

Dynamic Management System for Urban Traffic Optimization

By

Stelios Krasadakis

B.Eng., Technological Educational Institute of Crete

A THESIS

Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree

MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF INFORMATICS
ENGINEERING

SCHOOL OF APPLIED TECHNOLOGY

TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE

2017

Approved by:

Assistant Professor
Spyros Panagiotakis

Committee:

Prof. George Papadourakis
Prof. Evangelos Pallis

This page intentionally left blank

Copyright

Stelios Krasadakis, All rights reserved

2017

Abstract

There have been many efforts to standardize the definition of a smart city, but it remains controversial to this day. A latest report from International Telecommunication Union, defines smart city, after an extensive search in authors keywords, as a city associated with many modern technologies that stem from the information and telecommunication sectors. Objective of this new trend is to provide healthier quality of life and exploit various urban services with respect to economic, social and environmental aspects that benefit individuals. Services associated with smart cities include intelligent lighting, smart building's control, wireless chargers, parking place finders, traffic rerouting, traffic lights management etc.

According to statistics there is an increase in car sales over the years and hence in vehicle density in urban areas without however to have been taken into consideration the appropriate measures for alleviating traffic congestion. Intelligent Transport Systems are in research over a decade to achieve trip-time minimization and better traffic conditions inside urban areas. However, the most important goals of these researches are to decrease road accidents and CO₂ emissions by minimizing the Red Light idling process. All these issues formulate a NP-hard algorithmic problem that current Transportation Management Systems confront in a federated manner, where a centralized control unit sets a static traffic lights phase length.

Emerging wireless sensor networks provide Ad-hoc and Mesh networking, while their high processing and storing capabilities enable distributed data traffic analysis. Thus, a decentralized traffic management system may be realized, providing fast, accurate and efficient traffic control. Traffic extraction techniques exploit a magnitude of diversified traffic data, stemming from magnetometers, acoustic sensors, video cameras and radio frequency identifications (RFIDs). The high process requirements for analyzing traffic data in real time, especially in dense populated urban areas, led authors to propose the usage of Genetic Algorithms in their work as they provide efficiency and effectiveness.

In this Master Thesis, we examine two types of heuristic algorithms to minimize the average total delay in a single junction. Initially, a genetic algorithm approach for optimizing green timings within a fixed cycle length is introduced and an alternative fitness function

modelling urban traffic is examined. Secondly, based on our first algorithm, we extend its performance by introducing the concept of optimum cycle length. Finally, we examine the case of optimizing two interconnected junctions simultaneously, by minimizing the summation of total average delay from each junction. Our proposed architectural design, includes FOG nodes for Junction Clustering Management and a Cloud Data Center for historical data analysis.

Περίληψη

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για την προτυποποίηση της έννοιας "Έξυπνη Πόλη", όμως παραμένει αμφιλεγόμενη μέχρι σήμερα. Η τελευταία αναφορά από την Διεθνή Τηλεπικοινωνιακή Ένωση, ορίζει την έξυπνη πόλη, μετά από εκτενή έρευνα σε λέξεις κλειδιά διαφόρων αρθρογράφων ως μία πόλη συνδεδεμένη με πολλές νέες τεχνολογίες οι οποίες πηγάζουν από τους κλάδους των πληροφοριών και των επικοινωνιών. Στόχος αυτής της νέας τάσης είναι να προσφέρει πιο υγιεινό τρόπο ζωής καθώς και να εκμεταλλευτεί διάφορες αστικές υπηρεσίες, δείχνοντας σεβασμό σε οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές πτυχές που ωφελούν τα άτομα. Μερικές υπηρεσίες συνδεδεμένες με τον όρο έξυπνη πόλη είναι τα έξυπνα φώτα, έξυπνο φωτισμό κτηρίων καθώς και έξυπνη διαχείριση κτηρίων, ηλιακοί συλλέκτες, ασύρματοι φορτιστές, εύρεση διαθέσιμου parking, ανά-δρομολόγηση κίνησης, διαχείριση φαναριών οδικού δικτύου κ.α.

Σύμφωνα με τους S. Das και P. Roychowdhury, υπάρχει μία ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση στις πωλήσεις αυτοκινήτων από έτος σε έτος και ως εκ τούτου και στην πυκνότητα της κίνησης σε αστικές περιοχές, δίχως να έχουν παρθεί αντίστοιχα μέτρα για το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης έξυπνα συστήματα μεταφορών βρίσκονται υπό έρευνα πάνω από μία δεκαετία με στόχο να επιτύχουν μία συνολική μείωση στον χρόνο ενός ταξιδιού και καλύτερες συνθήκες εντός αστικών περιοχών, όμως οι μεγαλύτεροι στόχοι αυτών των ερευνών είναι η μείωση των τροχαίων ατυχημάτων και η μείωση των εκπομπών ρύπων κατά την διαδικασία ακινητοποίηση πίσω από κόκκινο σηματοδότη. Όλα αυτά συνθέτουν ένα δύσκολο μη ντετερμινιστικό πολυωνυμικό πρόβλημα που τα σημερινά συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας αντιμετωπίζουν με ομόσπονδο τρόπο, όπου μία κεντρική μονάδα διαχείρισης ορίζει στατικούς χρόνους πράσινου για κάθε διαφορετική φάση.

Τα αναδυόμενα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων παρέχουν δικτύωση Ad-hoc και Mesh, ενώ οι υψηλές δυνατότητες επεξεργασίας και αποθήκευσης τους επιτρέπουν την ανάλυση κυκλοφοριακής κατανομής δεδομένων, επιτρέποντας έτσι την υλοποίηση ενός αποκεντρωμένου συστήματος διαχείρισης της κυκλοφορίας, το οποίο παρέχει γρήγορο, ακριβή και αποτελεσματικότερο έλεγχο της κυκλοφορίας. Οι καλύτερες τεχνικές εξόρυξης της κυκλοφορίας αξιοποιούν ένα μέγεθος διαφοροποιημένων δεδομένων κίνησης, που προέρχονται από μαγνητόμετρα, ακουστικούς αισθητήρες, βιντεοκάμερες και αναγνωρίσεις

ραδιοσυχνότητων (RFID). Ωστόσο, οι υψηλές απαιτήσεις διεργασίας για την ανάλυση αυτών των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ειδικά σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, οδήγησαν τους συγγραφείς να προτείνουν τη χρήση των γενετικών αλγορίθμων στην εργασία τους, καθώς παρέχουν αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα εξετάσουμε δύο τύπους γενετικών αλγορίθμων, προκειμένου να ελαχιστοποιήσουμε την συνολική μέση καθυστέρηση σε μια ενιαία διασταύρωση. Αρχικά, θα δημιουργηθεί μια προσέγγιση γενετικού αλγορίθμου για τη βελτιστοποίηση των πράσινων χρονισμών εντός σταθερού μήκους κύκλου. Επιπλέον, θα εξεταστεί μια εναλλακτική συνάρτηση καταλληλότητας. Εν συνεχεία, με βάση τον πρώτο μας αλγόριθμο, θα επεκτείνουμε τις επιδόσεις του εισάγοντας την ιδέα του βέλτιστου μήκους κύκλου. Τέλος, θα εξετάσουμε και την περίπτωση βελτιστοποίησης 2 άμεσα διασυνδεδεμένων κόμβων, ελαχιστοποιώντας την άθροιση της συνολικής μέσης καθυστέρησης από κάθε διασταύρωση, ώστε να χωρέσει στον αρχιτεκτονικό μας σχεδιασμό, ο οποίος περιλαμβάνει κόμβους FOG για τη διαχείριση υπο-περιοχών και Κέντρο Δεδομένων πάνω σε Cloud αρχιτεκτονική για την ανάλυση ιστορικών δεδομένων.

Περιεχόμενα

Copyright	iii
Abstract	iv
Περίληψη	vi
Περιεχόμενα.....	iv
Εικόνες.....	v
Πίνακες	vi
Γραφήματα.....	vii
Ευχαριστίες.....	viii
Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή	1
1.1 - Επισκόπηση Προβλήματος.....	2
1.2 - Στόχοι & Ερευνητικά Ερωτήματα.....	4
1.3 - Δομή εργασίας.....	5
Κεφάλαιο 2 - Όροι και Τεχνολογίες	6
2.1 - Εισαγωγή στους γενετικούς αλγόριθμους.....	6
2.2 - Υλοποίηση Γενετικών Αλγορίθμων	6
2.2.1 - Αναπαράσταση Χρωμοσώματος	8
2.2.3 - Επιλογή ανάλογη της καταλληλότητας (Selection)	11
2.2.4-Διασταύρωση (Crossover).....	12
2.2.5- Μετάλλαξη (Mutation)	13
2.2.6 - Αναστροφή ή ανταλλαγή (Inversion/Swapping).....	15
2.2.7- Συνάρτηση Καταλληλότητας (Fitness Function).....	15
Κεφάλαιο 3 – Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	17
Κεφάλαιο 4 - Προσέγγιση.....	23
4.1 Αλγοριθμική προσέγγιση.....	23
4.2 Ανάλυση προβλήματος.....	28
Κεφάλαιο 5 – Προσομοίωση & Αποτελέσματα	32
5.1 –Προσομοιωτής Simulation of Urban Mobility	32
5.1.1 Κόμβοι	33
5.1.2 Ακμές	34

5.1.3 Διασυνδέσεις.....	36
5.1.4 Παραμετροποίηση δικτύου	36
5.1.5 Δημιουργία Κίνησης	37
5.1.6 TraCIAPI.....	38
5.1.7 Συλλογή δεδομένων	39
5.2 -Σενάρια	41
5.2.1 - Πρώτο σενάριο συμφόρησης.....	42
5.2.2 - Δεύτερο σενάριο συμφόρησης	43
5.2.3 - Τρίτο σενάριο συμφόρησης.....	44
5.2.4 - Τέταρτο σενάριο συμφόρησης.....	44
5.2.5 - Πέμπτο σενάριο συμφόρησης.....	45
5.2.6 - Έκτο σενάριο συμφόρησης.....	45
5.2.6 - Έβδομο σενάριο συμφόρησης	46
5.3 -Αποτελέσματα σεναρίων	46
5.3.1 - Πρώτο σενάριο συμφόρησης.....	47
5.3.2 - Δεύτερο σενάριο συμφόρησης	51
5.3.3 - Τρίτο σενάριο συμφόρησης.....	53
5.3.4 - Τέταρτο σενάριο συμφόρησης.....	56
5.3.5 - Πέμπτο σενάριο συμφόρησης.....	59
5.3.6 - Έκτο σενάριο συμφόρησης.....	62
5.3.6 - Έβδομο σενάριο συμφόρησης	65
Κεφάλαιο 6 - Επίλογος	68
6.1 - Σύνοψη	68
6.2 - Επεκτάσεις.....	69
Βιβλιογραφία	72
Παράρτημα Α.....	75

Εικόνες

Εικόνα 1: Διάγραμμα ροής Γενετικών Αλγόριθμων.....	7
Εικόνα 2: DNA χρωμόσωμα και γονίδιο.....	8
Εικόνα 3: Δυαδική κωδικοποίηση ακεραίων.....	9
Εικόνα 4: Ακέραια κωδικοποίηση.....	10
Εικόνα 5: Αναπαράσταση άμεσης τιμής.....	11
Εικόνα 6: Διασταύρωση ενός και δύο σημείων.....	13
Εικόνα 7: Μετάλλαξη σε δυαδική αναπαράσταση.....	14
Εικόνα 8: Αναστροφή σε άτομο με δεκαδική αναπαράσταση.....	15
Εικόνα 9: Τεχνολογίες Ευφυών Συστημάτων.....	17
Εικόνα 10: Άτομο με ακέραια κωδικοποίηση.....	25
Εικόνα 11: Roulette Wheel.....	25
Εικόνα 12: Άτομο 1 προς αναπαραγωγή.....	26
Εικόνα 13: Άτομο 2 προς αναπαραγωγή.....	26
Εικόνα 14: Επιλεγμένο άτομο για μετάλλαξη.....	27
Εικόνα 15: Νέο άτομο μετά την μετάλλαξη.....	27
Εικόνα 16: Επιλεγμένο άτομο για ανταλλαγή γονιδίων.....	27
Εικόνα 17: Νέο άτομο μετά την ανταλλαγή.....	27
Εικόνα 18: Γενετικός Αλγόριθμος Flow.....	28
Εικόνα 19: Intersection Design.....	29
Εικόνα 20: Διαχείριση δικτύου.....	32
Εικόνα 21: Αρχείο κόμβων xml.....	34
Εικόνα 22: Αρχείο Ακμών xml.....	35
Εικόνα 23: Αρχείο διασυνδέσεων.....	36
Εικόνα 24: Αρχείο παραμετροποίησης.....	37
Εικόνα 25: Αρχείο διαδρομών.....	38
Εικόνα 26: Interface Προσομοιωτή.....	41
Εικόνα 27: Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός Υψηλού Επιπέδου.....	71
Εικόνα 28: Αρχιτεκτονικός Σχεδιασμός Χαμηλού Επιπέδου.....	71

Πίνακες

Πίνακας 1: Κωδικοποίηση Gray.....	10
Πίνακας 2: Σενάριο 1PF,TD ανά αλγόριθμο.....	48
Πίνακας 3: Σενάριο 1 Throughput/Hour.....	49
Πίνακας 4: Σενάριο 2 Util, Throughput.....	51
Πίνακας 5: Σενάριο 3 Util, Throughput.....	54
Πίνακας 6: Σενάριο 4 Util, Throughput.....	57
Πίνακας 7: Σενάριο 5 Util, Throughput.....	60
Πίνακας 8: Σενάριο 6 Util, Throughput.....	63
Πίνακας 9: Static & Dynamic Throughput per lane.....	67
Πίνακας 10: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 1 Στατικοί Χρόνοι.....	76
Πίνακας 11: Συμφόρηση Σενάριο 1 Στατικοί χρόνοι.....	76
Πίνακας 12: Συμφόρηση Σενάριο 1 Δυναμικοί Χρόνοι.....	77
Πίνακας 13: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 1 Δυναμικοί Χρόνοι.....	77
Πίνακας 14: Συμφόρηση Σενάριο 1 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος.....	77
Πίνακας 15: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 1 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος.....	77
Πίνακας 16: Συμφόρηση Σενάριο 2 Στατικοί Χρόνοι.....	78
Πίνακας 17: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 2 Στατικοί Χρόνοι.....	78
Πίνακας 18: Συμφόρηση Σενάριο 2 Δυναμικοί Χρόνοι.....	79
Πίνακας 19: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 2 Δυναμικοί Χρόνοι.....	79
Πίνακας 20: Συμφόρηση Σενάριο 2 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος.....	79
Πίνακας 21: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 2 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος.....	80
Πίνακας 22: Συμφόρηση Σενάριο 3 Στατικοί Χρόνοι.....	80
Πίνακας 23: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 3 Στατικοί Χρόνοι.....	81
Πίνακας 24: Συμφόρηση Σενάριο 3 Δυναμικοί Χρόνοι.....	81
Πίνακας 25:Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 3 Δυναμικοί Χρόνοι.....	82
Πίνακας 26:Συμφόρηση Σενάριο 3 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος.....	82
Πίνακας 27: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 3 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος.....	83
Πίνακας 28: Συμφόρηση Σενάριο 4 Στατικοί Χρόνοι.....	83
Πίνακας 29: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 4 Στατικοί Χρόνοι.....	84
Πίνακας 30: Συμφόρηση Σενάριο 4 Δυναμικοί Χρόνοι.....	84
Πίνακας 31: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 4 Δυναμικοί Χρόνοι.....	85
Πίνακας 32: Συμφόρηση Σενάριο 4 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος.....	85
Πίνακας 33: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 4 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος.....	86
Πίνακας 34: Συμφόρηση Σενάριο 5 Στατικοί Χρόνοι.....	86
Πίνακας 35: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 5 Στατικού Χρόνοι.....	87
Πίνακας 36: Συμφόρηση Σενάριο 5 Δυναμικοί Χρόνοι.....	87
Πίνακας 37: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 5 Δυναμικοί Χρόνοι.....	88
Πίνακας 38: Συμφόρηση Σενάριο 5 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος.....	88
Πίνακας 39: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 5 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος.....	89
Πίνακας 40: Συμφόρηση Σενάριο 6 Στατικοί Χρόνοι.....	89
Πίνακας 41: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 6 Στατικοί Χρόνοι.....	90
Πίνακας 42: Συμφόρηση Σενάριο 6 Δυναμικοί Χρόνοι.....	90
Πίνακας 43: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 6 Δυναμικοί Χρόνοι.....	90
Πίνακας 44: Συμφόρηση Σενάριο 6 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος.....	91
Πίνακας 45: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 6 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος.....	91

Γραφήματα

Γράφημα 1: Σενάριο 1 Total Average Delay/Cycle	50
Γράφημα 2: Σενάριο 1 Total Average Delay for all Cycles	50
Γράφημα 3: Σενάριο 2 Total Throughput	52
Γράφημα 4: Σενάριο 2 Total Average Delay/Cycle	52
Γράφημα 5: Σενάριο 2 Total Average Delay for all Cycles	53
Γράφημα 6: Σενάριο 3 Total Throughput	55
Γράφημα 7: Σενάριο 3 Total Average Delay/Cycle	55
Γράφημα 8: Σενάριο 3 Total Average Delay for all Cycles	56
Γράφημα 9: Σενάριο 4 Total Throughput	58
Γράφημα 10: Σενάριο 4 Total Average Delay/Cycle	58
Γράφημα 11: Σενάριο 4 Total Average Delay for all Cycles	59
Γράφημα 12: Σενάριο 5 Total Throughput	61
Γράφημα 13: Σενάριο 5 Total Average Delay/Cycle	61
Γράφημα 14: Σενάριο 5 Total Average Delay for all cycles	62
Γράφημα 15: Σενάριο 6 Total Throughput	64
Γράφημα 16: Σενάριο 6 Total Average Delay/Cycle	64
Γράφημα 17: Σενάριο 6 Total Average Delay for all Cycles	65
Γράφημα 18: Σενάριο 7, Total Average Delay/Cycle	66
Γράφημα 19: Σενάριο 7 Total Throughput	66

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας καθώς και το τέλος των μεταπτυχιακών μου σπουδών, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Παναγιωτάκη Σπυρίδων του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής του ΤΕΙ Κρήτης, για την αμέριστη βοήθεια και καθοδήγηση στην σπουδαστική μου σταδιοδρομία καθώς επίσης και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την συγκεκριμένη εργασία. Τέλος δεν θα έπρεπε να ξεχάσω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου καθώς και όλους όσους με στήριξαν πνευματικά βοηθώντας με να φέρω εις πέρας το έργο που μου ανατέθηκε.

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

Μέχρι σήμερα έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για την προτυποποίηση του ορισμού "έξυπνη πόλη" αλλά ακόμα παραμένει αμφιλεγόμενο. Μετά από έρευνα στις λέξεις κλειδιά των αρθρογράφων, ορίστηκε από τον Διεθνή Οργανισμό Τηλεπικοινωνιών ως η πόλη που περιλαμβάνει νέες τεχνολογίες και πηγάζουν από τον τομέα των πληροφοριών και τηλεπικοινωνιών. Ο σκοπός της δημιουργίας έξυπνων πόλεων είναι να δώσουν ένα πιο υγιεινό τρόπο ζωής και να εκμεταλλευτούν διάφορες υπηρεσίες με σεβασμό στις κοινωνικές και περιβαλλοντικές πτυχές. Υπηρεσίες όπως έξυπνος χειρισμός κτιρίων, εύρεση διαθέσιμου παρκινγκ, πληροφορίες αλλαγής δρομολογίου λόγω κίνησης και έξυπνοι σηματοδότες γίνονται πλέον διαθέσιμοι[1].

Οι έξυπνες πόλεις χρειάζονται έξυπνες υπηρεσίες επικοινωνιών. Αρμόζουσες μετακινήσεις και υπηρεσίες επιταχύνουν την ανάπτυξη και την εξέλιξη μιας κοινωνίας. Άλλωστε, δεν υπάρχει τίποτα πιο απογοητευτικό από το να περιμένεις σε μια ουρά από αυτοκίνητα, έως 'ότου ανάψει ο φωτεινός σηματοδότης στο πράσινο. Πόσο μάλλον όταν θα πρέπει να περιμένεις για δύο και τρεις εναλλαγές του ίδιου σηματοδότη ώστε να περάσεις την διασταύρωση. Εάν κατοικείτε σε κάποια πυκνοκατοικημένη πόλη θα έπρεπε ήδη να είστε εξοικειωμένοι με το παραπάνω σενάριο. Ένα εικοσάλεπτο δρομολόγιο μέχρι την εργασία σας με το αυτοκίνητο μπορεί να χρειαστεί παραπάνω από μία ώρα όταν περιλαμβάνει κίνηση. Ταυτόχρονα τίποτα δεν είναι πιο δελεαστικό στο να παραβείτε τον κανόνα όταν περιμένετε ένα σηματοδότη για μεγάλο χρονικό διάστημα ενώ δεν υπάρχει κανένα αυτοκίνητο να διασχίζει την διασταύρωση.

Η τεχνητή νοημοσύνη(A.I.) πρόκειται για μία λύση όταν εφαρμόζεται στους δρόμους. Τα οφέλη από την αλλαγή αυτή είναι η μείωση των εκπομπών ρύπων, μικρότεροι χρόνοι αναμονής σε διασταυρώσεις, μείωση των καυσίμων από την μικρότερη αναμονή καθώς επίσης μείωση τροχαίων ατυχημάτων. Ταυτόχρονα νέες τεχνικές εξόρυξης της κυκλοφορίας αξιοποιούν ένα μέγεθος διαφοροποιημένων δεδομένων κίνησης που προέρχονται από μαγνητόμετρα, ακουστικούς αισθητήρες, βιντεοκάμερες, επαγωγικούς βρόγχους και αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων(RFID)[8].

Όλες αυτές οι υπηρεσίες μπορούν να εφαρμοστούν και σε μεγάλες πόλεις όπου έχουν άμεση εφαρμογή αλλά και σε μικρές. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως μέρος ενός δημοσίου μεταφορικού συστήματος, δίνοντας πράσινο σε ασθενοφόρα, λεωφορεία και άλλα μεγάλα κινητά που καθυστερούν τα υπόλοιπα αυτοκίνητα, αυξάνοντας την συνολική ροή.

1.1 - Επισκόπηση Προβλήματος

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι μια κατάσταση σε ένα οδικό δίκτυο η οποία συμβαίνει καθώς αυξάνεται η χρήση του δρόμου στην περίοδο του χρόνου και χαρακτηρίζεται από χαμηλές ταχύτητες, μεγάλους χρόνους ταξιδιού και μεγάλες ουρές αυτοκινήτων. Ακόμα, όταν η κυκλοφορία είναι αρκετά μεγάλη τότε αυξάνεται η αλληλεπίδραση μεταξύ των οχημάτων και αυτό οδηγεί στην μείωση της ταχύτητας των οχημάτων που κινούνται στο δρόμο. Αυτό το φαινόμενο τελικά οδηγεί σε κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Καθώς οι απαιτήσεις από άποψη κινητικότητας πλησιάζουν την χωρητικότητα ενός δρόμου, τότε αυξάνεται σε μεγάλα επίπεδα και η κυκλοφοριακή συμφόρηση. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση μπορεί να οδηγήσει τους οδηγούς σε εκνευρισμό η οποία με την σειρά της μπορεί να επηρεάσει την οδική ικανότητα. Συνήθως οι οδηγοί, γνωρίζοντας την ύπαρξη κυκλοφοριακής συμφόρησης, αναζητούν άλλους δρόμους για να φτάσουν στον προορισμό τους. Οι συντομότερες και πιο γρήγορες διαδρομές συνήθως αποτελούνται από μεγαλύτερους σε χωρητικότητα δρόμους. Αυτά τα κομμάτια δρόμων συνήθως αποτελούν μέρος περισσότερων από μία διαδρομές και επιλέγονται από περισσότερους οδηγούς. Όσα περισσότερα οχήματα επιλέγουν να περάσουν από αυτούς τους δρόμους τόσο πιθανότερο είναι να συναντήσουν συμφόρηση και χαμηλές ταχύτητες.

Ένα άλλο σενάριο δημιουργίας συμφόρησης είναι όταν ένα αυτοκίνητο το οποίο προπορεύεται από κάποια άλλα κινείται με πολύ χαμηλή ταχύτητα. Η χαμηλή ταχύτητα ενός αυτοκινήτου τελικά, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των ταχυτήτων των αυτοκινήτων που ακολουθούν. Αυτή η κατάσταση μπορεί να οδηγήσει σε κυκλοφοριακή συμφόρηση λόγω του ότι τα περισσότερα αυτοκίνητα κινούνται με μικρότερη ταχύτητα από αυτή που θέλουν και από αυτή που μπορούν να κινηθούν.

Ιδανικά, για την επίλυση τέτοιων φαινομένων θα έπρεπε να αναπτυχθεί πιο σύνθετο και εκτεταμένο οδικό δίκτυο ικανό να εξυπηρετήσει την αυξημένη ζήτηση και να έχει χωρητικότητα τέτοια που να αποφεύγεται η δημιουργία ουρών και καθυστερήσεων. Παρόλα αυτά, τα οδικά δίκτυα σήμερα έχουν αγγίξει τα όρια των δυνατοτήτων επέκτασης τους λόγω χωροταξικών παραγόντων και δραματικά μεγάλου κόστους που θα προϋπέθετε ο επανασχεδιασμός τους. Ως εκ τούτου έχουν δημιουργηθεί αρκετές ερευνητικές κατευθύνσεις που επιχειρούν να βελτιώσουν την υπάρχουσα κατάσταση. Τέτοιες κατευθύνσεις είναι:

1. Η πρόβλεψη της κίνησης η οποία μπορεί να παρέχει πληροφορίες για την βέλτιστη διαχείριση της αναμενόμενης ζήτησης στο οδικό δίκτυο μέσα από χρήση νευρωνικών δικτύων και ασαφούς λογικής[10].
2. Η ανακατεύθυνση της κίνησης των οχημάτων(Re-routing) που αποσκοπούν στην μείωση του χρόνου ταξιδιού των οχημάτων μέσα στο οδικό δίκτυο [11].
3. Προχωρημένες τεχνικές εξαγωγής και επεξεργασίας εικόνας ώστε να μπορούν ταχέως να εξάγονται συμπεράσματα από εναέριες κάμερες παρακολούθησης της κυκλοφορίας για σημεία συμφόρησης, περιπτώσεις ατυχημάτων, χαρακτηριστικά της οδικής κίνησης (μέση ταχύτητα, χρόνος αναμονής) κ.α. [12],[13].

Ταυτόχρονα, ένα αναπτυγμένο επιστημονικό πεδίο αναφορικά με την επίλυση του κυκλοφοριακού ζητήματος είναι ο έλεγχος της οδικής κυκλοφορίας μέσω της υπάρχουσας υποδομής. Η ρύθμιση των φαναριών απαιτεί συνήθως εκτεταμένη μελέτη καθώς η αλληλεπίδραση μεταξύ επιλογών σε διαφορετικά σημεία του δικτύου, είναι ιδιαίτερα έντονη. Παρόλα αυτά στην πλειοψηφία των διασταυρώσεων χρησιμοποιείται μια πολύ απλή μέθοδος ελέγχου η οποία αποτελείται από μια διαδοχή πράσινου σήματος σταθερού μήκους και περιόδου για κάθε ρεύμα που ανταγωνίζεται για την χρήση μιας διασταύρωσης. Αν και οι φάσεις αυτές καθώς και τα μήκη προέρχονται από διάφορες μελέτες, δεν δύνανται να εξασφαλίσουν την ομαλή διευθέτηση της κυκλοφορίας, αφού η ζήτηση των οχημάτων σε διάφορους δρόμους δεν είναι συνεχούς χρόνου και η ροή διαφέρει ανάμεσα σε χρονικές στιγμές. Μέσα στην πάροδο μίας μέρας υπάρχουν διαστήματα υψηλής συγκέντρωσης οχημάτων σε διάφορες περιοχές του οδικού δικτύου αλλά και έκτακτα συμβάντα (ατυχήματα, έργα, εκδηλώσεις κ.α.). Συνεπώς απαιτείται ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη συστημάτων που να είναι σε θέση να

προσαρμόζονται(Adaptation & Self-organization) στις αλλαγές του περιβάλλοντος και να καθορίζουν την βέλτιστη ρύθμιση των φαναριών με στόχο την βελτιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου σε τοπικό επίπεδο (στην υπό έλεγχο διασταύρωση) αλλά και στο σύνολό του.

1.2 - Στόχοι & Ερευνητικά Ερωτήματα

Η συγκεκριμένη εργασία στοχεύει να προσφέρει μία συγκεκριμένη προσέγγιση, ώστε να έχουμε ένα πλήρως δυναμικό και αυτο-οργανωτο σύστημα διαχείρισης της κυκλοφορίας. Πιο συγκεκριμένα, στόχος της εργασίας είναι να ελαχιστοποιηθεί η συνολική καθυστέρηση(Total Delay) στα πλαίσια ενός κόμβου(Intersection) καθώς και η βελτιστοποίηση των "νεκρών" χρόνων που παρουσιάζονται λόγω του μεγάλου κύκλου επανάληψης σηματοδότησης(Cycle Length). Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να ελαχιστοποιούνται οι συνολικοί ρύποι και η καθυστέρηση στο οδικό δίκτυο, ενώ ταυτόχρονα θα εξετάσουμε τι αντίκτυπο έχει κάτι τέτοιο όσο αφορά τις δημιουργημένες ουρές σε κάθε Lane. Έτσι μέσα από αλγόριθμους υπολογιστικής νοημοσύνης και εξελεγμένων τεχνικών εξαγωγής της κυκλοφορίας στοχεύετε η βελτιστοποίηση της ροής των κινητών. Όλα τα παραπάνω επομένως, δρομολογούν σειρά ερευνητικών ερωτημάτων ως ακολούθως:

- ***Είναι δυνατή μία αποκεντρωμένη δυναμική διαχείριση της κυκλοφορίας στον χρόνο των πράσινων;***
- ***Είναι δυνατή η μείωση των νεκρών χρόνων σε κάθε κύκλο επανάληψης της σήμανσης;***
- ***Ένα τέτοιο σύστημα παρέχει, γρήγορο, ακριβή και πιο αποτελεσματικό συντονισμό της κυκλοφορίας ;***

1.3 - Δομή εργασίας

Το υπόλοιπο της εργασίας δομείται ως εξής: Στο **κεφάλαιο 2** γίνεται μια γενική επισκόπηση τεχνολογιών και δομικών χαρακτηριστικών για την δημιουργία ενός τυπικού γενετικού αλγορίθμου με ιδιαίτερη προσοχή στο στάδιο της κωδικοποίησης, της διασταύρωσης και της μετάλλαξης. Στο **κεφάλαιο 3** υπάρχει μια ευρύτερη βιβλιογραφική ανασκόπηση, συμπεριλαμβάνοντας διάφορες προσεγγίσεις για την λύση του προβλήματος συμφόρησης. Εν συνεχεία στο **κεφάλαιο 4** τεκμηριώνεται η αναφορά στην προσέγγιση του προβλήματος από τον συγγραφέα με αναφορά στον αλγόριθμο που δημιουργήθηκε. Αναφορικά με το **κεφάλαιο 5** γίνεται λεπτομερής ανάλυση των σεναρίων προσομοίωσης που θα πραγματοποιηθούν για την αντίστοιχη προσέγγιση και παραδίδονται τα αποτελέσματα αυτών προς αξιολόγηση. Το **έκτο κεφάλαιο** αποτελεί κατακλείδα της παρούσας εργασίας ,πραγματοποιώντας σύνοψη και εξέταση όσο αφορά, το αν και κατά πόσο απαντήθηκαν τα ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας και παρατίθενται μελλοντικές επεκτάσεις-προτάσεις τόσο στο πρόβλημα αυτό καθ' αυτό αλλά και εισαγωγή νέων τεχνολογιών στην λύση όπως fog architecture, smart controller κ.α.

Κεφάλαιο 2 - Όροι και Τεχνολογίες

Στο παρών κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στους γενετικούς αλγόριθμους, αναφέρονται τα κύρια χαρακτηριστικά τους, η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική τους, καθώς και η καταλληλότητα αυτού του τύπου αλγορίθμου απέναντι σε προβλήματα της πραγματικής ζωής. Ταυτόχρονα γίνεται διεξοδική ανάλυση κάθε δομικού χαρακτηριστικού για περιπτώσεις πιθανών εφαρμογών.

