



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ GPS
(ΤΟΜΟΣ Ι)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΠΥΡΡΟΥ Γ. ΤΣΙΑΚΟΥΛΗ

Επιβλέπων : ΤΙΜΟΣ ΣΕΛΛΗΣ
Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2003



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ GPS (ΤΟΜΟΣ Ι)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΠΥΡΡΟΥ Γ. ΤΣΙΑΚΟΥΛΗ

Επιβλέπων : ΤΙΜΟΣ ΣΕΛΛΗΣ
Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14^η Ιουλίου 2003.

.....
Σελλής Τιμόλεων
Καθηγητής

.....
Τσανάκας Παναγιώτης
Καθηγητής

.....
Νεκτάριος Κοζύρης
Επίκουρος Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2003

.....
ΠΥΡΡΟΣ Γ. ΤΣΙΑΚΟΥΛΗΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

© 2003 – All rights reserved

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά τη διάρκεια του εαρινού εξαμήνου του ακαδημαϊκού έτους 2002-2003 από τον Τσιάκουλη Πύρρο. Η ανάπτυξη έγινε στο Εργαστήριο Συστημάτων Βάσεων Γνώσεων και Δεδομένων του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Η υπόδειξη του θέματος έγινε από τον υποψήφιο διδάκτορα του ΕΜΠ Ντίνο Αρκουμάνη τον οποίο ευχαριστώ για την στενή συνεργασία που είχαμε για την περάτωση της εργασίας. Η συμβολή του στην σχεδίαση της εργασίας υπήρξε σε αρκετά σημεία καθοριστική. Ήταν παρών σε όλη την πορεία ανάπτυξης της εργασίας και πολύ συχνά διέθετε το χρόνο του για να συζητήσουμε τα όποια θέματα προέκυπταν.

Ευχαριστώ επίσης τον υπεύθυνο για την εργασία καθηγητή Τίμο Σελλή τόσο για το ενδιαφέρον που έδειξε όσο και για τις παρατηρήσεις και προτάσεις προς βελτίωση της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ τον υποψήφιο διδάκτορα Ελευθέριο Σταματογιαννάκη για την βοήθεια του σε θέματα όπου η εμπειρία του υπήρξε καθοριστική καθώς και όλα τα μέλη του εργαστηρίου για την προθυμία τους να εξυπηρετήσουν κάθε αίτημά.

Τσιάκουλης Πύρρος

Ιούλιος 2003

Περίληψη

Στόχος αυτής της διπλωματικής είναι να υλοποιηθούν ένα πλαίσιο που θα υποστηρίξει την έρευνα πάνω σε mobile e-services και χωροχρονικές βάσεις δεδομένων. Για να υποστηριχθεί η έρευνα σε αυτούς του τομείς απαιτούνται πραγματικά δεδομένα κινούμενων σημείων (mobile agents). Για το σκοπό αυτό θα γίνει μια εφαρμογή παρακολούθησης οχημάτων που θα μεταφέρουν συσκευές Global Position System (GPS) και η κίνηση τους θα καταγράφεται σε μια χωρική βάση δεδομένων.

Λέξεις Κλειδιά: χωροχρονικές βάσεις δεδομένων, κίνηση οχημάτων, κινούμενα σημεία, ψηφιακοί χάρτες

Summary

This diploma project is about the development of a framework that will be suitable for research in mobile e-services and spatio-temporal databases. In order to support this research real data from moving targets is needed. A vehicle tracking application will be developed for vehicles that will carry a Global Position System (GPS) so its movement is registered and stored in a spatio-temporal database.

Keywords: spatio-temporal, mobile e-services, moving targets, vehicle tracking, Global Position System, SMS, GPS, WGS84

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	1
1.1	Αντικείμενο της διπλωματικής	1
1.2	Οργάνωση του τόμου.....	3
2	Περιγραφή Θέματος.....	5
2.1	Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	5
2.1.1	<i>Βάσεις χωρικών δεδομένων</i>	<i>5</i>
2.1.1.1	Εισαγωγή.....	5
2.1.1.2	Ορισμός.....	6
2.1.1.3	Τύποι χωρικών δεδομένων	6
2.1.1.4	Τελεστές.....	7
2.1.1.5	Μέθοδοι προσπέλασης χωρικών δεδομένων	8
2.1.2	<i>Χρονικές βάσεις δεδομένων</i>	<i>16</i>
2.1.2.1	Εισαγωγή.....	16
2.1.2.2	Φύση του χρόνου	17
2.1.2.3	Πράξεις στο χρόνο	19
2.1.3	<i>Χωροχρονικές βάσεις δεδομένων.....</i>	<i>22</i>
2.1.3.1	Γενικά.....	22
2.1.3.2	Εισαγωγή.....	22
2.1.3.3	Ιδιότητες χωροχρονικών δεδομένων	24
2.1.3.4	Χωροχρονικά συστήματα.....	25
2.1.3.5	Μοντέλο Δεδομένων Κινούμενων Σημείων.....	27
2.1.3.6	Σημασιολογία.....	30
2.1.3.7	Το επεκταμένο μοντέλο.....	32
2.1.3.8	Υλοποίηση σε ΣΣΔΒΔ	33
2.2	Διαθέσιμες τεχνολογίες.....	34
2.2.1	<i>GSM – GPS – GPRS.....</i>	<i>34</i>
2.2.1.1	Υπολογισμός θέσης οχήματος.....	34
2.2.1.2	Αποστολή και αποθήκευση δεδομένων.....	36
2.2.2	<i>Γραφική απεικόνιση γεωγραφικών χαρτών</i>	<i>37</i>
2.3	Στόχος.....	38
2.3.1	<i>Συλλογή δεδομένων.....</i>	<i>38</i>

2.3.1.1	Πραγματικά δεδομένα.....	38
2.3.1.2	Δεδομένα προσομοίωσης.....	38
2.3.2	<i>Βάση δεδομένων.....</i>	<i>39</i>
2.3.2.1	Χωροχρονικός χαρακτήρας.....	39
2.3.2.2	Δείκτες.....	39
2.3.3	<i>Γραφικό περιβάλλον.....</i>	<i>40</i>
2.3.3.1	Διαχείριση.....	40
2.3.3.2	Γραφική απεικόνιση.....	40
3	Ανάλυση και σχεδίαση.....	41
3.1	Περιγραφή Αρχιτεκτονική.....	41
3.1.1	<i>Χρήστες του συστήματος.....</i>	<i>41</i>
3.1.2	<i>Οντότητες του συστήματος.....</i>	<i>42</i>
3.1.3	<i>Βάση δεδομένων.....</i>	<i>43</i>
3.1.3.1	Διάγραμμα οντοτήτων – συσχετίσεων.....	44
3.1.3.2	Προσπέλαση χωροχρονικών δεδομένων.....	47
3.1.4	<i>Κύρια εφαρμογή διαπροσωπείας χρήστη.....</i>	<i>49</i>
3.1.5	<i>Συλλογή μηνυμάτων.....</i>	<i>49</i>
3.1.6	<i>Εφαρμογή προσομοίωσης κίνησης.....</i>	<i>50</i>
3.1.7	<i>Ροή δεδομένων μεταξύ των μονάδων.....</i>	<i>51</i>
3.2	Περιγραφή Λειτουργιών.....	52
3.2.1	<i>Λειτουργίες της κύριας εφαρμογής.....</i>	<i>53</i>
3.2.1.1	Απεικόνιση Χάρτη.....	54
3.2.1.2	Πλοήγηση στο χάρτη.....	54
3.2.1.3	Απεικόνιση Δεδομένων.....	55
3.2.1.4	Διαχείριση Δεδομένων.....	55
3.2.1.5	Εξαγωγή Πληροφοριών.....	56
3.2.1.6	Αποθήκευση εικόνας.....	56
3.2.1.7	Βοήθεια – Εγχειρίδιο χρήστη.....	56
3.2.1.8	Ρύθμιση Παραμέτρων Εφαρμογής.....	57
3.2.2	<i>Λειτουργίες συλλογής δεδομένων.....</i>	<i>57</i>
3.2.3	<i>Λειτουργίες εφαρμογής δεδομένων προσομοίωσης.....</i>	<i>57</i>
4	Υλοποίηση.....	61
4.1	Πλατφόρμες και προγραμματιστικά εργαλεία.....	61
4.1.1	<i>Πλατφόρμα ανάπτυξης – προγραμματιστικά εργαλεία.....</i>	<i>61</i>

4.1.2	Πλατφόρμα εκτέλεσης.....	62
4.1.3	Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων.....	62
4.1.4	Απαιτήσεις του συστήματος	63
4.1.4.1	Απαιτήσεις σε λογισμικό.....	63
4.1.4.2	Απαιτήσεις σε hardware.....	63
4.2	Λεπτομέρειες υλοποίησης.....	64
4.2.1	Βάση δεδομένων.....	64
4.2.1.1	Σχεσιακό σχήμα βάσης.....	64
4.2.1.2	Προσπέλαση χωροχρονικών δεδομένων	65
4.2.2	Γραφική διαπροσωπεία	66
4.2.2.1	Κύρια φόρμα	66
4.2.2.2	Φόρμα διαχείρισης δεδομένων.....	70
4.2.2.3	Φόρμα ρυθμίσεων	76
4.2.3	Εφαρμογή συλλογής μηνυμάτων.....	78
4.2.4	Εφαρμογή παραγωγής δεδομένων προσομοίωσης.....	80
5	Έλεγχος.....	83
5.1	Μεθοδολογία Ελέγχου	83
5.2	Αναλυτική παρουσίαση έλεγχου.....	84
5.2.1	Γραφική Διαπροσωπεία – Κύρια Εφαρμογή.....	84
5.2.2	Εφαρμογή Συλλογής Μηνυμάτων	94
6	Επίλογος.....	97
6.1	Σύνοψη και συμπεράσματα.....	97
6.2	Μελλοντικές επεκτάσεις	99
7	Βιβλιογραφία.....	101

1

Εισαγωγή

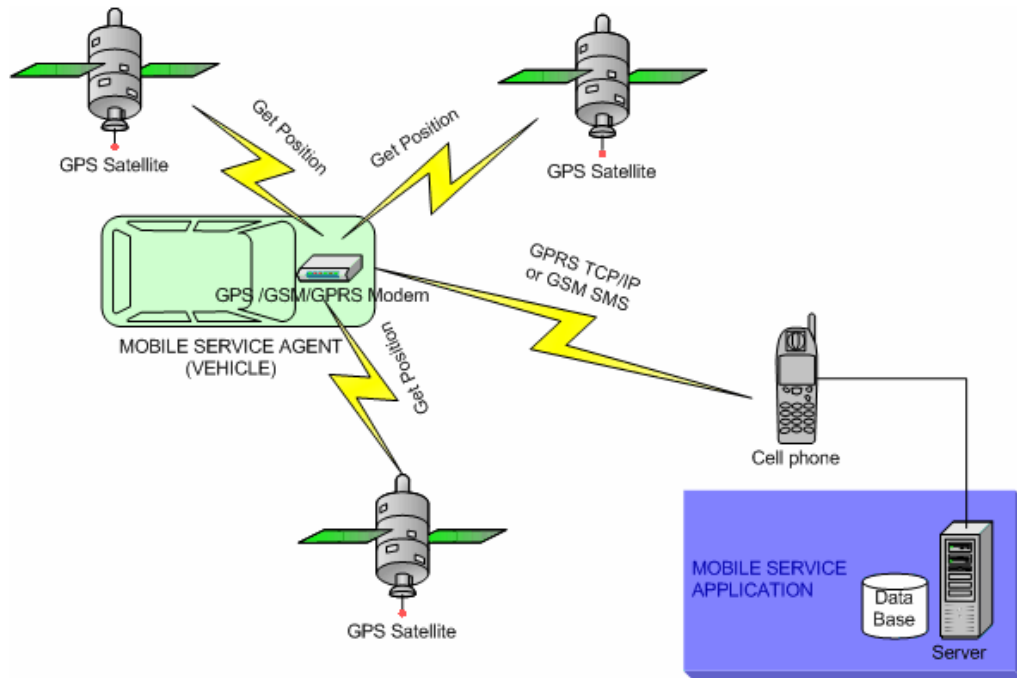
Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια αναφορά στο αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας και ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση της οργάνωσης αυτού του τόμου ώστε ο αναγνώστης να αποκτήσει μια γενική εικόνα της διπλωματικής εργασίας .

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Όπως αναφέρθηκε και στην περίληψη σκοπός είναι να χτιστεί ένα μια εφαρμογή για την υποστήριξη της έρευνας σε mobile e-services. Αυτές διαφέρουν από τις e-services στο ότι παροχείς (providers) και πελάτες (clients) μπορεί να κινούνται στο χώρο, δίνοντας μια χωροχρονική διάσταση στα προβλήματα της αναζήτησης και χρήσης μιας υπηρεσίας. Οι αλγόριθμοι που θα προταθούν θα πρέπει να δοκιμαστούν με όσο το δυνατόν ρεαλιστικότερα πειραματικά δεδομένα. Δεδομένου ότι οι πιο κλασσικές εφαρμογές m-services (mobile services) θα αναπτυχθούν στα αυτοκίνητά μας, θεωρούμε ότι μια εφαρμογή παρακολούθησης οχημάτων θα μας δώσει πληθώρα πραγματικών δεδομένων καθώς και ένα πλαίσιο πάνω στο οποίο θα μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα το ερευνητικό λογισμικό.

Η εφαρμογή θα αναπτυχθεί σε λειτουργικό Windows και με εργαλεία Microsoft Visual Studio .NET. Είναι προφανές ότι θα χρειαστεί απεικόνιση ψηφιακών χαρτών και γενικότερα χωρικής πληροφορίας (π.χ. οι θέσεις των agents) για την οποία θα χρησιμοποιηθούν τα ActiveX controls Map Objects της ESRI, τα οποία μπορούν και δείχνουν χάρτες που είναι αποθηκευμένοι σε διάφορα formats, προσφέροντας την απαραίτητη λειτουργικότητα.

Η εφαρμογή λοιπόν θα έχει ένα windows interface που με το map objects θα παρουσιάζει ένα χάρτη και τις θέσεις των οχημάτων πάνω σε αυτόν. Οι θέσεις των οχημάτων θα εντοπίζονται όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Κάθε όχημα θα μεταφέρει μια συσκευή Global Positioning System. Αυτή εκπέμπει σήμα σε τρεις δορυφόρους και από το χρόνο που έκανε να επιστρέψει υπολογίζει το γεωγραφικό μήκος και πλάτος με ακρίβεια 10 μέτρων. Επίσης η ίδια συσκευή είναι και GSM/GPRS modem, έτσι με μία σύνδεση κινητής τηλεφωνίας είτε κάνει GPRS σύνδεση στο internet και στέλνει συνέχεια τη θέση του οχήματος, είτε ανά τακτά χρονικά διαστήματα στέλνει ένα κοινό SMS με τη θέση. Το modem αυτό είναι διαθέσιμο για χρήση κατά τη διάρκεια της διπλωματικής.

Ο Server που θα τρέχει την εφαρμογή θα έχει μια web service μέσω της οποίας θα ενημερώνει τη θέση του ένα όχημα. Ο Server θα είναι συνδεδεμένος με ένα κινητό τηλέφωνο ώστε να γίνεται η επικοινωνία και μέσω των SMS.

Τα δεδομένα λοιπόν των οχημάτων θα συγκεντρώνονται σε μια βάση δεδομένων και θα αποτελέσουν τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν σε πειράματα πάνω σε m-services και χωροχρονικές βάσεις.

Το πλαίσιο μπορεί να επεκταθεί υποστηρίζοντας χωροχρονικούς δείκτες για την οργάνωση της πληροφορίας των τροχιών των οχημάτων καθώς και πάνω του μπορούν να εφαρμοστούν αλγόριθμοι που λύνουν διάφορα προβλήματα του χώρου όπως η δρομολόγηση των οχημάτων.

1.2 Οργάνωση του τόμου

Η διπλωματική εργασία παρουσιάζεται σε δύο τόμους. Στον πρώτο τόμο γίνεται παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου, διαθεσίμων τεχνολογιών και η ανάλυση των εφαρμογών που θα αναπτυχθούν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Ο δεύτερος τόμος αποτελείται από τα εγχειρίδια των εφαρμογών που περιγράφονται στον πρώτο τόμο και άλλα τεχνικά θέματα όπως πηγαίος κώδικας, αποτελέσματα κλπ.

Ο παρόν πρώτος τόμος οργανώνεται στα εξής κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια αναφορά στο αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας και ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση της οργάνωσης αυτού του τόμου ώστε ο αναγνώστης να αποκτήσει μια γενική εικόνα του πρώτου τόμου της διπλωματικής εργασίας .

Κεφάλαιο 2

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με τις χωρικές, χρονικές και χωροχρονικές βάσεις δεδομένων και εφαρμογές αυτών στην κίνηση στόχων (οχημάτων) στο δισδιάστατο χώρο. Παρουσιάζονται επίσης υπάρχουσες τεχνολογίες και εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Τέλος οριοθετείται ο στόχος της διπλωματικής εργασίας.

Κεφάλαιο 3

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται η ανάλυση και η σχεδίαση του συστήματος που πρόκειται να αναπτυχθεί. Παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του συστήματος και περιγράφονται οι λειτουργίες που θα προσφέρει στον χρήστη.

Κεφάλαιο 4

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες της υλοποίησης του συστήματος. Περιγράφονται τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης υλοποίησης, όπως η πλατφόρμα ανάπτυξης και εκτέλεσης, τα προγραμματιστικά εργαλεία, οι απαιτήσεις της εφαρμογής σε hardware, κ.λ.π. Περιγράφεται επίσης η υλοποίηση των σχεδιαστικών οντοτήτων που περιγράφονται στο κεφάλαιο 3.

Κεφάλαιο 5

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται ο τρόπος ελέγχου του συστήματος που θα αναπτυχθεί καθώς και αναλυτικά τα αποτελέσματα του έλεγχου.

Κεφάλαιο 6

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια σύνοψη της διπλωματικής εργασίας και των αποτελεσμάτων. Αναφέρονται επίσης κατευθύνσεις στις οποίες μπορεί να συνεχιστούν και να επεκταθούν τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας.

Κεφάλαιο 7

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στη σχετική βιβλιογραφία και στο διαδύκτιο.

2

Περιγραφή Θέματος

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με τις χωρικές, χρονικές και χωροχρονικές βάσεις δεδομένων και εφαρμογές αυτών στην κίνηση στόχων (οχημάτων) στο δισδιάστατο χώρο. Παρουσιάζονται επίσης υπάρχουσες τεχνολογίες και εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Τέλος οριοθετείται ο στόχος της διπλωματικής εργασίας.

2.1 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται το θεωρητικό υπόβαθρο με το αντικείμενο της διπλωματικής και τα μοντέλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για την ολοκλήρωση της διπλωματικής.

2.1.1 Βάσεις χωρικών δεδομένων

2.1.1.1 Εισαγωγή

Οι βάσεις χωρικών δεδομένων αποτελούν σημείο αιχμής της έρευνας στον τομέα των βάσεων δεδομένων τα τελευταία χρόνια. Η βασική εφαρμογή τους είναι η υποστήριξη των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων – ΓΠΣ (Geographical Information Systems – GIS). Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στη χαρτογράφηση τόσο περιοχών όσο και διαφόρων δικτύων όπως οδικών, τηλεφωνικών, δικτύων υπολογιστών

κ.α. Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να δώσουμε εν συντομία τα βασικά χαρακτηριστικά μιας βάσης χωρικών δεδομένων και των τρόπων προσπέλασης αυτών με χρήση των πολυδιάστατων μεθόδων προσπέλασης.

2.1.1.2 Ορισμός

Πρώτα πρέπει να αναφέρουμε τι είναι μια βάση χωρικών δεδομένων και σε τι διαφέρει από μια “απλή” βάση δεδομένων. Μια βάση χωρικών δεδομένων προφανώς παρέχει όλα όσα παρέχει και μια απλή βάση δεδομένων.

Όμως επιπλέον παρέχει την δυνατότητα να παρασταθούν και να αποθηκευτούν *τύποι χωρικών δεδομένων* όπως π.χ. ένα σημείο στο χώρο, μία ευθεία ή και ένα πολύπλοκο γεωμετρικό σχήμα ενός κ-διάστατου χώρου (πρακτικά ενδιαφερόμαστε για χώρους διάστασης το πολύ ίση με 3). Πέραν όμως από την παράσταση των παραπάνω τύπων χρειάζεται και υποστήριξη των σχέσεων μεταξύ τους, των ιδιοτήτων τους καθώς και διαφόρων πράξεων με αυτά. Τέλος χρειάζεται και ένα αποδοτικός τρόπος αναζήτησης και προσπέλασης των τύπων χωρικών δεδομένων όπως ακριβώς και στις απλές βάσεις δεδομένων. Εκ των πραγμάτων οι μέθοδοι αναζήτησης και προσπέλασης πρέπει να είναι διαφορετικές και πιο ισχυρές από ότι στις απλές βάσεις αφού απαιτούνται λειτουργίες που δεν συναντώνται στις απλές βάσεις, όπως για παράδειγμά να βρεθούν εκείνα τα δισδιάστατα σχήματα που περιέχονται σε κάποιο υπόχωρο του δισδιάστατου χώρου.

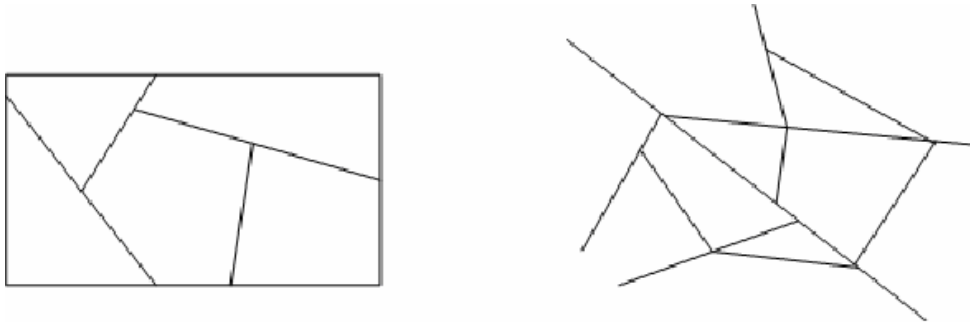
2.1.1.3 Τύποι χωρικών δεδομένων

Για να οριστούν οι τύποι των χωρικών δεδομένων πρέπει να ληφθεί υπόψη τι χρειάζεται να μοντελοποιηθεί ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες μας. Υπάρχουν γενικά δυο πράγματα που πρέπει να μοντελοποιηθούν. Το πρώτο είναι ο ίδιος ο χώρος. Για παράδειγμα να σε ένα χάρτη θέλουμε να χωρίσουμε το χώρο σε κράτη. Το δεύτερο είναι διάφορα αντικείμενα στο χώρο, όπως για παράδειγμα πόλεις, ποτάμια, δρόμοι, δίκτυα μεταφοράς κλπ καθώς και συνδέσεις μεταξύ τους όπως σιδηροδρομική διάβαση ή μια γέφυρα.

Για τη μοντελοποίηση των αντικειμένων στο χώρο χρειάζονται σημεία, γραμμές και περιοχές (σχήμα με εμβάδόν). Τα σημεία αντιπροσωπεύουν την περίπτωση που θέλουμε μόνο τη θέση ενός αντικειμένου στο χώρο που δεν παίζει ρόλο η έκταση. Οι γραμμές αποτελούν τρόπο σύνδεσης αντικειμένων. Τέλος οι περιοχές αναπαριστούν αντικείμενο με έκταση στο χώρο. Όσον αφορά στην μοντελοποίηση του ιδίου του χώρου χρειάζεται ένας τρόπος να χωριστεί σε τεμάχια και ένας τρόπος να φτιάχνουμε δίκτυα μέσα του. Τα παραπάνω φαίνονται στα σχήματα 2.1 και 2.2.



Σχήμα 2.1: Σημείο, γραμμή, περιοχή

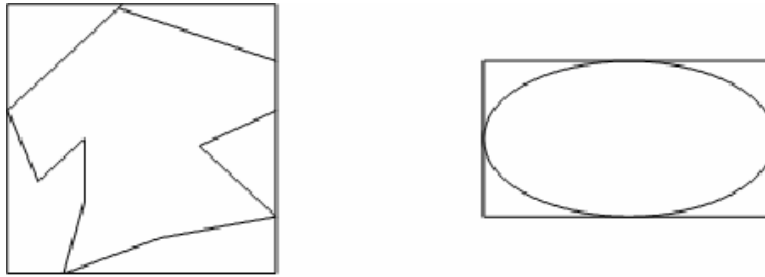


Σχήμα 2.2: Τεμαχισμός, δικτύωση

Από τα παραπάνω είναι φανερό πως τα χωρικά δεδομένα μοντελοποιούνται με πολύπλοκες δομές, που πολλές φορές είναι αδύνατο να τα αποθηκεύσουμε σε κλασσικούς σχεσιακούς πίνακες. Επίσης τα δεδομένα (και άρα οι αντίστοιχες ΒΔ) τείνουν να καταλαμβάνουν πολύ μεγάλο χώρο στο δίσκο, και η αποθήκευση στην κύρια μνήμη είναι αδύνατη. Τέλος οι χωρικοί τελεστές είναι εν γένη πιο ακριβή από τους κλασσικούς τελεστές.

2.1.1.4 Τελεστές

Για γίνει πιο σαφές το τι συζητάμε, θα δώσουμε τους ορισμούς των πιο συχνά συναντώμενων τελεστών χωρικών δεδομένων. Πριν γίνει αυτό, πρέπει να τονίσουμε ότι πολύ συχνά λόγω της πολυπλοκότητας των γεωμετριών των αντικειμένων σε μια βάση χωρικών δεδομένων, οι τελεστές αρχικά επιχειρούν να βρουν υποψήφιες λύσεις χρησιμοποιώντας περιβάλλοντα κουτιά (bounding box) τα οποία περικλείουν τη σύνθετη γεωμετρία (σχήμα 2.3). Τα περιβάλλοντα κουτιά έχουν προφανώς το ελάχιστο εμβαδόν και γι' αυτό αποκαλούνται *ελάχιστα περιβάλλοντα κουτιά*. Στη συνέχεια οι τελεστές βρίσκουν τις ακριβείς λύσεις χρησιμοποιώντας την ακριβή γεωμετρία και εξετάζοντας τις υποψήφιες λύσεις σειριακά.



Σχήμα 2.3: Ελάχιστα περιβάλλοντα κουτιά

Οι πιο δημοφιλείς τελεστές βάσεων χωρικών δεδομένων είναι:

- *Ισότητας* (exact match query): Δοθέντος ενός αντικειμένου με μια γεωμετρία να βρεθούν όλα τα αντικείμενα με την ίδια γεωμετρία.
- *Σημείου* (point query): Δοθέντος ενός σημείου του κ-διάστατου χώρου, να βρεθούν όλα τα αντικείμενα που το περιέχουν.
- *Παραθύρου* (window query): Δοθέντος ενός κ-διάστατου παραθύρου, να βρεθούν όλα τα αντικείμενα που έχουν ένα τουλάχιστον κοινό σημείο με το παράθυρο.
- *Τομής* (intersection query): Δοθέντος ενός αντικειμένου να βρεθούν όλα τα αντικείμενα με τα οποία έχει κοινά εσωτερικά σημεία.
- *Παθητικού Εγκλεισμού* (enclosure query): Δοθέντος ενός αντικειμένου να βρεθούν όλα τα αντικείμενα που το περιέχουν.
- *Ενεργητικού Εγκλεισμού* (containment query): Δοθέντος ενός αντικειμένου να βρεθούν όλα τα αντικείμενα που αυτό περιέχει.
- *Γειτνίασης* (adjacent query): Δοθέντος ενός αντικειμένου να βρεθούν όλα τα αντικείμενα με τα οποία δεν έχει κανένα κοινό εσωτερικό σημείο αλλά έχει κάποια κοινά εξωτερικά σημεία (δηλαδή αυτά που εφάπτονται κατά κάποιο τρόπο)

Τέλος αξίζει να σημειωθεί και η ανάγκη για σύνδεση (join) με βάση κάποιο χωρικό χαρακτηριστικό των δεδομένων μιας βάσης (spatial join).

2.1.1.5 Μέθοδοι προσπέλασης χωρικών δεδομένων

Μια σημαντική κλάση χωρικών τελεστών οι οποίοι χρειάζονται ειδική αντιμετώπιση είναι οι τελεστές *επιλογής* χωρικών δεδομένων γιατί η ανεύρεση και ενημέρωση τέτοιων δεδομένων εξαρτάται και από την θέση τους στο χώρο. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν αυτοί οι τελεστές διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στις *μεθόδους προσπέλασης σημείων* (point access methods) και στις *μεθόδους προσπέλασης περιοχών* (spatial access methods). Το βασικό πρόβλημα στη σχεδίαση τέτοιων μεθόδων είναι ότι δεν υπάρχει απόλυτος τρόπος αντιστοίχισης του διδιάστατου χώρου (κ-διάστατου στη γενική περίπτωση) στο

μονοδιάστατο χώρο ο οποίος να εγγυάται πως δυο αντικείμενα που βρίσκονται κοντά στο δισδιάστατο χώρο θα βρίσκονται κοντά στο μονοδιάστατο χώρο. Άρα προκύπτει ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι κλασσικές μέθοδοι προσπέλασης, όπως τα B-δέντρα ή τα αρχεία κατακερματισμού, αλλά απαιτούνται άλλες ειδικές μέθοδοι. Οι παραπάνω μέθοδοι ονομάζονται *πολυδιάστατες μέθοδοι προσπέλασης* (multidimensional access methods). Οι μέθοδοι αυτές οφείλουν να ικανοποιούν πολλές απαιτήσεις όπως δυνατότητα αποδοτικής χρήσης δευτερεύουσας μνήμης, ανεξαρτησία από την κατανομή των δεδομένων, απλότητα (simplicity), ανεξαρτησία από την διόγκωση της βάσης (scalability) και βέβαια αποδοτικότητα (efficiency).

Πριν προχωρήσουμε στις πολυδιάστατες μεθόδους προσπέλασης είναι χρήσιμο να αναφερθούμε επιγραμματικά στις επικρατούσες μονοδιάστατες μεθόδους προσπέλασης.

Αναφέρουμε αρχικά το *γραμμικό κατακερματισμό* (linear hashing). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ένα διάστημα $[A, B)$ διαιρείται σε διαστήματα (intervals) μεγέθους $(B-A)/2^k$ και $(B-A)/2^{k+1}$. Τα πιο μικρά διαστήματα ξεκινάνε από την αρχή και φτάνουν μέχρι ένα δείκτη t . Κάθε διάστημα αντιστοιχεί σε ένα κάδο (bucket) που είναι ένα σύνολο από εγγραφές. Όταν κάποιος κάδος γεμίσει σπάει ένας από τους μεγάλους κάδους και ο δείκτης t προχωράει μία θέση. Όταν ένας κάδος έχει υπεράριθμα δεδομένα αυτά μπαίνουν σε μία σελίδα υπερχειλίσης. Σε αντίθεση με το παραπάνω ο *επεκτατός κατακερματισμός* (extensible hashing) δεν χρησιμοποιεί σελίδες υπερχειλίσης αλλά ένα κεντρικό κατάλογο. Τα διαστήματα καλούνται κελιά (cells). Κάθε κελί έχει ένα δείκτη στον κεντρικό κατάλογο και αρχικά αντιστοιχεί σε ένα κάδο. Αν κάποιο κελί γεμίσει τότε όλα τα κελιά σπάνε στα δύο και οι δείκτες αναπροσαρμόζονται.

Μια άλλη, ιδιαίτερα δημοφιλής, οργάνωση είναι το B^+ -δέντρο το οποίο οργανώνει τα δεδομένα σε μία ιεραρχική δεντρική μορφή. Το B^+ -δέντρο είναι ένα ισοσταθμισμένο δέντρο τα φύλλα του οποίου αποτελούνται από κλειδιά και δείκτες προς τα δεδομένα, ενώ οι εσωτερικοί κόμβοι από κλειδιά και δείκτες προς απογόνους κόμβους. Κάθε κόμβος έχει ένα ανώτατο και ένα κατώτατο όριο στον αριθμό των απογόνων του. Αν ο αριθμός των απογόνων πέσει κάτω από το κατώτατο όριο γίνεται συνένωση (merge) δύο κόμβων ενώ αν υπερβεί το ανώτατο όριο έχουμε διάσπαση (split) του κόμβου που υπερχειλίζει σε δύο κόμβους.

Στην συνέχεια θα αναφερθούμε στις κυριότερες πολυδιάστατες μεθόδους προσπέλασης που έχουν προταθεί οι οποίες βασίζονται είτε στα αρχεία κατακερματισμού είτε στα B^+ -δέντρα. Οι μέθοδοι αυτοί θα παρουσιαστούν επιγραμματικά χωρίς να υπεισέρθουμε σε λεπτομέρειες.

Δεν θα μας απασχολήσουν μέθοδοι που δουλεύουν στην κύρια μνήμη αφού όπως αναφέρθηκε οι τα χωρικά δεδομένα και οι βάσεις χωρικών δεδομένων συνήθως καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο στο δίσκο.

Μέθοδοι προσπέλασης σημείων

Το αρχείο πλέγματος (Grid file) και το αρχείο πλέγματος διπλού σταδίου (tow level grid file)

Το *αρχείο πλέγματος* υπερθέτει ένα κ-διάστατο ορθογωνικό πλέγμα στον κ-διάστατο χώρο. Τα κελιά του πλέγματος μπορούν να έχουν διαφορετικό σχήμα και μέγεθος. Ένας κατάλογος συσχετίζει ένα ή περισσότερα κελιά με έναν από τους κάδους δεδομένων οι οποίοι αποθηκεύονται ο καθένας σε μία σελίδα του δίσκου. Ο κατάλογος λόγω του μεγάλου εν γένη μεγέθους αποθηκεύεται στην δευτερεύουσα μνήμη, ενώ το πλέγμα για λόγους απόδοσης αποθηκεύεται στην κύρια μνήμη (έτσι εξασφαλίζεται ότι για να βρούμε ένα δεδομένο θα έχουμε το πολύ δύο προσπελάσεις στο δίσκο). Ο μέσος χρησιμοποιούμενος χώρος του αρχείου πλέγματος έχει βρεθεί ότι είναι 69%.

Συγγενική μέθοδος είναι το *αρχείο πλέγματος διπλού σταδίου*, το οποίο χρησιμοποιεί ένα δεύτερο πλέγμα για να διαχειριστεί τον κατάλογο πλέγματος. Στο πρώτο στάδιο έχουμε τον κατάλογο ρίζα ο οποίος είναι μια χονδρική αναπαράσταση του πλέγματος. Ο κατάλογος ρίζα περιέχει δείκτες στους καταλόγους του δεύτερου σταδίου οι οποίοι περιέχουν δείκτες προς τα σελίδες δεδομένων.

Το αρχείο ισοσταθμισμένου και φωλιασμένου πλέγματος (BANG file)

Το *αρχείο ισοσταθμισμένου και φωλιασμένου πλέγματος* (**balanced and nested grid file** – BANG file) επιχειρεί να δώσει λύση στο πρόβλημα της εκθετικής αύξησης του μεγέθους του καταλόγου του αρχείου πλέγματος. Το BANG χωρίζει επίσης το χώρο σε υπόχωρους. Η διαφορά έγκειται στο ότι οι υπόχωροι επιτρέπεται να τέμνονται. Επίσης είναι δυνατόν να δημιουργηθούν μη παραλληλόγραμμοι υπόχωροι με τη γεωμετρική διαφορά ανάμεσα σε δύο παραλληλόγραμμους. Για τη διαχείριση του προκύπτοντος καταλόγου, το BANG αρχείο χρησιμοποιεί ισοσταθμισμένες δεντρικές δομές αναζήτησης.

Το δέντρο φίλος (The buddy tree)

Το *δέντρο φίλος* στηρίζεται σε δυναμικό κατακερματισμό και ο κατάλογός του είναι δομημένος ως δέντρο. Πρόκειται δηλαδή για μια υβριδική μέθοδο. Το δέντρο κατασκευάζεται με συνεχόμενες υποδιαιρέσεις του χώρου σε δύο μέρη ίσων διαστάσεων με χρήση γραμμών παράλληλων στους άξονες. Κάθε εσωτερικός κόμβος αντιστοιχεί σε ένα δισδιάστατο μέρος M του αρχικού χώρου και σε ένα διάστημα I το οποίο αποτελεί το ελάχιστο περιβάλλον κουτί του παραπάνω μέρους. Τα μέρη που αντιστοιχούν σε κόμβους του ιδίου επιπέδου δεν έχουν κοινά σημεία και το σύνολό τους αποτελεί ολόκληρο το χώρο του επιπέδου αυτού. Στα φύλα δέντρου έχουμε δείκτες προς τα δεδομένα. Αξίζει να σημειωθούν τα εξής: (α) κάθε κόμβος περιέχει τουλάχιστον δύο δεδομένα, (β) τα I επαναπροσδιορίζονται όποτε έχουμε διαχωρισμό ενός κόμβου, και τέλος (γ) υπάρχει μόνο ένας δείκτης για κάθε σελίδα του καταλόγου εκτός από την περίπτωση της ρίζας του καταλόγου. Το δέντρο φίλος δεν είναι απαραίτητα ισοσταθμισμένο και εξασφαλίζει ότι ο κατάλογος μεγαλώνει γραμμικά.

Τέλος, το δέντρο φίλος έχει αποδειχτεί μια από τις καλύτερες μεθόδους προσπέλασης σημείων.

Οι προηγούμενες μέθοδοι είναι βασισμένες είτε εξολοκλήρου είτε σε μεγάλο βαθμό στο κατακερματισμό. Στην συνέχεια αναφέρονται ιεραρχικές μέθοδοι προσπέλασης οι οποίες δεν κάνουν υπολογισμό κάποιας διεύθυνσης. Όπως και πριν έχουμε οργάνωση των σημείων – δεδομένων σε κάδους οι οποίοι συνήθως αντιστοιχούν σε φύλλα δέντρου και σε μια σελίδα δίσκου. Οι εσωτερικοί κόμβοι χρησιμοποιούνται στην αναζήτηση και αντιστοιχούν σε υπόχωρους του αρχικού χώρου.

Το K-D-B-δέντρο

Αρχικά αναφέρουμε το *K-D-δέντρο*, το οποίο είναι μια δομή κύριας μνήμης. Το *K-D-δέντρο* είναι ένα δυαδικό δέντρο το οποίο παριστάνει τη διαδοχική υποδιαίρεση του χώρου σε υπόχωρους μέσω υπερεπιπέδων (γραμμές στην περίπτωση του δισδιάστατου χώρου) διάστασης $D-1$ στη γενική περίπτωση D -διάστατου χώρου. Κάθε υπερεπίπεδο οφείλει να περιέχει τουλάχιστον ένα σημείο-δεδομένο. Το βασικό πρόβλημα του παραπάνω δέντρου είναι ότι εξαρτάται έντονα από τη σειρά με την οποία θα εισαχθούν τα σημεία, και αν αυτή αλλάξει προκύπτει διαφορετικό δέντρο. Το προσαρμοσμένο *K-D-δέντρο* είναι μια παραλλαγή που λύνει αυτό το πρόβλημα. Το δέντρο χωρίζει κάθε φορά του τους υπόχωρους με τέτοιο τρόπο ώστε σε κάθε προκύπτον υπόχωρο να βρίσκεται σχεδόν ίδιος αριθμός σημείων. Οι εσωτερικοί κόμβοι κρατάνε την τετμημένη ή την τεταγμένη των γραμμών και τα σημεία-δεδομένα αποθηκεύονται στα φύλλα του δέντρου.

Το *K-D-B-δέντρο* συνδυάζει τις ιδιότητες του προσαρμοσμένου *K-D-δέντρου* με αυτές του *B-δέντρου*. Χωρίζει και αυτό το χώρο σε υπόχωρους τους οποίους αντιστοιχεί στους εσωτερικούς κόμβους του και είναι πλήρως ισοσταθμισμένο όπως το *B-δέντρο*. Τόσο η εισαγωγή νέου στοιχείου όσο και η διαγραφή γίνεται σύμφωνα με τους αλγορίθμους του *K-D-δέντρου* και είναι άμεσες διαδικασίες.

