

Ατομική Διπλωματική Εργασία

**ΕΥΦΥΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΦΩΤΕΙΝΩΝ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΩΝ
ΤΡΟΧΑΙΑΣ**

Χριστόδουλος Ευσταθιάδης

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Ιούνιος 2009

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Ευφυές Σύστημα Ελέγχου Φωτεινών Σηματοδοτών Τροχαίας

Χριστόδουλος Ευσταθιάδης

Επιβλέπων Καθηγητής

Μάριος Δ. Δικαιάκος

Η Ατομική Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Κύπρου

Ιούνιος 2009

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου Δρ. Μάριο Δικαιάκο, ο οποίος υπήρξε ο επιβλέπων καθηγητής της διπλωματικής αυτής εργασίας, για τη συνεχή υποστήριξη που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μου. Τον ευχαριστώ για την κατανόηση που έδειξε στα διάφορα προβλήματα που αντιμετώπισα κατά καιρούς και για τη βοήθεια που μου προσέφερε για την επίλυση των προβλημάτων αυτών. Είναι ένας σπουδαίος ερευνητής και καθηγητής, αλλά πάνω απ' όλα εξαιρετικός άνθρωπος. Η ευκαιρία που μου έδωσε για να εργαστώ στο ερευνητικό του εργαστήριο ήταν το έναυσμα για την έκθεση μου σε υψηλής ποιότητας έρευνα, ένα σημαντικό συστατικό που χωρίς αυτό η διπλωματική εργασία μου πιθανότατα να μην ήταν δυνατό να ολοκληρωθεί.

Ευχαριστώ τα παιδιά που εργάζονται στο εργαστήριο για τις πολύωρες και καρποφόρες συζητήσεις που κάναμε, και ιδιαίτερα τον Νικόλα Λουλλούδη, υποψήφιο διδάκτορα, για την πολύτιμη και ανιδιοτελή βοήθεια που μου προσέφερε. Ευχαριστώ επίσης τους συμφοιτητές μου για τις μακρές και ουσιαστικές συζητήσεις που κάναμε καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου, και ιδιαίτερα τους γονείς μου Ανδρέα και Ελευθερία, για την κατανόηση που επέδειξαν όλες τις μέρες που βρισκόμουν μακριά τους για τους σκοπούς της ολοκλήρωσης της διπλωματικής μου εργασίας. Οι συμβουλές και καθοδηγήσεις τους πάντα θα χαίρουν από εμένα άκρας εκτίμησης και σημασίας.

Περίληψη

Τα συστήματα επικοινωνίας αυτοκινήτων (Inter-vehicle Communication systems) βασίζονται στην άμεση επικοινωνία μεταξύ των αυτοκινήτων για να καλύψουν τις ανάγκες επικοινωνίας ενός μεγάλου εύρους εφαρμογών. Τα συστήματα αυτά συναντώνται στη βιβλιογραφία με τον όρο VANETs (Vehicular Ad hoc Networks). Οι πιο κοινές εφαρμογές που εξαρτώνται από την επικοινωνία μεταξύ αυτοκινήτων σχετίζονται με την ασφάλεια καθώς και τον συντονισμό της κυκλοφορίας στο δρόμο. Εφαρμογές τέτοιου είδους δύνανται να καταστήσουν την κίνηση στους δρόμους πιο αποδοτική, εύκολη και ευχάριστη.

Τα συστήματα ελέγχου φωτεινών σηματοδοτών τροχαίας μπορούν να χρησιμοποιήσουν αποτελεσματικά και να εκμεταλλευτούν τα δίκτυα VANET όπως έχει αποδειχθεί σε πρόσφατες έρευνες. Εφαρμόστηκε μία τακτική ρύθμισης της ταχύτητας των αυτοκινήτων βασισμένη στο χρονισμό του ΦΣΤ τον οποίο προσεγγίζει το αυτοκίνητο. Η ταχύτητα είναι ένας παράγοντας που συμβάλλει σε ένα μεγάλο ποσοστό στις συγκρούσεις αυτοκινήτων.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός ευφυούς συστήματος προσαρμογής της ταχύτητας, το οποίο εκμεταλλεύεται τις πληροφορίες που τα αυτοκίνητα λαμβάνουν από τους φωτεινούς σηματοδότες τροχαίας (μέσω του δικτύου VANET) και ακολούθως τις χρησιμοποιεί για την προσαρμογή της ταχύτητας των οχημάτων που πλησιάζουν σε μια διασταύρωση, έτσι ώστε να μειωθεί τόσο η πιθανότητα δυστυχήματος λόγω ταχύτητας όσο και η κατανάλωση καυσίμων και συνεπώς η ρύπανση του περιβάλλοντος.

Μελετήθηκαν αρκετά σενάρια για να προσδιοριστεί το καλύτερο δυνατό έτσι ώστε να μειώνονται τα καύσιμα και οι εκπομπές ρύπων στο μέγιστο.

Τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας δείχνουν ότι υπάρχει σαφής και σημαντική βελτίωση όσο αφορά στην κατανάλωση καυσίμων αλλά και στη μείωση της έκλυσης ρύπων. Συγκεκριμένα, υπάρχει μείωση της τάξης του 40%. Συνεπώς το σύστημα λειτουργεί αποτελεσματικά.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή.....	1
1.1	Ευφυή Συστήματα Μεταφοράς	2
1.2	Συστήματα Επικοινωνίας Αυτοκινήτων	2
Κεφάλαιο 2	Προσομοίωση Vehicular Ad hoc Networks (VANETs).....	4
2.1	Εισαγωγή στην προσομοίωση	5
2.2	Πλεονεκτήματα προσομοίωσης	5
2.3	Μοντέλα κίνησης (mobility models)	7
2.4	Προσομοιωτές για VANETs	15
2.4.1	Προσομοιωτής TraNS	16
2.4.2	Προσομοιωτής GrooveNet	17
2.4.3	Προσομοιωτής VNSim	18
Κεφάλαιο 3	Παρουσίαση συναφούς βιβλιογραφίας.....	20
3.1	Έρευνα όσον αφορά φωτεινούς σηματοδότες τροχαίας	21
3.1.1	Παράμετροι που λαμβάνονται υπ' όψη	21
3.1.2	Μοντέλα που χρησιμοποιούνται από λογισμικά προσομοίωσης της κίνησης	22
3.1.3	Αλγόριθμοι εύρεσης βέλτιστου σχεδίου χρονισμού ΦΣΤ	22
3.2	Σχεδιασμός συστημάτων ελέγχου χρονισμού ΦΣΤ	24
3.2.1	Θεωρία ουρών (queuing theory)	24
3.2.2	Μέθοδος σχεδιασμού συστημάτων χρονισμού	26
3.2.3	Υπολογισμός του διαστήματος χρόνου που διαρκεί η περίοδος που δεν είναι αναμμένο το πράσινο (intergreen interval)	27
3.2.4	Υπολογισμός του χρόνου διασταύρωσης των πεζών	27
3.2.5	Προσδιορισμός του ρυθμού ροής κορεσμού	

(saturation flow rate)	28
3.2.6 Προσδιορισμός του βέλτιστου μεγέθους κύκλου (cycle length)	28
3.3 Υπάρχοντα συστήματα ελέγχου ΦΣΤ	30
3.3.1 Split, Cycle and Offset Optimization Technique (SCOOT)	30
3.3.2 Real-time Hierarchical Optimized Distributed and Effective System (RHODES)	32
3.3.3 TRANSYT 7F	33
3.3.4 SYNCHRO	34
3.4 Ρύπανση του περιβάλλοντος	34
3.4.1 Εισαγωγή	34
3.4.2 Τρόποι μείωσης της έκλυσης ρύπων από αυτοκίνητα	35
3.5 VANETs και Συστήματα ελέγχου σηματοδοτών τροχαίας	36
3.6 Ευφυής προσαρμογή της ταχύτητας	38
 Κεφάλαιο 4 Περιβάλλον Προσομοίωσης VNSim.....	39
4.1 Αρχιτεκτονική VNSim	40
4.2 Μοντέλο κίνησης	41
4.3 Πρωτόκολλο επικοινωνίας	43
4.4 Υπολογισμός καυσίμων και ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα	44
 Κεφάλαιο 5 Ευφές Σύστημα Προσαρμογής Ταχύτητας.....	47
5.1 Εισαγωγή	48
5.2 Επικοινωνία ΦΣΤ - Αυτοκινήτων	49
5.3 Ευφές Σύστημα Προσαρμογής Ταχύτητας	52
5.4 Αποτελέσματα και Αξιολόγηση	54
5.4.1 Εισαγωγή	54
5.4.2 Σενάριο 1	55
5.4.3 Σενάριο 2	57
5.4.4 Σενάριο 3	60

Κεφάλαιο 6	Πειραματική Μελέτη.....	62
6.1	Εισαγωγή	63
6.2	Project OpenMoko και συσκευή Neo Freerunner	63
6.2.1	Εισαγωγή	63
6.2.2	Ανάπτυξη εφαρμογών στο περιβάλλον OpenMoko	64
6.2.3	Σύστημα επικοινωνίας ΦΣΤ ↔ Αυτοκινήτου	66
Κεφάλαιο 7	Συμπεράσματα	68
7.1	Συμπεράσματα	69
7.2	Μελλοντική Εργασία	70
Βιβλιογραφία		72
Παράρτημα Α.....		Α-1

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Ευφυή Συστήματα Μεταφοράς	2
1.2 Συστήματα Επικοινωνίας Αυτοκινήτων	2

1.1 Ευφυή Συστήματα Μεταφοράς

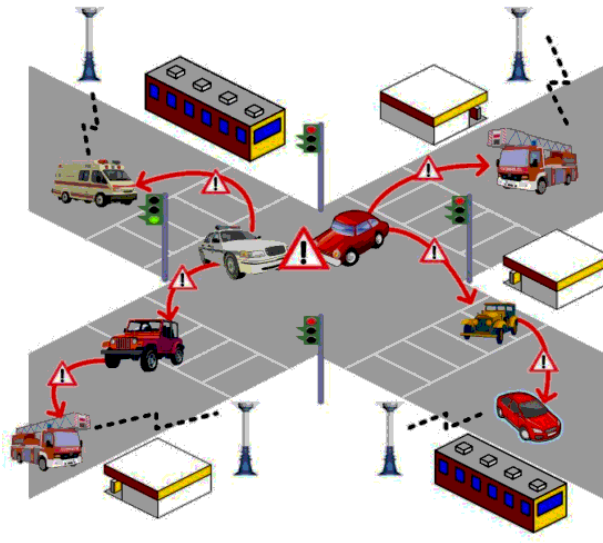
Η πρόοδος στον κινητό υπολογισμό και στην ασύρματη επικοινωνία άνοιξε τον ορίζοντα και προσέφερε καινούριες προοπτικές για την ανάπτυξη των Ευφυών Συστημάτων Μεταφοράς (Intelligent Transportation Systems). Στα τελευταία χρόνια υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον στην ανάπτυξη και εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών στα αυτοκίνητα και τη χρησιμοποίησή τους ως μέσο για την βελτίωση της ασφάλειας και την όσο το δυνατόν καλύτερη αποδοτικότητα των δικτύων κυκλοφορίας, καθώς και των αυτοκινήτων.

1.2 Συστήματα Επικοινωνίας αυτοκινήτων

Τα συστήματα επικοινωνίας αυτοκινήτων (Inter-vehicle Communication systems) βασίζονται στην άμεση επικοινωνία μεταξύ των αυτοκινήτων για να καλύψουν τις ανάγκες επικοινωνίας ενός μεγάλου εύρους εφαρμογών [1]. Τα συστήματα αυτά συναντώνται στη βιβλιογραφία με τον όρο VANETs (Vehicular Ad hoc Networks). Το VANET είναι στην ουσία ένα δίκτυο αυτοκινήτων το οποίο εγκαθιδρύεται με την ύπαρξη αυτοκινήτων τα οποία διαθέτουν δυνατότητες επικοινωνίας. Έτσι δημιουργείται ένα δίκτυο ad hoc μέσω του οποίου τα αυτοκίνητα επικοινωνούν και ανταλλάζουν μηνύματα όπως για παράδειγμα για τις συνθήκες στο δρόμο κ.ο.κ. Οι πιο κοινές εφαρμογές που εξαρτώνται από την επικοινωνία μεταξύ αυτοκινήτων σχετίζονται με την ασφάλεια καθώς και τον συντονισμό της κυκλοφορίας στο δρόμο. Εφαρμογές τέτοιου είδους δύνανται να καταστήσουν την κίνηση στους δρόμους πιο αποδοτική, εύκολη και ευχάριστη.

Τα συστήματα επικοινωνίας αυτοκινήτων αποτελούν ενεργή ερευνητική περιοχή για πάνω από δύο δεκαετίες. Παραδοσιακά, τέτοια συστήματα είναι εντελώς αποκομμένα από κάποιου είδους υποδομής, συνεπώς λειτουργούν ανεξάρτητα με τη χρησιμοποίηση κάποιων πομποδεκτών που βρίσκονται στα αυτοκίνητα. Παρ' όλα αυτά, στη βιβλιογραφία συναντούμε και τα συστήματα που επιτρέπουν την επικοινωνία υποδομών που βρίσκονται στο δρόμο με αυτοκίνητα (Road-side-to-vehicle Communication Systems). Τέτοια συστήματα έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν δυνατότητες επικοινωνίας σε κάποια επιλεγμένα σημεία στο δρόμο, όπως Φωτεινοί Σηματοδότες Τροχαίας, βενζινάδικα, χώροι στάθμευσης κ.ο.κ. Αυτού του τύπου

συστήματα μπορούν να αναπτυχθούν σταδιακά, χωρίς έτσι να απαιτούν σημαντικές επενδύσεις.



Σχήμα 1.1: Επικοινωνία αυτοκινήτων σε διασταυρώσεις

Στις διασταυρώσεις, οχήματα που περνούν τη διασταύρωση όταν το κόκκινο φανάρι είναι αναμμένο, συχνά καταλήγουν σε συγκρούσεις και ατυχήματα. Εάν τα αυτοκίνητα που εμπλέκονταν σε ατύχημα ήταν εφοδιασμένα με συστήματα που επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων, τέτοιου είδους ατυχήματα πιθανότατα θα μπορούσαν να αποφευχθούν. Πέραν τούτου, παρόμοια συστήματα μπορούν να υπάρξουν και με άλλου είδους μεταφορικά μέσα, όπως τα τρένα.

Κεφάλαιο 2

Προσομοίωση Vehicular Ad hoc Networks (VANETs)

2.1 Εισαγωγή στην προσομοίωση	5
2.2 Πλεονεκτήματα προσομοίωσης	5
2.3 Μοντέλα κίνησης (mobility models)	7
2.4 Προσομοιωτές για VANETs	15
2.4.1 Προσομοιωτής TraNS	16
2.4.2 Προσομοιωτής GrooveNet	17
2.4.3 Προσομοιωτής VNSim	18

2.1 Εισαγωγή στην προσομοίωση

Η μελέτη των VANETs είναι ένα αρκετά πολύπλοκο θέμα καθ' ότι δεν υπάρχει υποδομή, συνεπώς η πειραματική μελέτη δεν μπορεί να διεκπεραιωθεί εύκολα, αφού θα προϋπέθετε τη δημιουργία κατάλληλης υποδομής με υποστήριξη κατάλληλου δικτύου και κατάλληλων κόμβων-αυτοκινήτων που αποτελούν μέρος του δικτύου. Αυτό σαφώς και αποτελεί μεγάλο πρόβλημα στην έρευνα και αξιολόγηση της αποδοτικότητας ενός VANET.

Η προσομοίωση είναι ένα γνωστό στην επιστημονική κοινότητα εργαλείο έρευνας πολύπλοκων, κυρίως, συστημάτων και χρησιμοποιείται συχνά για τον έλεγχο επιστημονικών υποθέσεων. Με τις προσομοιώσεις επιδιώκεται η μίμηση και η αναπαραγωγή όχι μόνο ενός φαινομένου του πραγματικού κόσμου αλλά και ενός φανταστικού περιβάλλοντος. Όπως αναφέρεται στο [2] η προσομοίωση έχει γίνει πλέον ένα αναγκαίο εργαλείο. Επιτρέπει τη δημιουργία ενός VANET μέσα σε έναν υπολογιστή και την εύκολη αποτίμηση πρωτοκόλλων και εφαρμογών. Επιπλέον, επιτρέπει τη συλλογή στατιστικών δεδομένων αλλά και την απεικόνιση του VANET για την εξαγωγή παντός είδους συμπερασμάτων.

2.2 Πλεονεκτήματα προσομοίωσης

Η προσομοίωση έχει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι της πειραματικής μεθόδου παρατήρησης του πραγματικού περιβάλλοντος. Περιγράφονται τα πιο σημαντικά τα οποία και έχουν άμεση σχέση με το πιο ειδικό θέμα της προσομοίωσης των VANETs.

1. Ένα κύριο πλεονέκτημα των προσομοιώσεων είναι ότι μπορεί να παρέχει στον ερευνητή πρακτικά και απτά αποτελέσματα και πληροφορίες για τη σχεδίαση συστημάτων. Έτσι, ο σχεδιαστής μπορεί να καθορίσει την ορθότητα και αποδοτικότητα ενός συστήματος πριν αυτό να έχει σχεδιαστεί. Συνεπώς, μπορεί έτσι να δοκιμάσει διάφορα σχέδια και συστήματα, με πολλαπλές παραμέτρους τις οποίες μπορεί να ρυθμίσει ανάλογα, ούτως ώστε να καθορίσει τις βέλτιστες παραμέτρους για το σύστημά του. Έτσι, το συνολικό κόστος του συστήματος

μειώνεται σημαντικά, εφ' όσον η διαδικασία του ελέγχου κατά πόσο αυτό είναι λειτουργικό και αποδοτικό θα μπορεί να γίνει στη φάση της προσομοίωσης.

2. Οι προσομοιωτές επιτρέπουν στους σχεδιαστές ενός συστήματος να μελετήσουν ένα πρόβλημα σε διαφορετικά επίπεδα αφαιρετικότητας. Με την προσέγγιση ενός συστήματος σε ένα υψηλό επίπεδο αφαιρετικότητας, ο σχεδιαστής μπορεί καλύτερα να κατανοήσει τη συμπεριφορά και αλληλεπίδραση όλων των υψηλού επιπέδου συστατικών του συστήματος και έτσι να αντιμετωπίσει την πολυπλοκότητα του συστήματος καλύτερα. Σε αντίθετη περίπτωση, εάν το πρόβλημα προσεγγιζόταν από ένα χαμηλότερο επίπεδο αφαιρετικότητας, η πολυπλοκότητα θα ήταν ένα πολύ μεγάλο πρόβλημα για τον σχεδιαστή. Έτσι, με μια ιεραρχική αποσύνθεση του συστήματος μπορεί να γίνει προσομοίωση του κάθε συστατικού ξεχωριστά για την αξιολόγηση και επιβεβαίωση της λειτουργικότητάς του.
3. Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της προσομοίωσης είναι ότι επιτρέπει τη μελέτη της συμπεριφοράς ενός συστήματος στο χρόνο. Μπορεί δηλαδή να επιταχύνει τις διαδικασίες και να προσομοιώσει για παράδειγμα ένα δίκτυο αυτοκινήτων για τη μελέτη της κυκλοφορίας μίας ημέρας και αυτό να το κάνει σε μόνο λίγες ώρες. Αυτό δίνει στον ερευνητή το πλεονέκτημα να αλλάζει παραμέτρους της προσομοίωσης και να επανεκκινεί το πείραμά του χωρίς να χρειάζεται να περιμένει όπως θα χρειαζόταν εάν το πείραμα λειτουργούσε σε πραγματικές συνθήκες ακολουθώντας το συμβατικό χρόνο.

Στο σχήμα 2.1 παρατηρούμε μία εικόνα προσομοίωσης μιας διασταύρωσης που πάρθηκε από τον μικροσκοπικό προσομοιωτή τροχαίας κίνησης VISSIM ([32]). Μικροσκοπικοί είναι οι προσομοιωτές οι οποίοι λαμβάνουν υπ' όψη τους την κίνηση κάθε οχήματος ξεχωριστά.



Σχήμα 2.1: Εικόνα προσομοίωσης διασταύρωσης

2.3 Μοντέλα κίνησης (Mobility models)

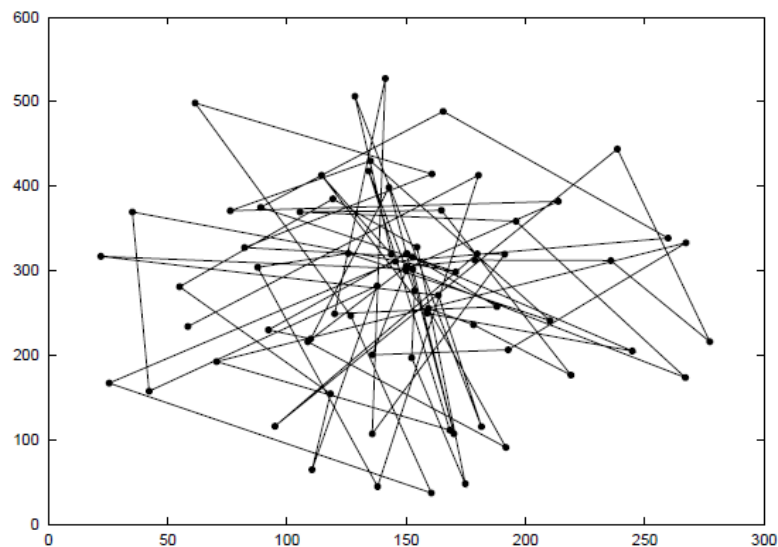
Για να προσομοιωθεί εκτενώς ένα δίκτυο ad hoc θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο κίνησης το οποίο αναπαριστά επακριβώς τους κινούμενους κόμβους του δικτύου. Καθορίζει δηλαδή επακριβώς τη θέση του κάθε κόμβου και τον τρόπο με τον οποίο κινείται. Υπάρχουν δύο είδη μοντέλων κίνησης που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση δικτύων όπως αναφέρεται στο [3]:

1. Κατάστιχα (Traces)
2. Συνθετικά μοντέλα

Τα traces παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για τη θέση των αυτοκινήτων στην κάθε χρονική στιγμή της προσομοίωσης. Ωστόσο, καινούρια δικτυακά περιβάλλοντα όπως είναι τα VANETs δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν εύκολα αν δεν έχουν πρώτα δημιουργηθεί τα traces. Σε αυτού του είδους τις προσομοιώσεις είναι απαραίτητη η χρήση συνθετικών μοντέλων. Τα συνθετικά μοντέλα επιχειρούν να αναπαραστήσουν ρεαλιστικά τις συμπεριφορές των κινητών δικτύων χωρίς τη χρήση των traces.

