

Θέμα πτυχιακής εργασίας

Mathematical Modeling and Analysis of Computer Networking with
Applications in Wireless Communications

Επιβλέποντες : Δρ. Ιωάννης Κούγιας

Δρ. Λαμπρινή Σερεμέτη

Ανδρέας Μπίζιος Α.Μ.24

ANTIPPIO 2018

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Η εξέλιξη των επικοινωνιών

- 1.1 *Ιστορική αναδρομή*
- 1.2 *Πρωτόκολλα και επικοινωνία δικτύων*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Συστήματα δικτυακής Προσομοίωσης

- 2.1 *Δικτυακή προσομοίωση*
- 2.2 *Δικτυακοί προσομοιωτές*
- 2.3 *NETSIM*
- 2.4 *CPSIM*
- 2.5 *NIST (National Institute of Standards and Technology)*
- 2.6 *INSANE*
- 2.7 *NEST*
- 2.8 *COMNET III*
- 2.9 *REAL*
- 2.10 *NS (Network Simulator)*
- 2.11 *TeD (Telecommunications Description Language)*
- 2.12 *OPNET (Optimized Network Engineering Tool)*
- 2.13 *JiST*
- 2.14 *OMNeT++*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Επισκόπηση του φυσικού επιπέδου

- 3.1 *Εισαγωγή*
- 3.2 *Αρχιτεκτονική του Προτύπου*

- 3.3 Παράμετροι και τεχνικά χαρακτηριστικά του προτύπου 802.11p
- 3.4 Μαθηματική απεικόνιση του πακέτου OFDM για το 802.11p
- 3.5 Ανάδευση (*scrambling*) δεδομένων
- 3.6 Συνελικτικός κωδικοποιητής
- 3.7 *Block Interleaver*
- 3.8 OFDM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Μοντέλα Κινητικότητας

- 4.1 Εισαγωγή
- 4.2 Μοντέλα κίνησης
- 4.3 Τυχαία Μοντέλα
- 4.4 Μοντέλο Τυχαίου Περιπάτου (*Random Walk Model*)
- 4.5 Μοντέλο Markov
- 4.6 Αφαιρετικό Μοντέλο Καταστάσεων Κίνησης (*Abstract Mobility State Model*)
- 4.7 Το εξομαλυσμένο Τυχαίο Μοντέλο Κίνησης (*Smooth Random Mobility Model*)
- 4.8 Κανονικός Περίπατος (*Normal Walk*)
- 4.9 Κανονικός Περίπατος (*Compact Normal Walk*)
- 4.10 Διανυσματικό Μοντέλο Κίνησης
- 4.11 Μοντέλα Κινητικότητας Ομάδας
- 4.12 Ολοκληρωμένο Μοντέλο Κίνησης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Προσομοίωση συστήματος V2V στο λογισμικό Simulink

- 5.1 Εισαγωγή
- 5.2 Εφαρμογές των VANET
- 5.3 Έρευνα για το πρωτόκολλο IEEE 802.11p
- 5.4 Προσομοιώσεις με τη χρήση του NS-2 (*Network Simulator*)

- 5.5 Τοπολογία
- 5.6 Γεννήτρια Κίνησης
- 5.7 Εκτέλεση του σεναρίου
- 5.8 Τελικά γραφήματα – διαγράμματα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρέχεται μια μελέτη προσομοίωσης με το προσομοιωτή Δικτύου NS2 για το προτεινόμενο IEEE 802.11p πρωτόκολλο στο επίπεδο MAC του μοντέλου αναφοράς OSI επικεντρωμένη στην επικοινωνία οχήματος καθοδόν υποδομής. Αποδεικνύεται ότι οι καθορισμένοι MAC παράμετροι για αυτό το πρωτόκολλο μπορούν να οδηγήσουν σε ανεπιθύμητη ρυθμαπώδοση διότι τα μεγέθη των παραθύρων οπισθοδρόμησης δεν είναι προσαρμοστικά στη δυναμική του αριθμού των οχημάτων που προσπαθούν να επικοινωνήσουν. Παρουσιάζονται και ορισμένα μοντέλα κίνησης που βελτιώνουν την απόδοση του προτύπου.

Λέξεις κλειδιά : Προσομοίωση, NS2, ρυθμαπώδοση, μοντελοποίηση

ABSTRACT

This diploma thesis provides a simulation study with the NS2 Network Simulator for the proposed IEEE 802.11p protocol at the MAC level of the OSI reference model centered on vehicle communication on the road infrastructure. It turns out that the specified MAC parameters for this protocol can lead to undesired rhythm because the regression window sizes are not adaptive to the dynamics of the number of vehicles trying to communicate. There are also some motion models that improve the performance of the standard.

Key words: Simulation, NS2, Throughput, Mathematical Modeling

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών

1.1 Ιστορική αναδρομή

Ο αιώνας που πέρασε μπορεί άνετα να χαρακτηριστεί ως ο αιώνας της πληροφορίας. Ο χαρακτηρισμός αυτός οφείλεται στην ανάπτυξη της τεχνολογίας της πληροφορίας σχετικά με την συλλογή, επεξεργασία και διανομή της. Πιο συγκεκριμένα το 1906 έγινε η πρώτη μετάδοση φωνής και μουσικής μέσω ραδιοκυμάτων, μεταξύ του 1928 και 1935 έγινε η πρώτη τηλεοπτική μετάδοση, η εδραίωση των τηλεφωνικών δικτύων, με αποκορύφωμα τις απαρχές του 2ου παγκοσμίου πολέμου όπου έγινε η κατασκευή των πρώτων σύγχρονων υπολογιστικών συστημάτων. Τα πρώτα αυτά συστήματα εκτός του μεγάλου κόστους κατασκευής ήταν και απομονωμένα. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και η επιθυμία των ανθρώπων για επικοινωνία δεν πέρασαν χωρίς να επηρεάσουν τα συστήματα αυτά. Στην δεκαετία του 1960 έγιναν οι πρώτες προσπάθειες διασύνδεσης των συστημάτων αυτών από τους ερευνητές Paul Baran, Donald Davies και Joseph Licklider. Τα συστήματα αυτά είχαν μεγάλο κόστος και συνήθως χρησιμοποιούνταν από τον στρατό. Το πρώτο δίκτυο γεννήθηκε στην Αμερική το 1969 με την ονομασία ARPANET από τον στρατιωτικό οργανισμό ARPA (Advanced Research Projects Agency). Η σκέψη πίσω από το δίκτυο ήταν απλή, η δημιουργία ενός δικτύου μεταφοράς-μεταγωγής δεδομένων το οποίο θα παρέμενε λειτουργικό ακόμα και αν μέρος του μικρό ή μεγάλο είχε καταστραφεί από μια φυσική καταστροφή ή ακόμα και από πυρηνικό πόλεμο. Η αρχή του δικτύου δεν ήταν η δημιουργία ενός κέντρου οργάνωσης αλλά η τοποθέτηση πολυάριθμων ισότιμων κόμβων που θα λειτουργούσαν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον. Το δίκτυο κράτησε την μορφή του μέχρι το 1980 όπου και αποσπάρθηκε το στρατιωτικό κομμάτι του.

Τότε η βιομηχανία των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων αλλά και αυτή των υπολογιστικών συστημάτων απέκτησαν ένα νέο πεδίο έρευνας. Ο τηλεπικοινωνιακός τομέας ανέπτυξε το X25 για την διασύνδεση ενώ η βιομηχανία των υπολογιστικών συστημάτων επένδυσε στην τεχνολογία των δικτύων τοπικής περιοχής (Local Area Networks -LANs). Εκείνη την χρονική περίοδο οι τεχνολογίες Ethernet αλλά και Token Ring αναπτύχθηκαν. Μεγάλοι κατασκευαστές υπολογιστικών συστημάτων ανέπτυξαν δικά τους συστήματα διασύνδεσης μερικά από αυτά είναι:

- XNS της Xerox
- DecNet της DEC
- SNA της IBM
- NetBIOS της Microsoft
- Appletalk της Apple

Κάπου εκεί αρχίζει και η παρακμή του ARPANET με τον διάδοχο του TCP/IP να κερδίζει έδαφος. Το TCP/IP αναπτύχθηκε αρχικά σε περιβάλλον Unix οδηγώντας στην υιοθέτησή του από την πανεπιστημιακή και ερευνητική κοινότητα που ήδη χρησιμοποιούσε συστήματα Unix. Παρότι ο οργανισμός προτύπων ISO, επεχείρησε να δημιουργήσει σουίτα με πρωτόκολλα δικτύων έχοντας και την στήριξη κρατών, τελικά, το TCP/IP επικράτησε καθολικά. Συμπληρωματικά, με την διαθεσιμότητα 'ελαφρών' εκδόσεων της TCP/IP σουίτας, ήδη αξιοποιείται στο διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things) οδηγώντας σε προβλέψεις ότι το 2020 θα υπάρχουν 50 δισεκατομμύρια συνδεδεμένων συσκευών σε πληθυσμό 7,6 δισεκατομμύρια ανθρώπων.

Υπάρχουν πολλές κατηγοριοποιήσεις των δικτύων και κατηγοριοποιούνται:

- Ανάλογα με το φυσικό μέσο δια σύνδεσής τους χαρακτηρίζονται ως ενσύρματα ή ασύρματα.
- Ανάλογα με τον τρόπο πρόσβασης σε αυτά χαρακτηρίζονται ως δημόσια ή ιδιωτικά δίκτυα.
- Ανάλογα με την γεωγραφική κάλυψη του δικτύου

Δίκτυα Τοπικής Περιοχής (Local Area Networks - LANs)

Είναι κυρίως δίκτυα που η γεωγραφική τους έκταση περιορίζεται από ένα ως μερικά κτιριακά συγκροτήματα, δηλαδή δίκτυα που αποτελούνται από συσκευές σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Σε αυτά τα δίκτυα οι χρήστες συνδέονται σε ένα κοινό επικοινωνιακό μέσο υψηλού ρυθμού μετάδοσης και στο περιβάλλον αυτό οι συνδεδεμένες συσκευές επιτρέπεται να διαμοιράζονται μηχανήματα, λογισμικό και δεδομένα και με αυτό τον τρόπο ο τελικός χρήστης έχει την αίσθηση ενός διαφανούς συστήματος. Τα προβλήματα συγκρούσεων στις απαιτήσεις των χρηστών λύνονται με την χρήση σε πρωτόκολλων σε βάρος της βέλτιστης χρησιμοποίησης του μέσου και της μέγιστης απόστασης επικοινωνίας. Το πρότυπο IEEE 802.3, γνωστό και σαν Ethernet, αποτελεί τον πιο δημοφιλή τύπο ενσύρματου τοπικού δικτύου.

Δίκτυα Μητροπολιτικής Περιοχής (Metropolitan Area Networks - MANs)

Σε αυτή την περίπτωση οι δικτυακές συσκευές βρίσκονται σε απόσταση μερικών 10άδων ή 100άδων χιλιομέτρων. Οι τεχνολογίες διασύνδεσης και διαχείρισης σε αυτή την περίπτωση είναι ποιο σύνθετες

Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (Wide Area Networks – WANs)

Σε αυτή την περίπτωση οι δικτυακές συσκευές μπορεί να βρίσκονται σε οποιαδήποτε απόσταση μεταξύ τους, κάνοντας χρήση

εναλλακτικών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων για την σύνδεση, καθώς ακόμα και δικτύων τοπικής περιοχής για την τελική πρόσβαση. Συνήθης πρακτική η χρησιμοποίηση δικτυακών υποδομών τηλεπικοινωνιακών φορέων.

Ασύρματα Δίκτυα Τοπικής Περιοχής (Wireless Local Area Networks - WLANs)

Τα δίκτυα αυτά χαρακτηρίζονται από την χρήση ασύρματου μέσου για την διασύνδεση των συσκευών, δίνοντας στον χρήστη την δυνατότητα να κινείται στον χώρο και να είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο. Η απαιτούμενη υποδομή είναι απλούστερη και επιτρέπει την δυναμική ανάπτυξη τέτοιων δικτύων ανάλογα με την ζήτηση και την χρήση. Από την άλλη πλευρά τα συστήματα αυτά απαιτούν ιδιαίτερη διαχείριση λόγω των απωλειών και αλλοιώσεων του ασύρματου σήματος. Ευρέως διαδεδομένο πρότυπο ασύρματου τοπικού δικτύου είναι το IEEE 802.11, γνωστό και ως WiFi.

Δίκτυα Πελάτη/Εξυπηρετητή (Client/Server)

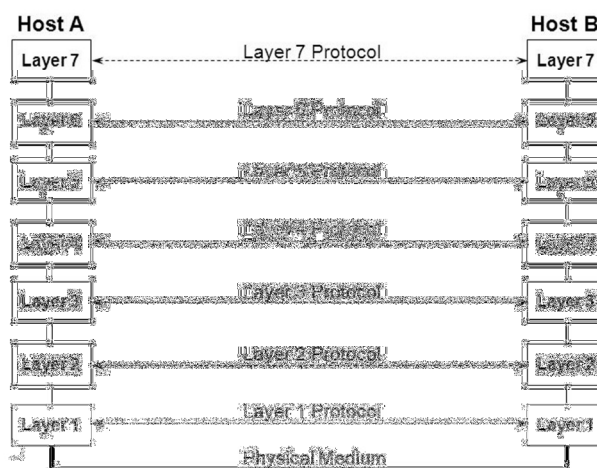
Σε αυτή την διάταξη οι πελάτες είναι διάφορες συσκευές που δημιουργούν διεργασίες με την μορφή αιτημάτων προς τους εξυπηρετητές που είναι πολύ ισχυρές υπολογιστικές μονάδες και αναλαμβάνουν την επεξεργασία των αιτημάτων, αλλά και να δημιουργήσουν και να προωθήσουν την κατάλληλη απάντηση.

Ομότιμα Δίκτυα (Peer-to-Peer)

Σε αυτή την διάταξη δεν υπάρχει συγκεκριμένη διάκριση μεταξύ των συσκευών και των δυνατοτήτων τους. Για παράδειγμα υπάρχει η δυνατότητα μια συσκευή να ενεργήσει είτε σαν πελάτης είτε σαν εξυπηρετητής ανά πάσα χρονική στιγμή. Μοντέλο ευρέως διαδεδομένο σε πολλές σύγχρονες εφαρμογές κυρίως σε εφαρμογές τηλεφωνίας μέσω διαδικτύου αλλά και διανομής αρχείων.

1.2 Πρωτόκολλα και επικοινωνία δικτύων

Όπως γίνεται κατανοητό η ανάπτυξη και επικοινωνία των κόμβων ενός δικτύου είναι αρκετά πολύπλοκη. Προκειμένου να μειωθεί αυτή η πολυπλοκότητα και ο σχεδιασμός των δικτύων αλλά και υλοποίησή τους να γίνει ευκολότερη τα περισσότερα δίκτυα οργανώνονται σε επίπεδα τα επονομαζόμενα layers. Κάθε επίπεδο προσφέρει συγκεκριμένες υπηρεσίες σε ανώτερα επίπεδα χωρίς να αποκαλύπτουν τις λεπτομέρειες και τον τρόπο υλοποίησης της υπηρεσίας από τα άλλα επίπεδα. Για την καλύτερη κατανόηση του παραπάνω το επίπεδο n σε μία δικτυακή συσκευή πραγματοποιεί συνομιλία με το επίπεδο n σε κάποια άλλη συσκευή. Για να επιτευχθεί επικοινωνία πρέπει με κάποιον τρόπο οι συσκευές να μπορούν να διαθέτουν κάποιους κανόνες και συμβάσεις, οι κανόνες αυτοί που διέπουν αυτή την συνομιλία ονομάζονται συνολικά «πρωτόκολλο του επιπέδου n ». Οι συσκευές που υλοποιούν τα αντίστοιχα επίπεδα ονομάζονται ομότιμες (peers) και επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο.



Σχήμα 1 : Ιεραρχία πρωτοκόλλων σε δίκτυο επτά επιπέδων

Ανάμεσα σε κάθε ζεύγος γειτονικών επιπέδων υπάρχει μια διασύνδεση (interface), η οποία ορίζει τις στοιχειώδεις λειτουργίες και τις υπηρεσίες τις οποίες παρέχει το κατώτερο επίπεδο προς το ανώτερο επίπεδο. Το σύνολο των επιπέδων και των πρωτοκόλλων ονομάζεται αρχιτεκτονική δικτύου (network architecture), οι προδιαγραφές της οποίας πρέπει να παρέχουν επαρκείς πληροφορίες ώστε να επιτρέπουν την ανάπτυξη/επιλογή λογισμικού/υλικού ώστε να εφαρμόζονται αξιόπιστα τα κατάλληλα πρωτόκολλα. Οι λεπτομέρειες της υλοποίησης και οι προδιαγραφές των διασυνδέσεων δεν αποτελούν μέρος της αρχιτεκτονικής, αφού είναι κρυμμένες μέσα σε κάθε οντότητα και δεν είναι ορατές από τον έξω κόσμο. Κάθε φορά δημιουργίας και σχεδίασης των επιπέδων ο “αρχιτέκτονας” θα πρέπει να έχει λύσεις για τα παρακάτω βασικά ζητήματα:

- Addressing: Με την έννοια addressing αναφερόμαστε στον μηχανισμό για την αναγνώριση των αποστολέων και των παραληπτών
- Κανόνες μεταφοράς δεδομένων (Directions for data transfer): μονόδρομη (simplex), ημι-αμφίδρομη (half-duplex), πλήρως αμφίδρομη (full-duplex) επικοινωνία.
- Logical channels: τουλάχιστον δύο ανά σύνδεση (ένα για κανονικά δεδομένα και ένα για επείγοντα)
- Error control: και τα δύο άκρα της σύνδεσης πρέπει να συμφωνήσουν στη χρήση των ίδιων κωδικών ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων. Επιπλέον, ο παραλήπτης πρέπει να έχει ένα τρόπο ειδοποίησης του αποστολέα σχετικά με τα μηνύματα που έχει λάβει ορθά και το αντίθετο.
- Message sequencing or ordering: προφανής λύση είναι να αριθμούνται τα μηνύματα, κάτι που όμως αφήνει ανοικτό το θέμα του τι πρέπει να γίνει με τα μηνύματα που φθάνουν σε εσφαλμένη σειρά.

- Flow control: στόχος είναι η αποτροπή του γρήγορου αποστολέα από το να κατακλύσει έναν αργό παραλήπτη με δεδομένα. Συχνά απαιτείται κάποιου είδους ανάδραση από τον παραλήπτη.
- Mechanisms for disassembling, transmitting, and reassembling messages: Υπάρχει αδυναμία πολλών διεργασιών να δεχθούν αυθαίρετα μεγάλα μηνύματα. Σχετικό ζήτημα είναι το πρόβλημα του τι πρέπει να γίνεται όταν οι διεργασίες επιμένουν να μεταδίδουν δεδομένα σε τόσο μικρές ομάδες ώστε η χωριστή αποστολή τους να είναι αποτελεσματική.
- Multiplexing: όταν δεν είναι αποδοτική η εγκαθίδρυση ξεχωριστής σύνδεσης για κάθε ζεύγος διεργασιών που επικοινωνούν, το κατώτερο επίπεδο μπορεί να αποφασίσει να χρησιμοποιήσει την ίδια σύνδεση για πολλές ασυσχέτιστες συνδιαλέξεις.
- Routing: αφορά την επιλογή της βέλτιστης διαδρομής ανάμεσα στον αποστολέα και τον παραλήπτη. Η απόφαση αυτή συχνά εμπλέκει δύο ή και περισσότερα επίπεδα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Συστήματα δικτυακής προσομοίωσης

Στο κεφάλαιο αυτό θα κάνουμε μια εισαγωγή στην διαδικτυακή προσομοίωση. Θα ορίσουμε το συγκεκριμένο πεδίο και θα περιγράψουμε μια σειρά εργαλείων που προσομοιώνουν δίκτυα. Μέσω αυτής της διαδικασίας, θα εξοικειωθούμε με το αντικείμενο της εργασίας και θα αναδείξουμε την χρησιμότητα του.

2.1 Δικτυακή προσομοίωση

Η προσομοίωση δικτύων είναι μια μέθοδος με την οποία δημιουργούμε το μοντέλο ενός δικτύου μέσω λογισμικού και το τροφοδοτούμε με δεδομένα εισόδου. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα αυτών των δεδομένων πάνω στο μοντέλο μπορούμε να οδηγηθούμε σε συμπεράσματα για την λειτουργία των πραγματικών δικτύων.

2.2 Δικτυακοί προσομοιωτές

Καθώς η τεχνολογία των δικτύων αναπτύσσεται με ταχύτατους ρυθμούς, είναι επιτακτική η ανάγκη κατασκευής υψηλού επιπέδου λογισμικού για την υποστήριξή τους. Η ανάπτυξη και επικράτηση νέων συστημάτων και βελτιωμένων σχεδιασμών ανέκαθεν βασιζόταν και θα συνεχίσει να βασίζεται στην ικανότητα παροχής εκτιμήσεων της απόδοσης τους μέσω αναλυτικών μεθόδων ή προσομοίωσης. Έτσι και

στα ασύρματα δίκτυα όσο και στα ενσύρματα δίκτυα η μοντελοποίηση (modeling) και η προσομοίωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση σχεδιασμών που απευθύνονται σε αυτά.

2.3 NETSIM

Ο NETSIM είναι ένας εξομοιωτής για packet-switches δίκτυα που δουλεύει με βάση τα events. Δεν έχει δυνατότητα αναβάθμισης - εξέλιξης. Χρησιμοποιείται για όλα τα δίκτυα των οποίων τα στοιχεία ανταλλάσσουν μηνύματα. Παρέχει μόνο τα μέσα να προγραμματίζουμε τα events και εξασφαλίζει την επικοινωνία με το χρήστη. Το πακέτο αποτελείται από έναν event manager, I/O ρουτίνες, διάφορα δομικά εργαλεία όπως ουρές και λίστες που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό στοιχείων και ένα toolkit. Το toolkit είναι μια βιβλιοθήκη με συναρτήσεις της C που διευκολύνουν τη διαχείριση των στοιχείων και επιτρέπουν τη δημιουργία, αποθήκευση, φόρτωση και εμφάνιση των δικτυακών ρυθμίσεων. Για να τρέξει μια εξομοίωση ο χρήστης πρέπει να γράψει καινούρια στοιχεία σε C, να αλλάξει μερικά αρχεία, να τα κάνει compile και να τα συνδέσει. Ύστερα δημιουργεί την εξομοίωση με το toolkit.

2.4 CPSIM

Είναι ένα εργαλείο παράλληλης γενικού σκοπού εξομοίωσης. Χρησιμοποιείται δηλαδή για εξομοίωση παράλληλων διακριτών events και είναι κατάλληλος για μεγάλες εξομοιώσεις διακριτού event όπως σε δίκτυα υπολογιστών. Η έκδοση που διατίθεται περιορίζεται από 256 αντικείμενα εξομοίωσης. Υπάρχουν δύο είδη εξομοίωσης: η αισιόδοξη και η συντηρητική. Ο CPsim υιοθετεί το συντηρητικό κανόνα. Στην αισιόδοξη προσέγγιση, τα events δρομολογούνται σε κάθε αντικείμενο από τη στιγμή που γίνεται διαθέσιμο, ενώ στη συντηρητική προσέγγιση

γίνονται στο χρόνο εξομοίωσης t αν δεν αναμένονται άλλα events μέσα σ' αυτό το χρόνο. Στόχος των σχεδιαστών είναι η απόδοση. Δεν υπάρχει γραφικό περιβάλλον για το χρήστη και οι δημιουργοί ισχυρίζονται ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στον καθορισμό ενός μοντέλου με το να σέρνεις εικόνες στην οθόνη. Ο εξομοιωτής σχεδιάστηκε για να δίνει στο χρήστη απόλυτη ελευθερία στο να δημιουργεί μοντέλα. Δεν υπάρχουν επίσης και built-in συναρτήσεις. Γι'αυτό το λόγο έχει σχεδιαστεί για ειδικούς στην εξομοίωση χρήστες.