Το hB-δέντρο

Το *hB-δέντρο* (holey brick tree) έχει μια σημαντική διαφορά από τα προηγούμενα. Το σπάσιμο ενός κόμβου σε δύο στηρίζεται σε πολλά χαρακτηριστικά (ενώ μέχρι τώρα γινόταν μόνο στο ενδεχόμενο να γεμίσει ο κόμβος). Οι κόμβοι δεν αντιστοιχούν σε παραλληλόγραμμα αλλά σε περιοχές που προκύπτουν από αφαίρεση μικρότερων παραλληλογράμμων από μεγαλύτερα, κάτι αντίστοιχο με αυτό που γίνεται στο BANG αρχείο. Από το χαρακτηριστικό αυτό προέρχεται και το όνομα του.

Οι εσωτερικοί κόμβοι του δέντρου χρησιμοποιούν *K-D-δέντρα* για να απεικονίσουν τον χώρο στον οποίο αντιστοιχούν. Επιτρέπεται σε αυτούς να έχουν περισσότερα από ένα φύλλα που δείχνουν στον ίδιο απόγονο κόμβο με αποτέλεσμα να μην έχουμε δέντρο πια αλλά έναν προσανατολισμένο ακυκλικό γράφο. Τα φύλλα του δέντρου μπορούν να δείχνουν είτε σε

εγγραφές με δεδομένα, είτε σε άλλους κόμβους του δέντρου, είτε τέλος να υποδηλώνουν ένα αποκομμένο κομμάτι. Το παραπάνω δέντρο έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα άλλα αλλά αυτή η μη κανονική κατασκευή μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σε ορισμένες εφαρμογές.

Το LSD δέντρο

Το δέντρο τοπικής απόφασης διάσπασης (**l**ocal **s**plit **d**ecision tree) έχει ένα κατάλογο ο οποίος οργανώνεται με χρήση του προσαρμοσμένου K-D-δέντρου και χωρίζει το χώρο σε κελιά διαφόρων διαστάσεων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη προσαρμογή της μεθόδου στις διάφορες πιθανές κατανομές δεδομένων. Το δέντρο αυτό είναι ισοσταθμισμένο, πράγμα που επιτυγχάνεται με χρήση ενός ειδικού αλγορίθμου, σύμφωνα με τον οποίο, αν έχουμε απαγορευτικά μεγάλο μέγεθος καταλόγου για να διατηρηθεί στην κύρια μνήμη, επιλέγονται κάποια υποδέντρα τα οποία αποθηκεύονται σε εξωτερική σελίδα έτσι ώστε να έχουμε ισοσταθμισμένο δέντρο. Η ισχύς της δομής αυτής έγκειται στο ότι όχι μόνο δεν θεωρεί τα δεδομένα ακολουθούν ομοιόμορφη κατανομή, αλλά και λαμβάνει υπόψη της τυχόν ακανόνιστα δεδομένα.

Μέθοδοι προσπέλασης περιοχών

Ο χειρισμός μη-σημειακών χωρικών δεδομένων με έκταση στο χώρο απαιτεί ιδιαίτερες τεχνικές λόγω της φύσης των δεδομένων. Τρεις είναι οι βασικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται και αναφέρονται στη συνέχεια εν συντομία.

Η τεχνική μετασχηματισμού

Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, ένα αντικείμενο με έκταση στο δισδιάστατο χώρο (η τεχνική γενικεύεται και στον K-διάστατο χώρο) μπορεί να καθοριστεί πλήρως με στοιχεία του μονοδιάστατου χώρου. Για να είναι αποδεκτή μια τέτοια διαδικασία πρέπει το αντικείμενο να έχει σχετικά απλό σχήμα. Για παράδειγμα ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο μπορεί να παρασταθεί από δύο απέναντι κορυφές (άρα ένα τετραδιάστατο σημείο) και άρα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις προηγούμενες μεθόδους που αφορούν σε σημεία.

Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτός ο τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος έχει αρκετά μειονεκτήματα όπως μεγαλύτερη πολυπλοκότητα, αλλαγή της κατανομής που ακολουθείται από τα δεδομένα και αλλαγή της απόστασης ανάμεσα σε δύο δεδομένα τα οποία ενώ πριν τον μετασχηματισμό ήταν κοντά μπορεί μετά τον μετασχηματισμό να βρίσκονται αυθαίρετα μακριά.

Η τεχνική αλληλοεπικαλυπτόμενων περιοχών

Η δεύτερη τεχνική στηρίζεται στην ιδέα να αφήνουμε διαφορετικούς κάδους δεδομένων να αντιστοιχούν σε αλληλοεπικαλυπτόμενες περιοχές (overlapping regions) του χώρου. Για

παράδειγμα ένα αντικείμενο με έκταση και προς τις δύο πλευρές ενός ορίου δύο υπόχωρων μπορεί να ανήκει και στους δύο υπόχωρους. Σε μια τέτοια περίπτωση οι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν είναι άμεσα εφαρμόσιμοι, ενδέχεται, όμως, να έχουμε προβλήματα στην απόδοση, αφού κατά την προσπέλαση ενός στοιχείου, ίσως χρειαστεί να ακολουθήσουμε παραπάνω από έναν δρόμους, λόγω ακριβώς αυτής της αλληλοεπικάλυψης.

Τεχνική αποκοπής

Τέλος, έχουμε την τεχνική αποκόμματος (*clipping*). Σύμφωνα με την τεχνική αυτή δεν έχουμε ποτέ αλληλοεπικάλυψη. Σε περίπτωση όπου ένα αντικείμενο εκτείνεται σε περισσότερες από μια περιοχές, είτε το σπάμε και αποθηκεύουμε κάθε κομμάτι του σε διαφορετικό κάδο, είτε το αποθηκεύουμε ολόκληρο σε έναν από τους κάδους.

Το βασικό πρόβλημα της μεθόδου αυτής είναι ακριβώς ότι τα δεδομένα διασκορπίζονται σε διαφορετικές σελίδες δεδομένων με αποτέλεσμα και η απόδοση να μειώνεται και να έχουμε πιο συχνές υπερχειλίσεις κάδων. Ένα δεύτερο πρόβλημα οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε φορά που εισάγουμε ένα αντικείμενο που δε χωράει ολόκληρο σε έναν υπόχωρο πρέπει να μεγαλώσουμε τον υπόχωρο. Αν αυτό οδηγήσει σε αλληλοεπικάλυψη πρέπει να σπάσουμε το αντικείμενο και να εισάγουμε τα κομμάτια του κ.ο.κ.

Συνολικά, πάνω από εκατό μέθοδοι προσπέλασης περιοχών έχουν προταθεί τα τελευταία χρόνια. Στη συνέχεια θα αναφέρουμε τις πιο σημαντικές από αυτές.

Το R-δέντρο

Το R-δέντρο αντιστοιχεί σε μια δομή φωλιασμένων δισδιάστατων διαστημάτων. Κάθε κόμβος v του δέντρου αντιστοιχεί σε μια σελίδα δίσκου και σε ένα δισδιάστατο διάστημα $I(v)$. Τα διαστήματα που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο μπορούν να αλληλεπικαλύπτονται. Οι απόγονοι του εσωτερικού κόμβου v αντιστοιχούν σε περιοχές που ανήκουν στο $I(v)$. Αν ο κόμβος v είναι φύλλο, το $I(v)$ είναι το ελάχιστο περιβάλλον κουτί των αντικειμένων που είναι αποθηκευμένα στον κόμβο με τη μορφή των ελαχίστων περιβαλλόντων κουτιών τους. Επίσης είναι αποθηκευμένος ένας δείκτης προς το πλήρες αντικείμενο για κάθε αντικείμενο.

Κάθε κόμβος εκτός της ρίζας περιέχει από m μέχρι M στοιχεία, η δε ρίζα έχει τουλάχιστον δύο στοιχεία εκτός και αν είναι φύλλο. Το δέντρο είναι ισοσταθμισμένο. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η αναζήτηση στο R-δέντρο είναι παρόμοια με αυτή στο B-δέντρο. Λόγω όμως της αλληλοεπικάλυψης ενδέχεται να αναγκαστούμε να ακολουθήσουμε περισσότερα από ένα μονοπάτια στο δέντρο.

Για την εισαγωγή ενός στοιχείου εισάγουμε, εισάγουμε το ελάχιστο περιβάλλον κουτί του και ένα δείκτη στο πλήρες αντικείμενο. Ξεκινάμε από τη ρίζα και πάμε προς τα φύλλα επιλέγοντας κάθε φορά εκείνο τον κόμβο του οποίου το $I(v)$ χρειάζεται την ελάχιστη αύξηση. Όταν φτάσουμε σε φύλλο εισάγουμε το αντικείμενο. Αν δεν χωράει δημιουργούμε μια νέα

σελίδα και μοιράζουμε τα αντικείμενα στις δύο σελίδες. Κατά τη διαγραφή ίσως χρειαστεί να ακολουθήσουμε πολλά μονοπάτια με αποτέλεσμα να χρειαστεί να μεταβάλουμε πολλά διαστήματα – πράγμα που σημαίνει χαμηλή απόδοση.

Οι παραλλαγές R^+ -δέντρο και R^* -δέντρο

Προκειμένου να λυθεί το προβλήματα που προκαλούνται από την δυνατότητα αλληλοεπικάλυψης στην περίπτωση του R -δέντρου, προτάθηκε το R^+ -δέντρο το οποίο χρησιμοποιεί τεχνική αποκοπής. Έτσι ένα αντικείμενο ενδέχεται να διαχωριστεί και να αποθηκευτεί σε πολλούς κάδους. Κατά την εισαγωγή ενός αντικειμένου ενδέχεται να ακολουθήσουμε πολλά μονοπάτια ανάλογα με το πόσα με διαστήματα τέμνεται το ελάχιστο περιβάλλον κουτί του αντικειμένου. Κατά τη διαγραφή, αρχικά βρίσκουμε όλα τα κομμάτια του αντικειμένου και μετά τα αφαιρούμε. Αν τα στοιχεία κάποιου κόμβου μειωθούν πολύ επιχειρούμε να το ενώσουμε με τους γειτονικούς του.

Τέλος μια επιπλέον παραλλαγή των R -δέντρων είναι το R^* -δέντρο, στο οποίο έχουμε τη λεγόμενη επιβεβλημένη επανεισαγωγή. Σύμφωνα με αυτή, αν κάποιος κόμβος υπερχειλίζει, προτού τον σπάσουμε του αφαιρούμε p (τυπική τιμή 30%) στοιχεία και τα επανεισάγουμε με την ελπίδα να μην χρειαστεί τελικά το σπάσιμο.

Το κυτταρικό δέντρο (cell tree)

Το *κυτταρικό δέντρο* σχεδιάστηκε για να διευκολυνθεί ο χειρισμός αντικειμένων με αυθαίρετο σχήμα χρησιμοποιώντας την τεχνική του αποκόμματος. Το δέντρο αντιστοιχεί στον διαμελισμό του αρχικού χώρου σε ασύνδετους κυρτούς υποχώρους. Στους εσωτερικούς κόμβους αποθηκεύονται οι γραμμές που χωρίζουν το χώρο και στα φύλλα του δέντρου, τα οποία αντιστοιχούν στους υποχώρους, όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για κάθε αντικείμενο που ανήκει στον αντίστοιχο υπόχωρο. Η τελευταία αυτή ιδιότητα αποτελεί πλεονέκτημα σε σχέση με τα R -δέντρα, στο οποίο όπως είδαμε αποθηκεύονται ελάχιστα κουτιά και όχι η πληροφορία για κάθε αντικείμενο.

Το P -δέντρο

Το P -δέντρο εισάγει έναν αριθμό από διευθύνσεις, έστω m , στον k -διάστατο χώρο όπου $m > k$. Στην περίπτωση των δύο διαστάσεων θα μπορούσαμε να έχουμε π.χ. $m = 4$ με δύο εκ των διευθύνσεων παράλληλες στους άξονες και άλλες δυο παράλληλες στις διαγωνίους του χώρου. Τα αντικείμενα τώρα προσεγγίζονται με ελάχιστα περιβάλλοντα κουτιά των οποίων οι πλευρές είναι παράλληλες στις m διευθύνσεις. Οι εσωτερικοί κόμβοι του δέντρου αντιστοιχούν σε μια ιεραρχία από φωλιασμένα τετράπλευρα τα οποία επιτρέπεται να αλληλεπικαλύπτονται εφόσον βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Στην πράξη, προκειμένου για δισδιάστατο χώρο μια καλή τιμή για το m είναι το 10.

Το BV -δέντρο

Η προσπάθεια να γενικευτεί το B-δέντρο και στην περίπτωση πολλών διαστάσεων οδήγησε στο *BV-δέντρο*. Το δέντρο αυτό επιχειρεί να έχει λογαριθμική απόδοση κατά την αναζήτηση δεδομένων οποιασδήποτε κατανομής και να ικανοποιεί τουλάχιστον κάποιο ελάχιστο όριο χρησιμοποίησης της μνήμης.

Όσον αφορά στην χρησιμοποίηση, το ζητούμενο επιτυγχάνεται με το να μην έχουμε ένα αυστηρά ισοσταθμισμένο δέντρο. Μελέτες έδειξαν ότι στη χειρότερη περίπτωση η χρησιμοποίηση είναι κοντά στο 33%, που είναι ότι καλύτερο μπορούμε να έχουμε στην περίπτωση περισσοτέρων διαστάσεων από μια (το μονοδιάστατο B-δέντρο έχει χρησιμοποίηση 50% στη χειρότερη περίπτωση). Όσον αφορά την απόδοση, το δέντρο χρησιμοποιεί μια τεχνική (η οποία ονομάζεται *posting*) κατά την οποία διαστήματα (υποχώροι) κατωτέρων επιπέδων μετακινούνται πιο κοντά στη ρίζα και η μετακίνηση αυτή αποθηκεύεται ως ένας αριθμός που ονομάζεται *φρουρός* και ο οποίος ισούται με το αρχικό επίπεδο στο οποίο βρισκόταν το διάστημα αρχικά (πριν τη μετακίνηση). Κατά την αναζήτηση δεδομένων οι φρουροί χρησιμοποιούνται για να γυρίζουμε πίσω εφόσον δεν βρούμε το προς αναζήτηση αντικείμενο και να ψάξουμε και τους υποχώρους που έχουν μετακινηθεί προς τη ρίζα. Για το λόγο αυτό οι φρουροί τοποθετούνται σε ένα σύνολο φρουρών.

Το εκτεταμένο K-D-δέντρο (extended K-D-tree)

Το *εκτεταμένο K-D-δέντρο* είναι μια από τις πρώτες επεκτάσεις του προσαρμοζόμενου K-D-δέντρου το οποίο έχει την δυνατότητα να χειρίζεται ιδιαίτερα μεγάλα και εκτεταμένα αντικείμενα. Κάθε εσωτερικός κόμβος συμβολίζεται με τη διάσταση (x ή y) επί της οποίας γίνεται το χώρισμα του χώρου και με τη θέση της γραμμής που προκαλεί το χώρισμα. Τα φύλλα αντιστοιχούν σε ορθογώνιους υποχώρους και περιέχουν τις διευθύνσεις των σελίδων δεδομένων που τους αντιστοιχούν. Το δέντρο αυτό χρησιμοποιεί αποκοπή (*clipping*) για να χειριστεί τα αντικείμενα.

Για να εισάγουμε ένα αντικείμενο στο δέντρο ξεκινάμε από τη ρίζα. Σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο είτε προχωράμε προς κάποιο απόγονο του είτε το σπάμε, αν αυτό ανήκει σε περισσότερους του ενός υποχώρους, και ακολουθούμε τα μονοπάτια που προκύπτουν. Αν σε μια σελίδα δεδομένων δεν χωράει το αντικείμενο, τη σπάμε με μια νέα γραμμή η οποία επιλέγεται να είναι κάθετη στη διάσταση με το μεγαλύτερο μήκος του αντίστοιχου υποχώρου. Αυτό ενδέχεται να προκαλέσει και κάποια παλιά αντικείμενα του δέντρου να σπάσουν.

PLOP-κατακερματισμός

Ο *PLOP-κατακερματισμός* (**p**iecewise **l**inear **o**rders **p**reserving hashing) είναι μια παραλλαγή του κατακερματισμού που χειρίζεται εκτεταμένα αντικείμενα χωρίς να εκτελεί πρώτα μετασχηματισμό τους σε σημεία. Ο PLOP-κατακερματισμός διαμερίζει το χώρο παρόμοια με το αρχείο πλέγματος χρησιμοποιώντας γραμμές παράλληλες στους άξονες, τις οποίες και οργανώνει με χρήση δυαδικών δέντρων για κάθε διάσταση. Κάθε εσωτερικός κόμβος των

δυναδικών δέντρων αντιστοιχεί σε μια γραμμή και κάθε φύλλο σε ένα δισδιάστατο υπόχωρο. Τα αντικείμενα μπορούν να ανήκουν σε περισσότερα από ένα κελιά.

Τα φύλλα περιέχουν δείκτες στα αντίστοιχα αντικείμενα. Για να έχουμε γρήγορη προσπέλαση τα δέντρα τα αποθηκεύουμε στην κύρια μνήμη. Η εισαγωγή και διαγραφή αντικειμένων γίνεται άμεσα και παρόμοια με το αρχείο πλέγματος. Αναλυτικές μελέτες έχουν δείξει ότι δίνουν καλύτερα αποτελέσματα από το R-δέντρο και τις παραλλαγές του όταν έχουμε ομοιόμορφα καταναμημένα δεδομένα.

Το πολυστρωματικό αρχείο πλέγματος (multi-layer grid file)

Το πολυστρωματικό αρχείο πλέγματος αποτελείται από στρώματα πλεγμάτων. Κάθε στρώμα αντιστοιχεί και σε ένα αρχείο πλέγματος το οποίο καλύπτει όλο το χώρο και τον χωρίζει ανεξάρτητα από τα άλλα αρχεία πλέγματος. Ένα αντικείμενο εισάγεται στο πρώτο αρχείο στο οποίο θα χωρέσει ολόκληρο (χωρίς χρήση αποκοπής). Το μέγεθος των κάδων σε κάθε αρχείο μεγαλώνει καθώς προχωράμε από το αρχικό προς το τελικό αρχείο και άρα μεγάλα αντικείμενα είναι πιο πιθανόν να τοποθετηθούν σε ένα από τα τελευταία αρχεία της σειράς. Αν κάποιο αντικείμενο δεν χωρέσει σε κανένα αρχείο, φτιάχνουμε ένα νέο αρχείο που να το χωράει ολόκληρο. Μια άλλη λύση είναι να επιτρέπουμε clipping μόνο στο τελευταίο αρχείο. Πιθανό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η χαμηλή χρησιμοποίηση μνήμης. Προκειμένου να αποφευχθεί το πρόβλημα αυτό, προτάθηκε μια εναλλακτική δομή η οποία καλείται R-αρχείο, η οποία έχει απόδοση ανταγωνιστική με αυτήν του R-δέντρου.

2.1.2 Χρονικές βάσεις δεδομένων

2.1.2.1 Εισαγωγή

Η διαχείριση χρονικών δεδομένων περιλαμβάνει την ανάγκη καταχωρημένης πληροφορίας και την εξαγωγή συμπερασμάτων από χρονικά εξαρτώμενα δεδομένα. Η έρευνα τα τελευταία χρόνια υπήρξε πολύ έντονη σε πολλούς τομείς:

- *βάσεις δεδομένων και γνώσεων:* για την ανάκτηση και ενημέρωση χρονικής πληροφορίας και για σχεδίαση διεκπεραιώσεων (transactions) πραγματικού χρόνου
- *τεχνητή νοημοσύνη:* για την σχεδίαση και εξαγωγή συμπερασμάτων από χρονικά δεδομένα
- *τεχνολογία λογισμικού:* για τις προδιαγραφές των ιδιοτήτων συστημάτων πραγματικού χρόνου.

Διάφορες προσεγγίσεις έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία. Κάθε προσέγγιση χαρακτηρίζεται από ένα μοντέλο χρόνου και από τεχνικές διαχείρισης χρονικών δεδομένων. Παρακάτω, οι υλοποιήσεις που βασίζονται σε συγκεκριμένα μοντέλα, αναφέρονται σαν χρονικά συστήματα.

Τυπικά προβλήματα που ένα χρονικό σύστημα καλείται να λύσει είναι:

- εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ιστορία στο παρελθόν, ώστε να αναλυθεί η τρέχουσα κατάσταση,
- σχεδιασμός μελλοντικών πράξεων και πρόβλεψη συνεπειών,
- λειτουργία μέσα σε καθορισμένους χρονικούς περιορισμούς,
- δυνατότητα αντιμετώπισης δεδομένων με περιορισμένη ακρίβεια και πληρότητα.

Επιπλέον ένα χρονικό σύστημα πρέπει να μπορεί να εξάγει συμπεράσματα από δεδομένα που αλλάζουν χρονικά. Η ικανότητα εξαγωγής συμπερασμάτων περιλαμβάνει:

- αντιμετώπιση εξαρτήσεων ανάμεσα σε διάφορα χρονικά δεδομένα,
- λογισμό πάνω στην περίοδο εγκυρότητας της τιμής των δεδομένων,
- αντιμετώπιση πραγματικών και προφανών αντιφάσεων, αναγνωρίζοντας λανθασμένα δεδομένα,
- αντιμετώπιση ημιτελών χρονικών δεδομένων

Στις βάσεις δεδομένων και γνώσεων η έμφαση δίνεται στην υλοποίηση ενός τρόπου καταχώρησης και ανάκτησης χρονικών δεδομένων. Οι κύριες κατευθύνσεις της έρευνας σε αυτή την περιοχή είναι:

- επέκταση υπαρχόντων χρονικών μοντέλων
- παροχή δυνατοτήτων εξαγωγής χρονικών συμπερασμάτων σε βάσεις γνώσεων.

Στην τεχνητή νοημοσύνη, μπορούν να βρεθούν δύο είδη χρονικών συστημάτων:

- συστήματα που ασχολούνται κυρίως με την «κατανόηση» των δεδομένων τους και των συσχετίσεών τους,
- Συστήματα που χτίζουν σχέδια για τις μελλοντικές πράξεις ενός συστήματος.

Στην τεχνολογία λογισμικού, έμφαση δίνεται στην περιγραφή των χρονικά εξαρτώμενων ιδιοτήτων των συστημάτων πραγματικού χρόνου.

2.1.2.2 Φύση του χρόνου

Υπάρχουν διάφορες παράμετροι που επηρεάζουν τη φύση του χρόνου: το είδος και το μέγεθος των στοιχειωδών χρονικών μονάδων, η πυκνότητα του χρόνου, το μοντέλο εξέλιξής του, οι διαφορετικές διαστάσεις στις οποίες ο χρόνος μπορεί να θεωρηθεί, καθώς και οι πράξεις που μπορεί κανείς να εφαρμόσει.

Πυκνότητα

Υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις σχετικά με την πυκνότητα του χρόνου. Προτού τις παρουσιάσουμε θα περιγράψουμε την έννοια του στοιχειώδους χρονικού στοιχείου (*chronon*).

Ένα στοιχειώδες χρονικό σημείο είναι η μικρότερη διάρκεια χρόνου που υποστηρίζεται από ένα χρονικό ΣΔΒΔ -μια μονάδα χρόνου που δεν μπορεί να διασπαστεί σε πιο στοιχειώδη στοιχεία. Ένα στοιχειώδες χρονικό σημείο μπορεί να θεωρηθεί και σαν ένα υποδιάστημα σταθερής διάρκειας στο άξονα του χρόνου.

Ο άξονας του χρόνου είναι μια αφαίρεση που χρησιμοποιούμε για να μοντελοποιήσουμε το χρόνο. Υπάρχουν διαφορετικές θεωρήσεις αυτής της αφαίρεσης. Η πρώτη από αυτές, που είναι και η πλέον διαδεδομένη, θεωρεί ότι η διάσταση του χρόνου είναι ισομορφική με το σύνολο των ακεραίων. Σε αυτή την περίπτωση λέμε ότι ο χρόνος είναι διακριτός (*discrete*). Σε αυτή τη θεώρηση, για κάθε σημείο στον άξονα του χρόνου υπάρχει και ένα μοναδικό διάδοχο (επόμενο) σημείο. Μια άλλη θεώρηση είναι να αντιμετωπίσει κανείς τον άξονα του χρόνου ως ισομορφικό είτε του συνόλου των ρητών, είτε των πραγματικών αριθμών. Τότε λέμε ότι ο χρόνος είναι πυκνός (*dense*). Το βασικό χαρακτηριστικό αυτής της προσέγγισης είναι ότι μεταξύ δύο χρονικών στιγμών υπάρχει πάντα μία άλλη. Το αξίωμα αυτό αναιρεί αυτομάτως την έννοια του διαδόχου στοιχείου. Επιπλέον, όταν ο άξονας του χρόνου είναι ισομορφικός του συνόλου των πραγματικών αριθμών - οπότε εξειδικεύουμε τον ορισμό λέγοντας ότι ο χρόνος είναι συνεχής (*continuous*) -δεν υπάρχουν και κενά (*gaps*) στο χρόνο.

Ακόμα, ανάλογα με το μοντέλο, ο χρόνος μπορεί να είναι *φραγμένος* (*bounded*) στο ένα ή και στα δύο άκρα, ή άπειρος.

Είδος της χρονικής διάρκειας

Ο χρόνος μπορεί να αντιμετωπισθεί και με διαφορετικές θεωρήσεις για το είδος της χρονικής διάρκειας. Η πιο συνήθης έννοια είναι οι έννοιες του *γεγονότος* (*event*). Ένα γεγονός είναι μια απομονωμένη στιγμή στο χρόνο. Ο ακριβής ορισμός είναι "ένα γεγονός συμβαίνει τη στιγμή t αν συμβεί σε οποιοδήποτε χρόνο που αναπαριστάται από το στοιχειώδες χρονικό σημείο t ". Ένα *διάστημα* (*interval*) είναι ο χρόνος μεταξύ δύο γεγονότων. *Διάρκεια* (*duration*) ονομάζουμε ένα ποσό χρόνου με σταθερό μήκος, αλλά χωρίς καθορισμένα άκρα. Ένα *περιορισμένο χρονικό διάστημα* (*span*) είναι μια κατευθυνόμενη διάρκεια χρόνου (θετική ή αρνητική).

Μοντέλο εξέλιξης του χρόνου

Το μοντέλο εξέλιξης του χρόνου μπορεί να έχει και αυτό διαφορετικές εκδοχές. Ο χρόνος μπορεί να εξελίσσεται *γραμμικά* (*linearly*), οπότε ανάμεσα σε δύο σημεία υπάρχει πάντα μια σχέση ολικής διάταξης. Μπορεί, όμως, για λόγους ιδιομορφίας των εφαρμογών μας, να θέλουμε να υποστηρίξουμε πολλά πιθανά μέλλοντα, οπότε το μοντέλο εξέλιξης του χρόνου γίνεται *διακλαδιζόμενο* (*branching time*). Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μια μερική διάταξη μεταξύ δύο διαφορετικών σημείων. Ακόμα, μπορεί κανείς να θεωρήσει το χρόνο κυκλικό(*circular*), κυρίως σε εφαρμογές που γεγονότα και διαδικασίες επαναλαμβάνονται.

Διαστάσεις του χρόνου

Ο χρόνος μπορεί να αντιμετωπιστεί σε διαφορετικές διαστάσεις. Οι διαστάσεις είναι και αυτές που χαρακτηρίζουν και το είδος του ΣΔΒΔ σε σχέση με τη χρονική υποστήριξη που παρέχει.

Χρόνος εγκυρότητας (valid time) ενός γεγονότος είναι ο χρόνος κατά τον οποίο το γεγονός αυτό είναι αληθές στον υπό μοντελοποίηση κόσμο. Για παράδειγμα, ο χρόνος εγκυρότητας για το γεγονός "Ο Πωλ Σεζάν είναι ζωντανός" είναι το διάστημα [1839 -1906].

Χρόνος δοσοληψίας (transaction time) ενός γεγονότος είναι το διάστημα κατά το οποίο το γεγονός είναι αποθηκευμένο στη βάση δεδομένων. Ο χρόνος δοσοληψίας είναι τύπου διαστήματος και είναι πάντα συνεπής με τη σειρά εκτέλεσης των δοσοληψιών στο σύστημα. Είναι σαφές ότι οι τιμές που μπορεί να πάρει το άνω άκρο του διαστήματος του χρόνου δοσοληψίας δεν μπορεί να υπερβαίνουν την τρέχουσα χρονική στιγμή. Καθώς το παρελθόν δεν αλλάζει, κανείς δεν μπορεί να αλλάξει το χρόνο δοσοληψίας ενός γεγονότος.

Χρόνος ορισμένος από το χρήστη (user-defined time) είναι ένα πεδίο (attribute) με πεδίο ορισμού χρονικής φύσεως (date, time). Παράδειγμα τέτοιου χρόνου είναι «ημερομηνία γέννησης», «ημερομηνία πρόσληψης» κλπ. Ο χρόνος που είναι ορισμένος από το χρήστη δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί από τη γλώσσα ερωτήσεων ισοδύναμα με το χρόνο εγκυρότητας και δοσοληψίας.

Μια σχέση που έχει ακριβώς μία διάσταση χρόνου εγκυρότητας υποστηριζόμενη από το σύστημα, ονομάζεται *σχέση χρόνου εγκυρότητας (valid-time relation)*. Αντίστοιχα ορίζεται και η *σχέση χρόνου δοσοληψίας (transaction-time relation)*. *Σχέσεις στιγμιότυπου (snapshot relations)* είναι οι σχέσεις που δεν υποστηρίζουν ούτε χρόνο εγκυρότητας, ούτε χρόνο δοσοληψίας. *Σχέση διπλού χρόνου (bitemporal relation)* είναι μια σχέση που είναι και σχέση χρόνου εγκυρότητας και σχέση χρόνου δοσοληψίας.

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να ορίσουμε ότι *χρονόσημο (timestamp)* είναι μια οποιαδήποτε τιμή χρόνου που σχετίζεται με κάποιο από τα αντικείμενα της βάσης (πλειάδες, πίνακες). *Χρόνος ζωής (lifespan)* ενός αντικειμένου είναι ο χρόνος στον οποίο το αντικείμενο έχει οριστεί -στην περίπτωση δε, που υπάρχει χρονοσήμανση, χρόνος ζωής του αντικειμένου είναι το χρονόσημό του.

Μια σχέση στην οποία όλα τα πεδία μιας πλειάδας έχουν τον ίδιο χρόνο ζωής (χρονόσημο) ονομάζεται *χρονικά ομοιογενής (temporally homogenous)*. Αντίστοιχα, μια βάση δεδομένων, είναι χρονικά ομοιογενής αν όλες οι σχέσεις της είναι χρονικά ομοιογενής.

2.1.2.3 Πράξεις στο χρόνο

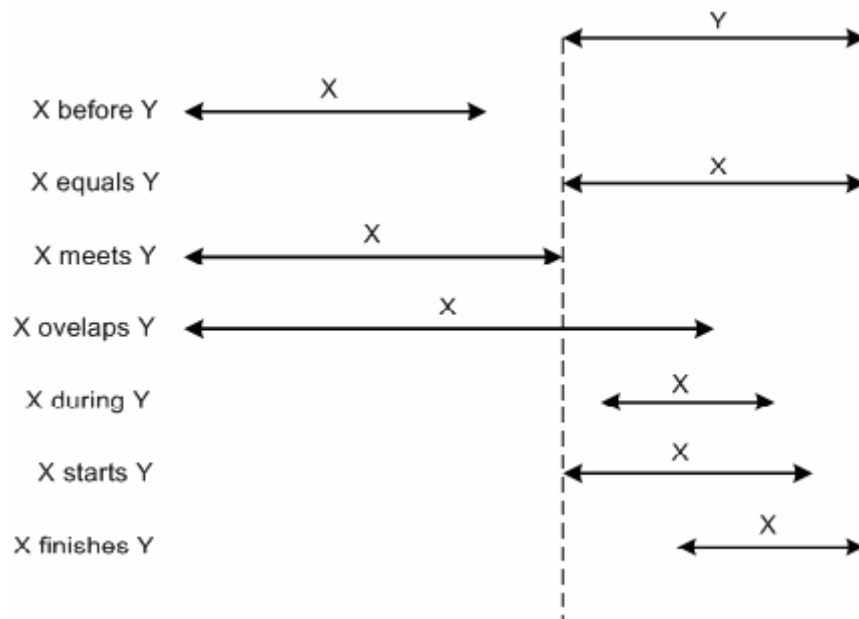
Μια από τις πιο σημαντικές θεωρίες μοντελοποίησης του χρόνου παρουσιάστηκε από τον Allen το 83. Η θεωρία αυτή απευθύνεται στο πρόβλημα αναπαράστασης χρονικής γνώσης και χρονικού λογισμού από την σκοπιά της τεχνητής νοημοσύνης. Συγκεκριμένα επικεντρώνεται

σε δυο κύριες υποπεριοχές της τεχνητής νοημοσύνης: στην κατανόηση φυσικής γλώσσας και στην λύση προβλημάτων. Η βάση της προσέγγισης του Allen αποτελείται από μια χρονική λογική βασισμένη σε διαστήματα μαζί με έναν υπολογιστικά αποτελεσματικό αλγόριθμο λογισμού βασισμένο στην διάδοση περιορισμών.

Σε αυτή τη προσέγγιση, τα χρονικά διαστήματα μπορούν να συσχετισθούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας ένα προκαθορισμένο σύνολο από χρονικές σχέσεις και τις αντίστροφες αυτών, όπως φαίνεται περιληπτικά στο σχήμα 2.4 (και γραφικά στο σχήμα 2.5). Κάθε σχέση αναπαρίσταται από ένα κατηγορήμα στην αντίστοιχη χρονική λογική. Ένα σύνολο από απαραίτητα αξιώματα στην συναγωγή συμπερασμάτων μεταξύ οποιονδήποτε δυο αυθαιρέτων διαστημάτων αναπτύχθηκε, βασισμένο στις μεταβατικές ιδιότητες των σχέσεων. Η έννοια των *διαστημάτων αναφοράς* εισήχθη για να καλύψει την ενδογενή χρονική ιεραρχία πολλών περιοχών, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον ακριβή έλεγχο της ποσότητας συναγωγών που το σύστημα εκτελεί.

Σχέση	Σύμβολο	Σύμβολο αντίστροφης σχέσης
<i>X προηγείται (before) Y</i>	<	>
<i>X ίσο με (equals) Y</i>	=	=
<i>X συναντά (meets) Y</i>	m	mi
<i>X καλύπτει μερικώς (overlaps) Y</i>	o	oi
<i>X κατά τη διάρκεια (during) Y</i>	d	di
<i>X αρχίζει (starts) Y</i>	s	si
<i>X τερματίζει (finishes) Y</i>	f	fi

Σχήμα 2.4: Οι σχέσεις του Allen – κατηγορήματα



Σχήμα 2.5: Οι σχέσεις του Allen – γραφική παράσταση

Αυτή η λογική διαστημάτων είναι η βαθύτερη υπόθεση μιας θεωρίας λογισμού. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, ο κόσμος περιγράφεται από ένα σύνολο χρονικών ισχυρισμών που περιγράφουν τι είναι γνωστό σχετικά με το παρελθόν, το παρόν και το μέλλον. Αυτό περιλαμβάνει περιγραφές και στατικών και δυναμικών όψεων του κόσμου. Συγκεκριμένα, οι στατικές όψεις μοντελοποιούνται με ιδιότητες που ισχύουν κατά την διάρκεια χρονικών ανοιγμάτων, ενώ οι δυναμικές όψεις μοντελοποιούνται με συμβάντα που περιγράφουν αλλαγές πάνω σε χρονικά ανοίγματα.

Οι ιδιότητες υποδηλώνονται με εκφράσεις του τύπου: $\text{holds}(P, T)$, που αναφέρουν ότι η ιδιότητα P ισχύει κατά το χρονικό διάστημα T .

Τα συμβάντα χωρίζονται σε δυο τάξεις: διεργασίες και γεγονότα. Πιο πολύ ενδιαφερόμαστε στην δήλωση γεγονότων που περιγράφονται από κατηγορήματα της μορφής: $\text{occur}(E, T)$, που υποδηλώνει ότι το γεγονός E συνέβη κατά το χρονικό διάστημα T . Βασική υπόθεση της θεωρίας είναι ότι δεν υπάρχει υποδιάστημα του T κατά το οποίο μπορεί να ειπωθεί ότι συνέβη το γεγονός.

Τα γεγονότα χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την αλλαγή της κατάστασης μιας ιδιότητας και σχετίζονται με τις ιδιότητες διαμέσου αξιωμάτων όπως το παρακάτω:

$$\begin{aligned} &\text{occur}(\text{state-change}(X, \text{not_active}, \text{active}), T1) \Rightarrow \\ &\quad \text{meets}(T1', T1) \ \& \ \text{meets}(T1, T1'') \ \& \\ &\quad \text{holds}(\text{state}(X, \text{not_active}), T1') \ \& \\ &\quad \text{holds}(\text{state}(X, \text{active}), T1'') . \end{aligned}$$

Το παραπάνω αξίωμα δηλώνει ότι το γεγονός $\text{state-change}(X, \text{not_active}, \text{active})$ όπου η μεταβλητή X έγινε ενεργή (active)-αλλάζοντας από την προηγούμενη κατάσταση όπου ήταν ανενεργή (not_active)- συνέβη κατά το χρονικό διάστημα $T1$ υπό τις παρακάτω συνθήκες: κατά την διάρκεια του χρονικού διαστήματος $T1'$, (που προηγείται άμεσα του $T1$) ισχύει η κατάσταση $\text{state}(X, \text{not_active})$, ενώ μετά την $T1$ ισχύει η ιδιότητα $\text{state}(X, \text{active})$. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα χρειάζονται επιπλέον αξιώματα για την αντιμετώπιση ασυμβατοτήτων των τιμών: Για μια μεταβλητή οι καταστάσεις active και not_active δεν μπορούν είναι ταυτόχρονα ενεργές κατά τον ίδιο χρόνο T . Δηλαδή:

$\text{holds}(\text{exclusive_or}(\text{state}(X, \text{not_active}), \text{state}(X, \text{active})), T)$

Στο μοντέλο του Allen, ο λογισμός λαμβάνει χώρα διαμέσου μιας διατυπωμένης πρώτης-τάξης κατηγορηματικής άλγεβρας.

2.1.3 Χωροχρονικές βάσεις δεδομένων

2.1.3.1 Γενικά

Τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου είναι εκ φύσεως χωροχρονικά, έχουν χωρικές ιδιότητες, όπως σχήμα, έκταση και θέση, που είναι συνάρτηση του χρόνου. Τα τελευταία χρόνια έχει πραγματοποιηθεί μεγάλη έρευνα στο να καταστεί δυνατόν τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου να μπορούν αποθηκεύονται και να διαχειρίζονται με αποδοτικό τρόπο σε συστήματα βάσεων δεδομένων. Ο τομέας αυτός της έρευνας, που είναι ένας τομέας αιχμής στο χώρο των βάσεων δεδομένων, είναι οι χωροχρονικές βάσεις δεδομένων.

