



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Προηγμένα Συστήματα Πληροφορικής»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Γεννήτρια κινούμενων αντικειμένων πάνω σε δίκτυο
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Απόστολος Παύλος
Πατρώνυμο	Παναγιώτης
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΠΛ/ 09054
Επιβλέπων	Πελέκης Νίκος, Λέκτορας

Ημερομηνία Παράδοσης **Μάρτιος 2012**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

Νίκος Πελέκης
Λέκτορας

(υπογραφή)

Γιάννης Θεοδωρίδης
Αν. Καθηγητής

(υπογραφή)

Γιάννης Σίσκος
Καθηγητής

ABSTRACT

The study of large datasets of moving objects could help to solve important issues, such as road traffic reduction. A major obstacle in this study, however, is the large amount of data to be collected, especially if it consists of real data, since the cost of time and materials for data recording and monitoring would be enormous. For this purpose various kinds of moving object generators have been created through time. Most of these generators do not take into consideration that moving objects often follow a given network. In this project, and depending on Brinkhoff's moving object generator, a new generator is created that simulates trajectories of objects on real networks. This generator combines real data (the network) with user-defined properties for the data generation. So the study of the real-objects' motions becomes much easier, since by using correct input data motions can be very close to real. Furthermore after experiments it has been proved that the production of large sets is feasible even in a home PC.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη της κίνησης μεγάλων συνόλων αντικειμένων θα μπορούσε να βοηθήσει σε επίλυση σημαντικών προβλημάτων, όπως στη μείωση της κίνησης στους δρόμους. Ένα σημαντικό εμπόδιο στη μελέτη αυτή, όμως, είναι το μεγάλο μέγεθος δεδομένων που θα πρέπει να συγκεντρωθεί, ειδικά δε αν αυτό αποτελείται από πραγματικά δεδομένα, αφού το κόστος τόσο των υλικών για την καταγραφή δεδομένων όσο και του χρόνου παρακολούθησης θα ήταν τεράστιο. Για το σκοπό αυτό έχουν δημιουργηθεί κατά καιρούς αρκετές γεννήτριες παραγωγής κινούμενων αντικειμένων που προσομοιώνουν κινήσεις διαφόρων ειδών. Οι περισσότερες από αυτές δημιουργούν αντικείμενα που κινούνται αυθαίρετα μέσα στο χώρο, ενώ πιο πρόσφατα δημιουργήθηκαν και λίγες που προσομοιώνουν κινήσεις πάνω σε δίκτυο, ακόμα με διάφορες ατέλειες. Στην εργασία αυτή, και με γνώμονα την γεννήτρια παραγωγής αντικειμένων του Brinkhoff, δημιουργείται μια γεννήτρια που προσομοιώνει τροχιές αντικειμένων πάνω σε πραγματικά δίκτυα. Έτσι δίνεται η δυνατότητα να συνδυαστούν πραγματικά δεδομένα (τα δίκτυα) με ιδιότητες που ορίζει ο χρήστης για την παραγωγή του συνόλου δεδομένων. Έτσι διευκολύνεται πολύ η μελέτη της κίνησης πραγματικών αντικειμένων, αφού οι κινήσεις με τη σωστή εισαγωγή δεδομένων μπορεί να πλησιάσουν πολύ σε πραγματικές. Επιπροσθέτως μετά από πειράματα αποδεικνύεται πως η παραγωγή μεγάλων συνόλων είναι εφικτή ακόμα και σε έναν απλό υπολογιστή.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	4
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	5
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	5
1 Εισαγωγή	6
2 Σχετικές Εργασίες	7
3 Αντικείμενο της Εργασίας	12
3.1 Σκοπός της Εργασίας.....	12
3.2 Περιγραφή της δομής της εργασίας	13
4 Ανάλυση Απαιτήσεων	14
4.1 Αρχική μορφή της γεννήτριας.....	14
4.2 Κριτήρια Αξιολόγησης.....	15
4.3 Προσδοκίες Χρήσης	17
5 Σχεδιασμός.....	17
5.1 Περιορισμοί στο Χρόνο	17
5.2 Περιορισμοί στο δίκτυο.....	18
5.3 Περιορισμοί στα εξωτερικά αντικείμενα της γεννήτριας	20
5.4 Περιορισμοί στην κίνηση των αντικειμένων.....	21
6 Υλοποίηση.....	25
6.1 Αρχική Μορφή της Εφαρμογής.....	25
6.2 Τροποποιήσεις των πακέτων.....	28
7 Αποτίμηση και έλεγχος	30
8 Συμπεράσματα –Μελλοντικές Επεκτάσεις	33
9 Βιβλιογραφία - Αναφορές.....	34
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	35

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Παράδειγμα κίνησης στη γεννήτρια GSTD	7
Εικόνα 2 Παράδειγμα κίνησης στη γεννήτρια των D. Pfoser και Y.Theodoridis.....	7
Εικόνα 3 Παράδειγμα κίνησης στην γεννήτρια CENTRE.....	8
Εικόνα 4 Παράδειγμα κίνησης με τη γεννήτρια G-TERD.....	8
Εικόνα 5 Η γεννήτρια παραγωγής αντικειμένων Oporto.....	9
Εικόνα 6 Παράδειγμα προσομοίωσης κίνησης στην C4C γεννήτρια	10
Εικόνα 7 Γεννήτρια παραγωγής ομαδοποιημένων τροχιών.....	11
Εικόνα 8 Παράδειγμα προσομοίωσης με τη γεννήτρια του Brinkhoff	15
Εικόνα 9 Use case διάγραμμα.....	16
Εικόνα 10 Τυχαία χρονική στιγμή μιας προσομοίωσης	18
Εικόνα 11 Κίνηση δύο αντικειμένων διαφορετικών ομάδων σε παράλληλες ακμές. 19	
Εικόνα 12 Κίνηση ενός αντικειμένου μιας ομάδας και 100 μιας άλλης ομάδας σε παράλληλες ακμές	20
Εικόνα 13 Κίνηση δύο ομάδων αντικειμένων στο χάρτη με προκαθορισμένες αρχικές και τελικές θέσεις και ενδιάμεσες στάσεις	22
Εικόνα 14 Κίνηση λίγων αντικειμένων σε ακμή μικρής χωρητικότητας	24
Εικόνα 15 Κίνηση πολλών αντικειμένων σε ακμή μικρής χωρητικότητας	25
Εικόνα 16 Διάγραμμα πακέτων της εφαρμογής	26
Εικόνα 17 Class Diagram του πακέτου Drawables.....	27
Εικόνα 18 Διάγραμμα κλάσεων των νέων αρχείων	28
Εικόνα 19 Γραφική παράσταση της ταχύτητας ανάλογα με τον αριθμό αντικειμένων σε συγκεκριμένη ακμή.....	31
Εικόνα 20 Νέα μορφή της γεννήτριας παραγωγής κινούμενων αντικειμένων	36
Εικόνα 21 Τυχαία κίνηση αντικειμένων στο δίκτυο	36
Εικόνα 22 Κίνηση των αντικειμένων της ομάδας 1 μετά από επιλογή αρχικής θέσης στο πάνω δεξί μέρος του χάρτη	36
Εικόνα 23 Κίνηση των αντικειμένων στο δίκτυο μετά από επιλογή τελικής θέσης της ομάδας 1 στο κάτω δεξί μέρος του χάρτη.....	36

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Χρόνος προσομοίωσης ανάλογα με τον αριθμό αντικειμένων.....	30
Πίνακας 2 Ταχύτητα αντικειμένων ανάλογα με τον αριθμό τους.....	31
Πίνακας 3 Ταχύτητα αντικειμένων ανάλογα με την μέγιστη ταχύτητα της ομάδας που ανήκουν	32
Πίνακας 4 Αποτελέσματα προσομοιώσεων στο χάρτη του Oldenburg	32

1 Εισαγωγή

Η εύκολη και κατανοητή μέθοδος αξιολόγησης της απόδοσης είναι μια από τις σημαντικότερες απαιτήσεις στον τομέα των χωροχρονικών αλγορίθμων και δομών δεδομένων. Η χρήση των μεθόδων αυτών είναι πολύ εκτεταμένη, αφού διευκολύνουν τη μελέτη των κινήσεων των αντικειμένων μέσα στο χώρο στη διάρκεια του χρόνου. Έτσι η αξιολόγησή των χωροχρονικών αλγορίθμων είναι απαραίτητη, αφού μέσω αυτών μπορεί κανείς να κατανοήσει, άρα και να επιλύσει, προβλήματα που δημιουργούνται στις κινήσεις αυτές, όπως κυκλοφοριακά προβλήματα, μετακινήσεις ομάδων ζώων υπό εξαφάνιση κ.ά.. Η εφαρμογή των μεθόδων αξιολόγησης γίνεται σε πειραματικό στάδιο σε κινήσεις αντικειμένων προερχόμενες από γεννήτριες παραγωγής κινούμενων αντικειμένων.

Γι' αυτό το λόγο έχουν δημιουργηθεί διάφορες γεννήτριες παραγωγής κινούμενων αντικειμένων, που βοηθούν ακόμα και άτομα που δεν έχουν μεγάλη σχέση με το πως μπορούν να δημιουργηθούν εικονικά αυτά τα αντικείμενα, να αξιολογήσουν την κίνηση και συγκεκριμένα της απόδοσής τους.

Οι γεννήτριες που έχουν δημιουργηθεί μέχρι τώρα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Αυτές που αναπαριστούν την κίνηση αντικειμένων που κινούνται ελεύθερα στο χώρο,
- Αυτές οι οποίες παίρνουν κάποιο δίκτυο ως παράμετρο (π.χ. οδικό δίκτυο μιας πόλης) και τα αντικείμενα που κατασκευάζουν κινούνται περιορισμένα πάνω στο δίκτυο αυτό.

Κάποιες από αυτές έχουν λιγότερες δυνατότητες (αδυναμία επιλογής κατεύθυνσης, ταχύτητας κ.ά.), ενώ κάποιες άλλες έχουν περισσότερες δυνατότητες. Παρόλ' αυτά παραμένουν δύσχρηστες για το ευρύτερο κοινό, αφού για να γίνουν κάποιες αλλαγές πρέπει ο χρήστης να ανατρέξει στον πηγαίο κώδικα.

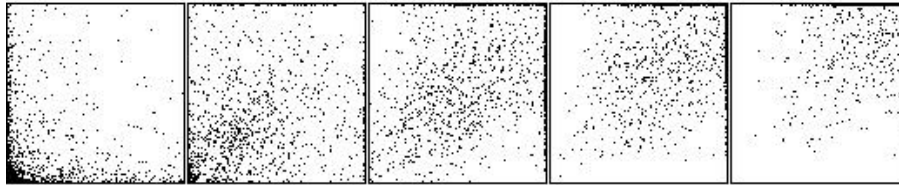
Στη μεταπτυχιακή διατριβή αυτή, που βασίζεται στη γεννήτρια παραγωγής κινούμενων αντικειμένων πάνω σε δίκτυο του Brinkhoff, στόχος είναι να γίνει αρκετά πιο εύχρηστη η γεννήτρια αυτή, ώστε να μπορεί η απόδοση των αντικειμένων (άρα και του αλγορίθμου) να αξιολογηθεί εύκολα, χωρίς να χρειάζεται κανείς να ανατρέξει στον πηγαίο κώδικα. Δεδομένου ότι η διαδρομή που ακολουθούν τα αντικείμενα αυτά είναι η προβολή της κίνησης των πραγματικών αντικειμένων στο χώρο (κίνηση σε πραγματικό χρόνο - real-time), η γεννήτρια μπορεί να τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να εκμεταλλεύεται την ιδιότητα αυτή. Έτσι, η ανανεωμένη της έκδοση θα βοηθήσει στην εύκολη προσομοίωση πραγματικών κινήσεων και προσφέρει τη δυνατότητα στο χρήστη να μετακινεί αντικείμενα από ένα σημείο σε ένα άλλο (να δίνει συντεταγμένες τροχιάς) ή ακόμα και να ελέγχει την ταχύτητά τους.

Η δομή που έχει η εργασία αυτή είναι η ακόλουθη: Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια ανασκόπηση προηγούμενων εργασιών και εφαρμογών, παρόμοιων με τη συγκεκριμένη και θα αναλυθούν τα θετικά και τα αρνητικά τους. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του αντικειμένου της εργασίας, δηλαδή περιγράφεται ο σκοπός της και αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο θα προχωρήσει στο προγραμματιστικό κομμάτι. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάλυση απαιτήσεων της εφαρμογής, στο πέμπτο

η μελέτη για τον σχεδιασμό του εργαλείου ενώ στο έκτο γίνεται εκτενής ανάλυση του προγραμματιστικού αυτού κομματιού. Στο έβδομο κεφάλαιο καταλήγουμε στην εφαρμογή/ επίδειξη της εφαρμογής που δημιουργήθηκε. Τέλος, γίνεται μια αναφορά στα συμπεράσματα που βγήκαν από την εργασία αυτή και προτείνονται μελλοντικές βελτιώσεις.

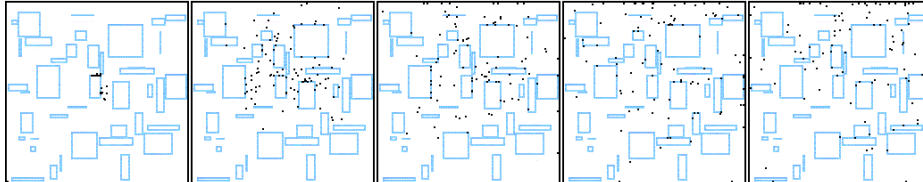
2 Σχετικές Εργασίες

Μια από τις πρώτες γεννήτριες κινούμενων αντικειμένων είναι το GSTD[1], που δημιουργεί κινούμενα σημεία και κινούμενα ορθογώνια παραλληλόγραμμα σε κάποιο χώρο χωρίς περιορισμούς δικτύου. Κατά τη διάρκεια του χρόνου τα αντικείμενα που δημιουργούνται μπορεί να αλλάζουν θέσεις αλλά και μέγεθος.



Εικόνα 1 Παράδειγμα κίνησης στη γεννήτρια GSTD

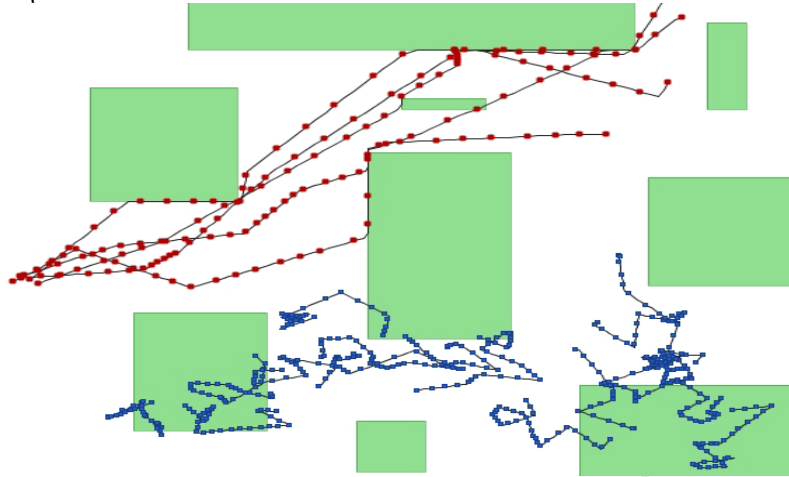
Μια βελτίωση αυτής της γεννήτριας[2], δίνει στο χρήστη περισσότερες επιλογές, αφού επιτρέπει μεγαλύτερη ευκινησία. Μια εξέλιξη που έχει γίνει στη γεννήτρια αυτή είναι πως τα παραλληλόγραμμα που δημιουργούνται μπορούν να εμποδίζουν την κίνηση των υπόλοιπων αντικειμένων, οπότε η κίνηση δεν είναι τελείως ανεξάρτητη.



Εικόνα 2 Παράδειγμα κίνησης στη γεννήτρια των D. Pfoser και Y.Theodoridis

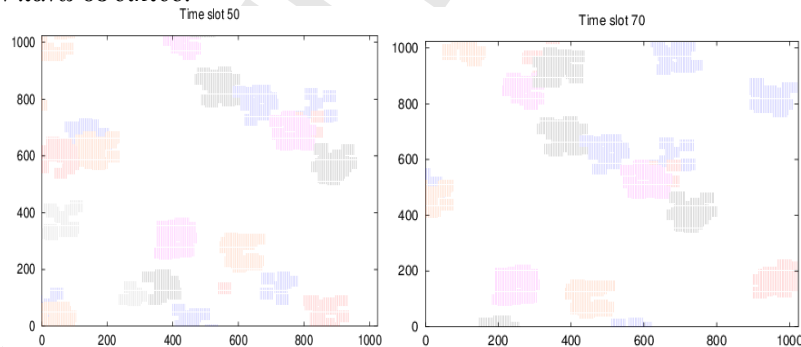
Αυτά τα χαρακτηριστικά βοηθούν στη μερική απεικόνιση πραγματικών καταστάσεων - διαδρομών. Δεδομένου όμως ότι, στον πραγματικό κόσμο υπάρχουν και αντικείμενα που κινούνται πάνω σε προκαθορισμένες τροχιές (τα αυτοκίνητα σε δρόμους, τα τρένα σε ράγες, κ.ά.), τα αντικείμενα που δημιουργούνται από τη γεννήτρια αυτή είναι ακατάλληλα για μέτρηση επιδόσεων αλγορίθμων που σχετίζονται με αντικείμενα που κινούνται πάνω σε δίκτυο. Μια ακόμα εκδοχή γεννήτριας βασισμένη στον GSTD είναι ο [3]. Ονομάστηκε CENTRE (Cellular Network Trajectories Reconstruction Environment) και εξετάζει κινήσεις αντικειμένων σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, χρησιμοποιώντας δεδομένα από κυψέλες παρόχων και προσομοιώνοντας μεγαλύτερους αριθμούς αντικειμένων. Χρησιμοποιούνται στοιχεία από τον GSTD, αφού τα αυτοκίνητα μπορούν να παρεμποδίζονται από ορθογώνια εμπόδια (κτήρια)

ενώ οι άνθρωποι όχι κι έτσι κάνουν αυθαίρετη κίνηση στο χώρο, αλλά με μικρότερη ταχύτητα.