2.5 NIST (National Institute of Standards and Technology)

Ο NIST είναι ένας εξομοιωτής ATM δικτύων για την μελέτη και την εκτίμηση της απόδοσης των ATM δικτύων και στηρίζεται στον NETSIM του MIT. Τα στοιχεία του είναι τα εξής:

Έχει ως βασικές χρήσεις τον σχεδιασμό ATM δικτύων και την ανάλυση επίδοσης του ATM πρωτοκόλλου. Σαν σχεδιαστικό εργαλείο, ο εξομοιωτής τρέχει με διάφορες ρυθμίσεις δικτύου και φόρτο κίνησης και εξάγει στατιστικά στοιχεία όπως είναι τα link utilization, throughput κτλ. Σαν εργαλείο ανάλυσης πρωτοκόλλου, χρησιμοποιείται για τη μελέτη της συνολικής επίδρασης στο σύστημα ενός συγκεκριμένου πρωτοκόλλου, όπως είναι οι μηχανισμοί για δίκαιη δέσμευση bandwidth, το protocol overhead, το bandwidth utilization, και η αποτελεσματικότητα των μηχανισμών ελέγχου κίνησης. Οι σχεδιαστές υποστηρίζουν ότι τα μοντέλα τμημάτων εξομοίωσης μπορούν εύκολα να αλλάξουν ή να προστεθούν. Δεν υπάρχει βασικά καμιά σημαντική διαφορά με το NETSIM του MIT. Το εργαλείο είναι γι' αυτό το λόγο γραμμένο στη C και παρέχει ένα περιβάλλον μοντελοποίησης αλληλεπίδρασης με ένα GUI που χρησιμοποιεί το X παραθυρικό σύστημα που τρέχει σε πλατφόρμα UNIX. Αυτό εμφανίζει την τοπολογία του δικτύου και τις παραμέτρους που συνδέονται με τα επιμέρους τμήματα (components) που εξομοιώνονται. Παράμετροι εισόδου και εξόδου των επιμέρους

τμημάτων εμφανίζονται σε information windows (παράθυρα πληροφοριών), ενώ η δραστηριότητα του δικτύου καταγράφεται σε παράθυρα μετρικών (meter windows-binary meters, bar graph, histogram, κτλ). Ο εξομοιωτής επίσης έχει έναν διαχειριστή γεγονότων (event manager), I/O ρουτίνες και άλλα εργαλεία για να φτιάχνει τα επιμέρους τμήματα. Ωστόσο ο χρήστης μπορεί να φτιάξει απευθείας με ένα GUI μια νέα τοπολογία δικτύου. Τα περισσότερα αρχεία είναι περίπου ίδια με τον NETSIM, όπως και ο scheduler, αλλά επιμέρους τμήματα έχουν αντικατασταθεί για να ταιριάζουν περισσότερο με τις ATM απαιτήσεις. Τα επιμέρους τμήματα στέλνουν μηνύματα το ένα στο άλλο και αναπαρίστανται από μια ρουτίνα δράσης και μια δομή δεδομένων. Κάθε component έχει για κάθε κατηγορία έναν τύπο και ειδικά μια class μπορεί να περιέχει διάφορους τύπους από components. Στον NIST διαθέσιμες κλάσεις από components είναι: Φυσικο ή Σύνδεσμοι, ATM switches, Broadband Terminal Equipment (B-TE) και ATM αιτήσεις. Ακριβέστερα, οι αιτήσεις ATM είναι γεννήτριες ροής (traffic generators) τύπου TCP/IP, CBR, VBR (batch ή poisson) και ABR (constant, batch ή poisson). Σαν παράδειγμα παραμέτρων, οι παράμετροι εισόδου από ένα switch που παρέχονται από το χρήστη μπορεί να είναι η καθυστέρηση (delay) αποστολής ενός cell, ο slot time, το μέγεθος της ουράς εξόδου, κτλ., ενώ οι παράμετροι εξόδου που παρακολουθούνται από τον εξομοιωτή μπορεί να είναι ο αριθμός των cell που παραδίδονται ή απορρίπτονται, κλπ,

2.6 INSANE

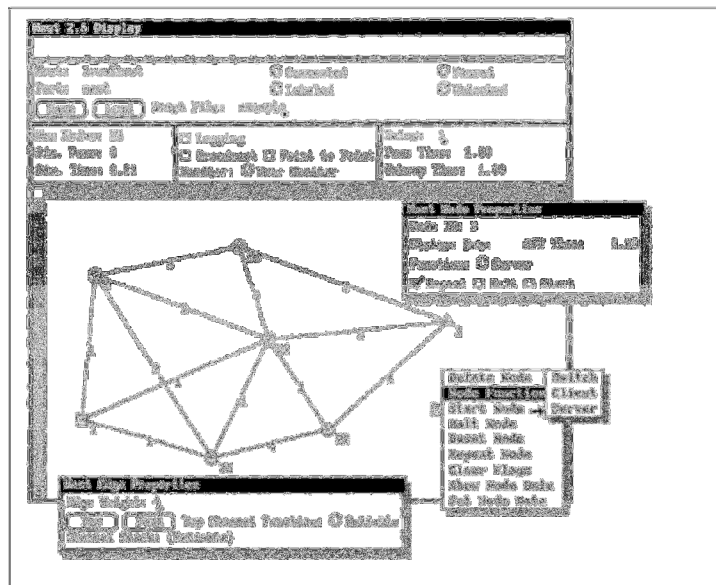
Κατασκευάστηκε για την εκτίμηση απόδοσης διαφόρων IP over ATM κανόνων σε ετερογενή εσωτερικά δίκτυα. Χρησιμοποιήθηκε για την εξομοίωση ευρείας περιοχής ATM κορμών. Να και τα αποτελέσματα προχωράνε off- line, τρέχουν μια σειρά από μετα διαδικαστικά scripts στο αρχείο εξόδου για να αναλύσουν την απόδοση του δικτύου. Ο

INSANE είναι ένας αντικειμενοστραφής, διακριτών events εξομοιωτής. Το βασικό μέρος και ορισμένα βασικά αντικείμενα έχουν γραφεί σε C++. Built-in αντικείμενα συμπεριλαμβάνουν ουρές διαφόρων τύπων και μερικά modules πρωτοκόλλων (IP, TCP, UDP) και εξάγουν ένα σύνολο εντολών που επιτρέπουν τη δημιουργία και τη διαχείριση νέων σύνθετων αντικειμένων όπως είναι ένα ATM switch χρησιμοποιώντας Tcl scripts που υλοποιήθηκαν από αρχεία ρυθμίσεων. Μια βιβλιοθήκη από Tcl scripts παρέχεται μαζί με τον κώδικα. Εξομοίωση και προσαρμογή εκτελούνται γι' αυτό το λόγο μαζί με τα Tcl scripts, έχοντας ως πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζεται κάποια επεξεργασία (compilation) για την κατασκευή νέων εξομοιώσεων. Η Tcl είναι μια μεταφρασμένη γλώσσα, αλλά επειδή δεν υπάρχει κάποια μείωση της απόδοσης με τη χρήση ο βασικός υπολογισμός γίνεται από τον ήδη compiled κώδικα της C++. Χρησιμοποιεί μοντέλα κίνησης από τον Danzig και κίνηση που μιμείται τις αιτήσεις (applications). Οι αιτήσεις τρέχουν πάνω από το εξομοιούμενο IP που με τη σειρά του μπορεί να χρησιμοποιήσει δυο διαφορετικά επίπεδα σύνδεσης δεδομένων (ATM ή LAN γενικά). Η μονάδα ATM χρησιμοποιεί FIFO και RCSP (Rate - Controlled Static Priority) ουρές. Παρέχει ένα απλό AAL πρωτόκολλο παρόμοιο με το AAL5 που κάνει διάσπαση και συναρμολόγηση πακέτων, και ένα πρωτόκολλο σηματοδότησης για να γίνεται έλεγχος πρόσβασης και δέσμευση πόρων για νέα κανάλια. Το εξομοιούμενο switch υλοποιεί Early Packet Discard (EPD). Το IP module χρησιμοποιεί ένα στατικό πίνακα δρομολόγησης που φορτώνεται κατά το χρόνο ρύθμισης. Τα αντικείμενα του INSANE υλοποιούνται βασικά όπως ένα μηχάνημα πεπερασμένης κατάστασης. Τα αντικείμενα επικοινωνούν στέλνοντας events το ένα στο άλλο. Αντιδρούν στα events ενημερώνοντας για τη δική τους κατάσταση και προκαλώντας events. Τα events είναι μηνύματα που περιέχουν το χρόνο στον οποίο το event πρέπει να ξεκινήσει, το αντικείμενο - αποστολέα, τον τύπο και ένα πεδίο δεδομένων. Ο προγραμματιστής (scheduler) παραδίδει events στο σχετικό αντικείμενο

σύμφωνα με χρονολογική σειρά. Στηρίζεται προφανώς σε μια ημερολογιακή ουρά. Οι ημερολογιακές ουρές είναι μια συγκεκριμένη υλοποίηση ουρών προτεραιοτήτων και χρειάζεται ιδιαίτερη επεξεργασία, με τον τρόπο που υποστηρίζεται.

2.7 NEST

Προορίζεται για την εξομοίωση και την προτυποποίηση καταναμημένων αλγορίθμων και συστημάτων. Χρησιμοποιήθηκε για την εξομοίωση συστημάτων εξομάλυνσης φόρτου που βασίζονται σε μικροοικονομικές αρχές, για την μελέτη του προβλήματος ενημέρωσης της τοπολογίας στον ARPANET και άλλα. Είναι καλός για την κατανόηση της συμπεριφοράς πρωτοκόλλων δρομολόγησης, όπως είναι για παράδειγμα οι επαναλήψεις δρομολόγησης. Περιγράφεται καλύτερα σαν ένα μοντέλο πελάτη - εξυπηρετητή: παρουσιάζει τους πελάτες που συνδέονται σε έναν εξυπηρετητή εξομοίωσης μέσω ενός socket. Ο εξυπηρετητής εξομοίωσης είναι υπεύθυνος για την εκτέλεση των εξομοιώσεων. Οι πελάτες είναι ανεξάρτητα προγράμματα που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία, τις ρυθμίσεις ενός μοντέλου εξομοίωσης και τον έλεγχο της εκτέλεσής του, χρησιμοποιώντας ένα



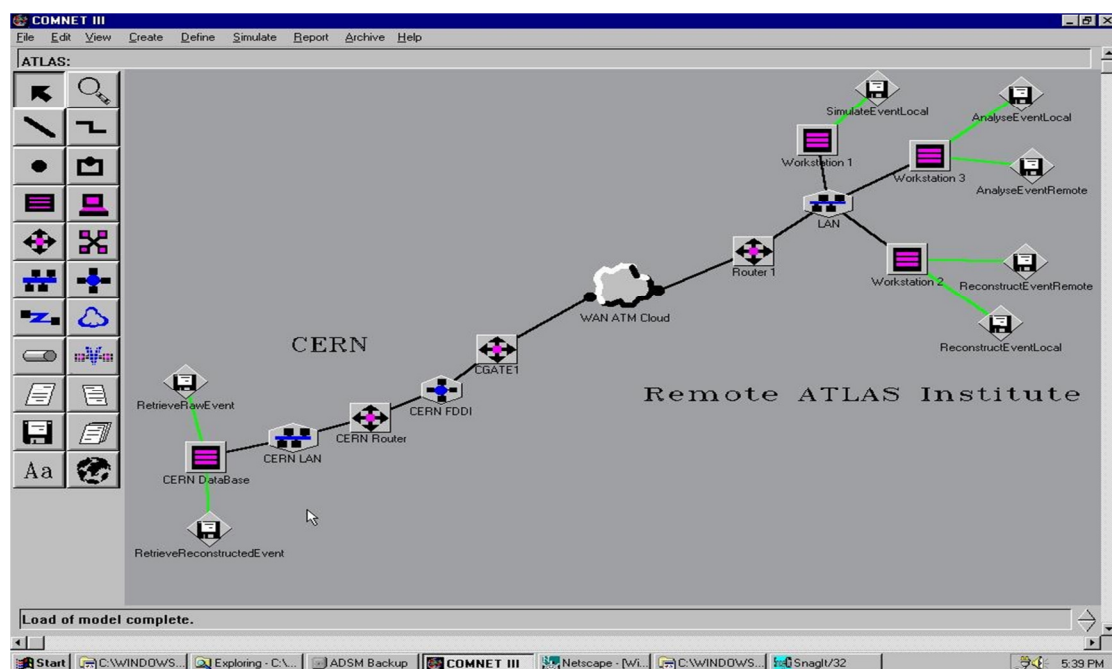
GUI που επικοινωνεί με την εξομοίωση μέσω μιας TCP/IP σύνδεσης και επιτρέπει τη δυναμική δημιουργία και διαμόρφωση των ρυθμίσεων του δικτύου. Το σύστημα απαιτεί μικρό bandwidth επικοινωνίας.

Εικόνα 2 : Γραφικό περιβάλλον του προσομοιωτή Nest

Ξεχωριστά από την εξομοίωση το GUI προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα. Πρώτα απ' όλα, επιτρέπει εξοικονόμηση πόρων της CPU με το να τρέχει την εξομοίωση σε μια dedicated CPU ενώ το GUI τρέχει σε έναν σταθμό εργασίας. Βασικά, μια μελέτη σύνθετης εξομοίωσης μπορεί να εκτελεστεί σε έναν απομακρυσμένο υπέρ-υπολογιστή. Αυτό είναι εξαιρετικά χρήσιμο για μια εργασία πολλών site και αυτό επιτρέπει να υποστηρίζει πελάτες σε ένα δίκτυο ευρείας περιοχής (WAN). Επίσης, αυτός ο διαχωρισμός επιτρέπει πολλαπλά GUIs να αλληλεπιδρούν ταυτόχρονα με την εξομοίωση. Χρήστες μπορούν να συνδεθούν και να αποσυνδεθούν οποιαδήποτε στιγμή. Ο NEST έχει υλοποιηθεί σαν βιβλιοθήκη από συναρτήσεις συνδεδεμένες μεταξύ τους με τον κώδικα του χρήστη. Είναι γραμμένος στη C αν και θα μπορούσε στη θεωρία οποιαδήποτε γλώσσας να χρησιμοποιηθεί εφόσον διέπεται από τη βασική αρχή του σωρού (π.χ. C, Pascal). Οι απλές δραστηριότητες επικοινωνίας του NEST επιτρέπουν στο χρήστη να συνδιαλέγεται μόνο με το υψηλότερο επίπεδο ενός πρωτοκόλλου ή κατανεμημένου συστήματος. Η τοπολογία αναπαρίσταται σαν ένας γράφος διασύνδεσης συνδέσμων και κόμβων που αποθηκεύονται εσωτερικά σαν ένα δέντρο. Ο χρήστης υλοποιεί την τοπολογία ενός δικτύου επικοινωνίας χρησιμοποιώντας ένα σύνολο γραφικών εργαλείων. Νέες λειτουργίες και συμπεριφορές συνδέσμων επικοινωνίας δημιουργούνται από το χρήστη και συνδέονται με το μοντέλο δικτύου.

2.8 COMNET III

Αποτελεί εργαλείο για τους σχεδιαστές δικτύων που μπορεί και υπολογίζει εκ των προτέρων την επίδοση των LAN, WAN, των δικτύων ήχου και δεδομένων μέσω της εξομοίωσης. Το CACI's COMNETIII TM είναι ένα λογισμικό αντικειμενοστραφούς εξομοίωσης δικτύων. Είναι ένα αρκετά καλό εργαλείο εξομοίωσης που μοντελοποιεί την επίδοση των δικτύων και μειώνει το ρίσκο των δικτυακών επενδύσεων. Επιτρέπει στους πελάτες να προβλέψουν και να υπολογίσουν την επίδοση των LAN, WAN και σύνθετων εσωτερικών δικτύων επιχειρήσεων.



Εικόνα 3 : Περιβάλλον του προσομοιωτή COMNET

2.9 REAL

Ο REAL (Realistic And Large) είναι ένας εξομοιωτής δικτύου που προορίζεται για τη μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς της ροής και των σχημάτων ελέγχου συμφόρησης σε δίκτυα μεταγωγής πακέτου. Παρέχει 30 στοιχεία γραμμένα σε C που εξομοιώνουν τα πρωτόκολλα ελέγχου ροής όπως το TCP, και 5 αρχές χρονοπρογραμματισμού όπως FIFO, Fair Queueing, DEC congestion avoidance και Hierarchical

Round Robin. Η περιγραφή της τοπολογίας του δικτύου, πρωτόκολλα φόρτου εργασίας και παράμετροι ελέγχου μεταφέρονται στον εξυπηρετητή χρησιμοποιώντας απλή ascii αναπαράσταση που ονομάζεται NetLanguage, όπου το δίκτυο παριστάνεται ως γράφος. Η τελευταία έκδοση συμπεριλαμβάνει ένα GUI γραμμένο σε JAVA. Η τοπολογία δημιουργείται γραφικά.

2.10 NS (Network Simulator)

Πρόκειται για έναν αντικειμενοστραφή διακριτών- event εξομοιωτή για την έρευνα δικτύων που βασίζεται στον REAL. Ο NS είναι κατάλληλος για packet - switched δίκτυα, και χρησιμοποιείται κυρίως για μικρής κλίμακας εξομοιώσεις αλγορίθμων ουρών, έλεγχο συμφόρησης πρωτοκόλλων μεταφοράς, και κάποια σχετική με multicast δουλειά. Παρέχει υποστήριξη για διάφορες υλοποιήσεις του TCP, δρομολογήσεις, πρωτοκόλλων multicast, στρωμάτων σύνδεσης, MAC, κτλ.

2.11 TeD (Telecommunications Description Language)

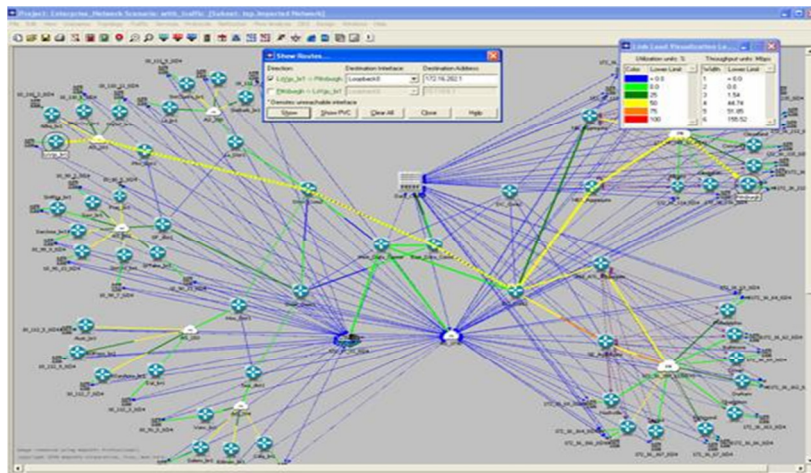
Ο TeD ξεκίνησε από μια ανάγκη για μια γλώσσα μοντελοποίησης δικτύου που θα είχε τη δυνατότητα παράλληλης εξομοίωσης. Ο TeD είναι μια γλώσσα που έχει σχεδιαστεί κυρίως για τη μοντελοποίηση δικτυακών στοιχείων και πρωτοκόλλων. Τεχνικά, είναι μια αντικειμενοστραφής γλώσσα στην οποία η συμπεριφορά κάθε αντικειμένου, κάθε οντότητας, εκφράζεται μέσω διαδικασιών που τρέχουν μέσα στα πλαίσια αυτού του αντικειμένου. Τα αντικείμενα επικοινωνούν μεταξύ τους ανταλλάσσοντας events πάνω σε προκαθορισμένα και εκ των προτέρων δρομολογημένα κανάλια. Μπορεί να ενσωματωθεί C++ κώδικας μέσα στα εκτελέσιμα κομμάτια των μοντέλων του TeD. Συμπεριλαμβάνει έναν compiler που μεταφράζει τα

μοντέλα του TeD σε C++ κώδικα που χρησιμοποιεί τον GTW (Georgia Tech Time Warp) για παράλληλη εξομοίωση.

2.12 OPNET (Optimized Network Engineering Tool)

Ο OPNET παρέχει ένα βοηθητικό περιβάλλον ανάπτυξης για τον καθορισμό, την εξομοίωση και την ανάλυση επιδόσεων των επικοινωνιακών δικτύων. Μπορεί να υποστηριχθεί ένα μεγάλο εύρος επικοινωνιακών δικτύων από ένα απλό LAN μέχρι και ένα μεγάλο δορυφορικό δίκτυο. Εξομοιώσεις διακριτών γεγονότων χρησιμοποιούνται ως μέσο για την ανάλυση της επίδοσης συστημάτων και της συμπεριφοράς τους. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του OPNET συνοψίζονται στα εξής:

- Μοντελοποίηση και κύκλος εξομοίωσης. Ο OPNET παρέχει ισχυρά εργαλεία που βοηθούν το χρήστη να προχωρήσει στις τρεις από τις πέντε φάσεις ενός κύκλου σχεδίασης (π.χ. η δημιουργία μοντέλων, η εκτέλεση μιας εξομοίωσης και η ανάλυση των αποτελεσμάτων).
- Ιεραρχική μοντελοποίηση. Ο OPNET χρησιμοποιεί μια ιεραρχική δομή για μοντελοποίηση. Κάθε επίπεδο της ιεραρχίας περιγράφει διαφορετικές προσεγγίσεις του συνολικού μοντέλου που εξομοιώνεται.
- Ειδικεύεται στα επικοινωνιακά δίκτυα. Αναλυτικά μοντέλα βιβλιοθηκών παρέχουν υποστήριξη για τα υπάρχοντα πρωτόκολλα και επιτρέπει στους ερευνητές και τους κατασκευαστές είτε να ρυθμίσουν τα υπάρχοντα μοντέλα ή να αναπτύξουν νέα μοντέλα από μόνοι τους.
- Αυτόματη δημιουργία εξομοίωσης. Τα μοντέλα του OPNET μπορούν να μετατραπούν σε εκτελέσιμο κώδικα. Μια εκτελέσιμη διακριτών - γεγονότων εξομοίωση μπορεί να αποκωδικοποιηθεί ή και να εκτελεστεί απλά, δίνοντας τα τελικά αποτελέσματα.



Εικόνα 4: Περιβάλλον του προσομοιωτή Orpet

2.13 JiST

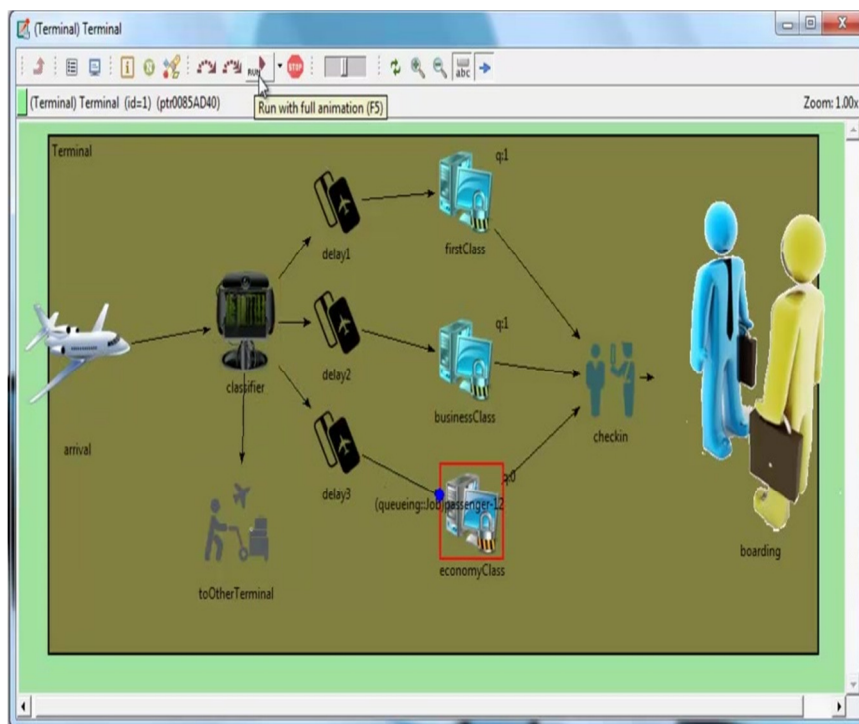
Μια νέα προσέγγιση στο χώρο των δικτυακών προσομοιώσεων είναι το JiST (Java in Simulation Time) που όπως είναι φανερό και από το όνομα του, χρησιμοποιεί την Java για την υλοποίηση των προσομοιώσεων. Οι προσομοιώσεις στο JiST αποτελούνται από οντότητες που αναπαριστούν στοιχεία του δικτύου με τα γεγονότα της προσομοίωσης να σχηματίζονται από κλήσεις μεθόδων αυτών των οντοτήτων.

2.14 OMNeT++

Σε αντίθεση με τον NS-2 και τον NS-3, ο OMNeT++ δεν είναι μόνο δικτυακός προσομοιωτής, αλλά ένας προσομοιωτής διακεκριμένων γεγονότων γενικής χρήσης. Περισσότερο όμως χρησιμοποιείται για προσομοιώσεις δικτύων κάνοντας χρήση του πακέτου INET το οποίο περιέχει μια εκτεταμένη βιβλιοθήκη πρωτοκόλλων. Το OMNeT++ είναι ένας αντικειμενοστραφής προσομοιωτής διακεκριμένων γεγονότων (Discrete Event Simulator- DES). Διαθέτει μια «γενική» αρχιτεκτονική έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς όπως:

- Μοντελοποίηση ασύρματων και ενσύρματων δικτύων επικοινωνιών.
- Μοντελοποίηση πρωτοκόλλων.
- Μοντελοποίηση δικτύων ουρών
- Μοντελοποίηση μικροεπεξεργαστών και άλλων συστημάτων hardware.

Γενικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση οποιουδήποτε συστήματος για το οποίο είναι κατάλληλη η προσέγγιση των διακεκριμένων γεγονότων και το οποίο μπορεί να αντιστοιχηθεί σε οντότητες που επικοινωνούν μεταξύ τους ανταλλάσσοντας μηνύματα.



Εικόνα 5 : Πιθανή επικοινωνία συσκευών μεταξύ τους

Αρχικά, πρέπει να αναφέρουμε το περιβάλλον ανάπτυξης του OMNeT++. Αυτό αποτελείται κατά βάση από το Eclipse, το help του οποίου παραθέτει όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες για να εξοικειωθεί ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης σε μία πρώτη προσέγγιση. Πιο συγκεκριμένα αυτά είναι το Workbench User Guide και το C/C++ Development Use rGuide. Στην συνέχεια, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση και η μελέτη του INET Framework. Αυτό στην ουσία

αποτελεί μια βιβλιοθήκη από έτοιμα simple και compound modules που προσομοιώνουν διαδικτυακές συσκευές και πρωτόκολλα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : IEEE 802.11.p – Επισκόπηση του φυσικού επιπέδου

3.1 Εισαγωγή

Τα ασύρματα δίκτυα υπάρχουν εδώ και μια δεκαετία, αλλά μόλις τα τελευταία χρόνια πραγματοποιήθηκε μια έκρηξη στη χρήση τους, εξαιτίας κυρίως της τεχνολογικής εξέλιξης στις ασύρματες δικτυακές φορητές συσκευές (φορητοί υπολογιστές, PDA, κλπ.) καθώς και της πτώσης της τιμής των τελευταίων. Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να αναπτυχθούν και να παρέχουν δικτυακές υπηρεσίες σε πολλούς διαφορετικούς χώρους και περιβάλλοντα. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε χώρου καθώς και οι ανάγκες των χρηστών υποδεικνύουν μια σειρά από λειτουργικές απαιτήσεις οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό του ασύρματου δικτύου.