Στην συνέχεια προσπαθούμε να κάνουμε μια εισαγωγή στον χώρο των χωροχρονικών βάσεων δεδομένων και να δώσουμε κάποια από τα αποτελέσματα της έρευνας που πραγματοποιείται πάνω στο αντικείμενο. Τέλος παρουσιάζουμε ένα προταθέν μοντέλο για κινούμενα αντικείμενα, που είναι πιο κοντά στο αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

2.1.3.2 Εισαγωγή

Τα γεωγραφικά δεδομένα, που συνήθως μοντελοποιούνται με τύπους δεδομένων όπως σημεία, γραμμές και περιοχές και αντίστοιχη τοποθεσία, γενικά αποθηκεύεται σε κατάλληλα ΓΠΣ – Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (GIS). Ωστόσο τα συστήματα αυτά γίνονται λιγότερο αποδοτικά από τα «απλά» ΣΔΒΔ όταν αφορά σε αδιάστατα δεδομένα, που αναφέρονται ως δεδομένα χαρακτηριστικών γνωρισμάτων (attribute data). Για το λόγο αυτό κάποια υβριδικά συστήματα συνδυάζουν χαρακτηριστικά των ΓΠΣ, εκμεταλλεύοντας την

αποδοτικότητα τους στα χωρικά δεδομένα, και των κλασικών ΣΔΒΔ, για να χειριστούν τα δεδομένα χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Η αντιμετώπιση αυτή πάσχει ελλιπή συνένωση των δυο αρχιτεκτονικών και δυσκολία στην διατήρηση της ακεραιότητας των χωρικών δεδομένων και των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Οι βάσεις χωρικών δεδομένων από την άλλη επιχειρούν να λύσουν το πρόβλημα αποθηκεύοντας όλα τα δεδομένα, χωρικά και χαρακτηριστικά γνωρίσματα, σε ένα ενιαίο μοντέλο δεδομένων.

Και οι δύο παραπάνω προσεγγίσεις δεν λαμβάνουν υπόψη μια άλλη φυσική διάσταση, την διάσταση του χρόνου. Υπάρχουν λίγες προσεγγίσεις που επιτυγχάνουν στη συνένωση χωρικών και χρονικών συστατικών, παρά την πληθώρα των εφαρμογών χωροχρονικών συστημάτων. Τα χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις αυτών των συστημάτων πολλές και ετερογενείς. Για παράδειγμα, υπάρχουν, όπως θα δούμε και παρακάτω, διαφορετικοί τρόποι στο πώς αλλάζουν με το χρόνο τα δεδομένα ή κάποια χαρακτηριστικά τους (συνεχώς, διακριτά κλπ).

Πριν προχωρήσουμε στην παρουσίαση χωροχρονικών δεδομένων και στους τρόπους προσπέλασής τους, θα παρουσιάσουμε κάποια σημεία-απόψεις τριβής στον τομέα των χωροχρονικών βάσεων δεδομένων. Οι απόψεις αυτές, εξ' ορισμού, δεν βρίσκει σύμφωνους όλους τους ερευνητές στον τομέα, αλλά μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση του εύρους του πεδίου των χωροχρονικών βάσεων δεδομένων και της μεγάλης έρευνας που συντελείται σε αυτόν.

- *Οι χωροχρονικές βάσεις δεδομένων δεν αφορούν μόνο σε κινούμενα αντικείμενα.* Έχει υπάρξει πρόσφατα σημαντική έρευνα γύρω από τον χώρο των κινούμενων αντικειμένων. Ωστόσο, δεν είναι σε καμία περίπτωση προφανές ότι η πρόταση των κινούμενων αντικειμένων θα πληρεί όλες τις προϋποθέσεις σε εφαρμογές που δεν σχετίζονται άμεσα με την κίνηση.
- *Τα χωρικά και μη δεδομένα αλλάζουν με τον ίδιο τρόπο συναρτήσει του χρόνου.* Η άποψη αυτή προτείνει ότι μπορεί να υπάρξει ένα ενιαίο χρονικό μοντέλο τόσο για χωρικά όσο και για μη χωρικά δεδομένα.
- *Υπάρχουν και άλλοι τομείς στην επεξεργασία επερωτήσεων εκτός των δεικτών.* Η έρευνα έχει επικεντρωθεί πάρα πολύ στους χωροχρονικούς δείκτες παρότι υπάρχουν και άλλοι σημαντικοί τομείς σε ένα ολοκληρωμένο ΣΔΒΔ όπως είναι η άλγεβρα επερωτήσεων, βελτιωτές, αλγόριθμοι συνένωσης κλπ.
- *Η ανεξέλεγκτη εισαγωγή νέων χαρακτηριστικών υπήρξε τροχοπέδη στην πραγματική πρόοδο.* Οι προτάσεις για χωρικά και χρονικά μοντέλα και γλώσσες συνήθως έχουν μεγάλο αριθμό από χαρακτηριστικά που στο σύνολό τους θα ήταν πολύ δύσκολο να υλοποιηθούν.

- Δεν είναι δυνατόν να ικανοποιηθούν πολλές απαιτήσεις ταυτοχρόνως. Αυτή η άποψη είναι συνέχεια της προηγούμενης. Η απουσία ενός πρακτικού χωροχρονικού συστήματος βάσεων δεδομένων αναγκάζει τους χρήστες χωρικών και χρονικών δεδομένων να τα διαχειρίζονται με πολύ γενικότερα μέσα. Ένα μικρής απόδοσης, αλλά πλήρες χωροχρονικό σύστημα, θα διευκόλυνε αρκετές εφαρμογές.
- Η πρόταση ενός χωροχρονικού μοντέλου είναι πιο εύκολη από την υλοποίησή της. Αυτός ίσως είναι ο λόγος που υπάρχουν τόσο πιο πολλές προτάσεις από ότι πρότυπα.
- Οι χωροχρονικές βάσεις δεδομένων δεν είναι απόγονοι των γεωγραφικών συστημάτων πληροφόρησης. Η προσθήκη χρονικών χαρακτηριστικών σε ένα ΓΠΣ δεν είναι η καταλληλότερη αρχή για την κατασκευή ενός χωροχρονικού ΣΔΒΔ.

2.1.3.3 Ιδιότητες χωροχρονικών δεδομένων

Τα χωροχρονικά συστήματα μπορούν να καταταχθούν, βάσει των ιδιοτήτων των αντικειμένων που διαχειρίζονται, ακολουθώντας δυο βασικές κατευθύνσεις. Πρώτον λαμβάνοντας υπόψη τις χωρικές ιδιότητες που αλλάζουν με το χρόνο. Δεύτερον λαμβάνοντας υπόψη το πως συμβαίνουν αυτές οι αλλαγές.

Οι κυριότερες χρονικά μεταβαλλόμενες ιδιότητες των χωρικών αντικειμένων είναι η θέση, η κατεύθυνση, το σχήμα και το μέγεθος. Η θέση και η κατεύθυνση σχετίζονται με την κίνηση των χωρικών αντικειμένων. Η θέση επιτρέπει στο σύστημα να αντιληφθεί την μεταφορική κίνηση και αντίστοιχα η κατεύθυνση την περιστροφική κίνηση. Το σχήμα και το μέγεθος είναι σχετικά με την μετάλλαξη των αντικειμένων. Το σχήμα επιτρέπει στο σύστημα να αντιληφθεί αλλαγές στην κλίμακα, όπως για παράδειγμα την διαστολή και τη συστολή των αντικειμένων, ενώ το σχήμα επιτρέπει στο σύστημα να αντιληφθεί παραμορφώσεις των αντικειμένων.

Επιπλέον τα χωροχρονικά αντικείμενα έχουν και χαρακτηριστικά γνωρίσματα, όπως περιγραφές ή αριθμητικές τιμές που αντιπροσωπεύουν μη χωρικά γνωρίσματα τους (π.χ. πίεση, θερμοκρασία, πληθυσμός κλπ). Τα γνωρίσματα αυτά επίσης μπορούν να αλλάζουν με το χρόνο, αλλά η κατάταξη που ακολουθεί αναφέρεται μόνο στα χωρικά γνωρίσματα.

Οι τιμές των χωρικών ιδιοτήτων των αντικειμένων μπορούν να αλλάζουν συνεχώς ή διακριτά στο χρόνο. Αν η αλλαγή είναι συνεχής, η τιμή μιας ιδιότητας είναι μια συνεχής συνάρτηση του χρόνου και μπορεί να παρασταθεί από μία συνεχή καμπύλη (Σχήμα 2.6 α). Αν η αλλαγή είναι διακριτή η τιμή μιας ιδιότητας αλλάζει ασυνεχώς από τιμή σε μία άλλη. Σε αυτή την περίπτωση οι αλλαγές αντιμετωπίζονται όπως ή εκδοχές στις χρονικές βάσεις δεδομένων. Κάθε εκδοχή είναι έγκυρη μόνο για την στιγμή που αντιστοιχεί στην εκδοχή αυτή, ενώ ανάμεσα τους η τιμή της ιδιότητας είναι αόριστη ή null (Σχήμα 2.6 β). Σε άλλη εκδοχή, οι

εκδόσεις αντιστοιχούν σε καταγραφή των αλλαγών κατάστασης. Οι αλλαγές συμβαίνουν από γεγονότα και μεταξύ δύο γεγονότων, που ορίζουν ένα χρονικό διάστημα, η τιμή της ιδιότητας είναι σταθερή (Σχήμα 2.6 γ).



Σχήμα 2.6: Αλλαγές συναρτήσεων του χρόνου

2.1.3.4 Χωροχρονικά συστήματα

Τα χωροχρονικά συστήματα διαχειρίζονται χρονικά μεταβαλλόμενα χωρικά δεδομένα. Η λύση στο πρόβλημα συνένωσης των δύο συστατικών των χωροχρονικών δεδομένων, του χρόνου και του χώρου, δεν μπορεί να προκύψει από απλή συγχώνευση των μοντέλων που υπάρχουν ξεχωριστά για κάθε ένα από τα συστατικά. Η έρευνα στον τομέα αυτό έχει δύο κύριες κατευθύνσεις. Η πρώτη έχει να κάνει με εφαρμογές όπου οι τιμές των ιδιοτήτων αλλάζουν ασυνεχώς στο χρόνο, ενώ η δεύτερη με εφαρμογές με συνεχείς αλλαγές στο χρόνο. Ακολουθεί μία σύντομη καταγραφή της παρούσας έρευνας στις δύο αυτές κατευθύνσεις.

Ασυνεχείς αλλαγές

Οι αναπαράσταση των ασυνεχών αλλαγών μη χωρικών δεδομένων, που συνήθως αναφέρονται δεδομένα χαρακτηριστικών γνωρισμάτων, έχει ερευνηθεί στον τομέα των χρονικών βάσεων δεδομένων. Υπάρχουν χρονικά μοντέλα, αποδοτικές μέθοδοι χρονοσήμανσης και γλώσσες επερωτήσεων που διαχειρίζονται διαφορετικές καταστάσεις, τις επανομαζόμενες εκδοχές, των δεδομένων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Η έρευνα στον τομέα αυτό άρχισε με την μελέτη ξεχωριστών συστημάτων και τα ιδιαίτερα τους προβλήματα. Έχουν προταθεί κάποια μοντέλα και δομές, έχουν απαριθμηθεί κάποιες αρχές και έχουν ταυτοποιηθεί πολλά προβλήματα, δυσκολίες ή εμπόδια στο σχεδιασμό και την υλοποίηση.

Η αναπαράσταση χωρικών αντικειμένων είναι συνήθως ένας συνδυασμός γεωμετρικών δεδομένων και κάποιων γνωρισμάτων. Στα αντικείμενα αυτά δύο ειδών αλλαγές είναι δυνατές: αλλαγή γνωρισμάτων και αλλαγή γεωμετρίας. Ωστόσο, συνεχείς ενημερώσεις των δεδομένων που περιγράφουν την γεωμετρία μπορούν και να προκαλέσουν προβλήματα στην ακεραιότητα της γεωμετρίας που μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένη πληροφορία.

Ένα άλλο θέμα επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη στην χρονοσήμανση χωρικών αντικειμένων με πολύπλοκη γεωμετρία. Η πιο απλή και φτηνή προσέγγιση είναι η χρονοσήμανση ολόκληρου του αντικειμένου αντιστοιχίζοντας μία χρονική τιμή στην γένεση μία στο θάνατό του. Όμως, είναι προφανές ότι αυτή η λύση έχει περιορισμένη εκφραστικότητα για τις χρονικές ιδιότητες του αντικειμένου κατά τη διάρκεια ζωής του αντικειμένου. Προκειμένου να υπάρξει περισσότερος έλεγχος στον τρόπο με τον οποίο το αντικείμενο σχετίζεται με το χρόνο πρέπει να υπάρξει τρόπος χρονοσήμανσης στα πρωταρχικά γεωμετρικά συστατικά του. Έχουν προταθεί δύο λύσεις. Η μία προτείνει την συνένωση του χώρου με το χρόνο στο επίπεδο των πρωταρχικών γεωμετρικών συστατικών (σημεία, γραμμές, περιοχές). Ενώ η άλλη προτείνει την συνένωση του χώρου με το χρόνο στο χαμηλότερο επίπεδο, φτιάχνοντας μία σύνθετη δομή ενός χωρικού και ενός χρονικού σημείου. Στην συνέχεια αυτή η δομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σύνθεση χωροχρονικών συστατικών περισσότερων διαστάσεων.

Οι εφαρμογές που διαχειρίζονται την συνένωση και την διάσπαση χωροχρονικών αντικειμένων έρχονται αντιμέτωπες με προβλήματα ταυτοποίησης των αντικειμένων. Για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα αυτά μπορούν να οριστούν δύο είδη αλλαγών: κατασκευαστικές αλλαγές και μη κατασκευαστικές αλλαγές. Οι μη κατασκευαστικές αλλαγές δεν αντιμετωπίζουν το πρόβλημα αφού μπορεί να αποδοθεί μια μοναδική ταυτότητα σε κάθε αντικείμενο καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Οι κατασκευαστικές αλλαγές αντιμετωπίζονται δίνοντας μία μοναδική ταυτότητα σε κάθε εκδοχή του αντικειμένου. Η ιστορία κάθε αντικειμένου κρατείται σε μια διπλά συνδεδεμένη λίστα με τις δείκτες στην επόμενη και προηγούμενη ταυτότητα του αντικειμένου.

Συνεχείς αλλαγές

Οι χρονικές βάσεις δεδομένων δεν παρέχουν καμία υποστήριξη για αναπαράσταση πληροφορίας για αντικείμενα που αλλάζουν συνεχώς με το χρόνο. Η απαίτηση αυτή δεν είναι χρήσιμη μόνο σε κάποιες εφαρμογές ΓΠΣ αλλά και σε άλλα συστήματα που χειρίζονται συνεχώς μεταβαλλόμενα δεδομένα όπως θερμοκρασία, πίεση κλπ.

Το συνεχές μοντέλο του χρόνου είναι ισομορφικό των πραγματικών αριθμών, και επομένως συνεπάγεται χειρισμό απείρων συνόλων που είναι αδύνατο να αποθηκευτούν και να χειριστούν απευθείας με υπολογιστές. Όμως τα όργανα μέτρησης του χρόνου έχουν πεπερασμένη ακρίβεια, και άρα μπορεί να οριστεί ένα χρονικό ανάλυση που φτάνει την ακρίβεια μέτρησης του χρόνου, αλλά αυτό μπορεί να μην αρκεί. Η καλύτερη χρονική ανάλυση, παρ' όλα αυτά, θα απαιτούσε πολύ μεγάλα πακέτα δεδομένων για να χειριστούν από υπολογιστές. Η απλή λύση της μείωσης της χρονικής ανάλυσης μπορεί σε κάποια συστήματα να οδηγήσει σε σημαντική απώλεια πληροφορίας.

Μέχρι πρόσφατα, έχουν προταθεί λίγες προτάσεις για την αντιμετώπιση του θέματος αυτού. Ένα από τα μοντέλα που έχουν προταθεί είναι το μοντέλο δεδομένων κινούμενων χωροχρονικών αντικειμένων (MOST – Moving Objects Spatio-Temporal data model). Επίσης έχει προταθεί και η μελλοντική χρονική λογική (FTL – Future Temporal Logic) γλώσσα για συστήματα με συνεχώς μεταβαλλόμενα δεδομένα. Σε αυτό το μοντέλο υποτίθεται ότι τα γνωρίσματα αλλάζουν στο χρόνο σύμφωνα με μία δοσμένη γραμμική συνάρτηση, το διάνυσμα κίνησης. Το διάνυσμα κίνησης προκύπτει από το ελάχιστο και μέγιστο σύνορο της μεταφοράς των κινούμενων οχημάτων. Επίσης υποτίθεται ότι είναι δυνατόν αυτόματα να ενημερώνεται το διάνυσμα κίνησης όταν γίνει αντιληπτή μια αλλαγή ταχύτητας ή κατεύθυνσης.

Μια άλλη πρόταση είναι ένα μοντέλο δεδομένων για την αναπαράσταση υψηλά μεταβλητών αριθμητικών δεδομένων, π.χ. δεδομένα με εν δυνάμει διαφορετική τιμή σε κάθε χρονικό στοιχείο (chronon). Η εξέλιξη των δεδομένων αναπαρίσταται από ένα περιορισμένο αριθμό τιμών του τύπου (t, v, vv) , όπου t είναι ένα χρονική διάστημα, v είναι η τιμή που αντιστοιχεί στην αρχική κατάσταση στην αρχή του διαστήματος και vv είναι μία συνάρτηση συμπεριφοράς που περιγράφει πώς αλλάζει η τιμή. Η συνάρτηση συμπεριφοράς είναι είτε μια ακριβής συνάρτηση, είτε μία βηματική συνάρτηση, είτε μία γραμμική συνάρτηση ή μία συνάρτηση παρεμβολής (interpolation).

2.1.3.5 Μοντέλο Δεδομένων Κινούμενων Σημείων

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω τα πολύπλοκα αντικείμενα μπορούν αν αναπαρασταθούν από πρωταρχικά γεωμετρικά συστατικά, τα οποία με τη σειρά τους μπορούν να αναπαρασταθούν από σημεία. Λαμβάνοντας αυτό έχει προταθεί ένα μοντέλο δεδομένων για κινούμενα σημεία στον k -διάστατο χώρο το οποίο ελπίζει να επεκταθεί για γενικά αντικείμενα. Το μοντέλο αυτό ονομάζεται *μοντέλο δεδομένων κινούμενων σημείων* (Moving Points Data Model) και παρουσιάζεται συνοπτικά στη συνέχεια.

Χαρακτηριστικά κινούμενων σημείων

Πριν οριστεί το μοντέλο είναι ενδιαφέρον να παρουσιαστούν κάποιες πτυχές των κινούμενων σημείων. Το πιο σημαντικό, η κίνηση, μπορεί να διαχωριστεί σε δύο είδη: κίνηση *ελεύθερης τροχιάς* και κίνηση *περιορισμένης τροχιάς*. Ένα κινούμενο σημείο έχει ελεύθερη τροχιά όταν υπάρχουν λίγοι περιορισμοί της κίνησης του στον k -διάστατο χώρο, π.χ. ένα πλοίο που κινείται στη θάλασσα. Αντίθετα ένα σημεία έχει περιορισμένη τροχιά όταν υπάρχουν αυστηροί περιορισμοί στην κίνηση του, όπως π.χ. η κίνηση ενός τρένου στις ράγες. Στη δεύτερη περίπτωση μπορεί να θεωρηθεί ότι έχουμε κίνηση του σημείου στο μονοδιάστατο χώρο. Η περιορισμένη τροχιά είναι ειδική περίπτωση της ελεύθερης τροχιάς, όπου μπορούν να υπάρξουν κάποιες προσεγγίσεις ή βελτιώσεις.

Ένα άλλο θέμα είναι ο τρόπος απόκτησης των δεδομένων. Από τη μία, υπάρχουν τα συστήματα *οδηγούμενα από γεγονότα* (event driven), όπου υποθέτουμε ότι είναι δυνατόν η αυτόματη ανίχνευση των αλλαγών στην ταχύτητα ή την κατεύθυνση του κινούμενου σημείου. Από την άλλη, υπάρχουν τα συστήματα αισθητήρων, όπως το GPS, όπου καταγράφουν τη θέση του κινούμενου ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Αυτά μπορούν να ονομαστούν συστήματα *οδηγούμενα από παρατήρηση* (observation driven). Οι παρατηρήσεις μπορούν να είναι συγχρονισμένες, αν όλα τα κινητά παρατηρούνται ταυτοχρόνως, ή ανεξάρτητες. Μπορούν επίσης να υπάρχουν πολλές διαφορετικές πηγές πληροφορίας. Στην περίπτωση αυτή το σύστημα πρέπει να μπορεί να ελέγχει άτακτες ακολουθίες παρατηρήσεων.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται το μοντέλο που επιτρέπει την αναπαράσταση της ιστορίας κινούμενων αντικειμένων στον κ-διάστατο χώρο. Οι παρατηρήσεις μπορούν να είναι ανεξάρτητες ή συγχρονισμένες για όλα τα αντικείμενα. Οι παρατηρήσεις πρέπει να γίνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα και να εισάγονται ως διατεταγμένες ακολουθίες. Ο χρόνος δοσοληψίας δεν λαμβάνεται υπόψη.

Το μοντέλο

Η έξοδος ενός αισθητήρα είναι μια διατεταγμένη ακολουθία από καταστάσεις που αναπαρίστανται με τριάδες της μορφής (Pid, t, on), που ορίζεται ως Βάση Παρατήρησης (Observations Base), όπου Pid είναι η ταυτότητα ενός αντικειμένου που αναπαρίσταται ως ένα σημείο, t είναι ένα χρονόσημο και on είναι ένα κ-διάστατο διάνυσμα που αντιστοιχεί στη θέση του αντικειμένου.

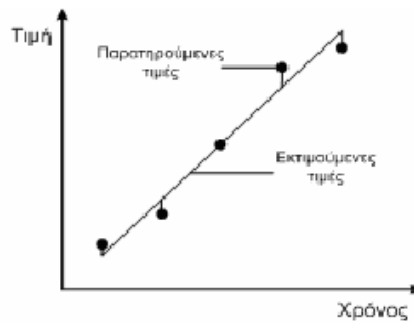
Πρέπει να σημειωθεί ότι η πληροφορία αυτή καταγράφεται ανεξάρτητα από το αν το αντικείμενο έχει αλλάξει θέση από την προηγούμενη παρατήρηση. Επίσης προϋποτίθεται ότι τα σημεία, όπως και τα περισσότερα φυσικά αντικείμενα, έχουν ομαλή κίνηση, και επομένως η ταχύτητα σε διαδοχικές παρατηρήσεις θα είναι συχνά προσεγγιστικά σταθερή.

Οι παρατηρήσεις μεταφράζονται σε αναλυτικούς τύπους κίνησης (movement analytical formulas) και αποθηκεύονται σε μια δομή Βάση Γνώσης της Κίνησης (Movement Knowledge Base structure). Η δομή αυτή περιγράφεται με μια ακολουθία τιμών (Pid, t_0, t_1, v, v_n), όπου Pid είναι η ταυτότητα του αντικειμένου, $[t_0, t_1]$ είναι το χρονικό διάστημα για την συνάρτηση μεταβλητότητας v_n και v είναι ένα κ-διάστατο διάνυσμα που αντιστοιχεί στην αρχική κατάσταση, π.χ. η θέση του την χρονική στιγμή t_0 . Στην δομή αυτή, κάθε πλειάδα αντιπροσωπεύει ένα τμήμα της τροχιάς, δηλαδή δεν περιέχει απλώς την θέση του αλλά πλήρη πληροφορία για την κίνησή του το δεδομένο χρονικό διάστημα. Αυτό επιτρέπει την συνένωση χρονικών διαστημάτων με ίδιες ή παρόμοιες συναρτήσεις μεταβλητότητας. Επομένως, ο αριθμός των απαιτούμενων πλειάδων για την αναπαράσταση της κίνησης των αντικειμένων μειώνεται, μειώνοντας επίσης και τον απαιτούμενο αποθηκευτικό χώρο.

$$\tilde{v} = \bar{v} + nv(t - \bar{t}) \quad (2.1)$$

$$nv = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})(t_i - \bar{t})}{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2} \quad (2.2)$$

Η περιγραφή της κίνησης μέσα σε ένα χρονικό διάστημα γίνεται με γραμμική παρεμβολή, όπως φαίνεται από την εξίσωση 2.1. Η εξίσωση αυτή είναι η προσέγγιση του v συναρτήσει του t που ελαχιστοποιεί το άθροισμα των τετραγωνικών σφαλμάτων των τιμών παρατήρησης και των τιμών της καμπύλης. Το $\tilde{v}$ καλείται η εκτιμώμενη τιμή για το ov για κάθε τιμή του χρόνου t , και $(ov - \tilde{v})$ είναι το σφάλμα εκτίμησης (Σχήμα 2.7). Τα $\bar{v}$ και $\bar{t}$ αντίστοιχα είναι οι μέσες τιμές των ov και t των παρατηρούμενων n τιμών. Ο παράγοντας μεταβλητότητας δίνεται από την εξίσωση 2.2. Οποιαδήποτε τιμή v' σε χρονική στιγμή t' στο διάστημα $[t_0, t_l]$ μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο $v' = v + nv(t' - t_0)$.



Σχήμα 2.7: Γραμμική παρεμβολή

Για κάθε παρατήρηση i σε έγκυρο χρονικό διάστημα η προσέγγιση πρέπει να υπακούει στον ακόλουθο κανόνα: $\Delta v_i = |ov_i - \tilde{v}_i| \leq \xi$ όπου ξ είναι η ακρίβεια όπου ορίζεται από το χρήστη. Έτσι, όταν προστίθεται μια καινούργια παρατήρηση, οι τύποι υπολογίζονται ξανά και αν δεν ισχύει ο παραπάνω κανόνας $\Delta v_i \leq \xi$ τότε η παρούσα πλειάδα κλείνει και κατασκευάζεται μια νέα πλειάδα. Το ξ αντιπροσωπεύει την ποιότητα της εκτίμησης και πρέπει να υπαγορεύεται από την χωρική ακρίβεια της εφαρμογής. Η συσσώρευση εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τον παράγοντα ξ .

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η ακρίβεια του όλου συστήματος εξαρτάται από δύο παράγοντες. Ο πρώτος είναι η ακρίβεια των οργάνων μέτρησης (αισθητήρων) και ο άλλος είναι η ακρίβεια του μοντέλου. Δεν υπάρχει λόγος το μοντέλο να έχει μεγαλύτερη ακρίβεια από το σύστημα των αισθητήρων.

Ο αριθμός των δεκαδικών θέσεων που απαιτούνται για την αποθήκευση των εκτιμώμενων τιμών μπορεί να υπολογιστεί με χρήση του τύπου $\lceil \log_{10}(\xi/2) \rceil$, ενώ ο αριθμός των

δεκαδικών θέσεων για τον παράγοντα μεταβλητότητας από τον τύπο $\lceil \log_{10}(2 \cdot \Delta t_{\max} / \xi) \rceil$, όπου $\Delta t_{\max}$ είναι το μέγιστο εύρος για τα διαστήματα χρόνου, και είναι παράγοντας που ορίζεται από το χρήστη.

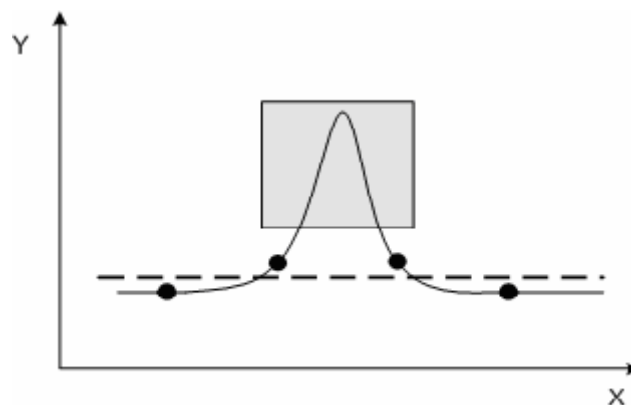
Τέλος ο κανόνας συσσώρευσης (aggregation rule) μπορεί να οριστεί ως εξής:

Μια νέα παρατήρηση (Pid, t, v) συσσωρεύεται στο τελευταίο τμήμα της τροχιάς ενός κινούμενου σημείου (i) , αν και μόνο αν, $(t - t_0) < \Delta t_{\max}$ και για κάθε παρατήρηση του Pid στο $[t_0, t_1]$, ισχύει $|v_i - \tilde{v}_i| \leq \xi$.

Το προηγούμενο μοντέλο μπορεί να επεκταθεί για να αντιμετωπίζει και τιμές που ορίζονται σε παραπάνω από μια διαστάσεις. Η νέα βάση Γνώσης της Κίνησης γίνεται $\{(Pid, t_0, t_1, v, v_{n_1}, v_{n_2}, \dots, v_{n_k})\}$. Στη δομή αυτή το v είναι μία k -διάστατη τιμή $(x_1, x_2, \dots, x_k)$. Οι μεταβλητές $x_1, x_2, \dots, x_k$ είναι ανεξάρτητες και κάθε μία έχει την δικιά της τιμή μεταβλητότητας $v_{n_1}, v_{n_2}, \dots, v_{n_k}$ αντίστοιχα. Χρησιμοποιείται ο ίδιος κανόνας συσσώρευσης με k τιμές ακρίβειας για κάθε διάσταση $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k$ αντίστοιχα.

2.1.3.6 Σημασιολογία

Παρά το γεγονός ότι οι αισθητήρες παρέχουν δεδομένα για τη θέση του κινούμενου αντικειμένου ανά τακτά χρονικά διαστήματα, η ακριβής συμπεριφορά του αντικειμένου στο μεσοδιάστημα είναι άγνωστη. Το μοντέλο που παρουσιάστηκε παραπάνω υποθέτει ότι η κίνηση μεταξύ των δύο παρατηρήσεων είναι γραμμική και ομοιόμορφη. Όμως σε ορισμένες περιπτώσεις ο παραπάνω περιορισμός δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Αυτά μπορεί να φανεί καλύτερα στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2.8)



Σχήμα 2.8: Απροσδιοριστία της συμπεριφοράς του κινητού ανάμεσα σε διαδοχικές μετρήσεις

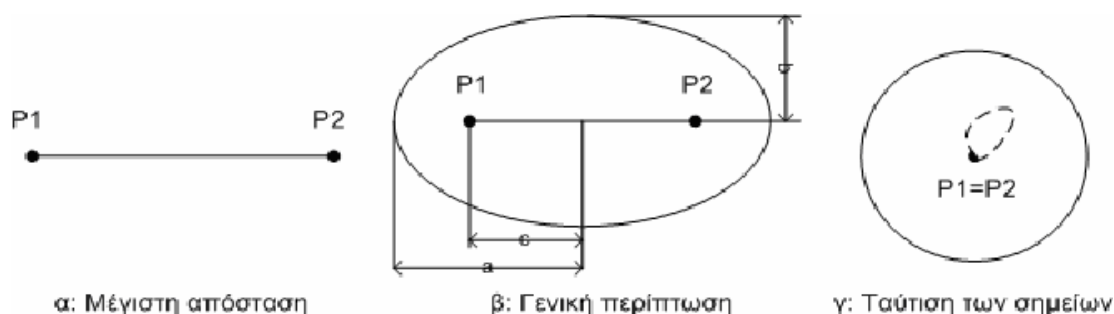
Στο σχήμα φαίνεται η πραγματική κίνηση (συνεχόμενη καμπύλη), οι παρατηρήσεις (κουκίδες) και η προσεγγιστική κίνηση (διακεκομμένη γραμμή). Όπως φαίνεται στην

προσέγγιση χάνεται η πληροφορία για σκιασμένο κομμάτι, το οποίο μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι και το ενδιαφέρον.

Επομένως, τα αποτελέσματα μιας επερώτησης χρησιμοποιώντας το προηγούμενο μοντέλο δεν είναι παρά ένα σύνολο από πιθανές πλειάδες, που μπορεί να περιέχει και κάποιες λανθασμένες πλειάδες για το ζητούμενο κατηγορήμα και μπορεί, επίσης, να μην περιέχει κάποιες σωστές πλειάδες. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό έχουν προταθεί δύο νέα είδη σημασιολογίας για επερωτήσεις: το *Υπερσύνολο* και το *Υποσύνολο*. Σύμφωνα με τη σημασιολογία του *Υπερσυνόλου* το αποτέλεσμα μιας επερώτησης είναι το σύνολο όλων των πλειάδων που πιθανώς επαληθεύουν το ζητούμενο κατηγορήμα. Σύμφωνα με τη σημασιολογία του *Υποσυνόλου* το αποτέλεσμα μιας επερώτησης είναι το σύνολο όλων των πλειάδων που σίγουρα επαληθεύουν το ζητούμενο κατηγορήμα. Αυτό είναι ένα υποσύνολο του επιθυμητού αποτελέσματος.

Οι δύο αυτές περιπτώσεις ταυτίζονται μεταξύ τους στην κλασσική σημασιολογία σε μια μέγιστη τιμή του παράγοντα μεταβλητότητας. Για γίνει καλύτερα αντιληπτό ας θεωρήσουμε το παράδειγμα ενός κινούμενου αντικειμένου στο δισδιάστατο χώρο από το σημείο $P1$ στο $P2$ σε ένα διάστημα χρόνου και έστω η μέγιστη ταχύτητα είναι 20 μονάδες χώρο ανά μονάδα χρόνου. Στο μοντέλο θεωρείται ότι η τροχιά είναι η ευθεία που ενώνει τα δύο σημεία. Αν η απόσταση μεταξύ των $P1$ και $P2$ είναι 20 τότε πράγματι η τροχιά που ακολούθησε το κινητό είναι η ευθεία μεταξύ τους (Σχήμα 2.9 α). Αν τα δύο σημεία ταυτίζονται τότε πιθανώς το αντικείμενο αν έμεινε ακίνητο, αλλά αυτό δεν είναι σίγουρο αφού μπορεί να ακολούθησε την τροχιά που φαίνεται στο Σχήμα 2.9 γ. Στην χειρότερη περίπτωση μπορεί να απομακρύνθηκε σε απόσταση ίση με το μισό της μέγιστης και επέστρεψε. Όλα τα πιθανά σημεία ανήκουν σε ένα κύκλο με κέντρο $P1$ και ακτίνα ίση με $vn_{max}/2$.

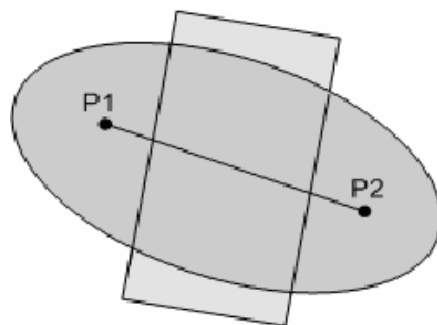
Στην ενδιάμεση περίπτωση τα πιθανά σημεία βρίσκονται σε μία έλλειψη με εστίες τα $P1$ και $P2$ η οποία δίνεται από την σχέση $x^2/a^2 + x^2/b^2 = 1$, όπου $a = vn_{max}/2$, $c = |P2 - P1|/2$ και $b^2 = a^2 - c^2$.



Σχήμα 2.9: Πιθανές τροχιές κινητού σε ένα μεσοδιάστημα

Και οι τρεις αυτές περιπτώσεις μπορούν να περιγραφούν σε μια μοναδική περίπτωση, την περίπτωση της έλλειψης. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε έλλειψη με $b = 0$ και $a = c$. Ενώ στην περίπτωση του κύκλου έχουμε έλλειψη με $c = 0$ και $a = b$.

Για να ήμαστε σίγουροι ότι ένα αντικείμενο έχει περάσει από μια περιοχή αρκεί μία παρατήρηση να έχει γίνει όταν το αντικείμενο βρισκόταν μέσα στην περιοχή. Αυτό μπορεί εύκολα να γίνει στο μοντέλο αφού ξέρουμε ακριβώς τους χρόνους παρατήρησης και μπορεί να υπολογιστεί η θέση του αντικειμένου σε κάθε χρονική στιγμή. Ακόμα και αν δεν υπάρχει καμία παρατήρηση μέσα σε μία περιοχή, υπάρχουν περιπτώσεις που μπορούμε να βεβαιωθούμε ότι το αντικείμενο διέσχισε την περιοχή. Μια τέτοια περίπτωση απεικονίζεται στο σχήμα 2.10. Επομένως για να είμαστε βέβαιοι ότι ένα κινούμενο αντικείμενο διέσχισε μία περιοχή, πρέπει είτε μια παρατήρηση να έγινε μέσα στην περιοχή είτε όλες οι πιθανές τροχιές που ενώνουν δύο σημεία παρατήρησης που περιέχονται στην έλλειψη τέμνουν την περιοχή αυτή.



Σχήμα 2.10: Όλες οι πιθανές τροχιές μεταξύ των $P1$ και $P2$ τέμνουν το ορθογώνιο

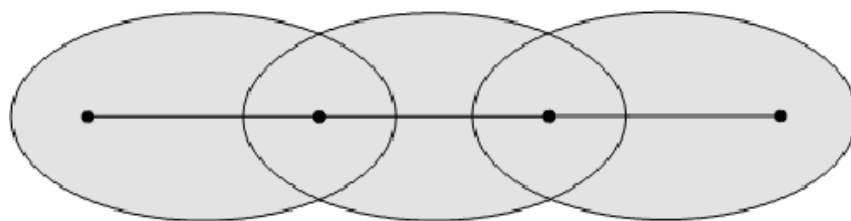
Η επέκταση των παραπάνω σημασιολογιών και σε άλλες διαστάσεις γίνεται άμεσα. Στο μονοδιάστατο χώρο η έλλειψη γίνεται ευθύγραμμο τμήμα, ενώ στις τρεις διαστάσεις γίνεται ελλειψοειδής κοκ.

Η σημασιολογία του Υπερσυνόλου και Υποσυνόλου επιτρέπουν διάφορα είδη απαντήσεων σε επρωτήσεις. Η σημασιολογία του Υποσυνόλου επιτρέπει τον καθορισμό των πλειάδων που σίγουρα επαληθεύουν το κατηγορήμα. Η σημασιολογία του Υπερσυνόλου επιτρέπει τον καθορισμό των πλειάδων που πιθανώς επαληθεύουν το κατηγορήμα, και το συμπλήρωμα του συνόλου τους σίγουρα δεν επαληθεύει το κατηγορήμα. Η διαφορά των δύο συνόλων δίνει το σύνολο πλειάδων για τις οποίες το μοντέλο δεν μπορεί να αποφανθεί.

2.1.3.7 Το επεκταμένο μοντέλο

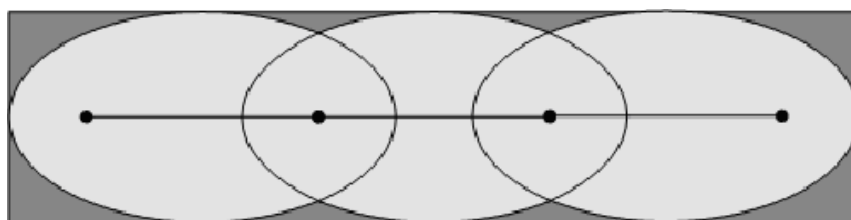
Για απλότητα το μοντέλο θα παρουσιαστεί για αντικείμενα του δισδιάστατου χώρου. Στο μοντέλο δεδομένων, ένα χρονικό διάστημα μπορεί να περιέχει αρκετές παρατηρήσεις, επομένως ο ορισμός μιας περιοχής σύμφωνα με τη σημασιολογία του Υπερσυνόλου και

Υποσυνόλου εμπλέκει επίσης αρκετές ελλείψεις (Σχήμα 2.11). Και αφού τα χρονικά διαστήματα μεταξύ παρατηρήσεων είναι ίσα οι ελλείψεις θα είναι ίσες.



Σχήμα 2.11

Είναι προφανές ότι δεν είναι εύκολο χειρισμός μιας τέτοιας γεωμετρίας για την απάντηση επερωτήσεων. Για την αποφυγή αυτού χρησιμοποιείται το ελάχιστο περιβάλλον των ελλείψεων (Σχήμα 2.12). Η επέκταση της προσέγγισης στην περιοχή του ελάχιστου περιβάλλοντος κουτιού είναι πιο εύκολο να χειριστεί, και η παραπάνω περιοχή που εισάγεται δεν είναι σημαντική. Η σημασιολογία του Υπερσυνόλου και Υποσυνόλου εξακολουθεί να είναι έγκυρη χρησιμοποιώντας το ελάχιστο περιβάλλον κουτί.