Εικόνα 3 Παράδειγμα κίνησης στην γεννήτρια CENTRE

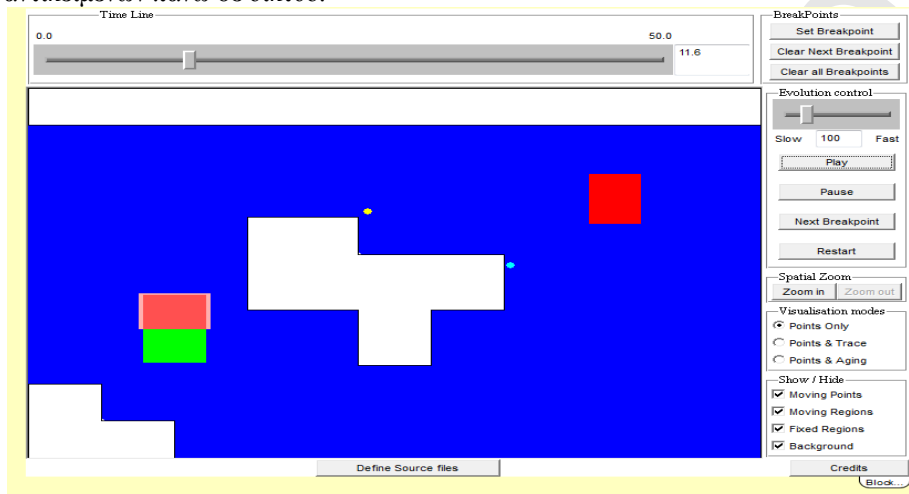
Η γεννήτρια G-TERD[4] είναι μια γεννήτρια που παράγει μεγάλα σύνολα αντικειμένων που συνεχώς κινούνται και αλλάζουν μεγέθη σε δισδιάστατες περιοχές. Τα αντικείμενα αυτά δεν είναι απλώς σημεία, αλλά ορίζουν περιοχές που έχουν σχήμα, μέγεθος και χρώμα για την απεικόνιση των διαφορετικών ιδιοτήτων που έχουν μεταξύ τους. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει κάποιες παραμέτρους, όπως τη μέγιστη ταχύτητα, τη γωνία κίνησης, τις αλληλεπιδράσεις με άλλα αντικείμενα, την αρχική θέση του αντικειμένου κ.α. Η γεννήτρια αυτή θα μπορούσε εύκολα να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση αντικειμένων. Όμως κι εδώ η κίνηση είναι χωρίς περιορισμούς, οπότε δεν εξυπηρετεί στην παρατήρηση αντικειμένων κινούμενων πάνω σε δίκτυο.



Εικόνα 4 Παράδειγμα κίνησης με τη γεννήτρια G-TERD

Μια ακόμη γεννήτρια που έχει κατασκευαστεί ονομάζεται Oporto[5] και προσομοιώνει το σενάριο ψαρέματος με βάρκα. Τα κοπάδια των ψαριών κινούνται με κατεύθυνση το πλαγκτόν που υπάρχει στη θάλασσα, αφού ψάχνουν για τροφή. Οι ψαρόβαρκες μετακινούνται από λιμάνι σε λιμάνι ψάχνοντας κοπάδια ψαριών να ψαρέψουν.

υν, αλλά ταυτόχρονα αποφεύγοντας τις καταιγίδες που κινούνται τυχαία σε διάφορες περιοχές. Όπως και οι προηγούμενες γεννήτριες, το Oporto προσφέρει πολλές δυνατότητες στον χρήστη. Παρόλα αυτά η κίνηση των αντικειμένων είναι αυθαίρετη μέσα στο δυσδιάστατο χώρο, πράγμα που δε μας επιτρέπει να μελετήσουμε την κίνηση αντικειμένων πάνω σε δίκτυο.



Εικόνα 5 Η γεννήτρια παραγωγής αντικειμένων Oporto

Μια προσπάθεια γεννήτριας κινούμενων αντικειμένων πάνω σε δίκτυο έγινε από τον Dr. Thomas Brinkhoff [6]. Δημιούργησε μια γεννήτρια ανοιχτού κώδικα με οπτική διαπαφή για αντικείμενα που κινούνται πάνω σε δίκτυο. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης καινούρια αντικείμενα δημιουργούνται τυχαία σε σημεία πάνω στο δίκτυο και εξαφανίζονται όταν (και εάν) φτάσουν στον προορισμό τους. Τα αντικείμενα αυτά χωρίζονται κατά τη δημιουργία τους σε ομάδες (μπορούν να απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα) για να αναδεικνύουν τις διαφορετικές ιδιότητες που μπορεί να έχουν. Η ταχύτητα και η διαδρομή που ακολουθεί το κάθε αντικείμενο εξαρτάται από την ομάδα στην οποία ανήκει, αλλά και από το σημείο που βρίσκεται κάθε στιγμή. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε ακμή του δικτύου έχει κάποιο μέγιστο χωρητικότητα, που αν ξεπεραστεί, επηρεάζει την ταχύτητα των αντικειμένων που κινούνται σε αυτή. Οι βασικές λειτουργίες, όπως το πλήθος των κινούμενων αντικειμένων ή ο χρόνος προσομοίωσης της γεννήτριας, ρυθμίζονται από ένα περιορισμένο σύνολο παραμέτρων που αλλάζουν εύκολα, από όχι αναγκαστικά εξειδικευμένους χρήστες. Όμως για να γίνουν κάποιες άλλες, σημαντικότερες αλλαγές, όπως η ταχύτητα των αντικειμένων ή η αρχική και τελική θέση τους, θα πρέπει ο χρήστης να είναι πιο εξειδικευμένος, αφού θα χρειαστεί να ανατρέξει στον κώδικα. Η αρχική γεννήτρια σκοπεύει στην αναπαράσταση συγκεκριμένων διαδρομών αντικειμένων και όχι την παρακολούθηση συγκεκριμένων αντικειμένων για κάποια χρονική περίοδο, κάτι που δεν επιτρέπει την σωστή μέτρηση απόδοσης του δικτύου.

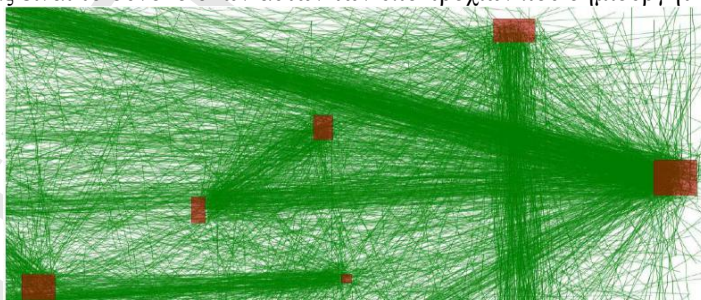
Ένα ακόμα παράδειγμα προσομοιωτή κίνησης αντικειμένων πάνω σε δίκτυο είναι το SUMO (Simulation of Urban Mobility)[7], μια γεννήτρια ανοιχτού κώδικα που προσομοιώνει τις κινήσεις ιδιωτικών και δημόσιων μέσων μεταφοράς. Στις προσομο-

ιώσεις αναπαρίστανται κινήσεις οχημάτων σε ένα δίκτυο που δεν επιτρέπονται οι συγκρούσεις, οι δρόμοι είναι διπλής κατεύθυνσης κτλ., ολοκληρώνοντας έτσι την εικόνα ενός πραγματικού δικτύου. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό της γεννήτριας SUMO είναι πως η συμπεριφορά των κινούμενων αντικειμένων που δημιουργεί βασίζεται στην σωστή μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Άρα η κίνηση κάθε αντικειμένου που δημιουργείται εξαρτάται από την κίνηση των άλλων αντικειμένων μέσα στο δίκτυο μελέτης. Αυτό, όμως, περιορίζει αρκετά το μελετητή, αφού αν θελήσει να προσομοιώσει κάποιες ακραίες κινήσεις μέσα στο δίκτυο θα δυσκολευτεί αρκετά, δεδομένου οι κινήσεις των υπόλοιπων αντικειμένων πάνω στο δίκτυο θα προσαρμοστούν πάνω σε αυτή. Το χαρακτηριστικό αυτό κάνει πλέον το δίκτυο μελέτης να μην λειτουργεί σαν πραγματικό δίκτυο.

Στην [8] γίνεται η παρουσίαση των αλγορίθμων T-OPTICS (Trajectory-OPTICS) και TF-OPTICS (Time Focused Trajectory OPTICS), οι οποίοι είναι εξελίξεις του αλγορίθμου OPTICS (Ankerst et al.1999). Οι αλγόριθμοι αυτοί έχουν σκοπό την ομαδοποίηση των τροχιών κινούμενων αντικειμένων μέσα στο χώρο, ανάλογα με τις ιδιότητες που έχουν, όπως ταχύτητα και κατεύθυνση. Για τη δοκιμή της λειτουργίας των αλγορίθμων δημιουργήθηκε μια γεννήτρια παραγωγής τροχιών αντικειμένων, η C4C (CENTRE for Clustering), μια βελτίωση της γεννήτριας CENTRE (Giannotti et al. 2005). Κατά την παραγωγή τους τα αντικείμενα τοποθετούνται σε μία ομάδα και ακολουθούν μια πορεία μέσα στο χώρο. Αρχικά η τροχιά χωρίζεται σε μικρότερες υπο-τροχιές. Κάθε υπο-τροχιά περιορίζεται από το χρήστη που ορίζει κάποια παραλληλόγραμμα, μέσα από τα οποία πρέπει να περάσουν τα αντικείμενα της ομάδας που επιθυμεί. Επίσης ο χρήστης ορίζει την αρχική και τελική χρονική στιγμή της υπο-τροχιάς κάθε ομάδας, ώστε η πορεία να ολοκληρωθεί στο χρονικό διάστημα αυτό. Κάθε τέτοια τροχιά δηλαδή χαρακτηρίζεται από τις εξής τιμές:

$$\text{SubC} = (\text{StartPos}; \text{EndPos}; \text{StartTime}; \text{EndTime}) \quad (1)$$

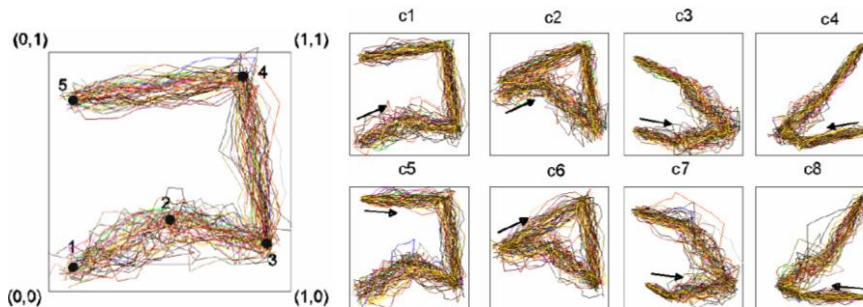
, όπου StartPos και EndPos είναι τα παραλληλόγραμμα που ξεκινούν και τερματίζουν την κίνηση αντίστοιχα τα αντικείμενα, ενώ StartTime και EndTime είναι οι χρονικές στιγμές εκκίνησης και τερματισμού των κινήσεων. Έτσι τελικά η συνολική τροχιά κάθε ομάδας είναι το σύνολο όλων αυτών των υπο-τροχιών που δημιουργήθηκαν.



Εικόνα 6 Παράδειγμα προσομοίωσης κίνησης στην C4C γεννήτρια

Μια ακόμη γεννήτρια που δημιουργήθηκε είναι για την αξιολόγηση του αλγορίθμου που παρουσιάστηκε στο [9]. Η γεννήτρια αυτή, που είναι βασισμένη στον GSTD που παρουσιάστηκε παραπάνω, παράγει ουσιαστικά τροχιές αντικειμένων τα οποία

πρέπει κατά τη διάρκεια της τροχιάς τους να περάσουν από κάποια προκαθορισμένα σημεία. Κατά την κίνηση τους τα αντικείμενα χωρίζονται φυσικά σε ομάδες, αφού όλα τα αντικείμενα πρέπει αναγκαστικά να περάσουν από τα σημεία που έχουν οριστεί, έτσι μπορεί στη συνέχεια να αξιολογηθεί ο αλγόριθμος ομαδοποίησης που είναι ο σκοπός της εργασίας. Στην εικόνα 7 φαίνεται ένα παράδειγμα παραγωγής αντικειμένων. Στην αριστερά εικόνα φαίνονται στο χώρο τα πέντε καθορισμένα σημεία από τα οποία πρέπει να περάσουν τα κινούμενα αντικείμενα, ενώ στα δεξιά γίνεται ο διαχωρισμός σε 8 ομάδες, σύμφωνα με τις κινήσεις που πραγματοποιήθηκαν.



Εικόνα 7 Γεννήτρια παραγωγής ομαδοποιημένων τροχιών

Η πιο πρόσφατη μελέτη που έγινε είναι η [10], που προσομοιώνει κινήσεις αντικειμένων πάνω στο δίκτυο της πόλης του Βερολίνου, με τη βοήθεια του SECONDO[11]. Η κίνηση στη γεννήτρια αυτή είναι μακροχρόνια, δηλαδή προσομοιώνει κινήσεις αντικειμένων για μεγάλα χρονικά διαστήματα, για παράδειγμα μιας ημέρας και πάνω, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες γεννήτριες που παρουσιάζουν μικρότερες χρονικά κινήσεις. Το δίκτυο αρχικά από μόνο του παρέχει κάποιους περιορισμούς, όπως η μέγιστη ταχύτητα και η χωρητικότητα των ακμών. Όμως πριν την προσομοίωση ο χρήστης έχει τη δυνατότητα εισαγωγής και επιπλέον περιορισμών στα αντικείμενα που συμμετέχουν, αλλά και γενικότερα του τρόπου προσομοίωσης. Έτσι επιλέγονται παράμετροι όπως το πλήθος των κινούμενων αντικειμένων, η ταχύτητά τους, ο χρόνος προσομοίωσης, ο τρόπος υπολογισμού της διαδρομής – ανάμεσα στο γρηγορότερο ή στο συντομότερο μονοπάτι- και ο τρόπος επιλογής της αρχικής και τελικής θέσης, που μπορεί να είναι είτε βασισμένη σε κάποιον αλγόριθμο διανομής πάνω στο δίκτυο ή σε πραγματικά στοιχεία που έχουν διαχωρίσει το δίκτυο σε περιοχές (για παράδειγμα περιοχή εργασίας και περιοχή κατοικίας του πληθυσμού). Τέλος επιλέγει τον τύπο στον οποίο θέλει να βγάλει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, που μπορεί να είναι Shapefile, απλό αρχείο κειμένου ή λίστα κειμένου της γεννήτρια SECONDO.

Εκτός από τις γεννήτριες που μελετούν την φυσική κίνηση αντικειμένων πάνω σε χάρτες, οι οποίες είναι και οι περισσότερες, υπάρχει μια διαφορετική γεννήτρια που μελετάει κοινωνικά και γεω-δημογραφικά δεδομένα. Ο ST-ACTS [12] θεωρεί πως τα αντικείμενα κινούνται μέσα στο χώρο γιατί πρέπει να εκτελέσουν μια συγκεκριμένη δραστηριότητα, η οποία μπορεί να εκτελεστεί μόνο σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο, τόσο στο χώρο, όσο και στο χρόνο. Μέσα από τα πειράματα που γίνονται με τη συγκεκριμένη γεννήτρια μελετάται η κατανομή των δραστηριοτήτων στο χώρο που μπο-

ρεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη κατάλληλων συστημάτων διαχείρισης χωροχρονικών δεδομένων και τεχνικών εξόρυξης.