Το IEEE 802.11 πρότυπο καταδεικνύει ένα σύνολο προτύπων WLAN που αναπτύσσονται από την ομάδα εργασίας του Institute of Electrical and Electronics Engineers LAN/MAN Standards Committee (IEEE 802). Ο όρος 802.11x χρησιμοποιείται για να δείξει αυτό το σύνολο προτύπων και δεν πρέπει να μπερδευτεί με οποιοδήποτε από τα στοιχεία του. Η

οικογένεια 802.11 περιλαμβάνει αυτή την περίοδο έξι τεχνικές διαμόρφωσης που όλες χρησιμοποιούν το ίδιο πρωτόκολλο . Οι δημοφιλέστερες (και πιο παραγωγικές) τεχνικές είναι εκείνες που καθορίζονται από τις τροποποιήσεις a, b και g στα αρχικά πρότυπα. Η ασφάλεια συμπεριλήφθηκε από την αρχή και ενισχύθηκε αργότερα μέσω της τροποποίησης 802.11i. Άλλα πρότυπα στην οικογένεια (c, f, h, j,n) είναι αναβαθμίσεις υπηρεσιών και επεκτάσεις ή διορθώσεις στις προηγούμενες προδιαγραφές. Το 802.11b ήταν το πρώτο ευρέως αποδεκτό πρότυπο δικτύωσης που ακολουθήθηκε από τα 802.11a και g. Τα πρότυπα 802.11b και g χρησιμοποιούν την ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz που λειτουργεί σύμφωνα με τους κανόνες της FCC (Federal Communications Commission). Το πρότυπο 802.11a χρησιμοποιεί την ζώνη των 5GHz. Η λειτουργία στη ζώνη συχνότητας 2.4GHz του εξοπλισμού 801.11b και 802.11g μπορεί να υποστεί παρεμβολή από φούρνους μικροκυμάτων, ασύρματα τηλέφωνα, συσκευές Bluetooth, και άλλες συσκευές που χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη συχνοτήτων. Το πρότυπο 802.11 αναπτύχθηκε καλύπτοντας δυο τρόπους λειτουργίας. Σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο, στο δίκτυο εντοπίζεται η παρουσία ενός σταθμού βάσης ο οποίος καλείται σημείο πρόσβασης (access point) και από τον οποίο περνούν όλες οι επικοινωνίες προκειμένου να διανεμηθούν στα διάφορα κινητά τερματικά (τοπολογία με δίκτυο υποδομής). Ο δεύτερος τρόπος αναπτύσσεται απουσία του σταθμού βάσης, οπότε η μετάδοση πραγματοποιείται απευθείας από το ένα σύστημα στο άλλο (δίκτύωση ad hoc).

Αναλυτικότερα, το αρχικό πρότυπο του IEEE 802.11 χρησιμοποιεί ρυθμούς μετάδοσης 1Mbps και 2 Mbps και υποστηρίζει τεχνολογίες απλωμένου φάσματος (DSSS και FHSS) και υπέρυθρης ακτινοβολίας (DFIR) για τη μετάδοση στο φυσικό στρώμα. Επιπλέον σε ότι αφορά το διαθέσιμο φάσμα το εν λόγω πρότυπο λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz. Αρχικά τα χαρακτηριστικά αυτά ικανοποιούσαν τις ανάγκες των χρηστών μα όταν αυτές αυξήθηκαν αναζητήθηκαν νέα πρότυπα.

Έτσι προέκυψε το πρότυπο IEEE 802.11a το οποίο χρησιμοποιεί μεγαλύτερο φάσμα συχνοτήτων καθώς λειτουργεί στην ζώνη των 5.0GHz και υποστηρίζει μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης στα 54 Mbps. Το IEEE 802.11a χρησιμοποιεί την τεχνική της ορθογωνικής πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας. Το πρότυπο 802.11b είναι μεταγενέστερο και χρησιμοποιεί την ίδια ζώνη συχνοτήτων με το IEEE 802.11 να παρουσιάζει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης τα 11Mbps και υποστηρίζει μόνο την τεχνική απλωμένου φάσματος ευθείας ακολουθίας (DSSS) για τη μετάδοση δεδομένων. Τέλος, το πρότυπο IEEE 802.11g, που είναι και το νεότερο διαθέτει τα ίδια χαρακτηριστικά με το IEEE 802.11a με τη μόνη διαφορά ότι λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz.

Τα πρότυπα αυτά με τα διαφοροποιημένα χαρακτηριστικά τους ευνοούν διάφορες εφαρμογές και ταυτόχρονα παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, τα πρότυπα IEEE 802.11 a.g λόγω του ρυθμού μετάδοσης των 54Mbps που υποστηρίζουν ευνοούν την ανάπτυξη σύγχρονων εφαρμογών όπως το κινητό εμπόριο (m-commerce) και τις υπηρεσίες που βασίζονται στην εκάστοτε θέση του κινητού (location – based services). Τα πρότυπα που λειτουργούν στις ζώνες ISM των 2.4GHz αντιμετωπίζουν συχνά προβλήματα παρεμβολών καθώς οι ζώνες αυτές προορίζονται για εμπορική χρήση και δεν απαιτούν άδεια λειτουργίας οπότε είναι προσβάσιμες σε πλήθος χρηστών, ενώ το πρότυπο IEEE 802.11a που λειτουργεί σε άλλη ζώνη συχνοτήτων δεν έχει πρόβλημα παρεμβολών και δεν είναι συμβατό με τα υπόλοιπα πρότυπα.

Το 802.11 προσφέρει εννέα βασικές υπηρεσίες. Από αυτές τρεις σχετίζονται με τη μεταφορά δεδομένων και οι υπόλοιπες έξι σχετίζονται με τη διαχείριση. Οι υπηρεσίες αυτές είναι οι εξής:

- Distribution: Η υπηρεσία αυτή είναι απαραίτητη για την παράδοση ενός πλαισίου από το AP στον τελικό προορισμό του. Συνίσταται στον εντοπισμό του παραλήπτη για να είναι δυνατή η τελική παράδοση του πλαισίου.

- **Integration:** Η υπηρεσία αυτή παρέχεται από το σύστημα διανομής. Είναι υπεύθυνη για τη διασύνδεση του συστήματος διανομής σε ένα δίκτυο διαφορετικό του 802.11
- **MSDU Delivery:** Η παράδοση των πλαισίων MAC (MAC Service Data Unit) στον τελικό προορισμό τους.
- **Association:** Απαραίτητη διαδικασία συσχετισμού ενός σταθμού με το AP, προκειμένου να είναι σε θέση να στείλει και να δεχθεί πλαίσια μέσω του ασύρματου δικτύου.
- **Reassociation:** Χρησιμοποιείται από τους κινητούς σταθμούς σε περίπτωση μετακίνησης από μια BSS σε μια άλλη. Είναι μέρος του μηχανισμού της διαπομπής.
- **Disassociation:** Η διαδικασία αυτή αφαιρεί έναν σταθμό από το δίκτυο. Το MAC του 802.11 μπορεί να χειριστεί και σταθμούς που εγκαταλείπουν το δίκτυο χωρίς να κάνουν πρώτα disassociation.
- **Authentication:** Αν απαιτείται από το διαχειριστή του δικτύου, πρέπει κάθε χρήστης να πιστοποιεί την ταυτότητά του πριν προχωρήσει στην διαδικασία του association.
- **Deauthentication:** Τερματισμός μιας ισχύουσας κατάστασης authentication. Τερματίζει επίσης και το association, εφόσον το authentication είναι προαπαιτούμενο αυτού.
- **Privacy:** Λόγω του ασύρματου περιβάλλοντος μετάδοσης έχει οριστεί από το 802.11 μια προαιρετική υπηρεσία κρυπτογράφησης των δεδομένων που ονομάζεται WEP (Wired Equivalent Privacy). Το WEP δεν προσφέρει σε καμία περίπτωση ασφαλής μεταφορά δεδομένων και ήδη μελετάται η αντικατάστασή του.

3.2 Αρχιτεκτονική του Προτύπου

Το πρότυπο IEEE 802.11p είναι ένα σύνολο προδιαγραφών που απαιτείται να ικανοποιεί ένα σύστημα OFDM για να είναι δυνατή η

λειτουργία του υπό το γενικότερο πρότυπο IEEE 802.11 και η συνεργασία του με δίκτυα που χρησιμοποιούν τα άλλα φυσικά επίπεδα. Αναφέρεται σε δίκτυα που χρησιμοποιούν τα άλλα φυσικά επίπεδα. Αναφέρεται σε δίκτυα που λειτουργούν στην μπάντα U-NII (Unlicensed National Information Structure) και συγκεκριμένα στην περιοχή συχνοτήτων 5.850-5.925 GHz. Παρέχονται οι ρυθμοί 3, 6, 9, 12, 18, 24 και 27 Mb/s με διαμορφώσεις BPSK, QPSK, 16-QAM και 64-QAM και χρήση συνελικτικών κωδικών για διόρθωση λαθών με ρυθμούς κώδικα 1/2, 2/3 και 3/4. Στον Πίνακα 1 φαίνονται οι διάφοροι ρυθμοί μετάδοσης και τα αντίστοιχα σχήματα κωδικοποίησης και διαμόρφωσης.

Ρυθμός Μετάδοσης (Mbps)	Διαμόρφωση, Ρυθμός Κώδικα	Bits ανά Σύμβολο	Bits Δεδομένων ανά Συμβόλων
3	BPSK, 1/2	48	24
4.5	BPSK, 3/4	48	36
6	QPSK, 1/2	96	48
9	QPSK, 3/4	96	72
12	16-QAM, 1/2	192	96
18	16-QAM, 3/4	192	144
24	64-QAM, 2/3	288	192
27	64-QAM, 3/4	288	216

Πίνακας 1 : Ρυθμοί μετάδοσης και σχήματα διαμόρφωσης/κωδικοποίησης του φυσικού στρώματος 802.11p

Όπως επιβάλλει το γενικό πρότυπο IEEE 802.11, πρέπει να υλοποιείται ένα στρώμα σύγκλισης PLCP (Physical Layer Convergence Protocol), το οποίο βασικά καθορίζει τη δομή του πλαισίου φυσικού επιπέδου μαζί με τη σημασία κάθε πεδίου εντός του πλαισίου και ένα υπόστρωμα PMD. Στο PMD υπόστρωμα χρησιμοποιούνται διάφορα σχήματα διαμόρφωσης και προβλέπεται υποστήριξη για ρυθμούς μετάδοσης 3

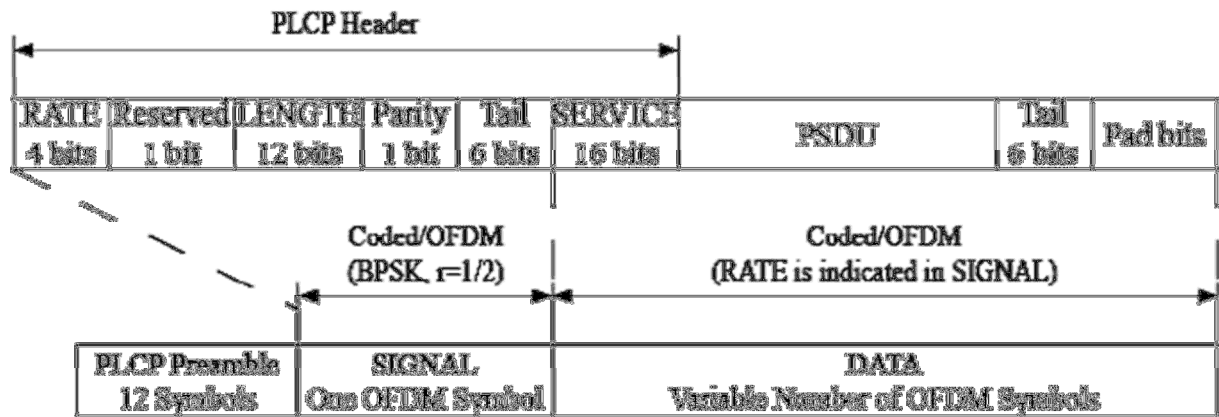
μέχρι και 27Mbps. Σε κάθε περίπτωση το φυσικό στρώμα μεταδίδει έναν αριθμό σύμβολα/sec στα 48 υπό κανάλια που διατίθενται για μετάδοση δεδομένων. Αυτό που μεταβάλλεται είναι ο αριθμός των bits ανά σύμβολο, που σε συνδυασμό με τα επιπλέον bits λόγω της συνελκτικής κωδικοποίησης που προστίθενται καθορίζει τελικά τον πραγματικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Κάθε σχήμα διαμόρφωσης χρησιμοποιείται σε κάθε υπόκανάλι, ενώ κάθε σύμβολο συμπεριλαμβάνει τα 48 υποκανάλια κάθε καναλιού που μεταφέρουν δεδομένα. Αυτό, σε συνδυασμό με τα bits που χρησιμοποιούνται για διόρθωση λαθών, δίνει τελικά το πλήθος των bits δεδομένων που μεταφέρει κάθε σύμβολο.

DATA LINK LAYER 802.11p			
PLCP	SUB	PHY	SUB
LAYER		LAYER	
PMD	SUB	MANAGEMENT	
LAYER			

Πίνακας 2 : Διάρθρωση στρωμάτων του φυσικού επιπέδου για το IEEE 802.11p

Συνοπτικά το PPDU για το IEEE 802.11p απεικονίζεται παρακάτω. Στην αρχή του πεδίου υπάρχει το πεδίο PLCP Preamble, το οποίο αποτελείται από 10 επαναλήψεις μιας ακολουθίας που ονομάζεται μικρή ακολουθία εκπαίδευσης (short training sequence) και από 2 επαναλήψεις μιας ακολουθίας που ονομάζεται μακρά ακολουθία εκπαίδευσης (long training sequence). Η πρώτη ακολουθία χρησιμοποιείται για την σύγκλιση του αυτόματου ελέγχου κέρδους (Automatic Gain Control – AGC), την επιλογή του τρόπου διαφορικής λήψης (diversity selection), το συγχρονισμό (timing acquisition) και τον κατά προσέγγιση προσδιορισμό της συχνότητας (coarse frequency acquisition). Από την άλλη η δεύτερη ακολουθία βοηθάει στην εκτίμηση του καναλιού (channel estimation) και στον ακριβή προσδιορισμό της συχνότητας (fine frequency acquisition). Στο πεδίο SIGNAL περιέχονται δεδομένα που έχουν να κάνουν με την διαμόρφωση, το ρυθμό και το μήκος των

δεδομένων που ακολουθούν στο πεδίο DATA. Για το λόγο αυτό το πεδίο SIGNAL χρησιμοποιεί πάντα διαμόρφωση BPSK και ρυθμό κωδικοποίησης 1/2. Η μορφή του πλαισίου του υποστρώματος PLCP. Ακολουθεί περιγραφή των διαφόρων τμημάτων του πλαισίου.



Εικόνα 6 :Μορφή πλαισίου για το IEEE 802.11p

Preamble

Το πρώτο τμήμα του πλαισίου είναι το Preamble, που αποτελείται από 12 σύμβολα και χρησιμεύει κυρίως για την επίτευξη συγχρονισμού μεταξύ πομπού και δέκτη. Επίσης χρησιμεύει στον δέκτη και για άλλους λόγους, όπως το κλείδωμα στο σήμα ή την επιλογή καλύτερης λήψης αν χρησιμοποιούνται περισσότερες της μιας κεραίας.

Signal

Το τμήμα Signal περιέχει τμήμα της επικεφαλίδας του πλαισίου. Πιο συγκεκριμένα περιέχει τα πεδία Rate, Reserved, Length, Parity και Tail. Το μήκος του είναι 1 σύμβολο ή 24 bits

Rate

Στο πεδίο Rate κωδικοποιείται ο ρυθμός μετάδοσης. Υπάρχουν 8 διαθέσιμοι ρυθμοί μετάδοσης που κωδικοποιούνται κατάλληλα στα 4 bits του πεδίου αυτού.

Reserved

Το πεδίο Reserved είναι διαθέσιμο για μελλοντική χρήση και τίθεται πάντα 0.

Length

Το πεδίο Length περιέχει τον αριθμό των bytes του ενσωματωμένου MAC πλαισίου.

Parity

Το πεδίο Parity είναι bit άρτιας ισοτιμίας για τα πρώτα 16 bit του τμήματος Signal.

Tail

Το πεδίο Tail περιέχει έξι bits 0 που χρησιμεύουν στον συνελικτικό κώδικα που χρησιμοποιείται.

Data

Το τμήμα Data του πλαισίου PLCP περιέχει το πλαίσιο MAC και είναι μεταβλητού μήκους. Επίσης περιέχει πεδίο Servise της επικεφαλίδας του PLCP πλαισίου, το πεδίο Tail και το πεδίο Pad.

Servise

Το πεδίο Servise, που ανήκει στην επικεφαλίδα του πλαισίου PLCP, έχει όλα τα bits μηδενικά. Κάποια χρησιμοποιούνται για το ανακάτωμα (scrambling) των bits του πλαισίου MAC, ενώ τα υπόλοιπα είναι διαθέσιμα για μελλοντική χρήση.

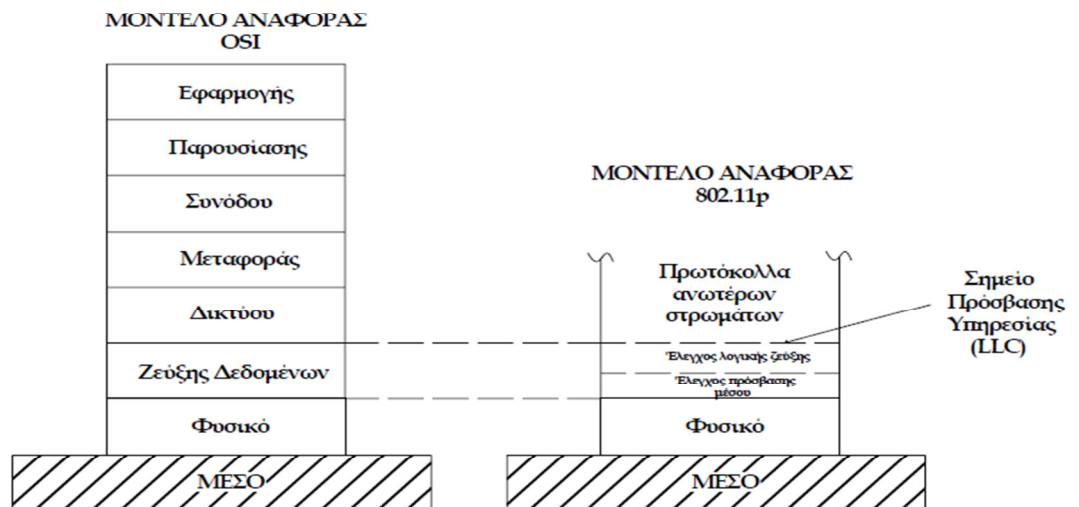
Tail

Το πεδίο Tail χρησιμοποιείται από τον συνελικτικό κώδικα διόρθωσης λαθών.

Pad

Το πεδίο Pad είναι μεταβλητού μήκους και χρησιμεύει στο να κάνει το μήκος του τμήματος Data κατάλληλο για μεταφορά, όπως απαιτεί η εφαρμογή της OFDM στο 802.11p.

Η IEEE 802.11 αρχιτεκτονική αποτελείται από διάφορα συστατικά που αλληλεπιδρούν για να παρέχουν το ασύρματο τοπικό LAN που υποστηρίζει κινητικότητα σταθμών διαφανώς στα ανώτερα στρώματα. Το βασικό μοντέλο αναφοράς των ασύρματων δικτύων IEEE 802.11 παρουσιάζει το χωρισμό του συστήματος σε δυο μέρη, το υπόστρωμα MAC του στρώματος ζεύξης δεδομένων και το φυσικό στρώμα PHY, τα οποία αντιστοιχούν στα χαμηλότερα στρώματα του βασικού μοντέλου αναφοράς ISO/IEC του πρωτοκόλλου Διασύνδεσης Ανοιχτών Συστημάτων (OSI) και στα οποία εμφανίζονται οι βασικές διαφοροποιήσεις χαρακτηριστικών από τα ενσύρματα δίκτυα. Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται το τμήμα του βασικού μοντέλου αναφοράς OSI συγκρινόμενο με τα στρώματα πρωτοκόλλων του 802.11p.



Εικόνα 7 : Σύγκριση βασικού μοντέλου OSI με τα στρώματα του 802.11p

3.3 Παράμετροι και τεχνικά χαρακτηριστικά του προτύπου 802.11p

Τα περισσότερα ασύρματα επικοινωνιακά συστήματα επιδιώκουν να μπορούν να λειτουργούν σε συνθήκες μη οπτικής επαφής, σε συνθήκες δηλαδή όπου η μετάδοση γίνεται μέσω ενός μονοπατιού το οποίο διακόπτεται μερικώς στην ζώνη Fresnel συνήθως από ένα φυσικό αντικείμενο όπως κτίρια και δέντρα. Αυτή η επιδίωξη οφείλεται στο γεγονός ότι στην πραγματικότητα τις περισσότερες φορές δεν μπορεί να υπάρξει άμεση οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη λόγω των φυσικών εμποδίων αλλά και γιατί τα συστήματα που έχουν την δυνατότητα μετάδοσης σε N-LOS (no line of sight) συνθήκες δεν υπόκειται σε τόσο αυστηρούς περιορισμούς σχεδίασης και είναι πιο ευέλικτα και φθηνά στην εγκατάσταση και επέκτασή τους σε σχέση με τα αντίστοιχα συστήματα που λειτουργούν μόνο σε LOS συνθήκες. Ορισμένα συστήματα επικοινωνιών παρέχουν την δυνατότητα λειτουργίας μη οπτικής επαφής καθώς ο σχεδιασμός του φυσικού τους επιπέδου γίνεται στην περιοχή συχνοτήτων 5.85 GHz, η οποία κάνει εφικτή την επικοινωνία σημείων τα οποία δεν βρίσκονται σε οπτική επαφή, κάτι που σε υψηλότερες συχνότητες δεν είναι εφικτό. Το φυσικό στρώμα (PHY) του 802.11p προσφέρει υπηρεσίες μεταφοράς πληροφοριών στο στρώμα σύνδεσης δεδομένων και περιλαμβάνει τις ακόλουθες λειτουργικές οντότητες στη συσκευή αποστολής σημάτων:

- Προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, του σχηματικού αστερισμού διαμόρφωσης και του ρυθμού κώδικα μέσω μηχανισμών προσαρμογής ζεύξης (link adaptation).
- Ανάδευση (scrambling) στα περιεχόμενα των συρμών PDU.

- Κωδικοποίηση των scrambled δυαδικών ψηφίων, σύμφωνα με την προώθηση διόρθωσης σφαλμάτων κατά τη διάρκεια προσαρμογής του φυσικού στρώματος PHY.
- Διαμόρφωση υποφερόντων με τη χαρτογράφηση των παρεμβαλλόμενων bits στα σημεία διαμόρφωσης αστερισμού.
- Παραγωγή του σύνθετου σήματος βασικής ζώνης από OFDM διαμόρφωση.
- Προσθήκη κυκλικού προθέματος παρεμβάλλοντας τους πιλοτικούς υποφέροντες, που επισυνάπτουν την κατάλληλη ακολουθία συγχρονισμού στο αντίστοιχο συρμό PDU στον εκπομπό.
- Εκτέλεση ασύρματης εκπομπής διαμορφώνοντας τη ραδιοσυχνότητα του φέροντος με το σύνθετο σήμα βασικής ζώνης του πομπού. Στο σχήμα φαίνεται το μπλοκ διάγραμμα του φυσικού επιπέδου του συστήματος που θα μελετήσουμε.

Στις επόμενες παραγράφους, γίνεται η αναλυτική παρουσίαση του προτύπου. Θα ακολουθήσουμε ακριβώς τη σειρά των μπλοκ του σχήματος αυτού δίνοντας τις απαραίτητες πληροφορίες που διέπουν την λειτουργία του κάθε μπλοκ. Προτού περάσουμε όμως στην ανάλυση των μπλοκ καλό θα ήταν να περιγράψουμε την δομή του OFDM συμβόλου το οποίο και θα μεταδοθεί.

