

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΙΝΗΣΗΣ"

**ΒΑΡΒΑΓΙΑΝΝΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ
ΑΜ: 0133**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΓΙΩΡΓΟΣ

ΝΑΥΠΑΚΤΟΣ 2013

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΑΣ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ
ΤΕΙ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ (2004-2006)
ΕΠΕΑΕΚ ΙΙ



Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Νάυπακτος, 30/4/2013

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

- 1.
- 2.
- 3.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	4
Μοντέλα Κίνησης	6
Κινητό ad hoc δίκτυο.....	6
Ad hoc δίκτυο οχημάτων.....	8
Μοντέλο Κίνησης με Ιεραρχική Επιρροή.....	9
Το μοντέλο κίνησης με επιρροή.....	11
Χαρακτηριστικά του μοντέλου	11
Γραφική Αναπαράσταση του Χώρου Προσομοίωσης.....	11
Δυαδικό Μοντέλο Επιρροής	14
Το Μοντέλο “Evil Rain”	15
Σενάρια	16
Μοντέλο Διάβασης Πεζών.....	16
Μοντέλο Ενδοκρατικών Ταξιδιών.....	20
Αστικά μοντέλα κίνησης οχημάτων.....	23
Μοντέλο του Σήματος Στοπ	24
Μοντέλο των Φαναριών	25
Συγκρίσεις.....	25
Μεταβολή στον αριθμό των κόμβων	26
Μεταβολή στον αριθμό των CBR πηγών.....	27
Μεταβολή στην ταχύτητα των οχημάτων	28
Μεταβολή στον μέγιστο χρόνο αναμονής στην διασταύρωση	29
Επίδραση του μεγέθους του οικοδομικού τετραγώνου.....	30
Αστικά μοντέλα κίνησης για Ασύρματα Δίκτυα.....	31
Περιγραφή	31

Δομή Δικτύου	33
Κινητά Μοντέλα και τύποι κόμβων	33
Δομή των Αστικών Δρόμων.....	36
Δημιουργία των διαδρομών	41
Συμπεράσματα	44
Υλοποίηση	51
Κώδικας	51
Βιβλιογραφία.....	53

Μοντέλα Κίνησης

Τα μοντέλα κίνησης αναπαριστούν την κίνηση των κινητών χρηστών, με απλά λόγια δείχνουν πώς αλλάζει στον χρόνο η θέση, η ταχύτητα και η επιτάχυνσή τους. Συνήθως χρησιμοποιούνται για την δημιουργία νέων τεχνικών επικοινωνίας και στην επαλήθευση των προβλεπόμενων αποτελεσμάτων.

Στην μελέτη ενός νέου πρωτοκόλλου ενός κινητού δικτύου είναι αρκετά σημαντικό να προσομοιωθεί και να αξιολογηθεί η απόδοσή του. Το πρωτόκολλο προσομοίωσης έχει κάποιες σημαντικές παραμέτρους, όπως είναι το μοντέλο κίνησης καθώς, επίσης, και το πρότυπο της κίνησης. Τα μοντέλα κίνησης χαρακτηρίζουν τα πρότυπα κίνησης των χρηστών, ενώ τα μοντέλα κυκλοφορίας περιγράφουν την κατάσταση των υπηρεσιών.

Για ένα μοντέλο κίνησης η συμπεριφορά ή η δραστηριότητα της κίνησης ενός χρήστη μπορεί να περιγραφεί χρησιμοποιώντας αναλυτικά μοντέλα αλλά και μοντέλα προσομοίωσης. Τα δεδομένα εισόδου σε ένα αναλυτικό μοντέλο είναι απλοποιημένες υποθέσεις σχετικά με την κίνηση των χρηστών. Τέτοια μοντέλα μπορούν να δώσουν παραμέτρους απόδοσης για απλές περιπτώσεις μέσα από μαθηματικούς υπολογισμούς. Αντίθετα, τα μοντέλα προσομοίωσης θεωρούνται σενάρια κίνησης με περισσότερη λεπτομέρεια και πιο κοντά στην πραγματικότητα. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να είναι λύσεις με μεγαλύτερη αξία για πιο σύνθετες περιπτώσεις. Μερικά μοντέλα κίνησης είναι:

- Brownian model
- random waypoint model
- random walk model
- random direction model
- random Gauss-Markov model
- Markovian model
- incremental model,
- column model
- fluid flow model
- exponential correlated random model
- map based model
- Manhattan mobility model
- Mission critical mobility model
- obstacle mobility model

- mobility vector model
- reference point group model (RPGM)
- pursue model
- nomadic community model
- smooth random mobility model
- post disaster mobility model
- και άλλα

Κινητό ad hoc δίκτυο

Ένα MANET (Mobile Ad hoc NETWORK – Κινητό Ad hoc δίκτυο) είναι ένα αυτορρυθμιζόμενο και χωρίς υποδομή δίκτυο κινητών συσκευών που συνδέονται μέσω ασύρματων ζεύξεων. Ad hoc είναι λατινική φράση που σημαίνει "γι' αυτό το σκοπό".

Κάθε συσκευή σε ένα MANET είναι ελεύθερη να κινηθεί σε κάθε κατεύθυνση και, ως εκ τούτου, να αλλάζει συχνά τις ζεύξεις της με άλλες συσκευές. Καθεμιά θα πρέπει να προωθεί την κυκλοφορία των δεδομένων που δεν σχετίζονται με τη δική της χρήση και, συνεπώς, να λειτουργεί ως δρομολογητής. Η κύρια πρόκληση για την οικοδόμηση ενός MANET είναι ο εφοδιασμός κάθε συσκευής έτσι ώστε να διατηρεί συνεχώς τις πληροφορίες που απαιτούνται για να δρομολογεί κατάλληλα την κυκλοφορία. Τα εν λόγω δίκτυα μπορούν είτε να λειτουργήσουν αυτόνομα είτε να συνδεθούν στο Internet.

Τα MANETs είναι ένα είδος ασύρματων ad hoc δικτύων με δρομολογήσιμο δικτυακό περιβάλλον στην κορυφή του στρώματος Ζεύξης Δεδομένων του Μοντέλου Αναφοράς OSI.

Η ανάπτυξη των φορητών υπολογιστών και ασύρματης δικτύωσης 802.11/Wi – Fi έχουν καταστήσει τα MANETs ένα δημοφιλές θέμα έρευνας από τα μέσα της δεκαετίας του '90. Πολλές ακαδημαϊκές εργασίες αξιολογούν τα πρωτόκολλα και τις δυνατότητές τους, όπου υποθέτουν ποικίλους βαθμούς κινητικότητας μέσα σε έναν οριοθετημένο χώρο, συνήθως με τους κόμβους να απέχουν ελάχιστα άλματα (hops) μεταξύ τους. Διαφορετικά πρωτόκολλα αξιολογούνται τότε βάσει των μετρήσεων, όπως ρυθμός απώλειας πακέτων (packet drop rate), το overhead που έχει εισαχθεί από το πρωτόκολλο δρομολόγησης, η end – to – end καθυστέρηση των πακέτων, το throughput του δικτύου, κλπ.

Ad hoc δίκτυο οχημάτων

Ένα δίκτυο Ad Hoc οχημάτων, γνωστό ως VANET, είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί κινούμενα οχήματα για κόμβους για την δημιουργία ενός κινητού δικτύου. Το δίκτυο αυτό μετατρέπει κάθε όχημα που συμμετέχει σε ένα ασύρματο δρομολογητή ή κόμβο, επιτρέποντας την επικοινωνία των οχημάτων που απέχουν περίπου 100 με 300 μέτρα και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός ευρύτερου δικτύου. Κάθε φορά που ένα όχημα βγαίνει εκτός εμβέλειας και χάνεται από το δίκτυο, αλλά οχήματα μπορούν να εισέλθουν σε αυτό με την σύνδεσή τους σε κάποιο από τα υπάρχοντα οχήματα. Υπολογίζεται ότι η αστυνομία και η πυροσβεστική θα είναι οι πρώτοι που θα χρησιμοποιήσουν τέτοιου είδους συστήματα για να επικοινωνούν μεταξύ τους για λόγους ασφαλείας.

Τα περισσότερα θέματα που υφίστανται στα δίκτυα MANET περιέχονται και στα VANET, όμως διαφέρουν στις λεπτομέρειες. Σε αντίθεση με την τυχαία κίνηση των πρώτων, τα οχήματα τείνουν να κινούνται με οργανωμένο τρόπο. Η κίνηση των οχημάτων περιορίζεται αυστηρά στην περιοχή κίνησής τους, για παράδειγμα ένα αυτοκίνητο που βρίσκεται σε μια εθνική οδό.

Μοντέλο Κίνησης με Ιεραρχική Επιρροή

Τα μοντέλα κίνησης έχουν έναν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην σχεδίαση, ανάπτυξη και υλοποίηση ενός παραδοσιακού κινητού δικτύου. Πολλά μοντέλα κίνησης έχουν προταθεί και έχουν πολλά δυνατά σημεία και πλεονεκτήματα, όμως αποτυγχάνουν να αποτυπώσουν κάποιους σημαντικούς παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα, αναδυόμενα ad hoc συστήματα που περιλαμβάνουν κλάσεις από κόμβους, όπως οχήματα και ανθρώπους που αλληλεπιδρούν και επηρεάζουν η μια κλάση την άλλη με έναν ιεραρχικό και πολλαπλής ανάλυσης τρόπο.

Παρακάτω θα παρουσιαστεί ένα μοντέλο κίνησης το οποίο θα αναφέρεται ως μοντέλο κίνησης με ιεραρχική επιρροή σύμφωνα με την βιβλιογραφία [2]. Αυτό το μοντέλο ενσωματώνει και επεκτείνει τις σημαντικές πτυχές ενός μοντέλου επιρροής και μια θεωρητική γραφική αναπαράσταση της περιοχής προσομοίωσης. Το ιεραρχικό μοντέλο επιρροής δείχνει το αποτέλεσμα της κίνησης μιας ομάδας κόμβων στην κίνησης μιας άλλης ομάδας, όταν η δεύτερη περιορίζει την κίνησή της λόγω του περιβάλλοντα χώρου και των διαθέσιμων πόρων τους.

Κίνηση βασισμένη σε μια αποστολή

Οι άνθρωποι δεν μετακινούνται τυχαία γύρω από ένα σημείο. Η κίνησή τους συνήθως περιλαμβάνει κάποια αποστολή. Στην πλειοψηφία τους οι άνθρωποι μετακινούνται μέσα στα όρια μιας γειτονιάς, για παράδειγμα η κίνηση μέσα σε ένα γραφείο ή μέσα στο σπίτι. Είναι πολύ σπάνια η περίπτωση που κάποιος φτάνει σε έναν προορισμό και επιτόπου θα πάει σε κάποιον άλλον. Μπορεί να αποτυπωθεί ότι όσο μεγαλύτερη η απόσταση που διένυσε κάποιος για να φτάσει σε έναν προορισμό τόσο περισσότερο θα μείνει εκεί. Εάν ένας άνθρωπος μετακινηθεί από το ένα δωμάτιο στο άλλο, το πιο πιθανό είναι να μείνει εκεί για μερικά δευτερόλεπτα, μερικά λεπτά ή μερικές ώρες. Όμως στην περίπτωση που κάποιος άνθρωπος μετακινηθεί από ένα μέρος μιας πόλης σε κάποιο άλλο, τότε μπορεί με ασφάλεια να υποθεθεί ότι η διαμονή του στο δεύτερο δεν θα είναι για μερικά λεπτά, αλλά πιθανώς για λίγες ώρες. Αντίστοιχα, αν κάποιος

μεταφερθεί από μια χώρα σε κάποια άλλη, όπως για παράδειγμα από την Ελλάδα στην Ολλανδία, μπορεί να υποτεθεί με καλή πιθανότητα ότι θα μείνει για μερικές μέρες. Από τα παραπάνω βγάζουμε το συμπέρασμα ότι υπάρχει μια άμεση σχέση της απόστασης που διανύθηκε μεταξύ δύο σημείων και του χρόνου που διαμένει κάποιος στον προορισμό του.

Επιλογή Μονοπατιού

Οι άνθρωποι δεν μετακινούνται άσκοπα γύρω από μια περιοχή με την ελπίδα ότι θα φτάσουν στον προορισμό τους κατά τύχη. Αντ' αυτού επιλέγουν τις διαδρομές τους για τον προορισμό με βάση την κυκλοφοριακή συμφόρηση, το κόστος, την απόσταση και τον χρόνο.

Ομαδοποίηση των Κινητών Κόμβων

Είναι αρκετά εφικτό να ομαδοποιηθούν οι κινητοί κόμβοι σε ομάδες/κλάσεις με βάση κάποια χαρακτηριστικά τους, όπως είναι η τοποθεσία τους και η ταχύτητά τους. Οι κόμβοι στην ίδια κλάση κινούνται μαζί σε παρόμοιες διαδρομές, π.χ. οι πεζοί και οι ποδηλάτες τείνουν να μένουν στο πεζοδρόμιο και σπάνια θα βρεθούν ανάμεσα σε οχήματα με υψηλές ταχύτητες και φυσικά το αντίθετο.

Αλλαγή Κλάσης

Ένας κινητός κόμβος μπορεί να αλλάξει κλάση, για παράδειγμα ένας άνθρωπος να κατέβει από ένα αυτοκίνητο και να μπει στο ρεύμα των πεζών ανθρώπων σε κάποιο πεζοδρόμιο. Αντίστοιχα κάποιος πεζός να μπει σε ένα αυτοκίνητο.

Εξάρτηση

Η κίνηση των κινητών κόμβων δεν είναι ανεξάρτητη αυτής των άλλων κόμβων. Η συμπεριφορά μιας κλάσης έχει επίδραση στην συμπεριφορά διπλανών κόμβων άλλων κλάσεων. Το πιο απλό παράδειγμα είναι τα φανάρια σε μια διασταύρωση, όπου η κίνηση των πεζών που ανήκουν στην μια κλάση εξαρτάται από την κίνηση στον δρόμο των οχημάτων.

Το μοντέλο κίνησης με επιρροή

Σύμφωνα με την ταξινόμηση του Bettstetter, το ιεραρχικό μοντέλο κίνησης με επιρροή μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως ένα υβριδικό μοντέλο κίνησης βασισμένο σε γράφο. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο ένα στοιχείο του γράφου περιορίζει την κίνηση των κόμβων επειδή υπάρχουν εμπόδια στο περιβάλλον. Επίσης, το δυαδικό μοντέλο επιρροής, που είναι μια ειδική κατηγορία, είναι ένα στοχαστικό μοντέλο που εισάγει ένα δυαδικό βαθμό τυχαιότητας.

Χαρακτηριστικά του μοντέλου

Και τα δυο προαναφερθέντα μοντέλα μπορούν να αναπαρασταθούν από γράφους με τις ίδιες ομάδες κορυφών. Όμως αυτοί οι δύο γράφοι διαφέρουν στα σύνολα των ακμών τους. Οι ακμές του απλού γράφου περιγράφουν την δυνατότητα πρόσβασης μεταξύ των περιοχών. Το σύνολο των ακμών στο δυαδικό μοντέλο επιρροής, από την άλλη, περιγράφει το μέγεθος της επιρροής που ασκούν οι κόμβοι μιας περιοχής σε αυτούς μιας άλλης.

