

# ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΡΟΧΙΩΝ ΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ – ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ TRAJECTORY SURFER

Μανταδάκης Ευστάθιος \*    Μαρκέτος Γεράσιμος    Θεοδωρίδης Γιάννης

Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πειραιώς  
Καραολή&Δημητρίου 80, Πειραιάς 18534, Ελλάδα  
smantadakis@yahoo.com, {marketos, ytheod}@unipi.gr

## Περίληψη

Αντικείμενο μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας είναι η εφαρμογή τεχνικών OLAP και data mining σε δεδομένα τροχιών κινούμενων αντικειμένων, χρησιμοποιώντας και επεκτείνοντας ένα εμπορικό σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων. Επιπλέον, η εργασία εστιάζει και σε θέματα οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Πρώτο βήμα είναι η δημιουργία της κατάλληλης υποδομής προκειμένου η τροχιά να αποτελεί ξεχωριστό τύπο δεδομένων στο σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων. Το δεύτερο βήμα αφορά την κατασκευή ενός πολυδιάστατου μοντέλου (κύβου) το οποίο θα επιτρέπει ακριβή και αποτελεσματική ανάλυση των δεδομένων των τροχιών. Στο τρίτο κομμάτι της εργασίας πραγματοποιείται εξόρυξη γνώσης από τα δεδομένα. Οι προσπάθειες εστιάζονται στην συσταδοποίηση τροχιών και στην κατασκευή αντιπροσωπευτικής τροχιάς για κάθε συστάδα. Προκειμένου να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το OLAP και το data mining, υλοποιείται ένα εργαλείο οπτικοποίησης. Μέσω του εργαλείου ο χρήστης αναλύει τα δεδομένα, εκπαιδεύει μοντέλα συσταδοποίησης ή οπτικοποιεί τις συστάδες που προκύπτουν από ένα μοντέλο πάνω σε χάρτη.

**Λέξεις κλειδιά :** Τροχιά, εξόρυξη γνώσης, κινούμενα αντικείμενα, συσταδοποίηση, αναλυτική επεξεργασία.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ολοένα και μεγαλύτερη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών, όπως τα δίκτυα αισθητήρων και οι τεχνολογίες εντοπισμού θέσης, προσφέρει ένα μεγάλο όγκο δεδομένων που αφορά τροχιές κινούμενων αντικειμένων. Η αξιοποίηση των δεδομένων αυτών, με χρήση τεχνικών αναλυτικής επεξεργασίας (online analytical processing –OLAP) και εξόρυξη γνώσης από δεδομένα (data mining), μπορεί να οδηγήσει στην κατασκευή πολύ χρήσιμων εργαλείων και υπηρεσιών όπως ευφυή συστήματα μετακίνησης (intelligent transportation systems - ITS) και συστήματα ελέγχου κίνησης (traffic control applications). Οι τροχιές αποτελούν επίσης βασικό τύπο δεδομένων σε ένα πλήθος θεμάτων έρευνας. Δεδομένα τροχιών περιλαμβάνουν για παράδειγμα την κίνηση ενός πλήθους ανθρώπων ή πτηνών, την πορεία φυσικών φαινομένων (π.χ. τυφώνες) ή ακόμα και τη κίνηση κυττάρων στο ανθρώπινο σώμα. Η ανάλυση επομένως των δεδομένων αυτών μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία προτύπων (patterns) κίνησης τα οποία με τη σειρά τους συνεισφέρουν στη μελέτη προβλημάτων όπως π.χ. η διάδοση κάποιων ασθενειών κ.α.

Η κατασκευή προηγμένων εφαρμογών, όπως αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω, απαιτούν νέες προσεγγίσεις στους τομείς της αποθήκευσης και διαχείρισης χωροχρονικών (spatiotemporal) δεδομένων. Με τον όρο 'χωροχρονικά δεδομένα' εννοείται η ευρύτερη κατηγορία δεδομένων που εμπλέκουν χωρική και χρονική πληροφορία, μέσα στην οποία εντάσσονται και οι τροχιές κινούμενων αντικειμένων. Παρά το μεγάλο όγκο χωροχρονικών δεδομένων που συλλέγεται καθημερινά, τα παραδοσιακά συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων δεν υποστηρίζουν αυτού του τύπου τα δεδομένα.

Ο στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η κατασκευή μίας αποθήκης δεδομένων για τροχιές κινούμενων αντικειμένων και η εφαρμογή τεχνικών OLAP και data mining στα δεδομένα αυτά. Η συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζει ενδιαφέρον διότι μελετάει τη χρησιμότητα παραδοσιακών τεχνολογιών των αποθηκών δεδομένων, όπως το πολυδιάστατο μοντέλο, σε τροχιές αντικειμένων. Επιπλέον εφαρμόζεται εξόρυξη γνώσης πάνω στα δεδομένα αυτά. Ένα ακόμα θέμα που έχει ενδιαφέρον είναι ότι στα πλαίσια της εργασίας γίνεται προσπάθεια προσαρμογής-επέκτασης ενός εμπορικού συστήματος διαχείρισης βάσεων δεδομένων, συγκεκριμένα του SQL Server 2005 [13], προκειμένου να παρέχει υποστήριξη στον τύπο δεδομένων της τροχιάς.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν, πραγματοποιείται αρχικά μία ανασκόπηση ορισμένων σημαντικών εργασιών στους τομείς του OLAP και data mining (κεφάλαιο 2). Στην συνέχεια, παρουσιάζονται οι προδιαγραφές ενός εργαλείου ανάλυσης τροχιών κινούμενων αντικειμένων (κεφάλαιο 3). Ακολούθως αναλύεται ο σχεδιασμός της συγκεκριμένης πλατφόρμας (κεφάλαιο 4). Φτάνοντας προς το τέλος, πραγματοποιείται μια πειραματική μελέτη που αφορά την απόδοση του συστήματος (κεφάλαιο 5). Στο έκτο κεφάλαιο παρατίθενται ορισμένα στιγμιότυπα από το εργαλείο οπτικοποίησης προκειμένου να φανεί η λειτουργικότητα του. Το τελευταίο κεφάλαιο (κεφάλαιο 7) περιέχει τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη συγκεκριμένη εργασία καθώς και τις μελλοντικές επεκτάσεις της πλατφόρμας.

## **2. ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ**

### **2.1 Αποθήκες Δεδομένων – OLAP**

Η πρώτη εργασία που έθεσε τις βάσεις στον τομέα των αποθηκών χωρικών δεδομένων δημοσιεύτηκε στα τέλη της δεκαετίας του 90 από τους Han et al. [9] και εστίαζε στην οργάνωση των δεδομένων προκειμένου να επιτευχθεί εξόρυξη χωρικής γνώσης. Εν συνεχεία, οι επόμενες εργασίες γύρω από αποθήκες χωρικών δεδομένων εστίαζαν την προσοχή τους στον σχεδιασμό αποδοτικών δομών δεδομένων ώστε να διευκολύνονται οι πράξεις OLAP και στην δεικτοδότηση (indexing) χωρικών δεδομένων. Σχεδιαστικά θέματα καθώς και λειτουργία χωρικού OLAP (SOLAP) μελετήθηκαν σε μεγάλο βαθμό από τους Bedard et al [2].