Ένα μοντέλο κίνησης θα πρέπει να επιχειρεί να μιμηθεί τις κινήσεις πραγματικών κινούμενων κόμβων και δη αυτοκινήτων. Αλλαγές στην ταχύτητα και κατεύθυνση πρέπει να γίνονται ρεαλιστικά σε λογικά περιθώρια χρόνου. Τέτοιου είδους μοντέλα κίνησης είναι και τα ακόλουθα όπως αναφέρονται στο [4]:

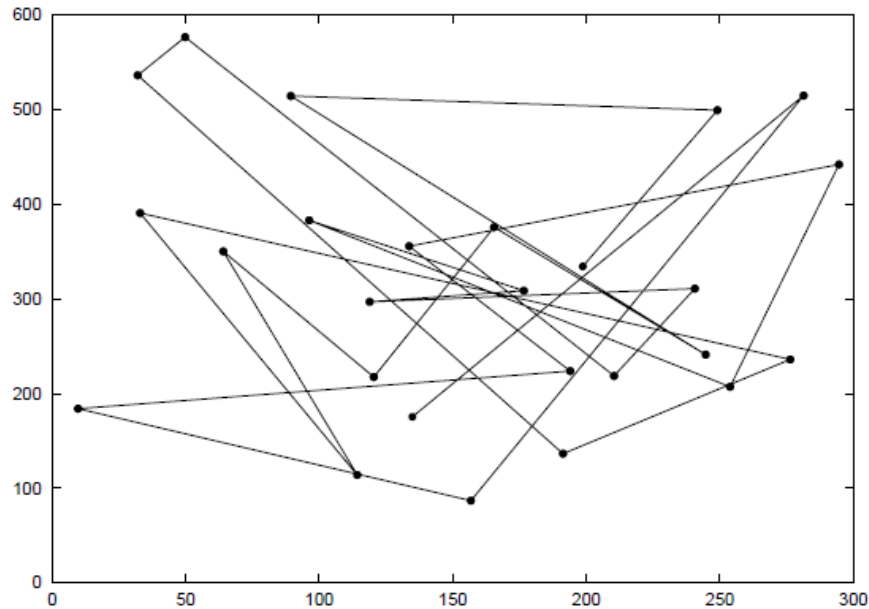
1. Random Walk Mobility Model: Είναι ένα απλό μοντέλο κίνησης που βασίζεται σε τυχαίες κατευθύνσεις και ταχύτητες. Περιγράφηκε πρώτα από τον Άινσταϊν κατά τη μελέτη της Κίνησης Brown. Μιμείται τις ακανόνιστες κινήσεις των σωματιδίων που παρατηρούνται στη φύση. Ουσιαστικά, ένας κόμβος μετακινείται από την προηγούμενη στη νέα τοποθεσία αφού επιλέξει τυχαία την ταχύτητα και την κατεύθυνση στην οποία θα κινηθεί. Η ταχύτητα επιλέγεται τυχαία από το σύνολο [ελάχιστη ταχύτητα, μέγιστη ταχύτητα] που είναι προκαθορισμένο, ενώ η κατεύθυνση από το σύνολο $[0, 2\pi]$. Υπάρχουν αρκετές παραλλαγές της κίνησης αυτής, όπως 2-D, 3-D και d-D περίπατοι. Στο σχήμα [2.2] παρατηρούμε ένα μοτίβο κίνησης ενός κινητού κόμβου που χρησιμοποιεί το μοντέλο Random Walk Mobility Model.



Σχήμα 2.2: Μοτίβο κίνησης μοντέλου Random Walk Mobility Model

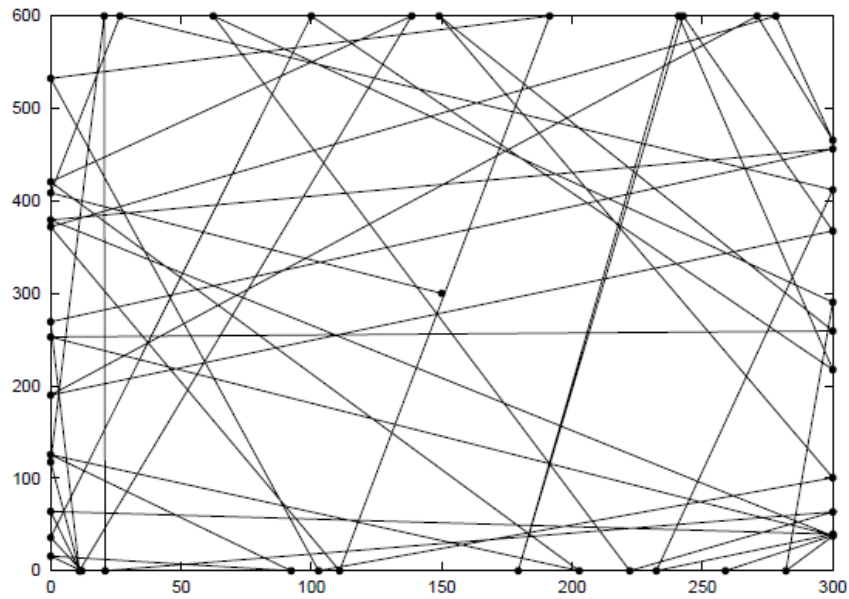
2. Random Waypoint Mobility Model: Είναι ένα μοντέλο παρόμοιο με το μοντέλο τυχαίου περιπάτου με τη διαφορά ότι περιλαμβάνει χρονικές διακοπές μεταξύ των αλλαγών στην κατεύθυνση και στην ταχύτητα. Ουσιαστικά, όταν ένας κινητός κόμβος φθάσει σε μια θέση, παραμένει εκεί για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (pause time). Αφού τελειώσει το pause time, τότε επιλέγεται τυχαία η ταχύτητα και η κατεύθυνση όπως στο Random Walk Mobility Model. Τα δύο μοντέλα συμπεριφέρονται με ακριβώς τον ίδιο τρόπο εάν το pause time

στο Random Waypoint Mobility Model έχει την τιμή μηδέν. Στο σχήμα 2.3 παρατηρούμε ένα μοτίβο κίνησης ενός κινητού κόμβου που χρησιμοποιεί το μοντέλο Random Waypoint Model.



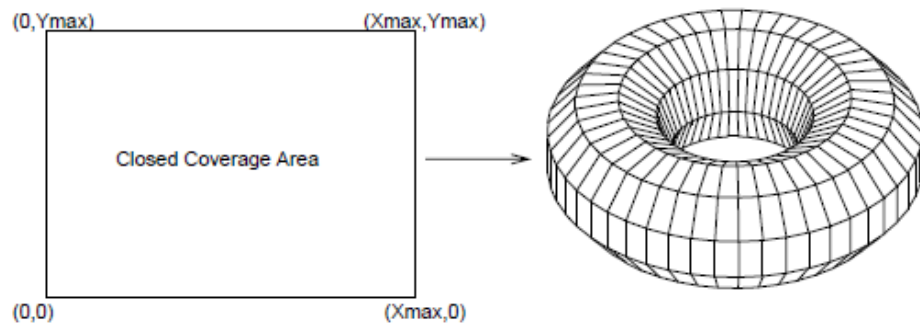
Σχήμα 2.2: Μοτίβο κίνησης μοντέλου Random Waypoint Model

3. Random Direction Mobility Model: Αναγκάζει τους κινούμενους κόμβους να ταξιδέψουν μέχρι τα όρια της περιοχής προσομοίωσης πριν να αλλάξουν κατεύθυνση και ταχύτητα. Δημιουργήθηκε για την αποφυγή της μεγάλης πυκνότητας των κόμβων στο κέντρο της περιοχής προσομοίωσης, η οποία παρατηρείται στην περίπτωση του Random Waypoint Mobility Model. Η επιλογή της ταχύτητας και της κατεύθυνσης γίνεται όπως και στο Random Waypoint Mobility Model, αλλά ο κόμβος κινείται μέχρι τα όρια της περιοχής προσομοίωσης προς την τυχαία επιλεγμένη κατεύθυνση. Όταν ο κόμβος φθάσει στα όρια, παραμένει εκεί για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και επιλέγει τυχαία μία άλλη κατεύθυνση. Στο σχήμα 2.4 παρατηρούμε ένα μοτίβο κίνησης ενός κινητού κόμβου που χρησιμοποιεί το μοντέλο Random Waypoint Model.

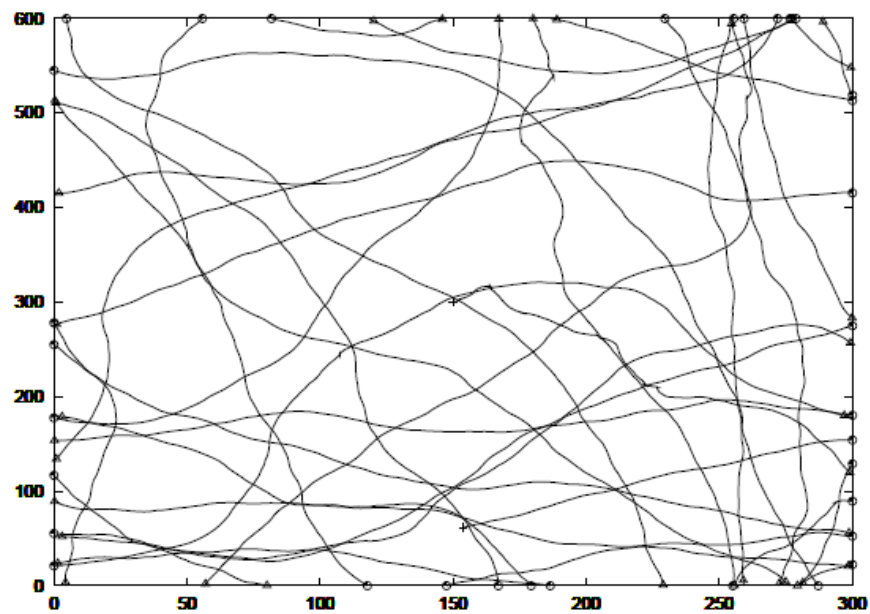


Σχήμα 2.4: Μοτίβο κίνησης μοντέλου Random Waypoint Model

4. Boundless Simulation Area Mobility Model: Μετατρέπει την δισδιάστατη περιοχή της προσομοίωσης σε μια περιοχή η οποία έχει το σχήμα που προκύπτει από την περιστροφή μιας καμπύλης (torus-shaped simulation area). Σε αυτό το μοντέλο, υπάρχει μία σχέση ανάμεσα στην ταχύτητα και στην κατεύθυνση του κόμβου. Η διαφορά του με τα προηγούμενα μοντέλα όσο αφορά στα όρια της περιοχής προσομοίωσης, είναι ότι στα προηγούμενα μοντέλα, όταν ένας κόμβος έφθανε στα όρια, είτε σταματούσε την κίνηση του είτε επέστρεφε πίσω. Στο Boundless Simulation Area Mobility Model, οι κόμβοι, όταν φθάσουν στα όρια της περιοχής προσομοίωσης, συνεχίζουν να κινούνται και εμφανίζονται στην απέναντι πλευρά της περιοχής. Συνεπώς, η περιοχή προσομοίωσης λαμβάνεται υπ' όψη ως μία καμπύλη που τα άκρα της επικοινωνούν (torus-shaped simulation area). Στο σχήμα 2.5 βλέπουμε τη μετατροπή της δισδιάστατης περιοχής σε torus-shaped area, ενώ στο σχήμα 2.6 παρατηρούμε ένα μοτίβο κίνησης ενός κινητού κόμβου που χρησιμοποιεί το μοντέλο Boundless Simulation Area Mobility Model.



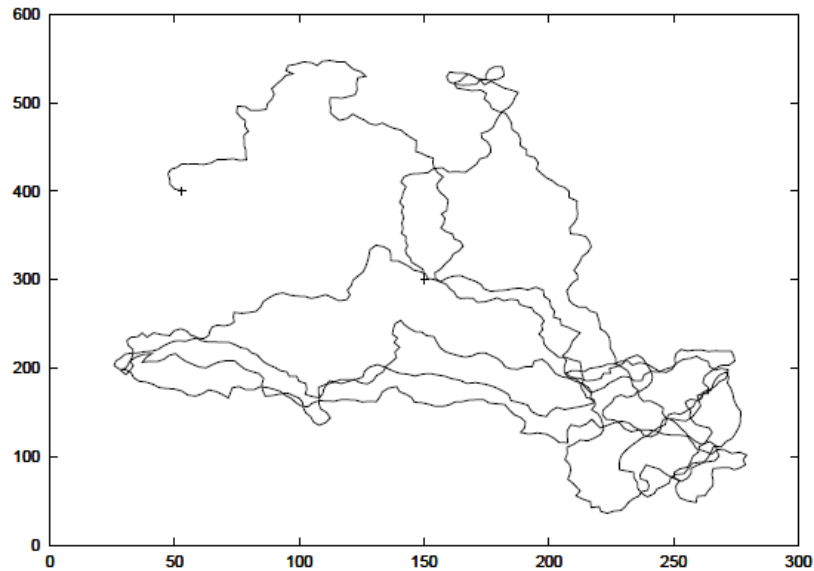
Σχήμα 2.5: Μετατροπή δισδιάστατης περιοχής σε torus-shaped area



Σχήμα 2.6: Μοτίβο κίνησης μοντέλου Random Waypoint Model

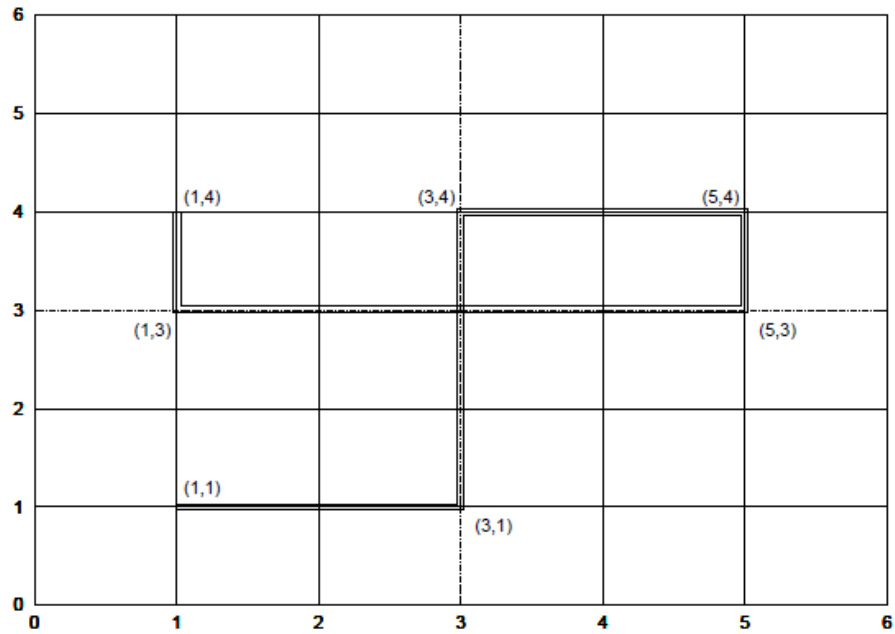
5. Gauss-Markov Mobility Model: Χρησιμοποιεί μία παράμετρο ρύθμισης για να ρυθμίζει το βαθμό τυχειότητας στο μοτίβο της κίνησης. Αρχικά, κάθε κόμβος έχει μία αρχική ταχύτητα και κατεύθυνση. Κατά σταθερά χρονικά διαστήματα, υπολογίζονται βάσει μίας παραμέτρου α ($0 < \alpha < 1$) η νέα ταχύτητα και η νέα κατεύθυνση. Η παράμετρος α ρυθμίζει ουσιαστικά πόση τυχειότητα θα υπάρχει στον υπολογισμό των νέων παραμέτρων. Όταν $\alpha = 0$ τότε ο υπολογισμός ταχύτητας και κατεύθυνσης είναι εντελώς τυχαίος (κίνηση Brown). Όταν κάποιος κόμβος φθάσει στα όρια της περιοχής προσομοίωσης, η κατεύθυνση

υπολογίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να κινηθεί ο κόμβος μακριά από το όριο. Στο σχήμα 2.7 παρατηρούμε ένα μοτίβο κίνησης ενός κινητού κόμβου που χρησιμοποιεί το μοντέλο Random Waypoint Model.



Σχήμα 2.7: Μοτίβο κίνησης μοντέλου Gauss-Markov Mobility Model

6. City Section Mobility Model: Σε αυτό το μοντέλο η περιοχή προσομοίωσης είναι ένα δίκτυο δρόμων και αναπαριστά μια περιοχή σε μια πόλη. Τα όρια της ταχύτητας εξαρτώνται από την περιοχή η οποία αναπαρίσταται. Ο κάθε κόμβος ξεκινά την προσομοίωση του ευρισκόμενος σε μια προκαθορισμένη θέση σε ένα δρόμο. Τότε επιλέγει ως προορισμό κάποιο άλλο σημείο που επίσης βρίσκεται σε κάποιο δρόμο. Η εύρεση του μονοπατιού για να φθάσει στον προορισμό γίνεται με τη χρησιμοποίηση κάποιου αλγορίθμου για εύρεση της πιο κοντινής διαδρομής μεταξύ δύο σημείων. Υπάρχουν περιορισμοί κατά την κίνηση, όπως τα όρια ταχύτητας και η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο κόμβων. Όταν ο κόμβος φθάσει στον προορισμό του, επιλέγει τυχαία ένα άλλο σημείο – προορισμό και επαναλαμβάνει τη διαδικασία. Στο σχήμα 2.8 παρατηρούμε ένα μοτίβο κίνησης ενός κινητού κόμβου που χρησιμοποιεί το μοντέλο City Section Mobility Model.



Σχήμα 2.8: Μοτίβο κίνησης μοντέλου Gauss-Markov Mobility Model

Κάθε προσομοίωση VANET πρέπει να ακολουθεί ένα μοντέλο κίνησης (mobility model). Στα Mobile ad-hoc Networks (MANETs) το πιο διαδεδομένο μοντέλο κίνησης είναι το Random Waypoint Model. Εν τούτοις, αν και τα VANETs θεωρούνται υποσύνολο των MANETs, υπάρχουν κάποιες ιδιαιτερότητες που καθιστούν την προσομοίωση και τον καθορισμό του μοντέλου κίνησης αρκετά πολύπλοκες διαδικασίες.

Τα μοντέλα κίνησης που χρησιμοποιούνται από τους υπάρχοντες προσομοιωτές δικτύων δεν λαμβάνουν υπ' όψη τους περιορισμούς των VANETs, όπως για παράδειγμα τους δρόμους και τους φωτεινούς σηματοδότες τροχαίας. Συνεπώς τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δεν θα απεικονίζουν την συμπεριφορά του δικτύου ρεαλιστικά.

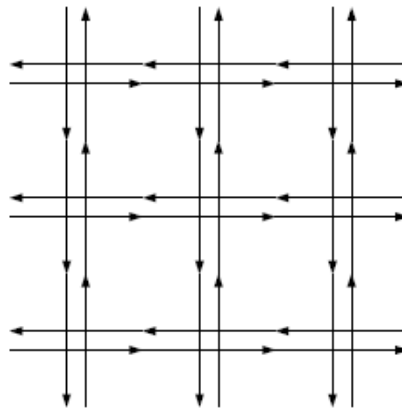
Σε ένα δίκτυο αυτοκινήτων, τα αυτοκίνητα μπορούν να μετακινηθούν μόνο σε δρόμους και επιπρόσθετα πρέπει να κινούνται σε αυτούς τους δρόμους βάσει κάποιου μοντέλου δρόμου. Υπάρχουν τέσσερα είδη μοντέλων δρόμου: ευθύ αυτοκινητόδρομο, κυκλικού αυτοκινητόδρομο, δικτύου δρόμων και πραγματικοί χάρτες δρόμων. Η προσομοίωση ενός VANET αποτελείται από δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο καθορίζονται οι κινήσεις

των αυτοκινήτων, συνήθως χρησιμοποιώντας ένα προσομοιωτή κίνησης. Ως είσοδο στον προσομοιωτή κίνησης βάζουμε το μοντέλο δρόμου, τις παραμέτρους του σεναρίου (μέγιστη ταχύτητα, ποσοστά εισερχόμενων/εξερχόμενων αυτοκινήτων κτλ.). Η έξοδος του προσομοιωτή κίνησης είναι ένα αρχείο trace file όπου καθορίζεται η θέση του κάθε αυτοκινήτου σε κάθε στιγμή της προσομοίωσης. Στο δεύτερο στάδιο το trace file χρησιμοποιείται ως είσοδος σε ένα προσομοιωτή δικτύου. Κάθε αυτοκίνητο αποτελεί ένα κόμβο σε ένα ad hoc δίκτυο με το trace file να προσδιορίζει τις κινήσεις του κάθε κόμβου ανά πάσα στιγμή στην προσομοίωση.

Τα πιο διαδεδομένα μοντέλα κίνησης που χρησιμοποιούνται στη μελέτη των VANETs είναι τα ακόλουθα σύμφωνα με το [5]:

1. Manhattan Model

Το μοντέλο κίνησης Μανχάταν μοντελοποιεί τη συμπεριφορά των αυτοκινήτων σε μια πόλη. Οι κινήσεις των οχημάτων περιορίζονται από ένα χάρτη που περιέχει κάθετους και οριζόντιους δρόμους. Εάν ένα όχημα φτάσει σε μια διασταύρωση, τότε τυχαία επιλέγει το δρόμο που θα ακολουθήσει. Αυτό απεικονίζεται και στο σχήμα 2.9.



Σχήμα 2.9: Μοντέλο κίνησης Μανχάταν

2. Street Map-based Models

Πιο εξελιγμένα μοντέλα κίνησης που χρησιμοποιούν πραγματικούς χάρτες. Τα οχήματα κινούνται μεταξύ τυχαία επιλεγμένων σημείων στο γράφο των δρόμων. Η ακριβής διαδρομή ενός οχήματος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον

αλγόριθμο του Dijkstra για την εύρεση του πιο κοντινού μονοπατιού. Όταν το όχημα φτάσει στον προορισμό του, ένα νέο σημείο-προορισμός επιλέγεται τυχαία και υπολογίζεται νέο μονοπάτι. Η ταχύτητα ενός οχήματος επιλέγεται τυχαία μεταξύ του διαστήματος: 5 μίλια ανά ώρα και άνω μέχρι το όριο ταχύτητας στο συγκεκριμένο τύπο δρόμου και κάτω.

3. Stop Sign/Traffic Sign Model

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της κίνησης των οχημάτων είναι η συμπεριφορά τους στις διασταυρώσεις. Στο Stop Sign Model, κάθε όχημα σταματά σε κάθε διασταύρωση και περιμένει για μια συγκεκριμένη, σταθερή χρονική περίοδο. Στο Traffic Sign Model τα οχήματα σταματούν με μια πιθανότητα 0.6 για τυχαία χρονική περίοδο μπροστά σε ένα φωτεινό σηματοδότη. Είναι πιθανόν και στα δύο μοντέλα τα οχήματα να βρεθούν σε μια ουρά πριν να μπορέσουν να συνεχίσουν τη διαδρομή τους.

4. STreet RAndomWaypoint (STRAW) [30]

Σε αυτό το μοντέλο χρησιμοποιούνται επίσης πραγματικοί χάρτες για τη μοντελοποίηση της κίνησης οχημάτων. Υλοποιείται ένα μοντέλο τύπου «ακολουθήσης οχήματος» (car following model), έτσι ώστε τα οχήματα να αναπτύξουν μια σταθερή ταχύτητα η οποία είναι μικρότερη από το μέγιστο όριο ταχύτητας του δρόμου στον οποίο κινούνται. Τα οχήματα προσαρμόζουν την ταχύτητα τους ανάλογα με την ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος που βρίσκεται στην ίδια λωρίδα και ανάλογα με το αν υπάρχουν διασταυρώσεις και συνεπώς ουρές αυτοκινήτων.

2.4 Προσομοιωτές για VANETs

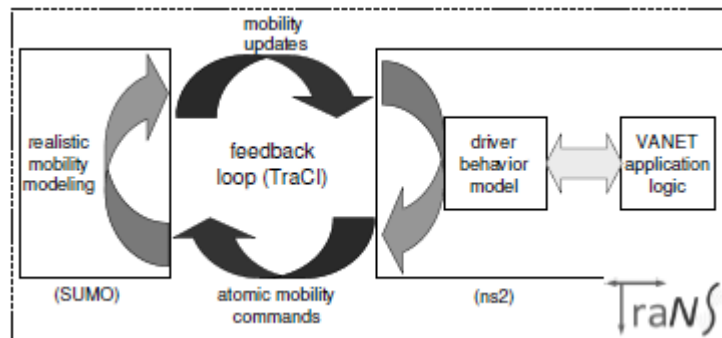
Υπάρχουν ήδη προσομοιωτές δικτύου οι οποίοι μπορούν να προσομοιώσουν ένα Mobile ad-hoc Network, όπως ns-2 [33], Jist/Swans [34], OPNET [35], καθώς και προσομοιωτές κίνησης (traffic simulators), όπως SUMO [36], VISSIM [32], CORSIM [37]. Αυτά τα δύο είδη προσομοιωτών δεν έχουν κάποια επικοινωνία μεταξύ τους, συνεπώς δεν μπορούν να προσομοιώσουν ένα Vehicular ad-hoc Network ρεαλιστικά. Η

μεν πρώτη κατηγορία προσομοιώνει το δίκτυο χωρίς να λαμβάνει υπ' όψη τυχόν αλλαγές κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης (οι κινήσεις των nodes του γράφου των αυτοκινήτων είναι scripted), η δε δεύτερη κατηγορία δημιουργεί το σενάριο κίνησης των αυτοκινήτων, το οποίο παίρνει ως input ένας προσομοιωτής δικτύου. Συνεπώς, η προσομοίωση κάποιου VANET δεν μπορεί να είναι ρεαλιστική εκτός εάν χρησιμοποιηθεί κάποιος προσομοιωτής ο οποίος να παράγει σε πραγματικό χρόνο τις κινήσεις των αυτοκινήτων, αναλόγως της κατάστασης σε κάθε time frame.