Γραφική Αναπαράσταση του Χώρου Προσομοίωσης

Έστω ότι ο χώρος της προσομοίωσης χωρίζεται σε n διαφορετικές περιοχές π_i , όπου $1 \leq i \leq n$, τέτοιες ώστε το $\bigcup_{i=1}^n \pi_i$ είναι ολόκληρη η περιοχή προσομοίωσης που είναι προσβάσιμη από οποιονδήποτε κόμβο. Η κινητικότητα ενός κόμβου καθορίζεται από την περιοχή στην οποία ανήκει. Οι περιοχές επιτρέπεται να επικαλύπτουν τμηματικά ή ακόμα και ολόκληρες άλλες ενώ αριθμούνται από το 1 έως το n . Το μοντέλο κίνησης θα περιορίζει την

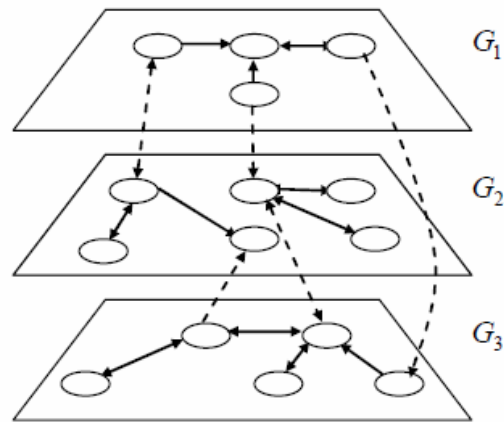
κίνηση μεταξύ των περιοχών σύμφωνα με το γράφημα $G(S, E)$, όπου S είναι το σύνολο των κορυφών που αναπαριστούν τις περιοχές και E είναι το σύνολο των ακμών που αναπαριστούν τις διαδρομές μεταξύ των περιοχών του S . Αυτή η παραδοχή λαμβάνει υπόψη τους περιορισμούς που τίθενται στην κίνηση των ανθρώπων λόγω φυσικών εμποδίων. Όμως δεν μπορεί να συμπεριλάβει την περίπτωση που ορισμένες περιοχές ενώνονται μόνο για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και όχι για πάντα.

Πιο συγκεκριμένα, μπορεί ένας κόμβος να μην έχει τα απαραίτητα εφόδια για να περάσει από κάποια περιοχή, για παράδειγμα ένας πεζός δεν μπορεί να περάσει από μια περιοχή που υπάρχει ένας δρόμος ταχείας κυκλοφορίας. Για να αναπαρασταθεί η κίνηση των κόμβων μεταξύ των περιοχών με περισσότερη ακρίβεια χρησιμοποιείται μια διαφορετική αναπαράσταση της περιοχής προσομοίωσης. Αποτελείται από m δίκτυα μεταφοράς τα οποία είναι διασυνδεδεμένα. Κάθε δίκτυο i περιλαμβάνει n_i συνεχόμενες αριθμημένες περιοχές, όπου $1 \leq i \leq m$. Προφανώς ο συνολικός αριθμός των n περιοχών στον χώρο προσομοίωσης είναι $n = \sum_{i=1}^m n_i$.

Ο χώρος προσομοίωσης αναπαρίσταται από ένα πίνακα G , αποτελούμενο από m^2 υπό – πίνακες. Κάθε ξεχωριστό στοιχείο g_{ij} του G είναι είτε 1, όταν υπάρχει μια διαδρομή από την περιοχή s_i στην s_j , είτε 0 όταν δεν υπάρχει. Οι m τετράγωνοι πίνακες G_{ii} , όπου $1 \leq i \leq m$, διάστασης $n_i \times n_i$ περιγράφουν τις συνδέσεις από τις περιοχές του δικτύου G_{ii} στο δίκτυο G_{jj} .

Η παρακάτω εικόνα δείχνει μια γραφική αναπαράσταση του χώρου προσομοίωσης που αποτελείται από τρία διασυνδεδεμένα δίκτυα μεταφοράς. Κάθε πίνακας G_{ii} αναπαριστά ένα δίκτυο μεταφοράς το οποίο μπορεί να διασχισθεί χρησιμοποιώντας μόνο τα προκαθορισμένα μέσα. Ένας κόμβος επιτρέπεται να αλλάξει από την περιοχή s_{from} στο δίκτυο G_{ii} στην περιοχή s_{to} του δικτύου G_{jj} μόνο όταν:

1. Υπάρχει μια διαδρομή μέσα στο G_{ij} μεταξύ των περιοχών s_{from} και s_{to} .
2. Ο κόμβος έχει όλα τα μέσα που χρειάζονται για το δίκτυο j .



Οι κόμβοι κινούνται μέσα στον χώρο προσομοίωσης από μια τυχαία περιοχή S_{source} σε μια άλλη τυχαία περιοχή προορισμού $S_{destination}$ (αυτό αποτελεί το λεγόμενο ταξίδι). Όταν ένας κόμβος αποφασίσει να εκτελέσει ένα νέο ταξίδι, του τίθενται ένα σύνολο από μέσα. Τα μέσα αυτά παίρνουν την μορφή εισιτηρίων. Κάθε δίκτυο μεταφοράς χρειάζεται ένα εισιτήριο για την μετακίνηση από την μια περιοχή στην άλλη. Έτσι, τα διαθέσιμα μέσα κάθε κόμβου αναπαρίστανται από ένα διάνυσμα \bar{T} μήκους m , για το οποίο η αρχική τιμή κάθε στοιχείου καθορίζεται αυθαίρετα.

Το κόστος που χρειάζεται για ένα βήμα μεταξύ δύο παρακείμενων περιοχών S_{from} και S_{to} που βρίσκονται και οι δύο στο δίκτυο μεταφοράς G_{ii} είναι ένα εισιτήριο τύπου T_i . Για την μεταφορά μεταξύ των περιοχών S_{from} και S_{to} που βρίσκονται σε δυο διαφορετικά δίκτυα G_{ii} και G_{jj} κοστίζει αντίστοιχα στον κόμβο ένα εισιτήριο τύπου T_j . Ο κάθε κόμβος πρέπει να επιλέξει μια διαδρομή από την περιοχή S_{from} στην S_{to} των οποίων τα κόστη δεν ξεπερνούν τους διαθέσιμους πόρους \bar{T} που έχει στην διάθεσή του. Όταν ο κόμβος φθάνει στην περιοχή $S_{destination}$ παραμένει εκεί για μια χρονική περίοδο αντίστοιχη του μήκους του ταξιδιού που έκανε για να φθάσει εκεί πριν μπει στην διαδικασία να κάνει ένα καινούριο ταξίδι.

Δυαδικό Μοντέλο Επιρροής

Το δυαδικό μοντέλο επιρροής είναι ένα στοχαστικό μοντέλο βασισμένο στις αλυσίδες του Markov. Η επιρροή που ασκεί μια περιοχή σε μια άλλη απεικονίζεται στον πίνακα επιρροής D διαστάσεων $n \times n$. Ο D είναι ένας στοχαστικός πίνακας του οποίου τα στοιχεία κάθε γραμμής έχουν άθροισμα 1. Το $s[k]$ είναι το διάνυσμα κατάσταση μήκους n που υποδηλώνει την προσβασιμότητα όλων των n περιοχών την χρονική στιγμή k , όπου η τιμή 1 σημαίνει ότι η περιοχή είναι προσβάσιμη ή όχι. Το $r[k]$ είναι το διάνυσμα πιθανότητας, μήκους n , για την ίδια χρονική στιγμή.

Παρακάτω δίνονται οι εξισώσεις του δυαδικού μοντέλου επιρροής:

$$r[k + 1] = D \times s[k]$$

$$s[k + 1] = \text{Bernulli}(r[k + 1])$$

Η συνάρτηση Bernulli() είναι η παραδοσιακή συνάρτηση ρίψης ενός νομίσματος, που επιστρέφει 1 σύμφωνα με την πιθανότητα που καθορίζει το όρισμά της. Έτσι εισάγεται και η έννοια της τυχαιότητας του μοντέλου. Οι δύο παραπάνω συναρτήσεις είναι κατά πολύ παραπλήσιες των συναρτήσεων των αλυσίδων του Markov. Όμως η γραφική αναπαράσταση του δικτύου διαφέρει.

Σε μια αλυσίδα Markov το άθροισμα των βαρών των εξερχόμενων ακμών μιας κορυφής είναι 1. Αντίθετα, στο δίκτυο επιρροής το άθροισμα όλων των εισερχόμενων ακμών είναι 1. Στο ιεραρχικό μοντέλο κίνησης με επιρροή, κάθε ξεχωριστό στοιχείο d_{ij} του D , όπου $1 \leq i, j \leq n$, είναι η κλασματική δύναμη της επιρροής της περιοχής s_j που ασκεί στην περιοχή s_i από την συνολική επιρροή που ασκείται στην περιοχή s_i , συμπεριλαμβανομένης και της ίδιας. Έτσι, τα στοιχεία στην διαγώνιο d_{ii} του D είναι η τάση του s_i να παραμένει στην κατάσταση του και να αντιστέκεται στις εξωτερικές επιρροές.

Το Μοντέλο “Evil Rain”

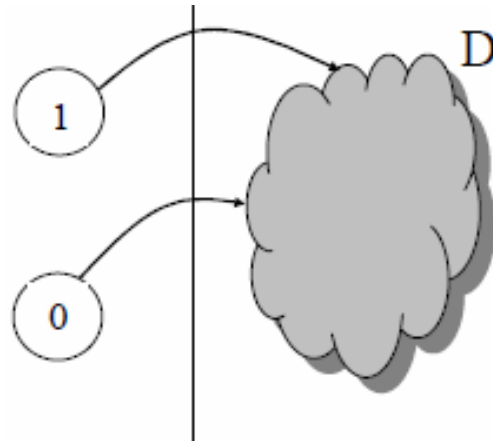
Μια ειδική περίπτωση του δυαδικού μοντέλου επιρροής είναι το μοντέλο “Evil Rain”. Σε αυτό το μοντέλο ο γράφος αποτελείται από δύο αυτόνομες κλάσεις με προκαθορισμένες σταθερές καταστάσεις 1 και 0 και μια εξαρτώμενη κλάση D. Ο πίνακας επιρροής D_e του δικτύου φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση, στα πλαίσια του πίνακα επιρροής D της εξαρτώμενης κλάσης και των δύο διανυσμάτων επιρροής e_1 και e_2 που ορίζουν το μέγεθος της επιρροής των αυτόνομων περιοχών στις περιοχές της εξαρτώμενης κλάσης.

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ e_1 & e_2 & D \end{bmatrix}$$

Ομοίως το διάνυσμα κατάσταση $s_e[k]$ είναι μια συνένωση των 1, 0 και του διανύσματος $s[k]$. Το D_e και το $s_e[k]$ αντικαθιστούν τα ομόλογά τους στον D και στο $s[k]$ στις εξισώσεις του δυαδικού μοντέλου επιρροής.

$$s_e[k] = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ s[k] \end{bmatrix}$$

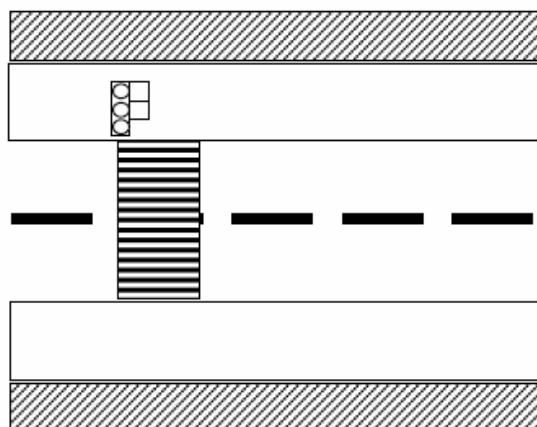
Το παρακάτω σχήμα δείχνει μια γραφική αναπαράσταση του μοντέλου “Evil Rain” όπου δείχνει τις ξεχωριστές αυτόνομες και εξαρτώμενες περιοχές. Αυτό το μοντέλο είναι αρκετά ταιριαστό σε σενάρια όπου περιλαμβάνουν φανάρια χωρίς ανάδραση.



Σενάρια

Μοντέλο Διάβασης Πεζών

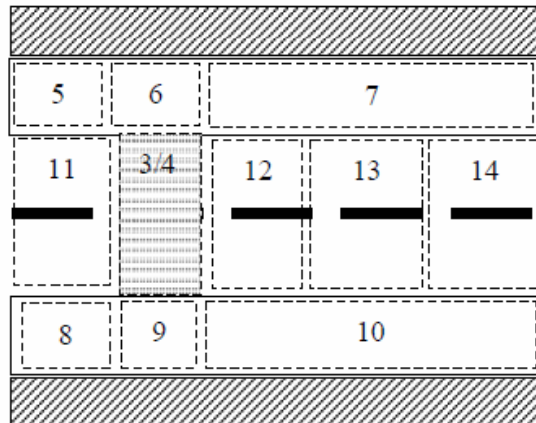
Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται μια διάβαση πεζών σε μια λεωφόρο με πολύ κίνηση και υπάρχει ένα φανάρι για να ρυθμίσει την κυκλοφορία, το οποίο αλλάζει κατάσταση περιοδικά. Φαίνεται ότι υπάρχει μια διπλή λωρίδα κυκλοφορίας στον δρόμο που κινείται από τα δυτικά στα ανατολικά, ένα φανάρι, μια διάβαση πεζών και δύο πεζοδρόμια βόρεια και νότια του δρόμου που φράσσεται από κτίριο ή από περιοχές χωρίς πρόσβαση για τους κόμβους.