3 Αντικείμενο της Εργασίας

3.1 Σκοπός της Εργασίας

Στην παρούσα εργασία αρχικός σκοπός είναι αρχικά η βελτιστοποίηση του κώδικα της γεννήτριας κινούμενων αντικειμένων του Brinkhoff . Η βελτίωση αυτή μελετά τα εξής δύο αδύναμα σημεία της γεννήτριας:

- Πρώτον πρέπει να διορθωθούν κάποιες αδυναμίες του κώδικα ,για παράδειγμα δεν είναι εφικτή η απεικόνιση μεγάλων χαρτών με τις συγκεκριμένες παραμέτρους. Αυτό πρέπει να διορθωθεί για να μπορεί η γεννήτρια να είναι χρήσιμη για μελέτες οποιουδήποτε χάρτη θέλει ο κάθε χρήστης να μελετήσει .
- Δεύτερο σημείο είναι η δημιουργία μιας πιο εύχρηστης διεπαφής για το χρήστη (Graphical User Interface - GUI) από την υπάρχουσα, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα καλύτερου ελέγχου των κινούμενων αντικειμένων από το χρήστη , εύκολα χωρίς να χρειάζεται να ανατρέξει στον κώδικα για να αλλάξει κάποιες ιδιότητες που θα βοηθήσουν σε τυχόν πειράματα. Αυτό προϋποθέτει τη δημιουργία κάποιων συμπληρωματικών κουμπιών στη διεπαφή που θα επιτρέπουν στο χρήστη:

1. Επιλογή αρχικής και τελικής θέσης αντικειμένων.
2. Επιλογή σημείων ενδιάμεσων στάσεων στην κίνηση των αντικειμένων.
3. Επεξεργασία της εμφάνισης των σημείων αυτών, δηλαδή δε θα υπάρχουν μόνο συγκεκριμένα σημεία εκκίνησης, τερματισμού και στάσης των αντικειμένων, αλλά περιοχές μέσα στις οποίες θα επιλέγεται τυχαία κάποιο σημείο για εκκίνηση, τερματισμό ή ενδιάμεση στάση.
4. Δυνατότητα δημιουργίας αντικειμένων με μεταβαλλόμενη ταχύτητα κατά τη διάρκεια της κίνησής τους.
5. Ένα περαιτέρω βήμα της εργασίας είναι η εισαγωγή στη γεννήτρια ιδιοτήτων των τροχιών των αντικειμένων που δημιουργούνται από κάποιο αρχείο, συγκεκριμένης δομής, το οποίο μπορεί να επιλέξει ο χρήστης. Αυτό θα δίνει τη δυνατότητα στο μέλλον, με χρήση των ιδιοτήτων που έχουν βγει από κινήσεις ενός μικρού συνόλου αντικειμένων, να παραχθεί ένα μεγαλύτερο σύνολο. Αυτό θα βοηθήσει αρκετά στην προσομοίωση της κίνησης σε ένα υπό μελέτη δίκτυο, αφού με την επιλογή απλώς ενός μικρού, αλλά αντιπροσωπευτικού, συνόλου πραγματικών αντικειμένων και καταγραφή της κίνησης αυτών, θα μπορεί κανείς να απεικονίσει τη γενική κίνηση που υπάρχει στο δίκτυο.

3.2 Περιγραφή της δομής της εργασίας

Για να κατασκευαστεί σωστά όμως μία εφαρμογή πρέπει να ακολουθηθεί κάποιο μοντέλο. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο του καταρράκτη για τη σωστή μελέτη και κατασκευή της εφαρμογής.

Αρχικά, κεφάλαιο 4, γίνεται η ανάλυση απαιτήσεων, όπου αναλύονται πλήρως οι υπηρεσίες, οι στόχοι και οι περιορισμοί της εφαρμογής που θα δημιουργηθεί. Για να είναι όσο το δυνατόν αληθοφανής και αποτελεσματική η νέα εφαρμογή πρέπει να ενεργήσουμε σαν μελλοντικοί χρήστες της εφαρμογής ώστε να προσαρμόσουμε στη συνέχεια τον κώδικα.

Στη συνέχεια γίνεται ο σχεδιασμός της εφαρμογής, κεφάλαιο 5, που ουσιαστικά χωρίζει της διάφορες λειτουργίες που απαιτούνται από την ανάλυση που έγινε νωρίτερα και που πρέπει να μεταφραστούν σε εκτελέσιμο πρόγραμμα. Ο σχεδιασμός αυτός είναι λογικός και πρέπει να κατασκευαστούν οι διάφορες αλληλεξαρτήσεις που θα υπάρχουν στην εφαρμογή μας, ώστε να είναι ευκολότερη η υλοποίησή τους.

Μόλις ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός εκτελείται η υλοποίηση, κεφάλαιο 6, της εφαρμογής κατά τμήματα (πακέτα) και στη συνέχεια ο έλεγχός της. Στην φάση της υλοποίησης κάθε κομμάτι του σχεδιασμού αναπτύσσεται και ελέγχεται στον ίδιο χρόνο.

Κατά τη φάση του ελέγχου, κεφάλαιο, κάθε ενότητα του προγράμματος θα ελεγχθεί ώστε να διαπιστωθεί πως πληροί τις προδιαγραφές που ορίστηκαν αρχικά. Εδώ εκτελούνται δηλαδή αρκετά πειράματα, τόσο με φυσιολογικές όσο και με ακραίες τιμές για να ελεγχθεί η καλή λειτουργία του προγράμματος. Μόλις ολοκληρωθεί αυτός ο έλεγχος η εφαρμογή κατασκευάζεται στην τελική της μορφή και είναι έτοιμη για παράδοση.

Τα συνθετικά σύνολα δεδομένων παίζουν σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση επίδοσης, καθώς με τις γεννήτριες συνόλων αντικειμένων είναι δυνατό να ελεγχθούν σημαντικά κριτήρια, όπως η αλληλεπίδραση των αντικειμένων που δημιουργούνται, ή η στατιστική κατανομή των στοιχείων. Η εργασία αυτή λοιπόν αποσκοπεί στη δημιουργία μεγάλων συνθετικών συνόλων δεδομένων, των οποίων η συμπεριφορά γίνεται προσπάθεια να είναι ακόμη πιο κοντά στην συμπεριφορά των πραγματικών κινούμενων αντικειμένων συγκριτικά με τις ήδη υπάρχουσες γεννήτριες. Αυτό θα βοηθήσει στη μελέτη διαφόρων κυκλοφοριακών προβλημάτων που υπάρχουν στα δίκτυα, γεγονός που θα διευκολύνει τους επιστήμονες που ασχολούνται με αυτά στην επίλυσή τους. Με τη γεννήτρια που δημιουργήθηκε λοιπόν οι δύο κύριες δυνατότητες του χρήστη είναι οι εξής:

- Οπτικοποίηση των δεδομένων, δηλαδή των κινήσεων σύμφωνα με τις επιλογές που έχει κάνει, πάνω στο χάρτη που έχει επιλέξει
- Εξαγωγή των δεδομένων σε κάποιο αρχείο ώστε να διευκολύνεται η μελέτη αυτών από αυτοματοποιημένες μεθόδους και προγράμματα.

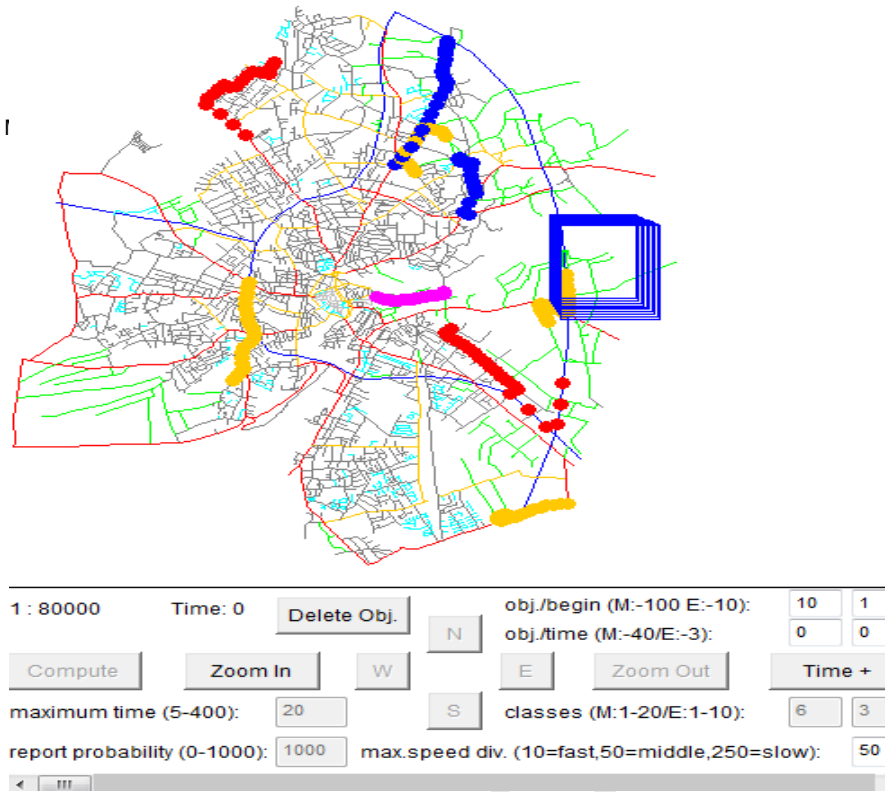
Στα επόμενα κεφάλαια αναλύουμε πως πραγματοποιούνται οι δυνατότητες αυτές μέσα από τη γεννήτρια που δημιουργήθηκε.

4 Ανάλυση Απαιτήσεων

4.1 Αρχική μορφή της γεννήτριας

Στην ήδη υπάρχουσα μορφή της η γεννήτρια είναι όπως απεικονίζεται στην εικόνα 1. Χρησιμοποιώντας ένα αρχείο πριν την εκτέλεσή της ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει διάφορες ιδιότητες. Οι βασικότερες από αυτές είναι οι εξής:

- Επιλογή του δικτύου μέσα στο οποίο θα κινούνται τα αντικείμενα που δημιουργούνται. Το δίκτυο αποτελείται από δύο αρχεία (ένα που περιέχει τους κόμβους και ένα που περιέχει τις ακμές).
- Επιλογή του μέγιστου αριθμού αντικειμένων που θα κινούνται μέσα στο - προκαθορισμένο από το χρήστη - χάρτη, αλλά επίσης και το μέγιστο αριθμό των ομάδων στις οποίες θα χωριστούν τα κινούμενα αντικείμενα.
- Επιλογή του χρόνου εκτέλεσης της προσομοίωσης.
- Επιλογή του αρχείου στο οποίο αποθηκεύεται η αναφορά της κίνησης των αντικειμένων, ώστε να βοηθήσει στη μελέτη της κίνησης των αντικειμένων που δημιουργήθηκαν.



Εικόνα 8 Παράδειγμα προσομοίωσης με τη γεννήτρια του Brinkhoff

Στη συνέχεια και κατά την εκτέλεση του προγράμματος ο χρήστης έχει τη δυνατότητα μέσα από τη διεπαφή να κάνει κάποιες περαιτέρω αλλαγές που χρησιμεύουν στην ρεαλιστική προσομοίωση, όπως είναι η επιλογή του αριθμού των αντικειμένων που θα δημιουργηθούν, τις ομάδες στις οποίες θα χωριστούν τα αντικείμενα, το χρόνο εκτέλεσης. Στην εικόνα 1 υπάρχει ένα παράδειγμα στο οποίο δημιουργούνται δέκα αντικείμενα που κινούνται στο δίκτυο και ένα που κινείται έξω από αυτό και μπορεί να απεικονίζει κάποιον εξωτερικό παράγοντα.

Η γεννήτρια του Brinkhoff στην αρχική της έκδοση, περιέχει κάποιες βασικές λειτουργίες που εξυπηρετούν τον χρήστη. Προσφέρει τη δυνατότητα ελέγχου του πλήθους των αντικειμένων που κινούνται πάνω στο χάρτη από την αρχή της προσομοίωσης. Επίσης μπορεί να καθοριστεί ο αριθμός των αντικειμένων που δημιουργούνται σε κάθε χρονική στιγμή, ο αριθμός των ομάδων αντικειμένων που υπάρχουν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης (με την κάθε ομάδα να έχει κάποιες διαφορετικές ιδιότητες σε σχέση με τις υπόλοιπες, όπως ταχύτητα κ.ά.), ο χρόνος της προσομοίωσης κ.ά.

4.2 Κριτήρια Αξιολόγησης

Στο προηγούμενο υποκεφάλαιο αναλύθηκαν οι δυνατότητες της γεννήτριας όπως δημιουργήθηκε από τον Brinkhoff. Αν κάποιος όμως θέλει να προσομοιώσει την κίνηση πραγματικών αντικειμένων μέσα σε ένα δίκτυο πρέπει να έχει τη δυνατότητα να ορίζει την αρχική και τελική θέση των αντικειμένων, διότι η κίνηση των αντικειμένων στο χώρο δε γίνεται τυχαία, αλλά συχνά ακολουθεί μια τροχιά μέσα στο χώρο, όπως για παράδειγμα κάθε άνθρωπος που πηγαίνει στη δουλειά του καθημερινά ακολουθεί συγκεκριμένο δρομολόγιο με αρχικό σημείο το σπίτι του και τελικό τη δουλειά.

ιά του. Γίνεται αντιληπτό πως στην αρχική μορφή της γεννήτριας δεν υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής από το χρήστη τέτοιων στοιχείων, όπως το σημείο εκκίνησης και τερματισμού κάθε αντικειμένου.

Ένα ακόμα στοιχείο που λείπει από την εφαρμογή είναι η δυνατότητα του χρήστη να ορίσει τη μέγιστη ταχύτητα των αντικειμένων αλλά και η εναλλαγή αυτής κατά τη διάρκεια της κίνησης. Για προσομοίωση δηλαδή κινήσεων διαφορετικών τύπων οχημάτων στο χάρτη ή για την αλλαγή του μέσου μεταφοράς κατά τη διάρκεια της διαδρομής κάποιου ατόμου η γεννήτρια του Brinkhoff δεν παρέχει κάποια δυνατότητα.

Τέλος μια καλή δυνατότητα που λείπει από τη γεννήτρια είναι η εισαγωγή στοιχείων (όπως αρχικές και τελικές θέσεις, ενδιάμεσες στάσεις κ.ά.) τροχιών από αρχείο. Αυτό δίνει μια καλή δυνατότητα να μελετηθούν κινήσεις αντικειμένων που έχουν γίνει στην πραγματικότητα και να συγκριθούν κρατώντας τα ίδια βασικά στοιχεία της



Εικόνα 9 Use case διάγραμμα

κίνησης, όπως η αρχική και τελική θέση ή η μέγιστη ταχύτητα, και αλλάζοντας τον αριθμό των κινούμενων αντικειμένων για να παρατηρηθούν οι διαφοροποιήσεις στις τροχιές, τις ταχύτητες κ.α.

Συνοψίζοντας, οι λειτουργικές απαιτήσεις για να λυθούν οι περιορισμοί αυτοί στη γεννήτρια του Brinkhoff είναι:

- Επιλογή αρχικής και τελικής θέσης της διαδρομής του αντικειμένου από το χρήστη, καθώς και την επιλογή ενδιάμεσων στάσεων.
- Δυνατότητα επιλογής της μέγιστης ταχύτητας του κάθε αντικειμένου, ανάλογα με την ομάδα στην οποία ανήκει. Για παράδειγμα τα φορτηγά έχουν διαφορετική ε-

πιτρεπόμενη ταχύτητα από ένα I.X. αυτοκίνητο, κάτι που πρέπει να απεικονίζεται με κάποιο τρόπο στα αντικείμενα που δημιουργούνται.

Παρατηρούμε στο διάγραμμα use case της εικόνας 2 πως εκτός από τις επιλογές που είχε ήδη από την αρχική μορφή της γεννήτριας ο χρήστης, προστέθηκε η απαίτηση της επιλογής από το χρήστη των ιδιοτήτων των αντικειμένων που θα δημιουργηθούν (Select Object Properties). Η απαίτηση αυτή επεκτείνεται σε δύο υποκατηγορίες. Η πρώτη είναι να δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα επιλογής των ιδιοτήτων χειροκίνητα. Αυτό περιλαμβάνει τη δυνατότητα να επιλέξει το σημείο εκκίνησης και το σημείο τερματισμού της κίνησης των αντικειμένων πάνω στο χάρτη και τη μέγιστη ταχύτητα μέσω κάποιου κουτιού στη γραφική διεπαφή. Η δεύτερη υποκατηγορία είναι η επιλογή των ίδιων αυτών ιδιοτήτων μέσω ενός αρχείου, το οποίο μπορεί να επιλέξει ο χρήστης επίσης μέσω της γραφικής διεπαφής.

4.3 Προσδοκίες Χρήσης

Έχοντας αναλύσει τα κριτήρια αξιολόγησης καταλαβαίνουμε πως σε μια ιδανική περίπτωση λειτουργίας της εφαρμογής θα μας παρέχονται οι εξής δυνατότητες:

- Γρήγορη και εύκολη εποπτεία των τροχιών των αντικειμένων που συμμετέχουν στην κάθε προσομοίωση
- Οπτικοποίηση των δεδομένων πάνω στον επιλεγμένο από το χρήστη χάρτη
- Δυνατότητα εισαγωγής ιδιοτήτων των τροχιών από αρχείο

Μέσα από αυτές τις δυνατότητες ο χρήστης που θα το χειρίζεται θα έχει τη δυνατότητα να μελετήσει την κίνηση των αντικειμένων στο ζητούμενο δίκτυο με ευκολία και να βγάλει όποια συμπεράσματα χρειάζεται.

5 Σχεδιασμός

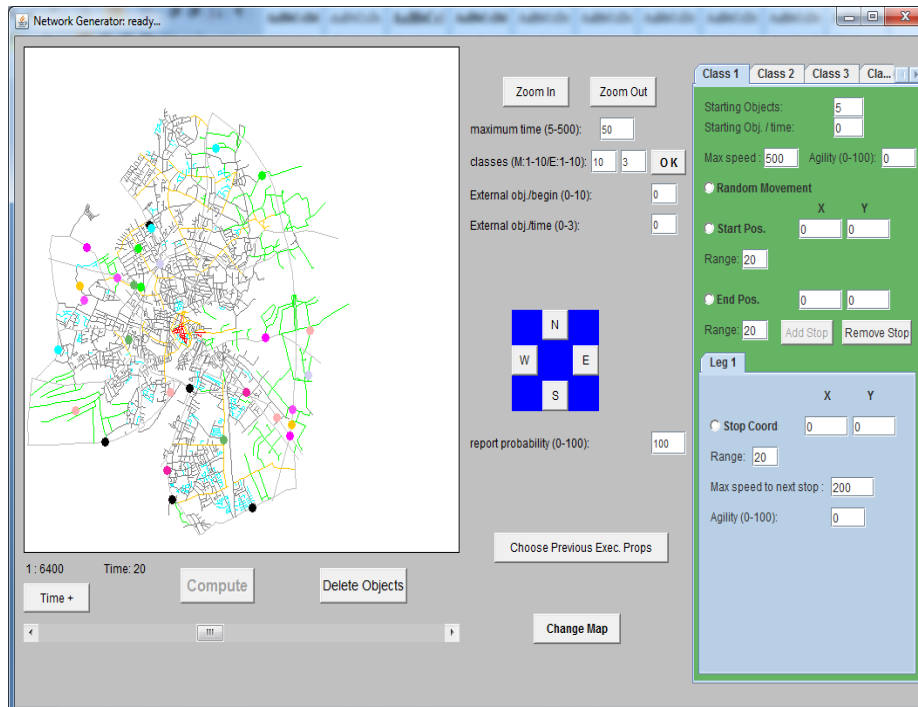
Από το σχεδιασμό της εφαρμογής του Brinkhoff έχουν μπει κάποιοι περιορισμοί που ακολουθούνται για την κατασκευή μιας γεννήτριας ώστε να πλησιάσει όσο το δυνατόν περισσότερο στην πραγματικότητα.

