

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ / ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ.....	4
2.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ.....	4
2.2 ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ.....	5
2.3 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ.....	6
2.4 Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ.....	7
2.5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ.....	8
2.6 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΙΘΑΝΟΥ ΜΟΝΟΠΑΤΙΟΥ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ / ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ.....	12
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	12
3.2 ΚΕΝΤΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ.....	21
3.3 ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΤΙΣ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΧΩΡΕΣ.....	22
3.4 ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	26
3.5 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	29
3.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ- ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	35
3	7
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	44
3.8 ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΥΠΟΔΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	50
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	51
4.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗΣ ΘΕΩΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟ.....	51
4.2 ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	52
4.3 ΤΑ TURNING RATES.....	52
4.4 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ.....	53
4.5 ΟΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ.....	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ.....	57
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ.....	57
5.2 ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	58
5.3 Η ΘΘΟΝΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	62
5.4 Η ΚΥΡΙΑ ΜΗΧΑΝΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ – SIMULATION MAIN ENGINE - ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	91
6.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	91
6.2 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	92
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	94

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Οι μεταφορές στην πόλη αντιπροσωπεύουν σήμερα το πιο σημαντικό τμήμα της κινητικότητας (mobility) των πολιτών. Περισσότερο από τα τέσσερα πέμπτα του πληθυσμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης διαμένει σε αστικές περιοχές. Η αύξηση της χρήσης του ιδιωτικού αυτοκινήτου από τους Ευρωπαίους πολίτες, συνοδεύτηκε από την εμφάνιση περιβαλλοντικών προβλημάτων, προβλημάτων ασφάλειας και από τις μετέπειτα τάσεις για χαμηλές επενδύσεις στα μέσα μαζικής μεταφοράς από τις κυβερνήσεις των Ευρωπαϊκών χωρών.

Εξαιτίας των παραπάνω, τα τελευταία χρόνια, σημαντικά ποσά δαπανώνται σε Ευρωπαϊκό αλλά και παγκόσμιο επίπεδο για την ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας και μεθόδων συλλογής δεδομένων που θα αξιοποιηθούν σε εφαρμογές με σκοπό την βελτίωση της κινητικότητας των πολιτών αλλά και την μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και την προστασία του περιβάλλοντος. Παράλληλα, τόσο η Ευρώπη όσο και οι ΗΠΑ και η Ιαπωνία, χρηματοδοτούν μέσω ερευνητικών κυρίως προγραμμάτων, δράσεις για την αξιοποίηση υποδομής πληροφορικής και επικοινωνίας στα οχήματα (ICT- information and communication technologies) παράλληλα με το κατάλληλο νομοθετικό πλαίσιο που τις υποστηρίζει.

Η ανάπτυξη μεθόδων εκτίμησης της κυκλοφορίας έχει διπλό σκοπό. Απο την μία την υλοποίηση συστημάτων τα οποία θα αποτελούν αποτελεσματικά εργαλεία διαχείρισης του οδικού δικτύου απο τους αρμόδιους φορείς ενώ παράλληλα θα παρέχουν στον απλό χρήστη του δικτύου πληροφορίες για μια πιο αποτελεσματική πλοήγηση.

Τα συστήματα αυτά βασίζονται τόσο σε μικροσκοπικά όσο και σε μακροσκοπικά μοντέλα προσέγγισης ενώ παράλληλα μπορούν να «εκπαιδευτούν» με χρήση πραγματικών δεδομένων κυκλοφορίας. Η συλλογή των μετρήσεων για τα συστήματα αυτά γίνεται είτε με αισθητήρες οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι σε συγκεκριμένα στατικά σημεία του οδικού δικτύου (φωρατές), είτε με χρήση αισθητήρων οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι σε οχήματα (FCDs).

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ανάπτυξη ενός λογισμικού (software) το οποίο απο την μία θα πραγματοποιεί εκτιμήσεις των κυκλοφοριακών συνθηκών ενός οδικού δικτύου ενώ παράλληλα θα «εκπαιδεύεται» με βάση πραγματικά δεδομένα τα οποία θα λαμβάνει απο τους αισθητήρες που περιγράφησαν παραπάνω. Οι γενικές απαιτήσεις γι αυτό το λογισμικό είναι να χρησιμοποιεί ένα όσο το δυνατό καλύτερο μαθηματικό μοντέλο περιγραφής του δικτύου, να είναι user friendly, επεκτάσιμο, αξιόπιστο και παραμετροποιήσιμο.

Στα κεφάλαια 2 και 3 θα γίνει μία επισκόπηση των υπάρχοντων μεθόδων, στο κεφάλαιο 4 η παρουσίαση του προτεινόμενου μαθηματικού μοντέλου που πρόκειται να υλοποιηθεί, στο κεφάλαιο 5 η αναλυτική περιγραφή του λογισμικού και τέλος στο 6 μία γενική περιγραφή του οδικού δικτύου στο οποίο έγινε η εφαρμογή.

Κεφάλαιο 2: Το πρόβλημα της εκτίμησης / πρόβλεψης κυκλοφοριακών συνθηκών

2.1 Ορισμοί και προσεγγίσεις

Οδική κυκλοφορία είναι η μετακίνηση μηχανοκίνητων και μη οχημάτων καθώς και πεζών κατα μήκος των δρόμων. Η μετακίνηση αυτή υπάγεται (ή τουλάχιστον γίνεται προσπάθεια να υπάγεται) σε ένα σύνολο κανόνων που συνιστούν τον Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας. Πέρα από τον ΚΟΚ ο οποίος αποτελεί την καθαρά νομοθετική συνιστώσα των νόμων που διέπουν την κίνηση των οχημάτων, υπάρχουν και άγραφοι κανόνες οι οποίοι επιτρέπουν την πιο εύκολη κι ανώδυνη εξυπηρέτηση των χρηστών του εκάστοτε δικτύου.

Ως κυκλοφοριακό πρόβλημα θα μπορούσαμε να ορίσουμε την προβληματική κινητικότητα οχημάτων σε ένα οδικό δίκτυο που έχει ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της προσβασιμότητας στα διάφορα σημεία του.

Αίτια του κυκλοφοριακού προβλήματος είναι ο φόρτος του δικτύου, η αστοχία ενός ή περισσότερων στοιχείων του (κεντρικός δρόμος, λανθασμένη σηματοδότηση κτλ) ή η λανθασμένη χρήση του από τους οδηγούς.

Παλαιότερα το κυκλοφοριακό υφίστατο ως ένα καθαρά πρόβλημα πολεοδομίας, επικεντρωμένο στο κατασκευαστικό κομμάτι του εκάστοτε δρόμου. Ο μελετητής δεν χρειαζόταν να λάβει υπόψη του έννοιες όπως ο φόρτος δικτύου, τα σενάρια ζήτησης και οι μέσες ροές οχημάτων αφού η χρήση του ΙΧ ήταν περιορισμένη και δεν τίθετο θέμα βελτιστοποίησης της κυκλοφορίας, παρα μόνο παροχή των στοιχειωδών δομών για την πραγματοποίηση της.

Η σύγχρονη μελέτη λαμβάνει υπόψη της μία μεγάλη γκάμα μαθηματικών θεωρημάτων κι εργαλείων, όπως την Ρευστομηχανική ή την Θεωρία Γράφων και Δικτύων. Με την δεύτερη προσέγγιση που αναφέραμε το σύνολο του οδικού δικτύου θεωρείται ένα μαθηματικό γράφημα, ο κάθε επιμέρους δρόμος ένα τόξο, οι διασταυρώσεις κόμβος κτλ. Παράλληλα, το κάθε ένα από αυτά τα δομικά στοιχεία έχει τα δικά του μοναδικά χαρακτηριστικά που περιγράφουν την ευκολία (ή δυσκολία) μετακίνησης κατα μήκος του και μεταφράζονται κατα την Θεωρία Γράφων στα αντίστοιχα κόστη. Ακόμη, η σύγχρονη μελέτη των κυκλοφοριακών συνθηκών θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη της και φαινόμενα από την Θεωρία του Χάους, όπως για παράδειγμα το «φαινόμενο της πεταλούδας», όπου η δυσλειτουργία ενός απειροελάχιστου κομματιού του δικτύου (πχ σύγκρουση 2 οχημάτων) μπορεί αλυσιδωτά να οδηγήσει στην αστοχία ολόκληρου του συστήματος.

Η μαθηματική προσέγγιση του κυκλοφοριακού μπορεί να είναι μία συστηματική μέθοδος για την καλύτερη κατανόηση των κυκλοφοριακών συνθηκών, αλλά παρουσιάζει πάρα πολλές δυσκολίες στην άμεση εφαρμογή της. Αυτό γιατί τα

κυκλοφοριακά φαινόμενα είναι περίπλοκα και μη-γραμμικά, ενώ εξαρτώνται από τις αλληλεπιδράσεις ενός μεγάλου αριθμού επιμέρους οχημάτων. Επιπλέον, η μακροσκοπική συμπεριφορά του οδικού δικτύου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από παράγοντες της ανθρώπινης συμπεριφοράς, πράγμα δεν επιτρέπει την άμεση εφαρμογή των κανόνων της ρευστομηχανικής για τον υπολογισμό μεταβλητών όπως η ροή σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή, ή ο φόρτος κάποιου δρόμου σε διαχρονικό επίπεδο. Επιπλέον, ο παράγοντας της ανθρώπινης συμπεριφοράς δημιουργεί φαινόμενα όπως τα διαφορετικά σενάρια ζήτησης σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, ή ακόμη χειρότερα αυτά του «shock wave» όπου παράγουν ακαριαίες αυξομειώσεις στο δίκτυο.

2.2 Χρόνος μετάβασης

Ο χρόνος μετάβασης είναι η κυριότερη μεταβλητή που περιγράφει την αποτελεσματικότητα ενός οδικού δικτύου κι ορίζει το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την μεταφορά ενός οχήματος από ένα σημείο του δικτύου στον προορισμό του.

Η πληροφορία για τον χρόνο μετάβασης μπορεί να βρει εφαρμογή σε αρκετά πεδία. Από την σκοπιά του χρήστη, ο χρόνος μετάβασης βοηθά στην εξοικονόμηση χρόνου και βελτίωση μέσω της επιλογής διαδρομών πριν ή κατά την κυκλοφορία στο δίκτυο. Από την σκοπιά των logistics, η πληροφορία για χρόνους μετάβασης βοηθά στην βελτιστοποίηση δικτύων διανομής, μειώνοντας τα κόστη παράδοσης και βελτιώνοντας την ποιότητα υπηρεσιών. Από την σκοπιά των φορέων ρύθμισης της κυκλοφορίας, προσφέρει αποτελεσματικό έλεγχο και χειρισμό των συστημάτων πραγματοποίησης της.

Ο χρόνος μετάβασης μπορεί να προβλεφθεί μέσω διαφόρων μεθόδων που αφορούν την εισαγωγή δεδομένων για το πραγματικό σύστημα. Η ακριβής εκτίμηση του προσφέρει μειωμένα κόστη μεταφοράς μέσω της αποφυγής μπλοκαρισμένων σημείων του δικτύου και να αυξήσει την ποιότητα υπηρεσιών εμπορικών μεταφορών μέσω της παράδοσης τους εντός χρονικών πλαισίων. Γνωρίζοντας τον χρόνο μετάβασης σε ένα δίκτυο, δεν κάνουμε μόνο βραχυπρόθεσμο προγραμματισμό των τρέχοντων tasks, αλλά και μακροπρόθεσμο στρατηγικό σχεδιασμό.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι σε περιοχές με απλά (έως στατικά) κυκλοφοριακά φαινόμενα, ένα απλό μοντέλο προσομοίωσης αρκεί για να δώσει τις απαραίτητες πληροφορίες. Όμως, για δίκτυα τα οποία έχουν συνεχείς αλλαγές στις κυκλοφοριακές τους συνθήκες καθώς και δυναμικά σενάρια ζήτησης, η χρήση ενός μοντέλου πρόβλεψης είναι επιτακτική, γιατί ο χρόνος μετάβασης είναι μία ευμετάβλητη παράμετρος που όπως αναφέραμε και παραπάνω επηρεάζεται από πάρα πολλούς παράγοντες.

Με την πρόβλεψη λοιπόν του χρόνου μετάβασης να είναι η σημαντικότερη τάση σήμερα για βελτιστοποίηση της χρήσης του δικτύου τόσο απο μεμονωμένους εξυπηρετούντες όσο κι απο εταιρίες μεταφορών, η ανάγκη για ακριβείς κυκλοφοριακές πληροφορίες μετακυλείται απο την real-time γνώση σε αυτήν της εκ των προτέρων γνώσης, δηλαδή την πρόβλεψη.

Στην συνέχεια ακολουθεί μία ανασκόπηση τόσο των θεωρητικών μεθόδων όσο και των εφαρμογών πρόβλεψης του χρόνου μετάβασης και παρουσίαση ευρημάτων απο τα αποτελέσματα χρήσης αυτών των μεθόδων.

2.3 Μεταβλητές χρόνου μετάβασης

Στις μέρες μας, η πληροφορία για τον χρόνο μετάβασης παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στις μεταφορές και στα logistics κι έχει εφαρμοστεί σε διάφορα Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (Intelligent Transport Systems) όπως η πλοήγηση απο λογισμικό εντός οχήματος (in vehicle route guidance – RGS) καθώς και προηγμένα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας (Advanced Traffic Management Systems).

Παρ' όλα αυτά ο χρόνος μετάβασης εξαρτάται απο πάρα πολλούς παράγοντες. Έτσι, η ακριβής πρόβλεψη του είναι δύσκολη και χρειάζεται έναν πολύ μεγάλο όγκο κυκλοφοριακών δεδομένων. Η κατανόηση των παραγόντων που επιδρούν πάνω στον χρόνο μετάβασης είναι μεγάλης σημασίας για την βελτίωση της ακρίβειας πρόβλεψης.

Τα κύρια συστατικά ενός κυκλοφοριακού περιβάλλοντος είναι οι άνθρωποι, τα οχήματα καθώς και οι εγκαταστάσεις όπως δρόμοι και φανάρια. Οι πολλαπλοί παράγοντες που επιδρούν στο περιβάλλον αυτό επιρρεάζουν κατ' επέκταση και τον χρόνο μετάβασης. Για παράδειγμα, διαφορετικοί οδηγοί και διαφορετικοί τύποι δρόμων δημιουργούν πάρα πολύ μεγάλες αποκλίσεις στα εκτιμώμενα αποτελέσματα ενώ παράλληλα διαφορετικά οχήματα στον ίδιο δρόμο και το ίδιο χρονικό διάστημα μπορεί να παρουσιάζουν διαφορετικές ταχύτητες.

Κύρια συνιστώσα του χρόνου μετάβασης είναι η ταχύτητα ενός οχήματος κατα την ελεύθερη ροή του σε έναν δρόμο. Παρ' όλα αυτά, η ταχύτητα αυτή κατα μήκος μίας κύριας οδικής αρτηρίας επιρρεάζεται σε κρίσιμο βαθμό τόσο απο την γεωμετρία του δρόμου όσο κι απο τους χρόνους των φαναριών. Άλλοι σημαντικοί παράγοντες μεταβολής του χρόνου μετάβασης είναι τα διαφορετικά σενάρια κυκλοφορίας (μέρα αργίας, ώρες καταστημάτων κτλ), πολεοδομικές αστοχίες, συντονισμός απο φορείς της Τροχαίας και φυσικά καιρικές συνθήκες.

Προφανώς όσο μεγαλύτερος είναι ο χρονικός ορίζοντας της πρόβλεψης τόσο μεγαλύτερο είναι το περιθώριο σφάλματος των αποτελεσμάτων. Η υοθέτηση συγκεκριμένων μεταβλητών για πρόβλεψη θα καθορίσουν την αποτελεσματικότητα κι ακρίβεια του μοντέλου.

2.4 Η μέτρηση του χρόνου μετάβασης

Ο χρόνος μετάβασης μπορεί να καταγραφεί με μία πλειάδα μεθόδων. Ένας μεμονωμένος χρήστης του δικτύου μπορεί να καταγράψει τον χρόνο του με ένα απλό χρονόμετρο. Άλλες μέθοδοι είναι μέσω διοδίων, κάμερας που αναγνωρίζει τις πινακίδες ή εσωτερικός πομπός του αυτοκινήτου.

Γενικά οι μέθοδοι μέτρησης μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες:

1. Καταγραφή οχήματος από στατικά παρατηρητήρια διασκορπισμένα σε όλο το οδικό δίκτυο
2. Μεταφερόμενα συστήματα καταγραφής

Στην πρώτη κατηγορία εμπίπτουν οι μέθοδοι ταυτοποίησης πινακίδας κυκλοφορίας, απομακρυνσμένη ή έμμεση καταγραφή όπως και μέθοδοι εισόδου-εξόδου. Η υποδομή του συστήματος αυτού είναι συνήθως πομποδέκτες εγκατεστημένοι στους δρόμους, κάμερες κτλ. Στην δεύτερη κατηγορία, εμπίπτουν τα συστήματα τα οποία είναι εγκατεστημένα στο ίδιο το όχημα.

Ακολουθεί αναλυτική επισκόπηση στις επόμενες παραγράφους για το κάθε ένα ξεχωριστά.

2.4.1 Μέτρηση από στατικά παρατηρητήρια

Η ταυτοποίηση πινακίδας κυκλοφορίας είναι η συλλογή της συμβολοσειράς που ορίζει τον κωδικό του αυτοκινήτου και ταυτόχρονα χρόνους άφιξης σε διάφορα checkpoints ταυτοποιώντας την πινακίδα σε κάθε ένα από αυτά και μετρώντας τους ενδιάμεσους χρόνους μετάβασης. Σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε ότι ενώ παλιά η διαδικασία ταυτοποίησης μίας πινακίδας κυκλοφορίας ήταν μία πολύ χρονοβόρα κι επίπονη διαδικασία, με τις σημερινές αλγοριθμικές μεθόδους αναγνώρισης εικόνας μπορεί να γίνει αυτόματα και γρήγορα.

Πράγματι, έρευνες έχουν δείξει ότι η καταγραφή της κυκλοφορίας μέσω της αυτόματης αναγνώρισης οχήματος έχει μειώσει το σφάλμα πρόβλεψης κατά πενήντα τοις εκατό για προσομοίωση ενός τετάρτου της ώρας ενώ παράλληλα ο χρονικός ορίζοντας ακριβούς προσομοίωσης έχει ανέβει στην μισή ώρα, σε σχέση με απλές μεθόδους που λαμβάνουν υπόψη τους ιστορικά δεδομένα.

Μία άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται κυρίως από εταιρίες μεταφορών, είναι η χρήση πομπών οι οποίοι τοποθετούνται στα οχήματα (πχ λεωφορεία) και στέλνουν σήμα κάθε φορά που το όχημα περάσει από ένα συγκεκριμένο σημείο του δικτύου όπου είναι εγκατεστημένος ένας αντίστοιχος δέκτης.

Μέθοδος που θα παίξει πολύ σημαντικό ρόλο στο μέλλον είναι αυτή που εκμεταλλεύεται το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Έρευνα που έγινε στην Γαλλία το

2000 έδειξε ότι το 80% των οδηγών είχαν τουλάχιστον ένα κινητό τηλέφωνο στο όχημα τους. Εκτός από πληροφορίες για ένα μεμονωμένο όχημα, τα συστήματα αυτά μπορούν μέσω της πυκνότητας του σήματος σε κάθε δρόμο να δίνουν όλο το 24ώρο πληροφορίες για την χρήση του εκάστοτε δρόμου. Παρ' όλα αυτά, η μέθοδος δεν δίνει ακόμη ακριβή αποτελέσματα, λόγω του σφάλματος που εμπεριέχεται στον εντοπισμό ενός οχήματος μέσω των σημάτων κινητής τηλεφωνίας.

.2 Μετρήσεις από κινούμενα οχήματα

Οι μέθοδοι αυτοί έχουν ως κύριο εργαλείο ένα όχημα το οποίο είναι ειδικά εξοπλισμένο με υλικό το οποίο επιτρέπει την συλλογή κι εκπομπή κυκλοφοριακών δεδομένων κατά την κίνηση του στο οδικό δίκτυο.

Η απλούστατη υλοποίηση της μεθόδου είναι η χειροκίνητη συλλογή χρόνων μετάβασης από τον οδηγό του οχήματος μέσω ενός χρονομέτρου. Για καλύτερα αποτελέσματα γίνεται χρήση υπολογιστικών συστημάτων ακριβέστερης μέτρησης του χρόνου, όπως επίσης και χρήση GPS όπου μαρκάρει κάθε γεωγραφική θέση με έναν συγκεκριμένο χρόνο. Η υλοποίηση αυτή αποτελεί τον συνδυασμό GPS-GIS (Global Pointing System – Geographic Information System) και δίδει πολύ ακριβή αποτελέσματα.

Επέκταση της μεθόδου είναι η χρήση ομάδων από ανιχνευτικά οχήματα τα οποία δεν δίνουν πλέον μόνο κυκλοφοριακές μετρήσεις αλλά και συμπεριφορές, ενώ αν σε αυτό προστεθούν μετρήσεις από ταξί, λεωφορεία κτλ ο αναλυτής έχει στην διάθεση του ένα τεράστιο δείγμα από δεδομένα προς ανάλυση.

2.4.3 Άλλες μέθοδοι

Πέρα από τις παραπάνω, υπάρχουν κι άλλες μέθοδοι οι οποίες είτε βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο είτε δεν γίνεται ευρεία χρήση τους. Αυτές είναι η συλλογή μετρήσεων από δέκτες εντός των δρόμων, παρακολούθηση από ελικόπτερο κτλ.

2.5 Μεθοδολογίες εκτίμησης και πρόβλεψης του χρόνου μετάβασης

Προηγούμενες έρευνες παρουσίασαν πλειάδα μεθοδολογιών για την πρόβλεψη του χρόνου μετάβασης. Οι περισσότερες από τις συμβατικές τεχνικές εκτίμησης του χρόνου μετάβασης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο προσεγγίσεις: μέθοδοι παλινδρόμησης και μέθοδοι εκτίμησης μέσω χρονοσειρών. Επίσης, μπορεί να οριστεί και μία 3^η κατηγορία ως συνδυασμός των δύο παραπάνω, γνωστή κι ως σύντηξη δεδομένων (data fusion). Παρ' όλα αυτά, οι έρευνες έχουν δείξει ότι η αξιοπιστία των παραπάνω μεθόδων πλήττεται πιο πολύ από τον μηχανισμό των μεθοδολογιών που εφαρμόζεται, παρά τους γενικότερους παράγοντες που προκαλούν ασάφεια στο σύστημα που μελετάμε.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται μία γκάμα απο μεθοδολογιών πρόβλεψης που αναπτύχθηκαν ενώ παράλληλα αναφέρεται τόσο το μαθηματικό τους υπόβαθρο όσο και ο τύπος των δεδομένων τα οποία επεξεργάζονται.

2.5.1 Εκτίμηση με ιστορικά δεδομένα

Ο χρόνος μετάβασης μπορεί να εκτιμηθεί απο ιστορικά δεδομένα μέσω της ανάλυσης κυκλοφοριακών πληροφοριών που λαμβάνονται. Για παράδειγμα, τα κυκλοφοριακά δεδομένα όπως η ταχύτητα πλεύσεως ή η θέση ενός ανιχνευτικού οχήματος μπορούν να διασυνδεθούν με ιστορικά δεδομένα και στην συνέχεια με χρήση τεχνικών ασαφούς λογικής, τεχνητής νοημοσύνης κτλ να χτιστεί το μοντέλο πρόβλεψης.

Η παραπάνω τεχνικές σύμφωνα με πειράματα που έγιναν, προσφέρουν ιδιαίτερα ακριβή αποτελέσματα κυρίως για περιπτώσεις όπου στο δίκτυο δεν υπάρχει πολύ χαμηλή ταχύτητα οχημάτων ή μπουτλιαρίσματα στις ώρες αιχμής.

2.5.2 Εκτίμηση με μεθόδους Τεχνητής Νοημοσύνης

Τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence – AI) είναι ο τομέας που έχει ως σκοπό την δημιουργία ευφυών συστημάτων μέσω της κατανόησης της φυσικής νοημοσύνης. Στις μέρες μας, πολλά είδη τεχνικών έχουν εκτεταμένες εφαρμογές προσφέροντας καλύτερη ποιότητα ζωής. Ακόμη, η Τεχνητή Νοημοσύνη παρουσιάζει ιδιαίτερα μεγάλο ενδιαφέρον στον τομέα των μεταφορών. Με την δημιουργία της Επιστήμης των Υπολογιστών, η Τεχνητή Νοημοσύνη απέκτησε πλειάδα εφαρμογών οι οποίες αφορούν έμπειρα συστήματα, έξυπνα οχήματα και φυσικά τα Νευρωνικά Δίκτυα. Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks – ANN) αποτελούν εργαλείο στην μηχανική, στην επιστήμη της διοίκησης, στην ψυχολογία και φυσικά στον τομέα των μεταφορών όπου κι αποτελούν την κύρια εφαρμογή για την βελτίωση κυκλοφοριακών προβλημάτων.

Τα Νευρωνικά Δίκτυα είναι στατιστικά μοντέλα πραγματικών συστημάτων τα οποία κατασκευάζονται μέσω μέσων ρύθμισης κάποιων παραμέτρων. Αυτές οι παράμετροι μπορούν να οριστούν ως είσοδος σε κάποιο σετ τιμών, τις εξόδους. Η διαδικασία ρύθμισης αυτών των βαρών σε καλύτερες τιμές (εκπαίδευση) πραγματοποιείται με το πέρασμα κάποιων παραδειγμάτων εισόδων-εξόδων μέσω του μοντέλου και ρύθμιση των βαρών έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα ανάμεσα στο αποτέλεσμα που παράγει το δίκτυο και το πραγματικό. Όταν τα βάρη έχουν οριστεί καλώς, το μοντέλο πλέον μπορεί να παράγει απαντήσεις σε τιμές εισόδου οι οποίες δεν υπήρξαν στα αρχικά δεδομένα εισόδου.

Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου είναι αναγνώριση προτύπων, κατάταξη, εντοπισμός, προσαρμοστικό φιλτράρισμα, αναστροφή δεδομένων, καταγραφή στόχου, μοντελοποίηση, εκτίμηση κι εν τέλει πρόβλεψη.

Πολλές ερευνητικές μελέτες έχουν κάνει χρήση των παραπάνω μεθόδων για την πρόβλεψη του χρόνου μετάβασης με πολύ ελπιδοφόρα αποτελέσματα. Στο μέλλον με την βελτίωση της υπολογιστικής υποδομής καθώς και με την εκπαίδευση των ίδιων των μεθοδολογιών τα Νευρωνικά Δίκτυα εκτιμάται ότι θα δίνουν πάρα πολύ ακριβή αποτελέσματα και θα αποτελούν μία απο τις πιο αξιόπιστες λύσεις στην μελέτη των κυκλοφοριακών συνθηκών.

2.5.3 Στατιστικές μέθοδοι

Οι στατιστικές τεχνικές έχουν εφαρμοστεί σε εκτενή βαθμό στους τομείς της εκτίμησης, πρόβλεψης και μοντελοποίησης της συμπεριφοράς συστημάτων. Ουσιαστικά αποτελούν το βασικότερο εργαλείο πρόβλεψης που χρησιμοποιείται ανεξάρτητα με το ποιιά μεμονωμένη μέθοδος εφαρμόζεται. Δίνουν πολύ καλά αποτελέσματα για φυσιολογικές κυκλοφοριακές συνθήκες (εκτός ωρών αιχμής κτλ).

2.5.4 Περιορισμοί

Οι περιορισμοί των μεθόδων που αφορούν την εκτίμηση του χρόνου μετάβασης περιλαμβάνουν πόρους δεδομένων, την υποδομή συλλογής δεδομένων, τις μεθόδους πρόβλεψης καθώς και τις παρεμβολές του κυκλοφοριακού περιβάλλοντος. Οι παράγραφοι που ακολουθούν παρουσιάζουν κάποιες ιδέες κι οπτικές για περαιτέρω εμβάθυνση.

Απο την σκοπιά των πόρων δεδομένων, προηγούμενες έρευνες κατέδειξαν ότι οι περιορισμοί προέρχονται απο τον τύπο των δεδομένων που συλλέγεται απο το προς μελέτη δίκτυο. Επιπλέον, προχωρημένες τεχνικές μέτρησης μπορεί να είναι δυνατό να εφαρμοστούν σε κάποιες περιοχές του δικτύου λόγω μη ύπαρξης της ανάλογης υποδομής που να το υποστηρίζει. Παράλληλα, η κατασκευή των εν λόγω υποδομών (όπως για παράδειγμα το σύστημα αναγνώρισης πινακίδων κυκλοφορίας) μπορεί να είναι ιδιαίτερα απαιτητική τόσο σε χρόνο όσο και σε χρήμα.

Διάφοροι συνδυασμοί χρήσεω δεδομένων μπορεί να παρέχουν μία καλύτερη λύση για την μελέτη του χρόνου μετάβασης σε εφαρμογές πρόβλεψης, παρ' όλα αυτά η ιδέα περιορίζεται απο την υποδομή hardware που παρέχει τα κατάλληλα εργαλεία για την εξαγωγή δεδομένων μετρήσεων.

Όσον αφορά το πεδίο της έρευνας, οι μελέτες επικεντρώνονται κυρίως σε σχετικά απομονωμένες περιοχές, όπως για παράδειγμα εθνικές οδούς, γέφυρες και τούνελ λόγω των χαμηλών παρεμβολών που δημιουργούνται απο τα κυκλοφοριακά μπουτιλιαρίσματα. Για την επέκταση της εφαρμογής των μεθόδων υπολογισμού του χρόνου μετάβασης σε περιβάλλοντα όπως κύριες αρτηρίες, πρέπει να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο. Για παράδειγμα, τα φανάρια και οι διασταυρώσεις είναι οι κύριοι παράγοντες που επιδρούν αρνητικά στις μεθόδους πρόβλεψης του χρόνου μετάβασης. Σε πολλές εφαρμογές του παρελθόντος, κατα τον υπολογισμό του χρόνου μετάβασης δεν λαμβάνονταν οι περιοχές όπου είχαν διασταυρώσεις με φανάρια.

Ο τελευταίος περιορισμός της έρευνας για τον υπολογισμό του χρόνου μετάβασης είναι ο βαθμός ανάπτυξης του τομέα των logistics, ο οποίος κάνει ευρεία χρήση των εννοιών που εξετάζουμε για τον προγραμματισμό και σχεδιασμό των διαδρομών. Στις μέρες μας, το μεγαλύτερο κομμάτι της έρευνας για την πρόβλεψη και μοντελοποίηση κυκλοφορίας αναπτύσσεται από τον τομέα των μηχανικών συγκοινωνιών. Οι τεχνολογίες αιχμής λοιπόν που αναπτύσσονται στους εν λόγω οργανισμούς, επιρρεάζουν ιδιαίτερα θετικά το γενικότερο πεδίο της έρευνας.

2.6 Προσομοίωση πιθανού μονοπατιού μετάβασης

Η συγκεκριμένη παράγραφος παρουσιάζει μία εν δυνάμει επίλυση του προβλήματος εντοπισμού του χρόνου μετάβασης σε κυκλοφοριακά δίκτυα. Δεδομένης της ραγδαίας ανάπτυξης του υλικού των υπολογιστών, οι ερευνητές έχουν μία πολύ καλύτερη υποδομή προκειμένου να αναπτύξουν τεχνικές μοντελοποίησης και να επικεντρώσουν το ενδιαφέρον τους στην μελέτη πραγματικού χρόνου των γεγονότων που διαδραματίζονται κατά την προσομοίωση ενός σεναρίου κυκλοφορίας. Στην συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες τεχνικές προσομοίωσης καθώς και λογισμικό του τομέα της μελέτης των συγκοινωνιών.

Η προσομοίωση είναι ένα πολύτιμο εργαλείο του τομέα της υποστήριξης αποφάσεων, όσον αφορά τον σχεδιασμό και την εκτίμηση συγκοινωνιακών υποδομών ή συστημάτων. Η χρήση της προσομοίωσης στον τομέα των συγκοινωνιών έχει επεκταθεί από απλές εφαρμογές βελτιστοποίησης χρόνων φαναριών σε υπολογιστικά συστήματα μεγάλης κλίμακας που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό της συγκοινωνιακής στρατηγικής σε εθνικό επίπεδο. Η προσομοίωση της κυκλοφορίας παρέχει ένα εργαλείο αξιολόγησης των συγκοινωνιακών σχεδιασμών ή στρατηγικών χωρίς καταστροφικό έλεγχο υποδομών. Πράγματι, το 84% των χρηστών ανάλογου λογισμικού το έχουν χαρακτηρίσει άκρως απαραίτητο για τον σχεδιασμό κι αξιολόγηση εκ των προτέρων ενός οδικού δικτύου που πρόκειται να χτιστεί.

Η μοντελοποίηση έχει πάρα πολλά πλεονεκτήματα για την πρόβλεψη παραγόντων του άγνωστου μέλλοντος. Σήμερα, τόσο η υπολογιστική ισχύς όσο και οι τεχνικές τηλεπικοινωνιών έχουν ραγδαία εξέλιξη παρέχοντας μεγάλες ευκολίες στην ανάπτυξη τεχνικών μοντελοποίησης, οι οποίες πλέον γίνονται γρηγορότερες κι ακριβέστερες όσον αφορά τα αποτελέσματα τους. Έτσι, οι συγκοινωνιολόγοι ρίχνουν το βάρος της κατανόησης των κυκλοφοριακών φαινομένων στην δυναμική μοντελοποίηση, με πλήθος λογισμικού να έχει αναπτυχθεί κι εφαρμοστεί στους συγκεκριμένους τομείς.

Η μικρο-προσομοίωση είναι ένα χρήσιμο κι αξι�σέβαστο εργαλείο, που όπως μπορεί να οδηγήσει σε εντελώς λάθος αποτελέσματα στην περίπτωση που δεν πληρούνται οι προδιαγραφές χρήσεως του.

Η προσομοίωση καθ'εαυτή μπορεί να εντοπίσει την στατιστική υφή των χαρακτηριστικών ενός συστήματος ενώ παράλληλα σε σύγχρονες εφαρμογές τα κυκλοφοριακά δεδομένα προς έρευνα παράγονται από την ίδια την μηχανή

προσομοίωσης. Επιπλέον, έχει την δυνατότητα να εντοπίζει δομές σε ένα σύστημα πολλαπλών λειτουργιών.

Κατα την προσομοίωση κυκλοφοριακών φαινομένων, οι συγκοινωνιολόγοι χρησιμοποιούν τόσο μικροσκοπικές όσο και μακροσκοπικές μεθόδους για να παράγουν δεδομένα ανθρώπινης συμπεριφοράς του οδηγού, βελτιστοποίησης χρόνων φαναριών, σχεδιασμός δικτύων κτλ. Τόσο η αποτελεσματικότητα όσο και η ταχύτητα των συγκεκριμένων μεθόδων κάνουν την προσομοίωση μεταφορών έναν πολύ ελπιδοφόρο τομέα έρευνας για το μέλλον, του οποίου τα αποτελέσματα θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλους επιστημονικούς τομείς όπως οι τηλεπικοινωνίες, τα δίκτυα υπολογιστών κτλ.

Ακρογωνιαίος λίθος λοιπόν της ανάπτυξης ενός αποτελεσματικού συστήματος μελέτης των κυκλοφοριακών φαινομένων είναι η ενοποίηση των θεωριών της συγκοινωνιολογίας με τις τεχνικές προσομοίωσης.

Κεφάλαιο 3: Μέθοδοι πρόβλεψης / εκτίμησης κυκλοφοριακών συνθηκών

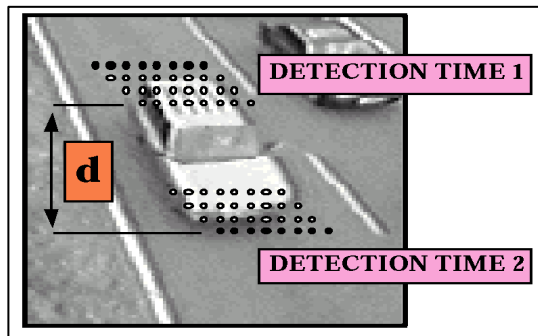
3.1 Γενικά

Στατικοί δέκτες όπως φωρατές, υπέργειοι ανιχνευτές υπερύθρων, συστήματα μικροκυμάτων κτλ χρησιμοποιούνται παραδοσιακά από τις Αρχές, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την κυκλοφορία και το οδικό δίκτυο, για να μετρήσουν την κυκλοφορία υπολογίζοντας τον αριθμό των οχημάτων και/ή την ταχύτητά τους καθώς αυτά περνούν από το σημείο όπου είναι εγκατεστημένος ο δέκτης. Αυτά τα κλασσικά συστήματα δεκτών δεν μπορούν να μετρήσουν χρόνους ταξιδιού εντός του οδικού δικτύου στο οποίο κινείται το όχημα, και χρησιμοποιούνται μόνο για να μετρήσουν

τον αριθμό των οχημάτων ανά μονάδα χρόνου σε μια συγκεκριμένη διασταύρωση ή σε ένα δρόμο.

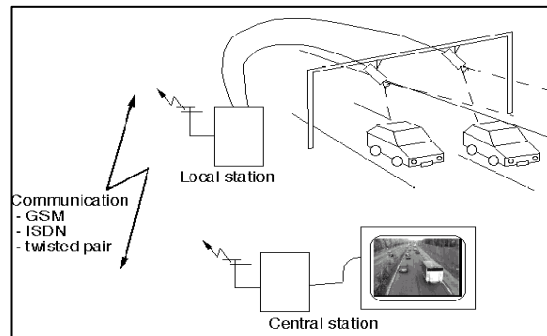
Εκτός από το υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης των υποδομών, αυτές οι μέθοδοι έχουν το μειονέκτημα της περιορισμένης ποιότητας πληροφοριών διότι η κυκλοφορία δεν μετράται στην ευρύτερη περιοχή που βρίσκεται ο δέκτης. Όσον αφορά στις διαταραχές της κυκλοφορίας, κάτι τέτοιο σημαίνει ότι χωρικά προσδιορισμένα κυκλοφοριακά προβλήματα, πιθανώς να εντοπιστούν, αλλά δεν θα εντοπιστεί ο δρόμος ο οποίος δημιούργησε το συγκεκριμένο πρόβλημα. Για να αποκτηθεί λοιπόν μία ευρύτερη εικόνα του περιβάλλοντος χώρου των δεκτών αυτών, αναπτύχθηκαν συστήματα βίντεο/ κάμερες (μερικά παρέχουν και δυνατότητα τηλεχειρισμού), τα οποία επιτρέπουν την παρακολούθηση κρίσιμων σημείων του οδικού δικτύου. Με τα συστήματα αυτά είναι δύσκολο να εφαρμοστεί αυτοματοποιημένη επεξεργασία και ειδικότερα εάν τα συστήματα ελέγχου της κυκλοφορίας συνδέονται μεταξύ τους, απαιτούνται πολύ υψηλά επίπεδα ασφάλειας και αξιοπιστίας. Επιπλέον, παραδοσιακά χρησιμοποιούνται οι παρατηρητές, συνήθως τροχονόμοι οι οποίοι μπορούν να μεταδίδουν προσωπική εκτίμηση για την κατάσταση της κυκλοφορίας (με εξαίρεση την κατάσταση “μποτιλιάρισμα”, η οποία αποτελεί αντικειμενική εκτίμηση) μέσω ασυρμάτου. Τέλος, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί τα συστήματα συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων τα οποία χρησιμοποιούν τα οχήματα ως δέκτες τα οποία μπορούν να καλύψουν μεγάλο τμήμα ή και το σύνολο του οδικού δικτύου.

