
864
865 tmp.clear();
866
867
868 for(int i=0; i<(vpkt.getReceiver()).size(); i++){
869
870 for(int j=0; j<time.size(); j++){
871
872 if(((Double)time.get(j)).doubleValue()==time_){
873
874
875 //ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΑΝ ΟΙ ΓΕΙΤΟΝΕΣ ΤΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΕΧΟΥΝ ΠΡΟΩΘΗΣΕΙ ΠΡΙΝ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ.
876 //ΕΑΝ ΝΑΙ ΤΟΤΕ ΔΙΑΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ ΓΕΙΤΟΝΩΝ.
877 if(((Long)all_neighbours.get(j)).longValue()==((Long)((vpkt.getReceiver()
878 ).get(i)).longValue()/**((Long)receivers.get(i)).longValue()**/){
879 //debug("true");
880     time.remove(j);
881     all_neighbours.remove(j);
882     distance.remove(j);
883
884 }
885 }
886
887 }
888 }
889
890
891 //ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΙΟ ΜΑΚΡΙΝΟ ΓΕΙΤΟΝΑ
892
893 for(int i=0; i<time.size(); i++){
894
895 if(((Double)time.get(i)).doubleValue()==time_){
896
897 if(((Long)all_neighbours.get(i)).longValue()==50 ||
898 ((Long)all_neighbours.get(i)).longValue()==vpkt.getSrc()){
899
900 }
901 else if(((Double)distance.get(i)).doubleValue()>max &&
902 ((Long)all_neighbours.get(i)).longValue()!=50 ||
903 ((Long)all_neighbours.get(i)).longValue()!=vpkt.getSrc()){
```

Πτυχιακή εργασία του φοιτητή Παραστατίδη Παντελή

```
904     max = ((Double)distance.get(i)).doubleValue();
905     doubleobj = new Double(max);
906     neigh = ((Long)all_neighbours.get(i)).longValue();
907     longobj = new Long(neigh);
908     time_max = ((Double)time.get(i)).doubleValue();
909     doubleobj_time = new Double(time_max);
910     dest = neigh;
911
912 }
913
914 }
915 //dest=Address.ANY_ADDR;
916
917 }
918 max_vector.add(doubleobj);
919 neigh_vector.add(longobj);
920 time_vector.add(doubleobj_time);
921
922
923
924 //ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΟΥ Ο ΚΟΜΒΟΣ ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΓΕΙΤΟΝΑ ΝΑ ΤΟ ΠΡΟΩΘΗΣΕΙ ΤΟ
925 ΑΠΟΘΗΚΕΥΕΙ ΚΑΙ ΤΟ ΠΡΟΩΘΕΙ ΑΡΓΟΤΕΡΑ ΟΤΑΝ ΒΡΕΙ ΚΑΙΝΟΥΡΙΟ ΓΕΙΤΟΝΑ.
926 if(dest==Address.ANY_ADDR){
927     count_further_non_broad++;
928     count_store++;
929     status_store=true;
930 //status=true;
931 }
932 else{
933 //ΠΡΟΩΘΗΣΗ ΤΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ
934 if((vpkt.getReceiver()).contains(node)){
935
936     DRPPacket vpkt_send = new
937 DRPPacket(msgid,origin,prot,(String)vpkt.getBody(),this.getNodeID(),dest,
938 dx_thisNode,dy_thisNode,speed_thisNode,stathero,time_send,time_,PSEND,tt
939 l/**,receivers**/);
940
941     downPort.doSending(PktSending.getBcastPack(vpkt_send,this.getNodeID
942 ( ),Address.ANY_ADDR,true,255,0,null));
943
944     outgoing.add(vpkt_send);
945
946     count_further_broad++;
947
948     total_data_broad++;
949
950     debug("total broad "+total_data_broad);
951
952     status=true;
953
954     count_broad2++;
955
956
957 }
958 else{
959
960
961     DRPPacket vpkt_send = new
962 DRPPacket(msgid,origin,prot,(String)vpkt.getBody(),this.getNodeID(),dest,
963 dx_thisNode,dy_thisNode,speed_thisNode,stathero,time_send,time_,PSEND,tt
964 l/**,receivers**/);
```