5.1 Περιορισμοί στο Χρόνο.

Ενώ στην πραγματική ζωή ο χρόνος είναι συνεχής, σε τέτοιου τύπου γεννήτριες, που αποσκοπούν στην μελέτη και αναπαριστούν την πραγματική κίνηση, περιορισμένη από ένα ελάχιστο και από ένα μέγιστο χρονικό σημείο, ο χρόνος χωρίζεται σε ισομεγέθη κομμάτια. Για τα κομμάτια αυτά, ή χρονοσφραγίδες όπως ονομάζονται, ισχύει :

Έστω T ο χρόνος μελέτης, διαιρεμένος σε n_t+1 χρονοσφραγίδες μεγέθους $[t_i, t_{i+1})$ για τα οποία:

$$t_0 = t_{\min}, \quad t_{n_t} = t_{\max} \quad \text{και} \quad t_{i+1} - t_i = \Delta t = (t_{\max} - t_{\min}) / n_t \quad (2)$$



Εικόνα 10 Τυχαία χρονική στιγμή μιας προσομοίωσης

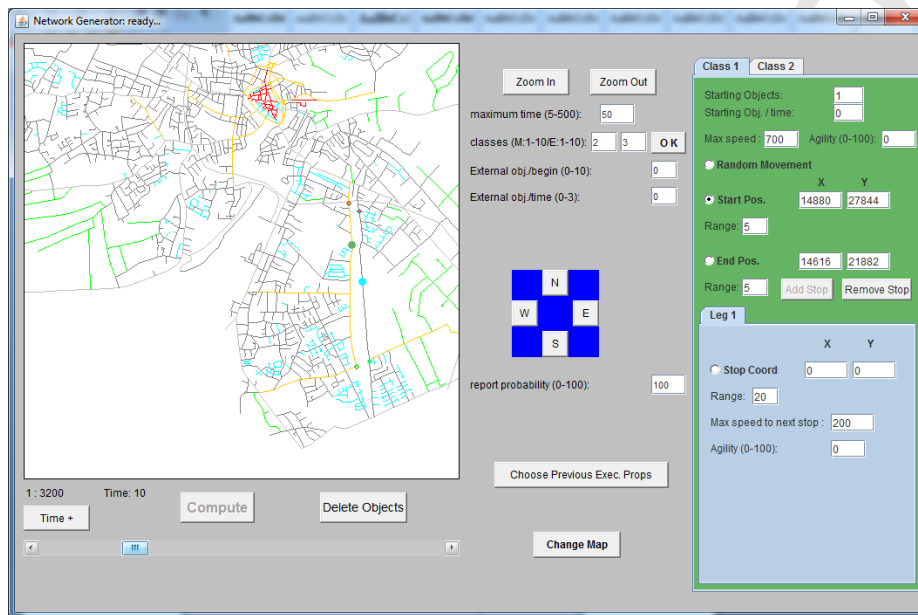
Στην εικόνα 8 παρατηρούμε ένα παράδειγμα μιας τυχαίας χρονικής στιγμής κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ως μέγιστος χρόνος έχει οριστεί το 50, χρονική στιγμή στην οποία τερματίζεται οποιαδήποτε κίνηση μέσα στο δίκτυο.

5.2 Περιορισμοί στο δίκτυο.

Το δίκτυο, αφού δημιουργείται με βάση πραγματικά δεδομένα, έχει κάποια στοιχεία που περιορίζουν την κίνηση που προσομοιώνεται.

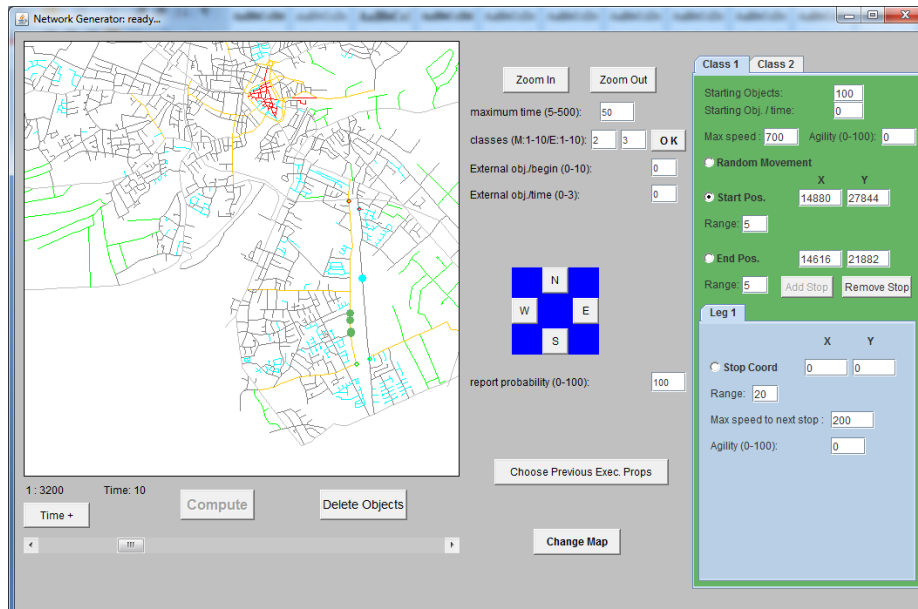
- Κάθε ακμή ανήκει σε μια ομάδα ακμών, για την οποία ορίζεται μια μέγιστη ταχύτητα.
- Η μέγιστη ταχύτητα κάθε ακμής ξεχωριστά έχει ανώτατο και κατώτατο όριο εξαρτώμενο από τα όρια της ομάδας στην οποία ανήκει.
- Εκτός από την ταχύτητα ορίζεται και η μέγιστη χωρητικότητα κάθε ακμής. Αν ο αριθμός των αντικειμένων που κινούνται πάνω στην ακμή αυτή μια χρονική στιγμή είναι μεγαλύτερος από τη χωρητικότητα της ακμής, τότε η μέγιστη ταχύτητα της ακμής αυτής μειώνεται ακόμα περισσότερο. Αυτό μπορεί να φανεί πολύ χρήσιμο, αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα πολύ συχνό φαινόμενο των κινήσεων πολλών αντικειμένων πάνω σε δίκτυο, την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Στην

εφαρμογή μας έχουν χρησιμοποιηθεί νούμερα που δεν είναι πραγματικά για τη χωρητικότητα και τη μεταβολή της ταχύτητας των αντικειμένων ανάλογα με αυτή και καλό θα ήταν να μεταβληθούν μετά από πειράματα. Για παράδειγμα όταν η χωρητικότητα κάποιας ακμής ξεπεραστεί, κάθε καινούριο αντικείμενο που εισέρχεται στην ίδια ακμή έχει μειωμένη ταχύτητα κατά ποσοστό 5%.



Εικόνα 11 Κίνηση δύο αντικειμένων διαφορετικών ομάδων σε παράλληλες ακμές

Στις εικόνες 9 και 10 παρατηρούμε παραδείγματα των παραπάνω περιορισμών που δημιουργήθηκαν στη γεννήτριά μας. Στην εικόνα 9 αρχικά υπάρχουν δύο αντικείμενα, ένα από μία ομάδα και ένα από μια δεύτερη ομάδα, στις οποίες έχουμε θέσει τις ίδιες μέγιστες ταχύτητες. Ξεκινούν από την ίδια τεταγμένη την ίδια χρονική στιγμή, όμως παρατηρείται πως το πράσινο αντικείμενο σε κάποια χρονική στιγμή είναι σε πιο μπροστά σημείο, οπότε κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα. Αυτό δείχνει πως η ακμή στην οποία κινείται το πράσινο αντικείμενο έχει μεγαλύτερο όριο ταχύτητας σε σχέση με αυτή στην οποία κινείται το γαλάζιο αντικείμενο.



Εικόνα 12 Κίνηση ενός αντικειμένου μιας ομάδας και 100 μιας άλλης ομάδας σε παράλληλες ακμές

Στη συνέχεια στην εικόνα 10 υπάρχουν πάλι οι ίδιες ομάδες αντικειμένων και οι ίδιες αρχικές και τελικές θέσεις, όμως διαφοροποιείται ο αριθμός των αντικειμένων. Για την ακρίβεια στην προσομοίωση αυτή τα πράσινα αντικείμενα είναι 100 και το γαλάζιο παραμένει ένα. Όπως φαίνεται στην εικόνα 10 μια τυχαία χρονική στιγμή το γαλάζιο αντικείμενο είναι πιο μπροστά από όλα τα πράσινα. Αυτό δείχνει πως ο μεγάλος αριθμός των πράσινων αντικειμένων επηρέασε τη μέγιστη ταχύτητα της ακμής, αφού πλέον το γαλάζιο αντικείμενο προηγείται στην κίνηση.

Όλα αυτά τα δεδομένα μαζί δημιουργούν το «βάρος» της κάθε ακμής, που χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής της κάθε ομάδας αντικειμένων.

5.3 Περιορισμοί στα εξωτερικά αντικείμενα της γεννήτριας.

Για την αναπαράσταση κάποιων εξωτερικών παραγόντων των κινήσεων των αντικειμένων, όπως οι καιρικές συνθήκες, δημιουργήθηκαν στην εφαρμογή διαφόρων ειδών εξωτερικά αντικείμενα:

- Εξωτερικά αντικείμενα που υπάρχουν καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης και εξωτερικά αντικείμενα που δημιουργούνται κάποια στιγμή και καταστρέφονται μια άλλη.
- Στατικά και κινούμενα εξωτερικά αντικείμενα.
- Εξωτερικά αντικείμενα που έχουν συγκεκριμένο μέγεθος και εξωτερικά αντικείμενα των οποίων το μέγεθος μεταβάλλεται κατά την πάροδο του χρόνου.

Κάνοντας χρήση των εξωτερικών αυτών αντικειμένων μπορούμε να θέσουμε ένα νέο όριο στη μέγιστη ταχύτητα κάθε ακμής, αφού το εξωτερικό αυτό αντικείμενο μπορεί να περιέχει έναν συντελεστή, ο οποίος μειώνει την μέγιστη ταχύτητα των ακμών τις οποίες περιέχει. Αυτό μπορεί να απεικονίσει εξωτερικά φαινόμενα που εμποδίζουν την κανονική κίνηση των αντικειμένων σε δίκτυο, όπως μια διαδήλωση.

5.4 Περιορισμοί στην κίνηση των αντικειμένων.

- Διάρκεια ζωής του αντικειμένου.

Η δημιουργία του κάθε αντικειμένου εξαρτάται από μια μέθοδο που ελέγχει των αριθμό κινούμενων αντικειμένων σε μια χρονική στιγμή. Κάθε αντικείμενο δημιουργείται κάποια χρονική στιγμή και απενεργοποιείται είτε όταν φτάσει στον προορισμό του ή όταν ο χρόνος προσομοίωσης φτάσει στο μέγιστο.

- Σημείο εκκίνησης της τροχιάς της κίνησης

Τα αντικείμενα που δημιουργούνται έχουν δύο εναλλακτικές ως προς το από ποια θέση θα ξεκινήσουν την κίνησή τους. Η πρώτη είναι η δυνατότητα που υπήρχε από την προηγούμενη έκδοση της γεννήτριας, στην οποία τα αντικείμενα της κάθε ομάδας ξεκινούν τυχαία την κίνησή τους από κάποιο σημείο του χάρτη. Στη νέα έκδοση ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να περιορίζει το σημείο αυτό όπως επιθυμεί. Μπορεί δηλαδή είτε να επιλέγει κάποιο συγκεκριμένο σημείο εκκίνησης, ή να επιλέγει μια κυκλική περιοχή μέσα στην οποία θα βρίσκονται τα σημεία εκκίνησης όλων των αντικειμένων μιας συγκεκριμένης ομάδας. Η κυκλική αυτή περιοχή μπορεί να έχει μεταβλητό μέγεθος που διευκολύνει το χρήστη να επιλέξει από μικρή περιοχή μέχρι και ολόκληρο το χάρτη, αν αυτό επιθυμεί.

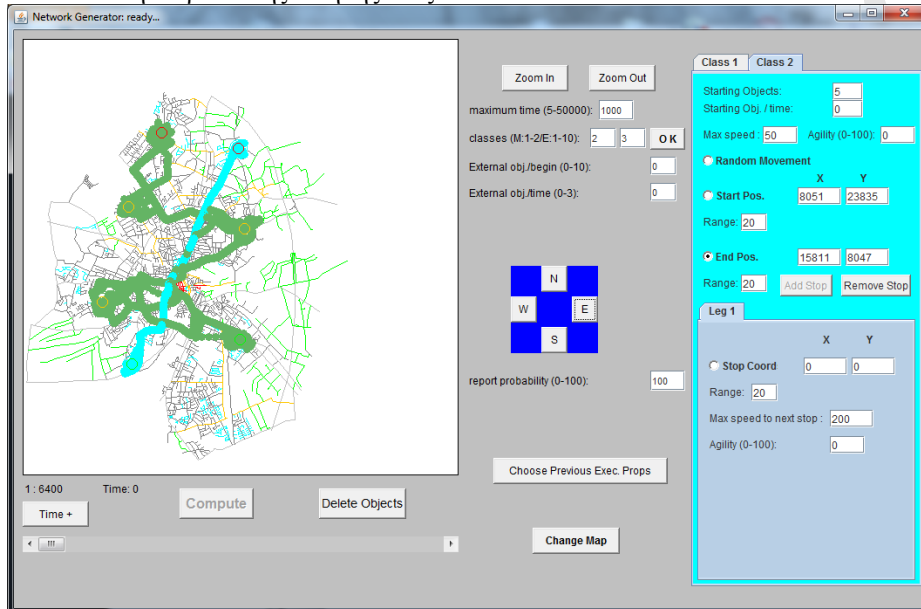
- Σημείο τερματισμού της τροχιάς της κίνησης

Παρόμοια με τα σημεία εκκίνησης της τροχιάς είναι και τα σημεία τερματισμού στη γεννήτρια. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάμεσα στο να τερματίζουν σε τυχαίες θέσεις οι κινήσεις των αντικειμένων, και στο να επιλέγει ο ίδιος χειροκίνητα το σημείο τερματισμού. Όπως και στα σημεία εκκίνησης το χειροκίνητα σημαίνει πως είτε μπορεί να επιλέξει κάποιο σημείο ή κάποια περιοχή στην οποία μπορούν να τερματίσουν τα αντικείμενα που δημιουργούνται. Η δυνατότητες αυτές τόσο στην εκκίνηση όσο και στον τερματισμό των κινήσεων επιτρέπει στο χρήστη να αναπαραστήσει κινήσεις ομάδων όπως για παράδειγμα εργαζόμενοι που ξεκινούν από τις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές τις πόλεις με κατεύθυνση βιομηχανικές περιοχές ή περιοχές με καταστήματα.

- Ενδιάμεσες στάσεις στην κίνηση των αντικειμένων

Εκτός του σημείου εκκίνησης και τερματισμού ο χρήστης έχει τη δυνατότητα προσθήκης ενός ακόμα περιορισμού στην κίνηση των αντικειμένων, αυτού της ενδι-

άμεσης (μίας ή πολλών) στάσης. Αυτό σημαίνει πως ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κάποιο σημείο ή ολόκληρη περιοχή από την οποία θα πρέπει τα αντικείμενα να περάσουν κατά τη διάρκεια της κίνησής τους.



Εικόνα 13 Κίνηση δύο ομάδων αντικειμένων στο χάρτη με προκαθορισμένες αρχικές και τελικές θέσεις και ενδιάμεσες στάσεις

Στην εικόνα 11 υπάρχει παράδειγμα για τους περιορισμούς θέσεων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η πρώτη ομάδα, με το πράσινο χρώμα, κάνει μια κίνηση από τον πράσινο κύκλο κάτω δεξιά στο χάρτη μέχρι τον κόκκινο κύκλο πάνω αριστερά, ενώ στο ενδιάμεσο πρέπει να περάσει από κάποια σημεία που έχουν δηλωθεί από το χρήστη που συμβολίζονται με πορτοκαλί χρώμα. Η δεύτερη ομάδα με το γαλάζιο χρώμα κάνει μια κίνηση από το κάτω αριστερό μέρος του χάρτη προς το πάνω δεξιά, χωρίς ενδιάμεσες στάσεις.