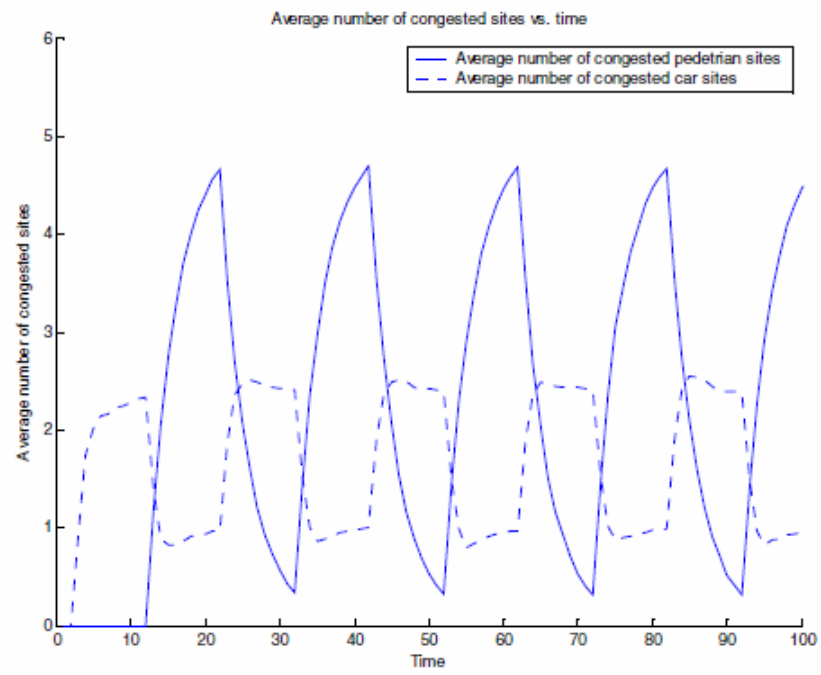
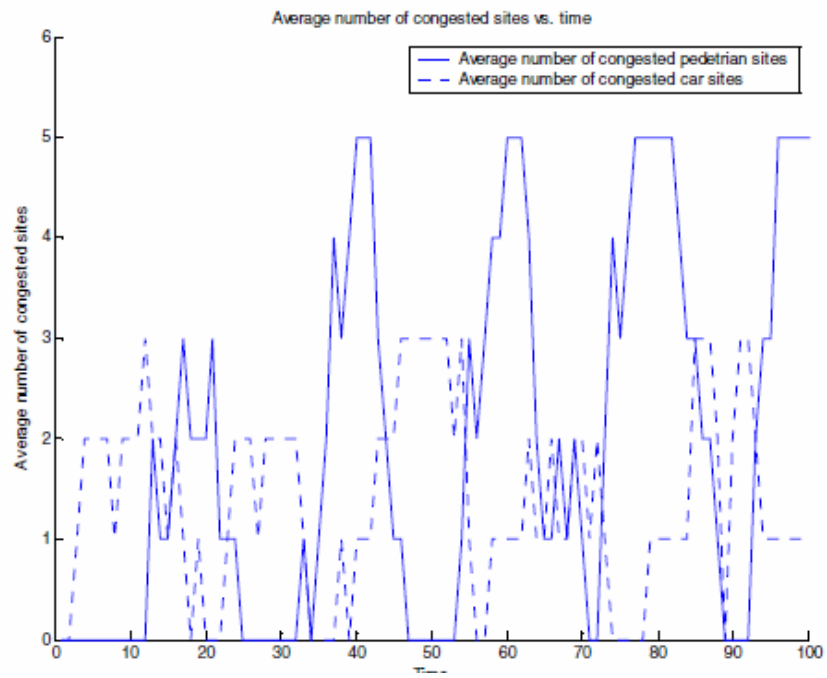
Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η παραπάνω εικόνα, με τη διαφορά ότι έχει χωριστεί σε περιοχές. Οι περιοχές π_3 και π_4 υπερκαλύπτουν η μια την άλλη και βρίσκονται στην διάβαση πεζών. Θεωρούμε ότι αυτή η περιοχή χρησιμοποιείται από δύο κλάσεις κόμβων, τους πεζούς και τα οχήματα. Οι πεζοί μένουν στο πεζοδρόμιο και επιτρέπεται να διασχίσουν την διάβαση αν και μόνο αν το υποδείξει ο σηματοδότης. Οι πεζοί μπορούν να έχουν στην διάθεσή τους οποιαδήποτε από τις περιοχές π_5 , π_7 , π_8 ή π_{10} για την $\pi_{εκκίνησης}$ και $\pi_{τερματισμού}$. Η π_3 είναι μέρος του δικτύου μετακίνησης των πεζών, ενώ η π_4 των οχημάτων. Ο δρόμος αποτελείται από τις περιοχές π_{11} , π_4 , π_{12} , π_{13} και π_{14} , όπου μπορούν να μετακινηθούν μόνο τα αυτοκίνητα από την π_{14} προς την π_{11} . Από την στιγμή που θεωρείται ότι η κυκλοφορία ρυθμίζεται από ένα ανοικτό σύστημα βρόχου, το μοντέλο “Evil Rain” μπορεί ιδανικά να ταιριάζει στο σενάριο αυτό. Οι π_1 και π_2 είναι δυο αυτόνομες περιοχές που αναπαριστούν το σήμα του φαναριού για τους πεζούς και τα οχήματα αντίστοιχα. Είναι φανερό ότι η κατάσταση $\pi_1[k]$ θα είναι πάντα το συμπλήρωμα της $\pi_2[k]$. Για την προσομοίωση του φαναριού αλλάζουμε την κατάστασή του περιοδικά κάθε δέκα κύκλους.

Η περιοχή π_1 ασκεί άμεση επιρροή στην π_3 μόνο και αντίστοιχα η π_2 στην π_4 . Στο δίκτυο μετακίνησης των πεζών η μη πρόσβαση στην περιοχή π_3 θα επηρεάσει την π_6 και π_9 ώστε να μην είναι προσβάσιμες. Αυτό θα προκαλέσει το φαινόμενο του συνωστισμού και στις δύο πλευρές του δρόμου όταν το φανάρι είναι κόκκινο. Η περιοχή π_6 , με την σειρά της, ασκεί μια μικρότερη επιρροή στις π_5 και π_7 που κάνουν τις περιοχές μη προσβάσιμες λόγω του συνωστισμού. Το ίδιο συμβαίνει και από την άλλη πλευρά του δρόμου στις περιοχές π_9 , π_8 και π_{10} . Η συμφόρηση και στις δύο πλευρές μειώνεται όταν το φανάρι ανάψει πράσινο για τους πεζούς.

Από την άλλη, για το δίκτυο μετακίνησης των οχημάτων, με το κόκκινο φανάρι η περιοχή π_4 γίνεται μη προσβάσιμη για τα οχήματα και δημιουργεί συμφόρηση στις περιοχές π_{12} , π_{13} και π_{14} . Η συμφόρηση μειώνεται όταν το φανάρι γίνει πράσινο.

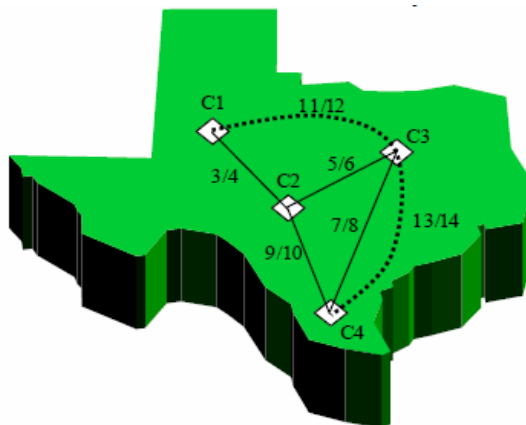


Ένα σημαντικό σημείο είναι να επαληθευτεί η δυνατότητα του ιεραρχικού μοντέλου κίνησης με επιρροή έτσι ώστε να αποτυπώνει την ικανότητα μιας κλάσης κόμβων να επηρεάζει την κίνηση μιας άλλης. Για την εξακρίβωση εκτελέστηκε το εξής πείραμα: 1000 προσομοιώσεις του παραπάνω σεναρίου, με 100 χρονικές περιόδους η κάθε μια και το φανάρι να αλλάζει κατάσταση κάθε 10 περιόδους. Οι μετρήσεις που φαίνονται αφορούν την συμφόρηση στις μη προσβάσιμες περιοχές, για τους πεζούς και τα οχήματα αντίστοιχα, συναρτήσει του χρόνου. Το πρώτο γράφημα δείχνει τα αποτελέσματα μιας προσομοίωσης. Διαισθητικά είναι αναμενόμενο ότι όταν οι πεζοί σταματούν στο κόκκινο φανάρι, ο αριθμός των περιοχών με συμφόρηση των πεζών αρχίζει να αυξάνεται σε αντίθεση με αυτόν των οχημάτων που μειώνεται. Από την άλλη όταν αλλάζει η κατάσταση του φαναριού παρατηρείται το αντίθετο. Για να γίνει καλύτερα αντιληπτό το παραπάνω, το δεύτερο γράφημα δείχνει τον μέσο όρο των τιμών όλων των προσομοιώσεων.



Μοντέλο Ενδοκρατικών Ταξιδιών

Το επόμενο σενάριο χρήσης του ιεραρχικού μοντέλου κίνησης με επιρροή είναι τα ταξίδια από πόλη σε πόλη ή αλλιώς ενδοκρατικά ταξίδια. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα θα θεωρηθούν δύο τρόποι μετακίνησης: Τα οχήματα στο δίκτυο των εθνικών οδών και οι αεροπορικές πτήσεις. Το παρακάτω σχήμα δείχνει την πολιτεία του Τέξας με τέσσερα κέντρα πληθυσμού που εμφανίζονται ως C_1 έως C_4 . Οι συνδέσεις των δρόμων φαίνονται με συνεχόμενες γραμμές, ενώ οι αεροπορικές συνδέσεις είναι με τις διακεκομμένες γραμμές. Κάθε διαδρομή είναι διπλής κατεύθυνσης.



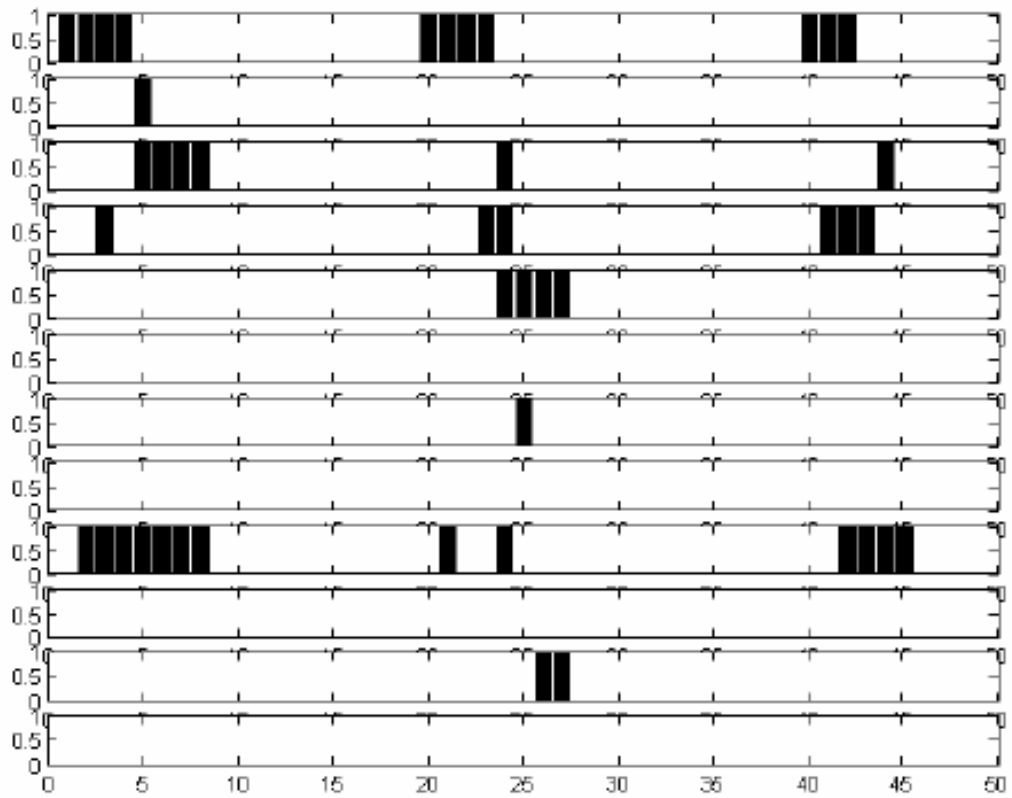
Ο παραπάνω χάρτης θα πρέπει να μετατραπεί σε μια αναπαράσταση γράφου. Αφού κάθε ακμή στον χάρτη είναι διπλής κατεύθυνσης, αντιστοιχίζονται δύο περιοχές στον γράφο συνδεσιμότητας. Στον χάρτη φαίνονται επίσης και αριθμοί των περιοχών αυτών. Δύο πληθυσμιακά κέντρα C_i και C_j συνδέονται με τις περιοχές π_{ij} και π_{ji} , όπου $i < j$, και η π_{ij} οδηγεί από το κέντρο C_i στο C_j και αντίστροφα.

Θα χρησιμοποιηθεί το “Evil Rain” μοντέλο και για αυτό τον λόγο ο αριθμός των περιοχών είναι διπλάσιος των συνδέσεων, προσθέτοντας άλλες δυο περιοχές, την π_1 και π_2 που τυχαία εισάγουν συμφόρηση. Οι πόλεις δεν είναι περιοχές αλλά χρησιμοποιούνται ως πηγές και «αποχετεύσεις» της συμφόρησης. Ο βαθμός με τον οποίο αληθεύει αυτό για κάθε πόλη

ρυθμίζεται από τα διανύσματα e_1 και e_2 . Οι τιμές μέσα στο δίκτυο που επηρεάζουν τον πίνακα D πρέπει ιδανικά να βασίζονται στην συμπεριφορά με την οποία ταξιδεύουν οι άνθρωποι. Για την απλοποίηση του παραδείγματος θεωρείται ότι κάθε πόλη έχει την ίδια δυνατότητα να δημιουργεί ή να απορροφά την συμφόρηση σε οποιαδήποτε από τις συνδέσεις που οδηγούν ή απομακρύνουν από αυτή αντίστοιχα. Κάθε σύνδεση έχει μια πιθανότητα 0.1 να κρατηθεί στην κατάσταση της, δηλαδή να είναι ή να μην είναι διαθέσιμη. Είναι αναμενόμενο ότι η συμφόρηση στις περιοχές στις εθνικές οδούς και στις αεροπορικές διαδρομές θα αλλάζει συνέχεια καθώς εξελίσσεται ο χρόνος γιατί, παρόλο που υπάρχει συμφόρηση, αυτή τείνει να εξαφανίζεται μετά από λίγο. Ειδικότερα, η συμφόρηση στις αεροπορικές γραμμές θα επιφέρει συμφόρηση στις εθνικές οδούς και το ανάποδο.

Από την στιγμή που υπάρχουν πολλαπλά σημεία αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο δικτύων μεταφοράς, ένα απλό γράφημα του αριθμού των μη προσβάσιμων περιοχών σε κάθε δίκτυο μπορεί να μην είναι αρκετό για να αποτυπωθεί η σχέση των δυο σημάτων. Για αυτό τον λόγο, προκειμένου να απεικονισθεί το φαινόμενο των αποκλεισμένων περιοχών μεταξύ δυο πόλεων στο υπόλοιπο δίκτυο, στο παρακάτω γράφημα φαίνεται η κατάσταση των περιοχών 3 και 14 συναρτήσει του χρόνου. Το γράφημα στο επάνω μέρος του δείχνει την κατάσταση της περιοχής 3 και στο κάτω μέρος του αυτήν της περιοχής 14. Ο χρόνος εξελίσσεται κατά την οριζόντια θέση του άξονα. Αρχικά δημιουργείται συμφόρηση στην περιοχή 3 στις χρονικές στιγμές 1, 2, 3 και 4, επιτρέποντας να διαδοθεί στο δίκτυο και να απορροφηθεί. Αυτό επαναλαμβάνεται στις χρονικές στιγμές 20, 21, 22 και 23, και ξανά στις χρονικές στιγμές 40, 41, 42 και 43. Οι τιμές των στοιχείων του D επιλέγονται με την υπόθεση ότι η συμφόρηση στην περιοχή π_{ij} θα επιφέρει συμφόρηση στις περιοχές π_{ik} μέρος της επιστροφής τους στην περιοχή π_{ij} .

Κάτι άλλο που λαμβάνεται υπόψη είναι ότι η πιθανότητα συμφόρησης θα είναι υψηλότερη στις περιοχές που βρίσκονται πιο κοντά στις πηγές συμφόρησης και θα μειώνεται σε αυτές που είναι πιο μακριά. Η συμφόρηση στην περιοχή π_{ij} δείχνει την κίνηση των ανθρώπων από την πόλη C_i στην C_j . Οπότε έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι θα υπάρξει ένας μεγαλύτερος αριθμός ανθρώπων που θα μετακινηθούν αργότερα από την πόλη C_j προς την πόλη C_i , που κατ' επέκταση σημαίνει μεγαλύτερη πιθανότητα συμφόρησης στην περιοχή π_{ji} .