Μετά από εκτενή μελέτη τριών προσομοιωτών δικτύων αυτοκινήτων, οι οποίοι παρέχουν το κατάλληλο περιβάλλον για μελέτη και προσομοίωση VANETs, παρουσιάζω συνοπτικά τους προσομοιωτές αυτούς.

2.4.1 Προσομοιωτής TraNS [6]

Ο TraNS συνδέει δύο προσομοιωτές ανοικτού κώδικα, το SUMO και το ns-2. Η σύνδεση αυτή επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ένα interface, το TraCI, μέσω του οποίου ελέγχεται η συμπεριφορά των αυτοκινήτων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Ουσιαστικά, παράγονται εκ νέου output του SUMO τα οποία δέχεται ως είσοδο το ns-2. Αφού μελέτησα και εγκατέστησα το TraNS, κατέληξα στο συμπέρασμα ότι η όλη διαδικασία ήταν αργή και σε πολλές περιπτώσεις (ειδικά με προσομοιώσεις μεγάλου αριθμού οχημάτων) είχε προβλήματα. Το interface του προσομοιωτή είναι υλοποιημένο στη γλώσσα προγραμματισμού Java, και το έβαλα στο Eclipse IDE μέσω του οποίου το έτρεξα. Στο σχήμα 2.10 παρουσιάζεται η λογική του TraCI, όπου παρατηρούμε ένα βρόγχο ο οποίος εκτελείται για την ενημέρωση του δικτύου του SUMO και την εκ νέου δημιουργία trace files που δέχεται ως είσοδο ο προσομοιωτής δικτύου ns-2.



Σχήμα 2.10: TraNS ενημέρωση δικτύου [6]

2.4.2 Προσομοιωτής GrooveNet [7]

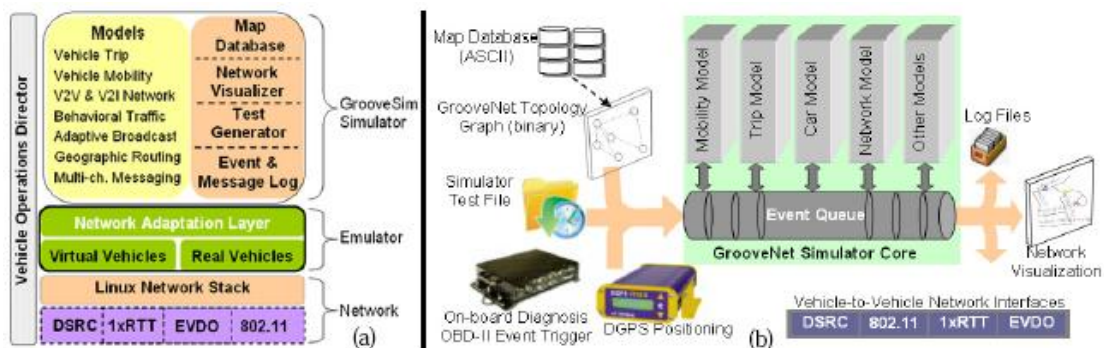
Ο Groovenet είναι ένας event-based προσομοιωτής ο οποίος είναι αρθρωτός (modular), αποτελείται δηλαδή από διάφορες υπο-μονάδες και είναι σχεδιασμένος με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να επεκταθεί περαιτέρω. Υποστηρίζει διάφορα μοντέλα κίνησης καθώς και μοντέλα link και physical layer. Διαθέτει επίσης ένα πολύ απλό μοντέλο για ΦΣΤ. Μπορεί να προσομοιώσει χιλιάδες οχήματα και επίσης μπορεί να συνδεθεί με το interface υπολογιστή σε κάποιο αυτοκίνητο, καθιστώντας έτσι το αυτοκίνητο ως μέρος της προσομοίωσης.

Η εγκατάσταση του Groovenet σε περιβάλλον Linux πήρε αρκετό χρόνο, αφού υλοποιήθηκε στη γλώσσα προγραμματισμού C++ και χρησιμοποιεί τη βιβλιοθήκη Qt για το γραφικό περιβάλλον. Η βιβλιοθήκη Qt που χρησιμοποιήθηκε αποτελεί παλιό version και το λειτουργικό σύστημα στο οποίο δοκιμάστηκε είναι το SuSe Linux 10.0 το οποίο είναι επίσης παλιό version της γνωστής διανομής.

Ακολούθως μελέτησα τη λειτουργία του προσομοιωτή. Μαζί με το Groovenet διατίθεται και ένα Developer's Manual το οποίο παρέχει κάποιες αρχικές οδηγίες για τη δημιουργία κάποιου νέου μοντέλου ή την επέκταση κάποιου υπάρχοντος. Όπως προανέφερα διαθέτει και ένα μοντέλο για ΦΣΤ, το οποίο είναι πολύ απλό καθ' ότι με τη χρήση του εφαρμόζονται ΦΣΤ σε κάθε διασταύρωση. Ο προσομοιωτής χρησιμοποιεί χάρτες TIGER οι οποίοι

διατίθενται από το US Census Bureau. Το μειονέκτημα των χαρτών αυτών είναι ότι δεν παρέχουν πληροφορίες για τις λωρίδες των δρόμων, με αποτέλεσμα να υπάρχει μόνο μία λωρίδα από την οποία περνούν αυτοκίνητα που έχουν αντίθετη κατεύθυνση.

Δούλεψα στην δημιουργία ενός μοντέλου για ΦΣΤ οι οποίοι λειτουργούν με βάση κάποιο συγκεκριμένο αλγόριθμο, κατέληξα όμως στο συμπέρασμα ότι η δημιουργία τέτοιου μοντέλου στον προσομοιωτή θα ήταν πολύ χρονοβόρα, λαμβάνοντας υπόψη και την έλλειψη documentation. Παρ' όλα αυτά, ο προσομοιωτής Groovenet αξίζει να μελετηθεί εις βάθος, καθ' ότι οι δυνατότητες του είναι αρκετές και επιπρόσθετα παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας μοντέλων κίνησης, καθώς και πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Στο σχήμα 2.5 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του προσομοιωτή, όπου παρατηρούμε στο (a) την αφαιρετικότητα που παρέχεται μέσω των στρωμάτων (layers) μέσω των οποίων διεξάγεται μια προσομοίωση. Στο (b) παρατηρούμε από πού δέχεται εισόδους ο προσομοιωτής και πως η ουρά γεγονότων τυγχάνει διαχείρισης.



Σχήμα 2.10: Αρχιτεκτονική προσομοιωτή GrooveNet [10]

2.4.3 Προσομοιωτής VNSim [8]

Ο VNSim είναι ένας discrete-event προσομοιωτής. Χρησιμοποιεί, όπως και ο Groovenet, χάρτες TIGER οι οποίοι διατίθενται από το US Census Bureau. Αυτό όμως που κάνει ο προσομοιωτής είναι να προσθέτει πληροφορίες για το

από πόσες λωρίδες αποτελείται κάποιος δρόμος και επίσης πού υπάρχουν φωτεινοί σηματοδότες τροχαίας. Υλοποιεί το μοντέλο συμπεριφοράς οδηγών του Wiedeman. Ο network simulator που υλοποιείται περιέχει δύο μοντέλα διάδοσης του σήματος (signal propagation models): το free-space και το plane earth two-ray path loss. Το πρώτο είναι ένα ιδεατό μοντέλο στο οποίο δεν υπάρχει θόρυβος από το περιβάλλον και το δεύτερο λαμβάνει υπ' όψη τις αντανάκλασεις στο έδαφος και συνεπώς είναι πιο ακριβές. Στο Link Layer υλοποιείται ο γνωστός μηχανισμός CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance) που χρησιμοποιείται στο πρωτόκολλο 802.11. Ο προσομοιωτής διαθέτει επίσης ένα μηχανισμό για υπολογισμό των ρύπων στο περιβάλλον, που βασίζεται κυρίως στο [20]. Επίσης, διατίθεται μηχανισμός για έλεγχο των ΦΣΤ. Υπάρχει η επιλογή κάποιου σταθερού χρόνου που θα είναι αναμμένο το πράσινο και η επιλογή χρησιμοποίησης των adaptive traffic lights, το οποίο χρησιμοποιείται στο [16]. Ο προσομοιωτής είναι γραμμένος σε γλώσσα προγραμματισμού Java, και για το γραφικό περιβάλλον χρησιμοποιεί OpenGL for Java (JOGL). Αφού μελέτησα τη λειτουργία του προσομοιωτή, κατέληξα στο ότι θα τον χρησιμοποιήσω στη μελέτη μου για τους ΦΣΤ, εφ' όσον αφ' ενός μεν διαθέτει μοντέλο υλοποίησης μηχανισμού προγραμματισμού ΦΣΤ, αφ' ετέρου δε διαθέτει μηχανισμό υπολογισμού ρύπων που εκλύονται στο περιβάλλον. Λεπτομέρειες λειτουργίας του προσομοιωτή παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 3

Παρουσίαση συναφούς βιβλιογραφίας

3.1 Έρευνα όσον αφορά φωτεινούς σηματοδότες τροχαίας (ΦΣΤ)	21
3.1.1 Παράμετροι που λαμβάνονται υπ' όψη	21
3.1.2 Μοντέλα που χρησιμοποιούνται από λογισμικά προσομοίωσης της κίνησης	22
3.1.3 Αλγόριθμοι εύρεσης βέλτιστου σχεδίου χρονισμού ΦΣΤ	22
3.2 Σχεδιασμός συστημάτων ελέγχου χρονισμού ΦΣΤ	24
3.2.1 Θεωρία ουρών (queueing theory)	24
3.2.2 Μέθοδος σχεδιασμού συστημάτων χρονισμού	26
3.2.3 Υπολογισμός του διαστήματος χρόνου που διαρκεί η περίοδος που δεν είναι αναμμένο το πράσινο (intergreen interval)	27
3.2.4 Υπολογισμός του χρόνου διασταύρωσης των πεζών	27
3.2.5 Προσδιορισμός του ρυθμού ροής κορεσμού (saturation flow rate)	28
3.2.6 Προσδιορισμός του βέλτιστου μεγέθους κύκλου (cycle length)	28
3.3 Υπάρχοντα συστήματα ελέγχου ΦΣΤ	30
3.3.1 Split, Cycle and Offset Optimization Technique (SCOOT)	30
3.3.2 Real-time Hierarchical Optimized Distributed and Effective System (RHODES)	32
3.3.3 TRANSYT 7F	33
3.3.4 SYNCHRO	34
3.4 Ρύπανση του περιβάλλοντος	34
3.4.1 Εισαγωγή	34
3.4.2 Τρόποι μείωσης της έκλυσης ρύπων από αυτοκίνητα	35
3.5 VANETs και Συστήματα ελέγχου σηματοδοτών τροχαίας	36
3.6 Ευφυής προσαρμογή της ταχύτητας (Intelligent speed adaptation)	38

3.1 Έρευνα όσον αφορά φωτεινούς σηματοδότες τροχαίας (ΦΣΤ)

3.1.1 Παράμετροι που λαμβάνονται υπ' όψη

Όπως αναφέρεται στα [9] και [10], ο συντονισμός των ΦΣΤ που βρίσκονται στην ίδια διασταύρωση, απαιτεί κυρίως τη ρύθμιση των ακόλουθων παραμέτρων:

1. Cycle length

Ο χρόνος που χρειάζεται ένας ΦΣΤ για να ολοκληρώσει όλες τις φάσεις του (κόκκινο, πορτοκαλί, πράσινο), πριν επαναληφθεί η πρώτη φάση.

2. Green split

Το ποσοστό του cycle length που διαρκεί η φάση όπου είναι αναμμένο το πράσινο.

3. Offset

Η διαφορά του χρόνου στον οποίο ανάβει το πράσινο σε δύο γειτονικές διασταυρώσεις. Χρησιμοποιείται για τον συντονισμό των ΦΣΤ στις δύο διασταυρώσεις.

Οι στόχοι που τίθενται κατά τη σχεδίαση και υλοποίηση αλγορίθμων προγραμματισμού ΦΣΤ είναι οι εξής:

- Μείωση του μέσου χρόνου καθυστέρησης των αυτοκινήτων που πλησιάζουν τη διασταύρωση.
- Μείωση του αριθμού των στάσεων των αυτοκινήτων που κάνουν κατά τη διάρκεια που βρίσκονται στη διασταύρωση.
- Αύξηση της αποδοτικότητας της κίνησης των αυτοκινήτων.
- Μείωση της ουράς των αυτοκινήτων που πλησιάζουν μία διασταύρωση.
- Μεγιστοποίηση της ροής (throughput) σε όλους τους δρόμους της διασταύρωσης.

Βέβαια, η επίτευξη ενός στόχου ενδεχομένως να έρχεται σε αντίφαση με την επίτευξη κάποιου άλλου στόχου, συνεπώς δεν μπορούν όλοι οι στόχοι να επιτευχθούν ταυτόχρονα σε μία διασταύρωση. Συνήθως, τίθεται ένας στόχος (Measure of Effectiveness), και τα αποτελέσματα μίας προσομοίωσης κρίνονται βάσει αυτού.

3.1.2 Μοντέλα που χρησιμοποιούνται από λογισμικά προσομοίωσης της κίνησης

1. Μοντέλο traffic simulation (traffic model).

Ένα traffic model παίρνει τον όγκο της κίνησης, γεωμετρικές πληροφορίες για τον ΦΣΤ και μία πλήρη περιγραφή ενός σχεδίου χρονισμού ΦΣΤ (timing control plan) ως είσοδο. Ακολουθώς, προσομοιώνει το σενάριο και παράγει ως output κάποια measures of effectiveness (MOE), όπως έχουν περιγραφεί πιο πάνω. Συνήθως, MOE μπορεί να είναι: καθυστέρηση των αυτοκινήτων στον ΦΣΤ, το throughput στη διασταύρωση, η μέγιστη ουρά αυτοκινήτων, κτλ.

2. Μοντέλο βελτιστοποίησης (optimization model).

Τα traffic models μπορούν, σύμφωνα με το [1], να αξιολογήσουν κατά πόσο ένα σενάριο είναι καλό ή όχι. Το μοντέλο βελτιστοποίησης είναι αυτό το οποίο παράγει τα σχέδια χρονισμού (timing plans), τα συγκρίνουν λαμβάνοντας υπ' όψη τα αποτελέσματα που εξάγει το traffic model και αναλόγως τα αλλάζουν.

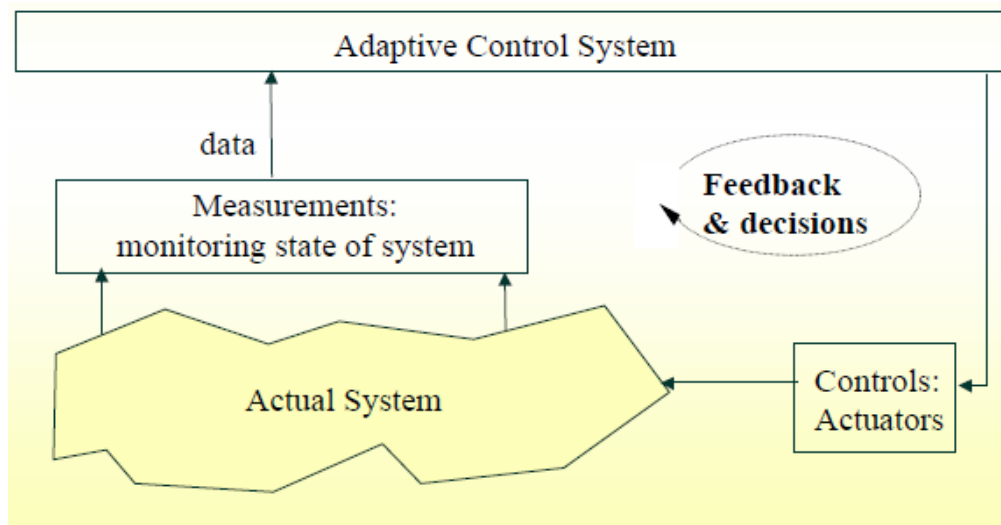
3.1.3 Αλγόριθμοι εύρεσης βέλτιστου σχεδίου χρονισμού ΦΣΤ

Σύμφωνα με το [10], οι online τεχνικές χρησιμοποιούν ένα computer-based σύστημα ελέγχου το οποίο:

- Συλλέγει δεδομένα για τις συνθήκες της κίνησης των αυτοκινήτων.
- Κάνει υπολογισμούς για την εύρεση του βέλτιστου σχεδίου χρονισμού του ΦΣΤ.
- Εφαρμόζει το ευρεθέν σχέδιο ή αλλάζει το υπάρχον σχέδιο σύμφωνα με τους υπολογισμούς.

Τα πιο πάνω γίνονται σε πραγματικό χρόνο.

Αυτό φαίνεται και στο σχήμα 3.1 που πάρθηκε από το [21].



Σχήμα 3.1: Αρχιτεκτονική συστήματος χρονισμού ΦΣΤ

Στο [9] διαχωρίζονται οι αλγόριθμοι εύρεσης βέλτιστου σχεδίου χρονισμού ΦΣΤ (timing plan) σε 4 κατηγορίες:

1. Exhaustive Search Algorithms

Οι αλγόριθμοι αυτοί υπολογίζουν και συγκρίνουν τις τιμές των παραμέτρων ενός timing plan για όλα τα πιθανά σενάρια. Ασφαλώς, μπορούν να υπάρχουν πάρα πολλοί συνδυασμοί των παραμέτρων αυτών, αναλόγως βέβαια και πόσες είναι αυτές, καθώς και το ποιες παράμετροι αποφασίστηκε ότι μπορούν να αλλάζουν ταυτόχρονα. Συνεπώς, το exhaustive search μπορεί να χρειαστεί αρκετές ώρες υπολογιστικού χρόνου. Συνήθως εφαρμόζεται μία στρατηγική διαίρει και βασίλευε. Επί παραδείγματι, ο υπολογιστικός χρόνος μπορεί να μειωθεί αρκετά με τη βελτιστοποίηση κάθε παραμέτρου ξεχωριστά, αντί όλων των παραμέτρων ταυτόχρονα. Φυσικά αυτή η τεχνική μειώνει τον υπολογιστικό χρόνο, μειώνει όμως και την ακρίβεια στο βέλτιστο timing plan. Στα θετικά στοιχεία αυτού του είδους αλγορίθμων είναι ότι υπάρχει πλήρης εικόνα των πληροφοριών για κάθε υπολογισμό κάποιου timing plan.

2. Hill-Climbing Algorithms

Ένας αλγόριθμος hill-climbing ξεκινά με ένα βασικό σενάριο, είτε αυτό ορίζεται αρχικά είτε επιλέγεται τυχαία. Ακολούθως, επιλέγει μία ή περισσότερες μεταβλητές (cycle length, green split κτλ.). Δημιουργεί δύο επιπλέον σενάρια για κάθε μεταβλητή, το ένα με αυξημένη την τιμή της μεταβλητής και το άλλο με μειωμένη την τιμή της. Οι τιμές αυξομειώνονται κατά συγκεκριμένες τιμές οι οποίες ονομάζονται step sizes. Ακολούθως, ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί ένα traffic simulator για να υπολογίσει τις τιμές στις παραμέτρους για κάθε σενάριο και τις συγκρίνει με το βασικό σενάριο. Εάν φανεί ότι κάποιο σενάριο έχει καλύτερες και αποδοτικότερες τιμές, ορίζεται αυτό ως βασικό σενάριο και ακολουθείται η ίδια διαδικασία. Οι περισσότερες υλοποιήσεις αυτού του αλγορίθμου χρησιμοποιούν εξειδικευμένες τεχνικές, όπως το συνεχώς μεταλλασσόμενο step size για να επιταχύνουν τη διαδικασία.

3. Mathematical Programming Techniques

Οι τεχνικές αυτές βασίζονται σε συστηματικές διαδικασίες οι οποίες κοιτάζουν ένα υποσύνολο των πιθανών σεναρίων με κάποιο ευφυή τρόπο.

4. Genetic Algorithms

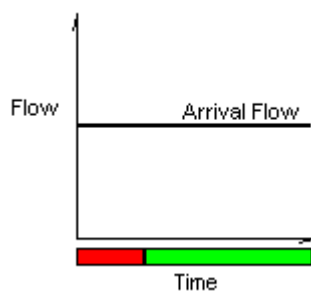
Ένας γενετικός αλγόριθμος αρχίζει με ένα υποσύνολο των πιθανών σεναρίων και εφαρμόζει αρχές φυσικής επιλογής (mating, gene mutation, κτλ.) για να παραγάγει ένα νέο σύνολο σεναρίων. Στο [26] προτείνεται ένας γενετικός αλγόριθμος για τον υπολογισμό του green split για κάθε ΦΣΤ, που όμως λαμβάνει υπόψη όλο το δίκτυο ΦΣΤ για να εξαγάγει τα αποτελέσματά του.

3.2 Σχεδιασμός συστημάτων ελέγχου χρονισμού φωτεινών σηματοδοτών τροχαίας

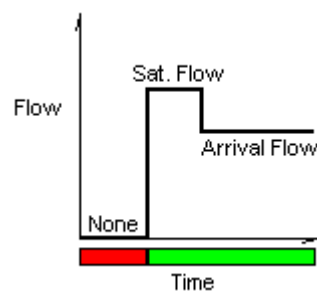
3.2.1 Θεωρία ουρών (queuing theory)

Η θεωρία ουρών (queuing theory) παρέχει στον σχεδιαστή συστημάτων ελέγχου χρονισμού ΦΣΤ ένα μοντέλο ροής κίνησης που μπορεί να χρησιμοποιήσει στη σχεδίαση τέτοιου είδους συστημάτων. Για παράδειγμα, μια απλή κατάσταση έχουμε όταν πλησιάζουν σε μια διασταύρωση αυτοκίνητα με ομοιόμορφο τρόπο, με ίσες και

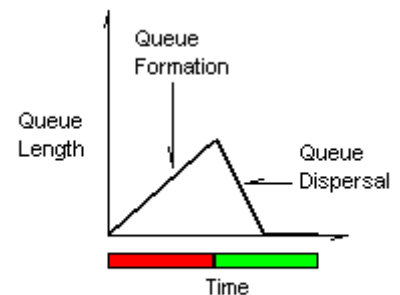
σταθερές αποστάσεις το ένα από το άλλο. Αυτός ο ίσος και σταθερός ρυθμός μπορεί να αναπαρασταθεί όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2. Κατά τη διάρκεια της φάσης όπου το κόκκινο φανάρι είναι αναμμένο (red interval) τα οχήματα δεν μπορούν να περάσουν από τη διασταύρωση και συνεπώς δημιουργείται μία ουρά. Όταν η φάση αλλάξει και ανάψει το πράσινο φανάρι τα οχήματα φεύγουν με ένα ρυθμό κορεσμού (saturation flow rate) μέχρι η ουρά να αδειάσει. Αφού η ουρά αδειάσει ο ρυθμός ροής της αναχώρησης των αυτοκινήτων ισούται με το ρυθμό άφιξης τους. Αυτό απεικονίζεται στο σχήμα 3.3. Κατά τη διάρκεια που το κόκκινο είναι αναμμένο, η ουρά αυξάνεται συνεχώς και φθάνει στο μέγιστο της μόλις τελειώσει η φάση αυτή. Όταν η φάση αλλάξει και το πράσινο ανάψει τότε η ουρά αρχίζει να αδειάζει όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.2

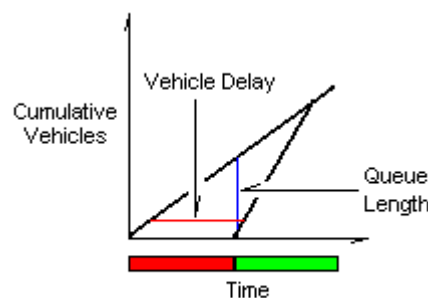


Σχήμα 3.3



Σχήμα 3.4

Επιπλέον, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5, το πρώτο όχημα που σταματά στο κόκκινο είναι αυτό που έχει τη μεγαλύτερη καθυστέρηση (delay).