Η έρευνα προχώρησε περαιτέρω όταν οι ερευνητικές ομάδες στον τομέα των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS) και των αποθηκών χρονικών δεδομένων, άρχισαν να συγκλίνουν σε λύσεις οι οποίες θα υποστήριζαν διαχείριση τόσο χωρικών όσο και χρονικών δεδομένων. Βασική έρευνα πάνω σε κινούμενα αντικείμενα πραγματοποιήθηκε από τους Guting et al [8]. Οι απαιτήσεις των εφαρμογών ξεκίνησαν σταδιακά να εστιάζουν στην διαχείριση των τροχιών

κινούμενων αντικειμένων και έπαψαν να έχουν στόχο την απλή μοντελοποίηση τους.

Μελετώντας πιο τεχνικά τον τομέα του OLAP, ο οποίος έχει σαν στόχο την κατασκευή μοντέλων για κύβους, οι προσπάθειες για πρόσθεση χωρικής διάστασης (spatiality) βασίζονται τις περισσότερες φορές στις προσεγγίσεις των Stefanovic et al [16] και των Bedard et al [3]. Ένας τομέας έρευνας με μεγάλο ενδιαφέρον αφορά τις προδιαγραφές και την αποδοτική υλοποίηση πράξεων συνάθροισης χωρικών και χωροχρονικών μεγεθών. Κατά τη συνάθροιση τέτοιων μεγεθών παρουσιάζονται προβλήματα τα οποία δεν συναντιούνται σε κλασσικούς τύπους δεδομένων. Μια πρώτη κατηγοριοποίηση μεθόδων συνάθροισης χωροχρονικών μεγεθών παρουσιάστηκε από τον Lopez et al.[11].

Το κίνητρο πίσω από τις TrDW είναι ο μετασχηματισμός ακατέργαστων δεδομένων που αφορούν γεωγραφικές θέσεις αντικειμένων σε διάφορες χρονικές στιγμές σε πολύτιμη πληροφορία σχετικά με τις τροχιές των αντικειμένων. Η αναλυτική επεξεργασία των τροχιών (trajectory OLAP) διαφέρει από αυτή των χωρικών δεδομένων διότι απαιτεί ένα σύνολο μεθόδων οι οποίες θα εφαρμόζονται σε τροχιές και θα επιτρέπουν την ανάλυση (πχ. Drill-down) της χωροχρονικής πληροφορίας κάθε τροχιάς. Πιο πρόσφατες έρευνες (π.χ. [12], [15]) προσπαθούν να αντιμετωπίσουν τον τύπο της τροχιάς ως τύπο πρώτης κατηγορίας και όχι ως αποτέλεσμα επεξεργασίας απλούστερων τύπων (πχ. σημείων). Η καταχώρηση σε ένα σύστημα μίας τροχιάς ως ένα απλό σύνολο σημείων μπορεί να οδηγήσει στον υπολογισμό μέτρων τα οποία δεν είναι καθόλου ακριβή. Στην εργασία των Orlando et al. [15] φαίνεται ότι προκειμένου να προκύψουν ακριβή μέτρα απαιτείται πρώτα κάποια προεργασία των δεδομένων κάθε τροχιάς. Η προεργασία που προτείνεται είναι η ανακατασκευή της τροχιάς με χρήση τοπικής γραμμικής παρεμβολής (local linear interpolation) και η υλοποίηση της τεχνικής αυτής απαιτεί την αντιμετώπιση κάθε τροχιάς ως ξεχωριστού αντικειμένου.

## 2.2 Εξόρυξη γνώσης απο δεδομένα

Στον τομέα της εξόρυξης γνώσης, ο βασικός στόχος είναι η ανακάλυψη προτύπων (patterns) κίνησης στα δεδομένα των τροχιών. Η διαδικασία αυτή έχει αρχικά σαν στόχο την συσταδοποίηση (clustering) των δεδομένων των τροχιών και στη συνέχεια την κατασκευή μίας εικονικής τροχιάς για κάθε συστάδα (cluster), η οποία περιγράφει-αντιπροσωπεύει την κίνηση των τροχιών της αντίστοιχης συστάδας.

Στον τομέα αυτό έχουν εφαρμοστεί διάφορες προσεγγίσεις οι οποίες διαφέρουν ως προς την φιλοσοφία, την αποτελεσματικότητα και την πολυπλοκότητα. Θα μπορούσε αρχικά κανείς να διαιρέσει τα μοντέλα που έχουν προταθεί ως προς τον τρόπο αντιμετώπισης της τροχιάς. Ορισμένα μοντέλα αντιμετωπίζουν την τροχιά ως μια ενιαία και αδιάσπαστη οντότητα ([5], [6]) και προσπαθούν να ομαδοποιήσουν τις τροχιές με βάση ένα μέγεθος ομοιότητας. Πιο πρόσφατες έρευνες ([10]) ψάχνουν ομοιότητες ανάμεσα σε επιμέρους τμήματα των τροχιών με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται συσταδοποίηση σε υπό-τροχιές (sub-trajectories). Στην τελευταία περίπτωση τα αποτελέσματα έχουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον όμως οι αλγόριθμοι είναι αρκετά πιο πολύπλοκοι.

Ένα ακόμα κριτήριο με το οποίο μπορεί κανείς να κατηγοριοποιήσει τα μοντέλα είναι το αν θα ληφθεί υπόψη ο χρόνος κατά τη συσταδοποίηση. Στην περίπτωση που λαμβάνεται υπόψη ο παράγοντας του χρόνου, δεν αρκεί μόνο η εύρεση προτύπων με βάση την κίνηση στον χώρο. Η συσταδοποίηση εστιάζει και στη χρονική σχέση μεταξύ των γεγονότων. Στην εργασία των Giannotti et al. [7] ορίζεται το 'πρότυπο τροχιάς' (trajectory pattern) ως η αναπαράσταση ενός συνόλου τροχιών οι οποίες περνάνε από τα ίδια μέρη, με την ίδια σειρά και με παρόμοιους χρόνους μεταβίβασης από το ένα μέρος στο άλλο. Με βάση τον ορισμό αυτό προτείνονται κάποιες μεθοδολογίες εύρεσης προτύπων. Η πιο απλή μέθοδος μετατρέπει αρχικά τις τροχιές από ακολουθίες σημείων σε ακολουθίες περιοχών και στην συνέχεια εφαρμόζει συσταδοποίηση ως προς τον χρόνο. Στην μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται συνήθως κάποια εκ των προτέρων γνώση όσον αφορά τις περιοχές υψηλού ενδιαφέροντος. Μια πιο πολύπλοκη μέθοδος που προτείνεται στην εργασία αυτή είναι η δυναμική ανακάλυψη των περιοχών υψηλού ενδιαφέροντος κατά τη διάρκεια της συσταδοποίησης.