Σχήμα 2.12

Η επέκταση του μοντέλου λαμβάνοντας υπόψη την σημασιολογία που αναπτύχθηκε παραπάνω είναι απαραίτητο να αλλάξει το μοντέλο δεδομένων. Η νέα Βάση Γνώσης της Κίνησης αποτελείται από πλειάδες της μορφής $(Pid, t_0, t_1, v, n, nv_1, nv_2, b_1, b_2)$. Όπως και στο προηγούμενο μοντέλο, τα $Pid, [t_0, t_1]$, και v , είναι αντίστοιχα η ταυτότητα του αντικειμένου, το χρονικό διάστημα και ένα δισδιάστατο διάνυσμα $(x1, x2)$ που αναπαριστά την θέση του αντικειμένου στην αρχή του χρονικού διαστήματος. Τα nv_1, nv_2 είναι συναρτήσεις μεταβλητότητας σε κάθε διάσταση. Τα νέα στοιχεία είναι, το n , που αναπαριστά τον αριθμό των παρατηρήσεων στο χρονικό διάστημα, και τα b_1, b_2 , που αναπαριστούν αντίστοιχα τις αποστάσεις $(a-c)$ και b που φαίνονται στο σχήμα 2.9.

Η γενική δομή για τη Βάση Γνώσης της Κίνησης στον κ -διάστατο χώρο είναι της μορφής $(Pid, t_0, t_1, v, n, nv_1, nv_2, \dots, nv_\kappa, b_1, b_2, \dots, b_\kappa)$.

2.1.3.8 Υλοποίηση σε ΣΣΔΒΔ

Το παραπάνω μοντέλο μπορεί να υλοποιηθεί σε ένα σχεσιακό σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων. Η παρουσίαση της υλοποίησης γίνεται στον Τόμο II.

2.2 Διαθέσιμες τεχνολογίες

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται οι διαθέσιμες τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν για την περάτωση της διπλωματικής. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι περιγράφουμε την τεχνολογία υπολογισμού της θέσης ενός οχήματος, αποστολής των δεδομένων σε έναν υπολογιστή και την τεχνολογία γραφικής απεικόνιση γεωγραφικών χαρτών.

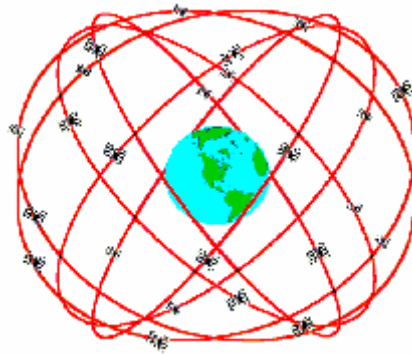
2.2.1 GSM – GPS – GPRS

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή το αντικείμενο της διπλωματικής είναι η ανάπτυξη ενός πλαισίου για έρευνα σε χωροχρονικές βάσεις δεδομένων, μέσω της ανάπτυξης μιας εφαρμογής για την παρακολούθηση οχημάτων. Ένα από τα βασικά συστατικά ενός συστήματος παρακολούθησης οχημάτων (αντικειμένων) είναι και το υποσύστημα που είναι υπεύθυνο για την συλλογή και την αποθήκευση των δεδομένων. Το σύστημα που αναπτυχθεί θα περιλαμβάνει και ένα υποσύστημα το οποίο θα είναι υπεύθυνο για τον υπολογισμό της θέσης κάθε οχήματος, την αποστολή των δεδομένων θέσεις σε ένα υπολογιστή και την αποθήκευση σε μια χωροχρονική βάση δεδομένων. Για την υλοποίηση του υποσυστήματος αυτού μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαθέσιμες τεχνολογίες, οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια.

2.2.1.1 Υπολογισμός θέσης οχήματος

Για τον υπολογισμό της θέσης κάθε οχήματος, δηλαδή για την συλλογή των δεδομένων, θα χρησιμοποιηθεί το διαθέσιμο σύστημα παγκόσμιου εντοπισμού GPS (Global Positioning System). Κάθε όχημα θα φέρει μια συσκευή η οποία πέραν των άλλων έχει GPS και μπορεί να υπολογίζει την θέση ενός οχήματος με ακρίβεια 10 μέτρων.

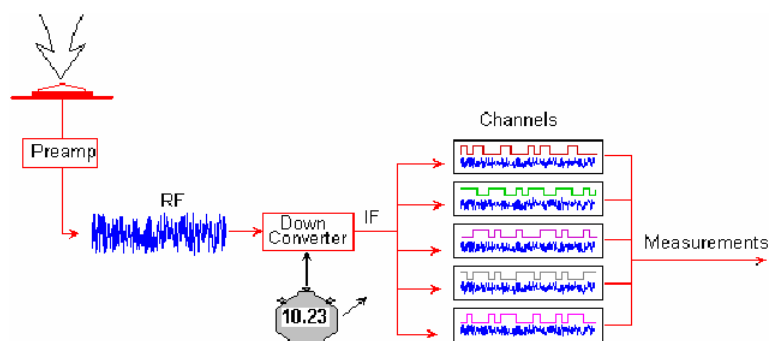
Η λειτουργία του GPS βασίζεται σε ένα δίκτυο δορυφόρων (Σχήμα 2.13), με σχεδόν κυκλικές τροχιές σε ονομαστικό ύψος 20.183 km πάνω από την επιφάνεια της γης και περίοδο 12 αστρικές ώρες. Το αρχικό σύστημα των δορυφόρων αποτελούνταν από 24 ενεργούς δορυφόρους, σε τρία επίπεδα περιστροφής κεκλιμένα ως προς τον ισημερινό, αλλά αυτά τα επίπεδα έχουν αλλάξει και οι δορυφόροι κινούνται τώρα σε έξι διαφορετικά επίπεδα (με γωνία κλίσης 55°) περιστροφής με τέσσερις δορυφόρους στο κάθε επίπεδο. Το συνολικό σύστημα περιλαμβάνει 27 δορυφόρους, τρεις από τους οποίους είναι εφεδρικοί.



Σχήμα 2.13: Σύστημα δορυφόρων του GPS

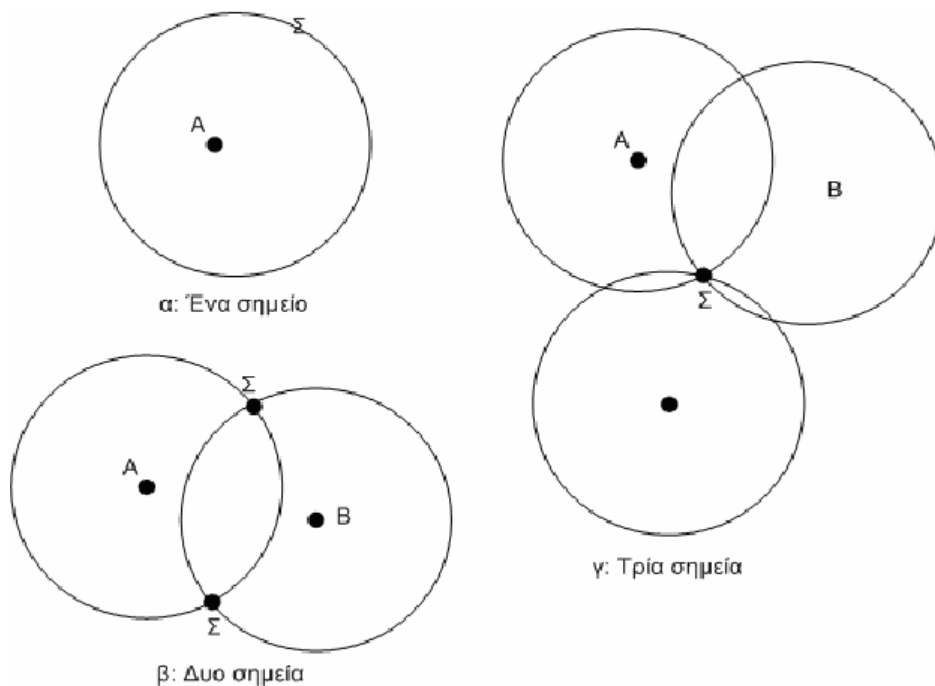
Ο δέκτης του συστήματος, που είναι η συσκευή που αναφέραμε και παραπάνω, για να καθορίσει την θέση που πρέπει να εντοπίσει τουλάχιστον τέσσερις από αυτούς τους δορυφόρους, να υπολογίσει την απόσταση του από αυτούς και στη συνέχεια από αυτή την πληροφορία μπορεί να υπολογίσει την θέση του.

Για τον υπολογισμό της απόστασης κάθε δορυφόρου ο δέκτης (Σχήμα 2.14) έχει συνήθως μια ομοκατευθυντική κεραία, μέσω της οποίας λαμβάνει ένα σήμα, που εκπέμπεται από κάθε δορυφόρο, και, χρησιμοποιώντας την παρακάτω διάταξη, μπορεί από τα χαρακτηριστικά του λαμβανόμενου σήματος να εξάγει την απόσταση του δορυφόρου.



Σχήμα 2.14: Δέκτης GPS

Για τον υπολογισμό της θέσης του, από τις αποστάσεις τεσσάρων δορυφόρων, χρησιμοποιείται μια γνωστή μαθηματική μέθοδος που στις δυο διαστάσεις ονομάζεται *τριγωνοποίηση* (*trilateration*). Για λόγους γραφική αναπαράστασης παρουσιάζουμε την μέθοδο στις δύο διαστάσεις. Για τον υπολογισμό τις θέσεις ενός σημείου Σ στο δισδιάστατο επίπεδο από αποστάσεις από άλλα σημεία απαιτούνται τουλάχιστον τρία διαφορετικά σημεία (Σχήμα 2.15 γ). Αν είναι γνωστή η απόσταση μόνο από ένα σημείο Α, τότε το ζητούμενο σημείο μπορεί να βρίσκεται οπουδήποτε πάνω σε ένα κύκλο (Σχήμα 2.15 α). Αν είναι γνωστή η απόσταση από δύο διαφορετικά σημεία Α και Β, τότε υπάρχουν δύο πιθανές θέσεις (Σχήμα 2.15 β). Με τις αποστάσεις από τρία διαφορετικά σημεία Α, Β, Γ καθορίζεται ακριβώς το σημείο (Σχήμα 2.15 γ).



Σχήμα 2.15: Τριγωνοποίηση – trilateration

Η ίδια διαδικασία εφαρμόζεται και στις τρεις διαστάσεις, μόνο που απαιτούνται τέσσερα σημεία και επομένως τέσσερις δορυφόροι.

2.2.1.2 Αποστολή και αποθήκευση δεδομένων

Η αποστολή και αποθήκευση των δεδομένων αποτελείται από τρία τμήματα. Τα τμήματα αυτά είναι, η αποστολή, η λήψη και η αποθήκευση. Η αποστολή γίνεται από τον πελάτη (client) ο οποίος είναι η ίδια συσκευή που έχει και το GPS. Η λήψη και η αποθήκευση γίνεται στον εξυπηρετητή (server).

Πελάτης

Η συσκευή πελάτη, που όπως είπαμε έχει ενσωματωμένο GPS, περιέχει επίσης και έναν GPRS/GSM διαμορφωτή/αποδιαμορφωτή (modem) μέσω του οποίου μπορούν να σταλούν τα δεδομένα στον εξυπηρετητή. Η συσκευή φέρει μία κοινή κάρτα (sim) σύνδεσης κινητής τηλεφωνίας (GSM), και η αποστολή των δεδομένων μπορεί να γίνει με δύο τρόπος:

- *GPRS*: χρησιμοποιώντας το διαδίκτυο στέλνει τα δεδομένα μέσω του πρωτοκόλλου TCP/IP στην IP διεύθυνση του εξυπηρετητή
- *SMS*: στέλνοντας απλά SMS μηνύματα σε ένα κινητό τηλέφωνο που είναι συνδεδεμένο με τον εξυπηρετητή

Το πλεονέκτημα του πρώτου τρόπου είναι το μεγαλύτερο διαθέσιμο εύρος ζώνης, ενώ του δεύτερου η απλότητα του.

Εξυπηρετητής

Το σύστημα του εξυπηρετητή, που δέχεται τα δεδομένα, είναι αντίστοιχο του τρόπου αποστολής των δεδομένων. Στην πρώτη περίπτωση πρέπει να υπάρχει το κατάλληλο λογισμικό που θα περιμένει τα δεδομένα από το διαδίκτυο μέσω του πρωτοκόλλου TCP/IP και αφού τα επεξεργαστεί κατάλληλα τα εισάγει σε μια βάση δεδομένων. Στην δεύτερη περίπτωση πρέπει να υπάρχει ένα κινητό τηλέφωνο συνδεδεμένο με τον υπολογιστή και επίσης κατάλληλο λογισμικό για να ελέγχει το κινητό τηλέφωνο για εισερχόμενα μηνύματα με δεδομένα και να τα εισάγει σε μια βάση δεδομένων.

Τα παραπάνω είναι διαθέσιμα για χρήση στα πλαίσια της εργασίας αυτής. Το τμήμα λήψης του εξυπηρετητή θα αποτελείται από ένα κινητό τηλέφωνο με θύρα υπερύθρων που θα επικοινωνεί με έναν υπολογιστή μέσω μιας συσκευής υπερύθρων.

Το απαραίτητο λογισμικό και για τις δυο περιπτώσεις είναι επίσης διαθέσιμο προς χρήση. Πρόκειται για ένα λογισμικό πακέτο το οποίο αυτοματοποιεί σε μεγάλο βαθμό την επικοινωνία και στις δύο περιπτώσεις. Το πακέτο αυτό είναι το *message master SMS SDK* από την εταιρία *Dedrack*, περισσότερες πληροφορίες βρίσκονται στο τέλος.

Η μόνη εργασία που πρέπει να γίνει είναι στο τμήμα της εισαγωγής των δεδομένων στη βάση δεδομένων. Χρησιμοποιώντας όλα τα παραπάνω θα κατασκευαστεί ένα σύστημα που θα συλλέγει και αποθηκεύει δεδομένα της κίνησης των οχημάτων.

2.2.2 Γραφική απεικόνιση γεωγραφικών χαρτών

Το πλαίσιο που θα αναπτυχθεί θα περιέχει και μια εφαρμογή ή οποία θα δίνει την δυνατότητα γραφικής απεικόνισης και επεξεργασίας των δεδομένων. Η εφαρμογή θα έχει και την δυνατότητα της γραφικής απεικόνισης χαρτών και των δεδομένων που λαμβάνονται πάνω στους χάρτες αυτούς.

Η τεχνολογία αυτή είναι επίσης διαθέσιμη από την εταιρία *ESRI* στο λογισμικό πακέτο *Map Objects*. Το λογισμικό παρέχει στον χρήστη-προγραμματιστή πολλές τις δυνατότητες όπως:

- *Απεικόνιση χάρτη*: δίνεται η δυνατότητα γραφικής απεικόνισης γεωγραφικών χαρτών σε οποιαδήποτε ψηφιακή μορφή.
- *Πλοήγηση*: δίνεται η δυνατότητα εύκολη πλοήγησης στον χάρτη (όπως *zoom*, *pan* κλπ)
- *Προσθήκης στοιχείων*: δίνεται η δυνατότητα για αναπαράσταση δεδομένων πάνω στο χάρτη (σημεία, γραμμές κλπ)

2.3 Στόχος

Ο στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η υλοποίηση ενός πλαισίου που θα παρέχει την δυνατότητα έρευνας σε κινητές e-services και σε χωροχρονικές βάσεις δεδομένων. Οι προδιαγραφές που πρέπει να πληρεί το πλαίσιο αυτό, ώστε να είναι δυνατή οι έρευνα στους τομείς αυτούς, περιγράφονται συνοπτικά στις επόμενες παραγράφους. Η οριοθέτηση του στόχου της παρούσας διπλωματική έχει ως εξής:

2.3.1 Συλλογή δεδομένων

2.3.1.1 Πραγματικά δεδομένα

Η έρευνα πάνω σε κινητές e-services και σε χωροχρονικές βάσεις δεδομένων απαιτεί πραγματικά δεδομένα από κινούμενα σημεία. Το πλαίσιο που θα υλοποιηθεί θα περιλαμβάνει και ένα σύστημα για συλλογή δεδομένων από κινούμενα σημεία. Τα κινούμενα σημεία στην περίπτωση θα είναι κινούμενα οχήματα. Για το σκοπό αυτό θα υλοποιηθεί μία εφαρμογή για την παρακολούθηση της κίνησης οχημάτων.

Η συλλογή των δεδομένων από τα κινούμενα οχήματα θα επιτυγχάνεται μέσω μιας συσκευής που κάθε όχημα θα μεταφέρει. Η συσκευή αποτελείται από ένα σύστημα δέκτη GPS και από ένα GPRS/GSM modem. Ο δέκτης GPS χρησιμοποιεί το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού (GPS) και υπολογίζει την γεωγραφική θέση του οχήματος με ακρίβεια 10 μέτρων. Το GPRS/GSM modem, που φέρει μια κάρτα κινητής τηλεφωνίας (sim), μπορεί να στέλνει και να λαμβάνει δεδομένα από το δέκτη προς έναν υπολογιστή του διαδικτύου με γνωστή διεύθυνση (IP) ή σε έναν αριθμό κινητού τηλεφώνου.

Τα δεδομένα της θέσης του οχήματος, που υπολογίζει ο δορυφορικός δέκτης, θα πρέπει να μεταφέρονται σε έναν υπολογιστή και να αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων. Η επιλογή που θα γίνει στα πλαίσια της διπλωματικής είναι η χρήση του GPRS/GSM modem, με μία σύνδεση κινητής τηλεφωνίας, και η αποστολή των δεδομένων μέσω μηνυμάτων SMS σε έναν αριθμό τηλεφώνου. Το τηλέφωνο αυτό θα είναι συνδεδεμένο με έναν υπολογιστή εξυπηρετητή. Στο εξυπηρετητή θα τρέχει μία εφαρμογή που θα περιμένει τα μηνύματα από το τηλέφωνο και θα εξαγάγει τα δεδομένα με τις θέσεις των οχημάτων και θα τα αποθηκεύει στη βάση δεδομένων.

2.3.1.2 Δεδομένα προσομοίωσης

Η υποστήριξη συλλογής πραγματικών δεδομένων από κινούμενους στόχους είναι ένας από τους βασικούς στόχους της διπλωματικής εργασίας. Λόγω όμως και του σχετικού κόστους για την συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων είναι αναγκαίο να υπάρχει και ένας άλλος πιο

ευέλικτος τρόπος για συλλογή δεδομένων. Έτσι στα πλαίσια της εργασίας αυτής θα πρέπει να αναπτυχθεί και ένας τέτοιος τρόπος συλλογής δεδομένων. Ένας τέτοιος τρόπος είναι η προσομοίωση της κίνησης ενός οχήματος.

Είναι σημαντικό να αναπτυχθεί ένα λογισμικό εργαλείο που θα προσομοιώνει την κίνηση ενός οχήματος και θα παράγει δεδομένα διαθέσιμα για την διεξαγωγή της έρευνας στους τομείς των κινούμενων e-services και των χωροχρονικών βάσεων δεδομένων. Το εργαλείο αυτό πρέπει να είναι όσο το δυνατόν παραμετρικό, έτσι ώστε να δύναται η δυνατότητα στο χρήστη να έχει δεδομένα με τα χαρακτηριστικά που αυτός επιθυμεί και να πλησιάζουν όσο γίνεται πραγματικά δεδομένα από κινούμενου στόχους. Το εργαλείο αυτό είναι σημαντικό και τον έλεγχο του συστήματος από πλευράς σωστής υλοποίησης και λειτουργίας.

2.3.2 Βάση δεδομένων

2.3.2.1 Χωροχρονικός χαρακτήρας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω αρκετές φορές, ο στόχος της διπλωματικής είναι η έρευνα σε κινητές e-services και σε χωροχρονικές βάσεις δεδομένων. Πρέπει επομένως, να υλοποιηθεί μία βάση δεδομένων για χωροχρονικά δεδομένα, ένα σχήμα χωροχρονικής βάσης δεδομένων. Η βάση αυτή θα διαχειρίζεται τα δεδομένα που θα συλλέγονται από κινούμενα οχήματα.

Το σχήμα της βάσης θα είναι απλό αλλά κατάλληλο για μία απλή εφαρμογή παρακολούθησης οχημάτων. Πρέπει να περιέχει σχέσεις για την αποθήκευση χαρακτηριστικών των οχημάτων, των οδηγών τους, των διαδρομών του κάθε οχήματος κλπ. Το βασικότερο όμως χαρακτηριστικό της βάσης θα είναι η χωροχρονική της διάσταση. Θα πρέπει να είναι κατάλληλη για την αποθήκευση και την διαχείριση των χωροχρονικών δεδομένων της κίνησης των οχημάτων. Τα χωροχρονικά δεδομένα στην παρούσα περίπτωση είναι η γεωγραφική θέση κάθε οχήματος σε κάθε χρονική στιγμή.

2.3.2.2 Δείκτες

Η βάση δεδομένων, εκτός από την αποθήκευση των χωροχρονικών δεδομένων, θα πρέπει να παρέχει και αποδοτική εξαγωγή συμπερασμάτων και αποτελεσμάτων από αυτά. Η έρευνα πάνω στην κίνηση σημείων απαιτεί ερωτήσεις πάνω στα δεδομένα με προεκτάσεις τόσο χωρικές όσο και χρονικές. Είναι σημαντικό να παρέχεται στον ερευνητή η δυνατότητα να κάνει τέτοιου είδους επερωτήσεις στην βάση και να έχει με αποδοτικό τρόπο ακριβείς απαντήσεις σε αυτές.

Πρέπει, επομένως, να προταθούν και να δοκιμαστούν κάποιες δομές και δείκτες πάνω στα χωροχρονικά δεδομένα που θα κάνουν αποδοτική την εκτέλεση επερωτήσεων πάνω σε αυτά. Οι δείκτες μπορούν να αφορούν σε χωρικά και χρονικά δεδομένα ξεχωριστά, αλλά είναι

σημαντικό να υποστηρίξουν ταυτόχρονη προσπέλαση στα δεδομένα και στις δύο διατάξεις τους, την χωρική και την χρονική.

2.3.3 Γραφικό περιβάλλον

Το πλαίσιο που θα αναπτυχθεί θα περιλαμβάνει και μία εφαρμογή με φιλική προς το χρήστη διαπροσωπεία για την διαχείριση της βάσης δεδομένων αλλά και την εξαγωγή συμπερασμάτων από τα δεδομένα της.

2.3.3.1 Διαχείριση

Η εφαρμογή θα πρέπει να παρέχει την δυνατότητα διαχείρισης των δεδομένων της βάσης, που δεν είναι άμεσα χωροχρονικού χαρακτήρα, με εύκολο γραφικό τρόπο. Ο χρήστης θα πρέπει να μπορεί να βλέπει τα οχήματα, τους οδηγούς, τις διαδρομές κλπ μέσα από ένα γραφικό περιβάλλον χωρίς να απαιτείται να εκτελέσει μόνος του επερωτήσεις. Μέσα από το ίδιο περιβάλλον θα πρέπει να μπορεί επίσης να αλλάξει στοιχεία που αφορούν στους οδηγούς, τα οχήματα κλπ, και επιπλέον να εισάγει νέα δεδομένα στη βάση.

2.3.3.2 Γραφική απεικόνιση

Το γραφικό περιβάλλον πρέπει να δίνει την δυνατότητα γραφικής απεικόνισης χωροχρονικών δεδομένων. Κατά πρώτο και σημαντικό λόγο, θα πρέπει να μπορεί να απεικονίσει γραφικά γεωγραφικούς χάρτες σε οποιαδήποτε ηλεκτρονική μορφή. Οι χάρτες μπορούν να είναι οποιασδήποτε κλίμακας και ανάλυσης και οποιασδήποτε μορφής (όπως π.χ. οδικοί χάρτες μιας πόλης ή ενός κράτους ή διακρατικοί).

Κατά δεύτερο λόγο, και επίσης πολύ σημαντικό, πρέπει να δίνεται η δυνατότητα αναπαράστασης, πάνω στον χάρτη, των δεδομένων που συλλέγονται από τα κινούμενα οχήματα και αποθηκεύονται στην βάση. Πρέπει να μπορεί ο χρήστης να δει πάνω στον χάρτη την διαδρομή που ακολούθησε ένα όχημα, και να μπορεί να βλέπει για παράδειγμα την ακριβή γεωγραφική θέση ενός σημείου της τροχιάς του οχήματος.

3

Ανάλυση και σχεδίαση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται η ανάλυση και η σχεδίαση του συστήματος που πρόκειται να αναπτυχθεί. Παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του συστήματος και περιγράφονται οι λειτουργίες που θα προσφέρει στον χρήστη.

3.1 Περιγραφή Αρχιτεκτονική

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται η αρχιτεκτονική τους συστήματος. Περιγράφονται οι οντότητες που χρησιμοποιούν το σύστημα και οι οντότητες που απαρτίζουν το σύστημα. Περιγράφεται επίσης ο τρόπος συνεργασίας μεταξύ των οντοτήτων καθώς η ροή δεδομένων μεταξύ αυτών. Περιγράφονται επίσης η αρχιτεκτονική των οντοτήτων ξεχωριστά.

3.1.1 Χρήστες του συστήματος

Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή της αρχιτεκτονικής του συστήματος είναι αναγκαίο να αναφερθούμε στο ποίοι είναι οι χρήστες, με την ευρεία έννοια, του συστήματος. Δηλαδή ποιες εξωτερικές οντότητες επικοινωνούν με το προς σχεδίαση σύστημα. Οι οντότητες αυτές είναι κατά κύριο λόγο δύο: τα κινούμενα οχήματα και ο χρήστης της εφαρμογής παρακολούθησης της κίνησης των οχημάτων. Παρουσιάζουμε εν συντομία τον ρόλο κάθε μιας από τις δύο παραπάνω οντότητες στις δύο επόμενες παραγράφους, καθώς ο ρόλος τους θα αποφαινησθεί και θα καθορισθεί πληρέστερα στην συνέχεια στις ενότητες που ακολουθούν.

Κινούμενα οχήματα

Ο ρόλος των κινούμενων οχημάτων, ως χρήστες του συστήματος είναι απλός. Η επικοινωνία τους με τις άλλες οντότητες του συστήματος περιορίζεται κατά κύριο λόγο στην ενημέρωση των οντοτήτων που ενδιαφέρονται για τις γεωγραφικές τους θέσεις ανά καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Το σύστημα, λοιπόν, θα είναι ενήμερο για την θέση που βρίσκεται κάθε όχημα σε κάθε χρονική στιγμή. Κατά δευτερεύον λόγο το κάθε όχημα θα μπορεί να επικοινωνεί και με το σύστημα και σε άλλες περιπτώσεις είτε ενημερώνοντας το σύστημα για διάφορα συμβάντα και καταστάσεις είτε λαμβάνοντας από το σύστημα μηνύματα (π.χ. εντολές).

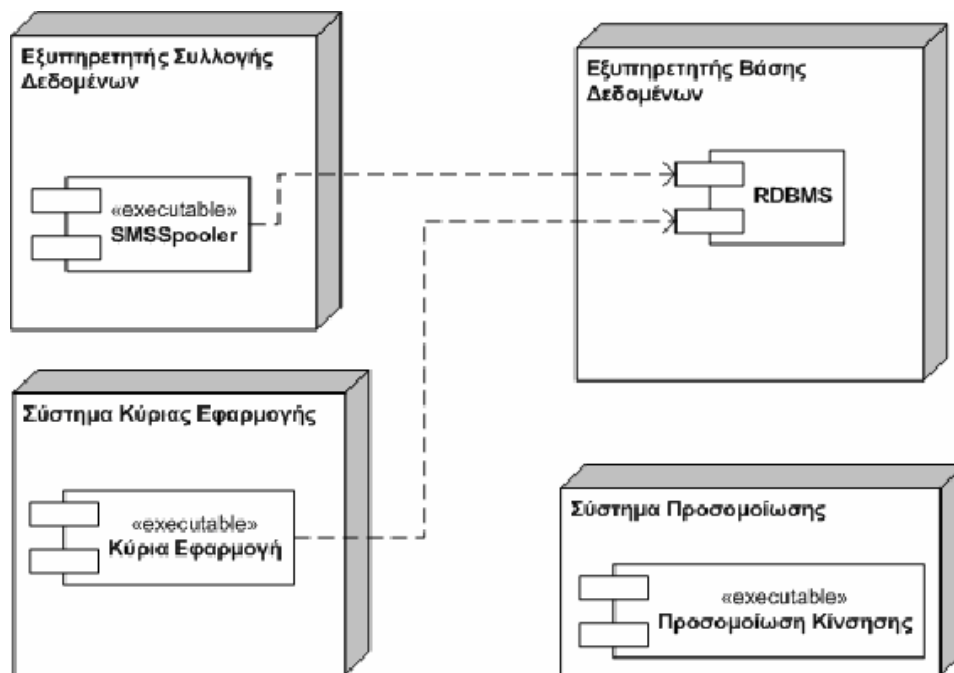
Βασικός χρήστης

Ο βασικός χρήστης της εφαρμογής είναι ο χρήστης της εφαρμογής παρακολούθησης των οχημάτων. Ο χρήστης θα μπορεί να επικοινωνεί με το σύστημα μέσω μιας γραφικής διαπροσωπείας χρήστη (GUI). Η διαπροσωπεία αυτή θα δίνει την δυνατότητα στο χρήστη: να διαχειρίζεται της πληροφορίες σχετικά με τα οχήματα αλλά και με άλλων στοιχείων που έχουν σχέση με αυτά όπως τερματικοί σταθμοί, οδηγεί κλπ, να έχει γραφική απεικόνιση της περιοχής στην οποία κινούνται τα οχήματα, να εξάγει πληροφορίες από την κίνηση των οχημάτων και να μπορεί να βλέπει (με γραφικό τρόπο) αυτές τις πληροφορίες.

3.1.2 Οντότητες του συστήματος

Το σύστημα για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες των οντοτήτων χρηστών του οργανώνεται σε υποσυστήματα. Ένα υποσύστημα είναι υπεύθυνο για την εξυπηρέτηση κυρίως των κινούμενων οχημάτων, δηλαδή για την επικοινωνία με τα οχήματα, και θα το ονομάσουμε *υποσύστημα συλλογής δεδομένων*. Ένα άλλο υποσύστημα είναι υπεύθυνο για την εξυπηρέτηση των αναγκών του χρήστη, δηλαδή θα αποτελεί την γραφική διαπροσωπεία με τον χρήστη, και θα ονομάζεται υποσύστημα *κύριας εφαρμογής* του συστήματος. Ένα άλλο υποσύστημα, που θα αναπτυχθεί ως μέρος του συνολικού συστήματος, έχει να κάνει με την παραγωγή δεδομένων, προσομοιώνοντας την κίνηση στόχων στο δισδιάστατο χώρο, για τον έλεγχο του συστήματος αλλά και για πειραματισμούς, θα ονομάζεται *εφαρμογή προσομοίωσης κίνησης*.

Τα τρία υποσυστήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω θα μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Κοινό χαρακτηριστικό τους, όμως, θα είναι το ότι θα παράγουν ή θα χρησιμοποιούν κοινά δεδομένα, τα *χωροχρονικά δεδομένα*. Για το λόγο αυτό η βασική οντότητα του συστήματος θα είναι η αποθήκη των δεδομένων αυτών, δηλαδή η **χωροχρονική βάση δεδομένων**. Ο τρόπος διασύνδεσης των υποσυστημάτων με την βάση δεδομένων φαίνεται παρακάτω (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Γενικό διάγραμμα οντοτήτων

Οι παραπάνω τέσσερις κόμβοι (nodes) (Σχήμα 3.1) δεν είναι απαραίτητο να αντιστοιχιστούν σε αντίστοιχους διαφορετικούς φυσικούς κόμβους. Οι οντότητες που περιέχονται στους κόμβους μπορούν να συνυπάρχουν και να τρέχουν στο ίδιο φυσικό μηχάνημα. Έτσι, οι παραπάνω κόμβοι μπορούν, ανά δύο, τρεις ή και όλοι, να αποτελούν ένα φυσικό κόμβο. Για παράδειγμα η εφαρμογή για τη συλλογή των δεδομένων και το ΣΣΔΒΔ μπορούν να τρέχουν στον ίδιο εξυπηρετητή. Κάθε ένας από τους παραπάνω κόμβους αναλύονται περισσότερο στις επόμενες ενότητες.

3.1.3 Βάση δεδομένων

Η βάση δεδομένων αποτελεί την βασικότερη οντότητα του συστήματος και είναι ο συνδετικός κρίκος των οντοτήτων του συστήματος. Όλες οι άλλες οντότητες του συστήματος σχετίζονται με κάποιο τρόπο με την βάση δεδομένων. Το σύστημα συλλογής δεδομένων αποθηκεύει τα δεδομένα που συλλέγει στην βάση δεδομένων. Το σύστημα της κύριας εφαρμογής, γραφική διαπροσωπεία για την παρακολούθηση της κίνησης οχημάτων, εξάγει πληροφορίες από την βάση δεδομένων. Το σύστημα προσομοίωσης παράγει δεδομένα προσομοίωσης για να αποθηκευτούν στην βάση δεδομένων.

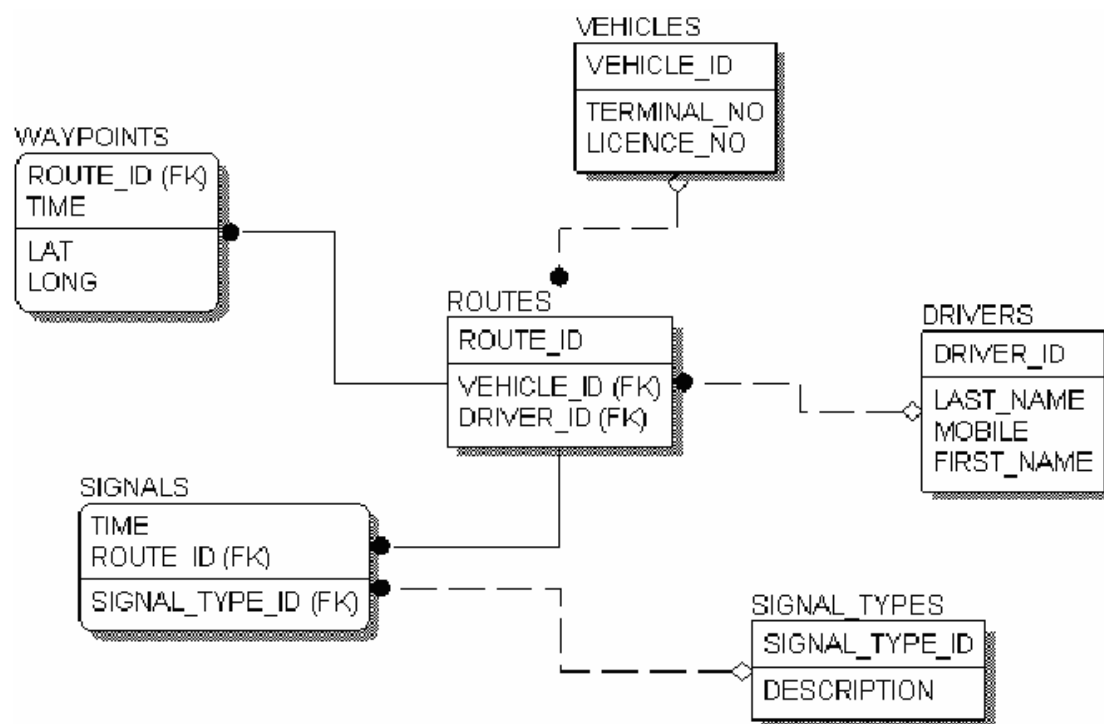
Η βάση δεδομένων που θα σχεδιαστεί δεν θα είναι πολύπλοκη αλλά υποστηρίζει τις ανάγκες της απλής εφαρμογής παρακολούθησης οχημάτων και της αποθήκευσης των χωροχρονικών δεδομένων της κίνησης των οχημάτων. Στην συνέχεια παρουσιάζουμε το σχήμα της βάσης που θα αναπτυχθεί για την κάλυψη των αναγκών και απαιτήσεων του συστήματος.

3.1.3.1 Διάγραμμα οντοτήτων – συσχετίσεων

Στην βάση δεδομένων πρέπει να αποθηκεύεται πληροφορία σχετικά με τα οχήματα, τους οδηγούς των οχημάτων των μηνυμάτων που αποστέλλονται και την κίνηση των οχημάτων. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω δεν θα σχεδιάσουμε μια βάση που θα περιέχει εκτενή στοιχεία αλλά τα βασικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για το σύστημα. Έτσι για τον κάθε οδηγό θα έχουμε το όνομά του και το τηλέφωνό του, για κάθε όχημα τον αριθμό κυκλοφορίας και τον τερματικό σταθμό. Η κίνηση των οχημάτων θα αποθηκεύεται με την μορφή διαδρομών (routes), όπου κάθε διαδρομή θα γίνεται από ένα όχημα με κάποιον οδηγό. Η χωροχρονική πληροφορία της κίνησης των οχημάτων θα αποθηκεύεται με την μορφή σημείων περάσματος (waypoints) συγκεκριμένης γεωγραφικής θέσεις και χρόνου. Τέλος θα αποθηκεύονται και τα σήματα (signals) που αποστέλλονται, όπου κάθε μήνυμα θα ανήκει σε μία διαδρομή και θα είναι ενός συγκεκριμένου τύπου.

Οι οντότητες που θα απαρτίζουν το σχήμα της βάσης είναι οι εξής: VEHICLES που θα κρατούν την πληροφορία κάθε αυτοκινήτου, DRIVERS για την αποθήκευση των στοιχείων των οδηγών, ROUTES για τις διαδρομές που θα αποθηκεύονται στην βάση, WAYPOINTS για την χωροχρονική πληροφορία κάθε διαδρομής, SIGNALS για τα μηνύματα που αποστέλλονται και SIGNAL_TYPES την περιγραφή των τύπων των μηνυμάτων.

Οι παραπάνω οντότητες αλλά και οι σχέσεις μεταξύ τους φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα οντοτήτων – συσχετίσεων (entity relations) (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα οντοτήτων – συσχετίσεων

Οι οντότητες που απαρτίζουν το παραπάνω διάγραμμα (Σχήμα 3.2), και θα αποτελέσουν τις σχέσεις στη σχεσιακή βάση δεδομένων που θα αναπτυχθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά στην συνέχεια. Για κάθε σχέση αναφέρονται τα γνωρίσματά της, το πρωτεύον κλειδί, αν υπάρχει, και τα ξένα κλειδιά, αν υπάρχουν.