Σχήμα 3.5

3.2.2 Μέθοδος σχεδιασμού συστημάτων χρονισμού

Όπως αναφέρεται στα [9] και [10], τα βασικά βήματα της μεθόδου σχεδιασμού του συστήματος έχουν ως εξής:

1. Επιλογή ενός σχεδίου αλλαγής της φάσης (κόκκινο – πορτοκαλί - πράσινο).
2. Υπολογισμός του διαστήματος χρόνου που διαρκεί η περίοδος που δεν είναι αναμμένο το πράσινο βασισμένος και στο χρόνο διασταύρωσης των πεζών.
3. Υπολογισμός του ρυθμού ροής κορεσμού (saturation flow rate) για κάθε λωρίδα.
4. Υπολογισμός του ρυθμού ροής σχεδιασμού (design flow rate) για κάθε λωρίδα.
5. Εύρεση των κρίσιμων λωρίδων (critical lanes) και υπολογισμός των κρίσιμων ρυθμών ροής.
6. Υπολογισμός του βέλτιστου μεγέθους κύκλου (cycle length).
7. Κατανομή του διαθέσιμου χρόνου για πράσινο χρησιμοποιώντας τις τιμές από το βήμα 6.
8. Υπολογισμός της χωρητικότητας των λωρίδων που συνδέονται με τη διασταύρωση.
9. Έλεγχος των ρυθμών ροής και των χρόνων που είναι αναμμένο το πράσινο και ρύθμιση του χρονισμού.

Για τα πιο πάνω θεωρούμε ότι οι ακόλουθοι όροι εκλαμβάνονται ως εξής:

Ρυθμός ροής (Flow rate): Ο ρυθμός με τον οποίο εισέρχονται οχήματα στη διασταύρωση. Μονάδα μέτρησης: οχήματα ανά ώρα.

Ρυθμός ροής σχεδιασμού (Design flow rate): Ο ίδιος με το ρυθμό ροής.

Ρυθμός ροής κορεσμού (Saturation flow rate): Ο μέγιστος αριθμός αυτοκινήτων από μια λωρίδα που μπορούν να περάσουν από μια διασταύρωση σε μια ώρα εάν το πράσινο ήταν αναμμένο για μια ώρα συνεχόμενα.

Κρίσιμη λωρίδα (Critical Lane): Η λωρίδα η οποία απαιτεί τον περισσότερο χρόνο με αναμμένο το πράσινο σε κάθε φάση.

3.2.3 Υπολογισμός του διαστήματος χρόνου που διαρκεί η περίοδος που δεν είναι αναμμένο το πράσινο (intergreen interval)

Αυτή η περίοδος αποτελείται από το άθροισμα του χρόνου κατά τον οποίο είναι αναμμένο το πορτοκαλί και του χρόνου κατά τον οποίο είναι αναμμένο το κόκκινο φανάρι. Το πορτοκαλί φανάρι είναι επίσης μία προειδοποίηση για τους οδηγούς ότι η επόμενη φάση θα επέλθει. Πρέπει συνεπώς να παρέχει αρκετό χρονικό περιθώριο ούτως ώστε να επιτρέπει στα αυτοκίνητα που βρίσκονται σε μια απόσταση από τη διασταύρωση η οποία τους επιτρέπει να σταματήσουν να το πράξουν, και επιπλέον να επιτρέπει στα οχήματα που δεν προλαβαίνουν να σταματήσουν να περάσουν τη διασταύρωση με ασφάλεια. Εάν συνεπώς ο χρόνος είναι πολύ μικρός, τότε μόνο τα οχήματα που βρίσκονται πάρα πολύ κοντά στη διασταύρωση θα μπορέσουν να συνεχίσουν και να περάσουν τη διασταύρωση. Επιπρόσθετα, μόνο τα οχήματα που βρίσκονται αρκετά μακριά θα μπορέσουν να αντιδράσουν και να σταματήσουν έγκαιρα. Αυτή η κατάσταση περιγράφεται από το σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6: Περιγραφή ζώνης διλήμματος στάσης

Αυτό που πρέπει να γίνει είναι να εξαιρεθεί η περιοχή του διλήμματος (dilemma zone).

3.2.4 Υπολογισμός του χρόνου διασταύρωσης των πεζών

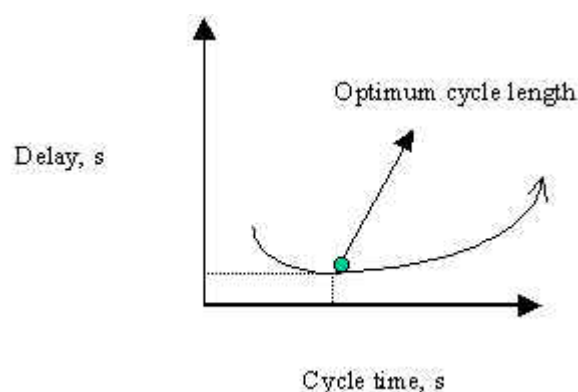
Ο χρόνος διασταύρωσης των πεζών παίζει σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό του χρόνου που πρέπει να είναι αναμμένο το πράσινο φανάρι, συνεπώς χρειάζεται μελέτη για τον καθορισμό του. Συνήθως, θεωρείται δεδομένο ότι ο πεζός κινείται με ταχύτητα 1.22 m/sec, συνεπώς ο χρόνος που χρειάζεται για να διασχίσει τη διασταύρωση ισούται με: πλάτος του δρόμου που θα διασταυρώσει (σε m) / 1.22 m/sec.

3.2.5 Προσδιορισμός του ρυθμού ροής κορεσμού (saturation flow rate)

Ο προσδιορισμός του ρυθμού ροής κορεσμού εξαρτάται από της συνθήκες τόσο του δρόμου όσο και της κυκλοφορίας, παράγοντες που αλλάζουν από περιοχή σε περιοχή. Αυτό που συνήθως γίνεται σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει μέτρηση του ρυθμού σε διασταυρώσεις παρόμοιες με την υπό εξέταση διασταύρωση, είναι να λαμβάνεται υπ' όψη μια ιδανική τιμή και να ρυθμίζεται αναλόγως της περιοχής. Μία κοινή τιμή είναι 1900 οχήματα / ώρα / λωρίδα. Οι οδηγοί σχεδιασμού συστημάτων συνήθως παρέχουν ρυθμιστικούς παράγοντες που λαμβάνουν υπ' όψη διάφορες παραμέτρους για υπολογισμό του saturation flow rate.

3.2.6 Προσδιορισμός του βέλτιστου μεγέθους κύκλου (cycle length)

Όπως αναφέρεται στο [1], το cycle length είναι πάρα πολύ σημαντικός παράγοντας. Η ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης των οχημάτων στις διασταυρώσεις απαιτεί πολύ μικρό μέγεθος κύκλου έτσι ώστε να υπάρχει λιγότερος χρόνος για το κόκκινο φανάρι και συνεπώς μικρότερες ουρές. Ωστόσο, αφού το μικρότερο μέγεθος κύκλου συνεπάγεται και λιγότερο χρόνο για το πράσινο φανάρι, ο αριθμός στάσεων για τα οχήματα - που είναι αλληλένδετος με την αύξηση της ουράς - αυξάνεται. Στο σχήμα 3.7 παρατηρούμε το φαινόμενο αυτό, όπου εάν το μέγεθος του κύκλου είναι πολύ μικρό η καθυστέρηση αυξάνεται, και το ίδιο συμβαίνει όταν το μέγεθος του κύκλου αυξάνεται πάνω από ένα κατώφλι, το οποίο είναι και το βέλτιστο μέγεθος κύκλου.



Σχήμα 3.7: Εύρεση βέλτιστου μεγέθους κύκλου (cycle length)

Η διατήρηση μίας σταθερής ροής της κυκλοφορίας από ένα ΦΣΤ σε ένα γειτονικό ΦΣΤ προϋποθέτει όλοι οι ΦΣΤ να λειτουργούν με βάση ένα κοινό μέγεθος κύκλου (cycle length). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρειάζεται να εφαρμοστούν ορισμένοι περιορισμοί στα cycle lengths κάθε ενός ΦΣΤ ξεχωριστά. Αυτοί οι περιορισμοί μπορούν να εφαρμοστούν χρησιμοποιώντας τη θεωρία του Webster [17] για απομονωμένους ΦΣΤ που αντιμετωπίζουν συνθήκες υψηλού κορεσμού κυκλοφορίας. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, υπάρχει ένα απόλυτο ελάχιστο μέγεθος κύκλου για ένα φωτεινό σηματοδότη τροχαίας και δίνεται από την εξίσωση:

$$C_c = (1.5L + 5) / (1 - Y) , \text{ όπου:}$$

C_c = Ελάχιστο μέγεθος κύκλου (minimum cycle length).

L = Συνολικός χαμένος χρόνος για όλες τις φάσεις. Είναι το άθροισμα των χρόνων που είναι αναμμένα το κόκκινο και το πορτοκαλί φανάρι.

Y = Άθροισμα των ρυθμών ροής για όλες τις φάσεις = $\sum v_i/s_i$.

Ο ρυθμός ροής για μια λωρίδα ισούται με: όγκος λωρίδας(v_i) σε αυτοκίνητα ανά ώρα / saturation flow rate(s_i) σε αυτοκίνητα ανά ώρα.

Αφού έχει υπολογιστεί το συνολικό μέγεθος κύκλου, προσδιορίζεται ο χρόνος που είναι διαθέσιμος για το πράσινο φανάρι, με την αφαίρεση της περιόδου intergreen period από το συνολικό μέγεθος κύκλου. Αυτό που πρέπει να γίνει ακολούθως, είναι να κατανεμηθεί ο χρόνος για το πράσινο φανάρι σε όλες τις φάσεις. Το flow ratio για μια λωρίδα είναι το πραγματικό flow ratio / saturation flow rate. Το κρίσιμο flow ratio είναι το flow ratio της κρίσιμης λωρίδας. Ο χρόνος για το πράσινο κατανέμεται ως εξής: Κάθε φάση παίρνει ένα μερίδιο από το διαθέσιμο χρόνο, ανάλογο του κρίσιμου ρυθμού της / άθροισμα όλων των κρίσιμων ρυθμών. Ουσιαστικά, ο χρόνος για το πράσινο που δίνεται στη φάση i μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$g_i = (v/s)_i / \sum (v/s) * G_T$$

όπου:

g_i = Χρόνος που είναι αναμμένο το πράσινο για τη φάση i (sec)

$(v/s)_i$ = Το κρίσιμο flow ratio για τη φάση i

G_T = Ο διαθέσιμος χρόνος για το πράσινο για τον κύκλο (sec)

3.3 Υπάρχοντα συστήματα ελέγχου ΦΣΤ

Υπάρχουν δύο κατηγορίες συστημάτων ελέγχου ΦΣΤ.

Η πρώτη κατηγορία, συστήματα της οποίας χρησιμοποιούνται και εφαρμόζονται ευρέως, είναι η κατηγορία των μοντέλων που προγραμματίζονται offline, από προηγουμένως, συνεπώς η συμπεριφορά τους είναι σταθερή και προ-προγραμματισμένη.

Η δεύτερη κατηγορία, στην οποία και εμπίπτει η έρευνα για την παρούσα διπλωματική εργασία, είναι η κατηγορία των συστημάτων που αλλάζουν τη συμπεριφορά τους σε πραγματικό χρόνο, ανάλογα με τα δεδομένα που έχουν κάποια δεδομένη στιγμή (adaptive signal control systems).

Τα πιο γνωστά σύμφωνα με το [9] είναι :

- Split, Cycle and Offset Optimization Technique (SCOOT) [11],
- Real-time Hierarchical Optimized Distributed and Effective System (RHODES) [12].
- TRANSYT 7F [13],
- SYNCHRO [14].

3.3.1 Split, Cycle and Offset Optimization Technique (SCOOT) [11]

Το σύστημα SCOOT αναπτύχθηκε από το Transport Research Laboratory (TRL) σε συνεργασία με τη βιομηχανία συστημάτων κυκλοφορίας του Ηνωμένου Βασιλείου. Το SCOOT είναι ένα προσαρμόσιμο σύστημα το οποίο αντιδρά και προσαρμόζεται αυτόματα στη μεταβλητότητα της κυκλοφορίας στο δρόμο. Αποδεδειγμένα είναι ένα αρκετά αποδοτικό και αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης της κίνησης σε δρόμους που περιέχουν φωτεινούς σηματοδότες τροχαίας και χρησιμοποιείται σε περισσότερες των 130 πόλεων στο Ηνωμένο Βασίλειο αλλά και σε άλλες χώρες.

Το σύστημα SCOOT στέλνει εντολές στον εξοπλισμό που βρίσκεται στο δρόμο (διασταυρώσεις) χρησιμοποιώντας τηλεφωνικές γραμμές που είναι δεσμευμένες για αυτόν το σκοπό. Οι εντολές αυτές μεταφράζονται και εφαρμόζονται από τους

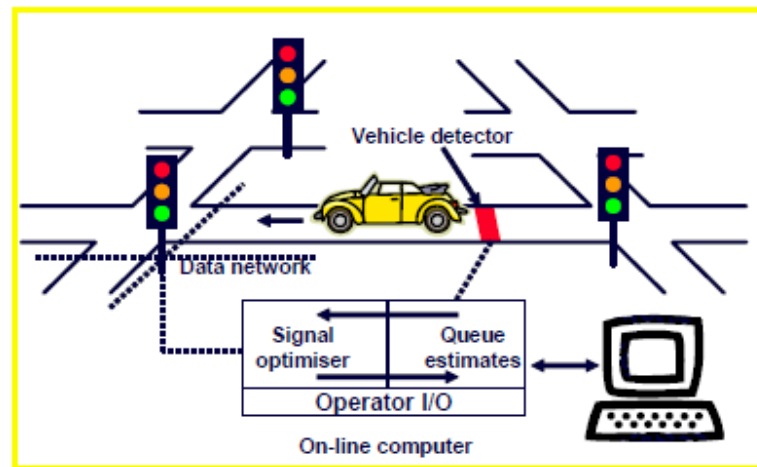
φωτεινούς σηματοδότες που βρίσκονται στις διασταυρώσεις. Το SCOOT παίρνει απάντηση βεβαίωσης της εκτέλεσης της εντολής ή λεπτομερείς συνθήκες λόγω των οποίων η εντολή πιθανότατα να μην εκτελέστηκε. Η πληροφορία για την κατάσταση και τη ροή της κίνησης αποκομίζονται από συγκεκριμένους ανιχνευτές. Οι ανιχνευτές αυτοί επιβάλλονται σε κάθε δρόμο που συνδέεται από μία διασταύρωση. Όταν περάσουν οχήματα από τον ανιχνευτή, το SCOOT μετατρέπει την πληροφορία σε Link Profile Units (LPU), μία υβριδική δομή αποτελούμενη από τη ροή στο δρόμο και την πληρότητα του δρόμου. Για κάθε δρόμο κατασκευάζεται μία κυκλική ροή ενημερώνοντας το LPU με τις νέες πληροφορίες (ροή και πληρότητα) που ανιχνεύονται. Ένα δίκτυο SCOOT χωρίζεται σε περιοχές, με κάθε περιοχή να περιλαμβάνει ένα αριθμό από διασταυρώσεις οι οποίες έχουν το ίδιο cycle length. Υπάρχουν τρεις διαδικασίες βελτιστοποίησης μέσω των οποίων καθορίζεται ο χρονισμός των ΦΣΤ: το Split Optimizer, το Offset Optimizer και το Cycle Time Optimizer. Κάθε ένας βελτιστοποιητής εκτιμά τη συνέπεια που δυνατόν να έχει μια αλλαγή στο χρονισμό των ΦΣΤ στην απόδοση της συγκεκριμένης περιοχής.

Ο Split Optimizer λειτουργεί σε κάθε αλλαγή της κατάστασης του ΦΣΤ και αναλύει τους παρόντες χρονισμούς κόκκινου και πράσινου για να αποφασίσει κατά πόσο ο χρονισμός πρέπει να αλλάξει ή να μείνει ο ίδιος. Ο split optimizer λειτουργεί σε κάθε ΦΣΤ ξεχωριστά.

Ο Offset Optimizer δουλεύει μία φορά σε κάθε κύκλο (πράσινο – πορτοκαλί – κόκκινο) για κάθε ΦΣΤ. Αναλύει την παρούσα κατάσταση σε κάθε ΦΣΤ χρησιμοποιώντας την κυκλική ροή που έχει προβλεφθεί για κάθε ένα από τους δρόμους που συνδέονται από τη διασταύρωση. Ακολούθως, αποτιμεί κατά πόσο ο υπάρχων χρονισμός πρέπει να αλλάξει. Ο offset optimizer λειτουργεί βάσει των πληροφοριών που παίρνει από τους γειτονικούς ΦΣΤ.

Ο Cycle Time Optimizer λειτουργεί σε μια περιοχή μία φορά κάθε πέντε λεπτά ή κάθε δύομιση λεπτά όταν ο χρόνος του κύκλου αυξάνεται δραστικά. Αναγνωρίζει τον κριτικό κόμβο – διασταύρωση (critical node) στην περιοχή και επιχειρεί να ρυθμίζει τον χρόνο του κύκλου σε αυτό τον κόμβο ώστε να διατηρήσει την τροφοδοσία (saturation) των

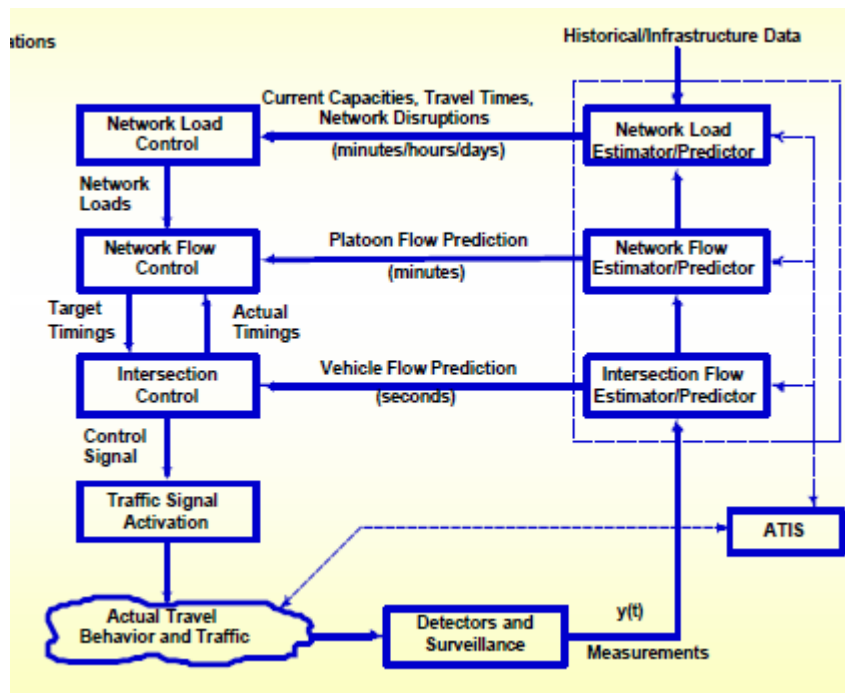
δρόμων που συνδέονται με τον κόμβο αυτό στο 90%. Στο σχήμα 3.8 βλέπουμε μια γραφική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος SCOOT.



Σχήμα 3.8: Λειτουργία συστήματος SCOOT [11]

3.3.2 Real-time Hierarchical Optimized Distributed and Effective System (RHODES) [12]

Το σύστημα RHODES δέχεται ως είσοδο πληροφορίες από ανιχνευτές που βρίσκονται στην επιφάνεια του δρόμου, προβλέπει μελλοντικές ροές της κίνησης και παράγει ως έξοδο τις βέλτιστες παραμέτρους χρονισμού, που υπολόγισε βασισμένο στις πληροφορίες που πάρθηκαν από τους ανιχνευτές. Το κριτήριο βελτιστοποίησης μπορεί να είναι οποιοδήποτε ορίσει ο χρήστης του, ωστόσο πρέπει να είναι βασισμένο στα κριτήρια βελτιστοποίησης που αναφερα στην αρχή του κεφαλαίου και που βασίζονται στο [9]. Στο σχήμα 3.9 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του συστήματος RHODES όπως αναφέρεται στο [12]. Αρχικά συλλέγονται τα στοιχεία του κυκλοφορικού δικτύου από τους ανιχνευτές και βάσει αυτών των στοιχείων υπολογίζεται ο αριθμός των αυτοκινήτων που βρίσκονται σε κάθε λωρίδα (οχήματα ανά ώρα). Ακολούθως, προβλέπεται ο χρόνος για το πράσινο φανάρι για κάθε ΦΣΤ και αποφασίζεται ο χρόνος αλλαγής κάθε φάσης του κύκλου (κόκκινο – πορτοκαλί - πράσινο) βασισμένος στην παρατηρούμενη αλλά και προβλεπόμενη ροή των οχημάτων σε κάθε διασταύρωση.



Σχήμα 3.9: Αρχιτεκτονική συστήματος RHODES [12]

3.3.3 TRANSYT 7F [13]

Το TRANSYT 7F χρησιμοποιεί ένα ντετερμινιστικό μοντέλο για την ανάλυση και βελτιστοποίηση του χρονισμού των ΦΣΤ σε διασταυρώσεις. Χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό exhaustive, hill climbing και μεθόδους βασισμένους σε γενετικούς αλγόριθμους. Επιπλέον, χρησιμοποιεί ένα μοντέλο traffic model που βασίζεται στην καθυστέρηση των οχημάτων. Είναι συνεπώς σχεδιασμένο έτσι ώστε να επιλέγει τον χρονισμό ο οποίος παράγει την ελάχιστη καθυστέρηση των αυτοκινήτων στις διασταυρώσεις. Επιπρόσθετα, παρέχει την δυνατότητα επιλογής και άλλων δευτερευόντων στόχων. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας βελτιστοποίησης παράγονται τα profiles ροής των αυτοκινήτων σε όλους τους δρόμους του δικτύου. Ακολούθως αναλύονται αυτά τα profiles για τον καθορισμό των MOE (measures of effectiveness). Το TRANSYT 7F διεξάγει ένα exhaustive search για να βρει το βέλτιστο μέγεθος κύκλου. Αρχικά, για κάθε κύκλο, υπολογίζει ίσους χρόνους για το πράσινο και κόκκινο φανάρι και ακολούθως με ένα αλγόριθμο hill-climbing βελτιστοποιεί τους χρόνους

αυτούς. Γι' αυτό το λόγο, τα τελικά σχέδια χρονισμού εξαρτώνται κατά πολύ από το αρχικό σχέδιο που δόθηκε από το χρήστη.