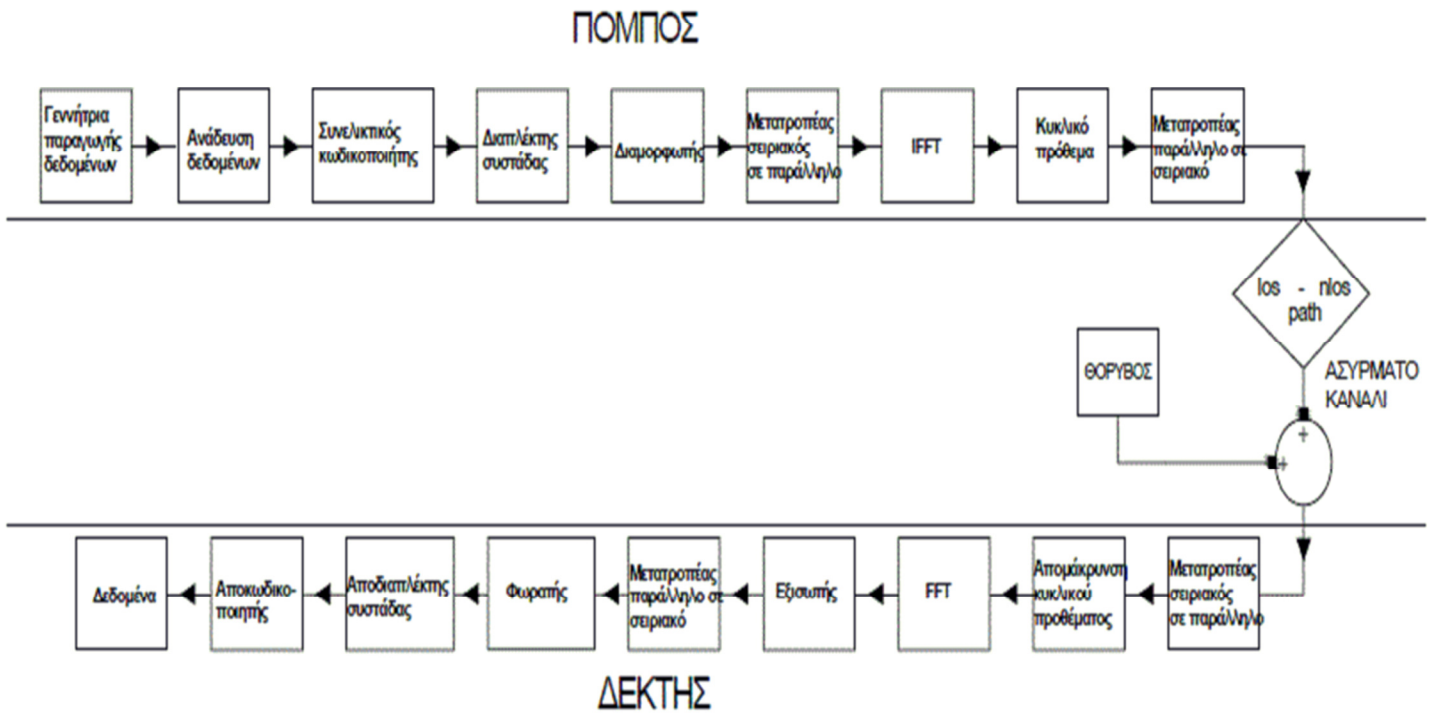
3.4 Μαθηματική απεικόνιση του πακέτου OFDM για το 802.11p

Για την περιγραφή του εκπεμπόμενου σήματος στη βασική ζώνη ισχύει ότι:

$$r_{\text{PACKET}}(t) = r_{\text{PREAMBLE}}(t) + r_{\text{SIGNAL}}(t - t_{\text{SIGNAL}}) + r_{\text{DATA}}(t - t_{\text{DATA}})$$

όπου για κάθε συνιστούν σήμα ισχύει η συνθήκη μιγαδική απεικόνιση βασικής ζώνης:

$$r_{(RF)}(t) = R\{ r(t) e^{2\pi f t} \}$$



Εικόνα 8 : Μπλοκ διάγραμμα του φυσικού επιπέδου του 802.11.p

Κάθε πεδίο εντός του πλαισίου αποτελείται από ένα ή περισσότερα σύμβολα OFDM, οπότε θα σχηματίζεται σαν ένας αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier από τους συντελεστές για κάθε υποφέρων. Άρα θα έχουμε την απεικόνιση

$$r_{SUBFRAME}(t) = W_{T_{SUBFRAME}}(t) \sum c_K e^{j2\pi k\Delta (t - T)}$$

Στην προηγούμενη σχέση, εκτός από τις παραμέτρους χρονισμού που ορίζονται στον παρακάτω πίνακα περιγράφεται και μια συνάρτηση παραθύρου κυρίως για λόγους εξομάλυνσης και μείωσης των πλευρικών φασματικών λοβών του εκπεμπόμενου σήματος.

$$w_T(t) = \left\{ \begin{array}{ll} \sin^2\left(\frac{\pi}{2}\left(0.5 + \frac{t}{T_{TR}}\right)\right), & -\frac{T_{TR}}{2} < t < \frac{T_{TR}}{2} \\ 1, & \frac{T_{TR}}{2} < t < T - \frac{T_{TR}}{2} \\ \sin^2\left(\frac{\pi}{2}\left(0.5 - \frac{t-T}{T_{TR}}\right)\right), & t - \frac{T_{TR}}{2} < t < t + \frac{T_{TR}}{2} \end{array} \right\}$$

Αναλυτικότερα, η μικρή ακολουθία εκπαίδευσης χρησιμοποιεί 12 από τα 52 διαθέσιμα υποφέροντα, όπως φαίνεται και στη σχέση που ακολουθεί

$$S_{-26,26} = \sqrt{\frac{13}{6}} \left(0, 0, 1+j, 0, 0, 0-1-j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0, 0, -1-j, 0, 0, 0-1-j, 0, 0, 0, 1+j, \right. \\ \left. 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1-j, 0, 0, 0, -1-j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0 \right)$$

Ο πολλαπλασιαστικός παράγοντας κανονικοποιεί την εκπεμπόμενη ενέργεια. Το σήμα της μικρής ακολουθίας θα είναι τελικά

$$r_{SHORT}(t) = w_{TSHORT}(t) \sum_{k=-N_{ST/2}}^{N_{ST/2}} S_k e^{j2\pi k \Delta_f t}$$

$$L_{-26,26} = \left(\begin{array}{l} 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 1, \\ -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, 1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 1 \end{array} \right)$$

Το σήμα της μακράς ακολουθίας είναι

$$r_{LONG}(t) = w_{TLONG}(t) \sum_{k=-N_{ST/2}}^{N_{ST/2}} L_k e^{j2\pi k \Delta_f (t - T_{G12})}$$

Στο πεδίο DATA ο αριθμός των bits πρέπει να είναι πολλαπλάσιο του N_{DBPS} . Για το λόγο αυτό το μήκος του μηνύματος επιμηκύνεται ώστε να γίνει πολλαπλάσιο του του N_{DBPS} . Αν N_{SYM} είναι ο αριθμός των OFDM συμβόλων, N_{DATA} ο αριθμός των bits στο πεδίο DATA και N_{PAD} ο αριθμός των bits επέκτασης θα ισχύουν

$$r_{PREAMBLE}(t) = r_{SHORT}(t) + r_{LONG}(t - T_{SHORT})$$

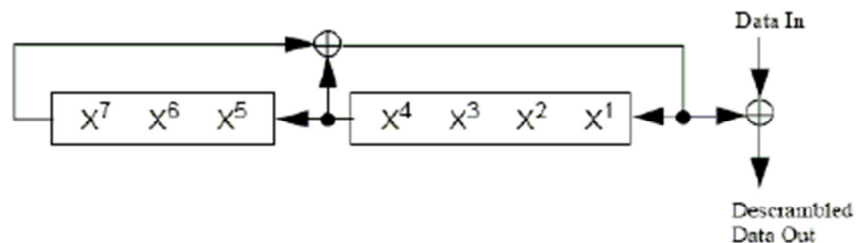
$$\text{όπου } N_{SYM} = \left\lceil \frac{16 + 8xLENGTH + 6}{N_{DBS}} \right\rceil$$

$$N_{DATA} = N_{SYM} \times N_{DBPS}$$

$$N_{PAD} = N_{DATA} - (16 + 8xLENGTH + 6)$$

3.5 Ανάδευση (scrambling) δεδομένων

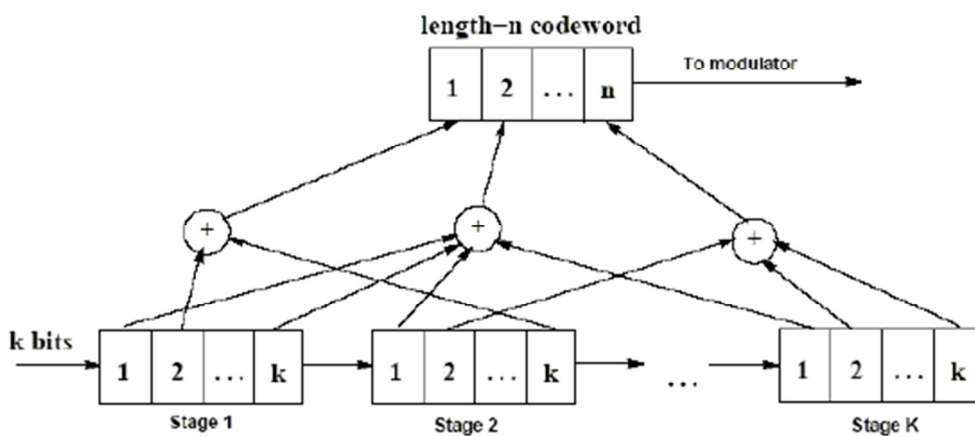
Η πληροφορία όπως φτάνει από τα ανώτερα στρώματα του φυσικού επιπέδου περνάει από έναν περιπλέκτη – αναδευτήρα (scrambler). Πράγματι το περιεχόμενο κάθε συρμού PDU (N_{BPDU} bits) από το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (DLC) θα αναδεύσει με έναν αναδευτήρα (scrambler) διάρκειας 127 bit. Πρόκειται για έναν γραμμικό καταχωρητή ολίσθησης με ανάδραση, που χρησιμοποιείται για να αποφεύγονται μακρές ακολουθίες συνεχόμενων 0 και 1, μειώνοντας έτσι την DC συνιστώσα του σήματος. Το πολυώνυμο σύνδεσης για τον καταχωρητή είναι η $S(x) = x^7 + x^4 + 1$ ενώ εικονίζεται στο σχήμα. Ο ίδιος αναδευτήρας (scrambler) θα χρησιμοποιηθεί και για να αναδεύσει τα δεδομένα μετάδοσης και για να αποαναδεύσει τα λαμβανόμενα δεδομένα στον δέκτη. Όλοι οι συρμοί PDU που ανήκουν σε ένα πλαίσιο της MAC μεταδίδονται με τη χρησιμοποίηση της ίδιας αρχικής κατάστασης για την ανάδευση (scrambling) ενώ όταν μεταδίδεται κάποιο σήμα η αρχική κατάσταση του περιπλέκτη θα είναι μια ψευδό-τυχαία μη μηδενική κατάσταση.



Εικόνα 9 :Σχηματικό διάγραμμα του αναδευτήρα (scrambler)

3.6 Συνελικτικός κωδικοποιητής

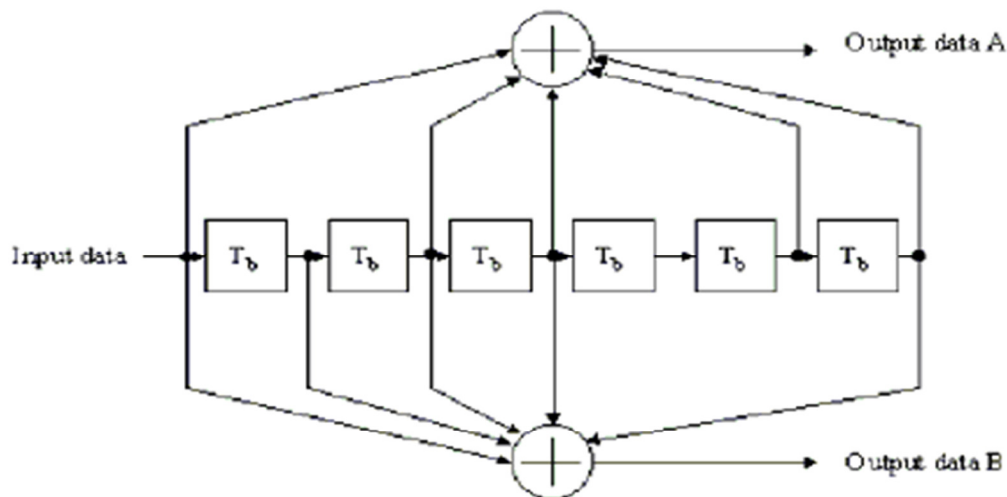
Ένας συνελικτικός κωδικοποιητής δημιουργεί κωδικοποιημένα σύμβολα εισάγοντας τα bits πληροφορίας μέσα σε ένα γραμμικό καταχωρητή πεπερασμένων καταστάσεων (linear finite – state shift register) όπως φαίνεται στο σχήμα



Εικόνα 10 : Συνελικτικός κωδικοποιητής

Ο καταχωρητής ολίσθησης (shift register) αποτελείται από K επίπεδα με k bits σε κάθε επίπεδο. Υπάρχουν n δυαδικοί επιπλέον τελεστές με εισόδους απ' όλα τα K επίπεδα. Αυτοί οι τελεστές παράγουν μια codeword μήκους n για κάθε ακολουθία εισόδου k bits. Ειδικότερα, η δυαδική ακολουθία εισόδου μεταθέτει στο επόμενο επίπεδο του καταχωρητή k bits τη φορά, και κάθε μια από αυτές τις μεταθέσεις παράγει μια κωδικοποιημένη ακολουθία μήκους n. Ο ρυθμός του κώδικα (code rate) είναι $R_c = k/n$. Ο αριθμός των καταστάσεων K του καταχωρητή καλείται constraint length του καταχωρητή. Από το σχήμα είναι φανερό ότι το μήκος n της codeword εξαρτάται από τα $k \times K$

εισερχόμενα bits, σε αντίθεση με τους block codes των οποίων οι codewords εξαρτώνται μόνον από τα τελευταία k εισερχόμενα bits. Έτσι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των συνελικτικών κωδικών, είναι ότι ο encoder έχει μνήμη, από την στιγμή που στη διαδικασία παραγωγής των codewords παίρνουν μέρος όχι μόνον τα νέα εισερχόμενα bits, αλλά και μερικά από τα προηγούμενα. Όταν μια codeword μήκους n δημιουργείται από έναν convolutional encoder, αυτή η codeword εξαρτάται από τα k εισερχόμενα bits στη πρώτη βαθμίδα (stage) του καταχωρητή, καθώς επίσης και από την κατάσταση του encoder, η οποία καθορίζεται από τα περιεχόμενα των υπόλοιπων $K-1$ βαθμίδων του καταχωρητή. Για να μπορέσουμε να χαρακτηρίσουμε τον συνελικτικό κώδικα, θα πρέπει να περιγράψουμε το πως η δημιουργία της codeword εξαρτάται τόσο από τα k εισερχόμενα bits, όσο και από την κατάσταση του encoder, η οποία έχει $2^{(K-1)}$ πιθανές τιμές. Για το πρότυπο μας χρησιμοποιείται συνελικτικός κώδικας, ο οποίος υλοποιείται όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήματος



Εικόνα 11 :Συνελικτικός κωδικοποιητής για το IEEE 802.11p

Πρόκειται για έναν τυπικό συνελκτικό κώδικα με πολυώνυμα γεννήτορες $g_0 = 133_8$ και $g_1 = 171_8$ με ρυθμό $1/2$. Καθώς στο πρότυπο περιγράφονται και άλλοι ρυθμοί εκτός του $1/2$ είναι απαραίτητο να υπάρχει τρόπος για την επίτευξη των ρυθμών αυτών. Συνεπώς χρησιμοποιείται διάτρηση (puncturing) του κώδικα, δηλαδή αφαιρούνται με ένα καθορισμένο τρόπο κωδικοποιημένα ψηφία από το ρεύμα που αποστέλλεται αυξάνοντας έτσι το ρυθμό του κώδικα. Στην πλευρά του δέκτη στη θέση των ψηφίων που αφαιρέθηκαν επανατοποθετούνται μηδενικά στο ρεύμα εισόδου και κατόπιν εκτελείται αποκωδικοποίηση για την οποία προτείνεται ο αλγόριθμος Viterbi συγκεκριμένα για την επίτευξη του ρυθμού $2/3$ χρησιμοποιείται ο πίνακας διάτρησης

$$P_{2/3} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ενώ για το ρυθμό $3/4$ ο πίνακας

$$P_{3/4} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

3.7 Block Interleaver

Για την επίτευξη διαφορικής λήψης (diversity) χρησιμοποιείται διαπλέκτης (interleaver). Το interleaving στοχεύει στο να διανείμει τα μεταδιδόμενα bit σε χρόνο ή συχνότητα για να επιτύχει την επιθυμητή διανομή εσφαλμένων bit μετά την αποδιαμόρφωση. Αυτό που αποτελεί μια επιθυμητή διανομή σφάλματος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των καναλιών. Εάν το σύστημα λειτουργεί σε ένα καθαρά AWGN (Additive Wave Gaussian Noise) περιβάλλον, δεν απαιτείται

interleaving, επειδή η διανομή σφάλματος δεν μπορεί να αλλάξει από επανεντοπισμό των bits. Το interleaving ουσιαστικά αφορά ένα στάδιο όπου τα ψηφία παραλλάσσονται με έναν καθορισμένο τρόπο. Η παραλλαγή αυτή εκτελείται από έναν block interleaver με μέγεθος που αντιστοιχεί στον αριθμό των bits μέσα σε ένα σύμβολο OFDM σε δυο στάδια. Το block interleaving λειτουργεί σε ένα block από bits κάθε φορά. Ο αριθμός bits στο block καλείται βάθος interleaving (interleaving depth), και καθορίζει την καθυστέρηση που εισάγει το interleaving. Ένα block interleaving μπορεί να περιγραφεί ως μήτρα στην οποία τα δεδομένα γράφονται στην οποία τα δεδομένα γράφονται στις στήλες και διαβάζονται στις σειρές, ή και αντίστροφα. Ο block interleaver είναι απλός στο να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας μνήμη τυχαίας πρόσβασης (RAM) στα ψηφιακά κυκλώματα.

- Στο πρώτο στάδιο διαδοχικά ψηφία παραλλάσσονται ώστε να αντιστοιχούν σε μη διαδοχικά φέροντα μέσα στο OFDM σύμβολο
- Στο δεύτερο στάδιο επιτυγχάνεται η αντιστοίχιση διαδοχικών ψηφίων σε λιγότερο και περισσότερο αξιόπιστα ψηφία πάνω στον αστερισμό του σχήματός διαμόρφωσης, ώστε να αποφεύγονται επιμηκείς ακολουθίες αναξιόπιστων συμβόλων.

Το interleaving εισάγει αναγκαστικά καθυστέρηση στο σύστημα επειδή τα bits δεν λαμβάνονται στην ίδια σειρά όπως τα μεταδίδει η πηγή πληροφορίας. Ολόκληρο το επικοινωνιακό σύστημα συνήθως υπαγορεύει κάποια μέγιστη καθυστέρηση που το σύστημα μπορεί να ανεχτεί περιορίζοντας ως εκ τούτου το μέγεθος interleaving που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Όλα τα κωδικοποιημένα bits δεδομένων θα γίνουν interleaved από μια ομάδα δεδομένων interleaver με ένα μέγεθος ομάδας δεδομένων που αντιστοιχεί στον αριθμό δυαδικών ψηφίων σε ένα ενιαίο OFDM σύμβολο. Το interleaver καθορίζεται από μια μετατροπή δυο βημάτων. Το πρώτο εξασφαλίζει ότι τα παρακείμενα κωδικοποιημένα bits χαρτογραφούνται εναλλακτικά σε μη –

παρακείμενα υπό – φέροντα. Η δεύτερη μετατροπή εξασφαλίζει ότι τα παρακείμενα κωδικοποιημένα bits χαρτογραφούνται εναλλακτικά πάνω σε λιγότερο και περισσότερο σημαντικά bits του αστερισμού, και από αυτό αποφεύγονται μακρές εκτελέσεις από χαμηλής αξιοπιστίας bits. Οι εξισώσεις που περιγράφουν την πρώτη παραλλαγή είναι

$$i = \left(\frac{N_{CBPS}}{16} \right) (k \bmod 16) + \left\lfloor \frac{k}{16} \right\rfloor, k = 0, 1, 2, \dots, N_{CBPS} - 1$$

και για την δεύτερη

$$j = s x \left\lfloor \frac{i}{s} \right\rfloor + \left(i + N_{CBPS} - \left\lfloor \frac{16xi}{N_{CBPS}} \right\rfloor \right) \bmod s, i = 0, 1, 2, \dots, N_{CBPS} - 1$$

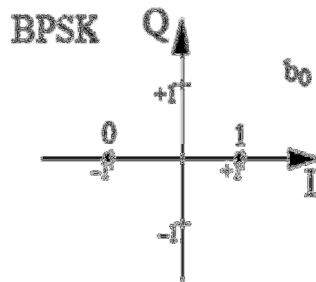
ενώ για το δεύτερο ισχύει

$$k = 16xi - (N_{CBPS} - 1) \left\lfloor \frac{16xi}{N_{CBPS}} \right\rfloor, i = 0, 1, 2, \dots, N_{CBPS} - 1$$

Διαμόρφωση Σημάτων

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του φυσικού επιπέδου στο 802.11p είναι ότι τα χαρακτηριστικά της μετάδοσης δεδομένων είναι προσαρμοζόμενα σύμφωνα με τις συνθήκες μετάδοσης. Αυτό σημαίνει ότι η διαμόρφωση και το σχήμα κωδικοποίησης μπορούν να προσαρμόζονται και να αλλάξουν για κάθε χρήστη ξεχωριστά ακόμα και σε κλίμακα χρόνου της τάξεως ενός frame. Οι διαμορφώσεις που χρησιμοποιούνται είναι:

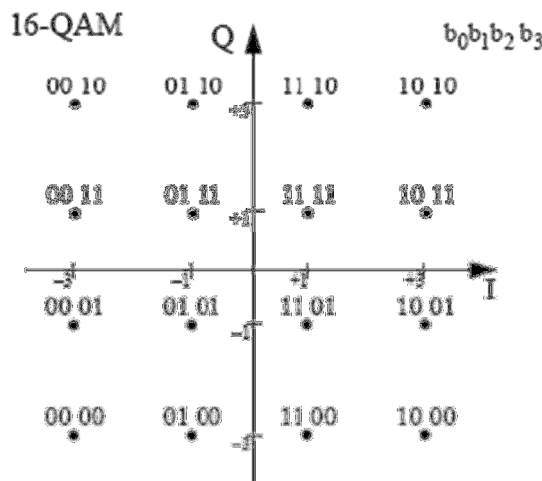
- Δυαδική διαμόρφωση με μετατόπιση φάσματος (Binary Phase-Shift Keying, BPSK): είναι το ψηφιακό σχήμα διαμόρφωσης που μεταλλάσει τα δεδομένα αλλάζοντας τη φάση του φερόμενου κύματος. Συγκεκριμένα στην δυαδική χρησιμοποιούνται 2 φάσεις που διαφέρουν μεταξύ τους κατά 180° . Έτσι επιτυγχάνεται να αποστέλλονται ένα bit ανά σύμβολο.



Εικόνα 12: BPSK Σχήμα διαμόρφωσης για το IEEE 802.11p

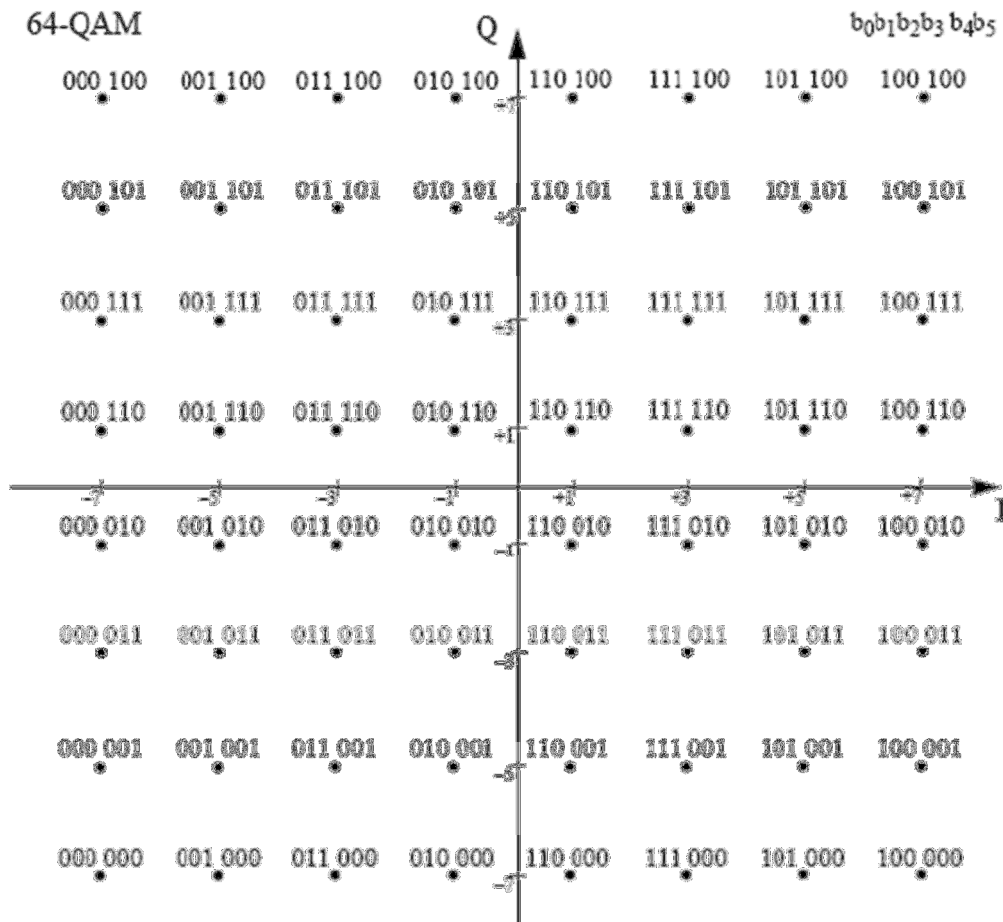
Τετραγωνική διαμόρφωση πλάτους 16 σημείων (16-Quadrature Amplitude, 16-QAM): είναι το ψηφιακό σχήμα διαμόρφωσης που μετατρέπει τα δεδομένα αλλάζοντας το πλάτος δυο φερόντων κυμάτων. Αυτά τα δυο κύματα είναι συνήθως ημιτονοειδούς μορφή και έχουν διαφορά φάσης 90° .