```

965
966 for(int i=0; i<(vpkt.getReceiver()).size(); i++){
967
968     vpkt_send.setReceiver((vpkt.getReceiver()).get(i));
969
970 }
971     vpkt_send.setReceiver(node);
972
973     total_data_broad++;
974
975     downPort.doSending(PktSending.getBcastPack(vpkt_send,this.getNodeID
976     (),Address.ANY_ADDR,true,255,0,null));
977
978     outgoing.add(vpkt_send);
979
980     count_further_broad++;
981
982     debug("total broad "+total_data_broad);
983
984     status=true;
985
986     count_broad2++;
987 }
988 }
989 }else{
990     count_store++;
991     status_store=true;
992 }
993
994 //ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΟΥ ΤΟ
995 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΕΙΝΑΙ ΤΟ DRP.
996 }else if(vpkt.getTos()==PSENDD && vpkt.getTTL(>0 &&
997 vpkt.getProt().equals("DRP")) {
998
999
1000
1001
1002     int flag_i=0;
1003     int flag_o=0;
1004
1005     for(int i=0; i<incoming.size(); i++){
1006
1007         vpkt_buffer = (DRPPacket)incoming.get(i);
1008
1009         if(vpkt_buffer.getID()==vpkt.getID() &&
1010         vpkt_buffer.getOrigin()==vpkt.getOrigin())
1011             flag_i++;
1012     }
1013
1014     for(int i=0; i<outgoing.size(); i++){
1015
1016         vpkt_buffer = (DRPPacket)outgoing.get(i);
1017
1018         if(vpkt_buffer.getID()==vpkt.getID() &&
1019         vpkt_buffer.getOrigin()==vpkt.getOrigin())
1020             flag_o++;
1021     }
1022
1023 }
1024
1025

```

```

1026
1027 incoming.add(vpkt);
1028
1029 if(data.size()==0){
1030
1031     data.add(vpkt);
1032     latency = vpkt.getTime() - vpkt.getTimeSend();
1033     counter_reachability++;
1034
1035 }
1036
1037 if(data.size()>0){
1038
1039     DRPPacket vpkt_data3 = (DRPPacket)data.get(0);
1040
1041     if((vpkt_data3.getReceiver()).size()<(vpkt.getReceiver()).size()){
1042
1043         (vpkt_data3.getReceiver()).clear();
1044
1045         for(int i=0; i<(vpkt.getReceiver()).size(); i++){
1046             Long longobj2 = (Long)(vpkt.getReceiver()).get(i);
1047             vpkt_data3.setReceiver(longobj2);
1048         }
1049
1050         data.clear();
1051         data.add(vpkt_data3);
1052     }
1053
1054
1055
1056 }
1057
1058
1059
1060 int flag_dataloop=0;
1061 for(int i=0; i<data.size(); i++){
1062     DRPPacket vpkt_data = (DRPPacket)data.get(i);
1063
1064     if(vpkt_data.getBody().equals(vpkt.getBody())){
1065     }
1066     else
1067         flag_dataloop++;
1068 }
1069
1070 if (flag_dataloop>0){
1071
1072     data.add(vpkt);
1073
1074
1075 }
1076
1077
1078 if(this.getNodeID()==50){
1079     time_ = vpkt.getTime();
1080     dx_thisNode = 450.0;
1081     dy_thisNode = 500.0;
1082     speed_thisNode = 0.0;
1083 }
1084 else {
1085     for (int i=0; i<table.length-1; i++) {
1086

```

