

**Πανεπιστήμιο Κρήτης
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών**

**Μια Οντοκεντρική Προσέγγιση για την ανάπτυξη ενός Συστήματος
Σχεδιασμού Ταξιδιών με Πολλαπλά Μέσα Μεταφοράς**

Βασίλης Ραξενίδης

Μεταπτυχιακή Εργασία

Ηράκλειο, Μάρτιος, 2000

Πανεπιστήμιο Κρήτης
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών

**Μια Οντοκεντρική Προσέγγιση για την Ανάπτυξη ενός
Συστήματος Σχεδιασμού Ταξιδιών με Πολλαπλά Μέσα
Μεταφοράς**

Εργασία που υποβλήθηκε από τον

Βασίλειο Ε. Ραζενίδη

ως μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απόκτηση
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Συγγραφέας:

Βασίλειος Ε. Ραζενίδης
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Εισηγητική Επιτροπή:

Στέλιος Ορφανουδάκης, Καθηγητής, Επόπτης

Αικατερίνη Χούστη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Μέλος

Γεωργακόπουλος Γεώργιος, Επίκουρος Καθηγητής, Μέλος

Δεκτή:

Πάνος Κωνσταντόπουλος, Καθηγητής,
Πρόεδρος Επιτροπής Μεταπτυχιακών Σπουδών

Κεφάλαιο 1 Μάρτιος 2000

*Αφιερώνεται στους γονείς μου,
Βαγγέλη και Αλεξάνδρα και
στον αδερφό μου, Δημήτρη.*

Μια Οντοκεντρική Προσέγγιση για την ανάπτυξη ενός Συστήματος Σχεδιασμού Ταξιδιών με Πολλαπλά Μέσα Μεταφοράς

Βασίλης Ραζενίδης

Μεταπτυχιακή Εργασία
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Περίληψη

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζονται από επιβάτες που χρησιμοποιούν τις δημόσιες συγκοινωνίες, είναι η έλλειψη επαρκούς πληροφόρησης για τις παρεχόμενες υπηρεσίες συγκοινωνιών, αλλά και η δυσκολία συνδυασμού διαφορετικών υπηρεσιών συγκοινωνιών για την πραγματοποίηση ενός ταξιδιού. Η εργασία που παρουσιάζεται ασχολείται με τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός πληροφοριακού συστήματος το οποίο θα δρα επικουρικά στη διαδικασία σχεδιασμού ταξιδιών για επιβάτες που επιθυμούν να ταξιδέψουν με δημόσια μέσα μεταφοράς. Ο στόχος της εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος ικανού να συνδυάζει διαφορετικές υπηρεσίες συγκοινωνιών για την πραγματοποίηση ενός ταξιδιού με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιούνται όσο το δυνατόν περισσότερο οι προτιμήσεις και οι απαιτήσεις ενός επιβάτη. Για την επίτευξη αυτού του στόχου χρησιμοποιούνται τεχνικές του οντοκεντρικού σχεδιασμού και η θεωρία γράφων για την ανάπτυξη ενός ιεραρχικού μοντέλου αναπαράστασης πολύ-τροπικών συγκοινωνιακών δικτύων. Αυτό το μοντέλο βασίζεται σε φυσικές ιδιότητες τόσο των συγκοινωνιακών δικτύων όσο και των γεωγραφικών περιοχών που καλύπτονται από αυτά. Επιπλέον σχεδιάστηκε ένας αλγόριθμος αναζήτησης μονοπατιών σε γράφους συγκοινωνιακού δικτύου. Η ιεραρχική αναπαράσταση του συγκοινωνιακού δικτύου αλλά και οι προτιμήσεις των επιβατών χρησιμοποιούνται ως κριτήρια αναζήτησης αλλά και ως μέσο για την βελτιστοποίηση της πολυπλοκότητας του αλγορίθμου. Τέλος προτείνεται μια αρχιτεκτονική αυτόνομων πρακτόρων λογισμικού για την υλοποίηση του συστήματος. Αυτή η αρχιτεκτονική ορίζει ένα πλαίσιο αποδοτικής υλοποίησης του αλγορίθμου αναζήτησης επιτρέποντας την παράλληλη εκτέλεση αυτόνομων διεργασιών του συστήματος και χρησιμοποιώντας έξυπνες τεχνικές για την διαχείριση της πληροφορίας για ένα συγκοινωνιακό δίκτυο.

Επόπτης Καθηγητής:

Στέλιος Ορφανουδάκης
Καθηγητής, Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Κρήτης

An Object Oriented Approach for the development of a Multi-Modal Travel Planning System

Vassilis Raxenidis

Master Thesis
Computer Science Department
University of Crete

Abstract

One of the major problems that are faced by travelers using public transport systems is the lack of adequate knowledge of the offered transport services. Moreover, the combination of different transport services in one single trip is a very complicated procedure. This work deals with the design and implementation of an information system that acts in an auxiliary way toward the completion of a travel planning procedure for travelers using public transport. The goal of the project has been to develop a system capable of combining different transport services to be used in a single trip, in a way that the passenger's preferences and requirements are satisfied as much as possible. For the achievement of the above goal, object oriented design techniques and graph theory has been used in order to develop a hierarchical representational model for multi-modal transportation networks. The development of this model is based on the physical characteristics and properties both of the transportation networks and the geographic areas served by them. In addition, an algorithm for performing path finding on transportation networks is presented. The hierarchical representation of the transportation network and the passenger's preferences are both used as a set of search criteria and as a mechanism for reducing the algorithm's complexity. Finally, an architecture based on autonomous software agents is proposed as the implementation platform for the system. The above architecture defines a framework for the efficient implementation of the path-finding algorithm, permitting the concurrent execution of autonomous processes and using intelligent methods to manage information in transportation networks.

Supervisor:

Stelios Orphanoudakis
Professor, Computer Science Department, University of Crete

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω το Ινστιτούτο Πληροφορικής του Ι.Τ.Ε και το Τμήμα Έρευνας και Ανάπτυξης της FORTHnet για την υλικοτεχνική τους υποστήριξη καθώς και για τη χρηματοδότηση της εργασίας. Ευχαριστώ επίσης το Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Κρήτης για το σύγχρονο περιβάλλον εργασίας που μου παρείχε και τις γνώσεις που μου έδωσε την ευκαιρία να αποκτήσω.