Σχέσεις της βάσης δεδομένων

VEHICLES

<u>VEHICLE_ID</u>	TERMINAL_NO	LICENSE_NO
-------------------	-------------	------------

Η σχέση VEHICLES θα αποθηκεύει πληροφορία σχετικά με τα οχήματα που παρακολουθεί το σύστημα. Τα γνωρίσματα της σχέσης είναι τα εξής:

- VEHICLE_ID: κωδικός του οχήματος
- TERMINAL_NO: τερματικός σταθμός του οχήματος
- LICENSE_NO: αριθμός κυκλοφορίας του οχήματος

Πρωτεύον κλειδί: VEHICLE_ID

DRIVERS

<u>DRIVER_ID</u>	FIRST_NAME	LAST_NAME	MOBILE
------------------	------------	-----------	--------

Η σχέση DRIVERS θα αποθηκεύει πληροφορία σχετικά με τους οδηγούς των οχημάτων. Τα γνωρίσματα της σχέσης είναι τα εξής:

- DRIVER_ID: κωδικός του οδηγού
- FIRST_NAME: όνομα του οδηγού
- LAST_NAME: επώνυμο του οδηγού
- MOBILE: τηλέφωνο του οδηγού

Πρωτεύον κλειδί: DRIVER_ID

ROUTES

<u>ROUTE_ID</u>	VEHICLE_ID	DRIVER_ID
-----------------	------------	-----------

Η σχέση ROUTES θα αποθηκεύει πληροφορία σχετικά με τις διαδρομές των οχημάτων και οδηγών. Τα γνωρίσματα της σχέσης είναι τα εξής:

- ROUTE_ID: κωδικός της διαδρομής
- VEHICLE_ID: κωδικός του οχήματος που κάνει την διαδρομή
- DRIVER: κωδικός του οδηγού του οχήματος

Πρωτεύον κλειδί: ROUTE_ID

Ξένα κλειδιά: VEHICLE_ID από την σχέση VEHICLES,
DRIVER_ID από την σχέση DRIVERS

WAYPOINTS

<u>ROUTE_ID</u>	<u>TIME</u>	LONG	LAT
-----------------	-------------	------	-----

Η σχέση WAYPOINTS θα αποθηκεύει την χωροχρονική πληροφορία της κίνησης των οχημάτων. Κάθε πλειάδα θα περιέχει δεδομένα ενός σημείου περάσματος μιας διαδρομής. Τα γνωρίσματα της σχέσης είναι τα εξής:

- ROUTE_ID: κωδικός της διαδρομής που ανήκει το σημείο
- TIME: η χρονική στιγμή που το όχημα βρισκόταν στο συγκεκριμένο σημείο
- LONG: το γεωγραφικό μήκος του σημείου
- LAT: το γεωγραφικό πλάτος του σημείου

Πρωτεύον κλειδί: ROUTE_ID, TIME

Ξένα κλειδιά: ROUTE_ID από την σχέση ROUTES

SIGNALS

<u>ROUTE_ID</u>	<u>TIME</u>	<u>SIGNAL_TYPE_ID</u>
-----------------	-------------	-----------------------

Η σχέση SIGNALS θα αποθηκεύει τα μηνύματα που θα αποστέλλονται μεταξύ των οχημάτων και του συστήματος. Τα γνωρίσματα της σχέσης είναι τα εξής:

- ROUTE_ID: κωδικός της διαδρομής στην οποία ανήκει το μήνυμα
- TIME: η χρονική στιγμή που στάλθηκε το μήνυμα
- SIGNAL_TYPE_ID: ο τύπος του μηνύματος

Πρωτεύον κλειδί: ROUTE_ID, TIME

Ξένα κλειδιά: ROUTE_ID από την σχέση ROUTES

SIGNAL_TYPE_ID από την σχέση SIGNAL_TYPES

SIGNAL_TYPES

<u>SIGNAL_TYPE_ID</u>	DESCRIPTION
-----------------------	-------------

Η σχέση SIGNAL_TYPES θα αποθηκεύει τα τους διαθέσιμους τύπους μηνυμάτων και των περιγραφών αυτών. Τα γνωρίσματα της σχέσης είναι τα εξής:

- SIGNAL_TYPE_ID: κωδικός του τύπου μηνύματος
- DESCRIPTION: η περιγραφή του τύπου μηνύματος

Πρωτεύον κλειδί: SIGNAL_TYPE_ID

Από τις παραπάνω σχέσεις του σχήματος της βάσης, αυτή που θα μας απασχολήσει περισσότερο είναι η WAYPOINTS καθώς σε αυτήν αποθηκεύεται η χωροχρονική πληροφορία. Πάνω σε αυτήν θα προσπαθήσουμε να φτιάξουμε δείκτες και δομές για την εύκολη προσπέλαση των χωροχρονικών δεδομένων.

3.1.3.2 Προσπέλαση χωροχρονικών δεδομένων

Ένας από τους στόχους αυτής της εργασίας είναι να προταθεί ένας τρόπος αποδοτικής προσπέλασης των χωροχρονικών δεδομένων. Μετά την παρουσίαση του σχήματος της χωροχρονικής βάσης δεδομένων που θα αναπτυχθεί, μπορούμε να γίνουμε πιο σαφής στο ζητούμενο αυτό. Τα χωροχρονικά δεδομένα αποθηκεύονται στη σχέση WAYPOINTS με τη μορφή σημείων περάσματος κάθε διαδρομής. Το χωρικό τμήμα αποτελείται από τις γεωγραφικές συντεταγμένες ενώ αντίστοιχα το χρονικό από την χρονική στιγμή που αντιστοιχεί στο κάθε σημείο. Η προσπάθεια στον τομέα αυτό θα επικεντρωθεί σε δύο κυρίως κατευθύνσεις, την εφαρμογή ενός δείκτη και την υλοποίηση της δομής των κινούμενων αντικειμένων που παρουσιάστηκε στο αντίστοιχο θεωρητικό κομμάτι του κεφαλαίου 2.

Δείκτες

Τα υπάρχοντα συστήματα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων δεν υποστηρίζουν δεικτοδότηση χωροχρονικών δεδομένων. Αντίθετα, όσον αφορά σε χωρικά δεδομένα, έχουν αναπτυχθεί αποτελεσματικές μέθοδοι για την αποθήκευση και την προσπέλαση χωρικών δεδομένων, όπως για παράδειγμα με την χρήση R-δέντρων. Για τα χωροχρονικά δεδομένα έχουν προταθεί διάφορα θεωρητικά μοντέλα τα οποία όμως δεν έχουν υλοποιηθεί σε συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων.

Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής θα γίνει προσπάθεια για την εφαρμογή ενός από της δομές δεικτών χωροχρονικών δεδομένων που θα είναι κατάλληλος για την εφαρμογή στο σύστημά μας. Οι δομές αυτές, όπως για παράδειγμα διάφορες παραλλαγές των R-δέντρων, θα γίνει προσπάθεια να λειτουργήσουν ως ξεχωριστά αρχεία δεικτών εξωτερικά του συστήματος της βάσης δεδομένων.

Μοντέλο κινούμενων σημείων

Το μοντέλο των κινούμενων σημείων παρουσιάστηκε στο θεωρητικό κομμάτι στο κεφάλαιο 2. Το μοντέλο αυτό είναι κατάλληλο για το σύστημα που αναπτύσσουμε, καθότι τα οχήματα του συστήματός μας είναι ουσιαστικά κινούμενα σημεία στο δισδιάστατο χώρο. Θα γίνει προσπάθεια το μοντέλο αυτό να υλοποιηθεί στο σχεσιακό σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων που θα χρησιμοποιηθεί.

Η δομή Βάσης Γνώσης της Κίνησης που προτείνεται στο μοντέλο αυτό μπορεί να υλοποιηθεί σε ένα κοινό ΣΣΔΒΔ ως μία σχέση με κατάλληλα γνωρίσματα. Για την εφαρμογή του μοντέλου απαιτείται και μια βοηθητική σχέση. Η σχέσεις αυτές θα έχουν την παρακάτω μορφή.

MvtTable

Pid	t0	t1	tm	n	xm	ym	vx	vy	bx	by
-----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----

Η σχέση MvtTable αποτελεί την Βάση Γνώσης της Κίνησης και κάθε πλειάδα της αποθηκεύει προσεγγιστικά έναν αριθμό από σημεία περάσματος μιας διαδρομής μέσα σε ένα χρονικό διάστημα. Τα γνωρίσματα της σχέσης είναι τα εξής:

- *Pid*: κωδικός της διαδρομής
- *t0*: η αρχή του χρονικού διαστήματος
- *t1*: το τέλος του χρονικού διαστήματος
- *tm*: ο μέσος όρος των χρονικών στιγμών των σημείων στο συγκεκριμένο διάστημα
- *n*: ο αριθμός των σημείων στο συγκεκριμένο διάστημα
- *xm*: η τετμημένη της θέσης του κινητού την χρονική στιγμή *tm*
- *ym*: η τεταγμένη της θέσης του κινητού την χρονική στιγμή *tm*
- *vx*: ο όρος μεταβλητότητας κατά την διάσταση *x*
- *vy*: ο όρος μεταβλητότητας κατά την διάσταση *y*
- *bx*: ο όρος ακρίβειας κατά την διάσταση *x*

by: ο όρος ακρίβειας κατά την διάσταση *y*

ObsTable

opid	ot	ox	oy
------	----	----	----

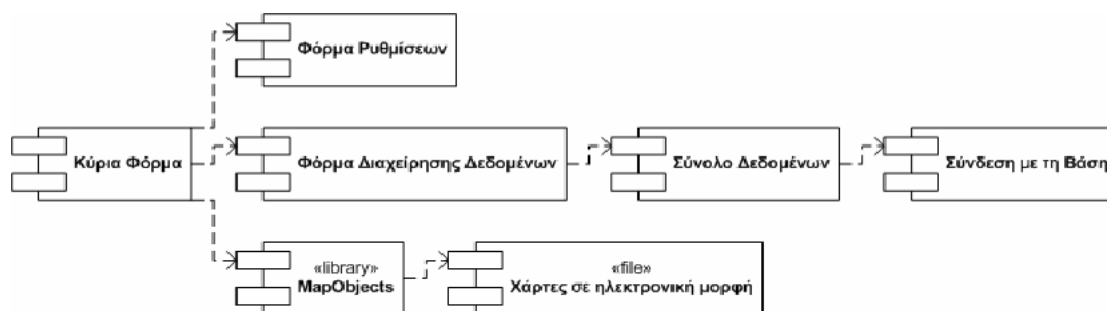
Η σχέση ObsTable αποτελεί την βοηθητική σχέση και κάθε πλειάδα της αποθηκεύει τα σημεία παρατήρησης του τελευταίου ενεργού παραθύρου για κάθε διαδρομή, δηλαδή της τελευταίας πλειάδας της σχέσης MvtTable για κάθε κινούμενο σημείο. Τα γνωρίσματα της σχέσης είναι τα εξής:

- *opid*: κωδικός της διαδρομής
- *ot*: η χρονική στιγμή του εισαγόμενου σημείου παρατήρησης
- *ox*: η τετμημένη του εισαγόμενου σημείου παρατήρησης
- *oy*: η τεταγμένη του εισαγόμενου σημείου παρατήρησης

Ο κανόνας συσσώρευσης που ορίστηκε στη θεωρητική παρουσίαση μπορεί να εφαρμοστεί υλοποιώντας μια σκανδάλη (trigger) που θα ελέγχει την εισαγωγή σημείων παρατηρήσεων. Η σκανδάλη αυτή μπορεί να ελέγχει τότε μια πλειάδα έχει γεμίσει και δεν χωράει άλλες παρατηρήσεις είτε αν δεν χωράει άλλες παρατηρήσεις επειδή παραβιάζεται ο κανόνας συσσώρευσης.

3.1.4 Κύρια εφαρμογή διαπροσωπείας χρήστη

Το σύστημα της κύριας εφαρμογής που αποτελεί την διαπροσωπεία χρήστη μέσω της οποίας θα μπορεί να διαχειρίζεται την βάση δεδομένων αλλά και να έχει γραφική απεικόνιση χαρτών αλλά και της κίνησης των οχημάτων. Η εφαρμογή αυτή αναλύεται περαιτέρω σε συστατικές οντότητες. Βασικές οντότητες είναι οι εξής: η οντότητα απεικόνισης ηλεκτρονικής μορφής χαρτών, ή οποία είναι διαθέσιμη σαν εξωτερική βιβλιοθήκη, οι χάρτες σε ηλεκτρονική μορφή (ως αρχεία) και οι φόρμες που υλοποιούν την διαπροσωπεία χρήστη (Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3: Οντότητες κύριας εφαρμογής

Οι παραπάνω οντότητες θα αποτελούν τις βασικές οντότητες της κύριας εφαρμογής. Η εφαρμογή, όμως, θα περιλαμβάνει και άλλες οντότητες ή οντότητες συστατικά των παραπάνω βασικών οντοτήτων. Επειδή όμως είναι κυρίως λεπτομέρειες του γραφικού περιβάλλοντος που θα αναπτυχθεί αφορούν πιο πολύ σε θέματα υλοποίησης και θα παρουσιαστούν αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

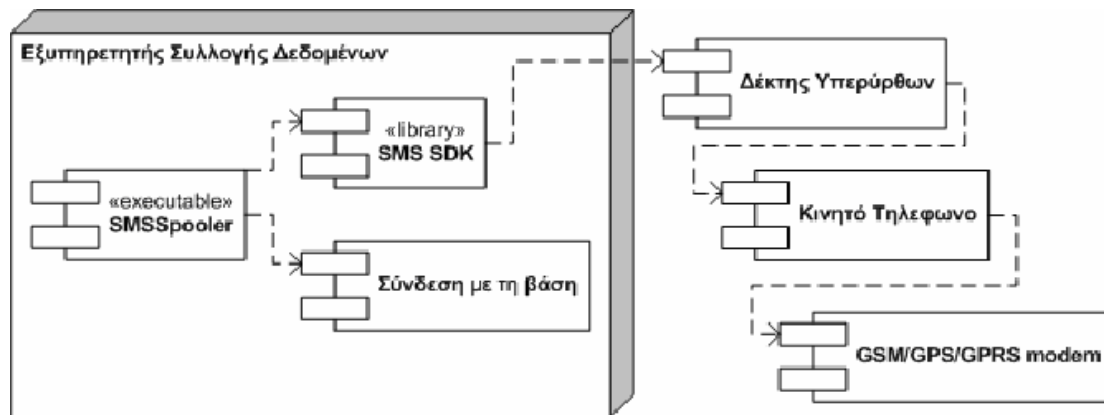
3.1.5 Συλλογή μηνυμάτων

Το σύστημα συλλογής δεδομένων από τα κινούμενα οχήματα αναλύεται, επίσης, περαιτέρω σε οντότητες (Σχήμα 3.4). Αποτελείται από ένα λογισμικό κομμάτι και από ένα τηλεπικοινωνιακό κομμάτι.

Το λογισμικό κομμάτι αποτελείται από μια εφαρμογή, η οποία μια βιβλιοθήκη που υλοποιεί το μεγαλύτερο κομμάτι της εφαρμογής και από μια οντότητα υπεύθυνη για την σύνδεση με την βάση. Η πρώτη οντότητα της βιβλιοθήκης επικοινωνεί με το τηλεπικοινωνιακό κομμάτι της εφαρμογής και εισάγει στο σύστημα τα δεδομένα που έρχονται από τα κινούμενα οχήματα. Η οντότητα σύνδεσης με την βάση παίρνει τα εισερχόμενα δεδομένα και τα εισάγει στην βάση δεδομένων.

Το τηλεπικοινωνιακό κομμάτι της εφαρμογής αποτελείται από συσκευές που λειτουργούν εξωτερικά του εξυπηρετητή. Αρχίζοντας από το κάθε όχημα οι οντότητες αυτές είναι οι εξής: το GSM/GPS/GPRS modem που υπολογίζει και στέλνει τα δεδομένα θέσεις του οχήματος, ένα κινητό τηλέφωνο που δέχεται τα δεδομένα μέσω μηνυμάτων SMS και μπορεί να τα

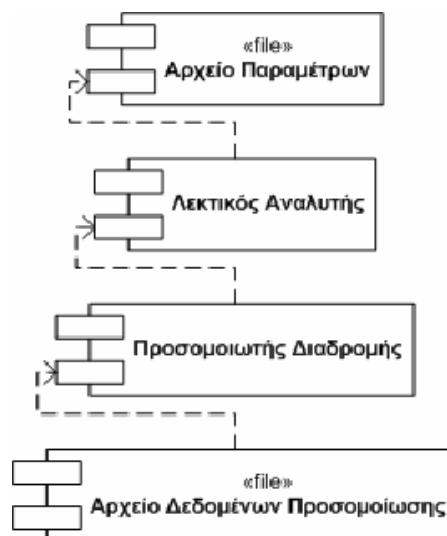
αποστέλλει μέσω μιας θύρας υπερύθρων και τέλος μια συσκευή υπερύθρων συνδεδεμένη στον εξυπηρετητή, η οποία δέχεται τα δεδομένα από κινητό τηλέφωνο και τα εισάγει στο σύστημα.



Σχήμα 3.4: Οντότητες συστήματος συλλογής δεδομένων από τα οχήματα

3.1.6 Εφαρμογή προσομοίωσης κίνησης

Η εφαρμογή που θα παράγει δεδομένα προσομοίωσης αποτελείται από τις παρακάτω βασικές οντότητες (Σχήμα 3.5): το αρχείο εισόδου, τον λεκτικό αναλυτή, τον προσομοιωτή διαδρομής και το αρχείο εξόδου.



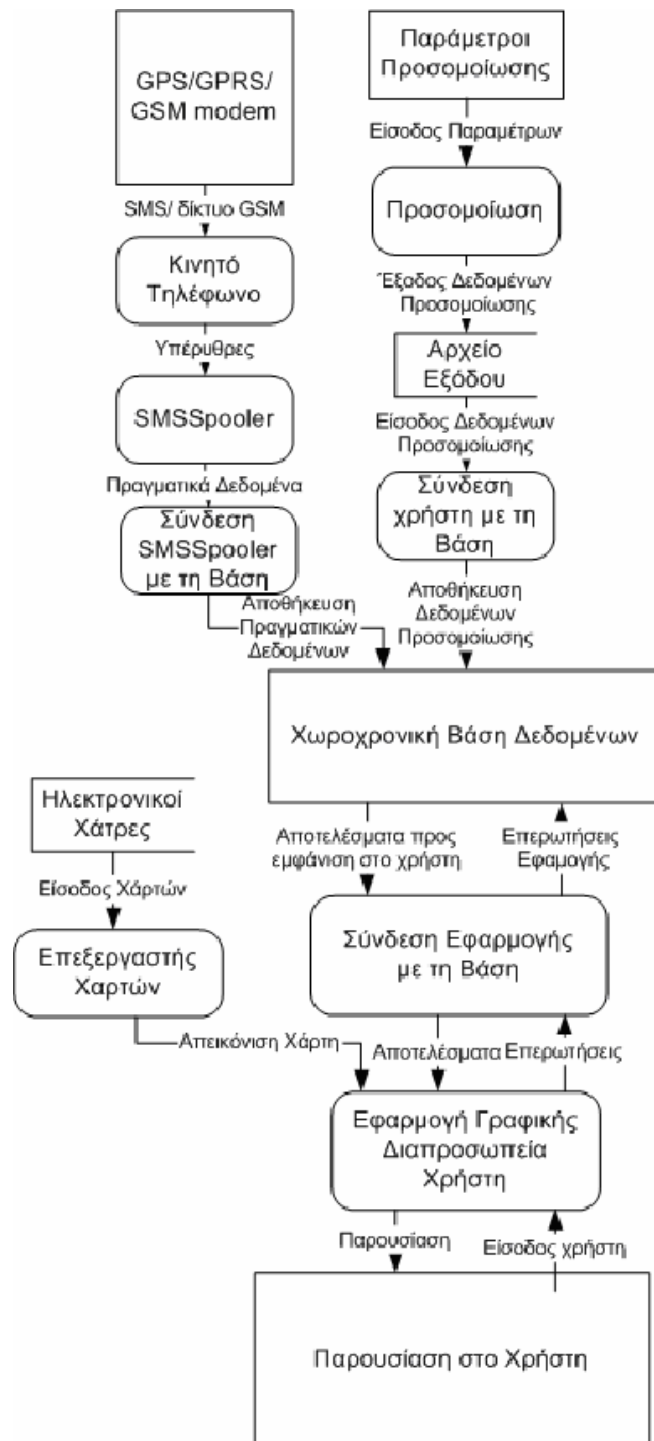
Σχήμα 3.5: Οντότητες εφαρμογής δεδομένων προσομοίωσης

Όπως βλέπουμε και από το διάγραμμα η εφαρμογή έχει ως είσοδο ένα αρχείο και ως έξοδο επίσης ένα αρχείο. Το αρχείο εισόδου κατασκευάζεται από τον χρήστη και περιέχει μια συλλογή από παραμέτρους για την παραγωγή δεδομένων προσομοίωσης. Το αρχείο αυτό διαβάζεται από ένα λεκτικό αναλυτή (parser). Ο λεκτικός αναλυτής εφαρμόζει τις παραμέτρους που διάβασε σε ένα προσομοιωτή διαδρομής ενός κινούμενου σημείου στο

δισδιάστατο χώρο. Ο προσομοιωτής παράγει χωροχρονικά δεδομένα προσομοίωσης και τα γράφει σε ένα αρχείο εξόδου.

3.1.7 Ροή δεδομένων μεταξύ των μονάδων

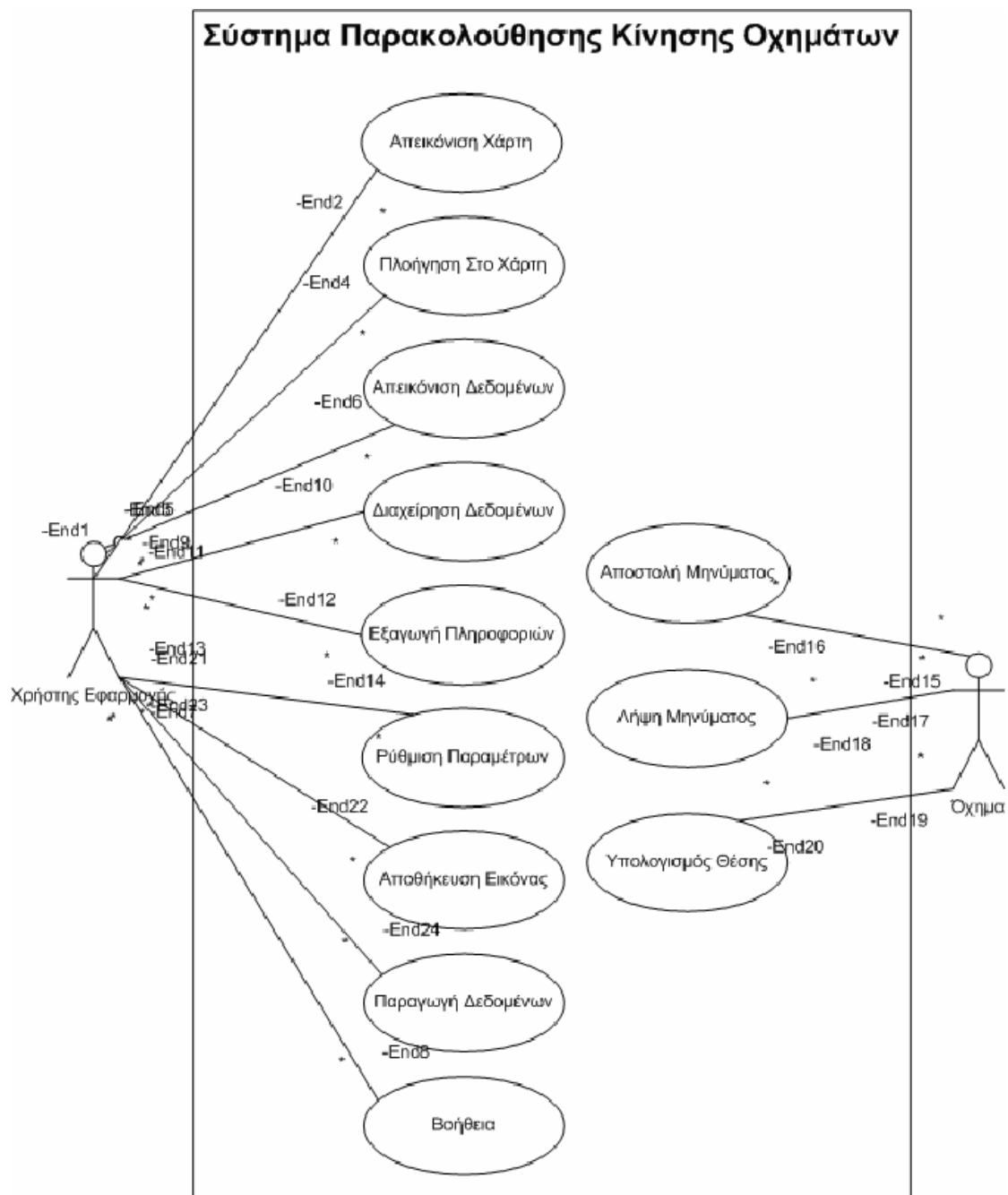
Η ροή των δεδομένων στο συνολικό σύστημα ανάμεσα στις διάφορες οντότητες που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορεί να παρουσιαστεί συνολικά σε ένα διάγραμμα (Σχήμα 2.6)



Σχήμα 3.6: Διάγραμμα ροής δεδομένων

3.2 Περιγραφή Λειτουργιών

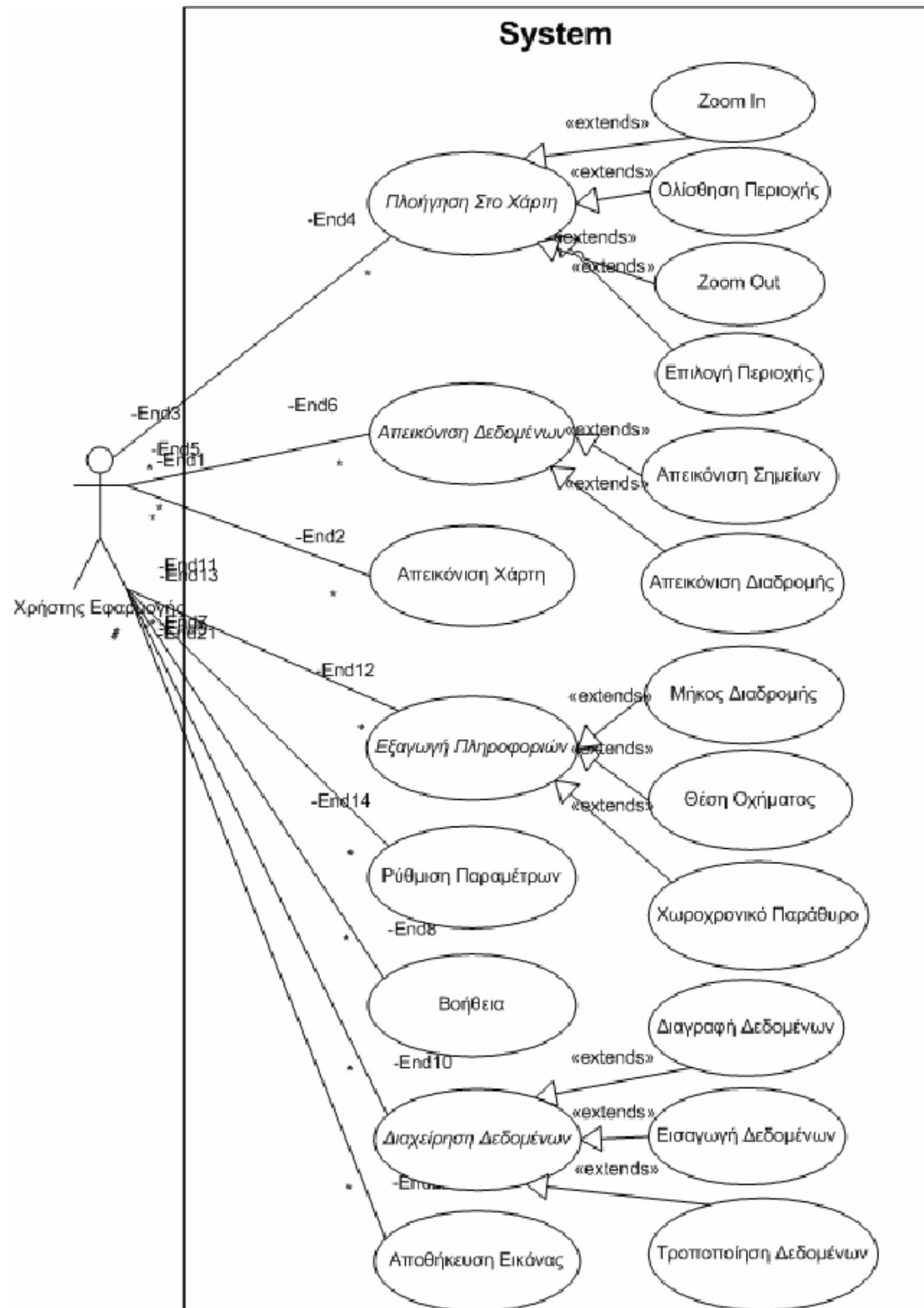
Στην ενότητα αυτή περιγράφονται οι λειτουργίες που θα παρέχει το σύστημα στους χρήστες του. Οι χρήστες του συστήματος όπως περιγράφηκε παραπάνω είναι τα οχήματα και π χρήστης της εφαρμογής. Η περιγραφή του συνολικού συστήματος με την μορφή των λειτουργιών που προσφέρει έχει σχεδιαστεί στο διάγραμμα περιπτώσεων χρήσης (use cases) το οποίο παρατίθεται στην συνέχεια (Σχήμα 3.7)



Σχήμα 3.7: Περιπτώσεις χρήσης του συστήματος

3.2.1 Λειτουργίες της κύριας εφαρμογής

Οι περισσότερες από τις παραπάνω περιπτώσεις χρήσεις του συστήματος αποτελούν λειτουργίες που θα προσφέρει η κύρια εφαρμογή στον χρήστη (Σχήμα 3.8)



Σχήμα 3.8: Περιπτώσεις χρήσης κύριας εφαρμογής

Οι παραπάνω λειτουργίες που προσφέρονται από το γραφικό περιβάλλον περιγράφονται στην συνέχεια αναλυτικά.

3.2.1.1 Απεικόνιση Χάρτη

Η εφαρμογή θα μπορεί να απεικονίζει στην οθόνη (σε μια φόρμα) έναν οποιοδήποτε χάρτη σε ηλεκτρονική μορφή. Αυτό θα γίνεται με την εμφάνιση της φόρμας με της ιδιότητες της βιβλιοθήκης για την απεικόνισης χαρτών (ActiveX-MaoObjects). Η φόρμα αυτή θα δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να επιλέγει αρχεία με γεωγραφικούς χάρτες για την απεικόνιση στην οθόνη. Επίσης, θα δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέγει τα χρώματα με τα οποία θα αποδίδεται κάθε μέρος του χάρτη, όπως χώρες, ποτάμια, λίμνες κλπ.

Επίσης ο χρήστης θα μπορεί να εξάγει και πληροφορίες από το χάρτη σχετικά με την γεωγραφική θέση κάθε σημείου πάνω στο χάρτη και την πραγματική απόσταση μεταξύ δύο σημείων του χάρτη. Η θέση κάθε σημείου του χάρτη θα μπορεί να φαίνεται στην οθόνη δίπλα στον δείκτη (mouse pointer) σε ένα κατάλληλο πλαίσιο (tooltip) όπως και στην μπάρα πληροφοριών – κατάστασης (statusbar). Για την εμφάνιση της απόστασης δύο σημείων του χάρτη ο χρήστης θα επιλέγει τα σημεία και η απόσταση θα εμφανίζεται στην μπάρα κατάστασης.

3.2.1.2 Πλοήγηση στο χάρτη

Επιλογή Περιοχής

Η περιοχή που κινούνται τα οχήματα μπορεί να είναι εκτεταμένη. Επίσης ο χάρτης που περιέχει την περιοχή αυτή μπορεί να έχει υψηλή ανάλυση και να μην είναι δυνατόν ο χρήστης να παρακολουθεί ταυτόχρονα τον χάρτη σε όλο το εύρος του. Θα δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέγει ποιο τμήμα του χάρτη θα εμφανίζεται στην οθόνη. Αυτό θα γίνεται μέσω μιας φόρμας που θα περιέχει τον χάρτη σε πλήρη έκταση και θα δείχνει με ένα πλαίσιο ποια περιοχή απεικονίζεται στην οθόνη. Ο χρήστης θα μπορεί να αλλάζει την εμφανιζόμενη περιοχή επιλέγοντας με τον ποντίκι την κατάλληλη περιοχή. Η φόρμα αυτή θα μπορεί επίσης να αποκρύπτεται κατά βούληση από τον χρήστη.

Zoom in / Zoom out

Θα υπάρχει επίσης η δυνατότητα του zoom. Θα μπορεί να κάνει zoom in, δηλαδή μεγέθυνση της ορατής περιοχής και επιλογή περιοχής με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, και zoom out δηλαδή σμίκρυνση της ορατής περιοχής με λιγότερη λεπτομέρεια. Η δυνατότητες αυτές θα δίνονται στον χρήστη επίσης μέσω λειτουργιών του ποντικιού όπως κλικ ή επιλογή μιας περιοχής για μεγέθυνση. Επίσης θα υπάρχει και ένα κουμπί με το οποίο θα δίνεται η δυνατότητα να εμφανίζεται στην οθόνη ολόκληρη η περιοχή που μας ενδιαφέρει.

Ολίσθηση Περιοχής

Θα υπάρχει επίσης η δυνατότητα ολίσθησης του παραθύρου της ορατής περιοχής του χάρτη. Αυτή η δυνατότητα θα παρέχεται, είτε από τέσσερα κουμπιά ένα για κάθε κατεύθυνση ολίσθησης, δεξιά, αριστερά πάνω και κάτω είτε μέσω του ποντικιού. Με το πάτημα του αντίστοιχου κουμπιού ο χρήστης θα μετακινεί προς την αντίστοιχη κατεύθυνση το τμήμα του χάρτη που είναι ορατό. Ενώ με το ποντίκι θα μπορεί να «πιάνει» τον χάρτη και να μετακινεί το ορατό τμήμα προς όποια κατεύθυνση θέλει (pan).

3.2.1.3 Απεικόνιση Δεδομένων

Η απεικόνιση δεδομένων επάνω στον χάρτη είναι επίσης μια σημαντική δυνατότητα που θα παρέχει το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής στον χρήστη. Ο χρήστης θα έχει την δυνατότητα να βλέπει τις διαδρομές που επιλέγει επάνω στον χάρτη. Μια διαδρομή θα αναπαρίσταται από μια γραμμή που θα ζωγραφίζεται επάνω στον χάρτη ή / και από τα σημεία περάσματος της κάθε διαδρομής που θα αναπαρίστανται με τελείες που θα ζωγραφίζονται επάνω στον χάρτη. Ο χρήστης θα μπορεί να επιλέγει περισσότερες από μια διαδρομές που θέλει να εμφανίζονται στον χάρτη. Κάθε διαδρομή που εμφανίζεται θα μπορεί να βρίσκεται κάνοντας zoom στο περιβάλλον κοντά της γραμμής. Επίσης, τα αποτελέσματα των ερωτήσεων χωροχρονικού παραθύρου, που θα έχει την δυνατότητα να κάνει ο χρήστης, θα ζωγραφίζονται πάνω στον χάρτη με παρόμοιο τρόπο.

Η παραπάνω αναπαράσταση των διαδρομών είναι στατική και δεν παρέχει γραφική πληροφορία για την χρονική εξέλιξη της κίνησης ενός οχήματος. Γι' αυτό το λόγο θα υπάρχει και δυνατότητα για γραφική αναπαράσταση της κίνησης των οχημάτων. Όπως και προηγουμένως θα γίνεται επιλογή μιας ή περισσότερων διαδρομών, των οποίων θα γίνεται χωροχρονική αναπαράσταση πάνω στον χάρτη. Ο χρήστης θα επιλέγει επιπλέον και ένα χρονικό διάστημα στο οποίο επιθυμεί να παρατηρήσει την χρονική εξέλιξη της κίνησης. Η χωροχρονική αναπαράσταση θα γίνεται με γραμμές που μεγαλώνουν σταδιακά με το χρόνο ανάλογα με την πραγματική εξέλιξη της κίνησης για κάθε διαδρομή.

3.2.1.4 Διαχείριση Δεδομένων

Η διαχείριση των δεδομένων της βάσης θα γίνεται μέσα από ένα εύκολο γραφικό περιβάλλον. Θα υπάρχει μια φόρμα που θα παρουσιάζει στον χρήστη τα δεδομένα των σχέσεων της βάσης που επιθυμεί. Θα δίνεται η δυνατότητα εύκολης πλοήγησης σε αυτά, αφού θα μπορεί να ταξινομεί τις πλειάδες κάθε σχέσεις σύμφωνα με όποιο γνώρισμα επιθυμεί, για να βρίσκει ακριβώς την καταχώρηση που επιθυμεί.

Θα παρέχεται, επίσης η δυνατότητα να εκτελεί διάφορες ενέργειες στις καταχωρήσεις των σχέσεων. Οι ενέργειες αυτές μπορούν να είναι: **εισαγωγή** νέων καταχωρήσεων, **διαγραφή**

καταχωρήσεων και **τροποποίηση** καταχωρήσεων. Οι ενέργειες αυτές θα είναι επιτρεπτές μόνο στις σχέσεις που είναι λογικό να επιτρέπεται, και όχι σε σχέσεις τα δεδομένα παρέχονται από άλλες πηγές, όπως για παράδειγμα δεν θα είχε νόημα ο χρήστης να προσθέτει καταχωρήσεις στη σχέση των σημείων μιας διαδρομής ή των μηνυμάτων που αποστέλλονται από τα οχήματα.

Θα δύνεται η δυνατότητα επίσης να βλέπει ο χρήστης της συσχετίσεις μεταξύ των σχέσεων της βάσης με άμεσο τρόπο. Έτσι, θα παρουσιάζονται με κατανοητό τρόπο καταχωρήσεις, όπως οι διαδρομές ενός οδηγού, οι διαδρομές ενός οχήματος και τα συμβάντα μιας διαδρομής.

3.2.1.5 Εξαγωγή Πληροφοριών

Η φόρμα που θα παρουσιάζει τα δεδομένα στον χρήστη θα δίνει και την δυνατότητα εξαγωγής πληροφοριών από αυτά. Τέτοιες δυνατότητες θα είναι οι εξής: η εύρεση της **θέσης** του οχήματος την παρούσα χρονική στιγμή, το συνολικό **μήκος** κάθε διαδρομής και οι εύρεση όλων των κομματιών διαδρομών από ένα **χωροχρονικό παράθυρο**.

Οι θέσεις των οχημάτων και τα μήκη των διαδρομών θα μπορούν να υπολογιστούν άμεσα για κάθε όχημα και διαδρομή αντίστοιχα με το πάτημα ενός αντίστοιχου κουμπιού. Για την επερώτηση χωροχρονικού παραθύρου, θα επιλέγεται ένα χρονικό διάστημα, καθορίζοντας την αρχική και τελικής χρονική στιγμή, θα επιλέγεται ένα χωρικό ορθογώνιο παράθυρο, είτε καθορίζοντας τις τιμές του είτε επιλέγοντας με το ποντίκι από το χάρτη, και θα εμφανίζονται τα σημεία περάσματος διαδρομών που είναι εντός αυτού του χωροχρονικού παραθύρου. Στην συνέχεια τα αποτελέσματα αυτά θ μπορούν επίσης να εμφανιστούν και πάνω στον χάρτη.

3.2.1.6 Αποθήκευση εικόνας

Η αποθήκευση του χάρτη σε ένα αρχείο εικόνας είναι επίσης μια βασική λειτουργία που θα παρέχει η εφαρμογή στον χρήστη. Θα δίνεται η δυνατότητα να επιλέγεται η μορφή του αρχείου εικόνας, που θα αποθηκευτεί η ορατή περιοχή του χάρτη (bmp, emf, jpg). Θα μπορεί επίσης να επιλέγει να αποθηκεύει τον χάρτη σε μεγέθυνση ή σε σμίκρυνση (κλίμακα), και να καθορίζει τυχόν παραμέτρους που απαιτούνται.

3.2.1.7 Βοήθεια – Εγχειρίδιο χρήστη

Η βοήθεια σχετικά με το γραφικό περιβάλλον είναι αρκετά σημαντική. Η οδηγίες για τις λειτουργίες του χρήστη θα πρέπει να είναι πλήρεις και κατανοητές και να είναι διαθέσιμες και μέσα από το γραφικό περιβάλλον. Θα πρέπει να υπάρχει π.χ. ένα κουμπί ή μια επιλογή από το μενού που θα παραπέμπει τον χρήστη στις οδηγίες του περιβάλλοντος.