```

1087 if(table[i][1]==time_){
1088
1089     pointer=i;
1090     break;
1091 }else
1092     pointer=0;
1093 }
1094
1095
1096 time_ = vpkt.getTime();
1097 dx_thisNode = table[pointer][2];
1098 dy_thisNode = table[pointer][3];
1099 speed_thisNode = table[pointer][4];
1100 }
1101
1102 msgid = vpkt.getID();
1103 origin = vpkt.getOrigin();
1104 reqdata = (String)vpkt.getBody();
1105 ttl = vpkt.getTTL()-1;
1106 time_send = vpkt.getTimeSend();
1107 prot = vpkt.getProt();
1108
1109 if(this.getNodeID()==vpkt.getDest() && status==false && count_broad2==0){
1110     int error=0;
1111     int flag_loop=0;
1112     double max=0;
1113     long nei;
1114     long dest = Address.ANY_ADDR;
1115     node = new Long(this.getNodeID());
1116     count_further_point++;
1117
1118
1119
1120 if(count_further_point>1){
1121     DRPPacket vpkt_data2 = (DRPPacket)data.get(0);
1122 for(int i=0; i<(vpkt_data2.getReceiver()).size(); i++){
1123     if((vpkt_data2.getReceiver()).get(i) !=(vpkt.getReceiver()).get(i)){
1124
1125         error++;
1126         break;
1127     }
1128 }
1129 }
1130 if(error!=0){
1131     DRPPacket vpkt_data2 = (DRPPacket)data.get(0);
1132 for(int i=0; i<(vpkt_data2.getReceiver()).size(); i++){
1133     tmp.add((vpkt_data2.getReceiver()).get(i));
1134 }
1135 }
1136
1137 for(int i=0; i<(vpkt.getReceiver()).size(); i++){
1138     if(tmp.contains((vpkt.getReceiver()).get(i))){
1139     }
1140     else{
1141     tmp.add((vpkt.getReceiver()).get(i));
1142
1143     }
1144 }
1145
1146     (vpkt.getReceiver()).clear();
1147 for(int i=0; i<tmp.size(); i++){

```

```

1148     vpkt.setReceiver(tmp.get(i));
1149
1150 }
1151
1152 }
1153
1154 tmp.clear();
1155
1156
1157 for(int i=0; i<(vpkt.getReceiver()).size(); i++){
1158 //debug("receivers"+receiver.get(i));
1159 for(int j=0; j<time.size(); j++){
1160 //debug("time"+time.get(j));
1161     if(((Double)time.get(j)).doubleValue()==time_){
1162 //debug("timer"+all_neighbours.get(j));
1163     if(((Long)all_neighbours.get(j)).longValue()==((Long)(vpkt.getReceiver().get(i))).longValue()/**((Long)receivers.get(i)).longValue()**/){
1164 //debug("true");
1165     time.remove(j);
1166     all_neighbours.remove(j);
1167     distance.remove(j);
1168
1169 }
1170 }
1171 }
1172 }
1173 }
1174 }
1175
1176
1177 for(int i=0; i<time.size(); i++){
1178
1179     if(((Double)time.get(i)).doubleValue()==time_){
1180
1181     if(((Long)all_neighbours.get(i)).longValue()==50 ||
1182 ((Long)all_neighbours.get(i)).longValue()==vpkt.getSrc()){
1183
1184 }
1185 else if(((Double)distance.get(i)).doubleValue()>max &&
1186 ((Long)all_neighbours.get(i)).longValue()!=50 ||
1187 ((Long)all_neighbours.get(i)).longValue()!=vpkt.getSrc()){
1188     max = ((Double)distance.get(i)).doubleValue();
1189     doubleobj = new Double(max);
1190     neigh = ((Long)all_neighbours.get(i)).longValue();
1191     longobj = new Long(neigh);
1192     time_max = ((Double)time.get(i)).doubleValue();
1193     doubleobj_time = new Double(time_max);
1194     dest = neigh;
1195
1196 }
1197
1198 }
1199 //dest=Address.ANY_ADDR;
1200
1201 }
1202 max_vector.add(doubleobj);
1203 neigh_vector.add(longobj);
1204 time_vector.add(doubleobj_time);
1205
1206 if(dest==Address.ANY_ADDR){
1207     count_further_non_broad++;
1208     count_store++;

```