3.3.4 SYNCHRO [14]

Το SYNCHRO είναι ένα πρόγραμμα που επίσης βασίζεται στην καθυστέρηση των αυτοκινήτων στις διασταυρώσεις. Η αντικειμενική συνάρτηση που χρησιμοποιεί ελαχιστοποιεί τις ουρές των αυτοκινήτων – και συνεπώς την καθυστέρηση - με την επιβολή ποινής. Το μοντέλο που χρησιμοποιεί είναι αρκετά παρόμοιο με αυτό του TRANSYT 7F. Χρησιμοποιεί επίσης μια τεχνική exhaustive search για τη βελτιστοποίηση του σχεδίου χρονισμού. Για να μειώσει τον αριθμό των σεναρίων υπό ανάλυση, χρησιμοποιεί μία τεχνική διαίρει και βασίλευε. Βελτιστοποιεί το μέγεθος του κύκλου με την ανάλυση όλων των κύκλων σε ένα προκαθορισμένο βεληνεκές.

3.4 Ρύπανση του περιβάλλοντος

3.4.1 Εισαγωγή

Η ρύπανση του περιβάλλοντος από οχήματα είναι πλέον ένα θέμα που τυγχάνει του ενδιαφέροντος όχι μόνο των περιβαλλοντικών οργανισμών αλλά και των χωρών. Ο συνεχώς αυξανόμενος αριθμός οχημάτων που κυκλοφορούν στους δρόμους, κυρίως σε μεγάλες πόλεις, κυρίως λόγω της επέκτασης των πόλεων αλλά και της εξάπλωσης των κέντρων απασχόλησης, έχει οδηγήσει σε μία πολύ ψηλή συγκέντρωση οχημάτων που κυκλοφορούν σε σχέση με τον πληθυσμό. Πολλά περιβαλλοντικά προγράμματα εφαρμόζονται ούτως ώστε η ρύπανση του περιβάλλοντος να μειωθεί, και αυτό με απώτερο στόχο ένα πιο υγιές περιβάλλον. Επιπρόσθετα, η ρύπανση του περιβάλλοντος που προκαλείται από τα οχήματα που κινούνται στους δρόμους προέρχεται κυρίως από τα καύσιμα που καταναλώνονται κατά την κίνηση. Είναι συνεπώς ανάλογη της κατανάλωσης των καυσίμων. Συνεπώς, με μείωση των ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα μειώνεται και η κατανάλωση καυσίμων, έτσι ο πολίτης επωφελείται εις διπλούν, αφ' ενός μεν με το να ζει σε ένα πιο υγιές περιβάλλον αφ' ετέρου δε με τη

μείωση του κόστους κίνησης και συνεπώς του κόστους ζωής, εφ' όσον η κίνηση στο δρόμο αποτελεί εξάρτηση του πολίτη ως προς τη ζωή ή εργασία του.

3.4.2 Τρόποι μείωσης της έκλυσης ρύπων από αυτοκίνητα σύμφωνα με [15]:

1. Μείωση της ποσότητας των ρύπων που εκλύονται κατά την καύση εφαρμόζοντας τροποποιήσεις στις μηχανές των οχημάτων.
2. Ανάπτυξη συστημάτων εξατμίσεων που θα ολοκληρώνουν τη διαδικασία της καύσης.
3. Ανάπτυξη εναλλακτικών καυσίμων τα οποία θα παράγουν χαμηλή συγκέντρωση ρύπων κατά τη διαδικασία της καύσης.
4. Αντικατάσταση των υπάρχοντων μηχανών με μηχανές οι οποίες παράγουν χαμηλή συγκέντρωση ρύπων.
5. Εισαγωγή ενός προγράμματος αποτελεσματικής επιθεώρησης και συντήρησης.
6. Σταδιακή απόσυρση παλαιών οχημάτων.

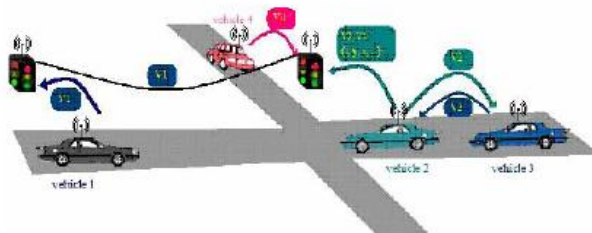
Η χρήση των VANETs επιτρέπει την εισαγωγή ενός νέου τρόπου μείωσης της έκλυσης ρύπων στην ατμόσφαιρα. Με κατάλληλες εφαρμογές που λειτουργούν με βάση το δίκτυο VANET θα μπορούν τα αυτοκίνητα να ενημερώνονται για την κατάσταση στο δρόμο έτσι ώστε να μπορούν να ρυθμίσουν τη λειτουργία τους ανάλογα. Συγκεκριμένα, στις διασταυρώσεις όπου υπάρχουν φωτεινοί σηματοδότες τροχαίας, αυτοί μπορούν να ρυθμίζουν το χρονισμό τους έτσι ώστε να υπάρχει η μικρότερη δυνατή καθυστέρηση για τα οχήματα, με αποτέλεσμα τα αυτοκίνητα να σταματούν είτε για λιγότερη ώρα είτε καθόλου. Αυτό, όπως απέδειξαν οι L. Iftode et al στο [16] έχει επίδραση στην κατανάλωση καυσίμων και έκλυση ρύπων στο περιβάλλον.

Οι φωτεινοί σηματοδότες τροχαίας μπορούν να επικοινωνήσουν και να στείλουν μηνύματα στα αυτοκίνητα μέσω του δικτύου VANET. Με την αποστολή μηνυμάτων ανάδρασης (feedback messages), υπάρχει η πιθανότητα τα αυτοκίνητα να ρυθμίσουν την ταχύτητα τους αναλόγως της κατάστασης του ΦΣΤ έτσι ώστε να μην χρειαστεί να σταματήσουν απότομα (στην περίπτωση που τελικά δεν προλαβαίνουν να περάσουν τη διασταύρωση) ή να μην χρειαστεί να σταματήσουν καθόλου (σε περίπτωση που ανάψει

το πράσινο πριν φτάσουν στη διασταύρωση). Αυτό ενδεχομένως να έχει θετική επίδραση στην κατανάλωση καυσίμων και συνεπώς στην έκλυση ρύπων, αφού η ταχύτητα συνδέεται και είναι ανάλογη της κατανάλωσης καυσίμων και της έκλυσης των ρύπων στην ατμόσφαιρα.

3.5 VANETs και Συστήματα ελέγχου σηματοδοτών τροχαίας

Η εκμετάλλευση των VANETs και η χρησιμοποίησή τους στην υλοποίηση συστημάτων ελέγχου σηματοδοτών τροχαίας είναι σχετικά νέο θέμα στην έρευνα και υλοποίηση συστημάτων γύρω από το ερευνητικό πεδίο των VANETs. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.10, τα αυτοκίνητα μπορούν, μέσω του VANET, να επικοινωνούν τόσο μεταξύ τους όσο και με τους φωτεινούς σηματοδότες τροχαίας ώστε να επιτρέπεται στους ΦΣΤ να ρυθμίσουν τον χρονισμό τους αναλόγως της εκτίμησης της κατάστασης στη διασταύρωση που γίνεται μέσω αυτής της επικοινωνίας.



Σχήμα 3.10: Επικοινωνία οχημάτων με ΦΣΤ

Με αυτό έχουν ασχοληθεί οι L. Ifode et al [16], όπου και ο κύριος στόχος τους κατά την υλοποίηση του συστήματος (MOE) ήταν το control delay. Το control delay ορίζεται ως η καθυστέρηση που σημειώνεται στην παρουσία μηχανισμού ελέγχου ΦΣΤ. Συνεπώς, υπολογίζεται σε σύγκριση με το χρόνο τον οποίο χρειάζεται ένα αυτοκίνητο να περάσει από τη διασταύρωση εν τη απουσία ΦΣΤ. Η μείωση του control delay μπορεί να επιτευχθεί με τον υπολογισμό και χρησιμοποίηση του μικρότερου δυνατού μεγέθους κύκλου (cycle length). Αυτό το υπολογίζουν χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Webster [17]. Επίσης, λαμβάνουν υπ' όψη και τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Υπολογίζουν έτσι τις εκπομπές των ρύπων στις διασταυρώσεις.

Εκ των αποτελεσμάτων τους φαίνεται ότι στην παρουσία του συστήματος που εισηγούνται υπάρχει βελτίωση τόσο στην καθυστέρηση των αυτοκινήτων στις διασταυρώσεις, όσο και στην εκπομπή ρύπων στο περιβάλλον.

Αυτό που ουσιαστικά κάνουν και που είναι συνυφασμένο με τη λειτουργία του προσομοιωτή VNSim έχει ως εξής:

Ο κάθε ένας φωτεινός σηματοδότης τροχαίας είναι εφοδιασμένος με ένα ασύρματο πομποδέκτη. Θεωρείται δηλαδή ως ένας κόμβος υποδομής (infrastructure node) του δικτύου VANET και είναι συνεπώς ακίνητος, έχει δε μεγαλύτερη εμβέλεια από αυτή που έχουν τα αυτοκίνητα. Ο κάθε ΦΣΤ λαμβάνει όλες τις πληροφορίες που ανταλλάσσουν μεταξύ τους τα αυτοκίνητα και έτσι υπολογίζει πόσα αυτοκίνητα βρίσκονται ανά πάσα στιγμή σε απόσταση ώστε να επηρεάζονται από αυτόν. Τα αυτοκίνητα στέλνουν περιοδικά με κάποια τυχαιότητα ένα μήνυμα στο οποίο περιέχονται πληροφορίες για αυτά. Για κάθε τέτοιο μήνυμα που λαμβάνει ο ΦΣΤ, ελέγχει στη βάση δεδομένων του εάν το αυτοκίνητο αυτό υπάρχει ήδη. Εάν δεν υπάρχει και το αυτοκίνητο χρειάζεται να περάσει από τη διασταύρωση, τότε η εγγραφή αποθηκεύεται στη βάση δεδομένων.

Τα παρόντα συστήματα χρονισμού προσεγγίζουν αυτές τις μετρικές όπως είναι η καθυστέρηση των οχημάτων στη διασταύρωση και ο αριθμός των αυτοκινήτων που βρίσκονται σε μια διασταύρωση χρησιμοποιώντας πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα βασισμένα σε στατιστικά και υποθέσεις. Δεν είναι επομένως τόσο ακριβή όσο αφορά αυτές τις μετρικές σε σχέση με ένα τέτοιο σύστημα που λειτουργεί με βάση ένα δίκτυο VANET. Επομένως, το VANET χρησιμοποιείται για συλλογή πληροφοριών πραγματικού χρόνου σχετικά με την κατάσταση της κίνησης στη διασταύρωση ενός ΦΣΤ. Η καθυστέρηση των αυτοκινήτων υπολογίζεται κάθε φορά που ένα αυτοκίνητο περνά από τη διασταύρωση, ενώ το μήκος της ουράς υπολογίζεται βάσει της διαμόρφωσης της κίνησης που έχει αποθηκευμένη στη βάση δεδομένων του ο ΦΣΤ. Τονίζεται το γεγονός ότι, στο μοντέλο του [16] οι ΦΣΤ λειτουργούν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο.

Μία φορά για κάθε αλλαγή του κύκλου, υπολογίζεται το σχέδιο χρονισμού του ΦΣΤ. Αυτό γίνεται με τη μέθοδο του Webster όπως περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Κατά τη διάρκεια ενός κύκλου μπορούν να εφαρμοστούν επιπλέον βελτιστοποιήσεις, όπως παράλειψη μιας φάσης, παράταση φάσης ή διακοπή μιας φάσης.

3.6 Ευφυής προσαρμογή της ταχύτητας (Intelligent speed adaptation)

Όπως αναφέρεται στο [18], η ταχύτητα είναι ένας παράγοντας που συμβάλλει σε ένα μεγάλο ποσοστό στις συγκρούσεις αυτοκινήτων. Τα ευφυή συστήματα προσαρμογής της ταχύτητας αποτελούν ένα υποσύνολο των ευφύων συστημάτων μεταφοράς. Αυτό που ουσιαστικά είναι υπεύθυνα να κάνουν, είναι να ενημερώνουν τον οδηγό ότι ξεπέρασε το όριο ταχύτητας και είτε να αρκестούν σε αυτή την ενημέρωση είτε να μειώνουν τα ίδια την ταχύτητα του οχήματος. Υπάρχουν συνεπώς δύο κατηγορίες συστημάτων προσαρμογής ταχύτητας, αυτά που απλά ενημερώνουν και αυτά που μειώνουν την ταχύτητα.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι και η ανάπτυξη ενός ευφυούς συστήματος προσαρμογής της ταχύτητας, το οποίο εκμεταλλεύεται τις πληροφορίες που τα αυτοκίνητα λαμβάνουν από τους φωτεινούς σηματοδότες τροχαίας (μέσω του δικτύου VANET) και ακολούθως τις χρησιμοποιεί για την προσαρμογή της ταχύτητας των οχημάτων που πλησιάζουν σε μια διασταύρωση έτσι ώστε να μειωθεί τόσο η πιθανότητα δυστυχήματος λόγω ταχύτητας όσο και η κατανάλωση καυσίμων και συνεπώς η ρύπανση του περιβάλλοντος.

Κεφάλαιο 4

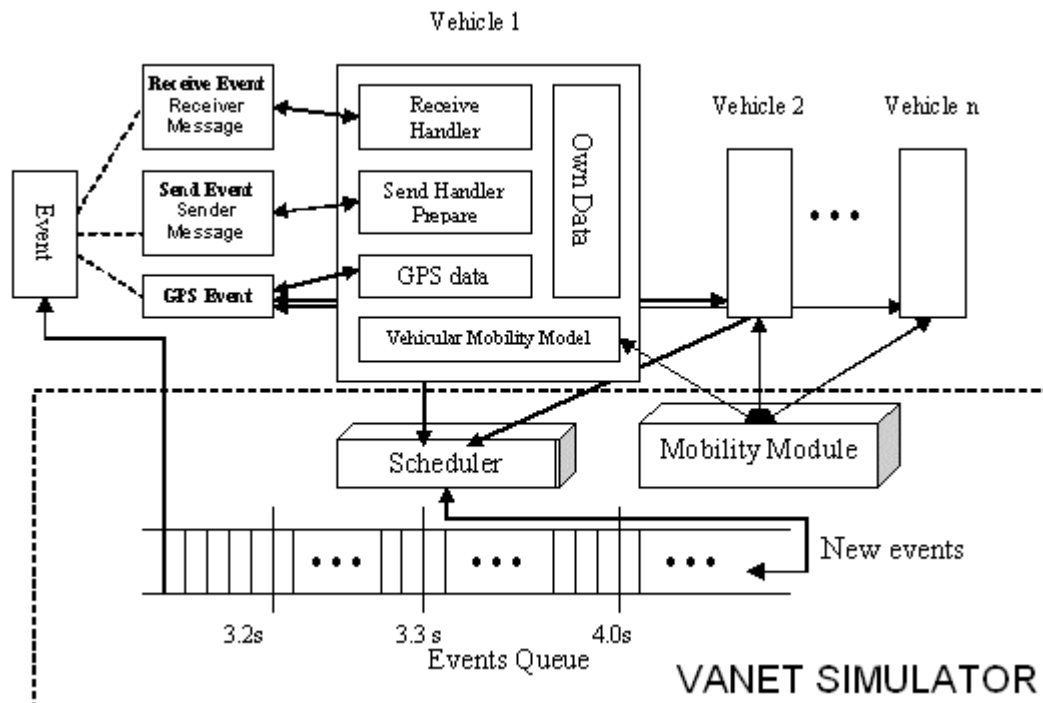
Περιβάλλον Προσομοίωσης VNSim

4.1 Αρχιτεκτονική VNSim	40
4.2 Μοντέλο κίνησης	41
4.3 Πρωτόκολλο επικοινωνίας	43
4.4 Υπολογισμός καυσίμων και ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα	44

4.1 Αρχιτεκτονική VNSim

Για να μπορέσω να επεκτείνω τον προσομοιωτή χρειάστηκε μια εκτενής μελέτη αυτού για την κατανόηση σε επίπεδο κώδικα της λειτουργίας του.

Ο προσομοιωτής VNSim είναι ένας προσομοιωτής διακριτού χρόνου (discrete event simulator), δηλαδή ο χρόνος προσομοίωσης αυξάνεται αφού εκτελεστεί ο κώδικας για την κάθε χρονική στιγμή. Σε κάθε χρονική στιγμή όλα τα γεγονότα (events) που πρέπει να εκτελεστούν αφαιρούνται από την ουρά γεγονότων (event queue) και εκτελούνται με τυχαία σειρά. Το σχήμα 4.1 δείχνει μια γενική όψη του περιβάλλοντος προσομοίωσης.



Σχήμα 4.1: Αρχιτεκτονική προσομοιωτή VNSim

Η ουρά γεγονότων μπορεί να περιέχει τρία είδη γεγονότων: send, receive ή GPS. Ένα γεγονός send για κάποιο συγκεκριμένο κόμβο του δικτύου (αυτοκίνητο ή ΦΣΤ) σηματοδοτεί την κλήση της συγκεκριμένης μεθόδου που είναι υπεύθυνη να ετοιμάσει και να στείλει ένα μήνυμα. Επίσης δρομολογεί το αντίστοιχο receive γεγονός για τους αποδέκτες του μηνύματος που έχει σταλεί. Το γεγονός receive συσχετίζεται είτε με ένα

κόμβο είτε με μία ομάδα κόμβων και σηματοδοτεί την κλήση της κατάλληλης μεθόδου για να εκτελεστεί ο κατάλληλος κώδικας για διαχείριση του μηνύματος. Το γεγονός GPS δρομολογείται κάθε κάποιο συγκεκριμένο χρόνο για κάθε κόμβο και υπάρχει για να προσομοιώσει τον τρόπο με τον οποίο ένα VANET συλλέγει τα δεδομένα GPS περιοδικά. Η υπομονάδα που είναι υπεύθυνη για την κίνηση (mobility module) ενημερώνει τη θέση του κάθε οχήματος αναλόγως του μοντέλου κίνησης. Το μοντέλο κίνησης λαμβάνει υπ' όψη τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οχημάτων, κανόνες κυκλοφορίας, καθώς και τη συμπεριφορά των οδηγών.

4.2 Μοντέλο κίνησης

Όπως αναφέρθηκε στο 2.4.3, ο προσομοιωτής χρησιμοποιεί πραγματικούς χάρτες μορφής TIGER, οι οποίοι περιέχουν λεπτομερείς γεωγραφικές πληροφορίες για όλους τους δρόμους σε μια περιοχή. Η μορφή των δεδομένων είναι γεωγραφικές συντεταγμένες (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος) των δρόμων. Συνεπώς, για κάθε δρόμο, καθορίζονται τα αρχικά και τελικά σημεία, καθώς και ενδιάμεσα σημεία αναλόγως του σχήματος του δρόμου. Ένα μειονέκτημα των χαρτών TIGER είναι ότι δεν παρέχουν πληροφορίες για τις λωρίδες στο δρόμο. Αυτό το μειονέκτημα όμως το αντιμετωπίζει ο προσομοιωτής με τη χρήση απλών ευρετικών μεθόδων που προσθέτουν λωρίδες στους δρόμους. Όσον αφορά το μοντέλο traffic simulation, χρησιμοποιείται το μοντέλο Wiedemann ([19]). Βάσει του μοντέλου αυτού, ο οδηγός μπορεί να βρίσκεται σε μία εκ των ακόλουθων τεσσάρων καταστάσεων:

1. Ελεύθερη οδήγηση

Όταν ο οδηγός βρίσκεται αυτή την κατάσταση σημαίνει ότι δεν επηρεάζεται από κάποιο προπορευόμενο όχημα που βρίσκεται στην ίδια λωρίδα. Σε αυτή την κατάσταση ο οδηγός θα διατηρήσει την δική του επιθυμητή ταχύτητα. Η επιθυμητή ταχύτητα και επιτάχυνση του οδηγού βασίζονται στην προσωπικότητα του καθώς και στα χαρακτηριστικά του δρόμου.

2. Προσέγγιση

Όταν ο οδηγός βρίσκεται στην κατάσταση αυτή σημαίνει ότι υπάρχει ένα πιο αργό προπορευόμενο όχημα από το οποίο επηρεάζεται. Σε αυτή την κατάσταση

ο οδηγός επιβραδύνει το όχημα έτσι ώστε να φθάσει και να διατηρήσει την ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος.

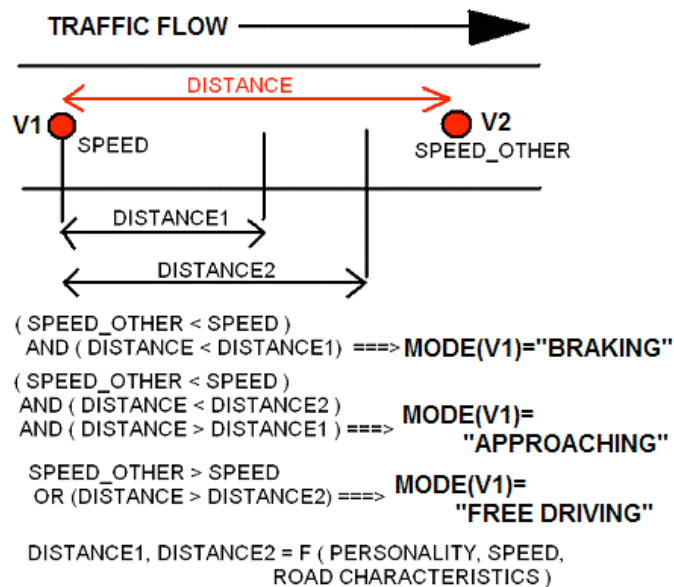
3. Ακολουθήση

Όταν ο οδηγός βρίσκεται στην κατάσταση αυτή σημαίνει ότι υπάρχει ένα προπορευόμενο όχημα το οποίο όμως έχει ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του οχήματος που έχει ο οδηγός που μελετούμε. Σε αυτή την κατάσταση ο οδηγός θα διατηρήσει την ταχύτητα του σταθερή.

4. Φρενάρισμα

Όταν ο οδηγός βρίσκεται στην κατάσταση αυτή σημαίνει ότι υπάρχει ένα πιο αργό προπορευόμενο όχημα πολύ κοντά μπροστά του. Σε αυτή την κατάσταση ο οδηγός, λόγω του κινδύνου εφαρμόζει το φρένο και συνεπώς το αυτοκίνητο μειώνει ταχύτητα με μεγάλο ρυθμό επιβράδυνσης.

Στο σχήμα 4.2 φαίνονται οι καταστάσεις οδήγησης με ψευδοκώδικα.



Σχήμα 4.2: Περιγραφή καταστάσεων οδήγησης μοντέλου Wiedemann [19]

4.3 Πρωτόκολλο επικοινωνίας.

Ο προσομοιωτής VNSim χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας του συστήματος TrafficView [22]. Τα μηνύματα που αποστέλλουν οι κόμβοι του δικτύου (οχήματα) έχουν την μορφή του πίνακα 4.1.

4 bytes	8 bytes	1 byte	2 bytes	2 bytes	1 byte	1 byte	1 byte
Vehicle ID	Timestamp	Speed	Road id	Point id	Offset	Lane	Info byte

Πίνακας 4.1: Μήνυμα που αποστέλλουν τα οχήματα

Ο πίνακας 4.2 παρουσιάζει την εξήγηση των επί μέρους χαρακτηριστικών του μηνύματος.

Χαρακτηριστικά του μηνύματος	
Vehicle ID	Ένας μοναδικός αριθμός που χαρακτηρίζει την ταυτότητα του κόμβου
Timestamp	Η στιγμή κατά την οποία το μήνυμα δημιουργήθηκε
Speed	Η ταχύτητα του οχήματος
Road,Point id	Καθορίζουν το σημείο στο χάρτη στο οποίο βρίσκεται πιο κοντά το όχημα
Offset	Η απόσταση από το κοντινότερο στο όχημα σημείο του χάρτη
Lane	Η λωρίδα στην οποία βρίσκεται το όχημα
Info byte	Επιπλέον byte που περιέχει άλλες πληροφορίες

Πίνακας 4.2: Χαρακτηριστικά μηνύματος

Οι πίνακες 4.3 και 4.4 παρουσιάζουν την επεξήγηση του επιπλέον byte και τις πληροφορίες που περιέχει.

