



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

**«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΥ
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΡΑΜΠΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΕ
ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟ»**

Διατριβή που υπεβλήθη για την μερική ικανοποίηση των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης
υπό:

ΜΟΥΡΙΑΔΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΧΑΝΙΑ 2009

Η μεταπτυχιακή διατριβή της Γεωργίας Μουριάδου εγκρίνεται από την εξεταστική επιτροπή:

Ηλίας Κοσματόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής _____

Μάρκος Παπαγεωργίου, Καθηγητής _____

Ιωάννης Παπαμιχαήλ, Λέκτορας _____

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την παρούσα εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, τον κ. Ηλία Κοσματόπουλο, επιβλέπων της διατριβής μου, και τον Ιωάννη Παπαμιχαήλ για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Τον καθηγητή Μάρκο Παπαγεωργίου για την συνεισφορά του στην ανάπτυξη των θεωρητικών τμημάτων της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα, επίσης, να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου που με στήριξαν και με στηρίζουν σε όλη τη ζωή μου. Τέλος, ευχαριστώ πολύ τους φίλους μου για την ψυχική υποστήριξη που μου προσέφεραν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΤΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΩΝ.....	9
1.1 Μέτρα ελέγχου της κυκλοφορίας	10
1.2 Στρατηγικές ελέγχου ραμπών αυτοκινητοδρόμων.....	10
1.2.1 Στρατηγικές ελέγχου σταθερού χρόνου	12
1.2.2 Στρατηγικές ελέγχου πραγματικού χρόνου	13
1.3 Τοπικές στρατηγικές ελέγχου ραμπών αυτοκινητοδρόμων.....	14
1.3.1 Η στρατηγική ελέγχου Ζήτησης – Ικανότητας	15
1.3.2 Η στρατηγική ελέγχου ποσοστού κατάληψης	16
1.3.3 Η στρατηγική ελέγχου ALINEA	17
1.3.4 Προσαρμοστική ALINEA (AD-ALINEA)	19
1.3.5 Προσαρμοστικός αλγόριθμος ES-AD-ALINEA.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗΣ AIMSUN	22
2.1 Παράμετροι εισόδου	23
2.1.1 Σχεδιασμός του δικτύου.....	23
2.1.2 Σενάριο ζήτησης	23
2.1.3 Έλεγχος κυκλοφορίας	24
2.2 AIMSUN API	24
2.3 Παράμετροι προσομοίωσης.....	24
2.3.1 Επανάληψη (AIMSUN Replication)	24
2.3.2 Σενάριο (AIMSUN Scenario.....	25
2.3.3 Πείραμα (AIMSUN Experiment)	25
2.3.3.1 Μοντέλο Ακολουθίας Οχημάτων (Car-Following Model)	25
2.3.3.2 Μοντέλο Αλλαγής Λωρίδας (Lane-Changing Model)	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	26
3.1 Παράμετροι εισόδου.....	27
3.1.1 Δίκτυο	27
3.1.2 Σενάριο ζήτησης	28
3.1.3 Έλεγχος κυκλοφορίας	30
3.2 Η στρατηγική ελέγχου ALINEA	30
3.3 Προσαρμοστικός αλγόριθμος ES-AD-ALINEA	32
3.4 AIMSUN API (Application Programming Interface).....	32
3.5 Παράμετροι προσομοίωσης	33
3.6 Χρόνος παραμονής των οχημάτων στο δίκτυο (Total Time Spent)	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	35
4.1 Προσομοίωση χωρίς έλεγχο της κυκλοφορίας	35
4.2 Προσομοίωση με έλεγχο ALINEA	38

4.3 Προσομοίωση με έλεγχο ES-AD-ALINEA.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	49
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	51

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι ένα από τα συνηθέστερα προβλήματα που μαστίζουν τις σύγχρονες μεγαλουπόλεις και όχι μόνο. Ένα τέτοιο πρόβλημα θα διερευνηθεί στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, στην οποία θα πραγματοποιηθεί έλεγχος κυκλοφορίας σε περιοχές ραμπών εισόδου σε αυτοκινητόδρομο. Η είσοδος της ράμπας οδηγεί σε συγχώνευση λωρίδων στην περιοχή του αυτοκινητόδρομου με αποτέλεσμα, ιδιαίτερα σε ώρες αιχμής, να εμφανίζεται το φαινόμενο της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου αναπτύχθηκε ένας προσαρμοστικός αλγόριθμος, ο οποίος μέσω μιας τοπικής στρατηγικής ελέγχου κυκλοφορίας σκοπό έχει να βελτιώσει τις κυκλοφοριακές συνθήκες του δικτύου. Αναλυτικότερα, εφόσον τοποθετηθούν φωτεινοί σηματοδότες στην περιοχή της ράμπας για τον έλεγχο της κυκλοφορίας, εφαρμόζεται ο αλγόριθμος τοπικού ελέγχου ALINEA και με τη χρήση του προσαρμοστικού αλγορίθμου καθορίζεται το σημείο λειτουργίας της ALINEA. Κύριος στόχος της έρευνας είναι η μεγιστοποίηση της ροής των οχημάτων κατάντη της ράμπας.

Με την βοήθεια μικροσκοπικής προσομοίωσης (προσομοιωτή AIMSUN), θα διαπιστωθεί εάν η εφαρμογή ελέγχου κυκλοφορίας επιφέρει βελτίωση στις κυκλοφοριακές συνθήκες του δικτύου, έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης και να υπάρξει γρηγορότερη εξυπηρέτηση των οχημάτων. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων θα γίνει σε σχέση με το συνολικό χρόνο προσπέλασης του δικτύου (TTS) και συνεπώς της καθυστέρησης που μπορεί να προκύψει εξαιτίας της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιλογή χρήσης των ιδιωτικών αυτοκινήτων έναντι των μέσων μαζικής μεταφοράς, τα τελευταία χρόνια, για την καθημερινή μετακίνηση των κατοίκων των πόλεων αυξάνεται με σχετικά γοργό ρυθμό. Το αυτοκίνητο αποτελεί αναμφισβήτητα το συνηθέστερο μέσο μεταφοράς στην σύγχρονη εποχή, όχι όμως και το γρηγορότερο. Παρόλο που οι επιδόσεις των αυτοκινήτων εξελίσσονται, νέοι δρόμοι κατασκευάζονται και η υποδομή κάποιων ήδη υπαρχόντων βελτιώνονται, η ταχύτητα των μετακινήσεων συνεχώς περιορίζεται. Ο ολοένα και αυξανόμενος αριθμός των οχημάτων, σε παγκόσμια κλίμακα, οδηγεί συχνά στην αδυναμία των οδικών δικτύων να ανταποκριθούν στα νέα δεδομένα και συνεπώς στην δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης, πράγμα που αποτελεί πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας κάθε μεγαλούπολης και όχι μόνο. Το κυκλοφοριακό πρόβλημα εγκαθίσταται ως κύριο στοιχείο στη ζωή της πόλης με ταυτόχρονη εμφάνιση των επιπτώσεων του, όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση, η σπατάλη ενέργειας, η ηχορύπανση, η αύξηση των ατυχημάτων, η απώλεια χρόνου. Οι γρήγοροι ρυθμοί του σημερινού τρόπου ζωής επιβάλλουν την ανάγκη για μια ομαλή, ασφαλή και γρήγορη μετακίνηση, χωρίς να αφήνουν περιθώρια για σπατάλη πολύτιμου χρόνου που κάθε άνθρωπος το έχει ανάγκη. Μια, συνεπώς, καλύτερη ποιότητα ζωής σε ένα ανθρώπινο αστικό περιβάλλον προϋποθέτει βελτίωση των μετακινήσεων και άμεση επίλυση τυχών κυκλοφοριακών προβλημάτων.

Η κατασκευή νέων υποδομών, αλλά και η βελτίωση των υπαρχόντων δικτύων ίσως δεν είναι πάντα εύκολη ή ακόμα και σε κάποιες περιπτώσεις δεν είναι εφικτή, συνεπώς οι μελετητές αναζητούν νέους τρόπους ελέγχου της κυκλοφορίας ώστε να υπάρχει καλύτερη αξιοποίηση της ικανότητας των οδικών υποδομών. Οι στρατηγικές ελέγχου ραμπών αποτελούν ένα τέτοιο τρόπο ελέγχου της κυκλοφορίας σε έναν αυτοκινητόδρομο.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εφαρμόζονται τέτοιες στρατηγικές ελέγχου της κυκλοφορίας σε ένα οδικό δίκτυο, το οποίο αποτελείται από ένα αυτοκινητόδρομο και μια ράμπα που εισέρχεται σ' αυτόν. Εξαιτίας του γεγονότος ότι ο αυτοκινητόδρομος αλλά και η ράμπα έχουν συγκεκριμένη ικανότητα (χωρητικότητα),

κάποιες φορές όπου η κυκλοφοριακή ζήτηση είναι τόσο αυξημένη ώστε ξεπερνάει την ικανότητα αυτή, παρουσιάζεται το φαινόμενο της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ένα τέτοιου είδους πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τη χρήση φωτεινών σηματοδοτών και ανάλογων στρατηγικών κυκλοφοριακού ελέγχου.

Στο επόμενο κεφάλαιο (κεφάλαιο 1) θα παρουσιαστούν τα διαθέσιμα μέτρα ελέγχου της κυκλοφορίας αλλά και συγκεκριμένες στρατηγικές ελέγχου ραμπών αυτοκινητοδρόμων. Οι πιο αποτελεσματικές και εκείνες που θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια της εργασίας είναι οι τοπικές στρατηγικές ελέγχου ραμπών αυτοκινητοδρόμων, όπως η στρατηγική της «ζήτησης – ικανότητας», του «ποσοστού κατάληψης», της «ALINEA», της «AD-ALINEA» και της «ES-AD-ALINEA». Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται ο μικροσκοπικός προσομοιωτής AIMSUN που χρησιμοποιείται, αναλύοντας τον τρόπο λειτουργίας του, ποια στοιχεία – παραμέτρους χρειάζεται για την εφαρμογή του και με ποιον τρόπο επικοινωνεί με τον χρήστη ώστε να εφαρμόζει την εκάστοτε στρατηγική ελέγχου κυκλοφορίας. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται αναλυτικά το πρόβλημα που εξετάζεται, σχεδιάζεται το δίκτυο, επιλέγεται το σενάριο ζήτησης και οι στρατηγικές ελέγχου της κυκλοφορίας που εφαρμόζονται καθώς και οι παράμετροι που απαιτούνται για την εκάστοτε στρατηγική. Τέλος, στο κεφάλαιο 4 πραγματοποιούνται οι προσομοιώσεις και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κάθε εφαρμογής με βασικό μέτρο σύγκρισης των αποτελεσμάτων το χρόνο προσπέλασης του δικτύου. Οι προσομοιώσεις, αρχικά, θα γίνουν χωρίς να υπάρχει κάποιος έλεγχος στο δίκτυο και στην συνέχεια θα εφαρμοστεί ο έλεγχος της ALINEA και της ES-AD-ALINEA.

Από τις διερευνήσεις με προσομοίωση της τελευταίας στρατηγικής (ES-AD-ALINEA) παρατηρείται ότι η συγκεκριμένη δεν καταφέρνει να εκτιμήσει αποτελεσματικά την επιθυμητή τιμή \hat{N}_{AL} για όλες τις δυνατές επιλογές των παραμέτρων σχεδίασης της στρατηγικής. Σε αντίθεση με αυτό η στρατηγική της ALINEA, ακόμα και σε περιπτώσεις που η εκτίμηση του \hat{N}_{AL} είναι αρκετά μακριά από την πραγματική της τιμή, καταφέρνει να επιτύχει ένα αποτελεσματικό κυκλοφοριακό έλεγχο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΤΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΩΝ

Οι αστικοί και υπεραστικοί αυτοκινητόδρομοι είχαν αρχικά κατασκευαστεί έτσι ώστε να παρέχουν ουσιαστικά απεριόριστη κινητικότητα στους χρήστες. Κάτι τέτοιο όμως δεν φαίνεται να ισχύει τα τελευταία χρόνια, όπου το φαινόμενο της κυκλοφοριακής συμφόρησης εμφανίζεται όλο και πιο συχνά σε αυτοκινητόδρομους. Η αύξηση του αριθμού των ιδιωτικών αυτοκινήτων με πολύ γοργούς ρυθμούς οδηγεί σε αυξανόμενη κυκλοφοριακή ζήτηση, στην οποία η υποδομή των ήδη υπάρχοντων αστικών δικτύων δεν έχει την δυνατότητα να ανταπεξέλθει σε ώρες αιχμής. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση που δημιουργείται εξαιτίας αυτού ή κάποιων άλλων τυχαίων περιστατικών, όπως έργα στους δρόμους ή ατυχήματα, έχει ως συνέπεια να υπάρχουν καθυστερήσεις στις μετακινήσεις, μειωμένη ασφάλεια, εκπομπή ρύπων, σπατάλη καυσίμων αλλά και ψυχολογική πίεση στους οδηγούς που χάνουν πολύτιμο χρόνο.

Το φαινόμενο της κυκλοφοριακής συμφόρησης, επομένως, αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα στην σύγχρονη εποχή και η επίλυσή του πρέπει να είναι άμεση και αποτελεσματική. Ένας τρόπος αντιμετώπισης του φαινομένου είναι να αυξηθεί η χωρητικότητα των αστικών δικτύων με την κατασκευή νέων δρόμων ή την βελτίωση των ήδη υπάρχοντων, πράγμα όμως που εμπεριέχει μεγάλο κόστος αλλά και είναι πιθανόν να υπάρξει έλλειψη χώρου για κάτι τέτοιο. Μια άλλη προσέγγιση επίλυσης του προβλήματος είναι η προσπάθεια που πραγματοποιείται από τους κάποιους μελετητές για την ανάπτυξη νέων τρόπων ελέγχου της κυκλοφορίας ώστε να υπάρξει καλύτερη χρήση και αξιοποίηση των οδικών υποδομών.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν τα διαθέσιμα μέτρα ελέγχου της κυκλοφορίας και θα εξεταστούν πιο αναλυτικά οι στρατηγικές ελέγχου ραμπών που αποτελούν τα πλέον αποτελεσματικά μέτρα ελέγχου.

1.1 Μέτρα ελέγχου της κυκλοφορίας

Οι μηχανισμοί και οι μέθοδοι, που θα αναπτυχθούν για την αντιμετώπιση του φαινομένου της κυκλοφοριακής συμφόρησης, πρέπει να είναι ικανές να επηρεάζουν τις κυκλοφοριακές συνθήκες με τρόπο συστηματικό και συνεκτικό. Σε ένα δίκτυο αυτοκινητοδρόμων ο έλεγχος της κυκλοφορίας είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με πληροφόρηση του οδηγού και συστήματα καθοδήγησης (driver information and guidance systems) είτε με χρήση πινακίδων στην άκρη του δρόμου είτε με αμφίδρομη επικοινωνία με κατάλληλα εφοδιασμένα οχήματα. Ένας άλλος τρόπος είναι ο έλεγχος συνδέσμων (link control) όπως μεταβλητά όρια ταχύτητας, έλεγχος λωρίδων, οδηγίες διατήρησης πορείας εντός λωρίδας ή ενημέρωση για την ύπαρξη κυκλοφοριακής συμφόρησης.

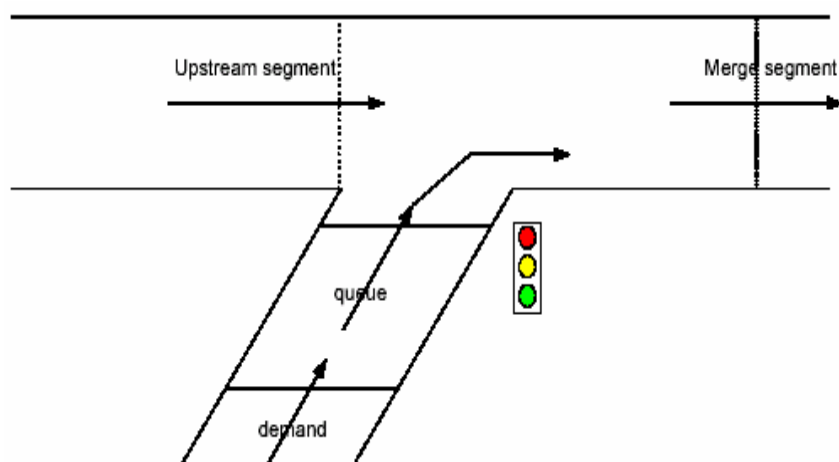
Ο πιο άμεσος, όμως, και αποδοτικός τρόπος για τη ρύθμιση της κυκλοφορίας σε έναν αυτοκινητόδρομο αποτελεί ο έλεγχος ραμπών, ο οποίος πραγματοποιείται με την τοποθέτηση φωτεινών σηματοδοτών στις ράμπες εισόδου ή σε κόμβους αυτοκινητοδρόμων. Ένα τέτοιο μέτρο ελέγχου της κυκλοφορίας στους αυτοκινητόδρομους εάν εφαρμοστεί σωστά επιφέρει αρκετά θετικά αποτελέσματα κάποια από τα οποία είναι η αύξηση της ροής των οχημάτων στο κύριο ρεύμα, η χρήση εφεδρικών παράλληλων αρτηριών, η βελτιωμένη οδική ασφάλεια λόγω της μειωμένης συμφόρησης, και η ασφαλέστερη συγχώνευσης των δρόμων.

1.2 Στρατηγικές έλεγχου ραμπών αυτοκινητοδρόμων

Ο έλεγχος ραμπών εισόδου σε αυτοκινητόδρομο, αναμφίβολα, αποτελεί ένα από τα βασικά και πιο αποτελεσματικά μέτρα ελέγχου που μπορούν να εφαρμοστούν σε δίκτυα αυτοκινητοδρόμων. Κύριο χαρακτηριστικό αυτών είναι η συνεχή ρύθμιση, με τη χρήση κάποιου προαποφασισμένου κανόνα, τη στρατηγική έλεγχου. Η στρατηγική έλεγχου σχετίζεται με τον αριθμό των οχημάτων που έχει αποφασιστεί να επιτρέπονται να εισέλθουν στο κυρίως ρεύμα της κυκλοφοριακής ροής μέσω των ραμπών.

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 1) παρουσιάζεται μια ράμπα εισόδου μέσω της οποίας εισέρχονται τα οχήματα στον αυτοκινητόδρομο. Ο αυτοκινητόδρομος χωρίζεται σε δυο μέρη, ένα ανάντη της ράμπας (upstream) και ένα κατάντη της

ράμπας (merge). Τα οχήματα (κυκλοφοριακή ζήτηση-demand) που εισέρχονται στην αρχή της ράμπας εισόδου, είτε από κάποιο αστικό δίκτυο είτε από κάποιον άλλο αυτοκινητόδρομο, αναμιγνύονται με τη ροή του αυτοκινητοδρόμου που κατέρχεται από το ανάντη τμήμα και προωθείται στο κατάντη τμήμα του αυτοκινητοδρόμου.