2.1 - Εισαγωγή στους γενετικούς αλγόριθμους

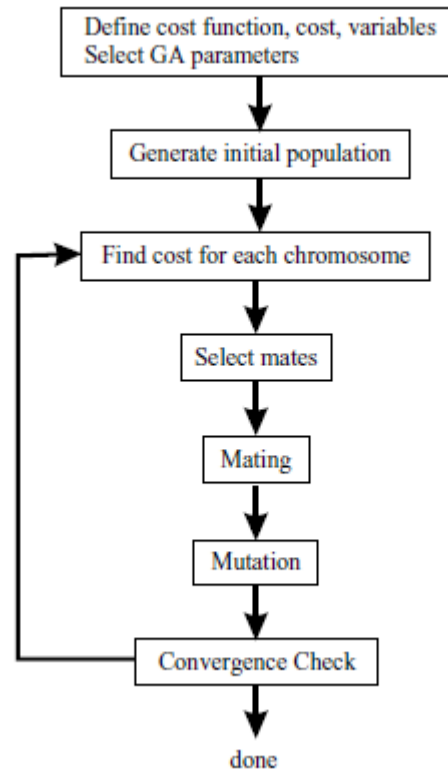
Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι ένα είδος αλγορίθμων βελτιστοποίησης, υπό την έννοια ότι χρησιμοποιούνται για εύρεση μεγίστου ή ελαχίστου μίας συνάρτησης. Δεδομένου ενός υπολογιστικού προβλήματος, οι γενετικοί αλγόριθμοι κάνουν έρευνα της βέλτιστης λύσης στο εύρος του προβλήματος αξιολογώντας κάθε λύση πάνω από μια συνάρτηση καταλληλότητας. Πρόκειται για ένα υπο-κλάδο του πεδίου εξελικτικής υπολογιστικής όπου μιμούνται κατά κάποιο τρόπο την βιολογική εξέλιξη μέσω της αναπαραγωγής. Όπως και στην βιολογική εξέλιξη έτσι και στους γενετικούς αλγόριθμους οι περισσότερες διεργασίες είναι στοχαστικές, όμως η συγκεκριμένη τεχνική βελτιστοποίησης προσφέρει ένα βαθμό ελέγχου. Ο λόγος που αυτού του είδους οι αλγόριθμοι είναι ισχυροί και αποτελεσματικοί σε σχέση με άλλους είναι ότι δεν απαιτούν έξτρα γνώση δεδομένων απέναντι στην λύση που αναζητούν. Αυτή τους η δυνατότητα τους επιτρέπει να βρουν λύσεις σε πραγματικά προβλήματα όπου άλλες μέθοδοι βελτιστοποίησης δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

2.2 - Υλοποίηση Γενετικών Αλγορίθμων

Όπως προαναφέρθηκε οι γενετικοί αλγόριθμοι έχουν σχεδιαστεί ώστε να προσομοιώνουν την βιολογική εξέλιξη και έτσι η παρακάτω σχετική ορολογία έχει δανειστεί από την βιολογία. Τα δομικά συστατικά για όλους τους γενετικούς αλγόριθμους είναι τα παρακάτω:

- *Population* (δημιουργία ενός συνόλου πιθανών λύσεων/ατόμων)
- *Selection* (επιλογή ατόμων τα οποία θα αναπαραχθούν)
- *Crossover/Reproduction*(η διασταύρωση για την δημιουργία νέων χρωμοσωμάτων)

- *Mutation* (τυχαίες μεταλλάξεις σε χρωμοσώματα στην νέα γενεά)
- *Inversion* (τυχαίες αναστροφές γονιδίων σε τυχαία άτομα)
- *Fitness function* (χαρακτηριστική συνάρτηση αξιολόγησης της εκάστοτε λύσης)



Εικόνα 1: Διάγραμμα ροής Γενετικών Αλγόριθμων

Πιο συγκεκριμένα, τα άτομα(Individuals) που συμμετέχουν σε έναν πληθυσμό κάθε χρονική στιγμή ονομάζονται γενεές(Iteration). Σε κάθε γενεά ο πληθυσμός(Population) προκύπτει από τον προηγούμενο, μέσω της επιβίωσης του καταλληλότερου μέλους του πληθυσμού και με την εφαρμογή διαφόρων γενετικών τεχνικών (Crossover/Mutation) που σκοπό έχουν να παράγουν νέα μέλη. Η παραπάνω διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα τα νέα μέλη του πληθυσμού της επόμενης γενεάς να είναι πιο εξελιγμένα σε σύγκριση με τους προγόνους τους, καθώς ‘κληρονομούν’ ορισμένα από τα χαρακτηριστικά τους και κατά κάποιο τρόπο αναπτύσσουν επιπλέον χαρακτηριστικά και ιδιότητες που οι προγενέστεροι τους δεν διέθεταν. Βέβαια, σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να θεωρήσουμε ως δεδομένο ότι τα νέα μέλη του πληθυσμού θα είναι καλύτερα από τους προγενέστερους τους για την επίλυση ενός προβλήματος. Εδώ να συμπληρώσουμε ότι με τον όρο καταλληλότερο μέλος εννοούμε τον

βαθμό καταλληλότητας κάθε ατόμου απέναντι στην συνάρτηση που προσπαθούμε να βελτιστοποιήσουμε είτε θετικά είτε αρνητικά.

2.2.1 - Αναπαράσταση Χρωμοσώματος

Στα πρωταρχικά στάδια υλοποίησης των γενετικών αλγορίθμων, πάντα τίθεται το ερώτημα της αναπαράστασης ενός πληθυσμού λύσεων που βρίσκονται στον πραγματικό κόσμο, από ένα πεπερασμένο αριθμό συμβόλων που έχουμε την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Οι περιορισμοί που επιβάλλονται σε τέτοιες περιπτώσεις είναι γνωστές, επομένως η περαιτέρω αναφορά σε αυτούς θεωρείται άσκοπη. Αξίζει να τονίσουμε ότι ο αριθμός των συμβόλων που θα επιλέξουμε να χρησιμοποιήσουμε, πρέπει να μας εξασφαλίζει την δυνατότητα να διατηρήσουμε το επιθυμητό επίπεδο ακρίβειας που προϋποθέτει το πρόβλημα μας. Μετά από την επιλογή της καταλληλότερης αναπαράστασης, μπορούμε να εκτελέσουμε τις διαδικασίες της αποτίμησης και της αξιολόγησης των λύσεων.

Όπως προαναφέρθηκε μία υποψήφια λύση της εξίσωσης είναι ένα Individual η αλλιώς χρωμόσωμα. Ένα χρωμόσωμα για τους βιολογικούς οργανισμούς πρόκειται για ένα μεγάλο μόριο/ακολουθία DNA και περιέχει έναν αριθμό γονιδίων. Στο DNA το αλφάβητο έχει μήκος τέσσερα και αποτελείται από τα γράμματα A, G, T και C που αντιστοιχούν στα τέσσερα διαφορετικά νουκλεοτίδια(βάσεις) που το συνθέτουν(Adenine, Guanine, Thymine και Cytosine).



Εικόνα 2: DNA χρωμόσωμα και γονίδιο

Αντίστοιχα στην κλασική προσέγγιση των γενετικών αλγορίθμων, κάθε υποψήφια λύση αναπαρίσταται με μια συμβολοσειρά ενός πεπερασμένου αλφαβήτου. Συνήθως χρησιμοποιείται το δυαδικό αλφάβητο, οπότε οι συμβολοσειρές ονομάζονται και δυαδικές

συμβολοσειρές(bitstrings) αλλά υπάρχουν και άλλες διαθέσιμες κωδικοποιήσεις όπου και θα αναφερθούμε στην συνέχεια[16]. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με την κωδικοποίηση διάφορων ακεραίων αριθμών σε δυαδικές συμβολοσειρές τεσσάρων σημείων.

<i>Integer</i>	<i>Binary code</i>	<i>Integer</i>	<i>Binary code</i>	<i>Integer</i>	<i>Binary code</i>
1	0 0 0 1	6	0 1 1 0	11	1 0 1 1
2	0 0 1 0	7	0 1 1 1	12	1 1 0 0
3	0 0 1 1	8	1 0 0 0	13	1 1 0 1
4	0 1 0 0	9	1 0 0 1	14	1 1 1 0
5	0 1 0 1	10	1 0 1 0	15	1 1 1 1

Εικόνα 3: Δυαδική κωδικοποίηση ακεραίων

Εναλλακτικά της δυαδικής αναπαράστασης των ακεραίων παραμέτρων στους γενετικούς αλγορίθμους συνήθως χρησιμοποιείται, η κωδικοποίηση Gray. Μία κωδικοποίηση της μορφής Gray αναπαριστά κάθε ακεραίο αριθμό μιας ακολουθίας $0,1,..,2^N - 1$ σαν μία πλειάδα από bit, μήκους L. Η αναπαράσταση διαδοχικών ακεραίων αριθμών γίνεται με διαφορά ενός μόνο bit. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές εκδοχές της κωδικοποίησης Gray. Ένας τυπικός αλγόριθμος δυαδικής αναπαράστασης Gray κωδικοποίησης :

- Ξεκινάει με όλα τα bit της πρώτης πλειάδας να είναι ίσα με 0.
- Στην συνέχεια, για διαδοχικούς αριθμούς μετακινεί το δεξιότερο bit της πλειάδας αναπαράστασης προς τα αριστερά. Με αυτό τον τρόπο, δημιουργούμε μία καινούργια μονοσήμαντη δυαδική πλειάδα - 14 - κωδικοποίησης, αλλάζοντας μόνο ένα ή το πολύ δύο bit την φορά.
- Επαναλαμβάνουμε αυτή τη διαδικασία για όλο το εύρος των αριθμών που θέλουμε να καλύψουμε. Ένα παράδειγμα φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, όπου αναπαριστούμε τον τρόπο που περιγράψαμε πιο πάνω, κωδικοποιώντας τους ακεραίους αριθμούς από 0-7. Η κωδικοποίηση Gray φαίνεται στην τρίτη στήλη του πίνακα.

ΑΚΕΡΑΙΟΣ	ΔΥΑΔΙΚΟΣ	GRAY
0	000	000
1	001	001
2	010	011
3	011	010

4	100	110
5	101	111
6	110	101
7	111	100

Πίνακας 1: Κωδικοποίηση Gray

Το πλεονέκτημά που συγκεντρώνει αυτή η μέθοδος και την κάνει να ξεχωρίζει από την δυαδική κωδικοποίηση είναι ότι για αριθμούς που βρίσκονται σε σειρά έχουμε πολύ μικρότερης κλίμακας αλλαγές στην αναπαράσταση των μελών. Αυτό άλλωστε μπορούμε να το παρατηρήσουμε αν συγκρίνουμε τις στήλες 1 και 2 του πίνακα 1. Ένα σοβαρό μειονέκτημά της μεθόδου αυτής είναι ότι οι σπάνιες μεγάλες αλλαγές τις, είναι μεγαλύτερες από αυτές της δυαδικής κωδικοποίησης[9].

Ο σχεδιασμός του χρωμοσώματος και οι παράμετροι του, θα πρέπει οπωσδήποτε να έχουν οριστεί συγκεκριμένα απέναντι στο πρόβλημα που πρόκειται να λύσουν. Η εύρεση μιας βολικής αναπαράστασης για το εκάστοτε πρόβλημα είναι μία σημαντική παράμετρος. Όσο καλύτερη η αναπαράσταση του ατόμου τόσο πιο εύκολη θα είναι η εύρεση της λύσης αφού μειώνουμε το εύρος έρευνας. Αντίστοιχα, μια φτωχή αναπαράσταση θα δίνει την δυνατότητα μεγαλύτερου εύρους έρευνας.

Άλλοι τύποι αναπαράστασης όπως κωδικοποίηση ακεραίων, κωδικοποίηση πραγματικών αριθμών, κωδικοποίηση δένδρων είναι διαθέσιμοι αρκεί να ικανοποιούν το πρόβλημα αυτό καθ' αυτό. Η κωδικοποίηση ακεραίων αφορά κυρίως προβλήματα Sorting όπως το πρόβλημα του πωλητή που ταξιδεύει(travelling salesman)[16].

Chromosome A	1 5 3 2 6 4 7 9 8
Chromosome B	8 5 6 7 2 3 1 4 9

Εικόνα 4: Ακέραια κωδικοποίηση

Η αναπαράσταση άμεσης τιμής μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προβλήματα όπου χρησιμοποιείται κάποια πολύπλοκη τιμή, όπως είναι οι πραγματικοί αριθμοί. Σε αυτό το σημείο μία δυαδική αναπαράσταση μπορεί να είναι πολύ δύσκολη. Σε αυτή την αναπαράσταση, κάθε χρωμόσωμα είναι μία σειρά από ορισμένες τιμές. Οι τιμές μπορεί να είναι οτιδήποτε

συνδεδεμένο με το πρόβλημα όπως πραγματικοί αριθμοί ή χαρακτήρες σε μερικά πολύπλοκα αντικείμενα.

Chromosome A	1.2324 5.3243 0.4556 2.3293 2.4545
Chromosome B	ABDJEIFJDHDIERJFDLDFLFEGT
Chromosome C	(back), (back), (right), (forward), (left)

Εικόνα 5: Αναπαράσταση άμεσης τιμής

2.2.3 - Επιλογή ανάλογη της καταλληλότητας (Selection)

Η επιλογή χρωμοσωμάτων προς αναπαραγωγή, ανάλογα με την καταλληλότητα του είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο είδος επιλογής και βρίσκει άμεση εφαρμογή στους γενετικούς αλγόριθμους. Αυτή η μέθοδος επιλογής βασίζεται στην τιμή καταλληλότητας που εκχωρείται σε κάθε μέλος του πληθυσμού. Η τιμή καταλληλότητας μας παρέχει το μέτρο ποιότητας που χρειαζόμαστε για την επιλογή ή όχι ενός μέλους. Αυτή η λογική υλοποιείται μέσω της μεθόδου του τροχού της τύχης που θα ακολουθήσει.

Αρχικά γίνεται αναπαράσταση του πληθυσμού, ως χαρτογράφηση πάνω στον τροχό της τύχης. Κάθε μέλος του πληθυσμού αντιπροσωπεύεται από ένα τμήμα του τροχού. Ο χώρος που θα καταλαμβάνει κάθε ένα μέλος στον τροχό, είναι αντίστοιχος με την τιμή καταλληλότητας που του έχει εκχωρηθεί, από την εκτέλεση της συνάρτησης καταλληλότητας (Fitness function). Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή καταλληλότητας για κάποιο μέλος του πληθυσμού, αυτό συνεπάγεται ότι θα εκπροσωπείται από μεγαλύτερο τμήμα του συνολικού χαρτογραφημένου χώρου του τροχού της τύχης. Έτσι η πιθανότητα να επιλεγεί αυτό το μέλος είναι μεγαλύτερη, συγκριτικά με άλλα μέλη που η τιμή καταλληλότητας τους είναι μικρότερη. Αυτός ο στοχαστικός αλγόριθμος είναι μία δίκαιη διαδικασία επιλογής καθώς όλα τα μέλη που συμμετέχουν σε έναν πληθυσμό έχουν την ευκαιρία να επιλεγούν και να συνεχίσει η πορεία εξέλιξης τους. Σε αυτή την μέθοδο δεν αποκλείουμε τους χειρότερους του πληθυσμού, αλλά τους δίνουμε ευκαιρίες ανάλογες της τιμής καταλληλότητας τους, όπως όλα τα μέλη. Η διαδικασία με την οποία γίνεται η επιλογή των μονάδων που θα συνεχίσουν στην επόμενη γενιά είναι η ακόλουθη : Επαναληπτικά γυρίζουμε τον τροχό της τύχης. Τα μέλη επιλέγονται όταν ο τροχός σταματήσει και υποδεικνύονται από έναν δείκτη. Ο αριθμός των επαναλήψεων

εξαρτάται από το πλήθος των μελών που χρειαζόμαστε, για να γεμίσουμε τον ενδιάμεσο πληθυσμό. Τέλος, υπάρχουν και άλλα είδη επιλογής όπως με επιλογή βαθμίδας, η tournament επιλογή, ελιτίστικη επιλογή κ.α. [15].

2.2.4-Διασταύρωση (Crossover)

Η διαδικασία της Διασταύρωσης ταυτίζεται με την διαδικασία της φυσικής αναπαραγωγής. Στην αναπαραγωγή, όπως γίνεται στην φύση, τελείται αμοιβαία ανταλλαγή μέρους του DNA μεταξύ μη συγγενών ζευγαριών χρωμοσωμάτων. Παρόμοια, στους γενετικούς αλγορίθμους κατά την διάρκεια της εφαρμογής των τελεστών της διασταύρωσης εκτελείται μία διαδικασία ανάλογη της αντιγραφής, μέρους του γενετικού υλικού μεταξύ των συμμετεχόντων μελών. Έτσι έχουμε την διάδοση χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων που διέθεταν οι προγενέστεροι προς τους απόγονους οι οποίοι φαίνεται να κληρονομούν ορισμένα στοιχεία τους από προηγούμενες γενεές, όπως συμβαίνει και στα βιολογικά συστήματα. Με τους τελεστές της διασταύρωσης γίνεται η πράξη του ζευγαρώματος των μελών που έχουν επιλεγεί να συμμετάσχουν στον ενδιάμεσο πληθυσμό ή όπως εναλλακτικά τον έχουμε αναφέρει ως 'mating pool'. Η Διασταύρωση εφαρμόζεται πάντα μεταξύ δύο μελών. Κατά την διάρκεια της εφαρμογής της διασταύρωσης έχουμε την αντιγραφή κάποιου τυχαίου μέρους της πληροφορίας και των χαρακτηριστικών μεταξύ των συμμετεχόντων μελών. Τους τελεστές της διασταύρωσης τους χρησιμοποιούμε για να επιφέρουμε μεγάλης κλίμακας αλλαγές στο πληθυσμό μας. Αυτό το επιτυγχάνουν με την ανταλλαγή των τιμών των μεταβλητών, ανάμεσα στα διάφορα μέλη που διασταυρώνονται. Αυτή η διαφοροποίηση οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι για να εκτελέσουμε αυτό τον τελεστή. Παρακάτω αναφέρουμε αυτούς τους διαφορετικούς τρόπους κάνοντας μία αρχική διάκριση που υπάρχει μεταξύ τους σε ομοιόμορφους και μη. Παρακάτω αναφέρουμε τους 2 βασικότερους τρόπους ομοιόμορφης διασταύρωσης:

1. **Διασταύρωση ενός Σημείου.** Στην διασταύρωση ενός σημείου έχουμε την τυχαία επιλογή ενός σημείου διασταύρωσης στα χρωμοσώματα των μελών που συμμετάσχουν. Τυπικά αυτά τα μέλη τα ονομάζουμε γονείς, ενώ το νέο ή τα νέα μέλη που θα προκύψουν τα αποκαλούμε απογόνους ή παιδιά. Η διαδικασία γίνεται ως εξής : Στην πιο συνηθή περίπτωση διαλέγουμε μέλη που έχουν περάσει από την διαδικασία της επιλογής

και έχουν καταχωρηθεί στον ενδιάμεσο πληθυσμό. Μπορεί όμως σε διαφορετικές εκδοχές των γενετικών αλγορίθμων να μην δημιουργούμε κάποιον ενδιάμεσο πληθυσμό. Σε αυτές τις περιπτώσεις διασταυρώνουμε τα μέλη που επιλέγουμε και τα αντικαθιστούμε ή προσθέτουμε τα μέλη που προέκυψαν από την διαδικασία απευθείας στον υπάρχον πληθυσμό. Από τα μέλη που έχουν επιλεγεί να συμμετάσχουν στην διασταύρωση, αποκόπτουμε το δεξιότερο τμήμα των χρωμοσωμάτων τους. Το σημείο από το οποίο θα ξεκινήσουμε να αποκόπτουμε είναι κάποιο σημείο που επιλέγεται τυχαία, μέχρι το τέλος της δομής δεδομένων τους.

2. **Διασταύρωση δύο Σημείων.** Στην διασταύρωση δύο σημείων μας βοηθάει να φανταζόμαστε τα χρωμοσώματα των μελών κυκλικά σαν δακτυλίδι. Στην διασταύρωση δύο σημείων ορίζουμε δύο τυχαία σημεία αποκοπής στα χρωμοσώματα των συμμετεχόντων μελών. Παρόμοια με την διασταύρωση ενός σημείου, με αυτόν τον τρόπο τα υπό – τμήματα των μελών αποκόπτονται και ανταλλάσσονται μεταξύ τους. Σε αυτήν την διαφοροποίηση του τελεστή της Διασταύρωσης ορίζουμε το σημείο Αρχής και Τέλους του τμήματος προς ανταλλαγή. Σε αυτό το σημείο η οπτική απεικόνιση της Διασταύρωσης δύο σημείων σαν ένα δακτυλίδι θα μας βοηθούσε να εξηγήσουμε στον αναγνώστη. Παρακάτω η εικόνα παρουσιάζει τα 2 είδη διασταύρωσης που αναφέρθηκαν παραπάνω.



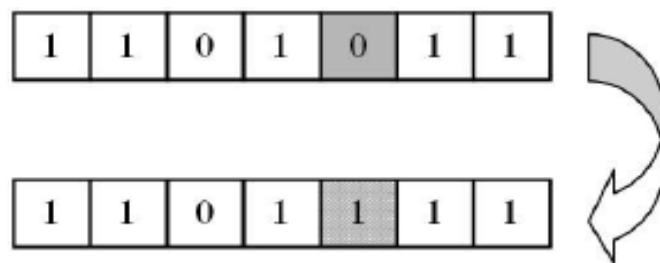
Εικόνα 6: Διασταύρωση ενός και δύο σημείων

2.2.5- Μετάλλαξη (Mutation)

Στην γενετική όταν αναφερόμαστε στον όρο της 'Μετάλλαξης', αναφερόμαστε σε

κάποια γενετική ανωμαλία. Η μετάλλαξη στην φύση μπορεί να συμβεί κατά την διάρκεια της φάσης της αντιγραφής του γενετικού υλικού. Οι γενετικές ανωμαλίες οφείλονται στην μικρή τροποποίηση που μπορεί να υποστεί το γενετικό υλικό. Αυτή είναι η λειτουργία της Μετάλλαξης στους γενετικούς αλγορίθμους. Ο τελεστής της Μετάλλαξης προκαλεί συνήθως μικρές αλλαγές στην τιμή ενός ή περισσότερων μεταβλητών του μέλους ή του γονιδίου του πληθυσμού.

Τον τελεστή της Μετάλλαξης τον χρησιμοποιούμε στους γενετικούς αλγορίθμους προκειμένου να ανακτήσουμε τυχόν χαμένη πληροφορία σε κάποιο γονίδιο. Αυτός ο τρόπος είναι ο καλύτερος και ευκολότερος από την αναζήτηση των καταλληλότερων λύσεων σε κάποιο πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε. Επειδή, δεν απαιτείται να προηγηθούν οι πολύπλοκες και χρονοβόρες διαδικασίες της επιλογής και της δημιουργίας ενός ενδιαμέσου πληθυσμού. Ο τελεστής της Μετάλλαξης εφαρμόζεται τυχαία στα μέλη του πληθυσμού. Ένας επιπλέον λόγος που επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε την Μετάλλαξη στους γενετικούς αλγορίθμους είναι για να επιφέρουμε μικρές αλλαγές στο πληθυσμό. Στην διάρκεια εκτέλεσης ενός γενετικού αλγορίθμου μπορούμε να τον χρησιμοποιήσουμε είτε μαζί με τους τελεστές της Διασταύρωσης συνδυαστικά, είτε αποκλειστικά και μόνο αυτόν, ή ακόμη και καθόλου. Ένα εύκολο παράδειγμα που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε προκειμένου να μας εισάγει στην φιλοσοφία του για να δούμε το είδος των τροποποιήσεων που προκαλεί, είναι στην περίπτωση που η δομή δεδομένων των χρωμοσωμάτων των μελών είναι δυαδικά κωδικοποιημένα.

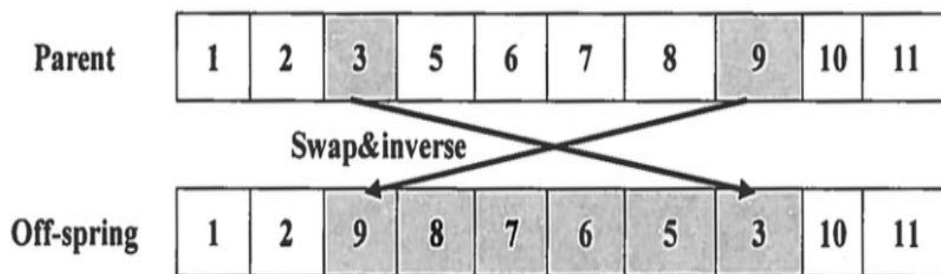


Εικόνα 7: Μετάλλαξη σε δυαδική αναπαράσταση

Σε αυτή την περίπτωση ο τελεστής της Μετάλλαξης μπορεί να επιφέρει αντιστροφή της τιμής του bit, και από 0 κάποιο bit να γίνει 1. Πιο συγκεκριμένα, στους γενετικούς αλγορίθμους η Μετάλλαξη σημαίνει : αλλαγή κάποιας μεταβλητής σε κάποιο μέλος του πληθυσμού μας, στοχαστικά.

2.2.6 - Αναστροφή ή ανταλλαγή (Inversion/Swapping)

Ο τελεστής της αναστροφής ή ανταλλαγής πρόκειται για ένα τεχνητό τελεστή και δεν έχει προέλθει από την επιστήμη της γενετικής. Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τον τελεστή της μετάλλαξης σε προβλήματα όπου η αναπαράσταση των πιθανών λύσεων δεν είναι η δυαδική κωδικοποίηση ώστε ο αλγόριθμος να συγκλίνει στην λύση. Ουσιαστικά γίνεται αναστροφή ενός ή παραπάνω γονιδίων ώστε να τοποθετηθούν στην σωστή σειρά για λόγους αποτελεσματικότητας. Στην παρακάτω εικόνα γίνεται αναστροφή 6 γονιδίων μέσα σε ένα Individual. Σε κάθε περίπτωση θα μπορούσε να γίνει απλή αναστροφή των γονιδίων 3 και 9 χωρίς να επηρεαστούν τα υπόλοιπα γονίδια.



Εικόνα 8: Αναστροφή σε άτομο με δεκαδική αναπαράσταση

2.2.7- Συνάρτηση Καταλληλότητας (Fitness Function)

Όπως αναφερθήκαμε εισαγωγικά η συνάρτηση καταλληλότητας είναι ένας ιδιαίτερος τύπος αντικειμενικής συνάρτησης, που χρησιμοποιείται για να συνοψίσει με μία και μοναδική τιμή, το πόσο κοντά είναι μία λύση ή αλλιώς μία αλληλουχία αποτελεσμάτων στην ικανοποίηση του προβλήματος.

Πιο συγκεκριμένα, κάθε άτομο το οποίο αντιπροσωπεύεται από μία σειρά αριθμών στον αρχικό πληθυσμό, θα αξιολογηθεί πάνω από την αντίστοιχη συνάρτηση καταλληλότητας. Στην συνέχεια, και για κάθε γενεά, τα νέα Offsprings που θα δημιουργηθούν λόγω του τελεστή Crossover θα αξιολογηθούν με την σειρά τους απέναντι στην συνάρτηση καταλληλότητας. Αντίστοιχα, για τα Offsprings με τους τελεστές Mutation και Inversion. Στο τέλος κάθε γενεάς, η ιδέα είναι να διαγραφούν οι χειρότερες λύσεις και άρα τα χειρότερα άτομα από τον πληθυσμό. Έτσι, για κάθε γενεά όλα τα άτομα θα πρέπει να αποδείξουν την καταλληλότητα τους απέναντι

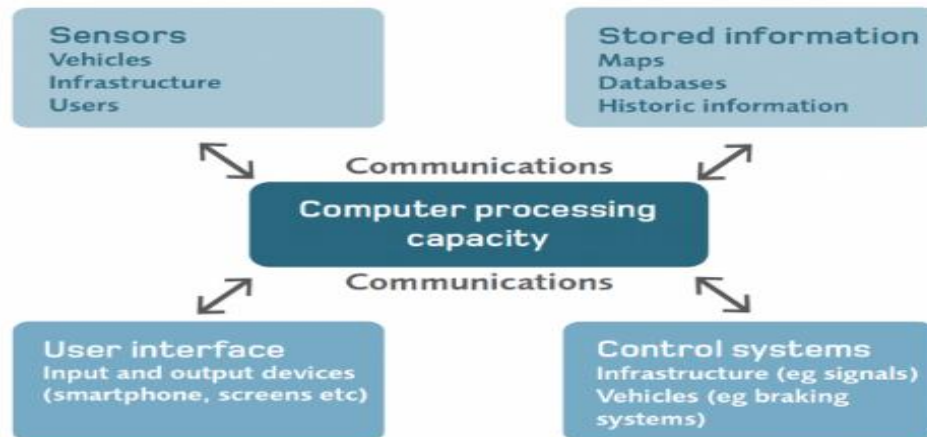
στην λύση ώστε να επιβιώσουν.

Τέλος για την δημιουργία μίας συνάρτησης καταλληλότητας θα πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω απαιτήσεις:

- Η συνάρτηση καταλληλότητας θα πρέπει να ορίζεται με σαφήνεια και ο αναγνώστης να είναι σε θέση να κατανοήσει το τρόπο υπολογισμού για κάθε άτομο.
- Η συνάρτηση θα πρέπει να εφαρμοστεί αποτελεσματικά ώστε να μην μειωθεί η αποτελεσματικότητα του γενετικού αλγορίθμου.
- Η συνάρτηση αξιολόγησης θα πρέπει να μετράει ποσοτικά τη συνάφεια μιας δεδομένης λύσης στην επίλυση του προβλήματος.
- Η συνάρτηση θα πρέπει να παράγει διαισθητικά αποτελέσματα με τις καλύτερες λύσεις να έχουν τα καλύτερες βαθμολογίες και οι χειρότερες λύσεις τις χειρότερες βαθμολογίες.

Κεφάλαιο 3 – Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Τα ευφυή συστήματα μεταφορών (Intelligent Transportation Systems) είναι ένας κλάδος που έχει προσελκύει τα τελευταία χρόνια το παγκόσμιο ενδιαφέρον διαφόρων κλάδων όπως ερευνητών συγκοινωνιών, επιστημόνων πληροφορικής, επαγγελματιών στην αυτοκίνητο-βιομηχανία καθώς επίσης και πολιτικών, αφού η ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση των κινητών στους δρόμους δεν μπορεί να υποστηριχτεί από τις υπάρχουσες οδικές υποδομές. Τέτοια συστήματα μεταφορών εφαρμόζουν τεχνολογίες(βλέπε Εικόνα 9) που πηγάζουν από τις επικοινωνίες, τις πληροφορίες και τα ηλεκτρονικά μέσα για την επίλυση προβλημάτων μεταφοράς όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση, η ασφάλεια των οδηγών και η προστασία του περιβάλλοντος από τις εκπομπές ρύπανσης των οχημάτων. Συνεπώς, σκοπός των ευφύων συστημάτων μεταφορών είναι η εκμετάλλευση διαφόρων τεχνολογιών με σκοπό να προσδώσουν ένα πιο υγιεινό τρόπο ζωής μέσα από ένα αποδοτικό δίκτυο μεταφορών χωρίς καθυστερήσεις.



Εικόνα 9: Τεχνολογίες Ευφύων Συστημάτων

Η βελτιστοποίηση των χρόνων των φαναριών πρόκειται για ένα δύσκολο πρόβλημα με μη προφανή λύση ακόμα και όταν αφορά μία και μόνο διασταύρωση. Όσο αυξάνονται οι διασταυρώσεις, το πρόβλημα γίνεται εκθετικά δυσκολότερο αφού ο χρόνος ενός σηματοδότη επηρεάζει την ροή για όλους τους υπόλοιπους. Ένα άλλο σημείο αναφοράς για την δυσκολία του προβλήματος είναι οι χρονικές μεταβαλλόμενες ροές κινητών ανάλογα με την ώρα, την ημέρα αλλά και την εποχή. Επίσης, εξωτερικοί παράγοντες όπως τα τροχαία ατυχήματα και κινητά

μεγάλου όγκου είναι δύσκολο να απομονωθούν με αποτέλεσμα η έρευνα στο συγκριμένο πεδίο να γίνεται ακόμα δυσκολότερη.