Αστικά μοντέλα κίνησης οχημάτων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται μοντέλα κίνησης οχημάτων. Στην πραγματικότητα υπάρχει μεγάλη ζήτηση και ενδιαφέρον γύρω από αυτά τα μοντέλα, καθώς είναι αρκετά δύσκολο να πραγματοποιηθούν τεστ στην καθημερινή ζωή. Έτσι, λοιπόν, διάφορες προσομοιώσεις προσπαθούν να εξάγουν συμπεράσματα για αυτά τα μοντέλα. Οι προσομοιώσεις προσφέρουν φθηνές λύσεις επαναλαμβανόμενων πειραμάτων και βοηθούν στην αξιολόγηση πριν την υλοποίηση στον πραγματικό κόσμο.

Αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία στα μοντέλα κίνησης είναι να προσδιοριστεί η τοποθεσία του κάθε κόμβου ανά πάσα στιγμή, που κατ' επέκταση επηρεάζει ολόκληρη την επικοινωνία μέσα στο δίκτυο. Τα περισσότερα, όμως, μοντέλα που χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις δεν λαμβάνουν υπόψη τις πραγματικές συνθήκες, όπως είναι η δομή των δρόμων και οι κανόνες οδικής κυκλοφορίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα αποτελέσματα να μην είναι πολύ κοντά στην πραγματικότητα.

Στις παρακάτω παραγράφους αναλύονται δύο μοντέλα κίνησης σύμφωνα με το [3], το μοντέλο του σήματος Στοπ καθώς, επίσης, και το μοντέλο των φαναριών. Αυτά τα δύο μοντέλα λαμβάνουν υπόψη την οδηγτική συμπεριφορά των οχημάτων που σέβονται των κώδικα οδικής κυκλοφορίας. Όμως με την προσθήκη νέων κανόνων παρατηρούνται και κάποια προβλήματα. Από την μια, έχοντας σταθερούς κόμβους σταθεροποιούμε το δίκτυο, δρομολογώντας τα πακέτα από τον ένα γείτονα στον άλλον. Από την άλλη, δημιουργώντας δυναμικούς κόμβους αυξάνουμε την εντροπία του συστήματος, απαιτώντας τον συχνό επανα – υπολογισμό των διαδρομών με αποτέλεσμα να χάνονται κάποια πακέτα. Έτσι, λοιπόν, υπάρχουν κάποιοι παράγοντες που επηρεάζουν την κινητικότητα.

Ο πρώτος παράγοντας είναι η δομή των δρόμων, καθώς κατευθύνουν τους κόμβους προς συγκεκριμένες κατευθύνσεις. Οι δρόμοι, όμως, μπορούν να έχουν μια ή περισσότερες λωρίδες και να επιτρέπουν μονή ή διπλή κατεύθυνση. Για χάρη της απλότητας θα χρησιμοποιηθεί μονή λωρίδα διπλής κατεύθυνσης. Ένας δεύτερος παράγοντας είναι ο μηχανισμός χειρισμού της

κίνησης. Ο πιο διαδεδομένος μηχανισμός στις διασταυρώσεις είναι το σήμα του Στοπ και τα φανάρια, οι οποίοι τείνουν να δημιουργήσουν ουρές οχημάτων και μείωση της μέσης ταχύτητας.

Επίσης, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η αλληλεξάρτηση των οχημάτων, που σημαίνει ότι η κίνηση ενός οχήματος επηρεάζεται κατά πολύ από την κίνηση των οχημάτων που έχει μπροστά του. Κάθε όχημα θα πρέπει να τηρεί μια απόσταση ασφαλείας με το μπροστινό του, που σημαίνει ότι θα αυξάνει ή θα μειώνει ταχύτητα για να αλλάξει λωρίδα και να αποφύγει την κυκλοφοριακή σύγχυση. Παρακάτω λαμβάνεται συγκεκριμένο όριο ταχύτητας για κάθε δρόμο και δεν επιτρέπεται η προσπέραση κάποιου οχήματος.

Ένας άλλος βασικός παράγοντας είναι το όριο ταχύτητας, μιας και η ταχύτητα ενός οχήματος δείχνει τον ρυθμό αλλαγής της θέσης του. Αυτό κατ' επέκταση σημαίνει πόσο γρήγορα ή αργά θα αλλάζει η τοπολογία του δικτύου.

Τέλος, ο παράγοντας του μεγέθους ενός οικοδομικού τετραγώνου μπορεί να θεωρηθεί ως η μικρότερη περιοχή που περιβάλλεται από δρόμους. Από διαφορετική οπτική γωνία σημαίνει το πλήθος των διασταυρώσεων ενός δικτύου και, κατ' επέκταση, ο ρυθμός που ένα όχημα θα πρέπει να σταματήσει. Επίσης περιορίζει και την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων σε μια διασταύρωση.

Μοντέλο του Σήματος Στοπ

Στο μοντέλο του Στοπ, κάθε διασταύρωση έχει ένα σήμα του Στοπ τέτοιο ώστε να επιβάλει σε κάθε όχημα που πλησιάζει την διασταύρωση να σταματήσει για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Η ταχύτητα κάθε οχήματος διέπεται από την ταχύτητα του οχήματος ακριβώς μπροστά από αυτό. Αυτό περιγράφεται διαισθητικά αφού κάθε κινούμενο όχημα δεν μπορεί να πάει πιο μπροστά από το όχημα μπροστά του, εκτός κι αν το μοντέλο ορίζει πολλές λωρίδες ανά κυκλοφορία και, επιπλέον, ορίζει εξ' αρχής ότι τα οχήματα επιτρέπεται να κάνουν προσπέραση. Όμως τα πειράματα που θα ακολουθήσουν θεωρούν ότι υπάρχει μόνο μία λωρίδα και κανένα όχημα δεν επιτρέπεται να κάνει προσπέραση. Όταν κάποιο όχημα ακολουθεί ένα άλλο όχημα σε ένα σήμα του Στοπ, τότε δημιουργείται μια ουρά στην διασταύρωση. Κάθε όχημα που φτάνει στην πρώτη θέση της ουράς τότε θα περιμένει για το προκαθορισμένο χρονικό διάστημα πριν περάσει στην άλλη μεριά της διασταύρωσης.

Μοντέλο των Φαναριών

Το μοντέλο των φαναριών είναι παραπλήσιο του μοντέλου του Στοπ, αφού αντικαθιστούμε το σήμα με το φανάρι στις διασταυρώσεις. Στην γενική περίπτωση, τα οχήματα πρέπει να σταματήσουν στην διασταύρωση μόνο όταν το φανάρι είναι κόκκινο ενώ αντίθετα, προχωρούν κανονικά στην περίπτωση που αυτό είναι πράσινο. Ενώ είναι αρκετά υλοποιήσιμο να προσομοιώσουμε με ακρίβεια την λειτουργία του κάθε φαναριού σε κάθε διασταύρωση, αυτό θα οδηγούσε στον υπολογισμό αχρειαστων λεπτομερειών, οι οποίες ουσιαστικά δεν επηρεάζουν την απόδοση του πρωτοκόλλου δρομολόγησης. Έτσι, λοιπόν, όταν ένας κόμβος πλησιάζει σε μια διασταύρωση και βρίσκεται στην πρώτη θέση της ουράς που δημιουργείται σε αυτή, αποφασίζει με πιθανότητα p εάν θα σταματήσει ή με πιθανότητα $1 - p$ εάν θα συνεχίσει. Εάν θα αποφασίσει να περιμένει, το χρονικό διάστημα που θα περιμένει επιλέγεται τυχαία με όριο την τιμή w . Οποιοσδήποτε κόμβος που ακολουθεί τον πρώτο, περιμένει στην ουρά τον εναπομείναντα χρόνο συν ένα δευτερόλεπτο. Έτσι καταφέρνουμε να προσομοιώσουμε την καθυστέρηση που προκύπτει όταν τα οχήματα είναι ακινητοποιημένα στην ουρά και πρέπει να ξεκινήσουν. Όταν το φανάρι γίνει πράσινο, τότε τα οχήματα μπαίνουν στην διαδικασία να περάσουν την διασταύρωση το ένα μετά το άλλο με χρονική απόσταση ένα δευτερόλεπτο, μέχρι να αδειάσει η ουρά. Το επόμενο όχημα που θα φτάσει και θα βρεθεί στην πρώτη θέση της ουράς θα πάρει εκ νέου την απόφαση να σταματήσει ή να συνεχίσει με πιθανότητα p .

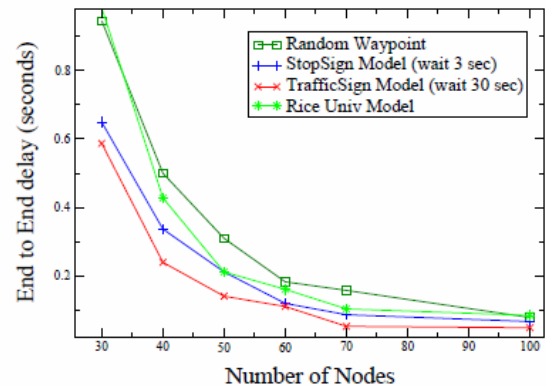
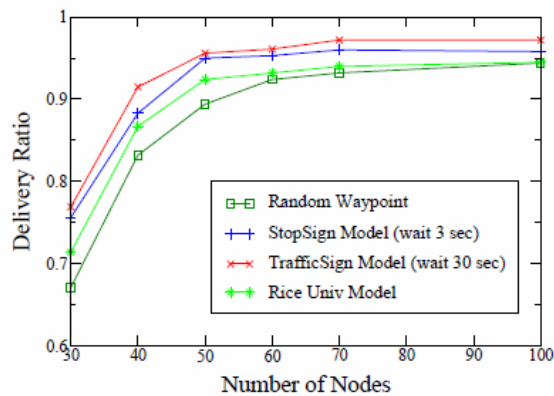
Συγκρίσεις

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται συνοπτικά αποτελέσματα από πειράματα που εκτελέστηκαν για τέσσερα μοντέλα κίνησης, τα δύο που παρουσιάστηκαν πριν και επιπλέον δυο γνωστά μοντέλα, το Random Waypoint και το Rice University. Σκοπός της παρουσίασης αυτής είναι να δείξει πως επηρεάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα με την αλλαγή των παραμέτρων των παραγόντων που παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Τα πειράματα εκτελέστηκαν με τον Network Simulator 2 (NS2) και δόθηκαν οι εξής παράμετροι:

Παράμετρος	Τιμή
Αριθμός κόμβων	100
Χρόνος προσομοίωσης	900 δευτερόλεπτα
Πρωτόκολλο δρομολόγησης	AODV
Έκδοση NS2	ns 2.28
Εύρος μετάδοσης	250μ
Πηγές CBR	15 πηγές (4 πακέτα/δ, 64 byte/πακέτο)
Μοντέλα Κίνησης	RWM, RUM, TSM, SSM
Τοπολογίες	1200X1200μ, Πλέγμα με 200X50μ, Αληθινοί Χάρτες
Μέγιστος χρόνος αναμονής	SSM -3δευτ., TSM - δευτ., (p=0.5)
Μέση ταχύτητα κόμβου	15 μέτρα/δευτ.
Μετρικές απόδοσης	Ρυθμός Παράδοσης, Καθυστέρηση από σημείο σε σημείο, Κινητικότητα, Clustering

Μεταβολή στον αριθμό των κόμβων

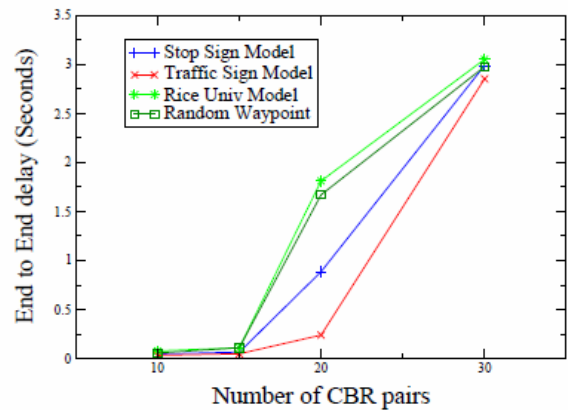
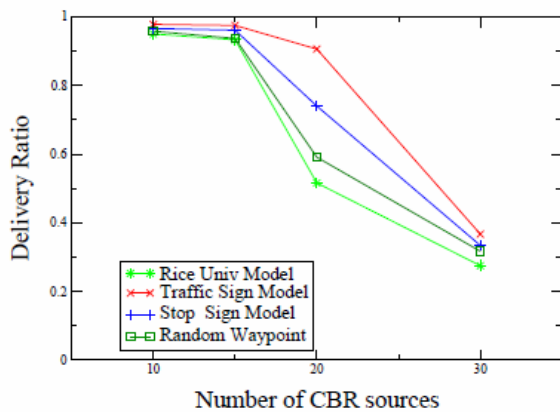
Το πρώτο πείραμα δείχνει την απόδοση των μοντέλων καθώς αλλάζει ο αριθμός των συνολικών κόμβων του δικτύου, σε ένα πλέγμα 1200μ x1200μ, με οικοδομικά τετράγωνα μεγέθους 200μ x50μ. Στα παρακάτω γραφήματα παρατηρούμε ότι το μοντέλο του Στοπ επιτυγχάνει το δεύτερο καλύτερο αποτέλεσμα και στον ρυθμό παράδοσης των πακέτων και στην καθυστέρηση από άκρη σε άκρη. Ενώ το μοντέλο των φαναριών καταφέρνει να συγκεντρώσει τον υψηλότερο ρυθμό παράδοσης και την μικρότερη καθυστέρηση.



Ως γενικότερο σχόλιο για τα μοντέλα κίνησης θεωρείται ότι ο ρυθμός παράδοσης αυξάνεται καθώς αυξάνονται και οι κόμβοι. Ομοίως, μειώνεται και η καθυστέρηση με την αύξηση των κόμβων. Αυτό συμβαίνει διότι η αύξηση των κόμβων επιτυγχάνει καλύτερη συνδεσιμότητα του δικτύου και κατ' επέκταση καλύτερο ρυθμό παράδοσης.

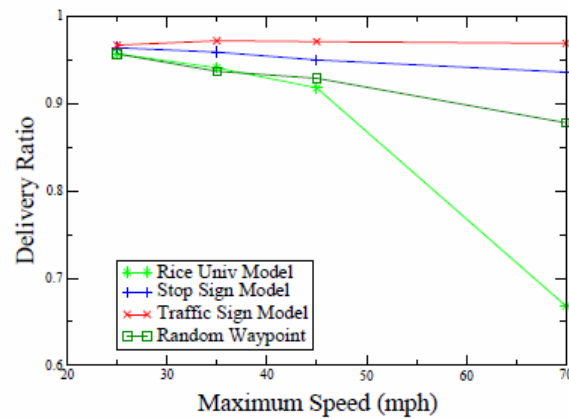
Μεταβολή στον αριθμό των CBR πηγών

Το επόμενο πείραμα περιλαμβάνει την μεταβολή του αριθμού των πηγών CBR μέσα στην τοπολογία σε ένα πλέγμα 1200μ x 1200 μ και οικοδομικό τετράγωνο 200μ x 50μ και 100 κόμβους. Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται ότι με την αύξηση μετά τις 15 πηγές, υπάρχει μια αξιοσημείωτη πτώση στον ρυθμό παράδοσης των πακέτων και κατ' επέκταση μια αύξηση στην καθυστέρηση. Καθώς ο αριθμός των CBR πηγών αυξάνεται, δημιουργούνται περισσότερα πακέτα που κυκλοφορούν στο δίκτυο και αυτό οδηγεί σε περισσότερες συγκρούσεις και απώλεια πακέτων.