Σχήμα 1: Ράμπα που εισέρχεται σε αυτοκινητόδρομο

Εύκολα απορρέει το συμπέρασμα ότι η ζήτηση της ράμπας ικανοποιείται εις βάρος της πεπερασμένης χωρητικότητας του αυτοκινητοδρόμου και ότι η διαδικασία μίξης των οχημάτων της ανάντη ροής με τη ροή της ράμπας οδηγεί σε μείωση της ταχύτητας στην περιοχή γύρω από τη ράμπα. Η μείωση, αυτή, μεγιστοποιείται όταν η είσοδος της ράμπας δεν είναι ελεγχόμενη.

Για να αποφύγουμε την άναρχη είσοδο των οχημάτων της ράμπας στον αυτοκινητόδρομο, τοποθετούμε φωτεινό σηματοδότη στην διασταύρωση της ράμπας με τον αυτοκινητόδρομο. Η λειτουργία του φωτεινού σηματοδότη προσδιορίζεται από τη στρατηγική ελέγχου προκειμένου να ρυθμίζεται η είσοδος των οχημάτων στον αυτοκινητόδρομο σύμφωνα με τα κριτήρια και τους στόχους σχεδιασμού της. Μια πολιτική λειτουργίας ενός φωτεινού σηματοδότη είναι αυτή που επιτρέπει την είσοδο μόνο ενός αυτοκινήτου κάθε φορά που ανάβει το πράσινο (one-car-per-green) ή εκείνη που επιτρέπει να περνούν δύο αυτοκίνητα κατά τη διάρκεια του πράσινου του φωτεινού σηματοδότη (two-car-per-green). Η λειτουργία ενός φωτεινού σηματοδότη ακόμη μπορεί να ακολουθήσει την πολιτική εκείνη που κάνει χρήση της περιόδου φωτεινής σηματοδότησης, όπως δηλαδή και στα αστικά κέντρα (cycle time). Τέλος μια ακόμη πολιτική λειτουργίας ενός φωτεινού σηματοδότη είναι των μεταβαλλόμενων διακριτών ροών εισόδου (discrete release rates).

Οι στρατηγικές ελέγχου ραμπών έχουν ως στόχο τον προσδιορισμό της κυκλοφοριακής ροής που θα πρέπει να εισέλθει από τη ράμπα στην κυκλοφορία κατά τη διάρκεια ενός διακριτού βήματος ελέγχου. Ο προσδιορισμός αυτού του μεγέθους οδηγεί και στην αντίστοιχη ακολουθία πράσινου και κόκκινου ανάλογα με τις προδιαγραφές λειτουργίας του φωτεινού σηματοδότη. Ο προσδιορισμός του αριθμού, συνεπώς, των οχημάτων, στα οποία θα επιτραπεί η είσοδος κατά τη διάρκεια ενός διακριτού βήματος ελέγχου, είναι αρκετός στα πλαίσια μιας μελέτης για το σχεδιασμό μιας στρατηγικής ελέγχου.

Οι στρατηγικές ελέγχου ραμπών διακρίνονται σε στρατηγικές ελέγχου σταθερού χρόνου (*fixed-time ramp metering strategies*) που περιλαμβάνουν τις συντονισμένες στρατηγικές ελέγχου και σε στρατηγικές πραγματικού χρόνου (*real-time ramp metering strategies*) που περιλαμβάνουν αντίστοιχα τις τοπικές και τις συντονισμένες στρατηγικές ελέγχου και θα αναλυθούν στην συνέχεια του κεφαλαίου.

1.2.1 Στρατηγικές ελέγχου σταθερού χρόνου

Οι στρατηγικές σταθερού χρόνου είναι από τις πρώτες και πιο απλές στρατηγικές ελέγχου. Στις στρατηγικές αυτές, χρησιμοποιούνται ιστορικά δεδομένα ζήτησης, όπου επεξεργάζονται με τη βοήθεια απλών στατιστικών μοντέλων και προσδιορίζεται ο τρόπος λειτουργίας των φωτεινών σηματοδοτών. Οι φωτεινοί σηματοδότες ρυθμίζονται ανάλογα με την ώρα, ο τρόπος λειτουργίας τους είναι, δηλαδή, σταθερός κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων περιόδων της ημέρας.

Έστω ότι ένας αυτοκινητόδρομος χωρίζεται σε τμήματα που το κάθε ένα περιέχει μια ράμπα εισόδου, τότε θα έχουμε την ακόλουθη σχέση (1.1)

$$q_j = \sum_{i=1}^j a_{i,j} r_i \quad (1.1)$$

όπου q_j είναι η ροή του αυτοκινητόδρομου στο τμήμα j , r_i είναι η ροή της ράμπας εισόδου που ανήκει στο τμήμα i και $0 \leq a_{i,j} \leq 1$ εκφράζει το ποσοστό των οχημάτων που αναμένεται (από τα ιστορικά δεδομένα) να εισέλθουν στο τμήμα i και δεν εξέρχονται από τον αυτοκινητόδρομο μέχρι το τμήμα j . Για να μην υπάρχει συμφόρηση θα πρέπει να ισχύει το εξής για κάθε τμήμα του αυτοκινητόδρομου j :

$$q_j \leq q_{j,cap} \quad (1.2)$$

όπου $q_{j,cap}$ είναι η ικανότητα του τμήματος j . Ακόμη υπάρχουν οι παρακάτω περιορισμοί:

$$r_{j,min} \leq r_j \leq \min\{r_{j,max}, d_j\} \quad (1.3)$$

όπου d_j είναι η ζήτηση της ράμπας j (J.A Wattleworth, 1965, [6]). Αντικειμενικά κριτήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτές τις στρατηγικές θα μπορούσαν να είναι, ο συνολικός αριθμός των οχημάτων που εξυπηρετούνται και η συνολικά διανυθείσα απόσταση.

Το κυριότερο μειονέκτημα στις στρατηγικές σταθερού χρόνου είναι ότι χρησιμοποιούνται ιστορικά δεδομένα και όχι μετρήσεις πραγματικού χρόνου. Η κυκλοφοριακή ζήτηση μπορεί να αλλάζει από μέρα σε μέρα ακόμα και κατά την διάρκεια της ημέρας και συνεπώς τα ιστορικά αυτά δεδομένα είναι ικανά να δώσουν μια ιδέα της ζήτησης που αναμένεται αλλά δεν είναι πάντα ακριβή. Θα πρέπει επομένως τα ιστορικά δεδομένα, που χρησιμοποιήθηκαν κατά το σχεδιασμό της στρατηγικής, να ανανεώνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Οι στρατηγικές, επίσης, σταθερού χρόνου δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν και να προσαρμοστούν σε απρόβλεπτες καταστάσεις και άλλες διαταραχές που θα συμβούν στο δίκτυο όπως ατυχήματα, χιονόπτωση και άλλα.

1.2.2 Στρατηγικές ελέγχου πραγματικού χρόνου

Οι στρατηγικές ελέγχου πραγματικού χρόνου χρησιμοποιούν μετρήσεις κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο για να υπολογίσουν ροές οχημάτων στις ράμπες. Οι μετρήσεις αυτές λαμβάνονται με τη χρήση φωρατών, που αποτελούν την πιο διαδεδομένη μορφή αισθητήρα σε οδικά δίκτυα. Ο φωρατής είναι ένα ορθογώνιο πλαίσιο (μαγνητικός ανιχνευτής), που τοποθετείται σε κάθε λωρίδα κυκλοφορίας και με τη χρήση του φαινομένου της επαγωγής είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η παρουσία ενός οχήματος που διέρχεται πάνω από αυτόν. Ο αριθμός των οχημάτων που διέρχονται πάνω από τον συγκεκριμένο φωρατή, κατά την διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, δίνει την κυκλοφοριακή ροή της συγκεκριμένης λωρίδας. Η μέτρηση του ποσοστού του χρόνου που ο φωρατής είναι κατειλημμένος δίνει το ποσοστό κατάληψης του δρόμου. Με την κατάλληλη τοποθέτηση των φωρατών είναι δυνατόν να υπάρξει και μέτρηση της ταχύτητας των

οχημάτων. Οι στρατηγικές ελέγχου ενεργοποιούνται σε κάθε χρονικό διάστημα T , η τιμή του οποίου κυμαίνεται από 20 έως 60sec. Στο τέλος κάθε χρονικό διαστήματος, πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται οι μέσες τιμές των μετρήσεων ποσοστού κατάληψης ή ροής οχημάτων για την περίοδο που πέρασε, έτσι ώστε να υπολογιστεί η ροή οχημάτων που θα εφαρμοστεί στην επόμενη χρονική περίοδο.

Οι στρατηγικές ελέγχου της ροής ραμπών που χρησιμοποιούν μετρήσεις πραγματικού χρόνου διακρίνονται σε *τοπικές στρατηγικές* και σε *στρατηγικές συντονισμένου χρόνου*.

Οι πρώτες χρησιμοποιούν μετρήσεις που λαμβάνονται από τη γύρω περιοχή της ράμπας εισόδου, ενώ οι δεύτερες χρησιμοποιούν μετρήσεις από φωρατές που είναι τοποθετημένοι σε μια πιο ευρεία περιοχή του αυτοκινητόδρομου προκειμένου να αποφασίσουν για τον έλεγχο πολλαπλών ραμπών εντός της ίδιας περιοχής. Όταν υπάρχουν πολλαπλά σημεία με μπουτιλιάρισμα στον αυτοκινητόδρομο ή περιορισμένη χωρητικότητα οχημάτων στις ράμπες τότε οι στρατηγικές συντονισμένου ελέγχου είναι πιθανόν να είναι πιο αποδοτικές από εκείνες του τοπικού ελέγχου. Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν κάποιες γνωστές στρατηγικές τοπικού ελέγχου, όπου μια εκ των οποίων θα εφαρμοστεί στην παρούσα εργασία.

1.3 Τοπικές στρατηγικές ελέγχου ραμπών αυτοκινητοδρόμων

Ο έλεγχος ραμπών, όταν εφαρμόζεται κατάλληλα, είναι ενδεχομένως ένα πιο αποδοτικό μέτρο ελέγχου που στοχεύουν στην μείωση της συμφόρησης και την αύξηση της απόδοσης των αυτοκινητοδρόμων (Papageorgiou and Kotsialos, 2002, [3]). Σε τοπικό επίπεδο, ο έλεγχος ραμπών αποφεύγει την «πτώση χωρητικότητας» που παρατηρείται κατά την συμφόρηση αυξάνοντας κατά συνέπεια τη απόδοση (χωρητικότητα) του αυτοκινητόδρομου.

Οι πιο γνωστές από αυτές τις στρατηγικές είναι η στρατηγική Ζήτησης- Ικανότητας (demand -capacity), στρατηγική ποσοστού κατάληψης και η στρατηγική ελέγχου ALINEA. Οι δύο πρώτες στρατηγικές είναι στρατηγικές απόρριψης διαταραχών που βασίζονται σε μετρήσεις ροής οχημάτων και ποσοστού κατάληψης στο κύριο ρεύμα του αυτοκινητόδρομου ανάντη της ράμπας ενώ η στρατηγική ALINEA είναι ένας ελεγκτής με ανατροφοδότηση, που βασίζεται σε μετρήσεις ποσοστού κατάληψης στο κύριο ρεύμα κατάντη της ράμπας.

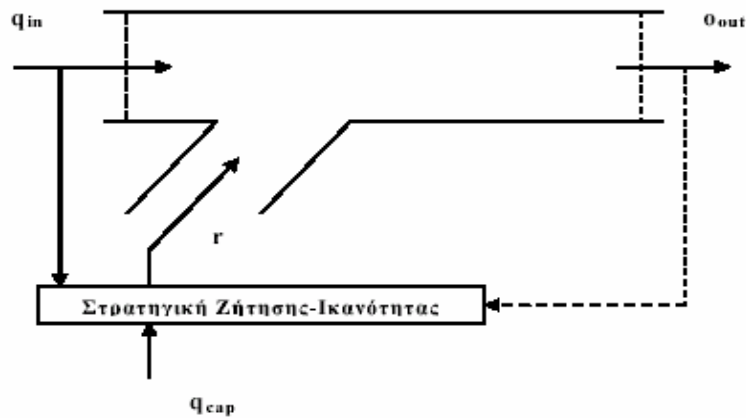
1.3.1 Η στρατηγική ελέγχου Ζήτησης – Ικανότητας

Η στρατηγική ελέγχου ζήτησης- ικανότητας (Demand Capacity Strategy) υπολογίζει τη ροή της ράμπας $r(k)$ για το διακριτό χρονικό βήμα k με βάση τον κανόνα που ακολουθεί :

$$r(k) = \begin{cases} q_{cap} - q_{in}(k-1) & \text{εάν } o_{in}(k-1) \leq o_{cr} \\ r_{min} & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (1.4)$$

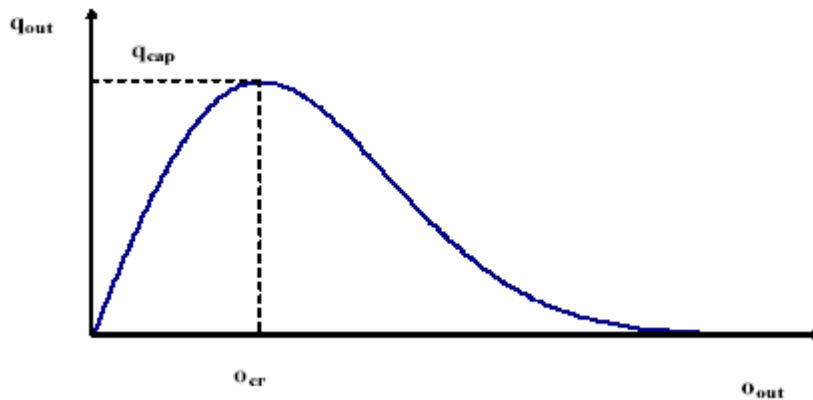
όπου $k=1,2,\dots$, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι η διακριτή χρονική περίοδος και $r(k)$ είναι η ροή οχημάτων στη ράμπα που θα εφαρμοστεί την επόμενη χρονική περίοδο k . Ακόμη όπου $q_{in}(k-1)$ είναι η τελευταία μέτρηση της ροής οχημάτων ανάντη της ράμπας, $o_{in}(k-1)$ είναι η τελευταία μέτρηση του ποσοστού κατάληψης ανάντη της ράμπας, q_{cap} είναι η ικανότητα κατάντη του αυτοκινητοδρόμου, r_{min} είναι η ελάχιστη επιτρεπτή τιμή ροής οχημάτων στη ράμπα, o_{cr} είναι η κατάντη κρίσιμη τιμή του ποσοστού κατάληψης όπου η ροή των οχημάτων στον αυτοκινητόδρομο γίνεται μέγιστη. Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται το θεμελιώδες διάγραμμα όπου φαίνεται η σχέση μεταξύ των παραπάνω μεγεθών.

Η DC στρατηγική (Σχήμα 2) επιχειρεί να προσθέσει στην ανάντη ροή $q_{in}(k-1)$ τόση ροή οχημάτων τα οποία προέρχονται από τη ράμπα, όση χρειάζεται για να επιτευχθεί η υποτιθέμενη γνωστή ικανότητα κατάντη του αυτοκινητόδρομου. Εάν για κάποιο λόγο η τελευταία ανάντη μέτρηση του ποσοστού κατάληψης $o_{in}(k-1)$ υπερβαίνει την κρίσιμη τιμή (για παράδειγμα λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης), η ροή οχημάτων στη ράμπα $r(k)$ μειώνεται στην ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή της ροής οχημάτων r_{min} , έτσι ώστε να αποφευχθεί η συμφόρηση που έχει δημιουργηθεί.



Σχήμα 2: Στρατηγική ελέγχου Ζήτησης-Ικανότητας

Η στρατηγική ελέγχου DC, όπως φαίνεται και από την εξίσωση (1.4) η οποία βασίζεται στην μέτρηση της ροής οχημάτων ανάντη της ράμπας, είναι μια πολιτική απόρριψης διαταραχών ανοικτού βρόχου και ως γνωστό είναι αρκετά ευαίσθητη σε διάφορες μη μετρήσιμες διαταραχές όπως αργά οχήματα, δυσκολίες συγχώνευσης και άλλα.



Σχήμα 3: Θεμελιώδες διάγραμμα

1.3.2 Η στρατηγική ελέγχου ποσοστού κατάληψης

Η στρατηγική ελέγχου ποσοστού κατάληψης (Occupancy Strategy) βασίζεται στην μέθοδο της προηγούμενης στρατηγικής DC αλλά με την διαφορά ότι στηρίζεται στην εκτίμηση του q_{in} με βάση το ποσοστό κατάληψης, πράγμα που μπορεί να επιφέρει μείωση του κόστους εφαρμογής της στρατηγικής κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

Αναλυτικότερα, εάν το αριστερό μέρος του θεμελιώδους διαγράμματος προσεγγιστεί με μια ευθεία γραμμή θα έχουμε:

$$q_{in} = \frac{v_f \cdot o_{in}}{g} \quad (1.5)$$

όπου v_f είναι η ελεύθερη ταχύτητα στον αυτοκινητόδρομο. Αντικαθιστώντας την εξίσωση (1.5) στο πάνω μέρος της εξίσωσης (1.4) έχουμε:

$$r(k) = K_1 - K_2 \cdot o_{in}(k-1) \quad (1.6)$$

όπου $K_1 = q_{cap}$, $K_2 = \frac{v_f}{g}$ και το $r(k)$ περικύπτει εάν ξεπερνά το εύρος $[r_{min}, r_{max}]$,

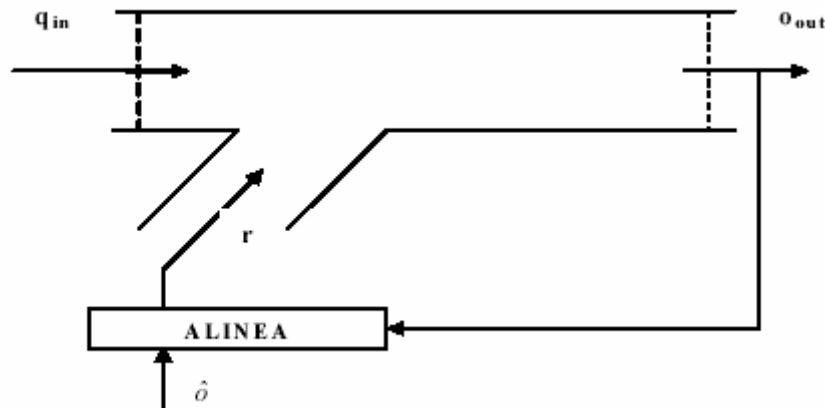
όπου r_{max} είναι η εκτιμώμενη χωρητικότητα της ράμπας. Συνεπώς, η στρατηγική OCC (εξίσωση 1.6) είναι μια στρατηγική ανοιχτού βρόγχου που βασίζεται στο ποσοστό κατάληψης και είναι ακόμα πιο ανακριβής από την στρατηγική DC εξαιτίας της γραμμικής υπόθεσης για το θεμελιώδες διάγραμμα και της αβεβαιότητας για την ακριβή τιμή των v_f και g .