Στην πραγματικότητα, οι περισσότεροι αν όχι όλοι οι σηματοδότες χρησιμοποιούν στατικούς χρόνους σήμανσης, ενώ ταυτόχρονα και ο κύκλος σηματοδοσίας ορίζεται με μία σταθερή τιμή. Ως κύκλος ορίζεται το χρονικό διάστημα που χρειάζεται ένας σηματοδότης για να ανάψει πράσινο, από την τελευταία χρονική στιγμή που έγινε αυτό. Έτσι σε διάφορες καταστάσεις συμφόρησης, χρησιμοποιώντας μεγαλύτερους χρόνους κύκλου οδηγούμαστε σε καλύτερες επιδόσεις του οδικού δικτύου και ταυτόχρονα σε μικρότερες ουρές συμφόρησης. Βέβαια, παρότι υπάρχουν τα παραπάνω θετικά, η αύξηση του κύκλου χρονικά επιφέρει μεγαλύτερες καθυστερήσεις.

Η μετατόπιση ενός κύκλου ορίζει τον χρόνο έναρξης ενός κύκλου σε σχέση με άλλα φανάρια. Αυτή η μετατόπιση μπορεί να ρυθμιστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέψει την μερική συνεργασία φωτεινών σηματοδοτών και να δημιουργήσει πράσινα “κύματα”, αποσυμφορίζοντας ένα σημείο του οδικού δικτύου. Βέβαια, σε αυτή την περίπτωση, οι controllers θα πρέπει να προσαρμόζονται σε κάθε κατάσταση συμφόρησης για να αποδίδουν σωστά το “πράσινο κύμα”. Έτσι σήμερα, πίνακες ρυθμίσεων έχουν δημιουργηθεί ώστε να επιτραπεί η προσαρμογή αυτή. Ο καθορισμός όμως αυτός είναι δύσκολος, αφού λόγω των τακτικών αλλαγών στην κυκλοφορία απαιτείται η συνεχής και αδιάλειπτη ενημέρωσή τους.

Οι περισσότερες έρευνες που αφορούν τον έλεγχο φαναριών εστιάζουν στην προσαρμογή της διάρκειας ή της σειράς του κύκλου ελέγχου. Διάφορες τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα για την δυναμική διαχείριση των φαναριών με τις επικρατέστερες να είναι, τεχνικές πρόβλεψης της κυκλοφορίας, με χρήση ασαφούς λογικής, με εξελικτικούς αλγόριθμους, με αλγόριθμους ενισχυτικής μάθησης, με δημιουργία έμπειρων συστημάτων κ.α. [3],[4],[5],[7],[20],[21],[22],[23],[24],[25]. Στην προσέγγισή της εν λόγω εργασίας, εστιάζουμε στην δυναμική διαχείριση των φαναριών αλλά και του κύκλου μέσω γενετικών αλγορίθμων, με την απόφαση να εξαρτάται από την πραγματική κατάσταση κυκλοφορίας γύρω από μια διασταύρωση, το οποίο οδηγεί σε ακριβέστερο έλεγχο της κυκλοφορίας. Στην συνέχεια περιγράφουμε σχετικές εργασίες αναφορικά με τον ευφυή έλεγχο της κυκλοφορίας μέσω έξυπνων φαναριών.

Η ενισχυτική μάθηση για τον έλεγχο των φαναριών, αρχικά ερευνήθηκε από τους Thorpe

και Andersson [20]. Στην συγκεκριμένη εργασία έγινε χρήση μια συνάρτησης που βασίζεται στο φανάρι αυτό καθ' αυτό, ενώ νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιήθηκαν ώστε να γίνει εφικτή η πρόβλεψη του χρόνου αναμονής των αυτοκινήτων που περιμένουν σε μία διασταύρωση. Στο [21], χρησιμοποιήθηκε ένας μοντελο-κεντρικός αλγόριθμος ενισχυτικής μάθησης όπου βελτιστοποιεί τοπικά μία διασταύρωση, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψιν την τρέχουσα συμφόρηση σε γειτονικές διασταυρώσεις. Αντίστοιχα στο [23], ένας αλγόριθμος ενισχυτικής μάθησης βελτιστοποιεί ένα σύνολο από διασταυρώσεις με την συνάρτηση να υπολογίζει τις αναμενόμενες στάσεις των κινητών.

Αντίστοιχα, προσεγγίσεις με χρήση έμπειρων συστημάτων έχουν ακολουθηθεί. Τα έμπειρα συστήματα χρησιμοποιούν ένα σύνολο κανόνων για να αποφασιστεί μία λύση ή ένα σύνολο λύσεων. Στο [24] περιγράφεται ένα οδικό δίκτυο με έμπειρα συστήματα σηματοδοσίας διασυνδεδεμένα. Σε αυτή την εργασία τα έμπειρα συστήματα επικοινωνούν ώστε να προσδώσουν συγχρονισμό μεταξύ τους, παράγοντας “πράσινα κύματα”. Το [25] εργάστηκε πάνω σε ένα έμπειρο σύστημα πολλαπλών διασυνδεδεμένων παραγόντων με σκοπό την συνολική αποσυμφόρηση χρησιμοποιώντας 9 κανόνες για ένα δίκτυο που περιλαμβάνει 6 διασταυρώσεις.

Βελτιστοποιήσεις προβλέποντας την κίνηση έχουν ερευνηθεί, όπως η έρευνα του Ταβλαδάκη το 1999 όπου περιγράφει ένα controller που λαμβάνει μετρήσεις κατά τη διάρκεια ενός κύκλου και κάνει έλεγχο διάφορων ρυθμίσεων για τον επόμενο κύκλο. Το σύστημα αυτό υπήρξε εξαιρετικά προσαρμοστικό, αφού χρησιμοποιούσε δεδομένα μόνο από τον προηγούμενο κύκλο με αποτέλεσμα να μην μπορεί να διαχειριστεί χρονικές μεταβαλλόμενες εισόδους κινητών [26]. Αντίστοιχα, στο [27] χρησιμοποιήθηκαν ανιχνευτές σε κάθε πλευρά στην είσοδο μίας διασταύρωσης για την μέτρηση της καθυστέρησης των κινητών. Το σύστημα αυτό μετά από απόκτηση δεδομένων 15 λεπτών, στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της συνολικής μέσης καθυστέρησης.

Προσεγγίσεις με χρήση ασαφούς λογικής έχουν προταθεί στα [28],[29],[30]. Στο [28] χρησιμοποιήθηκε ασαφής λογική για την διαχείριση μίας διασταύρωσης όπου θα μιμούνταν την ανθρώπινη ευφυΐα. Αυτός ο controller καθορίζει την ώρα που το φανάρι πρέπει να παραμείνει σε κάποια κατάσταση, πριν μεταβεί στην επόμενη κατάσταση. Η σειρά των καταστάσεων είναι προκαθορισμένη, αλλά ο ελεγκτής μπορεί να παραλείψει μια κατάσταση εάν δεν υπάρχει κίνηση

προς κάποια κατεύθυνση. Το ποσό των οχημάτων που φθάνουν και περιμένουν είναι κβαντισμένα σε τρεις ασαφείς μεταβλητές, όπως πολλά, μέτρια και καμιά. Στα πειράματα ο ελεγκτής ασαφούς λογικής έδειξε ότι είναι πιο ευέλικτος από τους σταθερούς ελεγκτές και τους ελεγκτές που ενεργοποιούνται από το όχημα, επιτρέποντας έτσι την ομαλότερη ροή της κυκλοφορίας και τη μείωση του χρόνου αναμονής. Ένα μειονέκτημα του ελεγκτή φαίνεται να είναι η εξάρτησή του από τις προκαθορισμένες τιμές για τις ασαφείς μεταβλητές καθώς επίσης και η προσέγγιση για την λύση του προβλήματος σε μία και μόνο διασταύρωση. Στο [29] χρησιμοποιήθηκε ασαφής λογική για τον έλεγχο πολλών διασταυρώσεων. Οι controllers λάμβαναν δεδομένα κίνησης από την αμέσως προηγούμενη διασταύρωση και την αμέσως επόμενη με αποτέλεσμα να είναι σε θέση να δημιουργούν πράσινα κύματα. Τέλος το 2002 επίσης χρησιμοποιήθηκαν ελεγκτές ασαφούς λογικής για αντιμετώπιση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, με την συγκεκριμένη προσέγγιση να οδηγεί σε μεγαλύτερες κυκλοφοριακές ροές σε περιπτώσεις τεραστίων κυκλοφοριακών συμφορήσεων[30].

Τέλος, στα [3],[4],[5],[7] προσεγγίσεις με χρήση εξελικτικών αλγορίθμων έχουν χρησιμοποιηθεί για την λύση του προβλήματος αυτού. Στο [4] έγινε ανάπτυξη ενός γενετικού αλγορίθμου που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για ένα σύστημα διαχείρισης της κυκλοφορίας στην Μαλαισία. Όσο αφορά τις προσομοιώσεις που έγιναν, η εισαγωγή κινητών έγινε με σταθερά χρονικά εισαγωγής με αποτέλεσμα οι προσομοιώσεις να είναι σε θεωρητικό επίπεδο. Ταυτόχρονα η προσέγγιση μας διαφοροποιείται τόσο στην συνάρτηση καταλληλότητας όσο και στην κωδικοποίηση του ατόμου. Στο [3], προτάθηκε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης της κυκλοφορίας, με την μελέτη να στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της συμφόρησης σε 4 διασυνδεδεμένους κόμβους. Η συγκεκριμένη έρευνα επικεντρώνεται ιδιαίτερα στην συλλογή δεδομένων με τα αποτελέσματα να είναι ενθαρρυντικά αφού η ακρίβεια συλλογής ήταν 96%. Στην δημοσίευση [5] εξετάστηκε μία διασταύρωση τύπου T, με χρήση μίας απλής συνάρτησης η οποία ελέγχει την κίνηση πίσω από τους σηματοδότες και αναλογικά προσδίδει χρόνο πράσινου. Η συγκεκριμένη έρευνα αποσκοπούσε στην ανάδειξη της λύσης των γενετικών αλγορίθμων στο πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Τέλος στο [31] έγινε βελτιστοποίηση στα πλαίσια ενός κόμβου, με βάση την συνολική μέση καθυστέρηση που προκαλείται σε κάθε εισερχόμενο κανάλι. Η συνάρτηση καταλληλότητας απαρτίζεται από 2 αθροιζόμενους παράγοντες, την ομοιόμορφα κατανομημένη καθυστέρηση και την αυξητική καθυστέρηση λόγω των τυχαίων

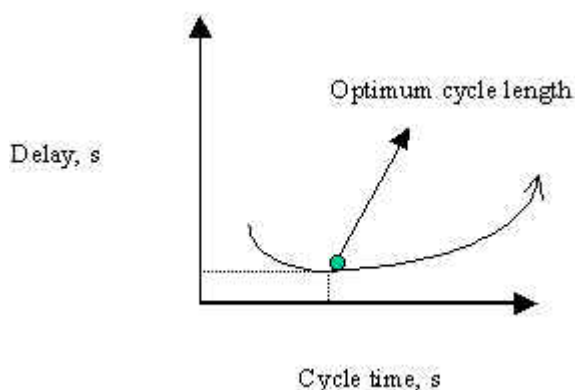
αφίξεων μαζί με την επιπλέον καθυστέρηση που οφείλεται σε λανθασμένα χρονικά διαστήματα του κύκλου. Η συγκεκριμένη προσέγγιση χρησιμοποίησε στατικούς χρόνους κύκλου με αποτέλεσμα το σύστημα να μην είναι πλήρως δυναμικό στις καταστάσεις ζήτησης. Έτσι, η καθυστέρηση στον κόμβο σε περιπτώσεις χαμηλής συμφόρησης θα ήταν μεγαλύτερη.

Ταυτόχρονα αναγκαίο κρίνεται για την σωστή αντιμετώπιση του προβλήματος η εύρεση βέλτιστου χρόνου κύκλου. Πολλές μέθοδοι έχουν δημιουργηθεί για την εύρεση βέλτιστου κύκλου όμως η εξίσωση Webster για εύρεση βέλτιστου κύκλου έχει επικρατήσει. Η εξίσωση αυτή ελαχιστοποιεί την καθυστέρηση σε δεδομένο κόμβο με αποτέλεσμα την εύρεση βέλτιστου κύκλου. Σύμφωνα με το [33] ο ακόλουθος τύπος ορίζει τον βέλτιστο κύκλο Webster για συγκεκριμένη διασταύρωση σε δεδομένη χρονική στιγμή:

$$C_{opt} = \frac{1.5 \times L + 5}{1 - \sum(\frac{V}{S})}$$

,όπου L, ο χαμένος χρόνος σε δευτερόλεπτα για όλες τις φάσεις ενός κύκλου(συνηθίζεται να λαμβάνεται ως ο χρόνος του πορτοκαλί σηματοδότη) και ο όρος V/s αντιπροσωπεύει τον λόγο της σχεδιασμένης διακίνησης σε σχέση με την διακίνηση κορεσμού για κάθε κανάλι εισαγωγής στον κόμβο σε κάθε διαφορετική φάση του κύκλου.

Παρακάτω φαίνεται πως επηρεάζει το μέγεθος του κύκλου την συνολική καθυστέρηση στον κόμβο ενώ με πράσινο χρώμα παρουσιάζεται η βέλτιστη τιμή κύκλου για ελάχιστη καθυστέρηση στον κόμβο.



Έτσι όταν αυξάνουμε το μέγεθος κύκλου η καθυστέρηση στον κόμβο για κάθε ένα από τα κανάλια εισαγωγής αυξάνεται, ενώ όταν ο κύκλος είναι αρκετά μικρός τότε η

καθυστέρηση αυξάνεται εκ νέου καθώς τα κινητά θα περιμένουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στην διασταύρωση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εύρεση βέλτιστου κύκλου αναγκαία για την σωστή δυναμική διαχείριση των φαναριών όταν σκοπεύετε η ελαχιστοποίηση του χρόνου καθυστέρησης.

Κεφάλαιο 4 - Προσέγγιση

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί η συνολική προσέγγιση της εργασίας. Αρχικά το κεφάλαιο 4.1 εμπεριέχει την γενικότερη φιλοσοφία των αναπτυχθέντων γενετικών αλγορίθμων ενώ στο κεφάλαιο 4.2 θα γίνει ανάλυση του προβλήματος ώστε να τεθεί η σωστή λογική στην αξιολόγηση του κεφαλαίου 5.

4.1 Αλγοριθμική προσέγγιση

Κατά τους Russell και Norvig[14], εάν μπορείς να απαντήσεις στις 4 επόμενες ερωτήσεις, τότε ίσως πρέπει να χρησιμοποιήσεις τους γενετικούς αλγόριθμους για την λύση του προβλήματος:

1. Ποιά θα είναι η συνάρτηση καταλληλότητας και τι θα προσδιορίζει;
2. Πως θα παρουσιάζεται ένα άτομο του πληθυσμού;
3. Πώς θα επιλέγονται τα άτομα προς αναπαραγωγή;
4. Και ποιά τελικά θα είναι η διαδικασία της αναπαραγωγής;

Ουσιαστικά η παραπάνω διαδικασία αφορά την φάση του σχεδιασμού μέσα από τα χαρακτηριστικά δεδομένα του προβλήματος. Όσο αφορά την πρώτη ερώτηση και για την προσέγγιση της εν λόγω εργασίας, η συνάρτηση καταλληλότητας πρόκειται για την συνάρτηση αξιολόγησης των πιθανών λύσεων και πιο συγκεκριμένα αφορά για την συνολική μέση καθυστέρηση στα πλαίσια ενός κόμβου. Παρακάτω παρουσιάζεται η συνάρτηση καταλληλότητας προς ελαχιστοποίηση όπως αυτή παρουσιάζεται στα [26],[31]:

$$Fitness_Function = \sum_{i=1}^n TD_i$$

,όπου TD η συνολική καθυστέρηση για το συγκεκριμένο κανάλι i που προκύπτει από το άθροισμα:

$$TD_i = PF_i * (d1_i + d2_i)$$

Το PF αφορά τον παράγοντα εξέλιξης και για την συγκεκριμένη προσέγγιση έχει σταθερή τιμή 1,

ενώ το d1 είναι η ομοιόμορφη καθυστέρηση και το d2 είναι καθυστέρηση λόγω υπερχειλίσης. Αυτοί οι παράγοντες υπολογίζονται ως:

$$d1 = 0.38C \frac{[1 - \frac{g}{c}]^2}{1 - [\frac{g}{c}]x}$$

$$d2 = 173x^2 \sqrt{x - 1 + (x - 1)^2 + 16\frac{x}{c}}$$

,όπου Cο συνολικός χρόνος του κύκλου,go χρόνος πράσινου, x ο λόγος της τρέχουσας κίνησης του καναλιού προς τη χωρητικότητα αυτού.

Ταυτόχρονα, δημιουργήθηκε άλλη μία απλή συνάρτηση καταλληλότητας όπου προσδιορίζει ένα παράγοντα επίδοσης(Performance Factor) του ορισμένου δικτύου και υπολογίζεται ως εξής:

$$Fitness_Fuction2 = \sum_{i=1}^n PF_i$$

$$PF_i = \frac{W_i * S_i}{GT_i}$$

,όπου Wη μέγιστη χωρητικότητα του καναλιού i, S η συνολική κίνηση και GTο χρόνος πράσινου που δόθηκε αντίστοιχα. Σε κάθε περίπτωση επιδιώκουμε την ελαχιστοποίηση της Fitness Function[17].

Όσο αφορά την δεύτερη ερώτηση, ένα άτομο για την συγκεκριμένη προσέγγιση θα αποτελείται από 4 γονίδια όπως φαίνεται παρακάτω, τα οποία θα αναπαρασταθούν από ακέραιους αριθμούς αφού τέτοιες λύσεις είναι πιο κοντά στην φύση του προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα ένα άτομο του πληθυσμού πρόκειται για μία δομή με δύο πεδία. Το πρώτο θα είναι ένας πίνακας 4 στοιχείων με τιμές τους χρόνους πράσινου για κάθε κανάλι και το δεύτερο θα είναι ένα πεδίο ακέραιας τιμής που θα περιλαμβάνει την τιμή της συνολικής μέσης καθυστέρησης που αναφερθήκαμε παραπάνω.

pop(1, 1) <1x1 struct>	
Field ▲	Value
GreenNSWE	[24,22,35,51]

Εικόνα 10: Άτομο με ακέραια κωδικοποίηση

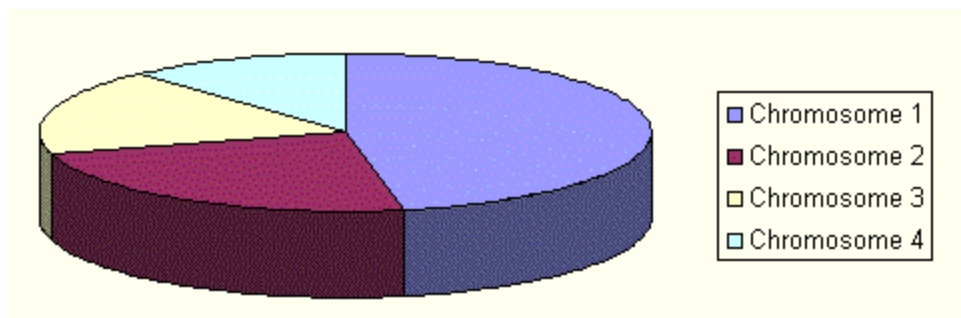
Όσο αφορά την επιλογή των ατόμων προς αναπαραγωγή, θα χρησιμοποιηθεί η τεχνική της ρουλέτας όπως αναφερθήκαμε. Λόγο του ότι προσπαθούμε να λύσουμε ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης θα χρησιμοποιήσουμε τον παρακάτω τύπο για τον υπολογισμό της πιθανότητας επιλογής:

$$F_i = e^{-beta*Z_i}$$

όπου η σταθερά beta ελέγχει την πίεση επιλογής και το Z είναι η ελάχιστη(καλύτερη) τιμή συνολικής μέσης καθυστέρησης. Επίσης για να κάνουμε την συχνότητα επιλογής όσο το δυνατόν πιο ανεξάρτητη από την συνάρτηση αξιολόγησης κάναμε χρήση της:

$$F_i = e^{\frac{-beta*Z_i}{Z_{max}}}$$

όπου Zmax είναι η μέγιστη(χειρότερη) τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας.



Εικόνα 11: Roulette Wheel

Τέλος η διαδικασία της αναπαραγωγής θα εμπεριέχει 3 διαφορετικούς τελεστές, την διασταύρωση, μετάλλαξη και την ανταλλαγή.

Στην διαδικασία της διασταύρωσης θα γίνει χρήση της διασταύρωσης ενός σημείου. Στην

περίπτωση αυτή θα επιλέγεται τυχαία ένας αριθμός μεταξύ του 1 και του 3 που σχετίζεται με το αντίστοιχο γονίδιο που θα αρχίσει η διασταύρωση και θα γίνεται ανταλλαγή γονιδίων σε αυτά τα 2 άτομα. Παρακάτω παρουσιάζονται 2 άτομα που επιλέχθηκαν με την τεχνική της ρουλέτας για αναπαραγωγή μαζί με ένα δημιουργημένο απόγονο, θεωρώντας ότι επιλέχθηκε τυχαία τιμή διασταύρωσης το 3.

Field	Value
GreenNSWE	[14,28,31,46]

Εικόνα 12: Άτομο 1 προς αναπαραγωγή

Field	Value
GreenNSWE	[14,28,31,44]

Εικόνα 13: Άτομο 2 προς αναπαραγωγή

Ο επόμενος τελεστής που χρησιμοποιείται είναι η μετάλλαξη, όπου τυχαία επιλεγμένα άτομα υπόκεινται σε μια μικρή μετάλλαξη σε κάποιο τυχαίο γονίδιο τους. Για την διαδικασία της μετάλλαξης, θα επιλέγεται ένας τυχαίος αριθμός μεταξύ του 1 και του 4 για να βρεθεί το γονίδιο που θα υποστεί την μετάλλαξη όπως φαίνεται παρακάτω. Στην συνέχεια θα γίνεται μετάλλαξη του γονιδίου η οποία θα προκύπτει από ένα τυχαίο τελεστή είτε + είτε -, πολλαπλασιάζοντας το ποσοστό μετάλλαξης με το 10. Αυτό σημαίνει ότι δίνοντας τιμή 0.1 στο ποσοστό μετάλλαξης, αλλαγή θα του γονιδίου θα είναι είτε -1 είτε +1. Ταυτόχρονα όσο αυξάνουμε το ποσοστό μετάλλαξης τόσο θα αυξάνεται και ο βαθμός αυτός.

Πιο συγκεκριμένα, η μετάλλαξη αυτή θα προκύπτει από τον τύπο:

$$Sigma = \pm 1 * pm * 10$$

,όπου sigma ο βαθμός μετάλλαξης του γονιδίου και pm το ορισμένο ποσοστό μετάλλαξης. Παρακάτω παρουσιάζεται μια τυχαία επιλογή ατόμου, το οποίο θα υποστεί μετάλλαξη στο πρώτο γονίδιο.

Field	Value
GreenNSWE	[19,25,19,14]
TotalDelay	21.6692

Εικόνα 14: Επιλεγμένο άτομο για μετάλλαξη

Field	Value
GreenNSWE	[21,25,19,14]
TotalDelay	21.6692

Εικόνα 15: Νέο άτομο μετά την μετάλλαξη

Τέλος, ο τελευταίος τελεστής που θα εφαρμοστεί είναι η ανταλλαγή γονιδίων. Παρακάτω παρουσιάζεται η ανταλλαγή γονιδίων μετά τον τελεστή της μετάλλαξης με τυχαία επιλεγμένα γονίδια τα 1, 4.

Field	Value
GreenNSWE	[13,35,22,10]
TotalDelay	25.0949

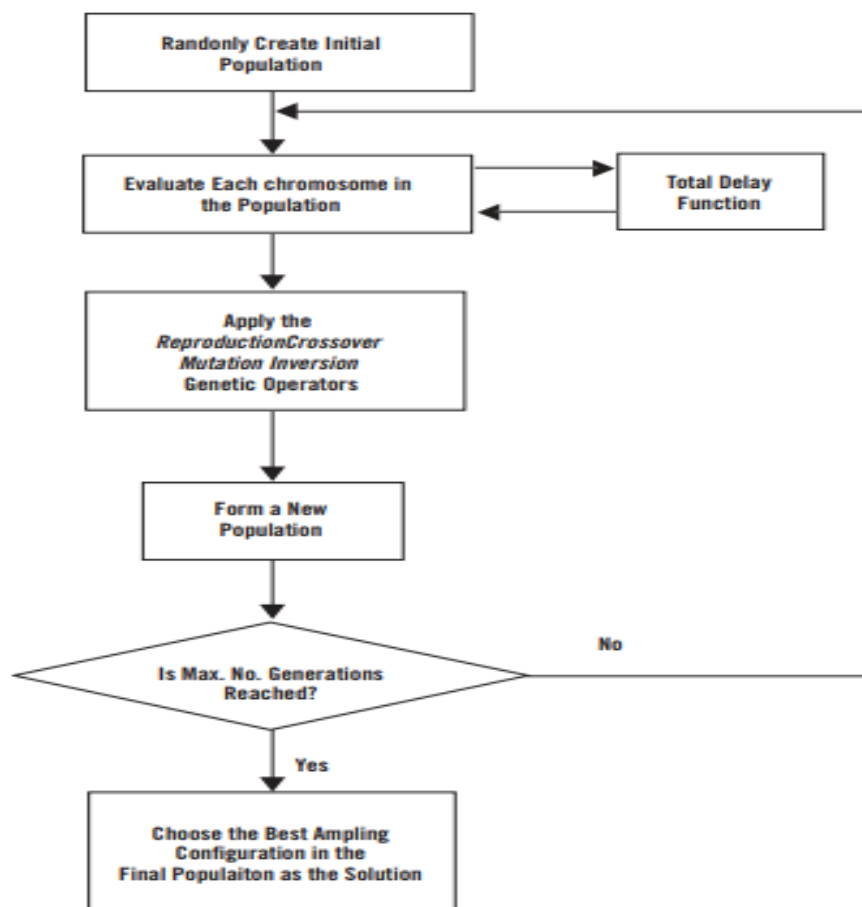
Εικόνα 16: Επιλεγμένο άτομο για ανταλλαγή γονιδίων

Field	Value
GreenNSWE	[10,35,22,13]
TotalDelay	[]

Εικόνα 17: Νέο άτομο μετά την ανταλλαγή

Οι τελεστές θα εφαρμοστούν σε ένα ποσοστό του αρχικού πληθυσμού και έτσι μετά το τέλος της πρώτης γενεάς ο αρχικός πληθυσμός θα είναι μεγαλύτερος. Από τον πληθυσμό αυτό θα κρατήσουμε τις καλύτερες λύσεις με βάση το αρχικό ορισμένο μέγεθος του πληθυσμού με

αποτέλεσμα κάθε γενεά να είναι στο σύνολο της καλύτερη από την προηγούμενη. Κάτι τέτοιο προσδίδει γρηγορότερη σύγκλιση του αλγορίθμου προς μία πολύ καλή λύση. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει την συνολική λογική του αλγορίθμου.



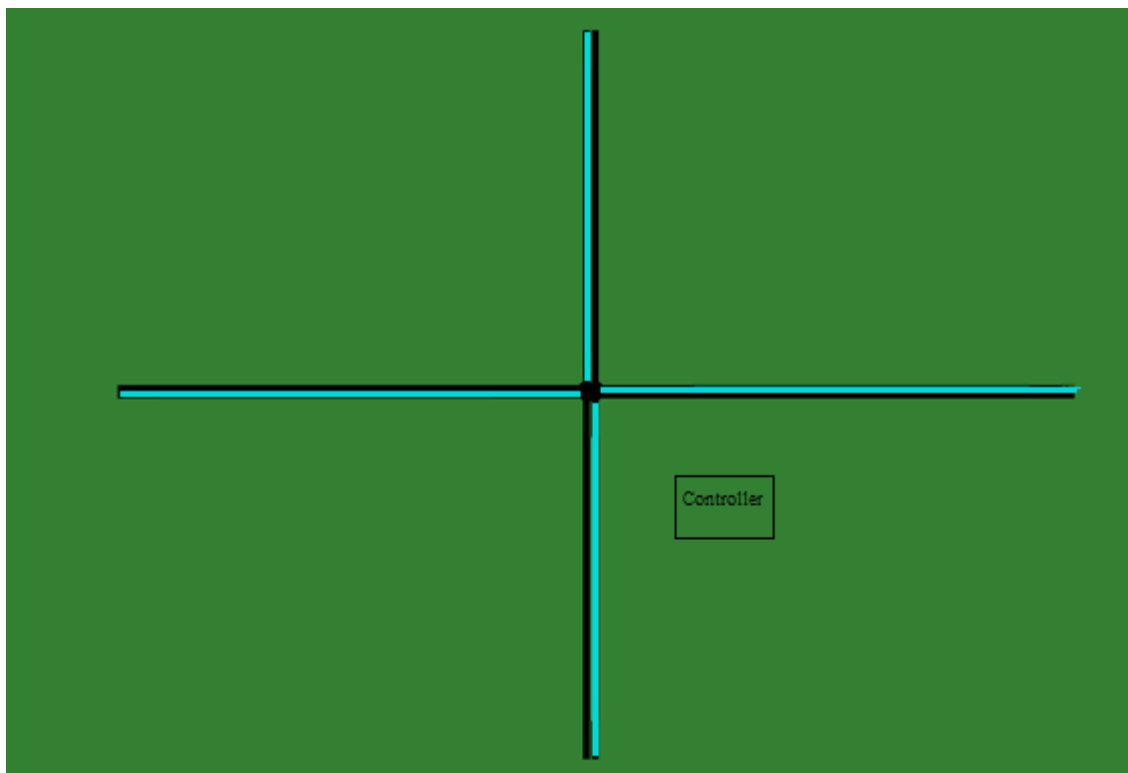
Εικόνα 18: Γενετικός Αλγόριθμος Flow

4.2 Ανάλυση προβλήματος

Η μελέτη αυτή θα εστιάσει στην αποσυμφόρηση ενός δικτύου για ένα κόμβο. Γραφικά παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Κάθε είσοδος στο κόμβο θα εμπεριέχει ένα και μόνο κανάλι (lane) για απλοποίηση του προβλήματος, αν και η εισαγωγή/επέκταση περισσότερων από 1 κανάλι σε κάθε είσοδο στον κόμβο δεν θα άλλαζε ριζικά τα δεδομένα για την συγκεκριμένη προσέγγιση.

Θεωρούμε την ύπαρξη αισθητήρων λήψεως την κίνησης σε κάθε ένα από τους τέσσερις

δρόμους ή αλλιώς για κάθε φανάρι της διασταύρωσης. Παρακάτω παρουσιάζεται με γαλάζιο χρώμα το μήκος λήψης της κίνησης. Κάθε αισθητήρας επικοινωνεί με έναν Διαχειριστή(Controller) για την μεταφορά των δεδομένων κίνησης, με τον διαχειριστή να αναλαμβάνει την απόφαση εκτέλεσης του αλγορίθμου με βάση το αναγνωριστικό του φαναριού που του έχει οριστεί.



Εικόνα 19: Intersection Design

Σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους που προαναφέραμε μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

$$Fitness_Fuction = \sum_{i=1}^n TD_i$$

$$TD_i = PF_i * (d1_i + d2_i)$$

$$d1 = 0.38C \frac{[1 - \frac{g}{c}]^2}{1 - [\frac{g}{c}]x}$$

$$d2 = 173x^2 \sqrt{x - 1 + (x - 1)^2 + 16 \frac{x}{c}}$$

Η συνολική μέση καθυστέρηση που δημιουργείται σε ένα κόμβο είναι άμεσα συνδεδεμένη με το μέγεθος του κύκλου(χρόνος μεταξύ 2 διαδοχικών πράσινων του ίδιου σηματοδότη). Όσο μεγαλύτερος λοιπόν ο κύκλος τόσο μεγαλύτερη η συνολική μέση καθυστέρηση, αφού ο μεγαλύτερος παρεχόμενος χρόνος σε συμφορισμένα κανάλια δημιουργεί μεγαλύτερη καθυστέρηση στα υπόλοιπα κανάλια. Βέβαια, όσο μεγαλύτερος ο κύκλος τόσο μεγαλύτερος ο παρεχόμενος χρόνος στα συμφορισμένα κανάλια, με αποτέλεσμα την δημιουργία παρατεταμένης ροής κινητών και τελικά την μερική αποσυμφόρηση τους. Έτσι, στην περίπτωση που υποθέσουμε ότι μία αύξηση του κύκλου θα είναι αρκετή για την αποσυμφόρηση κάποιων καναλιών εισαγωγής του δικτύου, το άμεσο αποτέλεσμα είναι η αύξηση της συνολικής μέσης καθυστέρησης.