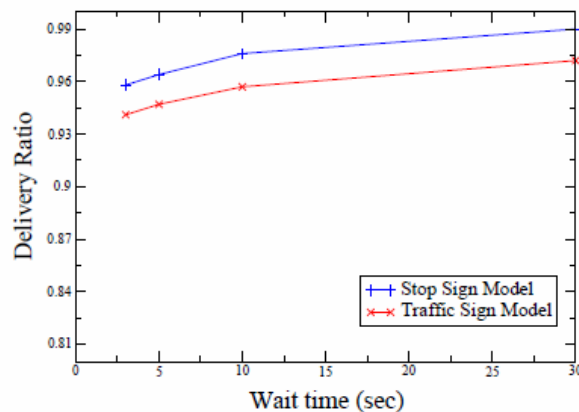
Μεταβολή στην ταχύτητα των οχημάτων

Από την στιγμή που η ταχύτητα των οχημάτων είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας σε ένα μοντέλο κίνησης, το συγκεκριμένο πείραμα δείχνει πώς η αύξηση του ορίου ταχύτητας επηρεάζει την απόδοση των μοντέλων που μελετώνται. Το όριο ταχύτητας είναι πάντα συναρτησικό και του τύπου του δρόμου, όπως ορίζεται και από το Census Bureau. Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται ότι ο ρυθμός παράδοσης των πακέτων για το μοντέλο του Στοπ μειώνεται καθώς αυξάνεται η μέγιστη ταχύτητα, αλλά όχι στον βαθμό πτώσης που παρουσιάζει το RUM. Η απόδοση του μοντέλου των φαναριών, από την άλλη, δεν δείχνει να επηρεάζεται σχεδόν καθόλου από την αύξηση του ορίου ταχύτητας. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να δικαιολογηθούν δεδομένου ότι αυτά τα μοντέλα καταφέρνουν επιτυχώς να περιορίσουν την κίνηση λόγω των χρόνων αναμονής στις διασταυρώσεις. Από την στιγμή που τα οχήματα ξεοδεύουν σημαντικό χρόνο στις διασταυρώσεις, η υψηλότερη ταχύτητα δεν αλλάζει την τοπολογία του δικτύου τόσο γρήγορα όσο στα άλλα ενώ, ταυτόχρονα, υπάρχει και μεγαλύτερος βαθμός σταθερότητας.



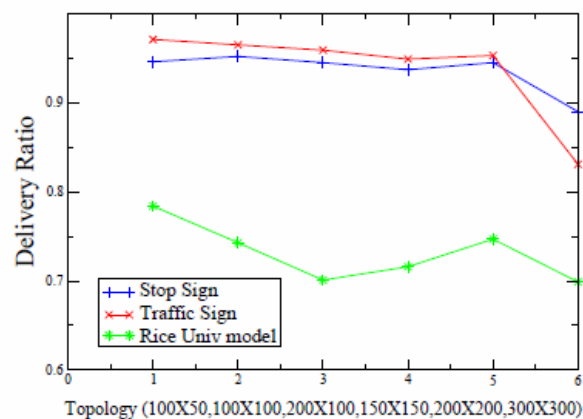
Μεταβολή στον μέγιστο χρόνο αναμονής στην διασταύρωση

Για να γίνει πιο κατανοητό το πόσο σημαντικό είναι όταν τα οχήματα σταματούν στις διασταυρώσεις, το πείραμα αυτό μεταβάλλει τον χρόνο αναμονής των οχημάτων την στιγμή που θα σταματήσουν σε μια διασταύρωση. Επειδή το μοντέλο του Στοπ είναι πιο στατικό, από την άποψη ότι κάθε όχημα οφείλει να σταματήσει, σε αντίθεση με το μοντέλο των φαναριών, παρατηρείται ότι επιτυγχάνει και υψηλότερο ποσοστό παράδοσης των πακέτων. Από την άλλη πλευρά, κόμβοι που βρίσκονται στην πρώτη θέση της ουράς στο μοντέλο των φαναριών αποφασίζουν με πιθανότητα 50% αν θα περάσουν ή όχι και, στην περίπτωση αυτού του πειράματος, για το πόσο χρονικό διάστημα θα περιμένουν, προκύπτει ότι αυτό το μοντέλο είναι πιο δυναμικό.



Επίδραση του μεγέθους του οικοδομικού τετραγώνου

Το κάθε οικοδομικό τετράγωνο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο για την διαπίστωση της απόδοσης ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης. Δεδομένου μεγάλων οικοδομικών τετραγώνων, τα οχήματα χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να διασχίσουν την απόσταση μεταξύ δύο διασταυρώσεων, που σημαίνει ότι θα κινούνται για περισσότερο χρόνο. Η αυξημένη κινητικότητα θα προκαλούσε μια αδύναμη επικοινωνία στο δίκτυο και θα επέφερε χαμηλότερο ποσοστό παράδοσης των πακέτων. Στο πείραμα φαίνεται όντως ότι όσο αυξάνεται το μέγεθος των οικοδομικών τετραγώνων τόσο μειώνεται το ποσοστό παράδοσης των πακέτων. Στην πραγματικότητα, το μοντέλο του Στοπ δείχνει να επιδεικνύει υψηλότερο ποσοστό παράδοσης των πακέτων από το μοντέλο των φαναριών για μεγάλα οικοδομικά τετράγωνα, λόγω του μικρότερου ρυθμού κίνησης των διαδρομών.



Αστικά μοντέλα κίνησης για Ασύρματα Δίκτυα

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται ένα μοντέλο κίνησης που υιοθετεί και συνδυάζει διαφορετικά πρότυπα για να προσομοιώσει την μετακίνηση των ανθρώπων σε πιο σύνθετο βαθμό στις αστικές περιοχές, συμπεριλαμβανομένης της μετακίνησης όταν περπατάνε και όταν οδηγούν σύμφωνα με το [1].

Περιγραφή

Η προσομοίωση ενός δικτύου είναι μια μέθοδος εκτίμησης της απόδοσης πρωτοκόλλων δικτύου και μεταφοράς για την μελέτη και την σχεδίασή τους. Τα μοντέλα κίνησης ενώ έχουν τραβήξει το ενδιαφέρον αρκετών τελευταία, συνήθως παραβλέπουν αρκετούς σημαντικούς παράγοντες. Ένας τέτοιος σημαντικός παράγοντας για να είναι ένα μοντέλο κίνησης καλό είναι να βρίσκεται κοντά στην πραγματικότητα και να είναι ευέλικτο στην δομή του.

Όπως είδαμε και στις προηγούμενες ενότητες, πολλά μοντέλα κατηγοριοποιούν τους κόμβους τους και αυτοί έχουν παρόμοια κίνηση. Η ομάδα ακολουθεί έναν κόμβο – αρχηγό στον χώρο προσομοίωσης. Εδώ μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες, την οντότητα και την ομάδα. Ένα παραδοσιακό μοντέλο κίνησης μιας οντότητας είναι το Random Waypoint μοντέλο. Κάθε κόμβος τοποθετείται τυχαία σε μια θέση στην αρχή. Έπειτα, κάθε κόμβος ανεξάρτητα επιλέγει τον προορισμό και την ταχύτητά του. Φυσικά η ταχύτητα επιλέγεται ομοιόμορφα από την κατανομή στο $[V_{min}, V_{max}]$. Όταν ο κόμβος φτάσει στον προορισμό του τότε θα επιλέξει πάλι ένα τυχαίο χρονικό διάστημα για να σταματήσει προσωρινά και, στην συνέχεια, θα επαναλάβει την διαδικασία.

Τα παραδοσιακά μοντέλα ομάδας είναι τα Referent Point Group μοντέλα. Όλοι οι κόμβοι χωρίζονται σε μερικές ομάδες. Κάθε ομάδα εκλέγει έναν αρχηγό για να αποφασίσει το πρότυπο της κίνησης που θα ακολουθήσει. Αυτό το πρότυπο είναι παρόμοιο με το Random Waypoint.

Όλα τα μέλη της ομάδας ακολουθούν τον αρχηγό ως σημείο αναφοράς. Αυτοί οι κόμβοι επιλέγουν τον προορισμό τους μέσα στην ακτίνα του σημείου αναφοράς τους.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της κίνησης των κόμβων που απεικονίζει το πρότυπο κίνησης μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες: trace – based, random – based και constrained topology μοντέλα. Το trace – based μοντέλο μπορεί να γίνει αρκετά χρήσιμο και πολύ ακριβές εάν δοθεί ως είσοδος δεδομένα από πραγματικούς χρήστες μετά από μακροσκελή παρατήρηση. Όμως η συλλογή αυτών των δεδομένων και η κατασκευή των προτύπων κίνησης είναι αρκετά σύνθετη, χρονοβόρα και ακριβή. Τα random – based μοντέλα υποθέτουν ότι δεν υπάρχουν καθόλου εμπόδια μεταξύ των διαδρομών κίνησης. Ένας κόμβος τυχαία επιλέγει τον προορισμό του και μετακινείται προς αυτόν από την συντομότερη διαδρομή. Τα constrained topology μοντέλα προσομοιώνουν το πρότυπο κίνησης του κόμβου σε ένα περιορισμένο και προκαθορισμένο γράφο τοπολογίας.

Δυο παραδείγματα constrained based τοπολογίας είναι το Manhattan Mobility Model και το Virtual Track. Το Manhattan Mobility Model προσομοιώνει ένα απλό αστικό σενάριο. Κάθε κόμβος επιτρέπεται να κινηθεί κατά μήκος των δρόμων. Όταν ένας κόμβος φτάσει σε μια διασταύρωση τότε θα στρίψει δεξιά, αριστερά ή θα συνεχίσει στην ευθεία, με πιθανότητες 0.25, 0.25 και 0.5 αντίστοιχα. Όμως οι δραστηριότητες των ανθρώπων δεν είναι μόνο στους δρόμους αλλά και μέσα στα κτήρια και άλλα μέρη. Εκτός αυτού βέβαια, η κίνηση των ανθρώπων δεν είναι τυχαία επάνω στους δρόμους. Η δομή πλέγματος προσομοιώνει την ευθεία των δρόμων καθώς και την ρύθμισή τους. Επίσης, οι δρόμοι δεν είναι όλοι μια ευθεία γραμμή λόγω της κατανομής των κτηρίων.

Από την άλλη μεριά, το Virtual Track προσομοιώνει ετερογενείς συμπεριφορές κίνησης, συμπεριλαμβανομένου ομάδων και μονάδων. Ένας συγκεκριμένος αριθμός από σταθμούς αλλαγής τοποθετείται τυχαία στον χώρο προσομοίωσης. Αυτοί οι σταθμοί είναι συνδεδεμένοι με εικονικά μονοπάτια με συγκεκριμένο πλάτος. Οι ομάδες μετακινούνται κατά μήκος αυτών των μονοπατιών προς τους σταθμούς. Όταν μια ομάδα φθάσει στον σταθμό, οι κόμβοι της επιλέγουν τον επόμενο σταθμό. Τότε η ομάδα διαιρείται σε υπό – ομάδες. Κάποιοι κόμβοι ενώνονται στην ίδια ομάδα από την στιγμή που επιλέξουν τον ίδιο σταθμό για προορισμό τους. Ένας ανεξάρτητος κόμβος θα κινηθεί με βάση το Random Waypoint μοντέλο. Στο Virtual Track μοντέλο οι ομάδες των κόμβων περιορίζουν την κίνησή τους στους σταθμούς και στα εικονικά

μονοπάτια και δεν μπορούν να ξεφύγουν από αυτά. Έτσι, αυτό το μοντέλο δεν μπορεί να προσομοιώσει πραγματικές αστικές περιοχές.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα διαφορετικό μοντέλο που προσομοιώνει πραγματική συμπεριφορά σε αστικές περιοχές, συμπεριλαμβανομένου την κίνηση ανθρώπων και οχημάτων. Η κίνηση των ανθρώπων προσομοιώνει τις καθημερινές δραστηριότητές τους. Η κίνηση των οχημάτων προσομοιώνει τις μετακινήσεις των ταξί, των λεωφορείων, των αυτοκινήτων και του μετρό. Επίσης, το μοντέλο έχει μια ευέλικτη δομή για τους δρόμους που επιτρέπει την προσομοίωση πραγματικών αστικών δρόμων.

Δομή Δικτύου

Κινητά Μοντέλα και τύποι κόμβων

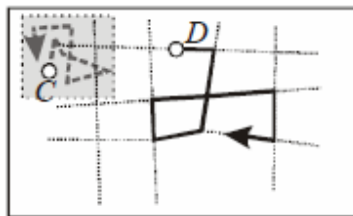
Ένας κινητός κόμβος είναι ένα όχημα που μπορεί να είναι ένα δημόσιο αυτοκίνητο ή ένα ταξί. Τα δημόσια οχήματα, όπως τα λεωφορεία, τραμ και μετρό, συνήθως έχουν προκαθορισμένη διαδρομή. Για παράδειγμα, ένα λεωφορείο κινείται σύμφωνα με την δρομολογία του, ενώ το τραμ θα κινηθεί επάνω στις γραμμές του. Τα ταξί έχουν δύο ειδών κίνησης, από την μια όταν ψάχνουν να βρουν υποψήφιο πελάτη και, από την άλλη, να οδηγήσουν τον πελάτη τους στον προορισμό του. Όταν ο κόμβος είναι ένας άνθρωπος τότε η προσομοίωση είναι η καθημερινή ζωή του. Οι χώροι δραστηριοτήτων ενός ανθρώπου είναι οι δρόμοι, τα κτίρια και άλλοι χώροι.

Παρακάτω αναλύονται τρία μοντέλα κίνησης, το destination – based, το random – based και το route – based.

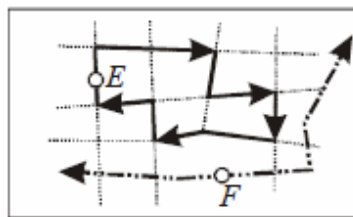
Το destination – based μοντέλο απεικονίζει μια συμπεριφορά κίνησης που έχει έναν συγκεκριμένο σκοπό. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα παράδειγμα αυτού του μοντέλου. Οι διακεκομμένες γραμμές συμβολίζουν τους δρόμους. Ο κόμβος A επιλέγει την τοποθεσία B ως προορισμό και πηγαίνει προς τα εκεί.



Το random – based μοντέλο υιοθετείται για την προσομοίωση μιας τυχαίας συμπεριφοράς. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει την συμπεριφορά δύο τύπων. Οι κόμβοι C και D κινούνται τυχαία μέσα σε μια συγκεκριμένη περιοχή και μέσα στους δρόμους αντίστοιχα.



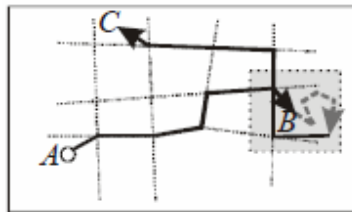
Το route – based μοντέλο προσομοιώνει μία κανονική συμπεριφορά κίνησης. Η συμπεριφορά του κινητού κόμβου βασίζεται σε μια προκαθορισμένη διαδρομή. Η παρακάτω εικόνα δείχνει δυο κανονικά πρότυπα διαδρομής. Οι κόμβοι E και F επαναλαμβανόμενα κινούνται στις διαδρομές τους σε κυκλική τροχιά και γραμμικές διαδρομές αντίστοιχα.