Μια εργασία που πραγματοποιεί συσταδοποίηση επιμέρους τμημάτων τροχιών συμπεριλαμβάνοντας τον παράγοντα του χρόνου είναι αυτή των Nanni και Pedreschi [14]. Πιο συγκεκριμένα, στην εργασία αυτή επεκτείνεται ο αλγόριθμος συσταδοποίησης OPTICS [1] προκειμένου να εφαρμόζεται σε δεδομένα τροχιών λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη τον χρόνο. Στόχος είναι αρχικά η ανακάλυψη χρονικών διαστημάτων τα οποία προσφέρουν υψηλής ποιότητας συστάδες. Για τα χρονικά αυτά διαστήματα πραγματοποιείται συσταδοποίηση στα αντίστοιχα υποτμήματα (segments) των τροχιών.

Ολοκληρώνοντας την παρουσίαση των σχετικών εργασιών, παρατηρεί κανείς ότι οι πρόσφατες έρευνες ανεξαρτήτως των διαφορών τους συγκλίνουν ως προς τη μέθοδο συσταδοποίησης. Οι περισσότερες συνηγορούν υπέρ της συσταδοποίησης ως προς την πυκνότητα (density-based clustering). Η μέθοδος αυτή φαίνεται να αντιμετωπίζει αποτελεσματικότερα τον θόρυβο των δεδομένων ενώ δεν παράγει απαραίτητα σφαιρικές συστάδες όπως για παράδειγμα ο k-means.

### **3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΡΟΧΙΩΝ ΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ**

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται θέματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν γίνονται προσπάθειες ανάλυσης τροχιών κινούμενων αντικειμένων. Καλύπτουμε όλα τα στάδια μια τέτοια διαδικασίας: από τη διαχείριση των πρωτογενών δεδομένων, τη φόρτωση της αποθήκης δεδομένων και την εφαρμογή τεχνικών εξόρυξης γνώσης έως και την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων.

#### **3.1 Διαχείριση πρωτογενών δεδομένων**

Ως δεδομένα εισόδου πρέπει να θεωρούμε ακατέργαστα δείγματα που αφορούν θέσεις αντικειμένων στο χώρο και το χρόνο. Οι μετρήσεις αυτές συνθέτουν τις τροχιές των κινούμενων αντικειμένων. Τα κινούμενα αντικείμενα στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι άνθρωποι για τους οποίους θεωρούμε διαθέσιμες κάποιες επιπλέον πληροφορίες όπως πχ. φύλο. Η αρχική αναπαράσταση κάθε τροχιάς στο σύστημα ορίζεται ως ένα σύνολο εγγραφών (records) χρονοσημασμένων θέσεων. Η αναπαράσταση αυτή καθιστά πολύ δύσκολη την ανάλυση των δεδομένων εφόσον η

πληροφορία κάθε τροχιάς δεν είναι συγκεντρωμένη. Απαιτείται επομένως επέκταση του συστήματος βάσεων δεδομένων προκειμένου η τροχιά να αποτελεί ξεχωριστό τύπο δεδομένων ο οποίος θα συμπυκνώνει σε μία εγγραφή την καταγεγραμμένη πληροφορία που αφορά ένα κινούμενο αντικείμενο. Οι τύποι που κρίθηκαν απαραίτητοι είναι οι ακόλουθοι :

- Χρονοσημασμένο σημείο (Tpoint) : Αποτελείται από τρία στοιχεία τα οποία είναι: 1) γεωγραφικό μήκος 2) γεωγραφικό πλάτος και 3) η ημερομηνία και ώρα παρατήρησης. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες καταχωρούνται με τη μορφή x,y σε κάποιο ορθοκανονικό σύστημα συντεταγμένων (σε μέτρα) και όχι longitude, latitude (που είναι σε μοίρες), προκειμένου να είναι εύκολος ο υπολογισμός των απαιτούμενων μέτρων (αποστάσεις κτλ.).
- Τροχιά (Trajectory) : Ορίζεται ως μια ακολουθία χρονοσημασμένων σημείων.
- Ορθογώνιο παραλληλόγραμμο (Rectangle) : Ορθογώνια περιοχή στην οποία μελετάται η κίνηση.

### 3.2 Αποθήκη Δεδομένων

Πρώτος στόχος της εργασίας είναι η κατασκευή ενός πολυδιάστατου μοντέλου το οποίο θα επιτρέπει την αναλυτική επεξεργασία των δεδομένων παρέχοντας ικανοποιητικό βαθμό ακρίβειας και απόδοσης. Βασικό βήμα στο σημείο αυτό είναι ο προσδιορισμός των αναγκών των τελικών χρηστών προκειμένου να επιλεγούν τα κατάλληλα μέτρα και οι κατάλληλες διαστάσεις του μοντέλου.

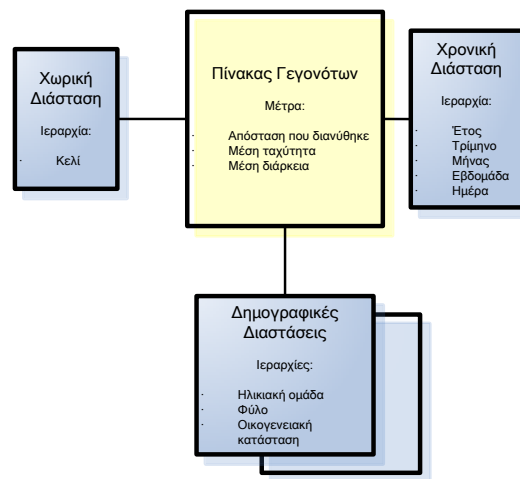
Οι απαιτήσεις των χρηστών αφορούν αρχικά την ανάλυση της κίνησης στις διαστάσεις του χώρου και του χρόνου. Η διάσταση του χώρου διαιρείται με τη μορφή απλού πλέγματος (grid) από τετράγωνα περιοχές – κελιά (cells). Ένα θέμα που τίθεται στο σημείο αυτό είναι το μέγεθος των κελιών. Δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει το πλέγμα ορίζοντας ο ίδιος το μήκος της πλευράς των κελιών ανάλογα με τη φύση των δεδομένων. Η διάσταση του χρόνου αποτελείται από μία ιεραρχία πέντε επιπέδων: α) έτος, β) τρίμηνο, γ) μήνας, δ) εβδομάδα ε) ημέρα και ε) ώρα. Δεν κρίθηκε σκόπιμη η ανάλυση της κίνησης σε επίπεδο κατώτερο της ώρας. Αυτό θα επέφερε μεγάλη αύξηση των εγγραφών στον κύβο χωρίς να υπάρχει ιδιαίτερη χρησιμότητα. Τρίτη διάσταση ορίστηκε αυτή των δημογραφικών χαρακτηριστικών (φύλο, ηλικία, οικογενειακή κατάσταση) προκειμένου οι χρήστες να μπορούν να αναλύσουν την κίνηση και από μία διαφορετική σκοπιά.