```

1209     status_store=true;
1210     status=true;
1211 }
1212 else{
1213 if((vpkt.getReceiver()).contains(node)){
1214
1215     DRPPacket vpkt_send = new
1216 DRPPacket(msgid,origin,prot,(String)vpkt.getBody(),this.getNodeID(),dest,
1217 dx_thisNode,dy_thisNode,speed_thisNode,stathero,time_send,time_,PSEND,tt
1218 l/**,receivers**/);
1219
1220     downPort.doSending(PktSending.getBcastPack(vpkt_send,this.getNodeID
1221 ( ),Address.ANY_ADDR,true,255,0,null));
1222
1223     outgoing.add(vpkt_send);
1224
1225     count_further_broad++;
1226
1227     total_data_broad++;
1228
1229     debug("total broad "+total_data_broad);
1230
1231     status=true;
1232
1233 }
1234 }
1235 else{
1236 DRPPacket vpkt_send = new
1237 DRPPacket(msgid,origin,prot,(String)vpkt.getBody(),this.getNodeID(),dest,
1238 dx_thisNode,dy_thisNode,speed_thisNode,stathero,time_send,time_,PSEND,tt
1239 l/**,receivers**/);
1240
1241 for(int i=0; i<(vpkt.getReceiver()).size(); i++){
1242     vpkt_send.setReceiver((vpkt.getReceiver()).get(i));
1243 }
1244     vpkt_send.setReceiver(node);
1245     total_data_broad++;
1246     downPort.doSending(PktSending.getBcastPack(vpkt_send,this.getNodeID
1247 ( ),Address.ANY_ADDR,true,255,0,null));
1248     outgoing.add(vpkt_send);
1249     count_further_broad++;
1250     debug("total broad "+total_data_broad);
1251     status=true;
1252 }
1253 }
1254 }else{
1255     count_store++;
1256 }
1257 }
1258 }
1259 }

```

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

“Car 2 Car Communication Consortium Manifesto”,(2007).

Aquino, R., Edwards, Ar. (2006), “A Reactive Location Routing Algorithm with Cluster-Based Flooding for Inter-Vehicle Communication”, *Computacion y Sistemas* Vol.9 Num.4, pp.297-313.

Atechian, T., Brunie, L. (2008), “DG-CastoR: Direction-based GeoCast Routing Protocol for query dissemination in VANET”, 4th International Workshop on Localized Communication and Topology Protocols for Ad hoc Networks (2008).

Cheng, P.-C., Weng, J.-T., Tung, L.-C., Lee, K. C., Gerla M., and Härrri J. (2008), "GeoDTN+NAV: A Hybrid Geographic and DTN Routing with Navigation Assistance in Urban Vehicular Networks," *Proceedings of the 1st International Symposium on Vehicular Computing Systems (ISVCS'08)*, Dublin, Ireland, July 2008.

E-World: <http://eworld.sourceforge.net/>

Fussler, H., Hannes, H., Jörg, W., Martin, M., Wolfgang, E. (2004), “Contention-Based Forwarding for Street Scenarios,” *Proceedings of the 1st International Workshop in Intelligent Transportation (WIT 2004)*, pages 155–160, Hamburg, Germany, March 2004.

Guangyu, P., Gerla. M., Tsu-Wei. C. (2000), “Fisheye State routing: a routing scheme for ad hoc wireless networks”, *Communications, 2000. ICC 2000. 2000 IEEE International Conference*, 70-47 vol.1, 18-20 June 2000, New Orleans, LA, USA.

Jerbi, M., Senouci, S.-M., Meraihi, R., and Ghamri-Doudane, Y. (2007), “An improved vehicular ad hoc routing protocol for city environments,” *Communications, 2007. ICC '07. IEEE International Conference*, pp. 3972–3979, 24-28 June 2007.

Johnson, D., Maltz, D., Broch, J. (2000), "DSR: the dynamic source routing protocol for multihop wireless ad hoc networks", Ad Hoc Networking, December 2000, pp. 139-172.

J-SIM: <http://j-sim.cs.uiuc.edu/>

Karp, B. and Kung, H. T (2000), "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks." In Mobile Computing and Networking, pages 243-254, 2000.

Kihl, M., Sichitiu, M., Joshi, H. (2008), "Design and Evaluation of two Geocast protocols for Vehicular Ad-hoc Networks", Journal of Internet Engineering, Vol. 2, No. 1, 2008.

Korkmaz, G., Ekici, E., Ozguner, F., Ozguner, U. (2004), "Urban multi-hop broadcast protocol for inter-vehicle communication systems", In VANET '04: Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks (2004), pp. 76-85.