1.3.3 Η στρατηγική ελέγχου ALINEA

Η στρατηγική ελέγχου ALINEA είναι μια στρατηγική ελέγχου ραμπών εισόδου με ανατροφοδότηση (Σχήμα 4) και δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$r_{AL}(k) = r_{AL}(k-1) + K_R [\hat{o}_{AL} - o_{AL}(k-1)] \quad (1.7)$$

όπου $k=1,2,\dots$, είναι η διακριτή χρονική περίοδος, $r(k)$ είναι η ροή οχημάτων στη ράμπα που θα εφαρμοστεί τη νέα χρονική περίοδος, $K_R > 0$ είναι η παράμετρος κέρδους και \hat{o} είναι μια σταθερή επιθυμητή τιμή για το κατάντη ποσοστό κατάληψης. Η επιθυμητή τιμή, συνήθως, ορίζεται ίση με την κρίσιμη τιμή o_{cr} ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ροή (Σχήμα 3), αλλά για λόγους σιγουριάς είναι δυνατόν να δοθεί τιμή μικρότερη για να αποφευχθούν κυκλοφοριακές συμφορήσεις.



Σχήμα 4: Στρατηγική ελέγχου ALINEA

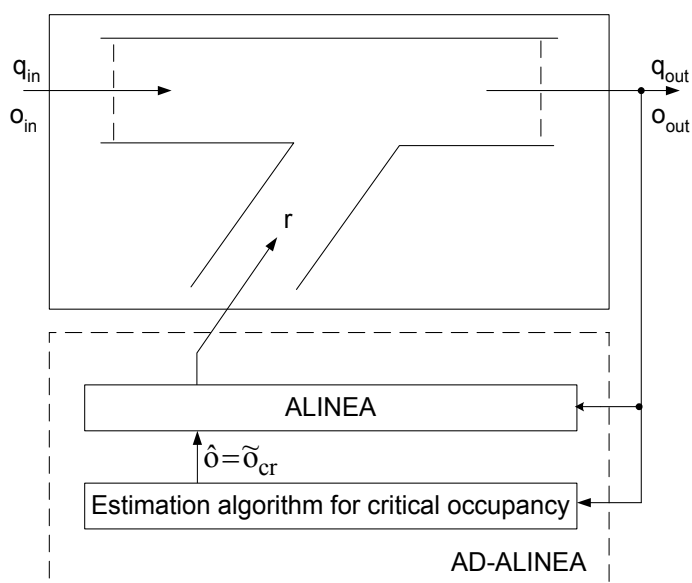
Η στρατηγική ALINEA είναι ένας ρυθμιστής τύπου I (I-regulator), ως ετούτου εύκολα διαπιστώνεται, ότι σε μια στάσιμη κατάσταση, όταν δηλαδή η ροή εισόδου παραμένει σταθερή, το $\hat{o} = o_{out}$ προκύπτει από τη εξίσωση (1.7), ανεξάρτητα από την ροή εισόδου, η οποία δεν χρησιμοποιείται από τη στρατηγική. Η ALINEA, επίσης, αντιδρά ομαλά ακόμη και σε μικρά λάθη $\hat{o} = o_{out}(k-1)$, σταθεροποιώντας κατά συνέπεια την κυκλοφοριακή ροή γύρω από την προκαθορισμένη τιμή, ανεξάρτητα από την επιλογή του K_R .

Η ροή εισόδου της ράμπας $r(k)$ που προκύπτει από τη εξίσωση (1.7), περιορίζεται σύμφωνα με κάποιες προκαθορισμένες ανώτατες και κατώτατες τιμές $[r_{min}, r_{max}(k)]$ και η νέα τιμή που προκύπτει χρησιμοποιείται ως $r(k-1)$ στη εξίσωση (1.7), στο επόμενο βήμα επανάληψης, έτσι ώστε να αποφύγουμε την γνωστή “wind-up” επίδραση των I-type regulators. Το $r_{min} > 0$ είναι η ελάχιστη αποδεκτή ροή εισόδου της ράμπας, ενώ $r_{max}(k) = \min\{\bar{r}_{max}, q_{ramp}(k-1) + \Delta_r\}$ είναι η τρέχουσα μέγιστη αποδεκτή ροή, όπου r_{max} (ή S) είναι η ικανότητα ροής της ράμπας, $q_{ramp}(k-1)$ είναι η πραγματική ροή της ράμπας στο προηγούμενο χρονικό διάστημα και Δ_r είναι μια περαιτέρω παράμετρος. ο λόγος που χρησιμοποιείται ένα μη σταθερό στο χρόνο ανώτατο όριο, είναι το να επιτρέψουμε στην ALINEA τον υπολογισμό μεγάλων ροών εισόδου, όταν το \hat{o} είναι πολύ μεγαλύτερο από το $o_{out}(k-1)$. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται μια υπερανύψωση της κατάληψης επειδή η ALINEA συγκλίνει γρηγορότερα στο προκαθορισμένο \hat{o} . Επίσης το Δ_r δεν πρέπει να είναι πολύ μικρό.

1.3.4 Προσαρμοστική ALINEA (AD-ALINEA)

Προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη χρήση του τοπικού ελέγχου ραμπών ALINEA, πρέπει να προεπιλεγεί η επιθυμητή τιμή $\hat{\sigma}$ του ποσοστού κατάληψης κατάντη της ράμπας να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην κρίσιμη τιμή. Αυτό μπορεί να γίνει με την μελέτη των μετρήσεων της ροής και του ποσοστού κατάληψης που έχουν συλλεχθεί πριν την εφαρμογή του αλγορίθμου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όμως, οι μετρήσεις αυτές μπορεί εκτός του ότι μπορεί να μην περιλαμβάνουν τις «κρίσιμες περιοχές», εκεί δηλαδή που υπάρχει μεγάλο ποσοστό κατάληψης, επιπλέον είναι δυνατόν οι κρίσιμες περιοχές να αλλάξουν σε πραγματικό χρόνο λόγω περιβαλλοντικών συνθηκών (βροχή, ομίχλη κ.α), σύνθεση οχημάτων που διανύουν τον αυτοκινητόδρομο (φορτηγά), ή άλλων μέτρων ελέγχου (μεταβλητά όρια ταχύτητας).

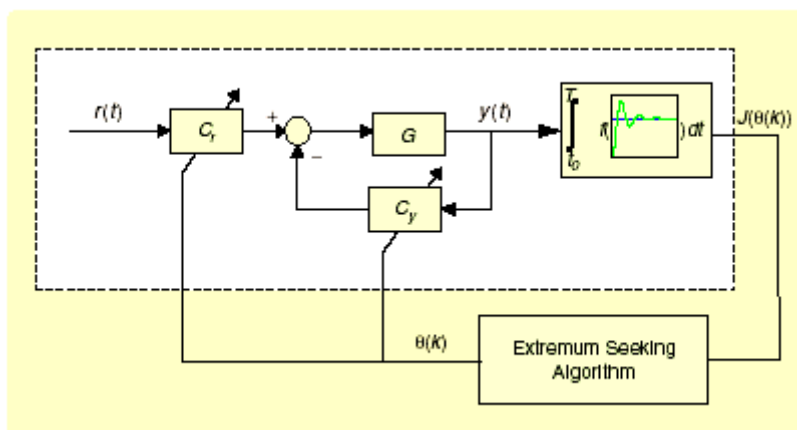
Για την επίτευξη της εκτίμησης του σ_{cr} σε πραγματικό χρόνο προτάθηκαν δυο αλγόριθμοι εκτίμησης (Smaragdis et al. (2004) [5]), οι οποίοι όταν συνδυάζονται με ALINEA, οδηγούν σε μια προσαρμοστική στρατηγική τοπικού ελέγχου, τον AD-ALINEA, όπου η επιθυμητή τιμή του ποσοστού κατάληψης δεν είναι προκαθορισμένη αλλά εκτιμάται συνεχώς σε πραγματικό χρόνο και προσαρμόζεται συνεχώς στις τρέχουσες κυκλοφοριακές συνθήκες ώστε να μεγιστοποιηθεί η ροή εξόδου του αυτοκινητοδρόμου. Η εφαρμογή του AD-ALINEA εξετάστηκε σε ένα μακροσκοπικό περιβάλλον προσομοίωσης.



Σχήμα 5: Βασικό διάγραμμα της AD-ALINEA

1.3.5 Προσαρμοστικός αλγόριθμος ES-AD-ALINEA

Στην παρούσα εργασία η εκτίμηση της τιμής του σ_{cr} σε πραγματικό χρόνο θα επιτευχθεί με βοήθεια ενός προσαρμοστικού αλγορίθμου, ο οποίος επιζητά την εύρεσης ακρότατου σημείου (Extremum Seeking /ES). Ο ES χρησιμοποιείται για την βελτιστοποίηση των παραμέτρων ενός ελεγκτή, έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί μια δεδομένη συνάρτηση κόστους. Η συνάρτηση κόστους, η οποία ποσοτικοποιεί την αποτελεσματικότητα του ελεγκτή, υπολογίζεται μέσω πειραμάτων και δεν απαιτείται να είναι γνωστή η αναλυτική της μορφή. Ο ES αναζητά να βελτιστοποιήσει (fine-tune) τον ελεγκτή ώστε να βρει ένα ελάχιστο της συνάρτησης κόστους. Γενικά, ο σχεδιασμός του ES συνοψίζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 6).

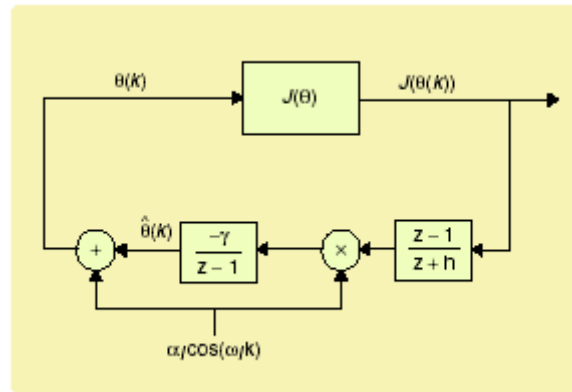


Σχήμα 6: Γραφικός σχεδιασμός του αλγορίθμου ES

Το κόστος $J(\theta(k))$ υπολογίζεται στο τέλος του πειράματος. Ο αλγόριθμος ES χρησιμοποιεί την τιμή $J(\theta(k))$ της συνάρτησης κόστους για να τον υπολογισμό των νέων παραμέτρων του ελεγκτή $\theta(k)$. Ένα ακόμη βήμα του πειράματος εκτελείτε με τις νέες παραμέτρους του ελεγκτή και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Ο ES είναι βασισμένος σε μια μέθοδο που τροποποιεί συνεχώς το θ στην συνάρτηση κόστους ώστε να φθάσει σε τοπικό ακρότατο. Όπως φαίνεται στο σχήμα 7, ο ES επιτυγχάνει αυτή την βελτιστοποίηση με χρήση ημιτονοειδών «διαταραχών» του διανύσματος $\theta(k)$ με σκοπό να εκτιμηθεί η παράγωγος (κλίση) $\nabla J(\theta(k))$. Επισημαίνεται ότι το k είναι δείκτης επανάληψης του πειράματος, ενώ το t είναι μεταβλητή συνεχούς χρόνου. Η παράγωγος (κλίση) καθορίζεται μέσω της διαδικασίας του σχήματος 7. Η διαδικασία αυτή υπολογίζει (εκτιμά) την παράγωγο

επιλέγοντας το «κομμάτι» του $J(\theta(k))$ που προκύπτει λόγω διαταραχής της παραμέτρου εκτίμησης $\hat{\theta}(k)$. Οι πληροφορίες της παραγώγου χρησιμοποιούνται έπειτα για να τροποποιήσουν τις παραμέτρους εισόδου στην επόμενη επανάληψη (συγκεκριμένα η εκτίμηση της παραγώγου είναι ενσωματωμένη με ένα βήμα μεγέθους γ) για να παραχθεί μια νέα παράμετρος εκτίμησης $\hat{\theta}(k)$.



Σχήμα 7: Διαδικασία καθορισμού παραγώγου

Οι εξισώσεις του αλγορίθμου ES είναι οι παρακάτω

$$\zeta(k) = -h\zeta(k-1) + J(\theta(k-1)) \quad (1.8)$$

$$\hat{\theta}_i(k+1) = \hat{\theta}_i(k) - \gamma_i \alpha_i \cos(\omega_i k) [J(\theta(k)) - (1+h)\zeta(k)] \quad (1.9)$$

$$\theta_i(k+1) = \hat{\theta}_i(k+1) + \alpha_i \cos(\omega_i(k+1)) \quad (1.10)$$

όπου $\zeta(k)$ είναι ένα βαθμωτό μέγεθος και ο δείκτης i αντιστοιχεί στην i -είσοδο του διανύσματος $\theta(k)$. Το γ_i είναι το κέρδος προσαρμογής και το α_i είναι το εύρος της διαταραχής. Η σταθερότητα και η σύγκλιση επηρεάζεται από τις τιμές των γ και α . Η συχνότητα ω_i επιλέγεται έτσι ώστε $\omega_i = a^i \pi$, όπου για το a ισχύει $0 < a < 1$. Επιπλέον, το φίλτρο «υψηλής διέλευσης» (highpass) $(z-1)/(z+h)$ σχεδιάζεται με $0 < h < 1$ και μια cutoff συχνότητα αρκετά κάτω από τη συχνότητα ω_i .

Μια επισκόπηση της θεωρίας του ES και μερικές εφαρμογές της παρουσιάζονται στο άρθρο [10].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗΣ AIMSUN

Ο προσομοιωτής AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks) είναι ένας μικροσκοπικός προσομοιωτής κυκλοφορίας οδικών δικτύων. Η προσομοίωση στο AIMSUN γίνεται σε περιβάλλον AIMSUN NG πράγμα που σημαίνει ότι η συμπεριφορά κάθε οχήματος στο δίκτυο μοντελοποιείται ενώ αυτό διέρχεται μέσα από αυτό σύμφωνα με διάφορα μοντέλα συμπεριφοράς οχημάτων. Στο AIMSUN υπάρχουν στοιχεία του συστήματος, όπως οχήματα, φωρατές και άλλα, των οποίων η κατάσταση αλλάζει περιοδικά ανά καθορισμένα χρονικά διαστήματα και άλλα στοιχεία όπως φωτεινοί σηματοδότες ή σημεία εισόδου που η κατάσταση τους αλλάζει σε συγκεκριμένες στιγμές κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και λόγω αυτού αποτελεί έναν προσομοιωτή διακριτών και συνεχών καταστάσεων. Το AIMSUN έχει την δυνατότητα να απεικονίσει με λεπτομέρεια ένα οδικό δίκτυο και να μοντελοποιήσει τα περισσότερα στοιχεία που υπάρχουν σε πραγματικά δίκτυα (φωτεινούς σηματοδότες, φωρατές κ.α.). Αποτελεί, αναμφίβολα, ένα σημαντικό εργαλείο σχεδιασμού και αξιολόγησης κυκλοφοριακών συστημάτων και στρατηγικών και εξαιτίας του ότι έχει την δυνατότητα να εξετάζει νέα συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας που στηρίζονται σε παλιές αλλά και σε νέες τεχνολογίες.

Ο προσομοιωτής χρειάζεται για την λειτουργία του ένα Σενάριο προσομοίωσης (Aimsun Scenario) και ένα σύνολο παραμέτρων που καθορίζουν το Πείραμα (Aimsun Experiment). Το Σενάριο αποτελείται από μια περιγραφή του οδικού δικτύου, τα δεδομένα κυκλοφοριακής ζήτησης (σενάριο ζήτησης) και τα δεδομένα κυκλοφοριακού ελέγχου. Οι παράμετροι που καθορίζουν το Πείραμα μπορεί αν είναι σταθερές όπως για παράδειγμα ο χρόνος προσομοίωσης αλλά μπορεί και ν' αλλάζουν κατά την διάρκεια της προσομοίωσης ώστε να βελτιώνουν την απόδοση του μοντέλου. Έξοδοι της προσομοίωσης, εκτός από μια συνεχής γραφική αναπαράσταση της εξέλιξης του οδικού δικτύου, αποτελούν και κάποια στατιστικά στοιχεία, όπως ροή οχημάτων, ταχύτητα, καθυστερήσεις, αλλά και δεδομένα που συλλέγονται από

τους φωρατές, όπως ο αριθμός των οχημάτων ή το ποσοστό κατάληψης, τα οποία ο χρήστης τα επεξεργάζεται ανάλογα με τον σκοπό της μελέτης.

2.1 Παράμετροι εισόδου

Η μοντελοποίηση του προβλήματος που εξετάζεται κάθε φορά αποτελεί το πρώτο και σημαντικό βήμα για μια μικροσκοπική προσομοίωση. Ο προσομοιωτής AIMSUN έχει την δυνατότητα η μοντελοποίηση αυτή να γίνει λεπτομερώς καθορίζοντας με ακρίβεια το οδικό δίκτυο, το σενάριο της κυκλοφοριακής ζήτησης και τα δεδομένα κυκλοφοριακού ελέγχου.

2.1.1 Σχεδιασμός του δικτύου

Στον προσομοιωτή AIMSUN μπορεί να σχεδιαστεί ένα οδικό δίκτυο όσο πολύπλοκο κι αν είναι με σχετικά μεγάλη ακρίβεια. Τα τμήματα των δρόμων, οι κατευθύνσεις αυτών αλλά και άλλες ιδιότητες που επηρεάζουν τον τρόπο κίνησης των οχημάτων προσδιορίζονται από τον χρήστη και συνθέτουν το μοντέλο του οδικού δικτύου. Η σύνδεση των τμημάτων των δρόμων γίνεται με κόμβους (διασταυρώσεις), ακόμα και με διαφορετικά χαρακτηριστικά κυκλοφορίας. Φωτεινοί σηματοδότες, φωρατές και άλλα στοιχεία που απαντώνται σε οδικά δίκτυα είναι δυνατόν να τοποθετηθούν στο δίκτυο και ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επέμβει στις περισσότερες ιδιότητες των στοιχείων αυτών.

2.1.2 Σενάριο ζήτησης

Για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση πρέπει να οριστούν τα δεδομένα της κυκλοφοριακής ζήτησης, ένα σενάριο δηλαδή ζήτησης, που θα επικρατήσουν στον οδικό δίκτυο. Το σενάριο ζήτησης περιγράφει τη ροή των οχημάτων στις εισόδους του δικτύου και τα ποσοστά αλλαγής κατεύθυνσης σε κάθε κόμβο και καθορίζεται από το χρήστη για κάθε διαφορετικό τύπο οχήματος. Τα οχήματα εισέρχονται στο δίκτυο από τα τμήματα εισόδου ακολουθώντας μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών που χρησιμοποιεί ως μέση τιμή τη ροή οχημάτων που έχει ήδη ορισθεί. Το AIMSUN χρησιμοποιεί εξ' ορισμού εκθετική κατανομή που όμως μπορεί να μεταβληθεί από τον χρήστη.