Προκειμένου να αναλύσουμε τα δεδομένα χρησιμοποιώντας έναν πολυδιάστατο μοντέλο δεδομένων πρέπει να ορίσουμε μια σειρά από μέτρα. Ως πρώτο μέτρο θεωρείται η απόσταση που διανύουν οι τροχιές σε ένα κελί του πλέγματος σε κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο της ιεραρχίας του χρόνου. Ακολουθούν το πλήθος των κινούμενων αντικειμένων που πέρασαν από ένα κελί καθώς και η μέση ταχύτητα τους σε αυτό. Τέταρτο μέτρο θεωρήθηκε η ολική απόσταση που έχουν διανύσει τα κινούμενα αντικείμενα σε ένα κελί. Τελευταίο μέτρο ορίζεται η μέση διάρκεια των τροχιών.

Με βάση τα παραπάνω κάθε εγγραφή του κύβου αποτελείται από τα ακόλουθα πεδία:

- Αναγνωριστικό τροχιάς (Trajectory ID)

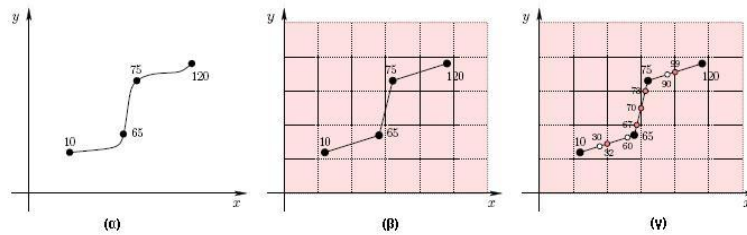
- Αναγνωριστικό κελιού (Rectangle ID)
- Αναγνωριστικό δημογραφικών χαρακτηριστικών
- Ημέρα
- Χρονικό διάστημα (σε επίπεδο ώρας πχ. 13:00μμ ως 14:00μμ)
- Απόσταση που διανύθηκε
- Μέση ταχύτητα
- Μέση διάρκεια



**Σχήμα 3- 1. Αφαιρετικό σχήμα κύβου**

Έχοντας ορίσει τις απαραίτητες διαστάσεις και τα μέτρα του κύβου, ένα βασικό θέμα που ανακύπτει είναι η τροφοδότηση του με νέα δεδομένα. Στον χώρο των αποθηκών δεδομένων η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως ETL (extract-transform-load) εφόσον περιλαμβάνει την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων και την εισαγωγή του στην αποθήκη δεδομένων. Τα στάδια που ακολουθούνται στη διαδικασία αυτή είναι: 1) η προεπεξεργασία των νεοεισαχθέντων δεδομένων προκειμένου να ενημερωθούν οι εγγραφές των τροχιών και 2) η ενημέρωση των εγγραφών του πίνακα γεγονότων (fact table).

Στο στάδιο της διαδικασίας της τροφοδότησης όπου υπολογίζονται τα μέτρα του κύβου, δίνεται έμφαση στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων προκειμένου να είναι αξιόπιστα. Το μέτρο που απαιτεί μεγαλύτερη προσοχή στο θέμα της ακρίβειας είναι αυτό της απόστασης που διανύει μία τροχιά σε ένα κελί του πλέγματος. Το πρόβλημα στην περίπτωση αυτή είναι ότι για κάθε τροχιά δεν είναι γνωστά τα σημεία τομής της με τις ακμές των κελιών του πλέγματος από τα οποία διέρχεται. Προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα υιοθετείται αρχικά η μέθοδος της τοπικής γραμμικής παρεμβολής (linear local interpolation), βάση της οποίας θεωρείται ότι μεταξύ δύο καταγεγραμμένων θέσεων μίας τροχιάς το αντικείμενο κινείται σε ευθεία γραμμή με σταθερή ταχύτητα. Στην συνέχεια υπολογίζονται τα σημεία τομής της τροχιάς με τις ακμές των κελιών προκειμένου το μέτρο της απόστασης να είναι ακριβές. Συνοπτικά το πρόβλημα και η λύση που δόθηκε φαίνονται στο Σχήμα 3- 2:



**Σχήμα 3- 2. (α) Τροχιά σε δύο διαστάσεις με δειγματοληψία, (β) Γραμμική παρεμβολή της τροχιάς, (γ) Υπολογισμός των παρεμβαλλόμενων σημείων τομής με τις ακμές των κελιών.**

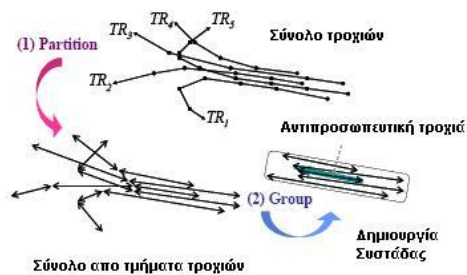
Στο Σχήμα 3- 2α φαίνεται μία τροχιά στο χώρο και στο χρόνο. Στο Σχήμα 3- 2β η τροχιά έχει ανακατασκευαστεί χρησιμοποιώντας την μέθοδο της τοπικής γραμμικής παρεμβολής. Τα καμπυλόγραμμα τμήματα της τροχιάς έχουν αντικατασταθεί από ευθύγραμμα τμήματα, δηλώνοντας με αυτό τον τρόπο ότι μεταξύ δύο καταγεγραμμένων χρονοσημασμένων σημείων το κινούμενο αντικείμενο κινείται θεωρητικά σε ευθεία γραμμή και με σταθερή ταχύτητα. Στο Σχήμα 3- 2γ έχουν υπολογιστεί τα σημεία τομής της τροχιάς (ροζ κουκίδες) με τις ακμές των κελιών του πλέγματος. Αφού το αντικείμενο κινείται θεωρητικά με σταθερή ταχύτητα είναι εύκολος και ο υπολογισμός της χρονικής στιγμής στην οποία τέμνει μία ακμή ενός κελιού.

Αντιλαμβάνεται κανείς ότι σε περίπτωση που το πλέγμα αλλάξει, ορίζοντας νέο μέγεθος κελιού, τότε η διαδικασία της τροφοδότησης πρέπει να επαναληφθεί. Ασφαλώς αυτό δεν ισχύει για τις λειτουργίες roll-up και drill-down του κύβου στη διάσταση του χώρου, όπου προκύπτουν αυτομάτως τα αποτελέσματα.