Για την περάτωση της εργασίας υπήρξε καθοριστική η συμβολή ορισμένων ανθρώπων τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω προσωπικά.

Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επόπτη καθηγητή μου κ. Ορφανουδάκη που μου εμπιστεύτηκε την εργασία αυτή καθώς και για τη μέχρι τώρα καθοδήγηση και συμβουλές του.

Επίσης, ευχαριστώ τα μέλη της εισηγητικής επιτροπής κ. Γεωργακόπουλο και κα. Χούστη για τις εποικοδομητικές τους παρατηρήσεις και διορθώσεις στην εργασία αυτή.

Ευχαριστώ ακόμη τον κ. Βασίλη Σπιταδάκη για την άψογη συνεργασία που είχαμε καθώς και για τις συμβουλές και την καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας μου.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ αξίζει και στην Κατερίνα Τόλιου για την αμέριστη βοήθεια και συμπαράσταση της στις δύσκολες στιγμές της συγγραφής αυτής της εργασίας. Οι συμβουλές και οι παρατηρήσεις της υπήρξαν πολύτιμες.

Αν και η συμβολή όλων των παραπάνω προσώπων ήταν καθοριστική για την εκτέλεση αυτής της εργασίας, τίποτα δεν θα είχε γίνει χωρίς τη συμβολή των γονιών μου, Βαγγέλη και Αλεξάνδρας. Αν έφτασα να κρατάω στα χέρια μου ένα μεταπτυχιακό δίπλωμα το οφείλω στην αγάπη και τη φροντίδα τους καθώς και στην απεριόριστη υλική και πνευματική υποστήριξη και συμπαράσταση που μου παρείχαν απλόχερα. Ευχαριστώ Πατέρα και Μητέρα. Το λιγότερο που μπορώ να κάνω για σας είναι να σας αφιερώσω αυτή την εργασία ελπίζοντας ότι σας έκανα να νιώσετε περήφανοι για μένα. Η δική σας χαρά είναι η πολυτιμότερη ανταμοιβή για μένα.

Βασίλης Ε. Ραξενίδης

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	1
1.1 Συστήματα σχεδιασμού ταξιδιών	2
1.1.1 Ιδιωτικά και δημόσια μέσα μεταφοράς	3
1.2 Κίνητρο	3
1.3 Η δική μας προσέγγιση	4
1.3.1 Ζητήματα υλοποίησης	6
Περιγραφή του προβλήματος	8
2.1 Σχεδιάζοντας ένα ταξίδι.....	9
2.2 Το συγκοινωνιακό δίκτυο	9
2.2.1 Οντότητες συγκοινωνιακών δικτύων	10
2.2.1.1 Φυσικές οντότητες	10
2.2.1.2 Εννοιολογικές οντότητες	10
2.2.2 Αναπαράσταση συγκοινωνιακού δικτύου	11
2.2.2.1 Εννοιολογική αναπαράσταση	13
2.2.3 Πολύ-τροπικότητα συγκοινωνιακών δικτύων	14
2.2.3.1 Μόνο-τροπικό δίκτυο.....	16
2.2.3.2 Πολύ-τροπικό δίκτυο	16
2.3 Οι επιβάτες.....	17
2.4 Τυπικός ορισμός του προβλήματος	18
2.4.1 Περιγραφή του συστήματος	19
2.4.1.1 Στατική δομή του συστήματος.....	20
2.4.1.2 Συνθήκη αξιολόγησης.....	21
2.5 Ανακεφαλαίωση.....	22
2.5.1 Συγκοινωνιακό δίκτυο	23
2.5.2 Επιβάτες	23
Επισκόπηση υπαρχόντων συστημάτων	25
3.1 Οργάνωση της επισκόπησης.....	26
3.2 Pre-Trip συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών.....	26
3.2.1 Ακατέργαστες πληροφορίες	27
3.2.2 Πληροφορία πραγματικού χρόνου	27
3.2.3 Σχεδιασμός ταξιδιών	28
3.3 In-Terminal / Wayside συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών.....	28
3.3.1 Συμπεράσματα	29
3.4 In -Vehicle συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών	29

3.4.1 Συμπεράσματα	30
3.5 Multimodal συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών	31
3.5.1 Traveler Information Showcase	31
3.5.2 SmarTraveler	32
3.5.3 TransCal	32
3.5.4 Συμπεράσματα	33
3.6 Συστήματα Σχεδιασμού Ταξιδιών	33
3.6.1 Trip planning system (University of Leeds)	34
Αναπαράσταση συγκοινωνιακού δικτύου	35
4.1 Μελέτη του πεδίου εφαρμογής	36
4.1.1 Οντολογία	38
4.1.1.1 Η Οντολογία ως μηχανισμός διαμόρφωσης εννοιών	38
4.1.1.2 Μια οντολογία για συγκοινωνιακά δίκτυα	38
4.1.1.2.1 Η οντολογία ως σύνολο όρων	38
4.1.1.2.2 Η οντολογία ως ταξινομική ιεραρχία	41
4.2 Αναπαράσταση συγκοινωνιακού δικτύου	44
4.2.1 Θεωρία γράφων – ορισμοί	44
4.2.2 Γράφος συγκοινωνιακού δικτύου	44
4.3 Ιεραρχικό μοντέλο συγκοινωνιακού δικτύου	46
4.3.1 Ταξινομική ιεραρχία γεωγραφικών περιοχών	46
4.3.2 Ταξινομική ιεραρχία δρομολογίων και ταξιδιών	47
4.3.3 Ταξινομική ιεραρχία κόμβων	49
4.3.4 Ιεραρχική άποψη συγκοινωνιακού δικτύου	51
4.4 Εφαρμογή του ιεραρχικού μοντέλου	54
Αλγόριθμος εύρεσης μονοπατιών σε συγκοινωνιακά δίκτυα	57
5.1 Μελέτη του προβλήματος	58
5.2 Ο αλγόριθμος	59
5.2.1 Ορθότητα του αλγορίθμου	61
5.2.1.1 Περάτωση	61
5.2.1.2 Υπολογιστική πολυπλοκότητα	62
5.2.1.3 Ορθότητα αποτελέσματος	63
5.3 Περιορισμοί	63
5.3.1 Τύποι περιορισμών	64
5.3.2 Κατηγορίες περιορισμών	65
5.3.2.1 Περιορισμοί χρήστη	67
5.3.2.2 Περιορισμοί συστήματος	68
5.3.3 Δήλωση και εφαρμογή περιορισμών	68
5.4 Αναζήτηση μονοπατιών σε ιεραρχικά συγκοινωνιακά δίκτυα	70
5.4.1 Αξιώματα	70
5.4.2 Ο αλγόριθμος <i>HVTN-PF</i>	71
5.4.2.1 Εφαρμογή των αξιωμάτων	73
5.4.2.2 Εντοπισμός τμήματος ενός κόμβου	74
Αυτόνομοι πράκτορες λογισμικού (Autonomous Software Agents)	77
6.1 Ορισμοί – συζήτηση	77