Υπόγεια Φώραση



Φωρατές Επαγωγικού Βρόχου

Υπέργεια Φώραση



Κάμερες, Αισθητήρες Υπέρυθρης Ακτινοβολίας, Laser, Radar

Αναλυτικά, τα υπάρχοντα συστήματα για τη συλλογή κυκλοφοριακών δεδομένων χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

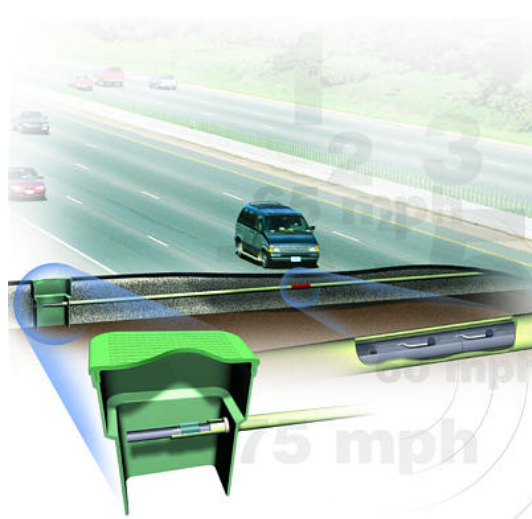
- α) Στατικοί Δέκτες** οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε σταθερές θέσεις. Οι φωρατές (επαγωγικοί βρόγχοι), οι ανιχνευτές Doppler, αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας, τα συστήματα μικροκυμάτων, laser, radar και οι οπτικοί δέκτες, ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Αξίζει να σημειωθεί ότι η πλειοψηφία των

συστημάτων ελέγχου και διαχείρισης της κυκλοφορίας χρησιμοποιούν φωρατές οι οποίοι θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα στη συνέχεια.

- β) **Κάμερες** οι οποίες είναι τοποθετημένες είτε σε σταθερές, είτε σε κινούμενες θέσεις, (π.χ. σε ελικόπτερα της αστυνομίας) και επιτρέπουν την παρατήρηση της κυκλοφορίας.
- γ) **Παρατηρητές** οι οποίοι βρίσκονται σε σταθερά σημεία στο δίκτυο ή κινούνται μέσα σε αυτό (π.χ. τροχονόμοι), υπεύθυνοι για την παρακολούθηση των κυκλοφοριακών συνθηκών και την ενημέρωση του συστήματος ελέγχου ή διαχείρισης, μέσω ασύρματης επικοινωνίας.
- δ) **Συστήματα “Συμπλεόντων Οχημάτων”** τα οποία χρησιμοποιούν οχήματα εφοδιασμένα με δέκτες προσδιορισμού της θέσης τους και επικοινωνίας με το Κέντρο τα οποία κινούνται στο οδικό δίκτυο.

α) Στατικοί Δέκτες – Φωρατές

Οι φωρατές, οι οποίοι είναι επαγωγικοί βρόχοι εγκαταστημένοι στο οδόστρωμα, παρέχουν τοπικές πληροφορίες κυκλοφοριακής ροής και κατάληψης. Πιο συγκεκριμένα, ο φωρατής είναι ένα ορθογώνιο πλαίσιο που τοποθετείται σε κάθε λωρίδα κυκλοφορίας. Με τη χρήση του φαινομένου της επαγωγής, ανιχνεύεται η παρουσία ενός οχήματος που περνά πάνω από τον φωρατή. Ο αριθμός των οχημάτων που περνούν από ένα συγκεκριμένο φωρατή, κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, δίνει τη κυκλοφοριακή ροή της συγκεκριμένης λωρίδας. Επίσης, μετρώντας το ποσοστό του χρόνου που ο φωρατής είναι κατειλημμένος λαμβάνουμε το ποσοστό κατάληψης του δρόμου. Τέλος, σε περιπτώσεις αυτοκινητοδρόμων, η εγκατάσταση δύο διαδοχικών φωρατών επιτρέπει την μέτρηση της ταχύτητας των διερχόμενων οχημάτων.



Οι μετρήσεις για την ύπαρξη ή το πέρασμα οχήματος που λαμβάνονται από τον φωρατή, δεν επαρκούν για τα περισσότερα μοντέρνα συστήματα διαχείρισης και ελέγχου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι στρατηγικές ελέγχου για να εφαρμοστούν, απαιτούν καλύτερες κυκλοφοριακές πληροφορίες όπως η κάλυψη του οδικού δικτύου (κατά τμήματα), η μέση ταχύτητα, η ροή της κυκλοφορίας κτλ και πιθανώς οι εκτιμώμενοι χρόνοι ταξιδιού. Για τον σκοπό αυτό, τα περισσότερα σύγχρονα συστήματα ελέγχου και διαχείρισης της κυκλοφορίας χρησιμοποιούν κατάλληλους αλγορίθμους οι οποίοι εκτιμούν την ροή, τους χρόνους ταξιδιού κτλ από τα δεδομένα των φωρατών.

Οι μετρήσεις που λαμβάνονται από τους φωρατές δεν είναι συνήθως ιδιαίτερα αξιόπιστες, εφ' όσον εξαρτώνται σημαντικά από το μήκος του οχήματος που βρίσκεται ή περνά πάνω από τον ανιχνευτή καθώς και από άλλους παράγοντες όπως η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, η ηλικία και το ποσοστό αποτυχίας του βρόγχου (στα περισσότερα συστήματα σχεδόν το 10% των φωρατών είναι κατά μέσο όρο εκτός

λειτουργίας). Επιπλέον, οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν τις μετρήσεις των φωρατών για να εκτιμήσουν την κάλυψη, τη ροή και τους χρόνους ταξιδιού, εξαρτώνται πολύ από τη θέση του βρόγχου (π.χ. στην περίπτωση που αυτός βρίσκεται πολύ κοντά στη γραμμή σήματος stop και η κυκλοφορία είναι μεγάλη, ο αλγόριθμος εκτιμά με δυσκολία τον αριθμό οχημάτων εντός του τμήματος του δρόμου, εφ' όσον ο βρόγχος είναι συνεχώς ενεργός). Επομένως οι εκτιμήσεις οι οποίες χρησιμοποιούν τα δεδομένα του φωρατή, στην συγκεκριμένη περίπτωση, δεν είναι ακριβείς.

Η πληροφορία που συλλέγεται από φωρατές μπορεί να χρησιμοποιηθεί από αλγόριθμους και συστήματα δυναμικής πλοήγησης οχημάτων.

β) Κάμερες

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν κάμερες, χρησιμεύουν κυρίως ως συστήματα παρακολούθησης της κυκλοφορίας, μη δυνάμενα μέχρι πριν λίγα χρόνια να παρέχουν ακριβείς κυκλοφοριακές μετρήσεις και εκτιμήσεις. Λειτουργούν με τη βοήθεια ανθρώπων-χειριστών, οι οποίοι μπορούν να αντλήσουν συνήθως μόνο ποιοτική πληροφορία σχετικά με τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Τα τελευταία χρόνια έχουν κατασκευασθεί κάμερες οι οποίες με το κατάλληλο λογισμικό μπορούν να εξάγουν αυτόματα μετρητικές παραμέτρους της κυκλοφορίας όπως ταχύτητα, αριθμό οχημάτων, κλπ ανάλογα με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιούν. Ακόμη εντοπίζουν τις λωρίδες κυκλοφορίας και σε αυτές χρησιμοποιούνται ειδικές τεχνικές όπως αυτόματης αναγνώρισης αντικειμένων και παρακολούθησης (automatic object recognition and tracking) ώστε να προσδιορισθούν οι κυκλοφοριακές συνθήκες.



Η πληροφορία που συλλέγεται από κάμερες μπορεί να χρησιμοποιηθεί από αλγόριθμους και συστήματα δυναμικής πλοήγησης οχημάτων.

Οι Κάμερες μπορούν επίσης να τοποθετηθούν σε κινούμενες πλατφόρμες (π.χ. ελικόπτερα, αεροπλάνα, αερόπλοια) και να παρέχουν αφενός ποιοτικές πληροφορίες για τις κυκλοφοριακές συνθήκες μέσω εποπτικών εικόνων και αφετέρου ποσοτικές μετρήσεις με τη χρήση κατάλληλου αλγορίθμου. Οι ειδικές δυσκολίες που παρουσιάζονται στην τελευταία περίπτωση αφορούν κυρίως τα σφάλμα που εισάγει στο σύστημα η κίνηση της πλατφόρμας η οποία μπορεί να μην είναι σταθερή. Σημαντική έρευνα εκπονείται σήμερα προς την κατεύθυνση αυτή.

γ) Παρατηρητές

Παρόμοια με τα συστήματα κάμερας, λειτουργούν και τα συστήματα που χρησιμοποιούν ανθρώπους- χειριστές οι οποίοι μπορεί να είναι για παράδειγμα τροχονόμοι ή οδηγοί οχημάτων οι οποίοι ενημερώνουν για την ύπαρξη μποτιλιαρίσματος ή για κάποιο ατύχημα στο οδικό δίκτυο. Χρησιμεύουν κυρίως ως συστήματα παρακολούθησης της κυκλοφορίας, παρέχοντας ποιοτική πληροφορία μη δυνάμενα να παρέχουν ακριβείς μετρήσεις και εκτιμήσεις.

ΕΙΚΟΝΑ

Η πληροφορία που συλλέγεται από παρατηρητές δεν μπορεί να αξιοποιηθεί από αλγορίθμους δυναμικής πλοήγησης οχημάτων, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί από απλούστερα συστήματα μη αυτοματοποιημένα με χρήση ανθρώπου και φωνής.

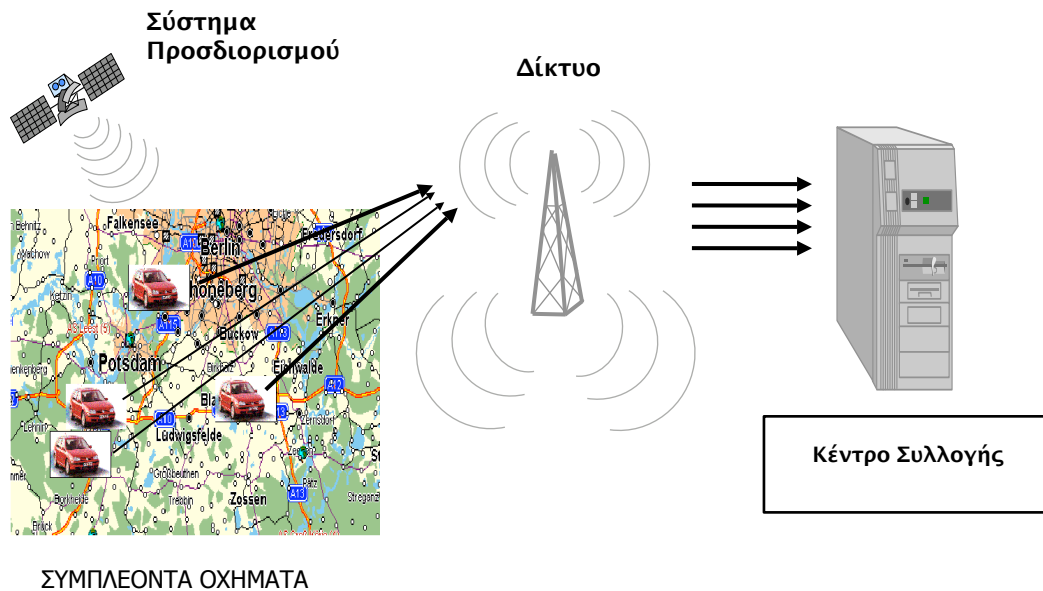
δ) Συμπλέοντα Οχήματα

Οι τεχνολογίες Συμπλεόντων Οχημάτων (FCD- Floating Car Data) εμφανίστηκαν αρχικά με σκοπό τη μελέτη της κυκλοφορίας όχι μόνο σε ένα συγκεκριμένο σημείο του οδικού δικτύου, αλλά και στον περιβάλλοντα χώρο. Αυτά τα συστήματα σχεδιάστηκαν κατά τρόπο ώστε να αποθηκεύουν τα μετρούμενα προφίλ ταξιδιού και ταχύτητας στο όχημα και να ανταλλάσσουν την πληροφορία με ένα εγκατεστημένο σταθερό δέκτη (uplink telegrams). Ο δέκτης συνδέεται με ένα κεντρικό γραφείο όπου όλα τα δεδομένα εισόδου (uplink data) συλλέγονται και αξιολογούνται ώστε να παρέχουν πληροφορίες για την κυκλοφορία και υπηρεσίες πλοήγησης πίσω στα ίδια τα Συμπλέοντα Οχήματα (downlink-telegrams). Αυτής της μορφής οι τεχνολογίες Συμπλεόντων Οχημάτων, ξεκίνησαν σε συνδυασμό με συστήματα υπέρυθρων ακτίνων τα οποία ήταν εγκατεστημένα στους φωτεινούς σηματοδότες και μέσω καλωδιακού δικτύου επικοινωνούν με το Κέντρο ελέγχου των φωτεινών σηματοδοτών. Η ιδέα ξεκίνησε γύρω στο 1980 και εφαρμόστηκε πρώτα στο πρόγραμμα “LISB”, το οποίο αργότερα ονομάστηκε Euro Scout. Αυτά τα πρώτα συστήματα ανίχνευσης μέτρησαν χρόνους ταξιδιού, αλλά εξακολουθούσαν να βασίζονται σε καλωδιακή υποδομή. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι παρόμοια συστήματα υπέρυθρων είναι εγκατεστημένα στην Ιαπωνία (Yokohama) και ότι συστήματα όπως αυτά που χρησιμοποιούνται από την εταιρεία Traffic Master στο Ηνωμένο Βασίλειο απαιτούν υποδομή υψηλού κόστους για να μετρήσουν χρόνους ταξιδιού σε περιορισμένα τμήματα του οδικού δικτύου.

Με σκοπό την αποφυγή των εγκαταστάσεων υποδομής υψηλού κόστους (π.χ. τις υπέρυθρες ακτίνες, η σημερινή προσέγγιση των Συμπλεόντων Οχημάτων χρησιμοποιεί αυστηρώς κινητές συσκευές στα οχήματα, χωρίς στατικό εξοπλισμό στο έδαφος. Αυτή η προσέγγιση ελέγχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του ‘90 στην Γερμανία, στην περιοχή του Rhein-Main με χρήση GPS για τον προσδιορισμό της θέσης του οχήματος και GSM για να εξασφαλίσει μια διπλής κατεύθυνσης επικοινωνία μεταξύ των Συμπλεόντων Οχημάτων και του κεντρικού γραφείου. Διάφορα ερευνητικά έργα και δοκιμές πεδίου (Socrates, Verdi κτλ) απέδειξαν τη δυνατότητα εντοπισμού της κυκλοφοριακής συμφόρησης σε αυτοκινητόδρομους με τη χρήση αλγορίθμων Συμπλεόντων Οχημάτων που βασίζονται σε τεχνολογίες GPS και GSM.

Άλλα έργα, ανέπτυξαν την έννοια ενός νέου είδους Συμπλεόντων Οχημάτων βασιζόμενα σε τεχνολογία GPS και GSM, τα οποία όμως εντοπίζουν διαταραχές στην κυκλοφορία όχι μόνο σε δρόμους τύπου αυτοκινητόδρομου, αλλά επίσης και σε αστικές περιοχές χρησιμοποιώντας νέους αλγόριθμους και πρωτόκολλα GSM. Ένα σύστημα αυτού του τύπου παρουσιάστηκε και ελέγχθηκε στη Γερμανία το 2001 και έχει σχεδιαστεί για τη συλλογή κυκλοφοριακών δεδομένων καθώς και για τον εντοπισμό κυκλοφοριακής συμφόρησης εντός των αστικών περιοχών. Αναφορικά με τα προηγούμενα, καινοτόμος όψη αποτελεί η εφαρμογή της τεχνολογίας των Συμπλεόντων Οχημάτων μέσα στις πόλεις όπου συχνά το σταμάτημα και το ξεκίνημα των οχημάτων αποτελεί διαδικασία που δεν οφείλεται απαραίτητα σε κυκλοφοριακή

συμφόρηση π.χ. αναμονή σε φωτεινό σηματοδότη, αναμονή πίσω από όχημα σε στάση και το σύστημα πρέπει να λειτουργήσει σε ένα οδικό δίκτυο με μια πολύ περισσότερο πολύπλοκη τοπολογία σε σχέση με τα γραμμικά, μονής κατεύθυνσης, χαρακτηριστικά των αυτοκινητοδρόμων.



Ο ακόλουθος πίνακας συνοψίζει την σύγκριση μεταξύ των φωρατών, καμερών παρατηρητών και μεθόδων Συμπλεόντων Οχημάτων όταν χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των κυκλοφοριακών συνθηκών.

Φωρατές	Κάμερες	Παρατηρητές- Ανθρωποι	Συστήματα Συμπλεόντων Οχημάτων
Λαμβάνουν συνεχώς πληροφορίες για την έκταση του οδικού δικτύου όπου είναι εγκατεστημένοι. Δεν υπάρχει δυνατότητα μετακίνησής τους σε άλλα σημεία	Λαμβάνουν συνεχή πληροφορία από τα σημεία του οδικού δικτύου όπου είναι τοποθετημένες οι κάμερες. Εντούτοις, ο αριθμός από τις κάμερες οι οποίες ελέγχονται κάθε χρονική στιγμή, εξαρτάται από τον αριθμό των χειριστών στην αίθουσα ελέγχου.	Λαμβάνουν πληροφορίες από όλες τις θέσεις όπου υπάρχουν παρατηρητές. Μπορούν να παρέχουν εντολές διαχείρισης της κυκλοφορίας (π.χ., τροχονόμοι οι οποίοι ελέγχουν την κυκλοφορία σε κόμβους του οδικού δικτύου)	Παρέχουν πληροφορίες για την κυκλοφορία μόνο στα τμήματα του οδικού δικτύου όπου υπάρχει Συμπλέον Όχημα, αλλά μπορούν να παρέχουν πληροφορίες και για τμήματα όπου δεν υπάρχει κάποιο άλλο σύστημα παρακολούθησης της κυκλοφορίας. Μπορεί επίσης να σταλούν σε περιοχή για την διερεύνηση συγκεκριμένων προβλημάτων π.χ. ατύχημα.

Καταγράφουν μόνο με την ύπαρξη και το πέρασμα ενός οχήματος. Κατάλληλοι αλγόριθμοι απαιτούνται ώστε να εκτιμηθούν άλλες κυκλοφοριακές συνθήκες (π.χ. αριθμός αυτοκινήτων στο τμήμα του οδικού δικτύου όπου ο φωρατής είναι εγκαταστημένος)	Παρέχουν ποιοτική πληροφορία και δεν έχουν συνήθως τη δυνατότητα παροχής ακριβών μετρήσεων. Τα τελευταία χρόνια είχαν αναπτυχθεί ειδικά λογισμικά επεξεργασίας των εικόνων που συλλέγουν και εξάγονται ποσοτικές παράμετροι της κυκλοφορίας.	Παρέχουν μόνο ποιοτικές πληροφορίες και δεν έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν ακριβείς μετρήσεις.	Παρέχουν ακριβείς μετρήσεις για την παρουσία οχημάτων, την κάλυψη του οδικού δικτύου, την ταχύτητα και την επιτάχυνση των οχημάτων. Παρέχουν ποιοτικές πληροφορίες σχετικά με τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Παρέχουν μετρήσεις από διαφορετικά τμήματα του οδικού δικτύου. Η ακρίβεια εκτίμησης των κυκλοφοριακών συνθηκών σε όλο το οδικό δίκτυο εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό Συμπλεόντων Οχημάτων που συμμετέχουν και από τον τρόπο που είναι κατανομημένα στο δίκτυο.
Πολύ ευαίσθητοι σε παράγοντες όπως το μήκος του οχήματος, η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, η αλλαγή λωρίδων κυκλοφορίας κτλ. Ευαισθησία (κατά μέσο όρο 10% των φωρατών βρίσκονται εκτός λειτουργίας)	Πολύ ευαίσθητες στις καιρικές συνθήκες και στις συνθήκες του περιβάλλοντος.	Πολύ αξιόπιστα μόνο στην περίπτωση κυκλοφοριακή συμφόρησης (“μποτιλιάρισμα”) όπου η εκτίμηση είναι αντικειμενική. Υποκειμενικές εκτιμήσεις των υπόλοιπων καταστάσεων της κυκλοφοριακής ροής.	Πολύ αξιόπιστα

Παρέχουν τοπικές μετρήσεις της κυκλοφοριακής κατάστασης.	Παρουσιάζουν αδυναμία παρατήρησης τμημάτων του δικτύου (τμήματα όπου δεν υπάρχουν τοποθετημένες κάμερες ή δεν είναι ορατά από την κάμερα ελικοπτέρου)	Παρέχουν τοπικές εκτιμήσεις της κυκλοφοριακής κατάστασης	Η ακρίβεια εκτίμησης των κυκλοφοριακών συνθηκών εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό Συμπλεόντων Οχημάτων που συμμετέχουν και από τον τρόπο με τον οποίο αυτά είναι καταναμεμημένα στο οδικό δίκτυο.
Υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης (ανάγκη διακοπής της κυκλοφορίας για εγκατάσταση και συντήρηση)	Υψηλό κόστος εγκατάστασης, συντήρησης και λειτουργίας.	Χαμηλό κόστος εγκατάστασης και εφαρμογής.	Το κόστος εξαρτάται σημαντικά από το κόστος του εξοπλισμού εντός του οχήματος. Χαμηλό λειτουργικό κόστος και κόστος συντήρησης.

3.2 Κέντρα Ελέγχου Κυκλοφορίας

Η αξιοποίηση της πληροφορίας σχετικά με την κυκλοφορία που συλλέγεται με όλους τους παραπάνω τρόπους πραγματοποιείται συνήθως συμπληρωματικά από τα σύγχρονα Κέντρα Ελέγχου Κυκλοφορίας (Traffic Control Centre- TCC) τα οποία δημιουργούνται στις μεγάλες ευρωπαϊκές και άλλες πόλεις.

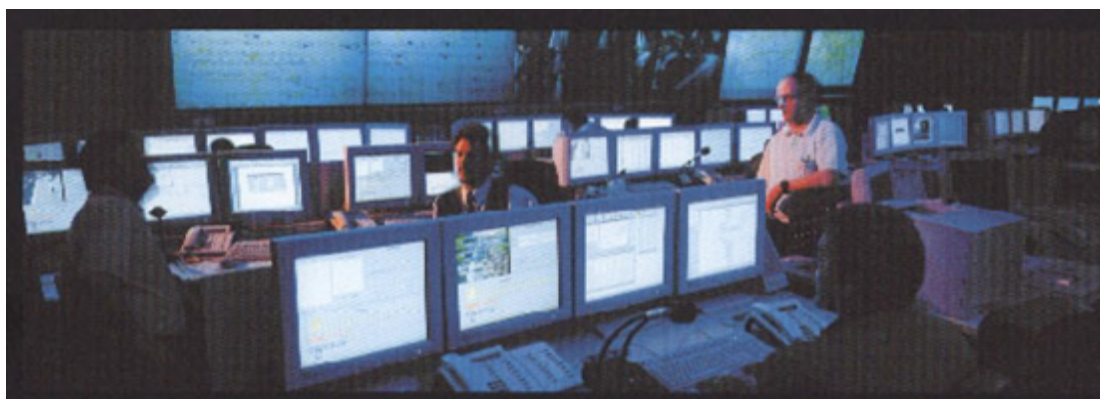
Τα Κέντρα Ελέγχου της Κυκλοφορίας (Traffic Control Centres) έχουν σκοπό τη παροχή στο κοινό των καλύτερων υπηρεσιών βελτιώνοντας τις κυκλοφοριακές συνθήκες στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό. Ο σκοπός αυτός εξυπηρετείται από τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τις κυκλοφοριακές συνθήκες στο οδικό δίκτυο και την κατάλληλη διάδοσή τους στους χρήστες ή στους διαχειριστές του δικτύου. Για τη μετάδοση των πληροφοριών στους χρήστες χρησιμοποιούνται διάφορα όπως :

- α) τα διεθνή ειδικά κανάλια RDS/ TMS (Radio Data System- Traffic Message Channel διεθνές standard για τη μετάδοση κυκλοφοριακών δεδομένων σε όχημα)
- β) το ραδιόφωνο και την τηλεόραση
- γ) ιστοσελίδες στο διαδίκτυο (internet) είτε ως κείμενο είτε ως χάρτης κατάλληλα χρωματισμένος.
- δ) πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων (VMS)

Επιπλέον, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν από τους χειριστές και στρατηγικές ελέγχου ώστε να παρέμβουν ενεργά στην εξέλιξη των κυκλοφοριακών συνθηκών και να αποφευχθεί η κυκλοφοριακή συμφόρηση και σοβαρές υποβαθμίσεις των κυκλοφοριακών συνθηκών.

Εντούτοις, για να λειτουργήσουν αυτά τα εργαλεία ικανοποιητικά, απαιτείται ένα σύστημα παρακολούθησης της κυκλοφορίας. Το σύστημα θα πρέπει να είναι ικανό να παρακολουθεί τις κυκλοφοριακές συνθήκες σε πραγματικό χρόνο, με την απαραίτητη ακρίβεια και λεπτομέρεια. Η υψηλή πολυπλοκότητα της τοπολογίας των αστικών δικτύων, σε συνδυασμό με την μη γραμμικότητα των διαδικασιών ροής της κυκλοφορίας, καθιστά το έργο της παρακολούθησης της κυκλοφορίας πολύ δύσκολο, το οποίο απαιτεί την ενσωμάτωση δεκτών εξελιγμένης τεχνολογίας με ευφυείς αλγόριθμους. Οι δέκτες χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν συγκεκριμένα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά στο δίκτυο, ενώ οι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για να εκτιμήσουν άλλα, μη μετρούμενα, χαρακτηριστικά, ή να παρέχουν μία περισσότερο ακριβή περιγραφή των κυκλοφοριακών συνθηκών. Τα δεδομένα των δεκτών, μαζί με τα αποτελέσματα αυτών των αλγορίθμων χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για σκοπούς ελέγχου της κυκλοφορίας ή πληροφόρησης των οδηγών.





3.3 Υπάρχοντα Συστήματα στην Ευρώπη και τις υπόλοιπες χώρες

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα υπάρχοντα συστήματα συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων στον κόσμο.

α) Φωρατές

Σήμερα η χρήση των φωρατών είναι πολύ διαδεδομένη και υπάρχουν πολλά συστήματα που τους χρησιμοποιούν για την καταγραφή κυκλοφοριακών δεδομένων στο οδικό δίκτυο. Υπάρχουν αρκετές εταιρείες στην διεθνή αγορά που παρέχουν συστήματα φωρατών. Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν ενδεικτικά ορισμένα από αυτά:

3M (ΗΠΑ)

Η Εταιρεία 3M προσφέρει στην αγορά 2 είδη φωρατών:

α) **3M™ Loop Kit, Magnetic, Pre-Fab**, το οποίο τοποθετείται πριν την επίστρωση του δρόμου. Καταγράφει την παρουσία ενός οχήματος και χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των οχημάτων που κινούνται σε μία περιοχή.



β) **3M™ Magnetic Loop Kit (Saw-in)**, το οποίο επίσης καταγράφει την παρουσία ενός οχήματος και χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των οχημάτων που κινούνται σε μία περιοχή, αλλά τοποθετείται σε υπάρχοντες δρόμους.

καθώς και ένα σύστημα δεκτών ανίχνευσης της κυκλοφορίας

γ) **3M™ Traffic Sensing System II**, το οποίο παρέχει πλήρη, ακριβή και αξιόπιστα δεδομένα για την παρακολούθηση της κυκλοφορίας και την κατηγοριοποίηση των οχημάτων σε εικοσιτετράωρη βάση, χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που συλλέγει από τους εγκαταστημένους δέκτες (φωρατές)

Diablo Controls Inc. (ΗΠΑ)

Η εταιρεία Diablo Controls, παρέχει στην αγορά μια σειρά από ανιχνευτές οχημάτων οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη συλλογή κυκλοφοριακών δεδομένων όπως:

α) Ο διπλής εισόδου ανιχνευτής οχημάτων (Dual Channel Vehicle Detector) **DSP-222** λειτουργεί με φωρατές κάθε μήκους και ρυθμίζει αυτόματα κάθε κανάλι στην καλύτερη συχνότητα λειτουργίας. Το λογισμικό **HYPERTRACK** προσαρμόζει συνεχώς το σύστημα στις περιβαλλοντικές συνθήκες και ο



ενσωματωμένος αλγόριθμος φιλτραρίσματος του θορύβου επιτρέπει την αξιόπιστη λειτουργία του σε κάθε ηλεκτρική κατάσταση.

β) Ο **DSP-224** ανιχνευτής ακμών είναι αντίστοιχος του DSP-222 με τη διαφορά ότι αποτελεί ανιχνευτή τετραπλής εισόδου.

γ) Ο ανιχνευτής διπλής εισόδου **DSP-22S** έχει σχεδιαστεί ειδικά για να χειρίζεται εφαρμογές στάθμευσης, διέλευσης, ελέγχου της εισόδου κα.

Siemens Traffic Controls (Αγγλία)

Η Siemens Traffic Controls παρέχει στην αγορά δύο συστήματα φωρατών:

α) το **ST4M**, το οποίο χρησιμοποιείται σε αυτοκινητόδρομους και γενικότερα σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας. Διαθέτει 4 κανάλια, είναι αυτορυθμιζόμενο και παρέχει ακριβείς μετρήσεις της ταχύτητας μέσω ενός αλγόριθμου παρεμβολής.

β) το **ST4S** είναι αντίστοιχο του ST4M αλλά για εφαρμογές σε αστικές και ημιαστικές περιοχές.



Παρόμοια προϊόντα προσφέρει η εταιρεία Naztec Inc., Never-Fail Loop Systems, Inc. (ΗΠΑ), Patriot Detection LLC (ΗΠΑ) και η Peek Traffic (ΗΠΑ)

β) ΚΑΜΕΡΕΣ

Αρχικά οι κάμερες χρησιμοποιήθηκαν για την παρακολούθηση κρίσιμων σημείων του οδικού δικτύου και εξαγωγή ποιοτικών μόνο δεδομένων για την κατάσταση της κυκλοφορίας. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και τη δημιουργία κατάλληλων αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνας είναι δυνατή η απόκτηση ποσοτικών στοιχείων όπως ο αριθμός των οχημάτων, η ταχύτητά τους κα. Η εξέλιξη αυτή καθιστά τις κάμερες ένα πολύτιμο εργαλείο για τη συλλογή κυκλοφοριακών δεδομένων κυρίως σε κρίσιμα σημεία του δικτύου που απαιτούν συνεχή παρακολούθηση και παρέχουν δεδομένα που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν από ένα σύστημα μαζί με δεδομένα από άλλες πηγές όπως Συμπλέοντα Οχήματα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα από τα συστήματα που υπάρχουν σήμερα στην αγορά και χρησιμοποιούν δέκτες που λαμβάνουν εικόνα όπως κάμερες, βίντεο-κάμερες κτλ.

Autoscope Video Vehicle Detection, Image Sensing Systems, (ΗΠΑ)

Το σύστημα Autoscope παρέχει δυνατότητες ανίχνευσης οχημάτων από βίντεο, χρησιμοποιώντας υψηλής απόδοσης μικροεπεξεργαστές καθώς και λογισμικό ανάλυσης των βίντεο-εικόνων.

Το σύστημα **Autoscope Solo Pro** διαθέτει κάμερα, φακό μεταβλητού εστιακού μήκους και επεξεργαστή εικόνας ενσωματωμένα στην ίδια μονάδα για να εγγυηθεί την καλύτερη δυνατή ποιότητα.

Το σύστημα παρέχει κυκλοφοριακά δεδομένα πραγματικού χρόνου ή ιστορικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένου του κυκλοφοριακού φόρτου, της κάλυψης του δικτύου, της ταχύτητα και του είδους των οχημάτων σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους.

Το Autoscope Solo Pro παρέχει υψηλή απόδοση σε σχέση με τους φωρατές και άλλες τεχνολογίες ανίχνευσης, και χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές Ευφυών Συστημάτων Μεταφορών όπως ο έλεγχος συγκοινωνιακού κόμβου, ο εντοπισμός ατυχημάτων σε γέφυρες, σήραγγες και αυτοκινητόδρομους, καθώς και σε εφαρμογές παρακολούθησης.

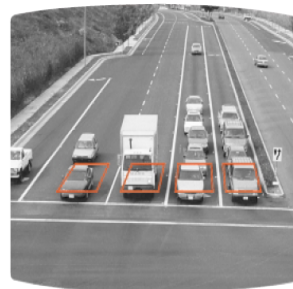
Το σύστημα Autoscope χρησιμοποιείται σε 55 χώρες παγκοσμίως, μία εκ των οποίων και η Ελλάδα. Έχει εγκατασταθεί στην Αθήνα, στους περισσότερους δρόμους ταχείας κυκλοφορίας και σε διασταυρώσεις στο πλαίσιο της αναβάθμισης της υποδομής για την παρακολούθηση της κυκλοφορίας στην πόλη, με αφορμή την διοργάνωση των Ολυμπιακών Αγώνων 2004.



Vantage Traffic Detection Cameras, Iteris, Inc. (ΗΠΑ)



Η Vantage™ camera της Iteris έχει σχεδιαστεί ειδικά για να χρησιμοποιηθεί από το Vantage™ σύστημα βίντεο ανίχνευσης για παρακολούθηση της κυκλοφορίας. Χρησιμοποιεί ένα ευαίσθητο CCD imager με ρυθμιζόμενου εστιακού μήκους φακό. Επιτρέπει την ανίχνευση οχημάτων κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, αλλά και σε όλες τις καιρικές συνθήκες.



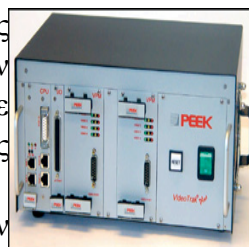
VIDEOTRAK PLUS, PEEK Traffic (ΗΠΑ),

Ο Videotrak Plus της PEEK Traffic, αποτελεί επεξεργαστή πολλαπλής ανάλυσης δυναμικών βίντεο δεδομένων, με σκοπό τον προσδιορισμό των κυκλοφοριακών συνθηκών (ανίχνευση οχημάτων, καταμέτρηση οχημάτων, κίνηση σε διασταυρώσεις και κατηγοριοποίηση). Επιπλέον, ελέγχει την ποιότητα της εικόνας και επιβεβαιώνει την σωστή λειτουργία της κάμερας.

Ειδικοί αλγόριθμοι για την παρακολούθηση της πορείας του οχήματος παρέχουν καλύτερη ανίχνευση, ενώ ειδικά φίλτρα σκιών και σταθεροποιητές εικόνας ελαχιστοποιούν την εσφαλμένη ανίχνευση και την αποτυχία ανίχνευσης.

Ο επεξεργαστής διατίθεται σε δύο μοντέλα, τα οποία υποστηρίζουν 4 ή 8 κάμερες και παρέχουν έως 128 ή 256 ζώνες ανίχνευσης αντίστοιχα (32 για κάθε κάμερα).

Η VDS κάμερα της PEEK Traffic, αποτελεί την καλύτερη πηγή δεδομένων για τα συστήματα Videotrak και Unitrak συνδυάζοντας υψηλή ευαισθησία σε όλες τις συνθήκες φωτός με υψηλής ανάλυσης εικόνες.



VIP/P – PRESENCE MONITOR, TrafficCon N.V. (Βέλγιο)

Η VIP/P πλατφόρμα καλύπτει 24 ζώνες ανίχνευσης, στις οποίες ορίζεται η κατεύθυνση κίνησης. Όλες οι ζώνες και οι παράμετροι μπορούν να αλλάξουν χωρίς διακοπή της ανίχνευσης.

Το VIP/P ελέγχει την ύπαρξη οχημάτων, τα οποία πλησιάζουν ή περιμένουν σε μία διασταύρωση, καταμετρά τα οχήματα που περνούν από μία ζώνη ανίχνευσης (για έξι ζώνες το μέγιστο) και παρέχει μία εκτίμηση του μήκους της ουράς των σταματημένων οχημάτων.

TrafiCam sensor, TrafficCon N.V. (Βέλγιο)

Το TrafiCam ενσωματώνει σε μία συσκευή μία CMOS κάμερα και έναν ανιχνευτή. Αυτός ο δέκτης καταγράφει την ύπαρξη οχημάτων που πλησιάζουν ή περιμένουν σε μία διασταύρωση.

Το TrafiCam μπορεί να καταγράψει οχήματα σε 8 ζώνες, το μέγιστο, κατά τη διάρκεια της μέρας και της νύχτας. Επιπλέον προσδιορίζεται και η κατεύθυνση της κίνησης σε κάθε ζώνη.

Η TrafficCon N.V. παρέχει και το Traficon AID βίντεο σύστημα, το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί και στην Ελλάδα στην πόλη της Αθήνας κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών αγώνων.



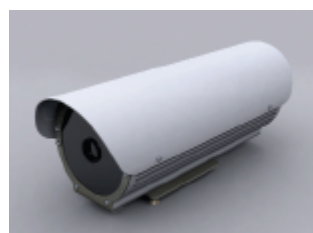
VDR (Vehicle Detection and Registration Sensor), Kapsch TrafficCom AG (Αυστρία)

Το VDR διαθέτει κάμερα που καταγράφει την υπέρυθρη ακτινοβολία, ενσωματωμένο αυτόματο ανιχνευτή οχημάτων και σύστημα αναγνώρισης πινακίδων.

Περιλαμβάνει όλο τον τεχνικό εξοπλισμό και τα λογισμικά που απαιτούνται για να αποτελέσει μία πλήρης και αυτόνομη μονάδα η οποία είναι ικανή να εκτελέσει όλες τις απαραίτητες εργασίες όπως ανίχνευση οχημάτων, λήψη εικόνας, OCR ανάλυση κτλ.

Τα δεδομένα που παραδίδονται από το VDR για κάθε διέλευση οχήματος, συνήθως εικόνες με πληροφορίες για τη διέλευση και την ασφάλεια, μπορούν να αποσταλούν σε πραγματικό χρόνο σε ένα απομακρυσμένο κεντρικό σύστημα μέσω TCP/IP δικτύου. Το VDR μπορεί επίσης να διαμορφωθεί κατά τρόπο ώστε να παρέχει διαδοχικές εικόνες βίντεο και ακριβής παρακολούθηση της θέσης του οχήματος μέσα στο οπτικό πεδίο της κάμερας. Επιπλέον υποστηρίζεται η παρακολούθηση και ο έλεγχος του VDR από απόσταση.

Η εταιρεία προσφέρει επίσης τα συστήματα VDC (video) και LVDC (Laser) για την ανίχνευση και κατηγοριοποίηση οχημάτων.



Sieclass vehicle classifier Siemens Traffic Controls (Αγγλία)

Το Sieclass vehicle classifier παρέχει τη δυνατότητα συνεχούς καταγραφής μεγάλου εύρους πληροφοριών για τη χρήση των δρόμων. Διαθέτει έως και οκτώ κανάλια καταγραφής που το καθένα μπορεί να καταγράφει την ροή της κυκλοφορίας, την κάλυψη του δρόμου, την ταχύτητα, τον ρυθμό μεταβολής της και την

κατηγοριοποίηση των οχημάτων. Το σύστημα είναι κατάλληλο όπου απαιτείται αξιόπιστος υπολογισμός των οχημάτων σε περιβάλλον με πολλές λωρίδες κυκλοφορίας.

Επιπλέον, η Siemens παρέχει το ψηφιακό CCTV σύστημα, το οποίο μπορεί να τοποθετηθεί σε απομακρυσμένες τοποθεσίες και να έχει βίντεο-σύνδεση με ένα σταθμό μέσω IP, ISDN, ή PSTN. Χρησιμοποιώντας έναν απλό υπολογιστή (PC) με modem, οι διαχειριστές μπορούν να συνδεθούν, να δουν και να ελέγξουν έως και 32 έγχρωμες κάμερες σε κάθε απομακρυσμένη τοποθεσία.

γ) Συστήματα Συμπλεόντων οχημάτων

Θα πρέπει να τονιστεί στο σημείο αυτό ότι τα συστήματα που θα παρουσιασθούν στην συνέχεια βασίζονται όλα στην λογική και τεχνολογία που παρουσιάστηκε παραπάνω (όχημα εξοπλισμένο με δέκτη προσδιορισμού της θέσης και με σύστημα επικοινωνίας με το Κέντρο) ενώ η διαφοροποίηση αυτών των συστημάτων έγκειται κυρίως στον αλγόριθμο για την μέτρηση της κυκλοφορίας ο οποίος αξιοποιεί τα δεδομένα των οχημάτων.