### 3.3 Data Mining

Δεύτερος στόχος της εργασίας είναι η εξόρυξη γνώσης από τα δεδομένα τροχιών εστιάζοντας στον τομέα της συσταδοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, στόχος είναι η ομαδοποίηση όμοιων τροχιών προκειμένου να προκύψουν παρόμοιες συμπεριφορές μεταξύ των κινούμενων αντικειμένων. Το πρόβλημα στο βήμα αυτό είναι ότι οι κλασσικοί αλγόριθμοι συσταδοποίησης (π.χ K-means) που έχουν σχεδιαστεί για παραδοσιακούς τύπους δεδομένων δεν προσφέρουν ιδιαίτερα ποιοτικά αποτελέσματα. Ως λύση προτιμήθηκε η υλοποίηση εξειδικευμένου αλγορίθμου συσταδοποίησης τροχιών και η ενσωμάτωση του στο σύστημα της βάσης δεδομένων.

Ο αλγόριθμος που επελέγη είναι ο Traclus [10] που θεωρείται σήμερα το state-of-the-art στη συσταδοποίηση τροχιών. Βασικό του γνώρισμα είναι ότι ομαδοποιεί τμήματα τροχιών και όχι απαραίτητα ολόκληρες τροχιές. Αυτό βοηθάει στην ανακάλυψη παρόμοιων συμπεριφορών των τροχιών. Παράλληλα δίνεται η δυνατότητα κατασκευής μίας εικονικής τροχιάς που να περιγράφει τη συμπεριφορά μίας συστάδας. Συνοπτικά η λειτουργία του φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



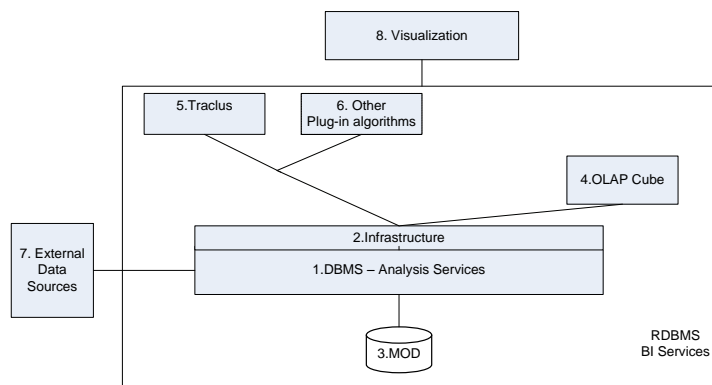
Σχήμα 3- 3. Βήματα του αλγορίθμου Traclus για τη συσταδοποίηση τροχιών.

Πρώτο στάδιο του αλγορίθμου είναι η διαμέριση (partition) των τροχιών σε ένα σύνολο τμημάτων (segments). Ακολούθως ομαδοποιούνται τα τμήματα (group) και τέλος για κάθε συστάδα δημιουργείται μια αντιπροσωπευτική εικονική τροχιά. Ο αλγόριθμος αυτός ακολουθεί τις αρχές της συσταδοποίησης βασισμένης στη πυκνότητα (density-based clustering) και έχει αποδειχθεί ότι προσφέρει ποιοτικά αποτελέσματα, επομένως κρίθηκε κατάλληλος για την κάλυψη των απαιτήσεων των χρηστών. Ένα μειονέκτημα του είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη τον χρόνο παρατήρησης των τροχιών. Για τον λόγο αυτό εκτός από τις αρχικές παραμέτρους του αλγορίθμου προστέθηκαν τα όρια του χρονικού διαστήματος (starting time, ending time) μέσα στο οποίο επιθυμεί ο χρήστης να μελετήσει τις τροχιές. Με τον τρόπο αυτό ο αλγόριθμος επιλέγει μόνο τις τροχιές που παρατηρούνται μέσα στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα αγνοώντας τις υπόλοιπες.

#### 4. TRAJECTORY SURFER- ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΡΟΧΙΩΝ ΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ.

Ένα σύστημα που υλοποιεί τη διαδικασία όπως τη περιγράψαμε στη προηγούμενη παράγραφο είναι το Trajectory Surfer. Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν οι λειτουργικές μονάδες (modules) του συστήματος και στη συνέχεια η ροή δεδομένων μεταξύ τους. Κάθε μονάδα διεκπεραιώνει ένα συγκεκριμένο ρόλο στο σύστημα και σχεδιάστηκε προκειμένου να καλύπτει όσο το δυνατό καλύτερα τις ανάγκες του. Ο συνολικός σχεδιασμός του συστήματος συντίθεται από τον σχεδιασμό των επιμέρους μονάδων.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η δομή του συστήματος με όλες τις λειτουργικές μονάδες αριθμημένες.



Σχήμα 4- 1. Δομή του συστήματος

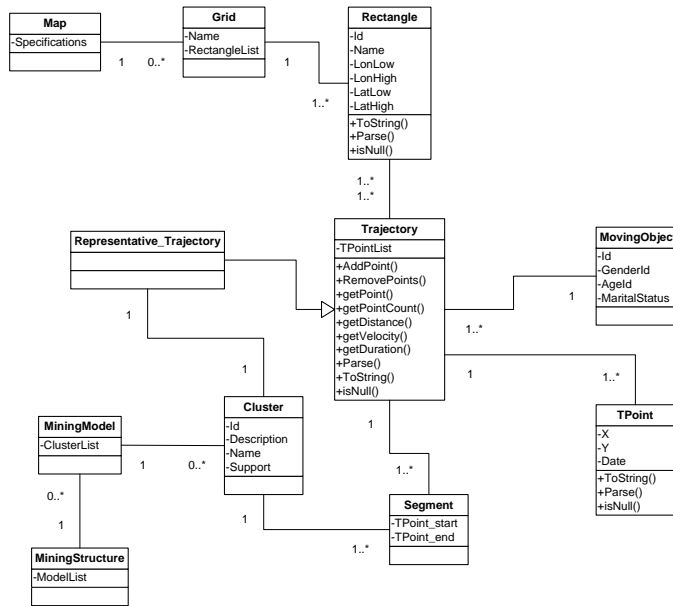


Πιο συγκεκριμένα οι λειτουργικές μονάδες του συστήματος είναι οι ακόλουθες:

- **DBMS – Analysis Services:** Αποτελεί το σύστημα διαχείρισης της βάσης δεδομένων συνοδευμένο από τις υπηρεσίες αναλυτικής επεξεργασίας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το σύστημα αυτό είναι ο SQL Server 2005.
- **Infrastructure:** Υλοποιεί την απαραίτητη υποδομή η οποία περιγράφηκε στην ενότητα 3-1.
- **MOD:** Αντιπροσωπεύει την αποθήκη δεδομένων πάνω στην οποία δημιουργείται ο κύβος.
- **OLAP Cube:** Αποτελεί τον κύβο με τον οποίο πραγματοποιείται η ανάλυση των δεδομένων.
- **Traclus:** Υλοποιείται ο αλγόριθμος Traclus και ενσωματώνεται στο σύστημα διαχείρισης της βάσης δεδομένων.
- **Other Plug-in algorithms:** Η συγκεκριμένη οντότητα δεν αποτελεί λειτουργικό στοιχείο της τρέχουσας υλοποίησης του συστήματος. Έχει προστεθεί προκειμένου να παραστήσει μία μελλοντική επέκταση.
- **External Data Sources:** Αντιπροσωπεύει τις εξωτερικές πηγές δεδομένων από όπου αντλούνται τα πρωτογενή δεδομένα. Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών ξεκινάει αφότου έχουν τοποθετηθεί σε ένα προσωρινό πίνακα της βάσης δεδομένων. Στην τρέχουσα υλοποίηση τα δεδομένα δεν αντλούνται από κάποια τέτοια πηγή. Η επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων ξεκινάει θεωρώντας ότι έχουν ήδη τοποθετηθεί σε ένα προσωρινό πίνακα της βάσης δεδομένων.
- **Visualization:** Εκπροσωπεί οποιοδήποτε εργαλείο οπτικοποίησης και ανάλυσης τροχιών κινούμενων αντικειμένων βασίζεται στη συγκεκριμένη πλατφόρμα.

Ένα σχόλιο που θα μπορούσε να γίνει στο σημείο αυτό είναι ότι οι πρώτες έξι μονάδες ομαδοποιούνται σε μία. Αυτό συμβαίνει διότι παρουσιάζονται στο περιβάλλον ως μία αδιάσπαστη οντότητα που αποτελεί το σύστημα διαχείρισης της βάσης δεδομένων μαζί με τις υπηρεσίες αναλυτικής επεξεργασίας των δεδομένων και εξόρυξης γνώσης.

Το διάγραμμα που ακολουθεί περιέχει όλες τις κλάσεις που συμμετέχουν στο πλαίσιο εργασίας (framework). Για κάθε κλάση καταγράφονται τα χαρακτηριστικά της καθώς και οι μέθοδοι που παρέχει.



Σχήμα 4- 2. Διάγραμμα κλάσεων του framework

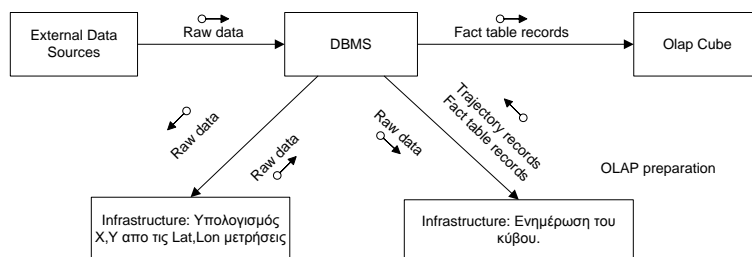
Ακολουθως καταγράφονται οι κλάσεις του διαγράμματος και επεξηγούνται οι συσχετίσεις μεταξύ τους.

1. *Map*: Αποτελεί τον χάρτη ο οποίος λαμβάνεται από την υπηρεσία παροχής χωρικών δεδομένων (στην συγκεκριμένη περίπτωση τη Microsoft MapPoint). Ο χάρτης προσδιορίζεται από ένα σύνολο προδιαγραφών. Στις προδιαγραφές περιλαμβάνεται η ζητούμενη περιοχή καθώς και ένα πλήθος χαρακτηριστικών όπως πχ. βαθμός εστίασης (zoom) κα. Κάθε χάρτης μπορεί να περιλαμβάνει ένα σύνολο από πλέγματα ζωγραφισμένα επάνω του.
2. *Grid*: Η κλάση αυτή εκπροσωπεί το πλέγμα μέσα στο οποίο μελετούνται οι τροχιές. Κάθε πλέγμα προκειμένου να υφίσταται πρέπει να διαθέτει τουλάχιστον ένα κελί.
3. *Rectangle*: Αποτελεί την κλάση με την οποία υλοποιούνται τα κελιά του πλέγματος. Είναι επιπλέον ένας από τους νέους τύπους δεδομένων που προστέθηκαν στο σύστημα διαχείρισης της βάσης δεδομένων. Χαρακτηριστικά της κλάσης είναι οι γεωγραφικές συντεταγμένες που ορίζουν το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο.
4. *Trajectory*: Με την κλάση αυτή υλοποιούνται οι τροχιές των κινούμενων αντικειμένων. Επιπλέον βρίσκεται ενσωματωμένη στο σύστημα διαχείρισης της βάσης δεδομένων ως νέος τύπος δεδομένων. Κάθε τροχιά ορίζεται ως ένα σύνολο χρονοσημασμένων σημείων.
5. *Representative\_Trajectory*: Για χάρη πληρότητας του παραπάνω διαγράμματος, η αντιπροσωπευτική τροχιά έχει τεθεί ως ειδικού τύπου τροχιά. Παρόλα αυτά σε τεχνικό επίπεδο, υλοποιείται από την ίδια κλάση (trajectory).
6. *Object*: Κάθε στιγμιότυπο της κλάσης αυτής παριστάνει ένα κινούμενο αντικείμενο. Κάθε κινούμενο αντικείμενο μπορεί να διαθέτει ένα σύνολο τροχιών. Ασφαλώς στην εφαρμογή δεν εστιάζεται το ενδιαφέρον στις τροχιές

ενός συγκεκριμένου αντικειμένου. Η συγκεκριμένη κλάση έχει προστεθεί προκειμένου το διάγραμμα να είναι πλήρες.

7. *TPoint*: Με την κλάση αυτή υλοποιούνται οι εγγραφές των χρονοσημασμένων σημείων τόσο στο επίπεδο της βάσης δεδομένων όσο και στην εφαρμογή οπτικοποίησης.
8. *Segment*: Κάθε τροχιά αποτελείται από τουλάχιστον ένα ευθύγραμμο τμήμα. Κάθε τέτοιο τμήμα ορίζεται από ένα αρχικό και ένα τελικό σημείο.
9. *Cluster*: Η κλάση αυτή υλοποιεί κάθε συστάδα που προκύπτει από το μοντέλο εξόρυξης γνώσης.
10. *Mining Model*: Κάθε μοντέλο εξόρυξης γνώσης περιλαμβάνει ένα σύνολο συστάδων. Υπάρχει ασφαλώς και η περίπτωση ένα μοντέλο να είναι κενό, δηλαδή να μην έχουν σχηματιστεί συστάδες. Αυτό εξαρτάται από τις παραμέτρους του αλγορίθμου εξόρυξης γνώσης.
11. *Mining Structure*: Μία δομή εξόρυξης γνώσης περιλαμβάνει ένα σύνολο μοντέλων εξόρυξης γνώσης.