Με την 16-QAM επιτυγχάνουμε να αποστείλουμε 4 bits ανά σύνολο.



Εικόνα 14: 16QAM Σχήμα διαμόρφωσης για το IEEE 802.11p

Τετραγωνική διαμόρφωση πλάτους 64 σημείων (64 – Quadrature Amplitude Modulation, 64-QAM): είναι αντίστοιχη με τα 16 σημεία, μόνο που μπορούμε να αποστείλουμε 6 bits ανά σύμβολο.



Εικόνα 15: 64QAM Σχήμα διαμόρφωσης για το IEEE 802.11p

3.8 OFDM

Το φυσικό στρώμα (PHY) του 802.11p χρησιμοποιεί την μετάδοση ορθογωνικής πολυπλεξίας με διαίρεση συχνότητας (OFDM). Τα υποφέροντα του OFDM θα διαμορφωθούν με χρήση διαμόρφωσης BPSK, QPSK, 16QAM ή 64QAM

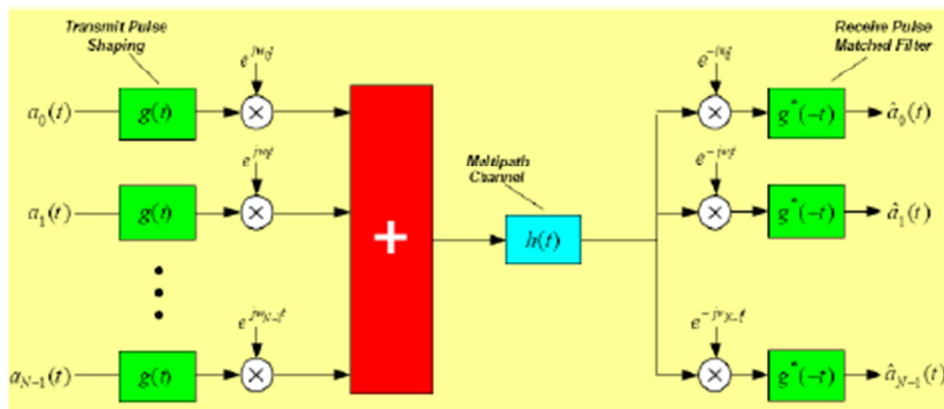
ανάλογα με την επιλεγμένη κατάσταση φυσικού στρώματος (PHY) για τη μετάδοση δεδομένων. Τα interleaved bits δεδομένων εισόδου διαιρούνται σε ομάδες N_{BPSC} (1, 2, 4, ή 6) δυαδικών ψηφίων και μετατρέπονται σε σύνθετους αριθμούς που αντιπροσωπεύουν τα σημεία αστερισμών BPSK, QPSK, 16QAM ή 64QAM. Η μετατροπή θα εκτελεστεί σύμφωνα με κωδικοποιημένες χαρτογραφήσεις αστερισμών Grey. Έτσι η έξοδος από τον κωδικοποιητή θα είναι $d = (I + jQ) \times K_{\text{MOD}}$ όπου I είναι η συμμαφασική συνιστώσα, Q η κάθετη συνιστώσα και K_{MOD} μια σταθερά κανονικοποίησης της εκπεμπόμενης ενέργειας, ώστε η μέγιστη ενέργεια ανά bit να είναι ίδια για όλες τις διαμορφώσεις. Οι τιμές της σταθεράς για κάθε διαμόρφωση δίδονται στον πίνακα 3

Modulation	K_{MOD}
BPSK	1
QPSK	$1/\sqrt{2}$
16-QAM	$1/\sqrt{10}$
64-QAM	$1/\sqrt{42}$

Πίνακας 3 : Η σταθερά κανονικοποίησης για κάθε διαμόρφωση

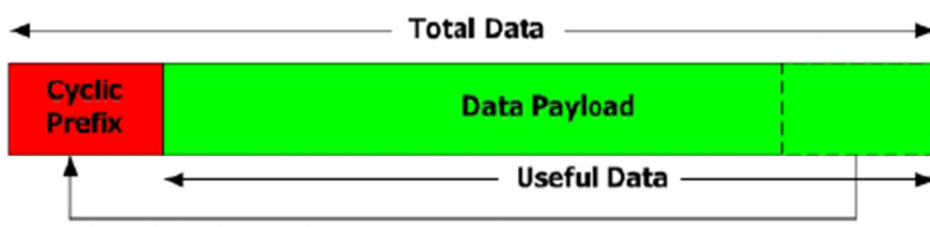
Ο παράγοντας κανονικοποίησης K_{MOD} εξαρτάται από τη διαμόρφωση. Σημειώστε ότι ο τύπος διαμόρφωσης μπορεί να ποικίλει από ένα συρμό PDU σε άλλο συρμό PDU ενώ μέσα σε έναν και μόνον συρμό PDU

χρησιμοποιείται μόνο ένας τύπος διαμόρφωσης. Ο σκοπός του παράγοντα κανονικοποίησης είναι να επιτευχθεί η ίδια μέση ισχύς για όλες τις χαρτογραφήσεις. Ο παράγοντας κανονικοποίησης K_{MOD} πρέπει να υποδεικνύει μόνο αυτό το γεγονός και κανέναν κανόνα εφαρμογής. Στις πρακτικές εφαρμογές μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια κατά προσέγγιση τιμή του παράγοντα κανονικοποίησης, εφ' όσον η συσκευή πληρεί τις γενικές προδιαγραφές απόδοσης συσκευών μετάδοσης και λήψης σημάτων που προσδιορίζονται στο παρόν έγγραφο. Η OFDM είναι ένα σχήμα διαμόρφωσης πολλαπλών φερόντων συχνοτήτων που κωδικοποιεί δεδομένα σε ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα. Αντίθετα, από τα σχήματα διαμόρφωσης με μοναδικό φέροντα όπου ένα σήμα στο χρόνο μπορεί να χρησιμοποιεί τη συχνότητα, το OFDM στέλνει πολλαπλά σήματα παράλληλα σε συχνότητες που είναι ειδικά υπολογισμένες να είναι ορθογώνιες μεταξύ τους. Ουσιαστικά, τα εισερχόμενα δεδομένα διαιρούνται σε πολλαπλά παράλληλα σε μικρότερες ροές δεδομένων μειωμένου ρυθμού και στη συνέχεια κάθε ροή διαμορφώνεται και μεταδίδεται ξεχωριστά ορθογώνια ως προς τις άλλες συχνότητες.



Εικόνα 16: Ο τρόπος λειτουργίας του OFDM. Κάθε σήμα που θα χρησιμοποιήσει το ίδιο κανάλι επικοινωνίας, πολλαπλασιάζεται με ορθογώνια σήματα. Στην αποκωδικοποίηση, μέσω του μετασχηματισμού Fourier παίρνουμε το αρχικό σήμα.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του OFDM είναι το επιπλέον εύρος ζώνης που αποκομίζει. Στην κλασική διαίρεση συχνότητας, το συνολικό εύρος ζώνης διαιρείται σε διάφορα υποκανάλια, τα οποία όμως περιέχονται μέσα σε διαστήματα ασφαλείας, έτσι ώστε να μειώνονται οι παρεμβολές μεταξύ των υποκαναλιών. Στο OFDM επειδή οι συχνότητες των υποκαναλιών είναι κατάλληλες επιλεγμένες έτσι ώστε να είναι ορθογώνιες, αυτά τα διαστήματα ασφαλείας δεν είναι απαραίτητα και επομένως παραλείποντας τα, κερδίζουμε επιπλέον εύρος ζώνης. Επίσης, η ορθογωνιότητα επιτρέπει να υλοποιήσουμε τον κωδικοποιητή και τον και τον αποκωδικοποιητή χρησιμοποιώντας τον FFT και έτσι η επεξεργασία του σήματος να είναι ταχύτερη. Το μεγάλο μειονέκτημα του OFDM είναι η απαιτητικότητα του για μεγάλο συγχρονισμό μεταξύ πομπού και δέκτη. Οποιαδήποτε έλλειψη συγχρονισμό μετατρέπει τις φερόμενες συχνότητες σε μη ορθογώνιες, δημιουργώντας το πρόβλημα γνωστό ως inter – carrier interference (ICI). Ένα από τις περιπτώσεις έλλειψης συγχρονισμού εμφανίζεται από την μετακίνηση του πομπού ή του δέκτη εξαιτίας του φαινομένου Doppler. Η κατάσταση μπορεί να επιδεινωθεί σε περιπτώσεις που το φαινόμενο του multipath propagation delay είναι ισχυρό.



Εικόνα 17: ένας από τους μηχανισμούς συγχρονισμού είναι μέσω της τεχνική Cyclic Prefix, η οποία ουσιαστικά είναι μια αντιγραφή ενός κομματιού από το τέλος στην αρχή και έτσι μετατρέπεται ο κώδικας σε κυκλικός.

Το OFDM βασίζεται σε μια βασική παρατήρηση ότι τα σήματα με μικρότερους ρυθμούς μετάδοσης συμβόλων υποφέρουν λιγότερο από πρόβλημα παρεμβολών που δημιουργούνται από το multipath. Έτσι είναι πιο αποτελεσματικό να μεταδίδουμε έναν αριθμό από σύμβολα σε χαμηλό ρυθμό παράλληλα, παρά σε μοναδική ροή δεδομένων με υψηλό ρυθμό. Αναφορικά με τη διόρθωση του συγχρονισμού μεταξύ πομπού και δέκτη, μια από τις πιο αποτελεσματικές λύσεις είναι η εισαγωγή ενός διαστήματος φρουρού (guard interval) μεταξύ των συμβόλων OFDM. Στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μεταδίδεται το cyclic prefix (CP), το οποίο αποτελείται την αντιγραφή ενός κομματιού από το τέλος του OFDM συμβόλου. Ο λόγος που αντιγράφεται και αποστέλλεται ένα κομμάτι από το τέλος είναι να μετατρέψει το σήμα σε περιοδικό το οποίο καταστείλει τις παρεμβολές από το multipath propagation. Το βασικό μειονέκτημα του CP είναι ότι δημιουργεί ένα overhead και έτσι μειώνεται το bandwidth. Η αποκωδικοποίηση του σήματος γίνεται χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό Fourier (FFT) και με τεχνικές άμεσης διόρθωσης λαθών (Forward Error Correction, FEC). Η τεχνική FEC επιτρέπει στο δέκτη να διορθώσει έναν αριθμό λαθών χωρίς να ζητήσει επαναμετάδοση της πληροφορίας μιας και το μέσο είναι ασύρματο. Η τεχνική FEC, βασίζεται σε επιπλέον bits που έχουν προστεθεί ως overhead στο αρχικό μήνυμα και έτσι ο δέκτης όχι μόνο μπορεί και ανιχνεύει έναν αριθμό λαθών, αλλά μπορεί να υπολογίζει ποιο είναι το πιθανότερο μήνυμα που ήθελε να μεταδώσει ο αποστολέας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Μοντέλα Κινητικότητας

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτή την ενότητα περιγράφουμε εν συντομία διάφορα πρότυπα κίνησης που έχουν συζητηθεί και μελετηθεί στις κινητές τηλεπικοινωνίες στο πρόσφατο παρελθόν. Με την αυξανόμενη ζήτηση για τις εφαρμογές πολυμέσων, τις ενήμερες για τη θέση του τερματικού υπηρεσίες και για την αποθηκευτική ικανότητα των συστημάτων, αναγνωρίζεται πλέον όλο και περισσότερο ότι η μοντελοποίηση και η διαχείριση της θέσης και της κίνησης ενός αντικειμένου είναι κρίσιμες για τον εντοπισμό του στα ασύρματα δίκτυα πληροφοριών. Παρόλο που η υποστήριξη της κινητικότητας παρέχει μεγάλη ευκολία και ευελιξία στους κινητούς χρήστες, ταυτόχρονα εισάγει πολλά ζητήματα στην αρχιτεκτονική, τον προγραμματισμό και την αξιολόγηση της απόδοσης των δικτύων. Επίσης, η μοντελοποίηση της κίνησης και της θέσης επηρεάζει έντονα την επιλογή και την απόδοση των διαχειριστικών αλγορίθμων κίνησης και των πόρων ενός δικτύου, για παράδειγμα, τη δρομολόγηση και τη μεταπομπή. Η θέση ενός χρήστη μπορεί να μοντελοποιηθεί ή να περιγραφεί με διαφορετικές μεθόδους, ανάλογα με την υποδομή του δικτύου. Στα κυψελοειδή δίκτυα ένας σταθμός βάσης χρησιμεύει ως σημείο πρόσβασης για την παροχή των ασύρματων υπηρεσιών.

Δεδομένου ότι στα δίκτυα αυτά κάθε σταθμός βάσης καλύπτει μία κυψέλη, η θέση ενός κινητού αντικειμένου περιορίζεται σε μία κυψέλη. Αυτό σημαίνει ότι, εφόσον γνωρίζουμε την κυψέλη όπου βρίσκεται ο κινητός χρήστης, η θέση του καθορίζεται από την ίδια την κυψέλη. Σε αντίθεση με τα παραπάνω, ο εντοπισμός της θέσης των κινητών χρηστών στα ειδικά (ad hoc) δίκτυα δεν μπορεί να περιγραφεί από την κυψέλη στην οποία βρίσκεται.

Τα πρότυπα κίνησης των χρηστών διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάλυση της απόδοσης των ασύρματων δικτύων. Στα κυψελοειδή δίκτυα η συμπεριφορά της κίνησης ενός χρήστη έχει άμεσες επιπτώσεις στην κίνηση της σηματοδοσίας που απαιτείται για τις μεταπομπές και τη διαχείριση θέσης (ανανέωση και αναζήτηση θέσης η Location and Paging updates. Τα επιπρόσθετα μηνύματα σηματοδοσίας στη ραδιοεπαφή καταναλώνουν τους ραδιοπόρους και αυξάνουν το φόρτο δικτύου. Επιπλέον, η κινητικότητα επιδρά σημαντικά στο χρόνο εκμετάλλευσης καναλιών στις κυκλωματομεταγωγείς (circuit-switched) υπηρεσίες, γεγονός που με τη σειρά του επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την πιθανότητα φραγής και απόρριψης μιας κλήσης.

Οι παραπάνω λόγοι καθιστούν τη μοντελοποίηση της κίνησης δομικό στοιχείο για τις μελέτες που βασίζονται σε αναλύσεις και προσομοιώσεις ασύρματων και ειδικών δικτύων. Τα μοντέλα κίνησης είναι συνεπώς απαραίτητα για το σχεδιασμό μηχανισμών ενημέρωσης και αναζήτησης θέσης, για τη διαχείριση των ραδιοπόρων (π.χ. δυναμικός καταμερισμός καναλιών η dynamic channel allocation schemes) και για την αρχιτεκτονική και τον προγραμματισμό των δικτύων (π.χ. κυψελοειδής δομή περιοχής θέσεων, διαστάσεις δικτύου). Η επιλογή του μοντέλου κίνησης επιδρά σημαντικά στα αποτελέσματα που αποκομίζονται με συνέπεια, αν ένα μοντέλο είναι μη ρεαλιστικό, να μπορεί να παραχθούν μη έγκυρα συμπεράσματα. Η μοντελοποίηση της κίνησης διαδραματίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην ανάλυση αλγορίθμων και πρωτοκόλλων

στα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLANs) και στα αυτο-οργανωμένα (self-organizing) ασύρματα ειδικά δίκτυα.

Για τους λόγους που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους θεωρείται σημαντικό να γίνουν κατανοητοί οι μηχανισμοί μοντελοποίησης της κίνησης και της διαχείρισης της θέσης και οι τρόποι με τους οποίους οι συγκεκριμένοι μηχανισμοί εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων.

4.2 Μοντέλα κίνησης

Περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τα μοντέλα:

Διάσταση: Η κίνηση των κινητών συσκευών μπορεί να περιγραφεί σε μία, δύο και τρεις διαστάσεις. Παραδείγματος χάριν, τα μονοδιάστατα μοντέλα είναι κατάλληλα για να απεικονίσουν συμπεριφορές οχημάτων στις εθνικές οδούς και τα δισδιάστατα μοντέλα είναι πολύ χρήσιμα για την απεικόνιση μετακινήσεων σε πόλεις.

Κλίμακα: Τα διαφορετικά επίπεδα κίνησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν μια κίνηση, συμπεριλαμβανομένης της μικροκινητικότητας και της μακροκινητικότητας. Τα πρότυπα μικροκινητικότητας περιγράφουν πώς μια κινητή συσκευή συμπεριφέρεται μέσα σε ένα αυτόνομο δίκτυο ή μέσα σε μια κυψέλη. Σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχουν εμπόδια μεταξύ δύο δικτύων και η καταγεγραμμένη κίνηση του χρήστη μπορεί να αποθηκευτεί σε μια τοπική βάση δεδομένων. Αντίθετα, τα μοντέλα μακροκινητικότητας ενδιαφέρονται για το πώς κινείται ένας χρήστης από ένα δίκτυο σε ένα άλλο.

Τυχαιότητα: Δεδομένου ότι η μετακίνηση μιας κινητής συσκευής είναι τυχαία, λόγω των απρόβλεπτων παραγόντων που δύναται να την

επηρεάσουν, είναι χρήσιμο να εισαχθεί «τυχειότητα» στις παραμέτρους που περιγράφουν γενικότερα την κίνησή της. Τέτοιες παράμετροι είναι: η κατεύθυνση, η ταχύτητα, και ο χρόνος παραμονής μέσα σε μια συγκεκριμένη περιοχή, για παράδειγμα, σε μια κυψέλη.

Γεωγραφικοί περιορισμοί: Τα πρότυπα κίνησης μπορούν να είναι πολύ συγκεκριμένα ανάλογα με τα σενάρια προσομοίωσης. Στα κυψελοειδή δίκτυα τα πρότυπα κίνησης διαιρούνται σε τρεις τύπους: κίνηση μέσα σε κτίρια, υπαίθρια κίνηση πεζών και κίνηση με κάποιο όχημα. Σε ένα μοντέλο εσωτερικού χώρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα τρισδιάστατο πρότυπο για να περιγράψει την κίνηση σε ένα πολυώροφο κτίριο όπου εξετάζονται τόσο οι κάθετες όσο και οι οριζόντιες μετακινήσεις.

Προσανατολισμός: Μερικά πρότυπα κίνησης αναπτύσσονται για να περιγράψουν τη διαδρομή ή την πορεία μιας μετακίνησης. Παραδείγματος χάριν, εάν είναι γνωστό ότι ένας κινητός χρήστης θα πάει σε μια συγκεκριμένη θέση, τότε είναι πολύ πιθανό το μοντέλο να υπολογίσει τη θέση και το χρόνο της διαδρομής του.

Δυναμικές παράμετροι: Προκειμένου να καταγραφεί η κίνηση ενός χρήστη σε μεταβλητές συνθήκες, τα πρότυπα κίνησης σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να παραγάγουν την επόμενη κίνηση του χρήστη βασισμένα στις τρέχουσες ενέργειές του.



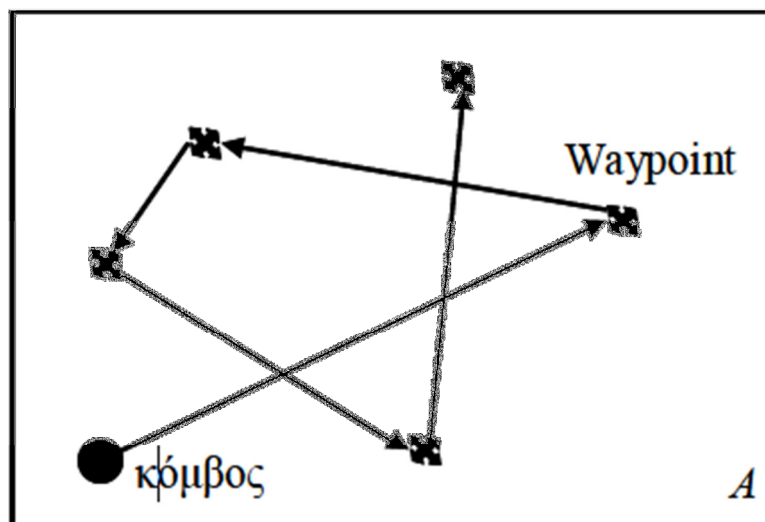
Εικόνα 18: Κατηγοριοποίηση των Μοντέλων Κίνησης

4.3 Τυχαία Μοντέλα

Τα πρότυπα τυχαίας κίνησης προσομοιώνουν τυχαίες κινήσεις σε καθορισμένες περιοχές και η υλοποίησή τους είναι σχετικά εύκολη. Οι παράμετροι της κίνησης αλλάζουν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, με αποτέλεσμα να προκύπτουν τυχαίες κατευθύνσεις. Οι περισσότερες προσομοιώσεις δικτύων κινητών τερματικών ακολουθούν αυτό το μοντέλο, επειδή οι ερευνητές εστιάζουν την προσοχή τους περισσότερο στην ανάπτυξη νέων επικοινωνιακών πρωτοκόλλων και όχι σε αυτή καθαυτή την κατασκευή μοντέλων κίνησης. Τα μοντέλα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται κυρίως για στρατιωτικές εφαρμογές ή για εφαρμογές έκτακτης ανάγκης. Η τυχαία κίνηση δεν μπορεί όμως σε καμιά περίπτωση να περιγράψει τις λεπτομέρειες που ενσωματώνει η πραγματική κίνηση.

4.4 Μοντέλο Τυχαίου Περιπάτου (Random Walk Model)

Ο τυχαίος περίπατος είναι ένα ευρέως γνωστό πρότυπο κινητικότητας, το οποίο συχνά αναφέρεται και ως κίνηση Brownian. Η τυχαία κίνηση πραγματοποιείται μέσα σε μια εξαρχής ορισμένη περιοχή. Ο κινητός χρήστης κινείται, από μια θέση προς μια άλλη, επιλέγοντας τυχαία κατεύθυνση και ταχύτητα. Στην καινούργια θέση, μια νέα κατεύθυνση και ταχύτητα επιλέγονται για τον χρήστη μη λαμβάνοντας πλέον υπόψη τις προηγούμενες τιμές της ταχύτητας και της θέσης του (memoryless λειτουργία). Η μετακίνηση εμφανίζεται είτε για δεδομένο χρόνο t είτε για δεδομένη απόσταση d . Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές του προτύπου τυχαίων περιπάτων. Η πιο γνωστή παραλλαγή είναι το τυχαίο σημειακό πρότυπο (Random Waypoint Model) κινητικότητας, το οποίο παρέχει χρόνους παύσης μεταξύ των αλλαγών στην κατεύθυνση ή/και στην ταχύτητα (Εικόνα 19). Θέτοντας το χρόνο παύσης ίσο με μηδέν, το Random Waypoint πρότυπο εξαλείφεται σε έναν τυχαίο περίπατο.



Εικόνα 19: Μοντέλο *Random Waypoint* σε περιοχή *A*

4.5 Μοντέλο Markov

Η διαδικασία Markov είναι μια στοχαστική διαδικασία της οποίας η μελλοντική συμπεριφορά καθορίζεται μόνο από την τρέχουσα κατάσταση. Αυτή η ιδιότητα επιτρέπει στη διαδικασία να μοντελοποιεί τον τυχαίο περίπατο του οποίου η συμπεριφορά επίσης εξαρτάται μόνο από την τρέχουσα κατάσταση. Εάν οι καταστάσεις της διαδικασίας Markov λαμβάνουν μόνο διακριτές τιμές, τότε η διαδικασία ονομάζεται αλυσίδα Markov και μπορεί να περιγραφεί από έναν πίνακα μεταβάσεων πιθανοτήτων P . Ένα στοιχείο του πίνακα P_{ij} περιγράφει την πιθανότητα μετάβασης από την κατάσταση i στην κατάσταση j :

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & \cdots \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & \cdots \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix}$$

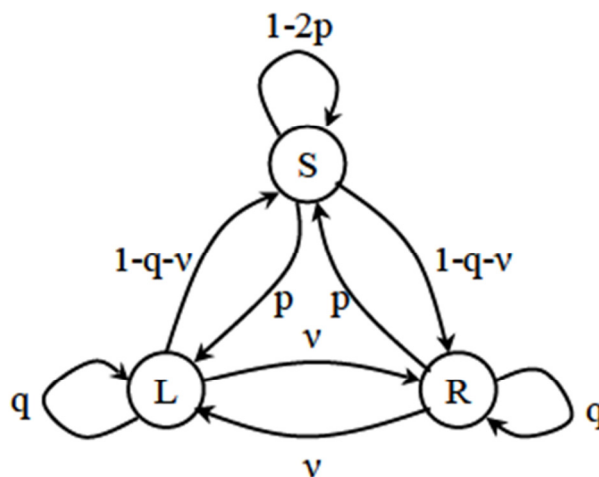
Πολλοί αναλυτές χρησιμοποιούν το μοντέλο κίνησης Markov ως τη μονοδιάστατη έκδοση του τυχαίου περιπάτου που περιγράφεται από έναν 3x3 πίνακα πιθανοτήτων

$$P = \begin{bmatrix} q & 1-q-v & v \\ p & 1-2p & p \\ v & 1-q-v & q \end{bmatrix}$$

Στην προκειμένη περίπτωση, σύμφωνα με το μοντέλο κίνησης Markov, ένας χρήστης μπορεί να βρίσκεται σε μία από τις τρεις ακόλουθες καταστάσεις (Σχήμα 20) :

1. Κατάσταση L: κατάσταση αριστερής κίνησης
2. Κατάσταση R: κατάσταση δεξιάς κίνησης
3. Κατάσταση S : σταθερή κατάσταση

Το μειονέκτημα του μοντέλου αυτού έγκειται στην έλλειψη ρεαλιστικότητας στην κίνηση, επειδή δεν ορίζει συντεταγμένες σημείων στόχων, αφήνοντας μια χαοτική και άσκοπη κίνηση να λαμβάνει χώρα.