Τα συστήματα έχουν διαχωριστεί σε δύο κατηγορίες, στα εμπορικά και τα ερευνητικά, με σκοπό την καλύτερη παρουσίαση της υφιστάμενης κατάστασης. Τα εμπορικά συστήματα, παρέχουν μία εικόνα της αγοράς, σε ποιο σημείο τα συστήματα αυτά έχουν αναπτυχθεί σε ικανοποιητικό βαθμό ώστε να είναι εφαρμόσιμα και αποδοτικά. Επιπλέον παρέχουν μία εικόνα για την κατάσταση που επικρατεί στην αγορά, πως έχουν ενταχθεί στην αγορά και αν υπάρχει η τάση για περαιτέρω χρήση και εξέλιξή τους. Από την άλλη, τα ερευνητικά προγράμματα δείχνουν τις τάσεις στην τεχνολογική εξέλιξη των συστημάτων αυτών.

3.4 Εμπορικά Συστήματα

Έργο Taxi FCD, DLR (Γερμανία)

Το Γερμανικό Κέντρο Αεροδιαστήματος (DLR) και το Ινστιτούτο Ερευνών των Μεταφορών καταγράφουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση με τη χρήση δεδομένων από συμπλέοντα οχήματα.

Στο πλαίσιο του έργου χρησιμοποιούνται Συμπλέοντα Οχήματα εμπορικών στόλων για τη συλλογή και μετάδοση κυκλοφοριακών δεδομένων, τα οποία είναι ήδη εξοπλισμένα με GPS και συσκευές ασύρματης επικοινωνίας. Στο Πιλοτικό πρόγραμμα, οχήματα της εταιρείας “300 Taxi” του Βερολίνου, χρησιμοποιήθηκαν ως παροχείς δεδομένων. Συνήθως, κάθε ταξί στέλνει ανά λεπτό την τρέχουσα θέση του στο Κέντρο, όπου τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την καλύτερη εξυπηρέτηση και μετακίνηση των πελατών των Ταξί.

Μετά από επεξεργασία των δεδομένων των GPS που συλλέγονται προκύπτουν ενδιαφέρουσες πληροφορίες για την παρακολούθηση και πρόβλεψη της κυκλοφορίας. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου είναι πολύ οικονομική διότι δεν χρειάζεται επιπλέον εξοπλισμός και λογισμικά στο όχημα και δεν υπάρχει κόστος



επικοινωνίας για τη μετάδοση των δεδομένων από τα GPS. Για την παρακολούθηση των δεδομένων που συλλέχθηκαν καθώς και των παραγόμενων δεδομένων σχετικά με τον κυκλοφοριακό φόρτο και τα μποτιλιαρίσματα, χρησιμοποιήθηκε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών. Η οπτικοποίηση των δεδομένων γίνεται σε ψηφιακούς οδικούς χάρτες όπου οι ταχύτητες των οχημάτων εμφανίζονται με διαφορετικό χρώμα. Τα δεδομένα αξιοποιούνται για δυναμική πλοήγηση μέσω του διαδικτύου στο cityrouter.net.

Το σύστημα επεκτάθηκε και λειτουργεί σε 6 πόλεις της Γερμανίας, στην Βιέννη (Αυστρία) και στο Nigboο (Κίνα) χρησιμοποιώντας συνολικά 7000 συμπλέοντα οχήματα.

Τα οχήματα είναι εξοπλισμένα με GPS και συσκευές ασύρματης επικοινωνίας. Επιπλέον, έχουν πρόσβαση στα επεξεργασμένα δεδομένα του κέντρου μέσω RDS-TMC.

Τα δεδομένα αξιοποιούνται για δυναμική πλοήγηση μέσω του διαδικτύου στο cityrouter.net

Υπηρεσίες V-Traffic, Mediamobile (Γαλλία)

Η V-Traffic αποτελεί μία γκάμα υπηρεσιών πληροφόρησης σχετικών με την κυκλοφορία στο οδικό δίκτυο η οποία παρέχεται από την Mediamobile. Οι υπηρεσίες καλύπτουν σημαντική πλειοψηφία του οδικού δικτύου της Γαλλίας (80% της καθημερινής κυκλοφορίας στο οδικό δίκτυο, αστικό και μη) και περιλαμβάνουν συνήθεις πληροφορίες όπως μποτιλιαρίσματα, αυξημένος κυκλοφοριακός φόρτος αλλά και πληροφορίες για έκτακτα συμβάντα όπως ατυχήματα, κλεισμένοι δρόμοι κτλ.

Η συλλογή των πληροφοριών γίνεται αυτόματα από φωρατές και κάμερες που είναι τοποθετημένες στο οδικό δίκτυο και από 4000 συμπλέοντα οχήματα-ταξί τα οποία κινούνται στο ευρύτερο πολεοδομικό συγκρότημα του Παρισιού (ile-de-france). Επιπρόσθετα, υπάρχει και συλλογή πληροφοριών οι οποίες παρέχονται από την αστυνομία, την τροχαία αλλά και τους ίδιους τους οδηγούς.

Οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται σε συστήματα πλοήγησης (με GPS) που είναι εγκατεστημένα στα οχήματα και μεταδίδονται με χρήση RDS-TMC είτε με GPRS/UTMS για τα συστήματα σε κινητά και PDAs. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα πληροφόρησης μέσω internet.

Σήμερα υπολογίζεται η χρήση των υπηρεσιών από 400.000 τερματικά, και έχουν υπογραφεί συμβάσεις roaming με αντίστοιχες εταιρίες γειτονικών χωρών έτσι ώστε αυτοί που διαθέτουν συσκευές GPS και πρόσβαση στις υπηρεσίες παροχής κυκλοφοριακής πληροφόρησης της V-traffic να απολαμβάνουν αντίστοιχες υπηρεσίες σε γειτονικές χώρες.



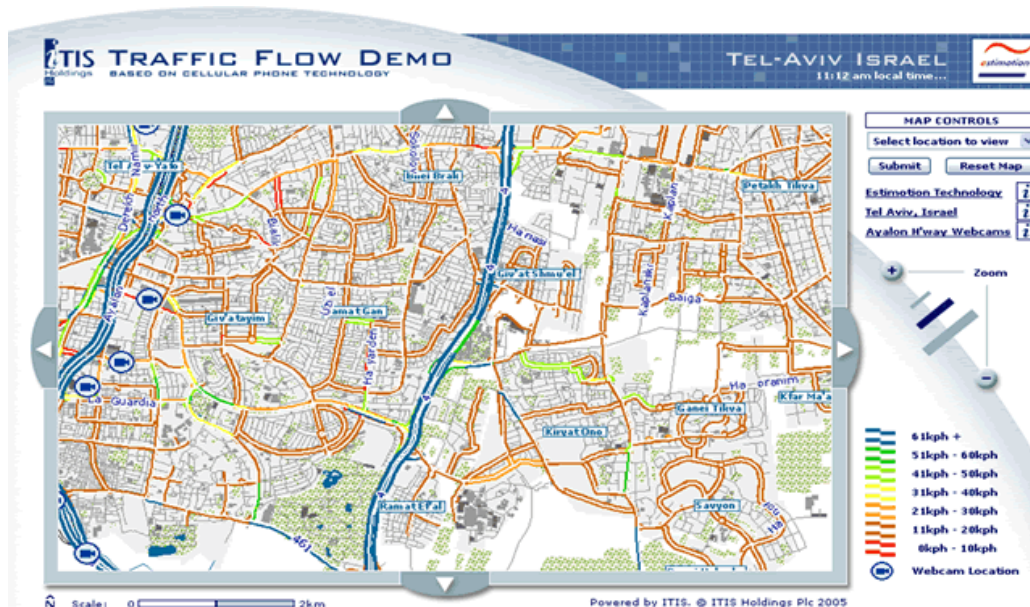
Συστήματα FVD (Floating Vehicle Data) και CFVD (Cellular Floating Vehicle Data) ITIS Holdings (Ηνωμένο Βασίλειο)

Η ITIS Holdings παράγει κυκλοφοριακά δεδομένα συνδυάζοντας journalistic traffic data με δεδομένα που παράγονται από τα συμπλέοντα οχήματα της εταιρείας, εξοπλισμένα με GPS. Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες αυτές η ITIS παράγει μία σειρά από ιστορικά κυκλοφοριακά δεδομένα καθώς και κυκλοφοριακά δεδομένα πραγματικού χρόνου.

Τα οχήματα είναι εξοπλισμένα με συσκευές οι οποίες συλλέγουν, αποθηκεύουν και μεταδίδουν πληροφορίες σχετικά με την θέση, ταχύτητα και την κατεύθυνση του οχήματος. Τα συμπλέοντα οχήματα κινούνται κατά μήκος των αυτοκινητοδρόμων σε πολλές πόλεις της Αγγλίας με στόχο να επεκταθεί σε ολόκληρο το κύριο οδικό δίκτυο της Αγγλίας, Σκωτίας και Ουαλίας. Ο στόλος της ITIS αποτελείται από 50000 οχήματα.

Παράλληλα η ITIS Holdings έχει αναπτύξει ένα νέο σύστημα για τη μέτρηση και πρόβλεψη των κυκλοφοριακών συνθηκών σε πραγματικό χρόνο, βασισμένο στη θέση οχημάτων που προσδιορίζεται μέσω κινητών τηλεφώνων τα οποία επιλέγονται δειγματοληπτικά και με ανώνυμο τρόπο. Αν και η μέτρηση της θέσης από ένα κινητό τηλέφωνο δεν είναι τόσο ακριβής όσο η μέτρηση με GPS, υποστηρίζεται ότι κάτι τέτοιο αντισταθμίζεται από τον μεγάλο διαθέσιμο αριθμό κινητών σε κάθε δρόμο, τη γνώση για το οδικό δίκτυο και τη χρήση στατιστικών τεχνικών.

Η ITIS ανέπτυξε πλήρως και έλεγξε την εφαρμογή στο Tel Aviv, Antwerp (Βέλγιο) και στη Βαλτιμόρη. Στην περίπτωση του πιλοτικού προγράμματος στο Antwerp, συμμετείχε το Κέντρο διαχείρισης της Φλάνδρας και η εταιρία κινητής τηλεφωνίας Proximus. Προσδιορίστηκαν αρκετά ακριβείς χρόνοι ταξιδιού και πραγματοποιήθηκε πρόβλεψη των χρόνων για τμήματα του οδικού δικτύου η οποία ήταν πιο αισιόδοξη κυρίως στην περίπτωση κυκλοφοριακής συμφόρησης. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια του έργου αναπτύχθηκαν εργαλεία διαχείρισης της κυκλοφορίας τα οποία παράγουν χάρτες κυκλοφορίας και χρόνους ταξιδιού σε ορισμένα τμήματα του οδικού δικτύου.



Υπηρεσία InterNavi Floating Car System, Honda (Ιαπωνία)

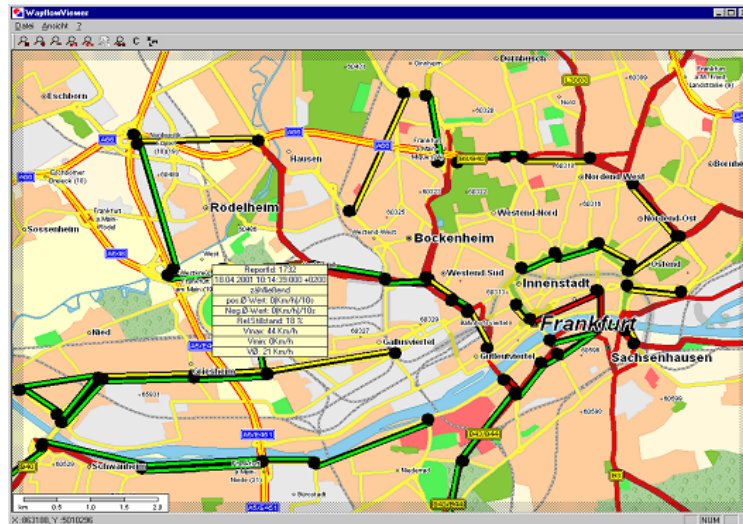
Η Honda σε συνεργασία με την Google Earth, δημιούργησε την υπηρεσία “InterNavi Floating Car System”, η οποία αρχικά παρέχεται για περιοχές είκοσι χιλιομέτρων γύρω από το Τόκιο, τη Nagoya και τη Osaka της Ιαπωνίας, αλλά η κάλυψη θα επεκταθεί σε όλη τη χώρα. Τα δεδομένα συλλέγονται και μεταδίδονται στο κέντρο από οχήματα των μελών του InterNavi Premium Club εξοπλισμένα με GPS, που κινήθηκαν εντός των συγκεκριμένων περιοχών. Τα μέλη του club έχουν πρόσβαση στα συλλεγμένα κυκλοφοριακά δεδομένα του κέντρου μέσω διαδικτύου, με σύνδεση στην ιστοσελίδα του club, τα οποία τα βλέπουν μέσω του google earth με διαφορετικές δυνατότητες οπτικοποίησης όπως 3D, tilted views κτλ.

3.5 Ερευνητικά Προγράμματα

Σύστημα City FCD, gedas/ VW Group (Γερμανία)

Το σύστημα το οποίο είναι ένα από τα πρώτα το οποίο αξιοποιεί οχήματα για την μέτρηση κυκλοφοριακών συνθηκών σε αστικές περιοχές αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος WayFlow και ελέγχθηκε στην περιοχή της Φραγκφούρτης το 2001. Αποτελεί προϊόν συνεργασίας της εταιρείας gedas AG με το ερευνητικό ινστιτούτο Fraunhofer. Χρησιμοποιεί δέκτη GPS εγκατεστημένο στο όχημα σε συνδυασμό με κινητό τηλέφωνο GSM συνήθως Nokia 9100 όπου “τρέχει” το ειδικό λογισμικό. Η πληροφορία που αφορά στη θέση και την ταχύτητα του οχήματος επεξεργασμένη από το λογισμικό εντός της συσκευής του οχήματος αποστέλλεται στο Κέντρο. Με την εφαρμογή αλγορίθμου που αναπτύχθηκε, εκτιμάται ο κυκλοφοριακός φόρτος ο οποίος μπορεί είτε να απεικονιστεί σε χάρτη είτε να αποσταλεί μέσω φωνής ή κειμένου στους ενδιαφερόμενους ή να αξιοποιηθεί από

αλγόριθμο δυναμικής πλοήγησης. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο αλγόριθμος δεν λαμβάνει υπόψη στοιχεία που αφορούν προσωρινή στάση οχήματος λόγω σηματοδότησης, STOP, στάσης προπορευόμενων οχημάτων κτλ γεγονός που μειώνει κάπως την αξιοπιστία των μετρήσεων



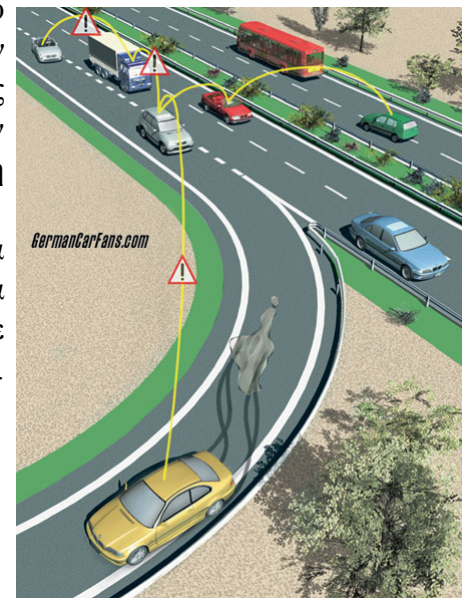
Το συγκεκριμένο σύστημα εφαρμόστηκε και ελέγχθηκε επίσης στην Αθήνα στο πλαίσιο του Προγράμματος “Eye in the Sky” του οποίου ήταν συντονιστής η εταιρεία ΓΕΩΤΟΠΟΣ.

Σύστημα Extended Floating Car Data, BMW (Γερμανία)

Το σύστημα συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων Συμπλεόντων Οχημάτων της BMW, καταγράφει πληροφορίες σχετικά με τις κυκλοφοριακές, καιρικές κ.α. συνθήκες και μεταδίδει τις πληροφορίες αυτές σε άλλα οχήματα που κινούνται στην περιοχή. Τα οχήματα της BMW διαθέτουν τον κατάλληλο εξοπλισμό και εφ’ όσον ο ιδιοκτήτης το επιθυμεί, μπορεί να ενεργοποιήσει και να χρησιμοποιήσει την υπηρεσία. Το σύστημα σήμερα εφαρμόζεται στη Γερμανία αλλά υπάρχει δυνατότητα ευρύτερης χρήσης του.

Το σύστημα συλλέγει στοιχεία, εκτός από τη θέση και την ταχύτητα του οχήματος μέσω GPS, όπως η θέση των φώτων (ενεργοποιημένη η μικρή, μεσαία, μεγάλη “σκάλα”), η χρήση των φώτων ομίχλης, η χρήση των φρένων, η ενεργοποίηση του συστήματος ABS, οι μετρήσεις από τους αισθητήρες ανέμου και εξωτερικής θερμοκρασίας κλπ. Κατόπιν επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέγονται, προσδιορίζεται η κατάσταση της κυκλοφορίας, των καιρικών και οδικών συνθηκών (κυκλοφοριακός φόρτος, μποτιλιάρισμα, ομίχλη, έντονη βροχόπτωση, ολισθηρότητα του οδοστρώματος κτλ).

Επιπλέον, η BMW μελετά και αναπτύσσει το σύστημα ConnectedDrive όπου εισάγει ειδικά γι’ αυτό το σκοπό δίκτυα για την δικτύωση των οδηγών και των οχημάτων τους με άλλους οδηγούς και οχήματα που κινούνται στην ίδια περιοχή.



Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η άμεση ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ οχημάτων που κινούνται στην ίδια περιοχή. Τέτοιες πληροφορίες όπως προειδοποίηση κινδύνου, εμποδίου, ελευθέρωση θέσης στάθμευσης κτλ, έχουν σημασία μόνο όταν φθάνουν ταυτόχρονα στο σωστό σημείο τη σωστή χρονική στιγμή, δηλαδή στα κοντινά οχήματα τη στιγμή που συμβαίνει το γεγονός. Τα δίκτυα αυτά πραγματοποιούνται με τη χρήση ασύρματου δικτύου (WLAN) μετάδοσης, και ο προσδιορισμός της θέσης των οχημάτων βασίζεται στην τεχνολογία GPS.

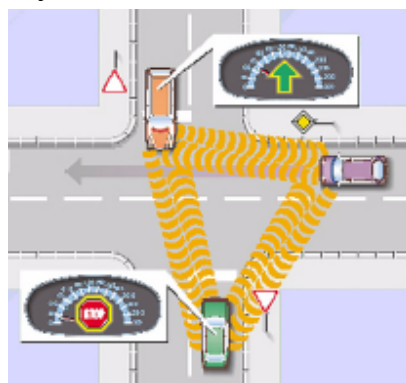
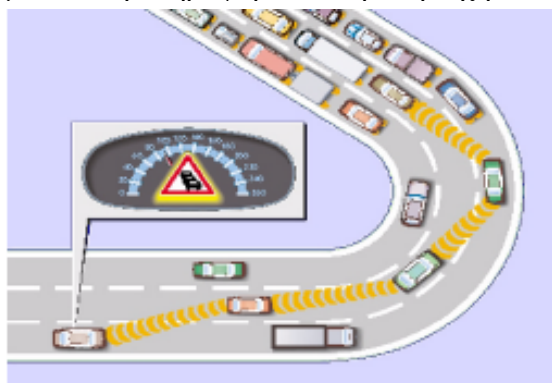
Σύστημα FleetNet, DaimlerCrysler (Γερμανία)

Η DaimlerCrysler σε συνεργασία με άλλες εταιρείες (Robert Bosch, Siemens κλπ), πανεπιστήμια και την συγχρηματοδότηση του Υπουργείου Έρευνας και Εκπαίδευσης της Γερμανίας υλοποιεί το έργο FleetNet.

Το FleetNet έχει ως στόχο τη δημιουργία επικοινωνίας και μετάδοσης πληροφοριών μεταξύ οχημάτων βάσει της θέσης τους καθώς και με χρήση σταθερών σταθμών στους δρόμους για την ανάπτυξη εφαρμογών σε τρία πεδία ενδιαφέροντος:

- α) Συλλογή δεδομένων από συμπλέοντα οχήματα, μη κεντρικά (καταγραφή μποτιλαρίσματος, δυναμική πλοήγηση, πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών στο δρόμο κτλ)
- β) Συνεργατική βοήθεια των οδηγών (ειδοποίηση για επείγον περιστατικό, ανάγκη για αιφνίδια υποστήριξη, ειδοποίηση για εμπόδιο κτλ)
- γ) Υπηρεσίες πληροφόρησης και επικοινωνίας των χρηστών (πρόσβαση στο διαδίκτυο από hot-spots, κινητή διαφήμιση, συνομιλία επιβατών γειτονικών οχημάτων, ανταλλαγή ηλεκτρονικών παιχνιδιών κτλ)

Δημιουργούνται λοιπόν, σημαντικά και δυναμικά δίκτυα βασιζόμενα στη θέση του οχήματος (η οποία προσδιορίζεται βάσει GPS) για την γρήγορη και αποδοτική μετάδοση πληροφοριών στην περιοχή ενδιαφέροντος.



Για την επικοινωνία και μετάδοση πληροφοριών, χρησιμοποιούνται ασύρματα δίκτυα, και ελεύθερα κανάλια ραδιοσυχνοτήτων. Επιπλέον, μελετάται η επικοινωνία βασισμένη στην τεχνολογία Ραντάρ, για εφαρμογές σχετικές με την ασφάλεια (safety-related applications). Η λειτουργία του συστήματος ελέγχθηκε μέχρι τώρα σε 10 αυτοκίνητα και παρόδιους σταθμούς.

Έργο OPTIS (OPTimized Traffic In Sweden), Volvo (Σουηδία)

Η Volvo σε συνεργασία με τη Scania Trucks, τη Saab Automobile και τη Σουηδική Αρχή για το Οδικό Δίκτυο (SNRA) ολοκλήρωσαν το έργο OPTIS. Σκοπός του έργου ήταν η ανάπτυξη μιας αποτελεσματικής, από άποψη κόστους, μεθόδου για συλλογή κυκλοφοριακών δεδομένων έτσι ώστε να παράγονται χρήσιμες πληροφορίες για τον ταξιδιώτη.

Πιλοτική εφαρμογή και δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Gothenburg της Σουηδίας με 220 οχήματα (ταξί, μεταφορείς, δημοτικά οχήματα και οχήματα ιδιωτών). Τα οχήματα είναι εξοπλισμένα με συσκευές GPS για τον εντοπισμό της θέσης του οχήματος και GSM για μετάδοση της πληροφορίας στο κέντρο του SNRA.

Πρόγραμμα Trendsetter

Στο πλαίσιο του Trendsetter το οποίο στοχεύει τη διευκόλυνση της μετακίνησης, τη βελτίωση του περιβάλλοντος, τη μείωση του θορύβου και της κυκλοφοριακής συμφόρησης, υλοποιούνται τα έργα “Κυκλοφοριακά δεδομένα πραγματικού χρόνου σε δημόσια χρήση στην πόλη του Graz” και “Δρόμοι και σιδηρόδρομοι της Στοκχόλμης σε πραγματικό χρόνο”

Στο Graz αναπτύσσεται ένα νέο μοντέλο αξιοποίησης δεδομένων, το οποίο συνδυάζει κυκλοφοριακά δεδομένα από διαφορετικές πηγές. Χρησιμοποιούνται πληροφορίες που συλλέγονται από Συμπλέοντα Οχήματα- ταξί (220 αυτοκίνητα εξοπλισμένα με GPS μεταδίδουν πληροφορία στο κέντρο κάθε 20 δευτερόλεπτα), 500 φωρατές και άλλα συστήματα.

Το σύστημα υπολογίζει την υπάρχουσα κυκλοφοριακή κατάσταση, εφαρμόζει μοντέλα για την πρόβλεψη της κυκλοφορίας στις επόμενες δύο ώρες και μοντελοποιεί τις επιδράσεις από αλλαγές στο δίκτυο όπως αλλαγές στους φωτεινούς σηματοδότες. Η πληροφορία αυτή χρησιμοποιείται για μετάδοση κυκλοφοριακών δεδομένων πραγματικού χρόνου μέσω διαδικτύου και κινητών τηλεφώνων, και αποτελεί τη βάση για τις στρατηγικές αποφάσεις του Κέντρου ελέγχου της κυκλοφορίας, το οποίο χειρίζεται τις μετακινήσεις ασθενοφόρων, αστυνομικών και πυροσβεστικών οχημάτων, τον προγραμματισμό των φωτεινών σηματοδοτών καθώς και τις επιγραφές μεταβλητών μηνυμάτων κυκλοφορίας.

Στην Στοκχόλμη ξεκίνησε να λειτουργεί το Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας (Trafik Stockholm), στο οποίο συλλέγονται και επεξεργάζονται δεδομένα για την παραγωγή πληροφοριών πραγματικού χρόνου για τις κυκλοφορικές συνθήκες, ατυχήματα και εργασίες στο οδικό δίκτυο.

Το δυναμικό μοντέλο που αναπτύσσεται ονομάζεται ‘MatriX’ και συλλέγει δεδομένα από παραδοσιακές πηγές φωρατές, επεξεργασία εικόνων από κάμερες, αλλά και πιο σύγχρονες πηγές όπως Συμπλέοντα Οχήματα που διαθέτουν δέκτες GPS. Στο πλαίσιο του έργου δημιουργήθηκαν αλγόριθμοι για πρόβλεψη της ταχύτητας, της κυκλοφορίας και του χρόνου ταξιδιού, οι οποίοι συνεχώς βελτιώνονται με τη σύγκριση των αποτελεσμάτων τους με τα πραγματικά δεδομένα. Το σύστημα επικοινωνεί με οδηγούς, επιβάτες μέσων μαζικής μεταφοράς μέσω επιγραφών μεταβλητών μηνυμάτων και με χρήση της κινητής τηλεφωνίας. Επιπλέον τα δεδομένα διατίθενται μέσω διαδικτύου και χρησιμοποιούνται και από ραδιοφωνικούς σταθμούς που μεταδίδουν την πληροφορία.

Έργο DIANA (Dynamic Information and Navigation Assistance Project), PTV (Γερμανία)

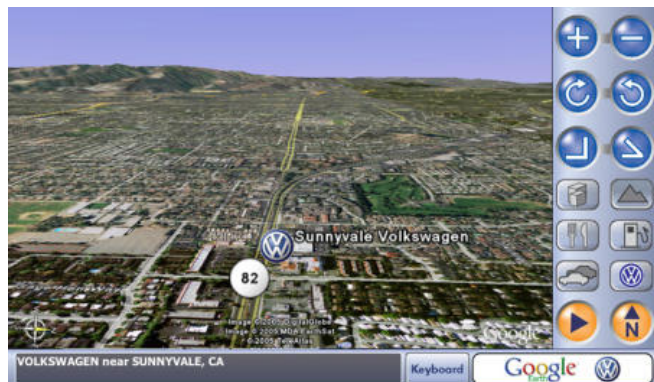
Το έργο Diana έχουν αναλάβει η εταιρεία PTV και το Κέντρο διαχείρισης κυκλοφορίας του Hesse για την αυτόματη παραγωγή κυκλοφοριακών δεδομένων για την περιοχή της ομοσπονδιακής πολιτείας του Hesse και μετάδοσή τους σε όλα τα μέσα ενημέρωσης. Κυκλοφοριακά δεδομένα και πληροφορίες συλλέγονται από διάφορες πηγές, όπως από κέντρα παρακολούθησης κυκλοφορίας (traffic report center), club αυτοκινητιστών και από δεδομένα Συμπλεόντων Οχημάτων εξοπλισμένων με GPS.

Τα δεδομένα που συλλέγονται, επεξεργάζονται, εμπλουτίζονται, ελέγχονται και κατόπιν μετατρέπονται σε συνθήκες κυκλοφορίας. Η PTV έχει αναπτύξει ειδικές μεθόδους που επιτρέπουν τη συνεχή επεξεργασία των εισερχόμενων δεδομένων. Η μέθοδος βασίζεται κυρίως σε τεχνικές συγχώνευσης (fusion) των δεδομένων από διαφορετικές πηγές. Το αποτέλεσμα είναι υψηλής ποιότητας, αξιόπιστα και ενημερωμένα κυκλοφοριακά δεδομένα που καλύπτουν όλο το οδικό δίκτυο και μεταδίδονται στον οδηγό κάθε 10 λεπτά.

Επιπλέον, τα παραγόμενα δεδομένα αποθηκεύονται σε ένα λογισμικό πλοήγησης και χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό εναλλακτικών διαδρομών. Τα κινητά τηλέφωνα μπορούν να μετατραπούν σε πλοηγούς και σε συστήματα ειδοποίησης για την κυκλοφορία χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες της PTV.

Σύστημα Πλοήγησης Google και Volkswagen, (ΗΠΑ)

Η google και η Volkswagen Αμερικής αναπτύσσουν ένα σύστημα πλοήγησης για το αυτοκίνητο στο οποίο ο οδηγός, βάσει της προσδιορισμένης θέσης του από GPS, βλέπει την περιοχή που βρίσκεται μπροστά του έτσι όπως απεικονίζεται από ψηλά. Οι δύο εταιρίες συνεργάζονται με την nVidia η οποία θα παρέχει την τρισδιάστατη απεικόνιση έτσι ώστε οι χρήστες να



μπορούν να δουν εικόνες από τα καταστήματα, τα κτίρια τα οποία περνούν διασχίζοντας έναν δρόμο. Η Google θα παρέχει τη μηχανή αναζήτησης για να ανακτά πληροφορίες από το διαδίκτυο οι οποίες θα εμφανίζονται στην εικόνα. Επιπλέον ο οδηγός θα μπορεί να εντοπίσει τα κοντινότερα σημεία καταστήματα και υπηρεσίες καθώς και πληροφορίες για αυτά. Ο οδηγός θα έχει τη δυνατότητα να ορίσει το σημείο προορισμού και θα λαμβάνει τη βέλτιστη διαδρομή σύμφωνα με τις κυκλοφοριακές συνθήκες.

Η τρισδιάστατη απεικόνιση θα πραγματοποιείται με τη χρήση του Google Earth, το οποίο συνδυάζει οδικούς χάρτες με δορυφορικές απεικονίσεις. Η Volkswagen δεν σχεδιάζει την ενσωμάτωση του συστήματος στα αυτοκίνητά της στο άμεσο μέλλον.

Έργο Meti/Jari (Ιαπωνία)

Το έργο επικεντρώνεται στην επεξεργασία δεδομένων πραγματικού χρόνου από Συμπλέοντα Οχήματα εξοπλισμένα με GPS, με χρήση στόλου οχημάτων ταξί και χρηματοδοτείται από το Υπουργείο Οικονομίας, Εμπορίου και Βιομηχανίας της Ιαπωνίας. Οι εφαρμογές αφορούν στην παραγωγή πληροφορίας για χρόνους ταξιδιού, για τις καιρικές συνθήκες, σε υπηρεσίες διαχείρισης οχημάτων κα.

Υπάρχοντα Συστήματα στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν σήμερα συστήματα συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων βασισμένα σε Συμπλέοντα Οχήματα τα οποία να έχουν αναπτυχθεί από ελληνικές εταιρείες. Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει επίσης κανένα σύστημα Συμπλεόντων Οχημάτων σε εφαρμογή το οποίο να έχει αναπτυχθεί σε χώρα του εξωτερικού.

Επίσης δεν έχουν αναπτυχθεί συστήματα βίντεο, φωρατές και κάμερες από ελληνικές εταιρείες. Έχουν εγκατασταθεί και χρησιμοποιούνται στην χώρα συστήματα ανεπτυγμένα και κατασκευασμένα σε χώρες του εξωτερικού όπως περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2.5.

Η πρώτη εφαρμογή με Συμπλέοντα Οχήματα πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος “Eye in the Sky”.

Πρόγραμμα “EYE IN THE SKY”

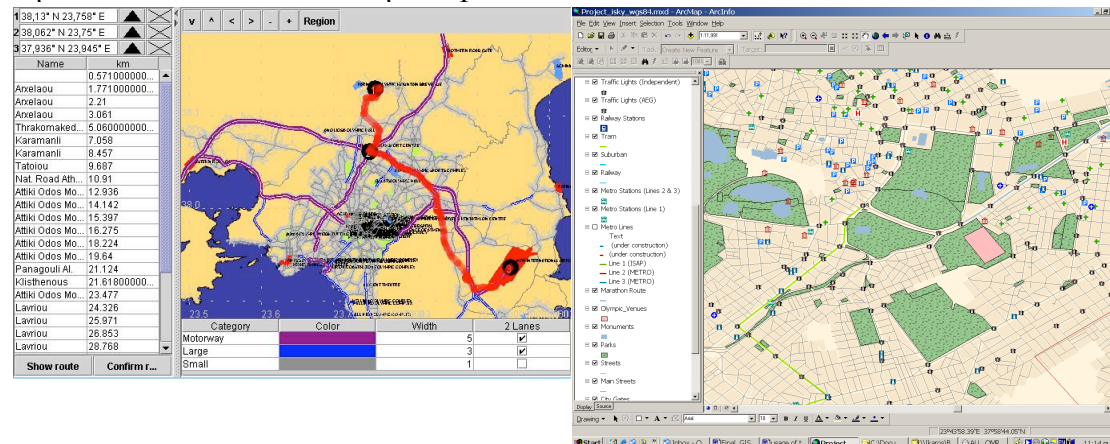
Το Πρόγραμμα "Eye in the Sky" το οποίο υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος IST της Ευρωπαϊκής Επιτροπής με κοινοτική οικονομική υποστήριξη, ανέπτυξε ένα Ευφυές Σύστημα Μεταφορών συνδυάζοντας τεχνολογίες ψηφιακής χαρτογράφησης, τηλεπισκόπησης και τηλεπικοινωνιών.

Ο σκοπός του Προγράμματος ήταν η ανάπτυξη, επίδειξη και εμπορική αξιοποίηση Υπηρεσιών παρακολούθησης κυκλοφορίας, δυναμικής διαχείρισης στόλου οχημάτων και παροχής πληροφοριών για την κυκλοφορία προσαρμοσμένες στις απαιτήσεις των χρηστών σε κινητές συσκευές (τηλέφωνα, PDA κλπ.). Οι Υπηρεσίες αυτές μπορούν να υποστηρίξουν τη διοργάνωση εμπορικών ή αθλητικών γεγονότων μεγάλης κλίμακας αλλά και να εξυπηρετήσουν καθημερινές ανάγκες των πολιτών.

Συγκεκριμένα οι υπηρεσίες βασίζονται στην χρήση ενός οπτικού δέκτη τοποθετημένου σε ελικόπτερο σε συνεργασία με τη χρήση τεχνολογίας Floating Car Data (FCD) που έχει αναπτυχθεί από την εταιρεία gedas για την συλλογή κυκλοφοριακών δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα που αφορούν στην κυκλοφορία στο οδικό δίκτυο της πόλης, συλλέγονται αφενός μεν με ένα οπτικό δέκτη ο οποίος παρέχει απεικονίσεις υψηλής ευκρίνειας και τοποθετείται σε ελικόπτερο το οποίο πετάει σε χαμηλό ύψος και αφετέρου με την βοήθεια οχημάτων που κινούνται στο οδικό δίκτυο ακολουθώντας την κυκλοφοριακή ροή (Floating Car

Data - FCD) και η θέση τους προσδιορίζεται βάσει της τεχνολογίας GPS. Αυτή η πληροφορία χρησιμοποιείται ως συμπληρωματική στην υπάρχουσα τεχνολογία για την συλλογή κυκλοφοριακών δεδομένων (κάμερες στο δρόμο, δέκτες). Ένα Κέντρο Ελέγχου συλλέγει τα κυκλοφοριακά δεδομένα και ενημερώνει την κεντρική βάση δεδομένων GIS σε πραγματικό χρόνο.

Το σύστημα αναπτύχθηκε, ενσωματώθηκε και ελέγχθηκε στην πόλη της Αθήνας από την εταιρεία ΓΕΩΤΟΠΙΟΣ, το Πολυτεχνείο Κρήτης, την εταιρεία ΓΕΩΣΥΝΘΕΣΗ, το Κοινό Κέντρο Ερευνών (JRC) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, το Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), τη gedas GmbH, το Ερευνητικό Κέντρο Fraunhofer, την Robert Bosch S.A. και τη Blaupunkt.



3.6 Συστήματα- Αλγόριθμοι Πλοήγησης Οχημάτων

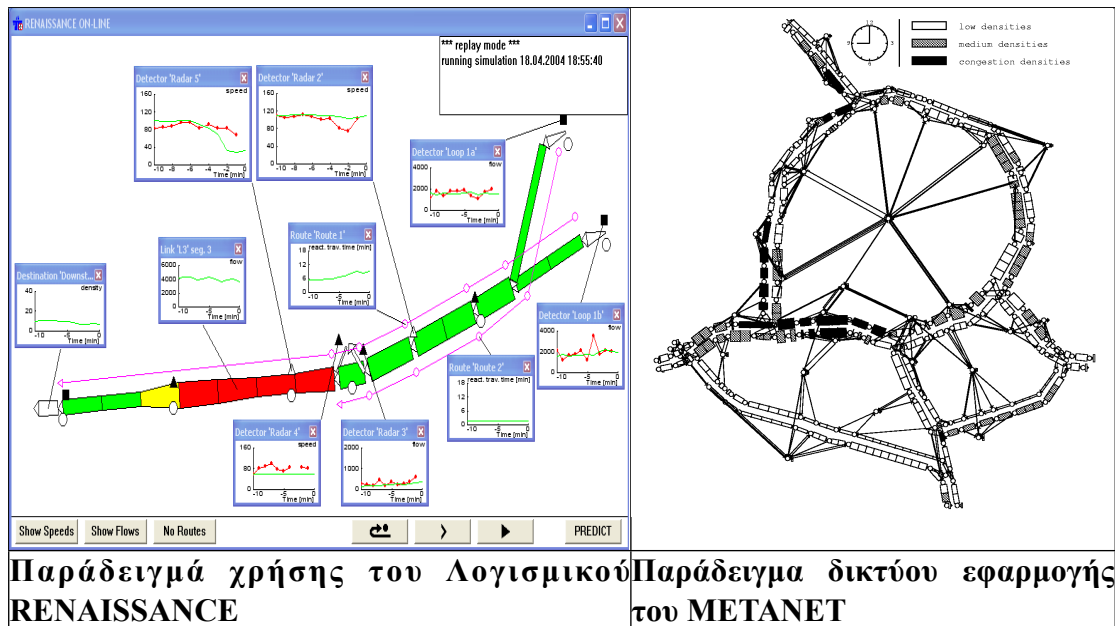
3.6.1 Γενικά

Η πλειοψηφία των συστημάτων πλοήγησης οχημάτων βρίσκει εφαρμογή σε αυτοκινητοδρόμους ή δίκτυα αυτοκινητοδρόμων. Σε αυτά τα συστήματα κλασικές μεθοδολογίες πρόβλεψης όπως autoregressive models, νευρωνικά δίκτυα, κλπ, ή μεθοδολογίες που βασίζονται σε πολύπλοκα ή απλουστευμένα μαθηματικά μοντέλα κυκλοφοριακής ροής χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των κυκλοφοριακών συνθηκών και των χρόνων ταξιδιού βάσει των τρεχουσών μετρήσεων κυκλοφοριακών συνθηκών όπως αυτές εξάγονται από τους φωρατές ή/και τις κάμερες επίβλεψης κυκλοφορίας. Οι αναφορές 1–25 (παρουσιάζουν διάφορα παρόμοια συστήματα που έχουν προταθεί και εφαρμοσθεί πρόσφατα τόσο σε αυτοκινητοδρόμους ή δίκτυα αυτοκινητοδρόμων όσο και σε αστικά οδικά δίκτυα. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι η αποτελεσματικότητα των συστημάτων αυτών στην περίπτωση αυτοκινητοδρόμων ή δικτύων αυτοκινητοδρόμων είναι σημαντική. Ενδεικτικά αναφέρουμε το σύστημα PEMS το οποίο παρέχει πληροφορίες κυκλοφοριακών συνθηκών πραγματικού χρόνου για ολόκληρο το δίκτυο αυτοκινητοδρόμων της Καλιφόρνιας, ενός από τα πιο μεγάλα και πολύπλοκα δίκτυα αυτοκινητοδρόμων διεθνώς. Παρακάτω αναφέρονται και περιγράφονται περιγραμματικά οι κυριότερες κατηγορίες συστημάτων πρόβλεψης χρόνων ταξιδιού που χρησιμοποιούνται από τα συστήματα αυτά.