Δεύτερον, για μία διασταύρωση με στατικό χρόνο κύκλου(παραδείγματος χάριν 100 δευτερόλεπτα), στην περίπτωση μειωμένης κίνησης θα υπάρξει αύξηση της συνολικής μέσης καθυστέρησης αφού οι σηματοδότες θα ανάβουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα πράσινο ώστε να καλύψουν τον χρόνο του κύκλου. Αυτό δημιουργεί νεκρούς χρόνους όπου για διάφορα κανάλια στον δεδομένο χρόνο του πράσινου δεν θα διασχίζει κανένα κινητό την διασταύρωση.

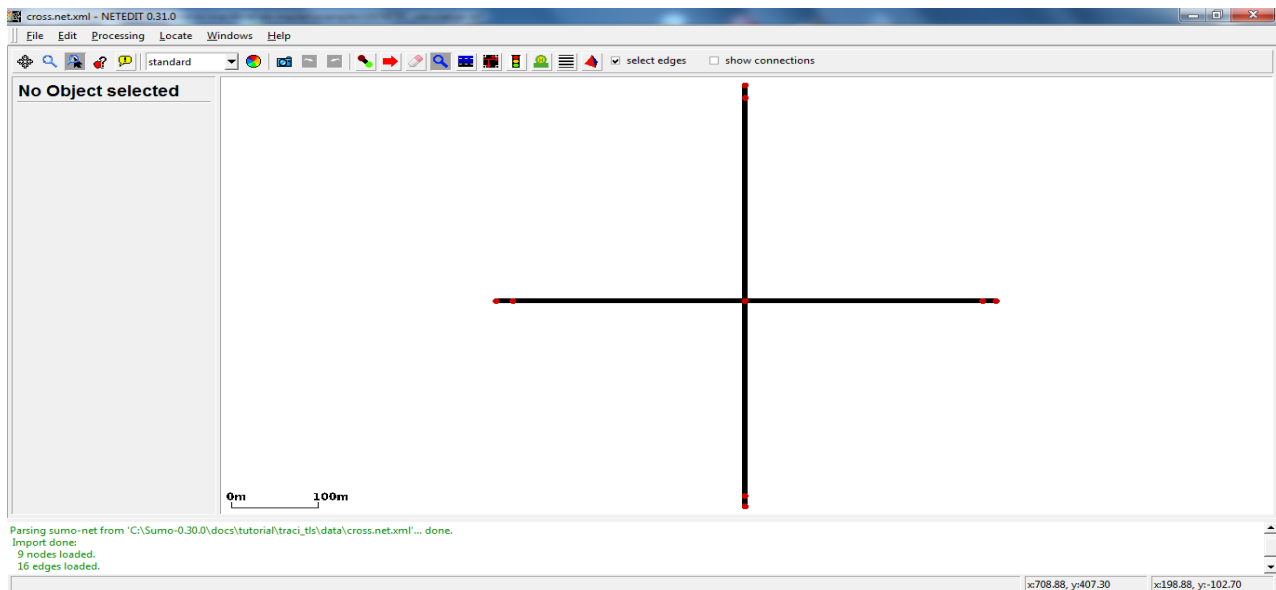
Ταυτόχρονα, με βάση τα παραπάνω να προσθέσουμε ότι για να είναι ρεαλιστικό κάτι τέτοιο θα πρέπει να προσαρμόζεται με βάση την ζήτηση. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να μπορεί ένα τέτοιο σύστημα να διαχειρίζεται ροές κινητών με χρονικά μεταβαλλόμενα διαστήματα συμφόρησης καναλιών.

Έτσι, μετά από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι θα πρέπει να ορίζουμε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα κύκλου, δυναμικά, σε τακτά χρονικά διαστήματα(παραδείγματος χάριν μετά από κάθε ολοκλήρωση ενός κύκλου), με τρόπο τέτοιο, ώστε να δίνεται ο απαραίτητος χρόνος για την αποσυμφόρηση καναλιών, κρατώντας σε χαμηλές τιμές την συνολική μέση καθυστέρηση σε περιπτώσεις συμφόρησης. Ταυτόχρονα θα πρέπει το σύστημα να προσαρμόζεται σε περιπτώσεις μειωμένης κίνησης, με τον χρόνο κύκλου να ορίζεται αρκετά μικρός ώστε να μειώνεται η συνολική μέση καθυστέρηση. Η συγκεκριμένη εργασία θα επικεντρωθεί στην ανωτέρω ανάλυση για την δημιουργία ενός πλήρως αυτόργανωτου συστήματος διαχείρισης φαναριών.

Κεφάλαιο 5 – Προσομοίωση & Αποτελέσματα

5.1 – Προσομοιωτής *Simulation of Urban Mobility*

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε με χρήση του προγράμματος προσομοίωσης οδικής κυκλοφορίας *Simulation of Urban Mobility (SUMO)*. Ο προσομοιωτής αναπτύσσεται κυρίως από εργαζόμενους στο Ινστιτούτο Συστημάτων Μετακίνησης (*Institution of Transportation Systems*) του Γερμανικού Κέντρου Αεροδιαστημικής (*German Aerospace Center*) από το 2001. Χρησιμοποιεί συνεχείς μεταβλητές για την αναπαράσταση του χώρου και διακριτή για την αναπαράσταση του χρόνου (το βήμα μπορεί να καθοριστεί από τον χρήστη). Δύναται να αναπαραστήσει διαφόρων ειδών οχήματα, αστικές συγκοινωνίες και πεζούς και για κάθε όχημα που προσομοιώνεται μπορεί να επιλεγθεί ένα πλήθος παραμέτρων (μήκος οχήματος, μέγιστη επιτάχυνση/επιβράδυνση, μέγιστη ταχύτητα, αντίδραση του οδηγού κλπ.) κάνοντας την προσομοίωση να παράγει πολύ ρεαλιστικά αποτελέσματα και εφαρμόσιμα στον πραγματικό κόσμο. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει το *interfacetou* διαχειριστή δικτύου του προσομοιωτή, δίνοντας δυνατότητες όπως η δημιουργία ενός τυπικού οδικού δικτύου, η εφαρμογή φαναριών σε διασταυρώσεις, εισαγωγή ανιχνευτών κ.α.



Εικόνα 20: Διαχείριση δικτύου

Μέσα στο πλήθος των δυνατοτήτων του είναι και ο έλεγχος των φαναριών σε διασταυρώσεις του οδικού δικτύου, έλεγχος που μπορεί να γίνει είτε online – δηλαδή κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης, είτε offline με φόρτωση ρυθμίσεων των φαναριών κατά την εκκίνηση της. Ο online έλεγχος της προσομοίωσης είναι και ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του προγράμματος καθώς υλοποιείται άμεσα με την διεπαφή TraCI (Traffic Control Interface) η οποία δίνει την δυνατότητα στον χρήστη μέσω μίας TCP client-server αρχιτεκτονικής να λαμβάνει και να τροποποιεί τιμές της προσομοίωσης κατά την εκτέλεσή της. Με χρήση της διεπαφής TraCI πραγματοποιήθηκαν και τα πειράματα που αναλύονται στην παρούσα εργασία. Το SUMO παρέχει επιπλέον ένα αναλυτικό γραφικό περιβάλλον προσομοίωσης που δίνει αρκετές πληροφορίες σχετικά με την εξέλιξη των πειραμάτων και διευκολύνει την κατανόηση και εποπτεία των αποτελεσμάτων. Δίνεται μάλιστα η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει και τον βαθμό της λεπτομέρειας της γραφικής αναπαράστασης, ανάλογα με την επεξεργαστική ισχύ που διαθέτει.

Τα οδικά δίκτυα στο SUMO κωδικοποιούνται ως xml. Η δημιουργία των αρχείων αυτόν πραγματοποιείται με τρεις πιθανούς τρόπους:

- με την χρήση του εργαλείου Netconvert που παρέχεται και μετατρέπει αρχεία xml με επιμέρους ορισμούς σχετικά με τους κόμβους, τις ακμές και άλλες λεπτομέρειες του δικτύου
- τυχαία με το εργαλείο Netgenerate
- με εισαγωγή δικτύων είτε από άλλα προγράμματα προσομοίωσης (Vissim, Matsim κ.α.) ή από χάρτες όπως από το OpenStreetMap

Στην συγκεκριμένη εργασία η δημιουργία του δικτύου έγινε με χρήση του Netconvert. Παρακάτω παρουσιάζονται τα δομικά στοιχεία για την δημιουργία ενός τυπικού οδικού δικτύου.

5.1.1 Κόμβοι

Η έννοια του κόμβου στο SUMO χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει διασταυρώσεις είτε σημεία εκκίνησης ή τερματισμού δρόμων. Η διαφοροποίηση των παραπάνω γίνεται αυτόματα από το πρόγραμμα *Netconvert* που διαπιστώνει τον αριθμό των προσκείμενων ακμών σε κάθε κόμβο. Οι κόμβοι ορίζονται σε αρχείο με κατάληξη .nod.xml με τις εξής παραμέτρους:

- **id**: Η ονομασία του κόμβου.
- **x**: Η x-συντεταγμένη του κόμβου στο επίπεδο της προσομοίωσης
- **y**: Η y-συντεταγμένη του κόμβου στο επίπεδο της προσομοίωσης
- **type**: Ο τύπος του κόμβου. Εδώ ο ορισμός τύπου του κόμβου όπως:
 - a) **traffic_light**: αν μια διασταύρωση θα ελέγχεται με φανάρια
 - b) **priority**: αν προηγούνται οχήματα από δρόμο με μεγαλύτερη προτεραιότητα
 - c) **right_before_left**: αν ισχύει η εκ των δεξιών προτεραιότητα

Παρακάτω παρουσιάζεται το ανάλογο xml αρχείο για την δημιουργία κόμβων του σεναρίου που θα εξετάσουμε.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<nodes xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/nodes_file.xsd">
  <node id="0" x="0.0" y="0.0" type="traffic_light"/>

  <node id="1" x="-500.0" y="0.0" type="priority"/>
  <node id="2" x="+500.0" y="0.0" type="priority"/>
  <node id="3" x="0.0" y="-200.0" type="priority"/>
  <node id="4" x="0.0" y="+500.0" type="priority"/>

  <node id="51" x="-510.0" y="0.0" type="priority"/>
  <node id="52" x="+510.0" y="0.0" type="priority"/>
  <node id="53" x="0.0" y="-510.0" type="priority"/>
  <node id="54" x="0.0" y="+510.0" type="priority"/>
</nodes>
```

Εικόνα 21: Αρχείο κόμβων xml

5.1.2 Ακμές

Οι ακμές του δικτύου αναπαριστούν τους δρόμους που θα υλοποιηθούν στην προσομοίωση. Κάθε κατεύθυνση ενός δρόμου αντιστοιχεί σε διαφορετική ακμή και συνεπώς ένας δρόμος δύο κατευθύνσεων ανάμεσα σε δύο διασταυρώσεις υλοποιείται με δύο ακμές αντίθετης κατεύθυνσης. Οι ορισμοί γίνονται σε ένα αρχείο με κατάληξη .edg.xml με τις ακόλουθες παραμέτρους:

- **id**: Το όνομα της ακμής

- **from:** Το όνομα του κόμβου από το αρχείο κόμβων από τον οποίο θα ξεκινάει η ακμή
- **to:** Το όνομα του κόμβου από το αρχείο κόμβων στον οποίο θα τερματίζει η ακμή
- **type:** Το όνομα του αρχείου τύπου της ακμής που περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες που αναφέρονται στην συνέχεια προκειμένου να αποφευχθεί η άσκοπη επανάληψη (αναλύεται στην επόμενη υπο-ενότητα)
- **numLanes:** Ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας στην ακμή
- **speed:** Η μέγιστη ταχύτητα που επιτρέπεται στις λωρίδες της ακμής (σε m/s)
- **priority:** Ένας ακεραίος αριθμός που υποδεικνύει την προτεραιότητα της ακμής. Σε διασταυρώσεις που δεν ελέγχονται από φανάρια (τύπου “priority”) τα οχήματα που κινούνται σε ακμές με χαμηλότερο priority σταματούν και περιμένουν να περάσουν τα οχήματα με υψηλότερη τιμή στο πεδίο αυτό
- **allow/disallow:** Μια λίστα με τους τύπους των οχημάτων που επιτρέπονται/απαγορεύονται στην ακμή
- **width:** Το πλάτος κάθε λωρίδας (σε m)

Παρακάτω παρουσιάζεται το αρχείο ακμών που δημιουργήθηκε για την προσέγγιση της εργασίας.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<edges xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/edges_file.xsd">
  <edge id="11" from="1" to="0" priority="78" numLanes="1" speed="19.444" />
  <edge id="10" from="0" to="1" priority="46" numLanes="1" speed="11.111" />

  <edge id="21" from="2" to="0" priority="78" numLanes="1" speed="19.444" />
  <edge id="20" from="0" to="2" priority="46" numLanes="1" speed="11.111" />

  <edge id="31" from="3" to="0" priority="78" numLanes="1" speed="19.444" />
  <edge id="30" from="0" to="3" priority="46" numLanes="1" speed="11.111" />

  <edge id="41" from="4" to="0" priority="78" numLanes="1" speed="19.444" />
  <edge id="40" from="0" to="4" priority="46" numLanes="1" speed="11.111" />

  <edge id="51i" from="1" to="51" priority="78" numLanes="1" speed="19.444" />
  <edge id="51o" from="51" to="1" priority="46" numLanes="1" speed="11.111" />

  <edge id="52i" from="2" to="52" priority="78" numLanes="1" speed="19.444" />
  <edge id="52o" from="52" to="2" priority="46" numLanes="1" speed="11.111" />

  <edge id="53i" from="3" to="53" priority="78" numLanes="1" speed="19.444" />
  <edge id="53o" from="53" to="3" priority="46" numLanes="1" speed="11.111" />

  <edge id="54i" from="4" to="54" priority="78" numLanes="1" speed="19.444" />
  <edge id="54o" from="54" to="4" priority="46" numLanes="1" speed="11.111" />
</edges>
```

Εικόνα 22: Αρχείο Ακμών xml

5.1.3 Διασυνδέσεις

Το τελευταίο βασικό στοιχείο της δημιουργίας ενός δικτύου είναι το αρχείο των διασυνδέσεων. Σε αυτό το αρχείο περιλαμβάνονται οι πληροφορίες για το σε ποιες ακμές μπορεί να μεταβεί ένα όχημα αφού διανύσει την τρέχουσα ακμή. Ο ορισμός θέλει προσοχή γιατί αν οι ακμές δεν πρόσκεινται στην ίδια διασταύρωση, ή δεν είναι συνέχεια η μία της άλλης θα δοθεί σφάλμα από το πρόγραμμα δημιουργίας του δικτύου. Το αρχείο έχει κατάληξη .con.xml και περιλαμβάνει τις ακόλουθες παραμέτρους: from: Το όνομα της ακμής αναχώρησης του οχήματος

- **to:** Το όνομα της ακμής άφιξης του οχήματος
- **fromLane:** Ο αριθμός της λωρίδας αναχώρησης του οχήματος
- **toLane:** Ο αριθμός της λωρίδας άφιξης του οχήματος

Οι διασυνδέσεις της διασταύρωσης που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα φαίνεται παρακάτω:

```
<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1"?>
<connections xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/connections_file.xsd">
  <connection from="1i" to="2o"/>
  <connection from="2i" to="1o"/>
  <connection from="3i" to="4o"/>
  <connection from="4i" to="3o"/>
</connections>
```

Εικόνα 23: Αρχείο διασυνδέσεων

5.1.4 Παραμετροποίηση δικτύου

Η δημιουργία του δικτύου με χρήση των παραπάνω τεσσάρων αρχείων γίνεται με χρήση του εργαλείου Netconvert το οποίο το τρέχουμε από την γραμμή εντολών με είσοδο ένα αρχείο που παρέχει πληροφορίες για τα αρχεία nod, edg και con. Το αρχείο αυτό έχει κατάληξη .netcfg και παρουσιάζεται παρακάτω:

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<configuration xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/netconvertConfiguration.xsd">
  <input>
    <node-files value="cross.nod.xml"/>
    <edge-files value="cross.edg.xml"/>
    <connection-files value="cross.con.xml"/>
  </input>
  <output>
    <output-file value="cross.net.xml"/>
  </output>
  <report>
    <verbose value="true"/>
  </report>
</configuration>

```

Εικόνα 24: Αρχείο παραμετροποίησης

5.1.5 Δημιουργία Κίνησης

Η χειροκίνητη μέθοδος περιλαμβάνει την στοιχειοθέτηση ενός xml αρχείου με κατάληξη .rou.xml το οποίο περιλαμβάνει πληροφορίες για τον τύπο των οχημάτων, τις διαδρομές που είναι επιτρεπτό να ακολουθήσουν, αλλά και κάθε όχημα χωριστά με την ακριβή στιγμή εισαγωγής του στη προσομοίωση. Προφανώς το σύνολο των οχημάτων δεν ορίστηκαν «χειροκίνητα» αλλά με την βοήθεια ενός script σε python το οποίο παρήγαγε καταχωρήσεις οχημάτων στο εν λόγω αρχείο με βάσει ορισμένες προδιαγραφές τυχαιότητας. Λεπτομέρειες θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο. Για τους τύπους των οχημάτων παρέχονται οι ακόλουθες παράμετροι:

- **id**: Το όνομα του τύπου του οχήματος
- **accel**: Η μέγιστη επιτάχυνση του οχήματος (σε m/s^2)
- **decel**: Η μέγιστη επιβράδυνση του οχήματος (σε m/s^2)
- **sigma**: Η ατέλεια του οδηγού (από 0 έως 1 με προεπιλογή 0.5)
- **tau**: Ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού
- **length**: Το μήκος του οχήματος
- **minGap**: Το ελάχιστο κενό διάστημα που πρέπει να διατηρείται από το προπορευόμενο όχημα

- **maxSpeed:** Η μέγιστη ταχύτητα του οχήματος (σε m/s)
- **color:** Το χρώμα των οχημάτων αυτού του τύπου
- **guiShape:** Το σχήμα που θα χρησιμοποιηθεί για την αναπαράσταση του τύπου
- **width:** Το πλάτος του οχήματος

```

<routes>
  <vType id="typeWE" accel="0.8" decel="4.5" sigma="0.5" length="5" minGap="1" maxSpeed="22"/>
  <vType id="typeNS" accel="0.8" decel="4.5" sigma="0.5" length="5" minGap="1" maxSpeed="22"/>