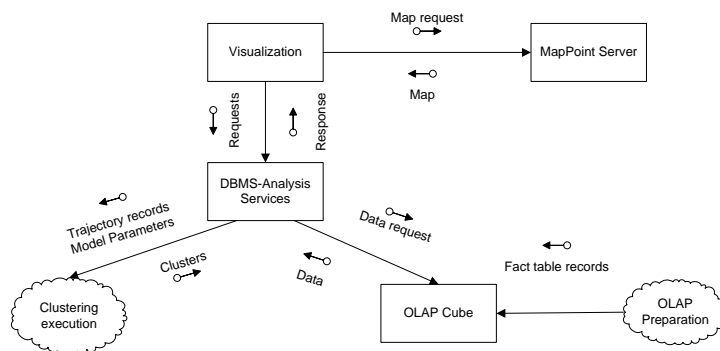
Έχοντας αναλύσει τις οντότητες του συστήματος παρατίθενται ορισμένα διαγράμματα δομών, τα οποία έχουν ως στόχο τη λειτουργική διάσπαση ενός συστήματος σε κύριες περιοχές δραστηριοτήτων. Με βάση όσα αναφέρθηκαν μέχρι στιγμής η τροφοδότηση του κύβου φαίνεται συνοπτικά στο ακόλουθο σχήμα.



**Σχήμα 4- 3. Διάγραμμα δομών για την τροφοδότηση του κύβου με νέα δεδομένα.**

Τα δεδομένα αντλούνται από τις εξωτερικές πηγές και τοποθετούνται στη βάση δεδομένων. Οι καταγεγραμμένες θέσεις των κινούμενων αντικειμένων βρίσκονται στο σύστημα lat/lon επομένως απαιτείται ο υπολογισμός των συντεταγμένων x/y σε κάποιο ορθοκανονικό σύστημα συντεταγμένων. Εν συνεχεία υπολογίζονται τα ζητούμενα μέτρα και ενημερώνεται ο κύβος με νέα δεδομένα.

Το ακόλουθο διάγραμμα περιγράφει συνολικά τη λειτουργία του συστήματος.



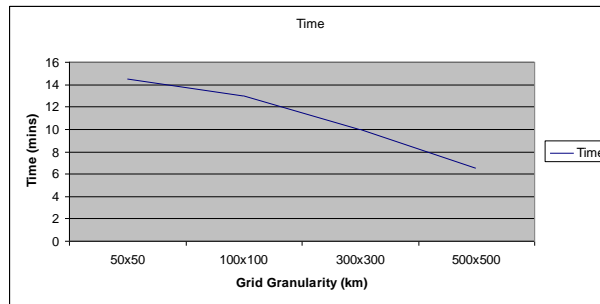
**Σχήμα 4- 4. Διάγραμμα δομών για την ολική λειτουργία του συστήματος**

Το εργαλείο οπτικοποίησης πραγματοποιεί αιτήσεις προς την υπηρεσία παροχής χωρικών δεδομένων (MapPoint) και λαμβάνει τους ζητούμενους χάρτες. Η οντότητα 'DBMS-Analysis Services' αναλαμβάνει να εξυπηρετήσει τις αιτήσεις που αφορούν τα αποτελέσματα του OLAP ή της εξόρυξης γνώσης από τα δεδομένα. Εκτελώντας ερωτήματα πάνω στον κύβο ή στα μοντέλα εξόρυξης γνώσης επιστρέφει στο εργαλείο οπτικοποίησης τα ζητούμενα αποτελέσματα. Αναλυτικά η υλοποίηση της πλατφόρμας παρουσιάζεται στη σχετική μεταπτυχιακή διατριβή [17].

## 5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το σύνολο δοκιμών που πραγματοποιήθηκε προκειμένου να μελετηθεί η απόδοση του συστήματος.

Όπως είναι φυσικό το σύνολο δεδομένων σε εφαρμογές ανάλυσης τροχιών κινούμενων αντικειμένων πιθανόν να είναι πολύ μεγάλο. Επομένως οι χρόνοι υπολογισμού των αποτελεσμάτων τόσο στην αναλυτική επεξεργασία των δεδομένων όσο και στην εξόρυξη γνώσης από αυτά, πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μικροί. Αυτό αντιλαμβάνεται κανείς ότι έχει άμεση σχέση με την πολυπλοκότητα των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται. Στην λειτουργία του OLAP η πιο χρονοβόρα διαδικασία είναι αυτή της τροφοδότησης του κύβου και της ενημέρωσης του πίνακα με τις τροχιές. Η διαδικασία τροφοδότησης δοκιμάστηκε σε δύο σύνολα δεδομένων. Το πρώτο ήταν σχετικά μικρό (4.000 εγγραφές χρονοσημασμένων σημείων) και αφορούσε τις τροχιές ενός μόνο αντικειμένου στην περιοχή της Ελλάδας. Το δεύτερο ήταν αρκετά μεγάλο (2.000.000 εγγραφές χρονοσημασμένων σημείων) και αφορούσε τροχιές διανομέων (courier) στην περιοχή του Λονδίνου [4]. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον όσον αφορά την απόδοση του συστήματος παρουσιάζει το δεύτερο σύνολο δεδομένων, εφόσον το μέγεθος του είναι αντιπροσωπευτικό των εφαρμογών στον τομέα αυτό. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται ο χρόνος ολοκλήρωσης της διαδικασίας τροφοδότησης του κύβου σε συνάρτηση με το μέγεθος κελιού του πλέγματος.



**Σχήμα 5- 1. Γραφική παράσταση του χρόνου ολοκλήρωσης της διαδικασίας ETL συναρτήσεϊ του μεγέθους κελιού του πλέγματος.**

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τη γραφική παράσταση είναι ότι όσο το μέγεθος του κελιού αυξάνεται ο χρόνος ολοκλήρωσης της διαδικασίας ETL μειώνεται.

Όσον αφορά τον τομέα του data mining, ο αλγόριθμος παρέμεινε ως έχει δίχως κάποια παρεμβολή στον τρόπο λειτουργίας του. Ο χρόνος συσταδοποίησης για το πρώτο σύνολο δεδομένων δεν υπερβαίνει τα 18 δευτερόλεπτα. Για το δεύτερο σύνολο δεδομένων ο χρόνος συσταδοποίησης κυμαίνεται στα 7,5 λεπτά . Η ύπαρξη ήδη εκπαιδευμένων μοντέλων συσταδοποίησης στη βάση δεδομένων προσφέρει άμεσα αποτελέσματα.