2.1.3 Έλεγχος κυκλοφορίας

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ελέγχου της κυκλοφορίας στον προσομοιωτή AIMSUN που εφαρμόζονται με την τοποθέτηση φωτεινών σηματοδοτών σε τμήματα του δρόμου ή σε κόμβους. Η ρύθμιση του τρόπου λειτουργίας των φωτεινών σηματοδοτών γίνεται με βάση κάποιου σεναρίου ελέγχου κυκλοφορίας, το οποίο ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει και να ενεργοποιήσει μέσω του λογισμικού AIMSUN API, το οποίο θα αναλυθεί στην συνέχεια.

2.2 AIMSUN API

Το AIMSUN API (Application Programming Interface) επικοινωνεί με το μοντέλο του προσομοιωτή AIMSUN έτσι ώστε ο χρήστης να έχει την δυνατότητα να δοκιμάσει και να αξιολογήσει οποιαδήποτε εξωτερική εφαρμογή, όπως για παράδειγμα κάποια στρατηγική ελέγχου, η οποία χρειάζεται πρόσβαση σε εσωτερικά δεδομένα του προσομοιωτή ή απαιτεί δυναμική αλλαγή της κατάστασή τους. Επικοινωνία υπάρχει μεταξύ του AIMSUN και του AIMSUN API μέσα από το περιβάλλον AIMSUN NG αλλά και μεταξύ του AIMSUN API και της εξωτερικής εφαρμογής που προσδιορίζεται από το χρήστη ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής.

2.3 Παράμετροι προσομοίωσης

Οι παράμετροι που πρέπει να προσδιοριστούν για την προετοιμασία και την εκτέλεση της προσομοίωσης βρίσκονται μέσα στην Επανάληψη (*AIMSUN Replication*) το Σενάριο (*AIMSUN Scenario*) και το Πείραμα (*AIMSUN Experiment*) και περιγράφονται παρακάτω.

2.3.1 Επανάληψη (AIMSUN Replication)

Η επανάληψη δίνει τον τυχαίο αριθμό που θα αποτελέσει το σπόρο για τις γεννήτριες τυχαίων αριθμών που χρησιμοποιεί ο προσομοιωτής.

2.3.2 Σενάριο (AIMSUN Scenario)

Στο Σενάριο βρίσκονται τα δεδομένα της κυκλοφοριακής ζήτησης και των κυκλοφοριακών ρυθμίσεων, οι στατιστικές πληροφορίες που συλλέγονται και καθορίζεται το αρχείο του AIMSUN API που θα χρησιμοποιηθεί.

2.3.3 Πείραμα (AIMSUN Experiment)

Το πείραμα περιλαμβάνει κυρίως δεδομένα που αφορούν την κίνηση των οχημάτων (μοντελοποίηση) αλλά και το χρονικό βήμα της προσομοίωσης, τους χρόνους αντίδρασης των οχημάτων και άλλα. Τα βασικά μοντέλα κίνησης των οχημάτων είναι το Μοντέλο Ακολουθίας Οχημάτων (Car-Following Model) και το Μοντέλο Αλλαγής Λωρίδας (Lane-Changing Model) που περιγράφονται στην συνέχεια.

2.3.3.1 Μοντέλο Ακολουθίας Οχημάτων (Car-Following Model)

Οι παράμετροι του μοντέλου ακολουθίας οχημάτων είναι τοπικές και εξαρτώνται από τη γεωμετρία του τμήματος του δρόμου (π.χ. όρια ταχύτητας), τον τύπο του οδηγού (αποδεκτό όριο ταχύτητας του οχήματος), την επιρροή των οχημάτων στις γειτονικές λωρίδες κ.α. Το μοντέλο ακολουθίας οχημάτων περιέχει δυο συστατικά, την επιτάχυνση και την επιβράδυνση των οχημάτων. Η επιτάχυνση αφορά την πρόθεση του οδηγού να επιτύχει την επιθυμητή γι' αυτόν ταχύτητα και η επιβράδυνση αντιπροσωπεύει τους περιορισμούς που εμπεριέχονται στο σύστημα ή περιορισμού που δημιουργούνται από τα προπορευόμενα οχήματα όταν εκείνα προσπαθούν να προσεγγίσουν τη δική τους επιθυμητή ταχύτητα. Η μοντελοποίηση της επιρροής των γειτονικών λωρίδων στο μοντέλο ακολουθίας οχημάτων πραγματοποιείται με την προσθήκη του Μοντέλου Ακολουθίας Οχημάτων Δύο Λωρίδων (2-Lanes Car-Following Model), το οποίο λαμβάνει υπόψη την επιρροή ενός ορισμένου αριθμού οχημάτων που οδηγούν πιο αργά στη διπλανή δεξιά λωρίδα.

2.3.3.2 Μοντέλο Αλλαγής Λωρίδας (Lane-Changing Model)

Το μοντέλο αλλαγής λωρίδας μοντελοποιείται σαν διαδικασία ανάλυσης αποφάσεων που αναλύει την «αναγκαιότητα» (για παράδειγμα λόγω ύπαρξης στροφής), την «επιθυμία» (απόκτηση επιθυμητής ταχύτητας όταν το προπορευόμενο όχημα κινείται πιο αργά) και την «εφικτότητα» της αλλαγής λωρίδας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιείται έλεγχος κυκλοφορίας σε περιοχές ράμπων εισόδου σε αυτοκινητόδρομο προκειμένου να αποφευχθεί το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι καθώς η ράμπα εισέρχεται στον αυτοκινητόδρομο οδηγεί σε συγχώνευση λωρίδων στην περιοχή του αυτοκινητόδρομου με συνέπεια όταν η κυκλοφοριακή ζήτηση είναι αυξημένη να υπάρξει μείωση της ικανότητας της υποδομής.

Μια περιοχή συγχώνευσης ονομάζεται η περιοχή στην οποία εισέρχεται ένας αριθμός λωρίδων M οι οποίες συγχωνεύονται σε μ λωρίδες κατά την έξοδο ($M < \mu$). Τα οχήματα εξέρχονται από τις M λωρίδες, αλλάζοντας καταλλήλως λωρίδες μέσα στην περιοχή συγχώνευσης έτσι ώστε να προσαρμοστούν στις μ λωρίδες εξόδου. Η διαδικασία συγχώνευσης ίσως να είναι αρκετά πολύπλοκη από την άποψη των απαραίτητων ελιγμών των οχημάτων, πράγμα το οποίο μπορεί να αποτελεί πρόκληση για το μικροσκοπικά μοντέλα και τους προσομοιωτές. Πράγματι, το γεγονός της αλλαγής λωρίδας των οχημάτων αποτελεί γνωστή αδυναμία των μικροσκοπικών προσομοιωτών, ιδιαίτερα όταν εφαρμόζεται σε ειδικές υποδομές συγχώνευσης, εφόσον δεν είναι δυνατόν να προβλεφθούν και να μοντελοποιηθούν οι συμπεριφορές των οδηγών σε τέτοιες καταστάσεις.

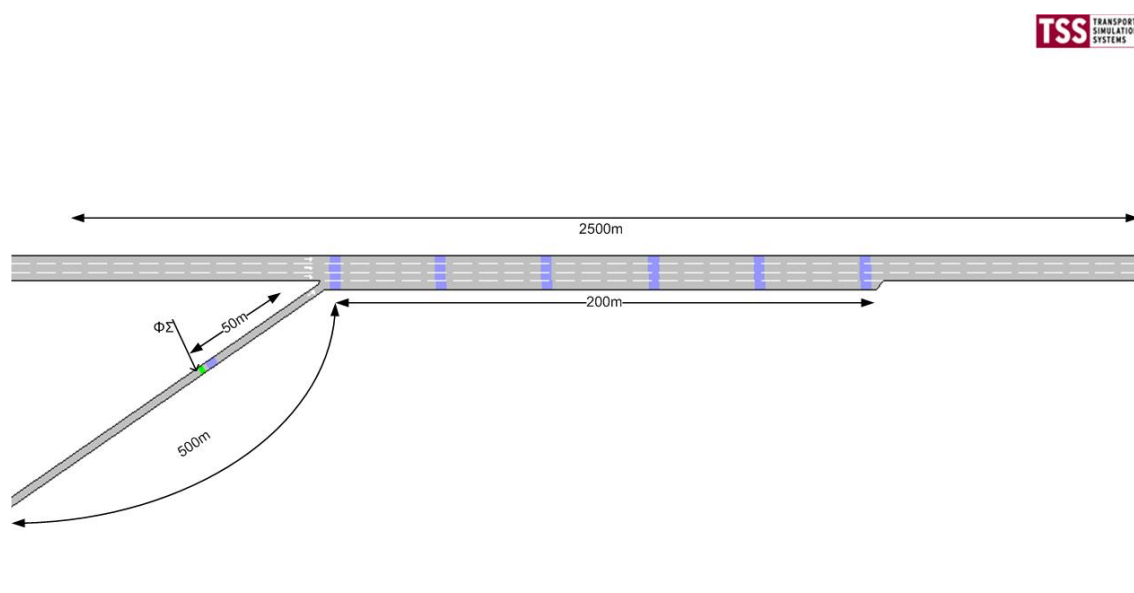
Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν τα στοιχεία εκείνα που συνθέτουν την εφαρμογή του προβλήματος, όπως είναι οι παράμετροι εισόδου (σχεδίαση οδικού δικτύου, σενάριο ζήτησης, μέθοδος ρύθμισης φωτεινών σηματοδοτών), η στρατηγική ελέγχου (ES-AD-ALINEA), οι παράμετροι του μοντέλου προσομοίωσης και οι παράμετροι εξόδου. Η προσομοίωση θα πραγματοποιηθεί σε μικροσκοπικό προσομοιωτή οδικών δικτύων AIMSUN και συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθεί η έκδοση η AIMSUN NG Professional Edition 5.1.9.

3.1 Παράμετροι εισόδου

Το πρόβλημα που εξετάζεται αρχικά μοντελοποιείται με τον προσδιορισμό κάποιων παραμέτρων εισόδου, από την ορθότητα των οποίων εξαρτάται άμεσα η ποιότητα του μοντέλου προσομοίωσης. Τέτοιοι παράμετροι είναι, όπως αναφέρθηκαν και στο κεφάλαιο 2, ο ακριβής σχεδιασμός του δικτύου, το επιθυμητό σενάριο ζήτησης και ο προσδιορισμός του κατάλληλου ελέγχου κυκλοφορίας και θα παρουσιαστούν στην συνέχεια

3.1.1 Δίκτυο

Το δίκτυο που θα προσομοιωθεί αποτελείται από ένα αυτοκινητόδρομο τριών λωρίδων συνολικού μήκους 2.5 χιλιομέτρων και από μια ράμπα μιας λωρίδας μήκους 500m. Η σύνθεση της ράμπας με τον αυτοκινητόδρομο γίνεται στο σημείο όπου ο αυτοκινητόδρομος είναι 2 χιλιόμετρα και εισέρχεται σ' αυτόν με τη βοήθεια λωρίδας επιτάχυνσης. Οι λωρίδες στον αυτοκινητόδρομο από εκείνο το σημείο και για 200m γίνονται τέσσερις ενώ για τα τελευταία 300m οι λωρίδες συγχωνεύονται και πάλι σε τρεις. Στο σχήμα 6 παρουσιάζεται το δίκτυο αναλυτικά.



Σχήμα 8: Δίκτυο

Στην ράμπα υπάρχει φωτεινός σηματοδότης για τον έλεγχο της κυκλοφορίας και έχουν τοποθετηθεί σε όλο το δίκτυο συνολικά δέκα φωρατές ώστε να καταγραφεί η

ροή των οχημάτων. Οι έξη από αυτούς τους φωρατές βρίσκονται κατά μήκος του τμήματος των τεσσάρων λωρίδων (200m) σε απόσταση 35 m ο ένας από τον άλλο, εκεί που ενώνονται η ράμπα με τον αυτοκινητόδρομο, ένας είναι στην είσοδο της ράμπας και στην είσοδο του αυτοκινητόδρομου, ένας στην έξοδο του δικτύου και ένας μπροστά από το φωτεινό σηματοδότη στις ράμπας. Οι φωρατές έχουν μήκος 0.4 m. Στο οδικό δίκτυο που εξετάζεται εισέρχονται οχήματα ίδιου μεγέθους (περίπου 4μ)

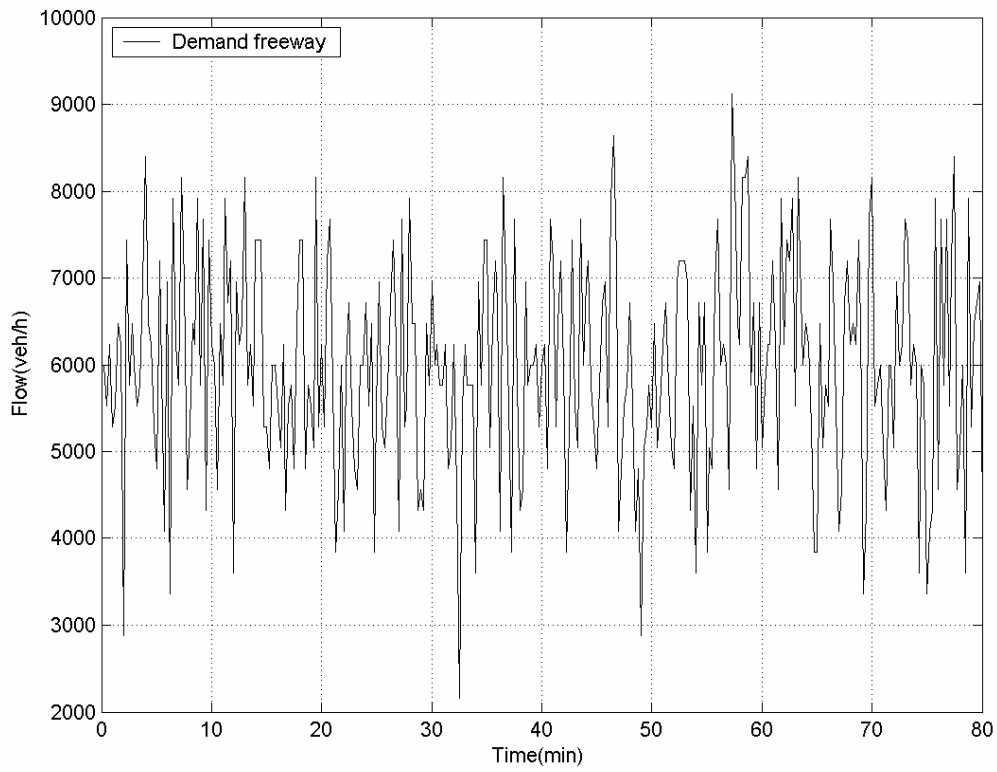
3.1.2 Σενάριο Ζήτησης

Η προσομοίωση που πραγματοποιείται έχει ως στόχο να ελέγξει το κατά πόσο κάποια μοντέλα είναι ικανά να ελέγχουν τη ροή του αυτοκινητόδρομου και να ανταποκριθούν σε καταστάσεις με αυξημένη κυκλοφοριακή ζήτηση. Το σενάριο ζήτησης επομένως επιλέχθηκε έτσι ώστε να παρατηρείται το φαινόμενο της κυκλοφοριακής συμφόρησης όταν δεν υπάρχει στην ράμπα κανένας έλεγχος.

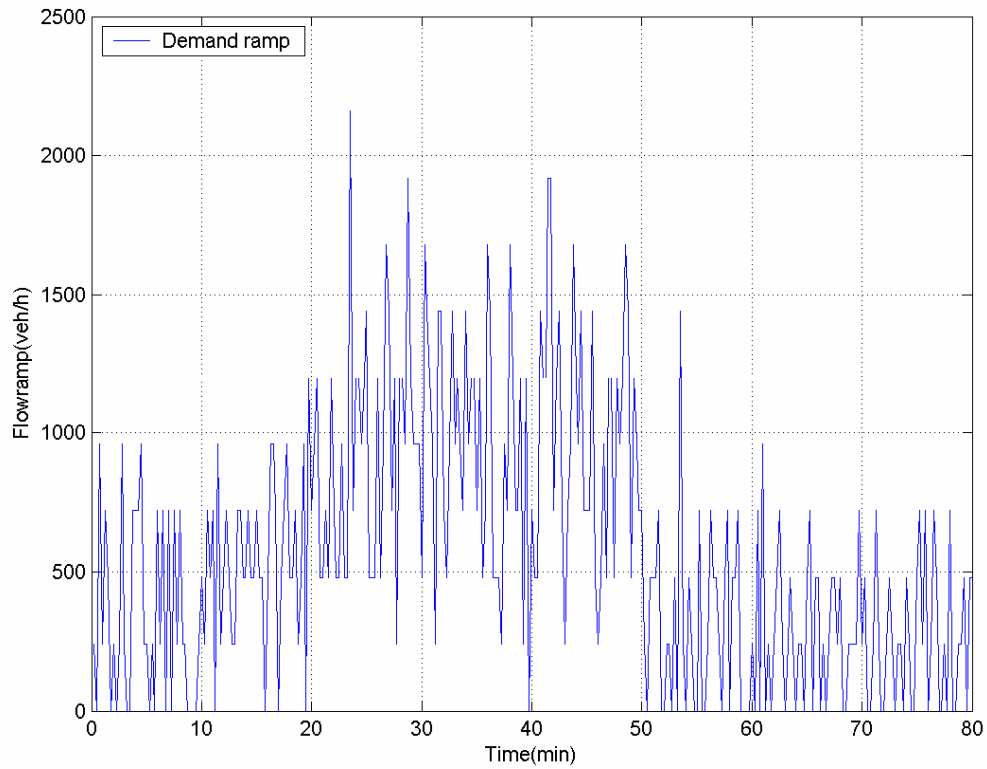
Ο χρόνος της προσομοίωσης είναι 80 λεπτά και η ζήτηση αυξάνεται σταδιακά μέχρι το σημείο όπου επιτυγχάνεται συμφόρηση στον αυτοκινητόδρομο. Ο αυτοκινητόδρομος αποτελείται από τρεις λωρίδες κυκλοφορίας, όπου κάθε λωρίδα, σύμφωνα με τον προσομοιωτή, έχει χωρητικότητα περίπου 2000 οχήματα ανά ώρα (veh /h) και άρα συνολικά η ικανότητά του ανέρχεται περίπου στα 6000 οχήματα ανά ώρα.