- Περιορισμός στην ταχύτητα των αντικειμένων

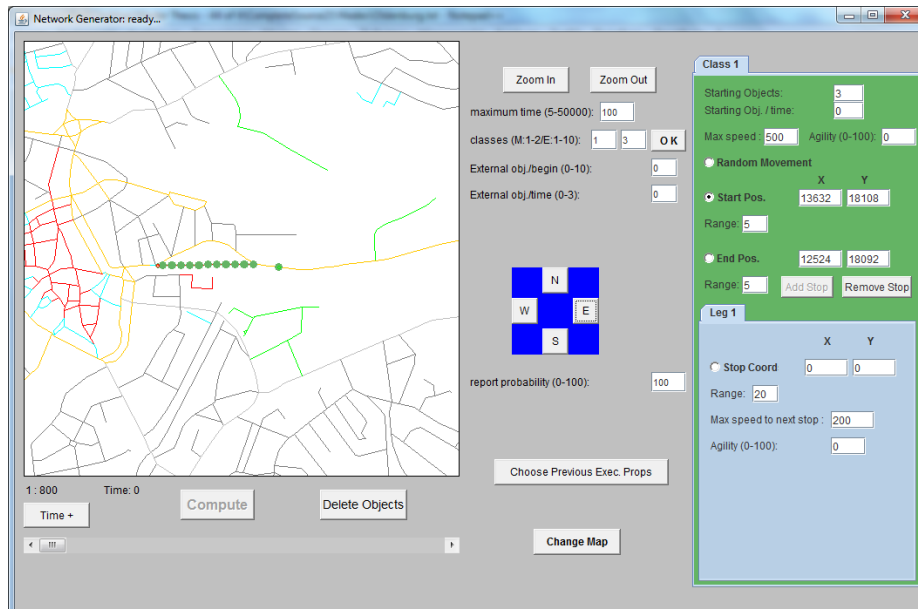
Κατά τη δημιουργία τους τα αντικείμενα έχουν εκτός από τους περιορισμούς θέσης και τους εξής περιορισμούς στην ταχύτητα:

- ✓ Κάθε κινούμενο αντικείμενο ανήκει σε μια ομάδα αντικειμένων, για την οποία ορίζεται από το χρήστη μία μέγιστη ταχύτητα. Αυτό βοηθάει στην προσομοίωση διαφορετικών ομάδων κινούμενων αντικειμένων, όπως για παράδειγμα ΙΧ αυτοκίνητα που συγκριτικά με τα λεωφορεία έχουν διαφορετικές μέγιστες ταχύτητες.
- ✓ Η ταχύτητα ενός αντικειμένου πάνω σε μία ακμή περιορίζεται τόσο από τη μέγιστη ταχύτητα της ομάδας στην οποία ανήκει, όσο και από την ακμή στην οποία κινείται τη δεδομένη χρονική στιγμή. Για παράδειγμα κάθε αντικείμενο ανε-

ξαρτήτως της δικής του τελικής ταχύτητας έχει κάποιο όριο ταχύτητας που μπορεί να κινηθεί, μικρότερο μέσα σε κατοικημένες περιοχές και μεγαλύτερο σε εθνικές οδούς.

- ✓ Εάν η ομάδα αντικειμένων έχει ως περιορισμό κάποια ενδιάμεση στάση, με το που περάσει από αυτή η μέγιστη ταχύτητα μπορεί να οριστεί ξανά. Αυτό σημαίνει για παράδειγμα ότι το αντικείμενο αυτό απεικονίζει κάποιον άνθρωπο που στο σημείο που επέλεξε ο χρήστης αλλάζει μέσο μεταφοράς και άρα αλλάζει και η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να έχει.
 - ✓ Κάθε ομάδα αντικειμένων μπορεί να έχει μια μέγιστη ταχύτητα, αλλά υπάρχει η πιθανότητα να μην επιλέγουν όλα τα αντικείμενα να κινούνται με τη μέγιστη δυνατή. Για παράδειγμα κάποιοι οδηγοί οδηγούν πιο συντηρητικά και κάποιοι άλλοι στα όρια. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα να επιλέγεται μια μέγιστη ταχύτητα, αλλά και ένα ποσοστό που δείχνει την ελάχιστη ουσιαστικά ταχύτητα που μπορούν να κινηθούν τα αντικείμενα. Έτσι τελικά η ταχύτητα κάθε αντικείμενου ορίζεται τυχαία μέσα στο διάστημα μέγιστης και ελάχιστης ταχύτητας που έχει επιλεχθεί, εφόσον αυτή δεν ξεπερνάει το μέγιστο όριο της ακμής στο οποίο κινείται.
- Υπολογισμός της διαδρομής.

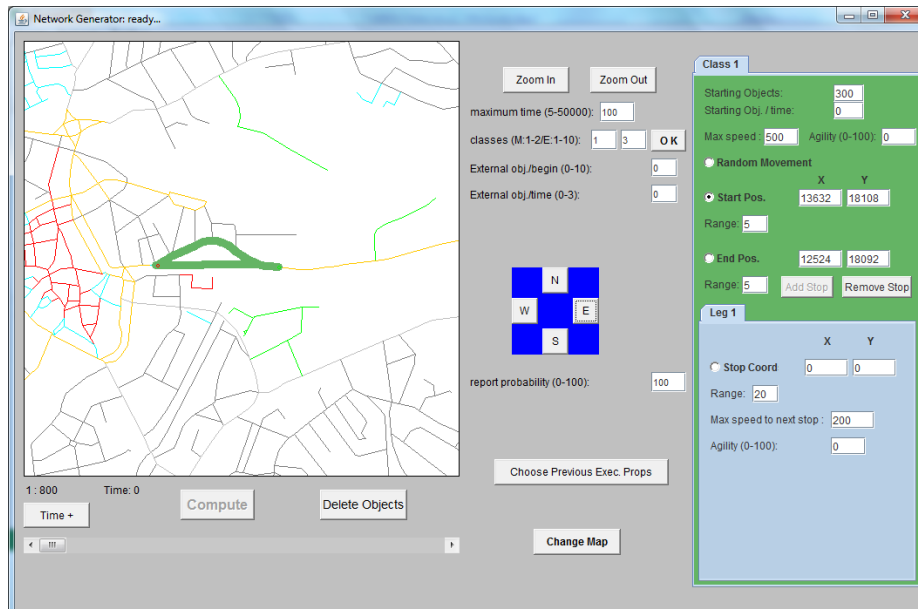
Μετά τον υπολογισμό της αρχικής και της τελικής θέσης η εφαρμογή προσπαθεί να βρει το γρηγορότερο μονοπάτι ανάμεσα στα δύο αυτά σημεία στο δεδομένο δίκτυο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση του αλγορίθμου A^* , μιας παραλλαγής του αλγορίθμου του Dijkstra. Δεν υπολογίζεται αναγκαστικά το πιο γρήγορο μονοπάτι που υπάρχει, απλώς κάποιο που είναι δεν είναι πολύ πιο αργό από το γρηγορότερο αυτό μονοπάτι. Παραπάνω περιγράφηκαν οι περιορισμοί της ταχύτητας των κινούμενων αντικειμένων στις ακμές του δικτύου. Ο αλγόριθμος A^* κάνει τον υπολογισμό «ζυγίζοντας» διαδοχικά τα βάρη της κάθε ακμής ώστε να βρει την βέλτιστη διαδρομή.



Εικόνα 14 Κίνηση λίγων αντικειμένων σε ακμή μικρής χωρητικότητας

Ο υπολογισμός στην αρχή της προσομοίωσης προϋποθέτει πως η ταχύτητα του αντικειμένου θα παραμείνει σταθερή καθ' όλη την κίνηση των αντικειμένων. Αυτό όμως δεν ισχύει, αφού σύμφωνα με τις παραπάνω δηλώσεις υπάρχουν διάφοροι περιορισμοί σε κάθε ακμή του δικτύου, που το πιθανότερο είναι πως αλλάζουν την ταχύτητα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Μια λύση θα ήταν να υπολογίζεται νέα τροχιά σε κάθε χρονική στιγμή της προσομοίωσης, πράγμα που όμως θα απαιτούσε μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Επίσης αυτό δε θα ανταποκρινόταν στη συμπεριφορά των κινούμενων αντικειμένων του πραγματικού κόσμου, αφού κάθε αλλαγή της επιλεγμένης τροχιάς που ακολουθείται, «πυροδοτείται» κυρίως από δύο παράγοντες: πρώτον από ένα εξωτερικό φαινόμενο (π.χ. κλειστός δρόμος λόγω έργων) ή δεύτερον εάν η απόκλιση από την αναμενόμενη ταχύτητα είναι πολύ μεγάλη (π.χ. κίνηση στο κέντρο της πόλης).

Η μέθοδος αυτή προσομοιώνει την αντίδραση του κινητού αντικειμένου εάν η διαφορά ανάμεσα στην ταχύτητα που έχει τη δεδομένη στιγμή το αντικείμενο και στην αναμενόμενη ταχύτητα είναι αρκετά μεγάλη.



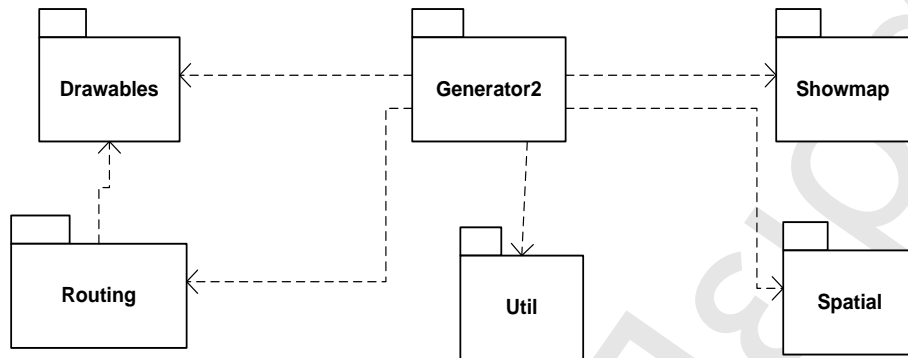
Εικόνα 15 Κίνηση πολλών αντικειμένων σε ακμή μικρής χωρητικότητας

Στις εικόνες 12 και 13 προσομοιώνεται η εφαρμογή του αλγορίθμου επιλογής μονοπατιού που χρησιμοποιείται. Στην εικόνα 12 αρχικά υπάρχει κίνηση λίγων αντικειμένων πάνω σε μια ακμή που η κίνηση πολλών αντικειμένων μειώνει κατά πολύ τη μέγιστη ταχύτητα. Όμως αφού ο αριθμός είναι μικρός, όλα τα αντικείμενα διαλέγουν το ίδιο μονοπάτι. Αντίθετα στην εικόνα 13 ο αριθμός των κινούμενων αντικειμένων πολλαπλασιάζεται. Κατά συνέπεια η μέγιστη ταχύτητα στη συγκεκριμένη ακμή πέφτει κατακόρυφα. Αυτό «πυροδοτεί» τον αλγόριθμο A*, που μεταβάλλει το μονοπάτι αρκετών αντικειμένων, ώστε να φτάσουν πιο γρήγορα στον προορισμό τους. Έτσι όπως φαίνεται στην εικόνα 13 κάποια κινούμενα αντικείμενα χρησιμοποιούν και την από πάνω κοντινή ακμή του χάρτη για να φτάσουν στον προορισμό τους χωρίς μεγάλη καθυστέρηση.

6 Υλοποίηση

6.1 Αρχική Μορφή της Εφαρμογής

Η εφαρμογή που κατασκεύασε ο Brinkhoff είναι χωρισμένη σε πακέτα αρχείων ανάλογα με τις λειτουργίες τις οποίες εκτελούν. Έτσι, συνοπτικά, έχουν δημιουργηθεί τα εξής πακέτα με τις εξής μεταξύ τους σχέσεις που παρουσιάζονται παρακάτω:



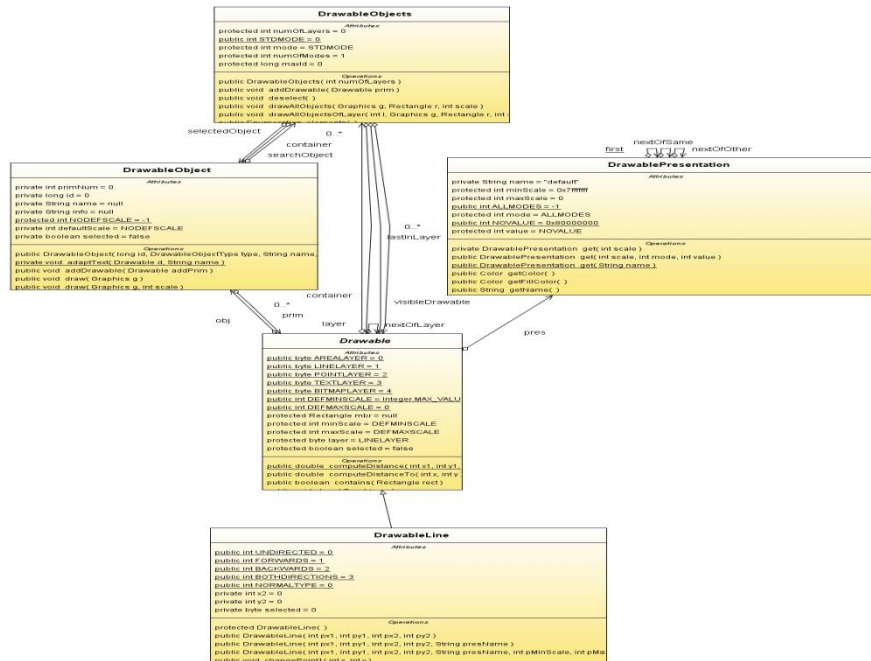
Εικόνα 16 Διάγραμμα πακέτων της εφαρμογής

Αρχικά στην εικόνα 4 φαίνονται τα πακέτα που υπάρχουν στην εφαρμογή μας και τις μεταξύ τους εξαρτήσεις. Για παράδειγμα το πακέτο `Generator2` χρησιμοποιεί τάξεις και μεθόδους που δημιουργούνται σε όλα τα υπόλοιπα 5 πακέτα, ενώ αντίστροφα τα υπόλοιπα πακέτα δεν έχουν σχεδόν καθόλου μεταξύ τους εξαρτήσεις, αφού κύριος σκοπός τους είναι να δημιουργήσουν τάξεις και μεθόδους που θα χρησιμοποιηθούν από το πακέτο `Generator2`. Εξαιρέση αποτελεί το πακέτο `Routing` που χρησιμοποιεί στοιχεία του πακέτου `Drawables` για τη δημιουργία των κόμβων, των ακμών και των τροχιών της εφαρμογής.

Αναλυτικότερα για το κάθε πακέτο έχουμε τα εξής χαρακτηριστικά:

- *Drawables* : όπως λέει και το όνομα του πακέτου περιέχει τα αρχεία που δημιουργούν τα διάφορα σχήματα που σχεδιάζονται στο χάρτη, όπως οι ακμές, τα τετράγωνα κ.ά. καθώς επίσης εκτελεί κάποιες βασικές λειτουργίες, όπως να παίρνει είσοδο κάποιο χάρτη για τη δημιουργία του στην εφαρμογή και εύρεση κοντινότερου κόμβου σε κάποιον άλλον κόμβο. Είναι δηλαδή το βασικό κομμάτι του σχεδιαστικού τομέα της εφαρμογής. Στην εικόνα 5 παρατηρεί κανείς τα βασικά αρχεία του πακέτου `Drawables` και τις μεταξύ τους σχέσεις.
- *Generator2*: Το πακέτο αυτό περιέχει τα βασικά αρχεία εκτέλεσης της εφαρμογής (τις *main* κλάσεις) που χρησιμοποιούν τις διάφορες τάξεις και μεθόδους που έχουν δημιουργηθεί στα άλλα πακέτα.
- *Routing*: Το πακέτο αυτό δημιουργεί τα στοιχεία (και με τη βοήθεια της *Drawables* τα σχεδιάζει) του δικτύου που μελετάται κάθε φορά. Δημιουργεί δηλαδή τις ακμές και τους κόμβους του δικτύου, τις διαδρομές ανάμεσα στους κόμβους, τις ιδιότητες αυτών και τις μεταξύ τους σχέσεις.
- *Showmap*: Στο πακέτο αυτό υπάρχουν τα αρχεία που καλώντας μεθόδους από τα πακέτα *Drawables* και *Routing* δημιουργεί οπτικά το δίκτυο που παίρνει ως είσοδο η εφαρμογή μας βάζοντας χρώματα σε ακμές με ίδια βάρη (αν υπάρχουν βάρη), καθώς επίσης περιέχει μεθόδους για υπολογισμό συντομότερων διαδρομών.

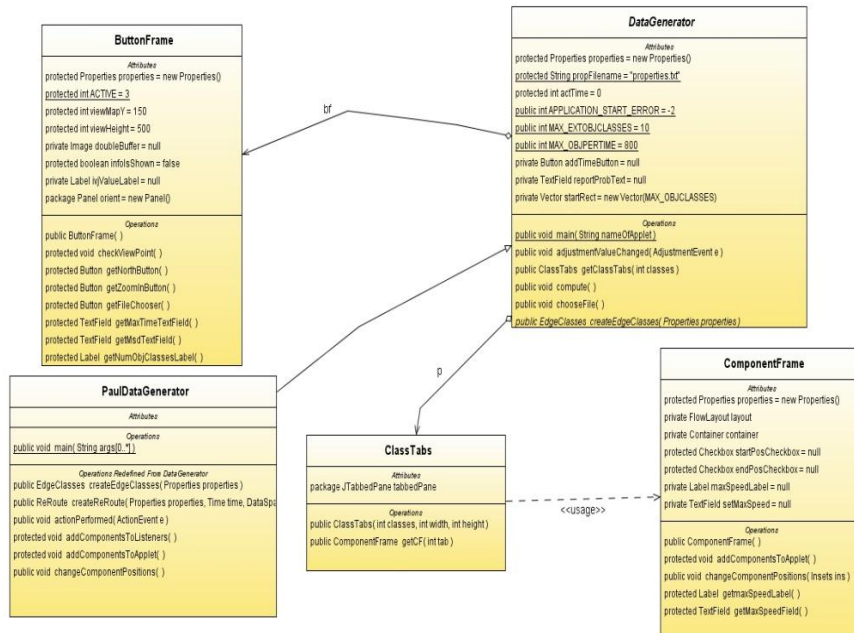
- *Spatial*: Στο πακέτο αυτό υπάρχουν αρχεία που κάνουν διάφορες αναζητήσεις στο χώρο, αναζητώντας αν κάποια στοιχεία βρίσκονται κοντά σε άλλα, κάτι που βοηθά στις αναζητήσεις βέλτιστων διαδρομών.
- *Util*: Στο πακέτο αυτό περιέχονται κάποιες επιπλέον λειτουργίες που χρησιμοποιούνται από όλα τα υπόλοιπα πακέτα και είναι πολύ χρήσιμες, όπως είναι η δημιουργία του χρόνου της προσομοίωσης, το διάβασμα κάποιων στοιχείων από αρχεία κ.ά.