## 6. ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο σημείο αυτό παρατίθεται ένα στιγμιότυπο λειτουργίας του προγράμματος οπτικοποίησης στο οποίο φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των δεδομένων τροχιών.

Κελί του πλέγματος με ID =9 και συνολικό αριθμό τροχιών 2660.

Κελί του πλέγματος με ID =5 και συνολικό αριθμό τροχιών 3594. Τα κελιά με υψηλή κίνηση ζωγραφίζονται σε απόχρωση του κόκκινου.

Μενού επιλογών:

1. Αναζήτηση αποτελεσμάτων απο τον κύβο.
2. Διαχείριση μοντέλων συσταδοποίησης.
3. Ρυθμίσεις προγράμματος.

Αντιπροσωπευτικές τροχιές συστάδων. Κάθε αντιπροσωπευτική τροχιά διαθέτει ξεχωριστό χρώμα.

**Εικόνα 6- 1. Στιγμιότυπο λειτουργίας του εργαλείου.**

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Αποτέλεσμα της εργασίας αυτής ήταν η κατασκευή μίας αποθήκης δεδομένων για τροχιές κινούμενων αντικειμένων και η εξόρυξη γνώσης από τα δεδομένα αυτά. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα εμπορικό σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων. Η λειτουργικότητα του συστήματος που προέκυψε παρουσιάστηκε με την κατασκευή ενός προγράμματος οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων.

Η υλοποίηση της αποθήκης δεδομένων επιτεύχθηκε με την προσθήκη νέων χαρακτηριστικών στο σύστημα διαχείρισης της βάσης δεδομένων. Έγιναν τα πρώτα βασικά βήματα προκειμένου η τροχιά να αποτελεί ανεξάρτητο τύπο δεδομένων. Στην συνέχεια κατασκευάστηκε ο κύβος με τον οποίο μπορεί κανείς να πραγματοποιήσει OLAP στα δεδομένα των τροχιών.

Στον τομέα του data mining, η προσοχή στράφηκε στον τομέα της συσταδοποίησης, εφόσον παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον και έχουν προταθεί ορισμένοι αξιολογικοί αλγόριθμοι. Η λύση που προτιμήθηκε ήταν η ενσωμάτωση στο σύστημα διαχείρισης της βάσης δεδομένων, ενός νέου αλγορίθμου ειδικευμένου σε δεδομένα τροχιών.

Το πρόγραμμα οπτικοποίησης κατασκευάστηκε για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από το OLAP και το data mining. Εκτός αυτού θεωρήθηκε σκόπιμη η υλοποίηση ενός λογισμικού με το οποίο μπορεί ο χρήστης να διαπιστώσει την πρακτική αξία της ανάλυσης τροχιών κινούμενων αντικειμένων.

Στις μελλοντικές επεκτάσεις της συγκεκριμένης πλατφόρμας περιλαμβάνεται αρχικά η υλοποίηση και προσθήκη νέων αλγορίθμων εξόρυξης γνώσης προκειμένου ο χρήστης να μπορεί να αξιολογήσει καλύτερα τα αποτελέσματα που προκύπτουν από κάθε αλγόριθμο. Ολοκληρώνοντας, η προσθήκη νέων μέτρων και διαστάσεων στον κύβο μπορεί να οδηγήσει σε μία πιο ολοκληρωμένη ανάλυση των δεδομένων ή σε μία εφαρμογή ειδικού σκοπού.

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ankerst, M., Breunig, M. M., Kriegel, H., and Sander, J. 1999, OPTICS: ordering points to identify the clustering structure, SIGMOD '99, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- [2] Bedard Y., Rivest S., Proulx M., 2006, Spatial On-Line Analytical Processing (SOLAP): Concepts, Architectures and Solutions from a Geomatics Engineering Perspective. In Data Warehouses and OLAP: Concepts, Architectures and Solutions, IDEA Group Publishing.
- [3] Bedard Y., Merret T., Han J., 2001, Fundamentals of Spatial Data Warehousing for Geographic Knowledge Discovery. Chap 3, in Geographic Data Mining and Knowledge Discovery, Taylor & Francis, Vol. Research Monographs in GIS, pp. 53-73.
- [4] eCourier.co.uk dataset, <http://api.ecourier.co.uk/>. (τελευταία επίσκεψη 14/05/2008).

- [5] Gaffney, S., Robertson, A., Smyth, P., Camargo, S., and Ghil, M., 2006, Probabilistic Clustering of Extratropical Cyclones Using Regression Mixture Models, Technical Report UCI-ICS 06-02, University of California, Irvine.
- [6] Gaffney S. Smyth, P., 1999, Trajectory Clustering with Mixtures of Regression Models, SIGKDD'99, San Diego, California, USA.
- [7] Giannotti F., Nanni M., Pedreschi D., Pinelli F., 2007, Trajectory Pattern Mining, KDD'07, August 12-15, San Jose, California, USA.
- [8] Guting R.H., Bohlen M.H., Erwig M., Jensen C.S., Lorentzos N.A., Schneider M., Vazirgiannis M. 2000, A foundation for representing and querying moving objects. ACM Transactions on Database Systems, vol. 25, no.1,pp.1-42.
- [9] Han J., Stefanovic N.,Kopersky K. 1998, Selective Materialization: An Efficient Method for Spatial Data Cube Construction, PAKDD '98, Melbourne, Australia.
- [10] Jae-Gil L., Jiawei H., Kyu-Young W., 2007, Trajectory Clustering: A Partition-and-Group Framework, SIGMOD '07, June 11-14, Beijing, China.
- [11] Lopez I., Snodgrass R., Moon B., 2005, Spatiotemporal Aggregate Computation: A Survey. IEEE TKDE, 2(17):271-286.
- [12] Marketos G., Frenzos E., Ntoutsis I., Pelekis N., Raffaeta A., Theodoridis Y., 2008, Building Real-World Trajectory Warehouses, MobiDe '08, June 13, Vancouver Canada.
- [13] Microsoft SQL Server 2005, <http://www.microsoft.com/SqlServer/2005/>
- [14] Nanni M., Pedreschi D., 2006, Time-focused clustering of trajectories of moving objects, J Intell Inf Syst 27: 267-289.
- [15] Orlando S.,Orsini R., Raffaeta A.,Roncato A., and Silvestri C., 2007, Spatio-Temporal Aggregations in Trajectory Data Warehouses. DaWaK'07, Regensburg, Germany.
- [16] Stefanovic N., Han J., Koperski K., 2000, Object-based selective materialization for efficient implementations of spatial data cubes. IEEE Trans. On Knowledge and Data Engineering, vol. 12, no. 6, pp. 938- 958.
- [17] Μανταδάκης Ε., 2008, Ανάλυση και Οπτικοποίηση Τροχιών Κινούμενων Αντικειμένων – το σύστημα TrajectorySurfer. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πειραιώς.