Η ζήτηση, ροή οχημάτων ανά ώρα στην είσοδο του δικτύου, είναι σταθερή μόνο στον αυτοκινητόδρομο (Σχήμα 9) ενώ στην ράμπα αυξάνεται σταδιακά με το χρόνο έως ότου φτάσει σε ένα μέγιστο σημείο (ώρα αιχμής) όπως φαίνεται στο Σχήμα 10. Με τον τρόπο αυτό το σενάριο γίνεται πιο ρεαλιστικό αλλά και παρατηρείται και περιγράφεται καλύτερα το φαινόμενο της κυκλοφοριακής συμφόρησης από την δημιουργία έως την αποσυμφόρηση.

Στον αυτοκινητόδρομο έχει επιλεγεί η ζήτηση να είναι σταθερή και ίση με 6000veh/h (οχήματα ανά ώρα). Στην ράμπα τα πρώτα 30 λεπτά η ζήτηση αυξάνεται βηματικά (κατά 100) ξεκινώντας από 250veh/h και καταλήγοντας στα 950 veh/h. Για τα επόμενα 20 λεπτά η ζήτηση παραμένει σταθερή και ίση με τη μέγιστη 1000veh/h. Τέλος το 50^ο λεπτό η ζήτηση μειώνεται στα 250veh/h και παραμένει σταθερή μέχρι να τελειώσει η προσομοίωση με σκοπό το δίκτυο να αρχίζει να αδειάζει ομαλά.



Σχήμα 9: Διάγραμμα Ζήτησης αυτοκινητόδρομου



Σχήμα 10 :Διάγραμμα Ζήτησης ράμπας

3.1.3 Έλεγχος κυκλοφορίας

Η ρύθμιση της κυκλοφορίας γίνεται με ένα φωτεινό σηματοδότη που είναι τοποθετημένος στην ράμπα εισόδου, 50 μέτρα πριν το σημείο που τα οχήματα εισέρχονται στον αυτοκινητόδρομο. Ο φωτεινός σηματοδότης ρυθμίζεται με τη χρήση της τοπικής στρατηγικής ελέγχου ALINEA, η οποία καθορίζει για κάθε περίοδο ελέγχου τη ροή των οχημάτων (veh/h) που θα πρέπει να διέλθει από την περιοχή ελέγχου κυκλοφορίας. Η ροή αυτή μετατρέπεται σε διάρκεια κύκλου (χρόνος πράσινου και κόκκινου) του φωτεινού σηματοδότη για την επόμενη περίοδο ελέγχου. Η διάρκεια του πράσινου υπολογίζεται με την πολιτική ελέγχου δύο οχημάτων ανά πράσινο (2 cars per green). Ο χρόνος του πράσινου είναι σταθερός και ίσος με 4sec έτσι ώστε να περνάνε, κατά μέσο όρο, δυο οχήματα ανά πράσινη ένδειξη. Ο χρόνος του κόκκινου ρυθμίζεται ανάλογα με τη διάρκεια του κύκλου που έχει δοθεί από την ALINEA, που όμως δεν θα είναι μικρότερος από 2sec για λόγους ασφαλείας. Πιο συγκεκριμένα η νέα ροή που υπολογίζεται από την ALINEA, κάθε χρονική περίοδο $T = 15\text{sec}$, μετατρέπεται σε κύκλο c σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση :

$$c = \frac{2 \cdot 3600 \cdot \lambda_r}{q(k)} \quad (1.11)$$

Όπου λ_r ο αριθμός των λωρίδων της ράμπας και $q(k)$ η τιμή της ροής.

Η τιμή του νέου κύκλου στρογγυλοποιείται σε ακέραιο πολλαπλάσιο του χρονικού βήματος του προσομοιωτή $T_{simulation} = 0.75\text{sec}$. Όταν ο νέος κύκλος δεν είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του T τότε ίσως ξεκινήσει πριν ακόμα τελειώσει ο προηγούμενος και προκύπτει το πρόβλημα συγχρονισμού (Papageorgiou and Papamichail,2008,[4]), πράγμα που είναι πιθανό μην οδηγήσει στα επιθυμητά αποτελέσματα. Στην περίπτωση, που εξετάζεται, ο νέος κύκλος μετατρέπεται σε πολλαπλάσιο του T πριν εφαρμοστεί στον φωτεινό σηματοδότη, εφαρμόζεται δηλαδή η ασύγχρονη λειτουργία.

3.2 Η στρατηγική ελέγχου ALINEA

Η στρατηγική ελέγχου που θα εφαρμοστεί στο οδικό δίκτυο του προβλήματος είναι η ALINEA, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, με την διαφορά ότι αντί

για τη μέτρηση του ποσοστού κατάληψης θα χρησιμοποιηθεί η μέτρηση του αριθμού των οχημάτων N και η εξίσωση μετατρέπεται ως εξής :

$$r_{AL}(k) = r_{AL}(k-1) + K_R[\hat{N}_{AL} - N_{AL}(k-1)] \quad (1.12)$$

Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα είναι παρόμοια με εκείνα αν είχε χρησιμοποιηθεί το ποσοστό κατάληψης διότι η τιμή του αριθμού N είναι ανάλογη με αυτό. Η στρατηγική ελέγχου εφαρμόζεται κάθε συγκεκριμένη χρονική περίοδο (T) ίση με 15sec. Με την βοήθεια των φωρατών, λαμβάνεται από την ALINEA ο αριθμός των οχημάτων N της τελευταίας χρονικής περιόδου, ελέγχεται η απόκλιση του από την επιθυμητή τιμή και υπολογίζεται η νέα ροή οχημάτων που θα εισέλθει στην περιοχή ελέγχου την επόμενη χρονική περίοδο. Η νέα αυτή ροή μετατρέπεται σε κύκλο (χρόνος κόκκινου-πράσινου) που εφαρμόζεται στον φωτεινό σηματοδότη την επόμενη χρονική περίοδο. Για να αποφευχθούν τυχόν ακραίες τιμές ροής που θα επηρεάσουν τη λειτουργία του ελεγκτή, η νέα ροή που προκύπτει παίρνει τιμές ανάμεσα σε μία μέγιστη και ελάχιστη τιμή $[r_{min}, r_{max}]$. Στην αρχή της προσομοίωσης η ροή των οχημάτων που εισήλθε στην περιοχή ελέγχου την προηγούμενη χρονική περίοδο τίθεται ίση με την μέγιστη τιμή r_{max} . Η τιμή αυτή καθώς επίσης η ελάχιστη τιμή και οι τιμές του K_R και η επιθυμητή τιμή του αριθμού των οχημάτων \hat{N}_{AL} πρέπει να προκαθοριστούν. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1) παρουσιάζονται οι τιμές αυτές, εκτός από την επιθυμητή τιμή η οποία θα διερευνηθεί στο επόμενο κεφάλαιο, για το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Δεδομένα εισόδου	Τιμές
K_R	100
r_{min}	1200 veh/h
r_{max}	400 veh/h

Πίνακας 1: Δεδομένα εισόδου

3.3 Προσαρμοστικός αλγόριθμος ES-AD-ALINEA

Ο αλγόριθμος ES, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1, για να εφαρμοστεί προϋποθέτει τον καθορισμό κάποιων μεταβλητών ώστε να υπολογίσει την επιθυμητή τιμή του αριθμού των οχημάτων \hat{N}_{AL} σε πραγματικό χρόνο, που θα χρησιμοποιηθεί από την ALINEA. Τέτοιες μεταβλητές αποτελούν το εύρος της διαταραχής α , το κέρδος προσαρμογής γ , συχνότητα διαταραχής ω , και η παράμετρος h στο φίλτρο υψηλής διέλευσης. Ωστόσο, αποδεικνύεται ότι το ελάχιστο από το ES επηρεάζεται ελάχιστα από τις παραμέτρους.

Οι εξισώσεις του αλγορίθμου που χρησιμοποιούνται μετατρέπονται ως εξής:

$$\zeta(k) = -h\zeta(k-1) - \text{down_flow_past} \quad (1.13)$$

$$\hat{\vartheta}(k+1) = \hat{\vartheta}(k) - \gamma\alpha \cos(\omega k)[\text{down_flow} - (1+h)\zeta(k)] \quad (1.14)$$

$$\hat{N}_{AL} = \hat{\vartheta}(k+1) + \alpha \cos(\omega(k+1)) \quad (1.15)$$

Όπου οι μεταβλητές `down_flow_past` και `down_flow` αφορούν τη ροή των οχημάτων στην περιοχή συγκώνευσης. Η παράμετροι h επιλέγεται να είναι σταθερή και ίση με $h = 0.5$ ενώ οι παράμετροι α , γ και ω θα διερευνηθούν και θα προσδιοριστούν στο επόμενο κεφάλαιο, με το μόνο περιορισμό να αφορά τη παράμετρο ω , όπου οι τιμές που παίρνει να είναι μεταξύ του μηδέν και του $\pi = 3,14$. Πρέπει να σημειωθεί ότι το πρόσημο στην σχέση 1.13 μπροστά από την μεταβλητή `down_flow_past` έχει αλλάξει σε μείον διότι στην παρούσα εργασία επιζητάτε η εύρεση του μέγιστου (μέγιστο αριθμό οχημάτων) και όχι του ελαχίστου που ήταν αρχικά το ζητούμενο στον αλγόριθμο.

3.4 AIMSUN API (Application Programming Interface)

Η επικοινωνία μεταξύ του προσομοιωτή AIMSUN και της εξωτερικής στρατηγικής ελέγχου ALINEA επιτυγχάνεται μέσω του AIMSUN API και διαμορφώνεται ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής από τον χρήστη. Υπάρχουν οκτώ βασικές συναρτήσεις του AIMSUN API που εξασφαλίζουν την επικοινωνία αυτή, τέσσερις

από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη εφαρμογή όπως παρουσιάζονται και αναλύονται στον Πίνακας 2.

<i>Συναρτήσεις</i>	<i>Ανάλυση</i>
AAPILoad():	<i>Καλείται όταν το AIMSUN API συνδέεται με το AIMSUN.</i>
AAPIPostManage():	<i>Καλείται σε κάθε βήμα της προσομοίωσης, στο τέλος της περιόδου, και χρησιμοποιείται είτε για να λάβει μετρήσεις από στοιχεία του δικτύου ή για να αλλάξει τιμές στοιχείων (όπως τον κύκλο των φωτεινών σηματοδοτών) κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, έτσι ώστε να εφαρμοστεί η επιθυμητή στρατηγική ελέγχου.</i>
AAPIFinish():	<i>Καλείται στο τέλος της προσομοίωσης και χρησιμοποιείται για να ολοκληρώσει ενέργειες, όπως λήψη στατιστικών μετρήσεων του συστήματος.</i>
AAPILoad():	<i>Καλείται όταν το AIMSUN API αποσυνδέεται από το AIMSUN.</i>

Πίνακας 2: Συναρτήσεις AIMSUN API

3.5 Παράμετροι προσομοίωσης

Στο οδικό δίκτυο που εξετάζεται, οι παράμετροι της προσομοίωσης, όπως τα χαρακτηριστικά του δρόμου, οι ιδιότητες των οχημάτων, τα μοντέλα κίνησης των οχημάτων, έχουν τις προκαθορισμένες τιμές από τον προσομοιωτή. Η επανάληψη, το σενάριο και το πείραμα, τα βασικά στοιχεία της προσομοίωσης ορίζονται από το χρήστη. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο έλεγχος κυκλοφορίας πραγματοποιείται για δέκα διαφορετικές προσομοιώσεις (επαναλήψεις), ορίζονται δηλαδή δέκα διαφορετικοί τυχαίοι αριθμοί που θα αποτελέσουν τους σπόρους για τις γεννήτριες τυχαίων αριθμών που χρησιμοποιεί ο προσομοιωτής, με σκοπό να περιοριστεί η στοχαστικότητα των αποτελεσμάτων. Το σενάριο ζήτησης που θα εφαρμοστεί, ο τρόπος ρύθμισης των φωτεινών σηματοδοτών και το αρχείο AIMSUN API που θα χρησιμοποιηθεί ορίζονται στο Σενάριο. Τα στατιστικά στοιχεία από τους φορατές, θα συλλέγονται ανά 15 sec. Το χρονικό βήμα της προσομοίωσης θα είναι 0.75 sec.

3.6 Χρόνος παραμονής των οχημάτων στο δίκτυο (*Total Time Spent*)

Ο συνολικός χρόνος που χρειάστηκε ένα όχημα για να διανύσει το δίκτυο, Total Time Spent (TTS), αποτελεί το κριτήριο που χρησιμοποιείται ώστε να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητα του μοντέλου ελέγχου της κυκλοφορίας που εξετάζεται. Για τον υπολογισμό του αρκεί να καταγραφεί ο αριθμός των οχημάτων που εισέρχονται στο οδικό δίκτυο (N_{in}), τόσο από τον αυτοκινητόδρομο όσο και από την ράμπα, και ο αριθμός των οχημάτων που εξέρχονται από αυτό (N_{out}) έτσι ώστε να προκύψει το σύνολο των οχημάτων που βρίσκονται στο δίκτυο ($N_{total} = N_{in} - N_{out}$). Η καταγραφή αυτή των οχημάτων γίνεται με την βοήθεια των φωρατών που είναι τοποθετημένοι στις εισόδους και στην έξοδο του δικτύου. Από την παρακάτω σχέση υπολογίζεται ο συνολικός χρόνος παραμονής των οχημάτων TTS σε οχηματοώρες (vehicles · hours)

$$TTS = \sum N_{Total}(k) \cdot T_{simulation} \quad (1.16)$$

Όπου $N_{Total}(k)$ ο συνολικός αριθμός των οχημάτων που υπάρχουν στο δίκτυο για κάθε βήμα της προσομοίωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

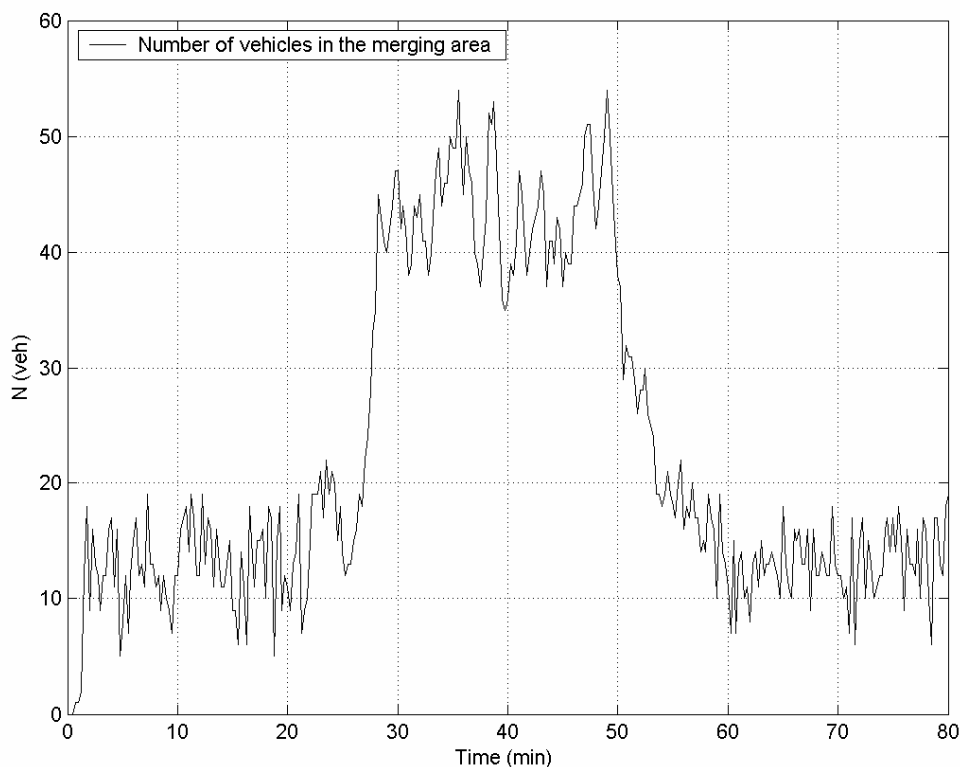
Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εξετάζει ένα οδικό δίκτυο που αποτελείται από έναν αυτοκινητόδρομο τριών λωρίδων κυκλοφορίας στον οποίο εισέρχεται μια ράμπα μιας λωρίδας. Το πρόβλημα προκύπτει κατά τη συγχώνευση των τεσσάρων λωρίδων, κατά την ένωση των δυο αυτών δρόμων, στις αρχικές τρεις λωρίδες του αυτοκινητόδρομου διότι σε περιπτώσεις όπου η κυκλοφοριακή ζήτηση είναι αυξημένη μπορεί να οδηγήσει στο φαινόμενο της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η μοντελοποίηση αυτού του προβλήματος έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο, με τον σχεδιασμό του δικτύου και τον προσδιορισμό των παραμέτρων (εισόδου-προσομοίωσης) και σ' αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της κυκλοφορίας και την αποφυγή του φαινομένου της κυκλοφοριακής συμφόρησης στο συγκεκριμένο οδικό δίκτυο.

Το δίκτυο, αρχικά, θα εξεταστεί χωρίς την εφαρμογή κάποιου ελέγχου κυκλοφορίας, ενώ στην συνέχεια θα εφαρμοστεί η στρατηγική ελέγχου ALINEA. Τέλος θα εξεταστεί η επίδραση που θα έχει στις κυκλοφοριακές συνθήκες του οδικού δικτύου η στρατηγική ελέγχου ES-AD-ALINEA, ένας συνδυασμός της προηγούμενης στρατηγικής και ενός προσαρμοστικού αλγορίθμου.