3.6.2 Συστήματα βασιζόμενα σε μακροσκοπικά μοντέλα κυκλοφορίας.

Ίσως το πιο ολοκληρωμένο και αποτελεσματικό σύστημα αυτής της κατηγορίας είναι το λογισμικό μικροσκοπικής προσομοίωσης κυκλοφορίας METANET και οι επεκτάσεις του. Το λογισμικό αυτό αναπτύχθηκε με συγχρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής καταρχήν για την προσομοίωση κυκλοφορίας αυτοκινητοδρόμων και εξελίχθηκε σε εμπορικό προϊόν με δεκάδες χρήστες διεθνώς. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι αποτελεί το επίσημο πρότυπο προσομοίωσης του ολλανδικού Υπουργείου Δημοσίων Έργων για τους αυτοκινητόδρομους της χώρας. Με συγχρηματοδότηση του Υπουργείου αυτού, αναπτύχθηκε επίσης το METANET-DTA, μια επέκταση του METANET η οποία παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα dynamic traffic assignment. Επίσης με συγχρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και του γαλλικού ερευνητικού ινστιτούτου INRETS αναπτύχθηκε το METACOR, μια επέκταση του METANET η οποία παρέχει την επιπλέον δυνατότητα προσομοίωσης κυκλοφορίας τόσο αστικών οδικών δικτύων όσο και μεικτών οδικών δικτύων (αστικά δίκτυα/αυτοκινητόδρομοι). Το λογισμικό METANET και οι επεκτάσεις του επίσης χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του λογισμικού RENAISSANCE. Το λογισμικό RENAISSANCE είναι ένα εύχρηστο εργαλείο για εποπτεία σε πραγματικό χρόνο της κυκλοφοριακής κατάστασης δικτύων αυτοκινητοδρόμων (εκτίμηση και πρόβλεψη κυκλοφοριακής κατάστασης, ουρών και χρόνων διαδρομής, αναγνώριση και εκτίμηση συμβάντων). Το λογισμικό μπορεί να εφαρμοσθεί σε οποιοδήποτε δίκτυο αυτοκινητοδρόμων και παρέχει την δυνατότητα διαχείρισης μετρήσεων κυκλοφοριακών δεδομένων πραγματικού χρόνου. Η ανάπτυξη του λογισμικού RENAISSANCE έχει συμβάλει διεθνώς στην εποπτεία σε πραγματικό χρόνο της κυκλοφοριακής κατάστασης δικτύων αυτοκινητοδρόμων. Προς το παρόν πρόκειται για το μοναδικό εργαλείο του είδους του και χρησιμοποιείται από τα Κέντρα Διαχείρισης Ελέγχου κυκλοφορίας των αυτοκινητοδρόμων A92 στην Γερμανία και Νάπολης-Σαλέρνο της Ιταλίας.

1. Το λογισμικό METANET και οι επεκτάσεις του βασίζονται σε ρεαλιστικά αλλά και υπολογιστικά απλά μοντέλα κυκλοφοριακής ροής τα οποία έχει αποδειχθεί ότι μπορούν με μεγάλη αξιοπιστία να μοντελοποιήσουν/προβλέψουν τις πραγματικές κυκλοφοριακές συνθήκες. Επιπλέον τα λογισμικά αυτά διαθέτουν την δυνατότητα προσαρμογής των παραμέτρων τους κάνοντας χρήση πραγματικών δεδομένων (μετρήσεων πεδίου) έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η αξιοπιστία μοντελοποίησης/πρόβλεψης.



3.6.3 Το μοντέλο Coifman

Όπως και το προηγούμενο μοντέλο, το μοντέλο αυτό κάνει χρήση στοιχείων της θεωρίας κυκλοφοριακής ροής για την εκτίμηση των χρόνων ταξιδιού. Πιο συγκεκριμένα, κάνοντας χρήση της θεωρίας αυτής, η ταχύτητα ενός οχήματος υπολογίζεται ως εξής:

$$v(x, t) = f(x + u \cdot t) \quad (1)$$

όπου x είναι η διανυθείσα διαδρομή, t είναι ο χρόνος και u είναι είτε η ταχύτητα σε περίπτωση μη-κορεσμένης κυκλοφορίας u_f είτε η ταχύτητα σε περίπτωση κορεσμένης κυκλοφορίας u_c . Η χωροχρονική τροχιά του οχήματος επίσης δίνεται από την παρακάτω διαφορική εξίσωση:

$$\frac{dx}{dt} = v(x, t) \quad (2)$$

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω δύο εξισώσεις, αποδεικνύεται ότι ο χρόνος ταξιδιού του οχήματος εντός του συνδέσμου j , υπολογίζεται ως εξής:

$$\tau_j = \frac{h_j}{1 + \frac{v_j}{u_c}} \quad (3)$$

$$x_j = v_j \tau_j \quad (4)$$

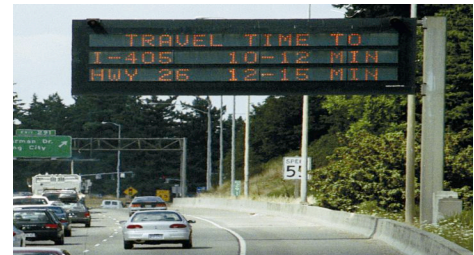
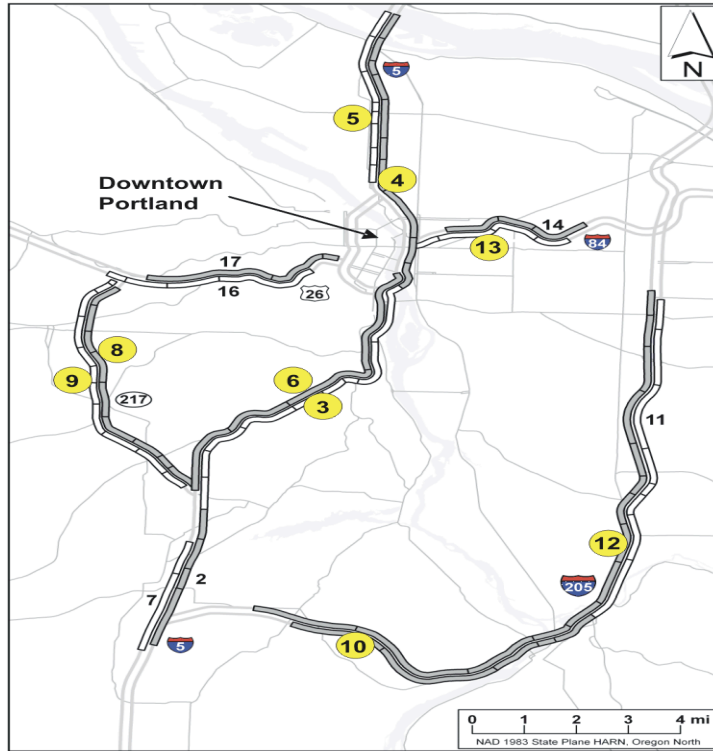
..

όπου τ_j είναι ο χρόνος ταξιδιού του οχήματος εντός του συνδέσμου j , v_j είναι η ταχύτητα του οχήματος και h_j είναι το λεγόμενο headway. Η τιμή της ταχύτητας κορεσμένης κυκλοφορίας u_c στην σχέση (3) συνήθως τίθεται – για την περίπτωση αυτοκινητοδρόμων – ίση με 20 χλμ. Κάνοντας χρήση των εξισώσεων (3) και (4), μπορούμε να υπολογίσουμε τον χρόνο ταξιδιού σε οποιοδήποτε σύνδεσμο, δεδομένης

της ταχύτητας όπως αυτής μετράται από τους φωρατές. Ο χρόνος ταξιδιού σε μια διαδρομή υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$T_k = p\tau_{k+N_k+1} + \sum_{j=k}^{k+N_k} \tau_j$$

όπου,



$$p = \frac{\left(x_{k+N_k+1} + \sum_{j=k}^{k+N_k} x_j \right) - d}{x_{k+N_k+1}}$$

και d είναι το μήκος της διαδρομής.

3.6.4 Σύστημα SITRAFFIC Concert (Siemens)

Το σύστημα αυτό βασίζεται στον αλγόριθμο του Tannert, ο οποίος εφαρμόζεται σε κάθε σύνδεσμο του δικτύου, και μπορεί να εφαρμοσθεί τόσο σε αυτοκινητόδρομους όσο και σε αστικά δίκτυα. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο αυτό, ο χρόνος ταξιδιού υπολογίζεται σαν το άθροισμα 3 επιμέρους χρόνων:

1. Ο χρόνος t1 που το όχημα χρειάζεται να διανύσει τον σύνδεσμο σε περίπτωση μη-κορεσμένης κυκλοφορίας.

2. Ο χρόνος καθυστερήσεων t_2 σε κινούμενη ουρά, και
3. Ο χρόνος καθυστερήσεων t_3 λόγω κόκκινου φωτεινού σηματοδότη.

Για τον υπολογισμό των παραπάνω επιμέρους χρόνων, απαιτείται ο καθορισμός των παρακάτω παραμέτρων:

$Llink$: μήκος συνδέσμου

$Lt, stau$: μήκος ουράς οχημάτων την χρονική στιγμή t

η ταχύτητα σε περίπτωση μη-κορεσμένης κυκλοφορίας u_f είτε η ταχύτητα σε περίπτωση κορεσμένης κυκλοφορίας u_c

$trot$: χρόνος κόκκινου φωτεινού σηματοδότη

ty : χρόνος πράσινου φωτεινού σηματοδότη

h : είναι το λεγόμενο headway

Το πιο σημαντικό στοιχείο στην ακρίβεια της μεθόδου αυτής είναι η ακριβής εκτίμηση του μήκους της ουράς των οχημάτων εντός του συνδέσμου. Το μήκος της ουράς υπολογίζεται κάθε 90 δευτερόλεπτα ως εξής: κάθε φορά οι τιμές της κυκλοφοριακής ροής και ταχύτητας (όπως αυτές μετρώνται από τους φωρατές) συγκρίνονται με τις προηγούμενες τιμές τους. Επίσης, η ταχύτητα συγκρίνεται με δύο τιμές ταχύτητας, την τιμή της ταχύτητας πάνω από την οποία η ουρά των οχημάτων αρχίζει να «διαλύεται» και την τιμή της ταχύτητας κάτω από την οποία η ουρά αρχίζει να αυξάνεται. Από την σύγκριση αυτή, μπορούμε να πάρουμε μια ένδειξη για το εάν η ουρά αρχίζει να διαλύεται ή να αυξάνει. Ανάλογα με τα αποτελέσματα αυτής της σύγκρισης, το μήκος της ουράς υπολογίζεται κάνοντας χρήση δύο διαφορετικών μεθόδων:

$$Lt, stau = Lt-1, stau + At$$

όπου η τιμή του όρου At , υπολογίζεται διαφορετικά ανάλογα σε ποια από τις δύο περιπτώσεις βρισκόμαστε. Στην πρώτη περίπτωση (διάλυση ουράς), η τιμή του όρου αυτού υπολογίζεται συναρτήσει της ροής των οχημάτων (σύμφωνα με τις μετρήσεις των φωρατών) και των παραμέτρων $vopt$, $stauf$, Lfz ενώ στην δεύτερη περίπτωση (αύξηση ουράς), η τιμή του όρου αυτού υπολογίζεται συναρτήσει της ροής των οχημάτων και των παραμέτρων vab , $stab$, Lfz , όπου

vab : η ταχύτητα πάνω από την οποία η ουρά αρχίζει να διαλύεται

$stab$: παράμετρος ορισμένη από τον χρήστη σχετικά με τον ρυθμό αύξησης της ουράς

Lfz : μέσο μήκος οχήματος

$vopt$: η ταχύτητα κάτω από την οποία η ουρά αρχίζει να αυξάνεται

$stauf$: παράμετρος ορισμένη από τον χρήστη σχετικά με τον ρυθμό διάλυσης της ουράς.

Στην περίπτωση αυτοκινητοδρόμων, η μεθοδολογία αυτή δεν συνυπολογίζει τον επιμέρους χρόνο t_3 .

3.6.5 Μέθοδοι πρόβλεψης

Σε αυτή την κατηγορία – στην οποία εμπίπτει η πλειοψηφία των υπάρχουσών μεθοδολογιών – γίνεται χρήση μοντέλων πρόβλεψης, σύμφωνα με τα οποία η

μετρήσεις των φωρατών (κατάληψη, ροή και ταχύτητα) τόσο στο τελευταίο χρονικό διάστημα μέτρησης όσο και προηγούμενων χρονικών διαστημάτων μέτρησης, χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των χρόνων διαδρομής. Διαφορετικές μεθοδολογίες πρόβλεψης όπως νευρωνικά δίκτυα, συστήματα ARIMA, SARIMA, NARMA, κλπ, στατιστικά μοντέλα πρόβλεψης, κλπ, έχουν προταθεί για τον σκοπό αυτό. Το πλεονέκτημα των μεθόδων αυτών είναι ότι δεν απαιτείται ο καθορισμός από τον χρήστη μιας σειράς κυκλοφοριακών παραμέτρων. Το γενικό μειονέκτημά τους όμως είναι το ότι δεν λαμβάνουν σε μεγάλο βαθμό τους φυσικούς νόμους που διέπουν την κίνηση των οχημάτων.

Κλείνουμε την ανασκόπηση αυτή, σημειώνοντας ότι σε αντίθεση με τα δίκτυα αυτοκινητοδρόμων, η εφαρμογή συστημάτων πλοήγησης οχημάτων σε αστικά οδικά δίκτυα συναντά αρκετές δυσκολίες κυρίως λόγω του γεγονότος ότι μετρήσεις υψηλής κυκλοφοριακής κατάληψης μπορεί να αντιστοιχούν είτε σε υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους είτε στο ότι τα οχήματα έχουν δημιουργήσει προσωρινά ουρές λόγω κόκκινης ένδειξης φωτεινού σηματοδότη. Αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού είναι ότι τα υπάρχοντα συστήματα:

1. Κάνουν χρήση κυκλοφοριακών μετρήσεων μεγάλου – σε σύγκριση με τα συστήματα δικτύων αυτοκινητοδρόμων – χρόνου δειγματοληψίας και κατά συνέπεια είναι λιγότερο ευαίσθητα σε αλλαγές των κυκλοφοριακών συνθηκών.
2. Κάποια από αυτά τα συστήματα κάνουν χρήση συνδυασμένων πληροφοριών κατάστασης φωτεινής σηματοδότησης και κυκλοφοριακών μετρήσεων με αποτέλεσμα την αύξηση απαιτήσεων – σε σχέση με τα συστήματα δικτύων αυτοκινητοδρόμων – τόσο υπολογισμού όσο και επικοινωνίας με το κέντρο ελέγχου.

Όλα τα παραπάνω συντελούν στην μειωμένη αποτελεσματικότητα των συστημάτων αυτών για γενικά αστικά οδικά δίκτυα. Αποτελεσματικές εφαρμογές συναντώνται μόνο σε περιπτώσεις όπου μετά την υλοποίηση του συστήματος πλοήγησης οχημάτων ακολουθεί μια χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία «κουρδίσματος» (fine-tuning) των παραμέτρων του συστήματος.

3.6.6 Υπάρχοντα Συστήματα στην Ευρώπη και τις υπόλοιπες χώρες

Εκτός από τους αλγόριθμους πλοήγησης οι οποίοι παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, διατίθενται στην Ευρώπη και τις υπόλοιπες χώρες μια σειρά από συστήματα δυναμικής πλοήγησης. Τα σπουδαιότερα από αυτά είναι τα παρακάτω:

TARA Mobile SatNav, GetMeThere.co.uk (Αγγλία)

Το TARA Mobile SatNav αποτελεί την πρώτη λύση δορυφορικής πλοήγησης για κινητά και “ευφυή” τηλέφωνα (Smartphones). Το TARA (Traffic Avoidance and Routing Application) αναπτύχθηκε από την GetMeThere, μια σύμπραξη



της Toyota GB και της IS Solutions και βασίζεται στις υπηρεσίες πλοήγησης της PTV. Προσφέρει δυναμική πλοήγηση όπου όλοι οι υπολογισμοί για τη βέλτιστη διαδρομή, την αποφυγή της κυκλοφορίας κτλ, πραγματοποιούνται σε κάποιο Κέντρο και όχι στη συσκευή. Η απαραίτητη πληροφορία λαμβάνεται στο κινητό μέσω GPRS πριν την έναρξη του ταξιδιού. Με την επεξεργασία των δεδομένων από απόσταση, επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση χρόνου, και ενέργειας από την επεξεργασία των δεδομένων στη συσκευή, χώρου αποθήκευσης και επιπλέον, οι χάρτες καθώς και όλα τα δεδομένα που λαμβάνονται είναι πλήρως ενημερωμένα.

Για τη λειτουργία του TARA απαιτείται μόνο ένα συμβατό κινητό τηλέφωνο και ένας GPS δέκτης. Το TARA λαμβάνεται δωρεάν από το διαδίκτυο και ο χρήστης χρεώνεται μόνο για κάθε διαδρομή που χρησιμοποιεί το σύστημα.

Επιπλέον, καθώς πρόκειται για κινητό τηλέφωνο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της διαδρομής με το όχημα αλλά και αφού απομακρυνθούμε από αυτό. Το σύστημα διαθέτει αναλυτική πλοήγηση και φωνητικές οδηγίες. Λειτουργεί πλήρως σε όλη τη Μεγάλη Βρετανία και καλύπτει πολλές άλλες Ευρωπαϊκές χώρες αλλά χωρίς τη δυνατότητα δυναμικής πλοήγησης. Η Ελλάδα, δεν συμπεριλαμβάνεται στη γεωγραφική περιοχή που καλύπτει το σύστημα.

VDO Dayton Navigation System, Siemens VDO Automotive (ΗΠΑ)

Το VDO Dayton Navigation System αναπτύχθηκε πλήρως (λογισμικό και hardware) από την Siemens VDO Automotive και χρησιμοποιεί τα χαρτογραφικά υπόβαθρα της Tele Atlas, και πληροφορίες για την κυκλοφορία από το Clean Channel Radio, (παροχέα κυκλοφοριακών πληροφοριών σε ράδιο τηλεόραση και διαδίκτυο). Το σύστημα λαμβάνει δυναμική πληροφορία για την κυκλοφορία μέσω RDS τεχνολογίας, ειδοποιεί τον οδηγό για την κατάσταση μέσω φωνητικής ή οπτικής επικοινωνίας και του δίνει τη δυνατότητα να αποφύγει την καθυστέρηση προτείνοντάς του την καλύτερη εναλλακτική διαδρομή. Τα κυκλοφοριακά δεδομένα εμφανίζονται ως ειδοποίηση με μορφή κειμένου στην οθόνη ή με την μορφή εικόνας πάνω στον χάρτη και παρέχονται βάσει ετήσιας συνδρομής.



AVIC-9DVD/ “DVD CYBER NAVI”, Pioneer Europe (Βέλγιο)

Η Pioneer Europe έχει παρουσιάσει στην αγορά ένα νέο σύστημα πλοήγησης οχημάτων για την Ευρώπη, το οποίο λειτουργεί με DVD. Το AVIC-9DVD αποτελεί το πρώτο DVD σύστημα πλοήγησης οχημάτων που προσφέρει ταυτόχρονα δυναμική πλοήγηση και DVD-video αναπαραγωγή ενσωματωμένα στο ίδιο σύστημα. Λειτουργεί πολύ πιο γρήγορα από τα συμβατικά συστήματα που βασίζονται σε CD-ROM, διαθέτει μηχανισμό αναγνώρισης φωνής και απεικονίζει τις προτεινόμενες διαδρομές πάνω σε χάρτες που διαθέτει για όλη την Ευρώπη σε μία μονάδα DVD.

Το σύστημα λαμβάνει υπόψη του τα κυκλοφοριακά δεδομένα που μεταδίδονται από το RDS-TMC2 για τον σχεδιασμό των προτεινόμενων διαδρομών και απεικονίζει όλα



τα γεγονότα που αναφέρονται από το TMC πάνω στην περιοχή του χάρτη που χρησιμοποιείται. Το σύστημα υπολογίζει έξι διαδρομές, συμπεριλαμβανομένων της πιο γρήγορης διαδρομής (λαμβάνοντας υπόψη τα κυκλοφοριακά δεδομένα), της πιο σύντομης διαδρομής και εναλλακτικών διαδρομών αποφεύγοντας τους αυτοκινητόδρομους, τα διόδια κτλ. Επιπλέον, το σύστημα διαθέτει πληροφορίες για 550.000 ενδιαφέροντα σημεία που μπορεί ο χρήστης να λάβει υπόψη στο σχεδιασμό της διαδρομής και δίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης έως και 100 προτιμώμενων διαδρομών.

Dynamic Navigation System, ITIS Holdings, (Αγγλία)

Η ITIS Holdings ανέπτυξε ένα δυναμικό σύστημα το οποίο καθοδηγεί τον οδηγό επαναπροσδιορίζοντας τη διαδρομή κατά τρόπο ώστε να αποφευχθούν σημεία υψηλής κυκλοφορίας και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιεί τα χαρτογραφικά δεδομένα της NavTech.

Τα κυκλοφοριακά δεδομένα που συλλέγονται από την ITIS μεταδίδονται στο σύστημα πλοήγησης του οχήματος, μέσω του καναλιού μετάδοσης μηνυμάτων κυκλοφορίας RDS/TMC, και ενσωματώνονται στους χάρτες της NavTech ώστε ο οδηγός να μπορεί να δει ακριβώς που βρίσκεται το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η ITIS χρησιμοποιεί την τεχνική συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων από Συμπλέοντα Οχήματα (FCD) για να παρακολουθήσει τη ροή της κυκλοφορίας στους κύριους οδικούς άξονες της Αγγλίας. Το σύστημα αναλύει δεδομένα από στόλο 3600 κινούμενων οχημάτων.



330 Auto Navigation, Nokia (ΗΠΑ)

Το προσωπικό σύστημα πλοήγησης Nokia 330 Auto Navigation, χρησιμοποιεί το λογισμικό Route 66 Navigate 7, χαρτογραφικά δεδομένα της Navteq και εσωτερικό GPS για να προσδιορίσει την απλούστερη διαδρομή για να φθάσει κάποιος στον προορισμό του.

Το σύστημα έχει τη δυνατότητα να παρέχει προαιρετικά δυναμική πλοήγηση χρησιμοποιώντας κυκλοφοριακά δεδομένα τα οποία μεταδίδονται μέσω TMC.

Traffic Master (Αγγλία)

Η Traffic Master το 1998 πραγματοποίησε την ενσωμάτωση κυκλοφοριακών δεδομένων σε ένα GPS σύστημα πλοήγησης και τον επόμενο χρόνο συνεργάστηκε με την Motorola για την παροχή ενός GSM κινητού δέκτη για την μετάδοση δυναμικών κυκλοφοριακών δεδομένων απευθείας στο σύστημα πλοήγησης στο όχημα και αργότερα με τη Blaupunkt για τη μετάδοση των πληροφοριών μέσω GSM.

Intelligent driving assistants, Blaupunkt (Γερμανία)

Η Blaupunkt, ήταν η πρώτη εταιρεία που ανέπτυξε σύστημα πλοήγησης



για αυτοκίνητα. Σήμερα, δίνει τη δυνατότητα δυναμικής πλοήγησης σύμφωνα με την κυκλοφοριακή κατάσταση στους δρόμους μεταδιδόμενη στο σύστημα μέσω RDS/TMC.

Το σύστημα πλοήγησης δεν χρησιμοποιεί μόνο δορυφορικά-GPS δεδομένα για τον προσδιορισμό της θέσης του οχήματος, καθώς σε περιπτώσεις που το σήμα δεν είναι ισχυρό η θέση προσδιορίζεται με πολύ χαμηλή ακρίβεια. Καλύτερος προσδιορισμός της θέσης επιτυγχάνεται με χρήση δεκτών του οχήματος που προσδιορίζουν τη θέση του καθώς αυτό κινείται. Ένα ταχύμετρο υπολογίζει τη διαδρομή που ακολούθησε το όχημα από τη στιγμή που άφησε το σημείο εκκίνησης και ένα γυροσκόπιο υπολογίζει την κάθε αλλαγή κατεύθυνσης του οχήματος. Με αυτό τον τρόπο, το σύστημα μπορεί να υπολογίσει τη θέση του οχήματος με ακρίβεια τριών μέτρων.

BMW- ConnectedDrive (Γερμανία)

Το σύστημα ConnectedDrive που αναπτύσσει η BMW (βλ.παράγραφο 2.2.2) υποστηρίζει δυναμική πλοήγηση δίνοντας τη δυνατότητα στον οδηγό να αποφύγει τον κυκλοφοριακό φόρτο χρησιμοποιώντας εκτός των άλλων και πληροφορίες από κινούμενα οχήματα στην ίδια περιοχή (XFCD).

3.6.7 Υπάρχοντα Συστήματα στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα δεν έχουν αναπτυχθεί συστήματα πλοήγησης οχημάτων. Υπάρχουν ορισμένα συστήματα πλοήγησης διαθέσιμα στην αγορά τα οποία όμως δεν χρησιμοποιούν κυκλοφοριακά δεδομένα και επίσης έχουν αναπτυχθεί εκτός Ελλάδος.

Συστήματα που έχουν αναπτυχθεί εντός Ελλάδος είναι συστήματα διαχείρισης στόλου, εξειδικευμένα για να καλύπτουν τις ανάγκες συγκεκριμένων εταιριών, ορισμένα από τα οποία ενσωματώνουν και διαδικασίες πλοήγησης, οι οποίες όμως είναι αρκετά απλές και χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις ανάγκης όπως ξαφνική αλλαγή δρομολογίου και δεν χρησιμοποιούν κυκλοφοριακά δεδομένα. Συστήματα διαχείρισης στόλου έχουν αναπτυχθεί στην Ελλάδα από:

- Την **Space Hellas**: το Fleet Management και Fleet Tracker, όπου υπάρχει επικοινωνία του Κέντρου διαχείρισης με τους οδηγούς μέσω γραπτών μηνυμάτων ή φωνής.
- Την **Έμφασις Τηλεματική**: το eTrack, το οποίο σκοπεύει να συλλέξει κυκλοφοριακά δεδομένα από τον στόλο οχημάτων των εταιρειών που χρησιμοποιούν το σύστημα, με σκοπό την αξιοποίησή τους κυρίως ως ιστορικά δεδομένα για τον σχεδιασμό των δρομολογίων κτλ και όχι για πλοήγηση.

3.7 Συμπεράσματα

Στην Ελλάδα δεν έχει αναπτυχθεί κανένα σύστημα Συλλογής Κυκλοφοριακών δεδομένων. Για τη Συλλογή Κυκλοφοριακών Δεδομένων χρησιμοποιούνται ορισμένα συστήματα φωρατών και καμερών που έχουν αναπτυχθεί στο εξωτερικό, ενώ τα Συμπλέοντα Οχήματα δεν έχουν χρησιμοποιηθεί παρά μόνο σε πιλοτικές εφαρμογές για περιορισμένο χρονικό διάστημα (π.χ. στο πλαίσιο του έργου Eye in the Sky) παρόλο που έχουν χαμηλό κόστος και θα μπορούσαν να αποτελέσουν μία εύκολη και οικονομική λύση στο πρόβλημα της συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων.

Η χρήση των φωρατών σήμερα είναι αρκετά διαδεδομένη αλλά τα τελευταία χρόνια δεν έχει παρουσιαστεί κάποια σημαντική τεχνολογική αλλαγή, η οποία να εξελίσει τα συστήματα και να περιορίζει ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματά τους. Αντίθετα, όσον αφορά στις κάμερες, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι επεξεργασίας εικόνας κατάλληλοι για τον αυτόματο εντοπισμό των οχημάτων, την καταμέτρησή τους, τον υπολογισμό της ταχύτητάς τους κ.α. με αποτέλεσμα την βελτίωση των συστημάτων που χρησιμοποιούν κάμερες δίνοντάς τους τη δυνατότητα αυτόματης εξαγωγής μετρητικών χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας, και μία νέα ώθηση στην αγορά.

Αλλά η τάση σήμερα και οι σημαντικότερες εξελίξεις εμφανίζονται στα Συστήματα Συμπλεόντων Οχημάτων, τα οποία είναι πολύ ευέλικτα, παρέχοντας πληροφορίες για οποιοδήποτε σημείο του οδικού δικτύου βρίσκεται ένα Συμπλέον Όχημα, χωρίς σημαντικές δυσκολίες περιορισμούς στη στην εγκατάσταση και λειτουργία τους και ταυτόχρονα αποτελούν μία οικονομική λύση.

Τα περισσότερα συστήματα Συμπλεόντων Οχημάτων χρησιμοποιούν τεχνολογία GPS για τον προσδιορισμό της θέσης. Υπάρχουν και κάποιες προσπάθειες για χρήση του σήματος των κινητών τηλεφώνων, διότι με αυτό τον τρόπο θα υπάρχει η δυνατότητα λήψης και επεξεργασίας πολλών δεδομένων καθώς όλοι σχεδόν πλέον διαθέτουν ένα κινητό τηλέφωνο, αλλά η ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης είναι ακόμα αρκετά χαμηλή, κάτι απαγορευτικό για τη χρήση του σε αστικό περιβάλλον, οπότε η λύση του GPS είναι η πλέον κατάλληλη σήμερα. Στο μέλλον, με τη χρήση νέων δορυφορικών συστημάτων προσδιορισμού θέσης (GALILEO) θα υπάρξει βελτίωση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης....

Τα τελευταία χρόνια σε πολλά Κέντρα Ελέγχου της Κυκλοφορίας χρησιμοποιούνται Συμπλέοντα Οχήματα για τη συλλογή κυκλοφοριακών δεδομένων. Γενικότερα, υπάρχει η τάση συνδυασμού των δεδομένων που συλλέγονται από τα Συμπλέοντα Οχήματα με τα ήδη υπάρχοντα συστήματα για να καλυφθούν οι αυξημένες ανάγκες για κυκλοφοριακά δεδομένα. Τα Συμπλέοντα Οχήματα είναι ένα πολύ καλό εργαλείο για παροχή δεδομένων όπου τα άλλα συστήματα υστερούν. Μπορεί να καλύψει περιοχές όπου δεν υπάρχουν άλλα συστήματα, να παρέχει επιπλέον- πιο λεπτομερή πληροφορία κ.α.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλη τάση από τις αυτοκινητοβιομηχανίες για χρήση Συμπλεόντων Οχημάτων με σκοπό την παροχή πληροφόρησης στους ιδιοκτήτες των οχημάτων τους, σχετικά με τις κυκλοφοριακές συνθήκες στο πλαίσιο της παροχής υπηρεσιών automobility (καθοδήγησης για το “πώς να πάω που”, εντοπισμός σημείων ενδιαφέροντος, καταστημάτων κτλ). Πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες

εξοπλίζουν πλέον ορισμένα μοντέλα με τον απαραίτητο εξοπλισμό για πλοήγηση, και παρέχουν αντίστοιχες υπηρεσίες. Στο πλαίσιο αυτό, και σε συνδυασμό με την ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση για τέτοιες υπηρεσίες οι αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν ήδη αρχίσει να χρησιμοποιούν τα οχήματα ως Συμπλέοντα Οχήματα για να παρέχουν στους ιδιοκτήτες καλύτερες υπηρεσίες, και επιπλέον χρηματοδοτούν ερευνητικά προγράμματα με σκοπό τη βελτίωση των υπηρεσιών αυτών.

Επιπλέον, όσον αφορά στα Συστήματα Συμπλεόντων Οχημάτων, οι νέες τάσεις είναι η χρήση επιπλέον δεκτών πάνω στο όχημα για την συλλογή και επεξεργασία περισσότερων δεδομένων (όπως χρήση των φρένων, χρήση των φώτων, μέτρηση της εξωτερικής θερμοκρασίας κ.α.) και τον προσδιορισμό περισσότερων και πιο αξιόπιστων πληροφοριών σχετικά με την κυκλοφορία αλλά και την κατάσταση που επικρατεί στο οδικό δίκτυο (πχ. ολισθηρότητα του οδοστρώματος, καιρικές συνθήκες που επικρατούν, ύπαρξη κάποιου εμποδίου ή κινδύνου κτλ).

Επιπλέον, εξετάζεται η ανάπτυξη νέων συστημάτων τα οποία βασίζονται στην απευθείας επικοινωνία και μετάδοσης πληροφοριών μεταξύ των οχημάτων. Όλες οι απαραίτητες επεξεργασίες πραγματοποιούνται στο όχημα, από την καταγραφή και επεξεργασία των δεδομένων μέχρι τη μετάδοση και αξιοποίησή τους σε συστήματα πλοήγησης από άλλα οχήματα που κινούνται σε γειτονική περιοχή. Έτσι ο οδηγός θα λαμβάνει πληροφορίες μόνο για την περιοχή γύρω από την οποία κινείται και όχι πληροφορίες για όλο το οδικό δίκτυο οι οποίες φορτώνουν το άσκοπα το σύστημα καθώς δεν είναι χρήσιμες για τον οδηγό.

Όσον αφορά στα συστήματα δυναμικής πλοήγησης, τα τελευταία χρόνια βρίσκονται σε ιδιαίτερη ανάπτυξη και η χρήση τους είναι πολύ διαδεδομένη. Στην Ελλάδα, η χρήση των συστημάτων αυτών παρουσιάζει σημαντική αύξηση, ενώ η ανάπτυξή μέχρι στιγμής πραγματοποιείται σε χώρες του εξωτερικού. Επιπλέον, στο εξωτερικό εμφανίζεται τελευταία η τάση για ανάπτυξη και εμπορική χρήση συστημάτων δυναμικής πλοήγησης τα οποία εξακολουθούν να διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

α) συστήματα όπου η επεξεργασία γίνεται on board, όλες δηλαδή οι απαραίτητες λειτουργίες για τον προσδιορισμό της κατάλληλης διαδρομής γίνονται στο όχημα. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται και τα συστήματα που αναπτύσσονται τελευταία και στηρίζονται αποκλειστικά στην επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων.

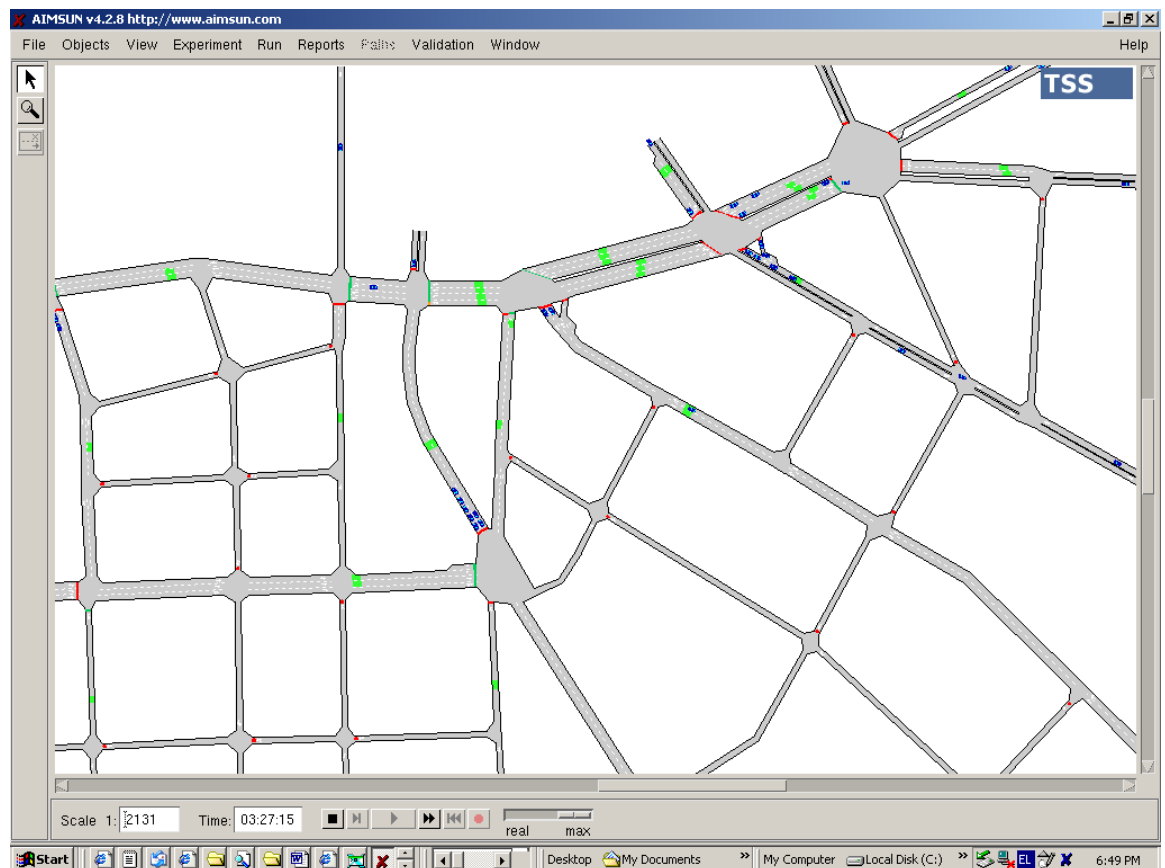
β) συστήματα όπου η επεξεργασία γίνεται off board, όλες δηλαδή οι απαραίτητες λειτουργίες πραγματοποιούνται σε κάποιο απομακρυσμένο σημείο (σε κάποιο Κέντρο) και ο οδηγός ενημερώνεται μόνο με την διαδρομή την οποία θα πρέπει να ακολουθήσει.

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζεται τελευταία από εταιρείες κινητής τηλεφωνίας για ανάπτυξη συστημάτων δυναμικής πλοήγησης και παροχή αντίστοιχων υπηρεσιών στους πελάτες της. Επιπλέον, υπάρχει η τάση παροχής υπηρεσιών δυναμικής πλοήγησης σε κινητές συσκευές όπως PDA's και κινητά τηλέφωνα Smartphones, όπου η συσκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλο όχημα και η πλοήγηση να συνεχιστεί και μετά την απομάκρυνση του οδηγού από αυτό.

3.8 Υπάρχουσα Υποδομή στην Ελλάδα

Στο πλαίσιο της Ενότητας Εργασίας 5 “Δοκιμές στο πεδίο- Αξιολόγηση συστήματος” του παρόντος Έργου (05ΠΑΒ 85), θα πραγματοποιηθεί πιλοτική εφαρμογή στο λεκανοπέδιο της Αθήνας με σκοπό την αξιολόγηση και βελτίωση της μεθόδου και του αλγορίθμου προς ανάπτυξη. Για το λόγο αυτό, κρίθηκε σκόπιμο να γίνει μία παρουσίαση της υπάρχουσας υποδομής στην Ελλάδα με έμφαση στην Αθήνα καθώς τα δεδομένα που θα συλλέγονται από τα Συμπλέοντα Οχήματα θα πρέπει να ενσωματωθούν στην ήδη υπάρχουσα υποδομή.

Συστήματα Φωρατών



Σχήμα 1: Παράδειγμα συστήματος φωρατών (με πράσινο) σε αστικό οδικό δίκτυο κυκλοφορίας.

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων στην χώρα μας είναι αυτή των συστημάτων φωρατών (Σχήματα 1).