Lee U., Cheung R., Gerla, M., "Emerging Vehicular Applications," Chapter 9 of Vehicular Networks: From Theory to Practice, Chapman & Hall/Crc Computer and Information Science Series, March 17, 2009.

Lee, K. C., Haerri, J., Lee, U., and Gerla, M. (2007), "Enhanced perimeter routing for geographic forwarding protocols in urban vehicular scenarios," Globecom Workshops, 2007 IEEE, pp. 1–10, 26-30 Nov. 2007.

Lee, K., Le, M., Haerri J., and Gerla, M. (2008), "Louvre: Landmark overlays for urban vehicular routing environments," Proceedings of IEEE WiVeC, 2008.

Leontiadis, I., Mascolo, C. (2007), "GeOpps: Geographical Opportunistic Routing for Vehicular Networks," World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2007. WoWMoM 2007. IEEE International Symposium on a , vol., no., pp.1-6, 18-21 June 2007.

Lochert, C., Hartenstein, H., Tian, J., Fussler, H., Hermann, D., Mauve, M. (2003), "A routing strategy for vehicular ad hoc networks in city environments," Intelligent Vehicles Symposium, 2003. Proceedings. IEEE , vol., no., pp. 156-161, 9-11 June 2003.

Lochert, C., Mauve, M., Füssler, H., and Hartenstein, H., "Geographic routing in city scenarios," SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev., vol. 9, no. 1, pp. 69–72, 2005.

Naumov, V., Baumann, R., Gross, T. (2006), "An evaluation of Inter-Vehicle Ad-hoc Networks Based on Realistic Vehicular Traces", Proc. ACM MobiHoc '06 Conf., May, 2006.

Naumov, V., Gross, T.R. (2007), "Connectivity-Aware Routing (CAR) in Vehicular Ad-hoc Networks," INFOCOM 2007. 26th IEEE International Conference on Computer Communications. IEEE , vol., no., pp.1919-1927, 6-12 May, 2007.

OpenStreetMap: <http://www.openstreetmap.org/>

Park, V.D., Corson, M.S. (1997), "A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks," INFOCOM '97. Sixteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings IEEE , vol.3, no., pp.1405-1413 vol.3, 7-12 Apr 1997.

Perkins, C.E., Royer, E.M. (1999), "Ad hoc On Demand Distance Vector Routing" , Mobile Computing Systems and Applications, 1999. Proceedings. WMCSA '99. Second IEEE Workshop on, 25-26 Feb 1999, New Orleans, LA, USA.

Schnauffer, S., Effelsberg, W. (2008), "Position-based unicast routing for city scenarios," World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2008. WoWMoM 2008. 2008 International Symposium on a , vol., no., pp.1-8, 23-26 June 2008.

Schoch. E., Kargl. F., Leinmuller. T., Weber M. (2008), "Communication Patterns in VANETs",

Seet, B.-C., Liu, G., Lee, B.-S., Foh, C. H., Wong, K. J., Lee, K.-K. (2004), "A-STAR: A Mobile Ad Hoc Routing Strategy for Metropolis Vehicular Communications." NETWORKING 2004, 989-999.

Sivagurunathan, S., Subathra, P., Mohan. V., Ramaraj, R. (2009), "Authentic Vehicular Environment Using a Cluster Based Key Management", European Journal of Scientific Research, ISSN 1450-216X Vol.36 No.2 (2009), pp.299-307.

Tonguz, O., Wisitpongphan, N., Bai, F., Mudalige, P., Sadekar, V. (2007), "Broadcasting in VANET", 2007 Mobile Networking for Vehicular Environments, 11 May 2007, pp. 7-12, Anchorage, AK.

VanetMobiSim: <http://vanet.eurecom.fr/>

Vishal. K., Narottam. C, (2010), Data Scheduling in VANETs: A Review, International Journal of Computer Science & Communication, Vol1, No. 2, July-December 2010, pp. 399-403.

Zeadally. S., Hunt. R., Chen. Y., Irwin. Ar., Hassan Am.(2010), "Vehicular ad hoc networks (VANETs): status, results and challenges"

Zhao, J.; Cao, G. (2006), "VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery in Vehicular Ad Hoc Networks," INFOCOM 2006. 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Proceedings , vol., no., pp.1-12, April 2006.