6.2	Ιδιότητες αυτόνομων πρακτόρων	79
6.3	Αρχιτεκτονική και απαιτήσεις συστημάτων αυτόνομων πρακτόρων.....	79
6.3.1	Αυτονομία	80
6.3.2	Προσαρμοστικότητα	81
6.3.3	Ανεκτικότητα σε βλάβες – Καλή λειτουργία (Robustness)	81
6.3.4	Αντίληψη – Νοητική Διεργασία Δράση (Sense – Reasoning – Action)	82
6.3.5	Δύο ακόμα προβλήματα	84
6.3.5.1	Το πρόβλημα της επιλογής ενέργειας	84
6.3.5.2	Το πρόβλημα της μάθησης από εμπειρία.....	84
6.4	Βασικές αρχές και χαρακτηριστικά σχεδιασμού	85
6.4.1	Βασικές αρχές σχεδιασμού	85
6.4.1.1	Γνώση του περιβάλλοντος	85
6.4.1.2	Επικοινωνία μεταξύ αυτόνομων τμημάτων	86
6.4.2	Χαρακτηριστικά των αρχιτεκτονικών πρακτόρων	87
6.4.2.1	Αποτελέσματα του σχεδιασμού	88
	Μια αρχιτεκτονική αυτόνομων πρακτόρων για το πρόβλημα του σχεδιασμού ταξιδιών	90
7.1	Η τεχνολογία αυτόνομων πρακτόρων ως τεχνική σχεδίασης λογισμικού.....	91
7.2	Χαρακτηριστικά του συστήματος σχεδιασμού ταξιδιών.....	93
7.2.1	Χαρακτηριστικά του συστήματος	93
7.2.1.1	Χρόνος απόκρισης	93
7.2.1.2	Εξυπηρέτηση πολλών χρηστών	94
7.2.1.3	Επαναχρησιμοποίηση της πληροφορίας	94
7.2.1.4	Μάθηση.....	95
7.2.1.5	Κατανεμημένη πληροφορία.....	95
7.2.1.5.1	Η πρώτη λύση – Κεντρικοποιημένη προσέγγιση.....	96
7.2.1.5.2	Η δεύτερη λύση – Κατανεμημένη προσέγγιση.....	96
7.2.2	Οι στόχοι του συστήματος	98
7.3	Η αρχιτεκτονική του συστήματος.....	98
7.3.1	Ανάλυση των λειτουργιών του συστήματος	99
7.3.1.1	Αλληλεπίδραση με το χρήστη.....	99
7.3.1.2	Σχεδιασμός ταξιδιού	100
7.3.1.3	Ανάκτηση πληροφορίας.....	100
7.3.2	Υλοποίηση ενός πράκτορα	101
7.3.2.1	Η γλώσσα προγραμματισμού Java.....	101
7.3.2.2	Το περιβάλλον ανάπτυξης πρακτόρων Aglets.....	101
7.3.3	Αρχιτεκτονική των πρακτόρων του συστήματος	102
7.3.3.1	Πράκτορας χρήστη.....	102
7.3.3.2	Πράκτορας σύνθετου ταξιδιού.....	103
7.3.3.3	Πράκτορας απλού ταξιδιού και πράκτορας κόμβου	105
7.3.3.3.1	Παρατηρήσεις.....	108
7.3.3.4	Πράκτορας πληροφορίας	108
7.4	Λεπτομέρειες υλοποίησης.....	109
7.4.1	Αποθήκευση των αντικειμένων	109
7.4.2	Χρονική διάρκεια ενεργοποίησης	110
	Συμπεράσματα και μελλοντική εργασία	113

8.1 Συμπεράσματα	113
8.1.1 Απαιτήσεις από το σύστημα	114
8.1.2 Χαρακτηριστικά του πεδίου εφαρμογής	114
8.1.3 Άλλες εφαρμογές	115
8.1.4 Σχεδίαση και υλοποίηση	116
8.1.4.1 Υλοποίηση	116
8.1.4.1.1 Ιεραρχικό μοντέλο αναπαράστασης	117
8.1.4.1.2 Αλγόριθμος εύρεσης μονοπατιών.....	117
8.1.4.1.3 Αυτόνομοι πράκτορες λογισμικού.....	117
8.1.5 Σύγκριση με το σύστημα του Leeds	118
8.2 Μελλοντική εργασία.....	119
8.2.1 Εξέλιξη του συστήματος	119
8.2.1.1 Παρακολούθηση δρομολογίων σε πραγματικό χρόνο.....	120
8.2.1.2 Σχεδιασμός ταξιδιών στο παρασκήνιο.....	120
8.2.2 Βελτίωση της απόδοσης	120
8.2.2.1 Ιεράρχηση συγκοινωνιακών δικτύων.....	120
8.2.2.2 Διαμοιρασμός φόρτου εργασίας χρησιμοποιώντας κινούμενους πράκτορες	121
Βιβλιογραφία	122
Επισκόπηση υπαρχόντων συστημάτων.....	131
A.1 Pre-Trip συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών.....	133
A.1.1 Εξέλιξη.....	133
A.1.2 Παραδείγματα εφαρμογών.....	134
A.1.2.1 Riderlink.....	134
A.1.2.2 BusView	136
A.1.2.3 TravInfo	142
A.1.2.4 TranStar	144
A.2 In-Terminal / Wayside συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών.....	147
A.2.1 Εξέλιξη.....	147
A.2.2 Παραδείγματα εφαρμογών.....	148
A.2.2.1 Talking Kiosk.....	148
A.2.2.2 Ann Arbor, Michigan	149
A.2.3 Συμπεράσματα	150