3.2.1.8 Ρύθμιση Παραμέτρων Εφαρμογής

Η εφαρμογή θα περιέχει και μια φόρμα από την οποία ο χρήστης θα μπορεί να ρυθμίσει τις βασικές παραμέτρους του γραφικού περιβάλλοντος. Οι παράμετροι αυτοί έχουν να κάνουν κυρίως με την εμφάνιση και είναι οι εξής:

- *μορφή γεωγραφικού μήκους / πλάτους*: θα υπάρχουν επιλογές για την μορφή που θα εμφανίζεται το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, όπως με την μορφή δεκαδικού αριθμού ή με το σύστημα μοιρών ή / και λεπτών
- *επιλογές αρχείου εξόδου*: οι επιλογές θα έχουν να κάνουν κυρίως με την κλίμακα που θα έχει η εικόνα σε σχέση με την εμφάνιση στην οθόνη αλλά και άλλες παραμέτρους όπως η ποιότητα στην περίπτωση των jpg εικόνων
- *μορφή διαδρομής στο χάρτη*: δηλαδή αν θα είναι μόνο μία γραμμή ή αν θα εμφανίζονται και τα σημεία περάσματος, και επίσης το μέγεθος της γραμμής και των σημείων
- *μορφή της εξέλιξης διαδρομής στο χάρτη*: το χρονικό διάστημα που θα παρασταθεί η χρονική εξέλιξη, ο χρόνος ανανέωσης της των αποτελεσμάτων και ο πραγματικός χρόνος που αντιστοιχεί σε ένα διάστημα ανανέωσης

3.2.2 Λειτουργίες συλλογής δεδομένων

Οι λειτουργίες της εφαρμογής συλλογής δεδομένων, από την πλευρά του χρήστη, είναι σχετικά απλές. Οι λειτουργίες αυτές είναι αυτές που φαίνονται στο σχήμα 3.7 και εμπλέκουν το όχημα – χρήστη του συστήματος. Μια λειτουργία είναι ο υπολογισμός της γεωγραφικής θέσης του οχήματος μέσω του συστήματος GPS. Μια επιπλέον σημαντική λειτουργία είναι η αποστολή μηνυμάτων από το όχημα προς το σύστημα. Τα μηνύματα αυτά συνήθως περιέχουν ως πληροφορία την ταυτότητα του κινούμενου οχήματος και την θέση του οχήματος στο γεωγραφικό χώρο. Τέλος υπάρχει και η λειτουργία της αποστολής μηνύματος προς το όχημα για την ενημέρωσή του ή για την απόδοση εντολών.

3.2.3 Λειτουργίες εφαρμογής δεδομένων προσομοίωσης

Οι λειτουργίες που προσφέρει στον χρήστη η εφαρμογή παραγωγής δεδομένων προσομοίωσης συνοψίζονται στην **παραγωγή δεδομένων** προσομοίωσης και τον καθορισμό των **παραμέτρων** που θα χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση. Ο καθορισμός των παραμέτρων θα γίνεται από τον χρήστη ορίζοντας την τιμή κάθε παραμέτρου στο αρχείο παραμέτρων που παίρνει ως είσοδο η εφαρμογή. Η παραγωγή δεδομένων θα γίνεται από την εφαρμογή και τα δεδομένα προσομοίωσης θα αποθηκεύονται στο αρχείο εξόδου, για να είναι διαθέσιμα στον χρήστη.

Η κίνηση ενός οπουδήποτε σημείου στον δισδιάστατο χώρο μπορεί να είναι ακανόνιστη και να μην υπακούει σε κανόνες ώστε να μπορεί να προσομοιωθεί από ένα σύστημα. Όμως στο σύστημα που αναπτύσσουμε έχουμε να κάνουμε με κινούμενα οχήματα. Η κίνηση των διαφόρων οχημάτων παρουσιάζει επίσης πολλές μορφές και είναι δύσκολο να προσομοιωθεί με ακρίβεια.

Είναι, όμως, δυνατόν να καθοριστούν κάποια χαρακτηριστικά που καθορίζουν κατά κάποιο τρόπο το πως συμπεριφέρεται το όχημα κατά την κίνηση του. Αυτά τα χαρακτηριστικά περιγράφονται μέσω των παραμέτρων που αναφέραμε παραπάνω. Μέσω αυτών των παραμέτρων μπορούν να παραχθούν διαδρομές στο δισδιάστατο χώρο που να έχουν όσο το δυνατόν όμοια συμπεριφορά με την διαδρομή ενός πραγματικού οχήματος.

Οι παράμετροι που θα παίρνει ως είσοδο η εφαρμογή είναι οι εξής:

- *ROUTE ID*: καθορίζει την ταυτότητα της διαδρομής
- *STARTX, STARTY*: την αφετηρία της διαδρομής
- *ENDX, ENDY*: το τέλος της διαδρομής
- *CORNERS MAX, CORNERS MIN*: τον μέγιστο και ελάχιστο αριθμό στροφών
- *BREAK ALTITUDE*: παράγοντας που καθορίζει το πόσο έντονες στροφές υπάρχουν
- *BREAK ALTITUDE VAR*: μεταβλητότητα του παραπάνω παράγοντα
- *BREAK MIDDLE VAR*: παράγοντας, πόσο ομοιόμορφα κατανέμονται οι στροφές
- *CORNER SLOW POW*: παράγοντας, πόσο επιβραδύνει στις στροφές
- *SIN START*: παράγοντας, πόσο επιβραδύνει ανάλογα με την στροφή
- *MAX SPEED*: μέγιστη ταχύτητα του κινούμενου σημείου
- *ACCELERATE FACTOR*: παράγοντας επιτάχυνσης σε σχέση με τη μέγιστη ταχύτητα
- *DECELERATE FACTOR*: αντίστοιχος παράγοντας επιβράδυνσης
- *START SPEED FACTOR*: αντίστοιχος παράγοντας ταχύτητας εκκίνησης
- *END SPEED FACTOR*: αντίστοιχος παράγοντας ταχύτητας στο τέλος
- *STOPS MAX, STOPS MIN*: τον μέγιστο και ελάχιστο αριθμό στάσεων οχήματος
- *STOP MIDDLE VAR*: παράγοντας που καθορίζει που γίνονται οι στάσεις
- *STOP MIN DUR, STOP MAX DUR*: μέγιστη και ελάχιστη διάρκεια μιας στάσης
- *START TIME*: η χρονική στιγμή εκκίνησης του αντικειμένου
- *WAYPOINT PERIOD*: η περίοδος που λαμβάνονται σημεία εξόδου

- *FORMAT PART1, FORMAT PART2, FORMAT PART3, FORMAT PART4, FORMAT PART5, FORMAT ORDER*: καθορίζουν την μορφή των δεδομένων εξόδου
- *TIME AS LONG*: μορφή που τυπώνεται ο χρόνος (ακέραιος ή χρόνος)
- *WAYPOINTS*: εξωτερικός καθορισμός των σημείων κάμψης της διαδρομής
- *RANDOM*: αρχικοποίηση της γεννήτριας τυχαίων αριθμών
- *KEEP POINTS*: κράτημα των σημείων για το επόμενο τμήμα διαδρομής
- *REVERSE POINTS*: αντιστροφή σημείων για το επόμενο τμήμα διαδρομής

Οι παραπάνω παράμετροι παράγουν ένα τμήμα διαδρομής που είναι σχετικά ομοιόμορφο. Όμως με αλλαγή κάποιων από τις παραμέτρους θα μπορεί να παραχθούν και άλλα τμήματα της διαδρομής με διαφορετικά χαρακτηριστικά σαν συνέχεια των προηγούμενων.

4

Υλοποίηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες της υλοποίησης του συστήματος. Περιγράφονται τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης υλοποίησης, όπως η πλατφόρμα ανάπτυξης και εκτέλεσης, τα προγραμματιστικά εργαλεία, οι απαιτήσεις της εφαρμογής σε λογισμικό και υλικό (software, hardware) κ.λ.π. Περιγράφεται επίσης η υλοποίηση των σχεδιαστικών οντοτήτων που περιγράφονται στο κεφάλαιο 3.

4.1 Πλατφόρμες και προγραμματιστικά εργαλεία

4.1.1 Πλατφόρμα ανάπτυξης – προγραμματιστικά εργαλεία

Λειτουργικό σύστημα

Η ανάπτυξη του συστήματος θα γίνει σε υπολογιστή με λειτουργικό σύστημα Windows. Η επιλογή αυτή του λειτουργικού συστήματος είναι επιβεβλημένη αφού οι βιβλιοθήκες που είναι διαθέσιμες και απαραίτητες για την ανάπτυξη του συστήματος είναι βιβλιοθήκες ActiveX που λειτουργούν σε λειτουργικό Windows.

Πλατφόρμα ανάπτυξης

Η πλατφόρμα ανάπτυξης θα είναι το Visual Studio .NET. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα ανάπτυξης επιλέχτηκε, λόγω της ευκολίας που προσφέρει στην ανάπτυξη εφαρμογών

βασισμένων σε φόρμες, αφού η κύρια εφαρμογή που θα αναπτυχθεί θα αποτελείται κυρίως από φόρμες για την υλοποίηση της γραφικής διαπροσωπείας χρήστη.

Βιβλιοθήκες λογισμικού

Για την ανάπτυξη θα χρειαστούν επίσης και βιβλιοθήκες λογισμικού για την απεικόνιση χαρτών σε ηλεκτρονική μορφή και για την επικοινωνία με κινητό τηλέφωνο. Για την απεικόνιση χαρτών θα χρησιμοποιηθεί η βιβλιοθήκη ActiveX MapObjects 2.1 της εταιρίας ESRI, που παρέχει την δυνατότητα απεικόνισης χαρτών σε οποιαδήποτε μορφή (format) και επιπλέον δυνατότητες για την υλοποίηση όλων των λειτουργιών που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3. Για την επικοινωνία με κινητό τηλέφωνο θα χρησιμοποιηθεί μια άλλη βιβλιοθήκη ActiveX, την message master SMS SDK GSM/PCS 2.0 από την εταιρία Derdack, η οποία παρέχει την δυνατότητα επικοινωνίας με κινητό τηλέφωνο μέσω υπερύθρων ακτινών.

Γλώσσες προγραμματισμού

Η πλατφόρμα ανάπτυξης Visual Studio .NET παρέχει γλώσσες προγραμματισμού όπως VB, C# και C++. Για την ανάπτυξη την γραφικής εφαρμογής θα επιλεγεί η γλώσσα C#. Η γλώσσα C# είναι νέα μια αντικειμενοστρεφής γλώσσα προγραμματισμού ειδικά σχεδιασμένη για την πλατφόρμα .NET και παρέχει την δυνατότητα ανάπτυξης γραφικών διαπροσωπειών. Για τις άλλες δύο εφαρμογές που δεν απαιτούν ιδιαίτερο γραφικό περιβάλλον θα επιλεγεί η γλώσσα προγραμματισμού C++.

4.1.2 Πλατφόρμα εκτέλεσης

Η πλατφόρμα εκτέλεσης της εφαρμογής του συστήματος θα αποτελεί ένας υπολογιστής με λειτουργικό σύστημα Windows. Η επιλογή αυτή γίνεται για τον ίδιο λόγο για τον οποίο επιλέχτηκε το ίδιο λειτουργικό ως πλατφόρμα ανάπτυξης, δηλαδή οι βιβλιοθήκες λογισμικού που αναφέρθηκαν παραπάνω και είναι διαθέσιμες για το λειτουργικό σύστημα Windows. Περισσότερα σχετικά με τις προδιαγραφές που πρέπει να πληρεί η πλατφόρμα εκτέλεσης, δηλαδή ο υπολογιστής, τόσο σε λογισμικό όσο και σε hardware, θα αναφερθούν στην παράγραφο των απαιτήσεων του συστήματος.

4.1.3 Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων

Για το Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων στο οποίο θα αναπτυχθεί η βάση δεδομένων του συστήματος δεν υπάρχει κανένα περιορισμός. Η βάση δεδομένων θα μπορεί να βρίσκεται σε ένα οποιοδήποτε ΣΔΒΔ σε υπολογιστή με οποιοδήποτε λειτουργικό σύστημα. Για την ανάπτυξη και τον έλεγχο, όμως, του συστήματος, που γίνεται σε λειτουργικό σύστημα Windows, έχει επιλεγεί ως ΣΔΒΔ ο Microsoft SQL Server 2000.

4.1.4 Απαιτήσεις του συστήματος

Το σύστημα για να λειτουργήσει πλήρως έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις τόσο σε λογισμικό (software) όσο και σε υλικό (hardware). Οι απαιτήσεις αυτές παρουσιάζονται στις δύο επόμενες ενότητες.

4.1.4.1 Απαιτήσεις σε λογισμικό

Κύρια εφαρμογή

Οι κύριες απαιτήσεις σε λογισμικό της κύριας εφαρμογής είναι οι εξής:

- *Windows*: όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η εφαρμογή θα αναπτυχθεί για το λειτουργικό σύστημα Windows
- *MapObjects 2.1*: δηλαδή την βιβλιοθήκη που είναι απαραίτητη για την απεικόνιση στην οθόνη των χαρτών αλλά και δεδομένων όπως διαδρομές κλπ
- *.NET Framework*: επειδή επιλέχθηκε ως πλατφόρμα ανάπτυξης το Visual Studio .NET και ως γλώσσα προγραμματισμού η C# για την εκτέλεση της εφαρμογής απαιτείται η ύπαρξη του .NET Framework. Το .NET Framework διατίθεται από την Microsoft για το λειτουργικό σύστημα Windows αλλά γίνεται προσπάθεια να αναπτυχθεί και για άλλες πλατφόρμες

Εφαρμογή συλλογής μηνυμάτων

Οι κύριες απαιτήσεις σε λογισμικό της εφαρμογής συλλογής των μηνυμάτων είναι οι εξής:

- *Windows*: όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η εφαρμογή αυτή θα απαιτεί επίσης το λειτουργικό σύστημα Windows
- *message master SMS SDK GSM/PCS 2.0*: δηλαδή την βιβλιοθήκη που είναι απαραίτητη για την επικοινωνία με το κινητό τηλέφωνο και την ανάγνωση των εισερχόμενων μηνυμάτων SMS.

Εφαρμογή παραγωγής δεδομένων προσομοίωσης

Η εφαρμογή που θα παράγει δεδομένα προσομοίωσης δεν θα έχει καμία απαίτηση ούτε σε λογισμικό ούτε και σε υλικό. Πρόκειται για ένα εργαλείο γραμμής εντολών χωρίς γραφική διαπροσωπεία. Θα αναπτυχθεί για το λειτουργικό σύστημα Windows αλλά θα μπορεί να αναπτυχθεί για οποιαδήποτε πλατφόρμα αφού θα γραφτεί σε ANSI C++.

4.1.4.2 Απαιτήσεις σε hardware

Κύρια εφαρμογή

Οι απαιτήσεις της κύριας εφαρμογής από πλευράς υλικού είναι οι παρακάτω:

- *IBM PC*: για να τρέχει το λειτουργικό σύστημα windows
- *Network Interface*: για την σύνδεση με τον εξυπηρετητή που υπάρχει το ΣΔΒΔ που βρίσκεται η βάση δεδομένων του συστήματος

Εφαρμογή συλλογής μηνυμάτων

Οι απαιτήσεις σε υλικό της εφαρμογής συλλογής μηνυμάτων είναι οι ίδιες με εκείνες τις κύριας εφαρμογής και επιπλέον οι εξής:

- *GPS/GSM/GPRS modem*: για κάθε όχημα που θα παρακολουθεί το σύστημα
- *Κινητό τηλέφωνο με υπέρυθρες*: για την επικοινωνία με τον υπολογιστή
- *Συσκευή Υπερύθρων*: για συνδέεται με τον υπολογιστή που θα τρέχει η εφαρμογή
- *Καλώδιο σύνδεσης*: αυτό είναι εναλλακτικό του προηγούμενου σε περίπτωση που υπάρχει καλώδιο σύνδεσης του κινητού με τον υπολογιστή

4.2 Λεπτομέρειες υλοποίησης

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, κατά την σχεδίαση του συστήματος, το σύστημα αποτελείται από τέσσερις βασικές οντότητες. Η πρώτη και βασική είναι η βάση δεδομένων. Οι άλλες τρεις αποτελούν τα τρία υποσυστήματα με τις αντίστοιχες εφαρμογές, δηλαδή η κύρια εφαρμογή της γραφικής διαπροσωπείας χρήστη, η εφαρμογή για την συλλογή των δεδομένων μέσω μηνυμάτων SMS και η εφαρμογή για την παραγωγή δεδομένων προσομοίωσης. Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζουμε την υλοποίηση κάθε μιας από τις οντότητες που εισήχθησαν στο κεφάλαιο της σχεδίασης.

4.2.1 Βάση δεδομένων

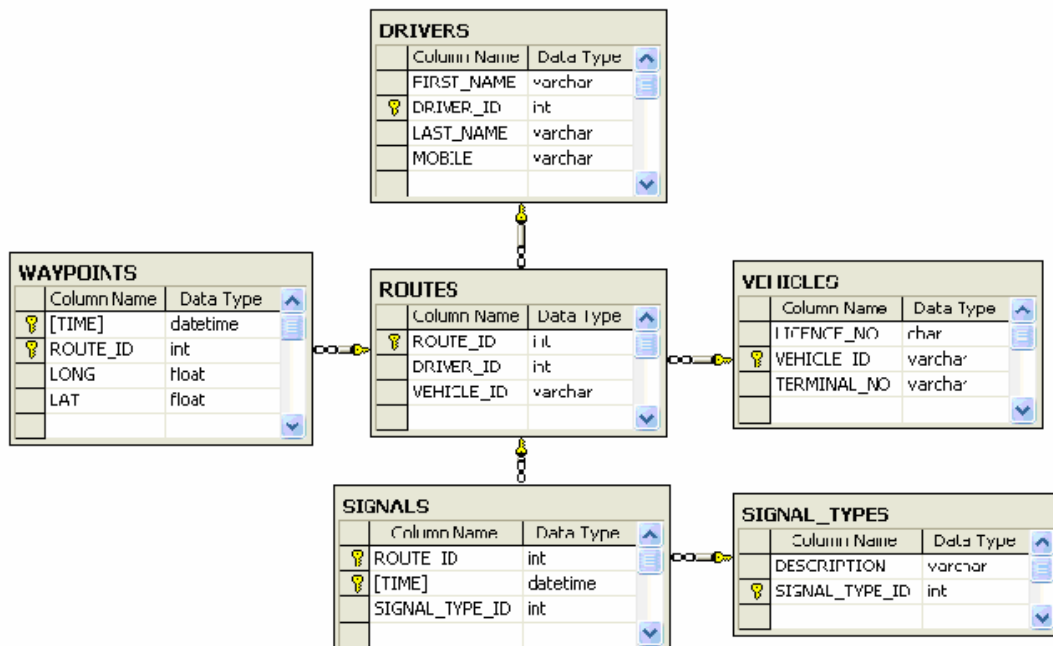
4.2.1.1 Σχεσιακό σχήμα βάσης

Η βάση δεδομένων υλοποιήθηκε στο ΣΔΒΔ SQL Server 2000 σύμφωνα με το διάγραμμα οντοτήτων συσχετίσεων (Σχήμα 3.2) που σχεδιάστηκε στο κεφάλαιο 3. Το προκύπτον σήμα της βάσης παρατίθεται στην συνέχεια για πληρότητα (Σχήμα 4.1).

Η βάση που υλοποιήθηκες ονομάστηκε TRACKING και περιέχει τις ακόλουθες σχέσεις:

- DRIVERS (DRIVER_ID, FIRST_NAME, LAST_NAME, MOBILE)
- VEHICLES (VEHICLE_ID, LICENCE_NO, TERMINAL_NO)
- ROUTES (ROUTE_ID, TIME, VEHICLE_ID, DRIVER_ID)
- WAYPOINTS (ROUTE_ID, TIME, LONG, LAT)
- SIGNALS (ROUTE_ID, TIME, SIGNAL_TYPE_ID)

- SIGNAL_TYPE(SIGNAL_TYPE_ID, DESCRIPTION)



Σχήμα 4.1: Σχήμα της βάσης δεδομένων του συστήματος

4.2.1.2 Προσπέλαση χωροχρονικών δεδομένων

Η παραπάνω βάση περιέχει μια χωροχρονική σχέση, δηλαδή μια σχέση που οι πλειάδες της έχουν χωρικά και χρονικά γνωρίσματα. Η σχέση αυτή είναι η σχέση WAYPOINTS με χρονικό γνώρισμα TIME, που αντιστοιχεί στην χρονική στιγμή του σημείου περάσματος της διαδρομής, και με χωρικά γνωρίσματα τα LONG και LAT, που αντιστοιχούν στην γεωγραφική θέση (μήκος, πλάτος) του σημείου περάσματος.

Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση του προβλήματος προσπέλασης των δεδομένων της σχέσης WAYPOINTS, δηλαδή των χωροχρονικών δεδομένων, εξετάστηκαν υλοποιήσεις διαφόρων τρόπων δεικτοδότησης και θεωρητικά μοντέλα που έχουν προταθεί. Πολλές, από τις δομές που εξετάστηκαν δεν ήταν δυνατόν να προσαρμοστούν στις ανάγκες της εφαρμογής μας για διαφόρους λόγους.

Μοντέλο Κινούμενων Σημείων

Εξετάστηκε επίσης και το θεωρητικό μοντέλο κινούμενων σημείων που παρουσιάστηκε αναλυτικά στο θεωρητικό κομμάτι (Κεφ. 2). Για την υλοποίηση της Βάσης Γνώσης της Κίνησης υλοποιήθηκαν οι παρακάτω σχέσεις (Σχήμα 4.2)

- **MvtTable** (Pid, t0, t1, tm, n, xm, ym, vx, vy, bx, by)
- **ObsTable** (opid, ot, ox, oy)

MvtTable		
	Column Name	Data Type
	pid	bigint
	t0	bigint
	t1	bigint
	tm	float
	n	int
	xm	float
	ym	float
	vx	float
	vy	float
	bx	float
	[by]	float

ObsTable		
	Column Name	Data Type
	pid	bigint
	t	bigint
	x	float
	y	float

Σχήμα 4.2: Σχέσεις Βάσης Γνώσης της κίνησης

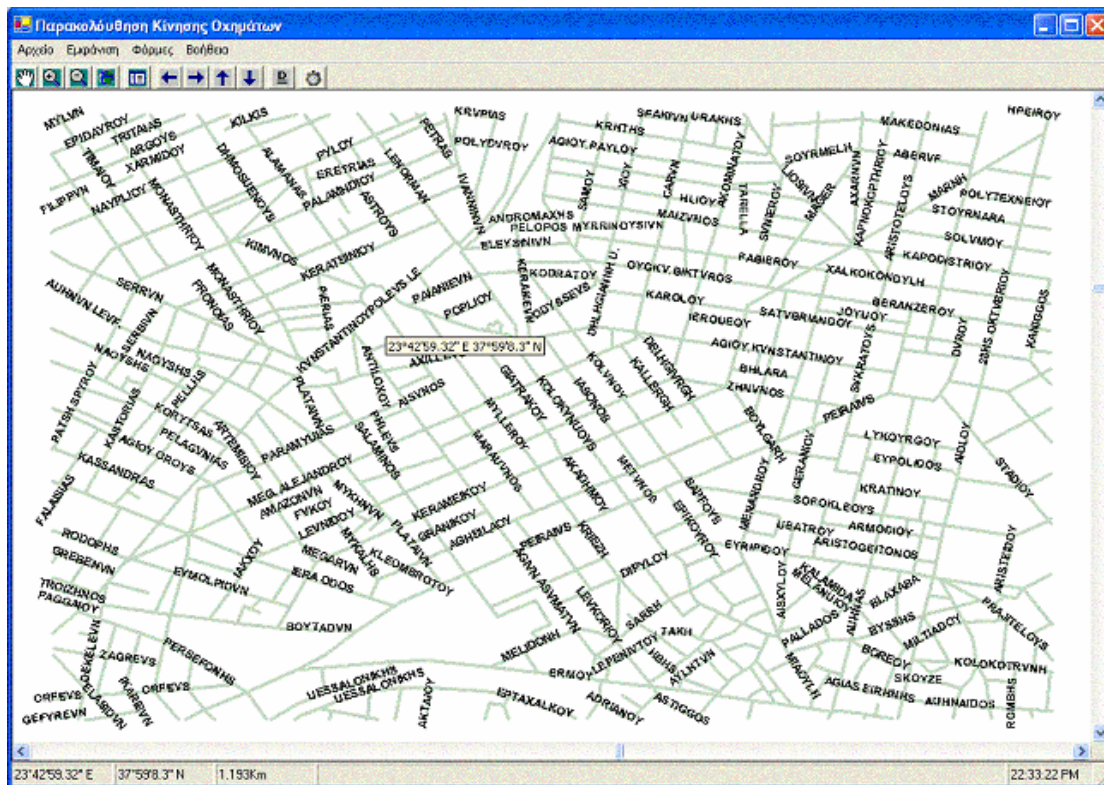
Για την πλήρη λειτουργία του θεωρητικού μοντέλου υλοποιήθηκε, επίσης, και μια σκανδάλη που υλοποιεί τον κανόνα συσώρευσης. Η ακριβής υλοποίηση της σκανδάλης παρατίθεται στον δεύτερο τόμο της διπλωματικής.

4.2.2 Γραφική διαπροσωπεία

Όπως προέκυψε και από την σχεδίαση του συστήματος η κύρια εφαρμογή που υλοποιεί την γραφική διαπροσωπεία με τον χρήστη αποτελείται κυρίως από γραφικές οντότητες. Η ανάπτυξη της εφαρμογής έγινε σε περιβάλλον Visual Studio .NET με C#, Το οποίο προσφέρεται για ανάπτυξη γραφικών εφαρμογών. Οι βασικές οντότητες που απαρτίζουν την εφαρμογή είναι κυρίως οι φόρμες της εφαρμογής, και οι οποίες παρουσιάζονται στην συνέχεια αναλυτικά.

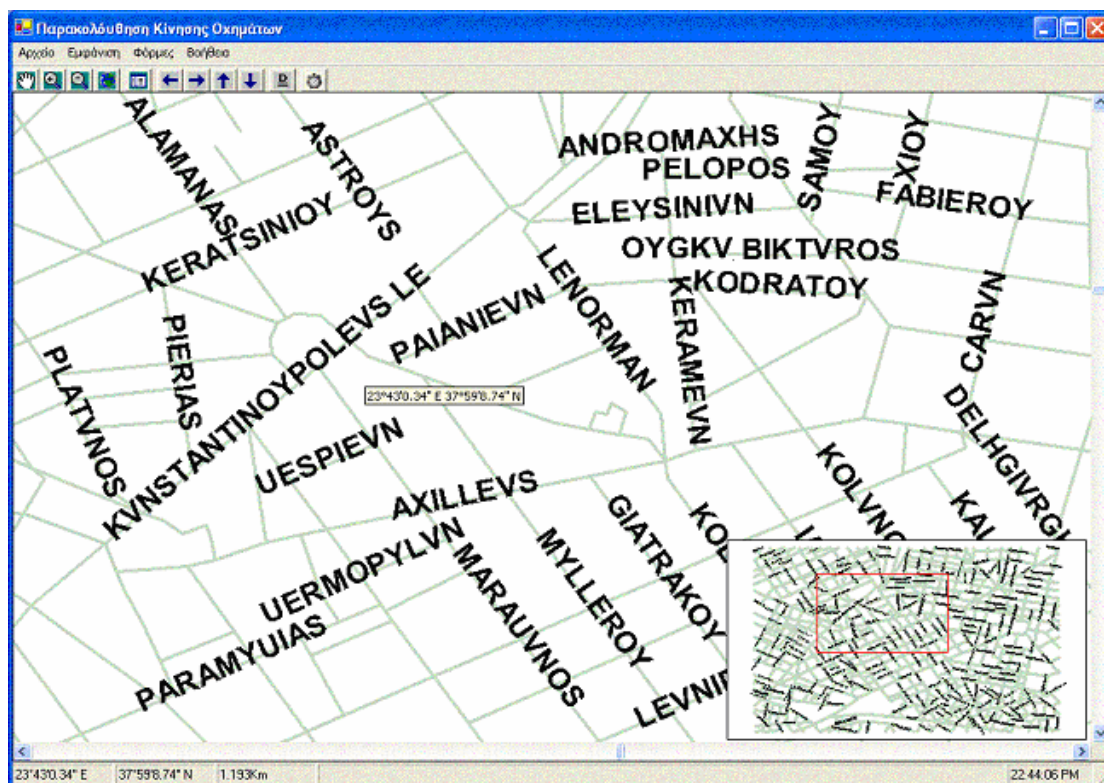
4.2.2.1 Κύρια φόρμα

Η κύρια φόρμα (Σχήμα 4.3) περιλαμβάνει το ActiveX για την απεικόνιση των χαρτών, μενού για την πρόσβαση σε διάφορες λειτουργίες αλλά και στις άλλες φόρμες, μπάρα εργαλείων για τις λειτουργίες του χάρτη και μπάρα κατάστασης που προβάλλονται διάφορες πληροφορίες.



Σχήμα 4.3: Κύρια φόρμα της εφαρμογής

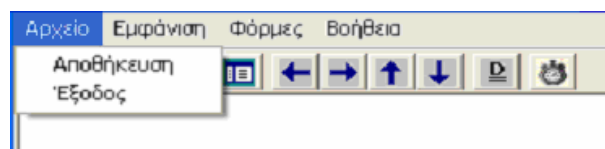
Η κύρια φόρμα διαθέτει και ένα εργαλείο πλοηγό χάρτη για την επιλογή περιοχής από το συνολικό χάρτη όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.4)



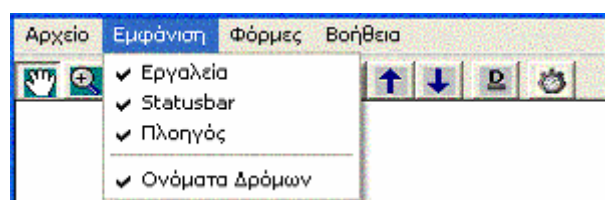
Σχήμα 4.4: Κύρια φόρμα της εφαρμογής με τον πλοηγό

Το μενού της εφαρμογής (Σχήματα 4.5 – 4.8) είναι οργανωμένο ως εξής:

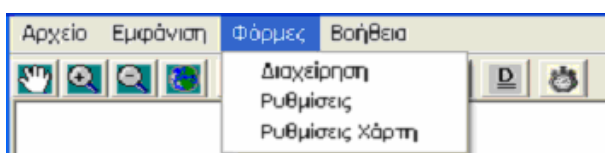
- Αρχείο
 - Αποθήκευση
 - Έξοδος
- Εμφάνιση
 - Εργαλεία
 - Statusbar
 - Πλοηγός
 - Ονόματα Δρόμων
- Φόρμες
 - Διαχείριση
 - Ρυθμίσεις
 - Ρυθμίσεις Χάρτη
- Βοήθεια
 - Εγχειρίδιο Χρήστη
 - Περί



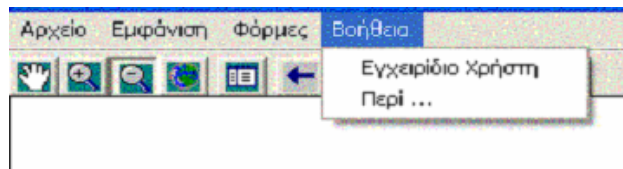
Σχήμα 4.5: Μενού – Αρχείο



Σχήμα 4.6: Μενού – Εμφάνιση



Σχήμα 4.7: Μενού – Φόρμες



Σχήμα 4.8: Μενού – Βοήθεια

Η μπάρα εργαλείων (Σχήμα 4.9) περιέχει κουμπιά για τις λειτουργίες και την εμφάνιση του χάρτη:

- Ολίσθηση, μετακίνηση του χάρτη με το ποντίκι
- Μεγέθυνση, zoomin
- Σμίκρυνση, zoomout
- Εμφάνιση όλου του χάρτη
- Ρυθμίσεις του χάρτη
- Ολίσθηση του χάρτη δυτικά (αριστερά)
- Ολίσθηση του χάρτη ανατολικά (δεξιά)
- Ολίσθηση του χάρτη βόρεια (πάνω)
- Ολίσθηση του χάρτη νότια (κάτω)
- Υπολογισμός απόστασης δύο σημείων
- Εκκίνηση χωροχρονικής εξέλιξης



Σχήμα 4.9: Μπάρα εργαλείων της εφαρμογής

Η μπάρα πληροφοριών και κατάστασης (Σχήμα 4.10) αποτελείται από τέσσερα χωρίσματα τα οποία εμφανίζουν τις εξής πληροφορίες (με τη σειρά από αριστερά προς τα δεξιά αντίστοιχα):

- Το γεωγραφικό μήκος
- Το γεωγραφικό πλάτος
- Την απόσταση δύο σημείων
- Γενικές πληροφορίες
- Την τοπική ώρα του συστήματος



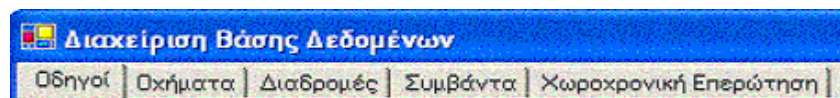
Σχήμα 4.10: Μπάρα κατάστασης πληροφοριών της εφαρμογής

Το γεωγραφικό μήκος και πλάτος εμφανίζονται επίσης και καθώς μετακινείται το ποντίκι πάνω στον χάρτη (tooltip). Στην κύρια φόρμα μπορούν να εμφανίζονται οι διαδρομές των οχημάτων με γραμμές και σημεία πάνω στον, σε χρώματα που επιλέγει ο χρήστης, αλλά και τα αποτελέσματα από μία χωροχρονική επερώτηση

4.2.2.2 Φόρμα διαχείρισης δεδομένων

Η φόρμα διαχείρισης των δεδομένων υλοποιεί ένα μεγάλο αριθμό από λειτουργίες. Για το λόγο αυτό αποτελείται από καρτέλες (Σχήμα 4.11), οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια αναλυτικά και είναι οι εξής:

- *Οδηγοί*: για λειτουργίες σχετικά με τους οδηγούς
- *Οχήματα*: για λειτουργίες σχετικά με τα οχήματα που παρακολουθούνται
- *Διαδρομές*: για τον έλεγχο των διαδρομών των οχημάτων
- *Συμβάντα*: για λειτουργίες σχετικά με τους συμβάντα των διαδρομών
- *Χωροχρονική Επερώτηση*: για την εκτέλεση επερώτησης χωροχρονικού παραθύρου



Σχήμα 4.11: Καρτέλες φόρμας Διαχείρισης Δεδομένων

Στην συνέχεια αναλύεται η λειτουργικότητα κάθε καρτέλας

Οδηγοί

Στην συνέχεια περιγράψουμε τις λειτουργίες που προσφέρει η καρτέλα *Οδηγοί* (Σχήμα 4.12)

Στοιχεία Οδηγού

Κωδικός Οδηγού: 1
Όνομα: John
Επώνυμο: Smith
Τηλέφωνο: 697777777

Οδηγοί

	Κωδικός Οδηγού	Όνομα	Επώνυμο	Τηλέφωνο
▶ ⊕ 1	1	John	Smith	697777777
⊕ 2	2	Jack	black	694444444
⊕ 3	3	Jim	White	693333333
*				

Σχήμα 4.12: Καρτέλα Οδηγοί της φόρμας Διαχείρισης Δεδομένων

Η καρτέλα αποτελείται από τα εξής τρία μέρη: στοιχεία οδηγού (πάνω τμήμα), μπάρα εργαλείων (μεσαίο τμήμα) και το κάτω μέρος με τα στοιχεία όλων των οδηγών.

Τα στοιχεία του κάθε οδηγού (επιλεγμένου από το κάτω τμήμα), που εμφανίζονται και μπορούν να αλλαχτούν είναι:

- *Κωδικός Οδηγού*
- *Όνομα*
- *Επώνυμο*
- *Τηλέφωνο*

Η μπάρα εργαλείων αποτελείται από κουμπιά, που επενεργούν στα δεδομένα των οδηγών που εμφανίζονται στο κάτω τμήμα, και είναι τα εξής με τη σειρά από αριστερά προς τα δεξιά:

- *Επιλογή πρώτης γραμμής*
- *Επιλογή προηγούμενης γραμμής*
- *Επιλογή επόμενης γραμμής*
- *Επιλογή τελευταίας γραμμής*
- *Καταχώρηση νέας γραμμής με στοιχεία οδηγού*
- *Διαγραφή της επιλεγμένης γραμμής*
- *Αποθήκευση αλλαγών στην βάση*
- *Ανανέωση δεδομένων από την βάση*

Το κάτω τμήμα εμφανίζει τα δεδομένα των οδηγών σε γραμμές και στήλες όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.13, και επίσης για κάθε οδηγό έχει την δυνατότητα εμφάνισης ενός συνδέσμου (link) για εμφάνιση των διαδρομών που έχει κάνει ο οδηγός

Οδηγοί				
	Κωδικός Οδηγού	Όνομα	Επώνυμο	Τηλέφωνο
▶	1	John	Smith	6977777777
	Διαδρομές Οδηγού			
▣	2	Jack	black	6944444444
▣	3	Jim	White	6933333333
	Διαδρομές Οδηγού			
*				

Σχήμα 4.13: Σύνδεσμος διαδρομών οδηγού

Οχήματα

Η καρτέλα για τις λειτουργίες που αφορούν στα οχήματα (Σχήμα 4.14) είναι οργανωμένη με τον ίδιο τρόπο με την καρτέλα των οδηγών που παρουσιάσαμε προηγουμένως. Αποτελείται από τα ίδια τρία τμήματα

Διαχείριση Βάσης Δεδομένων

Οδηγοί | Οχήματα | Διαδρομές | Συμβάντα | Χωροχρονική Επερώτηση

Στοιχεία Οχήματος

Κωδικός Οχήματος: 1

Άδεια Κυκλοφορίας: 982322

Τερματικός Σταθμός: 1

Θέση οχήματος

Γεωγραφικό Μήκος: 738562.931007

Γεωγραφικό Πλάτος: 4207758.469628

Ανανέωση Θέσης

Οχήματα

Κωδικός Οχήματος	Άδεια Κυκλοφορίας	Τερματικός Σταθμός
1	982322	1
2	123899	1
3	219837	2
4	987234	3
11	132423	1

Σχήμα 4.14: Καρτέλα Οχήματα της φόρμας Διαχείρισης Δεδομένων

Στο πάνω τμήμα εμφανίζονται τα στοιχεία του οχήματος

- Κωδικός Οχήματος
- Άδεια κυκλοφορίας
- Τερματικός Σταθμός

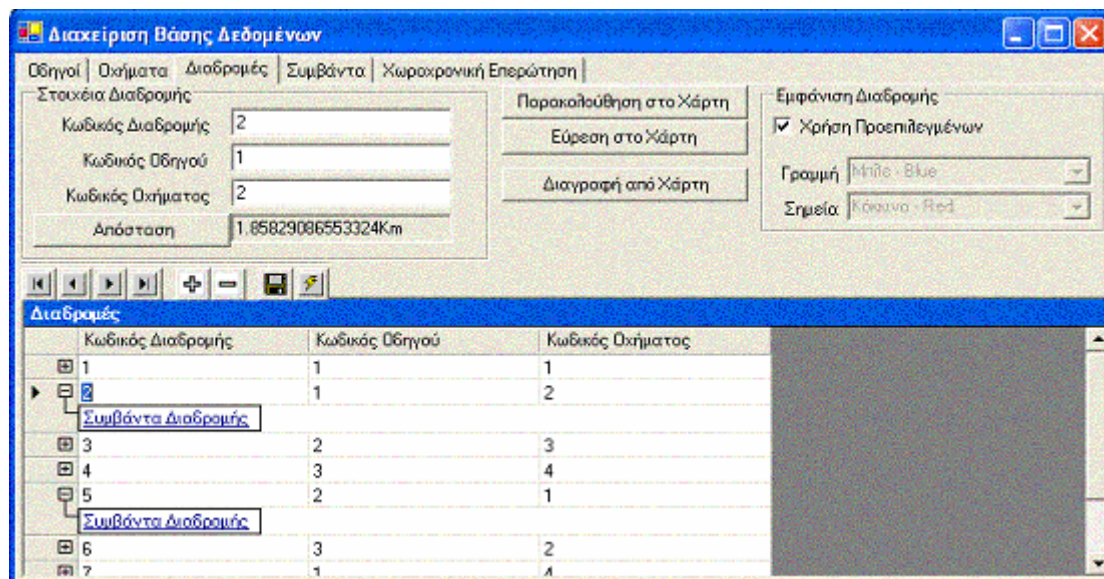
Στο πάνω τμήμα υπάρχει επίσης ένα πλαίσιο για την παρουσίαση της τελευταίας γνωστής θέσης του οχήματος. Η θέση παρουσιάζεται σε δύο πεδία με το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος της θέσης του οχήματος σε μορφή UTM όπως αποστέλλεται από τη συσκευή GPS που μεταφέρει το όχημα. Υπάρχει επίσης ένα κουμπί για την ανανέωση της πληροφορίας θέσης του οχήματος.