Στην πλειοψηφία των συστημάτων φωρατών που χρησιμοποιούνται στην χώρα μας, οι φωρατές βρίσκονται εγκατεστημένοι 40–200 μέτρα ανάντη της γραμμής STOP των κύριων συνδέσμων στην περίπτωση αστικών δικτύων και κάθε 500 μέτρα περίπου στην περίπτωση αυτοκινητοδρόμων (για λόγους ασφάλειας, η πυκνότητα των φωρατών είναι υψηλότερη στις σήραγγες των αυτοκινητοδρόμων). Τα συστήματα φωρατών χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο από τα συστήματα ελέγχου φωτεινής σηματοδότησης και κυκλοφορίας για τον έλεγχο της κυκλοφορίας και όχι για την

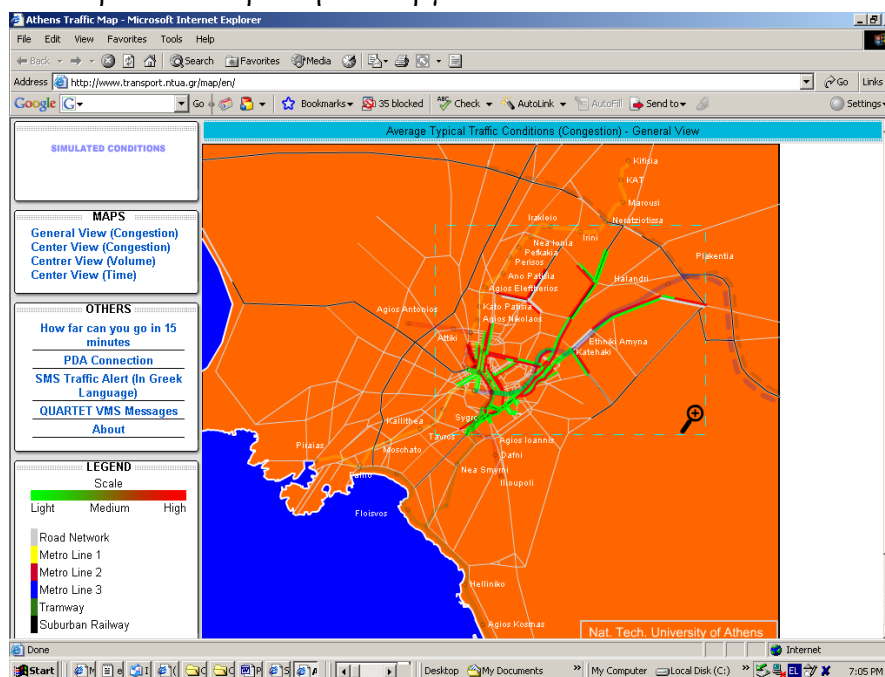
εκτίμηση χρόνων διαδρομής. Συστήματα φωρατών διαθέτουν αυτή την στιγμή τα αστικά δίκτυα της Αττικής (~500 φωρατές), Χανίων (~150 φωρατές), ένα τμήμα του αστικού δικτύου της Θεσσαλονίκης (κέντρο) και το δίκτυο αυτοκινητοδρόμων της πρωτεύουσας (Αττική οδός, Εθνική οδός εντός της περιοχής της Αττικής και Περιφερειακή οδός). Σε όλες τις περιπτώσεις των αστικών οδικών δικτύων (Αττική, Χανιά, Θεσσαλονίκη) το σύστημα φωρατών αποτελεί τμήμα του συστήματος ελέγχου και διαχείρισης κυκλοφορίας, το οποίο είναι τύπου SIEMENS MIGRA.



Σχήμα 2: Σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας SIEMENS MIGRA

Οι μετρήσεις των φωρατών του συστήματος ελέγχου κυκλοφορίας της Αττικής χρησιμοποιούνται αυτή την στιγμή από δύο δικτυακούς τόπους (<http://www.transport.ntua.gr/map/el/index.php>, βλ. Σχήμα 3) και <http://test.AthensTraffic.gr>) για την ενημέρωση των κυκλοφοριακών συνθηκών τμήματος

του δικτύου της Αττικής. Ένας παρόμοιος δικτυακός τόπος έχει δημιουργηθεί και για το δίκτυο των Χανίων (<http://www.chania.gr/projects/show.jsp?lang=el&id=14>) στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού ερευνητικού έργου OMNI.



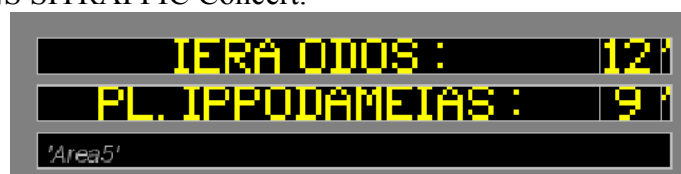
Σχήμα 3: Στιγμιότυπο του δικτυακού τόπου <http://www.transport.ntua.gr/map/el/index.php>

Συστήματα Καμερών

Τα συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας του δικτύου της πρωτεύουσας και της Αττικής οδού διαθέτουν κάμερες επίβλεψης της κυκλοφορίας, η πλειοψηφία των οποίων είναι κάμερες παρακολούθησης της οπτικής εικόνας από το προσωπικό των κέντρων ελέγχου. Ένας μικρός αριθμός των καμερών – περί τις 80 – αυτών διαθέτουν συστήματα ανάλυσης και συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων (κυκλοφοριακή ροή, μήκος ουρών) μέσω κατάλληλων αλγορίθμων ψηφιακής ανάλυσης εικόνας.

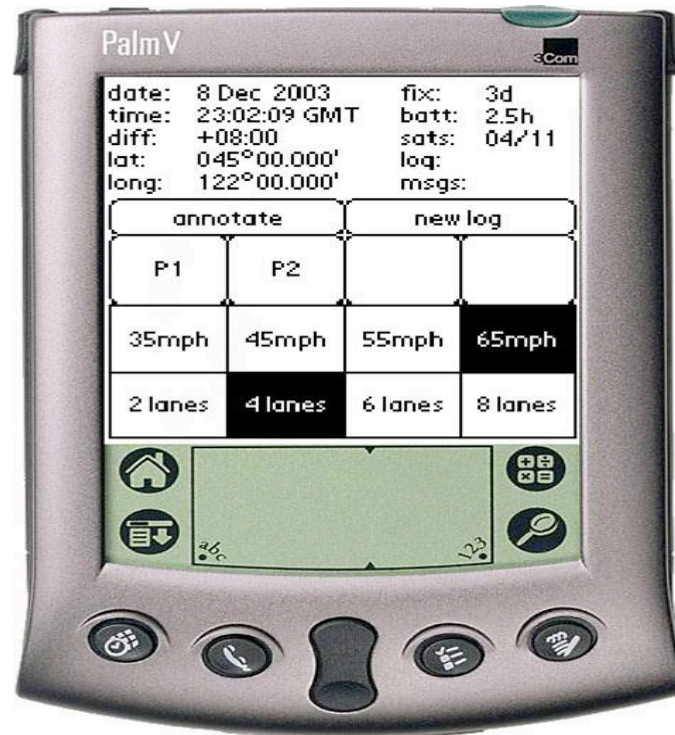
Συστήματα Εκτίμησης Χρόνων Ταξιδιού

Το σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας της Αττικής διαθέτει αυτή την στιγμή ενά αρκετά αξιόπιστο σύστημα πρόβλεψης των χρόνων ταξιδιού σε κάποιες σημαντικές διαδρομές του δικτύου. Το σύστημα αυτό ενημερώνει τους οδηγούς μέσω Πινακίδων Μεταβλητών Μηνυμάτων σε σημεία των διαδρομών αυτών. Οι χρόνοι διαδρομής εκτιμώνται κάνοντας χρήση των μετρήσεων των φωρατών και των καμερών που διαθέτουν συστήματα ανάλυσης κυκλοφοριακών δεδομένων. Το σύστημα αυτό είναι τύπου SIEMENS SITRAFFIC Concert.



Σχήμα 4: Πινακίδες Μεταβλητών Μηνυμάτων Αττικής

Μέσω χρηματοδότηση της Κοινωνίας της Πληροφορίας και άλλων πόρων εξαγγέλθηκαν δύο διαφορετικά έργα που αφορούν στην χρήση των κυκλοφοριακών δεδομένων όπως αυτά εξάγονται από τους φωρατές και τις κάμερες του συστήματος ελέγχου κυκλοφορίας της Αττικής για την ανάπτυξη συστημάτων εκτίμησης χρόνων ταξιδιού και πληροφόρησης σε πραγματικό χρόνο των οδηγών για τις επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθηκές όλου του δικτύου της Αττικής μέσω – ανάμεσα στα άλλα – συσκευών ενημέρωσης εγκατεστημένες στο όχημα του οδηγού.



Σχήμα 5: Παράδειγμα συσκευής ενημέρωσης οδηγού εγκατεστημένης στο όχημα.

Συστήματα Πλοήγησης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί δεν έχουν αναπτυχθεί συστήματα πλοήγησης οχημάτων στην Ελλάδα, αλλά υπάρχουν ορισμένα διαθέσιμα στην ελληνική αγορά τα οποία έχουν αναπτυχθεί στο εξωτερικό και δεν χρησιμοποιούν κυκλοφοριακά δεδομένα. Τέτοια συστήματα είναι:

- Το λογισμικό πλοήγησης της **Teletype** που διατίθεται από την Cathellas, εγκαθίσταται στα rocket PC και ειδικά κινητά τηλέφωνα και έχει τη δυνατότητα λήψης κυκλοφοριακών δεδομένων στο μέλλον
- Το σύστημα πλοήγησης της **Becker** το οποίο επίσης διατίθεται από την Cathellas, είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα που διαθέτει τον απαιτούμενο εξοπλισμό (οθόνη, ενσωματωμένο GPS, κατάλληλο επεξεργαστή κτλ). Έχει τη δυνατότητα χρήσης κυκλοφοριακών δεδομένων το οποίο λειτουργεί σε ευρωπαϊκές χώρες που έχουν τις αντίστοιχες παροχές.

- Το **Navigator 4 Greece**, η ολοκληρωμένη λύση πλοήγησης για την Ελλάδα που προτείνεται από την Telenavis Hellas A.E. η οποία λειτουργεί σε CAR PC, Laptop ή Desktop (σε πλατφόρμα Windows και Linux).
- Το **Hellas Nav 2** που παρέχει η Telenavis Hellas A.E. και αποτελεί εφαρμογή πλοήγησης για τις συσκευές Garmin
- Το **Destinator OP**, διατίθεται από την Wackenhut και υπολογίζει την συντομότερη (από άποψη απόστασης) και την ταχύτερη (από άποψη χρόνου) διαδρομή λαμβάνοντας πληροφορίες όπως κύριοι δρόμοι και όχι κυκλοφοριακά δεδομένα. Δεν έχει την δυνατότητα να λαμβάνει κυκλοφοριακά δεδομένα.
- Το **NaviMate** της Compucon κα.

Κεφάλαιο 4: Μαθηματική περιγραφή της προτεινόμενης μεθόδου

4.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, η μαθηματική μελέτη των κυκλοφοριακών φαινομένων μπορεί να γίνει με χρήση μοντέλων από την Ρευστομηχανική. Πράγματι, η προσομοίωση κυκλοφοριακών συνθηκών σε μακροσκοπική κλίμακα, μπορεί να προσεγγιστεί ικανοποιητικά θεωρώντας τον κάθε δρόμο ως έναν σωλήνα από τον οποίο διέρχεται κάποιο ρευστό (το σύνολο των οχημάτων) το οποίο έχει κάποιες προδιαγραφές και ιδιότητες.

Στην Ρευστομηχανική η μελέτη της κίνησης του ρευστού γίνεται με δύο τρόπους. Ο πρώτος η περιγραφή της κίνησης κάθε στοιχειώδους σωματιδίου του ρευστού ξεχωριστά, που οδηγεί μεν σε έναν πολύ μεγάλο αριθμό εξισώσεων (άρα και υπολογιστική πολυπλοκότητα) αλλά λόγω ακριβών αποτελεσμάτων εφαρμόζεται σε κάποιες περιπτώσεις. Ο δεύτερος τρόπος γίνεται με την μακροσκοπική θεώρηση του ρευστού, όπου γίνεται υπόθεση για συνεχές μέσου και μελετώνται στοιχειώδεις όγκοι με πολύ μεγάλο αριθμό σωματιδίων. Οι όγκοι αυτοί αλληλεπιδρούν με τους ακριβώς γειτονικούς τους κι εν τέλει μελετώνται όλα τα φαινόμενα σε μακροσκοπική κλίμακα με έναν μικρό αριθμό καταστατικών μεταβλητών.

Με βάση την υπόθεση του συνεχούς μέσου που αναφέραμε παραπάνω, μπορούμε πλέον να περιγράψουμε την κίνηση των μερών του ρευστού με δύο τρόπους: την απεικόνιση κατά Euler καθώς και την απεικόνιση κατά Lagrange. Στην πρώτη περίπτωση δεν μας ενδιαφέρουν μεμονωμένα κομμάτια του ρευστού αλλά συγκεκριμένα σημεία στο χώρο. Έτσι, σχεδιάζεται το διάγραμμα ροών, δηλαδή οι καμπύλες που αναπαριστούν το διάνυσμα ενός μεγέθους που χαρακτηρίζει το ρευστό σε κάθε σημείο του χώρου, για μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αντίθετα, στην απεικόνιση κατά Lagrange σχεδιάζεται το διάγραμμα τροχιών, όπου οι καμπύλες αναπαριστούν την πορεία στοιχειωδών όγκων του ρευστού με την πάροδο του χρόνου.

Η πρώτη απεικόνιση είναι χωρική και η δεύτερη χρονική, ενώ είναι προφανές ότι για μόνιμο πεδίο ροής, αυτές οι δύο ταυτίζονται.

4.1 Εφαρμογή της μακροσκοπικής θεώρησης στην προτεινόμενη μέθοδο

Στην μέθοδο που θα παρουσιαστεί, η κίνηση κι όλα τα υπόλοιπα μεγέθη που προκύπτουν του κυκλοφοριακού συστήματος που μελετάμε, προσεγγίζεται με βάση μακροσκοπική θεώρηση.

Η μέθοδος καθώς κι ο αλγόριθμος που την υλοποιεί, δεν «παράγει» στοιχειώδη σωματίδια (δηλαδή οχήματα) τα οποία προγραμματίζει να διατρέξουν το δίκτυο και κατόπιν να μετράει on line τις τιμές των καταστατικών μεταβλητών τους. Αντίθετα, με βάση τις αρχές της απεικόνισης κατά Euler, για κάθε χρονική στιγμή «φωτογραφίζει» το δίκτυο όσον αφορά τις τιμές των καταστατικών μεταβλητών του σε κάθε σημείο του και συγκεκριμένα σε κάθε μεμονωμένο link του.

4.2 Οι τρεις καταστατικές μεταβλητές του συστήματος

Οι καταστατικές μεταβλητές που υπολογίζονται και μας ενδιαφέρουν είναι τρεις:

- Ροή q με μονάδες (εξερχόμενα οχήματα)/(μονάδα χρόνου). Η ροή q αναπαριστά τον μέσο αριθμό οχημάτων που φεύγουν από το τρέχων link στο τέλος του συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος που εξετάζουμε, για παράδειγμα το δευτερόλεπτο. Προσοχή χρειάζεται στο γεγονός ότι η τιμή αυτή της ροής αφορά το άθροισμα κάθε επιμέρους λωρίδας κυκλοφορίας του συγκεκριμένου link.
- Πυκνότητα p σε μονάδες αριθμού οχημάτων. Η πυκνότητα εκφράζει τον απόλυτο αριθμό των οχημάτων που βρίσκονται στο τρέχων link. Στην διεθνή βιβλιογραφία μπορεί να αναφέρεται κι ως *occupation*, ή ακόμη κι εκφρασμένο σε επι τοις εκατό της χωρητικότητας του link, δηλαδή ποσοστό κατάληψης του δρόμου. Παρ' όλα αυτά, επελέγει ο όρος πυκνότητα που παραπέμπει περισσότερο στην Ρευστομηχανική και τονίζει έμμεσα στην ισχυρή συσχέτιση της με την μέθοδο που ακολουθείται.
- Μέση ταχύτητα v με μονάδες (μονάδες μήκους)/(μονάδα χρόνου). Η μέση ταχύτητα αναπαριστά το πόσο γρήγορα κινούνται τα οχήματα στο link που μελετάμε. Ως μονάδα συνήθως επιλέγεται το meter/second το οποίο και δίνει πιο ακριβή αποτελέσματα.

Επομένως σε κάθε επιμέρους δρόμο (link) του οδικού δικτύου αντιστοιχεί μία τριάδα από τις παραπάνω καταστατικές μεταβλητές, η οποία τον περιγράφει. Ο αλγόριθμος που υλοποιεί την παραπάνω μέθοδο διατρέχει για κάθε χρονική στιγμή το κάθε link και του αναθέτει τιμές στις καταστατικές μεταβλητές του με βάση τις εξισώσεις που θα αναφέρουμε παρακάτω.

4.3 Τα turning rates

Μία θεμελιώδης σταθερά κάθε link είναι το turning rate, ή tr . Το tr_{ij} είναι μία μεταβλητή που παίρνει τιμές μεταξύ 0 κι 1 κι ορίζει ουσιαστικά την πιθανότητα μετάβασης ενός οχήματος από το link- i στο link- j .

Όσον αφορά την υλοποίηση της μεθόδου, το turning rate είναι μία πιθανότητα με την στατιστική έννοια του όρου. Όπως θα αναφερθεί κι εκτενώς στην περιγραφή της εξίσωσης ροής, ο αλγόριθμος δεν «ρίχνει ζάρια» για κάθε όχημα που φεύγει από ένα link για να εκτιμηθεί ο προορισμός του, αλλά το turning rate ορίζει το ποσοστό της εξερχόμενης ροής που εισέρχεται στα επόμενα links.

Η τιμή του turning rate σε πρώτη φάση προκύπτει τόσο από στατιστική όσο κι από εμπειρική ανάλυση του φυσικού δικτύου το οποίο θέλουμε να προσομοιώσουμε. Παρ' όλα αυτά, είναι συνήθες η τιμή που ανατέθηκε να μην δίνει ικανοποιητικά

αποτελέσματα. Γι αυτό το λόγο, έχει αναπτυχθεί μία δευτερεύουσα μέθοδος η οποία πραγματοποιεί προσομοιώσεις βελτιστοποίησης προκειμένου να βρεθεί το turning rate που παράγει ικανοποιητικότερα και πιο αληθοφανή αποτελέσματα.

4.4 Μαθηματικοί ορισμοί και παραδοχές

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια πιο αυστηρή απο μαθηματικής άποψης περιγραφή της μεθόδου, όπου και θα οριστούν οι εξισώσεις υπολογισμού των τριών κύριων καταστατικών μεταβλητών του συστήματος.

Σε πρώτη φάση έστω δίκτυο G με M αριθμό κόμβων οι οποίοι διασυνδέονται μεταξύ τους μέσω N σε αριθμό τόξων. Το δίκτυο αυτό ορίζει ένα κομμάτι του γενικότερου οδικού δικτύου, γι αυτό κι ορίζουμε ένα σύνολο $I \subseteq G$ τόξων τα οποία παίρνουν ροή απο το εξωτερικό περιβάλλον, όπως κι ένα σύνολο $O \subseteq G$ τόξων τα οποία στέλνουν οχήματα εκτός του δικτύου G .

Κάθε link περιγράφεται όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μέσω των τριών κύριων καταστατικών μεταβλητών ροής, πυκνότητας και μέσης ταχύτητας. Έτσι, για ένα link με δείκτη i , τα καταστατικά μεγέθη που του αντιστοιχούν θα είναι q_i , p_i , v_i . Επιπλέον, επειδή τα μεγέθη αυτά αναφέρονται στην τιμή ενός μεγέθους για μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή t , είναι σημαντικό αυτή να αναφέρεται μέσω ενός εκθέτη. Για παράδειγμα η τιμή της ροής ενός link με δείκτη i για την χρονική στιγμή t θα είναι $q_i^{(t)}$. Επειδή η τιμές των τριών αυτών μεγεθών είναι πραγματικοί αριθμοί, δεν πρόκειται ο εκθέτης αυτός να συγχέεται με τον γνωστό συμβολισμό της παραγώγου.

Η ανάθεση τιμών σε αυτές τις μεταβλητές γίνεται με την παρακάτω μέθοδο: Για κάθε χρονική στιγμή t διατρέχουμε κάθε $\text{link-}i \in G$ κι επιλύουμε την αντίστοιχη εξίσωση για το κάθε καταστατικό μέγεθος. Επειδή αυτές η εξισώσεις λαμβάνουν υπόψη τους και την αμέσως προηγούμενη χρονική στιγμή $t-1$ είναι σημαντικό κάθε αποτέλεσμα να αποθηκεύεται τουλάχιστον σε βάθος χρόνου μίας χρονικής μονάδας. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι ακριβώς επειδή μελετάμε σε μακροσκοπικό επίπεδο τα φαινόμενα, δεν παίζει ρόλο η σειρά με την οποία διατρέχουμε το κάθε link για να του αναθέσουμε τιμές στις καταστατικές μεταβλητές του.

Η παραπάνω διαδικασία εκτελείται έως ότου το t να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με τον μέγιστο αριθμό προσομοίωσης T (ή TSIM), ο οποίος επιλέγεται απο τον μελετητή με βάση τις πραγματικές συνθήκες του φυσικού συστήματος καθώς κι ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια στους υπολογισμούς. Καλό θα ήταν πάντως ο χρόνος προσομοίωσης να είναι τουλάχιστον πέντε ώρες έτσι ώστε τόσο να υπάρχει καλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς όσο και να αποφευχθεί η αλλοίωση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης λόγω μεταβατικών φαινομένων.

Ακόμη, είναι πολύ σημαντικό να επισημανθεί ότι δεν έχει οριστεί σύστημα φωτεινής σηματοδότησης (φανάρια), δηλαδή ένας boolean πολλαπλασιαστής ο οποίος σε

συγκεκριμένες χρονικές στιγμές να μηδενίζει την ροή και την ταχύτητα των οχημάτων σε έναν αριθμό link. Ο λόγος για τον οποίο επελέγη η απαλοιφή του παράγοντα των φαναριών είναι ότι λόγω προσομοίωσης σε μεγάλο βάθος χρόνου, αυτό που ενδιαφέρει τον μελετητή είναι οι μέσες τιμές των καταστατικών μεγεθών κι επομένως οι μεταβολές που παράγουν τα φανάρια ενσωματώνονται στην τελική τιμή που υπολογίζεται μέσω της προσομοίωσης.

4.5 Οι εξισώσεις των τριών καταστατικών μεταβλητών

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται οι εξισώσεις που περιγράφουν τις τρεις κύριες καταστατικές μεταβλητές των link του συστήματος, στην αυστηρά μαθηματική τους μορφή. Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι η γενικότερη μέθοδος έχει καθαρά υπολογιστική κατεύθυνση μέσω αλγοριθμικής υλοποίησης, επομένως πέρα από τις εξισώσεις θα περιγραφούν και διάφορες περιπτώσεις αλλαγής των αποτελεσμάτων που παράγουν με βάση κάποια κριτήρια φυσικής σημασίας.

Για λεπτομέρειες πάνω στην υλοποίηση των εξισώσεων γίνεται παραπομπή στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο, δηλαδή την περιγραφή της αλγοριθμικής υλοποίησης.

4.5.1 Η εξίσωση της πυκνότητας

Έστω link- $i \in G$. Για την χρονική στιγμή t η τιμή του αριθμού των οχημάτων που βρίσκονται σε αυτό το link δίνεται από την εξίσωση:

$$p_i(t) = p_i^{(t-T_{\text{step}})} + \sum [tr_{ji} * q_j^{(t-T_{\text{step}})}] * T_{\text{step}} - q_i^{(t-T_{\text{step}})} * T_{\text{step}}$$

μονάδες p : αριθμός οχημάτων

μονάδες t : δευτερόλεπτα στην πλειοψηφία των περιπτώσεων

Η παραπάνω μαθηματική παράσταση περιγράφει το εξής: ο αριθμός των οχημάτων που καταλαμβάνουν το link- i την χρονική στιγμή t είναι ίσος με τον αριθμό των οχημάτων που υπήρχαν στην ακριβώς προηγούμενη χρονική στιγμή, συν τον αριθμό των οχημάτων που έρχονται από τα προηγούμενα link, μείον τον αριθμό των οχημάτων που φεύγουν από το link.

Ο πρώτος όρος της εξίσωσης είναι προφανής κι ορίζει τον αριθμό των οχημάτων που υπήρχαν στο link την αμέσως προηγούμενη χρονική στιγμή.

Ο δεύτερος όρος ορίζει το άθροισμα των ροών κάθε link το οποίο τερματίζει στην αρχή του τρέχοντος που εξετάζουμε, δηλαδή κάθενος link το οποίο τροφοδοτεί το τρέχον με οχήματα. Έτσι, διατρέχουμε όλα τα links τα οποία έχουν ως επόμενο το i , και πολλαπλασιάζουμε την ροή που είχαν την αμέσως προηγούμενη χρονική στιγμή, με το αντίστοιχο turning rate για το link- i που εξετάζουμε. Ο πολλαπλασιασμός αυτός ουσιαστικά ορίζει το ποσοστό της ροής ενός προηγούμενου link το οποίο θα εισέλθει

στο τρέχων link. Αθροίζοντας για κάθε προηγούμενο link προκύπτει η συνολική εισερχόμενη στο i ροή οχημάτων.

Ο τρίτος όρος είναι η ροή που είχε το τρέχων link-i την αμέσως προηγούμενη χρονική στιγμή, δηλαδή τον αριθμό των αυτοκινήτων που έχουν εξέρχονται στην αρχή της χρονικής στιγμής t.

Στον πρώτο και στον δεύτερο όρο παρατηρείται ένας πολλαπλασιαστής T_{step} , του οποίου η τιμή στην συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων είναι 1. Ο λόγος για τον οποίο γράφεται ως μεταβλητή είναι ουσιαστικά για να εξασφαλίζει την συνέπεια της εξίσωσης όσον αφορά της μονάδες μέτρησης. Δηλαδή αφού οι όροι (1) και (2) της εξίσωσης ουσιαστικά εκφράζουν αριθμό οχημάτων ανα μονάδα χρόνου, πολλαπλασιάζοντας με το T_{step} η τιμή μετατρέπεται σε απόλυτες μονάδες οχημάτων. Σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι στην αλγοριθμική υλοποίηση της εξίσωσης ο πολλαπλασιαστής T_{step} έχει παραλειφθεί.

Η παραπάνω εξίσωση δίνει μία τιμή για τον αριθμό των οχημάτων που υπάρχουν σε μία συγκεκριμένη στιγμή σε ένα συγκεκριμένο link. Παρ' όλα αυτά, η τιμή αυτή πρέπει να υπακούει σε κάποια φυσική συνέπεια, για παράδειγμα δεν μπορεί το αποτέλεσμα της εξίσωσης να δίνει αριθμό οχημάτων μεγαλύτερο απο αυτόν που μπορεί να χωρέσει ο εν λόγω δρόμος. Έτσι, ακριβώς μετά την εκτίμηση της τιμής p πρέπει να επαναυπολιστεί με βάση την παράσταση:

$$p_i^{(t)} = \min \{ p_i^{(t)}, p_{i,max} \}$$

όπου p_{max} έχει οριστεί απο τον μελετητή ως ο μέγιστος αριθμός οχημάτων που μπορεί να χωρέσει το link-i.

Είναι προφανές ότι στην περίπτωση που ο αριθμός οχημάτων φτάσει τον μέγιστο, γίνονται trigger κάποιες διαδικασίες όπως η ενεργοποίηση κάποιων flags οτι το εν λόγω link είναι πλέον μπλοκαρισμένο, καθώς και γίνεται έλεγχος για τα προηγούμενα links για το αν μπορούν να στείλουν σε αυτό οχήματα. Αυτό πραγματοποιείται με κάποιους αλγοριθμικούς ελέγχους που περιγράφονται στο επόμενο κεφάλαιο.

4.5.2 Η εξίσωση της μέσης ταχύτητας

Η παρακάτω εξίσωση υπολογίζει την μέση εκτιμώμενη ταχύτητα των οχημάτων που διατρέχουν ένα link-i $\forall G$:

$$v_i^{(t)} = v_{i,max}^{(t)} * (1,01 - p_i^{(t)} / p_{i,max})$$

για $p_i > 0,1 \forall p_{i,max}$ διαφορετικά $v_i = v_{i,max}$ εκτός αν $p_i = 0$ όπου και $v_i = 0$
μονάδες v: απόσταση / μονάδα χρόνου

Η παραπάνω εξίσωση αποτελεί ουσιαστικά την υλοποίηση της υπόθεσης ότι υπάρχει μία φθίνουσα γραμμική σχέση μεταξύ του αριθμού των οχημάτων σε ένα συγκεκριμένο link και της ταχύτητας με την οποία αυτά το διανύουν.

Πράγματι, παίρνοντας κάποιες ακραίες συνθήκες πχ ο δρόμος είναι γεμάτος ($p_i = p_{i,max}$) η τιμή της ταχύτητας σχεδόν μηδενίζεται αφού το link είναι γεμάτο, ενώ αντίθετα όσο γεμίζει το link με οχήματα, τόσο μέση ταχύτητα τους μικραίνει. Ο λόγος για τον οποίο θεωρούμε ότι για μέγιστη κατάληψη έχουμε σχεδόν μηδέν ταχύτητα, είναι αφενός επειδή έχει φυσική σημασία να υπάρχει ταχύτητα οχημάτων ακόμη και σε έναν γεμάτο δρόμο κι αφετέρου επειδή κατα την αλγοριθμική υλοποίηση έχει εξεταστεί το ενδεχόμενο να υπάρχει απόλυτα μηδενική ταχύτητα λόγω μπλοκαρίσματος των επόμενων link.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνουν κάποιες πολύ σημαντικές παρατηρήσεις. Καταρχάς, η γενική εξίσωση δίνει εσφαλμένο αποτέλεσμα μέγιστης μέσης ταχύτητας για την περίπτωση που έχουμε άδειο απο οχήματα link, πράγμα αδύνατο. Έτσι, κατα την αλγοριθμική υλοποίηση της εξίσωσης γίνεται έλεγχος για την τιμή του αριθμού των οχημάτων κι αν αυτός είναι μηδέν, ανατίθεται και η αντίστοιχη πραγματική τιμή της μέσης ταχύτητας (δηλαδή το μηδέν).

Επιπλέον, θεωρούμε ότι για αριθμό οχημάτων στο διάστημα $0 < p_i < 0,1 \times p_{i,max}$ η ταχύτητα που αυτά αναπτύσσουν είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη, λόγω ευκολίας στην μετακίνηση τους κατα μήκος του link.

Την μεταβλητή $p_{i,max}$ την καθορίζει ο σχεδιαστής / μελετητής τους συστήματος κι έχει άμεση σχέση με την φυσική δομή του εκάστοτε δρόμου, την θέση του στο γενικότερο οδικό δίκτυο καθώς και τον Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας.

4.5.2 Η εξίσωση της ροής οχημάτων

Έχοντας υπολογίσει παραπάνω τα καταστατικά μεγέθη της πυκνότητας και της μέσης ταχύτητας, είμαστε πλέον σε θέση να προσδιορίσουμε την (μέση ροή) των οχημάτων που εξέρχονται απο το εκάστοτε link. Η εξίσωση είναι:

$$q_i^{(t)} = n_i * (v_i^{(t)} / l)$$

μονάδες ροής: οχήματα / μονάδα χρόνου

Ο δεύτερος όρος της εξίσωσης ουσιαστικά μετατρέπει την ταχύτητα «μονάδες μήκους ανα μονάδα χρόνου» σε ροή «οχήματα ανα μονάδα χρόνου» διαιρώντας τις μονάδες μήκους με έναν αριθμό λάμδα ο οποίος αναπαριστά το μήκος ενός μέσου οχήματος συν πλην ένα διάστημα απόστασης. Κατα την αλγοριθμική υλοποίηση της μεθόδου, η τιμή που αποδόθηκε είναι 5 μέτρα.

Τέλος, ο λόγος αυτός πολλαπλασιάζεται με έναν αριθμό n ο οποίος ορίζει τον αριθμό των λωρίδων του συγκεκριμένου link- i , έτσι ώστε να βρεθεί η συνολικός αριθμός οχημάτων που εξέρχονται ανα μονάδα χρόνου.

Κεφάλαιο 5: Το λογισμικό

5.1 Εισαγωγή – Απαιτήσεις

Για την υλοποίηση της μεθόδου που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, αναπτύχθηκε το λογισμικό YP-UTSa, με τα δύο πρώτα αρχικά να ορίζουν το όνομα του δημιουργού, τα υπόλοιπα το ακρωνύμιο Urban Traffic Simulator κι ο κωδικός “a” το δίκτυο στο οποίο έγινε η εφαρμογή και το testing. Να σημειωθεί εδώ, αλλά θα αναπτυχθεί και περισσότερο στην πορεία, ότι το YP-UTSa έχει φτιαχθεί για να εφαρμόζεται σε οποιοδήποτε δίκτυο (ακόμη και μη-οδικό) το οποίο να συμβιβάζεται με τις παραδοχές που θέσαμε παραπάνω καθώς και να περιγράφεται με τις προδιαγραφές των input files.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι το εν λόγω λογισμικό αναπτύχθηκε εξ’ ολοκλήρου “from scratch”, δηλαδή δεν πραγματοποιεί κατά την εκτέλεση του χρήση εξωτερικών προγραμμάτων και βιβλιοθηκών που να υποβοηθούν οποιοδήποτε στάδιο λειτουργίας του. Οι κύριες engine προσομοίωσης είναι εντελώς custom ενώ οι μόνες εξωτερικές βιβλιοθήκες που φορτώνονται είναι οι κλάσεις της πλατφόρμας .NET που επιτρέπουν την χρήση παραθυρικού περιβάλλοντος.

Το λογισμικό που αναπτύχθηκε μπορεί να εκτελεστεί σε οποιονδήποτε σύγχρονο υπολογιστή με λειτουργικό τα Windows XP/2000/Vista ενώ για τα Unix-based συστήματα όπως για παράδειγμα το Linux πρέπει να γίνει ειδικό configuration με την χρήση του προγράμματος mono. Επειδή το πρόγραμμα είναι παραθυρικό (Graphical User Interface) κι υλοποιήθηκε πάνω στο .NET platform, ο υπολογιστής στον οποίο πρόκειται να εκτελεστεί πρέπει να έχει εγκατεστημένο το .NET framework της Microsoft, δηλαδή μία συλλογή βιβλιοθηκών που επιτρέπουν την χρήση των κλάσεων που καλεί το πρόγραμμα.

Το εργαλείο ανάπτυξης του λογισμικού είναι το Visual Studio .NET 2005 το οποίο είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE - Integrated Development Environment) που προσφέρει έναν πολύ ισχυρό text-editor για την εισαγωγή των εντολών της γλώσσας Visual Basic .NET με ευκολίες όπως τα auto-completion των παραμέτρων, ένα ολοκληρωμένο σχεδιαστικό περιβάλλον για το user interface του προγράμματος καθώς και πολύ χρήσιμα εργαλεία debugging, όπου διευκολύνουν πάρα πολύ την εκσφαλμάτωση μεγάλων σε μέγεθος κώδικα προγραμμάτων όπως αυτό. Τέλος, το Visual Studio .NET 2005 παρέχει τον απαραίτητο builder για την γλώσσα Visual Basic .NET όπου συγχωνεύει όλες τις κλάσεις σε ένα ενιαίο αρχείο εντολών, το μετατρέπει στον ενδιάμεσο κώδικα στην γλώσσα MSIL (Microsoft Intermediate Language, κάτι σαν το bytecode της Java) και μετά σε εκτελέσιμο δυαδικό κώδικα.

Όπως προαναφέρθηκε, μπορεί να υπάρξει portability του λογισμικού (εκτέλεση σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα εκτός Windows) υπο συνθήκες. Το MSIL που αναφέρθηκε είναι ένας ενδιάμεσος κώδικας που όπως το bytecode της Java επιτρέπει την εκτέλεση σε υπολογιστές που έχουν εγκατεστημένο το .NET framework.

5.2 Τεχνική εισαγωγή

5.2.1 Το παραθυρικό περιβάλλον

Το YP-UTSa σχεδιάστηκε εξ'ολοκλήρου με γνώμονα την χρήση σε παραθυρικό περιβάλλον. Τα δομικά στοιχεία της διεπαφής του ανήκουν στο γενικότερο collection του Windows GUI, δηλαδή οι τυπικές φόρμες παραθύρων, τα κουμπιά, τα αντικείμενα εισαγωγής κειμένου, τα comboboxes, checkboxes, listboxes, datagrids, groupboxes καθώς και τα tabpages.

Η επιλογή του παραθυρικού περιβάλλοντος διεπαφής δεν έχει μόνο ως γνώμονα την ελκυστικότητα του λογισμικού, αλλά και την χρηστικότητα του. Είναι γεγονός ότι ακόμη και σήμερα πάρα πολλές τεχνικές εφαρμογές, ειδικά αυτές της προσομοίωσης, υλοποιούνται ως command line, μη επιτρέποντας στον χρήστη την εύκολη πλοήγηση στο συνολικό πρόγραμμα, και την ταυτόχρονη παρατήρηση πολλών στοιχείων που εκτελούνται ταυτόχρονα. Με το παραθυρικό περιβάλλον είναι δυνατή η εκτέλεση μίας προσομοίωσης ενώ παράλληλα ο χρήστης να μπορεί να δει μία φυσική απεικόνιση του δικτύου ή να κάνει edit on-the-fly κάποιες βασικές παραμέτρους της εκτέλεσης.

Λαμβάνοντας υπόψη τις σημερινές προδιαγραφές των υπολογιστικών συστημάτων, η επιβάρυνση σε πόρους (επεξεργαστής, μνήμη, κτλ) από την χρήση παραθυρικού περιβάλλοντος είναι αμελητέα σε σχέση με προηγούμενα χρόνια, πράγμα που κάνει την χρήση Graphical User Interfaces επιτακτική ακόμη και σε ιδιαίτερα εξειδικευμένες τεχνικές εφαρμογές.

Κατά την σχεδίαση του γραφικού περιβάλλοντος του YP-UTSa ελήφθησαν υπόψη πολλές προδιαγραφές νοητικής εργονομίας. Έγινε μεγάλη προσπάθεια ώστε οι διεργασίες που επιτελεί το κάθε επιμέρους κομμάτι να περιγράφονται με σαφήνεια, όλες οι ομοιογενείς εντολές να είναι ομαδοποιημένες σε κοινά groupboxes, όλα τα αντικείμενα να είναι καταγεγραμμένα σε λίστες ορατές από την χρήστη, να υπάρχει αλληλεπίδραση με τα περισσότερα στοιχεία του προγράμματος, ενώ παράλληλα να υπάρχει ένα ισχυρό σύστημα το οποίο να αποτρέπει τον χρήστη από το να κάνει μη-επιτρεπτές ενέργειες, όπως πχ να εισάγει συμβολοσειρά σε ένα input box όπου δέχεται μόνο πραγματικούς αριθμούς διπλής ακρίβειας. Τέλος, υπάρχουν πολλά παράθυρα «επιβεβαίωσης» κάποιας εντολής από τον χρήστη όταν πρόκειται για κάποια κρίσιμη ή εν δυνάμει επικίνδυνη εκτέλεση ενός κομματιού του κώδικα.

Όσον αφορά το μέγεθος των παραθύρων, έγινε παραδοχή ότι ο υπολογιστής που εκτελεί το YP-UTSa έχει εγκατεστημένο ένα σύγχρονο σύστημα απεικόνισης, με

οθόνη η οποία τρέχει σε ανάλυση τουλάχιστον 1024 επι 768. Η επιλογή αυτή έγινε έτσι ώστε σε κάθε παραθυρική φόρμα να υπάρχει η περισσότερη δυνατή πληροφορία για τον χρήστη, χωρίς αυτός να χάνεται σε δαιδαλώδη menu επιλογών, ενώ σε δομικές μονάδες του προγράμματος όπως για παράδειγμα λίστες και πίνακες να είναι ορατά όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία.

5.2.2 Η χρήση αντικειμενοστραφών τεχνικών

Ένας από τους σημαντικότερους λόγους για τους οποίους επιλέγει η πλατφόρμα Visual Basic .NET πέρα από το ότι επιτρέπει την υλοποίηση παραθυρικού περιβάλλοντος είναι η δυνατότητα χρήσης αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού.

Ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός (object-oriented programming) είναι μία πάρα πολύ μεγάλη έννοια της οποίας η ανάπτυξη ξεφεύγει από τα πλαίσια του συγκεκριμένου πονήματος, αλλά περιγράφοντας τον γενικά αφορά μία δόμηση των δεδομένων σε μικρά αυτόνομα τμήματα, τα «αντικείμενα» τα οποία μπορούν με βάση κάποιο πρότυπο (την «κλάση») μπορούν να δημιουργηθούν, να αντιγραφούν, να κληρονομήσουν ιδιότητες καθώς και να εκτελέσουν κάποιες λειτουργίες στα δεδομένα τα οποία αποθηκεύουν.

Κατά την υλοποίηση του YP-UTSa υπήρξε μεγάλη ανάγκη για χρήση αντικειμενοστραφών τεχνικών. Στο ακόλουθο παράδειγμα περιγράφεται πώς με χρήση αντικειμένων και συλλογών από αντικείμενα γίνεται πολύ εύκολα η διαχείριση στοιχείων όπως τα links (οι μεμονωμένοι δρόμοι ενός οδικού δικτύου) με ευελιξία κι οργάνωση.