Εικόνα 17 Class Diagram του πακέτου Drawables

6.2 Τροποποιήσεις των πακέτων

Στα πακέτα της αρχικής εφαρμογής έγιναν οι παρακάτω αλλαγές. Αρχικά μέσα στο πακέτο *Generator2* δημιουργήθηκαν τρία ακόμα αρχεία που βοηθούν στην μετατροπή της γεννήτριας σε πιο εύχρηστη.



Εικόνα 18 Διάγραμμα κλάσεων των νέων αρχείων

Το ένα αρχείο είναι το *ButtonFrame.java* που περιέχει κουμπιά που δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη να δώσει τον αριθμό των αντικειμένων που θα δημιουργηθούν, το χρόνο προσομοίωσης και να μετακινηθεί μέσα στο χάρτη. Ουσιαστικά αυτά προϋπήρχαν και στην αρχική μορφή της εφαρμογής, απλώς με κάποιες μετατροπές έγινε η χρήση τους πιο εύκολη. Επιπροσθέτως, όμως, δόθηκε η δυνατότητα στο χρήστη επιλογής κάποιου αρχείου με δεδομένα ώστε να δημιουργηθεί ένα νέο σύνολο βασισμένο στο αρχείο αυτό. Έτσι θα δίνεται η δυνατότητα, μέσω της μελέτης ενός μικρού υποσυνόλου του πραγματικού δικτύου, να δημιουργηθεί ένα νέο μεγαλύτερο σύνολο δεδομένων που θα παρουσιάζει πιο κοντά στην πραγματικότητα την κίνηση των αντικειμένων μέσα στο δίκτυο, αφού θα στηρίζεται σε πραγματικά γεγονότα.

- Το *ComponentFrame.java* που περιέχει ιδιότητες που μπορεί να αλλάξει ο χρήστης. Αυτό σημαίνει δημιουργία κουμπιού στη διεπαφή, που θα δίνει τη δυνατότητα επιλογής από το χρήστη μέσα στο χάρτη της αρχικής και τελικής θέσεις, όπως και ενδιάμεσων στάσεων για την κίνηση των αντικειμένων που θα δημιουργηθούν. Επίσης δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη για διαμόρφωση της ταχύτητας των αντικειμένων μέσα στο χάρτη

- Στο ίδιο αρχείο περιέχονται οι ιδιότητες που καθορίζουν τη μέγιστη ταχύτητα που μπορεί το κάθε κινούμενο αντικείμενο να αποκτήσει.
- Επίσης δημιουργήθηκε το `ClassTabs.java`, το οποίο δημιουργεί έναν πίνακα με καρτέλες, καθεμία από τις οποίες περιέχει ένα `ComponentFrame` αντικείμενο, και δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει για ποια ομάδα από τα κινούμενα αντικείμενα θα πραγματοποιήσει τις αλλαγές που του επιτρέπει το `ComponentFrame`.
- Η δημιουργία του αρχείου `Legs.java` που ουσιαστικά περιέχει όλες τις πληροφορίες για τις ενδιάμεσες στάσεις των αντικειμένων που θα δημιουργηθούν. Περιέχει μεθόδους για τον καθορισμό των συντεταγμένων των στάσεων αυτών, όπως και για τις ιδιότητες της ταχύτητας μετά τη στάση.

Στην εφαρμογή αυτή λοιπόν δημιουργήθηκαν οι εξής δύο μέθοδοι που προσομοιώνουν αυτή τη συμπεριφορά των κινούμενων αντικειμένων:

1. `computeNewRouteByEvent (time, timeOfLastComputation)`: Η μέθοδος επιστρέφει «true» αν η μεταβλητή `time` μείον το `timeOfLastComputation` δίνει αποτέλεσμα μεγαλύτερο από κάποιο δεδομένο όριο.
2. `computeNewRouteByComparison (time, timeOfLastComputation, currentSpeed, expectedSpeed)`: Η μέθοδος αυτή προσομοιώνει την αντίδραση του κινητού αντικειμένου εάν η διαφορά ανάμεσα στην ταχύτητα που έχει τη δεδομένη στιγμή το αντικείμενο και στην αναμενόμενη ταχύτητα είναι αρκετά μεγάλη.

Εκτός από τα τελείως καινούρια αρχεία που δημιουργήθηκαν υπήρξαν κάποιες αλλαγές μέσα στις ήδη υπάρχουσες κλάσεις, κυρίως στην κλάση `DataGenerator`, δημιουργώντας κάποιες μεθόδους, αλλά και τροποποιώντας αρκετά ήδη υπάρχουσες, ώστε να φτάσουμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Κάποιες από αυτές τις αλλαγές είναι οι ακόλουθες.

`compute ()`: Πολύ σημαντική μέθοδος, αφού ουσιαστικά εκτελεί την προσομοίωση. Τροποποιήθηκε αρκετά ώστε να μπορεί να επιλεγεί η αρχική και τελική θέση των αντικειμένων των ομάδων και οι μέγιστες ταχύτητες τους.

`chooseMap ()`: Δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει το χάρτη της επιλογής του, πάνω στον οποίο θα κινηθούν τα αντικείμενα.

`chooseFile ()`: Δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει ένα αρχείο που περιέχει ιδιότητες, όπως αρχικές και τελικές θέσεις, μέγιστη ταχύτητα κ.ά., από κάποια προηγούμενη προσομοίωση και να τις χρησιμοποιήσει σε μία καινούρια.

`paintPoint (int objClass)`: Δημιουργεί στο χάρτη τα σημεία που χρησιμοποιούν ως σημεία εκκίνησης, τερματισμού ή ενδιάμεσων στάσεων της ομάδας `objClass`.

Αρχικά κατασκευάστηκε η μέθοδος για την αλλαγή της αρχικής θέσης και μια για την αλλαγή της τελικής θέσης ώστε να δίνεται η δυνατότητα της επιλογής αυτών από το χρήστη, που καλούνται από το ComponentFrame που αναφέρθηκε νωρίτερα. Επίσης έγινε μια μικρή τροποποίηση της μεθόδου compute με την οποία η ταχύτητα των αντικειμένων επιλέγεται από το χρήστη.

7 Αποτίμηση και έλεγχος

Έχοντας ολοκληρωθεί η κατασκευή της νέας μορφής της γεννήτριας, όπως περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, θα γίνει η αποτίμησή της με τη χρήση πειραμάτων. Τα πειράματα αυτά θα βοηθήσουν να παρατηρηθούν κάποιοι από τους περιορισμούς που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 5, αλλά επίσης και για να ελεγχθούν ακραίες τιμές που μπορεί να πάρει η γεννήτριά μας.

Αρχικά γίνεται μια σύγκριση στη δυνατότητα της γεννήτριάς μας να οπτικοποιεί τα κινούμενα αντικείμενα που δημιουργούνται και σε αυτή να δημιουργεί τις τροχιές χωρίς να τις δείχνει πάνω στο χάρτη. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν με χρόνο προσομοίωσης 100 timestamps και τυχαία κίνηση μιας ομάδας μέσα στο χάρτη της πόλης του Oldenburg, διαφοροποιώντας κάθε φορά τον αριθμό των αντικειμένων που θα δημιουργούνται. Μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί πως στους μικρούς αριθμούς αντικειμένων οι διαφορές στο χρόνο προσομοίωσης είναι πολύ μικρές, όσο όμως φτάνουμε σε αρκετά μεγάλα μεγέθη οι διαφορές ανάμεσα στο χρόνο προσομοίωσης με οπτικοποίηση και χωρίς μεγαλώνει εκθετικά. Αυτό σημαίνει πως όταν θελήσει ο χρήστης να κάνει πειράματα με πολύ μεγάλα νούμερα και πολλές διαφορετικές ομάδες αντικειμένων καλό είναι να βγάζει την επιλογή της οπτικοποίησης για γρηγορότερα αποτελέσματα.

Αριθμός Αντικειμένων	Χρόνος με οπτικοποίηση στο χάρτη (msec)	Χρόνος χωρίς οπτικοποίηση στο χάρτη (msec)
50	2562	1487
100	2596	1498
200	3034	1570
500	4767	1771
1000	7653	2253
5000	34608	4042
10000	80064	6321

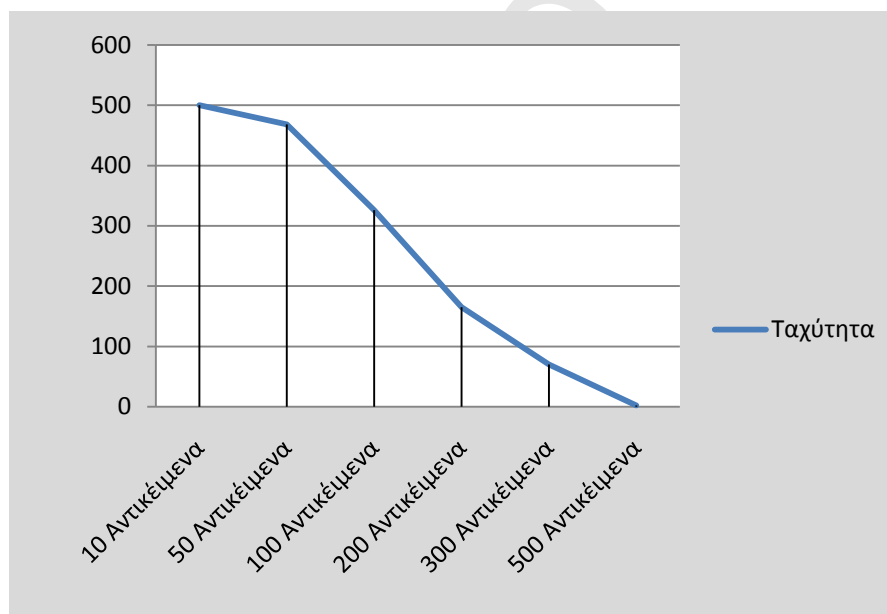
Πίνακας 1 Χρόνος προσομοίωσης ανάλογα με τον αριθμό αντικειμένων

Στη συνέχεια ακολουθεί ένα πείραμα στο οποίο η κίνηση των αντικειμένων που δημιουργούνται περιορίζεται σε μία ακμή και μεταβάλλουμε πάλι τον αριθμό των αντικειμένων. Με αυτό το πείραμα μπορούμε να παρατηρήσουμε τη μεταβολή της ταχύτητας ανάλογα με τον αριθμό των αντικειμένων, ουσιαστικά το πώς επηρεάζει τη μέγιστη ταχύτητα των αντικειμένων η χωρητικότητα μιας ακμής. Στον ακόλουθο πίνακα καταγράφονται τα αποτελέσματα των δοκιμών πάνω σε μια τυχαία ακμή:

EDGE ID	Αριθμός Αντικειμένων	Μέγιστη ταχύτητα ομάδας	Μέση ταχύτητα προσομοίωσης
584205843	10	500	500
584205843	50	500	468
584205843	100	500	326
584205843	200	500	165
584205843	300	500	70
584205843	500	500	2

Πίνακας 2 Ταχύτητα αντικειμένων ανάλογα με τον αριθμό τους

Όπως φαίνεται όταν κινούνται στη συγκεκριμένη ακμή λίγα αντικείμενα η μέγιστη ταχύτητά τους είναι όση είναι η μέγιστη ταχύτητα της ομάδας αντικειμένων. Όσο αυξάνονται όμως τα αντικείμενα η ταχύτητα μειώνεται σταδιακά, που δείχνει όπως αναφέρθηκε νωρίτερα πως υπάρχει συγκεκριμένη χωρητικότητα της ακμής που όταν ξεπεραστεί μειώνει την ταχύτητα. Στο παρακάτω γράφημα βλέπουμε πως μειώνεται η ταχύτητα.



Εικόνα 19 Γραφική παράσταση της ταχύτητας ανάλογα με τον αριθμό αντικειμένων σε συγκεκριμένη ακμή

Ένας άλλος περιορισμός στις ακμές που αναλύθηκε είναι της μέγιστης ταχύτητας της κάθε ομάδας ακμών. Δηλαδή πως η ομάδα κινούμενων αντικειμένων μπορεί να έχει μια μέγιστη ταχύτητα, αλλά η ακμή μπορεί να υποστηρίξει κίνηση μέχρι κάποια άλλη, θέτοντας δηλαδή ένα ανώτατο όριο διαφορετικό από αυτό που είχε δώσει ο χρήστης. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

EDGE ID	Αριθμός Αντικειμένων	Μέγιστη ταχύτητα ομάδας	Μέση ταχύτητα προσομοίωσης
705507234	5	300	300
705507234	5	400	400
705507234	5	500	500
705507234	5	600	600
705507234	5	700	672

Πίνακας 3 Ταχύτητα αντικειμένων ανάλογα με την μέγιστη ταχύτητα της ομάδας που ανήκουν

Στο παράδειγμα που εξετάστηκε παρατηρείται πως η μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορούν να κινηθούν τα αντικείμενα στη συγκεκριμένη ακμή είναι 672, αφού σε όλα τα υπόλοιπα πειράματα η ταχύτητα παίρνει ως πάνω όριο την ταχύτητα που δίνει ο χρήστης, όταν όμως αυτή ξεπέρασε το όριο που θέτει η ακμή, τότε η μέγιστη ταχύτητα προσαρμόζεται σε αυτή.

Τέλος θα γίνει μια σύγκριση των χρόνων προσομοίωσης ανάμεσα σε δύο χάρτες, έναν αρκετά μικρό, αυτό του Oldenburg και έναν αρκετά μεγάλο αυτόν της Αθήνας.

Ο χάρτης του Oldenburg αποτελείται από 6105 κόμβους και 7035 ακμές. Η επιλογή αρχικής και τελικής θέσης θα οριστεί τυχαία και η ταχύτητα των αντικειμένων θα είναι η μέγιστη δυνατή – θα περιορίζεται δηλαδή μόνο από την ταχύτητα που επιτρέπει η κάθε ακμή. Σε κάθε πείραμα μεταβάλλεται ο αριθμός των παραγόμενων αντικειμένων. Η οπτικοποίηση πάνω στο χάρτη έχει απενεργοποιηθεί, αφού θα χρειαζόταν πολύ περισσότερος χρόνος όπως είδαμε παραπάνω.

Αριθμός Πειράματος	#χρονο-σφραγίδες	#αντικ. / χρόνο	#αντικείμενα	#σημεία	#διαδρομών	Συν. χρόνος (msec)	Χρόνος Υπολογισμού τροχιών (msec)
O-1-1	100	10	1000	25007	1081	2321	337
O-1-2	500	10	5000	143451	5489	9152	1067
O-1-3	1500	10	15000	445861	16527	29000	3472
O-2-1	100	50	5000	123028	5406	3470	997
O-2-2	500	50	25000	897248	28308	17639	5177
O-2-3	1500	50	75000	4472900	93455	59474	15808
O-3-1	100	100	10000	249318	10786	5699	2154
O-3-2	500	100	50000	1933777	57323	27884	9959
O-3-3	1500	100	150000	9222508	187696	121592	34126

Πίνακας 4 Αποτελέσματα προσομοιώσεων στο χάρτη του Oldenburg

Ο χάρτης της Αθήνας αποτελείται από 64589 κόμβους και 104148 ακμές. Είναι δηλαδή πολύ μεγαλύτερος χάρτης και στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι χρόνοι προσομοίωσης με τις αντίστοιχες τιμές στα αντικείμενα που παράγονται. Οι επιλογές όλων των ιδιοτήτων είναι ακριβώς ίδιες με τις προσομοιώσεις που έγιναν στο χάρτη του Oldenburg.

Αριθμός Πειράματος	#χρονο-σφραγίδες	#αντικ. / χρόνο	#αντικείμενα	#σημεία	#διαδρομών	Συν. χρόνος (msec)	Χρόνος Υπολογισμού τροχιών (msec)
A-1-1	100	10	1000	23538	1083	42571	18331
A-1-2	500	10	5000	155830	5540	198559	80459
A-1-3	1500	10	15000	482611	16721	790425	360032
A-2-1	100	50	5000	120690	5380	168918	103744
A-2-2	500	50	25000	893574	28410	914931	573194
A-2-3	1500	50	75000	6586419	103427	3368567	2110412
A-3-1	100	100	10000	255700	10876	300410	194835
A-3-2	500	100	50000	3932908	67003	1940215	1308930
A-3-3	1500	100	150000	35734276	315158	6807674	4357372

Παρατηρώντας του πίνακες με τα αποτελέσματα από τα πειράματα μπορεί να βγει το συμπέρασμα πως μπορούν να δημιουργηθούν από τη γεννήτρια μεγάλα σύνολα δεδομένων ακόμα και σε οικιακό υπολογιστή σε λογικό χρόνο. Η ελάχιστη τιμή του χρόνου της προσομοίωσης ανά σημείο είναι 0.01 και η μέγιστη τιμή είναι 0.09 για το χάρτη του Oldenburg, ενώ για το χάρτη της Αθήνας οι αντίστοιχες τιμές κυμαίνονται από 0.2 ως 1.8, που επιτρέπει την παραγωγή μεγάλων συνόλων δεδομένων.