  <route id="right" edges="51o 1i 2o 52i" />
  <route id="left" edges="52o 2i 1o 51i" />
  <route id="down" edges="54o 4i 3o 53i" />
  <route id="up" edges="53o 3i 4o 54i" />
  <vehicle id="right_0" type="typeWE" route="right" depart="3" />
  <vehicle id="up_1" type="typeNS" route="up" depart="4" color="1,0,0"/>
  <vehicle id="right_2" type="typeWE" route="right" depart="11" />
  <vehicle id="right_3" type="typeWE" route="right" depart="25" />
  <vehicle id="right_4" type="typeWE" route="right" depart="31" />
  <vehicle id="right_5" type="typeWE" route="right" depart="34" />
  <vehicle id="right_6" type="typeWE" route="right" depart="40" />

```

Εικόνα 25: Αρχείο διαδρομών

5.1.6 TraCI API

Το TraCI (Traffic Control Interface) είναι η διεπαφή που επιτρέπει στον χρήστη να έχει άμεση πρόσβαση στο πρόγραμμα προσομοίωσης, να ανακτά από αυτό τιμές για και πληροφορίες για όλα τα αντικείμενα που προσομοιώνονται καθώς και να μεταβάλλει τιμές και την συμπεριφορά τους κατά την εκτέλεση. Το TraCI χρησιμοποιεί μία αρχιτεκτονική client-server, δίνοντας τον ρόλο του server στο SUMO και τον ρόλο του client σε πρόγραμμα που μπορεί να συντάξει ο χρήστης (Python, Java, Matlab). Στο μενού αυτό λειτουργίας του SUMO η προσομοίωση δεν εκτελείται ανεξάρτητα, αλλά περιμένει σε κάθε βήμα για οδηγίες από τον client. Αρχικά για να θέσουμε το SUMO στη λειτουργία αυτή, πρέπει να προσθέσουμε στις παραμέτρους εκκίνησης την επιλογή: --remote-port όπου στο ορίζεται η θύρα (port) που θα επικοινωνεί ο server με τον client.

Το πακέτο του SUMO έχει έτοιμη μια εκτενή βιβλιοθήκη μεθόδων σε Python που χρησιμεύουν για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ του χρήστη και της προσομοίωσης. Ταυτόχρονα η ίδια βιβλιοθήκη έχει δημιουργηθεί και για την διασύνδεση με πλατφόρμα Matlab το οποίο και θα χρησιμοποιήσουμε. Παρακάτω ακολουθεί μια συνοπτική αναφορά σε μερικές από τις συναντήσεις που χρησιμοποιήθηκαν.

- **traci.lane.setMaxSpeed(laneID,speed)**: Παρακάμπτεται η τιμή που δόθηκε ως μέγιστη ταχύτητα της λωρίδας laneID κατά την δημιουργία του δικτύου και ορίζεται ως μέγιστη η speed.
- **traci.trafficlights.setCompleteRedYellowGreenDefinition(tlsID,tls)**: Ορίζεται ένα καινούργιο πρόγραμμα για το φανάρι με αναγνωριστικό tlsID.
- **traci.trafficlights.setPhase(tlsID,index)**: Ορίζει την φάση του τρέχοντος προγράμματος με δείκτη index ως την ενεργή φάση.
- **traci.trafficlights.setPhaseDuration(tlsID,phaseDuration)**: Ορίζει την υπολειπόμενη διάρκεια της τρέχουσας φάσης.
- **traci.trafficlights.setRedYellowGreenState(tlsID,state)**: «Εξαναγκάζει» το φανάρι με αναγνωριστικό tlsID να μεταβεί στην κατάσταση state ανεξαρτήτως του προγράμματος και της φάσης στην οποία βρίσκεται.

5.1.7 Συλλογή δεδομένων

Οι ανιχνευτές που προσφέρει το SUMO είναι τριών τύπων:

- **E1**: ανιχνευτές επαγωγικού βρόχου (induction loop detectors) που τοποθετούνται σε μια λωρίδα του οδικού δικτύου σε μια ορισμένη θέση.
- **E2**: ανιχνευτές περιοχής (areal detectors) οι οποίοι τοποθετούνται σε μία λωρίδα όπως οι E1 με την διαφορά όμως ότι χαρακτηρίζονται από το μήκος του τμήματος της λωρίδας που παρακολουθούν. Για να οριστούν οι ανιχνευτές μέσα στο οδικό δίκτυο οφείλουν να συμπεριληφθούν σε ένα χωριστό αρχείο το οποίο δίνεται σαν όρισμα κατά την εκκίνηση του SUMO. Μέσα στο αρχείο αυτό δίνονται εγγραφές για κάθε ανιχνευτή ανάλογα με το είδος του.
- **E3**: πρόκειται για ανιχνευτές πολλαπλών προελεύσεων/πολλαπλών προορισμών (multiorigin-multidestination detectors) οι οποίοι είναι πολλοί ανιχνευτές τύπου E1 στους οποίους το ίδιο το SUMO επεξεργάζεται και συσσωρεύει αποτελέσματα για να δώσει πιο χρήσιμα και άμεσα αξιοποιήσιμα δεδομένα σχετικά με την κατάσταση της κίνησης σε έναν συνδυασμό λωρίδων.

Για τους ανιχνευτές E1 έχουμε τα ακόλουθα στοιχεία διαθέσιμα προς παραμετροποίηση:

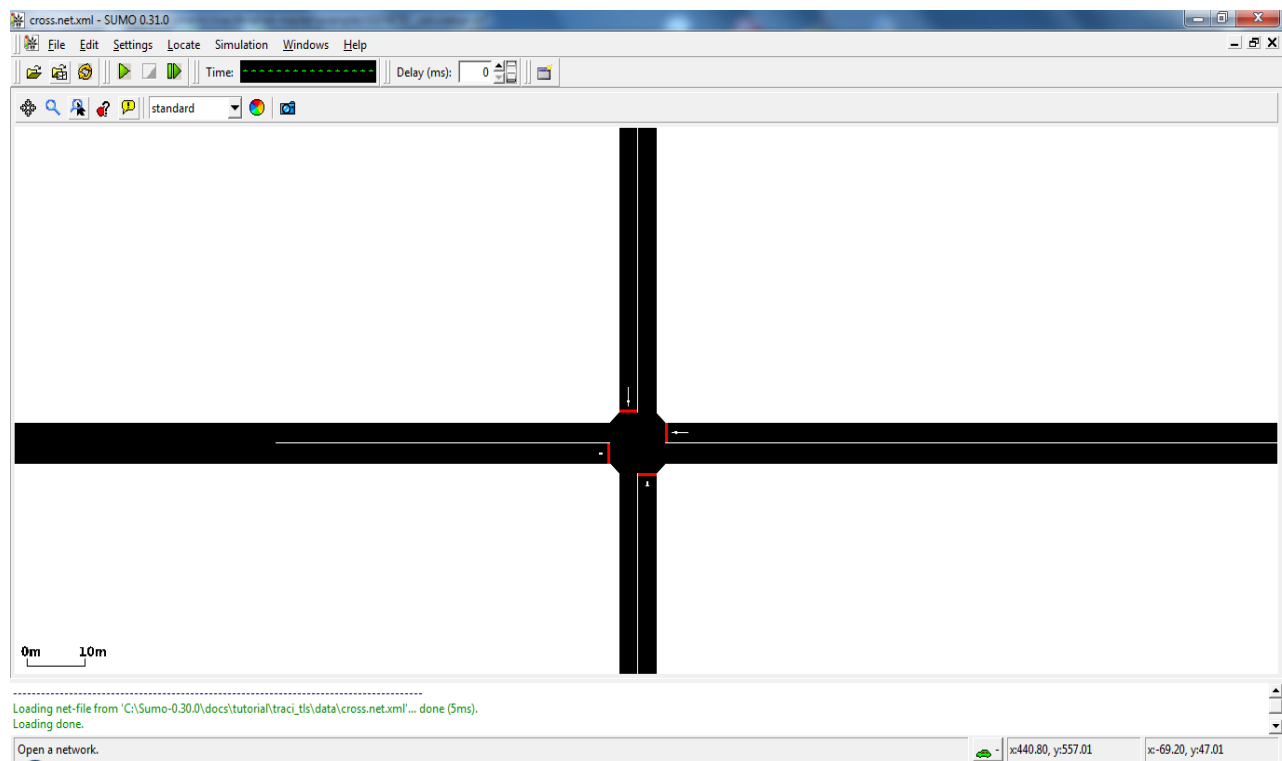
- **id**: Το όνομα του ανιχνευτή.

- **lane:** Το όνομα της λωρίδας που θα τοποθετηθεί ο ανιχνευτής.
- **pos:** Η θέση σε μέτρα από την αφετηρία της λωρίδας στην οποία θα τοποθετηθεί ο ανιχνευτής.
- **freq:** Ο χρόνος σε δευτερόλεπτα κατά τον οποίο ο ανιχνευτής θα συλλέγει δεδομένα ανάμεσα σε δύο εξόδους του.

Για τους ανιχνευτές E2 δίνονται οι ακόλουθες παράμετροι:

- **id:** Το όνομα του ανιχνευτή.
- **lane:** Το όνομα της λωρίδας που θα τοποθετηθεί ο ανιχνευτής.
- **pos:** Η θέση σε μέτρα από την αφετηρία της λωρίδας στην οποία θα τοποθετηθεί ο ανιχνευτής.
- **length:** Το μήκος της λωρίδας κατά το οποίο ο ανιχνευτής συλλέγει δεδομένα.
- **freq:** Ο χρόνος σε δευτερόλεπτα κατά τον οποίο ο ανιχνευτής θα συλλέγει δεδομένα ανάμεσα σε δύο εξόδους του.
- **speedThreshold:** Το όριο της ταχύτητας σε m/s κάτω από το οποίο θα υπολογίζεται πως ένα όχημα είναι σταματημένο (halting vehicle).
- **timeThreshold:** Το όριο του χρόνου σε s κάτω από το οποίο θα υπολογίζεται πως ένα όχημα είναι σταματημένο (halting vehicle).
- **jamThreshold:** Η μέγιστη απόσταση σε m που πρέπει να έχει ένα όχημα από το επόμενο σταματημένο όχημα, ώστε να θεωρηθεί κομμάτι της σταματημένης ουράς

Τέλος, παρουσιάζεται η διεπαφή του προσομοιωτή κατά την εκκίνηση προσομοίωσης. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής αναπτύχθηκε κατάλληλο λογισμικό και το περιβάλλον προσομοίωσης καλείται μέσω της Διεπαφής Προγραμματισμού Εφαρμογών (API).



Εικόνα 26: Interface Προσομοιωτή

5.2 -Σενάρια

Οι περιπτώσεις που θα ελεγχθούν ως προς την συμπεριφορά για όλα τα σενάρια είναι τρεις και οι δύο από αυτούς αφορούν τους αλγόριθμους που υλοποιήθηκαν:

- A. Στατικοί χρόνοι,
- B. Δυναμικοί χρόνοι και
- C. Δυναμικοί χρόνοι με δυναμικό κύκλο

Για κάθε ένα από τα σενάρια θα ισχύουν οι παρακάτω περιορισμοί εξωτερικών παραγόντων:

1. Ο χρόνος του κίτρινου σηματοδότη ορίζεται στα **4** δευτερόλεπτα.
2. Ο χρονική στιγμή της αναπροσαρμογής χρόνων θα γίνεται κατά την διάρκεια "καθαρισμού" του εκάστοτε κύκλου όπως υπάρχει και σήμερα με διάρκεια **2** δευτερολέπτων στο τέλος αυτού.
3. Η ελάχιστη χρονική διάρκεια πράσινου ορίζεται σε **8** δευτερόλεπτα, ενώ η μέγιστη σε **60**

δευτερόλεπτα.

4. Η μέγιστη ταχύτητα των κινητών ορίζεται στα **70Km/h**.
5. Η απόσταση ακινητοποίησης οχημάτων μεταξύ τους ορίζεται στο **1** μέτρο.
6. Η επιτάχυνση των κινητών ορίζεται στα **10368Km/h²** ή αλλιώς **0,8m/s²**.
7. Η επιβράδυνση των κινητών ορίζεται στα **58320Km/h²** ή αλλιώς **4,5m/s²**.
8. Το μήκος των κινητών ορίζεται σταθερό στα **5** μέτρα.
9. Η οδική ατέλεια του οδηγού ορίζεται 0.5 με διάστημα τιμών απο 0 έως 1.
10. Κάθε δρόμος εισαγωγής στο δίκτυο έχει μέγεθος **150** μέτρα και ο συνολικός αριθμός κινητών που θα μπορούν να υποστηρίξουν είναι **20** κινητά.
11. Για τα **140** μέτρα κάθε δρόμου υπάρχει ειδικός ανιχνευτής.
12. Για τις περιπτώσεις στατικών χρόνων καθώς και δυναμικών χρόνων ορίζεται διάρκεια κύκλου **158** δευτερολέπτων. Εξαιρείται η περίπτωση δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο.
13. Και τα τρία είδη προσομοίωσης θα ξεκινούν την χρονική στιγμή **0**.
14. Κατά το ξεκίνημα και των 3 ελεγχόμενων προσομοιώσεων ο πρώτος κύκλος ορίζεται με στατική διαχείριση, με βάση τα δεδομένα που αναφέρθηκαν στο 3.
15. Η προσομοίωση λαμβάνει τέλος όταν όλα τα κινητά έχουν βγει εκτός του θεωρητικού δικτύου του κόμβου.

Εδώ να αναφέρουμε ότι οι αλγόριθμοι για την περίπτωση συμφόρησης και των τεσσάρων δρόμων συμπεριφέρονται ακριβώς το ίδιο με την περίπτωση στατικού προγραμματισμού των φαναριών, γι' αυτό και δεν συμπεριλαμβάνεται η περίπτωση πλήρους συμφόρησης του δικτύου. Άλλωστε το πλεονέκτημα των αναπτυχθέντων αλγορίθμων είναι στον διαμοιρασμό του διαθέσιμου χρόνου(κύκλου). Τέλος, θα υπάρχει περιορισμός στις κινήσεις των κινητών και θα είναι West-Eastκαι North-Southκαι αντίστροφα. Στην συνέχεια γίνεται αναλυτική περιγραφή των 6 σεναρίων προσομοίωσης όπως αυτά πραγματοποιήθηκαν.

5.2.1 - Πρώτο σενάριο συμφόρησης

Το πρώτο σενάριο συμφόρησης που θα γίνει προσομοίωση, αφορά ένα extreme stress σε δύο από τους τέσσερις δρόμους εισαγωγής στην διασταύρωση. Το Utilization του δικτύου θα είναι **24%** κατά προσέγγιση. Πρόκειται για ένα σενάριο το οποίο δεν έχει ουσιαστική εφαρμογή, αφού η εισαγωγή των κινητών δεν γίνεται σε χρονικά μεταβαλλόμενα διαστήματα. Πιο συγκεκριμένα θα ξεκινήσουμε την προσομοίωση την χρονική στιγμή **0**, με στατικό πρόγραμμα χρόνων σήμανσης και συνολικό κύκλο **158 seconds** όπως προαναφέρθηκε εισαγωγικά. Για τους δρόμους που βρίσκονται ανατολικά και δυτικά και από εδώ και στο εξής θα τους ονομάζουμε West και East, θα γίνει εισαγωγή **300** κινητών με περίοδο **9** δευτερολέπτων, ενώ για τους δρόμους North και South ο συνολικός αριθμός εισαγωγής κινητών θα είναι **100** με περίοδο **27 seconds** έκαστο. Στην συνέχεια με δεδομένη την κίνηση πίσω από τους σηματοδότες από τον προηγούμενο κύκλο και για τις περιπτώσεις δυναμικών χρόνων και δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο, θα γίνει μετάβαση στο νέο σύστημα διαχείρισης.

Σκοπός πίσω από αυτό το σενάριο είναι να παρατηρήσουμε την συμπεριφορά των τριών ειδών αλγορίθμων και να εξάγουμε με βάση τον χρόνο ολοκλήρωσης της προσομοίωσης ποιος αλγόριθμος είχε το μεγαλύτερο Throughput και ταυτόχρονα την μικρότερη μέση συνολική καθυστέρηση από κύκλο σε κύκλο (Total Average Stop Delay).

5.2.2 - Δεύτερο σενάριο συμφόρησης

Το δεύτερο σενάριο συμφόρησης αφορά την περίπτωση χαμηλής συμφόρησης, δηλαδή χρησιμοποίηση δικτύου (Utilization) της τάξης του **13 %**. Πρόκειται για ένα σενάριο το οποίο περιλαμβάνει χρονικά μεταβαλλόμενα διαστήματα εισαγωγής κινητών στοχαστικά στους τρεις δρόμους και είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα. Για τους δρόμους West και East, θα γίνει εισαγωγή **80** και **93** κινητών αντίστοιχα σε τυχαίες χρονικές περιόδους στο διάστημα **3600** δευτερολέπτων προσομοίωσης, ενώ για τους δρόμους North και South ο συνολικός αριθμός εισαγωγής κινητών θα είναι **79** και **82** αντίστοιχα στο ίδιο διάστημα.

Σκοπός πίσω από αυτό το σενάριο είναι να παρατηρήσουμε την συμπεριφορά των τριών ειδών αλγορίθμων στην περίπτωση χαμηλής συμφόρησης από άποψη συνολικής μέσης καθυστέρησης αλλά και Throughput όταν έχουμε χρονικά μεταβαλλόμενα διαστήματα συμφόρησης. Επίσης, το προσδοκώμενο αποτέλεσμα είναι,

- a) Ο αλγόριθμος δυναμικών χρόνων & κύκλου να μπορέσει να προσεγγίσει την ποσότητα κύκλων του αντίστοιχου στατικού ενώ ταυτόχρονα μειώνει την συνολική καθυστέρηση.
- b) Όσο αφορά το Throughput δεν αναμένουμε ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις αφού πρόκειται για σενάριο χαμηλής συμφόρησης.

5.2.3 - Τρίτο σενάριο συμφόρησης

Το τρίτο σενάριο συμφόρησης αφορά την περίπτωση μέσης συμφόρησης, δηλαδή χρησιμοποίηση δικτύου(Utilization) της τάξης του **17,7 %** κρατώντας 1 κανάλι με χαμηλή τιμή εισαγωγής κινητών όπως και στο προηγούμενο σενάριο. Πρόκειται και αυτό για ένα σενάριο το οποίο περιλαμβάνει χρονικά μεταβαλλόμενα διαστήματα εισαγωγής κινητών στοχαστικά. Για τους δρόμους West και East, θα γίνει εισαγωγή **186** και **211** κινητών αντίστοιχα σε τυχαίες χρονικές περιόδους στο διάστημα **3600** δευτερολέπτων προσομοίωσης, ενώ για τους δρόμους North και South ο συνολικός αριθμός εισαγωγής κινητών θα είναι **90** και **166** αντίστοιχα στο ίδιο διάστημα.

Σκοπός πίσω από αυτό το σενάριο είναι να παρατηρήσουμε την συμπεριφορά των τριών ειδών αλγορίθμων στην περίπτωση μέσης συμφόρησης από άποψη συνολικής μέσης καθυστέρησης και Throughput όταν έχουμε χρονικά μεταβαλλόμενα διαστήματα συμφόρησης. Τα προσδοκώμενα αποτελέσματα αναμένονται τα ίδια με αυτά του προηγούμενου σεναρίου με μικρές διαφοροποιήσεις.

5.2.4 - Τέταρτο σενάριο συμφόρησης

Το τέταρτο σενάριο συμφόρησης αφορά την περίπτωση υψηλής συμφόρησης σε ένα δρόμο εισαγωγής και μέσης συμφόρησης σε **2** από αυτούς, δηλαδή χρησιμοποίηση δικτύου(Utilization) της τάξης του **21,7 %** κρατώντας **1** κανάλι χωρίς εισαγωγή κινητών. Πρόκειται και αυτό για ένα σενάριο το οποίο περιλαμβάνει χρονικά μεταβαλλόμενα διαστήματα εισαγωγής κινητών στοχαστικά στους τρεις δρόμους. Για τους δρόμους West και East, θα γίνει εισαγωγή **283** και **192** κινητών αντίστοιχα σε τυχαίες χρονικές περιόδους στο διάστημα **3600** δευτερολέπτων προσομοίωσης, ενώ για τους δρόμους North και South ο συνολικός αριθμός εισαγωγής κινητών θα είναι **175** και **0** αντίστοιχα στο ίδιο διάστημα.

Σκοπός πίσω από αυτό το σενάριο είναι να παρατηρήσουμε την συμπεριφορά των τριών ειδών αλγορίθμων αλλά και την απόδοση αυτών, στην περίπτωση υψηλής συμφόρησης από ένα ρεύμα και ταυτόχρονα μέσης συμφόρησης από 2 άλλα. Η συνολική μέση καθυστέρηση και το Throughput θα παρουσιαστούν όταν έχουμε χρονικά μεταβαλλόμενα διαστήματα συμφόρησης.

5.2.5 - Πέμπτο σενάριο συμφόρησης

Στο πέμπτο σενάριο συμφόρησης θα γίνει προσομοίωση της περίπτωση υψηλής συμφόρησης από 2 αντίθετα κατευθυνόμενα κανάλια και ενός με χαμηλή συμφόρηση, δηλαδή χρησιμοποίηση δικτύου(Utilization) της τάξης του **20 %** κρατώντας **1** κανάλι χωρίς εισαγωγή κινητών. Πρόκειται και αυτό για ένα σενάριο το οποίο περιλαμβάνει χρονικά μεταβαλλόμενα διαστήματα εισαγωγής κινητών στοχαστικά. Για τους δρόμους West και East, θα γίνει εισαγωγή **318** και **380** κινητών αντίστοιχα σε τυχαίες χρονικές περιόδους στο διάστημα **3600** δευτερολέπτων προσομοίωσης, ενώ για τους δρόμους North και South ο συνολικός αριθμός εισαγωγής κινητών θα είναι **116** και **0** αντίστοιχα στο ίδιο διάστημα.

Σκοπός πίσω από αυτό το σενάριο είναι να παρατηρήσουμε την συμπεριφορά των τριών ειδών αλγορίθμων στην περίπτωση υψηλής συμφόρησης σε 2 αντίθετα κατευθυνόμενα κανάλια από άποψη συνολικής μέσης καθυστέρησης και Throughput όταν έχουμε χρονικά μεταβαλλόμενα διαστήματα συμφόρησης. Αναμενόμενο αποτέλεσμα θα είναι για την περίπτωση του αλγόριθμου δυναμικών χρόνων η μείωση του Performance factor αλλά και του Total Delay σε συνάρτηση του στατικού προγραμματισμού. Αντίστοιχα, για την περίπτωση δυναμικών χρόνων & κύκλου περιμένουμε μια μικρή αύξηση του δείκτη ποιότητας σε σχέση με του δυναμικού προγραμματισμού αλλά ταυτόχρονα μεγάλη μείωση της συνολικής μέσης καθυστέρησης.

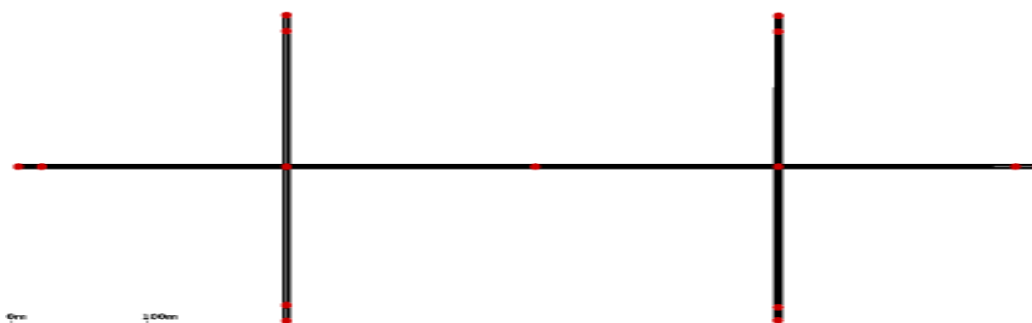
5.2.6 - Έκτο σενάριο συμφόρησης

Το έκτο σενάριο συμφόρησης αφορά την περίπτωση υψηλής συμφόρησης, δηλαδή χρησιμοποίηση δικτύου(Utilization) της τάξης του **23 %**. Πρόκειται και αυτό για ένα σενάριο το οποίο περιλαμβάνει χρονικά μεταβαλλόμενα διαστήματα εισαγωγής κινητών στοχαστικά στους τέσσερις δρόμους. Για τους δρόμους West και East, θα γίνει εισαγωγή **308** και **335** κινητών αντίστοιχα, σε τυχαίες χρονικές περιόδους στο διάστημα **3600** δευτερολέπτων προσομοίωσης, ενώ για τους δρόμους North και South ο συνολικός αριθμός εισαγωγής κινητών θα είναι **110** και **124**

αντίστοιχα στο ίδιο διάστημα.

5.2.6 - Έβδομο σενάριο συμφόρησης

Σε αυτό το σενάριο γίνεται προσπάθεια απόδειξης ότι η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι ενδεικτική για την λύση του προβλήματος όταν θεωρηθεί δίκτυο με 2 κόμβους. Με βάση τον προτεινόμενο αρχιτεκτονικό σχεδιασμό το σύστημα θα αντιμετωπίζει την συμφόρηση στα πλαίσια 2 κόμβων από έναν κεντρικό fog controller. Παρακάτω παρουσιάζεται το δίκτυο ενδιαφέροντος.



Πρόκειται για ένα σενάριο το οποίο περιλαμβάνει χρονικά μεταβαλλόμενα διαστήματα εισαγωγής κινητών στοχαστικά στους τέσσερις δρόμους. Για τους δρόμους West και East, θα γίνει εισαγωγή **364 και 428** κινητών αντίστοιχα, σε τυχαίες χρονικές περιόδους στο διάστημα **3600** δευτερολέπτων προσομοίωσης, ενώ για την πρώτη διασταύρωση και τους δρόμους **North** και **South**, θα γίνει εισαγωγή: **97 και 56** κινητών και την δεύτερη διασταύρωση για τους δρόμους **North** και **South** ο συνολικός αριθμός εισαγωγής κινητών θα είναι: **101 και 63**. Τελικά η συνολική κίνηση θα είναι **1109** κινητά σε χρόνο **3600** δευτερολέπτων.