Byte πληροφοριών								
Position	0	1	2	3	4	5	6	7
Information	Direction	Signal		State				

Πίνακας 4.3: Διαχωρισμός του byte πληροφοριών

Επεξήγηση byte πληροφοριών	
Direction	Η πλευρά του δρόμου προς την οποία κινείται το όχημα
Signal	Καθορίζει κατά πόσο το όχημα σκοπεύει να στρίψει
State	Η κατάσταση του οχήματος. Μπορεί να είναι: Χαλασμένο, τρακαρισμένο ή κανονικό. Επιπλέον, δίνεται πληροφορία για το κατά πόσο το όχημα βρίσκεται σε ενεργή ή μη ενεργή κατάσταση.

Πίνακας 4.4: Επεξήγηση χαρακτηριστικών του byte πληροφοριών

4.4 Υπολογισμός καυσίμων και ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα

Όπως προανέφερα, η μείωση της έκλυσης ρύπων αλλά και της κατανάλωση καυσίμων αποτελεί σημαντικό πρόβλημα προς μελέτη. Ο προσομοιωτής VNSim διαθέτει ένα μηχανισμό υπολογισμού της κατανάλωσης καυσίμων και της έκλυσης ρύπων που είναι βασισμένο στο μοντέλο των Rahmi Ackelik και Mark Besley [20]. Αν και το μοντέλο που περιγράφεται στο άρθρο λαμβάνει υπ' όψη τόσο ελαφριά όσο και βαριά οχήματα, ο προσομοιωτής το έχει απλοποιήσει και λαμβάνει υπ' όψη μόνο ελαφριά οχήματα. Όπως αναφέρουν οι Ackelik και Besley, ως θεωρούνται τα οχήματα: μικρού μεγέθους, μεσαίου μεγέθους, μεγάλου μεγέθους, τύπου βαν και ημιφορτηγά δύο αξόνων. Σε περιβάλλοντα όπως αυτά των πόλεων θεωρώ ότι το μοντέλο είναι επαρκές, αφού η κυκλοφορία βαρέων οχημάτων είναι συνήθως σπάνια.

Περιγραφή μοντέλου:

Η ακόλουθη συνάρτηση χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της τιμής των καυσίμων που καταναλώνονται:

$$\Delta F = \{\alpha + \beta_1 R_T v + [\beta_2 M_v a^2 v / 1000]_{a>0}\} \Delta t \quad \text{για } R_T > 0$$

$$= \alpha \Delta t \quad \text{για } R_T \leq 0$$

Εξήγηση παραμέτρων:

R_T : Συνολική ελκτική δύναμη που χρειάζεται για να κινηθεί το όχημα.

M_v : Η μάζα του οχήματος

v : Στιγμιαία ταχύτητα του οχήματος (km/h)/3.6

a : Στιγμιαία επιτάχυνση του οχήματος (m/s²)

α : σταθερός ρυθμός κατανάλωσης ή έκλυσης ρύπων

β_1 : η παράμετρος αποδοτικότητας που συσχετίζει την κατανάλωση ή έκλυση ρύπων με την ενέργεια που παρέχεται από τη μηχανή του οχήματος

β_2 : η παράμετρος αποδοτικότητας που συσχετίζει την κατανάλωση ή έκλυση ρύπων με το γινόμενο της αδράνειας και της επιτάχυνσης του οχήματος.

Στον πίνακα 4.5 βλέπουμε τις τιμές των παραμέτρων όπως αναφέρονται από τους Akcelik και Besley. Στον πίνακα 4.5, CO είναι το μονοξείδιο του άνθρακα, HC οι υδρογονάνθρακες, NO_x τα οξείδια του αζώτου.

Parameter	Description	Unit for Fuel	Unit for Emissions	Fuel	CO	HC	NO _x
f_i	Idle fuel consumption or emission rate	mL/h	g/h	1350 (LV) 2000 (HV)	50	8	2
$10^4 \beta_1$	Efficiency parameter	mL/kJ	g/kJ	900 (LV) 800 (HV)	150	0	10
$10^4 \beta_2$	Energy-acceleration efficiency parameter	mL/(kJ.m/s ²)	g/(kJ.m/s ²)	300 (LV) 200 (HV)	250	4	2
M_{vLV}	Average vehicle mass for light vehicles (cars, vans)	kg	kg	1400	1400	1400	1400
M_{vHV}	Average vehicle mass for heavy vehicles (trucks, buses)	kg	kg	11000	11000	11000	11000
CO₂ rates in grams per millilitre of fuel: Light vehicles: $f_{CO2LV} = 2.5$ g/mL Heavy vehicles: $f_{CO2HV} = 2.6$ g/mL							

Πίνακας 4.5: Τιμές παραμέτρων υπολογισμού καυσίμων και ρύπων

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) υπολογίζεται βάσει των καυσίμων που καταναλώνονται.

Κεφάλαιο 5

Ευφύες Σύστημα Προσαρμογής Ταχύτητας

5.1 Εισαγωγή	48
5.2 Επικοινωνία ΦΣΤ - Αυτοκινήτων	49
5.3 Ευφύες Σύστημα Προσαρμογής Ταχύτητας	52
5.4 Αποτελέσματα και Αξιολόγηση	54
5.4.1 Εισαγωγή	54
5.4.2 Σενάριο 1	55
5.4.3 Σενάριο 2	57
5.4.4 Σενάριο 3	60

5.1 Εισαγωγή

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός ευφυούς συστήματος προσαρμογής ταχύτητας. Όπως αναφέρθηκε στο 3.6, τα υπάρχοντα ευφυή συστήματα προσαρμογής ταχύτητας βασίζονται αποκλειστικά σε πληροφορίες που παρέχονται από τα συστήματα GPS για το όριο της ταχύτητας στο δρόμο στον οποίο κινείται ένα αυτοκίνητο. Η διπλωματική αυτή εργασία δανείζεται τη γενική ιδέα και στόχο των συστημάτων αυτών, που είναι η ασφάλεια στο δρόμο με τη μείωση της ταχύτητας των αυτοκινήτων όπου χρειάζεται, και εφαρμόζει ένα αλγόριθμο ο οποίος υπολογίζει τη βέλτιστη ταχύτητα με την οποία πρέπει να κινούνται τα αυτοκίνητα στις διασταυρώσεις έτσι ώστε να υπάρχει αυξημένη ασφάλεια για τους οδηγούς, αλλά και σημαντική μείωση των εκλυόμενων καυσίμων και ρύπων στην ατμόσφαιρα από τα αυτοκίνητα.

Το σύστημα είναι εγκατεστημένο στο λογισμικό του αυτοκινήτου και εκμεταλλεύεται την παρουσία ενός VANET, στο οποίο συμμετέχουν τα αυτοκίνητα καθώς και οι ΦΣΤ, για να λαμβάνει ακριβείς πληροφορίες για την κατάσταση που επικρατεί στη διασταύρωση η οποία προσεγγίζεται από το εκάστοτε αυτοκίνητο. Λαμβάνει πληροφορίες για τον χρονισμό του ΦΣΤ (χρόνος κόκκινου/πράσινου, εναπομένων χρόνος μέχρι την αλλαγή της παρούσας φάσης κτλ.), καθώς και πληροφορίες όπως μέγεθος της ουράς των αυτοκινήτων που περιμένουν σε μια λωρίδα για να ανάψει το πράσινο φανάρι. Λόγω επίσης της ύπαρξης του VANET, το αυτοκίνητο γνωρίζει την ακριβή απόσταση που έχει από τον ΦΣΤ ανά πάσα στιγμή. Ανάλογα με τις πληροφορίες αυτές, υπολογίζεται μια ταχύτητα η οποία θα αποφέρει μέγιστη ασφάλεια και ελάχιστη έκλυση ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Λόγω του ότι ο υπολογισμός των καυσίμων και των εκλυόμενων ρύπων βασίζεται κατά ένα μεγάλο ποσοστό στην ταχύτητα και επιτάχυνση του αυτοκινήτου, και είναι κατά κάποιο τρόπο ανάλογος των παραγόντων αυτών, εκτιμάται ότι το σύστημα θα συμβάλει αποτελεσματικά στη μείωση των καυσίμων που χρησιμοποιούν τα αυτοκίνητα όταν προσεγγίζουν μια διασταύρωση. Το γεγονός ότι ο υπολογισμός της προτεινόμενης ταχύτητας γίνεται με κύριο στόχο τη μείωση των καυσίμων, διαφαίνεται και από τη

δομή του αλγορίθμου ο οποίος σε καμία περίπτωση δεν προτείνει μια ταχύτητα η οποία είναι μεγαλύτερη από την εκάστοτε ταχύτητα κάποιου αυτοκινήτου.

Το σύστημα αναπτύχθηκε στον προσομοιωτή VNSim, ο οποίος χρειάστηκε να επεκταθεί ανάλογα για να υποστηρίζει τις προναφερθέντες λειτουργίες. Αρχικά, χρειάστηκε να επεκταθεί ο προσομοιωτής έτσι ώστε να υποστηρίζει την επικοινωνία μεταξύ αυτοκινήτων - ΦΣΤ μέσω ενός μοντέλου αλληλεπίδρασης των οχημάτων με τους φωτεινούς σηματοδότες τροχαίας. Μέσω αυτού του μοντέλου, τα αυτοκίνητα θα μπορούν να λαμβάνουν πληροφορίες από τους ΦΣΤ τους οποίους προσεγγίζουν και ανάλογα με τον χρονισμό των ΦΣΤ τα αυτοκίνητα θα μπορούν να ρυθμίσουν την ταχύτητα τους. Με την εφαρμογή τέτοιου συστήματος στον προσομοιωτή, δίνεται η δυνατότητα μελέτης του και εξαγωγής χρήσιμων αποτελεσμάτων. Ο προσομοιωτής προσφέρει χρήσιμες μετρικές για αυτόν το σκοπό, όπως κατανάλωση καυσίμων, έκλυση ρύπων στην ατμόσφαιρα, καθυστέρηση των αυτοκινήτων κ.ο.κ.

5.2 Επικοινωνία ΦΣΤ - Αυτοκινήτων

Ο προσομοιωτής παρέχει μία διαπροσωπεία η οποία πρέπει να υλοποιηθεί από κάθε κόμβο του δικτύου για να μπορέσει να επικοινωνήσει με τους άλλους κόμβους. Όπως και στα αυτοκίνητα, έτσι και στους φωτεινούς σηματοδότες χρειάζεται να υλοποιηθεί η διαπροσωπεία έτσι ώστε να είναι σε θέση να επικοινωνούν.

Η διαπροσωπεία αυτή είναι η Communicator.java:

```
public interface Communicator {  
  
    public byte[] prepareMessage(int messageType);  
  
    public void onReceive(byte[] bytesReceived, Communicator sender);  
  
    .  
    .  
    .  
  
}
```

Οι δύο σημαντικές μέθοδοι στη διαπροσωπεία είναι οι `prepareMessage(messageType)` και `onReceive(bytesReceived, sender)`. Η μέθοδος `onReceive(bytesReceived, sender)` υπήρχε στην υλοποίηση του ΦΣΤ, καθώς είναι αυτή η οποία είναι υπεύθυνη για την εκτέλεση συγκεκριμένων δραστηριοτήτων για τον χρονισμό του ΦΣΤ όπως περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτό που χρειάστηκε να κάνουμε ήταν η υλοποίηση της μεθόδου `prepareMessage(messageType)` η οποία είναι υπεύθυνη για την προετοιμασία του μηνύματος προς αποστολή, έτσι ώστε αυτό να σταλεί όταν το γεγονός (event) είναι έτοιμο προς εξυπηρέτηση από τον χρονοδρομολογητή του προσομοιωτή. Χρειάζεται συνεπώς η δημιουργία ενός κατάλληλου πρωτοκόλλου μέσω του οποίου μπορεί να γίνει η επικοινωνία ΦΣΤ → αυτοκινήτων. Υπήρχε μία ελλιπής υλοποίηση ενός πρωτοκόλλου από τους δημιουργούς του προσομοιωτή, η οποία όμως δεν ήταν σε λειτουργία. Η δουλειά που πραγματοποιήσαμε ήταν η διόρθωση της υπάρχουσας υλοποίησης και πρόσθεση των κατάλληλων στοιχείων έτσι ώστε το πρωτόκολλο να είναι πλήρες και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας ΦΣΤ → αυτοκινήτου απαιτεί όπως το μήνυμα που αποστέλλεται να έχει την μορφή που φαίνεται στον πίνακα 5.1.

Μέγεθος	Περιγραφή
1 byte	Τύπος πρωτοκόλλου
2 bytes (short)	Μέγεθος κύκλου(cycle length)
26 bytes x Segment Size (αριθμός λωρίδων που συνδέονται στη διασταύρωση)	Αριθμός δρόμου
	Κατεύθυνση (προς τα πού μπορεί να κινηθεί το αυτοκίνητο)
	Συντεταγμένες Σημείου
	Χρώμα φαναριού στο σημείο
	Υπόλοιπο χρόνου μέχρι την επόμενη φάση
	Intergreen Interval
	Μέγεθος ουράς

Πίνακας 5.1: Πρωτόκολλο Επικοινωνίας ΦΣΤ → αυτοκινήτου

Οι πληροφορίες αυτές του μηνύματος είναι σημαντικές και χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της απόστασης αυτοκινήτου – ΦΣΤ καθώς και στον ορθό υπολογισμό της προτεινόμενης ταχύτητας από το σύστημα.

Στην αντίστοιχη μέθοδο `onReceive(bytesReceived, sender)` του αυτοκινήτου υπήρχε πρόνοια για αποδοχή μηνύματος από ΦΣΤ (μέσω ελέγχου του πρώτου byte του μηνύματος για εξακρίβωση του τύπου του πρωτοκόλλου). Και αυτό ήταν μερικώς υλοποιημένο αλλά δεν το χρησιμοποιούσε ο προσομοιωτής. Το τροποποίησα και κατάφερα επιτυχώς να αποκαταστήσω την επικοινωνία ΦΣΤ → αυτοκινήτου.

Με βάση το πρωτόκολλο που περιγράφηκε, τα αυτοκίνητα, με την επικοινωνία με τους φωτεινούς σηματοδότες, γνωρίζουν πλέον πληροφορίες για τον χρονισμό του ΦΣΤ στη διασταύρωση του οποίου πλησιάζουν. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν για διάφορους λόγους. Ένας λόγος αξιοποίησης των πληροφοριών χρονισμού ενός ΦΣΤ είναι η ασφάλεια. Όταν ο οδηγός του αυτοκινήτου γνωρίζει εκ των προτέρων ότι το φανάρι το οποίο προσεγγίζει θα αλλάξει φάση και θα μετατραπεί σε πράσινο ή κόκκινο σε κάποιο γνωστό χρονικό διάστημα, τότε θα μπορεί να ρυθμίσει την ταχύτητα του ανάλογα. Επιπλέον, θα είναι προετοιμασμένος ψυχολογικά και θα βρίσκεται σε εγρήγορση. Αυτό αυτόματα σημαίνει ότι η πιθανότητα ατυχήματος λόγω της καθυστερημένης αντίληψης αλλαγής της φάσης του κύκλου του φωτεινού σηματοδότη θα μειώνεται δραστικά. Όπως αναφέρεται και στο [31], μόνο ένα ποσοστό της τάξεως του 9% των οδηγών οι οποίοι πλησιάζουν μια διασταύρωση με ταχύτητα 72 km/h και βρίσκονται σε απόσταση 32 μέτρων από αυτή σταματούν όταν αντιληφθούν το πορτοκαλί χρώμα στο φανάρι, το οποίο σηματοδοτεί την έλευση του κόκκινου φαναριού. Στην ίδια μελέτη αναφέρεται ότι το 100% των οδηγών σταματούν στην ίδια περίπτωση όταν βρίσκονται όμως σε απόσταση 111 μέτρων από τη διασταύρωση. Η πληροφορία βέβαια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση που έχουμε αυτοκίνητα με αυτόματο πιλότο.

Είναι συνεπώς αρκετά ενδιαφέρον να μελετηθεί το ενδεχόμενο να προτείνεται είτε από το σύστημα που βρίσκεται εγκατεστημένο στο αυτοκίνητο είτε ακόμα και από τον ΦΣΤ η ταχύτητα με την οποία θα πρέπει να κινηθεί το αυτοκίνητο έτσι ώστε να προετοιμαστεί ανάλογα ο οδηγός και το όχημά του.

5.3 Ευφύες Σύστημα Προσαρμογής Ταχύτητας

Για την ανάπτυξη ενός συστήματος προσαρμογής ταχύτητας μελέτησα εκτενώς τον κώδικα του προσομοιωτή VNSim ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη μετακίνηση και λειτουργία των κόμβων που αναπαριστούν τα αυτοκίνητα.

Έχοντας υπ' όψη τις πληροφορίες που παίρνει το αυτοκίνητο για τον χρονισμό του ΦΣΤ ανέπτυξα τον πιο κάτω αλγόριθμο για τον υπολογισμό και ρύθμιση της αλλαγής της ταχύτητας του αυτοκινήτου.

Χρόνος άφιξης του αυτοκινήτου στη διασταύρωση: $\text{timeToArrive} = \text{απόσταση} / \text{ταχύτητα}$

If (παρούσα φάση είναι Κόκκινο)

Υπολογισμός χρόνου μέχρι να τελειώσει το επόμενο πράσινο:

$\text{toEndNextGreen} = \text{cycle length} - \text{phase remaining time} + \text{green time}$

Else

Υπολογισμός χρόνου μέχρι να τελειώσει το επόμενο πράσινο:

$\text{toEndNextGreen} = \text{phase remaining time} + \text{cycle length}$

if (παρούσα φάση Δεν είναι Πράσινο)

If (παρούσα φάση είναι Κόκκινο)

Χρόνος μέχρι το επόμενο πράσινο = χρόνος που απομένει για το κόκκινο

Else

Χρόνος μέχρι το επόμενο πράσινο = $\text{intergreen time} - \text{χρόνος που απομένει για το κόκκινο}$

if (παρούσα φάση είναι Πράσινο)

if (δεν προλαβαίνει να περάσει από τη διασταύρωση με την παρούσα ταχύτητα)

$\text{προτεινόμενη ταχύτητα} = \text{απόσταση} / \text{εναπομένων χρόνος πράσινου}$

else

διατήρηση παρούσας ταχύτητας

else if (δεν προλαβαίνει να περάσει από τη διασταύρωση με την παρούσα ταχύτητα)

$\text{προτεινόμενη ταχύτητα} = \text{απόσταση} / \text{χρόνος μέχρι το επόμενο πράσινο}$

else

διατήρηση παρούσας ταχύτητας

Επεξήγηση Αλγορίθμου:

Η απόσταση του αυτοκινήτου από τον ΦΣΤ είναι γνωστή σε αυτό μέσω της πληροφορίας που παίρνει από το αυτοκίνητο. Υπολογίζεται επομένως ο χρόνος άφιξης του αυτοκινήτου στον ΦΣΤ, δεδομένου του ότι το αυτοκίνητο θα κινείται με την υπάρχουσα ταχύτητα του καθ' όλη τη διάρκεια της διαδρομής του μέχρι να φτάσει στον ΦΣΤ.

Υπολογίζεται ο χρόνος μέχρι να τελειώσει είτε η παρούσα φάση «πράσινο» (εάν είναι αναμμένο το πράσινο) είτε η επόμενη φάση «πράσινο», έτσι ώστε το αυτοκίνητο να γνωρίζει κατά πόσο με την ταχύτητα που έχει μπορεί να φτάσει να περάσει στη διασταύρωση πριν τελειώσει η φάση του «πράσινου».

Ακολουθώς, εάν δεν είναι αναμμένο το πράσινο, υπολογίζεται ο χρόνος μέχρι να έρθει η επόμενη φάση «πράσινο».

Σε αυτό το σημείο ο αλγόριθμος υπολογίζει την ταχύτητα την οποία θα προτείνει στο σύστημα του αυτοκινήτου.

Εάν η παρούσα φάση του ΦΣΤ είναι «πράσινο» και ο χρόνος άφιξης του αυτοκινήτου στον ΦΣΤ είναι μεγαλύτερος από το χρόνο που χρειάζεται για να τελειώσει η φάση «πράσινο», τότε σημαίνει ότι το αυτοκίνητο δεν προλαβαίνει να περάσει από τη διασταύρωση με την ταχύτητα που έχει. Έτσι, προτείνεται μια ταχύτητα η οποία υπολογίζεται ως εξής: απόσταση από ΦΣΤ / εναπομένων χρόνος πράσινου. Με αυτό τον τρόπο διασφαλίζεται η μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει το αυτοκίνητο έτσι ώστε να προλάβει το πράσινο φανάρι και να περάσει από τη διασταύρωση. Εάν το αυτοκίνητο προλαβαίνει να περάσει με την ταχύτητα που είχε, τότε δεν αλλάζει τίποτα.

Εάν η παρούσα φάση δεν είναι «πράσινο» και ο χρόνος άφιξης του αυτοκινήτου στον ΦΣΤ είναι μικρότερος από το χρόνο που χρειάζεται για να επέλθει η φάση του «πράσινου», αυτό σημαίνει ότι με την ταχύτητα που το αυτοκίνητο έχει δεν μπορεί να φτάσει στον ΦΣΤ αφού έχει γίνει πράσινο το φανάρι, αλλά θα φτάσει πιο πριν. Σε αυτή την περίπτωση, προτείνεται μια ταχύτητα η οποία υπολογίζεται ως εξής: απόσταση από ΦΣΤ / χρόνος μέχρι το επόμενο πράσινο. Με αυτό τον τρόπο διασφαλίζεται η μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει το αυτοκίνητο έτσι ώστε να φθάσει στον ΦΣΤ μόλις το φανάρι περάσει στη φάση «πράσινο». Αντίθετα, εάν το

αυτοκίνητο με την ταχύτητα που είχε μπορεί να φθάσει στον ΦΣΤ αφού έχει αλλάξει η φάση σε πράσινο, τότε δεν αλλάζει τίποτα.

Σημειώνεται ότι η ελάχιστη ταχύτητα που μπορεί να έχει ένα αυτοκίνητο είναι 10 km/h.

Ο υπολογισμός της προτεινόμενης ταχύτητας γινόταν αρχικά με αυτό τον τρόπο στον αλγόριθμο. Απαιτεί όμως περαιτέρω μελέτη, καθώς η βέλτιστη ταχύτητα θα πρέπει να λαμβάνει υπ' όψη όχι μόνο το αν το αυτοκίνητο μπορεί ή όχι να περάσει από τη διασταύρωση αλλά επίσης και τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Επιπλέον, θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη και το ενδεχόμενο του ότι συνήθως υπάρχουν ουρές αυτοκινήτων στις διασταυρώσεις, επομένως ο χρόνος του αυτοκινήτου μέχρι να φθάσει στο ΦΣΤ και συνεπώς η υπολογιζόμενη προτεινόμενη ταχύτητα βάσει αυτού δεν θα ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

5.4 Αποτελέσματα και Αξιολόγηση

5.4.1 Εισαγωγή

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων χρειάστηκε η διεξαγωγή πειραματικής μελέτης στον προσομοιωτή. Έγινε αλλαγή και ρύθμιση διαφόρων παραμέτρων έτσι ώστε να βρεθεί η καλύτερη δυνατή διαμόρφωση (configuration) του συστήματος. Ως καλύτερη διαμόρφωση θεωρείται αυτή η οποία συνιστά στη μεγαλύτερη δυνατή μείωση των καυσίμων και των ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον, γίνεται μέτρηση του μέσου όρου της συνολικής καθυστέρησης που έχουν τα αυτοκίνητα μέχρι να φτάσουν στον προορισμό τους.

Ως παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το σύστημα και την έκλυση καυσίμων θεωρούνται οι εξής:

1. Προτεινόμενη ταχύτητα.
2. Αριθμός προτάσεων ταχύτητας κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας ΦΣΤ → αυτοκινήτου (αλλαγές ταχύτητας ανά δευτερόλεπτο).
3. Τρόπος μείωσης ταχύτητας (σταδιακά ή αμέσως).