A.3 In -Vehicle συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών.....	151
A.3.1 Παραδείγματα εφαρμογών.....	152
A.3.1.1 New Jersey.....	152
A.3.1.2 New York City	153
A.3.1.3 Ann Arbor, Michigan	153
A.3.1.4 London Ontario	154
A.3.1.5 Συμπεράσματα.....	154
A.4 Multimodal συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών	155
A.4.1 Παραδείγματα εφαρμογών.....	155
A.4.1.1 Traveler Information Showcase.....	155
A.4.1.2 SmarTraveler	163
A.4.1.3 TransCal	165
A.4.2 Συμπεράσματα	169
A.5 Συστήματα Σχεδιασμού Ταξιδιών	169
A.5.1 Trip planning system (University of Leeds).....	170
A.5.1.1 Μοντελοποίηση συγκοινωνιακού δικτύου	170
A.5.1.2 Αποθήκευση δεδομένων του δικτύου.....	174
A.5.1.3 Εύρεση διαδρομών στο συγκοινωνιακό δίκτυο.....	175
A.5.1.4 Αξιολόγηση	177
A.5.2 The Air Traveler Planning System (ATP)	180
A.5.2.1 Περιγραφή	180
A.5.2.2 Προβλήματα Εκπλήρωσης Περιορισμών (ΠΕΠ).....	181

A.5.2.3 Βιβλιοθήκη περιορισμών Java (JCL)	181
A.5.2.4 Αρχιτεκτονική.....	182
A.5.2.5 Μορφοποίηση του ΠΕΠ.....	183
A.5.2.6 Αξιολόγηση	184
A.6 Συμπεράσματα	186
Παράδειγμα εφαρμογής του αλγορίθμου <i>TNG-PF</i>	192
Αγγλο-ελληνικό γλωσσάριο.....	195
Συντομογραφίες.....	201

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 2.1: Φυσική αναπαράσταση οδικού δικτύου.....	13
Σχήμα 2.2: Εννοιολογική αναπαράσταση συγκοινωνιακού δικτύου.....	14
Σχήμα 2.3 : Φυσική και εννοιολογική αναπαράσταση συγκοινωνιακού δικτύου.....	15
Σχήμα 2.4 : Αναπαράσταση πολύ-τροπικού δικτύου	17
Σχήμα 4.1: Το πεδίο εφαρμογής	37
Σχήμα 4.2: Οι οντότητες ενός συγκοινωνιακού δικτύου	41
Σχήμα 4.3: Η έννοια «Κόμβος» και οι επαγόμενες από αυτή έννοιες.....	42
Σχήμα 4.4: Η έννοια «Μονοπάτι»	42
Σχήμα 4.5: Η έννοια «Ιδιότητα» και οι επαγόμενες από αυτή έννοιες.....	43
Σχήμα 4.6: Είδη μέσων μεταφοράς.....	43
Σχήμα 4.7: Η έννοια «Ταξίδι»	43
Σχήμα 4.8: Ταξινομική ιεραρχία γεωγραφικών περιοχών.....	47
Σχήμα 4.9: Συσχετίσεις μεταξύ γεωγραφικών περιοχών.....	47
Σχήμα 4.10: Ταξινομική ιεραρχία δρομολογίων και ταξιδιών	49
Σχήμα 4.11: Ταξινομική ιεραρχία κόμβων.....	50
Σχήμα 5.1: Ο αλγόριθμος <i>TNG-PF</i>	61
Σχήμα 5.2: Ταξινομική ιεραρχία περιορισμών	67
Σχήμα 5.3: Η διαδικασία επαναπροσδιορισμού των τμημάτων των κόμβων για τον αλγόριθμο <i>HVTN-PF</i>	75

Σχήμα 6.1: Η τυπική λειτουργία του παραδείγματος της αντίληψης (Sense), συμπερασματικής διαδικασίας (Reason) και δράσης (Act).....	83
Σχήμα 7.1: Ταξινόμηση των πρακτόρων του συστήματος.....	99
Σχήμα 7.2: Η αλληλεπίδραση ενός χρήστη με το σύστημα μέσω ενός Πράκτορα Χρήστη	102
Σχήμα 7.3: Η αρχιτεκτονική ενός πράκτορα σύνθετου ταξιδιού.....	103
Σχήμα 7.4: Η αρχιτεκτονική ενός πράκτορα απλού ταξιδιού.....	105
Σχήμα 7.5: Η αρχιτεκτονική ενός πράκτορα κόμβου	107
Σχήμα 7.6: Διάρκεια ενεργοποίησης ενός πράκτορα κόμβου	111

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1.1 : Τα κυριότερα ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την ανάπτυξη ενός συστήματος σχεδιασμού ταξιδιών.....	6
Πίνακας 2.1 Τρόποι αναπαράστασης συγκοινωνιακών δικτύων.....	11
Πίνακας 2.2 : Μια εννοιολογική αναπαράσταση για το οδικό δίκτυο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1	13
Πίνακας 2.3 : Η τρέχουσα κατάσταση στο χώρο των συγκοινωνιών.....	22
Πίνακας 2.4: Τα βασικά στοιχεία ενός συγκοινωνιακού δικτύου	23
Πίνακας 2.5 : Κριτήρια επιλογής βασικών παραμέτρων ταξιδιού.	24
Πίνακας 2.6 : Προτιμήσεις επιβατών για συγκεκριμένες παραμέτρους ταξιδιών.....	24
Πίνακας 4.1: Περιφέρειες και νομοί της Ελλάδας.....	55

Πίνακας 5.1: Τύποι περιορισμών	65
Πίνακας 5.2: Κατηγοριοποίηση περιορισμών	66
Πίνακας 5.3: Δυαδικοί τελεστές που εφαρμόζονται σε περιορισμούς	70
Πίνακας 5.4: Ο αλγόριθμος <i>HVTN-PF</i>	73
Πίνακας 8.1: Σύγκριση του συστήματος του Leeds με τη δική μας προσέγγιση	118

Εισαγωγή

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μελετήθηκε ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός υπολογιστικού συστήματος το οποίο θα δρα επικουρικά στη διαδικασία σχεδιασμού ταξιδιών για επιβάτες που επιθυμούν να ταξιδέψουν με δημόσια μέσα μεταφοράς. Το σύστημα θα μπορεί να έχει συμβουλευτικό ρόλο συνδράμοντας στην προσπάθεια ενός επιβάτη να επιλέξει τα καταλληλότερα μέσα μεταφοράς και δρομολόγια για την πραγματοποίηση του ταξιδιού. Επιπλέον το σύστημα θα μπορεί, δρώντας αυτόνομα, να εντοπίζει και να προτείνει ολοκληρωμένα σχέδια ταξιδιών, βασιζόμενο σε προτιμήσεις και κριτήρια που παρέχονται από τον επιβάτη. Παρόμοια συστήματα που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία αναφέρονται με τον όρο *Συστήματα Σχεδιασμού Ταξιδιών (Trip Planning Systems)*. Ένα τέτοιο σύστημα περιγράφεται στο [1].