Έστω λοιπόν ότι θέλουμε να περιγράψουμε ένα δρόμο. Αυτός θα έχει κάποιες ιδιότητες όπως για παράδειγμα, το όνομα, το μήκος, ο αριθμός των λωρίδων κτλ, έστω σε αριθμό N. Με την συμβατική προσέγγιση, θα πρέπει να οριστεί ένας πίνακας με N στήλες, με την κάθε στήλη να αποθηκεύει μία μεμονωμένη ιδιότητα, και την κάθε γραμμή κάθε μεμονωμένο link. Αμέσως γίνεται σαφές το πόσο δύσκολη είναι η διαχείριση ενός πίνακα, ειδικά όταν πρέπει να αφαιρούνται ή να προσθέτονται στοιχεία, ενώ για να γίνει αναφορά σε μία συγκεκριμένη ιδιότητα ενός συγκεκριμένου στοιχείου πρέπει να βρεθούν τα indexes, οι δείκτες δηλαδή που θα κάνουν αναφορά σε αυτό. Το πρόβλημα γίνεται ακόμη πιο έντονο όταν υπάρξει η απαίτηση κάποιες ιδιότητες ενός link να είναι ανομοιογενή δεδομένα, όπως για παράδειγμα το όνομα να είναι συμβολοσειρά ενώ ο αριθμός των λωρίδων integer, ή ακόμη χειρότερα κάποια ιδιότητα να είναι διάνυσμα.

Το πρόβλημα λύνεται πάρα πολύ εύκολα με την χρήση αντικειμενοστραφών τεχνικών. Σε πρώτη φάση ορίζεται ένα «γενικευμένο» αντικείμενο, το οποίο είναι μία κλάση link. Η κλάση αυτή ορίζεται να έχει κάποιες ιδιότητες, όπως αυτές που προαναφέραμε δηλαδή όνομα, αριθμός λωρίδων κτλ, σε οποιοδήποτε πλήθος και τύπο δεδομένων. Όταν θα θέλουμε λοιπόν να περιγράψουμε έναν μεμονωμένο δρόμο,

θα δημιουργούμε ένα αντικείμενο με πρότυπο αυτήν την κλάση και θα της αποδίδουμε τιμές στις ιδιότητες με βάση αυτό το συγκεκριμένο αντικείμενο.

Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να ορίσουμε όσα αντικείμενα θέλουμε, στην συγκεκριμένη περίπτωση όσα κι ο αριθμός των δρόμων που πρέπει να περιγράψουμε τα οποία τα αποθηκεύουμε στην λεγόμενη object collection.

Η διαδικασία περιγράφεται παρακάτω και είναι η εξής: καταρχάς ορίζουμε την κλάση με το παρακάτω κομμάτι κώδικά:

```
Public Class Link

    Public ID As String
    Public label As String
    Public street_type As String
    Public length As Double
    Public number_of_lanes As Integer

    ...

End Class
```

Ο παραπάνω ορισμός μας επιτρέπει πλέον να δημιουργούμε αντικείμενα με βάση την κλάση link τα οποία θα έχουν ίδιες ιδιότητες με την κλάση. Για παράδειγμα με την εντολή αυτή:

```
Dim current_link As New Link
```

δημιουργούμε έναν δρόμο ο οποίος ονομάζεται current_link κι έχει όλα τα χαρακτηριστικά (label, length κτλ) που ορίσαμε παραπάνω μέσω της κλάσης. Σε περίπτωση που θέλουμε να αναφερθούμε σε κάποιο χαρακτηριστικό αυτού του δρόμου, για παράδειγμα το μήκος του και να το αποθηκεύσουμε σε μία μεταβλητή X γράφουμε:

```
x = current_link.length
```

Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε πολύ εύκολα και διαισθητικά να αναφερόμαστε στα αντικείμενα και τις ιδιότητες τους χωρίς την χρήση αφηρημένων δεικτών σε πίνακες που κάνουν τον κώδικα πολύ δυσανάγνωστο κι ευνοούν την δημιουργία σοβαρών λαθών όπως για παράδειγμα τα null references κτλ.

Για την αποθήκευση κι ανάκτηση όλων των δρόμων που δημιουργήσαμε, απαιτείται να ορίσουμε ένα object collection, με το όνομα LinkList:

```
Public LinkList As New ArrayList
```

Έστω λοιπόν ότι θέλουμε να αποθηκεύσουμε το current_link που φτιάξαμε παραπάνω στην συλλογή μας. Αυτό γίνεται εύκολα με τη χρήση:

```
LinkList.Add(current_link)
```

Τώρα πλέον έχουμε όλους τους δρόμους που ορίσαμε οργανωμένους σε μία ενιαία συλλογή, η οποία έχει πάμπολλες ευκολίες όπως εύκολη αναφορά σε ένα απο αυτά τα αντικείμενα, εύκολη διαγραφή ή πρόσθεση επιπλέον αντικειμένων, κτλ.

Σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι το παραπάνω είναι μόνο ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα απο τις πάμπολλες εφαρμογές αντικειμενοστραφών τεχνικών που έγιναν στο λογισμικό μας. Οι υπόλοιπες αφορούν την διαχείριση πινάκων με τα αποτελέσματα προσομοιώσεων, διαχείριση παραθύρων, λιστών καθώς κι εσωτερικών μεταβλητών εκσφαλμάτωσης κι διαχείρισης επικίνδυνης συμπεριφοράς του προγράμματος.

Η ταχύτητα και η οικονομία αυτής της υλοποίησης είναι αρκετά ικανοποιητική ενώ η ασφάλεια απο run-time-errors είναι άριστη σε σχέση με συμβατικές υλοποιήσεις.

5.2.3 Λίγα λόγια για τα input files

Αν και θα αναλυθεί σε μεγαλύτερο βάθος το συγκεκριμένο θέμα, κρίνεται σημαντικό να αναφερθεί σε αυτό το σημείο ότι όσα αρχεία εισόδου χρησιμοποιεί το πρόγραμμα, είναι τυπικά αρχεία κειμένου (ASCII).

Η επιλογή αυτού του τύπου των αρχείων σε σχέση με τα binary ή τα HTML έχει καθαρά χαρακτήρα ευκολίας τόσο του χρήστη όσο και του προγραμματιστή, απο την στιγμή που ο παράγων ασφάλειας δεδομένων δεν είναι μεγάλης σημασίας στην συγκεκριμένη εφαρμογή. Τα αρχεία κειμένου μπορούν να επεξεργαστούν με χρήση οποιουδήποτε text editor, χωρίς να απαιτείται η εκτέλεση του λογισμικού μας, πράγμα που καθιστά εύκολη την σύνταξη και την αποστολή μετρήσεων απο τρίτους.

Φυσικά, τα input files οφείλουν να ακολουθούν πάρα πολύ σαφείς προδιαγραφές προκειμένου να είναι αναγνώσιμα απο το πρόγραμμα. Η δομή και οι γενικότερες προδιαγραφές θα τονιστούν στο μετέπειτα ανάλογο κεφάλαιο.

5.2.4 Ταχύτητα κι επιδόσεις του αλγορίθμου

Αφού λοιπόν όπως προαναφέρθηκε τα δομικά στοιχεία του περιβάλλοντος διεπαφής έχουν αμελητέο βάρος στην επίδοση του προγράμματος, όλο το βάρος πέφτει στην main engine προσομοίωσης.

Η ταχύτητα και οι επιδόσεις του YP-UTSa, όπως και κάθε ανάλογου προγράμματος, εξαρτώνται σε πολύ μεγάλο βαθμό απο το δίκτυο στο οποίο εφαρμόζεται καθώς και τις υπολογιστικές απαιτήσεις για ακρίβεια στους υπολογισμούς των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

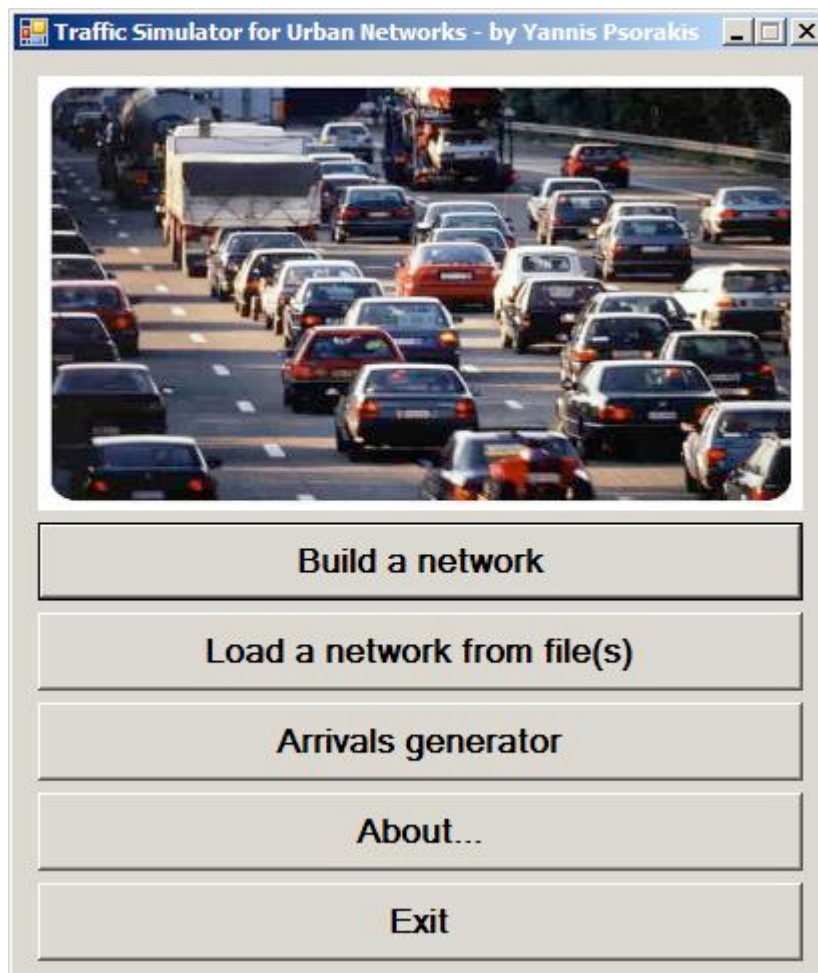
Προκειμένου να προσομοιωθεί ένα δευτερόλεπτο του οδικού δικτύου, πρέπει να γίνει για κάθε link ένας σημαντικός αριθμός πράξεων που αφορούν τόσο τον

υπολογισμό των τριών καταστατικών μεταβλητών (ροή, ταχύτητα, πυκνότητα) όσο και λοιπές βοηθητικές διεργασίες και κλίσεις συναρτήσεων.

Σε μία «ελεύθερη προσομοίωση» (free simulation – θα αναλυθεί αργότερα) ακόμη κι ένα σενάριο 10 ωρών κίνησης μπορεί να υπολογιστεί αρκετά γρήγορα, όχι λιγότερο απο 5 λεπτά. Παρ' όλα αυτά, με ενεργοποιημένη την βελτιστοποίηση (finetuning) το διάστημα αυτό μπορεί να αυξηθεί δραματικά.

5.3 Η οθόνη εισαγωγής του προγράμματος

Εκτελώντας το αρχείο yp-uts.exe με διπλο-κλικ εμφανίζεται η κεντρική οθόνη του προγράμματος:



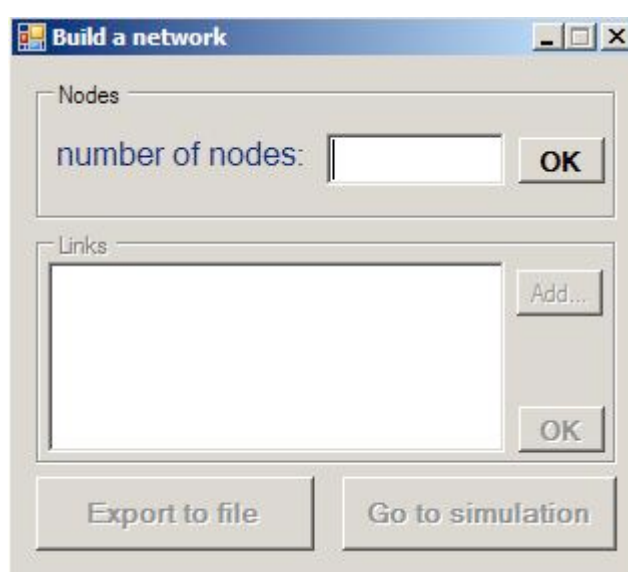
Σε αυτήν διακρίνονται οι 3 κυριότερες λειτουργίες, μία επιλογή για εμφάνιση πληροφοριών για τον δημιουργό καθώς και η επιλογή της εξόδου. Οι 3 αυτές κύριες λειτουργίες είναι να κατασκευαστεί ένα δίκτυο from scratch, να φορτωθεί ένα ήδη

υπάρχον δίκτυο κατευθείαν απο ένα αρχείο και τέλος να δημιουργηθεί ένα αρχείο αφίξεων ροής.

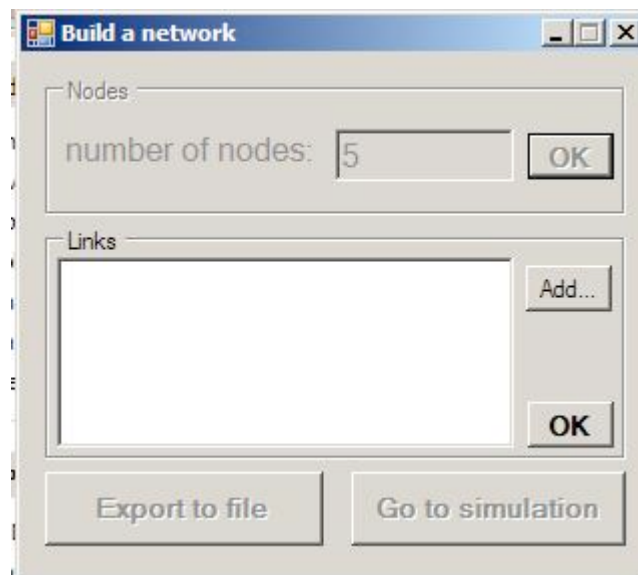
Και οι τρεις αυτές λειτουργίες θα αναλυθούν περισσότερο στην συνέχεια, πρωτού προχωρήσουμε στην ανάλυση της κεντρικής οθόνης προσομοίωσης.

5.3.1 «Χτύσιμο» ενός δικτύου / Build a network

Επιλέγοντας το «build a network» εμφανίζεται σε πρώτη φάση η παρακάτω φόρμα επιλογής:



Η παραπάνω φόρμα σχεδιάστηκε ώστε να παρουσιάζει με τον πιο σαφή κι εύγλωττο τρόπο τα 2 θεμελιώδη στοιχεία που απαιτούνται για να περιγράψει ένα δίκτυο: τους κόμβους (nodes) και τα τόξα (links). Σε πρώτη φάση, ο χρήστης πρέπει να εισάγει τον αριθμό των κόμβων του δικτύου. Για την περίπτωση του οδικού δικτύου, κόμβοι ορίζονται τα μέρη όπου διασταυρώνονται 2 ή περισσότεροι δρόμοι (μικρές πλατείες, σταυροδρόμια). Έστω λοιπόν ότι ορίζουμε το δίκτυο μας να έχει 5 κόμβους. Γράφοντας 5 στο ανάλογο text box και πατώντας OK, ενεργοποιείται το κάτω group box και μπορούμε πλέον να εισάγουμε τα τόξα (links):



Η λίστα είναι προς το παρόν κενή αφού δεν υπάρχουν τόξα. Δημιουργούμε ένα link πατώντας το κουμπί “Add...” κι εμφανίζεται η παρακάτω οθόνη:

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να προσδιορίσουμε όλες τις ιδιότητες του link που μας ενδιαφέρουν, όπως το όνομα του, το μήκος του, τον αρχικό και τερματικό του κόμβο (όπως ορίστηκαν προηγουμένως) ή τα turning rates.

Αυτό που ουσιαστικά κάνει η συγκεκριμένη οθόνη είναι να δημιουργεί ένα αντικείμενο μέσω της κλάσεως link (όπως αναφέραμε σε προηγούμενη παράγραφο) και του αναθέτει τιμές στις ιδιότητες του μέσω των ανάλογων text boxes.

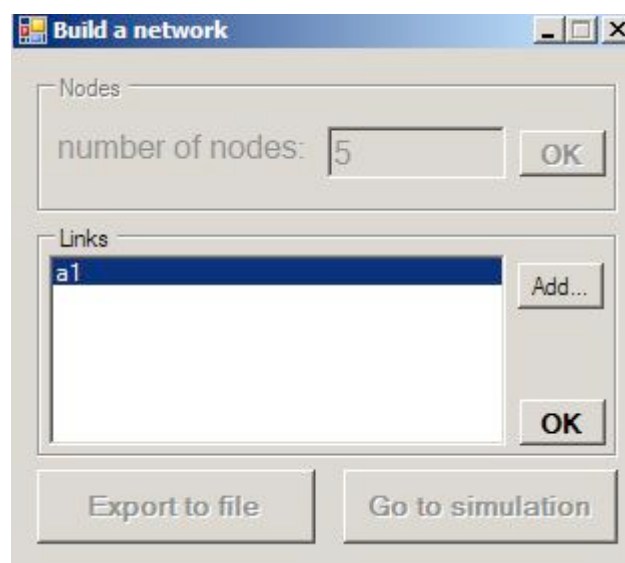
Σε αυτό το σημείο να αναλύσουμε περισσότερο τον τρόπο με τον οποίο χαρακτηρίζονται τα turning rates ενός link. Όπως είναι γνωστό από προηγούμενο κεφάλαιο, turning rate q_{ij} ενός δρόμου- i είναι η πιθανότητα το όχημα που τον διανύει να στρίψει (να μπει) στον δρόμο- j . Έστω λοιπόν ότι ο τερματικός κόμβος του δρόμου-1 είναι ο αρχικός κόμβος των δρόμων 2, 3, 4. Η πιθανότητα ένα αμάξι που διένυσε τον 1 να στρίψει στον 2 είναι 0,2 στον 3 είναι 0,2 και στον 4 είναι 0,6. Αυτό ο χρήστης πρέπει να το ορίσει στο text box των turning rates ως:

2:0,2|3:0,2|4:0.6

Προφανώς αφού τα turning rates είναι πιθανότητες θα πρέπει να ισχύει ότι το άθροισμα τους είναι ίσο με 1. Σε περίπτωση που ο χρήστης δεν δώσει σωστά τις πιθανότητες (για παράδειγμα 0,5 0,5 0,5 όπου το άθροισμα τους δεν είναι 1) το πρόγραμμα κάνει αυτόματα το λεγόμενο normalization, δηλαδή διαιρεί την κάθε τιμή με το άθροισμα του όλου, έτσι ώστε πάντα όλα τα turning rates να είναι ίσα με την μονάδα και το δίκτυο να μην έχει αφύσικη συμπεριφορά.

Στην συνέχεια, αφού ο χρήστης είναι ικανοποιημένος με τον ορισμό των ιδιοτήτων του link πατώντας το κουμπί «Accept» το αποθηκεύει, ουσιαστικά αποθηκεύοντας το αντικείμενο που έφτιαξε σε μία object collection. Με το κουμπί «Cancel» η παραπάνω διαδικασία ακυρώνεται και οι τιμές των ιδιοτήτων χάνονται. Για την ενέργεια αυτή απαιτείται επιβεβαίωση από το χρήστη.

Έτσι, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



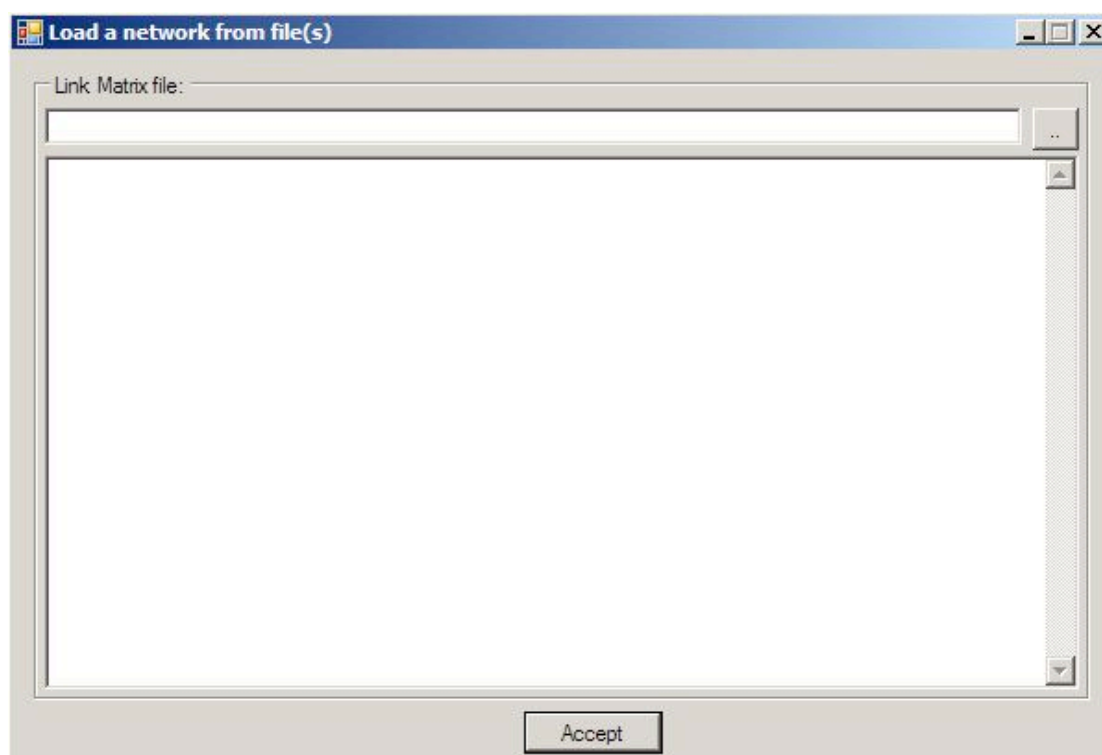
το link που δημιουργήθηκε έχει προστεθεί στην λίστα, όπου και φαίνεται το ID του. Μπορούν να προστεθούν όσα link απαιτούνται για την σωστή περιγραφή του δικτύου κι όταν ο χρήστης είναι ικανοποιημένος μπορεί να πατήσει το κουμπί «OK» όπου ενεργοποιεί τις 2 τελικές επιλογές.

Η πρώτη είναι η «Export to file» όπου εξάγει το δίκτυο που μόλις δημιουργήθηκε σε ένα αρχείο κειμένου μέσω του γνωστού windows save file dialog. Προφανώς το δίκτυο που αποθηκεύτηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον χωρίς να απαιτείται να επαναληφθεί η διαδικασία build a network.

Η δεύτερη επιλογή είναι η μετάβαση στην φόρμα της προσομοίωσης με βάση το δίκτυο που μόλις δημιουργήθηκε. Η φόρμα της προσομοίωσης θα αναλυθεί ενδελεχώς σε επόμενη παράγραφο.

5.3.2 Φόρτωση δικτύου απο αρχείο / Load Network from file

Επιλέγοντας το «load network from file» εμφανίζεται η ανάλογη φόρμα επιλογής:



Επιλέγοντας το κουμπί με τις τελείες εμφανίζεται η γνωστό παράθυρο διαλόγου των Windows, open file dialog όπου μέσα απο το σύστημα αρχείων του υπολογιστή επιλέγουμε το αρχείο του δικτύου που θέλουμε να προσομοιώσουμε.

Το αρχείο αυτό μπορεί να έχει δημιουργηθεί μέσω της υπορουτίνας «build network» που περιγράψαμε παραπάνω ή manually. Σε κάθε περίπτωση το αρχείο αυτό πρέπει να τηρεί κάποιες αυστηρές προδιαγραφές προκειμένου ο data parser του

προγράμματος να μπορεί να εξάγει τα δεδομένα απο το αρχείο και να τα αποθηκεύσει στην object collection για περαιτέρω χρήση κατα την προσομοίωση.

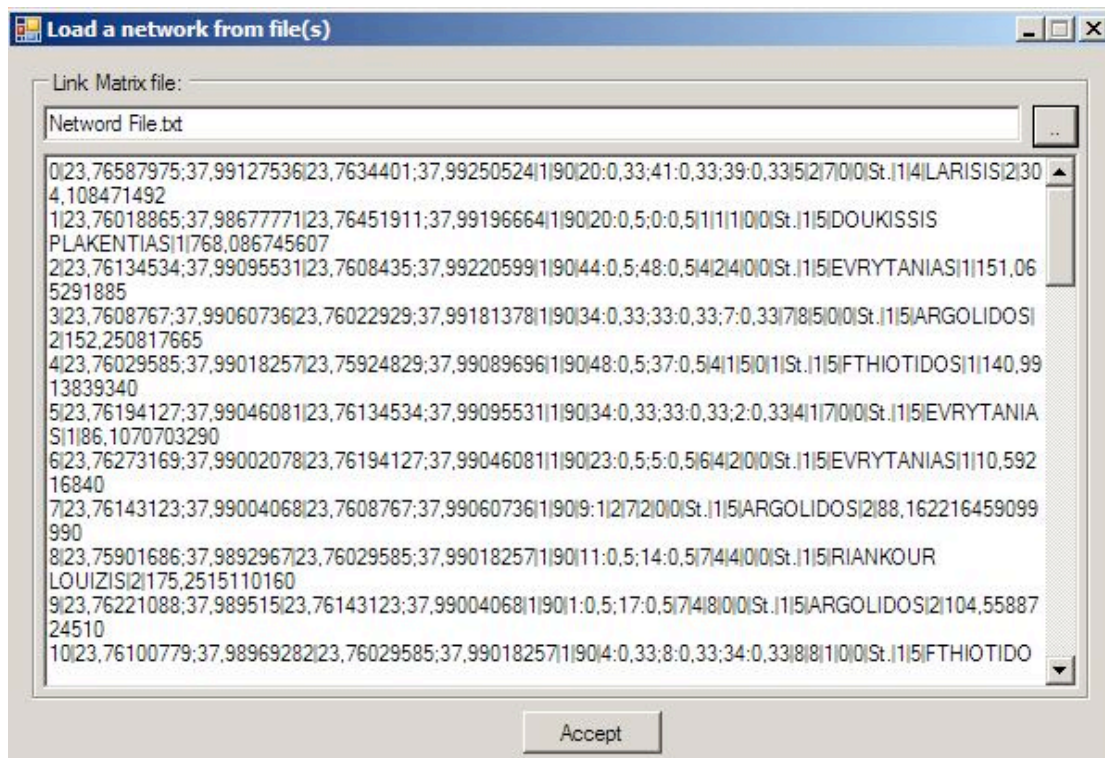
Η μορφή των δεδομένων πρέπει να είναι ένα αρχείο κειμένου (όχι binary) του οποίου κάθε γραμμή είναι ένα μεμονωμένο link, με όλες τις ιδιότητες του τοποθετημένες η μία μετά την άλλη χωρισμένες με το χαρακτήρα semicolon «|» πχ:

0|start_node|end_node|1|90| ... |St.|1|4|LARISIS|2|304,10

Η σειρά των ιδιοτήτων είναι αυστηρώς προσδιορισμένη και περιγράφεται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα:

θέση	ιδιότητα	περιγραφή	τύπος δεδομένων
0	ID	ο κωδικός που ορίζει μονοσήμαντα το link	string
1	start node	ο αρχικός κόμβος του link	string
2	end node	ο τερματικός κόμβος του link	string
3	start green	η χρονική στιγμή που ξεκινά το πράσινο	double
4	end green	η χρονική στιγμή που σταματά το πράσινο	double
5	turning rates	οι πιθανότητες μεταβάσεις σε επόμενα links	string
6	initial q	αρχική ροή	double
7	initial p	αρχική πυκνότητα	double
8	initial v	αρχική ταχύτητα	double
9	is start	αν δέχεται ροή απο το εξωτερικό περιβάλλον	integer
10	is end	αν εξέρχονται στο περιβάλλον οχήματα	integer
11	street type	είδος δρόμου	integer
12	number of lanes	αριθμός λωρίδων	integer
13	class ID	κατάταξη σημαντικότητας	integer
14	label	Ονομασία του δρόμου	string
15	direction	Κατεύθυνση	integer
16	length	Μήκος δρόμου	double

Τέλος, υπάρχει ένα text box το οποίο παρουσιάζει τα περιεχόμενα του αρχείου το οποίο επελέγη, τόσο για εποπτικούς όσο και για επαληθευτικούς λόγους.



5.3.3 Γεννήτρια Αφίξεων / Arrivals Generator

Επιλέγοντας το «Arrivals Generator» εμφανίζεται η παρακάτω φόρμα:

Arrivals generator

Value range

from: 3

to: 1

units per: second

Duration: 7200

Number of origins: 4

Accept and Export Cancel

Στο πρόγραμμα υπάρχει μία γεννήτρια αφίξεων κατά την οποία ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει κάποια «σενάρια» κυκλοφορίας, δημιουργώντας στιγμιαίες ροές ανά μονάδα χρόνου για κάθε link το οποίο δέχεται οχήματα από το περιβάλλον του δικτύου.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, ο χρήστης μπορεί να ορίσει το εύρος τιμών μεταξύ των οποίων μπορούν να κυμαίνονται οι παραγόμενες αφίξεις. Η γεννήτρια τυχαίων αριθμών ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή και στηρίζεται στη γνωστή

συνάρτηση RND() (ψευδο)τυχαίων αριθμών μεταξύ 0 και 1, όπου με ένα απλό de-normalization γίνεται η μετατροπή του εύρους.

Κατόπιν επιλέγονται οι μονάδες του χρόνου, οι οποίες μπορεί να είναι δευτερόλεπτα ή λεπτά. Για λόγους ακρίβειας των υπολογισμών κι έτσι ώστε να λαμβάνει υπόψη του ο αλγόριθμος και να περιγράφει σωστά κάποια μεταβατικά φαινόμενα, είναι προτιμότερο να επιλέγονται τα δευτερόλεπτα.

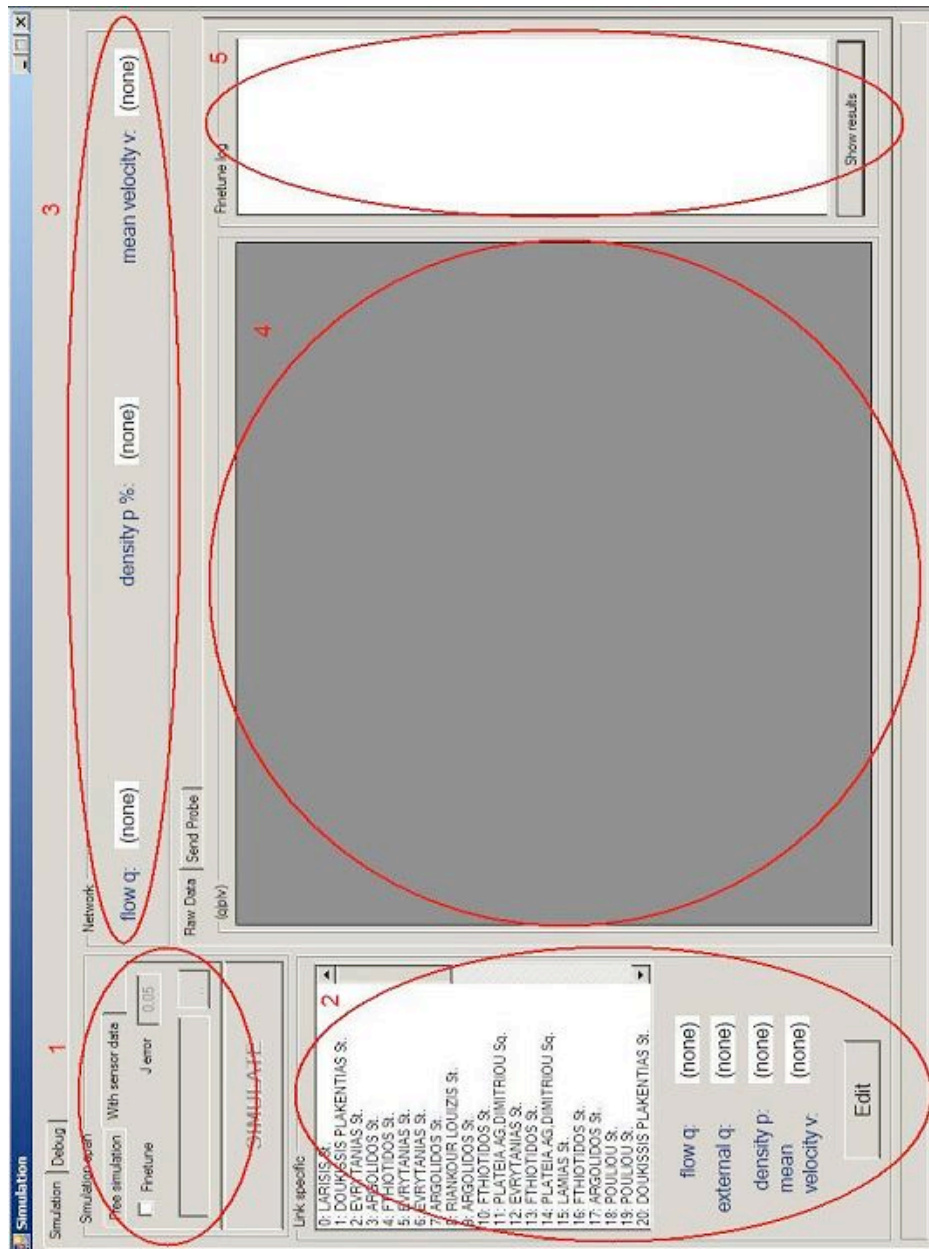
Τέλος, ο χρήστης πρέπει να ορίσει για πόσο χρονικό διάστημα θα παράγονται αυτές οι τυχαίες αφίξεις. Το νούμερο αυτό πρέπει να είναι σε συμφωνία με την χρονική μονάδα που έχει επιλεγεί παραπάνω.

Με την επιλογή «Accept and Export» ανοίγει το γνωστό παράθυρο διεπαφής windows save file dialog όπου ο χρήστης ορίζει το όνομα του αρχείου στο οποίο θα αποθηκευτούν αυτές οι αφίξεις. Η μορφή του αρχείου θα είναι κάθε γραμμή να αντιπροσωπεύει την χρονική στιγμή ενώ τα περιεχόμενα τις γραμμής θα είναι ο αριθμός των οχημάτων για κάθε link το οποίο είναι εισόδου στο δίκτυο.

Η όλη διαδικασία μπορεί να ακυρωθεί εύκολα με το κουμπί «Cancel», να σημειωθεί σε αυτό το σημείο όμως ότι σε περίπτωση που έχει δημιουργηθεί ένα αρχείο αφίξεων η επιλογή αυτή δεν το διαγράφει.

5.3.4 Η κεντρική οθόνη προσομοίωσης

Αφού ο χρήστης έχει τροφοδοτήσει το πρόγραμμα με τα απαραίτητα στοιχεία, είτε δημιουργώντας from scratch το δίκτυο είτε εισάγοντας το με μορφή αρχείου, εμφανίζεται η φόρμα κατά την οποία θα γίνουν οι τελευταίες εισαγωγές δεδομένων ώστε να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση.



Σε αυτήν την εικόνα διακρίνουμε τους εξής βασικούς τομείς:

1. Simulation span. Είναι ένα tab collection με 2 διαφορετικά tab pages. Το ένα ονομάζεται «free simulation» όπου ο χρήστης εισάγει ένα αρχείο αφίξεων και το πρόγραμμα τρέχει μία προσομοίωση του δικτύου για όσο χρόνο όσο και ο αριθμός γραμμών του αρχείου. Το δεύτερο ονομάζεται «with sensor data» όπου ο χρήστης εισάγει ένα αρχείο πραγματικών μετρήσεων των ταχυτήτων των οχημάτων απο αισθητήρες εγκατεστημένους στο αστικό δίκτυο και κατόπιν εκτελούνται προσομοιώσεις που μεταβάλλουν τα τόσο τα turning rates όσο και τις εξωτερικές αφίξεις έτσι ώστε το σφάλμα των τιμών προσομοίωσης με τις πραγματικές να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Οι προσομοιώσεις τερματίζουν όταν η τετραγωνική διαφορά των πραγματικών απο τις εκτιμούμενες ταχύτητες να είναι μικρότερη απο ένα σφάλμα που

ονομάζεται J_error και καθορίζεται απο τον χρήστη. Σαν προτεινόμενη τιμή του έχει μπει ο αριθμός 0,05.

- Είναι η λίστα με όλα τα υπάρχοντα links στο δίκτυο μας. Ήδη ο χρήστης μπορεί να δει ότι η λίστα αυτή περιέχει όλα τα στοιχεία που έχουν οριστεί απο πριν. Η λίστα είναι διαδραστική, όπου με κλικ σε κάθε link μπορούν να εμφανιστούν παρακάτω οι τρέχουσες τιμές των καταστατικών μεταβλητών του, ροή, εξωτερική ροή (αν υπάρχει), πυκνότητα και μέση ταχύτητα. Όπως φαίνεται στο σχήμα, απο την στιγμή που δεν έχει γίνει ακόμη προσομοίωση (και δεν έχουν καθοριστεί αρχικές τιμές τους) οι καταστατικές μεταβλητές είναι σε πρώτη φάση όλες μηδέν. Επιπλέον, υπάρχει ένα κουμπί με το όνομα «edit» όπου είναι δυνατή η on-the-fly επεξεργασία των turning rates κάθε link.
- Το συγκεκριμένο group box περιέχει εποπτικά τον μέσο όρο των καταστατικών μεταβλητών του συστήματος. Σε αντίθεση με τη μέση ροή και τη μέση ταχύτητα σε όλα τα link του συστήματος όπου παρουσιάζονται σε απόλυτο αριθμό, η μέση πυκνότητα του όλου οδικού δικτύου παρουσιάζεται στην μορφή επι τοις εκατό, παρέχοντας με έναν σαφή κι εποπτικό τρόπο τον επι τοις εκατό φόρτο του συνολικού δικτύου.
- Είναι ένα tab collection το οποίο περιέχει δύο πολύ σημαντικά tab pages. Το πρώτο περιέχει ένα Data Grid το οποίο παρουσιάζει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ως raw data. Κάθε στήλη αντιπροσωπεύει ένα link και κάθε γραμμή μία χρονική στιγμή. Το κελί περιέχει τις 3 καταστατικές μεταβλητές κάθε link στην συγκεκριμένη χρονική στιγμή με την μορφή ($q \mid p \mid v$) δηλαδή (ροή | πυκνότητα | ταχύτητα). Το άλλο tab page ονομάζεται «send probe» κι όπως υπονοεί και το όνομα, δημιουργεί ένα εικονικό όχημα (ανιχνευτή) ο οποίος επιχειρεί την μετάβαση απο ένα σε ένα άλλο κρίσιμο σημείο του δικτύου, και με βάση τα τρέχοντα δεδομένα της προσομοίωσης κάνει εκτίμηση της καλύτερης διαδρομής για την μετάβαση με βάση τον εκτιμώμενο χρόνο άφιξης.
- Στην περίπτωση που έχει επιλογή η μέθοδος προσομοίωσης με βελτιστοποίηση των turning rates κι εξωτερικών αφίξεων, ενεργοποιείται το συγκεκριμένο group box όπου περιέχει ένα log με κάθε απόκλιση J των πραγματικών τιμών. Απο κάτω υπάρχει ένα κουμπί «Show Results» το οποίο παρουσιάζει μία φόρμα με την βέλτιστη εκτίμηση των turning rates κι αφίξεων.

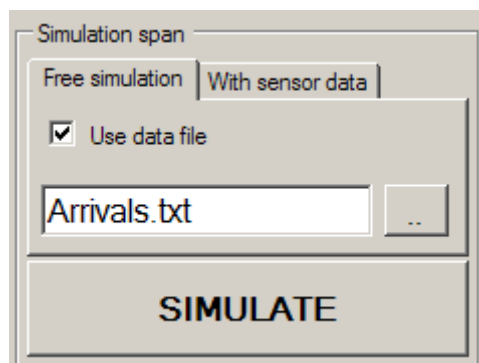
Όλα τα παραπάνω θα αναλυθούν διεξοδικά παρακάτω.

5.1.5 Πραγματοποιώντας μία free simulation

Αφού πλέον το δίκτυο έχει καλώς οριστεί, με όλα τα links του στις επιθυμητές τιμές, είμαστε έτοιμοι να πραγματοποιήσουμε την πρώτη μας προσομοίωση.