Εικόνα 20 : Διάγραμμα Καταστάσεων Κίνησης Markov

4.6 Αφαιρετικό Μοντέλο Καταστάσεων Κίνησης (Abstract Mobility State Model)

Στο μοντέλο που υιοθετείται από τον Kobayashi και τους συνεργάτες του, η συμπεριφορά του κινητού χρήστη βασίζεται σε μια ημι-Markov διαδικασία σε ένα γενικό χώρο καταστάσεων A_i . Η κατάσταση ενός κινητού χρήστη αποδίδεται από ένα διάνυσμα (x_1, \dots, x_n) , όπου κάθε στοιχείο του, έστω x_i , αντιπροσωπεύει μια τιμή από ένα πεπερασμένο

χαρακτηριστικό χώρο A_i . Οι χαρακτηριστικοί χώροι αντιπροσωπεύουν τις ιδιότητες ενός κινητού χρήστη όπως είναι για παράδειγμα, η θέση, η κατεύθυνση και η ταχύτητα. Το σύνολο των πιθανών καταστάσεων ενός κινητού χρήστη είναι ένα χωρικό διάνυσμα n -διαστάσεων το οποίο έχει την εξής μορφή:

$$S = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$$

ο χώρος S μπορεί να εμπλουτιστεί χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους χαρακτηριστικούς χώρους ως συστατικά στο διάνυσμα καταστάσεων. Η δυναμική κίνηση ενός χρήστη, η οποία καθορίζεται από τις χρονικά εξαρτώμενες τιμές των χαρακτηριστικών που έχουν χρησιμοποιηθεί, μπορεί στη συνέχεια να περιγραφεί από την τροχιά της μέσα στο χώρο S . Εκτός από τις ενεργές καταστάσεις του S ορίζονται επίσης δύο είδη μη ενεργών καταστάσεων: η κατάσταση πηγή (source state) s και η κατάσταση προορισμού (destination state) d . Ένας χρήστης εισάγεται στο χώρο μόνο από μία κατάσταση s , ενώ εξέρχεται από το χώρο μόνο μέσω μιας κατάστασης d . Τέλος, ένας χρήστης δεν μπορεί ποτέ να μεταβεί από μια κατάσταση ενεργή του S σε μια κατάσταση πηγή.

4.7 Το εξομαλυσμένο Τυχαίο Μοντέλο Κίνησης (Smooth Random Mobility Model)

Το εξομαλυσμένο τυχαίο πρότυπο κινητικότητας προτείνεται ως μικρής κλίμακας πρότυπο κινητικότητας το οποίο εντοπίζει τις τυχαίες κινήσεις σε δισδιάστατα περιβάλλοντα. Δύο στοχαστικές διαδικασίες χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τις αλλαγές κατά τη διάρκεια του χρόνου: αλλαγή της ταχύτητας και αλλαγή της κατεύθυνσης. Η ιδέα αυτού του μοντέλου είναι να εξεταστεί ο συσχετισμός της αλλαγής

ταχύτητας ή κατεύθυνσης· δηλαδή, η νέα ταχύτητα και η νέα κατεύθυνση συσχετίζονται με τις προηγούμενες τιμές τους έτσι ώστε να μην υπάρχει καμιά ξαφνική αλλαγή ταχύτητας ή απότομη στροφή. Η ταχύτητα αλλάζει αυξητικά εξαιτίας της επιτάχυνσης του κινητού χρήστη, ενώ η αλλαγή κατεύθυνσης γίνεται ομαλά μέσω των διάφορων βημάτων προς την κατεύθυνση στόχο. Στο συγκεκριμένο πρότυπο ένας κινητός χρήστης κινείται με μια σταθερή ταχύτητα u έως ότου μια νέα ταχύτητα στόχος επιλέγεται από μια στοχαστική διαδικασία, οπότε ο κινητός χρήστης επιταχύνει ή επιβραδύνει έως ότου επιτευχθεί η επιθυμητή ταχύτητα. Η συμπεριφορά της ταχύτητας ενός κινητού χρήστη στο χρόνο t περιγράφεται από τρεις παραμέτρους: την τρέχουσα ταχύτητα $u(t)$, την τρέχουσα επιτάχυνση $a(t)$ και μια ταχύτητα στόχο $u^*(t)$. Επιπλέον, υπάρχουν τρεις στατικές παράμετροι ταχύτητας που χαρακτηρίζουν μια συγκεκριμένη ομάδα χρηστών: μέγιστη ταχύτητα U_{max} , ένα σύνολο προτεινόμενων ταχυτήτων $U_p = \{u_0, u_1, \dots\}$ και οι μέγιστες τιμές για την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση A_{max} .

Στο παρόν μοντέλο θεωρείται ότι η συχνότητα των γεγονότων μεταβολής της ταχύτητας είναι μια διαδικασία Poisson. Επομένως, τα γεγονότα μεταβολής της ταχύτητας εμφανίζονται με μια ορισμένη πιθανότητα ρu^* κάθε φορά. Κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος Δt το ποσοστό άφιξης γεγονότων είναι $1 = \rho u^* / \Delta t$. Η πιθανότητα μεταβολής της ταχύτητας, $p(t)$, στο χρόνο t είναι:

$$p(t) = \frac{\rho u^*}{\Delta t} e^{-\rho u^* t / \Delta t}$$

Ας θεωρήσουμε t_0 το χρόνο στον οποίο μια ταχύτητα εμφανίζεται και μια νέα ταχύτητα στόχος $u^*(t_0)$ επιλέγεται. Η επιτάχυνση καθορίζεται

βάσει της τρέχουσας ταχύτητας του κινητού. Εάν $u^*(t) > u^*(t_0)$, τότε η επιτάχυνση παίρνει τιμές από την κατανομή:

$$p(a) = \begin{cases} \frac{1}{a_{\max}} & \text{for } 0 < a < a_{\max} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

Αλλιώς η επιτάχυνση δίνεται από την κατανομή:

$$p(a) = \begin{cases} \frac{1}{a_{\min}} & \text{for } a_{\min} \leq a < 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

Στη συνέχεια το κινητό ακολουθεί μια αύξηση ή μια μείωση $u(t) = u(t - \Delta t) + a(t)\Delta t$

της ταχύτητάς του σε κάθε βήμα μέχρι να επιτευχθεί η ταχύτητα στόχος. Επίσης, εκτός από τον έλεγχο της ταχύτητας, σε αυτό το μοντέλο εξετάζεται η μεταβολή της κατεύθυνσης. Ας υποθέσουμε ότι κάθε κινητό έχει μια αρχική κατεύθυνση j ($t=0$), η οποία επιλέγεται από μια ομοιόμορφη κατανομή.

$$p(\varphi) = \frac{1}{2\pi} \quad \text{for } 0 \leq \varphi \leq 2\pi$$

Όταν ένα κινητό πρόκειται να αλλάξει την κατεύθυνσή του, μια νέα κατεύθυνση στόχος φ^* επιλέγεται από την παραπάνω εξίσωση. Η διαφορά μεταξύ της νέας κατεύθυνσης στόχου και της παλαιάς κατεύθυνσης είναι: $\Delta\varphi(t^*) = |\varphi^*(t^*) - \varphi(t^*)|$ η οποία κατανέμεται ομοιόμορφα μεταξύ $-\pi$ και π . Κατά συνέπεια, η συμπεριφορά της κατεύθυνσης ενός κινητού αντικείμενου στο χρόνο t περιγράφεται επίσης από τρεις τιμές: την τρέχουσα κατεύθυνση $\varphi(t)$, την αλλαγή κατεύθυνσης $\Delta\varphi(t)/\Delta t$ και την κατεύθυνση στόχο $\varphi(t^*)$. Οι τυχαίες διαδικασίες στη μεταβολή της ταχύτητας και της κατεύθυνσης μπορούν να εξεταστούν χωριστά. Η δυνατότητα αυτή φαίνεται να απλοποιεί τα πράγματα όσον αφορά την υλοποίηση αλλά κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα. Ένα παράδειγμα συσχέτισης της ταχύτητας και της κατεύθυνσης είναι η «στάση-στροφή-και-φεύγω» διαδικασία, η οποία χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι μια στάση από ένα κινητό αντικείμενο ακολουθείται συχνά από μια αλλαγή της κατεύθυνσης. Δηλαδή, όποτε ένα μέλος σταματά, $v(t)=0$, επιλέγουμε μια κατεύθυνση στόχο φ^* . Στη συγκεκριμένη περίπτωση η αλλαγή της κατεύθυνσης $\Delta\varphi$ παίρνει τιμές από μια ομοιόμορφη κατανομή:

$$p(\Delta\varphi) = \begin{cases} p_{\varphi^*} / 2 & \text{for } \Delta\varphi = \pm\pi / 2 \\ 1 - p_{\varphi^*} & \text{for } \Delta\varphi = 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

όπου p_{φ^*} είναι η πιθανότητα το κινητό αντικείμενο να αλλάξει κατεύθυνση, η οποία πρέπει να είναι υψηλότερη από αυτή στο συνηθισμένο έλεγχο κατεύθυνσης, όπου $u \neq 0$. Αυτό ενισχύει την υπόθεση ότι, μετά από μια στάση, μια στροφή εμφανίζεται με υψηλότερη πιθανότητα από ότι μια ευθεία κίνηση.

4.8 Κανονικός Περίπατος (Normal Walk)

Το μοντέλο κανονικού περιπάτου που προτείνεται βασίζεται στην υπόθεση ότι ένα μοντέλο κινητικότητας πρέπει να κατασκευάζεται έχοντας σαν βάση την έννοια του μικρότερου μονοπατιού (shortest-path) για ρεαλιστικά δρομολόγια, διότι ένας χρήστης που κινείται με τυχαίο περίπατο μπορεί να αλλάξει στιγμιαία την κατεύθυνσή του μετά από μερικές μεταπομπές. Αρχικά γίνεται η υπόθεση ότι ένας κινητός χρήστης κινείται με συγκεκριμένα βήματα σε ένα ευκλείδειο περιβάλλον. Έστω Y_{i-1} η κατεύθυνση κίνησης του βήματος $i-1$, ενώ για το βήμα i , μετά από μια κίνηση αντίθετη προς τη φορά των δεικτών του ρολογιού (περιστροφή μέσω μιας γωνίας θ_i), είναι Y_i , τότε:

$$Y_i = R(\theta_i)Y_{i-1}$$

όπου

$$R(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

Συνεπώς

$$Y_n = R(\theta_n)R(\theta_{n-1})\dots R(\theta_1)Y_0 = R\left(\sum_{i=1}^n \theta_i\right)Y_0$$

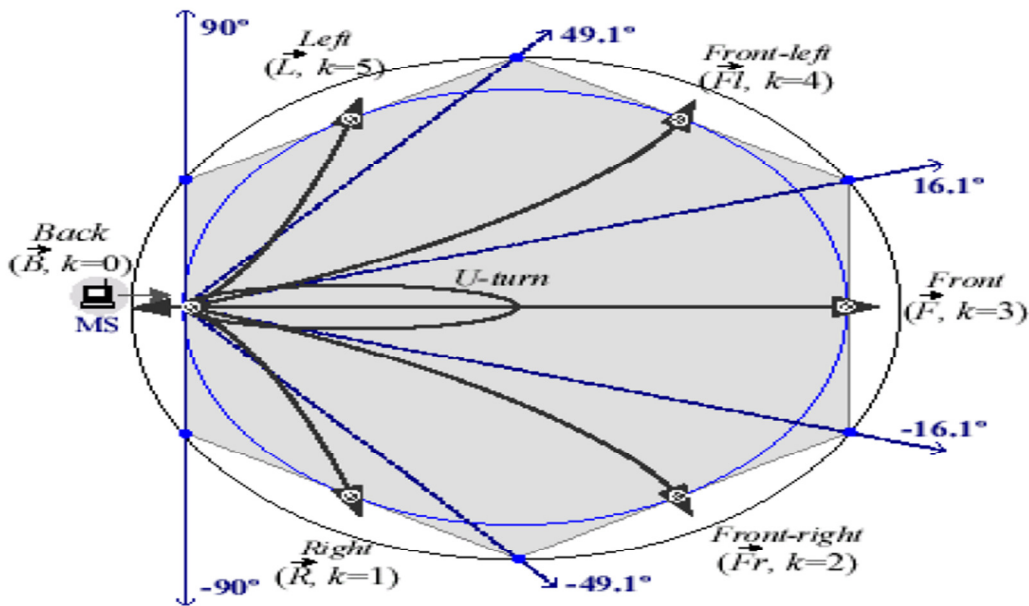
Έστω τώρα Z_n η συντεταγμένη του κινητού χρήστη μετά τη n η κίνησή του. Αρχικά ισχύει:

$$Z_n = Z_{n-1} + Y_n = \sum_{i=1}^n R\left(\sum_{j=1}^i \theta_j\right) \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^n \begin{pmatrix} \cos\left(\sum_{j=1}^i \theta_j\right) \\ \sin\left(\sum_{j=1}^i \theta_j\right) \end{pmatrix}$$

Η κατανομή της πιθανότητας της θ εξαρτάται από τη συμπεριφορά της κίνησης του κάθε χρήστη. Ο κανονικός περίπατος θεωρείται «περιορισμένος», εάν η θ προσεγγίζεται από μια διακριτή κατανομή πιθανότητας και λαμβάνει συγκεκριμένες τιμές. Εάν η θ περιοριστεί στις δύο αντίστροφες κατευθύνσεις, για παράδειγμα 0 και π , τότε το πρότυπο κίνησης γίνεται μονοδιάστατο. Συνήθως η θ περιορίζεται σε τέσσερις κατευθύνσεις: 0, $\pm\pi/2$ ή π ή στο εξαγωνικό περιβάλλον κίνησης με έξι κατευθύνσεις, δηλαδή $\theta=0$, $\theta=\pm\pi/6$, $\theta=\pm\pi/3$ και $\theta=\pi$. Δυστυχώς, ο περιορισμός του κανονικού περιπάτου σε τέσσερις ή έξι κατευθύνσεις αποδίδεται γραφικά με μια καμπύλη άκαμπτη και απότομη. Για να ομαλοποιήσουμε την καμπύλη μετατρέπουμε τις τιμές κατανομής της θ από διακριτές σε συνεχείς, Είναι σημαντικό το γεγονός ότι όσο χαμηλότερη είναι η τιμή της θ , τόσο πιο ομαλή είναι η καμπύλη και τόσο πιο μεγάλη η κλίμακα κινητικότητας.

4.9 Κανονικός Περίπατος (Compact Normal Walk)

Στη ρεαλιστική κίνηση ενός ανθρώπου οι περισσότερες μετακινήσεις του ακολουθούν την επιλογή της πιο σύντομης πορείας (shortest path) ή μια «ψευδογραμμική» διαδρομή. Η πιθανότητα ένας χρήστης να κινηθεί ευθεία είναι συχνά μεγαλύτερη από την πιθανότητα να κινηθεί προς μια άλλη κατεύθυνση. Μια γωνία κλίσης θ ορίζεται εδώ ως μια «κινούμενη» γωνία και χρησιμοποιείται στο πρότυπο κανονικών περιπάτων για να καθορίσει την επόμενη κατεύθυνση την οποία θα ακολουθήσει μετά από ένα βήμα ένας χρήστης όταν κινείται σε μία εξάγωνη κυψέλη. Η κατανομή πιθανότητας της γωνίας κλίσης θ υποτίθεται ότι προσεγγίζει περισσότερο την κανονικότητα παρά την τυχαιότητα. Δηλαδή, η θ έχει μια κανονική κατανομή με τις παραμέτρους μ και σ , όπου το $\mu=0^\circ$ και το σ ανήκει στο διάστημα $[5^\circ, 90^\circ]$. Ένας τέτοιος περίπατος που χρησιμοποιεί μια «κανονική» γωνία κλίσης θ για να αποφασίσει την κατεύθυνση στην οποία θα γίνει η επόμενη μετακίνηση καλείται



κανονικός περίπατος.

Εικόνα 19 : έξι ισοδύναμες διαδρομές

Στο Σχήμα θεωρείται ότι ένας κινητός χρήστης βρίσκεται πάντα σε ένα από τα έξι σημεία εισαγωγής ή εξόδου τα οποία δηλώνονται με το

σύμβολο \square . Η κατεύθυνση την οποία θα ακολουθήσει ο κινητός χρήστης εξαρτάται τόσο από το τρέχον σημείο εισόδου/εξόδου όσο και από τη γωνία θ . Οι έξι κατευθύνσεις, οι οποίες έχουν δείκτη k , είναι οι εξής: κίνηση προς τα εμπρός (F , $k = 3$), κίνηση προς τα πάνω δεξιά (Fr , $k = 2$), κίνηση προς τα κάτω αριστερά (Fl , $k = 4$), κίνηση προς τα δεξιά (R , $k = 1$), κίνηση προς τα αριστερά (L , $k=5$), και κίνηση προς τα πίσω (B , $k=6$). Η πιθανότητα να κινηθεί ο χρήστης προς μία εκ των έξι κατευθύνσεων δεν είναι η ίδια, αλλά το άθροισμά τους είναι ίσο με τη μονάδα.

4.10 Διανυσματικό Μοντέλο Κίνησης

Ο Hong και οι συνεργάτες του περιγράφουν την κίνηση ενός κόμβου με ένα διάνυσμα \mathbf{M} το οποίο απεικονίζει τη δισδιάστατη ταχύτητά του. Το διάνυσμα κίνησης \mathbf{M} θεωρείται το διανυσματικό άθροισμα του βασικού διανύσματος κίνησης \mathbf{B} και του διανύσματος απόκλισης \mathbf{V} : $\mathbf{M}=\mathbf{B}+\alpha\mathbf{V}$, όπου α είναι ένας παράγοντας επιτάχυνσης, \mathbf{B} είναι ένα διάνυσμα που περιγράφει τη βασική κατεύθυνση και τη βασική ταχύτητα του κόμβου, και \mathbf{V} είναι το διάνυσμα στο οποίο αποθηκεύεται η πληροφορία της «απόκλισης-κίνησης» από το βασικό διάνυσμα. Με κατάλληλες ρυθμίσεις του παράγοντα επιτάχυνσης και των διανυσμάτων \mathbf{B} και \mathbf{V} , διάφορα μοντέλα μπορούν να περιγραφούν:

1. Μοντέλο Βαρύτητας (Gravity Model): Οι κόμβοι προσπαθούν να συγκεντρωθούν γύρω από ένα συγκεκριμένο σημείο. Σε αυτή την περίπτωση το διάνυσμα \mathbf{B} δείχνει στο σημείο αυτό.
2. Μοντέλο Εξαρτώμενο από τη Θέση (Location Dependent Model): Αντιπροσωπεύει ένα συλλογικό πρότυπο κινητικότητας σε μια περιοχή. Στην περίπτωση αυτή το διάνυσμα \mathbf{B} καθορίζεται από την περιοχή.

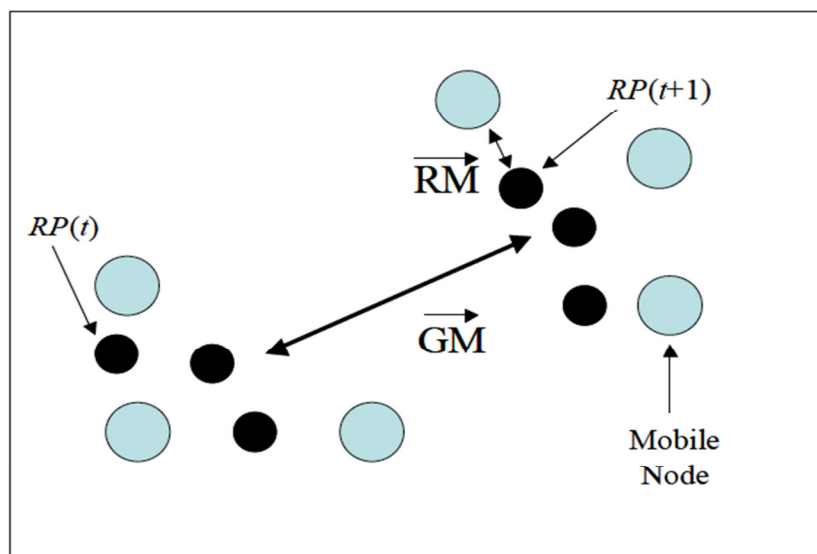
3. Μοντέλο Στόχος (Targeting Model): Ο κόμβος κινείται προς συγκεκριμένο στόχο. Στην περίπτωση αυτή το διάνυσμα \mathbf{B} δείχνει στο σημείο στόχο.
4. Μοντέλο Κίνησης Ομάδας (Group Motion Model): Πρόκειται για την κίνηση μιας ομάδας κόμβων. Στην περίπτωση αυτή το διάνυσμα \mathbf{B} είναι η κίνηση της ομάδας.

Το διάνυσμα απόκλισης στα παραπάνω μοντέλα αντιπροσωπεύει τη μεμονωμένη συμπεριφορά κίνησης ενός κόμβου.

4.11 Μοντέλα Κινητικότητας Ομάδας

Μια άλλη κατηγορία μοντέλων κίνησης εξετάζει την περίπτωση όπου η κίνηση κάθε χρήστη δεν είναι ανεξάρτητη από την κίνηση των γειτόνων του. Αυτά τα μοντέλα ερευνώνται συνήθως στο πλαίσιο των ειδικών δικτύων (ad-hoc networks). Ένας σημαντικός αντιπρόσωπος αυτής της οικογένειας μοντέλων είναι το μοντέλο κινητικότητας ομάδας σημείου αναφοράς [Reference Point Group Model (RPGM)]. Το RPGM συνδυάζει την τυχαία κίνηση μιας ομάδας χρηστών με την τυχαία κίνηση κάθε χρήστη που ανήκει στη συγκεκριμένη ομάδα. Ένα λογικό κέντρο καθορίζεται, προκειμένου να περιγραφεί η κίνηση της ομάδας. Οι μεμονωμένοι κινητοί χρήστες, που ανήκουν στην ομάδα, κινούνται με έναν τυχαίο τρόπο κατά τον οποίο έχουν προκαθορισμένα σημεία αναφοράς. Ένα διάνυσμα χρησιμοποιείται για να εκφράσει και την ομάδα αλλά και τη μεμονωμένη κίνηση του κάθε χρήστη. Στο Σχήμα 20 απεικονίζεται η κίνηση τριών κινητών χρηστών (μεγάλες κουκίδες) από ένα σημείο σε ένα άλλο, η οποία βασίζεται στο RPGM. Οι αντίστοιχες μικρές κουκίδες απεικονίζουν τα σημεία αναφοράς, $RP(t)$, των τριών χρηστών. Το RPGM χρησιμοποιεί ένα διάνυσμα κίνησης της ομάδας, \mathbf{GM} , για να υπολογίζει τα καινούργια σημεία αναφοράς του κάθε χρήστη.

Ας θεωρήσουμε ότι ένας χρήστης κινείται από το $RP(t)$ στο $RP(t+1)$ με ένα διάνυσμα κίνησης της ομάδας \vec{GM} . Η καινούργια θέση του χρήστη υπολογίζεται αν στο καινούργιο σημείο αναφοράς $RP(t+1)$, «προσθέσουμε» ένα διάνυσμα \vec{RM} . Το μήκος του διανύσματος \vec{RM} δίνεται από μια ομοιόμορφη κατανομή μέσα σε μια συγκεκριμένη ακτίνα με κέντρο το σημείο $RP(t+1)$ και η κατεύθυνσή της είναι και αυτή ομοιόμορφα κατανεμημένη στο διάστημα $[0, 2\pi]$.



Εικόνα 20 : Reference Point Group Model

Οι Sanchez και Manchoni προτείνουν ένα σύνολο από μοντέλα κίνησης όπου οι κινητοί χρήστες κινούνται με έναν κοινό τρόπο. Τα προτεινόμενα μοντέλα που περιλαμβάνονται στο σύνολο αυτό είναι τα εξής:

- Μοντέλο Κίνησης σε Στοιχίση (Column Mobility Model): Στο συγκεκριμένο μοντέλο οι κινητοί χρήστες απεικονίζονται στοιχισμένοι σε μια ευθεία γραμμή ενώ κινούνται ομοιόμορφα προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Ένα παράδειγμα θα ήταν η κίνηση μιας ομάδας στρατιωτών.

- Μοντέλο Κίνησης «Ακολουθείστε το» (Pursue Mobility Model): Το Pursue μοντέλο κινητικότητας απεικονίζει κινητούς χρήστες οι οποίοι προσπαθούν να συλλάβουν έναν κινητό χρήστη ο οποίος βρίσκεται μπροστά τους. Το συγκεκριμένο μοντέλο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την καταδίωξη στόχων. Ο χρήστης που ακολουθείται, δηλαδή ο στόχος, κινείται ελεύθερα σύμφωνα με το τυχαίο σημειακό πρότυπο.
- Νομαδικό Μοντέλο Κίνησης (Nomadic Mobility Model): Το νομαδικό μοντέλο κινητικότητας αντιπροσωπεύει σενάρια κίνησης όπου μια ομάδα χρηστών κινείται από κοινού. Ολόκληρη η ομάδα κινείται τυχαία από μια θέση προς μια άλλη.