8 Συμπεράσματα –Μελλοντικές Επεκτάσεις

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών έχουν εισχωρήσει πάρα πολύ στην καθημερινότητά μας και χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο από απλούς χρήστες, αναλυτές, ερευνητές μέχρι στρατιωτικές μονάδες σε παγκόσμια εμβέλεια. Για το λόγο αυτό κάθε εφαρμογή που δημιουργείται θα πρέπει να είναι εύχρηστη, αλλά ταυτόχρονα να παρέχει πολλές δυνατότητες, για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις ενός ευρέως φάσματος. Στην εργασία αυτή έγινε μια τέτοια προσπάθεια να βελτιωθεί μια ήδη αρκετά καλή γεννήτρια, βελτιστοποιώντας τη διεπαφή για τον απλό χρήστη, αλλά επιπλέον προσθέτοντας πολλές δυνατότητες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από αναλυτές και ερευνητές της κίνησης αντικειμένων.

Η εργασία αυτή έχει ως σκοπό την μετατροπή της γεννήτριας του Brinkhoff, από μια γεννήτρια δημιουργίας τροχιών αντικειμένων τυχαία πάνω σε ένα δίκτυο, σε μια γεννήτρια πλήρως προσαρμόσιμη στις ανάγκες του χρήστη. Κάνοντας χρήση λοιπόν της εφαρμογής που δημιουργήθηκε και συνδυάζοντάς την με άλλες τεχνολογίες, οι δυνατότητες που μας προσφέρονται είναι πολλές. Η κυριότερη δυνατότητα που μπορεί να προσφέρει στον ερευνητή, εμφανώς και στο χρήστη, είναι η απλούστερη μελέτη των κινήσεων πάνω σε δίκτυο. Κάνοντας χρήση μικρών, αλλά ενδεικτικών δειγμάτων κινούμενων αντικειμένων στο δίκτυο μελέτης, ο χρήστης θα έχει τη δυνατότητα να προσομοιώσει ένα δίκτυο πολλές φορές μεγαλύτερο που θα μπορεί να πλησιάζει αρκετά στην πραγματική κίνηση των αντικειμένων μέσα στο δίκτυο αυτό.

Μελλοντικά και κάνοντας τη χρήση αυτής της δυνατότητας, οποιοσδήποτε χρήστης με μια απλή φορητή συσκευή (π.χ. GPS) θα μπορεί να προβλέψει την κυκλοφοριακή συμφόρηση που πρόκειται να συναντήσει, ή ακόμα δε θα χρειάζεται καν να μάθει ότι θα συναντούσε κάποια κυκλοφοριακή συμφόρηση, αφού μέσω του αλγορίθμου

μου βέλτιστης διαδρομής θα φτάσει στον προορισμό του με το μικρότερο χρονικό κόστος.

Φυσικά η γεννήτρια που δημιουργήθηκε μπορεί να βελτιωθεί ακόμα περισσότερο, εισάγοντας διάφορα στοιχεία των δικτύων που στη συγκεκριμένη μορφή έχουν παραληφθεί, όπως το υψόμετρο (οι ανηφόρες και οι κατηφόρες παίζουν αρκετά μεγάλο ρόλο στην κίνηση μέσα σε ένα δίκτυο). Σε μια τέτοια έκδοση η γεννήτρια θα μπορεί να προσομοιώνει τις κινήσεις μέσα στο δίκτυο ακόμα πιο κοντά στην πραγματικότητα ή και ακόμα να προσομοιώνει και άλλου είδους δίκτυα, όπως αυτό των αερομεταφορών.

Όπως συμπεραίνει κανείς η χρήση των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών μπορεί να βελτιώσει πολύ την καθημερινότητα μας και σε συνδυασμό των νέων τεχνολογιών μπορεί να γίνει προσιτή και στον απλό χρήστη.

9 Βιβλιογραφία - Αναφορές

1. Theodoridis, Y., J.R.O. Silva, and M.A. Nascimento. *On the Generation of Spatiotemporal Datasets*. in *6th International Symposium on Large Spatial Databases*. 1999. Hong Kong.
2. Pfoser, D. and Y. Theodoridis, *Generating semantics-based trajectories of moving objects*. *Comput. Environ. Urban Syst.*, 2003. **27**(3): p. 243-263.
3. Giannotti, F., et al., *Synthetic generation of cellular network positioning data*. GIS '05, 2005(Proceedings of the 13th annual ACM international workshop on Geographic Information Systems): p. 8.
4. Tzouramanis, T., M. Vassilakopoulos, and Y. Manolopoulos, *On the generation of time-evolving regional data*. *Geoinformatica*, 2002. **6**(3): p. 207-231.
5. Saglio, J.-M. and J. Moreira, *Oporto: a realistic scenario generator for moving objects*. *Geoinformatica*, 2001. **5**(1): p. 71-93.
6. Brinkhoff, T., *A framework for generating network-based moving objects*. *Geoinformatica*, 2002. **9**(1): p. 153-180.
7. Krajzewicz, D., et al. *SUMO(Simulation of Urban MOBility): an open-source traffic simulation*. in *4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling*. 2002. SCS European Publishing House.
8. Nanni, M. and D. Pedreschi, *Time-focused clustering of trajectories of moving objects*. *Journal of Intelligent Information Systems*, 2006. **27**(3): p. 267-289.
9. Pelekis, N., Kopanakis, I., Kotsifakos, E., Frenzos, E., and Theodoridis, Y. *Clustering Trajectories of Moving Objects in an Uncertain World*. in *International Conference on Data Mining (ICDM09)*. 2009. Miami, FL,USA.
10. Düntgen, C., T. Behr, and R.H. Güting, *BerlinMOD: a benchmark for moving object databases*. *The VLDB Journal — The International Journal on Very Large Data Bases*, 2008 **18**(6): p. 34.
11. Dieker, S. and R.H. Güting. *Plug and Play with Query Algebras: SECONDO-A Generic DBMS Development Environment*. in *IDEAS '00 Proceedings of the 2000 International Symposium on Database Engineering & Applications 2000*.
12. Gidofalvi, G. and T.B. Pedersen. *ST--ACTS: a spatio-temporal activity simulator*. in *14th annual ACM international symposium on Advances in geographic information systems*. 2006.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Χρήση της Γεννήτριας

Αρχική Φάση.

Στην αρχική εκτέλεση της γεννήτριας «φορτώνεται» το αρχείο με το δίκτυο που έχουμε επιλέξει μέσα στο αρχείο properties.txt . Εμφανίζεται το κείμενο “read and create network ...” ως κατάσταση της γεννήτριας, όσο διαβάζει το αρχείο δικτύου. Αφού κατασκευαστεί το δίκτυο, οπτικοποιείται στο χάρτη.

Χειρισμός της Γεννήτριας.**Πεδία Εισαγωγής Δεδομένων.**

ΤΙΤΛΟΣ	ΣΗΜΑΣΙΑ
maximum time	Ορίζει τον αριθμό των χρονοσφραγίδων της κάθε εκτέλεσης.
classes (M) (Αριστερό Πεδίο Δεδομένων)	Ορίζει τον αριθμό των ομάδων των κινούμενων αντικειμένων της προσομοίωσης. Όταν ο χρήστης πατήσει το κουμπί OK, δημιουργούνται τόσες καρτέλες ομάδων όσες έβαλε στο πεδίο για την επιλογή των ιδιοτήτων της κίνησης (εφόσον ο αριθμός αυτός είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια).
classes (E) (Δεξί Πεδίο Δεδομένων)	Ορίζει τον αριθμό των ομάδων των εξωτερικών αντικειμένων.
External obj./begin	Ορίζει τον αριθμό των εξωτερικών αντικειμένων στην αρχή της προσομοίωσης.
External obj./time	Ορίζει τον αριθμό των εξωτερικών αντικειμένων που δημιουργούνται κάθε χρονική στιγμή.
report probability	Ορίζει την πιθανότητα αναφοράς του αντικειμένου. 100 σημαίνει πως το αντικείμενο θα αναφέρεται κάθε χρονική στιγμή τόσο στο αρχείο αναφοράς που δημιουργείται, όσο και στο χάρτη. 50, π.χ., σημαίνει πως το κάθε αντικείμενο έχει 50% πιθανότητα να αναφερθεί.
Starting Objects	Ορίζει τον αριθμό των αντικειμένων της συγκεκριμένης ομάδας στην αρχή της προσομοίωσης.
Starting Obj./ time	Ορίζει τον αριθμό των αντικειμένων της συγκεκριμένης ομάδας σε κάθε χρονική στιγμή της προσομοίωσης.

Max Speed	Ορίζει τη μέγιστη ταχύτητα των αντικειμένων της συγκεκριμένης ομάδας κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.
Agility	Ορίζει το ποσοστό διαφοροποίησης της μέγιστης ταχύτητας, που έχει οριστεί από το χρήστη, ανάμεσα στα αντικείμενα της ίδιας ομάδας. 0 σημαίνει ότι η μέγιστη ταχύτητα θα είναι ίδια για όλα τα αντικείμενα, όση επέλεξε ο χρήστης στο παραπάνω πεδίο. 100 σημαίνει πως η ταχύτητα των αντικειμένων θα κυμαίνεται τυχαία ανάμεσα στις τιμές Max Speed και $Max\ Speed - 100\% * Max\ Speed$.
Start Pos. Coordinates	Ορίζει την αρχική θέση των αντικειμένων της συγκεκριμένης ομάδας. Οι συντεταγμένες μπορούν να δοθούν είτε χειροκίνητα γράφοντάς τες μέσα στο πεδίο ή με επιλογή σημείο μέσα στο χάρτη. Αν οι συντεταγμένες που δίνονται δεν είναι συντεταγμένες κάποιου κόμβου του δικτύου, τότε επιλέγεται αυτόματα ο κοντινότερος.
Start Pos. Range	Ορίζει την εμβέλεια γύρω από το σημείο που επιλέχθηκε για αρχική θέση, μέσα από την οποία τα αντικείμενα της ομάδας επιλέγουν τυχαία αρχική θέση. Αν η εμβέλεια είναι μηδενική, τότε τα αντικείμενα ξεκινούν από το συγκεκριμένο σημείο.
End Pos. Coordinates	Ορίζει την τελική θέση των αντικειμένων της συγκεκριμένης ομάδας. Οι συντεταγμένες μπορούν να δοθούν είτε χειροκίνητα γράφοντάς τες μέσα στο πεδίο ή με επιλογή σημείο μέσα στο χάρτη. Αν οι συντεταγμένες που δίνονται δεν είναι συντεταγμένες κάποιου κόμβου του δικτύου, τότε επιλέγεται αυτόματα ο κοντινότερος.
End Pos. Range	Ορίζει την εμβέλεια γύρω από το σημείο που επιλέχθηκε για τελική θέση, μέσα από την οποία τα αντικείμενα της ομάδας επιλέγουν τυχαία τελική θέση. Αν η εμβέλεια είναι μηδενική, τότε τα αντικείμενα τερματίζουν την τροχιά τους στο συγκεκριμένο σημείο.
Stop Coordinates	Ορίζει τις συντεταγμένες της κάθε στάσης της συγκεκριμένης ομάδας. Οι συντεταγμένες μπορούν να δοθούν είτε χειροκίνητα γράφοντάς τες μέσα στο πεδίο ή με επιλογή σημείο μέσα στο χάρτη. Αν οι συντε-

	ταγμένες που δίνονται δεν είναι συντεταγμένες κάποιου κόμβου του δικτύου, τότε επιλέγεται αυτόματα ο κοντινότερος.
Stop Range	Ορίζει την εμβέλεια γύρω από το σημείο που επιλέχθηκε για στάση, μέσα από την οποία τα αντικείμενα της ομάδας επιλέγουν τυχαία σε ποιο σημείο θα κάνουν στάση. Αν η εμβέλεια είναι μηδενική, τότε τα αντικείμενα κάνουν στάση στο συγκεκριμένο σημείο.
Max Speed to Next Stop	Ορίζει τη μέγιστη ταχύτητα των αντικειμένων της συγκεκριμένης ομάδας από τη στάση που επέλεξε ο χρήστης μέχρι την επόμενη στάση (ή τελικό προορισμό).
Agility to Next Stop	Ορίζει το ποσοστό διαφοροποίησης της μέγιστης ταχύτητας, που έχει οριστεί από το χρήστη, ανάμεσα στα αντικείμενα της ίδιας ομάδας από τη συγκεκριμένη στάση μέχρι την επόμενη.

Κουμπιά.

ΤΙΤΛΟΣ	ΣΗΜΑΣΙΑ
Compute	Εκτελεί την προσομοίωση. Όσο δημιουργούνται τα νέα αντικείμενα και οι θέσεις τους στη γεννήτρια ο χρόνος απεικονίζεται με τόσο με αριθμητική μορφή όσο και με τη θέση του δείκτη στη μπάρα χρόνου. Όταν η προσομοίωση τερματιστεί η θέση του δείκτη πάει στην αρχική θέση (δηλαδή ο χρόνος μηδενίζεται) και οι θέσεις όλων των αντικειμένων τις προσομοίωσης εμφανίζονται στο χάρτη.
Time +	Μετακινεί τα αντικείμενα στη θέση που έχουν στην επόμενη χρονική στιγμή. Αν η χρονική στιγμή που επιλεγεί δεν είναι μηδέν, οπτικοποιούνται τα αντικείμενα εκείνης μόνο της στιγμής.
Delete Obj.	Διαγράφει τα αντικείμενα που δημιουργήθηκαν. Τα αρχεία που δημιουργήθηκαν μετά από την προσομοίωση δε διαγράφονται.
Choose previous Exec. Props	Επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει τις ιδιότητες που έχουν επιλεγεί σε προηγούμενη προσομοίωση. Αυτό σημαίνει πως αν σε κάποια προηγούμενη προσομοίωση επιλέχθηκαν κάποιες ιδιότητες που περιγράφηκαν παραπάνω, θα συμ-

	πληρωθούν αυτόματα στη γεννήτρια πριν τη νέα προσομοίωση, εφόσον ο χρήστης επιλέξει το κατάλληλο αρχείο.
Add Stop	Επιτρέπει στο χρήστη να προσθέσει ενδιάμεση στάση στην κίνηση των αντικειμένων της συγκεκριμένης ομάδας. Δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των στάσεων που μπορεί να προσθέσει ο χρήστης. Για να ενεργοποιηθεί το κουμπί για νέα στάση πρέπει η τελευταία ενδιάμεση στάση που έχει επιλέξει ο χρήστης να μην έχει μηδενικές συντεταγμένες, να είναι δηλαδή πραγματικό σημείο στο χάρτη.
Remove Stop	Επιτρέπει στο χρήστη να διαγράψει την τελευταία στάση που έχει προστεθεί στην κίνηση των αντικειμένων.

Χρήση ποντικιού.

ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ
Κάνοντας κλικ μέσα στο χάρτη ενώ ταυτόχρονα είναι επιλεγμένο ένα από τα κουτάκια Start Pos., End Pos. ή Stop Coord.	Δημιουργούνται στο χάρτη δύο ομόκεντροι κύκλοι που δείχνουν αρχική, τελική ή ενδιάμεση στάση. Ο εξωτερικός κύκλος έχει πάντα το χρώμα της ομάδας των αντικειμένων με στην οποία κάνει αλλαγές ο χρήστης. Ανάλογα ποιο κουτάκι έχει επιλεγθεί ο χρωματισμός του εσωτερικού κύκλου διαφέρει. Αν είναι επιλεγμένη η αρχική θέση ο κύκλος είναι πράσινος, αν η τελική θέση ο κύκλος είναι κόκκινος, ενώ αν είναι η ενδιάμεση στάση επιλεγμένη ο εσωτερικός κύκλος είναι πορτοκαλί. Το μέγεθος του κύκλου εξαρτάται από την εμβέλεια που έχει επιλέξει ο χρήστης.

Γραμμή κύλισης χρόνου.

Η γραμμή κύλισης επιτρέπει στο χρήστη να δει τις θέσεις των αντικειμένων τις χρονικές στιγμές που επιθυμεί. Όταν ο δείκτης βρίσκεται στη μηδενική θέση, δηλαδή στο αριστερό άκρο της γραμμής, στο χάρτη φαίνονται όλες οι θέσεις όλων των αντικειμένων της προσομοίωσης. Σε οποιαδήποτε άλλη θέση του δείκτη εμφανίζονται μόνο τα αντικείμενα που υπάρχουν τη δεδομένη χρονική στιγμή.

Χειρισμός του χάρτη.

Κουμπιά.