Ο πιο απλός τρόπος προσομοίωσης του δικτύου είναι το λεγόμενο free simulation όπου για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα το πρόγραμμα τρέχει και υπολογίζει για κάθε χρονική στιγμή τις καταστατικές μεταβλητές του κάθε link.

Παρατηρώντας την φόρμα προσομοίωσης, πάνω αριστερά βρίσκεται το group box με το όνομα simulation span, το οποίο περιέχει ένα tab page collection. Το πρώτο tab page το οποίο κι είναι προεπιλεγμένο, μας επιτρέπει να ορίσουμε το input file του αρχείου αφίξεων. Το αρχείο αυτό περιέχει για κάθε χρονική στιγμή τις στιγμιαίες ροές κάθε origin link κι απο το μέγεθος του (το πλήθος των χρονικών στιγμών που καθορίζει) προκύπτει έμεσα κι ο χρόνος προσομοίωσης T.

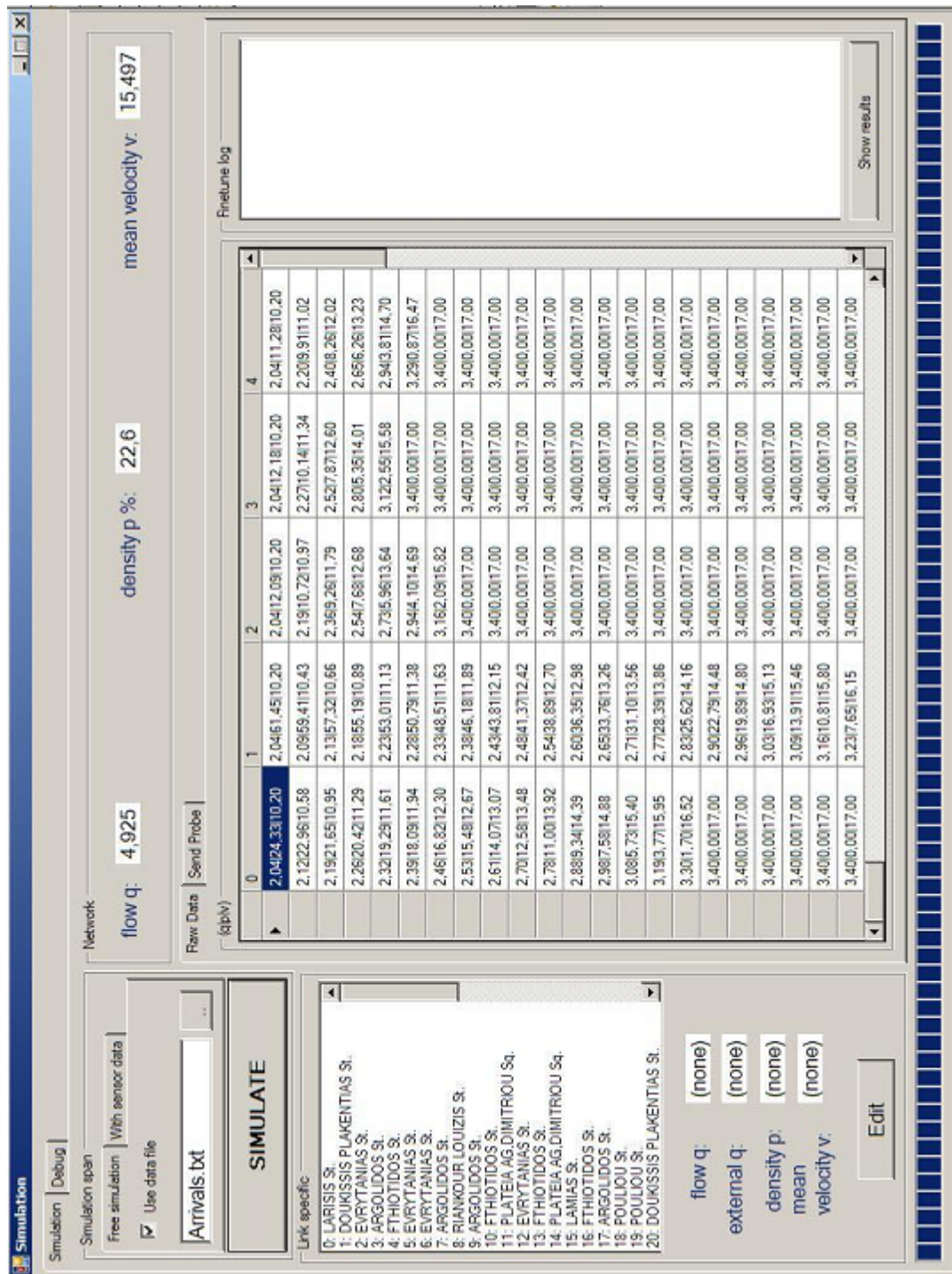


Πατώντας το κουμπί «...» ανοίγει η γνωστή φόρμα open file dialog του λειτουργικού μας και μπορούμε να επιλέξουμε το αρχείο κειμένου το οποίο περιέχει τις αφίξεις. Αφού ολοκληρωθεί με επιτυχία η εισαγωγή του αρχείου, το όνομα του φαίνεται στο ανάλογο text box, έχουν αρχικοποιηθεί όλες οι μεταβλητές εξωτερικών αφίξεων όπως κι ο συνολικός χρόνος προσομοίωσης μέσω του αριθμού των γραμμών του αρχείου αυτού.

Είμαστε πλέον έτοιμοι να πραγματοποιήσουμε την πρώτη προσομοίωση. Πατώντας το κουμπί «SIMULATE» παρατηρούμε ότι ο κέρσορας του συστήματος παίρνει την μορφή της κλεψύδρας και το σύστημα εισόδου εξόδου του χρήστη μπαίνει σε κατάσταση αναμονής, για να αποτραπεί αλλαγή των μεταβλητών του συστήματος κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης. Επιπλέον, παρατηρούμε στο κάτω μέρος της φόρμας μία progress bar η οποία μας πληροφορεί για την εξέλιξη της προσομοίωσης με βάση το πόσες χρονικές στιγμές απο το σύνολο T έχουν προσομοιωθεί.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε σε αυτό το σημείο ότι η main engine του αλγορίθμου εκτελεί πολλές διεργασίες σε ένα βρόγχο πολλών επαναλήψεων και πολλές εκδόσεις των Windows μπορεί να εμφανίσουν το πρόγραμμα ως «not responding» στον task manager. Ο χρήστης μπορεί να αγνοήσει την παραπάνω ένδειξη του λειτουργικού και να περιμένει τα αποτελέσματα.

Αφού έχουν πάει όλα καλά, η προσομοίωση τελειώνει κι εμφανίζεται μία οθόνη περίπου σαν την παρακάτω:



Να σημειωθεί ότι η προσομοίωση έγινε για το μικρό διάστημα των 100 δευτερολέπτων.

Σε πρώτη φάση παρατηρούμε ότι ο κέρσορας πλέον είναι στην κανονική του μορφή τόξου κι η progress bar έχει γεμίσει. Επιπλέον, βλέπουμε ότι τα labels πάνω δεξιά που παρουσιάζουν εποπτικά τον μέσο όρο των τριών καταστατικών μεταβλητών του συστήματος έχουν πάρει τιμή ενώ το data grid της tab page raw data έχει γίνει populated.

Στο group box λοιπόν με το όνομα network παρατηρούμε τις μέσες τιμές όλων των links των τριών καταστατικών μεταβλητών του συστήματος. Η μέση ροή για κάθε link του συστήματος είναι 4,925 οχήματα το δευτερόλεπτο (για όλες τις λωρίδες του link), ο επι τοις εκατό φόρτος των links, δηλαδή πόσο τις % είναι γεμάτα απο οχήματα είναι 22,6% ενώ η μέση ταχύτητα των οχημάτων είναι 15,497 μέτρα το δευτερόλεπτο, δηλαδή περίπου 55 χιλιόμετρα την ώρα.

Κατόπιν, στο group box «links specific» μπορούμε για κάθε links ξεχωριστά να πάρουμε πληροφορίες της προσομοίωσης κάνοντας click σε αυτό που επιθυμούμε. Για παράδειγμα:

The screenshot shows a window titled "Link specific" with a list of links and their associated flow, external flow, density, mean velocity, and an Edit button.

Link ID	Link Name	flow q	external q	density p	mean velocity v
32	ALEKSANDRAS Ave. ORIGIN LINK	6,079	0,000	20,645	15,198
33	RIANKOUR LOUIZIS St.				
34	RIANKOUR LOUIZIS St.				
35	KARYStOU St.				
36	KARYStOU St.				
37	PANORMOU St. ORIGIN LINK				
38	PANORMOU St. ORIGIN LINK				
39	KIFISIAS Ave. ORIGIN LINK				
40	KIFISIAS Ave. ORIGIN LINK				
41	KIFISIAS Ave. ORIGIN LINK				
42	KIFISIAS Ave. ORIGIN LINK				
43	PANORMOU St. ORIGIN LINK				
44	PANORMOU St. ORIGIN LINK				
45	PANORMOU St. ORIGIN LINK				
46	LARISIS St.				
47	LARISIS St.				
48	PANORMOU St. ORIGIN LINK				
49	KIFISIAS Ave.				
50	KIFISIAS Ave.				
51	KIFISIAS Ave.				
52	KIFISIAS Ave.				

flow q: 6,079
external q: 0,000
density p: 20,645
mean velocity v: 15,198

Edit

Επιλέγοντας το κομμάτι της οδού Πανόρμου με ID 44 παρατηρούμε ότι τα κάτωθεν labels παίρνουν τις τιμές που εμφανίζονται. Συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι η μέση ροή σε αυτόν τον δρόμο είναι για όλες τις λωρίδες περίπου 6 αμάξια το δευτερόλεπτο, το μέσο πλήθος αυτοκινήτων ανα χρονική στιγμή είναι γύρω στα 20 ενώ η μέση ταχύτητα με την οποία διανύεται ο δρόμος αυτός είναι 15 μέτρα ανα δευτερόλεπτο. Τέλος, παρότι η Πανόρμου είναι origin link, δηλαδή δέχεται ροές απο το εξωτερικό δίκτυο, σύμφωνα με το σενάριο αφίξεων που εισάγαμε, για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα προσομοίωσης δεν εισέρχεται κάποιο όχημα στο εν λόγω link. Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι με διπλό κλικ στο κάθε link που

υπάρχει στην λίστα εμφανίζεται η γνωστή μας απο το network builder φόρμα η οποία μας επιτρέπει να δούμε εποπτικά όλες τις ιδιότητες του συστήματος.

Τέλος, στο tab page «raw data» το οποίο καταλαμβάνει και το μεγαλύτερο κομμάτι της φόρμας, βρίσκονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για κάθε χρονική στιγμή:

Raw Data

Send Probe

(q|p|v)

	0	1	2	3	4	
►	2,04 24,33 10,20	2,04 61,45 10,20	2,04 12,09 10,20	2,04 12,18 10,20	2,04 11,28 10,20	
	2,12 22,96 10,58	2,09 59,41 10,43	2,19 10,72 10,97	2,27 10,14 11,34	2,20 9,91 11,02	
	2,19 21,65 10,95	2,13 57,32 10,66	2,36 9,26 11,79	2,52 7,87 12,60	2,40 8,26 12,02	
	2,26 20,42 11,29	2,18 55,19 10,89	2,54 7,68 12,68	2,80 5,35 14,01	2,65 6,26 13,23	
	2,32 19,29 11,61	2,23 53,01 11,13	2,73 5,96 13,64	3,12 2,55 15,58	2,94 3,81 14,70	
	2,39 18,09 11,94	2,28 50,79 11,38	2,94 4,10 14,69	3,40 0,00 17,00	3,29 0,87 16,47	
	2,46 16,82 12,30	2,33 48,51 11,63	3,16 2,09 15,82	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	
	2,53 15,48 12,67	2,38 46,18 11,89	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	
	2,61 14,07 13,07	2,43 43,81 12,15	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	
	2,70 12,58 13,48	2,48 41,37 12,42	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	
	2,78 11,00 13,92	2,54 38,89 12,70	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	
	2,88 9,34 14,39	2,60 36,35 12,98	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	
	2,98 7,58 14,88	2,65 33,76 13,26	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	
	3,08 5,73 15,40	2,71 31,10 13,56	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	
	3,19 3,77 15,95	2,77 28,39 13,86	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	
	3,30 1,70 16,52	2,83 25,62 14,16	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	
	3,40 0,00 17,00	2,90 22,79 14,48	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	
	3,40 0,00 17,00	2,96 19,89 14,80	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	
	3,40 0,00 17,00	3,03 16,93 15,13	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	
	3,40 0,00 17,00	3,09 13,91 15,46	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	
	3,40 0,00 17,00	3,16 10,81 15,80	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	
	3,40 0,00 17,00	3,23 7,65 16,15	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	3,40 0,00 17,00	

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, κάθε στήλη έχει ως επικεφαλίδα το ID του link ενώ κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε μία χρονική στιγμή. Στο κάθε κελί παρατηρούμε την εξής αναπαράσταση των τριών καταστατικών μεταβλητών του κάθε link:

(flow q | density p | velocity)

Έτσι, για παράδειγμα το link με ID=1 κατά το 2^ο δευτερόλεπτο της προσομοίωσης όπως βλέπουμε το σχήμα έχει ροή 2.09 αμάξια το δευτερόλεπτο, πληθυσμό 59,41 οχήματα τα οποία τον διασχίζουν με μέση ταχύτητα 10,43 μέτρα το δευτερόλεπτο.

Το παραπάνω data grid μπορεί παρουσιάζει με πάρα πολύ συμπυκνωμένο τρόπο όλη την εξέλιξη κάθε δομικού στοιχείου του συστήματος μας αλλά είναι δύσκολο να

δώσει μία συνολική εποπτική εικόνα της απόδοσης του δικτύου μας κατα την προσομοίωση. Έτσι, ακριβώς άνωθεν του συγκεκριμένου tab page υπάρχει ένα group box με το όνομα «network» το οποίο όπως προαναφέραμε παραπάνω παρέχει τις μέσες τιμές των 3 καταστατικών μεταβλητών του συστήματος για όλα τα links που υπάρχουν στο δίκτυο μας. Συγκεκριμένα:



Όπως παρατηρούμε απο τα αντίστοιχα data labels, η μέση τιμή της ροής για όλα τα links του δικτύου μας είναι περίπου 5 οχήματα το δευτερόλεπτο, ο μέσος φόρτος όλων των links του δικτύου είναι 22,6% της συνολικής τους χωρητικότητας ενώ η μέση ταχύτητα για κάθε όχημα που διέσχισε το δίκτυο στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα είναι 15,49 μέτρα το δευτερόλεπτο, περίπου 50 χιλιόμετρα την ώρα.

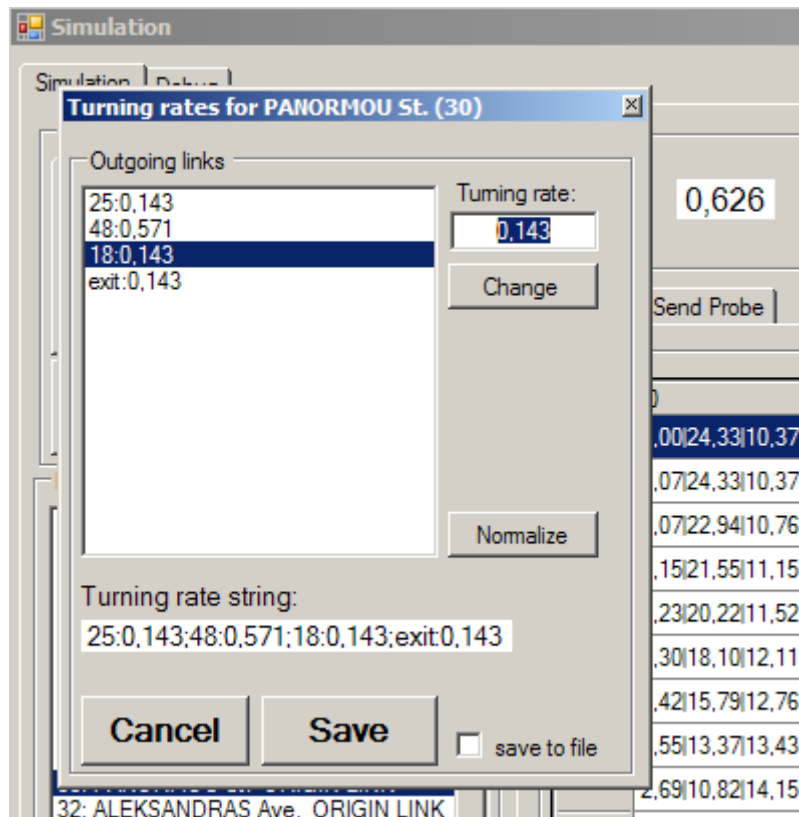
Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι για να είναι οι τιμές μέσα σε αναμενόμενα και φυσιολογικά πλαίσια, απαιτούνται τόσο ο ορθολογικός σχεδιασμός του αρχείου αφίξεων, η σωστή τοποθέτηση και συσχέτιση των links του δικτύου όσο κι ένας αρκετά μεγάλος (περίπου 8-10 ώρες) χρόνος προσομοίωσης. Πράγματι, ακόμη και για την προσομοίωση που έγινε παραπάνω η τιμή των περίπου ~50 χιλιομέτρων την ώρα συμπίπτει σε μεγάλο βαθμό με τιμές που υπολογίστηκαν απο το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο οι οποίες κυμαίνονται γύρω στα 45-47 χιλιόμετρα την ώρα ως μέση ταχύτητα των οχημάτων στην πόλη της Αθήνας σε κάποιους συγκεκριμένους δρόμους.

Με βάση τα παραπάνω, τα αποτελέσματα της ελεύθερης προσομοίωσης έχουν αξία με την προϋπόθεση τον σωστό σχεδιασμό του όλου συστήματος και σωστή ανάθεση των αρχικών τιμών. Αυτό όμως δεν είναι εφικτό, αφού στις περισσότερες περιπτώσεις στοιχεία όπως για παράδειγμα οι αφίξεις απο το εξωτερικό δίκτυο ή τα turning rates ενός link δεν είναι δεδομένα, ενώ η αρχική τους προσέγγιση μπορεί να πέφτει αρκετά έξω ώστε να αποκλίνει τον γενικότερο αλγόριθμο.

Για την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων χρησιμοποιείται ο μηχανισμός του finetuning ο οποίος και θα περιγραφεί αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο.

Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, ότι μπορεί ο χρήστης να τροποποιήσει τα turning rates χωρίς να χρειαστεί να τρέξει μία προσομοίωση με βελτιστοποίηση.

Πατώντας το κουμπί «Edit...» ακριβώς εκατέρωθεν της λίστας των links, εμφανίζεται η παρακάτω φόρμα:



Στο label της φόρμας αυτής (ή του toolbox για την ακρίβεια) εμφανίζεται το όνομα του link, ο τύπος του καθώς και το ID που το χαρακτηρίζει μονοσήμαντα. Ακόμη εμφανίζεται η λίστα με όλα τα outgoing links με το αντίστοιχο turning rate. Επιλέγοντας ένα απο αυτά, η τιμή του εμφανίζεται στο δεξιό text box, όπου και μπορούμε να την τροποποιήσουμε.

Η φόρμα αυτή προβλέπει ακόμη και την περίπτωση όπου ο χρήστης δεν δώσει σωστά τα turning rates, δηλαδή το άθροισμα τους δεν είναι ίσο με την μονάδα (αφού είναι ουσιαστικά πιθανότητες). Έτσι, με το κουμπί «normalize» οι τιμές κανονικοποιούνται με βάση τη μονάδα, διαιρώντας απλώς κάθε μία με το άθροισμα όλων. Κατα την αποθήκευση των τιμών γίνεται πάντα έλεγχος για κανονικότητα, χωρίς αναγκαστικά να πατήσει ο χρήστης το ανάλογο κουμπί.

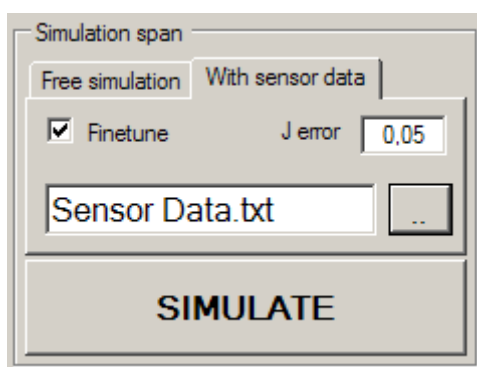
Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης στο γενικότερο αρχείο του δικτύου του συγκεκριμένου configuration, καθώς κι ένα κουμπί «Cancel» για ακύρωση της όλης διαδικασίας.

5.1.6 Προσομοίωση με βελτιστοποίηση (finetuning)

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, η μέθοδος της ελεύθερης προσομοίωσης μπορεί να παρουσιάσει σημαντικές αποκλίσεις στον υπολογισμό των καταστατικών μεταβλητών του προβλήματος όταν τα αρχικά δεδομένα εισόδου, δηλαδή τα σενάρια αφίξεων και τα turning rates δεν αρχικοποιηθεί σωστά.

Αυτό που προσπαθεί να πετύχει η μέθοδος του finetuning είναι να λαμβάνει εξωτερικές μετρήσεις πραγματικών δεδομένων του δικτύου για μία καταστατική μεταβλητή του συστήματος (στην συγκεκριμένη περίπτωση της μέσης ταχύτητας) και κατόπιν κάνοντας επαναλαμβανόμενες προσομοιώσεις να προσπαθήσει να προσδιορίσει τα ιδανικά external flows και turning rates τα οποία ελαχιστοποιούν το τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμώμενων τιμών της εν λόγω καταστατικής μεταβλητής.

Ξεκινώντας, απο το tab page collection επιλέγουμε το tab με την επικεφαλίδα «with sensor data» και κατόπιν τσεκάρουμε το checkbox με το label «enable finetuning». Αμέσως ενεργοποιείται το παρακάτω text box και πατώντας το κουμπί «...» εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου για την επιλογή ενός αρχείου. Το αρχείο αυτό θα περιέχει τις πραγματικές τιμές της ταχύτητας όπως μετρήθηκαν για κάθε χρονική στιγμή στο πραγματικό δίκτυο.



Η δομή του αρχείου είναι πολύ αυστηρή και θα έχει την μορφή όπου κάθε στήλη αντιστοιχεί σε ένα link και κάθε γραμμή σε μία αντίστοιχη χρονική στιγμή. Για παράδειγμα στο δίκτυο μας το οποίο έχει 53 links το αρχείο αυτό πρέπει να έχει 53 στήλες, ενώ το πλήθος των γραμμών καθορίζει έμμεσα τον χρόνο τον οποίο θα διαρκεί η κάθε μεμονωμένη προσομοίωση.

Επίσης, μπορούμε να παρατηρήσουμε ένα μικρό text box με το label «J error» το οποίο μάλιστα έχει και την default τιμή 0,05. Αυτό δεν είναι άλλο απο μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα των τετραγωνικών αποκλίσεων εκτιμώμενης (απο τον αλγόριθμο) και πραγματικής (απο το αρχείο μετρήσεων) τιμής της ταχύτητας. Προφανώς μικρότερη τιμή στην συγκεκριμένη μεταβλητή αντιστοιχεί σε περισσότερες προσομοιώσεις, καλύτερη ακρίβεια αλλά πολύ μεγαλύτερο υπολογιστικό φόρτο.

Αφού λοιπόν ο χρήστης είναι ικανοποιημένος απο τα δεδομένα που εισήγαγε, μπορεί να εκτελέσει μία προσομοίωση μέσω του γνωστού κουμπιού «SIMULATE». Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι η διαδικασία είναι πολύ πιο χρονοβόρα απο αυτήν την προηγούμενη αφού ουσιαστικά γίνονται πολλές διαδοχικές «ελεύθερες» προσομοιώσεις μέχρι ο αλγόριθμος να προσδιορίσει τις εξωτερικές αφίξεις και τα turning rates τα οποία κάνουν τα εκτιμώμενα αποτελέσματα να συγκλίνουν με τα πραγματικά.

Αναλυτικότερα, ο αλγόριθμος σε πρώτη φάση πραγματοποιεί μία ελεύθερη προσομοίωση κατα τα γνωστά, για τόσο χρόνο όσο έχουμε πραγματικές μετρήσεις (μέγεθος γραμμών αρχείου sensor data). Σε αυτό το σημείο στην μνήμη του προγράμματος υπάρχουν 2 πίνακες. Ο ένας έχει όλες τις πραγματικές τιμές της ταχύτητας που περιέχει το εξωτερικό αρχείο μας κι ο άλλος αυτές που μόλις υπολόγισε μέσω της προσομοίωσης. Κατόπιν, πραγματοποιεί διαφορά πραγματικής μείον εκτιμώμενης τιμής της ταχύτητας υψωμένη στο τετράγωνο για λόγους τόσο μη αρνητικότητας όσο και να «τιμωρούνται» περισσότερο οι μεγάλες αποκλίσεις.

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται για κάθε κελί στους πίνακες μας, δηλαδή N φορές όπου $N = (\text{γραμμές πίνακα}) \times (\text{αριθμός links})$ κι υπολογίζεται το αλγεβρικό άθροισμα J όλων αυτών των τετραγωνικών διαφορών το οποίο στην συνέχεια διαιρείται με το N για λόγους normalization. Σε αυτό το σημείο εξετάζεται αν αυτός ο αριθμός J είναι μικρότερος από το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα το οποίο έχουμε ορίσει εμείς J_{error} . Αν ναι, ο αλγόριθμος έχει απόδοση που συνάδει με τα πραγματικά δεδομένα και τερματίζει.

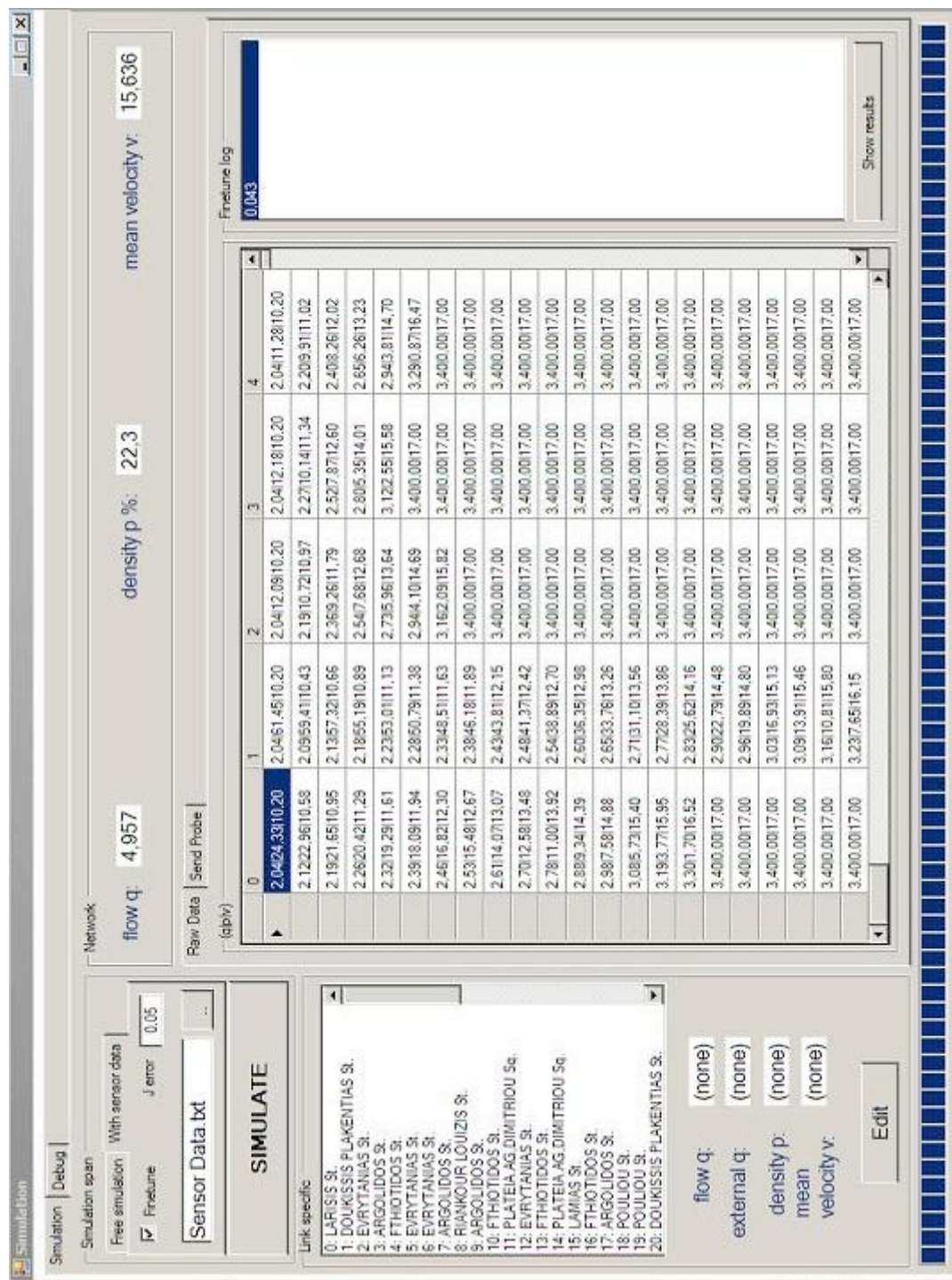
Σε περίπτωση που το J που υπολογίσαμε δεν είναι μικρότερο ή ίσο με το J_{error} , αυτό σημαίνει ότι οι τιμές των εξωτερικών αφίξεων όπως και τα turning rates δεν μας δίνουν σωστή αναπαράσταση του πραγματικού συστήματος και πρέπει να αλλάξουν. Ο τρόπος με τον οποίον «πειράζουμε» τις 2 αυτές μεταβλητές του συστήματος μοιάζει πάρα πολύ με τις γνωστές από την μαθηματική βελτιστοποίηση μεθόδους της «τυφλής αναζήτησης». Πιο συγκεκριμένα, κάθε τιμή που περιγράφει εξωτερική άφιξη ή turning rate αυξομειώνεται κατά ένα τυχαίο step. Οι νέες αυτές τιμές αποθηκεύονται στα links και πραγματοποιείται μία νέα προσομοίωση με αυτές.

Έτσι, συνοψίζοντας την λειτουργία της προσομοίωσης με finetuning θα λέγαμε ότι αποτελείται από διαδοχικές προσομοιώσεις όπου στο τέλος κάθε μίας μεταβάλλονται τα external flows και τα turning rates ελπίζοντας ότι οι νέες τιμές τους θα δώσουν μία προσομοίωση της οποίας τα αποτελέσματα θα συγκλίνουν περισσότερο προς τις πραγματικές τιμές που ορίσαμε από το εξωτερικό αρχείο μας.

Ως έξοδος του αλγορίθμου μπορεί να θεωρηθεί τα νέα external flows και turning rates που υπολογίστηκαν. Φυσικά αυτά μπορούν να αποθηκευτούν σε αρχείο.

Η «τυφλή» αυτή μέθοδος αυξομείωσης των μεταβλητών που επιθυμούμε να προσεγγίσουμε δεν είναι εύκολο να χαρακτηριστεί όσον αφορά την απόδοση της. Για τα δεδομένα και τις τιμές που εκτελέστηκαν κατά τον σχεδιασμό του προγράμματος, ο αλγόριθμος συνέκλινε όχι παραπάνω από 3 βήματα.

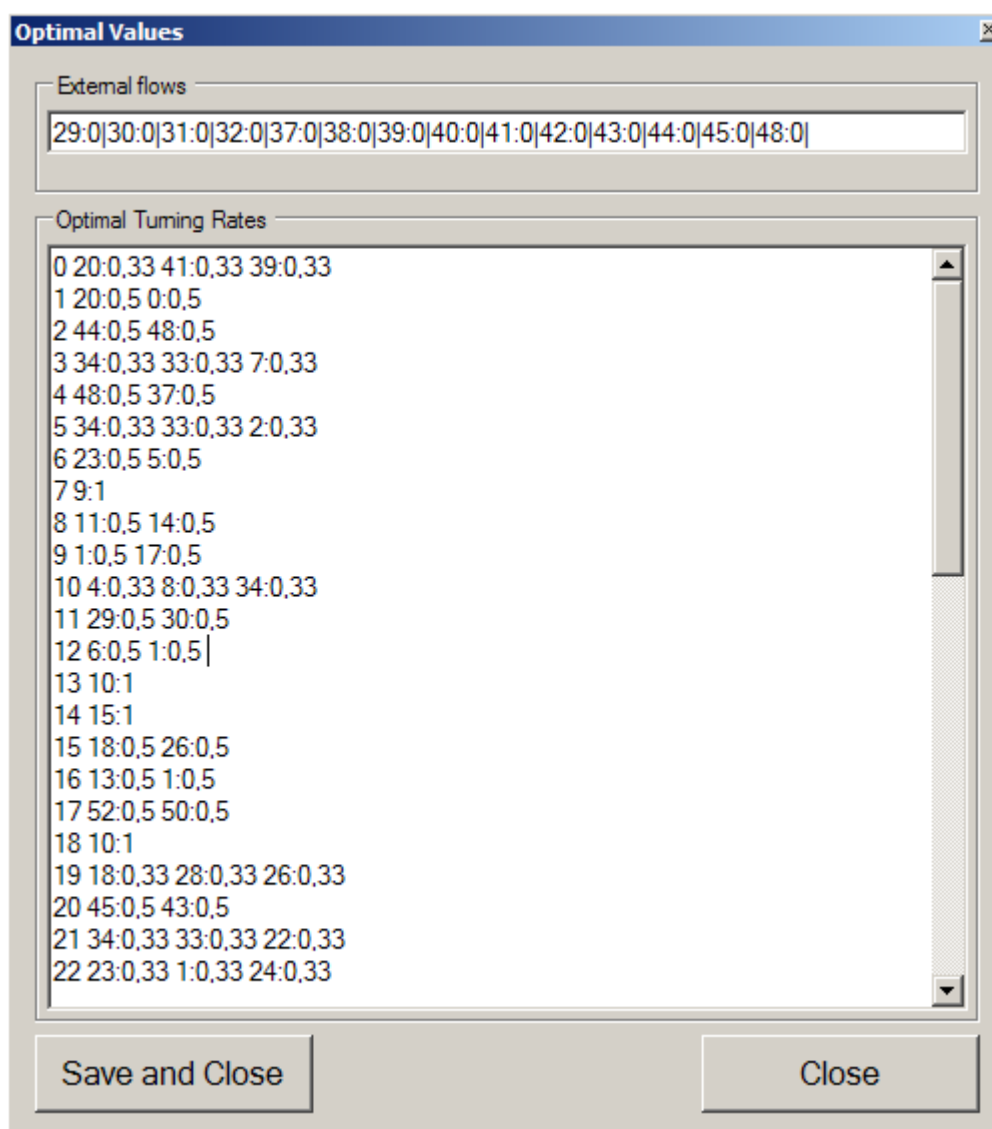
Αφού περάσει το χρονικό διάστημα προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητες προσομοιώσεις, έχουμε την παρακάτω οθόνη:



Η μορφή της φόρμας που παρουσιάζεται δεν διαφέρει σε μεγάλο βαθμό απο αυτήν της ελεύθερης προσομοίωσης με την μόνη σημαντική διαφορά ότι είναι ενεργοποιημένη η λίστα στα αριστερά όπου αποτελεί ένα log όλων των προσομοιώσεων που έγιναν με το αντίστοιχο J τους.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση όπως φαίνεται μία προσομοίωση ήταν αρκετή κι ο αλγόριθμος τερμάτισε στην μία επανάληψη με $J=0.043 < J_{error}$. Σε περίπτωση που υπήρχαν παραπάνω απο μία επαναλήψεις θα εμφανιζόταν στο log όλο το ιστορικό των J μέχρι αυτό να πέσει κάτω απο το επιθυμητό όριο.

Το σημαντικότερο κομμάτι όμως του αλγορίθμου είναι το κουμπί «Show results» ακριβώς κάτωθεν της λίστας των J το οποίο εμφανίζει τις βέλτιστες τιμές των εξωτερικών αφίξεων και των turning rates:



Στο πρώτο text box βλέπουμε τις βέλτιστες εξωτερικές αφίξεις, στην μορφή ID του link ακολουθούμενο απο την αντίστοιχη τιμή της ροής, χωρισμένα με τον χαρακτήρα «|». Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το συγκεκριμένο αρχείο δεδομένων που εισάγαμε παρατηρούμε ότι οι βέλτιστες τιμές των εξωτερικών αφίξεων έτσι ώστε να προσεγγίζονται οι μετρήσεις είναι 0.

Στο κάτωθεν text box παρουσιάζει για κάθε link τα βέλτιστα turning rates. Όπως παρατηρούμε κάθε γραμμή ξεκινάει με το ID του εκάστοτε links και μετά ακολουθούν τα turning rates στην τυποποιημένη μορφή που έχει περιγραφεί σε προηγούμενες παραγράφους.

Δεν θα είχε νόημα η όλη διαδικασία να δεν ήταν δυνατή η αποθήκευση των παραπάνω αποτελεσμάτων της προσομοίωσης σε ένα αρχείο με την ίδια ακριβώς τυποποίηση με το αρχείο εισόδου το οποίο τυποποιεί το δίκτυο μας και το οποίο εισάγαμε στην αρχή της εκτέλεσης του προγράμματος.

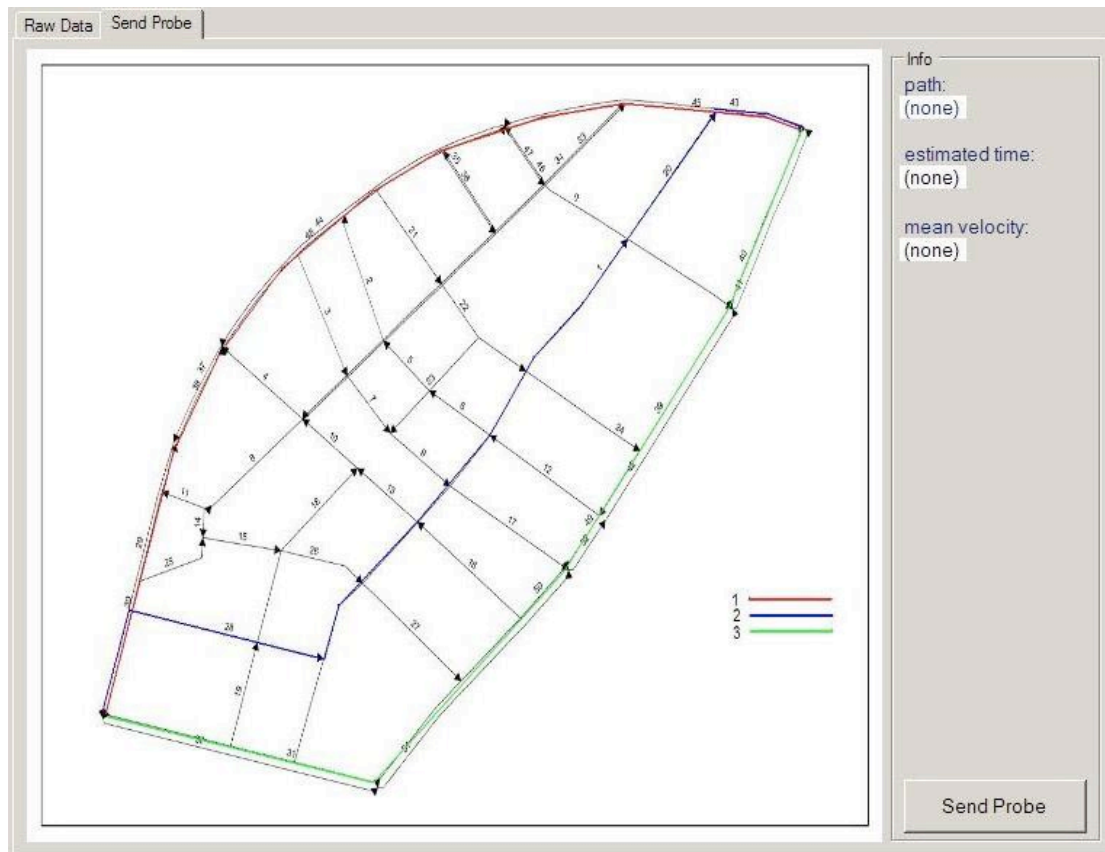
Πράγματι, πατώντας το κουμπί «Save and Close» ανοίγει η γνωστή φόρμα των windows για την αποθήκευση αρχείων, όπου το συγκεκριμένο μας configuration αποθηκεύεται στην μορφή text file και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αρχείο δικτύου σε μελλοντικές εκτελέσεις του προγράμματος.