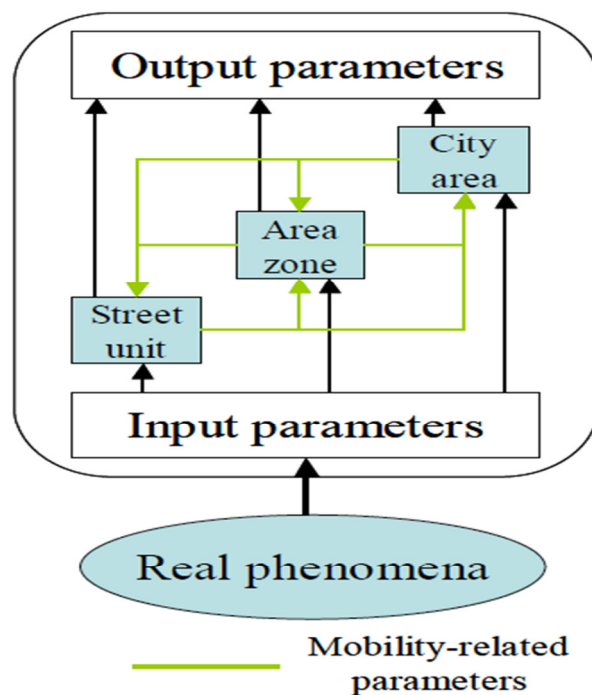
4.12 Ολοκληρωμένο Μοντέλο Κίνησης

Ένα ολοκληρωμένο ρεαλιστικό μοντέλο κίνησης για την προσομοίωση κινητών δικτύων. Οι συντάκτες υποστηρίζουν ότι οι σύγχρονες προσομοιώσεις κινητών δικτύων απαιτούν ρεαλιστικότερα πρότυπα κινητικότητας από αυτά της ροής ρευστών ή του τυχαίου περιπάτου.

Τρία βασικά μοντέλα κινητικότητας προτείνονται:

- **Το μοντέλο περιοχής πόλεων:** Αποτελείται από ένα σύνολο ζωνών περιοχής οι οποίες συνδέονται μέσω διαδρομών μεγάλης χωρητικότητας.
- **Το μοντέλο περιοχής ζωνών:** Περιγράφει τη συμπεριφορά της κυκλοφορίας σε μια περιοχή με δρόμους και κτίρια.
- **Το μοντέλο περιγραφής οδών:** Περιγράφει τη συμπεριφορά της κινητικότητας σε δρόμους οι οποίοι ταξινομούνται ως εξής:
 - εθνικές οδοί,
 - δρόμοι υψηλής κυκλοφορίας με φανάρια (controlled flow),
 - δρόμοι με μικρή προτεραιότητα.

Προκειμένου να βελτιωθεί το πρότυπο, οι συντάκτες χρησιμοποιούν τα στοιχεία από τη θεωρία μεταφορών: χαρακτηριστικές ταχύτητες για διαφορετικά μέρη μιας πόλης, χαρακτηρισμό των κινητών χρηστών σύμφωνα με τη συμπεριφορά τους, πυκνότητα του πληθυσμού στις διάφορες περιοχές κ.λπ. Συνεπώς, προτείνεται ένα ολοκληρωμένο εργαλείο μοντελοποίησης της κίνησης (Integrated Mobility Modeling Tool) (Εικόνα 21), το οποίο αποτελείται από τα παραπάνω βασικά μοντέλα κίνησης, μεταξύ των οποίων ανταλλάσσονται διάφορες παράμετροι.



Εικόνα 23 : Μοντελοποίηση Κίνησης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Προσομοίωση συστήματος V2V στο λογισμικό Simulink

5.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, τα οχήματα είναι σίγουρα το πιο δημοφιλές μέσω μεταφοράς σε ολόκληρο τον κόσμο. Δυστυχώς έχουν προκύψει σοβαρά προβλήματα όπως αύξηση των τροχαίων ατυχημάτων, αύξηση της κυκλοφορίας και της συμφόρησης στους δρόμους, έλλειψης χώρου στάθμευσης κ.α.

Υπήρξε μεγάλη ερευνητική διεργασία για τα ευφυή συστήματα μεταφορών. Με την χρήση της ασύρματης επικοινωνίας προκύπτουν δυο κατηγορίες επικοινωνίας μεταξύ δυο οχημάτων :

Vehicle to Vehicle δηλαδή επικοινωνία όχημα με όχημα και Vehicle to infrastructure δηλαδή επικοινωνία οχημάτων με τρίτα μέλη π.χ. στέλνονται προειδοποιητικά μηνύματα σε γειτονικά οχήματα για εμπόδιο ή κακές καιρικές συνθήκες. Η οικογένεια πρωτοκόλλων IEEE 1609 και το 802.11p μαζί, ονομάζονται ασύρματη πρόσβαση σε περιβάλλοντα αυτοκινήτων. Ο ειδικός χαρακτήρας του δικτύου ad hoc για οχήματα σημαίνει ότι αυτό το δίκτυο διαφέρει από τα άλλα είδη δικτύων προς την υψηλή κινητικότητα, τις σύντομες περιόδους επικοινωνίας, τη δυναμική τοπολογία και περιορισμένο εύρος ζώνης.

Η επικοινωνία στο VANETs βασίζεται σε μηνύματα ή εκπομπές που ανταλλάσσουν τα οχήματα μεταξύ τους. Όπως προαναφέρθηκε, λόγω των χαρακτηριστικών του VANET και του περιορισμένου εύρους ζώνης, τα μηνύματα που εκπέμπονται περιοδικά καταναλώνουν όλο το εύρος ζώνης. Επιπλέον τα μηνύματα έκτακτης ανάγκης πρέπει να διαδίδονται γρήγορα και αποτελεσματικά. Το πρότυπο IEEE 802.11p εφαρμόζει ένα σχήμα προτεραιότητας με παρόμοιο τρόπο όπως και το πρότυπο IEEE 802.11e για να υποστηρίξει την ποιότητα της υπηρεσίας και να δώσει προτεραιότητα στα μηνύματα.

5.2 Εφαρμογές των VANET

Οι κύριες εφαρμογές των VANET μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

- 1) Εφαρμογές που σχετίζονται με την οδική ασφάλεια.
- 2) Εφαρμογές που έχουν να κάνουν με την βοήθεια του οδηγού (driver assistance.)
- 3) Εφαρμογές που προσφέρουν ευκολία.

Παρακάτω εξηγούμε σύντομα την κάθε κατηγορία και αναφέροντας μερικά παραδείγματα:

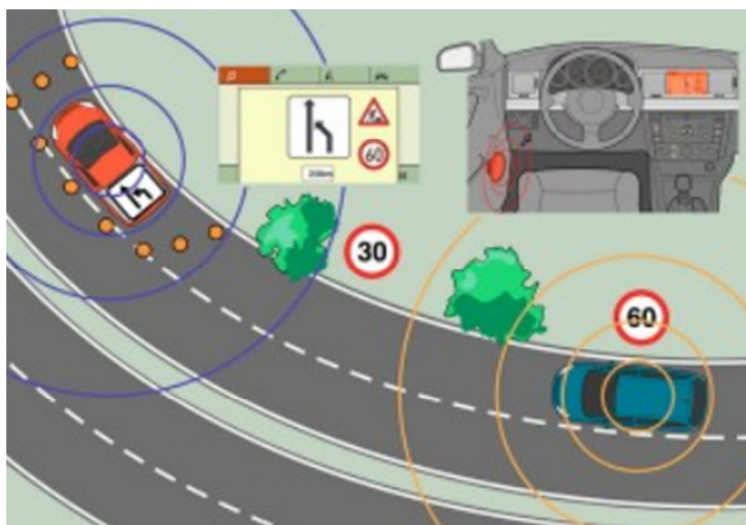
- Εφαρμογές που σχετίζονται με την οδική ασφάλεια: η οδική ασφάλεια αποτελεί προτεραιότητα στις πιο ανεπτυγμένες χώρες. Αυτή η προτεραιότητα υποκινείται και από την αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων εξαιτίας του αυξανόμενου αριθμού οχημάτων και χρήσης αυτών. Με σκοπό να αυξήσουμε την ασφάλεια στον δρόμο και να αντιμετωπίσουμε τα τροχαία ατυχήματα, οι εν λόγω εφαρμογές μας δίνουν τη δυνατότητα να αποφεύγουμε συγκρούσεις και εμπόδια (κινούμενα ή ακίνητα).
- Εφαρμογές που έχουν να κάνουν με την βοήθεια του οδηγού (driver assistance): δημιουργήθηκαν για να διευκολυνθεί η αυτόνομη οδήγηση και να προσφερθεί βοήθεια στον οδηγό σε ειδικές περιπτώσεις. Βοηθάνε την διέλευση των οχημάτων, την πρόληψη ατυχήματος κατά την αλλαγή λωρίδας και άλλα. Μπορούμε, επίσης, να αναφέρουμε τις εταιρείες οδικών μεταφορών που χρησιμοποιούν τα VANET προκειμένου να αυξήσουν την παραγωγικότητά τους και να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμων.
- Εφαρμογές που προσφέρουν ευκολία στον οδηγό και τους επιβάτες: πληροφορίες για τον χρήστη και υπηρεσίες επικοινωνίας, όπως πρόσβαση από το κινητό στο Internet,

ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των οχημάτων, διαδικτυακά παιχνίδια.

Παρακάτω θα περιοριστούμε στην περιγραφή ορισμένων υπηρεσιών και παραδειγμάτων που προσφέρουν οι VANET εφαρμογές.

- Συναγερμός σε περίπτωση ατυχήματος

Η υπηρεσία προειδοποιεί οδηγούς που κινούνται προς το σημείο που έχει συμβεί το ατύχημα ότι οι συνθήκες κυκλοφορίας έχουν τροποποιηθεί και ότι θα πρέπει να είναι πιο προσεκτικοί. Είναι επίσης απαραίτητο σε περίπτωση μειωμένης κυκλοφοριακής πυκνότητας, το όχημα που πέρασε από το σημείο του ατυχήματος να μπορεί να κρατήσει το προειδοποιητικό μήνυμα με σκοπό να το μεταδώσει όταν κάποιο όχημα μπει στην ζώνη μετάδοσής του. Τα μηνύματα ασφάλειας πρέπει να αναμεταδίδονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Έτσι οι κόμβοι που έχουν ορισθεί να αναμεταδίδουν μηνύματα θα αναμεταδίδουν το μήνυμα συναγερμού ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Τα μηνύματα αυτά πρέπει να είναι σύντομα για να αναμεταδίδονται γρήγορα. Τα μηνύματα επίσης θα πρέπει να περιέχουν τις ακριβείς συντεταγμένες του ατυχήματος και τις παραμέτρους της ζώνης μετάδοσης ώστε να γίνεται γνωστό ακριβώς το πότε και που συνέβη το ατύχημα και διακόπηκε η κυκλοφορία.



Εικόνα 23: Προειδοποίηση ύπαρξης οχήματος έκτακτης ανάγκης

Η μελέτη επικεντρώνεται στις παραμέτρους του επιπέδου MAC (Medium Access Control) και στη παρεχόμενη ρυθμαπόδοση (throughput) του πρωτοκόλλου IEEE 802.11p. Επιπροσθέτως νέες μέθοδοι προτείνονται για την βελτίωση της εκτέλεσης του, με την τροποποίηση του αυθεντικού IEEE 802.11p-MAC πρωτοκόλλου με τέτοιο τρόπο που κάθε όχημα να μπορεί να προσαρμόζει το μέγεθος του δικού του παραθύρου οπισθοδρόμησης (backoff window) με σκοπό να επιτευχθεί υψηλότερη ρυθμαπόδοση (throughput), βασισμένο σε πληροφορίες feedback του καναλιού.

Αρχικά ερευνάται ο Συγκεντρωτικός Αλγόριθμος Επαύξησης του IEEE 802.11p ο οποίος μοντελοποιεί το IEEE 802.11p ως p-persistent CSMA. Αντί για την χρησιμοποίηση του μηχανισμού παραθύρου οπισθοδρόμησης (window backoff), η πρακτική p-persistent CSMA διαιρεί ο χρόνο σε διαστήματα ίσου μήκους χρονοσχισμές - time slots και κάθε κόμβος διαλέγει εάν και κατά πόσο θα εκπέμψει με μια βέβαιη πιθανότητα p στην εισερχόμενη χρονοσχισμή - time slot. Χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο αλλά και μιας κλειστής μορφής εξίσωση για το μέσο εικονικό χρόνο μετάδοσης (Virtual Transmission Time), μπορεί να μεγιστοποιηθεί η ρυθμαπόδοση (throughput) του δικτύου οχημάτων επιλέγοντας την πιθανότητα εκπομπής p έτσι ώστε το μέσο μήκος του VT (Virtual Transmission Time) να ελαχιστοποιείται.

Μια κρίσιμη προϋπόθεση για τον συγκεντρωτικό αλγόριθμο είναι ότι ο αριθμός των οχημάτων που εκπέμπουν θα πρέπει να είναι πάντα γνωστός έτσι ώστε να υπολογίζεται η βέλτιστη πιθανότητα μετάδοσης p . Καθώς αυτό δεν είναι πάντα εφικτό στα πρακτικά σενάρια, προτείνεται επίσης και ο Καταμεμημένος Αλγόριθμος Επαύξησης όπου ο κόμβος \square node χρησιμοποιεί μόνο τη πληροφορία του τοπικού καναλιού για να μεταβάλλει το μέγεθος του δικού του παραθύρου οπισθοδρόμησης (window backoff). Πιο συγκεκριμένα, ένα όχημα που

εκπέμπει θα μετρήσει πόσο απασχολημένο είναι το κανάλι (busy proportion) και θα το συγκρίνει με την αναλογία που είχε μετρήσει νωρίτερα. Βασιζόμενο στην ποσότητα αλλαγής της αναλογίας busy proportion το όχημα θα «σκεφτεί» κατά πόσο ο αριθμός των σταθμών-οχημάτων που εκπέμπουν είναι αυξημένος ή μειωμένος και θα αλλάξει αναλόγως το μέγεθος του παραθύρου οπισθοδρόμησης (window backoff). Η σχετική έρευνα θέλει να δείξει ότι ο αλγόριθμος που ελέγχει το μέγεθος του παραθύρου οπισθοδρόμησης (window backoff) σε πραγματικό χρόνο, μπορεί να πετύχει καλύτερη ρυθμαπόδοση (throughput).

5.4 Προσομοιώσεις με τη χρήση του NS-2 (Network Simulator)

Η μελέτη επικεντρώνεται στον τύπο της υποδομής □ Infrastructure Mode □ του πρωτοκόλλου IEEE 802.11p όπου πολλαπλά οχήματα μεταδίδουν πακέτα σε ένα κεντρικό σταθμό βάσης. Αυτό το σενάριο μπορεί εύκολα να βρεθεί στην καθημερινή πραγματικότητα όπου πολλά οχήματα σε οδό ταχείας κυκλοφορίας κινούμενα προς μια κατεύθυνση, αποστέλλουν δεδομένα σε ένα σταθμό βάσης ο οποίος τα εξυπηρετεί ως κόμβος κεντρικής αποθήκευσης ή ως σταθμός αναμετάδοσης. Κάθε όχημα κόμβος υιοθετεί το πρωτόκολλο IEEE 802.11p του επιπέδου MAC. Οι ρυθμίσεις των παραμέτρων τόσο του PHY όσο και του MAC επιπέδου είναι ορισμένες από το πρωτόκολλο IEEE 802.11p στο Προσομοιωτή Δικτύου NS-2. Μελετείται η επίδραση της αλλαγής των μεγεθών του παραθύρου οπισθοδρόμησης CWMin , CWMax στη ρυθμαπόδοση του συστήματος. Τα οχήματα παράγουν μοναδική κατηγορία κίνησης CBR- Constant Bit Rate □ με σταθερού μεγέθους πακέτα. Η ακτίνα εκπομπής κάθε κόμβου-οχήματος υπολογίζεται περίπου στα 80m□100m με ισχύς εκπομπής κάθε κόμβου $P_{t_} = 7.214e-3$ και η μέγιστη απόσταση μεταξύ ενός οχήματος και του

σταθμού βάσης είναι ορισμένη στα 20m που εξασφαλίζει ότι κάθε όχημα που εκπέμπει μπορεί να ακούσει όλα τα υπόλοιπα.

Το πρόβλημα του εκτεθειμένου ή κρυμμένου τερματικού δεν υφίσταται. Σε κάθε προσομοίωση ο αριθμός των οχημάτων που ταυτόχρονα εκπέμπουν είναι σταθερός και ο χρόνος προσομοίωσης ορίζεται σε $t=50$ seconds, γεγονός που επιβάλλεται από τις ταχέως μεταβαλλόμενες συνθήκες του καναλιού.

CWMin	CWMax	SlotTime	SIFS	HeaderDuration	SymbolDuration
3	7	0.000009	0.000016	0.000020	0.000004

5.5 Τοπολογία

Η τοπολογία της προσομοίωσης αποτελείται από έναν αριθμό κόμβων που αντιστοιχούν στα οχήματα τα οποία κινούνται σε οδό ταχείας κυκλοφορίας συνδεδεμένων σε ένα τοπικό ασύρματο δίκτυο σε απόσταση (inter-vehicle distance) 35. Μελετείται η επίδραση της αλλαγής του μεγέθους inter-vehicle distance στη ρυθμαπόδοση του συστήματος. Τα οχήματα κινούνται με σταθερή ταχύτητα.

X_	Y_	Z_
expr \$i *35	25	0

Επίσης ορίζεται ο κεντρικός καθ'οδόν κόμβος εξυπηρέτησης RSU που λειτουργεί ως κόμβος αποθήκευσης / αναμετάδοσης. Αλλάζοντας τις συντεταγμένες X_, Y_, Z_ του κόμβου RSU αλλάζει η τοπολογία του δικτύου VANET γεγονός που επιδρά στη συνολική ρυθμαπόδοση του.

X_	Y_	Z_
65	45	0

5.6 Γεννήτρια Κίνησης

Μελετείται η επίδοση του πρωτοκόλλου IEEE 802.11p υπό συνθήκες broadcast, δηλαδή όταν όλοι οι χρήστες εκπέμπουν πακέτα σε καθοδόν υποδομή □ RSU που λειτουργεί ως κόμβος αποθήκευσης / αναμετάδοσης. Για το λόγο αυτό σε κάθε σταθμό του δικτύου προσαρμόζεται η γεννήτρια κίνησης \$agent_(\$i) που μεταδίδει πακέτα στο κανάλι σταθερού μεγέθους payloadSize 600 περιοδικά PeriodicBroadcast ON κάθε 0.0015 sec. Για τη μεταφορά της κίνησης χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο PBC.

PayloadSize	PeroidcaBroadcast Interval	peroidcasBroadcastVariance
600	3Mb	0.05

Σε κάθε σύνδεση πρωτόκολλου PBC που εγκαθιδρύεται, εφαρμόζεται κίνηση τύπου CBR που μεταδίδει πακέτα στο κανάλι μεγέθους packetSize_ 600 περιοδικά κάθε interval_ 0.0015 sec

packetSize	rate	interval
600	3Mb	0.0015

Στο κόμβο RSU που λειτουργεί ως κόμβος αποθήκευσης εφαρμόζεται ο δέκτης κίνησης Agent/Null με τον οποίο συνδέονται όλοι οι κινούμενοι κόμβοι. Όλες οι επικοινωνίες ξεκινούν τη χρονική στιγμή 0 και ολοκληρώνονται στο τέλος της προσομοίωσης 50 sec.

5.7 Εκτέλεση του σεναρίου

Με βάση τα παραπάνω δημιουργείται το αρχείο `broadcast_validation.tcl`. Αφού δημιουργηθεί και αποθηκευθεί το αρχείο, εκτελείται με την εντολή `ns broadcastvalidation.tcl` σε περιβάλλον λειτουργικού συστήματος LINUX-Ubuntu 9.04 στο οποίο έχει εγκατασταθεί το πακέτο `ns-allinone-2.34` που αποτελεί τον προσομοιωτή Δικτύου NS-2. Με την εκτέλεση αυτής της εντολής θα πρέπει να έχουν δημιουργηθεί τα αρχεία εξόδου `broadcast_validationA44.tr` που περιέχουν πληροφορίες για όλα τα γεγονότα που συνέβησαν κατά την προσομοίωση.

Ανάλυση αρχείου ίχνους (trace file)

Αφού έχει δημιουργηθεί το σενάριο προσομοίωσης, και έχει εκτελεστεί δημιουργούνται τα αρχεία αποτελεσμάτων-αρχείου ίχνους (trace file), τα οποία πρέπει να αναλυθούν ώστε να ληφθούν οι απαραίτητες πληροφορίες.

- (1) Ανάλυση με το πρόγραμμα `throughput.p1`.
- (2) Μέτρηση της ρυθμαπόδοσης στο συγκεκριμένο χρόνο της προσομοίωσης.
- (3) Εκτέλεση του προγράμματος ανάλυσης `throughput.p1` στην κονσόλα των LINUX με την παρακάτω εντολή:

```
throughput.p1 broadcast_validationA44.tr _0_ 50 > outA44.tr
```

5.8 Τελικά γραφήματα – διαγράμματα

Για διαφορετικές τιμές ρυθμών διαμεταγωγής δεδομένων `data rate` παρέχονται τα παρακάτω διαγράμματα για το δίκτυο VANET που προσομοιώνεται στο προσομοιωτή Δικτύου `Network Simulator NS-2`. Στα διαγράμματα απεικονίζεται η μεταβολή των πακέτων που χάνονται

κατά την διάρκεια επικοινωνίας – Packet Loss(bytes/sec) και η μεταβολή της μέσης ρυθμαπόδοσης □ Average Throughput(bytes/sec).

- Ως Packet Loss λαμβάνεται ο λόγος $sum - received / total_time$ όπου sum το συνολικό πλήθος των bytes που στέλνονται από τους κόμβους □ οχήματα στο ασύρματο κανάλι, received το πλήθος των bytes που λαμβάνεται από το κεντρικό κόμβο αποθήκευσης/αναμετάδοσης RSU και total_time ο συνολικός χρόνος της προσομοίωσης που είναι ίσος με 50 sec.
- Τα πακέτα που στέλνονται από τους κινούμενους κόμβους σημειώνονται στα trace files □ αρχεία ίχνους □ του NS □2 με το γράμμα 's' και αναφέρονται στο MAC επίπεδο με την ένδειξη 'MAC'
- Τα πακέτα που λαμβάνονται επιτυχώς σημειώνονται στα trace files □ αρχεία ίχνους □ του NS □2 με το γράμμα 'r' και αναφέρονται στο MAC επίπεδο με την ένδειξη 'MAC' .
- Τα πακέτα που χάνονται προκύπτουν είτε από συγκρούσεις πακέτων που στην συγκεκριμένη προσομοίωση δεν καταμετρούνται είτε από παρεμβολές ή θόρυβο στο κανάλι που απεικονίζονται με την κατανομή Nakagami-m, ή από ανεπαρκή ποσότητα παρεχόμενης ισχύος των κόμβων
- Ως μέση ρυθμαπόδοση του συστήματος-Average Throughput □ μετρείται ο λόγος $received / total_time$ του πλήθους των bytes που λαμβάνονται επιτυχώς από τον κόμβο RSU προς το συνολικό χρόνο της προσομοίωσης.

Οι διαλείψεις μικρής κλίμακας (Short term or Small □ scale fading) σχετίζονται με τις ταχύτερες μεταβολές του πλάτους του σήματος (ή της ισχύος), σε σχετικά μικρές αποστάσεις από τον πομπό.