5.3 -Αποτελέσματα σεναρίων

Τα παρακάτω αφορούν τους πίνακες στατιστικών για όλες τις περιπτώσεις σεναρίων. Η πρώτη στήλη με ονομασία Cycle είναι ο εκάστοτε κύκλος, η στήλη PF είναι ένας δείκτης για την ποιότητα της κίνησης που όσο μικρότερη τιμή τόσο μικρότερη η συμφόρηση του δικτύου ενώ η στήλη TDαφορά το Total Average Stop Delay που προαναφέρθηκε στο υπο-κεφάλαιο 5.2. Ως δείκτης ποιότητας της κίνησης PF ορίζεται ως το παρακάτω άθροισμα:

$$\sum_{i=1}^N (W_i \times S_i) / GT_i$$

, όπου N_0 αριθμός των εισερχόμενων στον κόμβο καναλιών, W ο μέγιστος αριθμός κινητών ανά κανάλι (ορισμένο με τιμή 20 κινητά), S_0 αριθμός αυτοκινήτων που ανιχνεύθηκε στο κάθε κανάλι και GT ο χρόνος πράσινου που δόθηκε αντίστοιχα. Πίνακες με την εκάστοτε συμφόρηση και τους χρόνους πράσινου που δόθηκαν σε κάθε κανάλι, παρουσιάζονται στο [Παράρτημα Α](#).

5.3.1 - Πρώτο σενάριο συμφόρησης

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει την συλλογή στατιστικών για το πρώτο σενάριο για κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις αλγορίθμων.

	STATIC			DYNAMIC			DYNAMIC with Cycle			
<i>Cycle</i>	<i>PF</i>	<i>TD</i>		<i>Cycle</i>	<i>PF</i>	<i>TD</i>		<i>Cycle</i>	<i>PF</i>	<i>TD</i>
1	11.43	177.3		1	10.16	178.8		1	12.69	152.84
2	14.29	198.7		2	11.54	180.3		2	12.72	168.14
3	14.29	198.7		3	13.23	182		3	13.03	183.97
4	17.14	242.2		4	13.11	186.7		4	13.38	181.51
5	17.71	245.6		5	12.69	179.7		5	13.5	188.12
6	20	291.3		6	13.2	183.3		6	12.99	215.62
7	20	291.3		7	12.45	175.3		7	12.94	210.34
8	23.43	386.6		8	14.28	189.9		8	12.74	216.25
9	23.43	386.6		9	13.02	177		9	13.38	192.31
10	24	437.4		10	13.19	183.4		10	13.13	191.68
11	24.57	446.9		11	13.19	183.4		11	13.33	193.24
12	26.86	521.3		12	12.18	177.1		12	12.98	176.87
13	26.86	521.3		13	13.19	183.2		13	13.03	174.61
14	26.29	519.4		14	13.56	179.7		14	13.38	181.71
15	26.29	519.4		15	14.68	185.1		15	13.01	185.11
16	25.71	519		16	14.08	183.3		16	13.01	185.03
17	25.71	519		17	13.19	183.3		17	12.99	176.83
18	25.71	519		18	12.72	179.8		18	8.985	82.474
19	25.71	519								
20	25.71	519								
21	25.71	519								
22	25.71	519								
23	25.71	519								
24	25.71	509.8								
25	26.29	519.4								
26	26.86	521.3								
27	26.86	521.3								
28	25.14	509.4								
29	26.29	519.4								
30	25.71	519								
31	25.71	519								
32	25.71	519								
33	25.71	519								
34	21.14	505.2								
35	21.71	514.8								
36	21.14	477.3								
37	21.14	477.3								
38	6.286	162.1								
39	6.286	162.1								

Πίνακας 2: Σενάριο IPF,TD ανά αλγόριθμο

Με βάση τον πίνακα παραπάνω παρατηρούμε ότι για την περίπτωση στατικών χρόνων η συμφόρηση του δικτύου ήταν η χειρότερη δυνατή, αφού μετά τον τρίτο κύκλο η ποιότητα του δικτύου άρχισε να πέφτει δραματικά(αυξανόμενο PF ~ **25**) και ανάλογα ο συνολικός χρόνος αναμονής έφτασε σε τιμές **519** δευτερολέπτων ανά κύκλο. Ταυτόχρονα όταν η συμφόρηση άγγιξε μέγιστες τιμές παρατηρούμε ότι η συμφόρηση υπήρξε συνεχής μέχρι και το τέλος της

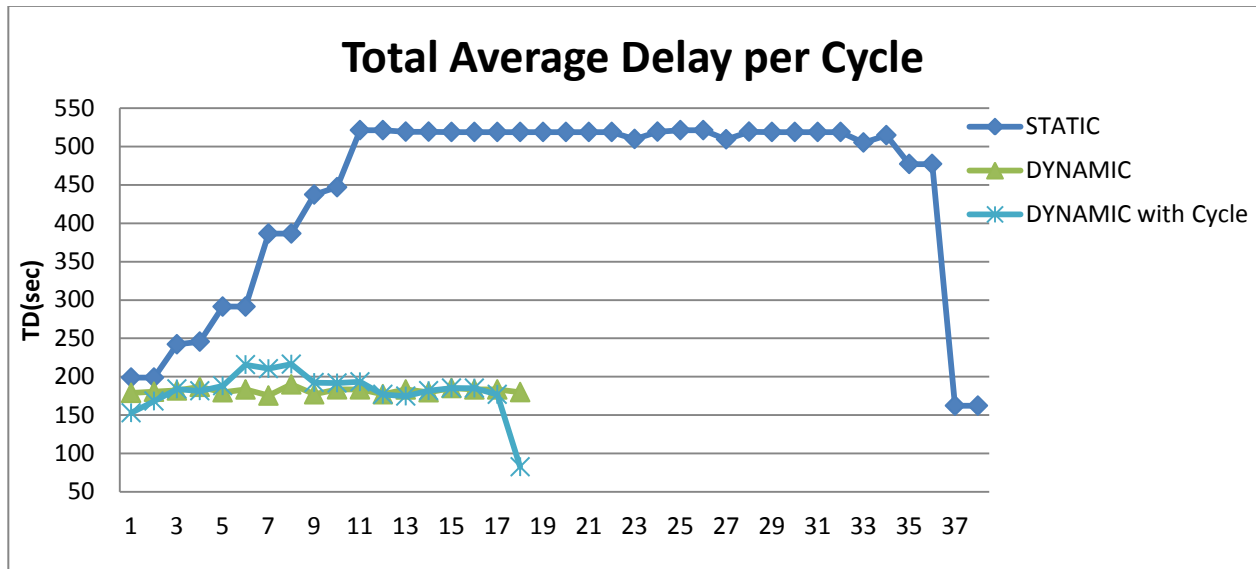
προσομοίωσης. Αντίστοιχα για τις περιπτώσεις δυναμικών χρόνων καθώς και δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο οι τιμές του δείκτη ποιότητας κυμάνθηκαν μεταξύ **10** και **14** ανά κύκλο με αποτέλεσμα να έχουμε πολύ μικρότερη συμφόρηση στο δίκτυο σε σχέση με τους στατικούς χρόνους. Ο λόγος ο οποίος τα 2 είδη δυναμικών αλγορίθμων έχουν σχεδόν τις ίδιες τιμές είναι ότι το σενάριο δεν εισάγει τα κινητά με χρονικά μεταβαλλόμενα διαστήματα ώστε στην περίπτωση του αλγορίθμου με δυναμικό κύκλο να γίνεται η αντίστοιχη αναπροσαρμογή. Όσο αφορά την συνολική καθυστέρηση, και στις δύο περιπτώσεις δυναμικών χρόνων η τιμές ήταν στο όριο των 187 δευτερολέπτων ανά κύκλο χωρίς καμία ιδιαίτερη διαφοροποίηση μεταξύ τους. Τέλος, στην περίπτωση στατικών χρόνων όπως ήταν αναμενόμενο, χρειάστηκε διπλάσιους κύκλους για την ολοκλήρωση του σεναρίου συμφόρησης, συμπεραίνοντας ότι το Throughput ήταν πολύ μικρότερο όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

	STATIC	DYNAMIC	DYNAMIC with Cycle
Simulation time(s)	3286	2826	2826
Vehicles	800	800	800
Throughput/hour	876	1019	1019

Πίνακας 3: Σενάριο 1 Throughput/Hour

Με βάση τον παραπάνω πίνακα εξάγουμε ότι στην περίπτωση στατικών χρόνων το Throughput είναι **876** κινητά στο επίπεδο ώρας, ενώ και για τις δύο επόμενες περιπτώσεις η τιμή είναι **1019** κινητά. Η διαφορά τους είναι **143** κινητά στο διάστημα αυτό και άρα τελικά ισχύει ότι οι δύο αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν είναι κατά **17,8%** αποδοτικότεροι από άποψη Throughput-αποσυμφόρησης.

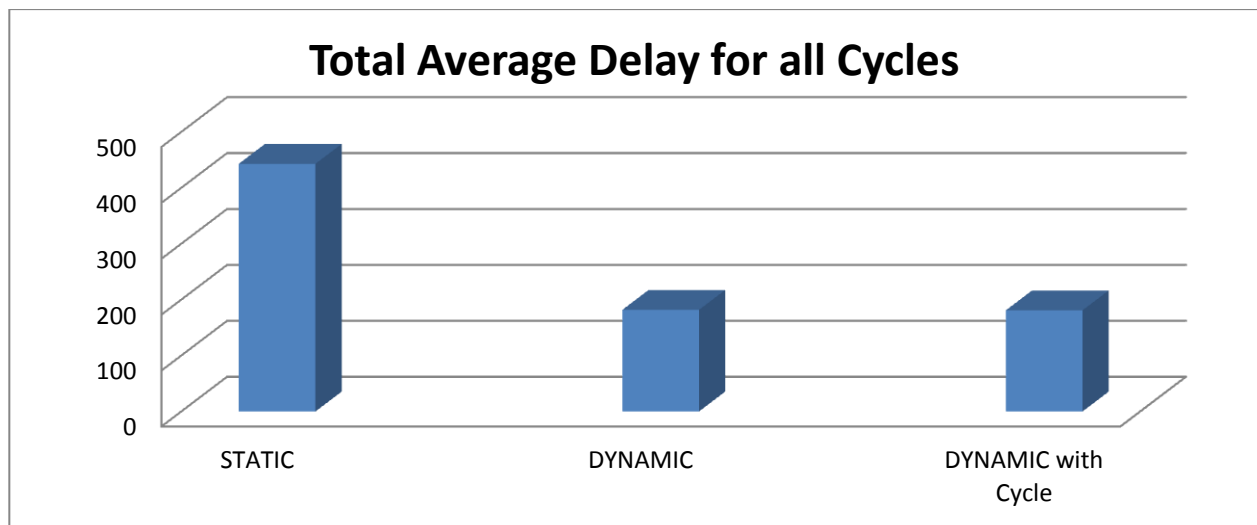
Παρακάτω στο γράφημα 1 παρουσιάζεται η εξέλιξη της συνολικής μέσης καθυστέρησης ανά κύκλο, μέχρι την ολοκλήρωση της εκάστοτε προσομοίωσης για κάθε αλγοριθμικό είδος.



Γράφημα 1: Σενάριο 1 Total Average Delay/Cycle

Όπως ήταν αναμενόμενο, υπάρχει τεράστια διαφορά στην συνολική μέση καθυστέρηση για την διάρκεια της προσομοίωσης μεταξύ στατικών χρόνων και δυναμικών. Όσο αφορά την σύγκριση των 2 δυναμικών αλγορίθμων δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στον συνολικό χρόνο καθυστέρησης.

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η συνολική μέση καθυστέρηση για κάθε σύστημα διαχείρισης για όλη την διάρκεια της προσομοίωσης.



Γράφημα 2: Σενάριο 1 Total Average Delay for all Cycles

5.3.2 - Δεύτερο σενάριο συμφόρησης

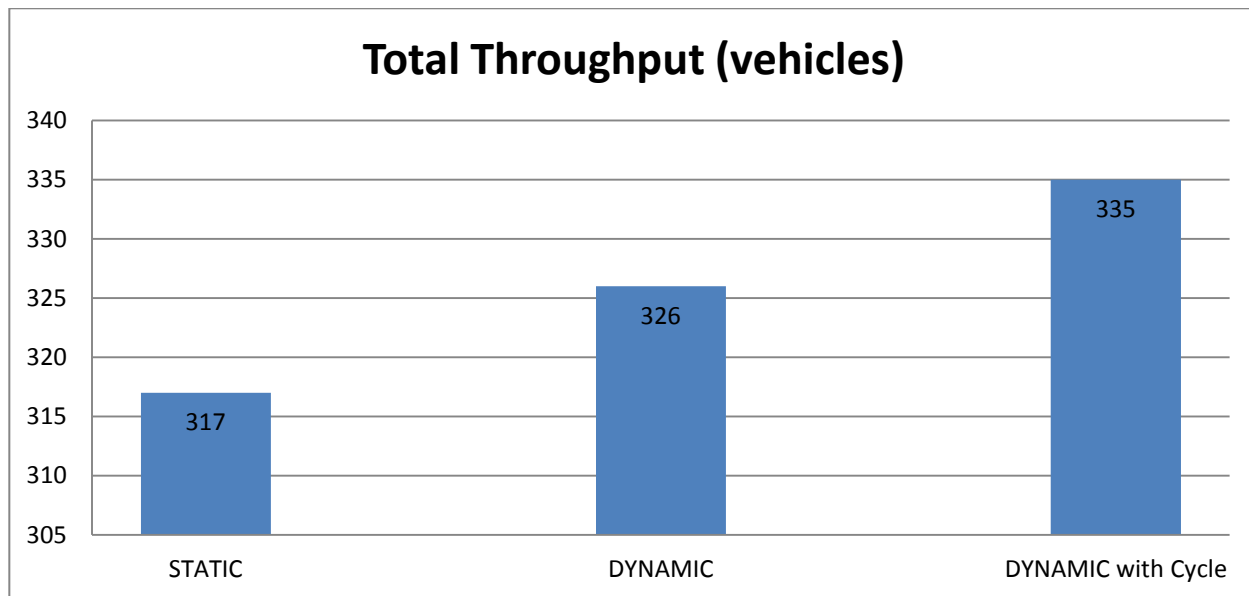
Θεωρώντας πάντα ιδανική περίπτωση διάσχισης της διασταύρωσης το 1 κινητό ανά δευτερόλεπτο για 100% Utilization, ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την χρονική διάρκεια προσομοίωσης, την χρησιμοποίηση του δικτύου αλλά και το Throughput για κάθε δρόμο για το δεύτερο σενάριο για κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις αλγορίθμων.

Total Simulation Time Static	3763 sec	
Total Simulation Time Dynamic	3751 sec	
Total Simulation Time Dynamic with Cycle	3654 sec	
STATIC UTILIZATION	334/3763=	8.80%
DYNAMIC UTILIZATION	334/3751=	8.90%
DYNAMIC with Cycle UTILIZATION	334/3654=	9.10%
StaticThroughputN= (CARS/SimTime)=(80/3763)= 0.021 vps ή 1.2 vpm ή 76 vph (vehicles per hour)	76 vph	
StaticThroughputS= (CARS/SimTime)= (93/3763)= 0.024 vps ή 1.4 vpm ή 88 vph	88 vph	
StaticThroughputE= (CARS/SimTime)=(82/3763)= 0.021 vps η 1.3 vpm ή 78 vph	78 vph	
StaticThroughputW= (CARS/SimTime)=(79/3763)= 0.020 vps η 1.2 vpm ή 75 vph	75 vph	
DynamicThroughputN= (CARS/SimTime)=(88/3751)= 0.023 vps ή 1.4 vpm ή 84 vph	84 vph	
DynamicThroughputS= (CARS/SimTime)= (93/3751)= 0.024 vps ή 1.4 vpm ή 89 vph	89 vph	
DynamicThroughputE= (CARS/SimTime)=(82/3751)= 0.021 vps η 1.3 vpm ή 78 vph	78 vph	
DynamicThroughputW= (CARS/SimTime)=(79/3751)= 0.021 vps η 1.2 vpm ή 75 vph	75 vph	
DynamicThroughputN= (CARS/SimTime)=(88/3654)= 0.024 vps ή 1.4 vpm ή 86 vph	86 vph	
DynamicThroughputS= (CARS/SimTime)= (93/3654)= 0.025 vps ή 1.5 vpm ή 91 vph	91 vph	
DynamicThroughputE= (CARS/SimTime)=(82/3654)= 0.022 vps η 1.3 vpm ή 78 vph	78 vph	
DynamicThroughputW= (CARS/SimTime)=(79/3654)= 0.020 vps η 1.3 vpm ή 80 vph	80 vph	

Πίνακας 4: Σενάριο 2 Util, Throughput

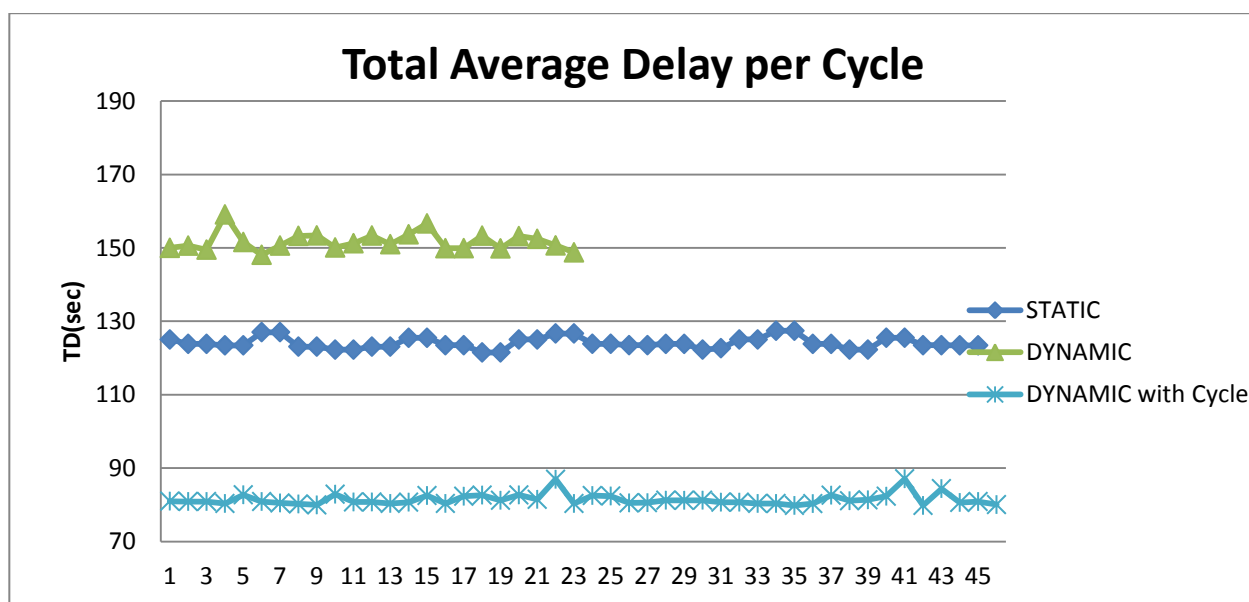
Παρατηρούμε ότι για το σενάριο χαμηλής συμφόρησης, η χρησιμοποίηση του δικτύου και για τις τρεις περιπτώσεις είναι στο 9 %. Επίσης, από άποψη Throughput υπάρχει μία μικρή

αύξηση κατά 9 κινητά στο αλγόριθμο δυναμικών χρόνων, ενώ 18 κινητά αύξηση παρουσιάζει ο αλγόριθμος δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο.



Γράφημα 3: Σενάριο 2 Total Throughput

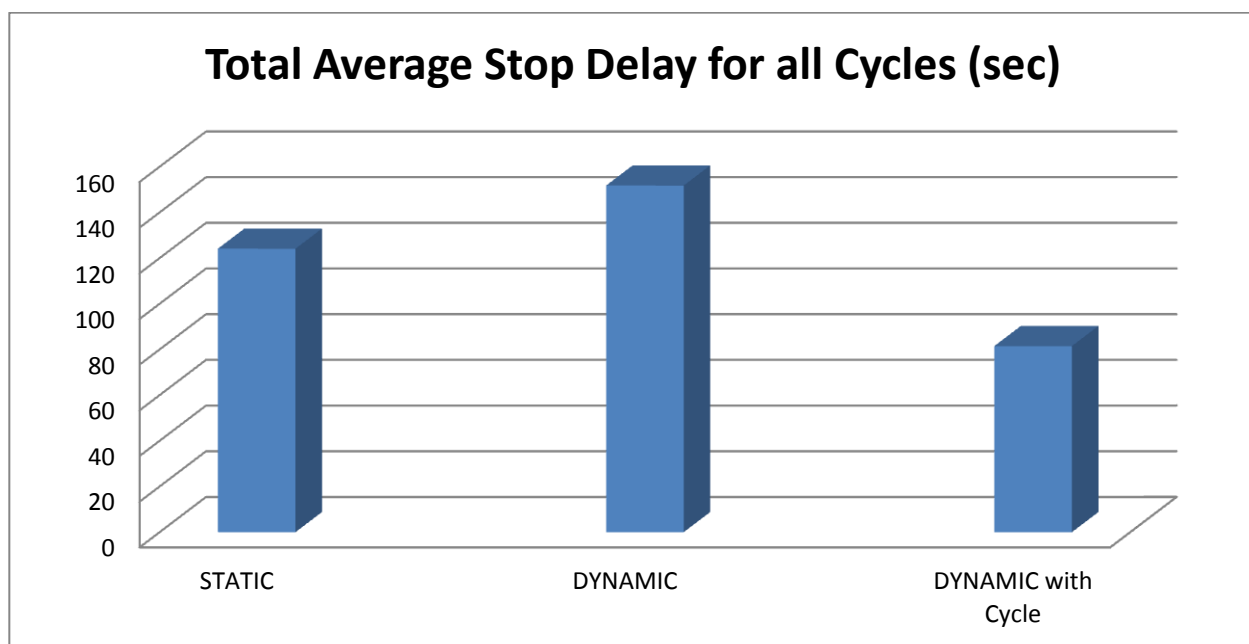
Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η εξέλιξη της συνολικής μέσης καθυστέρησης για όλες τις περιπτώσεις ανά κύκλο.



Γράφημα 4: Σενάριο 2 Total Average Delay/Cycle

Παρατηρούμε ότι, ενώ δεν έχουμε μεγάλη αύξηση στο Throughput με βάση το γράφημα 3, 52

η συνολική μέση καθυστέρηση για τις περιπτώσεις στατικών χρόνων κυμάνθηκε από 120 seconds έως 130. Αντίστοιχα για την περίπτωση δυναμικών χρόνων η συνολική μέση καθυστέρηση ήταν από 150 έως 160 seconds. Η διαφορά μεταξύ των 2 αυτών περιπτώσεων είναι ο συνολικός αριθμός κύκλων ολοκλήρωσης, όπου στην περίπτωση στατικών χρόνων απαιτήθηκαν 44 κύκλοι, ενώ στην περίπτωση δυναμικών χρόνων 23 κύκλοι. Αυτό σημαίνει ότι το Throughput ανά κύκλο για την περίπτωση του αλγορίθμου δυναμικών χρόνων ήταν διπλάσιο, αυξάνοντας λίγο την καθυστέρηση. Στην περίπτωση του αλγορίθμου δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο έχουμε ραγδαία μείωση στις τιμές συνολικής μέσης καθυστέρησης με μέγιστη τιμή τα 88 δευτερόλεπτα. Ταυτόχρονα, απαιτήθηκε ίδιος αριθμός κύκλων με την περίπτωση του στατικού προγραμματισμού, ενώ το Throughput αυξήθηκε κατά 18 κινητά.



Γράφημα 5: Σενάριο 2 Total Average Delay for all Cycles

Τελικά, για το σενάριο χαμηλής συμφόρησης ο αλγόριθμος δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα μειώνοντας ραγδαία την συνολική μέση καθυστέρηση του κόμβου έχοντας μικρή αύξηση στο συνολικό Throughput λόγω της αναπροσαρμογής του κύκλου ανάλογα με την απαίτηση κινητών.

5.3.3 - Τρίτο σενάριο συμφόρησης

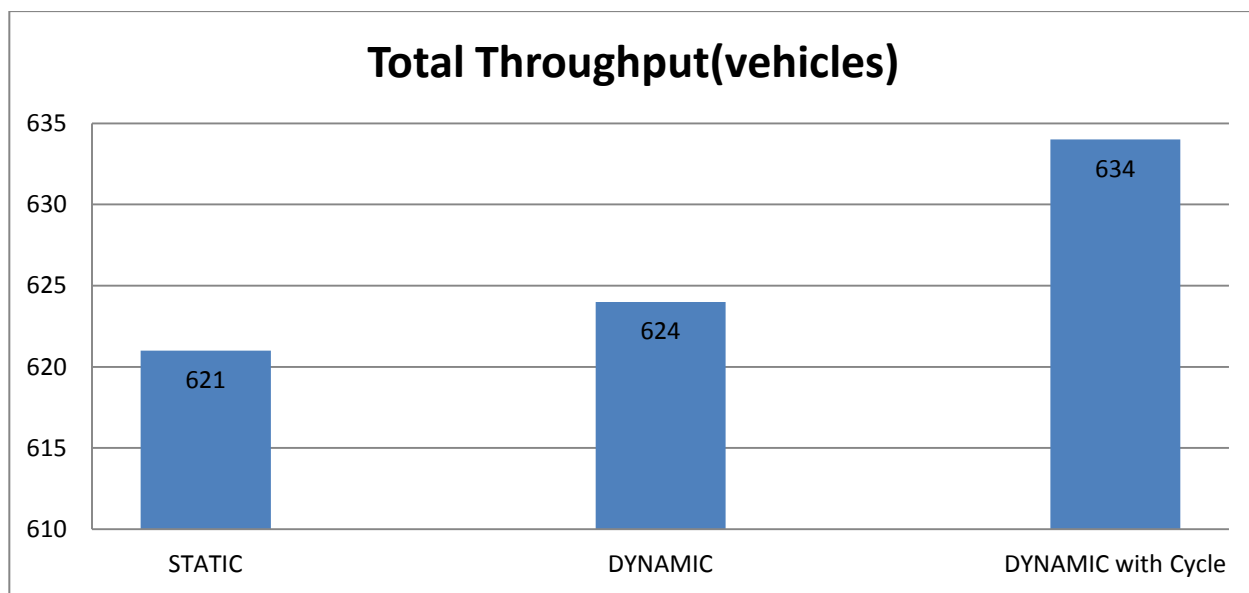
Θεωρώντας πάντα ιδανική περίπτωση διάσχισης της διασταύρωσης το 1 κινητό ανά δευτερόλεπτο για 100% Utilization, ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την χρονική διάρκεια προσομοίωσης, την χρησιμοποίηση του δικτύου αλλά και το Throughput για κάθε δρόμο για το τρίτο σενάριο για κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις αλγορίθμων.

Total Simulation Time Static	3776 sec	
Total Simulation Time Dynamic	3770 sec	
Total Simulation Time Dynamic with Cycle	3690 sec	
STATIC UTILIZATION	653 /3776=	17.30%
DYNAMIC UTILIZATION	653 /3758=	17.30%
DDYNAMIC UTILIZATION	653 /3690=	17.70%
StaticThroughputN= (CARS/SimTime)=(166/3776)= 0.043 vps η 2.63 vpm ή 158 vph		158 vph
StaticThroughputS= (CARS/SimTime)=(90/3776)= 0.023 vps η 1.4 vpm ή 85 vph		85 vph
StaticThroughputE= (CARS/SimTime)=(211/3776)= 0.055 vps η 3.3 vpm ή 201 vph		201 vph
StaticThroughputW= (CARS/SimTime)=(186/3776)= 0.049 vps η 2.9 vpm ή 177 vph		177 vph
DynamicThroughputN= (CARS/SimTime)=(166/3770)= 0.044 vps ή 2.6 vpm ή 161 vph (vehicles per hour)		161 vph
DynamicThroughputS= (CARS/SimTime)= (90/3770)= 0.023 vps η 1.4 vpm ή 85 vph		85 vph
DynamicThroughputE= (CARS/SimTime)=(211/3770)= 0.055 vps η 3.3 vpm ή 201 vph		201 vph
DynamicThroughputW= (CARS/SimTime)=(186/3770)= 0.049 vps η 2.9 vpm ή 177 vph		177 vph
DynamicThroughputN= (CARS/SimTime)=(166/3690)= 0.044 vps ή 2.7 vpm ή 161 vph (vehicles per hour)		161 vph
DynamicThroughputS= (CARS/SimTime)= (90/3690)=0.024 vps η 1.4 vpm ή 87 vph		87 vph
DynamicThroughputE= (CARS/SimTime)=(211/3690)= 0.057 vps η 3.4 vpm ή 205 vph		205 vph
DynamicThroughputW= (CARS/SimTime)=(186/3690)= 0.050 vps η 3 vpm ή 181 vph		181 vph

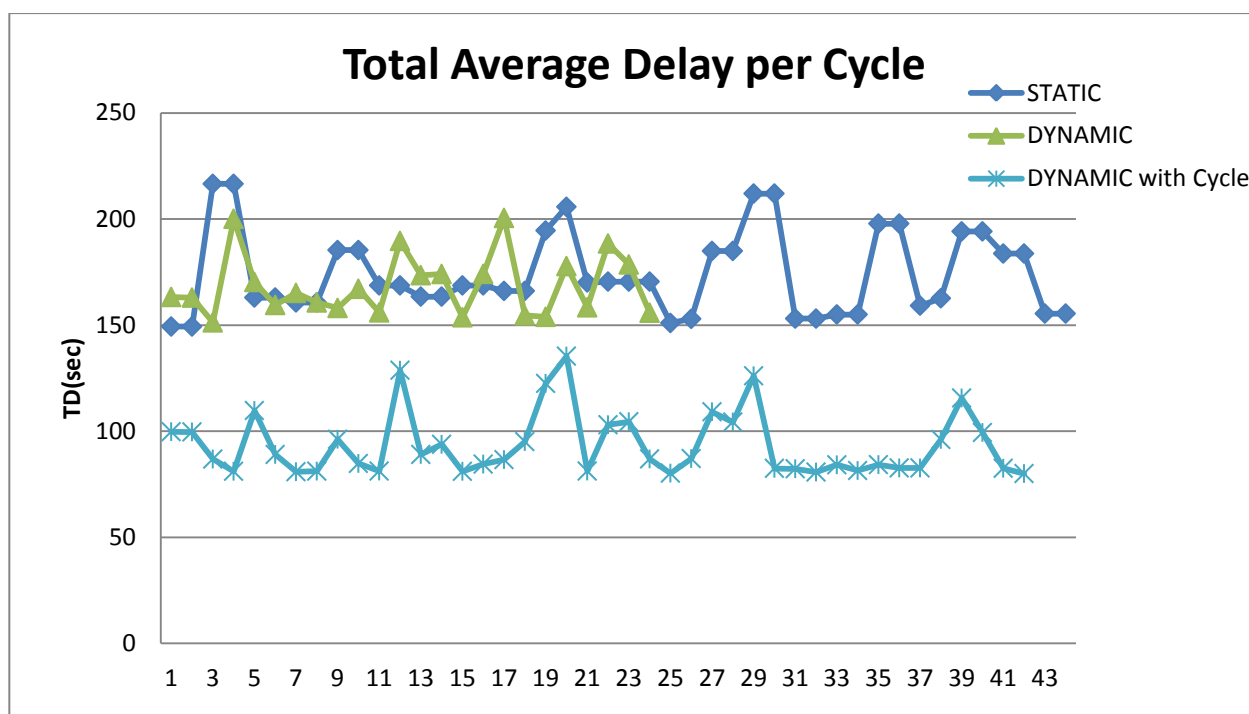
Πίνακας 5: Σενάριο 3 Util, Throughput

Παρατηρούμε ότι για το σενάριο μέσης συμφόρησης, η χρησιμοποίηση του δικτύου και για τις τρεις περιπτώσεις παρουσιάζει μικρή διαφορά. Επίσης, από άποψη Throughput υπάρχει μία μικρή αύξηση κατά 3 αυτοκίνητα στο αλγόριθμο δυναμικών χρόνων, ενώ 13 κινητά αύξηση

παρουσιάζει ο αλγόριθμος δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο.



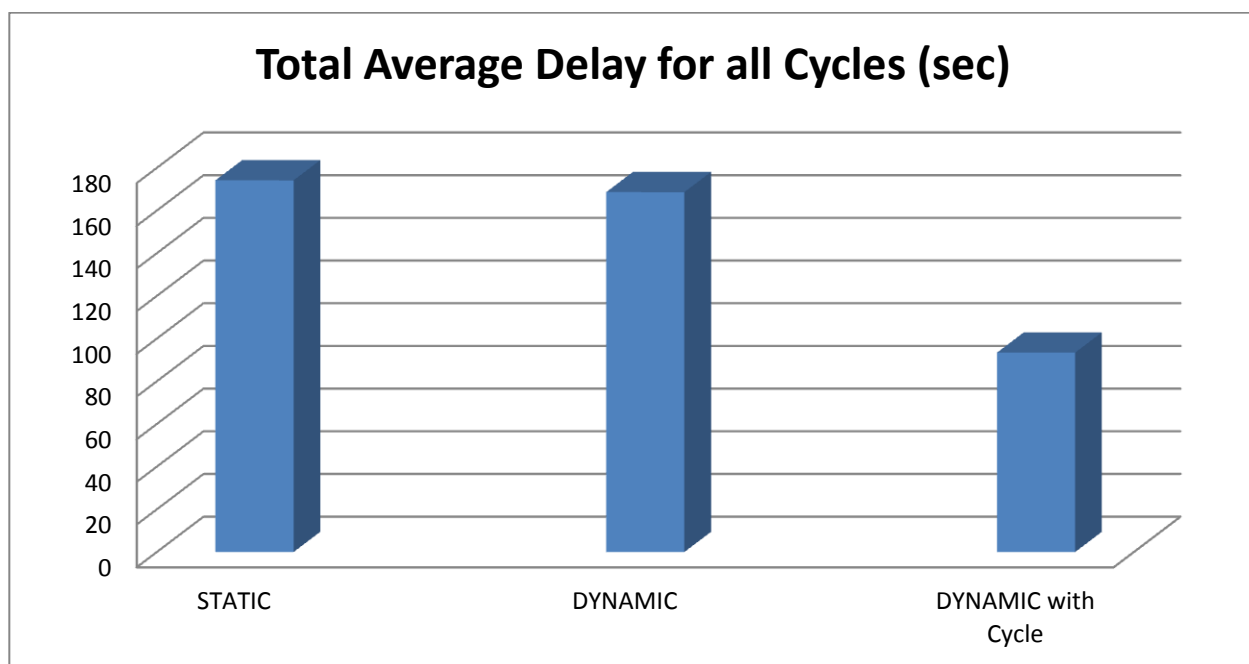
Γράφημα 6: Σενάριο 3 Total Throughput



Γράφημα 7: Σενάριο 3 Total Average Delay/Cycle

Παρατηρούμε ότι, ενώ δεν έχουμε ουσιαστική αύξηση στο Throughput με βάση το γράφημα 6, η συνολική μέση καθυστέρηση για τις περιπτώσεις στατικών χρόνων αλλά και

δυναμικών κυμαίνεται από 150 seconds έως 217. Η διαφορά μεταξύ των 2 αυτών περιπτώσεων και σε αυτό το σενάριο είναι ο συνολικός αριθμός κύκλων ολοκλήρωσης, όπου στην περίπτωση στατικών χρόνων απαιτήθηκαν 44 κύκλοι, ενώ στην περίπτωση δυναμικών χρόνων 24 κύκλοι. Αυτό σημαίνει ότι το Throughput ανά κύκλο για την περίπτωση του αλγορίθμου δυναμικών χρόνων ήταν διπλάσιο. Στην περίπτωση του αλγορίθμου δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο έχουμε ραγδαία μείωση στις τιμές συνολικής μέσης καθυστέρησης με διακύμανση 57 δευτερόλεπτα και μέγιστη τιμή 135 δευτερόλεπτα. Επίσης, για την τελευταία περίπτωση αξίζει να σημειώσουμε ότι το Throughput αυξήθηκε έστω και λίγο παρόλο που ο κύκλος υπήρξε προφανώς μικρότερος.



Γράφημα 8: Σενάριο 3 Total Average Delay for all Cycles

Τελικά, ο αλγόριθμος δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα μειώνοντας ραγδαία την συνολική μέση καθυστέρηση του κόμβου, δίνοντας ταυτόχρονα μια μικρή αύξηση στο συνολικό Throughput λόγω της αναπροσαρμογής του κύκλου ανάλογα με την απαίτηση κινητών.

5.3.4 - Τέταρτο σενάριο συμφόρησης

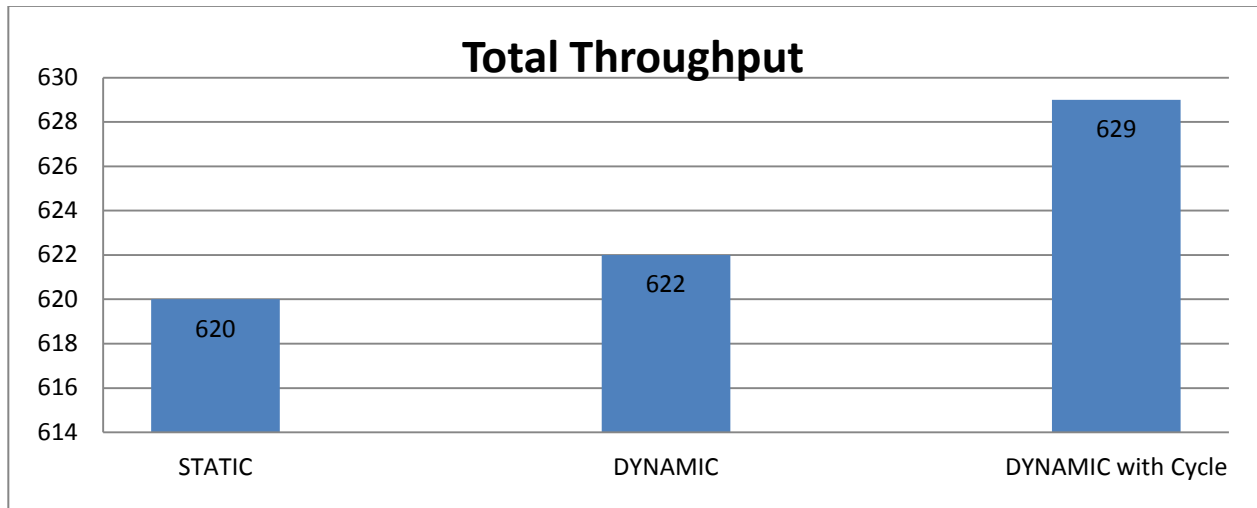
Θεωρώντας πάντα ιδανική περίπτωση διάσχισης της διασταύρωσης το 1 κινητό ανά

δευτερόλεπτο για 100% Utilization, ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την χρονική διάρκεια προσομοίωσης, την χρησιμοποίηση του δικτύου αλλά και το Throughput για κάθε δρόμο για το τέταρτο σενάριο για κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις αλγορίθμων.

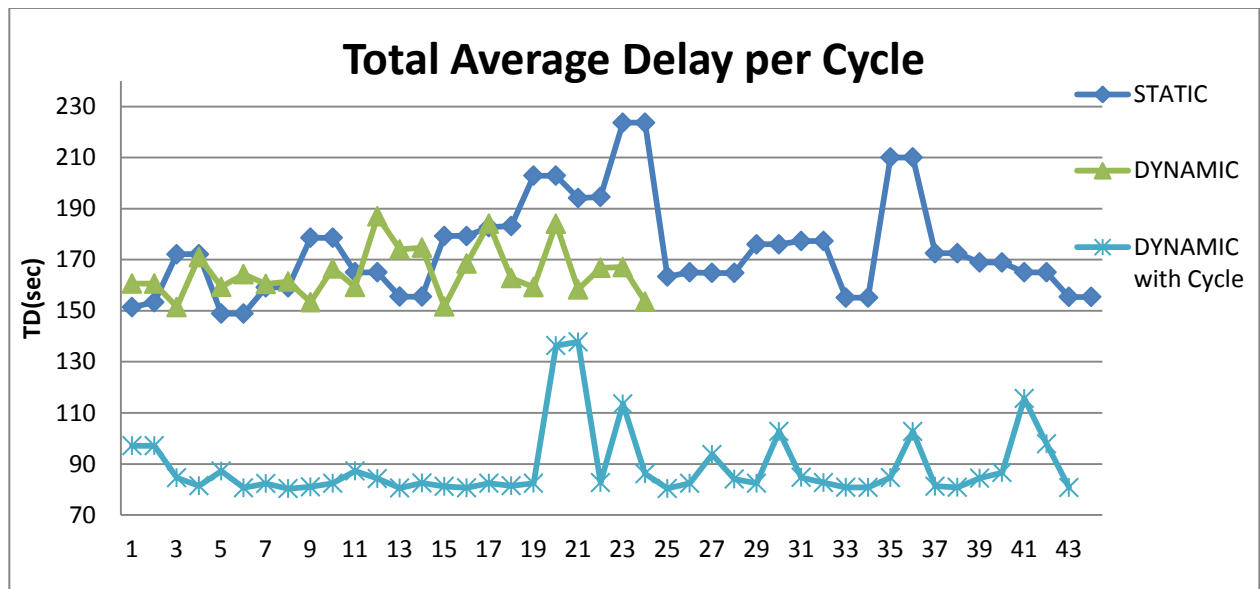
EXECUTION TIME OF STATIC LIGHTS	3763 sec	
EXECUTION TIME OF DYNAMIC LIGHTS	3754 sec	
EXECUTION TIME OF DYNAMIC LIGHTS, CYCLE	3713 sec	
STATIC UTILIZATION	816/3763=	21.70%
DYNAMIC UTILIZATION	816/3754=	21.80%
DDYNAMIC UTILIZATION	816/3713=	21.80%
StaticThroughputN= (CARS/SimTime)=(175/3763)= 0.046 vps ή 2.7 vpm ή 167 vph (vehicles per hour)	167 vph	
StaticThroughputS= (CARS/SimTime)= 0	0 vph	
StaticThroughputE= (CARS/SimTime)=(192/3763)= 0.051 vps η 3 vpm ή 183 vph	183 vph	
StaticThroughputW= (CARS/SimTime)=(283/3763)= 0.075 vps η 4.5 vpm ή 270 vph	270 vph	
DynamicThroughputN= (CARS/SimTime)=(175/3754)= 0.046 vps ή 1.8 vpm ή 167 vph	167 vph	
DynamicThroughputS= (CARS/SimTime)= 0	0 vph	
DynamicThroughputE= (CARS/SimTime)= (192/3754)= 0.051 vps η 3 vpm ή 184 vph	184 vph	
DynamicThroughputW= (CARS/SimTime)=(283/3754)= 0.075 vps η 4.5 vpm ή 271 vph	271 vph	
DynamicThroughputN= (CARS/SimTime)=(175/3713)= 0.047 vps ή 2.8 vpm ή 169 vph	169 vph	
DynamicThroughputS= (CARS/SimTime)= 0	0 vph	
DynamicThroughputE= (CARS/SimTime)= (192/3713)= 0.051 vps η 3.1 vpm ή 186 vph	186 vph	
DynamicThroughputW= (CARS/SimTime)=(283/3713)= 0.076 vps η 4.6 vpm ή 274 vph	274 vph	

Πίνακας 6: Σενάριο 4 Util, Throughput

Παρατηρούμε ότι για το σενάριο υψηλής συμφόρησης σε 2 κανάλια και μέσης συμφόρησης σε 1 , η χρησιμοποίηση του δικτύου και για τις τρεις περιπτώσεις παρουσιάζει μικρή διαφορά. Επίσης, από άποψη Throughput υπάρχει μία μικρή αύξηση κατά 2 αυτοκίνητα στο αλγόριθμο δυναμικών χρόνων, ενώ 9 κινητά αύξηση παρουσιάζει ο αλγόριθμος δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο.



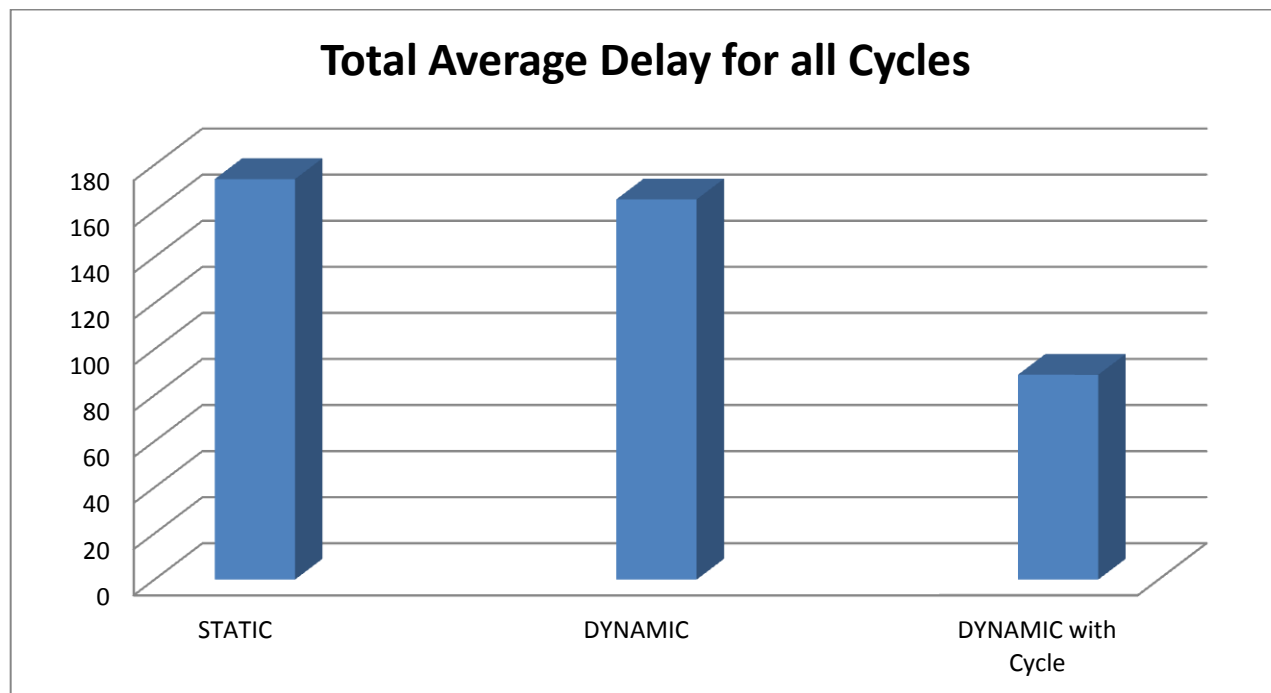
Γράφημα 9: Σενάριο 4 Total Throughput



Γράφημα 10: Σενάριο 4 Total Average Delay/Cycle

Παρατηρούμε ότι, ενώ δεν έχουμε ουσιαστική αύξηση στο Throughput με βάση το γράφημα 9, η συνολική μέση καθυστέρηση για την περίπτωση στατικών χρόνων κυμαίνεται στο διάστημα 150-230 και δυναμικών κυμαίνεται από 150 seconds έως 190. Άρα υπάρχει μια συνολική μείωση την καθυστέρησης και ταυτόχρονα η διακύμανση της στην περίπτωση του δυναμικού αλγόριθμου είναι μικρότερη. Η διαφορά μεταξύ των 2 αυτών περιπτώσεων και σε αυτό το σενάριο είναι ο συνολικός αριθμός κύκλων ολοκλήρωσης, όπου στην περίπτωση στατικών χρόνων απαιτήθηκαν 44 κύκλοι, ενώ στην περίπτωση δυναμικών χρόνων 24 κύκλοι. Αυτό