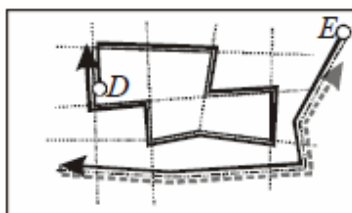
Στη συνέχεια, οι κόμβοι κατηγοριοποιούνται σε τρεις ομάδες για να απλοποιηθεί η διαδικασία. Οι τρεις αυτοί τύποι κόμβων είναι τα άτομα, τα δημόσια οχήματα και τα ταξί. Κάθε ομάδα συνδυάζει τα παραπάνω μοντέλα για να χαρακτηρίσει την κίνησή του.

Αρχικά, τα άτομα προσομοιώνουν την καθημερινή συμπεριφορά των ανθρώπων, δηλαδή ένας άνθρωπος πηγαίνει σε μια τοποθεσία για ένα συγκεκριμένο σκοπό. Ο άνθρωπος θα μείνει εκεί και θα κινηθεί γύρω από αυτή την περιοχή και, στη συνέχεια, θα προχωρήσει στον τελικό προορισμό του. Ο τύπος του ατόμου περιλαμβάνει δύο καταστάσεις, αυτή της πεζοπορίας και αυτή της οδήγησης. Οι διαφορές έγκνυνται στην ταχύτητα. Ο κόμβος που οδηγεί αναπτύσσει μεγαλύτερες ταχύτητες από αυτόν που περπατάει.

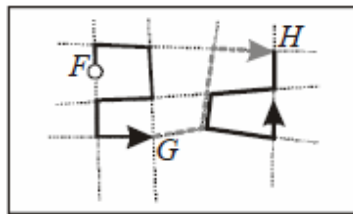
Η παρακάτω εικόνα δείχνει ένα παράδειγμα που συνδυάζει το random – based και το destination – based μοντέλο. Ο κόμβος A επιλέγει τον προορισμό B τυχαία και οδηγείται προς τα εκεί από μια διαδρομή. Δηλαδή, ο κόμβος A πηγαίνει στον προορισμό του περπατώντας ή οδηγώντας. Ο κόμβος A, στη συνέχεια, κινείται τυχαία γύρω από αυτή την περιοχή χρησιμοποιώντας το random – based μοντέλο. Επίσης, εδώ ο κόμβος A είτε περπατάει είτε οδηγεί. Στη συνέχεια, ο κόμβος A θα επιλέξει έναν άλλον προορισμό C για να μετακινηθεί προς τα εκεί με το destination – based μοντέλο.



Στη συνέχεια, τα δημόσια οχήματα υιοθετούν το route – based μοντέλο για να προσομοιώσουν την κίνηση του οχήματος, συμπεριλαμβάνουν τα λεωφορεία, τα τραμ και το μετρό, τα οποία κινούνται σε ένα ρυθμισμένο δρομολόγιο. Η περιοχή δραστηριότητας ενός κόμβου περιορίζεται στο δρομολόγιο που του έχει ανατεθεί. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει δύο πρότυπα κίνησης για τα δημόσια οχήματα. Οι κόμβοι D και E κινούνται σε κυκλική τροχιά και σε μια ρυθμισμένη διαδρομή γραμμής αντίστοιχα.



Τέλος, τα ταξί συνδυάζουν τα destination – based και random – based μοντέλα για να προσομοιώσουν την κίνησή τους. Η περιοχή δράσης των ταξί περιορίζεται στους δρόμους. Στην παρακάτω εικόνα ο κόμβος F αρχικά προσομοιώνει την κίνηση του ταξί κατά την αναζήτηση ενός πελάτη χρησιμοποιώντας το random – based μοντέλο. Θεωρώντας ότι ο κόμβος F βρήκε τον πελάτη, υιοθετεί το destination – based μοντέλο για να προσομοιώσει την μετακίνησή του στην τοποθεσία που επιθυμεί ο δεύτερος. Υποθέτοντας, τώρα, ότι Η είναι η τοποθεσία που επιθυμεί ο πελάτης, ο κόμβος F θα μετακινηθεί προς τα εκεί από ένα κανονικό μονοπάτι. Στη συνέχεια, ο κόμβος F θα αλλάξει την συμπεριφορά του σε random – based μοντέλο για να αναζητήσει νέους πελάτες.



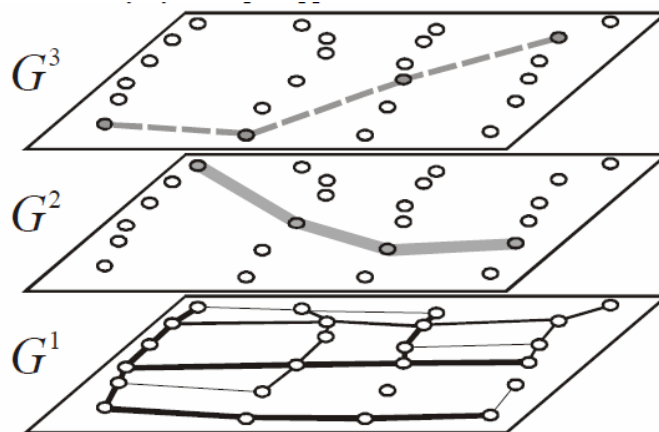
Δομή των Αστικών Δρόμων

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται μια ευέλικτη μέθοδος για την κατασκευή μιας δομής για αστικούς δρόμους, που έχει έναν σημαντικό παράγοντα στην επιρροή της κίνησης των κόμβων. Σε ένα αστικό σενάριο, η κίνηση των κόμβων είναι κυρίως στις οδικές αρτηρίες. Το μοντέλο Manhattan προτείνει μια απλή δομή πλέγματος για να προσομοιώσει τους δρόμους. Αυτή η δομή πλέγματος περιλαμβάνει οριζόντιους και κάθετους δρόμους. Όμως, οι πραγματικοί αστικοί δρόμοι δεν σχηματίζουν μία κανονική δομή πλέγματος λόγω της κατανομής των κτηρίων.

Παρακάτω παρουσιάζεται μια επέκταση της ιδέας του ιεραρχικού γράφου για την προσομοίωση πραγματικών δρόμων. Ένας ιεραρχικός γράφος αποτελείται από πολλαπλά ξεχωριστά γραφήματα. Κάθε ξεχωριστό γράφημα $G^k(S, L)$ υποδηλώνει ένα σύνολο από συγκεκριμένα μονοπάτια, συμπεριλαμβανομένων διαδρομών πεζών, δρόμων, εθνικών αρτηριών και σιδηροδρομικών δικτύων. Στο συμβολισμό $G^k(S, L)$ k είναι το id του γραφήματος, S είναι το

σύνολο των περιοχών και L το σύνολο των συνδέσεων μεταξύ των περιοχών. Μια περιοχή υποδεικνύει μια διασταύρωση του γραφήματος ή μια αλλαγή μεταξύ των γραφημάτων.

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει έναν ιεραρχικό γράφο που περιλαμβάνει δρόμους (G^1), εθνικές οδούς (G^2) και διαδρομές του τραμ (G^3). Το πλάτος της σύνδεσης του (G^1) είναι το πλάτος του δρόμου.



Ο ιεραρχικός γράφος συνήθως κατασκευάζεται χειροκίνητα. Όμως η κατασκευή σύνθετων ιεραρχικών γράφων είναι μια “βαρετή” εργασία, ειδικά όταν ο χρήστης χρειάζεται να ξοδέψει αρκετό χρόνο στην δημιουργία διαφόρων ιεραρχικών γράφων για να αναλύσει την απόδοση τους.

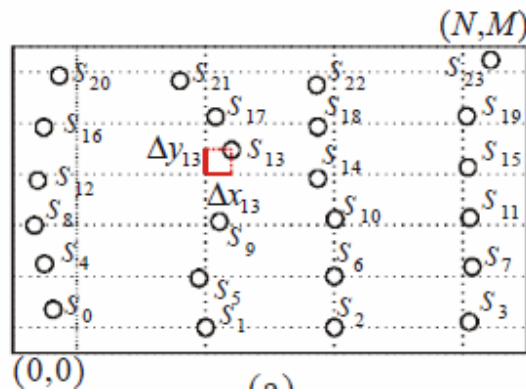
Παρακάτω παρουσιάζεται ένας απλός τρόπος για την αυτόματη δημιουργία ευέλικτων ιεραρχικών γράφων.

Κατασκευή του γράφου των δρόμων

Το γράφημα των δρόμων είναι μια βασική δομή ιεραρχικών γράφων. Αρχικά θεωρείται ότι το μέγεθος ενός οικοδομικού τετραγώνου είναι $bx \times by$. Ένα σύνολο από περιοχές S σχηματίζουν ένα πλέγμα $n \times m$ σε μια περιοχή $N \times M$, όπου $S = \{s_i | 1 \leq i \leq n \times m\}$, $n = \lfloor (N - bx/2) / bx + 1 \rfloor$ και $m = \lfloor (M - by/2) / by + 1 \rfloor$. Οι

συντεταγμένες του πλέγματος μιας περιοχής s_i είναι στο (gx, gy) και $i = gx + n \times gy + 1$, όπου $x_i = bx/2 + bx \times gx$, $y_i = by/2 + by \times gy$, Δx_i και Δy_i είναι οι τιμές απόκλισης.

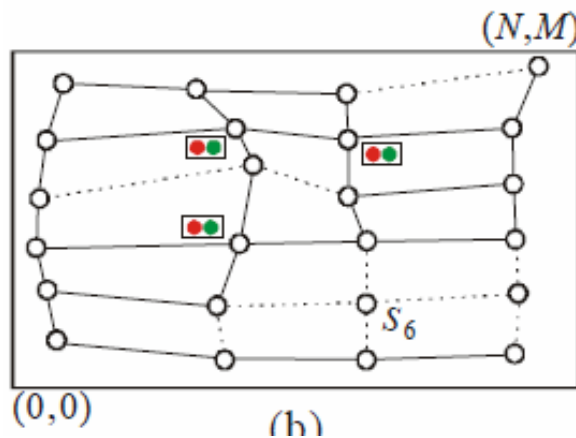
Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα παράδειγμα των περιοχών και των τιμών απόκλισης της s_{13} , όπου 24 περιοχές σχηματίζουν ένα πλέγμα 4×6 . Οι τιμές απόκλισης επιλέγονται τυχαία, όπου το εύρος τους είναι $|\Delta x_i| < bx/2$ και $|\Delta y_i| < by/2$.



Κάθε περιοχή s_i συνδέεται με 4 γειτονικές περιοχές $s_{i-1}, s_{i+1}, s_{i-n}, s_{i+n}$, εκτός από τις περιοχές που βρίσκονται στα σύνορα του χώρου προσομοίωσης. Για την προσομοίωση πραγματικών δρόμων ένα μέρος των συνδέσεων διαγράφονται για να μην σχηματίζεται ένα κανονικά πλέγμα. Η εικόνα δείχνει τις περιοχές που διαγράφηκαν ως τις διακεκομμένες γραμμές. Η σύνδεση $L = \{l_{ij}^{(k)} | i, j \in S\}$ υποδηλώνει το τμήμα του δρόμου, όπου το $l_{ij}^{(k)} = 1$ είναι η σύνδεση που υπάρχει μεταξύ των περιοχών i και j , ενώ η αρχική τιμή είναι 0. Εάν $j = i - 1$ ή $j = i + 1$ ή $j = i - n$ ή $j = i + n$, τότε $l_{ij} = 1$.

Προκειμένου να γίνει αυτόματη δημιουργία μη κανονικών πλεγμάτων δρόμων υιοθετείται μια πιθανότητα $p_{i,j}$ για να κρίνει εάν αυτή η σύνδεση υπάρχει, όπου $0 \leq p_{i,j} \leq 1$. Εάν $p_{i,j} \geq T_p$ τότε $l_{ij} = 1$, όπου T_p είναι ένα προκαθορισμένο κατώφλι. Εάν $p_{i,j} < T_p$ τότε $l_{ij} = 0$. Η περιοχή s_e είναι μια άδεια περιοχή όταν $\forall l_{i,j} = 0$, όπου $i \in S$. Για παράδειγμα, η περιοχή s_e στην παρακάτω εικόνα είναι μια άδεια περιοχή.

Τέλος, το γράφημα ελέγχεται έτσι ώστε όλες οι περιοχές να είναι συνδεδεμένες, εκτός, φυσικά, από τις άδειες. Εάν όλες οι περιοχές είναι συνδεδεμένες τότε το η δομή των δρόμων έχει δημιουργηθεί αυτόματα. Σε διαφορετική περίπτωση επαναφέρονται συνδέσεις που έχουν διαγραφεί. Τα φανάρια τοποθετούνται στις διασταυρώσεις για την προσομοίωση της πραγματικής κίνησης. Ένας κόμβος περνάει ή σταματάει σε μια διασταύρωση σύμφωνα με την υπόδειξη του φαναριού. Μια μεταβλητή του σήματος που βρίσκεται στην διασταύρωση S_i είναι η tl_i και παίρνει δυαδική τιμή.

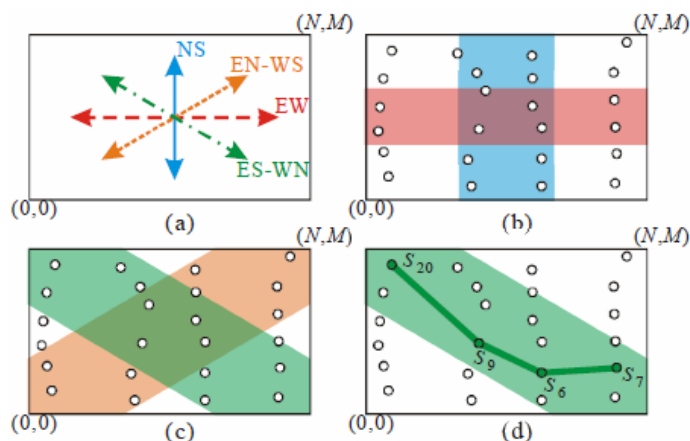


Κατασκευή των γράφων των εθνικών οδών και του τραμ

Συνήθως οι εθνικές οδοί και οι γραμμές του τραμ διασχίζουν μια αστική περιοχή από άκρη σε άκρη. Παρακάτω δείχνεται η κατασκευή τους και η ενσωμάτωσή τους στο γράφημα των δρόμων. Η μέθοδος κατασκευής των εθνικών οδών, των γραμμών του τραμ και του μετρό είναι η ίδια. Επιλέγονται μερικές περιοχές του γράφου για να σχηματίζουν την εθνική οδό. Εάν αυτά τα σημεία επιλεγούν τυχαία, τότε η εθνική οδός μπορεί να σχηματίσει μη κανονικά μονοπάτια.

Αρχικά η διεύθυνση των εθνικών οδών επιλέγεται ανάμεσα σε τέσσερα πρότυπα, τα NS, EN – WS, EW και ES – WN (N: North, S: South, E: East, W: West) όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (a). Όλες οι παράμετροι επιλέγονται τυχαία σε αυτή την διαδικασία. Στη συνέχεια, επιλέγονται μερικές περιοχές από το S μέσα στο πρότυπο που επιλέχτηκε. Οι εικόνες (b) και (c) δείχνουν τα εύρη της επιλογής των κόμβων για τα διαφορετικά πρότυπα ενώ η εικόνα

(d) δείχνει ένα παράδειγμα όπου οι περιοχές S_6, S_7, S_9 και S_{20} επιλέγονται στον άξονα ES – WN. Αυτές οι περιοχές στο τέλος ταξινομούνται και διασυνδέονται. Ομοίως κατασκευάζονται και οι γράφοι του τραμ και του μετρό και, επιπροσθέτως, έχουν την δυνατότητα να σχηματίζουν ανεξάρτητους γράφους που δεν είναι συνδεδεμένοι με το απλό δίκτυο των δρόμων.