Η αξιολόγηση διεξάγεται με τη μελέτη των ακόλουθων αποτελεσμάτων που έχει ως έξοδο ο προσομοιωτής:

1. Συνολική κατανάλωση καυσίμων (Fuel consumption) σε Λίτρα.
2. Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) σε γραμμάρια.
3. Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) σε γραμμάρια.
4. Υδρογονάνθρακες (HC) σε γραμμάρια.
5. Οξείδια του Αζώτου (NO_x) σε γραμμάρια.
6. Μέσος όρος καθυστέρησης (Average delay) σε δευτερόλεπτα.

Αρχικά, για τη μελέτη και εξαγωγή συμπερασμάτων χρησιμοποιήθηκε το εξής σενάριο:
Μία πλήρης διασταύρωση.

Περίπου 3500 οχήματα ανά μέσο όρο για όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Προσομοίωση 210 λεπτά (μέγιστος χρόνος που επιτρέπει ο προσομοιωτής).

5.4.2 Σενάριο 1

Τρόπος υπολογισμού προτεινόμενης ταχύτητας:

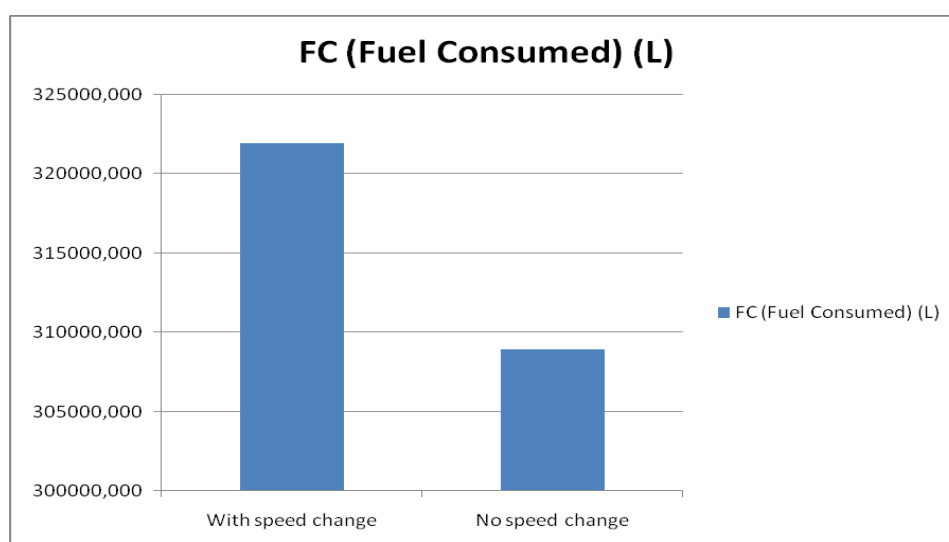
if (δεν προλαβαίνει να περάσει από τη διασταύρωση με την παρούσα ταχύτητα)
 προτεινόμενη ταχύτητα = απόσταση / εναπομένων χρόνος πράσινου

if (δεν προλαβαίνει να περάσει από τη διασταύρωση με την παρούσα ταχύτητα)
 προτεινόμενη ταχύτητα = απόσταση / χρόνος μέχρι το επόμενο πράσινο

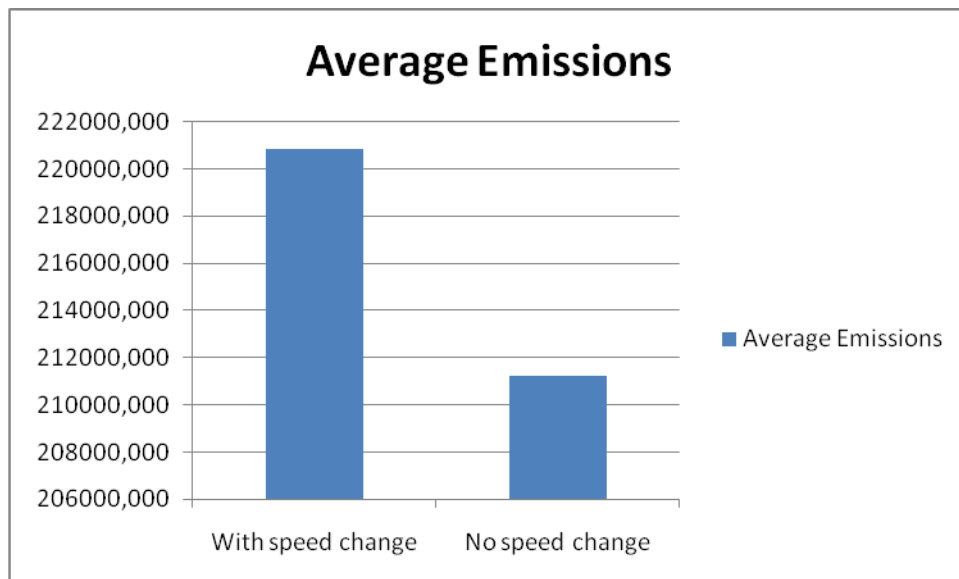
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στον πίνακα 5.2 και μία σύγκριση των αποτελεσμάτων στα σχήματα 5.1 και 5.2.

	With speed change 1	No speed change
FC (Fuel Consumed) (L)	321962,705	308960,044
CO ₂ (Carbon Dioxide)	804906,763	772400,109
CO (Carbon Monoxide)	74758,993	69033,339
HC (Hydrocarbons)	955,222	878,549
NO _x (Nitrogen Oxides)	2779,803	2665,830
Average Emissions	220850,195	211244,457

Πίνακας 5.2: Σύγκριση καυσίμων και εκπομπών ρύπων με δύο σενάρια: Χωρίς αλλαγή ταχύτητας – Με αλλαγή ταχύτητας



Σχήμα 5.1: Γραφική Παράσταση των καυσίμων που καταναλώνονται στα δύο σενάρια.



Σχήμα 5.2: Γραφική Παράσταση του μέσου όρου των εκπομπών ρύπων στα δύο σενάρια.

Παρατηρούμε (όπως φαίνεται και από τη γραφική παράσταση) ότι στο σενάριο 1 δεν υπάρχει βελτίωση στην κατανάλωση καυσίμων και έκλυση ρύπων, αντιθέτως υπάρχει μια μικρή αύξηση αυτών των παραγόντων σε όλες τις επί μέρους μεταβλητές. Συνεπώς η μελέτη και ρύθμιση των παραγόντων που ενδεχομένως να επηρεάζουν το σύστημα ήταν απαραίτητη. Αυτό που πιθανότατα συντελεί στην αύξηση των τιμών των καυσίμων και των εκλυόμενων ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι το ότι δεν λαμβάνονται υπ' όψη το ενδεχόμενο του ότι συνήθως υπάρχουν ουρές αυτοκινήτων στις διασταυρώσεις, επομένως ο χρόνος του αυτοκινήτου μέχρι να φθάσει στο ΦΣΤ και συνεπώς η υπολογιζόμενη προτεινόμενη ταχύτητα βάσει αυτού δεν θα ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

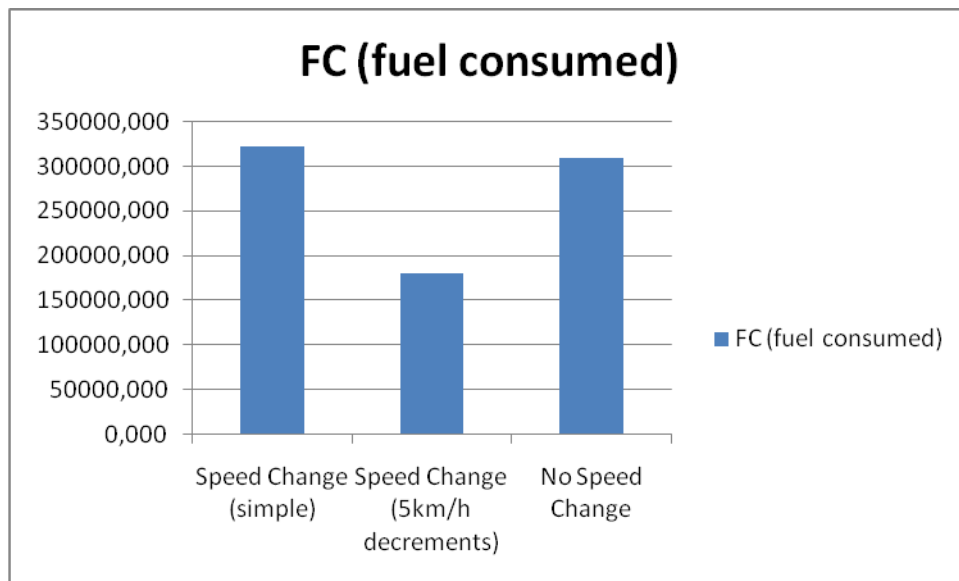
5.4.3 Σενάριο 2

Ο πιο εμφανής και κύριος παράγοντας είναι ο τρόπος υπολογισμού της προτεινόμενης ταχύτητας. Αλλάζοντας τον αλγόριθμο, κάθε φορά που το αυτοκίνητο κάνει έλεγχο και διαπιστώνει ότι δεν προλαβαίνει να περάσει από τη διασταύρωση με την παρούσα ταχύτητα, μειώνει την ταχύτητά του κατά 5 km/h. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης

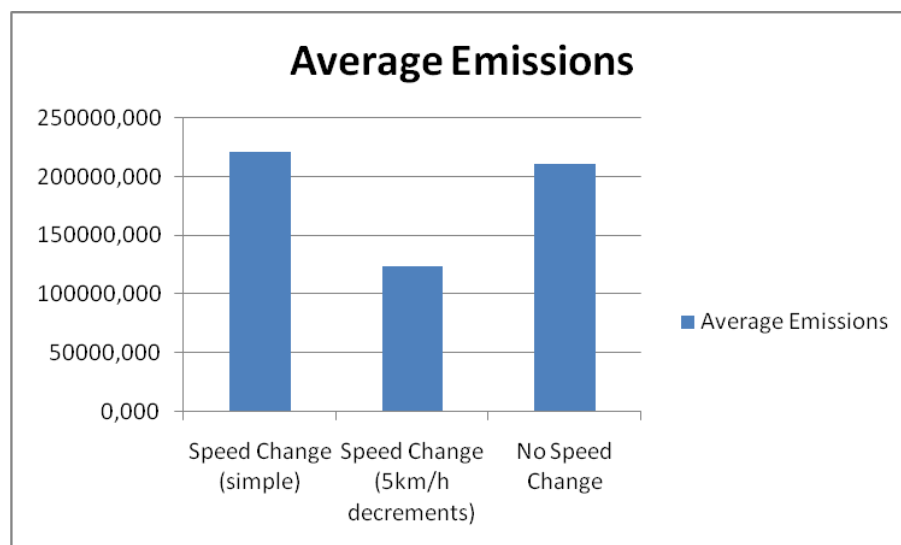
φαίνονται στον πίνακα 5.3 και μία σύγκριση των αποτελεσμάτων στα σχήματα 5.3 και 5.4.

	Speed Change 1	Speed Change 2 (5 km/h decrement)	No Speed Change
FC (fuel consumed)	321962,705	179638,458	308960,044
CO ₂ (Carbon Dioxide)	804906,763	449096,145	772400,109
CO (Carbon Monoxide)	74758,993	42051,277	69033,339
HC (Hydrocarbons)	955,222	560,539	878,549
NO _x (Nitrogen Oxides)	2779,803	1523,120	2665,830
Average Emissions	220850,195	123307,770	211244,457

Πίνακας 5.3: Σύγκριση καυσίμων και εκπομπών ρύπων με τρία σενάρια: Χωρίς αλλαγή ταχύτητας – Με αλλαγή ταχύτητας χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο 1 – Με αλλαγή ταχύτητας χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο 2.



Σχήμα 5.3: Γραφική Παράσταση των καυσίμων που καταναλώνονται στα τρία σενάρια.



Σχήμα 5.4: Γραφική Παράσταση του μέσου όρου των εκπομπών ρύπων στα τρία σενάρια.

Από τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι υπάρχει μία μείωση της τάξης του 40% περίπου στην κατανάλωση καυσίμων και συνεπώς και στην έκλυση ρύπων στην ατμόσφαιρα. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι σε περίπτωση που υπάρχει κυκλοφοριακή

συμφόρηση και συνεπώς ουρά αυτοκινήτων, δεν υπάρχει πρόβλημα στην πρόβλεψη του χρόνου μέχρι το αυτοκίνητο να φθάσει στον ΦΣΤ γιατί πολύ απλά η αλλαγή της ταχύτητας γίνεται με σταδιακό και σταθερό ρυθμό. Επιπλέον είναι ένα πολύ πιο ρεαλιστικό σενάριο, καθ' ότι ο οδηγός δεν μπορεί να ελαττώσει κατά πολύ και αμέσως την ταχύτητα που κινείται το αυτοκίνητο, αλλά το κάνει σταδιακά.

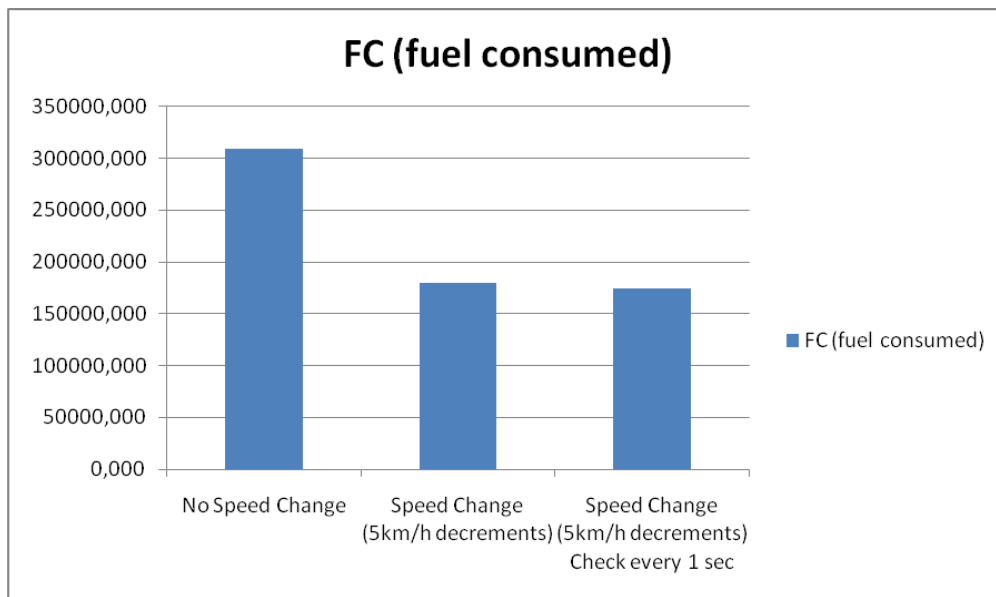
5.4.4 Σενάριο 3

Αυτό όμως που χρειάζεται να μελετηθεί περαιτέρω είναι ο χρόνος παύσης μεταξύ μίας μετάδοσης πληροφορίας από τον ΦΣΤ και της επόμενης μετάδοσης. Τα προηγούμενα αποτελέσματα εξάχθηκαν δεδομένου του ότι η επικοινωνία και ενδεχόμενη αλλαγή της ταχύτητας γινόταν σε κάθε χρονική στιγμή της προσομοίωσης. Συνεπώς χρειάζεται επιπλέον μελέτη λαμβάνοντας και αυτόν τον παράγοντα υπ' όψη.

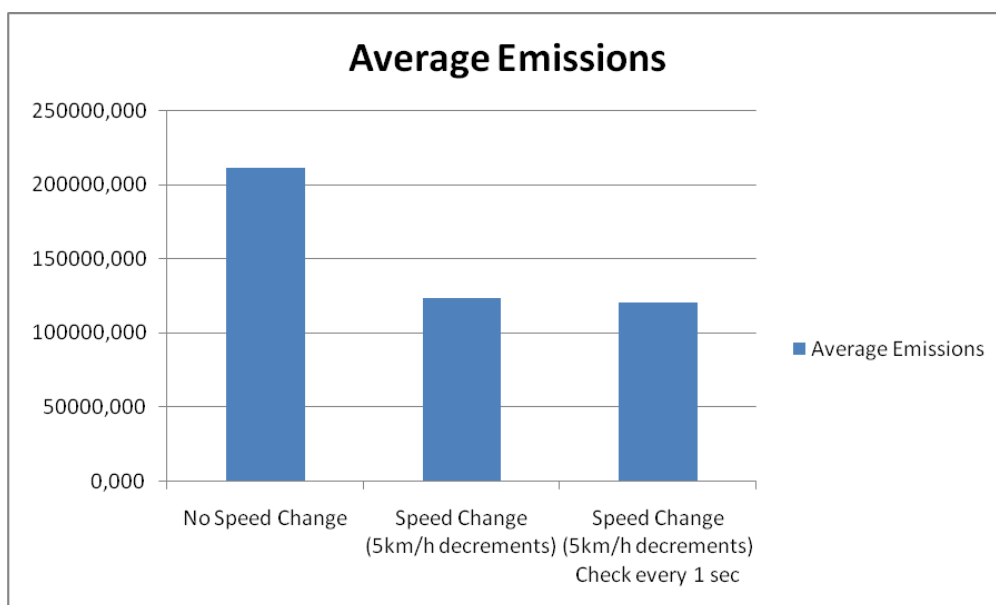
Διαμορφώθηκε ο προσομοιωτής έτσι ώστε η αλλαγή της ταχύτητας να διεξάγεται κάθε 1 δευτερόλεπτο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 5.4 και συγκρίσεις με τα προηγούμενα σενάρια στις γραφικές παραστάσεις που φαίνονται στα σχήματα 5.5 και 5.6.

	No Speed Change	Speed Change (5km/h decrements)	Speed Change (5km/h decrements) Check every 1 sec
FC (fuel consumed)	308960,044	179638,458	174961,087
CO ₂	772400,109	449096,145	437402,718
CO	69033,339	42051,277	41243,630
HC	878,549	560,539	543,635
NO _x	2665,830	1523,120	1491,468
Average Emissions	211244,457	123307,770	120170,363

Πίνακας 5.4: Σύγκριση καυσίμων και εκπομπών ρύπων με τρία σενάρια: Χωρίς αλλαγή ταχύτητας – Με αλλαγή ταχύτητας χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο 2 – Με αλλαγή ταχύτητας χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο 2 αλλάζοντας την ταχύτητα κάθε 1 δευτερόλεπτο.



Σχήμα 5.5: Γραφική Παράσταση των καυσίμων που καταναλώνονται στα τρία σενάρια.



Σχήμα 5.6: Γραφική Παράσταση του μέσου όρου των εκπομπών ρύπων στα τρία σενάρια.

Παρατηρούμε μία πολύ μικρή μείωση στα καύσιμα και στην εκπομπή ρύπων, της τάξεως του 1%, μείωση η οποία δεν αποτελεί σημαντικό στοιχείο, καθ' ότι δεν μπορεί να αποδείξει την ανωτερότητα της διαμόρφωσης στο 3^ο σενάριο αφού είναι πάρα πολύ μικρή και μπορεί να οφείλεται στη συγκεκριμένη προσομοίωση.

Κεφάλαιο 6

Πειραματική Μελέτη

6.1 Εισαγωγή	63
6.2 Project OpenMoko και συσκευή Neo Freerunner	63
6.2.1 Εισαγωγή	63
6.2.2 Ανάπτυξη εφαρμογών στο περιβάλλον OpenMoko	64
6.2.3 Σύστημα επικοινωνίας ΦΣΤ ↔ Αυτοκινήτου	66

6.1 Εισαγωγή

Πέραν της μελέτης των δικτύων VANET και πιο συγκεκριμένα ευφυών εφαρμογών οι οποίες εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες του δικτύου, μέσω προσομοιωτών και εξαγωγή αποτελεσμάτων, επιβάλλεται και η πειραματική μελέτη σε πραγματικό περιβάλλον. Αυτό είναι ορθό να διεξάγεται ούτως ώστε να καθορίζεται κατά πόσο η εφαρμογή είναι βιώσιμη και παράγει ορθά και εύχρηστα αποτελέσματα εκτός του περιβάλλοντος προσομοίωσης.

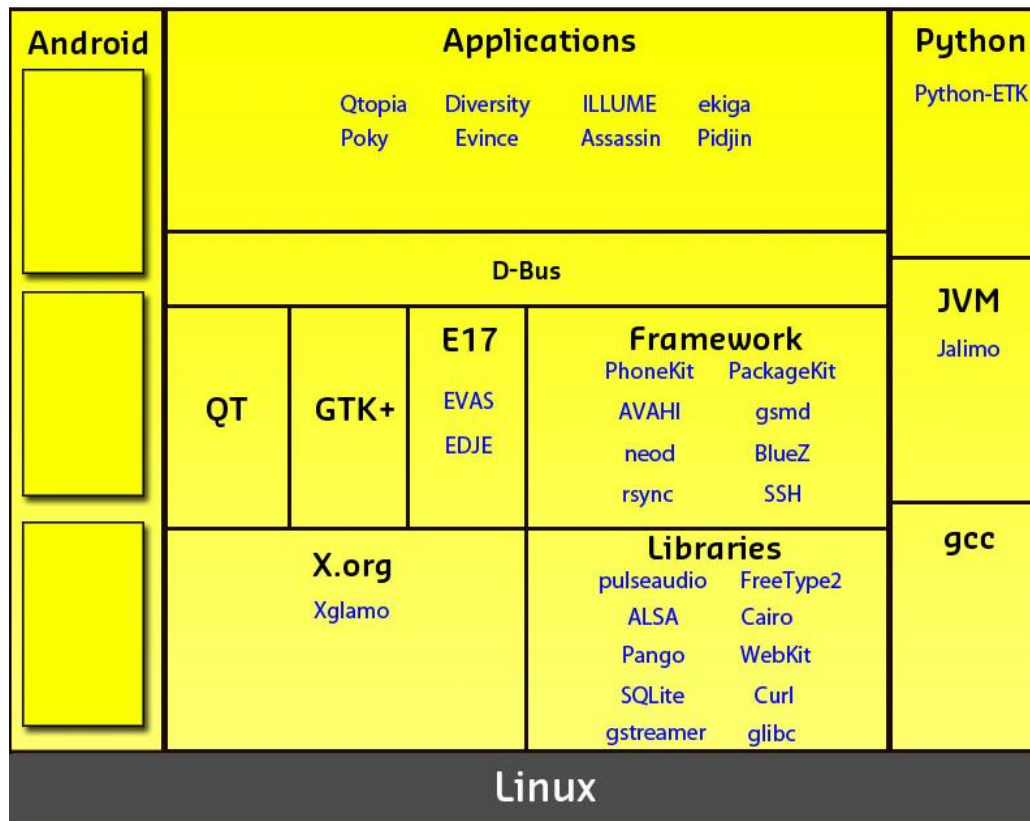
Αυτό που μελετάται βέβαια πειραματικά δεν είναι το δίκτυο αυτό καθ' αυτό αλλά η εφαρμογή, συνεπώς κατά την πειραματική μελέτη στην οποία εκ των πραγμάτων δεν υπάρχει η υποδομή δικτύου VANET αποφάσισα να χρησιμοποιήσω ένα συμβατικό δίκτυο LAN το οποίο λειτουργεί στο Πανεπιστήμιο Κύπρου. Το δίκτυο αυτό είναι ασύρματο, συνεπώς παρέχει τη δυνατότητα στην εφαρμογή να επικοινωνήσει όπως ακριβώς θα μπορούσε να επικοινωνήσει εν τη παρουσία ενός VANET.