Το μεσαίο τμήμα αποτελείται από μια μπάρα εργαλείων με τις ίδιες λειτουργίες που παρουσιάστηκαν στη καρτέλα *Οδηγοί*.

Τέλος στο κάτω τμήμα εμφανίζονται τα στοιχεία όλων των οχημάτων. Υπάρχει επίσης ένας αντίστοιχος σύνδεσμος με τον σύνδεσμο για τις διαδρομές του κάθε οδηγού, ο σύνδεσμος για τις διαδρομές του κάθε οχήματος, και επιπλέον ένας ακόμη σύνδεσμος για την θέση του οχήματος.

Διαδρομές

Η καρτέλα για τις λειτουργίες που αφορούν στις διαδρομές των οχημάτων (Σχήμα 4.15) είναι οργανωμένη με τον ίδιο τρόπο με τις καρτέλες που παρουσιάσαμε προηγουμένως. Αποτελείται από τα ίδια τρία τμήματα αλλά το πρώτο παρέχει κάποιες επιπλέον λειτουργίες



Σχήμα 4.15: Καρτέλα Διαδρομές της φόρμας Διαχείρισης Δεδομένων

Στο πάνω τμήμα εμφανίζονται τα στοιχεία της κάθε διαδρομής δηλαδή τον οδηγό και το όχημα που έκανε την διαδρομή

- *Κωδικός Διαδρομής*
- *Κωδικός Οδηγού*
- *Κωδικός Οχήματος*

Υπάρχει επίσης ένα πεδίο για την εμφάνιση του συνολικού μήκους κάθε διαδρομής. Για τον υπολογισμό του μήκους της κάθε διαδρομής υπάρχει το αντίστοιχο κουμπί. Υπάρχει ένα επίσης πλαίσιο για την επιλογή της εμφάνισης της κάθε διαδρομής πάνω στον χάρτη, δίνοντας την δυνατότητα επιλογής του χρώματος της γραμμής που θα ζωγραφίζεται για κάθε διαδρομή πάνω στον χάρτη και επίσης του χρώματος των σημείων περάσματος της διαδρομής που προαιρετικά εμφανίζονται μαζί με την γραμμή. Τέλος υπάρχουν και τρία κουμπιά για τον έλεγχο της εμφάνισης των διαδρομών πάνω στον χάρτη:

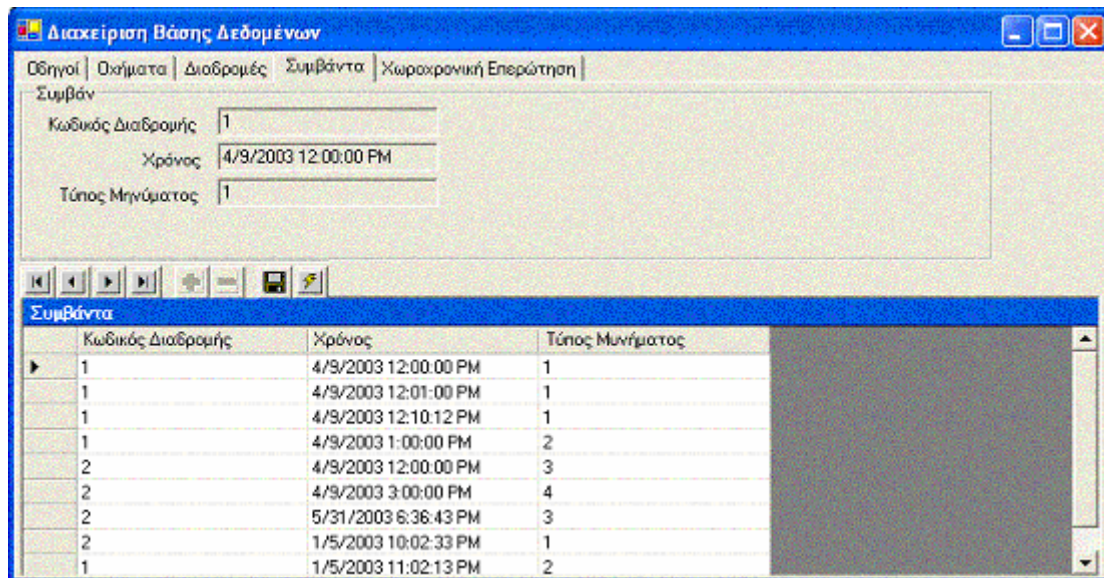
- *Παρακολούθηση στο Χάρτη*: για την εμφάνιση και την παρακολούθηση της επιλεγμένης διαδρομής στον χάρτη με τα δικά της χρώματα
- *Εύρεση στο Χάρτη*: για την εύρεση της επιλεγμένης διαδρομής στον χάρτη, π.χ. στην περίπτωση που δεν φαίνεται
- *Διαγραφή από Χάρτη*: για τον τερματισμό της εμφάνισης της διαδρομής πάνω στον χάρτη

Το μεσαίο τμήμα αποτελείται από μια μπάρα εργαλείων με τις ίδιες λειτουργίες που παρουσιάστηκαν στη καρτέλα *Οδηγοί*.

Τέλος στο κάτω τμήμα εμφανίζονται τα στοιχεία όλων των οχημάτων. Υπάρχει επίσης ένας αντίστοιχος σύνδεσμος για τα συμβάντα της κάθε διαδρομής.

Συμβάντα

Η καρτέλα για την παρουσίαση των συμβάντων κάθε διαδρομής (Σχήμα 4.16) είναι οργανωμένη με τον ίδιο τρόπο με τις καρτέλες που παρουσιάσαμε προηγουμένως.



Σχήμα 4.16: καρτέλα Συμβάντα της φόρμας Διαχείρισης Δεδομένων

Στο πάνω τμήμα εμφανίζονται τα στοιχεία του οχήματος

- *Κωδικός Διαδρομής*
- *Χρονική στιγμή*
- *Τύπος μηνύματος*

Το μεσαίο τμήμα αποτελείται από μια μπάρα εργαλείων με τις ίδιες λειτουργίες που παρουσιάστηκαν στη καρτέλα *Οδηγοί* με την διαφορά ότι δεν επιτρέπονται λειτουργίες όπως εισαγωγή ή διαγραφή.

Τέλος στο κάτω τμήμα εμφανίζονται τα στοιχεία όλων των συμβάντων σε όλες τις διαδρομές. Τα δεδομένα είναι μόνο προς παρουσίαση. Δεν επιτρέπεται η διαγραφή ή η εισαγωγή νέων, ούτε η αλλαγή (ούτε στα κελιά ούτε στο πάνω μέρος), αφού τα δεδομένα αυτά αποστέλλονται από τα οχήματα.

Χωροχρονική Επερώτηση

Η καρτέλα για την εκτέλεση επερώτησης χωροχρονικού παραθύρου (Σχήμα 4.17) είναι οργανωμένη με τον ίδιο τρόπο με τις καρτέλες που παρουσιάσαμε προηγουμένως. Αποτελείται από τα ίδια τρία τμήματα αλλά το πρώτο παρέχει κάποιες επιπλέον λειτουργίες

Διαχείριση Βάσης Δεδομένων

Οδηγοί | Οχήματα | Διαδρομές | Συμβάντα | Χωροχρονική Επερώτηση

Σημείο

Κωδικός Διαδρομής: 1

Χρόνος: 6/29/2003 8:01:28 PM

Γεωγραφικό μήκος: 738414.41577

Γεωγραφικό πλάτος: 4207577.659709

Κριτήρια Επιλογής

Χρονικό Διάστημα: Από 29/06/2003 - 20:01:04-PM Έως 29/06/2003 - 20:05:04-PM

Χωρική περιοχή: Αριστερά 738360.14823 Πάνω 4207636.4929

Από το χάρτη Δεξιά 738476.00939 Κάτω 4207534.3198

Εμφάνιση στο Χάρτη Έρευνα στο Χάρτη Διαγραφή από Χάρτη

Σημεία Περάσματος

	Κωδικός Διαδρομής	Χρόνος	Γεωγραφικό Μήκος	Γεωγραφικό Πλάτος
	1	6/29/2003 8:01:23 PM	738389.407895	4207590.253604
▶	1	6/29/2003 8:01:28 PM	738414.41577	4207577.659709
	1	6/29/2003 8:01:33 PM	738428.657971	4207570.487378
	1	6/29/2003 8:01:38 PM	738410.523815	4207549.153077
	2	6/29/2003 8:04:58 PM	738447.642544	4207541.007853

Σχήμα 4.17: Καρτέλα Χωροχρονική Επερώτηση της φόρμας Διαχείρισης Δεδομένων

Το πάνω τμήμα χωρίζεται σε δύο πλαίσια, τα Σημείο και Κριτήρια Επιλογής. Στο πλαίσιο Σημείο εμφανίζονται τα χαρακτηριστικά του επιλεγμένου κάθε φορά σημείου:

- Κωδικός Διαδρομής
- Χρόνος
- Γεωγραφικό Μήκος
- Γεωγραφικό Πλάτος

Στο πλαίσιο Κριτήρια επιλογής εμφανίζονται τα πεδία για τον καθορισμό του χωροχρονικού παραθύρου από τον χρήστη:

- Χρονικό Διάστημα
 - Αρχή Χρονικού Διαστήματος
 - Τέλος Χρονικού Διαστήματος
- Χωρική Περιοχή
 - Αριστερά
 - Πάνω
 - Δεξιά
 - Κάτω

Η χωρική περιοχή μπορεί να επιλεγεί και με το ποντίκι από το χάρτη, πατώντας το αντίστοιχο κουμπί.

Στο μεσαίο τμήμα υπάρχει η αντίστοιχη μπάρα για έλεγχο των δεδομένων και την πλοήγηση στις γραμμές. Το κουμπί που σβήνει μια γραμμή δεν σβήνει από την βάση τα δεδομένα απλώς χρησιμεύει για τον περιορισμό των σημείων που θα εμφανίζονται στο χάρτη. Υπάρχουν, επίσης, τρία κουμπιά και την εμφάνιση των αποτελεσμάτων στο χάρτη:

- *Εμφάνιση στο Χάρτη*: αν το χωροχρονικό παράθυρο έχει αλλάξει τότε εκτελεί εκ νέου την επερώτηση και εμφανίζει τα αποτελέσματα στον χάρτη, αλλιώς εμφανίζει στο χάρτη τα σημεία που υπάρχουν στο κάτω μέρος
- *Εύρεση στο Χάρτη*: βρίσκει και εστιάζει στον χάρτη στην περιοχή των σημείων που απεικονίζονται στον χάρτη
- *Διαγραφή από Χάρτη*: τερματίζει την απεικόνιση των αποτελεσμάτων στο χάρτη

Τέλος στο κάτω τμήμα εμφανίζονται τα στοιχεία όλων των σημείων, μετά την εκτέλεση της επερώτησης, που βρίσκονται μέσα στο χωροχρονικό παράθυρο.

Τα δεδομένα είναι μόνο προς παρουσίαση. Δεν επιτρέπεται η διαγραφή ή η εισαγωγή νέων, ούτε η αλλαγή (ούτε στα κελιά ούτε στο πάνω μέρος), αφού τα δεδομένα αυτά αποστέλλονται από τα οχήματα.

4.2.2.3 Φόρμα ρυθμίσεων

Η φόρμα ρυθμίσεων (Σχήμα 4.18) αποτελεί την τρίτη από τις κύριες οθόνες της εφαρμογής. Παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να ρυθμίζει διάφορες παραμέτρους της εφαρμογής.

Σχήμα 4.18: Φόρμα Ρυθμίσεις της κύριας εφαρμογής

Η φόρμα χωρίζεται σε ορισμένα πλαίσια για την ρύθμιση αντίστοιχων παραμέτρων. Τα πλαίσια και τα πεδία για ρυθμίσεις που προσφέρονται είναι τα εξής:

- *Μορφή Γεωγραφικού Μήκους / Πλάτους*: για την μορφή που θα εμφανίζεται η γεωγραφική θέση (μήκος, πλάτος). Οι επιλογές είναι
 - *no format*: εμφάνιση ως αριθμός κινητής υποδιαστολής
 - *ddd.ddddd°*: σε μοίρες
 - *ddd° mm.mmm'*: σε μοίρες και λεπτά
 - *dd d° mm' ss.s'*: σε μοίρες, λεπτά και δεύτερα
- *Αρχείο Εξόδου*
 - *Bitmap*
 - *Κλίμακα*: το μέγεθος σε σχέση με το μέγεθος του χάρτη στην οθόνη
 - *EMF*
 - *Κλίμακα*: το μέγεθος σε σχέση με το μέγεθος του χάρτη στην οθόνη
 - *JPG*
 - *Κλίμακα*: το μέγεθος σε σχέση με το μέγεθος του χάρτη στην οθόνη
 - *Ποιότητα*: ποιότητα συμπίεσης JPG
 - *Επιλογή*: το πώς κλιμακώνονται τα διάφορα σύμβολα του χάρτη
 - *Προοδευτικό*: παράμετρος JPG
- *Μορφή Διαδρομής στο Χάρτη*
 - *Εμφάνιση σημείων Διαδρομής*
 - *Χρώμα της γραμμής*
 - *Χρώμα των σημείων*
 - *Πάχος της γραμμής*
 - *Μέγεθος των σημείων*
- *Χρονική Εξέλιξη Διαδρομής στο Χάρτη*
 - *Εξέλιξη Πραγματικού Χρόνου*: επιλογή για το αν θα γίνεται σε πραγματικό χρόνο ή αν θα επιλέγει ο χρήστης τις παραμέτρους της εξέλιξης
 - *Χρόνος Ανανέωσης*: για την περίπτωση εξέλιξης πραγματικού χρόνου
 - *Αρχή Χρονικού Διαστήματος*: όχι εξέλιξη σε πραγματικό χρόνο
 - *Τέλος Χρονικού Διαστήματος*: όχι εξέλιξη σε πραγματικό χρόνο
 - *Χρόνος Ανανέωσης*: όχι εξέλιξη σε πραγματικό χρόνο
 - *Αντίστοιχος Χρόνος*: «πραγματικός χρόνος» σε ένα διάστημα ανανέωσης

4.2.3 Εφαρμογή συλλογής μηνυμάτων

Η εφαρμογή συλλογής των μηνυμάτων είναι επίσης ένα σημαντικό συστατικό του συστήματος. Η εφαρμογή αυτή, που τρέχει σε ένα εξυπηρετητή, λαμβάνει τα μηνύματα με τα δεδομένα από τα οχήματα, τα αναλύει και εξάγει τα επιθυμητά στοιχεία, τα οποία εν συνεχεία εισάγει στην βάση δεδομένων.

Τα δεδομένα που έρχονται από τα οχήματα μέσω μηνυμάτων SMS έχουν την παρακάτω μορφή:

\$PFUGTAR,4230.000,N,01940.000,E,track1,Comment,10.0,45.0,ICON,240301,134528

το οποίο περιέχει πληροφορίες όπως η γεωγραφική θέση, η ταχύτητα, περιγραφή κλπ, από τις οποίες η εφαρμογή εξάγει την γεωγραφική θέση, την ταυτότητα του κινητού και την χρονική στιγμή, και εισάγει μια νέα καταχώρηση στην σχέση WAYPOINTS της βάσης δεδομένων, ή αν πρόκειται για μήνυμα συμβάντος εισάγει μια νέα καταχώρηση στην σχέση SIGNALS της βάσης δεδομένων.

Η εφαρμογή δεν χρειάστηκε να αναπτυχθεί εξ' ολοκλήρου από την αρχή. Αντίθετα, χρησιμοποιήθηκε ως βάση μια έτοιμη εφαρμογή παράδειγμα που συνοδεύει το λογισμικό πακέτο με την βιβλιοθήκη για την λήψη των μηνυμάτων SMS. Το παράδειγμα υλοποιεί πλήρως το τμήμα της λήψης και αποστολής μηνυμάτων μέσω του κινητού τηλεφώνου που συνδέεται μέσω ενός καλωδίου υπερύθρων (ή άλλο τρόπο διασύνδεσης ενός κινητού τηλεφώνου με τον υπολογιστή). Η εφαρμογή έχει την δυνατότητα λήψης και αποστολής μηνυμάτων από και προς τα κινούμενα οχήματα.

Για να προσαρμόσουμε την παραπάνω εφαρμογή στις ανάγκες του συστήματος που αναπτύξαμε, μετά την λήψη ενός μηνύματος από την εφαρμογή προσθέσαμε κώδικα για εξαγωγή των επιθυμητών δεδομένων και την αποθήκευση στην βάση δεδομένων. Η εξαγωγή γίνεται ευθέως όπως φαίνεται παραπάνω από την μορφή των μηνυμάτων. Για την εισαγωγή των δεδομένων στη βάση χρησιμοποιήσαμε μία σύνδεση με την βάση μέσω ODBC.

Για να είναι η εφαρμογή όσο το δυνατόν παραμετροποιήσιμη επιλέξαμε να υπάρχει ένα εξωτερικό αρχείο αρχικοποίησης της εφαρμογής, το οποίο θα περιέχει την πληροφορία για την σύνδεση με την βάση και για της SQL επερωτήσεις εισαγωγής στην βάση δεδομένων. Η μορφή του αρχείου αυτού είναι η εξής

[CONNECTION STRING]

DRIVER=SQL Server

UID=SA

DATABASE=tracking

WSID=GTS

```
APP=SmsSpooler Application
SERVER=localhost
```

```
[INSERT SIGNAL]
INSERT INTO SIGNALS (ROUTE_ID, TIME, SIGNAL_TYPE_ID)
VALUES ('@ROUTE_ID', '@TIME', '@SIGNAL_TYPE_ID')
```

```
[INSERT WAYPOINT]
INSERT INTO WAYPOINTS (TIME, ROUTE_ID, LONG, LAT)
VALUES ('@TIME', '@ROUTE_ID', '@LONG', '@LAT')
```

Για την υλοποίηση των λειτουργιών που απαιτούνται από την εφαρμογή υλοποιήσαμε της παρακάτω συναρτήσεις:

```
void ParseIniFile();
bool InsertSignal(string route_id, string time,
    string signal_type_id);
bool InsertWaypoint(string time, string route_id,
    string longt, string lat);
void ParseIncomingSMS(string sms);
```

Η `ParseIniFile` διαβάζει το αρχείο για την αρχικοποίηση της εφαρμογής και αποθηκεύει την πληροφορία για την σύνδεση με την βάση, και τις επερωτήσεις για τις εισαγωγές στην βάση δεδομένων.

Η `InsertSignal` εισάγει μία νέα καταχώρηση στην σχέση `SIGNALS` της βάσης δεδομένων και επιστρέφει αν ήταν επιτυχής ή όχι η εισαγωγή.

Η `InsertWaypoint` εισάγει μία νέα καταχώρηση στην σχέση `WAYPOINTS` της βάσης δεδομένων και επιστρέφει αν ήταν επιτυχής ή όχι η εισαγωγή.

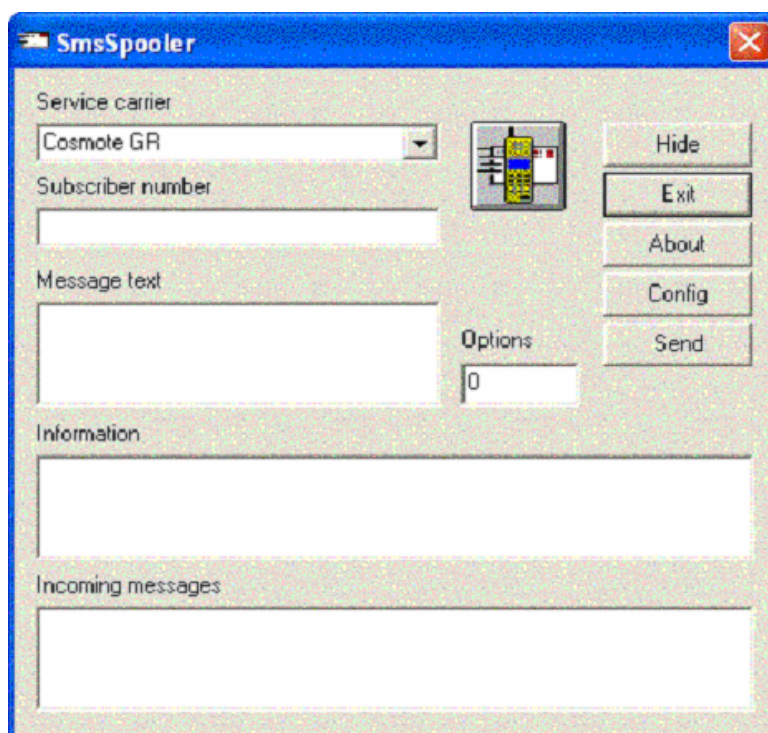
Τέλος η `ParseIncomingSMS` εξάγει τις απαιτούμενες πληροφορίες από τα εισερχόμενα μηνύματα και καλεί τις δύο προηγούμενες για την εισαγωγή των δεδομένων στη βάση.

Η εφαρμογή διαθέτει και μια απλοϊκή γραφική διαπροσωπεία (Σχήμα 4.19) προσφέροντας κάποιες λειτουργίες στο χρήστη. Οι κυριότερες λειτουργίες που παρέχονται είναι οι εξής:

- Ρύθμιση σύνδεσης με το κινητό τηλέφωνο
- Απόκρυψη, ώστε να τρέχει στο παρασκήνιο
- Αποστολή μηνύματος SMS προς ένα κινητό τηλέφωνο
- Ειδοποίηση για τα εισερχόμενα μηνύματα

Τα πεδία που υπάρχουν είναι τα εξής:

- Όνομα του παροχέα υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας
- Αριθμός κινητού τηλεφώνου για την αποστολή μηνύματος
- Κείμενο του προς αποστολή μηνύματος SMS
- Επιλογές που αφορούν στο μήνυμα
- Πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση και της ενέργειες της εφαρμογής
- Πληροφορίες με τα εισερχόμενα μηνύματα



Σχήμα 4.19: Εφαρμογή Συλλογής Μηνυμάτων

4.2.4 Εφαρμογή παραγωγής δεδομένων προσομοίωσης

Η εφαρμογή παραγωγής δεδομένων προσομοίωσης αναπτύχθηκε κυρίως για να ελεγχθεί το σύστημα, καθώς δεν ήταν δυνατόν να υπάρξει ικανοποιητικός όγκος πραγματικών δεδομένων για να ελεγχθεί το σύστημα. Η λειτουργία του βασίζεται κυρίως πάνω στο διάβασμα του αρχείου παραμέτρων. Για την υλοποίηση κατασκευάστηκαν οι εξής κλάσεις:

RouteWaypointGen::pointxy
+x : double
+y : double
+isstop : bool
+pointxy()
+pointxy(in x : double, in y : double, in isstop : bool = 0)

Σχήμα 4.20: Κλάση pointxy

Η κλάση **pointxy** (Σχήμα 4.20) υλοποιεί ένα σημείο της διαδρομής με πληροφορία για το γεωγραφικό μήκος και πλάτος και για το αν είναι σημείο στάσης.

RouteMap\pointGen::Route
<pre> -route_id : string -startX : double -startY : double -endX : double -endY : double -comersvMaxNo : long -comersvMinNo : long -breakAltitude : double -breakAltitudeVar : double -middleVar : double -stopMiddleVar : double -comersSlowPow : double -sinStart : double -maxV : double -axelFactor : double -decelFactor : double -startVFactor : double -endVFactor : double -stopsvMaxNo : long -stopsvMinNo : long -stopvMinDur : time_t -stopvMaxDur : time_t -startTime : time_t -waypointPeriod : time_t -part1 : string -part2 : string -part3 : string -part4 : string -part5 : string -order : string -time_as : long : bool -comersNo : long -stops : long -randomvar : long -ourX : double -ourY : double -out : ostream* -echo : ostream* -totalDist : double -stopdists : doublevector -pv : pointvector -hourTimeUnit : long -finalInit(in calc : bool = true) -printAttr(in c : char, in out : ostream*) -printState(in out : ostream*) -calcStopDists(in total : double, in offset : double, in stopsNo : long, inout stopdists : doublevector) -calcPoints(in start, in end, in comersNo : long, inout points : pointvector) -calcPointsDist(inout points : pointvector) : double -calcPartWaypoints(in start, in end, in startV : double, in endV : double, inout points : pointvector) : double -axelatedist(in fromV : double, intoV : double) : double -insertStopPoints() -outtime_t(in t : time_t, in out : ostream*) -angle_between(in a, in b, in c) : double +Route() +Route(in id : string) +~Route() +initPos(in startX : double, in startY : double, in endX : double, in endY : double) +initVar(in comersvMaxNo : long, in comersvMinNo : long, in breakAltitude : double, in breakAltitudeVar : double, in middleVar : double, in comersSlowPow : double, in sinStart : double) +initVel(in maxV : double, in axelFactor : double, in decelFactor : double, in startVFactor : double, in endVFactor : double) +initStp(in stopsvMaxNo : long, in stopsvMinNo : long, in stopvMinDur : time_t, in stopvMaxDur : time_t, in stopMiddleVar : double) +initTim(in startTime : time_t, in waypointPeriod : time_t) +setRouteId(in route_id : string) +setOutFormat(in p1 : string, in p2 : string, in p3 : string, in p4 : string, in p5 : string, in order : string, in time_as : long : bool) +setOut(in out : ostream*) +setEcho(in echo : ostream*) +printPoints(in calc : bool = true) +addPoint(in x : double, in y : double) +setRandom(in r : long) +reversePoints() +reset() </pre>

Σχήμα 4.21: Κλάση Route

Η κλάση **Route** (Σχήμα 4.21) κατασκευάζει ένα σχεδόν ομοιόμορφο τμήμα διαδρομής σύμφωνα με τις παραμέτρους που αρχικοποιείται. Για την κατασκευή του τμήματος διαδρομής υπολογίζει τα σημεία από τα οποία θα «περάσει» η διαδρομή και τα σημεία στα οποία θα σταματήσει η διαδρομή. Στη συνέχεια ανάλογα με την περίοδο που υπολογίζει τα σημεία, την ταχύτητα και τον τρόπο επιτάχυνσης και επιβράδυνσης υπολογίζει τα συνολικά σημεία διαδρομής και τα γράφει στο αρχείο εξόδου.

RouteWaypointGen::Parser
- route : Route - route_id : string - startX : double - startY : double - endX : double - endY : double - cornersMaxNo : unsigned long - cornersMinNo : unsigned long - breakAltitude : double - breakAltitudeVar : double - middleVar : double - stopMiddleVar : double - cornerSlowPow : double - sinStart : double - maxV : double - axelFactor : double - decelFactor : double - startVFactor : double - endVFactor : double - stopsMaxNo : unsigned long - stopsMinNo : unsigned long - stopMinDur : time_t - stopMaxDur : time_t - startTime : time_t - waypointPeriod : time_t - part1 : string - part2 : string - part3 : string - part4 : string - part5 : string - order : string - time_as_long : bool - keep_points : bool - has_points : bool
- getNextToken(in in : istream*) : int +Parser() +~Parser() +parse(in input : istream*, in output : ostream*, in echo : ostream*)

Σχήμα 4.22: Κλάση Parser

Η κλάση **Parser** (Σχήμα 4.21) διαβάζει το αρχείο εισόδου με τις παραμέτρους και κατασκευάζει τις διαδρομές τμήμα – τμήμα χρησιμοποιώντας ένα αντικείμενο της κλάσης Route όπου το αρχικοποιεί ανάλογα με τις παραμέτρους που διαβάζει από το αρχείο εισόδου.

5

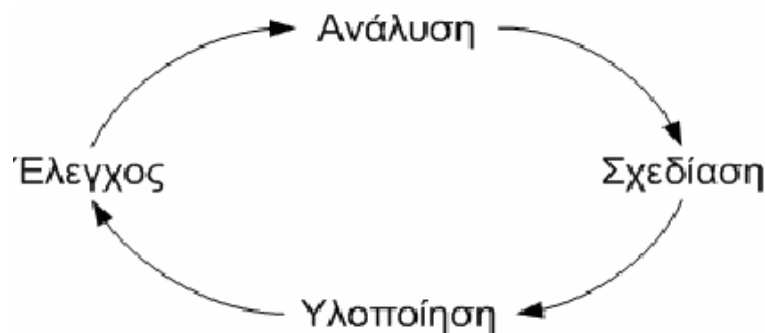
Έλεγχος

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται ο τρόπος ελέγχου του συστήματος που θα αναπτυχθεί καθώς και αναλυτικά τα αποτελέσματα του έλεγχου.

5.1 Μεθοδολογία Ελέγχου

Για τον έλεγχο του συστήματος χρησιμοποιήθηκε η τεχνική του «μαύρου κουτιού». Η τεχνική αυτή αντιμετωπίζει το σύστημα προς έλεγχο ως ένα «μαύρο κουτί» από την οπτική άποψη του εξωτερικού χρήστη, αδιαφορώντας για το εσωτερικό του συστήματος και τον τρόπο υλοποίησης. Στο σύστημα που αναπτύξαμε έγινε έλεγχος της λειτουργίας του συστήματος και των εφαρμογών του με την παραπάνω μεθοδολογία για να ελεγχθεί ότι το σύστημα πληρεί όλες τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί και ότι προσφέρει στο χρήστη την λειτουργικότητα που έχει σχεδιαστεί να προσφέρει.

Ο έλεγχος του συστήματος έγινε σε συνάφεια με τον σχεδιασμό, την υλοποίηση και την ανάπτυξη του συστήματος. Ο έλεγχος του συστήματος αποτέλεσε σημαντική διαδικασία στην επιτυχημένη ανάπτυξη του συστήματος, αφού όχι μόνο πιστοποιεί τον σχεδιασμό του συστήματος, αλλά το σημαντικότερο είναι ότι σε ενδιάμεσα στάδια της ανάπτυξης φανέρωσε αδυναμίες του συστήματος οι οποίες στην συνέχεια διορθώθηκαν. Το διάγραμμα της διαδικασίας ανάπτυξης του συστήματος που ακολουθήθηκε φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.1)



Σχήμα 5.1: Διαδικασία Ανάπτυξης του Συστήματος

Η κυκλική διαδικασία που φαίνεται παραπάνω συνεχίζεται μέχρι να υπάρξει πλήρης ικανοποίηση των προδιαγραφών που έχουν τεθεί και πλήρης υποστήριξη των λειτουργιών που πρέπει να προσφέρει στον χρήστη. Μέσω της παραπάνω κυκλικής διαδικασίας έγινε πλήρης ανάπτυξη και έλεγχος του συστήματος. Έγινε εφικτό να εντοπιστούν ατέλειες και να διορθωθούν αλλά και να οριοθετηθούν νέες λειτουργίες που αρχικά δεν είχαν ληφθεί υπ' όψιν. Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου στο τελευταίο στάδιο της παραπάνω διαδικασίας.

5.2 Αναλυτική παρουσίαση έλεγχου

5.2.1 Γραφική Διαπροσωπεία – Κόρια Εφαρμογή

Για τον διεξοδικό έλεγχο της εφαρμογής έγινε χρήση της εφαρμογής παραγωγής δεδομένων προσομοίωσης. Για το λόγο αυτό ο έλεγχος που έγινε και θα παρουσιάσουμε στην συνέχεια αφορά και στις δύο εφαρμογές. Για να διεξαχθεί ο έλεγχος εκτελέστηκαν πολλά σενάρια χρήσης, αλλά για να παρουσιάσουμε την διαδικασία ελέγχου επιλέξαμε ένα σενάριο χρήσης το οποίο και παρουσιάζουμε στην συνέχεια. Το σενάριο έχει ως εξής:

Υπάρχουν πέντε οχήματα, τα οποία κινούνται στο κέντρο της Αθήνας, που παρακολουθεί το σύστημα. Για το σκοπό αυτό εισάγουμε στην βάση δεδομένων αντίστοιχα πέντε καταχωρήσεις οδηγών (Σχήμα 5.2), αντίστοιχα πέντε καταχωρήσεις οχημάτων (Σχήμα 5.3) και αναθέτουμε σε κάθε οδηγό ένα όχημα φτιάχνοντας τις αντίστοιχες διαδρομές (Σχήμα 5.4).

Οδηγοί				
	Κωδικός Οδηγού	Όνομα	Επώνυμο	Τηλέφωνο
☐	1	John	Smith	6977777777
▶	2	Jack	black	6944444444
☐	3	Jim	White	6933333333
☐	4	Bill	Tomson	6971234567
☐	5	Jack	Daniels	6941111111
*				

Σχήμα 5.2: Εισαγωγή Οδηγών στη βάση

Οχήματα			
	Κωδικός Οχήματος	Άδεια Κυκλοφορίας	Τερματικός Σταθμός
+	1	982322	1
+	2	123899	1
+	3	219837	2
▶	4	987234	3
+	11	132423	1
+	122	232313	23
+	1222	131232	1
*			

Σχήμα 5.3: Εισαγωγή Οχημάτων στη βάση

Διαδρομές			
	Κωδικός Διαδρομής	Κωδικός Οδηγού	Κωδικός Οχήματος
+	1	1	1
+	2	5	2
▶	3	2	3
+	4	3	4
+	5	4	11
*			

Σχήμα 5.4: Εισαγωγή Διαδρομών στη βάση

Για τον έλεγχο θα εισάγουμε στην βάση κάποια δεδομένα σχετικά με τις διαδρομές. Για τα σημεία, από τα οποία περνούν τα οχήματα, θα χρησιμοποιήσουμε την προσομοίωση για να παράγουμε τα δεδομένα για να γίνει ο έλεγχος.

Για την παραγωγή των δεδομένων χρησιμοποιούμε την εφαρμογή παραγωγής δεδομένων προσομοίωσης, ρυθμίζοντας κατάλληλα κάποιες παραμέτρους ως εξής (οι υπόλοιπες παράμετροι έχουν μια προεπιλεγμένη τιμή):

```

AXELERATE_FACTOR = 0.2
DECELERATE_FACTOR = 0.2
WAYPOINT_PERIOD = 5
stops max = 0
route id = 1
start time = 29/6/2003 20:00:23
max speed = 14
WAYPOINTS = {    738023.397536 4207900.66648
                  738099.78701 4207768.234940
                  738089.313390 4207741.380333
                  738428.657971 4207570.487378
                  738345.652822 4207472.834261
                  738694.762715 4207030.953906
                  739146.408381 4207301.941306
                  739646.880606 4207209.170845
                  739620.25999 4207030.953906}

```

ok

```
route id = 2
start time = 29/6/2003 20:03:23
max speed = 13
WAYPOINTS = {      738636.170845 4208156.406080
                    738663.25452 4208107.579522
                    738582.461631 4208056.311635
                    738694.762715 4207875.653369
                    738060.17455 4207016.305939
                    738045.369487 4206928.418134
                    738331.4854 4206752.642523}
```

ok

```
route id = 3
start time = 29/6/2003 20:01:23
max speed = 13
WAYPOINTS = {      739688.383181 4208083.166242
                    739253.826810 4207731.615021
                    739219.648219 4207536.308787
                    739119.553774 4207555.839410
                    739041.431281 4207665.699167
                    738968.191443 4207680.347135
                    738521.428433 4207541.191443}
```

ok

```
route id = 4
start time = 29/6/2003 20:05:23
max speed = 17
WAYPOINTS = {      738567.813663 4207555.839410
                    738833.918407 4207113.959056
                    738865.655670 4207135.931007
                    738829.35751 4207192.81550
                    738916.923556 4207245.790764
                    738868.96998 4207326.354585
                    739153.732365 4207497.247540
                    739219.648219 4207538.750115
                    739236.737515 4207631.520576
                    739041.431281 4207668.140495
                    738968.191443 4207682.788463
                    738819.270439 4207636.403232
                    738807.63800 4207651.51200
                    738580.20303 4207741.380333
                    738555.607023 4207765.793612
```

```

738531.193744 4207763.352284
738521.428433 4207758.469628
738521.428433 4207738.939005
738518.987105 4207731.615021
738545.841712 4207704.760414
738348.94150 4207475.275589}

ok

route id = 5

start time = 29/6/2003 20:06:23

max speed = 16

WAYPOINTS = { 738599.550926 4206835.647672
738677.673420 4206840.530328
739224.530875 4206769.731818
739273.357434 4206835.647672
739300.212041 4206857.619624
739317.301336 4206923.535478
739180.586972 4206999.216643
739163.497677 4207030.953906
739129.319086 4207006.540627
739080.492527 4207082.221793
739029.224641 4207057.808514
738638.612173 4207704.760414
738577.578975 4207746.262989
738562.931007 4207758.469628}

```

ok

Στην συνέχεια εκτελούμε την εφαρμογή για την παραγωγή των σημείων, και εισάγουμε τα δεδομένα εξόδου στην βάση δεδομένων. Επίσης «παράγουμε» και κάποια συμβάντα στην αντίστοιχη σχέση της βάσης (Σχήμα 5.5).

Συμβάντα			
	Κωδικός Διαδρομής	Χρόνος	Τύπος Μηνύματος
▶	1	6/29/2003 8:01:51 PM	1
	3	6/29/2003 8:02:00 PM	2
	2	6/29/2003 8:03:25 PM	4
	1	6/29/2003 8:03:33 PM	2
	4	6/29/2003 8:03:45 PM	3
	2	6/29/2003 8:04:00 PM	3
	1	6/29/2003 8:04:23 PM	1
	2	6/29/2003 8:04:45 PM	1

Σχήμα 5.5: Συμβάντα Διαδρομών

Στην συνέχεια στην φόρμα διαχείρισης των δεδομένων ελέγχουμε τις λειτουργίες που παρέχονται στον χρήστη και αφορούν στην διαχείριση και τον έλεγχο των δεδομένων της βάσης. Κάποιες από αυτές τις λειτουργίες αυτές είναι:

- Διαδρομές κάθε οδηγού (Σχήμα 5.6)
- Διαδρομές κάθε οχήματος (Σχήμα 5.7)
- Θέση κάθε οχήματος (Σχήμα 5.8)
- Συμβάντα κάθε διαδρομής (Σχήμα 5.9)
- Μήκος κάθε διαδρομής (Σχήμα 5.10)

Οδηγοί			
Οδηγοί: Κωδικός Οδηγού: 4 Όνομα: Bill Επώνυμο: Tomson Τηλέφωνο: 6971234567			
	Κωδικός Διαδρομής	Κωδικός Οδηγού	Κωδικός Οχήματος
▶	5	4	11
*			

Σχήμα 5.6: Διαδρομές ενός οδηγού

Οχήματα			
Οχήματα: Κωδικός Οχήματος: 2 Άδεια Κυκλοφορίας: 123899 Τερματικός Σταθμός: 1			
	Κωδικός Διαδρομής	Κωδικός Οδηγού	Κωδικός Οχήματος
▶	2	5	2
*			

Σχήμα 5.7: Διαδρομές ενός οχήματος

Θέση οχήματος	
Γεωγραφικό Μήκος	Γεωγραφικό Πλάτος
738331.4854	4206752.642523

Σχήμα 5.8: Θέση ενός οχήματος

Διαδρομές			
Διαδρομές: Κωδικός Διαδρομής: 2 Κωδικός Οδηγού: 5 Κωδικός Οχήματος: 2			
	Κωδικός Διαδρομής	Χρόνος	Τύπος Μυνήματος
▶	2	6/29/2003 8:03:25 PM	4
	2	6/29/2003 8:04:00 PM	3
	2	6/29/2003 8:04:45 PM	1
*			

Σχήμα 5.9: Συμβάντα μιας διαδρομής

Στοιχεία Διαδρομής

Κωδικός Διαδρομής: 4

Κωδικός Οδηγού: 3

Κωδικός Οχήματος: 4

Απόσταση: 2.40957543999621Km

Σχήμα 5.10: Μήκος μιας διαδρομής

Η φόρμα διαχείρισης δεδομένων προσφέρει και την λειτουργία της επερώτησης χωροχρονικού παραθύρου μέσω της αντίστοιχης καρτέλας. Για τον έλεγχο της λειτουργίας αυτής θα εκτελέσουμε μια ερώτηση για τα σημεία περάσματος σε μια περιοχή σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα.