Είναι αποτέλεσμα:

- Των πολλαπλών εκδόσεων του μεταδιδόμενου σήματος που φθάνουν στο δέκτη εξαιτίας ανακλάσεων, διαθλάσεων, περιθλάσεων, σκεδάσεων κ.λ.π.
- Της ταχύτητας του κινητού
- Της ταχύτητας των περιβαλλόντων αντικειμένων
- Του εύρους ζώνης του μεταδιδόμενου σήματος

Σε περίπτωση που έχουμε οπτική επαφή εκπομπής-λήψης το λαμβανόμενο σήμα αποτελείται από πολλαπλές ανακλώμενες συνιστώσες και μια απευθείας συνιστώσα από τον πομπό στο δέκτη. Η περιβάλλουσα του πλάτους του σήματος ακολουθεί κατανομή Rice και οι διαλείψεις που εμφανίζονται ονομάζονται διαλείψεις Rice (Rician fading). Γενικότερη μέθοδος είναι η Nakagami-m στην οποία περιλαμβάνονται τόσο η Rice όσο και η Rayleigh ($m=1$) σαν ειδικές περιπτώσεις. Ο συντελεστής m αντιπροσωπεύει τη διακύμανση του fading και είναι τόσο μεγαλύτερο όσο καλύτερο είναι το κανάλι επικοινωνίας. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του λαμβανόμενου λόγου σήματος προς θόρυβο, που για σταθερή θεώρηση θορύβου ανάγεται σε έκφραση λαμβανόμενης ισχύος, δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$P_{\gamma}(\gamma) = \frac{m^m \gamma^{m-1}}{\gamma^m \Gamma(m)} \exp\left(-\frac{m\gamma}{\gamma}\right)$$

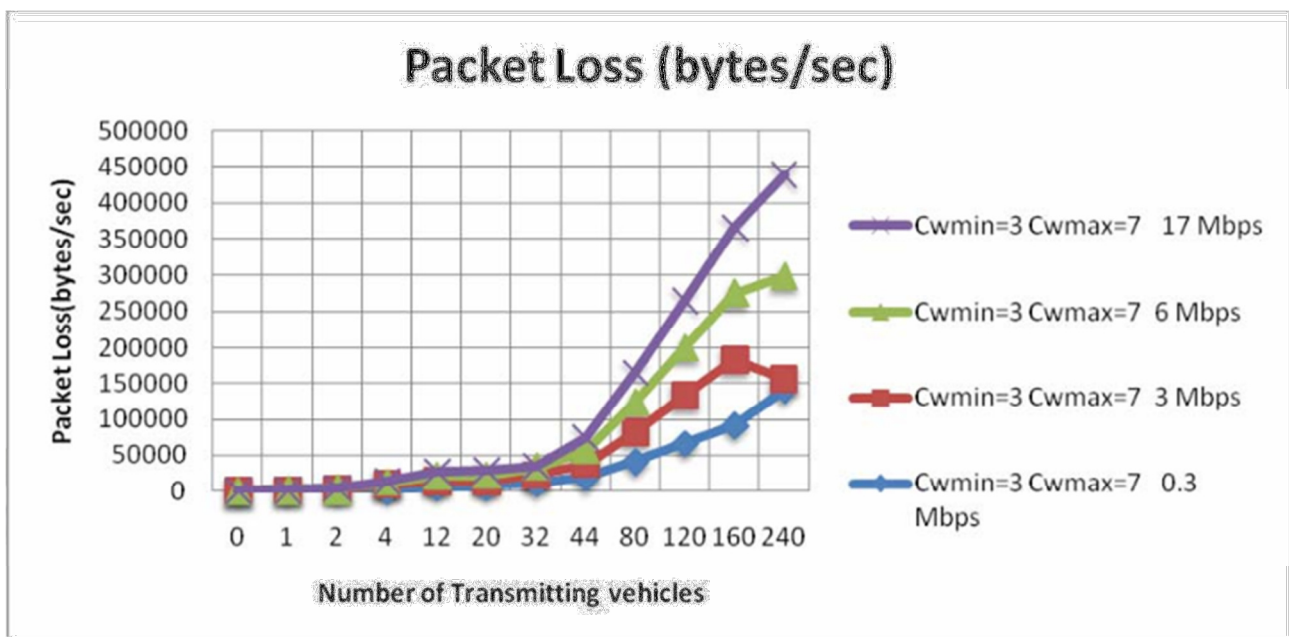
Το δίκτυο που μελετάται μπορεί να αναλυθεί σύμφωνα με τη συμπεριφορά του συστήματος slotted ALOHA που προσεγγίζεται από ένα σύστημα CSMA με τις εξής παραδοχές :

A) ο πληθυσμός των τερματικών οχημάτων που εκπέμπουν ταυτόχρονα τα μηνύματά τους δεν είναι «άπειρος» αλλά πεπερασμένος.

B) Τα τερματικά οχήματα παράγουν πακέτα σταθερού μήκους, επομένως η εκπομπή τους διαρκεί για ένα σταθερό χρονικό διάστημα T μονάδες χρόνου.

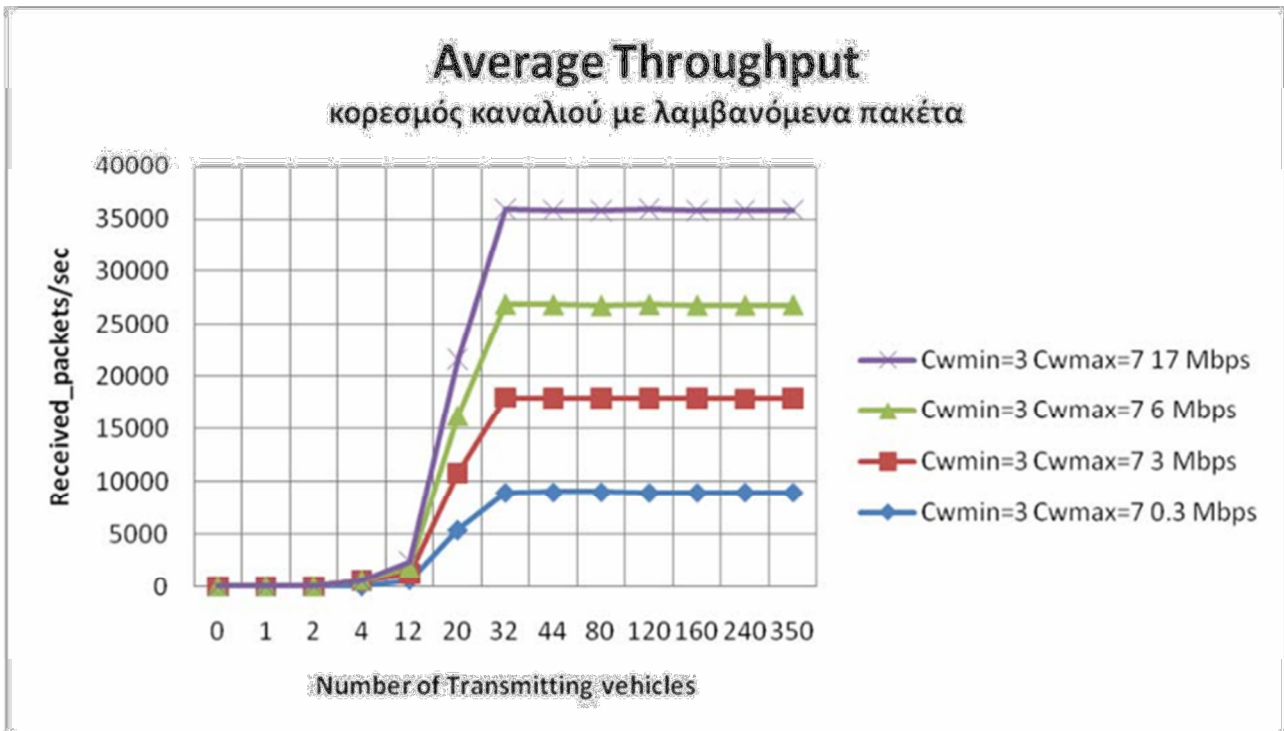
Γ) η διαδικασία παραγωγής πακέτων ακολουθεί κατανομή Poisson με μέση τιμή λ πακέτα ανά μονάδα χρόνου.

Επίδραση του ρυθμού μεταγωγής των δεδομένων (data rate) στην απόδοση του δικτύου VANET



Διάγραμμα 1 : Packet Loss (byte/sec) συναρτήσει του ρυθμού διαμεταγωγής των δεδομένων

Στο Διάγραμμα 1 παρατηρείται ότι για διαφορετικές τιμές ρυθμών μεταγωγής των δεδομένων η ποσότητα των bytes που χάνονται στο κανάλι αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των κόμβων οχημάτων που ταυτόχρονα εκπέμπουν τα μηνύματά τους.



Διάγραμμα 2 : Μέση Ρυθμαπόδοση

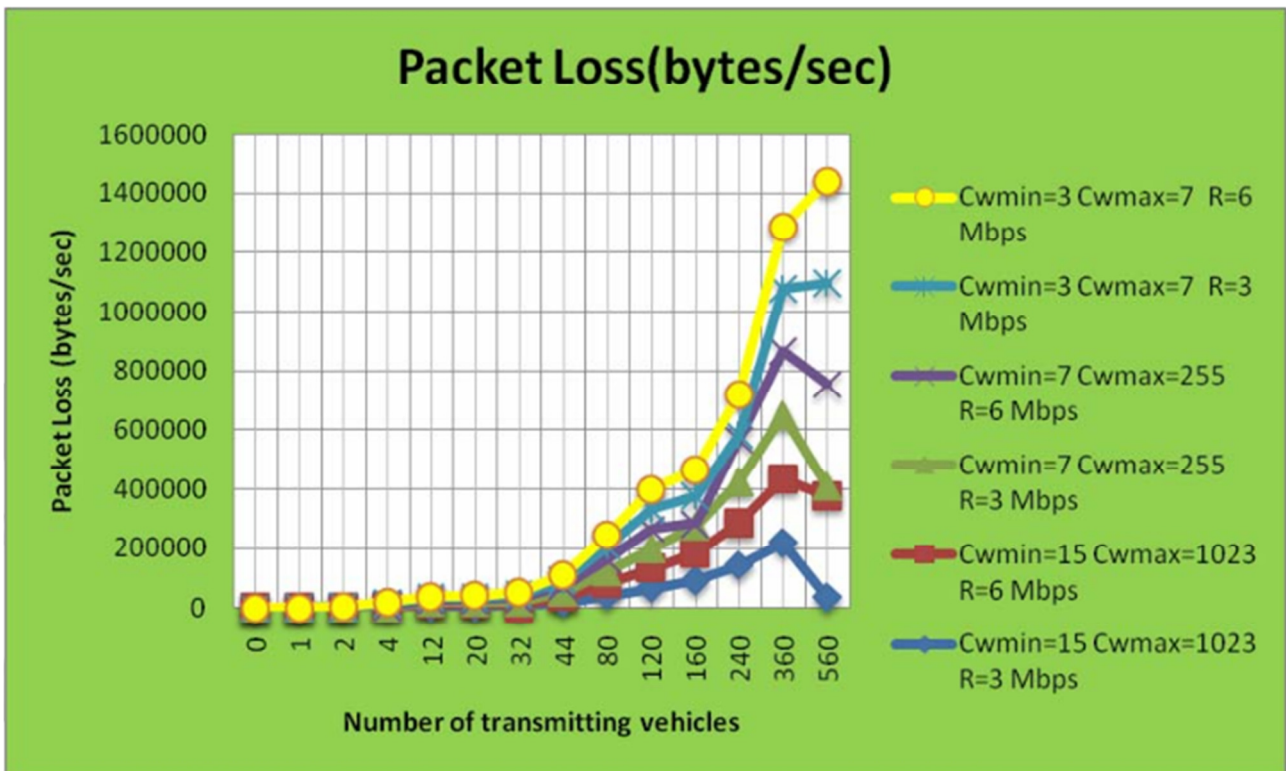
Στο Διάγραμμα 2 παρατηρείται ότι στο ασύρματο κανάλι επέρχεται κορεσμός μετά το πλήθος των 32 οχημάτων - κόμβων όπου ο αριθμός των bytes που τελικά λαμβάνεται επιτυχώς από τον κόμβο RSU τείνει να παραμένει σταθερός στην τιμή των 9000 bytes στα 50sec της επικοινωνίας. Τα τελικά αποτελέσματα από την επεξεργασία των αρχείων εξόδου του NS-2 παρέχονται στο παρακάτω πίνακα:

Κόμβοι	Cwin=3 Cwmax=7 0.3 Mbps	Cwin=3 Cwmax=7 3 Mbps	Cwin=3 Cwmax=7 6 Mbps	Cwin=3 Cwmax=7 17 Mbps
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
4	0	601,3023	0	0
12	601,1063	600,739	601,511	600,1953
20	5388,171299	5404,566	5404,46	5448,082
32	8952,284	9019,2009	8952,5	8979,743
44	8989,21925	8927,964	8944,261	8965,7645

80	9000,74135	8919,2949	8871,0463	8975,96918
120	8954,2588	8954,1711	8976,198	9024,1181
160	8952,87	8966,5784	8905,7054	8976,61455
240	8976,527	8891,994	8941,00106	9024,9813
350	8975,9952	8940,057	8928,35399	8976,0097

Πίνακας 4 :Μέση Ρυθμαπόδοση – Αποτελέσματα από την επεξεργασία των αρχείων εξόδου του NS-2

Η επίδραση της πυκνότητας των κόμβων (inter vehicle distance) στην απόδοση του δικτύου VANET. Το ασύρματο δίκτυο μεταξύ κόμβου υποδομής - οχημάτων (Mode Infrastructure) που προσομοιώνεται λαμβάνει διαφορετικές μορφές για τις διαφορετικές τιμές της παραμέτρου inter vehicle distance απόσταση μεταξύ οχήματος - οχήματος. Μελετείται η απόδοση του δικτύου (Packet Loss, Average Throughput) συναρτήσει της πυκνότητας των κόμβων - οχημάτων για τις διαφορετικές τιμές της παραμέτρου inter vehicle distance – απόσταση μεταξύ οχήματος-οχήματος.



Απόσταση μεταξύ οχημάτων =35m

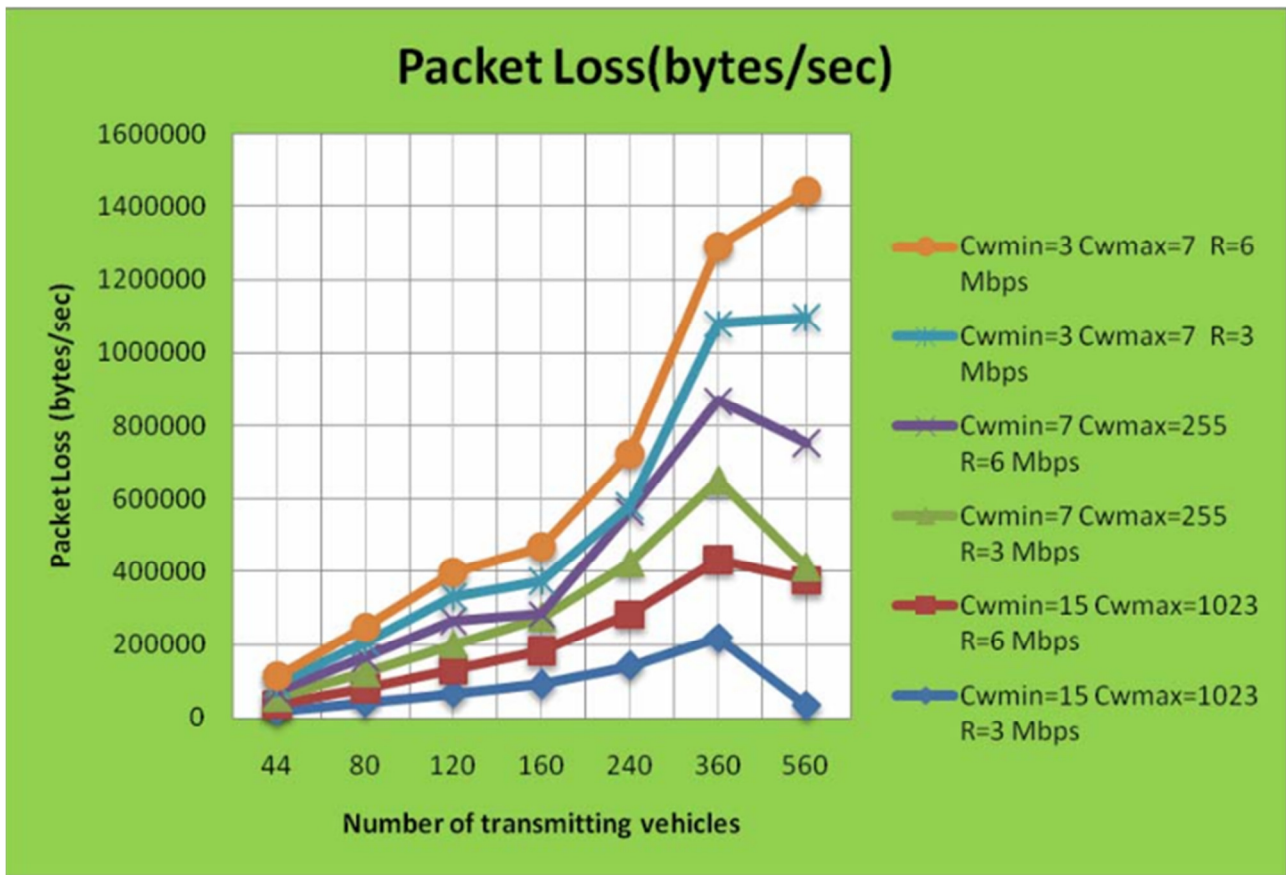
Διάγραμμα 3:Packet Loss (bytes/sec) για 3Mbps και 6 Mbps κανάλι και διαφορετικές τιμές backoff window

Κόμβοι	$C_{win}=15$ $C_{wmax}=1023$ $R=3$ Mbps	$C_{win}=15$ $C_{wmax}=1023$ $R=6$ Mbps	$C_{win}=7$ $C_{wmax}=255$ $R=3$ Mbps
1	630,4169011	636,83196	630,5963369
2	1256,62345	1243,77836	1248,577563
4	2543,610212	2538,871232	2546,478165
12	6949,2655	6942,9068	6924,32835
20	7155,89699	7201,456803	7166,708208
32	11122,45315	1118,169076	11092,52376
44	18573,3344	18696,12513	18705,53366
80	41414,72497	41342,10749	41172,69946
120	66473,20829	66640,9284	66388,27916
160	91387,40349	91523,48644	91588,91015
240	141692,697	141795,386	141960,3253
360	217152,5948	217028,2294	217213,7031

560	34255,29969	342947,4927	34839,7425
-----	-------------	-------------	------------

Πίνακας 5 :Packet Loss(byte/sec)

Cwin=7 Cwmax=255 R=6 Mbps	Cwin=3 Cwmax=7 R=3 Mbps	Cwin=3 Cwmax=7 R=6 Mbps
0	0	0
625,396099	640,11625	632,4306
1258,131886	1262,8364	1251,8909
2528,076743	6938,46842	2528,914
6956,895338	6919,39307	6978,6519
7155,697979	7128,34313	7178,485
11160,91325	11143,13675	11169,748
18666,57058	18678,80611	18650,653
41427,36894	41238,7542	41323,3908
66517,81458	66461,7954	66272,4278
9618,00853	91529,76	91505,603
141997,5095	14915,8378	141695,384
217243,0201	210823,6672	210804,9979



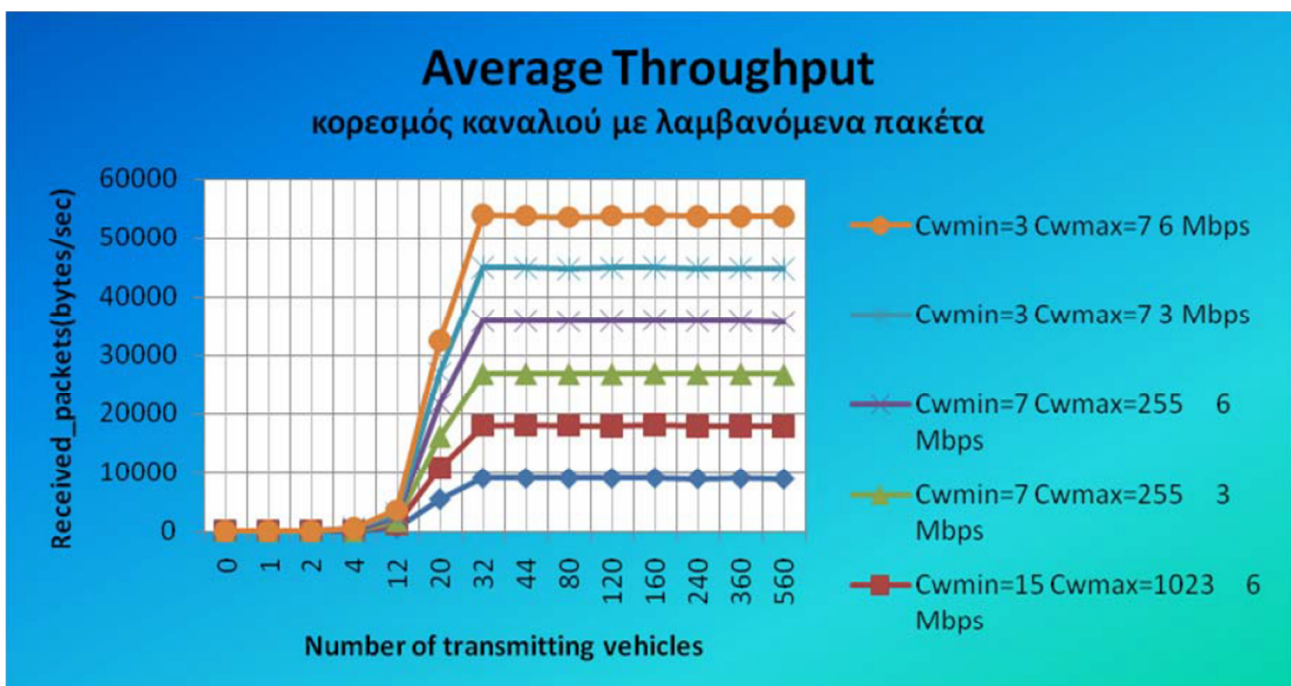
Διάγραμμα 4: Ποιο αναλυτικά (Number of transmitting Vehicles >44) Packet Loss για 3 Mbps και 6Mbps κανάλι για διαφορετικά μεγέθη backoff window

Στο **Διάγραμμα 4** παρατηρείται ότι για μικρές τιμές του παραθύρου οπισθοδρόμησης **CWMin=3 CWMax=7** όπως ορίζονται από το πρωτόκολλο το πλήθος των πακέτων που χάνονται είναι αυξημένο λόγω των πολλών συγκρούσεων μεταξύ των προσπαθειών των κινούμενων τερματικών να εκπέμψουν στο μέσο. Αντιθέτως καθώς αυξάνεται ο χρόνος οπισθοδρόμησης με μεγαλύτερες τιμές του παραθύρου ανταγωνισμού που πλησιάζει την τιμή των **CWMax=1023** χρονοσχισμών το πλήθος των πακέτων που χάνονται μειώνεται λόγω του γεγονότος ότι δίνεται η ευκαιρία δίκαιας πρόσβασης στο κανάλι και διασφαλίζεται ότι οι συγκρούσεις θα επιλυθούν σε λογικό διάστημα.

Τα συμπεράσματα αποδεικνύονται και από τα αριθμητικά αποτελέσματα της επεξεργασίας των αρχείων εξόδου του NS-2 που παρέχονται από το παρακάτω πίνακα:

Κόμβοι	Cwmin=15 Cwmax=1023	Cwmin=7 Cwmax=255	Cwmin=3Cwmax=7
0	0	0	0
1	630,4169011	630,5963369	640,11625
2	1256,62345	1248,577563	1262,8364
4	2543,610212	2546,478165	6938,46842
12	6949,2655	6924,32835	6919,39307
20	7155,89699	7166,708208	7128,34313
32	11122,45315	11092,52376	11143,13675
44	18573,3344	18705,53366	18678,80611
80	41414,72497	41172,69946	41238,7542
120	66473,20829	66388,27916	66461,7954
160	91387,40349	91588,91015	91529,76
240	141692,697	141960,3253	14915,8378
360	217152,5948	217213,7031	210823,6672
560	34255,29969	34839,7425	342655,63

Πίνακας 7: Packet Loss (bytes/sec) για 3Mbps – Αποτελέσματα από το NS-2



Διάγραμμα 5: Μέση Ρυθμαπόδοση για ρυθμούς διαμεταγωγής 3Mbps και 6Mbps και διαφορετικά μεγέθη back off window

Στο Διάγραμμα παρατηρείται σταθεροποίηση της ποσότητας των επιτυχώς λαμβανόμενων πακέτων από τον κόμβο RSU που τείνει στη σταθερή τιμή των 9000 bytes από το μέγιστο αριθμό κόμβων 32, γεγονός που αποδεικνύει άμεσα ότι το κανάλι δεν μπορεί να εξυπηρετήσει επιπλέον τηλεπικοινωνιακό φορτίο λόγω συνθηκών κορεσμού. Υπό αυτές τις συνθήκες μόνο το 0,2861% του καναλιού των 3Mbps και το 0,143% του καναλιού των 6Mbps χρησιμοποιείται στο χρόνο των 50sec της προσομοίωσης.

Βιβλιογραφία

1. Μ.Ε. Θεολόγου, Δίκτυα Κινητών & Προσωπικών Επικοινωνιών, Εκδόσεις Τζιόλα
2. Andrew S. Tanenbaum Δίκτυα Υπολογιστών –Εκδόσεις Κλειδάριθμος
3. Μητράκος Δημήτρης, Εισαγωγή στα Δίκτυα Επικοινωνίας Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Εκδόσεις Τζιόλα
4. Κακαλέτσης Ευστράτιος, Πρωτόκολλο Πρόσβασης Καναλιού Σε Δίκτυα Οχημάτων – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
5. Μιλτιάδης Κυριακάκος, Προσομοίωση Κινητικότητας και Πρόβλεψη Κίνησης σε Ασύρματα Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
6. ΚΙΟΚΕΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Μοντελοποίηση και Προσομοίωση Ασύρματου Δικτύου Επικοινωνίας Εντός Οδικού Περιβάλλοντος (IEEE 802.11p), Σχεδίαση Με χρήση της Γλώσσας VHDL (IEEE 1076) Και Υλοποίηση σε XILINX FPGA, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Papers

1. Todd Murray, Tammy Murray, Michael Cojocari and Huirong Fu, Member of IEEE, Measuring the Performance of IEEE 802.11p Using ns2 Simulator for Vehicular Networks
2. Kevin Collins, Intelligent Traffic Management Utilising Wireless Access in Vehicular Environments, Dublin City University, Dublin, Ireland
3. Technical Committee, CAR 2 CAR Communication Consortium Manifesto -Overview of the C2CCC System, Public Version 1.1 ,28thAugust, 2007

4. Rainer Baumann, Vehicular Ad hoc Networks(VANET)-Master's Thesis in Computer Science, ETH Zurich 2004

Websites

1. <http://nile.wpi.edu/NS/>
2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>