Ένα σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο από ταξιδιωτικούς πράκτορες για την παροχή υπηρεσιών σε πελάτες τους (επιβάτες), όσο και απευθείας από επιβάτες χωρίς τη μεσολάβηση κάποιου πράκτορα. Η ανάγκη για τη χρησιμοποίηση ενός τέτοιου συστήματος ανακύπτει από τη δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι ταξιδιωτικοί πράκτορες και πολύ περισσότερο οι ίδιοι οι επιβάτες να εντοπίσουν και να συνδυάσουν πληροφορίες για διαφορετικά μέσα μεταφοράς ή εταιρίες από διαφορετικές πηγές. Αυτός ο συνδυασμός πληροφοριών απαιτείται κυρίως για τη διασύνδεση διαφορετικών μέσων μεταφοράς για την πραγματοποίηση ενός ταξιδιού. Δηλαδή η ανάγκη για ένα σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών κυρίως προκύπτει από τα προβλήματα που εισάγονται από την απαίτηση για χρησιμοποίηση περισσότερων του ενός μέσων μεταφοράς για ένα ταξίδι (**intermodalism**) [10].

Για το σχεδιασμό του συστήματος μελετήθηκαν θέματα που αφορούν τις ανάγκες και απαιτήσεις των επιβατών, καθώς επίσης και θέματα που αφορούν τις παρεχόμενες υπηρεσίες από τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Συγκεκριμένα ένας από τους στόχους μας είναι να δείξουμε πώς εφαρμογές λογισμικού καθώς και οι τηλεπικοινωνιακές δυνατότητες που παρέχονται μέσω του **Διαδικτύου (Internet)**, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση των παρεχόμενων προς το κοινό υπηρεσιών, στο χώρο των συγκοινωνιών.

Κυρίως μελετήσαμε τη χρησιμοποίηση εφαρμογών λογισμικού (βάσεις δεδομένων, πράκτορες λογισμικού, διεπιφάνειες χρήσης) καθώς και δικτυακών εφαρμογών (Παγκόσμιος Δικτυακός Ιστός –World Wide Web) για την παροχή ταξιδιωτικών πληροφοριών σε επιβάτες.

Από τη μελέτη άλλων εργασιών με παρόμοιο αντικείμενο διαπιστώθηκε η έλλειψη μεθοδολογίας που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποδοτική αποθήκευση και διαχείριση ταξιδιωτικής πληροφορίας για την παροχή **ταξιδιωτικών υπηρεσιών** σε επιβάτες. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος μελετήσαμε και αναπτύξαμε ένα **οντοκεντρικό μοντέλο** για την αναπαράσταση και διαχείριση ταξιδιωτικής πληροφορίας. Με βάση αυτό το μοντέλο προτείναμε έναν αλγόριθμο η υλοποίηση του οποίου βασίζεται στην τεχνολογία των **αυτόνομων πρακτόρων λογισμικού**. Ο στόχος μας είναι

να αναπτύξουμε ένα γενικό μοντέλο που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από άλλες εφαρμογές.

1.1 Συστήματα σχεδιασμού ταξιδιών

Ορίζουμε ένα **σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών** ως ένα σύστημα το οποίο παρέχει βοήθεια - σε επιβάτες - κατά τη διαδικασία σχεδιασμού ενός ταξιδιού. Πιο συγκεκριμένα, η συνδρομή ενός τέτοιου συστήματος συνίσταται καταρχήν στην πληροφόρηση του επιβάτη για θέματα που αφορούν το ταξίδι, όπως εταιρίες μεταφοράς, μέσα μεταφοράς, δρομολόγια, ώρες αναχώρησης και άφιξης, καιρικές συνθήκες, κ.α. Επιπλέον, ένα σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών μπορεί να παρέχει βοήθεια στη λήψη αποφάσεων από τον επιβάτη επιτρέποντας τον αυτόματο σχεδιασμό ταξιδιών (έγερση διαδρομών) με βάση τις προτιμήσεις και τις απαιτήσεις του.

Ένα σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών παρουσιάζει ομοιότητες με ένα **ταξιδιωτικό πληροφοριακό σύστημα**. Ως ταξιδιωτικό πληροφοριακό σύστημα ορίζουμε ένα σύστημα που παρέχει πληροφορίες σχετικές με οντότητες (φυσικές ή εννοιολογικές) που εμπλέκονται με την έννοια του ταξιδιού. Ένα τέτοιο πληροφοριακό σύστημα μπορεί να παρέχει **στατικές** ή **δυναμικές** πληροφορίες πιθανόν προσαρμοσμένες σε ιδιαίτερες ανάγκες και προτιμήσεις των χρηστών του.

Με τον όρο **στατική πληροφορία** θα εννοούμε πληροφορία η οποία παραμένει αμετάβλητη τουλάχιστον καθ' όλη τη διάρκεια κατά την οποία χρησιμοποιείται και δεν χρειάζεται επιβεβαίωση της εγκυρότητάς της. **Δυναμική** θα χαρακτηρίζεται η **πληροφορία** που είναι δυνατόν να αλλάξει κατά την διάρκεια χρησιμοποίησής της με αποτέλεσμα να απαιτείται επιβεβαίωση της εγκυρότητας της κάθε φορά που πρέπει να χρησιμοποιηθεί.