4.1 Προσομοίωση χωρίς έλεγχο της κυκλοφορίας

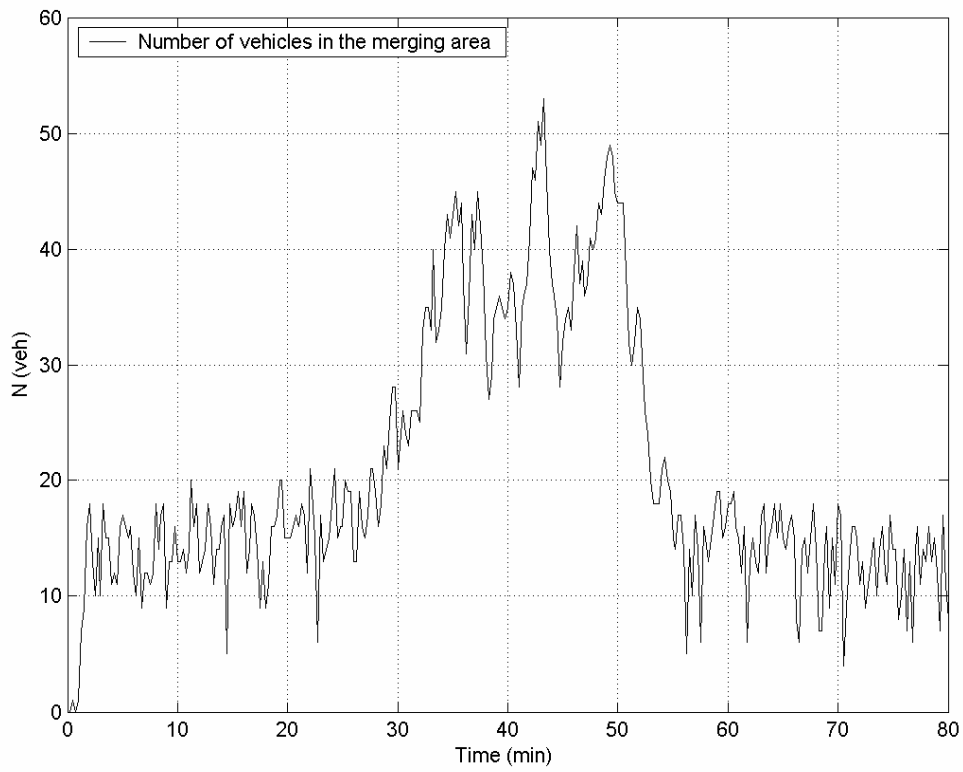
Στην περίπτωση αυτή η προσομοίωση πραγματοποιείται χωρίς να υπάρχει κάποιος έλεγχος της κυκλοφορίας των οχημάτων με σκοπό να εντοπιστεί το χρονικό σημείο όπου το δίκτυο τείνει να έχει κυκλοφοριακή συμφόρηση. Αρχικά, συνεπώς, η μελέτη στρέφεται στον εντοπισμό του προβλήματος ακόμα και όταν αυτό δεν γίνεται εύκολα αντιληπτό οπτικά στο δίκτυο και χρειάζεται η μέτρηση και η γραφική απεικόνιση του αριθμού των οχημάτων για το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης. Εφαρμόζοντας 10 επαναλήψεις - προσομοιώσεις χωρίς έλεγχο στο δίκτυο παρατηρείται ότι για

κάποια χρονικά διαστήματα ο αριθμός των οχημάτων στην περιοχή συγχώνευσης αυξάνεται αρκετά, με αποτέλεσμα τη στιγμή εκείνη να εμφανίζεται το φαινόμενο της συμφόρησης στην περιοχή αυτή, αλλά και με πιθανή εξάπλωσή του φαινομένου και σε ολόκληρο το δίκτυο. Ενδεικτικά παρουσιάζονται, στην συνέχεια, κάποια γραφήματα που απεικονίζουν τον αριθμό των οχημάτων στην περιοχή συγχώνευσης κάποιων επαναλήψεων .

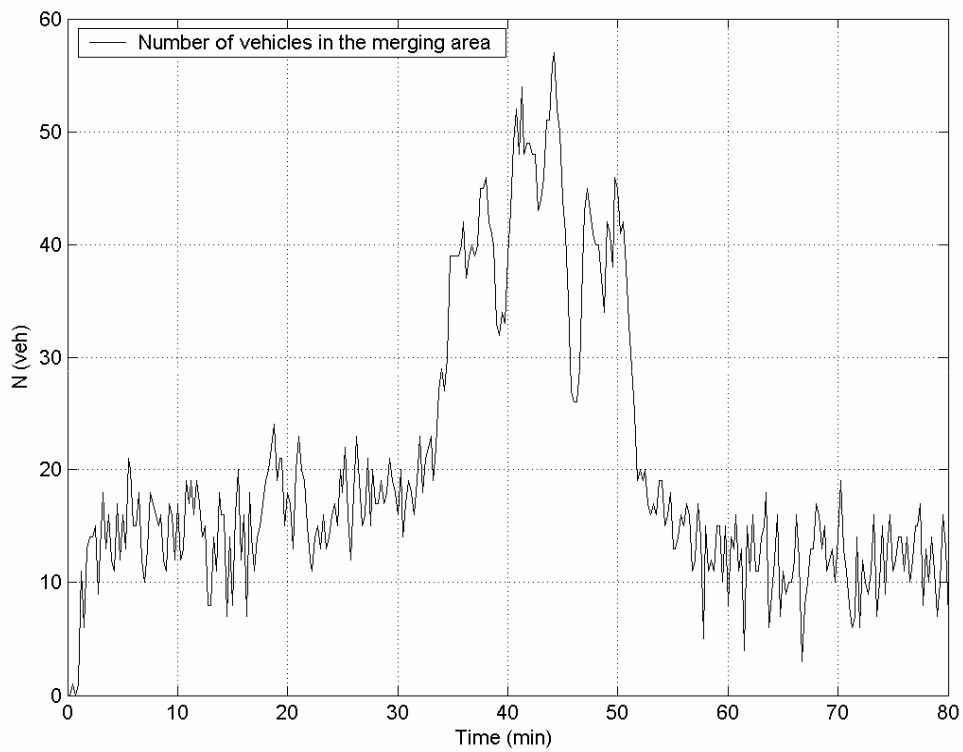


Σχήμα 11: Αριθμός οχημάτων στην περιοχή συγχώνευσης (Επανάληψη 8)

Στο παραπάνω σχήμα για την επανάληψη 8 παρατηρείται κοντά στο 30^ο λεπτό, και για 20 λεπτά περίπου, μια απότομη αύξηση στον αριθμό των οχημάτων που φτάνει μέχρι και πάνω από 50 οχήματα. Η αύξηση αυτή δηλώνει ότι υπάρχει έντονο πρόβλημα στην κυκλοφορία των οχημάτων στην περιοχή συγχώνευσης το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Το ίδιο συμβαίνει και στις άλλες επαναλήψεις με την διαφορά ότι αλλάζει η χρονική διάρκεια που παρατηρείται το φαινόμενο ή ότι σε κάποιες μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο έντονο, όπως φαίνεται και στις επαναλήψεις 1 και 7 (σχήμα 10,11).

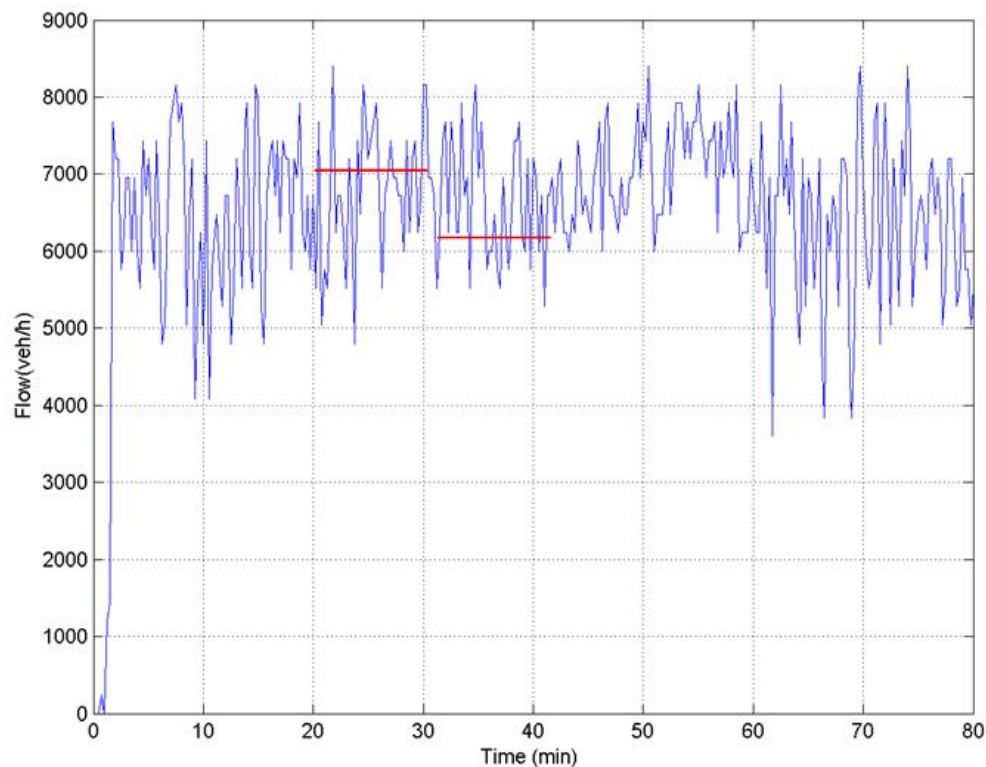


Σχήμα 12: Αριθμός οχημάτων στην περιοχή συγχώνευσης (Επανάληψη 1)



Σχήμα 13: Αριθμός οχημάτων στην περιοχή συγχώνευσης (Επανάληψη 7)

Εκτός, όμως από τον αριθμό των οχημάτων, το φαινόμενο στις συμφόρησης γίνεται αντιληπτό και από το διάγραμμα της ροής στην έξοδο της περιοχής συγχώνευσης σε σχέση με το χρόνο (σχήμα 12). Όπως παρατηρείται και από το παρακάτω σχήμα ενώ στην αρχή της προσομοίωσης η ροή στην περιοχή συγχώνευσης είναι κοντά στις 7000veh/h οχήματα ανά ώρα πέφτει κοντά στα 6000veh/h από το 30^ο λεπτό και για περίπου 15 με 20 λεπτά, όσο, δηλαδή, η ζήτηση είναι αυξημένη, σύμφωνα με το σενάριο ζήτησης. Υπάρχει, συνεπώς μια απότομη μείωση της ικανότητας του δικτύου εκείνο το χρονικό διάστημα εξαιτίας του φαινομένου της κυκλοφοριακής συμφόρησης, που όμως προς το τέλος της προσομοίωσης επανέρχεται στα υψηλά επίπεδα.

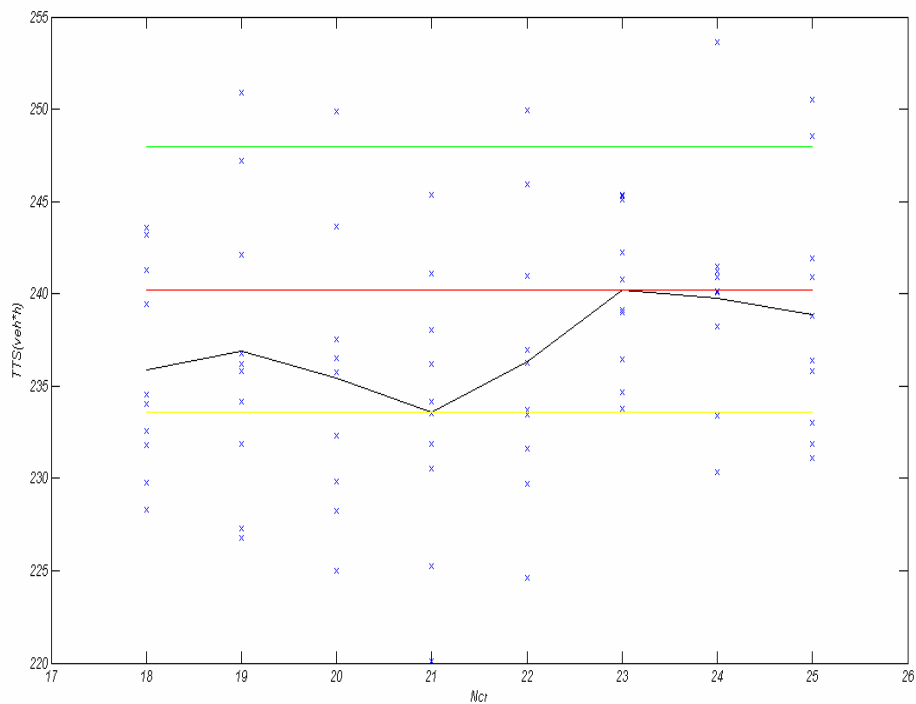


Σχήμα 14: Ροή στην έξοδο της περιοχής συγχώνευσης του δικτύου χωρίς έλεγχο (επανάληψη 5)

4.2 Προσομοίωση με έλεγχο ALINEA

Ο έλεγχος της κυκλοφορίας του δικτύου αρχικά θα πραγματοποιηθεί με τη στρατηγική ελέγχου ALINEA χρησιμοποιώντας, όπως έχει αναφερθεί ήδη στο κεφάλαιο 3, τη μέτρηση του αριθμού των οχημάτων N_{AL} . Για την εφαρμογή αυτή της

στρατηγικής πρέπει πρώτα να εντοπιστεί η κατάλληλη τιμή \hat{N}_{AL} , και αυτό θα συμβεί με το να πραγματοποιηθούν κάποιες δοκιμές για τυχαίες τιμές του \hat{N}_{AL} . Εφόσον υπολογιστούν οι τιμές του TTS σε κάθε τέτοια εφαρμογή της ALINEA και των TTS που προέκυψαν από την εφαρμογή χωρίς έλεγχο, θα συγκριθούν και θα μελετηθούν με την βοήθεια ενός διαγράμματος από το οποίο θα επιλεγεί η τιμή του \hat{N}_{AL} που θα χρησιμοποιηθεί. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 15 έχει υπολογιστεί ο μέσος όρος των τιμών του TTS χωρίς έλεγχο (γραμμή κόκκινη), η μέγιστη (πράσινη γραμμή) και η ελάχιστη (κίτρινη γραμμή) των τιμών αυτών, και ο μέσος όρος των TTS για την περίπτωση της ALINEA (μαύρη γραμμή). Τα σημεία -x- δηλώνουν τις τιμές του TTS για τις διάφορες τιμές του N_{AL} από 18 έως 25.



Σχήμα 15:: Διάγραμμα εύρεσης του N_{AL}

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές του TTS των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν για την εύρεση του \hat{N}_{AL} (Πίνακας 3).

Επανάληψη /TTS	Χωρίς έλεγχο	18	19	20	21	22	23	24	25
R1	240,352	229,771	236,799	228,214	225,241	224,645	233,756	233,394	233,031
R2	243,709	234,550	247,209	235,757	233,499	236,969	234,652	241,492	231,089
R3	249,210	232,577	236,203	229,818	236,214	233,722	236,458	241,210	238,813
R410	245,291	228,319	226,808	225,026	231,838	229,729	239,015	230,335	235,783
R5	245,865	243,560	250,917	235,772	238,029	233,437	240,772	240,916	240,934
R6	249,443	234,035	231,886	232,288	241,099	231,583	242,243	238,248	231,871
R7	252,035	231,835	227,284	236,508	220,074	245,946	239,099	240,122	236,382
R411	253,613	239,412	235,811	237,561	230,532	236,254	245,312	238,236	241,914
R9	251,848	243,224	242,096	249,905	245,381	249,941	245,082	253,618	248,530
R10	248,035	241,314	234,165	243,643	234,133	240,959	245,356	240,057	250,537
Μέσος όρος	247,940	235,860	236,918	235,449	233,604	236,318	240,175	239,763	238,888
Σχετική διαφορά	0,00%	-4,87%	-4,45%	-5,04%	-5,78%	-4,69%	-3,13%	-3,30%	-3,65%

Πίνακας 3: Τιμές του TTS των οχημάτων χωρίς έλεγχο και με ALINEA και διάφορες τιμές \hat{N}_{AL}

Η τιμή του \hat{N}_{AL} που επιλέγεται είναι εκείνο που αντιστοιχεί στην ελάχιστη τιμή της μαύρης γραμμής, δηλαδή η τιμή 21. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4) παρουσιάζονται οι τιμές του TTS των οχημάτων όταν εφαρμοστεί ο έλεγχος της ALINEA με την τιμή αυτή που επιλέχθηκε και συγκρίνονται με αυτές όταν δεν υπάρχει έλεγχος της κυκλοφορίας του δικτύου.

Επανάληψη/TTS	Χωρίς Έλεγχο	$\hat{N}_{AL} = 21$	Σχετική Διαφορά
1	240.4	225.2	-6%
2	243.7	233.5	-4%
3	249.2	236.2	-5%
4	245.3	231.8	-5%
5	245.9	238.0	-3%
6	249.4	241.1	-3%
7	252.0	220.1	-13%
8	253.6	230.5	-9%
9	251.8	245.4	-3%
10	248.0	234.1	-6%
Μέσος όρος	247.9	233.6	-6%

Πίνακας 4: Τιμές του TTS των οχημάτων χωρίς έλεγχο και με ALINEA

Στον

Πίνακας 4 παρατηρείται ότι με την εφαρμογή του ελέγχου της ALINEA προκύπτει μια σημαντική μείωση του χρόνου που χρειάζονται τα οχήματα να διανύσουν το δίκτυο, της τάξης του 6%. Η μείωση αυτή θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερη αν η περίοδος της προσομοίωσης περιοριζόταν στο διάστημα που παρουσιάζεται η μεγαλύτερη ροή οχημάτων, μεταξύ του 30° και 50° λεπτού, και αυτό διότι στα χρονικά διαστήματα της αρχής και του τέλους της προσομοίωσης η ροή των οχημάτων είναι πολύ μικρή και ο κυκλοφοριακός έλεγχος, επομένως, περιττός. Αναμφίβολα, συνεπώς η εφαρμογή του ελέγχου αυτού είναι αποτελεσματική και αναγκαία.

4.3 Προσομοίωση με έλεγχο ES-AD-ALINEA

Στην συνέχεια της μεταπτυχιακής εργασίας θα γίνει η εφαρμογή της στρατηγικής ελέγχου ALINEA, όπου ο υπολογισμός της εκτίμησης της τιμής \hat{N}_{AL} θα γίνεται σε πραγματικό χρόνο με την χρήση του προσαρμοστικού αλγορίθμου ES (Extremum Seeking). Η εφαρμογή του ES απαιτεί την επιλογή των παραμέτρων α (εύρος της διαταραχής), γ (κέρδος προσαρμογής), ω (συχνότητα διαταραχής) ενώ η παράμετρος h (φίλτρο υψηλής διέλευσης) ορίζεται εξ' αρχής ίση με 0.5. Για την ορθή επιλογή των παραπάνω παραμέτρων θα πραγματοποιηθούν αρκετές δοκιμές, όπου οι τιμές που θα δίνονται στις παραμέτρους θα κυμαίνονται σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος. Ο τρόπος, με τον οποίο θα γίνουν οι δοκιμές αυτές, θα είναι κρατώντας κάθε φορά δυο από τις παραμέτρους σταθερές και μεταβάλλοντας την άλλη. Επίσης έχουν οριστεί μια κατώτερη (17) και μια ανώτερη τιμή (25) που μπορεί να πάρει η τιμή της \hat{N}_{AL} , διότι με τον τρόπο αυτό υπάρχει καλύτερη λειτουργία του αλγορίθμου. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων θα γίνει με τον υπολογισμό του χρόνου παραμονής των οχημάτων στο δίκτυο (TTS) και στο τέλος αυτά θα συγκριθούν με τα αντίστοιχα TTS όταν στο δίκτυο δεν υπάρχει έλεγχος και όταν εφαρμόζεται μόνο η ALINEA.

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται τα αποτελέσματα κάποιων δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν, όπου παρουσιάζεται ο μέσος όρος και η σχετική διαφορά του TTS στην κάθε περίπτωση με αυτή του TTS χωρίς έλεγχο του δικτύου (στο παράρτημα βρίσκονται αναλυτικά όλες οι τιμές για κάθε προσομοίωση).