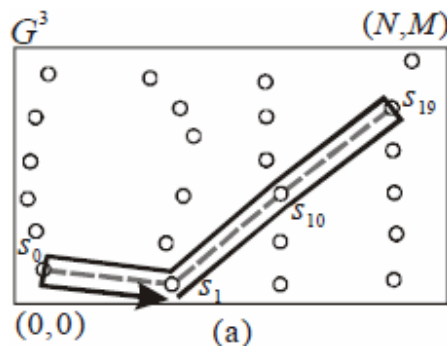
Ρύθμιση των ορισμάτων των συνδέσμων

Ο σύνδεσμος μεταξύ δύο περιοχών είναι το μονοπάτι που ενώνει δύο κόμβους. Για την προσομοίωση πραγματικών δρόμων ορίζονται τρία ορίσματα. Αρχικά ο περιορισμός των κινητών κόμβων είναι η δημιουργία ενός ξεχωριστού γραφήματος που περιγράφει τα μονοπάτια για κάποιους ειδικούς κόμβους. Για παράδειγμα, ένα αυτοκίνητο, ένα ταξί και ένα λεωφορείο μπορούν να κινηθούν στην εθνική οδό. Έτσι οι διαδρομές των εθνικών οδών επιλέγονται μόνο από οχήματα. Αυτός ο περιορισμός περιορίζει τους τύπους κόμβων στο να επιλέξουν διαδρομές από συγκεκριμένα γραφήματα. Στη συνέχεια, ο αριθμός των λωρίδων είναι ένα σημαντικό όρισμα που επηρεάζει την θέση και το όριο ταχύτητας των κόμβων. Ένας φαρδύς δρόμος έχει περισσότερες λωρίδες και κατ' επέκταση τα οχήματα μπορούν να αναπτύξουν μεγαλύτερη ταχύτητα σε σχέση με τους στενότερους δρόμους. Τέλος, το όριο ταχύτητας επηρεάζει σημαντικά την συμπεριφορά των κόμβων. Με την επιβολή αυτού του ορίσματος περιορίζεται η μέγιστη και η ελάχιστη ταχύτητα για τους διαφορετικούς τύπους κόμβους.

Δημιουργία των διαδρομών

Διαδρομές των δημοσίων οχημάτων

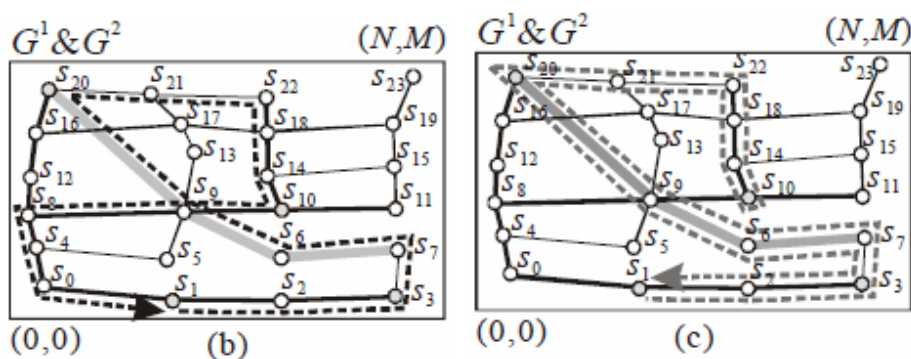
Το δρομολόγιο ενός δημοσίου οχήματος είναι ένα πρότυπο κανονικής κίνησης που δημιουργείται από το route – based μοντέλο. Αυτό το κινητό μοντέλο προσομοιώνει δύο ειδών τύπους οχημάτων, τα λεωφορεία και τα τραμ. Εάν ένας κόμβος είναι ένα τραμ τότε η κατεύθυνση κίνησής του και η αρχική του θέση επιλέγεται τυχαία από τον γράφο των τραμ. Το δρομολόγιο του κόμβου περιορίζεται μέσα σε αυτόν τον γράφο. Ο κόμβος μετακινείται και περνάει από όλες τις περιοχές τις διαδρομής. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, η αρχική θέση του κόμβου είναι η περιοχή s_1 και μετακινείται προς τα δεξιά. Η διαδρομή που ακολουθεί είναι $s_{10}, s_{19}, s_{10}, s_1, s_0, s_1$. Ο κόμβος του τραμ επαναλαμβάνει αυτή την διαδρομή καθ' όλη την διάρκεια της προσομοίωσης. Εάν υπάρχουν και άλλα τραμ στον χώρο προσομοίωσης, η διαδρομή τους σχηματίζεται με παρόμοιο τρόπο.



Εάν ο κόμβος προσομοιώνει κάποιο λεωφορείο, τότε οι στάσεις του στο δρομολόγιο επιλέγονται τυχαία από το γράφο των αυτοκινήτων. Το μονοπάτι του κόμβου περιορίζεται στους γράφους των δρόμων και των εθνικών οδών. Ο κόμβος βρίσκει το συντομότερο μονοπάτι από την παρούσα στάση στην επόμενη. Όταν φτάσει στην τελευταία στάση του δρομολογίου τότε επιλέγεται τυχαία ένα μονοπάτι για να σχηματιστεί κυκλική τροχιά ή γραμμική διαδρομή. Εάν

επιλεγεί η κυκλική τροχιά τότε η τελευταία στάση μετατρέπεται σε πρώτη. Εάν επιλεγεί η γραμμική διαδρομή τότε επιλέγεται να ακολουθηθεί η ίδια διαδρομή με αντίθετη φορά.

Για παράδειγμα, έστω ότι ο κόμβος «λεωφορείο» επιλέγει τις περιοχές S_1 , S_3 , S_{10} και S_{20} για τις στάσεις του δρομολογίου. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (b), το συντομότερο μονοπάτι από το S_1 στο S_3 είναι $S_1 - S_2 - S_3$ ενώ το συντομότερο μονοπάτι από το S_3 στο S_{20} είναι το $S_3 - S_7 - S_6 - S_9 - S_{20}$. Έτσι η κυκλική τροχιά και η γραμμική διαδρομή φαίνονται στις παρακάτω εικόνες (b) και (c). Κάθε κόμβος λεωφορείου μετακινείται στην διαδρομή που του αντιστοιχεί επαναλαμβανόμενα καθ' όλη την διάρκεια της προσομοίωσης.

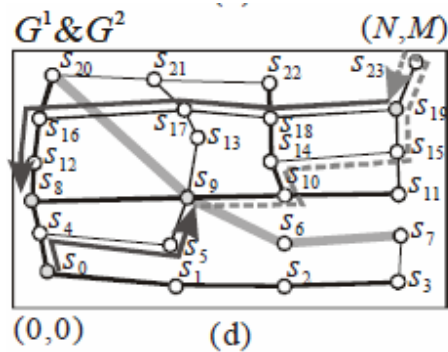


Διαδρομές των ταξί

Η διαδρομή ενός κόμβου ταξί δημιουργείται με βάση τα destination – based και random – based μοντέλα. Το destination – based μοντέλο προσομοιώνει την κίνηση του ταξί που μεταφέρει έναν πελάτη από την αφετηρία στον προορισμό του. Το random – based μοντέλο προσομοιώνει την κίνηση του ταξί όταν αυτό ψάχνει κάποιον υποψήφιο πελάτη. Το μονοπάτι κίνησης του ταξί περιορίζεται μέσα στους γράφους των δρόμων και των εθνικών οδών. Πρώτα το ταξί επιλέγει τυχαία μια περιοχή εκκίνησης από τους γράφους των δρόμων και των εθνικών οδών.

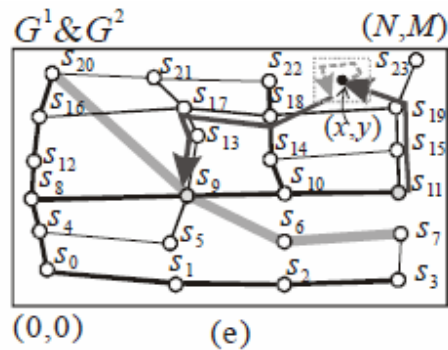
Για παράδειγμα, η περιοχή εκκίνησης που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα είναι η περιοχή S_0 με βάση το destination – based μοντέλο. Η περιοχή S_5 επιλέγεται τυχαία από τον γράφο των δρόμων και ο κόμβος μετακινείται προς τα εκεί από την συντομότερη διαδρομή $s_0 - s_4 - s_5 - s_9$. Το μοντέλο αλλάζει σε random – based όταν φτάσει στον κόμβο S_5 . Ο κόμβος επιλέγει την επόμενη περιοχή από τις γειτονικές περιοχές τυχαία εκτός από την προηγούμενη.

Εάν δεν υπάρχει άλλη γειτονική περιοχή τότε επιλέγεται κάποια προηγούμενη. Όταν ο κόμβος ταξί περάσει κάποιες περιοχές, τότε αλλάζει πάλι σε destination – based μοντέλο. Στο παράδειγμα της εικόνας, όταν ο κόμβος φτάσει στην περιοχή s_{19} αλλάζει σε destination – based μοντέλο και επιλέγεται η περιοχή s_8 ως επόμενος προορισμός. Ο κόμβος ταξί επαναλαμβάνει αυτή την διαδικασία καθ' όλη την διάρκεια της προσομοίωσης.



Διαδρομές των ατόμων

Οι διαδρομές των ατόμων μοιάζουν αρκετά με αυτές των ταξί. Χρησιμοποιώντας το destination – based μοντέλο, η διαδρομή που μετακινείται ο κόμβος περιορίζεται μεταξύ των περιοχών στους γράφους των δρόμων και των εθνικών οδών. Όμως η επιλογή του προορισμού δεν περιορίζεται στο S . Ο κόμβος επιλέγει τις συντεταγμένες $x - y$ ως προορισμό τελείως τυχαία. Με το random – based μοντέλο το άτομο μετακινείται περιορισμένο μέσα σε μια μικρή περιοχή. Ο κόμβος κινείται για m φορές μέσα στην περιοχή τυχαία. Κάθε δύο κινήσεις υπάρχει μια μικρή παύση. Στη συνέχεια, ο κόμβος κατευθύνεται προς τον επόμενο προορισμό χρησιμοποιώντας το destination – based μοντέλο. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένας κόμβος που βρίσκεται στην περιοχή s_{11} και κινείται προς το σημείο (x, y) . Τότε ο κόμβος αρχίζει να κινείται τυχαία μεταξύ $(x - rx, y - ry)$ και $(x + rx, y + ry)$, όπου rx και ry είναι το τοπικό εύρος. Τέλος, ο κόμβος μετακινείται στην περιοχή s_9 με destination – based μοντέλο.



Συμπεράσματα

Για την εξαγωγή των συμπερασμάτων χρησιμοποιήθηκαν κάποιες παράμετροι. Αρχικά οριοθετήθηκαν τα όρια των ταχυτήτων ανάλογα με το γράφο που συμμετέχουν οι κόμβοι. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αυτές οι τιμές.

Είδος Κόμβου	Γράφος	Ταχύτητα
Άτομο (Πεζός)	Δρόμος	0.5~2.0m/s
Άτομο (Οδικός), Ταξί, Λεωφορείο	Δρόμος (στενός)	6~11m/s
Άτομο (Οδικός), Ταξί, Λεωφορείο	Δρόμος (φαρδύς)	11~20m/s
Άτομο (Οδικός), Ταξί, Λεωφορείο	Εθνική Οδός	20~31m/s
Τραμ	Γραμμές του Τραμ	15~20m/s

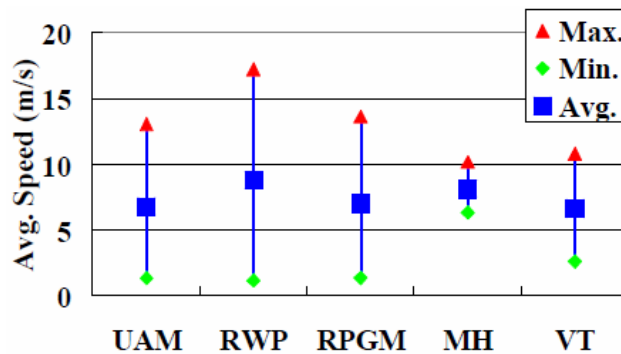
Παραπάνω ειπώθηκε η ιδέα του φαναριού. Μια περιοχή s_i ορίζει ένα φανάρι tl_i όταν έχει τέσσερις ή παραπάνω συνδέσεις. Το σήμα του φαναριού αλλάζει κάθε tl_i δευτερόλεπτα. Όταν ένας κόμβος συναντά ένα πράσινο φανάρι τότε μπορεί να πάει ευθεία ή να στρίψει είτε αριστερά είτε δεξιά. Όταν ο κόμβος συναντά ένα κόκκινο φανάρι τότε πρέπει να σταματήσει μέχρι το σήμα του φαναριού να γίνει πράσινο. Το χρονικό διάστημα αναμονής P των οχημάτων υποδηλώνει τον χρόνο που πρέπει να περιμένουν για να αλλάξει το σήμα του φαναριού σε πράσινο. Άλλα μοντέλα ορίζουν το μέγιστο P να είναι στα 15 δευτερόλεπτα. Στα πειράματα που έχουν γίνει χρησιμοποιούνται τέσσερα μοντέλα, τα RWP, RPGM, MH και VT. Οι παράμετροι φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

<i>Μοντέλο</i>	<i>Παράμετρος</i>	<i>Τιμή</i>	<i>Παράμετρος</i>	<i>Τιμή</i>
RWP	<i>Ελάχιστη ταχύτητα</i>	1m/s	<i>Μέγιστη ταχύτητα</i>	30m/s
RPGM	<i>Ελάχιστη Ταχύτητα</i>	1m/s	<i>Μέγιστη Ταχύτητα</i>	30m/s
	<i>Ακτίνα Αναφοράς</i>	150m	<i>Αριθμός Ομάδων</i>	28
	<i>Αριθμός Κόμβων ανά Ομάδα</i>	5	<i>Αριθμός Κόμβων σε RWP</i>	60
MH	<i>Ελάχιστη Ταχύτητα</i>	10m/s	<i>Μέγιστη Ταχύτητα</i>	30m/s
	<i>Οικοδομικό τετράγωνο X(bx)</i>	150m	<i>Οικοδομικό Τετράγωνο Y(by)</i>	75m
	<i>Αριθμός Λωρίδων</i>	8	<i>Πλάτος Λωρίδας</i>	3m
VT	<i>Ελάχιστη Ταχύτητα</i>	1m/s	<i>Μέγιστη Ταχύτητα</i>	30m/s
	<i>Αριθμός Ομάδων</i>	28	<i>Αριθμός κόμβων ανά ομάδα</i>	5
	<i>Ακτίνα Σταθμών</i>	100m	<i>Πλάτος δρόμου</i>	70m
	<i>Ελάχιστη απόσταση σταθμών</i>	250m	<i>Μέγιστη Απόσταση Σταθμών</i>	500m
UAM	<i>Οικοδομικό τετράγωνο X(bx)</i>	150m	<i>Οικοδομικό Τετράγωνο Y(by)</i>	75m
	<i>Μέγιστος Αριθμός Λωρίδων</i>	8	<i>Πλάτος Λωρίδας</i>	3m
	<i>Ελάχιστο tit</i>	10sec	<i>Μέγιστο tit</i>	25sec
	<i>Ποσοστό Λεωφορείων</i>	10%	<i>Ποσοστό Ταξί</i>	30%
	<i>Ποσοστό Τραμ</i>	1%	<i>Ποσοστό Ατόμων</i>	59%
	<i>Ελάχιστο rm</i>	1 φορά	<i>Μέγιστο rm</i>	5 φορές

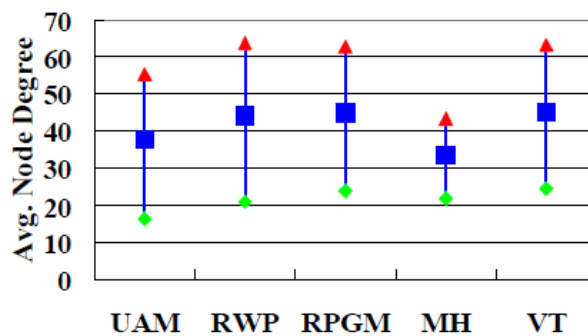
Με τις παραπάνω παραμέτρους μπορούν να εξαχθούν αποτελέσματα από πειράματα που έχουν γίνει για την ανάλυση των παραμέτρων κίνησης και την απόδοση των μοντέλων κίνησης από τις προσομοιώσεις. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δεν σκοπεύουν να αναδείξουν ένα μοντέλο ως καλύτερο ενός άλλου, αλλά για να βοηθήσουν τους ερευνητές να επιλέξουν αυτό που ταιριάζει στα δεδομένα τους. Επίσης, θεωρείται ότι υπάρχει ένα σταθερό εύρος μετάδοσης στα **250m** και το πλήθος των κόμβων είναι **200**. Επίσης, ο χώρος προσομοίωσης είναι **1000m × 100m** και ο χρόνος προσομοίωσης είναι τα **300** δευτερόλεπτα. Κάθε μοντέλο παράγει σενάρια κίνησης για 100 κόμβους για την αξιολόγηση της απόδοσης.