Σε ότι αφορά το ταξιδιωτικό πληροφοριακό σύστημα, ως στατική χαρακτηρίζεται πληροφορία που αφορά δρομολόγια (ώρα αναχώρησης και άφιξης, μέσο μεταφοράς εταιρία) ενώ ως δυναμική χαρακτηρίζεται πληροφορία που αφορά παράγοντες που μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού (καθυστερήσεις ή ακυρώσεις δρομολογίων, συμφόρηση οδικών δικτύων κτλ.). Ένα πληροφοριακό σύστημα συνήθως παρέχει πληροφορίες και αφήνει τον χρήστη (επιβάτη στη δική μας περίπτωση) να τις επεξεργαστεί προκειμένου να λάβει αποφάσεις. Ένα σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών μπορεί να παρέχει την ίδια πληροφορία όπως και το πληροφοριακό σύστημα αλλά επιπλέον μπορεί να έχει έναν πιο ενεργό ρόλο λαμβάνοντας αποφάσεις για λογαριασμό του επιβάτη. Δηλαδή στην περίπτωση του πληροφοριακού συστήματος ο επιβάτης πρέπει να συλλέξει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες και να τις επεξεργαστεί προκειμένου να πάρει αποφάσεις για το ταξίδι. Από την άλλη, στην περίπτωση του συστήματος σχεδιασμού ταξιδιών το ίδιο το σύστημα επεξεργάζεται τις πληροφορίες και προτείνει ταξίδια στον επιβάτη. Δηλαδή για μια συγκεκριμένη αφετηρία και προορισμό ενός ταξιδιού, ένα σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών μπορεί να εντοπίζει διαφορετικά δρομολόγια, να τα συνδυάζει, και να προτείνει στον επιβάτη συγκεκριμένες ακολουθίες δρομολογίων που μπορεί να χρησιμοποιήσει για την πραγματοποίηση του ταξιδιού.

1.1.1 Ιδιωτικά και δημόσια μέσα μεταφοράς

Ένα σύστημα πληροφόρησης ταξιδιωτών (πληροφοριακό σύστημα ή σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών) μπορεί να αφορά είτε **δημόσια** είτε **ιδιωτικά μέσα μεταφοράς**. Για ταξίδια με ιδιωτικά μέσα μεταφοράς μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι οδικές μετακινήσεις με αυτοκίνητο, μια που αυτό είναι το πιο διαδεδομένο μέσο.

Στην περίπτωση των ιδιωτικών μέσων μεταφοράς η πληροφόρηση πριν την εκκίνηση του ταξιδιού αφορά κυρίως την επιλογή της διαδρομής (αποφάσεις δρομολόγησης) που πρέπει να ακολουθηθεί. Αυτή η επιλογή γίνεται με βάση στατική πληροφορία για την τοπολογία και την κατάσταση του οδικού δικτύου της γεωγραφικής περιοχής στην οποία πραγματοποιείται η μετακίνηση. Επιπλέον οι αποφάσεις δρομολόγησης μπορεί να βασίζονται και σε δυναμικές πληροφορίες για την κατάσταση του δικτύου. Επειδή ορισμένες πληροφορίες στις οποίες βασίστηκε η απόφαση δρομολόγησης μπορεί να αλλάξουν κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η πληροφόρηση του ταξιδιώτη κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Η ενημέρωση κατά τη διάρκεια του ταξιδιού επιτρέπει στον οδηγό να αλλάζει τις αποφάσεις δρομολόγησης δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για δυναμική δρομολόγηση βελτιστοποιώντας το ταξίδι κυρίως ως προς τη διάρκεια και το κόστος.

Στην περίπτωση μετακινήσεων με δημόσια μέσα μεταφοράς η πληροφόρηση πριν από την εκκίνηση του ταξιδιού παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον καθώς οι επιβάτες δημόσιων μέσων μεταφοράς δεν έχουν μεγάλη ευελιξία αλλαγής – κατά τη διάρκεια του ταξιδιού - των επιλογών που έκαναν πριν την εκκίνηση του ταξιδιού.

1.2 Κίνητρο

Στις σύγχρονες κοινωνίες οι μετακινήσεις των ανθρώπων είναι μια συνηθισμένη και συχνά επιβεβλημένη δραστηριότητα. Οι επιβάτες για τις μετακινήσεις τους χρησιμοποιούν είτε ιδιωτικά είτε δημόσια μέσα μεταφοράς. Ωστόσο η κατανομή των επιβατών στα διαφορετικά μέσα μεταφοράς (δημόσια και ιδιωτικά) δεν είναι ισορροπημένη. Για παράδειγμα στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 83% της συνολικής απόστασης που καλύπτεται από επιβάτες, καλύπτεται από ιδιωτικά αυτοκίνητα, το 10% από λεωφορεία και το 7% από τρένα. Τα αεροπλάνα κατέχουν ένα πολύ μικρό μερίδιο στις μετακινήσεις επιβατών μεταξύ χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης [11].

Η ραγδαία αύξηση της χρησιμοποίησης ιδιωτικών μέσων μεταφοράς (κυρίως αυτοκινήτων) δημιουργεί σοβαρά προβλήματα όπως περιβαλλοντολογική μόλυνση και συμφόρηση στο οδικό δίκτυο. Αυτά τα προβλήματα δημιουργούν την ανάγκη για εξισορρόπηση της χρήσης των διαφορετικών μέσων μεταφοράς. Γι' αυτούς τους λόγους η Ευρωπαϊκή Ένωση στα πλαίσια του προγράμματος **Telematics Applications for Transport** [11] έχει θέσει ως στόχο να προωθήσει τη χρησιμοποίηση δημόσιων μέσων μεταφοράς καθώς επίσης και το συνδυασμό διαφορετικών μέσων για την πραγματοποίηση ταξιδιών.

Είναι σαφές ότι επιδίωξη των εταιριών μεταφοράς είναι η παροχή ικανοποιητικών και αξιόπιστων υπηρεσιών, προσπαθώντας να καλύψουν τις ανάγκες και τις απαιτήσεις ολοένα και περισσότερων επιβατών. Ωστόσο για να είναι πραγματικά χρήσιμες τέτοιες

υπηρεσίες για το κοινό, θα πρέπει να υπάρχει εύκολη πρόσβαση σ' αυτές. Με τον όρο εύκολη πρόσβαση εννοούμε πλήρη και σαφή ενημέρωση του επιβατικού κοινού για τις παρεχόμενες υπηρεσίες καθώς και για τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να αξιοποιηθούν.