Πίνακας 5: Οι μεταβλητές γ και α παραμένουν σταθερές και ίσες με 1200 και 0.05 αντίστοιχα

Επανάληψη /TTS	Χωρίς έλεγχο	$\omega=1.5$	$\omega=2$	$\omega=2.25$	$\omega=2.5$	$\omega=2.75$	$\omega=3$	$\omega=3.14$
<i>Μέσος όρος</i>	247,9	239,7	240,4	241,7	243,2	240,6	238,2	238,0
<i>Σχετική διαφορά</i>	0,00%	-3,3%	-3,1%	-2,5%	-1,9%	-2,9%	-3,9%	-4%

Πίνακας 6: Οι μεταβλητές ω και α παραμένουν σταθερές και ίσες με 3.14 και 0.05 αντίστοιχα

Επανάληψη/TTS	Χωρίς έλεγχο	$\gamma=0.05$	$\gamma=0.5$	$\gamma=1.0$	$\gamma=10$	$\gamma=50$	$\gamma=200$	$\gamma=1200$	$\gamma=10000$
<i>Μέσος όρος</i>	247,9	238,7	237,6	238,2	238,0	238,0	238,0	238,0	238,0
<i>Σχετική διαφορά</i>	0,00%	-3,7%	-4,2%	-3,9%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%

Πίνακας 7: Οι μεταβλητές ω και α παραμένουν σταθερές και ίσες με 3.0 και 0.05 αντίστοιχα

Επανάληψη /TTS	Χωρίς έλεγχο	$\gamma=0.05$	$\gamma=0.5$	$\gamma=1.0$	$\gamma=10$	$\gamma=50$	$\gamma=200$	$\gamma=1200$	$\gamma=10000$
<i>Μέσος όρος</i>	247,9	238,1	240,6	239,4	240,2	240,1	240,1	238,2	240,1
<i>Σχετική διαφορά</i>	0,00%	-3,9%	-2,9%	-3,4%	-3,1%	-3,2%	-3,2%	-3,9%	-3,2%

Πίνακας 8: Οι μεταβλητές ω και α παραμένουν σταθερές και ίσες με 2.0 και 0.05 αντίστοιχα

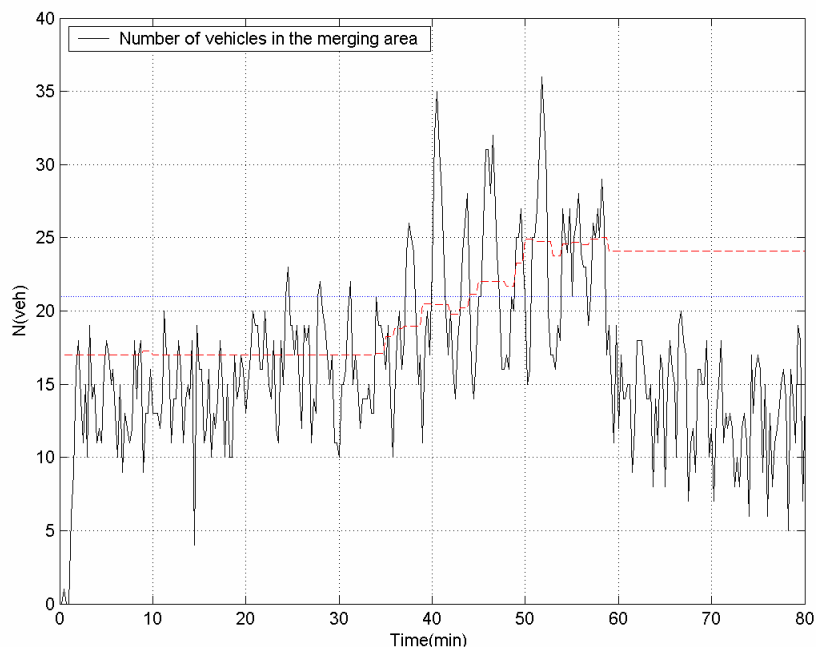
Επανάληψη/TTS	Χωρίς έλεγχο	$\gamma=0.05$	$\gamma=0.5$	$\gamma=1.0$	$\gamma=10$	$\gamma=200$	$\gamma=1200$	$\gamma=10000$
<i>Μέσος όρος</i>	247,9	242,3	241,7	241,1	240,4	240,4	240,4	240,4
<i>Σχετική διαφορά</i>	0,00%	-2,2%	-2,5%	-2,7%	-3,1%	-3,1%	-3,1%	-3,1%

Πίνακας 9: Οι μεταβλητές ω και γ παραμένουν σταθερές και ίσες με 2.0 και 1200 αντίστοιχα

Επανάληψη/TTS	Χωρίς έλεγχο	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.5$	$\alpha=1$	$\alpha=10$	$\alpha=100$	$\alpha=1200$	$\alpha=10000$
<i>Μέσος όρος</i>	247.9	240.4	240.9	241.2	240.9	241.2	241.3	241.3
<i>Σχετική διαφορά</i>	0.00%	-3.1%	-2.8%	-2.7%	-2.8%	-2.7%	-2.7%	-2.7%

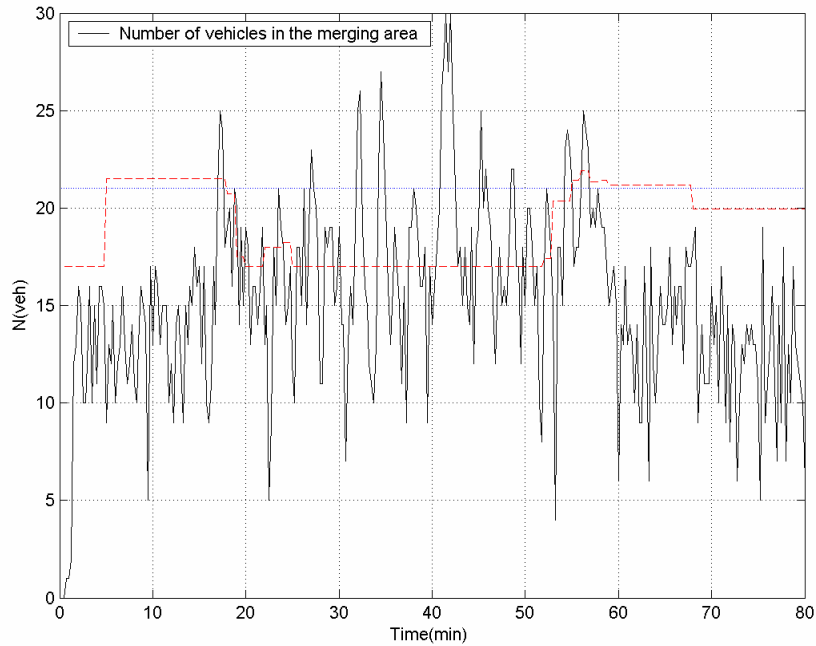
Παρατηρώντας, τα αποτελέσματα του TTS στους παραπάνω πίνακες διαπιστώνεται ότι παρόλο που εντοπίζεται κάποια μείωση σε σχέση με TTS όταν δεν υπάρχει κυκλοφοριακός έλεγχος στο δίκτυο, η μείωση αυτή δεν είναι αρκετή και μικρότερη από αυτή που προκύπτει από τον έλεγχο της ALINEA. Συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη μείωση που παρατηρείται όταν εφαρμοστεί ο έλεγχος της ES-AD-ALINEA ανέρχεται πάνω από 4% (Πίνακας 6), σε αντίθεση με τον έλεγχο της ALINEA που είναι 6% (Πίνακας 4).

Στην συνέχεια παρουσιάζονται κάποια γραφήματα που απεικονίζουν την εκτίμηση της τιμής \hat{N}_{AL} που υπολογίζεται από τον αλγόριθμο σε πραγματικό χρόνο.

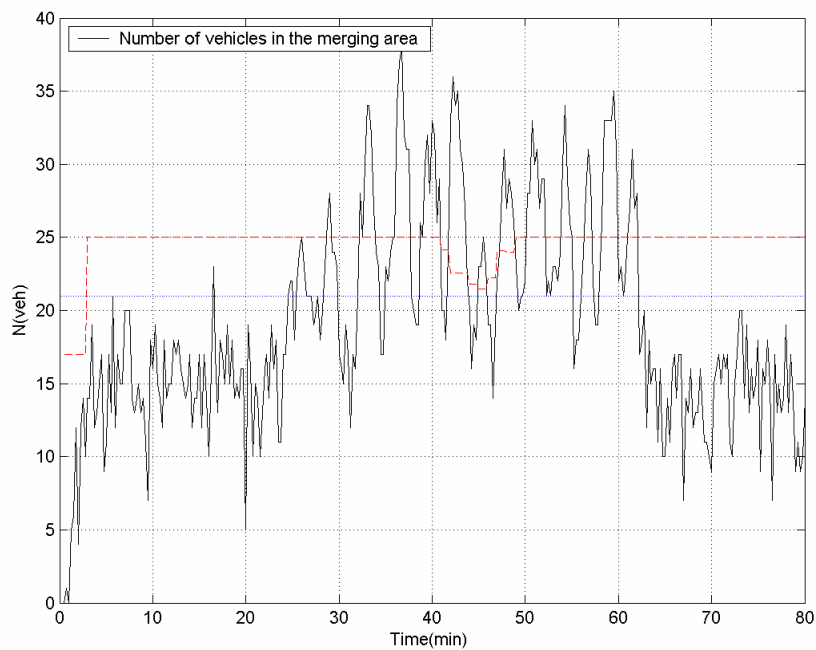


Σχήμα 16: Επανάληψη 1: $\gamma=0.05, \alpha=0.05, \omega=2.0, \sigma. \delta.-2.2\%$

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι η τιμή \hat{N}_{AL} αρχικά ισούται με το κάτω όριο, (17) και κάπου κοντά στο 40^ο λεπτό αυξάνεται σταδιακά μέχρι που σταθεροποιείται. Ο αλγόριθμος εδώ ενώ φαίνεται να αντιδρά στην μεγάλη κυκλοφοριακή ζήτηση που υπάρχει το χρονικό διάστημα μεταξύ του 30^ο και 50^ο λεπτού, όμως αργεί να το πράξει. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 17) αντίθετα παρουσιάζεται ο αλγόριθμος να δίνει κατά το χρονικό διάστημα αυτό με την μεγαλύτερη κυκλοφοριακή ροή μικρές τιμές στον αριθμό των οχημάτων, κοντά στο κάτω όριο, ενώ στη αρχή και στο τέλος της προσομοίωσης τείνει να κρατηθεί στην τιμή κοντά στο 21, που όπως διαπιστώθηκε από τον έλεγχο με ALINEA αποτελεί την κατάλληλη επιθυμητή τιμή. Στο Σχήμα 18 η τιμή του \hat{N}_{AL} διατηρείται για αρκετά μεγάλο διάστημα στο άνω όριο (25) με μια μικρή μείωση μεταξύ 40^ο και 50^ο λεπτού. Και στις τρεις προσομοιώσεις που αντιστοιχούν τα τρία σχήματα που αναφέρονται παραπάνω η σχετική διαφορά του TTS με εκείνο όταν δεν υπάρχει έλεγχος στο δίκτυο είναι αρκετά μικρή και ανέρχεται μόλις στη μείωση της τάξης του 2.2%.

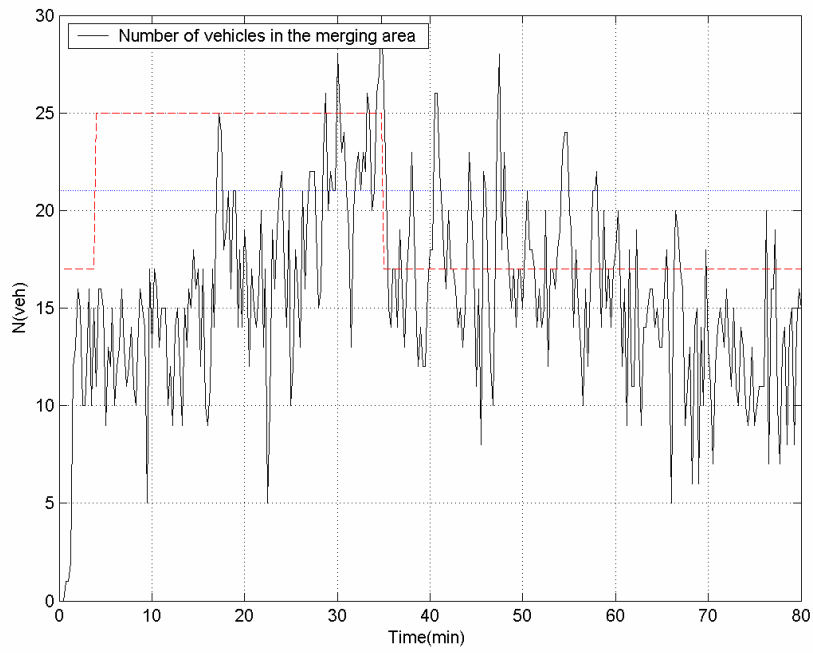


Σχήμα 17: Επανάληψη 2: $\gamma=0.05, \alpha=0.05, \omega=2.0, \sigma. \delta.-2.2\%$

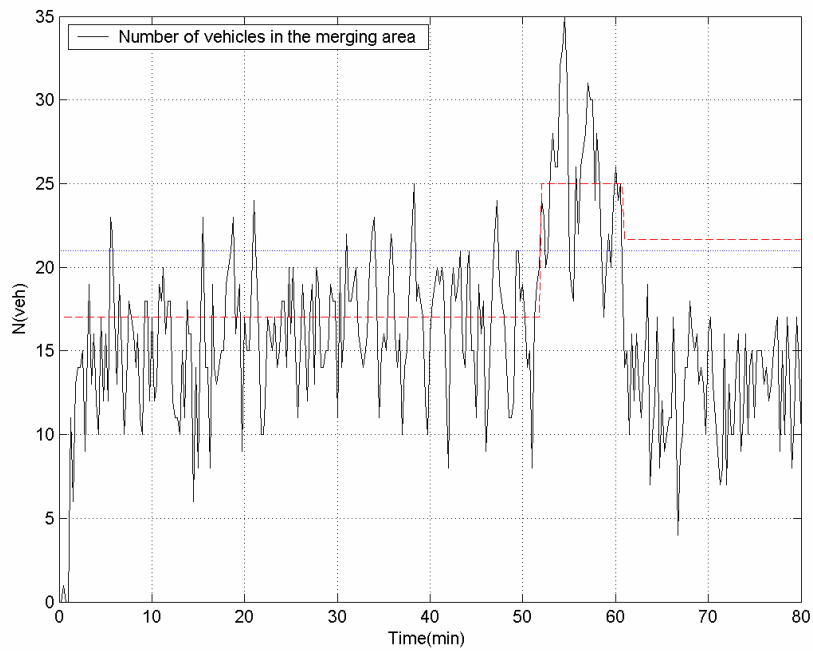


Σχήμα 18: Επανάληψη 10: $\gamma=0.05, \alpha=0.05, \omega=2.0, \sigma. \delta.-2.2\%$

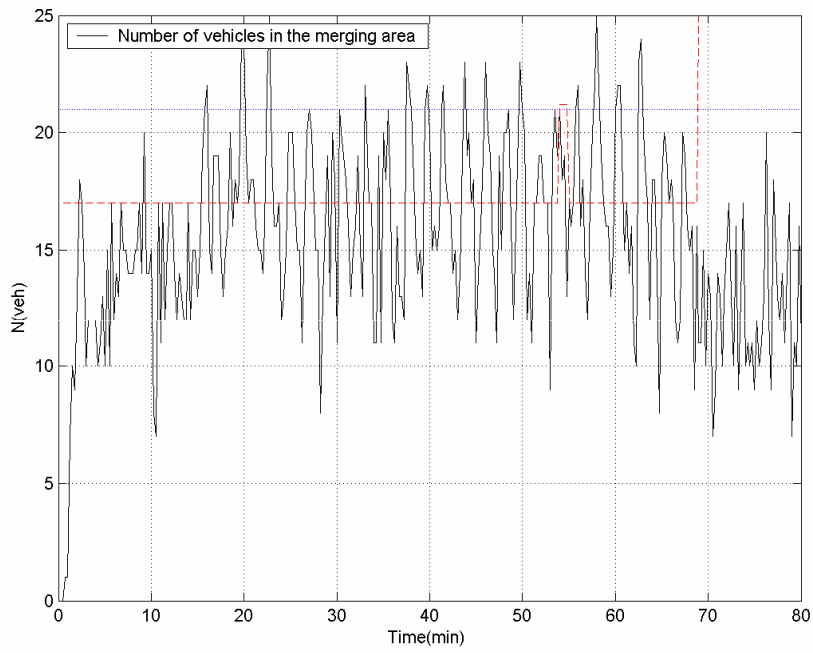
Στην συνέχεια τα γραφήματα που παρουσιάζονται παρατηρείται ότι παρόλο που για τις προσομοιώσεις που αντιστοιχούν η μείωση του TTS σε σχέση με το αντίστοιχο όταν δεν εφαρμοστεί κυκλοφοριακός έλεγχος στο δίκτυο είναι από τις μεγαλύτερες που εντοπίστηκαν, περίπου 4%, δεν παρουσιάζουν κάποια σημαντική «αντίδραση» του αλγορίθμου στην διάρκεια της μέγιστης κυκλοφοριακής ζήτησης.