Τα δεδομένα που εισήχθησαν που εισήχθησαν στην βάση έχουν την χρονική έκταση που φαίνεται παρακάτω για κάθε διαδρομή (Σχήμα 5.11), όπως προέκυψε από την εκτέλεση της επερώτησης:

```
SELECT MIN(TIME) AS START_TIME, MAX(TIME) AS END_TIME
FROM WAYPOINTS
WHERE ROUTE_ID>=1 AND ROUTE_ID<=5
GROUP BY ROUTE_ID
```

	START_TIME	END_TIME
1	2003-06-29 20:00:23.000	2003-06-29 20:04:43.000
2	2003-06-29 20:03:23.000	2003-06-29 20:06:58.000
3	2003-06-29 20:01:23.000	2003-06-29 20:04:13.000
4	2003-06-29 20:05:23.000	2003-06-29 20:08:58.000
5	2003-06-29 20:06:23.000	2003-06-29 20:09:33.000

Σχήμα 5.11: Χρονικά Διαστήματα των διαδρομών

Ρυθμίζουμε την χρονική διάσταση του παραθύρου στο διάστημα 29/6/2003 20:01:30 μέχρι 29/6/2003 20:05:00 (Σχήμα 5.12).

Κριτήρια Επιλογής

Χρονικό Διάστημα: Από 29/06/2003 - 20:01:30-PM Έως 29/06/2003 - 20:05:00-PM

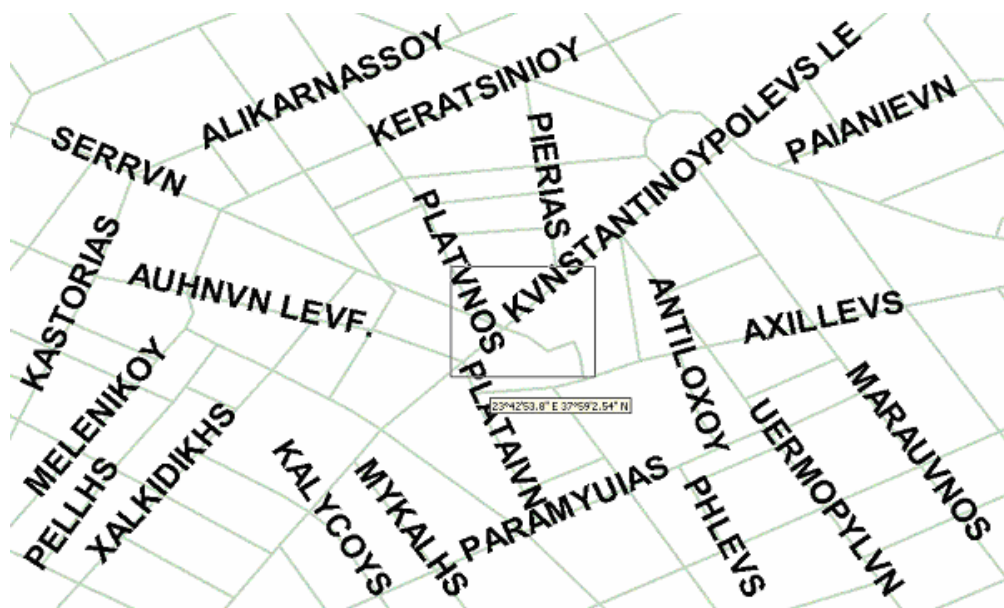
Χωρική περιοχή: Αριστερά 0.0 Πάνω 0.0

Από το χάρτη Δεξιά 0.0 Κάτω 0.0

Σχήμα 5.12: Χρονικό διάστημα για την ερώτηση παραθύρου

Στην συνέχεια θα ορίσουμε και την χωρική έκταση του παραθύρου. Η επιλογή της περιοχής μπορεί να γίνει και από τον χάρτη. Υποθέτουμε πως θέλουμε να δούμε τα σημεία κοντά στην

διασταύρωση της οδού Σερρών με την λεωφόρο Κωνσταντινουπόλεως, για το σκοπό αυτό επιλέγουμε την περιοχή με το ποντίκι από τον χάρτη (Σχήμα 5.13)



Σχήμα 5.13: Επιλογή περιοχής από το χάρτη

Το χωροχρονικό παράθυρο έχει τώρα οριστεί πλήρως (Σχήμα 5.14) και μπορούμε να εκτελέσουμε την επερώτηση.

Κριτήρια Επιλογής

Χρονικό Διάστημα Από 29/06/2003 - 20:01:30-PM Έως 29/06/2003 - 20:05:00-PM

Χωρική περιοχή Αριστερά 738407.64522 Πάνω 4207629.5413

Από το χάρτη Δεξιά 738504.46610 Κάτω 4207532.9136

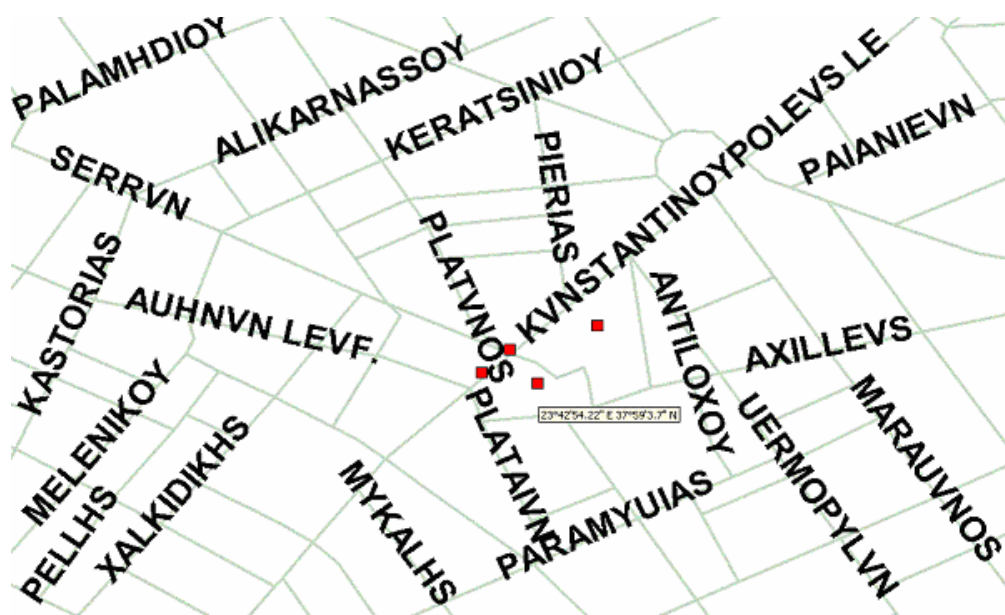
Σχήμα 5.14: Χωροχρονικό παράθυρο για την επερώτηση

Στην συνέχεια εκτελούμε την επερώτηση και τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.15).

Σημεία Πέρασματος				
	Κωδικός Διαδρομής	Χρόνος	Γεωγραφικό Μήκος	Γεωγραφικό Πλάτος
	1	6/29/2003 8:01:33 PM	738428.657971	4207570.487378
	1	6/29/2003 8:01:38 PM	738410.523815	4207549.153077
▶	2	6/29/2003 8:04:53 PM	738486.255071	4207593.296215
	2	6/29/2003 8:04:58 PM	738447.642544	4207541.007853

Σχήμα 5.15: Αποτελέσματα επερώτησης

Τα αποτελέσματα, τα οποία φαίνονται στο παραπάνω σχήμα, μπορούμε να τα απεικονίσουμε και πάνω στον χάρτη (Σχήμα 5.16), να τα εντοπίσουμε στον χάρτη και να τα διαγράψουμε από τον χάρτη μέσω των αντίστοιχων κουμπιών.

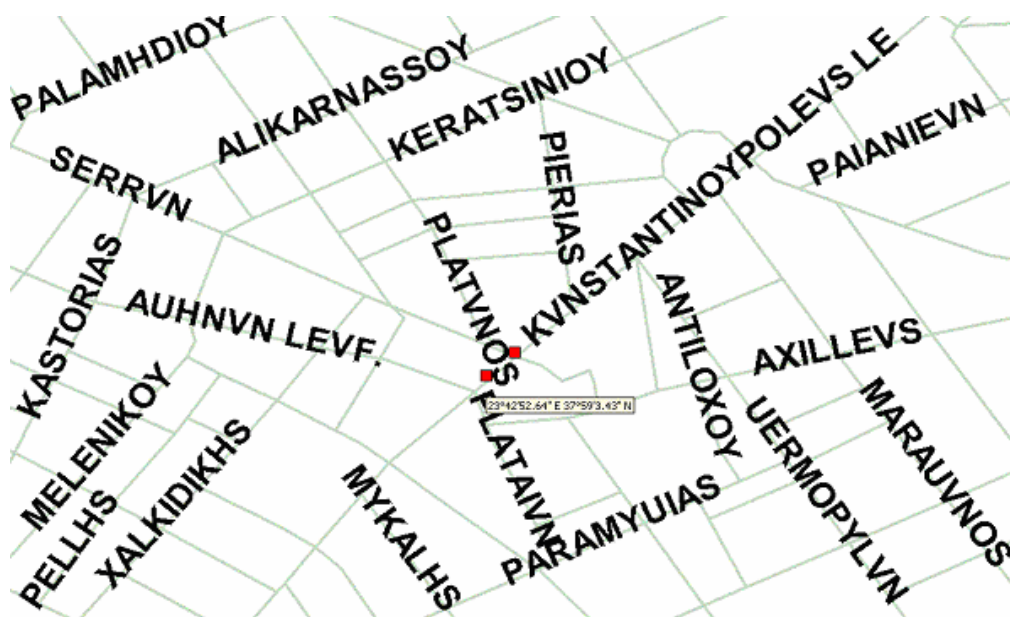


Σχήμα 5.16: Αποτελέσματα επερώτησης πάνω στον χάρτη

Τα αποτελέσματα μπορούμε να τα περιορίσουμε περαιτέρω διαγράφοντας από το αποτέλεσμα κάποιες γραμμές (Σχήμα 5.17), και να εμφανίσουμε στον χάρτη τα επιθυμητά (Σχήμα 5.18)

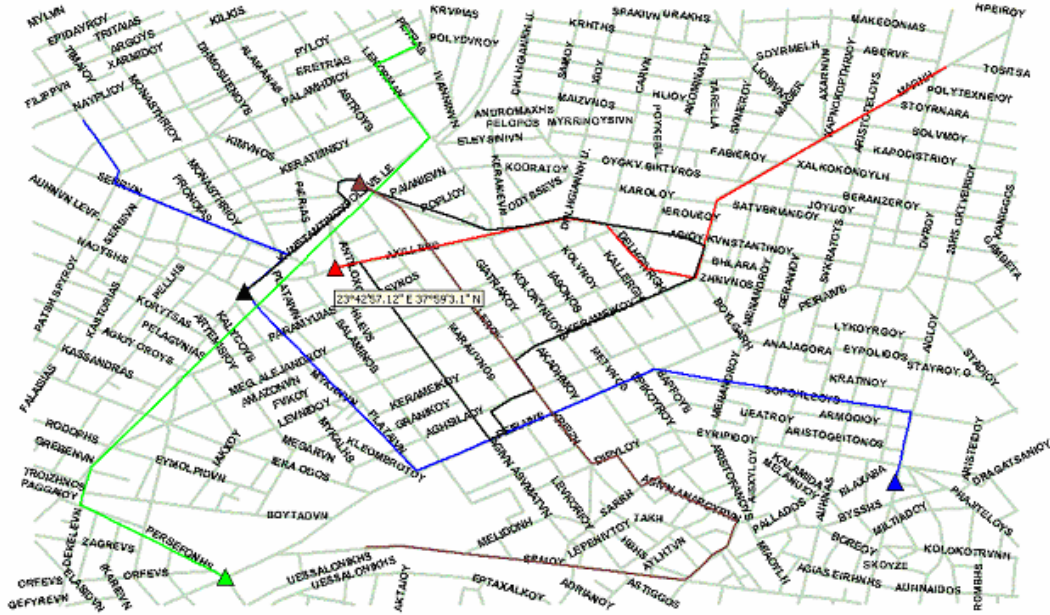
Σημεία Περάσματος			
Κωδικός Διαδρομής	Χρόνος	Γεωγραφικό Μήκος	Γεωγραφικό Πλάτος
1	6/29/2003 8:01:33 PM	738428.657971	4207570.487378
1	6/29/2003 8:01:38 PM	738410.523815	4207549.153077

Σχήμα 5.17: Περιορισμός αποτελεσμάτων



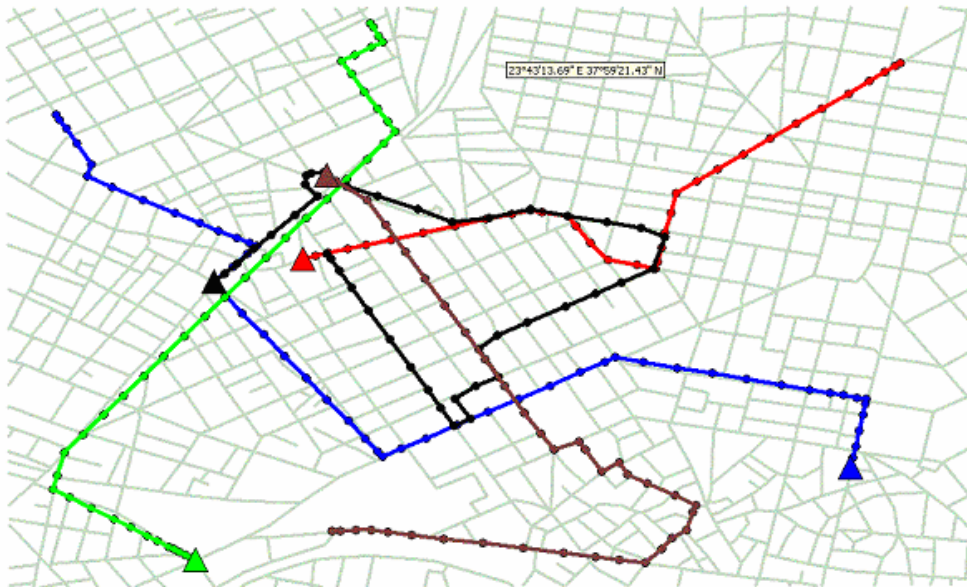
Σχήμα 5.18: Περιορισμένα δεδομένα στον χάρτη

Μια από τις σημαντικότερες λειτουργίες που προσφέρει η εφαρμογή είναι η απεικόνιση των διαδρομών πάνω στον χάρτη. Η λειτουργία αυτή παρέχεται στην καρτέλα Διαδρομές της φόρμα διαχείρισης δεδομένων. Επιλέγουμε, λοιπόν, από την καρτέλα Διαδρομές για κάθε διαδρομή διαφορετικό χρώμα και την απεικονίζουμε στον χάρτη (Σχήμα 5.19).



Σχήμα 5.19: Διαδρομές στον χάρτη

Στον χάρτη επίσης μπορούν να εμφανιστούν και τα σημεία για κάθε διαδρομή (Σχήμα 5.20). Επίσης ρυθμίζεται το πλάτος των γραμμών και το μέγεθος των σημείων (Σχήμα 5.20). Τα ονόματα των οδών αποκρύπτονται για καλύτερη ευκρίνεια.



Σχήμα 5.20: Διαδρομές και σημεία στον χάρτη

Οι παραπάνω απεικόνιση των διαδρομών στο χάρτη είναι στατική. Υπάρχει όμως η δυνατότητα να η απεικόνιση να είναι δυναμική δηλαδή να αλλάζει σε πραγματικό χρόνο καθώς έρχονται νέα δεδομένα ή και σε μη πραγματικό χρόνο να παρακολουθείται η χρονική εξέλιξη σε ένα χρονικό διάστημα. Οι ρυθμίσεις αυτές προσφέρονται στην φόρμα ρυθμίσεων (Σχήμα 5.21). Η έναρξη της απεικόνισης στο χάρτη της χρονικής εξέλιξης γίνεται από το αντίστοιχο κουμπί στην μπάρα εργαλείων.

Χρονική Εξέλιξη Διαδρομής στο Χάρτη

☒ Εξέλιξη Πραγματικού Χρόνου

Χρόνος Ανανέωσης sec

Από

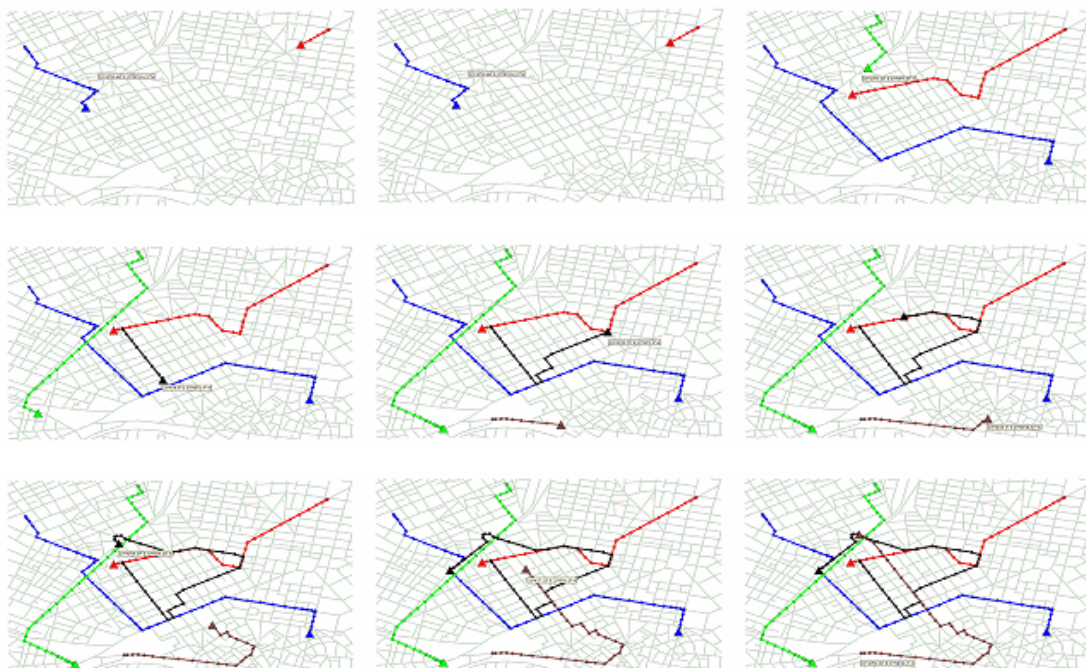
Έως

Χρόνος Ανανέωσης msec

Αντίστοιχος Χρόνος sec

Σχήμα 5.21: Ρυθμίσεις χρονικής εξέλιξης

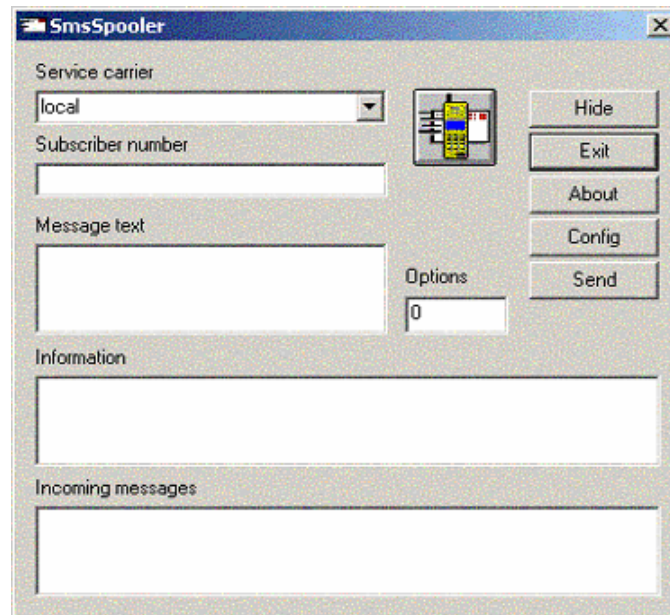
Οι εικόνες που ακολουθούν δείχνουν πως φαίνεται στον χάρτη η χρονική εξέλιξη των διαδρομών (Σχήμα 5.22). Πρέπει να σημειωθεί ότι φαίνονται μόνο ορισμένες από τις διαδοχικές αφού είναι δύσκολο να παρουσιαστεί λεπτομερώς η χρονική εξέλιξη στο χαρτί.



Σχήμα 5.22: Χρονική εξέλιξη των διαδρομών στο χάρτη

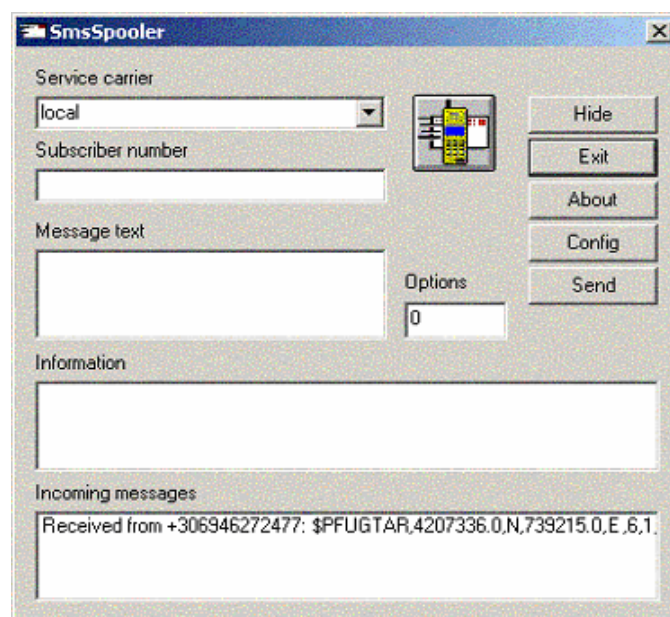
5.2.2 Εφαρμογή Συλλογής Μηνυμάτων

Για τον έλεγχο της εφαρμογής συλλογής των δεδομένων μέσω των μηνυμάτων SMS θα παρουσιαστεί στην συνέχεια ένα σενάριο που πραγματοποιήθηκε. Θα παρακολουθήσουμε ένα όχημα το οποίο θα αποστέλλει ορισμένα μηνύματα. Η διαπροσωπεία της εφαρμογής είναι η παρακάτω:



Σχήμα 5.23: Διαπροσωπεία εφαρμογής συλλογής μηνυμάτων

Αφού πραγματοποιήσουμε τις απαραίτητες ρυθμίσεις για την σύνδεση με το κινητό τηλέφωνο, η εφαρμογή είναι έτοιμη να δεχθεί τα μηνύματα. Η λήψη του πρώτου μηνύματος φαίνεται στο σχήμα 5.24.

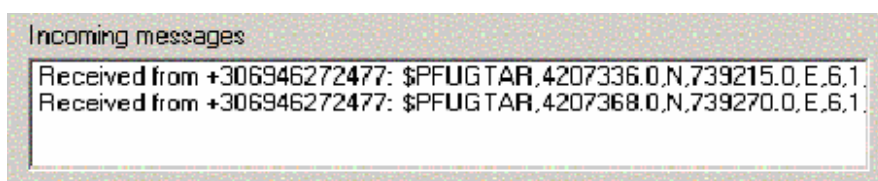


Σχήμα 5.24: Λήψη πρώτου μηνύματος SMS

Ταυτόχρονα παρακολουθούμε στον χάρτη την διαδρομή του οχήματος.



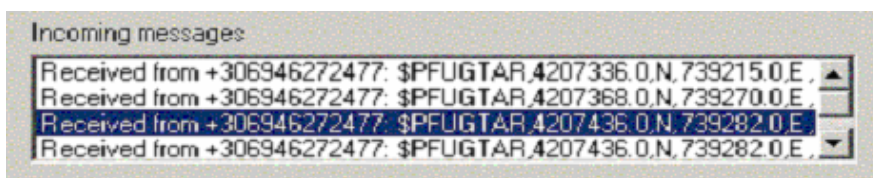
Σχήμα 5.25: Πρώτο μήνυμα στον χάρτη



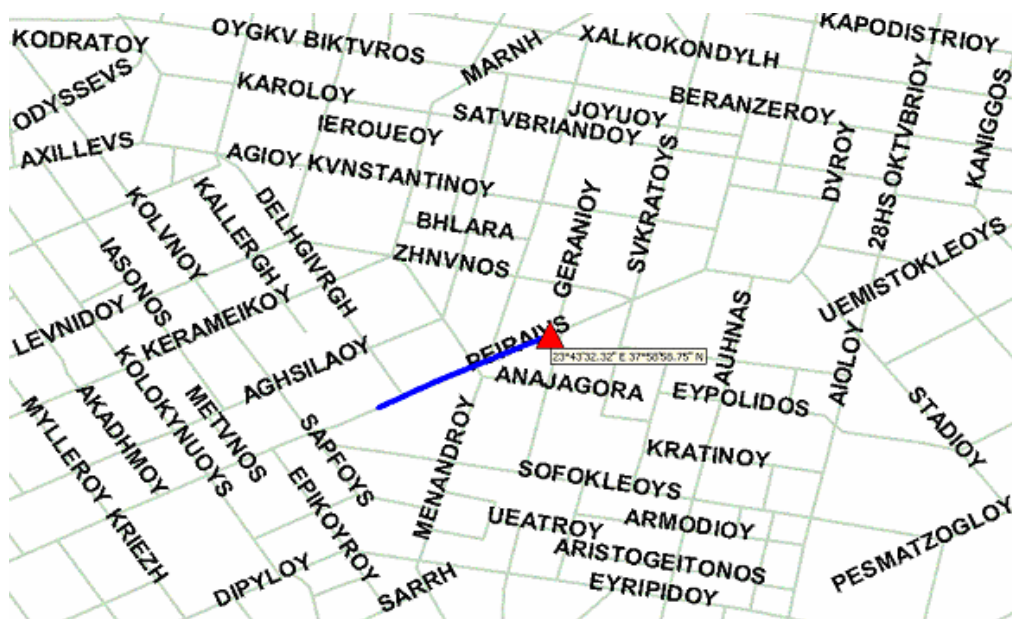
Σχήμα 5.26: Λήψη Δευτέρου μηνύματος



Σχήμα 5.27: Δεύτερο μήνυμα στον χάρτη

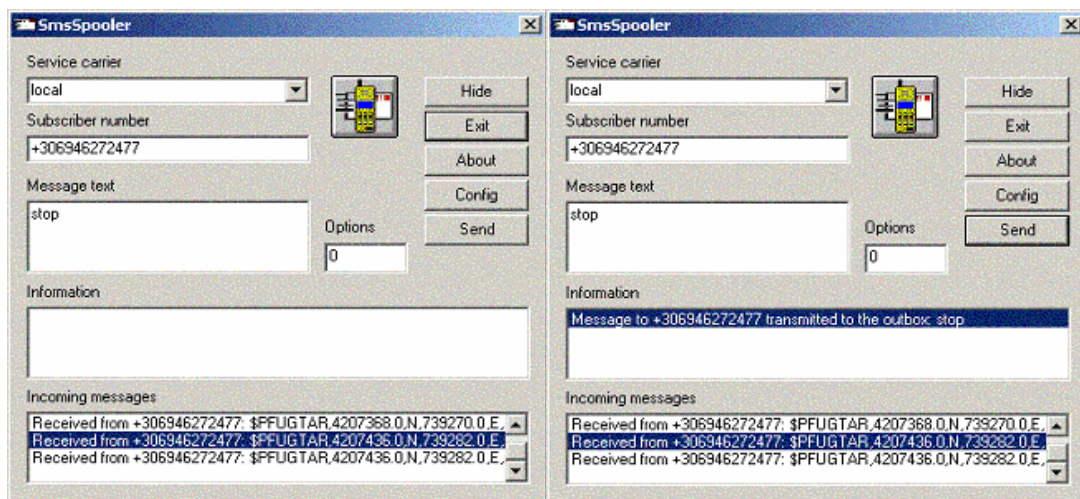


Σχήμα 5.28: Λήψη επόμενων μηνυμάτων



Σχήμα 5.29: Επόμενα μηνύματα στον χάρτη

Μπορούμε επίσης να αποστείλουμε ένα μήνυμα προς το όχημα (Σχήμα 5.30).



Σχήμα 5.30: Αποστολή μηνύματος

6

Επίλογος

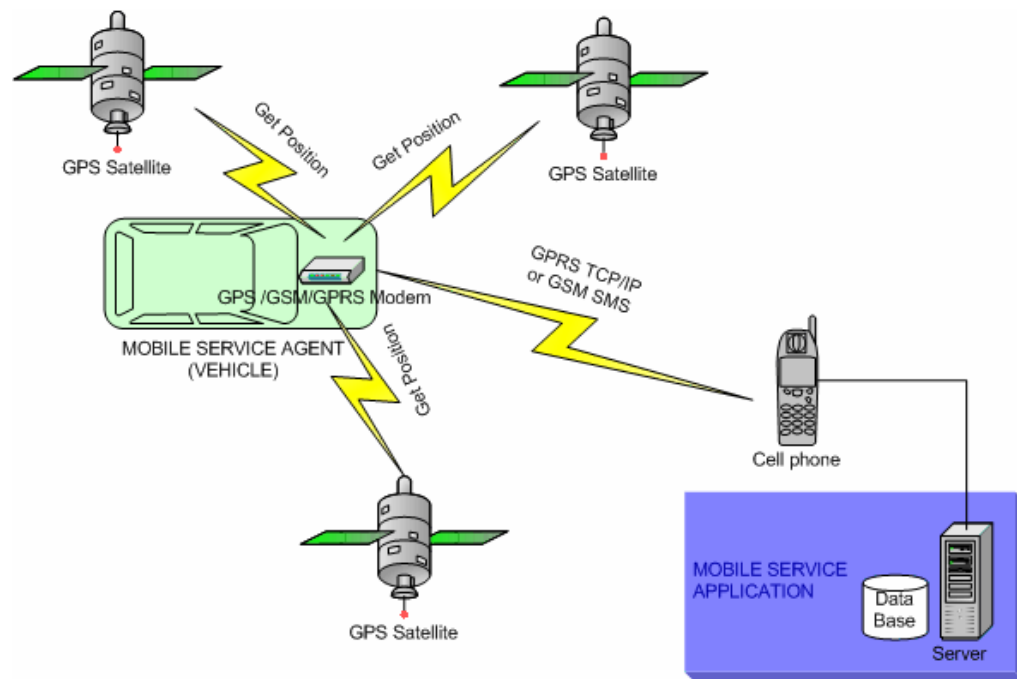
Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια σύνοψη της διπλωματικής εργασίας και των αποτελεσμάτων. Αναφέρονται επίσης κατευθύνσεις στις οποίες μπορεί να συνεχιστούν και να επεκταθούν τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας.

6.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στα πλαίσια της διπλωματικής αναπτύχθηκε ένα πλαίσιο για την υποστήριξη της έρευνας πάνω σε χωροχρονικές βάσεις δεδομένων και σε mobile e-services. Αυτές διαφέρουν από τις e-services στο ότι παροχείς (providers) και πελάτες (clients) μπορεί να κινούνται στο χώρο, δίνοντας μια χωροχρονική διάσταση στα προβλήματα της αναζήτησης και χρήσης μιας υπηρεσίας. Για να παρέχει την δυνατότητα για έρευνα σε όσο το δυνατόν ρεαλιστικότερα δεδομένα αναπτύχθηκε μια εφαρμογή παρακολούθησης οχημάτων που θα παρέχουν πραγματικά δεδομένα από κινούμενους σημεία.

Η εφαρμογή αναπτύχθηκε σε λειτουργικό Windows και σε πλατφόρμα ανάπτυξης Microsoft Visual Studio .NET. Για την απεικόνιση ψηφιακών χαρτών και γενικότερα χωρικής πληροφορίας (π.χ. οι θέσεις των agents) χρησιμοποιήθηκαν τα ActiveX controls Map Objects της ESRI, τα οποία μπορούν και δείχνουν χάρτες που είναι αποθηκευμένοι σε διάφορα formats, προσφέροντας την απαραίτητη λειτουργικότητα.

Η εφαρμογή λοιπόν έχει ένα windows interface που περιέχει ένα με το map object το οποίο παρουσιάζει ένα χάρτη πάνω στον οποίο απεικονίζεται η κίνηση των οχημάτων. Οι θέσεις των οχημάτων εντοπίζονται όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Κάθε όχημα μεταφέρει μια συσκευή Global Positioning System. Αυτή εκπέμπει σήμα σε τρεις δορυφόρους και από το χρόνο που έκανε να επιστρέψει υπολογίζει το γεωγραφικό μήκος και πλάτος με ακρίβεια 10 μέτρων. Επίσης η ίδια συσκευή είναι και GSM/GPRS modem, έτσι με μία σύνδεση κινητής τηλεφωνίας είτε κάνει GPRS σύνδεση στο internet και στέλνει συνέχεια τη θέση του οχήματος, είτε ανά τακτά χρονικά διαστήματα στέλνει ένα κοινό SMS με τη θέση.

Αναπτύχθηκε επίσης μία εφαρμογή που τρέχει σε έναν Server για να παρέχει μια web service μέσω της οποίας μπορούν να ενημερώνει τη θέση του ένα όχημα. Ο Server είναι συνδεδεμένος με ένα κινητό τηλέφωνο ώστε να γίνεται η επικοινωνία και μέσω των SMS.

Τα δεδομένα λοιπόν των οχημάτων συγκεντρώνονται σε μια βάση δεδομένων και αποτελούν τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν σε πειράματα πάνω σε m-services και χωροχρονικές βάσεις.

Το πλαίσιο μπορεί να επεκταθεί υποστηρίζοντας χωροχρονικούς δείκτες για την οργάνωση της πληροφορίας των τροχιών των οχημάτων καθώς και πάνω του μπορούν να εφαρμοστούν αλγόριθμοι που λύνουν διάφορα προβλήματα του χώρου όπως η δρομολόγηση των οχημάτων. Οι δυνατότητες επέκτασης παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

6.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε έχει πολλές δυνατότητες επέκτασης. Αναφέρουμε στην συνέχεια ορισμένες με θεωρητικό αλλά και πρακτικό ενδιαφέρον.

Χωροχρονικοί Δείκτες

Η υποστήριξη δεικτών στα χωροχρονικά δεδομένα των τροχιών των οχημάτων είναι μια σημαντική επέκταση που μπορεί να γίνει. Ο τομέας των χωροχρονικών δεικτών είναι ένας τομέας αιχμής στον χώρο των βάσεων δεδομένων, όπου πραγματοποιείται μεγάλη και σημαντική έρευνα. Έχουν προταθεί διάφορες δομές για την οργάνωση χωροχρονικών δεδομένων, οι οποίες δεν έχουν υλοποιηθεί και εξεταστεί πλήρως.

Μια ενδιαφέρουσα, επομένως, επέκταση του συστήματος θα είναι να μπορεί να υποστηρίζει δομές χωροχρονικών δεδομένων. Εν συνεχεία να υλοποιηθούν κάποιες δομές ή να προσαρμοστούν κάποιες υλοποιημένες δομές χωροχρονικών δεικτών. Αυτό θα δώσει την δυνατότητα να αξιολογηθούν ως προς την απόδοσή τους οι διάφορες προτάσεις χωροχρονικών δεικτών πάνω σε πραγματικά δεδομένα από την κίνηση των οχημάτων.

Αλγόριθμοι Δρομολόγησης

Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης οχημάτων είναι ένας σημαντικός ερευνητικός τομέας με πολλές πρακτικές και ενδιαφέρουσες εφαρμογές. Διαφαίνεται ότι τα οχήματα του μέλλοντος θα έχουν στον βασικό τους εξοπλισμό και ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο, εκτός των άλλων, θα έχει την δυνατότητα απεικόνισης χάρτη και εύρεση βέλτιστης διαδρομής προς ένα προορισμό.

Το σύστημα που αναπτύχθηκε μπορεί να επεκταθεί για να υποστηρίζει την δρομολόγηση οχημάτων. Δηλαδή να υποστηρίζει την «βέλτιστη» διαδρομή μεταξύ δύο σημείων ή μια διαδρομή που να ικανοποιεί ορισμένες προϋποθέσεις και κάποια κριτήρια που θα τίθενται από τον χρήστη.

Τα κριτήρια για την εύρεση μιας βέλτιστης διαδρομής μπορεί σε πρώτο στάδιο να είναι μόνο χωρικά. Δηλαδή λαμβάνοντας τη χωρική πληροφορία από τον χάρτη να αναζητείται μία βέλτιστη διαδρομή από μια αφετηρία σε ένα προορισμό, όπου βέλτιστη να θεωρείται μια διαδρομή με ελάχιστο μήκος.

Σε δεύτερο στάδιο, για την ανάπτυξη μιας εφαρμογής, πραγματικής δρομολόγησης, τα κριτήρια να είναι χωρικά αλλά και χρονικά. Τα χρονικά κριτήρια έχουν να κάνουν με τον χρόνο που απαιτείται από ένα όχημα να διανύσει μια απόσταση. Ο χρόνος αυτός για ένα όχημα είναι άμεσα εξαρτώμενος κυρίως από το φόρτο κίνησης της δρόμου που θα κινηθεί, αλλά δευτερεύοντες και από άλλους παράγοντες. Για να υλοποιηθεί ένα τέτοιο σύστημα δρομολόγησης απαιτείται γνώση για το φόρτο κίνησης των διαδρομών. Ο αλγόριθμος μπορεί

να λαμβάνει υπόψη δεδομένα για την μέση κίνηση των διαδρομών ανά ώρα, τα οποία μπορούν να παρέχονται από κάποια υπηρεσία. Επίσης μπορούν να λαμβάνονται υπόψη και δυναμικά δεδομένα για την κίνηση σε πραγματικό χρόνο.

Προκαθορισμένες Διαδρομές

Η δρομολόγηση οχημάτων έχει πάρα πολλές εφαρμογές. Υπάρχουν, όμως, περιπτώσεις όπου το ενδιαφέρον είναι να υπάρχουν στατιστικά στοιχεία για την κίνηση οχημάτων σε προκαθορισμένες διαδρομές που επαναλαμβάνονται συχνά. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να είναι η ημερήσιες διαδρομές των σχολικών οχημάτων, ή διαδρομές για την διανομή γαλακτοκομικών προϊόντων, ή και η κίνηση των μέσων μαζικής μεταφοράς.

Μπορεί, επομένως, το σύστημα να επεκταθεί για να υποστηρίξει αποθήκευση προκαθορισμένων διαδρομών. Έτσι να μπορεί να παρακολουθηθεί η κίνηση των οχημάτων συναρτήσει των διαδρομών στόχων. Με αυτόν τον τρόπο θα είναι δυνατόν να εξαχθούν στατιστικά στοιχεία για την κίνηση των οχημάτων και την απόκλιση από τις προκαθορισμένες διαδρομές. Η απόκλιση μπορεί να είναι τόσο χωρική όσο και χρονική.

7

Βιβλιογραφία

Προχωρημένα Θέματα Βάσεων Δεδομένων – Συμπληρωματικές Σημειώσεις

Παναγιώτης Βασιλειάδης, Τίμος Σελλής

Spatio-Temporal Databases: Contentions, Components and Consolidation

Norman W. Paton, Alvaro A.A. Fernandes and Tony Griffiths

Specifications for Efficient Indexing in Spatiotemporal Databases. In Proc. 10th SSDBM, pages 123–132. IEEE Press, 1998

T. Theodoridis, T. Sellis, and A. Papadopoulos

Representation and Manipulation of Moving Points: An Extended Data Model for Location Estimation

José Moreira, Cristina Ribeiro, Jean-Marc Saglio

Efficient Index Structures for Spatio-Temporal Objects

Carsten Kleiner, Udo W. Lipeck

R-Tree Based Indexing of General Spatio-Temporal Data

Simonas Šaltenis and Christian S. Jensen

INDEXING PROBLEMS IN SPATIOTEMPORAL DATABASES

George N. Kollios, Vassilis Tsotras, Alex Delis

An Extensible Notation for Spatiotemporal Index Queries

Vassilis J. Tsotras, Christian S. Jensen, Richard T. Snodgrass

<http://www.cs.auc.dk/~simas/>

<http://gist.cs.berkeley.edu/software.html>

http://gist.cs.berkeley.edu/libgist-2.0/libgist_user_manual.html

<http://www.esri.com/devsupport/devconn/mapobjects/index.html>

<http://www.derdack.com>

<http://www.mercat.com/QUEST/Intro.htm>

<http://www.nasm.si.edu/galleries/gps/>

<http://www.nps.gov/prwi/readutm.htm>

<http://msdn.microsoft.com/netframework/>