σημαίνει ότι το Throughput ανά κύκλο για την περίπτωση του αλγορίθμου δυναμικών χρόνων ήταν διπλάσιο. Στην περίπτωση του αλγορίθμου δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο έχουμε ραγδαία μείωση στις τιμές συνολικής μέσης καθυστέρησης με διακύμανση 60 δευτερόλεπτα και μέγιστη τιμή 140 δευτερόλεπτα.



Γράφημα 11: Σενάριο 4 Total Average Delay for all Cycles

Τελικά, για το σενάριο υψηλής συμφόρησης σε 2 κανάλια και μέσης συμφόρησης σε 1, τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν πολύ από το σενάριο 3 με μέση συμφόρηση. Ο αλγόριθμος δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα μειώνοντας ραγδαία την συνολική μέση καθυστέρηση του κόμβου, δίνοντας ταυτόχρονα μια μικρή αύξηση στο συνολικό Throughput λόγω της αναπροσαρμογής του κύκλου ανάλογα με την απαίτηση κινητών.

5.3.5 - Πέμπτο σενάριο συμφόρησης

Θεωρώντας πάντα ιδανική περίπτωση διάσχισης της διασταύρωσης το 1 κινητό ανά δευτερόλεπτο για 100% Utilization, ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την χρονική διάρκεια προσομοίωσης, την χρησιμοποίηση του δικτύου αλλά και το Throughput για κάθε δρόμο για το

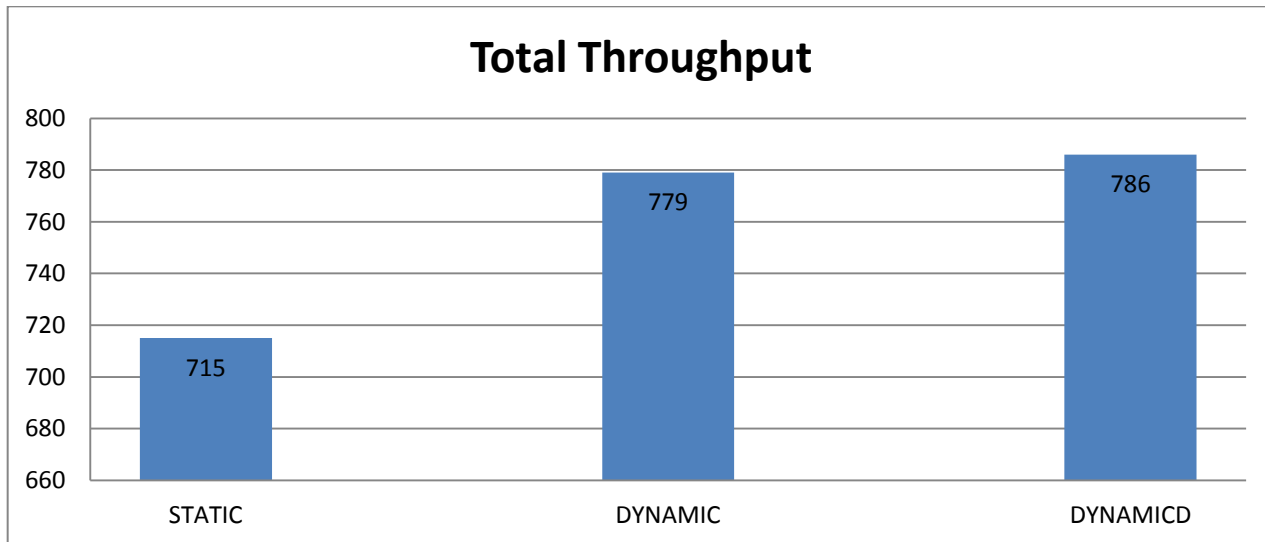
τέταρτο σενάριο για κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις αλγορίθμων.

EXECUTION TIME OF STATIC LIGHTS	4090	sec
EXECUTION TIME OF DYNAMIC LIGHTS	3757	sec
EXECUTION TIME OF DYNAMIC LIGHTS, CYCLE	3725	sec
STATIC UTILIZATION	814/4090=	19.90%
DYNAMIC UTILIZATION	814/3757=	21.60%
DDYNAMIC UTILIZATION	814/3725=	21.80%
StaticThroughputN= (CARS/SimTime)=(116/4090)= 0.028 vps ή 1.7 vpm ή 102 vph (vehicles per hour)	102	vph
StaticThroughputS= (CARS/SimTime)= 0	0	vph
StaticThroughputE= (CARS/SimTime)=(380/4090)= 0.092 vps η 5.5 vpm ή 334 vph	334	vph
StaticThroughputW= (CARS/SimTime)=(318/4090)= 0.077 vps η 4.6 vpm ή 279 vph	279	vph
DynamicThroughputN= (CARS/SimTime)=(116/3757)= 0.030 vps ή 1.8 vpm ή 111 vph	111	vph
DynamicThroughputS= (CARS/SimTime)= 0	0	vph
DynamicThroughputE= (CARS/SimTime)= (380/3757)= 0.101 vps η 6 vpm ή 364 vph	364	vph
DynamicThroughputW= (CARS/SimTime)=(318/3757)= 0.084 vps η 5 vpm ή 304 vph	304	vph
DynamicThroughputN= (CARS/SimTime)=(116/3725)= 0.031 vps ή 1.8 vpm ή 112 vph	112	vph
DynamicThroughputS= (CARS/SimTime)= 0	0	vph
DynamicThroughputE= (CARS/SimTime)= (380/3725)= 0.102 vps η 6.1 vpm ή 367 vph	367	vph
DynamicThroughputW= (CARS/SimTime)=(318/3725)= 0.085 vps η 5.1 vpm ή 307 vph	307	vph

Πίνακας 7: Σενάριο 5 Util, Throughput

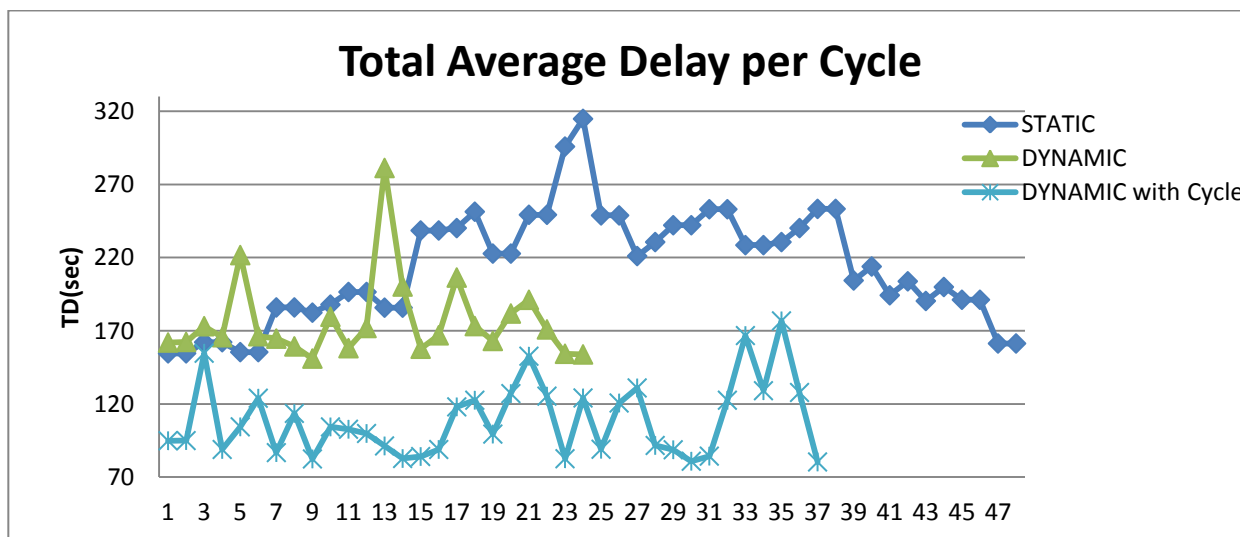
Παρατηρούμε ότι για το σενάριο υψηλής συμφόρησης σε 2 αντίθετα κατευθυνόμενα κανάλια και χαμηλής συμφόρησης σε 1, η χρησιμοποίηση του δικτύου παρουσιάζει διαφορές, όπου στην περίπτωση του στατικού προγραμματισμού είναι 19,9 %, στην περίπτωση δυναμικών χρόνων είναι 21,6 % και δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλου 21,8 %. Η τάση αυτή δείχνει ότι οι δυναμικοί αλγόριθμοι αυξάνουν την χρησιμοποίηση του δικτύου με την δεδομένη την κίνηση. Επίσης, από άποψη Throughput υπάρχει μία αρκετά μεγάλη αύξηση στην περίπτωση των δυναμικών αλγορίθμων, με τιμές 64 και 71 περισσότερα κινητά στο διάστημα μίας ώρας. Ο

αλγόριθμος δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα σε αυτό το σημείο από άποψη Throughput.

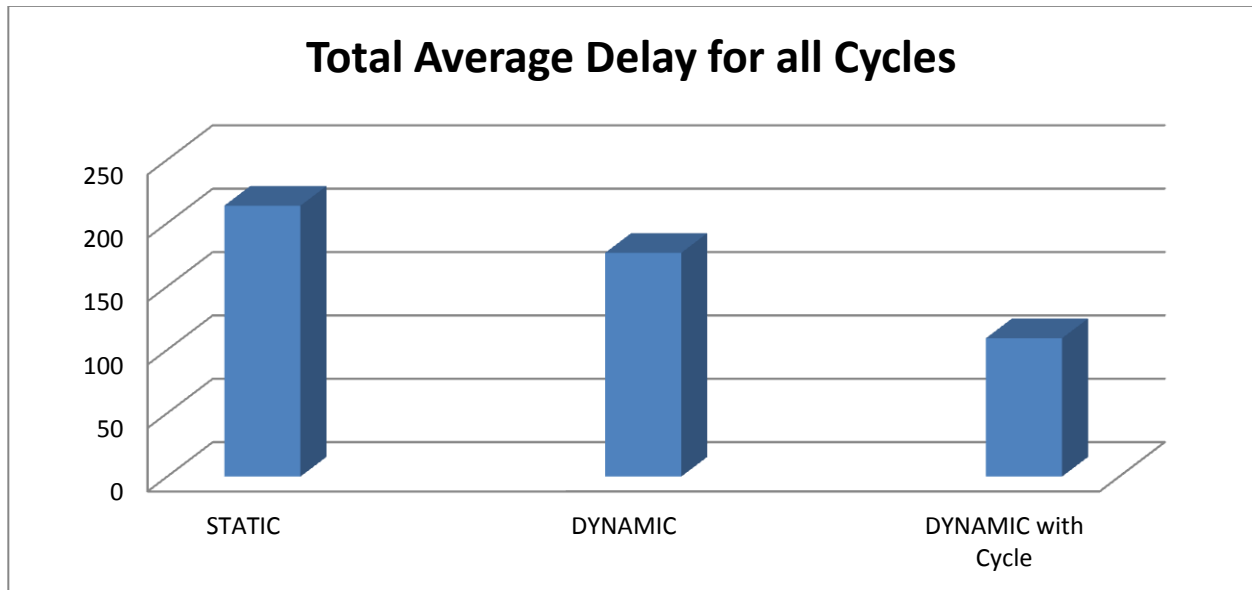


Γράφημα 12: Σενάριο 5 Total Throughput

Παρακάτω στο γράφημα 13 παρουσιάζεται η εξέλιξη της συνολικής μέσης καθυστέρησης ανά κύκλο, μέχρι την ολοκλήρωση της εκάστοτε προσομοίωσης για κάθε αλγοριθμικό είδος.



Γράφημα 13: Σενάριο 5 Total Average Delay/Cycle



Γράφημα 14: Σενάριο 5 Total Average Delay for all cycles

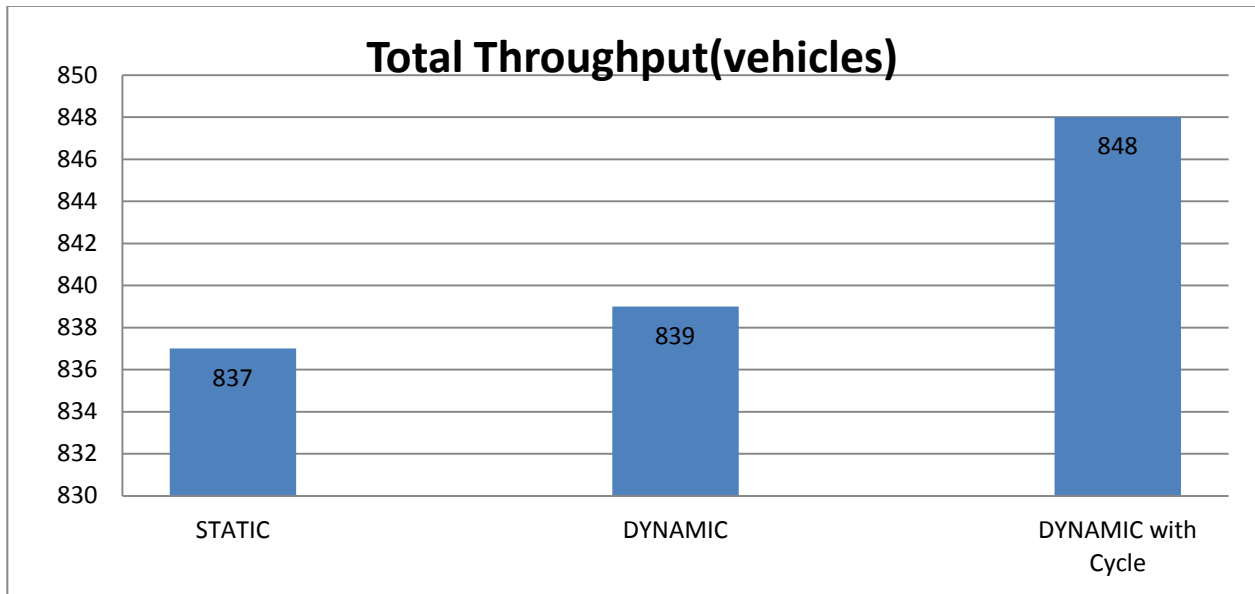
Τελικά, για το σενάριο 5 υψηλής συμφόρησης σε 2 κανάλια και μικρής συμφόρησης σε 1, ο αλγόριθμος δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα μειώνοντας ραγδαία την συνολική μέση καθυστέρηση του κόμβου, δίνοντας ταυτόχρονα αύξηση 71 κινητών στο συνολικό Throughput λόγω της αναπροσαρμογής του κύκλου ανάλογα με την απαίτηση κινητών.

5.3.6 - Έκτο σενάριο συμφόρησης

Θεωρώντας πάντα ιδανική περίπτωση διάσχισης της διασταύρωσης το 1 κινητό ανά δευτερόλεπτο για 100% Utilization, ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την χρονική διάρκεια προσομοίωσης, την χρησιμοποίηση του δικτύου αλλά και το Throughput για κάθε δρόμο για το τέταρτο σενάριο για κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις αλγορίθμων.

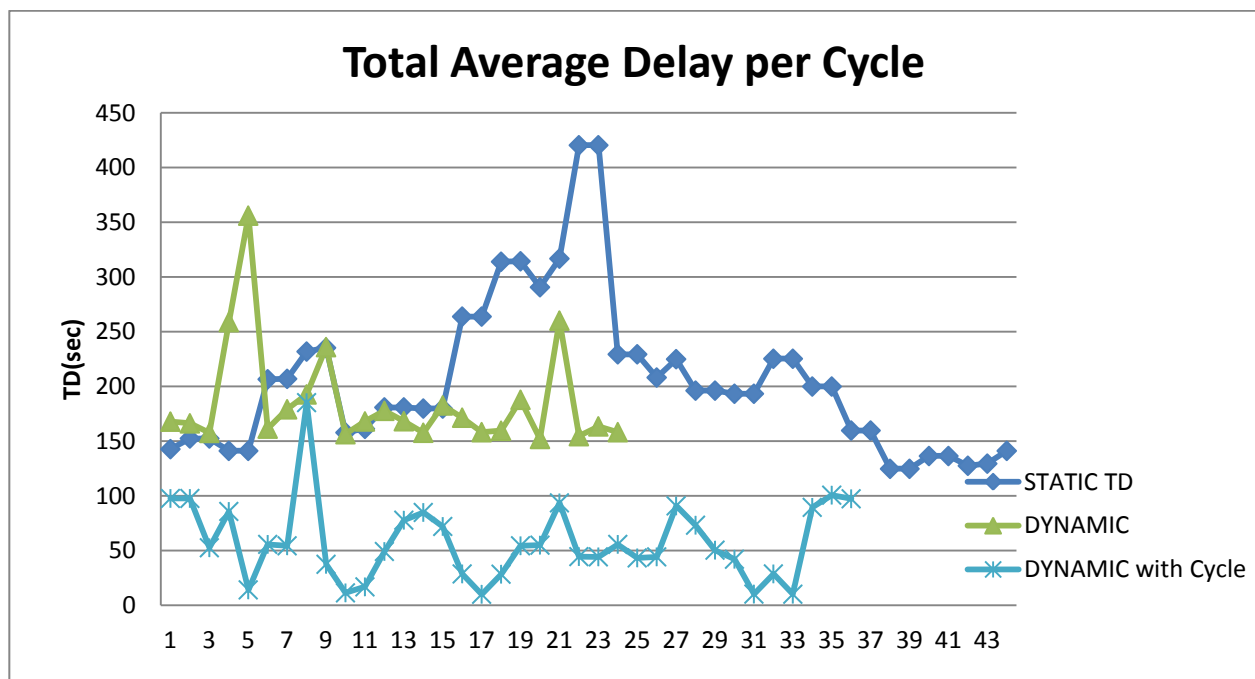
EXECUTION TIME OF STATIC LIGHTS	3765	sec
EXECUTION TIME OF DYNAMIC LIGHTS	3756	sec
EXECUTION TIME OF DYNAMIC LIGHTS, CYCLE	3706	sec
STATIC UTILIZATION	$877/3765=$	23.20%
DYNAMIC UTILIZATION	$877/3756=$	23.20%
DDYNAMIC UTILIZATION	$877/3706=$	23.60%
StaticThroughputN=		118 vph
(CARS/SimTime)=(124/3765)= 0.032 vps ή 1.97 vpm ή 118 vph (vehicles per hour)		
StaticThroughputS=		105 vph
(CARS/SimTime)= (110/3765)= 0.029 vps ή 1.75 vpm ή 105 vph		
StaticThroughputE=		320 vph
(CARS/SimTime)=(335/3765)= 0.088 vps η 5.3 vpm ή 320 vph		
StaticThroughputW=		294 vph
(CARS/SimTime)=(308/3765)= 0.081 vps η 4.9 vpm ή 294 vph		
DynamicThroughputN=		118 vph
(CARS/SimTime)=(124/3756)= 0.033 vps ή 2 vpm ή 118 vph		
DynamicThroughputS=		105 vph
(CARS/SimTime)= (110/3756)= 0.029 vps ή 1.75 vpm ή 105 vph		
DynamicThroughputE=		321 vph
(CARS/SimTime)= (335/3756)= 0.089 vps η 5.35 vpm ή 321 vph		
DynamicThroughputW=		295 vph
(CARS/SimTime)=(308/3756)= 0.082 vps η 4.9 vpm ή 295 vph		
DynamicThroughputN=		118 vph
(CARS/SimTime)=(124/3706)= 0.033 vps ή 2 vpm ή 118 vph		
DynamicThroughputS=		106 vph
(CARS/SimTime)= (110/3706)= 0.03 vps ή 1,8 vpm ή 106 vph		
DynamicThroughputE=		325 vph
(CARS/SimTime)= (335/3706)= 0.090 vps η 5.4 vpm ή 325 vph		
DynamicThroughputW=		299 vph
(CARS/SimTime)=(308/3706)= 0.083 vps η 5 vpm ή 299 vph		

Πίνακας 8: Σενάριο 6 Util, Throughput

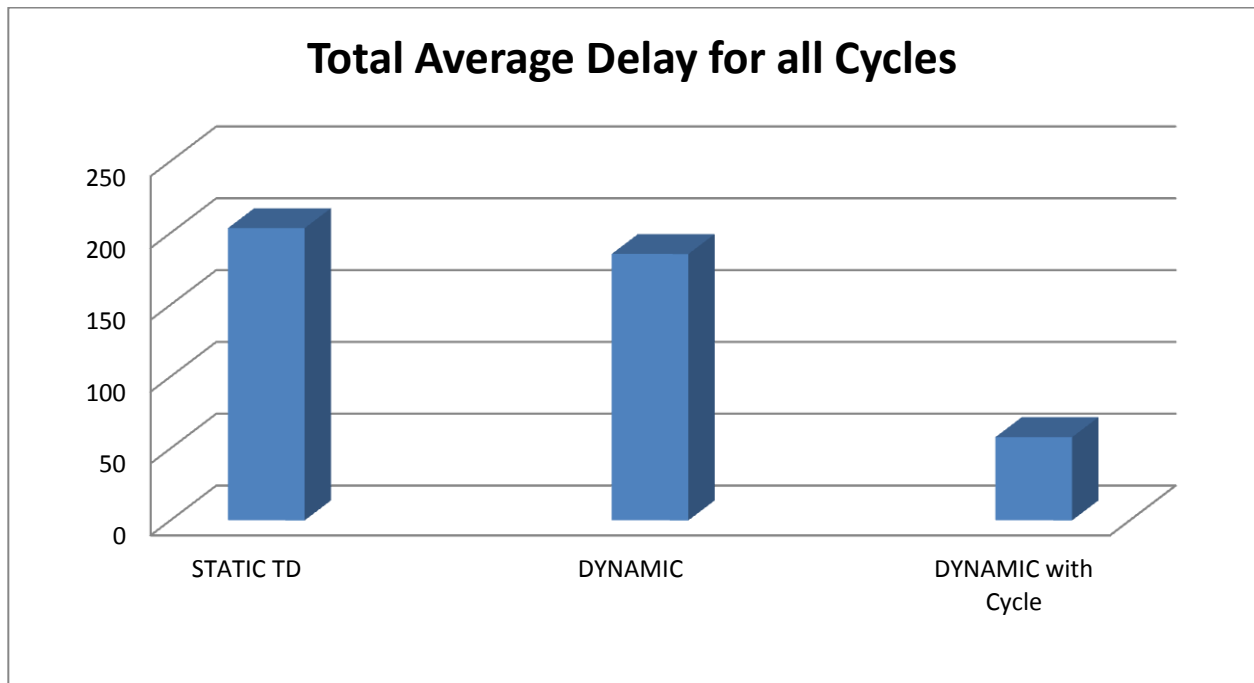


Γράφημα 15: Σενάριο 6 Total Throughput

Παρατηρούμε ότι για το σενάριο 6, υψηλής συμφόρησης σε 2 κατευθυνόμενα κανάλια, η χρησιμοποίηση του δικτύου δεν παρουσιάζει διαφορές. Επίσης, από άποψη Throughput δεν υπάρχει κάποια ουσιαστική αύξηση, κρίνοντας με τα μέχρι τώρα δεδομένα ότι οι 2 δυναμικοί αλγόριθμοι δεν αποδίδουν καλύτερα στο εν λόγω σενάριο.



Γράφημα 16: Σενάριο 6 Total Average Delay/Cycle

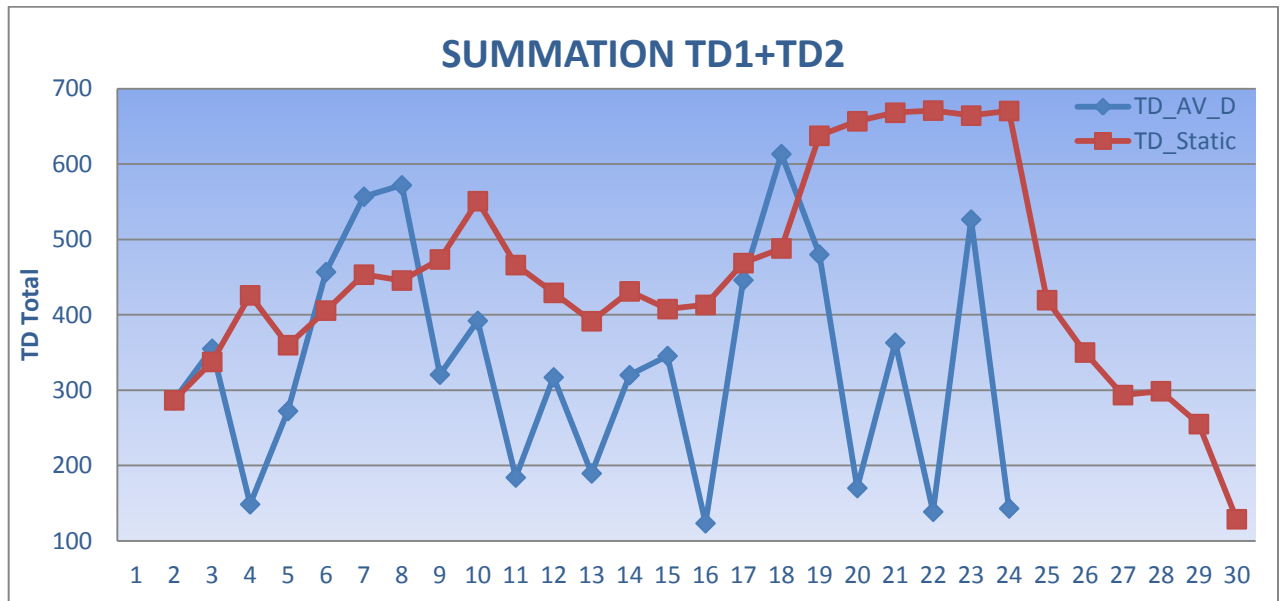


Γράφημα 17: Σενάριο 6 Total Average Delay for all Cycles

Τελικά, για το σενάριο υψηλής συμφόρησης σε 2 κανάλια, ο αλγόριθμος δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα μειώνοντας ραγδαία την συνολική μέση καθυστέρηση του κόμβου. Επίσης, παρατηρούμε ότι σε αυτή την περίπτωση σε αντίθεση με τις προηγούμενες, ο αλγόριθμος δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο χρειάστηκε λιγότερους κύκλους σε σύγκριση με τους στατικούς χρόνους. Τέλος, στην συγκεκριμένη περίπτωση υπήρξε μικρή αύξηση στον Throughput κατά 11 κινητά και ταυτόχρονα η μείωση στην συνολική μέση καθυστέρηση κρίνει την συμπεριφορά του αλγορίθμου ως την καλύτερη περίπτωση γι' αυτό το σενάριο.

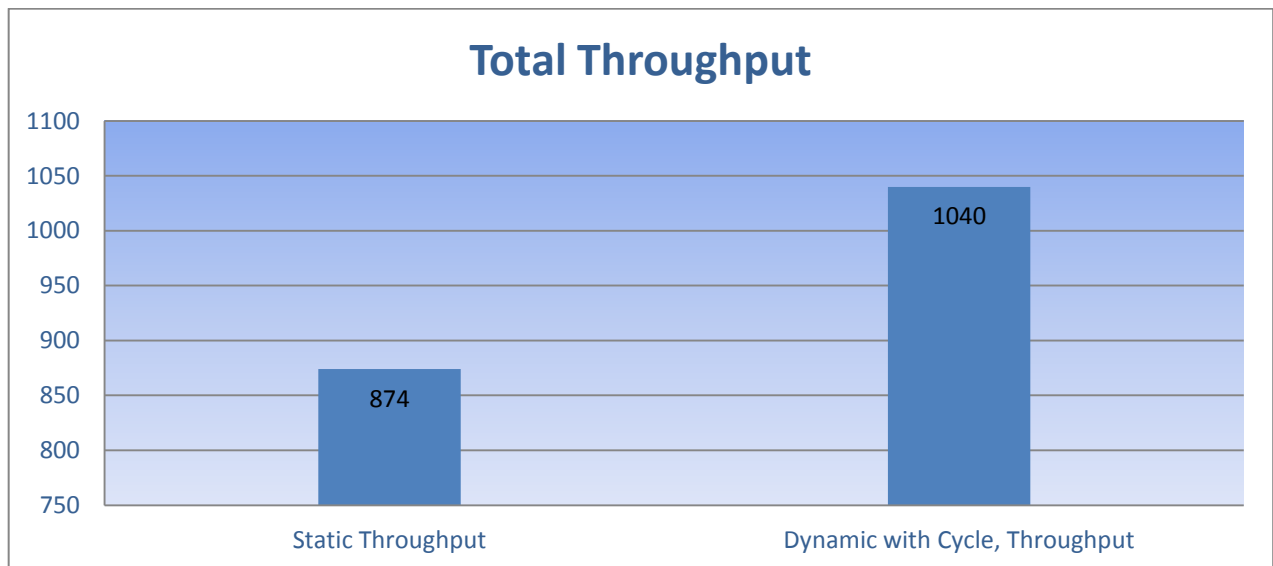
5.3.6 - Έβδομο σενάριο συμφόρησης

Το παρακάτω γράφημα παρουσιάζει την συνολική καθυστέρηση που λαμβάνει χώρα στο θεωρητικό δίκτυο. Παρατηρείται ότι η καθυστέρηση που υπάρχει στο σενάριο δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο είναι κατα πολύ μικρότερη σε σχέση με τους στατικούς χρόνους. Επίσης παρατηρείται μείωση στους κύκλους που απαιτήθηκαν για την ολοκλήρωση της προσομοίωσης.



Γράφημα 18: Σενάριο 7, Total Average Delay/Cycle

Εν συνεχεία, παρουσιάζεται η συνολική διακίνηση του δικτύου ανα ώρα, με τα αποτελέσματα και σε αυτό το κομμάτι να είναι ιδιαίτερος ενθαρρυντικά αφού παρατηρήθηκε αύξηση διακίνησης κατα περίπου 200 κινητά ανα ώρα.



Γράφημα 19: Σενάριο 7 Total Throughput

Αντίστοιχα και σχετικά με τα παραπάνω, ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει το μεμονομένο throughput per lane, ενώ ταυτόχρονα γίνεται συγκρίση του τελικού αλγόριθμου που

δημιουργήθηκε σε σχέση με τον στατικό προγραμματισμό φαναριών.

StaticThroughputN =	102	Vph
StaticThroughputS =	42	Vph
StaticThroughputE =	327	Vph
StaticThroughputW =	278	Vph
StaticThroughputN2 =	77	Vph
StaticThroughputS2 =	48	Vph

DynamicThroughputN =	111	Vph
DynamicThroughputS =	50	Vph
DynamicThroughputE =	389	Vph
DynamicThroughputW =	331	Vph
DynamicThroughputN2 =	102	Vph
DynamicThroughputS2 =	57	Vph

Πίνακας 9: Static & Dynamic Throughput per lane

Κεφάλαιο 6 - Επίλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία καταπιάστηκε με το θέμα της δυναμικής διαχείρισης φαναριών, την ελαχιστοποίηση του χρόνου αναμονής σε διασταύρωση, την δυναμική αποσυμφόρηση καναλιών με χρονικές μεταβαλλόμενες περιόδους συμφόρησης καθώς και την μείωση των νεκρών χρόνων σήμανσης. Σε αυτά τα πλαίσια ανέδειξε το μεθοδολογικό αλλά και γενικότερο προγραμματιστικό περιβάλλον για ένα προσαρμοζόμενο και αυτο-οργανωτο σύστημα διαχείρισης της κίνησης. Έτσι, δημιουργήθηκαν 2 είδη γενετικών αλγορίθμων ώστε να είναι εφικτή η υλοποίηση ενός συστήματος δυναμικής διαχείρισης της κυκλοφορίας. Στην πρώτη υλοποίηση ο αλγόριθμος λαμβάνει την τρέχουσα κίνηση σε κάθε κύκλο και εξάγει ανάλογους χρόνους πράσινου σε σταθερό χρόνο κύκλου. Στην δεύτερη περίπτωση, ο ίδιος αλγόριθμος αναπτύσσεται ώστε να μειώνει νεκρούς χρόνους φαναριών, ενώ ταυτόχρονα βασιζόμενος στην δυναμική εύρεση κύκλου κάνει δυνατή την μείωση της συνολικής μέσης καθυστέρησης, διατηρώντας ταυτόχρονα σε υψηλά επίπεδα Throughputόπως στην πρώτη περίπτωση. Τέλος, σημαντικό πλεονέκτημα του αλγόριθμου δυναμικών χρόνων με δυναμικό κύκλο είναι η τάση του να προσαρμόζεται στις απαιτήσεις της ζήτησης απο άποψη κίνησης.

6.1 - Σύνοψη

Επιχειρώντας να αξιολογήσουμε τη συνεισφορά της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, θα αναφερθούμε στα βασικά ερευνητικά ερωτήματα τα οποία τέθηκαν και ταυτόχρονα θα αναφέρουμε ενδεικτικές λύσεις οι οποίες σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας.

A. Είναι δυνατή μία αποκεντρωμένη δυναμική διαχείριση της κυκλοφορίας στον χρόνο των πράσινων;

Όσο αφορά το πρώτο ερώτημα και βασιζόμενοι στα παραπάνω ένα τέτοιο σύστημα διαχείρισης θα μπορούσε να υλοποιηθεί πάνω σε μια αρχιτεκτονική τύπου FOG, ώστε να παρέχει αποκεντρωμένη διαχείριση χωρίς αρνητικές επιπτώσεις σε αυτή, αφού το υπολογιστικό μέρος της διαδικασίας θα εκτελείται κοντά στον χρήστη ενώ η μεταφερόμενη πληροφορία από το σύστημα

διαχείρισης προς τον controller του σηματοδότη θα έχει πολύ μικρό μέγεθος.

B. Είναι δυνατή η μείωση των νεκρών χρόνων σε κάθε κύκλο επανάληψης της σήμανσης και η ταυτόχρονη δυναμική διαχείριση της;

Αποδείξαμε ότι είναι δυνατή η μείωση των νεκρών χρόνων των φαναριών ακολουθώντας τις εξισώσεις Webster, προς εύρεση του βέλτιστου κύκλου για κάθε περίπτωση συμφόρησης. Ο δεύτερος αλγόριθμος που αναπτύχθηκε κάνει εύρεση του βέλτιστου κύκλου ενώ ταυτόχρονα αποδίδει χρόνο πράσινου στους σηματοδότες ανάλογα με την κίνηση. Έτσι, ο αλγόριθμος έχει το καλύτερο δυνατό μέγεθος χρόνου ώστε να αποδώσει πιο σωστούς χρόνους στους διαφορετικούς σηματοδότες.

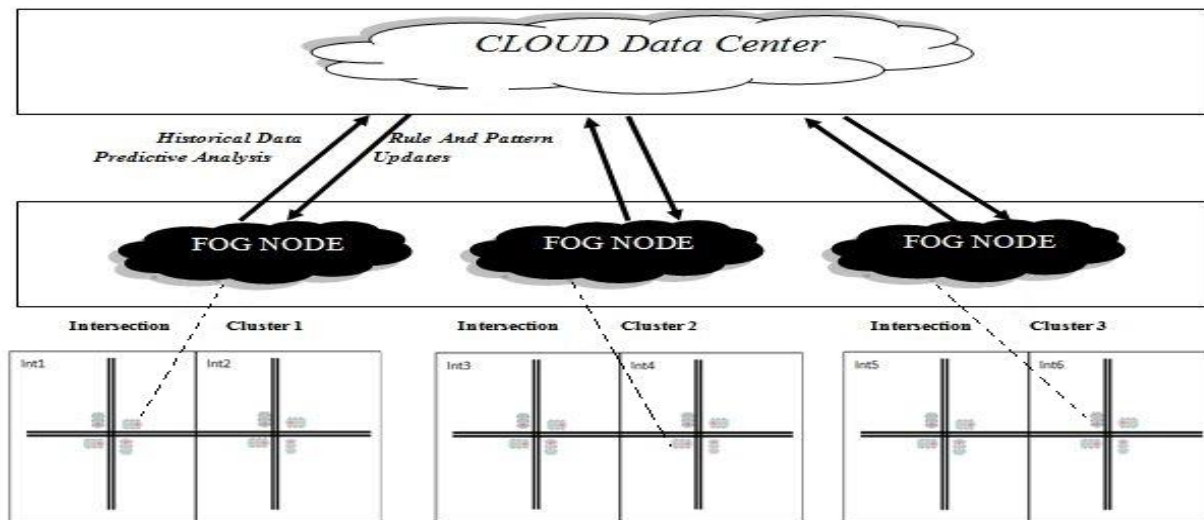
Γ. Ένα τέτοιο σύστημα παρέχει, γρήγορο, ακριβή και πιο αποτελεσματικό συντονισμό της κυκλοφορίας ;

Μέσα από διάφορα σενάρια προσομοίωσης αποδείχθηκε ότι η περίπτωση του δυναμικού αλγόριθμου με δυναμικό κύκλο παρέχει ένα αποτελεσματικό συντονισμό της κυκλοφορίας, μειώνοντας στο ελάχιστο την συνολική μέση καθυστέρηση. Ταυτόχρονα, προσφέρει καλύτερη απόδοση καναλιών(Throughput) με τιμές που πλησιάζουν αυτές του απλού δυναμικού αλγόριθμου με την διαφορά μεταξύ τους να βρίσκεται στην μειωμένη συνολική μέση καθυστέρηση του πρώτου. Λόγο της φύσης των γενετικών αλγορίθμων τα αποτελέσματά τους δεν είναι απόλυτα ακριβή αλλά προσεγγίζουν την βέλτιστη λύση, χωρίς να σημαίνει ότι αυτή η ανακρίβεια δίδει λάθος αποτελέσματα.

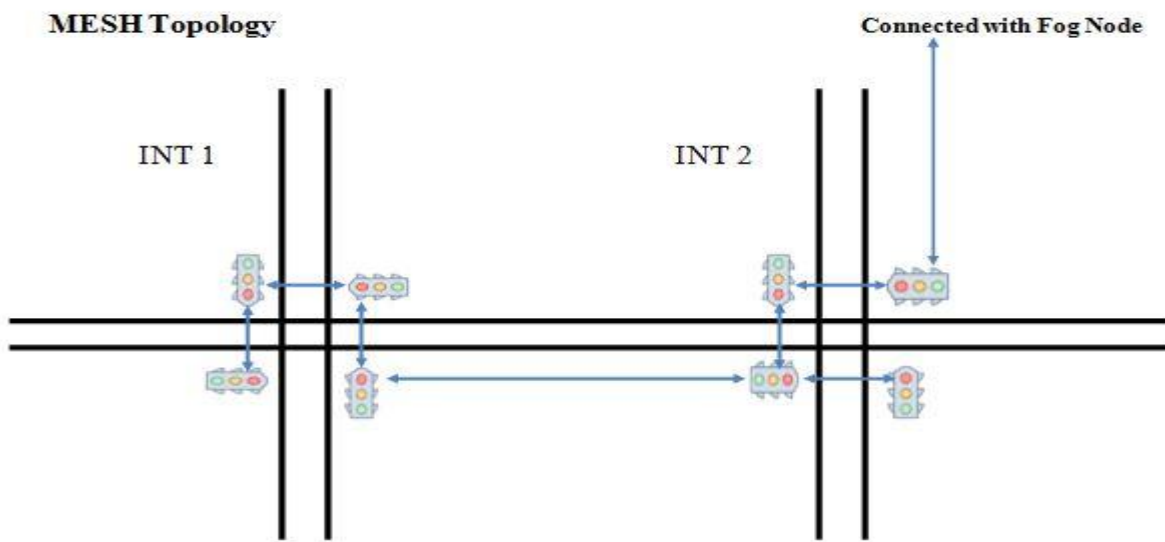
6.2 - Επεκτάσεις

Παρότι τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας υπήρξαν ιδιαίτερος ενθαρρυντικά, αναδεικνύονται ζητήματα που τελούν υπό διερεύνηση και απαιτούν επιπλέον δουλειά αφού κάθε ερευνητική προσπάθεια περιορίζεται από παράγοντες αντικειμενικούς είτε υποκειμενικούς. Αντίστοιχα, η παρούσα εργασία δεν αποτελεί εξαίρεση στο πεδίο της αποσυμφόρησης του οδικού δικτύου. Βασικός περιοριστικός παράγοντας που τέθηκε αρχικά ως προς την συγκεκριμένη προσέγγιση είναι η συγκεκριμενοποίηση/περιορισμός της συμφόρησης σε μέγεθος ενός και μόνο κόμβου του οδικού δικτύου καθώς επίσης και η θεώρηση συγκεκριμένης απόστασης εισαγωγής

κινητών στον κόμβο. Έτσι παραμένουν ανοιχτά ζητήματα ως προς την δημιουργία ενός πιο ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης μιας ευρύτερης περιοχής(παραδείγματος χάριν, σε κεντρικά σημεία μίας πόλης) που απαιτείται βελτιστοποίηση. Επίσης, η ανερχόμενη τεχνολογία των Wireless Sensor Networks(WSNs) που πρόκειται για αυτόνομους και αμφίδρομους αισθητήρες ανίχνευσης και παρακολούθησης του δικτύου κίνησης μπορεί να εφαρμοστεί, προσφέροντας πλεονεκτήματα όπως, η διασύνδεση μεταξύ των κόμβων, μια MH-WMN(Multi Hop-Wireless Mesh Network) τοπολογία για ένα προσαρμοζόμενο και επεκτάσιμο δίκτυο. Ταυτόχρονα το κόστος σε ένα τέτοιο σύστημα πρόκειται να είναι πολύ μικρότερο λόγω της ασύρματης διασύνδεσης, εν αντιθέσει με τοπολογίες ενσύρματης διασύνδεσης. Ακόμα, χρησιμοποιώντας FOG/Edge Computing είναι δυνατή η επέκταση των δυνατοτήτων του Cloud Computing, παρέχοντας βελτιστοποίηση των διαθέσιμων υπολογιστικών πόρων και πρέπει να τεθεί υπό διερεύνηση. Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι σε καμία περίπτωση το FOG δεν πρόκειται για αντικατάσταση του Cloud, αλλά για διασύνδεση των end nodes με το σύννεφο ώστε να προσφερθεί αρχικά δυναμική διαχείριση στους σηματοδότες και αφετέρου ανάλυση-αξιοποίηση ιστορικών στοιχείων. Η αλγοριθμική προσέγγιση που αναπτύχθηκε θα τρέχει σε κόμβους νέφους και θα κάνει τις κατάλληλες τροποποιήσεις στους σηματοδότες σε πραγματικό χρόνο. Κάθε κόμβος νέφους θα βελτιστοποιεί την ροή κινητών πάνω σε μία ορισμένη περιοχή που αφορά δύο διαδοχικές διασταυρώσεις, επιτρέποντας την αποσυμφόρηση της αναφερόμενης περιοχής. Σε δεύτερο χρόνο, και σε ορισμένη χρονική στιγμή στο τέλος κάθε ημέρας, η συλλογή δεδομένων κίνησης θα αποστέλλεται στο Cloud για ανάλυση. Στόχος μέσα από αυτό θα είναι η πρόβλεψη μελλοντικών καταστάσεων συμφόρησης με χρήση νευρωνικών δικτύων ώστε να βελτιωθεί ο αλγόριθμος προσδίδοντας κάποια προτεραιότητα σε ορισμένα κανάλια κυκλοφορίας ανάλογα με τα συλλεχθέντα ιστορικά στοιχεία λύνοντας έτσι το πρόβλημα της ανθρώπινης απόφασης σε καταστάσεις πλήρους συμφόρησης. Παρακάτω παρουσιάζονται ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός που αφορά την υποδομή του δικτύου σε υψηλό επίπεδο καθώς και η χαρακτηριστική διασύνδεση για την ομαδοποιημένη διαχείριση φαναριών.



Εικόνα 27: Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός Υψηλού Επιπέδου



Εικόνα 28: Αρχιτεκτονικός Σχεδιασμός Χαμηλού Επιπέδου

Βιβλιογραφία

- [1] S. N. Kondepudi, “Smart Sustainable Cities Analysis of Definitions,” 2015.
- [2] S. Das and P. Roychowdhury, “Smart Urban Traffic Management System,” 2016.
- [3] S. M. Odeh, “Management of An Intelligent Traffic Light System by Using Genetic Algorithm,” *J. Image Graph.*, vol. 1, no. 2, pp. 90–93, 2013.
- [4] Y. K. Chin, et. al. “Multiple intersections traffic signal timing optimization with genetic algorithm,” 2011 IEEE Int. Conf. Control Syst. Comput. Eng., pp. 454–459, 2011.