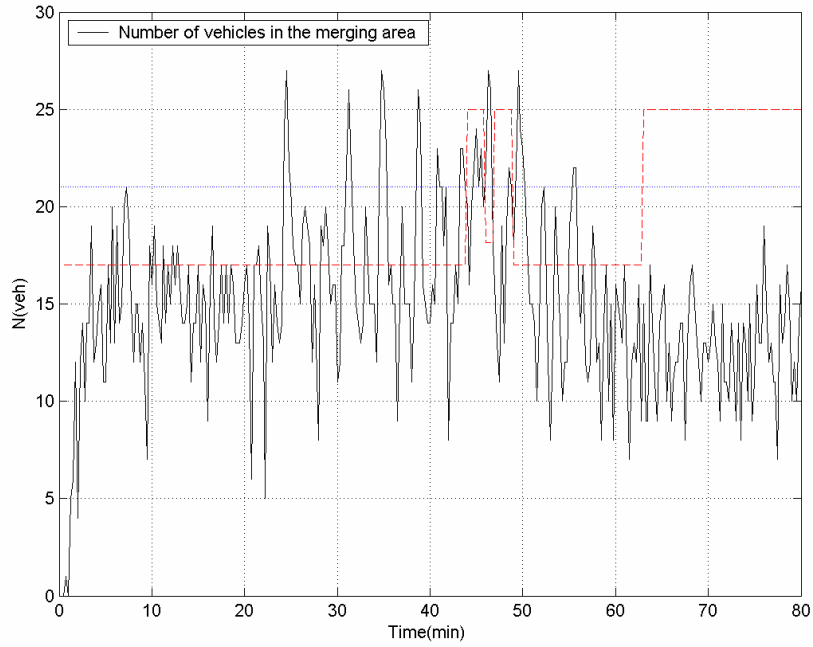
Σχήμα 19: Επανάληψη 2: $\gamma=0.5, \alpha=0.05, \omega=3.14, \sigma_{\chi} \delta. -4.2\%$



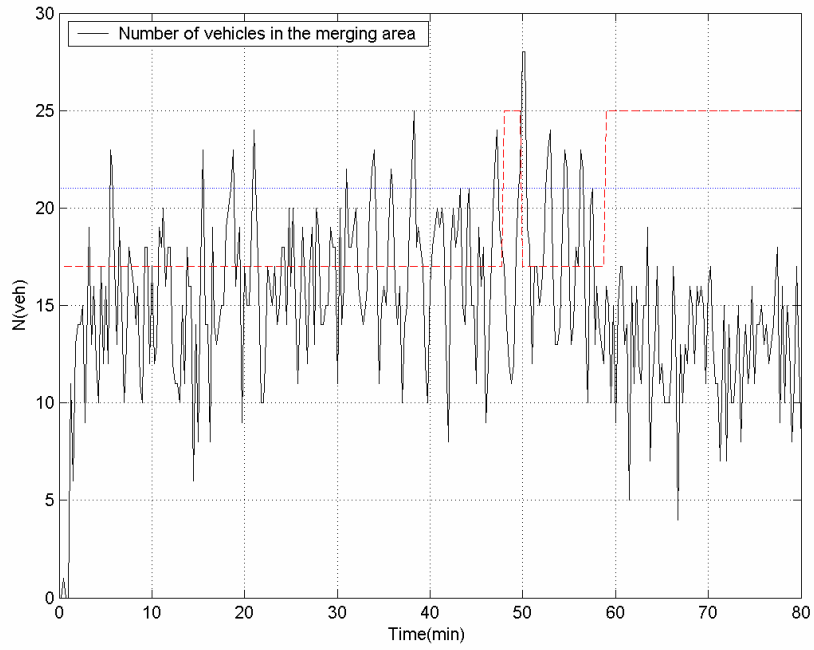
Σχήμα 20: Επανάληψη 7: $\gamma=0.5, \alpha=0.05, \omega=3.14, \sigma_{\chi} \delta. -4.2\%$



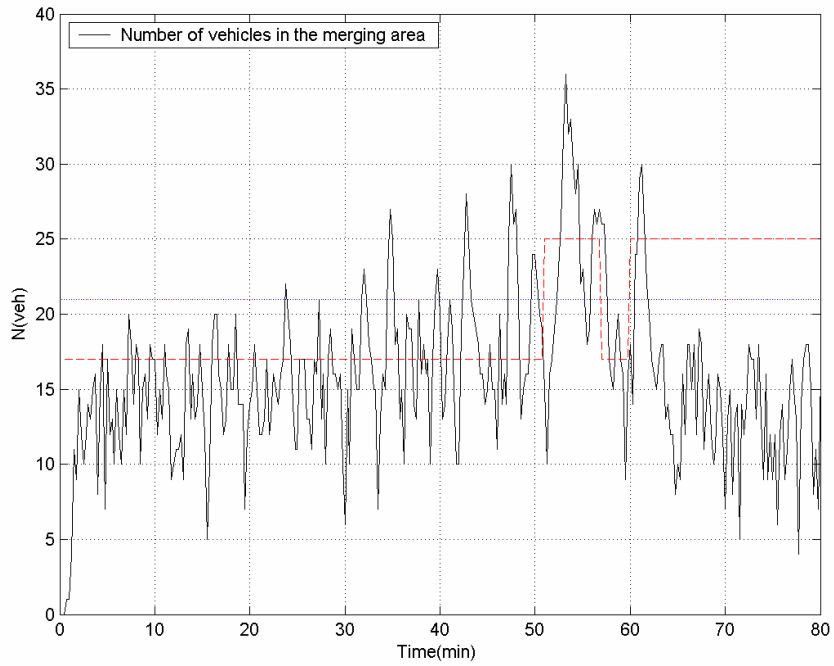
Σχήμα 21: Επανάληψη 9: $\gamma=0.5, \alpha=0.05, \omega=3.14, \sigma_{\chi. \delta.} -4.2\%$



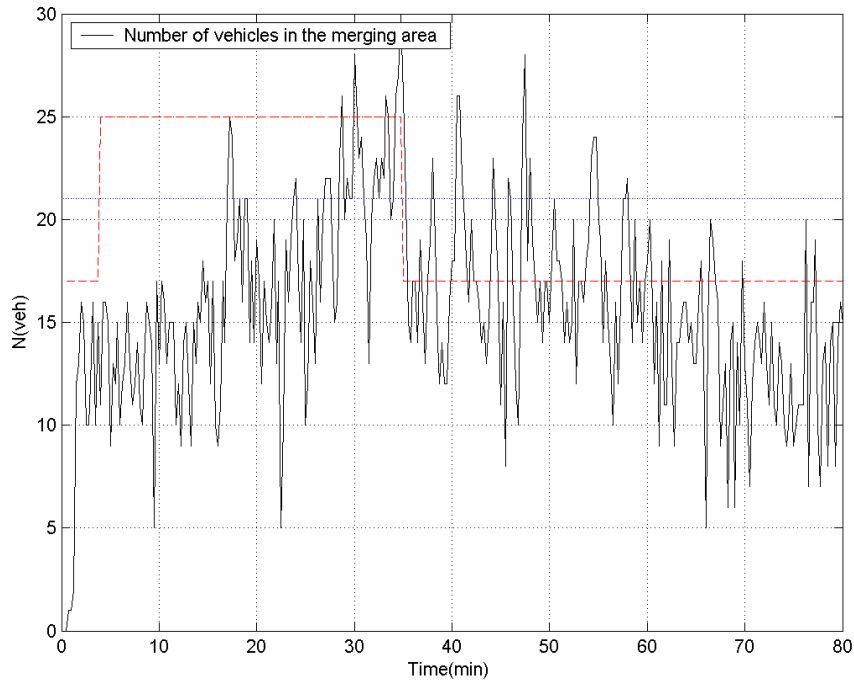
Σχήμα 22: Επανάληψη 10: $\gamma=0.5, \alpha=0.05, \omega=3.14, \sigma_{\chi. \delta.} -4.2\%$



Σχήμα 23: Επανάληψη 7: $\gamma=1200, \alpha=0.05, \omega=3.0, \sigma. \delta.-3.9\%$



Σχήμα 24: Επανάληψη 4: $\gamma=1200, \alpha=0.05, \omega=3.0, \sigma. \delta.-3.9\%$



Σχήμα 25: Επανάληψη 2: $\gamma=1200, \alpha=0.05, \omega=3.14, \sigma. \delta.-4.0\%$

Συμπερασματικά διαπιστώνεται ότι οι μειώσεις του TTS οφείλονται όχι στην αποτελεσματικότητα της μεθοδολογίας αλλά στο γεγονός ότι η ALINEA λειτουργεί αποτελεσματικά για όλες τις επιτρεπτές τιμές της εκτίμησης της κρίσιμης τιμής \hat{N}_{AL} . Αυτό φαίνεται καθαρά και από το Σχήμα 15 όπου για όλες τις επιτρεπτές τιμές του \hat{N}_{AL} (από 18 μέχρι 25) το χειρότερο μέσο TTS που αντιστοιχεί στην ALINEA είναι κάτω από το μέσο όρο του «χωρίς έλεγχο».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Aimsun 5.0 Microsimulator User's Manual.
- [2] Lentzakis A. F., Spiliopoulou A. D., Papamichail I., Papageorgiou M. and Wng Y., 2007. "Real-time work zone management for throughput maximization". In: 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, USA, paper 08-0772.
- [3] Papageorgiou M. and Kotsialos A., 2002 "Freeway ramp metering: An overview". IEEE Transactions on Intelligent Transportations Systems, 3, 271-281.
- [4] Papageorgiou M., and Papamichail I., 2008, "Overview of traffic signal operation policies for ramp metering". In: 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, USA, paper 08-0777.
- [5] E. Smaragdis, M. Papageorgiou and E. Kosmatopoulos. A flow- maximizing adaptive local ramp metering strategy. Transportation Research 38B, 251-270.2004
- [6] J.A Wattleworth. Peak – period Analysis and Control of a Freeway System. Highway Research Record , 157:1-21, 1965
- [7] Papageorgiou M., Papamichail I., Spiliopoulou A. D. and Lentzakis A. F. 2008, "Real-time merging traffic control with applications to toll plaza and work zone management". Transportation Research Part C 16, 535-553
- [8] Spiliopoulou A. D., Papamichail I. and Papageorgiou M., 2008. "Real-time toll plaza management for throughput maximization". In: 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, USA, paper 08-0771.
- [9] TSS- Transport Simulation System, "Aimsun microscopic traffic simulator: A tool for the analysis and assessment of its systems", <http://www.tss-bcn.com>
- [10] K.B. Ariyur and M.Krstic, Real-time Optimization by Extremum Seeking Feedback. Hoboken, NJ: Wiley , 2003
- [11] Nick j.Killingsworth and Miroslav Krstic, PID Tuning Using Extremum Seeking. IEEE Control Systems Magazine, pp 70-79, February 2006

- [12] Μανώλης Διαμαντής, 2005. «Έλεγχος ουράς ράμπας εισόδου με τη χρήση μικροσκοπικού προσομοιωτή. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- [13] Σπηλιοπούλου Αναστασία, 2007. «Έλεγχος ροής οχημάτων σε περιοχή διοδίων αυτοκινητόδρομου». Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ALINEA

Πίνακας 10: Οι τιμές του TTS για διαφορετικές τιμές του \hat{N}_{AL}

Επανάληψη /TTS	Χωρίς έλεγχο	18	19	20	21	22	23	24	25
R1	240,352	229,771	236,799	228,214	225,241	224,645	233,756	233,394	233,031
R2	243,709	234,550	247,209	235,757	233,499	236,969	234,652	241,492	231,089
R3	249,210	232,577	236,203	229,818	236,214	233,722	236,458	241,210	238,813
R410	245,291	228,319	226,808	225,026	231,838	229,729	239,015	230,335	235,783
R5	245,865	243,560	250,917	235,772	238,029	233,437	240,772	240,916	240,934
R6	249,443	234,035	231,886	232,288	241,099	231,583	242,243	238,248	231,871
R7	252,035	231,835	227,284	236,508	220,074	245,946	239,099	240,122	236,382
R411	253,613	239,412	235,811	237,561	230,532	236,254	245,312	238,236	241,914
R9	251,848	243,224	242,096	249,905	245,381	249,941	245,082	253,618	248,530
R10	248,035	241,314	234,165	243,643	234,133	240,959	245,356	240,057	250,537
<i>Μέσος όρος</i>	247,940	235,860	236,918	235,449	233,604	236,318	240,175	239,763	238,888
<i>Σχετική διαφορά</i>	<i>0,00%</i>	<i>-4,87%</i>	<i>-4,45%</i>	<i>-5,04%</i>	<i>-5,78%</i>	<i>-4,69%</i>	<i>-3,13%</i>	<i>-3,30%</i>	<i>-3,65%</i>

ΠΙΝΑΚΕΣ ES-AD-ALINEA

Πίνακας 11: Οι μεταβλητές γ και α παραμένουν σταθερές και ίσες με 1200 και 0.05 αντίστοιχα

Επανάληψη /TTS	Χωρίς έλεγχο	$\omega=1.5$	$\omega=2$	$\omega=2.25$	$\omega=2.5$	$\omega=2.75$	$\omega=3$	$\omega=3.14$
R9	251,848	253,133	248,530	248,530	258,388	255,486	252,990	256,078
R10	248,035	238,797	252,331	250,537	250,760	238,797	238,797	238,207
R1	240,352	240,743	229,068	236,222	233,031	233,031	233,031	233,031
R2	243,709	231,089	231,089	250,146	250,147	241,890	231,089	230,324
R3	249,210	240,220	234,315	234,315	234,315	241,278	240,220	240,220
R410	245,291	234,362	235,783	235,783	235,783	234,362	236,325	229,855
R5	245,865	247,307	247,330	236,690	244,451	237,938	240,934	240,934
R6	249,443	240,727	247,065	247,065	247,065	245,634	236,476	240,727
R7	252,035	239,977	236,382	236,382	236,382	239,517	236,476	240,027
R411	253,613	230,794	241,914	241,914	241,914	238,435	235,971	230,794
<i>Μέσος όρος</i>	247,940	239,715	240,381	241,758	243,224	240,637	238,231	238,020
<i>Σχετική διαφορά</i>	<i>0,00%</i>	<i>-3,32%</i>	<i>-3,05%</i>	<i>-2,49%</i>	<i>-1,90%</i>	<i>-2,95%</i>	<i>-3,92%</i>	<i>-4,00%</i>

Πίνακας 12: Οι μεταβλητές ω και α παραμένουν σταθερές και ίσες με 3.14 και 0.05 αντίστοιχα

Επανάληψη/TTS	Χωρίς έλεγχο	$\gamma=0.05$	$\gamma=0.5$	$\gamma=1.0$	$\gamma=10$	$\gamma=50$	$\gamma=200$	$\gamma=1200$	$\gamma=10000$
R9	251,848	253,133	254,301	256,078	256,078	256,078	256,078	256,078	256,078
R10	248,035	237,812	235,934	239,790	238,207	238,207	238,207	238,207	238,207
R1	240,352	231,943	233,031	233,031	233,031	233,031	233,031	233,031	233,031
R2	243,709	236,679	230,324	230,324	230,324	230,324	230,324	230,324	230,324
R3	249,210	240,220	240,220	240,220	240,220	240,220	240,220	240,220	240,220
R410	245,291	231,968	229,855	229,855	229,855	229,855	229,855	229,855	229,855
R5	245,865	242,498	240,934	240,934	240,934	240,934	240,934	240,934	240,934
R6	249,443	240,727	240,727	240,727	240,727	240,727	240,727	240,727	240,727
R7	252,035	241,376	240,027	240,027	240,027	240,027	240,027	240,027	240,027
R411	253,613	230,794	230,794	230,794	230,794	230,794	230,794	230,794	230,794
Μέσος όρος	247,940	238,715	237,615	238,178	238,020	238,020	238,020	238,020	238,020
Σχετική διαφορά	0,00%	-3,72%	-4,16%	-3,94%	-4,00%	-4,00%	-4,00%	-4,00%	-4,00%

Πίνακας 13: Οι μεταβλητές ω και α παραμένουν σταθερές και ίσες με 3.0 και 0.05 αντίστοιχα

Επανάληψη /TTS	Χωρίς έλεγχο	$\gamma=0.05$	$\gamma=0.5$	$\gamma=1.0$	$\gamma=10$	$\gamma=50$	$\gamma=200$	$\gamma=1200$	$\gamma=10000$
R9	251,85	251,54	253,33	253,26	254,10	252,99	252,99	252,99	252,99
R10	248,03	238,80	238,80	238,80	238,80	238,80	238,80	238,80	238,80
R1	240,35	228,80	233,03	233,03	233,03	233,03	233,03	233,03	233,03
R2	243,71	231,09	231,09	231,09	231,09	231,09	231,09	231,09	231,09
R3	249,21	240,22	240,22	240,22	240,22	240,22	240,22	240,22	240,22
R410	245,29	234,26	234,34	234,49	236,33	236,33	236,33	236,33	236,33
R5	245,86	240,93	240,93	240,93	240,93	240,93	240,93	240,93	240,93
R6	249,44	245,38	258,06	255,13	255,13	255,13	255,13	236,48	255,13
R7	252,03	238,33	236,48	236,48	236,48	236,48	236,48	236,48	236,48
R411	253,61	231,74	239,97	231,50	235,97	235,97	235,97	235,97	235,97
Μέσος όρος	247,94	238,11	240,62	239,49	240,21	240,10	240,10	238,23	240,10
Σχετική διαφορά	0,00%	-3,96%	-2,95%	-3,41%	-3,12%	-3,16%	-3,16%	-3,92%	-3,16%

Πίνακας 14: Οι μεταβλητές ω και α παραμένουν σταθερές και ίσες με 2.0 και 0.05 αντίστοιχα

Επανάληψη/TTS	Χωρίς έλεγχο	$\gamma=0.05$	$\gamma=0.5$	$\gamma=1.0$	$\gamma=10$	$\gamma=200$	$\gamma=1200$	$\gamma=10000$
R9	251,848	248,530	248,530	248,530	248,530	248,530	248,530	248,530
R10	248,035	251,087	252,675	252,464	252,331	252,331	252,331	252,331
R1	240,352	241,163	233,875	233,882	229,068	229,068	229,068	229,068
R2	243,709	236,268	239,305	233,482	231,089	231,089	231,089	231,089
R3	249,210	234,315	234,315	234,315	234,315	234,315	234,315	234,315
R410	245,291	241,191	235,783	235,783	235,783	235,783	235,783	235,783
R5	245,865	247,330	247,330	247,330	247,330	247,330	247,330	247,330

R6	249,443	247,065	247,065	247,065	247,065	247,065	247,065	247,065
R7	252,035	234,824	236,382	236,382	236,382	236,382	236,382	236,382
R411	253,613	241,914	241,914	241,914	241,914	241,914	241,914	241,914
Μέσος όρος	247,94	242,37	241,72	241,11	240,38	240,38	240,38	240,38
Σχετική διαφορά	0,00%	-2,25%	-2,51%	-2,75%	-3,05%	-3,05%	-3,05%	-3,05%

Πίνακας 15: Οι μεταβλητές ω και γ παραμένουν σταθερές και ίσες με 2.0 και 1200 αντίστοιχα

Επανάληψη/TTS	no control	a=0.05	a=0.5	a=1	a=10	a=100	a=1200	a=10000
R9	251.84822	248.53	248.53	248.53	248.53	248.53	248.53	248.5298
R10	248.03494	252.33	252.33	252.33	252.33	252.33	252.33	252.3312
R1	240.3522	229.07	229.07	229.07	229.07	233.03	233.03	233.0311
R2	243.70947	231.09	231.09	231.09	231.09	231.09	231.09	231.0894
R3	249.20953	234.31	238.81	241.12	238.81	238.81	238.81	238.8133
R410	245.29137	235.78	241.12	241.91	241.12	235.78	241.12	241.123
R5	245.8645	247.33	247.22	247.22	247.22	247.22	247.33	247.2226
R6	249.44258	247.06	242.88	242.88	242.88	247.06	242.88	242.8845
R7	252.0345	236.38	236.38	236.38	236.38	236.38	236.38	236.3817
R411	253.61253	241.91	241.91	241.91	241.91	241.91	241.91	241.9143
Μέσος όρος	247.93999	240.38	240.94	241.25	240.94	241.22	241.34	241.3321
Σχετική διαφορά	0.00%	-3.05%	-2.82%	-2.70%	-2.82%	-2.71%	-2.66%	-2.67%