Ανάλυση Παραμέτρων Κίνησης

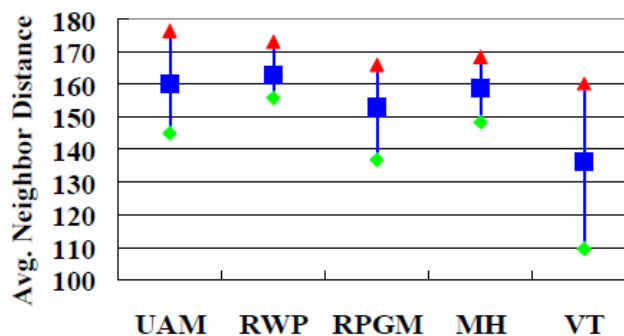
Στα διαφορετικά μοντέλα κίνησης οι παράμετροι του μοντέλου επηρεάζουν την ταχύτητα του κόμβου. Στο παρακάτω γράφημα παρατηρούμε ότι το RWP έχει τις μεγαλύτερες διαφορές στην **μέση ταχύτητα** επειδή κάθε κόμβος διαλέγει τυχαία την ταχύτητά του στο εύρος των **1 – 30m/s** και κινείται τυχαία κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Το Manhattan έχει την μικρότερη διαφορά στην μέση ταχύτητα επειδή έχει υψηλότερη ελάχιστη ταχύτητα. Επιπροσθέτως, κάθε κόμβος πρέπει να σταματά για μια περίοδο P σε κάθε διασταύρωση γεγονός το οποίο, επίσης, επηρεάζει την μέση ταχύτητα. Το Virtual Track έχει μικρότερες διαφορές στην ταχύτητα από τα άλλα μοντέλα γιατί το μονοπάτι του κάθε κόμβου περιορίζεται στους σταθμούς και στους δρόμους. Επίσης, η απόσταση που μετακινείται κάθε κόμβος είναι μικρότερη σε σχέση με τα άλλα μοντέλα.



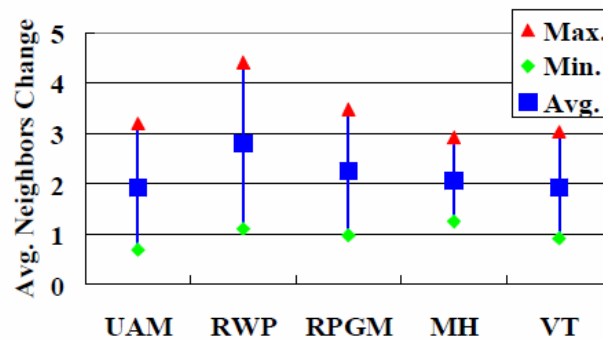
Ο μέσος βαθμός των κόμβων είναι ο αριθμός των γειτονικών κόμβων που έχει ένας κόμβος. Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται ότι το Manhattan έχει τους λιγότερους γείτονες σε σχέση με τα άλλα μοντέλα. Κάτι τέτοιο συμβαίνει διότι οι κόμβοι μένουν στις διασταυρώσεις για κάποιο χρονικό διάστημα.



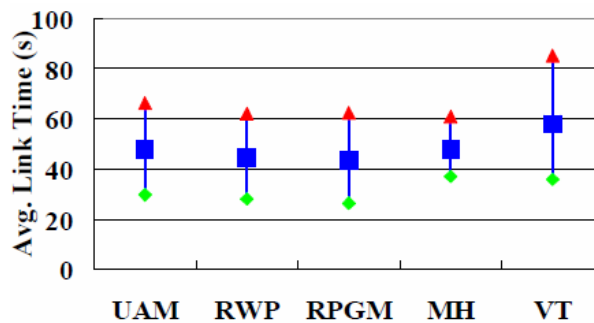
Στη συνέχεια, η μέση απόσταση μεταξύ των γειτόνων υποδηλώνει την μέση απόσταση μεταξύ των κόμβων. Στην παρακάτω εικόνα η απόσταση μεταξύ των κόμβων για το Virtual Track μοντέλο είναι ξεκάθαρη. Οι κόμβοι μέσα σε μια ομάδα αυτού του μοντέλου έχουν μικρή απόσταση μεταξύ τους, επειδή μετακινούνται μαζί. Αντίθετα, οι ανεξάρτητοι κόμβοι έχουν υψηλότερη απόσταση. Το μοντέλο RPGM είναι ένα άλλο μοντέλο με ομάδες κόμβων για το οποίο, επίσης, φαίνεται ότι η απόσταση των κόμβων μέσα στην ομάδα είναι μικρότερη σε σχέση με τους ανεξάρτητους κόμβους.



Η μέση αλλαγή των γειτόνων είναι η παράμετρος που δείχνει πόσες φορές ένας κόμβος αλλάζει γείτονες ανά δευτερόλεπτο. Το Random Waypoint μοντέλο έχει τον υψηλότερο αριθμό αλλαγής γειτόνων επειδή κάθε κόμβος μετακινείται τυχαία κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.



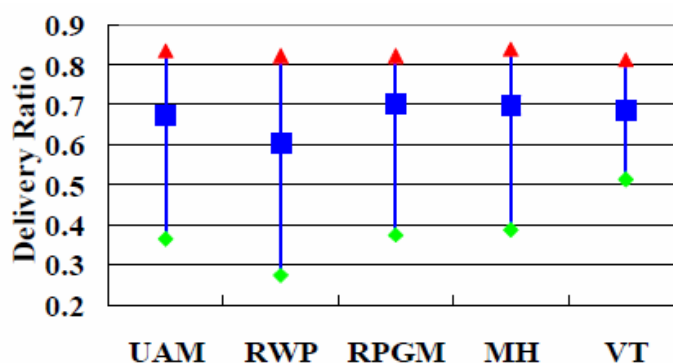
Στο μοντέλο Random Waypoint οι συνδέσεις δεν είναι σταθερές. Έτσι, ο μέσος χρόνος σύνδεσης μεταξύ δύο κόμβων φαίνεται στο παρακάτω γράφημα. Το μοντέλο Virtual Track έχει μεγαλύτερο χρόνο σύνδεσης μεταξύ των κόμβων σε σχέση με τα άλλα μοντέλα. Αυτό συμβαίνει διότι οι κόμβοι κινούνται μαζί στους σταθμούς και στα μονοπάτια όταν βρίσκονται στην ίδια ομάδα.



Συμπεράσματα προσομοίωσης των μοντέλων

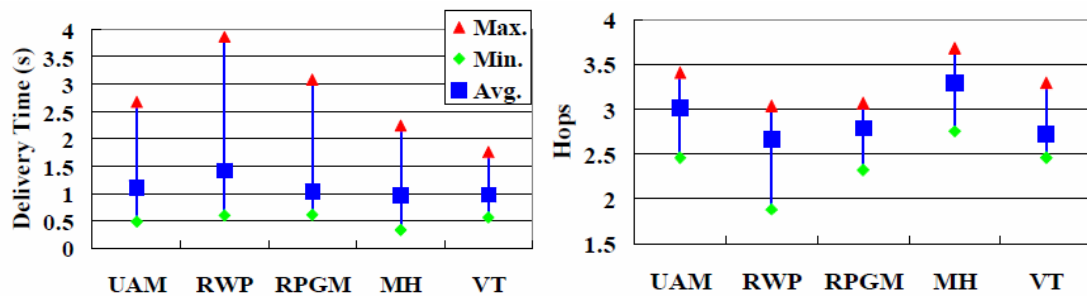
Τα παρακάτω αποτελέσματα ελήφθησαν με την χρήση ενός τυπικού ad hoc πρωτοκόλλου δρομολόγησης AODV. Σε κάθε δευτερόλεπτο υπάρχουν το πολύ 10 συνδέσεις στο δίκτυο. Ο χρόνος σύνδεσης είναι το πολύ 30 δευτερόλεπτα και κάθε σύνδεση δημιουργείται τυχαία ενώ μεταδίδει 4 πακέτα ανά δευτερόλεπτο μεγέθους 512 bytes το κάθε πακέτο. Η πηγή, ο προορισμός και ο χρόνος σύνδεσης επίσης επιλέγεται τυχαία. Όλες οι προσομοιώσεις υιοθετούν το παραπάνω σενάριο. Ο ρυθμός παράδοσης υποδηλώνει το ποσοστό των δεδομένων που τελικά φτάνουν στον προορισμό τους.

Στο παρακάτω διάγραμμα το Random Waypoint μοντέλο έχει τον χαμηλότερο ρυθμό παράδοσης επειδή οι μεγάλες αποκλίσεις στην ταχύτητα και ο υψηλός ρυθμός αλλαγής των γειτόνων μετατρέπουν το δίκτυο σε ασταθές. Το Virtual Track μοντέλο έχει τις μικρότερες αποκλίσεις στον ρυθμό παράδοσης των πακέτων επειδή υπάρχει μικρή απόσταση μεταξύ των γειτόνων και υψηλός χρόνος σύνδεσης. Επιπροσθέτως, αυτό συμβαίνει διότι η περιοχή που κινούνται οι ομάδες των κόμβων είναι μικρότερη σε σχέση με τα άλλα μοντέλα.



Ο χρόνος παράδοσης είναι ο χρόνος προώθησης ενός πακέτου. Ο αριθμός των φορών της αναμετάδοσης και το hop μετάδοσης επηρεάζουν τον χρόνο παράδοσης. Τα παρακάτω γραφήματα δείχνουν ότι το Random Waypoint μοντέλο έχει τον υψηλότερο χρόνο παράδοσης αλλά χαμηλό hop μετάδοσης εξαιτίας της ασταθούς σύνδεσης. Το Virtual Track μοντέλο έχει

σταθερές συνδέσεις και έτσι επιτυγχάνει τις μικρότερες αποκλίσεις στον χρόνο παράδοσης. Οι κόμβοι των ομάδων του RPGM είναι κανονικοί και ο χρόνος παράδοσης αυξάνεται όταν η πηγή και ο προορισμός δεν είναι στην ίδια ομάδα. Αυτό συμβαίνει διότι ο αριθμός των φορών της αναμετάδοσης αυξάνεται. Στο μοντέλο Manhattan ο κόμβος περιορίζεται μέσα στο πλέγμα του. Τότε η δρομολόγηση μεταξύ αρχικού και τελικού κόμβου δεν είναι το μικρότερο δυνατό μονοπάτι κι έτσι, τα hops είναι μεγαλύτερα σε σχέση με τα άλλα μοντέλα.



Υλοποίηση

Παρακάτω παρατίθεται τμήμα κώδικα που υλοποιεί την κίνηση ανθρώπων σε αστικό περιβάλλον, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα.

Κώδικας

```
while(p!=NULL)
{
    //Here is the implementation of the mobility urban model of the pdf
    //We define a local c and y as a double to implement small movement on the axis
    double localx=(double)p->hhx,localy=(double)p->hhy;
    //The rx, ry is the small movement defined in the pdf
    double rx=0.1,ry=0.1;

    //In every cycle we check the state of the handheld
    switch(p->state)
    {
        // In this case the handhelds gets randomly a new destination to go
        case STATE_NEW_DEST:
        {
            //printf("Setting new Destination\n");
            //Choose randomly a destination
            p->destAx=rand()%AREAX; //it is from 0 to AREAX
            p->destAy=rand()%AREAY; //it is from 0 to AREAY
            p->state=STATE_DEST; //Now in the next cycle will start
            //moving to the new destination

            break;
        }
        //In this state the handheld will move to the new destination.
        //First will cross the x axis and then to the y axis.
        case STATE_DEST:
        {
            //Go left or right depending the position of the
            //handheld in the x axis and destination x coordinate
            if(p->hhx!=p->destAx)
            {
                if(p->hhx<p->destAx)
                    //move the handheld by the speed
                    p->hhx+=p->speed;
                else if (p->hhx>p->destAx)
```

```

        p->hhx-=p->speed;
    }
    //Go up or down depending the position of the handheld
    //in the y axis and destination y coordinate
    else if(p->hhy!=p->destAy)
    {
        if(p->hhy<p->destAy)
            p->hhy+=p->speed;
        else if (p->hhy>p->destAy)
            p->hhy-=p->speed;
    }
    //If the x and y matches the destination then it changes
    //its state to random local moving
    if(p->hhx==p->destAx && p->hhy==p->destAy)
        p->state=STATE_RAND;
    break;
}
//In this state the handheld is moving around in a local level
case STATE_RAND:
{
    //printf("Moving Randomly\n");
    int direction=rand()%2;//Find randomly up or down direction
    int sign= rand()%2;//Find randomly left or right direction
    int stop= rand()%5;//Find randomly the rm times to move around.
        //the probability is 1 in 5 times
    if(direction)
        if(sign)
            localx+=rx;
        else
            localx-=rx;
    else
        if(sign)
            localy+=ry;
        else
            localy-=ry;
    //If it is time to stop then change the state into finding a new destination

    if(stop==2)
    {
        p->state=STATE_NEW_DEST;
    }
    break;
}
}
p=p->next;
} //while p!=NULL

```

Βιβλιογραφία

- 1 Chih-Ping, ChuHua-Wen, Tsai, *Urban-Areas based Mobility Model for Wireless Network Simulations*, ICON 2007
- 2 Muhammad U. Ilyas, Hayder Radha, *The Influence Mobility Model: A Novel Hierarchical Mobility Modeling Framework*, 2005
- 3 Atulya Mahajan, Niranjana Potnis, Kartik Gopalan, A. Wang, *Evaluation of Mobility Models For Vehicular Ad-Hoc Network Simulations*