5.1.7 Αποστολή ανιχνευτή (Send probe)

Η «αποστολή ανιχνευτή» είναι μία λειτουργία κατά την οποία ο αλγόριθμος στέλνει ένα εικονικό όχημα να μεταβεί από ένα σημείο του δικτύου σε ένα άλλο μέσω κάποιων εναλλακτικών μονοπατιών και κατόπιν κάνει εκτίμηση με βάση τον χρόνο μετάβασης του ποιο είναι το καλύτερο.

Προφανώς για την εκτέλεση της παραπάνω λειτουργίας πρέπει προηγουμένως να έχει πραγματοποιηθεί μία προσομοίωση, η οποία θα έχει αναθέσει σε κάθε link τιμές στις καταστατικές μεταβλητές του. Γι αυτό το λόγο, το tab page που περιέχει την εν λόγω λειτουργία είναι απενεργοποιημένο στην αρχή και ξεκλειδώνεται αφού έχει πραγματοποιηθεί με επιτυχία μία προσομοίωση.

Η λειτουργία αποστολής εικονικού οχήματος βρίσκεται στο tab page send probe του ίδιου tab page collection που περιέχει τα raw data αποτελέσματα μίας προσομοίωσης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

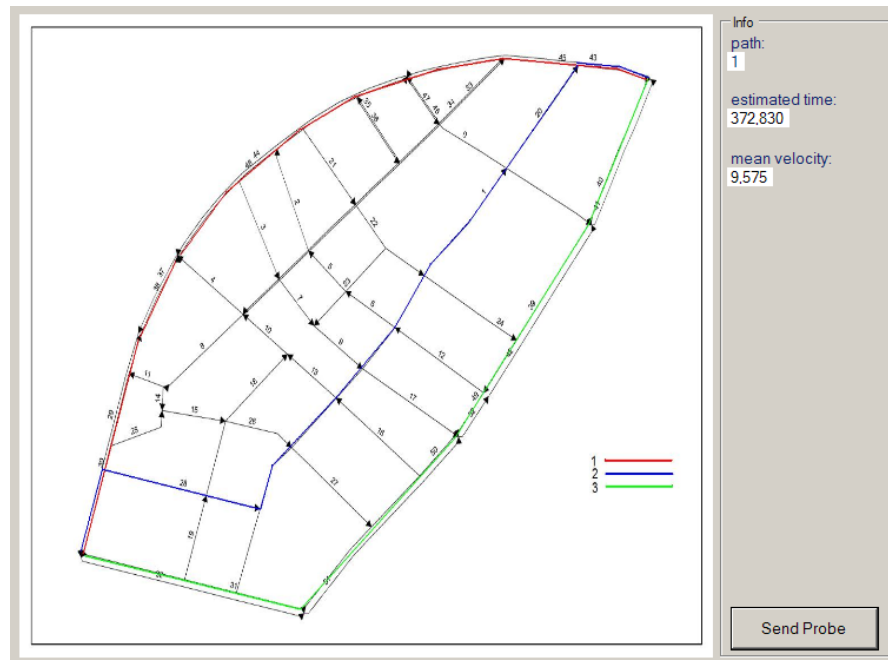


Στην παραπάνω φόρμα διακρίνουμε τρία κύρια μέρη.

1. Το πρώτο είναι το γράφημα του φυσικού συστήματος. Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι το γράφημα είναι για το συγκεκριμένο οδικό δίκτυο της Αθήνας με βάση το οποίο σχεδιάστηκε το πρόγραμμα, κι υπάρχει μόνο στην τρέχουσα έκδοση του προγράμματος. Η συγκεκριμένη απεικόνιση προσφέρει μία εποπτική ματιά της φυσικής διάταξης του συστήματος μας καθώς κι έναν σαφή τρόπο αναπαράστασης των υποψήφιων μονοπατιών που μπορούν να ακολουθηθούν. Κοιτώντας προσεκτικότερα το σχήμα παρατηρούμε ότι κάθε εναλλακτική διαδρομή είναι γραμμοσκιασμένη με διαφορετικό χρώμα, κόκκινο για την 1, μπλε για την 2 και πράσινο για την 3. Τα σημεία στα οποία θέλουμε να μεταβούμε εμφανίζονται στο σχήμα ως START στην κάτω αριστερή άκρη κι END στην άνω δεξιά.
2. Το δεύτερο είναι το group box που φιλοξενεί τα data labels των τιμών που υπολογίζονται για την ιδανικότερη διαδρομή μετάβασης. Αυτά είναι το path, το οποίο προσδιορίζει ποιά εν τέλει από τις τρεις διαφορετικές διαδρομές είναι η πιο σύντομη μέσω εμφάνισης της ετικέτας του (1, 2 ή 3). Το άλλο είναι το estimated time, το οποίο όπως υποδηλώνει και το όνομα του προσδιορίζει τον εκτιμώμενο χρόνο μετάβασης αυτής της διαδρομής, ο οποίος υπολογίζεται με βάση την τιμή των καταστατικών μεταβλητών κάθε link όπως αυτές υπολογίστηκαν κατά την προσομοίωση. Τέλος, το 3^ο data label αφορά την μέση ταχύτητα που έχει το εικονικό όχημα το οποίο διένυσε το link κι υπολογίζεται μέσω των καταστατικών μεταβλητών του δικτύου, όπως κι ο αναμενόμενος χρόνος άφιξης

3. Τέλος, υπάρχει το κουμπί SEND PROBE το οποίο με το που πατηθεί εκτελεί όλη την διαδικασία αποστολής κι ανίχνευσης του κατάλληλου μονοπατιού.

Επιλέγοντας το SEND PROBE εμφανίζεται η ακόλουθη οθόνη:



Οι διαδικασία η οποία ακολουθείται για τον υπολογισμό των παραπάνω τιμών είναι η ακόλουθη:

Καταρχάς όπως προαναφέρθηκε, πρέπει να έχει πραγματοποιηθεί μία επιτυχής προσομοίωση, χωρίς να παίζει ρόλο αν θα είναι free simulation ή finetuned. Έτσι, για κάθε link του συστήματος θα έχουν αρχικοποιηθεί οι καταστατικές μεταβλητές της ταχύτητας οι οποίες είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό του εκτιμώμενου χρόνου μετάβασης.

Κατόπιν, ο αλγόριθμος παραγματοποιεί μία μετάβαση για κάθε εναλλακτικό μονοπάτι. Στην μνήμη του προγράμματος έχουν αποθηκευτεί οι επιμέρους μεταβάσεις για το κάθε μεμονωμένο link, έτσι ώστε ο αλγόριθμος να γνωρίζει την ακριβή διαδρομή. Σε κάθε μεμονωμένο link, το οποίο υπενθυμίζουμε είναι ένα αντικείμενο-object με κάποιες παραμέτρους, διαβάζονται οι παράμετροι του μήκους και της μέσης ταχύτητας που το διανύουν τα οχήματα. Κατόπιν, με την απλή μαθηματική πράξη

$$(\text{μήκος link}) / (\text{μέση ταχύτητα οχημάτων})$$

υπολογίζεται ο χρόνος κατα μέσο όρο που απαιτείται για ένα όχημα ώστε να διανύσει το συγκεκριμένο link. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε κομμάτι της γενικότερης διαδρομής και οι μεμονωμένοι χρόνοι αυτοί αθροίζονται.

Σε αυτό το σημείο να σημειωθεί ότι υπάρχουν κομμάτια στα οποία οι δρόμοι διασταυρώνονται σε κάποιο σημείο το οποίο δεν αντιστοιχεί στο συνολικό μήκος του ενός link. Σε αυτήν την περίπτωση με χρήση των γεωγραφικών συντεταγμένων (είναι αποθηκευμένες στις ιδιότητες start node & end node) του αρχικού και τερματικού κόμβου υπολογίζεται το μήκος για στο οποίο γίνεται η διασταύρωση.

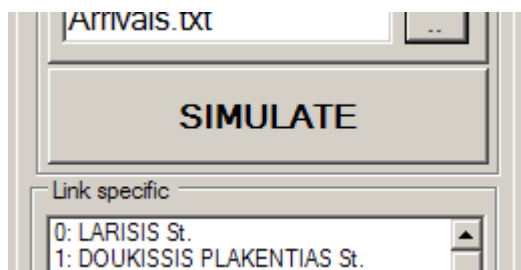
Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε εναλλακτική διαδρομή, και με μία απλή εύρεση ελάχιστου εκτιμώμενου χρόνου υπολογίζεται η βέλτιστη διαδρομή μετάβασης.

5.4 Η κύρια μηχανή προσομοίωσης – simulation main engine - εισαγωγή

Στις προηγούμενες παραγράφους έγινε περιγραφή των κύριων λειτουργιών του YP-UTSa μέσω της χρήσης του ίδιου του προγράμματος.

Σε αυτή τη παράγραφο θα γίνει παρουσίαση του κύριου κομματιού του αλγορίθμου που δεν είναι άλλος από την κύρια μηχανή προσομοίωσης, το κομμάτι δηλαδή αυτό του κώδικα το οποίο πραγματοποιεί υπολογισμούς κι ανάθεση τιμών στις καταστατικές μεταβλητές του συστήματος μας.

Η κύρια μηχανή προσομοίωσης βρίσκεται στην υπορουτίνα που ορίζει το κουμπί ελέγχου «SIMULATE» όπως φαίνεται στην φόρμα προσομοίωσης:



Στην VB.NET κάθε δομικό στοιχείο μίας φόρμας όπως τα text boxes, check boxes και στην προκειμένη περίπτωση τα κουμπιά δεν είναι τίποτε άλλο από ένας μηχανισμός ο οποίος κάνει trigger ένα συγκεκριμένο κομμάτι κώδικα. Έτσι και στο συγκεκριμένο πρόγραμμα η κύρια μηχανή της προσομοίωσης δεν καλείται ως μία εξωτερική συνάρτηση ή βιβλιοθήκη αλλά είναι ενσωματωμένη στον κώδικα που ενεργοποιεί το κουμπί που περιγράφει την λειτουργία της.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να γίνουν κάποιες διευκρινήσεις όσον αφορά τα κομμάτια του κώδικα που θα παρουσιαστεί.

- δεν θα γίνει καμμία ιδιαίτερη νύξη σε κομμάτια κώδικα που αφορούν ιδιαιτερότητες του συντακτικού της γλώσσας Visual Basic αφού αυτό ξεφεύγει από το γενικότερο σκεπτικό της περιγραφής της διαδικασίας προσομοίωσης

- δεν πρόκειται να περιγραφούν κομμάτια κώδικα που αν και υπάρχουν μέσα στον κώδικα προσομοίωσης δεν αφορούν την διαδικασία καθ'εαυτή. Τέτοιου είδους κομμάτια κώδικα είναι δηλώσεις μεταβλητών ή data objects, μηχανισμού αντιμετώπισης σφαλμάτων του χρήστη, ανάθεσης τιμών σε μεταβλητών που ο τύπος τους δεν το επιτρέπει, παρουσίαση των αποτελεσμάτων με τακτοποιημένο τρόπο κτλ
- θα αναλυθεί μόνο το υπολογιστικό-αλγοριθμικό υπόβαθρο της διαδικασίας κι όχι το μαθηματικό, το οποίο έχει ήδη περιγραφεί στην προηγούμενη παράγραφο.
- ο συνολικός κώδικας όλου του προγράμματος υπάρχει τόσο στο παράρτημα όσο και σε ηλεκτρονική μορφή κατα την διανομή του προγράμματος

5.4.2 Γενική μορφή

Καταρχάς, να παρουσιάσουμε την γενική μορφή ή αλλιώς τον σκελετό της μηχανής προσομοίωσης, ο οποίος είναι:

Do

While $i < T - 1$

For Each current_link In LinkList

calculate (p_old, q_old, v_old, i)

Next

End While

Loop Until $J < J_{error}$

Όπως παρατηρείται στο παραπάνω κομμάτι, υπάρχουν τρεις κύριοι βρόχοι. Ο ένας εξασφαλίζει την συνεχή εκτέλεση προσομοιώσεων μέχρις ότου το υπολογιζόμενο σφάλμα J να φτάσει στην επιθυμητή τιμή που έχει ορίσει ο χρήστης (παραπομπή σε προηγούμενη παράγραφο για λεπτομέρειες). Ο δεύτερος βρόχος πραγματοποιεί για κάθε χρονική στιγμή- i μία προσομοίωση. Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι στην περίπτωση που έχουμε επιλέξει free simulation υπάρχει μία ήδη αρχικοποιημένη τιμή του J έτσι ώστε να είναι πάντα μικρότερο της επιθυμητής ακρίβειας κι ο 1^{ος} βρόχος να εκτελείται μόνο μία φορά. Ο τρίτος βρόχος διατρέχει κάθε link του συστήματος και υπολογίζει τις νέες τιμές των τριών καταστατικών μεταβλητών με βάση τις παλιές τιμές τους καθώς και την τρέχουσα χρονική στιγμή- i .

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, ο κύριος σκοπός της προσομοίωσης είναι ο υπολογισμός κι ανάθεση τιμών στις τρεις καταστατικές μεταβλητές του συστήματος: ροή, ταχύτητα, πυκνότητα για κάθε ένα link και για κάθε χρονική στιγμή. Στην συνέχεια αναφέρεται η διαδικασία που ακολουθείται για κάθε μία ξεχωριστά, όπου δεν είναι τίποτε άλλο απο την αλγοριθμική υλοποίηση των μαθηματικών σχέσεων που περιγράφησαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Ακόμη να σημειωθεί ότι όπου εμφανίζεται κώδικας που ξεκινάει με τον χαρακτήρα της αποστρόφου κι είναι μαρκαρισμένος με πράσινα γράμματα, το κομμάτι αυτό παραβλέπεται απο τον builder καθώς θεωρείται σχόλιο, επομένως δεν είναι κι εκτελέσιμο.

.3 Υπολογισμός της πυκνότητας

Η πυκνότητα είναι η πρώτη καταστατική μεταβλητή που υπολογίζεται. Με τον όρο πυκνότητα περιγράφουμε τον αριθμό των οχημάτων σε μία δεδομένη χρονική στιγμή στο εκάστοτε link και το αντίστοιχο κομμάτι κώδικα που εκτελείται είναι:

```
'p-----  
-current_link.p = current_link.p_old + prev_tr(current_link, i) -  
current_link.q_old  
'-----  
If current_link.p < 0 Then  
    current_link.p = 0  
ElseIf current_link.p > current_link.p_max Then  
    current_link.p = current_link.p_max  
End If
```

Η πρώτη γραμμή κώδικα είναι η πιο σημαντική γιατί ουσιαστικά αποτελεί την αλγοριθμική υλοποίηση της μαθηματικής σχέσης που περιγράφει στο προηγούμενο κεφάλαιο για την πυκνότητα.

Αυτό που μας λέει ουσιαστικά είναι ότι ο αριθμός των οχημάτων στο link που εξετάζουμε την τρέχουσα χρονική στιγμή είναι ο αριθμός των οχημάτων την προηγούμενη χρονική στιγμή, συν τον αριθμό των οχημάτων που ήρθαν απο τα εισερχόμενα links μείον την ροή που υπήρχε στο link την προηγούμενη χρονική στιγμή.

Ο πρώτος όρος του αθροίσματος είναι σαφής. Στο κάθε αντικείμενο που αναπαριστά ένα link στην μνήμη του υπολογιστή, έχει προβλεφθεί εκτός απο το να αποθηκεύεται η τρέχουσα τιμή μίας καταστατικής μεταβλητής, και αυτή της ακριβώς προηγούμενης χρονικής στιγμής. Έτσι, με την παράμετρο p_old εύκολα εισάγουμε τον αριθμό των αυτοκινήτων που υπήρχαν στο link την αμέσως προηγούμενη στιγμή απο αυτήν που εξετάζουμε.

Ακριβώς το ίδιο ισχύει και για τον τρίτο όρο της εξίσωσης, όπου με την χρήση της παραμέτρου q_old αναφερόμαστε στην ροή των αυτοκινήτων κατα την αμέσως προηγούμενη χρονική στιγμή.

Ο δεύτερος όρος παρουσιάζει τον αριθμό των οχημάτων που εισέρχονται στο link μας απο άλλα links που συνδέονται σε αυτό, και παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον απο άποψη υλοποίησης. Όπως φαίνεται και στον κώδικα, η παραπάνω διαδικασία υλοποιείται με την χρήση μίας υπορουτίνας με το όνομα prev_tr (previous turning rates) και παίρνει σαν μεταβλητές εισόδου το link του οποίου τις

εισερχόμενες ροές θέλουμε να υπολογίσουμε καθώς και την τρέχουσα χρονική στιγμή-*i*. Το όρισμα της υπορουτίνας είναι:

```
Function prev_tr(ByVal current_link As Link, ByVal t As Integer)
```

ενώ ο κώδικας που την υλοποιεί είναι:

```
For Each another_link In LinkList
    If another_link.endnode = current_link.startnode Then
        For i = 0 To another_link.turning_rates.Length - 1
            tmp = Split(another_link.turning_rates(i), ":")
            If tmp(0) = current_link.ID Then
                sum = sum + CDBl(tmp(1)) * another_link.q_old
            End If
        Next
    End If
Next

If current_link.is_start = "1" And current_link.p <
current_link.p_max * 0.95 Then
    sum = sum + current_link.external_q
End If

Return sum
```

Αυτό που ουσιαστικά πραγματοποιεί η παραπάνω συνάρτηση είναι έχοντας υπόψη το link το οποίο εξετάζουμε να διατρέξει όλα τα υπόλοιπα links του δικτύου μας, όπως φαίνεται με τον πρώτο βρόχο. Κατόπιν, να ελέγξει για κάθε link που διατρέχει αν ο τερματικός του κόμβος είναι ο αρχικός του link που εξετάζουμε, δηλαδή ποιοί δρόμοι τελειώνουν εκεί που αρχίζει ο δικός μας. Για κάθε τέτοιο link εξάγουμε το turning rate του, δηλαδή την πιθανότητα ένα όχημα που το διατρέχει να εισέλθει στο δρόμο που εξετάζουμε. Αφού κάνουμε εξαγωγή του turning rate (με μια απλή διαδικασία data parsing όπως φαίνεται στον κώδικα) το πολλαπλασιάζουμε με την ροή του, έτσι ώστε να βγάλουμε με στατιστικό τρόπο μία τιμή για το πόσα οχήματα ανα μονάδα χρόνου θα εισέλθουν απο το συγκεκριμένο link σε αυτό που εξετάζουμε.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε link, κι όλες αυτές οι ροές σταθμισμένες με το αντίστοιχο τους turning rate για είσοδο στο link που εξετάζουμε αθροίζονται για να προκύψει εν τέλει ο αριθμός των αυτοκινήτων που πρόκειται να εισέλθουν στον δρόμο μας απο τους προηγούμενους του.

Όπως φαίνεται παραπάνω, πέρα απο δρόμους που συνδέονται με το τρέχων link που μελετάμε, εξετάζουμε και την περίπτωση αυτό να λαμβάνει ροές κι από το εξωτερικό σύστημα μας. Έτσι, σε περίπτωση όπου το link μας είναι ingoing του όλου δικτύου και με την προϋπόθεση οτι δεν είναι μπλοκαρισμένο, στο παραπάνω άθροισμα που υπολογίσαμε προστίθεται και μία εξωτερική ροή, η οποία μπορεί να προέρχεται είτε απο ένα αρχείο δεδομένων (free simulation) ή να την υπολογίζει το ίδιο το πρόγραμμα (μεθοδολογία προσομοίωσης με finetuning). Τέλος, η συνάρτηση μας

επιστρέφει αυτό το άθροισμα έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί στην κεντρική μας εξίσωση.

Το δεύτερο κομμάτι του κώδικα (μετά τις συνεχόμενες παύλες) αφορά ασφαλιστικές δικλείδες έτσι ώστε η υπολογιζόμενη πυκνότητα να έχει μία φυσική σημασία. Δηλαδή, αρνητικές τιμές να μηδενίζονται ενώ τιμές που υπερβαίνουν την δυναμικότητα του link να παίρνουν την προκαθορισμένη τιμή p_{max} .

5.4.4 Υπολογισμός της ταχύτητας

Η ταχύτητα είναι η καταστατική μεταβλητή του συστήματος που ορίζει τον μέσο όρο των ταχυτήτων των οχημάτων που διαπερνούν ένα link στην δεδομένη χρονική στιγμή. Υπολογίζεται με το παρακάτω κομμάτι κώδικα:

```
For Each another_link In LinkList
    'find next links
    For j = 0 To current_link.turning_rates.Length - 1
        tmp_tr = Split(current_link.turning_rates(j), ":")
        If tmp_tr(0) = another_link.ID Then
            num_of_nexts = num_of_nexts + 1
            If another_link.p > 0.9 * another_link.p_max Then
                num_of_blocked_nexts = num_of_blocked_nexts + 1
            End If
        End If
    Next
Next

If num_of_blocked_nexts >= num_of_nexts Then
    isblocked = True
End If
num_of_blocked_nexts = num_of_nexts = j = 0

If isblocked = True Then
    current_link.v = 0
Else
    If current_link.p = 0 Then
        current_link.v = 0
    ElseIf current_link.p < 0.1 * current_link.p_max Then
        current_link.v = current_link.v_max
    Else
        current_link.v = current_link.v_max * (1,01 -
            (current_link.p / current_link.p_max))
    End If
End If
```

Σε πρώτη φάση ο αλγόριθμος διατρέχει την συλλογή turning rates του link που μελετάμε προκειμένου να βρει τα links του δικτύου μας τα οποία είναι outgoing αυτού. Στην συνέχεια, για κάθε ένα απο αυτά τα link εξετάζεται αν είναι μπλοκαρισμένα. Μπλοκαρισμένο χαρακτηρίζεται ένα link του οποίου η τρέχουσα τιμή της πυκνότητας είναι μεγαλύτερη ή ίση απο το 90% της μέγιστης που μπορεί να έχει.

Ο αριθμός των μπλοκαρισμένων outgoing links μετριέται έτσι ώστε να εξεταστεί εάν είναι ίσος με τον αριθμό όλων των outgoing links του δρόμου που εξετάζουμε Σε

περίπτωση που όλα είναι φορτωμένα, τότε και ο τρέχων δρόμος είναι μπλοκαρισμένος. Έτσι σε αυτήν την περίπτωση η ταχύτητα παίρνει την μηδενική τιμή.

Διαφορετικά, η τιμή της ταχύτητας υπολογίζεται ως το ποσοστό της μέγιστης επιτρεπόμενης ταχύτητας του δρόμου σε σχέση με το ποσοστό κατάληψης του. Δηλαδή θεωρούμε ότι σε έναν εντελώς άδειο δρόμο τα αυτοκίνητα αναπτύσσουν την μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα, όταν ο δρόμος είναι μισογεμάτος την μισή από την μέγιστη ενώ για γεμάτο δρόμο η τιμή της ταχύτητας είναι σχεδόν μηδέν. Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι γίνεται έλεγχος για την περίπτωση όπου ο αριθμός των οχημάτων είναι μηδέν όπου σύμφωνα με την γενικευμένη εξίσωση θα έβγαине μέγιστη μέση ταχύτητα (πράγμα εσφαλμένο).

5.4.5 Υπολογισμός της ροής

Η ροή είναι η τελευταία καταστατική μεταβλητή του συστήματος κι ορίζει τον αριθμό των οχημάτων που περνάνε από ένα σημείο μίας λωρίδας του ανα μονάδα χρόνου, για μία δεδομένη χρονική στιγμή. Η υλοποίηση γίνεται με τον ακόλουθο κώδικα:

```
'q-----  
-  
If current_link.v = 0 Then  
    current_link.q = 0  
Else  
    current_link.q = (current_link.v / 5) *  
        current_link.number_of_lanes  
End If
```

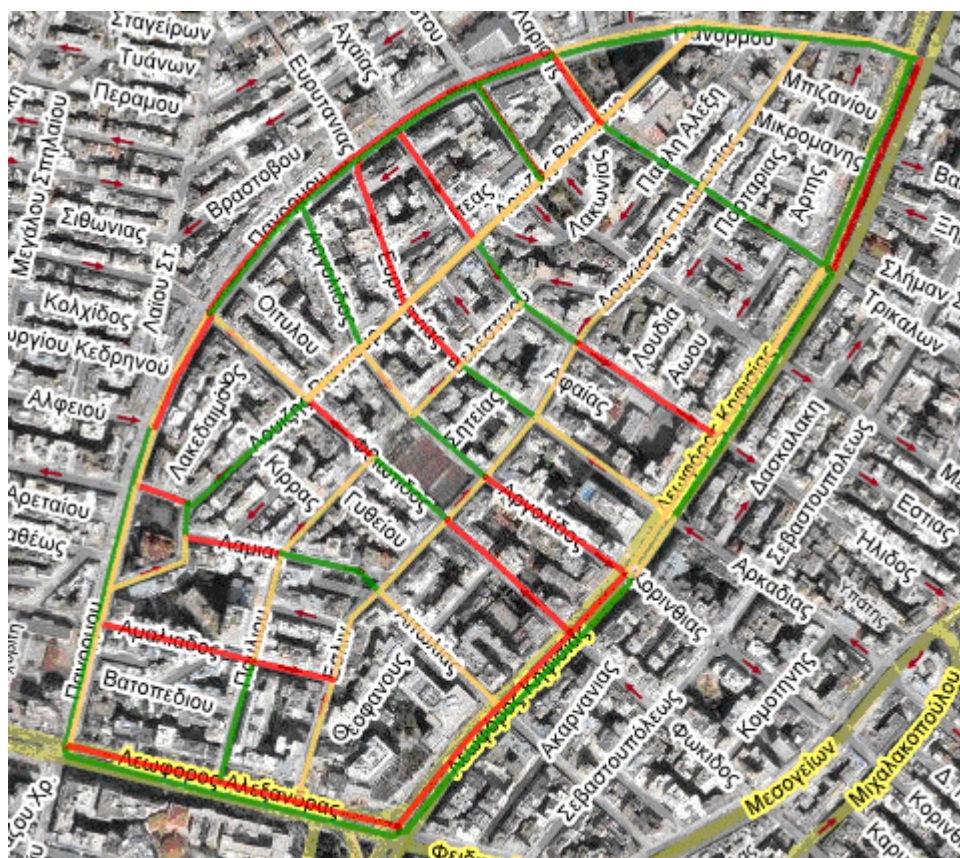
Προφανώς όταν η μέση ταχύτητα των οχημάτων του συγκεκριμένου link είναι μηδενική, τότε την ίδια τιμή θα έχει και η ροή. Διαφορετικά, η ροή υπολογίζεται ως η μέση ταχύτητα δια το μήκος ενός οχήματος (συν τα διαστήματα ασφαλείας του) επί τον αριθμό των λωρίδων του link.

Ο λόγος $(\text{current_link.v} / 5)$ είναι κάνοντας τις αντικαταστάσεις: μέτρα / (5*δευτερόλεπτο). Η φυσική σημασία του είναι ότι το κλάσμα (μέτρα/5)/δευτερόλεπτο ουσιαστικά μετατρέπει την μονάδα μήκους σε αριθμό αυτοκινήτων, άρα και το γενικότερο κλάσμα από μέτρα ανα δευτερόλεπτο σε οχήματα ανα δευτερόλεπτο, δηλαδή ροή.

Τέλος, η παραπάνω τιμή πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό των λωρίδων για να βρεθεί ο συνολικός αριθμός των οχημάτων ανα μονάδα χρόνου.

Κεφάλαιο 6: Το δίκτυο εφαρμογής

6.1 Γενική περιγραφή



Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή του φυσικού δικτύου στο οποίο έγινε εφαρμογή του αλγορίθμου YP-UTSa τον οποίο αναπτύξαμε και περιγράφη στο αμέσως προηγούμενο κεφάλαιο.

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η εικόνα του δικτύου απο δορυφόρο. Το συγκεκριμένο κομμάτι βρίσκεται στην Αθήνα κι ορίζεται απο ένα σύνολο συνδέσμων (το κομμάτι του δρόμου μου ενώνει δύο “STOP”) που είναι τόσο δρόμοι όσο και λεωφόροι.

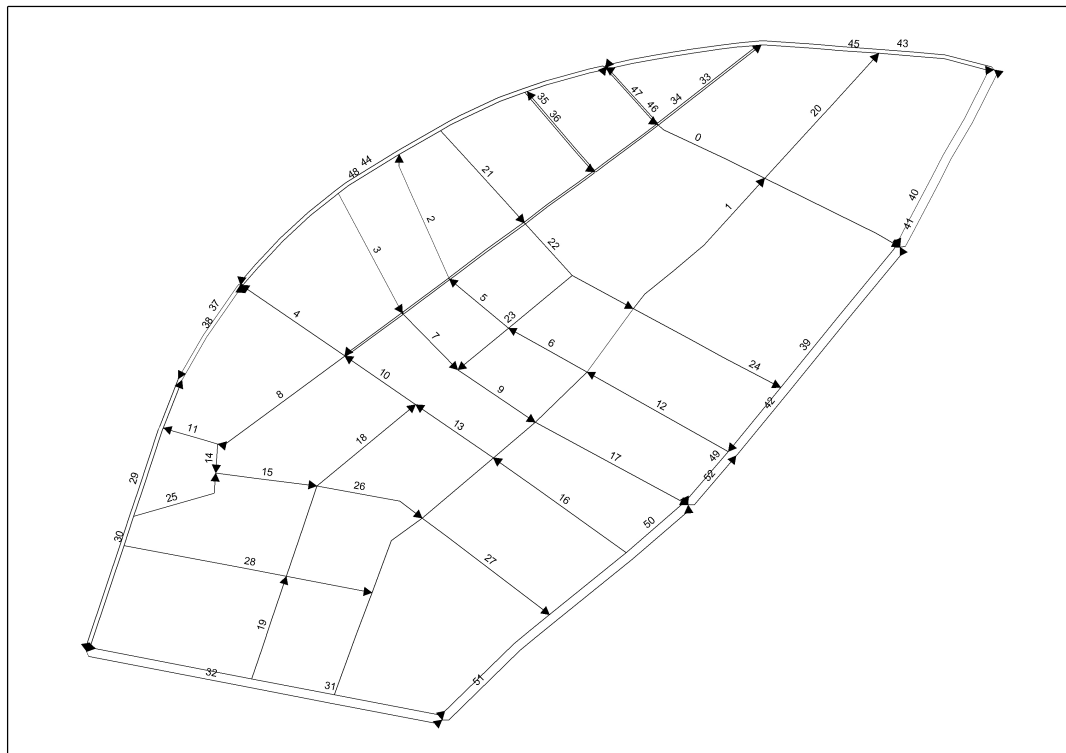
Ενδεικτικά, όπως παρατηρούμε στο σχήμα, η περιφέρεια του δικτύου ορίζεται από τις λεωφόρους Αλεξάνδρας, Πανόρμου και Κηφισίας ενώ στο εσωτερικό του υπάρχουν μικρότεροι δρόμοι οι οποίοι διασταυρώνονται.

Προκειμένου η παραπάνω φωτογραφία να είναι χρήσιμη για την μελέτη μας, πρέπει να κωδικοποιηθεί έτσι ώστε να μπορεί να μοντελοποιηθεί μαθηματικά και κατ'

επέκταση να μπορεί να εισαχθεί στο λογισμικό που αναπτύξαμε για περαιτέρω μελέτη.

6.2 Κωδικοποίηση του δικτύου

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η κωδικοποιημένη αναπαράσταση του δικτύου:



Το πρώτο πράγμα που παρατηρούμε είναι ότι σε κάθε δρόμο ανατέθηκε ένας κωδικός (ID) ο οποίος χαρακτηρίζει το link μονοσήμαντα. Είναι πολύ σημαντικό σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι δεν υπάρχει ευθεία αντιστοιχία ID με το όνομα του δρόμου. Όπως φαίνεται συγκρίνοντας τα δύο σχήματα, η λεωφόρος Κηφισίας δεν περιγράφεται μόνο από ένα link, αλλά έχει χωριστεί σε πολλά διαφορετικά ανάλογα με το πόσες διασταυρώσεις μεσολαβούν. Επιπλέον, είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι για έναν δρόμο διπλής κατεύθυνσης ορίζουμε δύο links, ένα για κάθε διεύθυνση.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό ενός συνδέσμου είναι το μήκος του. Στην περίπτωση μας, επειδή οι δρόμοι συχνά ακολουθούν καμπύλο σχήμα, έγινε μία προσέγγιση ευθείας με βάση τις γεωγραφικές συντεταγμένες της αρχής και του τέλους.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το δίκτυο που μελετάμε είναι ένα κομμάτι του συνολικού οδικού δικτύου της Αθήνας. Έτσι, για όλα τα link τα οποία βρίσκονται στην εξωτερική περιφέρεια του παραπάνω σχήματος, θεωρούμε ότι μπορούν να στείλουν ή να δεχθούν οχήματα από το εξωτερικό περιβάλλον. Βέβαια, πρέπει να

ορίσουμε τον τρόπο που επικοινωνούν αυτά τα links με το περιβάλλον τους. Μία παραδοχή που έγινε, κι εφαρμόστηκε κατα την υλοποίηση του λογισμικού, είναι ότι το εξωτερικό περιβάλλον δεν μπλοκάρει.

Τέλος, για κάθε link ορίσαμε τους ρυθμούς στροφής, δηλαδή τα turning rates για τα οποία έγινε περιγραφή σε προηγούμενα κεφάλαια. Δεδομένου ότι αυτά δεν είναι απολύτως γνωστά, ούτε μας δόθηκε απο ανάλογη υπηρεσία μία προσέγγιση τους, εμείς αναθέσαμε κάποιες αρχικές τιμές οι οποίες αναμένεται με χρήση του λογισμικού και τροφοδότηση του με αρχικές τιμές να βελτιστοποιηθούν και να γίνουν όσο πιο ακριβείς γίνεται. Το ίδιο ισχύει και για τους ρυθμούς εξωτερικών αφίξεων, όσον αφορά τα links τα οποία δέχονται οχήματα απο το εξωτερικό περιβάλλον του δικτύου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Δεδομένα δικτύου

Labelname	Streetyype	Ft_lane	Class_id	Streets_di	Length
ΛΑΡΙΣΗΣ	ST.	1	4	2	304.1084715
ΔΟΥΚΙΣΣΗΣ					
ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ	ST.	1	5	1	768.0867456
ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	ST.	1	5	1	151.0652919
ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ	ST.	1	5	2	152.2508177
ΦΘΙΩΤΙΔΟΣ	ST.	1	5	1	140.9913839
ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	ST.	1	5	1	86.10700703
ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	ST.	1	5	1	100.5921684
ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ	ST.	1	5	2	88.16221646
ΡΙΑΝΚΟΥΡ					
ΛΟΥΙΖΗΣ	ST.	1	5	2	175.251511
ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ	ST.	1	5	2	104.5588725
ΦΘΙΩΤΙΔΟΣ	ST.	1	5	1	96.08590799
ΠΛΑΤΕΙΑ ΑΓ.					
ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	SQ.	1	5	2	63.45884443
ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	ST.	1	5	1	181.1531214
ΦΘΙΩΤΙΔΟΣ	ST.	1	5	1	105.2223732
ΠΛΑΤΕΙΑ ΑΓ.					
ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	SQ.	1	5	1	32.66023872
ΛΑΜΙΑΣ	ST.	1	5	2	114.3178108
ΦΘΙΩΤΙΔΟΣ	ST.	1	5	1	182.3458887
ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ	ST.	1	5	2	194.4259926
ΠΟΥΛΙΟΥ	ST.	1	5	1	249.4027154
ΠΟΥΛΙΟΥ	ST.	1	5	1	120.9848335
ΔΟΥΚΙΣΣΗΣ					
ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ	ST.	1	0	1	189.0964279
ΑΧΑΪΑΣ	ST.	1	0	2	139.7438214
ΑΧΑΪΑΣ	ST.	1	0	2	156.7854096
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟΥ	ST.	1	0	2	165.7700423
ΑΧΑΪΑΣ	ST.	1	0	2	186.940956
ΠΛΑΤΕΙΑ ΑΓ.					
ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	SQ.	1	0	2	116.1997237
ΛΑΜΙΑΣ	ST.	1	0	2	125.6383758
ΑΙΤΩΛΙΑΣ	ST.	1	0	2	178.7222247
ΑΜΑΛΙΑΔΟΣ	ST.	1	0	1	282.2530372
ΠΑΝΟΡΜΟΥ	St.	2	4	1	321.668241
ΠΑΝΟΡΜΟΥ	St.	2	4	1	322.001692
ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΣ					
ΛΕΩΦ.	AVE.	3	3	1	410.6678424
ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΣ					
ΛΕΩΦ.	AVE.	3	3	1	410.0499625

ΡΙΑΝΚΟΥΡ				
ΛΟΥΙΖΗΣ	ST.	1	5	1 587.9131231
ΡΙΑΝΚΟΥΡ				
ΛΟΥΙΖΗΣ	ST.	1	5	2 584.2789096
ΚΑΡΥΣΤΟΥ	ST.	1	0	2 117.5842672
ΚΑΡΥΣΤΟΥ	ST.	1	0	1 118.424831
ΠΑΝΟΡΜΟΥ	St.	2	4	1 127.923545
ΠΑΝΟΡΜΟΥ	St.	2	4	1 126.1155736
ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ.	AVE.	3	3	1 300.2375744
ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ.	AVE.	3	3	1 229.1044226
ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ.	AVE.	3	3	1 231.2067847
ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ.	AVE.	3	3	1 300.4894158
ΠΑΝΟΡΜΟΥ	St.	2	4	1 442.5481353
ΠΑΝΟΡΜΟΥ	St.	2	4	1 486.8835326
ΠΑΝΟΡΜΟΥ	St.	2	4	1 439.1777729
ΛΑΡΙΣΗΣ	ST.	1	4	1 86.95068584
ΛΑΡΙΣΗΣ	ST.	1	4	2 87.00867667
ΠΑΝΟΡΜΟΥ	St.	2	4	1 485.1111832
ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ.	AVE.	3	3	1 77.80870678
ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ.	AVE.	3	3	1 370.562422
ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ.	AVE.	3	3	1 369.7518135
ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΛΕΩΦ.	AVE.	3	3	1 78.8035521

Turning rates

10:120	0.33	141	0.33	139	0.33
11:120	0.5	10	0.5		
12:144	0.5	148	0.5		
13:134	0.33	133	0.33	17	0.33
14:148	0.5	137	0.5		
15:134	0.33	133	0.33	12	0.33
16:123	0.5	15	0.5		
17:19	1				
18:111	0.5	114	0.5		
19:11	0.5	117	0.5		
110:14	0.33	18	0.33	134	0.33
111:129	0.5	130	0.5		
112:16	0.5	11	0.5		
113:110	1				
114:115	1				
115:118	0.5	126	0.5		
116:113	0.5	11			
0.5					
117:152	0.5	150			
0.5					
118:110					
1					
119:118	0.33	128	0.33	126	
0.33					
120:145	0.5	143			
0.5					
121:134	0.33	133	0.33	122	
0.33					
122:123	0.33	11	0.33	124	
0.33					

```

123:15 0.5    19
    0.5

124:139

1

125:115

1

126:11 0.5    127
    0.5

127:150

1

128:118 0.5    131
    0.5

129:132
    0.5
                                exit:  0.5

130:125 0.25   148    0.25   118
    0.25
    exit:  0.25

131:130
    0.5
                                exit:  0.5

132:151
    0.5
                                exit:  0.5

133:146 0.2    135    0.2    12    0.2    14    0.2    18
    0.2

134:145 1

135:134

1

136:148

1

137:129

0.5
                                exit:  0.5

```

138:148	0.5				exit:	0.5
139:149						
0.5					exit:	0.5
140:139						
0.5					exit:	0.5
141:143						
0.5					exit:	0.5
142:141						
0.5					exit:	0.5
143:144						
0.5					exit:	0.5
144:137						
0.5					exit:	0.5
145:140						
0.5					exit:	0.5
146:144	0.5	145				
0.5						
147:134	0.33	133	0.33	10		
	0.33					
148:137						
0.5					exit:	0.5
149:150						
1						
150:116	0.5	131				
0.5						
151:152						
1						
152:141						