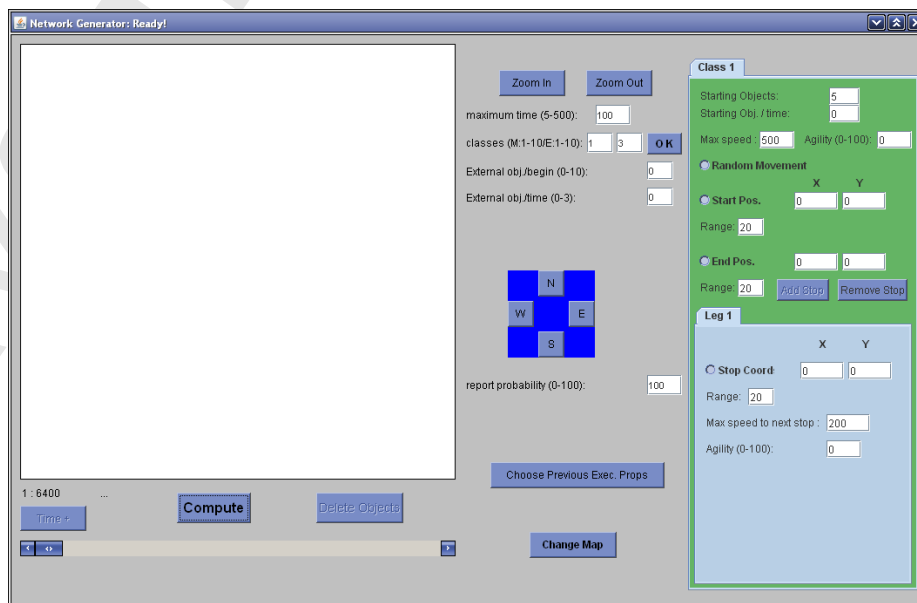
ΤΙΤΛΟΣ	ΣΗΜΑΣΙΑ
Zoom In	Μεγαλώνει την κλίμακα του χάρτη. Ο παράγοντας μεγέθυνσης είναι 2 και η μεγέθυνση γίνεται στο κέντρο του χάρτη που φαίνεται τη δεδομένη στιγμή στην εφαρμογή. Η ορατότητα των ακμών εξαρτάται από την κλίμακα τη δεδομένη στιγμή.
Zoom Out	Μειώνει την κλίμακα του χάρτη. Ο παράγοντας σμίκρυνσης είναι 2 και η σμίκρυνση γίνεται στο κέντρο του χάρτη που φαίνεται τη δεδομένη στιγμή στην εφαρμογή. Η ορατότητα των ακμών εξαρτάται από την κλίμακα τη δεδομένη στιγμή.
W	Μετακινεί το χάρτη δυτικά (προς τα αριστερά).
E	Μετακινεί το χάρτη ανατολικά (προς τα δεξιά).
N	Μετακινεί το χάρτη προς το βορρά (προς τα επάνω).
S	Μετακινεί το χάρτη προς το νότο (προς τα κάτω)
Change Map	Επιτρέπει στο χρήστη να αλλάξει το χάρτη (Δίκτυο) που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση.

Χρήση ποντικιού.

ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ
Πάτημα αριστερού κουμπιού του ποντικιού μέσα στο χάρτη ενώ ταυτόχρονα είναι πατημένο το πλήκτρο Shift	Το συγκεκριμένα σημείο γίνεται το κέντρο του εμφανιζόμενου κομματιού του χάρτη, αν είναι δυνατόν.
Κράτημα του αριστερού κουμπιού του ποντικιού και τράβηγμα αυτού.	Δημιουργία ορθογωνίου. Μόλις ελευθερωθεί το κουμπί του ποντικιού το κέντρο του χάρτη θα έχει γίνει το κέντρο του ορθογωνίου και θα έχει υπάρξει μεγέθυνση του χάρτη με παράγοντα 2.

Εφαρμογές

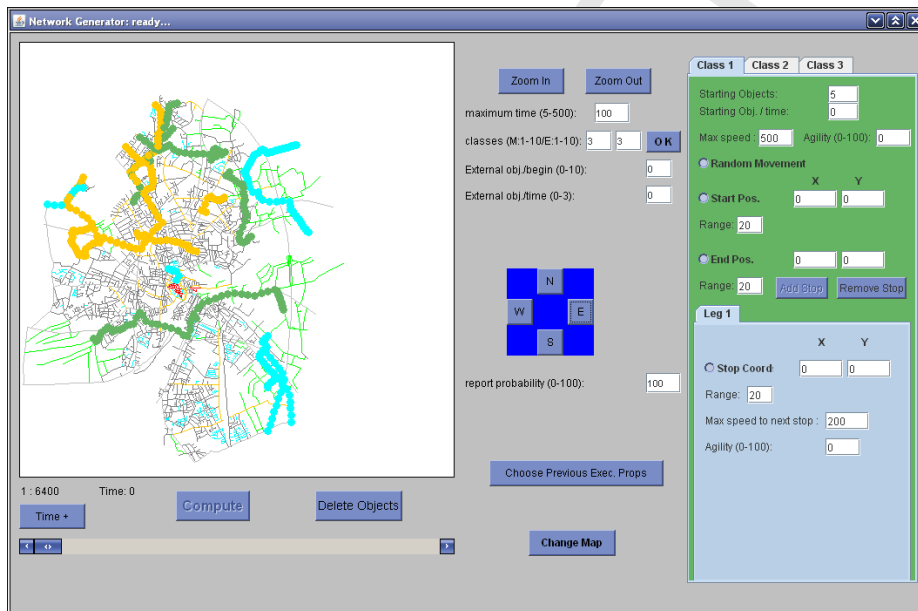
Μετά από τα δύο αυτά panels που δημιουργήθηκαν η εφαρμογή έχει πάρει την παρακάτω μορφή :



Εικόνα 20 Νέα μορφή της γεννήτριας παραγωγής κινούμενων αντικειμένων

Στο δεξί μέρος του χάρτη έχουν προστεθεί δύο panels όπως περιγράφηκαν παραπάνω. Πατώντας το κουμπί “Compute” που βρίσκεται κάτω από το χάρτη αρχίζει η προσομοίωση. Πρώτα πρέπει βέβαια να τεθούν τιμές στις διάφορες επιλογές που δίνονται. Συγκεκριμένα ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει κάποια στοιχεία, όπως ο χρόνος προσομοίωσης, οι ομάδες που δημιουργούνται, η συχνότητα αναφοράς της κίνησης του αντικειμένου κατά τη διάρκεια της κίνησης, η μέγιστη ταχύτητα των αντικειμένων, οι ενδιάμεσες στάσεις των αντικειμένων κ.ά. Επίσης πατώντας το κουμπί “OK” δίπλα στον αριθμό των ομάδων που επέλεξε ο χρήστης, οι καρτέλες που έχουν δημιουργηθεί γίνονται τόσες όσες οι ομάδες κινούμενων αντικειμένων που θέλει να δημιουργηθούν (αυτό γίνεται και μετά το πρώτο πάτημα του κουμπιού “Compute”).

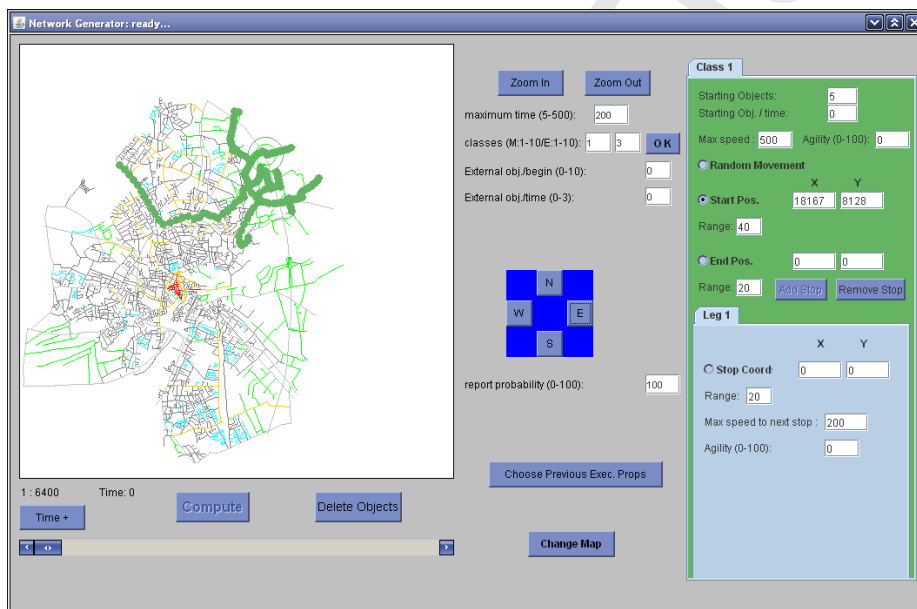
Μετά από την κάθε πάτημα του κουμπιού “Compute” η εφαρμογή παίρνει την παρακάτω μορφή :



Εικόνα 21 Τυχαία κίνηση αντικειμένων στο δίκτυο

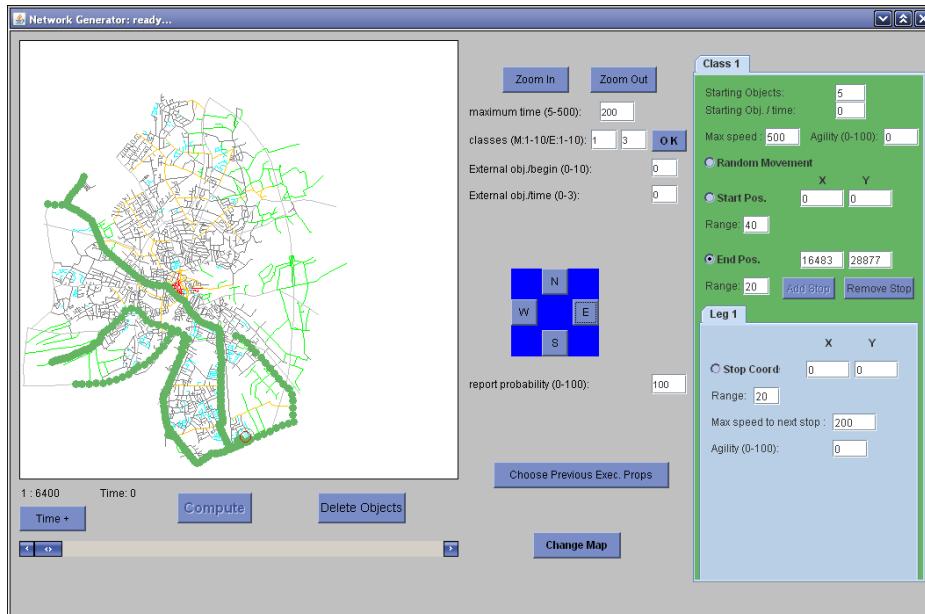
Αν ο χρήστης έχει επιλέξει το κουτί “Start Pos.” σε κάποια καρτέλα πρέπει να κάνει κλικ στο χάρτη, όπου θα εμφανιστεί ένας διπλός κύκλος ίδιου χρώματος στο εξωτερικό με το χρώμα που θα έχουν τα αντικείμενα τις ομάδες που επιλέγει, και πράσινο εσωτερικό κύκλο, που επιδεικνύει πως το σημείο αυτό είναι η αρχική θέση. Επίσης ο χρήστης επιλέγει την εμβέλεια γύρω από το σημείο από την οποία μπορούν να εκκινήσουν την κίνησή τους τα αντικείμενα αλλάζοντας τον αριθμό στο “Range”. Ταυτόχρονα το φόντο της καρτέλας για ευκολία του χρήστη έχει το χρώμα που θα έχουν και τα αντικείμενα της ομάδας μέσα στο χάρτη. Όταν στη συνέχεια πατήσει το κουμπί “Compute” τα αντικείμενα της ομάδας ή των ομάδων που επιλέξαμε θα ξεκινήσουν την κίνησή τους από το σημείο που επιλέχθηκε.

Παρακάτω βλέπουμε ένα παράδειγμα που επιλέξαμε μια θέση κάπου πάνω δεξιά στο χάρτη:



Εικόνα 22 Κίνηση των αντικειμένων της ομάδας 1 μετά από επιλογή αρχικής θέσης στο πάνω δεξί μέρος του χάρτη

Ομοίως λειτουργεί το κουτί “End Pos.”, με το οποίο ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να διαλέξει την τελική θέση του αντικειμένου πάνω στο χάρτη. Η διαφορά στο διπλό κύκλο που δημιουργείται στο χάρτη είναι πως ο εσωτερικός κύκλος έχει κόκκινο χρώμα, αντί για πράσινο που είχε στην επιλογή της αρχικής θέσης. Η επιλογή της εμβέλειας λειτουργεί όπως και στην επιλογή αρχικής θέσης. Παρατηρούμε για παράδειγμα στην εικόνα 9 πως τα αντικείμενα από όποιο μέρος του χάρτη και να ξεκινήσαν κάνουν τη βέλτιστη διαδρομή μέχρι να φτάσουν στο σημείο που έχει επιλεγεί ως τελική θέση και βρίσκεται κάτω δεξιά, που μπορεί κανείς να διακρίνει τον κόκκινο εσωτερικό κύκλο που υποδεικνύει την τελική θέση.



Εικόνα 23 Κίνηση των αντικειμένων στο δίκτυο μετά από επιλογή τελικής θέσης της ομάδας 1 στο κάτω δεξί μέρος του χάρτη

Εκτός από αρχική και τελική θέση ο χρήστης έχει όμως τη δυνατότητα να επιλέξει και ενδιάμεσες στάσεις, όσες αυτός επιθυμεί, για τα κινούμενα αντικείμενα του χάρτη. Για να γίνει αυτό ο χρήστης πρέπει να επιλέξει το κουτάκι “Stop Coord.” και να επιλέξει σημείο μέσα στο χάρτη. Η επιλογή της εμβέλειας γίνεται όπως παραπάνω. Στη συνέχεια αν θέλει να επιλέξει επιπλέον στάσεις αρκεί να πατήσει το κουμπί “Add Stop”, το οποίο είναι αρχικά απενεργοποιημένο, όμως ενεργοποιείται μετά την επιλογή της πρώτης στάσης (απλός έλεγχος για να μη γίνει επιλογή μηδενικών, ουσιαστικά ανύπαρκτων στάσεων).

Εκτός των θέσεων ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει τη μέγιστη ταχύτητα των αντικειμένων. Αν δεν έχει γίνει επιλογή ενδιάμεσων στάσεων αυτό γίνεται απλώς με την τροποποίηση του περιεχομένου του κουτιού “Max. Speed” στην καρτέλα της κάθε ομάδας κινούμενων αντικειμένων. Εκτός από την αλλαγή της ταχύτητας αυτή καθεαυτή, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει αν θέλει τα αντικείμενα να έχουν όλα την ίδια ταχύτητα ή διαφορετική μεταξύ τους, τη διαφορά της οποίας το ποσοστό επιλέγει από το κουτί “Agility” δίπλα σε αυτό της ταχύτητας. Αν το ποσοστό μείνει μηδενικό, τότε όλα τα αντικείμενα θα έχουν ίδια μέγιστη ταχύτητα. Εάν όμως είναι διάφορο του μηδενός, τότε η μέγιστη ταχύτητα του κάθε αντικειμένου θα είναι μεταξύ της μέγιστης που έχει επιλεγεί και της μέγιστης μείον το ποσοστό που έδωσε ο χρήστης (αν 100% για παράδειγμα το ποσοστό, η ταχύτητα θα είναι από μηδέν έως την επιλεγμένη μέγιστη ταχύτητα). Εφόσον ο χρήστης έχει επιλέξει και ενδιάμεσες στάσεις η επιλογή της ταχύτητας που έχει κάνει θα ισχύει μέχρι τα αντικείμενα να φτάσουν στην επιλεγμένη στάση, ενώ για την κίνηση μετά τη στάση θα πρέπει ο

χρήστης να κάνει νέες ρυθμίσεις, οι οποίες βρίσκονται μέσα στην καρτέλα της κάθε επιλεγμένης ενδιάμεσης στάσης.

Μετά την εκτέλεση της προσομοίωσης δημιουργείται ένα αρχείο αναφοράς της κίνησης. Κάθε γραμμή του αρχείου που δημιουργείται αναπαριστά τη θέση του αντικειμένου που δημιουργήθηκε και περιγράφεται από τα ακόλουθα πεδία:

- newpoint (για την πρώτη θέση της κίνησης του κάθε αντικειμένου), point (για τις ακόλουθες θέσεις της κίνησης του αντικειμένου), ή disappearpoint (αν το αντικείμενο έφτασε στον προορισμό του)
- Το id του σημείου
- Τον αύξοντα αριθμό (ξεκινάει από το 1)
- Το id της ομάδας του αντικειμένου
- Τη χρονική στιγμή (integer)
- Το id της ακμής πάνω στην οποία βρίσκεται το αντικείμενο
- Τη συντεταγμένη στον άξονα X (float)
- Τη συντεταγμένη στον άξονα Y (float)
- Την ταχύτητα στο συγκεκριμένο σημείο (float)
- Τη συντεταγμένη στον άξονα X του επόμενου σημείου (integer)
- Τη συντεταγμένη στον άξονα Y του επόμενου σημείου (integer)

Κάνοντας χρήση του αρχείου αυτού που δημιουργήθηκε κατά οποιαδήποτε προηγούμενη εκτέλεση, με τη χρήση της μεθόδου chooseFile(), την οποία καλεί το κουμπί «Choose Previous Exec Props» που κατασκευάστηκε, δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα να αναπαράγει την κίνηση αντικειμένων μέσα στο δίκτυο, όπως αυτή έγινε σε προηγούμενη εκτέλεση της εφαρμογής. Έτσι με τη χρήση ενός μικρού αρχικά συνόλου δεδομένων μπορεί να αναπαραχθεί ένα άλλο μεγαλύτερο σύνολο, κάτι που μπορεί να βοηθήσει στη μελέτη της συνολικής κίνησης στο δίκτυο που έχει επιλεγθεί, αρκεί το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε στην αρχική προσομοίωση είναι αντιπροσωπευτικό.