6.2 Project OpenMoko και συσκευή Neo Freerunner

6.2.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη της εφαρμογής προσαρμογής της ταχύτητας αποφασίστηκε να γίνει στην κινητή συσκευή Neo Freerunner. Το project Openmoko έχει ως σκοπό τη δημιουργία κινητών τηλεφώνων με λογισμικό το οποίο είναι ανοικτού κώδικα. Αυτό σημαίνει ότι ο κώδικας του είναι ελεύθερος για χρήση και τροποποίηση από οποιονδήποτε. Αυτό που ουσιαστικά προσφέρει το πακέτο εφαρμογών Openmoko είναι το λειτουργικό σύστημα καθώς και διάφορες εφαρμογές. Κάθε συσκευή η οποία μπορεί να τρέξει το λειτουργικό σύστημα Linux είναι ικανή να τρέξει και το Openmoko. Ο λόγος για τον οποίο προτιμήθηκε η επιλογή του Openmoko και της συσκευής Neo Freerunner είναι ακριβώς επειδή η πλατφόρμα είναι πραγματικά ανοικτού κώδικα, τόσο όσο αφορά το λογισμικό όσο και στο υλισμικό. Επιπλέον, το λειτουργικό σύστημα Linux που χρησιμοποιεί είναι μια πραγματική μεταφορά του λειτουργικού συστήματος που χρησιμοποιείται και στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές γραφείου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.1, η πλατφόρμα λογισμικού Openmoko παρέχει υποστήριξη πολλών υπηρεσιών, οι οποίες τρέχουν πάνω

από το λειτουργικό σύστημα Linux. Πιο συγκεκριμένα παρέχονται υπηρεσίες πυρήνα όπως GPS daemon και υπηρεσία GSM για τηλεφωνία. Επιπλέον, παρέχονται εργαλεία διαχείρισης παραθύρων και γραφικής διαπροσωπείας χρήστη, όπως τα QT και GTK+ που υποστηρίζονται και από τις πιο διαδεδομένες διανομές του λειτουργικού συστήματος Linux.



Σχήμα 6.1: Πλατφόρμα λογισμικού Openmoko

6.2.2 Ανάπτυξη εφαρμογών στο περιβάλλον OpenMoko

Επιπλέον από το λειτουργικό σύστημα και την πλατφόρμα που παρέχει το Openmoko, η συσκευή Neo Freerunner υποστηρίζεται και από ορισμένες άλλες διανομές βασισμένες στο λειτουργικό σύστημα Linux, οι οποίες τροποποιήθηκαν από τους υποστηρικτές τους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τη συσκευή. Ορισμένες από τις πιο γνωστές είναι: Qt Extended, Debian, Google Android.

Έχω επιτυχώς εγκαταστήσει στη συσκευή το λειτουργικό σύστημα Qt Extended και το Google Android. Έχω επίσης εγκαταστήσει τον gcc compiler για την αρχιτεκτονική της συσκευής στον προσωπικό μου υπολογιστή και έχω δημιουργήσει απλές εφαρμογές στη γλώσσα προγραμματισμού C. Με την προϋπόθεση ότι ο πηγαίος κώδικας έχει μεταγλωττιστεί με τον σωστό compiler, οι εφαρμογές μπορούν να τρέξουν χωρίς επιπλέον αλλαγές στο λειτουργικό σύστημα του Openmoko. Η αρχική σκέψη ήταν να δημιουργηθεί εφαρμογή Java η οποία θα τρέχει στο λειτουργικό σύστημα Google Android. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της ιδέας ήταν ότι η Google παρέχει πολλά εργαλεία για την ανάπτυξη εφαρμογών στο Android καθώς και πολλά APIs τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανάπτυξη εξειδικευμένων εφαρμογών (π.χ. Google Maps API). Επιπλέον, παρέχεται και ένα σετ εργαλείων ανάπτυξης εφαρμογών για το Android (Google Android Software Development Kit) του οποίου υπάρχει υποστήριξη και μέσω ενός plugin για το Eclipse IDE, παρέχοντας έτσι τις δυνατότητες του Eclipse για την δημιουργία εφαρμογών για το Android. Διατίθεται επίσης και ένας μιμητής (emulator) της συσκευής ο οποίος διαθέτει όλα τα χαρακτηριστικά έτσι ώστε να ελέγχεται η εφαρμογή στον υπολογιστή προτού εγκατασταθεί στη συσκευή. Η εφαρμογή δεν δημιουργήθηκε για το Google Android λόγω κάποιων προβλημάτων συμβατότητας της συσκευής Neo Freerunner με το λειτουργικό σύστημα, προβλήματα όμως που μπορούν να λυθούν στο εγγύς μέλλον.

Μελετήθηκε η δυνατότητα εγκατάστασης κάποιου κατάλληλου Java Virtual Machine (JVM) στο λειτουργικό σύστημα της συσκευής. Ο λόγος που επέλεξα τη γλώσσα προγραμματισμού Java για την ανάπτυξη τέτοιου είδους εφαρμογής ήταν για το πλεονέκτημα που παρέχει η γλώσσα λόγω της φορητότητας της. Μπορεί δηλαδή η εφαρμογή που είναι γραμμένη σε Java να τρέξει σε οποιαδήποτε άλλη συσκευή η οποία διαθέτει Java Virtual Machine, χωρίς προβλήματα και χωρίς να χρειάζονται επιπλέον αλλαγές που ενδεχομένως να είχαν σχέση με τη διαφορετικότητα της αρχιτεκτονικής της συσκευής.

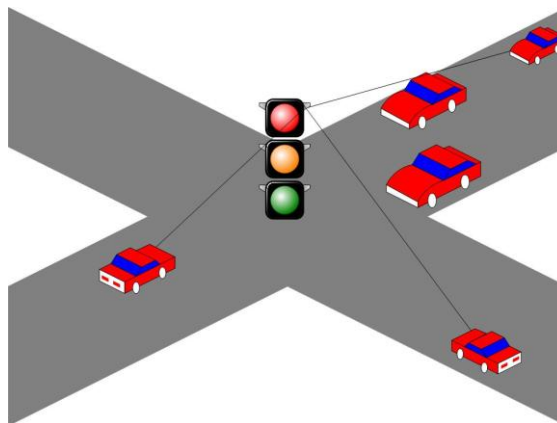
Το Jalimo είναι ένα project που ασχολείται με την ανάπτυξη και διατήρηση μίας πλήρους εξοπλισμένης στοίβας Java για κινητές συσκευές οι οποίες βασίζονται στο λειτουργικό σύστημα Linux. Μετά από αρκετή προσπάθεια εγκατέστησα επιτυχώς το Java Virtual Machine που παρέχεται από το Jalimo και μετά από έλεγχο

συνειδητοποίησα ότι είναι κατάλληλο για το είδος της εφαρμογής που έπρεπε να υλοποιήσω αφού παρέχει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον Java.

6.2.3 Σύστημα επικοινωνίας ΦΣΤ ↔ Αυτοκινήτου

Η εφαρμογή που ανέπτυξα για τη συσκευή Neo Freerunner και το λειτουργικό σύστημα του project Openmoko είναι μία απλή εφαρμογή για την προσαρμογή της ταχύτητας του αυτοκινήτου βασισμένη στα μηνύματα που λαμβάνονται από τον ΦΣΤ τον οποίο το αυτοκίνητο προσεγγίζει. Ουσιαστικά, η συσκευή Neo Freerunner αποτελεί το σύστημα που είναι εγκατεστημένο στο αυτοκίνητο, και το πρόγραμμα προσαρμογής της ταχύτητας είναι μέρος αυτού του συστήματος. Παράλληλα, ανέπτυξα μια εφαρμογή Java η οποία τρέχει στον ελεγκτή του ΦΣΤ. Η εφαρμογή αυτή είναι υπεύθυνη τόσο για τον χρονισμό του ΦΣΤ αλλά και για την αποστολή των κατάλληλων πληροφοριών για τα αυτοκίνητα.

Η επικοινωνία ΦΣΤ ↔ Αυτοκινήτου είναι αμφίδρομη, όπως ακριβώς συμβαίνει και με στον προσομοιωτή VNSim (Σχήμα 6.2). Το πρωτόκολλο επικοινωνίας των δύο είναι ακριβώς το ίδιο με του ίδιου τύπου μηνυμάτων να ανταλλάσσονται μεταξύ τους. Αυτή η πλήρης συμβατότητα των πραγματικών εφαρμογών με τον προσομοιωτή επιτρέπει την αλληλεπίδραση τους με αυτόν (με τις κατάλληλες βέβαια τροποποιήσεις) ώστε να επιτρέπεται η προσομοίωση δικτύου VANET με τη συμμετοχή και πραγματικών οχημάτων. Κάτι παρόμοιο διεξήχθηκε στο [7] με τον προσομοιωτή GrooveNet.



Σχήμα 6.2: Επικοινωνία ΦΣΤ ↔ Αυτοκινήτου

Οι δύο εφαρμογές είναι κτισμένες με βάση μια αρχιτεκτονική πελάτη/εξυπηρετητή (client/server architecture) με την εφαρμογή του ΦΣΤ να λειτουργεί ως εξυπηρετητής ο οποίος λαμβάνει μηνύματα από τα αυτοκίνητα και η εφαρμογή του αυτοκινήτου να λειτουργεί ως ο πελάτης ο οποίος στέλνει μηνύματα στον ΦΣΤ και λαμβάνει τις κατάλληλες πληροφορίες ως απάντηση. Η επικοινωνία γίνεται με το ασύρματο δίκτυο 802.11 και τα μηνύματα στέλνονται με το πρωτόκολλο TCP/IP.

Εφαρμογή αυτοκινήτου (client):

Όπως προαναφέρθηκε, η εφαρμογή αυτή τρέχει στην κινητή συσκευή Neo Freerunner και ουσιαστικά λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε να προειδοποιεί τον οδηγό για την ταχύτητα την οποία πρέπει να αναπτύξει το αυτοκίνητο του ώστε να επωφεληθεί της γνώσης του χρονισμού του ΦΣΤ.

Εφαρμογή ΦΣΤ (server):

Η εφαρμογή αυτή τρέχει σε έναν υπολογιστή, και αποτελεί το προτεινόμενο πρόγραμμα το οποίο θα τρέχει ο ελεγκτής του ΦΣΤ και που θα είναι υπεύθυνο όχι μόνο για τον χρονισμό αλλά και για την λήψη και αποστολή των κατάλληλων μηνυμάτων μέσω του δικτύου VANET. Εφ' όσο είναι κατ' ουσία ο εξυπηρετητής στο μοντέλο πελάτη/εξυπηρετητή, αυτό σημαίνει ότι μπορεί να εξυπηρετεί ταυτόχρονα πολλούς διαφορετικούς πελάτες. Για το σκοπό αυτό το πρόγραμμα εκμεταλλεύεται τον πολυνηματικό προγραμματιστικό στυλ που προσφέρει η γλώσσα προγραμματισμού Java. Στην ουσία, κάθε φορά που κάποιος πελάτης – αυτοκίνητο επιχειρήσει να συνδεθεί και να αποστείλει πληροφορίες, δημιουργείται ένα νήμα για την εξυπηρέτησή του. Με αυτό τον τρόπο εξυπηρετούνται όλα τα αυτοκίνητα ταυτόχρονα χωρίς προβλήματα. Προσφέρεται επιπλέον η επιλογή της λειτουργίας του ΦΣΤ χωρίς να επικοινωνεί με τα αυτοκίνητα, συνεπώς να μην είναι μέρος του δικτύου VANET.

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα

7.1 Συμπεράσματα	69
7.2 Μελλοντική Εργασία	70

7.1 Συμπεράσματα

Τα ευφυή συστήματα μεταφοράς είναι ένας τομέας έρευνας με συνεχή μελέτη και υπόκειται σε διαρκή βελτίωση. Το μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον που προκύπτει για τα VANETs και η τεχνολογία που αναδύεται μπορεί σε μεγάλο βαθμό να ενισχύσει και να υποβοηθήσει τα ευφυή συστήματα μεταφοράς.

Διεξήχθηκε εκτενής μελέτη κατάλληλων προσομοιωτών για προσομοίωση VANET. Μελετήθηκε σε μεγάλο βάθος ο επιλεγμένος προσομοιωτής, η αρχιτεκτονική και ο τρόπος λειτουργίας του. Τα συστήματα ελέγχου φωτεινών σηματοδοτών τροχαίας μπορούν να χρησιμοποιήσουν αποτελεσματικά και να εκμεταλλευτούν τα δίκτυα VANET όπως έχει αποδειχθεί στο [16]. Εφαρμόστηκε μία τακτική ρύθμισης της ταχύτητας των αυτοκινήτων βασισμένη στο χρονισμό του ΦΣΤ τον οποίο προσεγγίζει το αυτοκίνητο. Μελετήθηκαν αρκετά σενάρια για να προσδιοριστεί το καλύτερο δυνατό έτσι ώστε να μειώνονται τα καύσιμα και οι εκπομπές ρύπων στο μέγιστο.

Τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας δείχνουν ότι υπάρχει σαφής και σημαντική βελτίωση όσο αφορά στην κατανάλωση καυσίμων αλλά και στη μείωση της έκλυσης ρύπων. Συγκεκριμένα, υπάρχει μείωση της τάξης του 40%. Συνεπώς το σύστημα λειτουργεί αποτελεσματικά.

Επιπρόσθετα, κάτι που δεν μελετήθηκε εις βάθος είναι η ασφάλεια στους δρόμους. Αυτό που μπορούμε να συμπεράνουμε αλλά και που σαφώς απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση είναι το ότι με την πρόταση για ρύθμιση της ταχύτητας του αυτοκινήτου αναλόγως του χρονισμού του ΦΣΤ, αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό η ασφάλεια, αφού ο κάθε οδηγός είναι κατάλληλα προετοιμασμένος και βρίσκεται σε εγρήγορση γνωρίζοντας επακριβώς το χρόνο για το κόκκινο ή πράσινο φανάρι αλλά και την ταχύτητα που θα πρέπει να αναπτύξει.

Μελετήθηκε το περιβάλλον Openmoko και η κινητή συσκευή Neo Freerunner που είναι και τα δύο ανοικτού κώδικα. Δημιουργήθηκε μία εφαρμογή που τρέχει σε πραγματικό περιβάλλον και μπορεί να αποτελέσει την εφαρμογή η οποία πιθανώς να βρίσκεται στα μελλοντικά αυτοκίνητα. Επιπλέον δημιουργήθηκε εφαρμογή η οποία μπορεί να υπάρχει

εγκατεστημένη σε φωτεινούς σηματοδότες τροχαίας. Οι δύο εφαρμογές επικοινωνούν και ανταλλάζουν μηνύματα επιτυχώς.

7.2 Μελλοντική Εργασία

Η μελέτη των VANETs για χρήση τους σε ευφυή συστήματα μεταφοράς και συγκεκριμένα η μελέτη τους με γνώμονα τα ευφυή συστήματα ελέγχου φωτεινών σηματοδοτών τροχαίας είναι ένας τομέας που τώρα έχει αρχίσει να αναδύεται στην έρευνα. Τα πρώτα δείγματα, συμπεριλαμβανομένης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έχουν δείξει σαφή πλεονεκτήματα έναντι παραδοσιακών συστημάτων, τόσο όσον αφορά στην κατανάλωση καυσίμων όσο και στην αύξηση της ασφάλειας στις διασταυρώσεις και κατ' επέκταση στο δρόμο. Αυτό που επιβάλλεται να γίνει είναι η συνεχής και η ακατάπαυστη έρευνα γύρω από την περιοχή αυτή για εξαγωγή καλύτερων και πιο τεκμηριωμένων αποτελεσμάτων.

Ως μελλοντική εργασία, επιβάλλεται η περαιτέρω μελέτη του συστήματος που εισηγείται αυτή η διπλωματική εργασία. Θα πρέπει να ληφθούν και άλλοι παράγοντες υπ' όψη και εκτεταμένη μελέτη αυτών για μια πιο ολοκληρωμένη όψη και αποτελέσματα.

Μέχρι στιγμής, ο χρονισμός των ΦΣΤ γίνεται για έναν ΦΣΤ ξεχωριστά λαμβάνοντας υπ' όψη μόνο τα αυτοκίνητα που τον προσεγγίζουν. Ως μελλοντικός στόχος θα μπορούσε να ήταν η μελέτη πιθανής επικοινωνίας μέσω των ΦΣΤ όλου του δικτύου ή απλά των κοντινών ΦΣΤ έτσι ώστε να υπάρχει συντονισμός μεταξύ τους. Με αυτό τον τρόπο, θα μπορούσε να μελετηθεί το δίκτυο και η συμπεριφορά του πιο σφαιρικά, και όχι απομονώνοντας τους ΦΣΤ.

Επιπλέον, μπορεί να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα που θα λειτουργεί στο αυτοκίνητο, θα λαμβάνει πληροφορίες μέσω του GPS (Global Positioning System) συνεπώς θα ξέρει ανά πάσα στιγμή την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται αλλά και την ταχύτητα του αυτοκινήτου. Με αυτό τον τρόπο θα μπορεί να διεξαχθεί μία πλήρης πειραματική μελέτη. Επιπρόσθετα, τέτοιου είδους συστήματα θα μπορούσαν να ενοποιηθούν με τον προσομοιωτή, καθιστώντας έτσι ένα υβριδικό σύστημα

προσομοίωσης που προσομοιώνει ένα δίκτυο στο οποίο λαμβάνουν μέρος όχι μόνο αυτοκίνητα και κόμβοι τεχνητοί, αλλά και πραγματικοί. Αυτό συνεπάγεται πιο ολοκληρωμένη μελέτη που λαμβάνει υπ' όψη και τον πραγματικό κόσμο.

Βιβλιογραφία

- [1] Mihail L. Sichitiu and Maria Kihl, “Inter-Vehicle Communication Systems: A survey”, IEEE Communications Surveys, vol 10, no. 2, 2008.
- [2] Enrique Alba, Sebastian Luna, and Jamal Toutouh, “Accuracy and Efficiency in Simulating VANETs”, Modeling and Optimization in Information Systems and Management Sciences, 568-578, 2008.
- [3] M. Sanchez and P. Manzoni. “A java-based ad hoc networks simulator”, In Proceedings of the SCS Western Multiconference Web-based Simulation Track, Jan. 1999.
- [4] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies: “Survey of Mobility Models”, Wireless Communication & Mobile Computing (WCMC): Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications, vol. 2, no. 5, pp. 483-502, 2002.
- [5] Atulya Mahajan, Niranjana Potnis, Kartik Gopalan and An-I A. Wang, “Urban Mobility Models for VANETs”, In Proc. of 2nd Workshop on Next Generation Wireless Networks, 2006.
- [6] M. Piorkowski, M. Raya, A. Lugo, P. Papadimitratos, M. Grossglauser, and J.-P. Hubaux, “TraNS: Realistic Joint Traffic and Network Simulator for VANETs”, ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, vol. 12, no. 1, pp. 31-33, 2008.
- [7] R. Mangharam, D. Weller, D. Stancil, R. Rajkumar and J. Parikh “GrooveSim: a topography-accurate simulator for geographic routing in vehicular networks”, VANET’05, 2005.

- [8] G. Gorgorin, V. Gradinescu, R. Diaconescu, V. Cristea and L. Iftode. "An Integrated Vehicular and Network Simulator for Vehicular Ad-Hoc Networks", In Proceedings of the 20th European Simulation and Modeling Conference, October 2006.
- [9] N.A. Chaudhary, V.G. Kovvali, S.M. Alam. "Guidelines for Selecting Signal Timing Software", Product 0-4020-P2. Texas Transportation Institute, College Station, TX. September 2002.
- [10] Federal Highway Administration, "Traffic Control Systems Handbook", Washington, D.C., October 2005.
- [11] Department for Transport, "The "SCOOT" Urban Traffic Control System Traffic Advisory Leaflet 04/95", UK, 1995.
- [12] Mirchandani, Pitu B. and K.L. Head, "RHODES: A Real-Time Traffic Signal Control System: Architecture, Algorithms and Analysis", in Transportation Research: Part B, 2001.
- [13] TRANSYT 7F User's Guide. "Methodology for Optimizing Signal Timing: MOST", Volume 4. University of Florida, Gainesville, Florida, March 1998.
- [14] Husch, D., and J. Albeck. "Synchro 4.0 User Guide", Albany, California, 1999.
- [15] Rao, C.S., "Environmental pollution control engineering", Wiley Eastern Limited, New Delhi, India, 1991.
- [16] L. Iftode et al, "Adaptive Traffic Lights Using Car-to-Car Communication", VTC, 2007.
- [17] Cheng, D., Messer, C., Tian, Z., and Liu, J. "Modification of Webster's Minimum Delay Cycle Length Equations", HCM, 2000.

- [18] Kristie Young and Michael A. Regan, “Intelligent speed adaptation: A review”, RS2002 Conference, 2002.
- [19] R.Wiedemann, “Modeling of RTI-Elements on multi-lane roads”. In: Advanced Telematics in Road Transport edited by the Commission of the European Community, DG XIII, Brussels (1991).
- [20] Akcelik R., Besley M. 2003. “Operating cost, fuel consumption, and emission models in aaSIDRA and aaMotion”, 25th Conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITR 2003).
- [21] Pitu Mirchandani and Larry Head, “RHODES Traffic Adaptive Control Systems”, Workshop on Adaptive Signal Control Systems TRB Meeting, 2001.
- [22] T. Nadeem, S. Dashtinezhad, C. Liao and L. Iftode, “TrafficView: Traffic Data Dissemination Using Car-to-Car Communication”, ACM Sigmobile Mobile Computing and Communications Review, Special Issue on Mobile Data Management, Vol 8, Issue 3, pp 6-19, July 2004.
- [23] Daniel Krajzewicz, Elmar Brockfeld, Jürgen Mikat, Julia Ringel, Christian Rössel, Wolfram Tuchscheerer, Peter Wagner, Richard Wösler, “Simulation of modern Traffic Lights Control Systems using the open source Traffic Simulation SUMO”, 3rd Industrial Simulation Conference, Berlin, Germany, 2005.
- [24] Lynn Jepsen, “Learning Traffic Light Simulation”, Thomas Jefferson High School for Science and Technology, Computer Systems Lab, 2007.
- [25] Marco Wiering, Jelle van Veenen, Jilles Vreeken, and Arne Koopman, “Intelligent Traffic Light Control”, Institute of information and computing sciences, Utrecht University, technical report UU-CS-2004-029, 2004.

- [26] T. Kalganova, G. Russell, A. Cumming (1999). "Multiple Traffic Signal Control Using A Genetic Algorithm", Proceedings of the Fourth International Conference on Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms (ICANNGA '99). Portoroz, Slovenia.
- [27] Carlos Gershenson, "Self-Organizing Traffic Lights", *Complex Systems* 16(1): 29-53, 2005.
- [28] Energy and Transportation Sectors Division Office of Policy U.S. Environmental Protection Agency, "Assessing the Emissions and Fuel Consumption Impacts of Intelligent Transportation Systems", 1998.
- [29] US Census Bureau Tiger webpage, files <http://www.census.gov/geo/www/tiger>
- [30] David Choffnes and Fabián E. Bustamante. "STRAW - An Integrated Mobility and Traffic Model for VANETs", In Proc. of the 10th International Command and Control Research and Technology Symposium (CCRTS), June 2005.
- [31] El-Shawarby I., Rakha H., Inman V. and Davis G., "Effect of Yellow-Phase Trigger on Driver Behavior at High-Speed Signalized Intersections", Intelligent Transportation Systems Conference, 2006.
- [32] VISSIM Traffic Simulator, <http://www.ptvag.com/traffic/software-system-solutions/vissim/>
(Last day accessed: 28/05/2009)
- [33] The network simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
(Last day accessed: 28/05/2009)
- [34] JiST/SWANS Simulator, <http://jist.ece.cornell.edu/>
(Last day accessed: 28/05/2009)
- [35] OPNET Simulator, <http://www.opnet.com/>
(Last day accessed: 28/05/2009)

- [36] Centre for Applied Informatics (ZAIK), Institute of Transport Research, German Aerospace Centre, SUMO – simulation of urban mobility, <http://sumo.sourceforge.net/>
(Last day accessed: 28/05/2009)
- [37] CORSIM Simulator, <http://mctrans.ce.ufl.edu/featured/tis/Version5/corsim.htm>
(Last day accessed: 28/05/2009)