Παρόλο που οι υπηρεσίες μεταφοράς που παρέχονται μπορεί είναι ικανοποιητικές και αξιόπιστες, η έλλειψη πλήρους και σαφής γνώσης για τις παρεχόμενες υπηρεσίες είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζονται από επιβάτες που χρησιμοποιούν δημόσια μέσα μεταφοράς. Καταρχήν οι επιβάτες χρειάζεται να γνωρίζουν ποια μέσα μεταφοράς και εταιρίες μπορούν να χρησιμοποιήσουν για να πραγματοποιήσουν το ταξίδι, ώστε να επιλέξουν τα καταλληλότερα. Μια τέτοια επιλογή μπορεί να περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα μέσα μεταφοράς. Το πρόβλημα που αντιμετωπίζουν είναι ότι ενώ γνωρίζουν πως να ξεκινήσουν από την αφετηρία του ταξιδιού, συνήθως δεν γνωρίζουν πως να συνεχίσουν από έναν ενδιάμεσο προορισμό. Ειδικά αν πρόκειται για μικρούς προορισμούς όπου μικρές εταιρίες μεταφορών δραστηριοποιούνται, η έλλειψη πληροφόρησης είναι ακόμα μεγαλύτερη.

Συνήθως τα τοπικά δημόσια μέσα μεταφοράς συνδέουν αφετηρίες μιας γεωγραφικής περιοχής με λίγους σημαντικούς προορισμούς όπως είναι μεγάλες κεντρικές πόλεις της ίδιας περιοχής. Για πιο μεγάλα και πιο πολύπλοκα ταξίδια είναι πιθανόν να απαιτείται η χρησιμοποίηση περισσότερων του ενός μέσων μεταφοράς και μάλιστα διαφορετικού τύπου. Επιπλέον είναι πιθανό ότι οι υπηρεσίες μεταφοράς παρέχονται από διαφορετικές εταιρίες. Ωστόσο ακόμα και σε ένα μικρής κλίμακας συγκοινωνιακό δίκτυο, όπως για παράδειγμα σε ένα μικρό νησί, όπου μόνο μια εταιρία δραστηριοποιείται είναι πολλές φορές αρκετά δύσκολο για έναν επιβάτη να κάνει τις καλύτερες δυνατές επιλογές για το ταξίδι του. Για ταξίδια στα οποία εμπλέκονται περισσότερες από μία εταιρίες μεταφορών και διαφορετικοί τύποι μέσων μεταφοράς το πρόβλημα γίνεται ακόμη μεγαλύτερο.

Για την αποδοτική αξιοποίηση των υπηρεσιών μεταφοράς, θα πρέπει ένας επιβάτης πριν από την εκκίνηση ενός ταξιδιού να έχει εύκολη πρόσβαση σε πληροφορίες (*pre-trip information*) για τις παρεχόμενες υπηρεσίες, τα δρομολόγια και τις αλλαγές μέσων μεταφοράς που απαιτούνται για την μετάβαση στον προορισμό του. Επιπλέον, πληροφορίες για τις ώρες αναχώρησης και άφιξης καθώς και για τη διάρκεια των δρομολογίων είναι εξίσου σημαντικές. Πληροφορίες αυτού του είδους μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον επιβάτη για να σχεδιάσει το ταξίδι του.

Επιπλέον σε πολλές περιπτώσεις είναι σημαντικό για τους επιβάτες να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες κατά τη διάρκεια του ταξιδιού (*en-route information*). Τέτοιες πληροφορίες συνήθως αφορούν καθυστερήσεις και αλλαγές στην ώρα άφιξης σε σημεία αλλαγής μέσου μεταφοράς. Επιπλέον, οποιεσδήποτε πιθανές παρεκκλίσεις από το αρχικό σχέδιο του ταξιδιού πρέπει να γίνονται γνωστές ώστε οι επιβάτες να μπορούν έγκαιρα να αναπροσαρμόζουν το ταξίδι τους όταν αυτό είναι δυνατό.

1.3 Η δική μας προσέγγιση

Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την ανάπτυξη ενός συστήματος σχεδιασμού ταξιδιών θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τόσο την παροχή πληροφοριών για το σχεδιασμό του ταξιδιού (*pre-trip*) όσο και την παροχή πληροφοριών κατά τη διάρκεια του ταξιδιού (*en-route*). Επιπλέον θα πρέπει να αντιμετωπίζεται η ύπαρξη πολλών τύπων μέσων μεταφοράς καθώς και η ύπαρξη πολλών εταιριών που δραστηριοποιούνται στο χώρο των

συγκοινωνιών (*multi-modality*). Το πρόβλημα που εισάγεται από την ύπαρξη πολλών μέσων μεταφοράς αφορά κυρίως τον συνδυασμό διαφορετικών μέσων για ένα ταξίδι (*inter-modality*).

Σε παλιότερες προσεγγίσεις για το θέμα του σχεδιασμού ταξιδιών δόθηκε μεγαλύτερη σημασία σε πληροφοριακά συστήματα ή σε συστήματα σχεδιασμού ταξιδιών που αφορούσαν ένα μόνο μέσο μεταφοράς. Αυτός ο περιορισμός δικαιολογείται από το σημαντικό όγκο δεδομένων που πρέπει να διαχειρίζονται τέτοια συστήματα. Αυτός ο όγκος αυξάνεται όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα του συστήματος. Τα δεδομένα πρέπει να συλλέγονται και να επιβεβαιώνονται ώστε να διασφαλίζεται η εγκυρότητά τους. Επιπλέον πρέπει να ανανεώνονται ώστε να λαμβάνονται υπόψη αλλαγές σε δυναμικές πληροφορίες αλλά και νέα δεδομένα. Με περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς, η διαχείριση των δεδομένων αποδεικνύεται δυσκολότερη και περισσότερο δαπανηρή.

Στην παρούσα εργασία επικεντρώσαμε την προσοχή μας στο σχεδιασμό ταξιδιών με δημόσια μέσα μεταφοράς, λαμβάνοντας υπόψη μόνο πληροφορίες που είναι διαθέσιμες πριν από την εκκίνηση ενός ταξιδιού. Επιπλέον προτείναμε λύσεις για την αποδοτική διαχείριση δεδομένων που απαιτούνται για το συνδυασμό πολλών μέσων μεταφοράς.