- [5] K. T. K. Teo, W. Y. Kow, and Y. K. Chin, “Optimization of traffic flow within an urban traffic light intersection with genetic algorithm,” *Proc. - 2nd Int. Conf. Comput. Intell. Model. Simulation, CIMSIm 2010*, pp. 172–177, 2010.
- [6] C. Sc and N. Delhi, “Time Optimization for Traffic Signal Control Using Genetic Algorithm,” vol. 2, no. 2, pp. 4–6, 2009.
- [7] P. S. Chakraborty, P. R. Sinha, and A. Tiwari, “Real Time Optimized Traffic Management Algorithm for Intelligent Transportation Systems,” 2015 IEEE Int. Conf. Comput. Intell. Commun. Technol., no. April, pp. 744–749, 2015.
- [8] A. Pascale, et al. “Wireless sensor networks for traffic management and road safety,” *IET Intell. Transp. Syst.*, vol. 6, May 2011, p. 67, 2012.
- [9] D. Whitley, “A genetic algorithm tutorial. *Statistics and computing*”, 4(2), 65-85, 1995.
- [10] M. Wanli, and L. Wynter., “Real-time road traffic prediction with spatio-temporal correlations.”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 19.4, pp. 606-616, 2011.
- [11] J. Pan, et al. “Proactive vehicular traffic rerouting for lower travel time.”, *IEEE Transactions on vehicular technology*, pp. 3551-3568, 2013.
- [12] B. Coifman, et al. “A real-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance.”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, pp. 271-288, 1998.
- [13] S. Kamijo, et al., “Traffic monitoring and accident detection at intersections.”, *IEEE transactions on Intelligent transportation systems* 1.2, pp. 108-118, 2000.
- [14] S. Russell, P. Norvig, “A modern approach. *Artificial Intelligence*.”, Prentice-Hall, Egnlewood Cliffs, 25, 27, 1995.
- [15] D. E. Goldberg, D. Kalyanmoy, “A comparative analysis of selection schemes used in genetic algorithms.” *Foundations of genetic algorithms*, pp. 69-93, 1991.

- [16] R. L. Haupt, S. E. Haupt. Practical genetic algorithms. John Wiley & Sons, 2004.
- [17] R.A. Rahmat, et al., "Optimising traffic control for a congested intersection." Traffic Engineering Control 43.9, pp. 357-62, 2002.
- [18] J. M. Sussman, "Intelligent Transportation Systems at the Turning Point: Preparing for Integrated, Regional, and Market-Driven Deployment.", Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS), pp. 173-187 2005.
- [19] N. V. Fidler, J. Stapp., "Distributed approach to optimized control of street traffic signals.", Journal of Transportation Engineering 118.1 pp. 99-110 1992.
- [20] T. L. Thorpe, C. W. Anderson., "Traffic light control using sarsa with three state representations.", Technical report, Citeseer, 1996.
- [21] M. Steingrover, et al., "Reinforcement Learning of Traffic Light Controllers Adapting to Traffic Congestion.", In BNAIC, pp. 216-223, 2005.
- [22] H. Taale, et al., "Optimizing traffic light controllers by means of evolutionary algorithms.", In Proceedings of EUFIT'98, 1998.
- [23] K. K. Tan, M. Khalid, and R. Yusof., "Intelligent traffic lights control by fuzzy logic.", Malaysian Journal of Computer Science, 9-2, 1995.
- [24] M. A. Wiering, "Multi-agent reinforcement learning for traffic light control.", In Machine Learning: Proceedings of the Seventeenth International Conference pp. 1151-1158, 2000.
- [25] W. Wen, "A dynamic and automatic traffic light control expert system for solving the road congestion problem.", Expert Systems with Applications 34.4, pp. 2370-2381, 2008.
- [26] K. Tavladakis, and N. C. Voulgaris. "Development of an autonomous adaptive traffic control system." ESIT'99-The European Symposium on Intelligent Techniques. 1999.
- [27] Sha, Lui, et al. "Queueing model based network server performance control." Real-Time Systems Symposium, 2002. RTSS 2002. 23rd IEEE. IEEE, 2002.
- [28] Khalid, Marzuki. "Intelligent traffic lights control by fuzzy logic." Malaysian Journal of Computer Science 9.2 pp 29-35, 1996.
- [29] K. K. Tan, M. Khalid, and R. Yusof, "Intelligent traffic lights control by fuzzy logic," Malaysian Journal of Computer Science, vol. 9-2, 1995.
- [30] J.H. Lee, et al., "Traffic control of intersection group based on fuzzy logic," in Proceedings of the 6th International Fuzzy Systems Association World Congress, pp. 465-468, 1995.
- [31] R. A. Rahmat, et al, "Optimising traffic control for a congested intersection.", Traffic Engineering+ Control, 43(9), pp. 357-62, 2002.

- [32] C. S. Papacostas, P. D. Prevedouros. *Transportation engineering and planning.*, pp. 220, 1993.
- [33] Zakariya, A. Y. & Rabia, S. I. (2016). Estimating the minimum delay optimal cycle length based on a time-dependent delay formula. *Alexandria Engineering Journal*, 55(3), pp. 2509-2514.

Παράρτημα Α

Vehicles NORTH	Vehicles SOUTH	Vehicles EAST	Vehicles WEST
0	0	0	0
4	3	2	11
5	3	3	11
5	2	9	9
5	2	7	11
5	2	7	10
5	2	8	10
5	3	5	10
6	2	9	10
5	3	6	10
5	2	8	10
5	2	8	10
5	2	6	10
5	2	8	10
5	3	7	10
6	3	8	10
5	3	8	10
5	2	8	10
5	2	7	10

Πίνακας 12: Συμφόρηση Σενάριο 1 Δυναμικοί Χρόνοι

Vehicles NORTH	Vehicles SOUTH	Vehicles EAST	Vehicles WEST
0	0	0	0
4	3	2	11
5	3	3	11
5	2	9	9
5	3	7	10
6	3	7	10
5	3	9	11
6	3	6	12
6	2	10	10
6	3	6	11
6	2	8	10
5	3	7	11
5	2	7	10
5	2	8	9
5	3	7	10
5	2	8	10
5	2	8	10
5	2	7	10
3	0	1	5

Πίνακας 14: Συμφόρηση Σενάριο 1 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος

GREEN NORTH	GREEN SOUTH	GREEN EAST	GREEN WEST
31	31	31	31
32	29	24	56
35	28	27	51
33	22	44	42
32	21	39	49
33	22	39	47
32	21	43	45
33	25	34	49
35	18	43	45
33	26	36	46
32	20	41	48
32	20	42	47
35	21	38	47
33	21	41	46
33	25	38	45
34	24	39	44
32	24	39	46
34	20	41	46
31	22	39	49

Πίνακας 13: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 1 Δυναμικοί Χρόνοι

GREEN NORTH	GREEN SOUTH	GREEN EAST	GREEN WEST
31	31	31	31
28	22	19	44
31	25	26	46
34	21	43	45
32	26	40	45
38	25	40	45
34	27	49	53
41	27	35	55
40	22	50	51
36	27	37	48
36	22	43	47
34	25	40	49
34	21	37	46
33	22	40	43
33	24	39	47
32	22	42	47
33	22	42	46
31	22	40	45
20	8	11	24

Πίνακας 15: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 1 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος

Vehicles NORTH	Vehicles SOUTH	Vehicles EAST	Vehicles WEST
0	0	0	0
4	0	1	3
4	0	1	3
3	0	1	2
8	0	0	1
3	0	7	1
6	0	0	3
7	0	3	3
5	0	1	6
5	0	2	2
6	0	0	5
7	0	4	0
10	0	1	6
2	0	2	5
7	0	1	4
3	0	1	2
6	0	0	6
6	0	9	1
3	0	3	5
3	0	1	3
9	0	0	4
5	0	7	4
10	0	1	2
7	0	1	0
3	0	2	5

Πίνακας 18: Συμφόρηση Σενάριο 2 Δυναμικοί Χρόνοι

GREEN NORTH	GREEN SOUTH	GREEN EAST	GREEN WEST
31	31	31	31
57	8	28	48
56	8	28	49
56	8	31	46
60	10	8	60
45	8	59	29
58	11	8	58
57	8	38	38
52	8	22	59
55	8	38	40
60	11	10	60
60	10	60	11
60	8	22	51
35	8	39	59
56	9	25	51
55	8	33	45
60	8	10	60
53	8	60	20
39	9	39	54
51	8	34	48
60	10	9	60
44	8	51	38
60	8	32	41
58	16	58	9
42	8	35	56

Πίνακας 19: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 2 Δυναμικοί Χρόνοι

Vehicles NORTH	Vehicles SOUTH	Vehicles EAST	Vehicles WEST
0	0	0	0
4	0	1	3
4	0	1	3
1	0	4	3
3	0	1	2
5	0	0	2
3	0	1	0
2	0	0	2
1	0	3	1
2	0	1	2
5	0	1	0
4	0	2	1
4	0	1	2
3	0	2	2
2	0	1	4
5	0	3	1
2	0	3	2
2	0	2	5
5	0	0	2
4	0	1	4
5	0	4	1
4	0	0	4
7	0	2	0
1	0	3	2
3	0	1	5
5	0	2	1
2	0	0	2
3	0	3	2
4	0	3	0
4	0	4	3
3	0	0	4
2	0	4	2
4	0	2	2
2	0	1	3
2	0	3	1
1	0	1	2
3	0	1	1
5	0	2	4
4	0	2	0
2	0	0	4
5	0	2	2
7	0	0	1
1	0	1	2
5	0	5	0
3	0	1	3
3	0	1	0
1	0	0	1

Πίνακας 20: Συμφόρηση Σενάριο 2 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος

GREEN NORTH	GREEN SOUTH	GREEN EAST	GREEN WEST
31	31	31	31
23	8	11	21
23	8	12	20
12	8	23	20
23	8	13	19
29	8	8	18
30	8	17	8
24	8	8	23
15	8	25	15
20	8	15	20
32	8	15	8
25	8	18	12
25	8	12	18
21	8	17	17
17	8	13	25
25	8	19	11
17	8	21	17
15	8	15	25
28	8	8	19
21	8	11	23
23	8	21	11
23	8	8	24
29	8	18	8
13	8	23	19
19	8	11	25
27	8	16	12
22	8	8	25
20	8	19	16
25	8	22	8
19	8	19	17
22	8	8	25
16	8	23	16
23	8	16	16
19	8	13	23
19	8	23	13
16	8	16	23
26	8	14	15
22	8	14	19
27	8	20	8
17	8	8	30
25	8	15	15
32	8	8	15
16	8	16	23
23	8	24	8
21	8	12	22
30	8	17	8
22	8	8	25

Πίνακας 21: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 2 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος

Vehicles NORTH	Vehicles SOUTH	Vehicles EAST	Vehicles WEST
8	0	1	4
4	0	2	3
4	0	2	3
15	0	0	3
15	0	0	3
9	0	2	2
9	0	2	2
8	0	1	5
8	0	1	5
11	0	1	8
11	0	1	8
8	0	1	8
8	0	1	8
9	0	1	4
9	0	1	4
8	0	1	8
8	0	1	8
8	0	3	7
8	0	3	7
13	0	0	5
14	0	0	5
7	0	2	9
7	0	3	9
9	0	3	7
9	0	3	7
5	0	1	4
6	0	1	4
11	0	0	8
11	0	0	8
14	0	4	7
14	0	4	7
5	0	2	5
5	0	2	5
6	0	2	5
6	0	2	5
12	0	1	9
12	0	1	9
6	0	1	7
6	0	1	8
13	0	4	3
13	0	4	3
12	0	2	3
12	0	2	3
6	0	3	5
6	0	3	5

Πίνακας 22: Συμφόρηση Σενάριο 3 Στατικοί Χρόνοι

GREEN NORTH	GREEN SOUTH	GREEN EAST	GREEN WEST
31	31	31	31
59	8	23	51
58	8	25	50
51	8	52	30
60	8	12	60
55	8	60	18
60	8	25	48
60	8	22	51
57	8	23	53
54	8	48	31
56	8	22	55
54	8	41	38
59	15	8	59
36	8	56	41
54	8	30	49
56	8	41	36
59	10	21	51
56	8	49	28
52	8	25	56
59	8	28	46
59	8	19	55
48	8	44	41
59	8	38	36
60	8	34	39
54	9	41	37

Πίνακας 25:Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 3 Δυναμικοί Χρόνοι

Vehicles NORTH	Vehicles SOUTH	Vehicles EAST	Vehicles WEST
0	0	0	0
8	0	1	4
8	0	1	4
1	0	7	2
4	0	0	2
10	0	0	3
6	0	4	2
3	0	4	1
4	0	0	2
4	0	7	2
6	0	0	1
3	0	4	4
9	0	3	5
4	0	2	6
6	0	4	3
4	0	4	2
3	0	1	6
7	0	1	2
5	0	2	6
7	0	5	5
11	0	1	4
4	0	3	4
4	0	4	6
9	0	0	4
3	0	7	1
1	0	1	3
7	0	3	1
6	0	4	5
5	0	3	6
8	0	6	3
3	0	3	5
5	0	1	2
3	0	3	3
6	0	1	2
4	0	0	4
3	0	6	2
4	0	1	5
5	0	4	1
7	0	3	3
6	0	6	4
8	0	2	3
5	0	1	0

Πίνακας 26:Συμφόρηση Σενάριο 3 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος

GREEN NORTH	GREEN SOUTH	GREEN EAST	GREEN WEST
31	31	31	31
31	8	11	23
31	8	12	22
11	8	29	15
27	8	8	20
36	8	8	21
25	8	21	14
20	8	23	12
28	8	8	19
21	8	29	15
33	8	8	14
17	8	19	19
38	8	23	29
21	8	14	25
28	8	20	17
20	8	20	15
18	8	10	27
27	8	12	16
24	8	15	26
33	8	29	28
44	8	13	28
19	8	17	19
24	8	23	28
34	8	8	23
18	8	27	10
15	8	15	25
28	8	18	9
29	8	24	27
26	8	21	28
35	8	32	23
17	8	17	21
26	8	12	17
18	8	19	18
27	8	12	16
24	8	8	23
17	8	24	14
21	8	11	23
23	8	21	11
29	8	18	18
30	8	30	25
31	8	16	18
29	8	18	8
23	8	8	24

Πίνακας 27: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 3 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος

Vehicles NORTH	Vehicles SOUTH	Vehicles EAST	Vehicles WEST
6	0	1	6
4	0	2	5
4	0	2	6
10	0	0	6
10	0	0	6
4	0	1	3
4	0	1	3
6	0	1	7
6	0	1	7
8	0	1	10
8	0	1	10
5	0	1	9
5	0	1	9
7	0	1	4
7	0	1	4
6	0	1	11
6	0	1	11
7	0	3	11
7	0	4	11
12	0	0	10
12	0	0	10
4	0	3	13
4	0	4	13
7	0	1	15
7	0	1	15
4	0	1	9
5	0	1	9
7	0	0	8
7	0	0	8
7	0	3	10
7	0	3	10
5	0	1	11
5	0	1	11
4	0	0	7
4	0	0	7
11	0	1	12
11	0	1	12
6	0	1	10
6	0	1	10
10	0	2	3
10	0	2	3
9	0	1	5
9	0	1	5
5	0	3	6
5	0	3	6

Πίνακας 28: Συμφόρηση Σενάριο 4 Στατικοί Χρόνοι

GREEN NORTH	GREEN SOUTH	GREEN EAST	GREEN WEST
31	31	31	31
55	8	23	55
54	8	23	56
44	8	44	45
60	11	10	60
47	8	60	26
60	10	8	60
48	8	37	48
50	8	23	60
58	8	38	37
50	8	26	57
56	8	36	41
60	9	10	60
31	8	48	54
53	8	20	60
51	8	37	45
60	8	8	60
42	8	56	35
41	8	37	55
46	8	27	60
59	8	19	55
50	8	28	55
59	8	33	41
60	8	25	48
54	8	36	43

Πίνακας 31: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 4 Δυναμικοί Χρόνοι

Vehicles NORTH	Vehicles SOUTH	Vehicles EAST	Vehicles WEST
0	0	0	0
6	0	1	6
6	0	1	6
1	0	6	4
4	0	0	4
7	0	0	4
4	0	1	2
2	0	2	5
3	0	2	1
2	0	0	4
5	0	3	1
4	0	3	5
5	0	1	5
3	0	2	3
3	0	1	5
4	0	4	1
2	0	1	4
3	0	2	5
4	0	0	4
3	0	2	5
7	0	5	7
11	0	0	5
1	0	4	5
4	0	3	8
5	0	0	6
3	0	2	2
1	0	1	5
6	0	3	4
2	0	2	6
2	0	3	5
5	0	4	5
4	0	0	6
1	0	4	5
3	0	2	4
2	0	0	3
6	0	1	4
5	0	4	5
3	0	0	4
4	0	2	3
6	0	0	2
2	0	2	7
6	0	6	4
5	0	1	7
3	0	3	3

Πίνακας 32: Συμφόρηση Σενάριο 4 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος

GREEN NORTH	GREEN SOUTH	GREEN EAST	GREEN WEST
31	31	31	31
25	8	11	29
26	8	11	28
10	8	25	20
24	8	8	23
26	8	8	21
24	8	13	18
15	8	15	25
23	8	19	13
22	8	8	25
24	8	19	12
20	8	18	22
23	8	10	22
20	8	16	19
19	8	11	25
22	8	22	11
18	8	13	24
18	8	14	23
23	8	8	24
18	8	14	23
36	8	29	35
48	8	8	29
11	8	21	23
25	8	21	34
23	8	8	24
21	8	17	17
13	8	13	29
26	8	18	21
15	8	15	25
14	8	18	23
26	8	23	26
21	8	8	26
11	8	21	23
19	8	15	21
21	8	8	26
26	8	10	19
25	8	23	27
22	8	8	25
21	8	15	19
28	8	8	19
14	8	15	26
30	8	30	25
24	8	11	30
19	8	18	18

Πίνακας 33: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 4 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος

Vehicles NORTH	Vehicles SOUTH	Vehicles EAST	Vehicles WEST
3	0	1	8
1	0	5	6
1	0	5	6
7	0	2	7
7	0	2	7
3	0	6	5
3	0	6	5
5	0	10	9
5	0	10	9
6	0	9	9
6	0	10	9
4	0	10	11
4	0	10	11
2	0	12	5
2	0	12	5
4	0	13	13
4	0	13	13
5	0	13	13
5	0	14	13
9	0	9	13
9	0	9	13
3	0	13	14
3	0	13	14
5	0	13	17
5	0	13	18
2	0	13	14
2	0	13	14
5	0	12	12
5	0	13	12
6	0	13	13
6	0	13	13
4	0	12	15
4	0	12	15
3	0	12	13
3	0	12	13
5	0	12	13
5	0	13	13
6	0	13	14
6	0	13	14
8	0	12	8
8	0	13	8
3	0	12	8
3	0	13	8
2	0	12	7
2	0	13	7
0	0	13	0
0	0	13	0
0	0	9	0
0	0	9	0

Πίνακας 34: Συμφόρηση Σενάριο 5 Στατικοί Χρόνοι

GREEN NORTH	GREEN SOUTH	GREEN EAST	GREEN WEST
31	31	31	31
45	8	30	58
48	8	26	59
26	8	60	47
60	10	10	60
43	9	60	29
44	8	40	49
45	8	33	55
41	9	39	52
40	8	47	46
41	8	35	57
45	8	36	52
60	11	9	60
19	9	59	54
37	9	35	60
32	9	52	48
53	8	23	57
34	8	55	44
48	8	25	60
28	8	54	51
41	9	32	59
38	8	50	45
43	8	48	42
38	8	51	44
34	8	41	58

Πίνακας 37: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 5 Δυναμικοί Χρόνοι

Vehicles NORTH	Vehicles SOUTH	Vehicles EAST	Vehicles WEST
0	0	0	0
3	0	1	8
3	0	1	8
1	0	12	5
3	0	3	6
3	0	6	5
5	0	2	9
2	0	7	1
3	0	8	4
5	0	3	2
3	0	6	5
5	0	5	4
1	0	4	8
2	0	7	3
0	0	3	5
2	0	2	6
3	0	3	6
3	0	6	7
5	0	5	7
8	0	2	3
0	0	11	3
4	0	2	12
3	0	7	7
2	0	4	5
2	0	9	5
4	0	2	6
2	0	7	7
6	0	4	8
1	0	4	7
2	0	5	5
2	0	4	3
1	0	3	6
5	0	7	5
5	0	8	9
7	0	6	5
1	0	10	10
3	0	3	10
1	0	2	3

Πίνακας 38: Συμμόρφηση Σενάριο 5 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος

GREEN NORTH	GREEN SOUTH	GREEN EAST	GREEN WEST
31	31	31	31
19	8	11	30
20	8	10	30
14	8	49	32
18	8	17	25
20	8	28	27
30	8	19	36
16	8	28	11
21	8	35	24
23	8	18	14
21	8	28	26
26	8	26	23
11	8	22	32
15	8	27	18
8	8	22	25
15	8	15	25
18	8	17	25
23	8	28	34
28	8	28	34
31	8	15	19
8	8	49	18
28	8	20	47
22	8	34	34
14	8	20	21
18	8	38	29
21	8	14	25
18	8	35	32
31	8	28	36
11	8	22	27
14	8	23	23
15	8	21	19
11	8	18	26
28	8	34	28
33	8	42	45
35	8	31	29
16	8	49	50
23	8	23	39
13	8	19	23

Πίνακας 39: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 5 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος

Vehicles NORTH	Vehicles SOUTH	Vehicles EAST	Vehicles WEST
8	0	1	7
4	0	2	4
4	0	2	4
16	0	0	6
16	0	0	6
10	0	1	3
10	0	1	3
9	0	1	6
9	0	1	6
12	0	1	10
12	0	1	10
10	0	1	9
10	0	1	9
9	0	2	3
9	0	2	3
7	0	2	11
8	0	2	11
10	0	3	9
10	0	4	9
14	0	0	6
15	0	0	6
9	0	4	10
9	0	4	10
11	0	4	8
11	0	4	9
6	0	2	6
7	0	2	6
11	0	3	8
11	0	3	8
14	0	6	10
14	0	6	10
9	0	3	10
9	0	3	10
6	0	1	7
6	0	2	7
14	0	2	12
14	0	3	12
8	0	2	10
8	0	2	10
13	0	5	3
13	0	5	3
15	0	7	5
15	0	7	5
8	0	4	6
8	0	4	6

Πίνακας 40: Συμφόρηση Σενάριο 6 Στατικοί Χρόνοι

Vehicles NORTH	Vehicles SOUTH	Vehicles EAST	Vehicles WEST
0	0	0	0
8	0	1	7
8	0	1	7
3	0	11	2
9	0	3	7
9	0	2	5
4	0	7	2
6	0	5	4
8	0	3	3
5	0	2	5
10	0	3	4
4	0	3	6
7	0	6	3
3	0	1	3
4	0	3	4
6	0	1	5
5	0	4	6
9	0	4	4
11	0	2	1
2	0	6	4
7	0	4	6
8	0	2	6
2	0	6	4
7	0	6	4
5	0	2	6
7	0	6	6
10	0	4	6
5	0	2	4
4	0	5	5
7	0	2	3
7	0	2	8
3	0	9	5
8	0	2	6
8	0	7	4
10	0	9	5
5	0	0	5
1	0	1	0

Πίνακας 44: Συμφόρηση Σενάριο 6 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος

GREEN NORTH	GREEN SOUTH	GREEN EAST	GREEN WEST
31	31	31	31
36	8	14	35
38	8	13	34
24	8	43	18
41	8	24	35
34	8	20	31
23	8	28	14
29	8	27	24
33	8	21	21
22	8	14	24
41	8	23	26
21	8	18	26
33	8	31	21
22	8	12	21
19	8	17	19
26	8	11	23
26	8	24	30
39	8	25	26
42	8	19	14
14	8	25	21
33	8	27	30
35	8	18	32
15	8	25	20
34	8	31	25
23	8	15	27
35	8	33	32
43	8	28	34
22	8	14	19
23	8	26	26
27	8	15	18
35	8	19	36
24	8	37	29
34	8	19	32
39	8	34	27
54	8	44	32
22	8	8	25
25	8	22	8

Πίνακας 45: Χρόνοι Πράσινου Σενάριο 6 Δυναμικοί Χρόνοι & Κύκλος