Ο σκοπός της ανάπτυξης ενός συστήματος σχεδιασμού ταξιδιών είναι η βελτίωση των υπηρεσιών που παρέχονται σε ταξιδιώτες κατά τη φάση του σχεδιασμού ενός ταξιδιού. Αυτός ο σκοπός μπορεί να επιτευχθεί επιτρέποντας στους επιβάτες να έχουν εύκολη πρόσβαση σε πληροφορίες που σχετίζονται με τις υπηρεσίες μεταφοράς που παρέχονται από εταιρίες μεταφοράς (αεροπορικές, ναυτιλιακές κτλ.). Η επίτευξη αυτού του στόχου απαιτεί την συλλογή και επεξεργασία μεγάλου όγκου πολύπλοκων πληροφοριών για εταιρίες συγκοινωνιών, για δρομολόγια, για μέσα μεταφοράς και για άλλες οντότητες (φυσικές ή εννοιολογικές) που συσχετίζονται με ένα ταξίδι. Επίσης, οι παρεχόμενες υπηρεσίες πρέπει να είναι άμεσα προσπελάσιμες από όσο το δυνατόν μεγαλύτερο πλήθος χρηστών. Η διάθεση των υπηρεσιών μέσω του διαδικτύου εξασφαλίζει αυτή την απαίτηση.

Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε στο σχεδιασμό του συστήματος περιλαμβάνει τη μελέτη διαφορετικών επιμέρους ζητημάτων. Τα κυριότερα από αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1.

- **Ανάλυση απαιτήσεων των χρηστών από συστήματα σχεδιασμού ταξιδιών.**
- **Μοντελοποίηση συγκοινωνιακών δικτύων.**
- **Διαχείριση μεγάλου όγκου στατικής και δυναμικά μεταβαλλόμενης πληροφορίας.**
- **Συλλογή πληροφοριών από ετερογενείς πηγές δεδομένων.**
- **Ανάπτυξη αλγορίθμων πλοήγησης σε δίκτυα συγκοινωνιών.**
- **Αυτόνομη συμπεριφορά οντοτήτων λογισμικού για την ανάπτυξη εφαρμογών που δρουν για λογαριασμό των χρηστών.**

Πίνακας 0.1 : Τα κυριότερα ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την ανάπτυξη ενός συστήματος σχεδιασμού ταξιδιών.

Όπως φαίνεται, η ανάπτυξη ενός συστήματος σχεδιασμού ταξιδιών περιλαμβάνει την αντιμετώπιση σημαντικού αριθμού ζητημάτων. Στα πλαίσια μιας μεταπτυχιακής εργασίας όπως η παρούσα, δεν θα ήταν δυνατόν να αντιμετωπιστούν όλα αυτά τα ζητήματα κυρίως λόγω περιορισμού χώρου και χρόνου. Στην παρούσα εργασία προτείνουμε λύσεις για ορισμένα μόνο από αυτά τα ζητήματα που κατά τη γνώμη μας παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα, αναπτύξαμε ένα μοντέλο για την αναπαράσταση συγκοινωνιακών δικτύων που περιλαμβάνουν περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται τόσο για την αναπαράσταση και αποθήκευση των δεδομένων του συγκοινωνιακού δικτύου όσο και από τον αλγόριθμο πλοήγησης που αναπτύξαμε. Επίσης προτείναμε μια αρχιτεκτονική αυτόνομων πρακτόρων λογισμικού για την υλοποίηση του αλγορίθμου.

1.3.1 Ζητήματα υλοποίησης

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής ακολουθήθηκε μια οντοκεντρική προσέγγιση ([2], [3], [4], [5]) (object oriented paradigm) τόσο για τον προγραμματισμό της εφαρμογής, όπου χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού **Java** [6] όσο και για την μοντελοποίηση των συγκοινωνιακών δικτύων. Το οντοκεντρικό μοντέλο της γλώσσας Java χρησιμοποιήθηκε επίσης για την ανάπτυξη ενός μοντέλου δεδομένων για την αναπαράσταση συγκοινωνιακών δικτύων. Αυτός ο διπλός ρόλος της γλώσσας Java τόσο για τον προγραμματισμό όσο και για τη μοντελοποίηση επιτρέπει την άμεση προσπέλαση των εννοιών του μοντέλου δεδομένων από τον κώδικά τις εφαρμογής χωρίς, να απαιτείται κάποια διεπιφάνεια σύνδεσης του μοντέλου δεδομένων με την εφαρμογή.

Για τη διαχείριση των πληροφοριών σχετικά με συγκοινωνιακά δίκτυα και άλλες οντότητες που αφορούν το σύστημα επιλέχθηκε η σχεσιακή βάση δεδομένων **Sybase** [7] και χρησιμοποιήθηκε ένα ενδιάμεσο στρώμα, **TOPLink** [8], για την προσπέλαση των δεδομένων.

Στο υπολογιστικό μέρος του συστήματος στο οποίο γίνεται επεξεργασία της πληροφορίας για τον υπολογισμό σχεδίων ταξιδιού, ακολουθήθηκε η προσέγγιση των *αυτόνομων πρακτόρων* [9]. Πέρα από το ενδιαφέρον που παρουσιάζει η μελέτη αυτού του τομέα της τεχνολογίας λογισμικού, άλλοι λόγοι που μας οδήγησαν σ' αυτή την επιλογή είναι η ανάγκη για ευφυή επεξεργασία δεδομένων καθώς και η απαίτηση για αυτόνομη συμπεριφορά του συστήματος. Επιπλέον, η χρησιμοποίηση αυτόνομων πρακτόρων μπορεί να συνεισφέρει ικανοποιητικά στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας που παρουσιάζει η λειτουργία του συστήματος.

Χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού Java, το σύστημα TOPLink, και μια σχεσιακή βάση δεδομένων (Sybase), εφαρμόσαμε το μοντέλο αναπαράστασης συγκοινωνιακών δικτύων για το συγκοινωνιακό δίκτυο της Ελλάδας. Συγκεκριμένα επιλέξαμε ένα υποσύνολο των κόμβων του συγκοινωνιακού δικτύου τους οποίους εισάγαμε στη βάση δεδομένων σύμφωνα με το μοντέλο αναπαράστασης. Επιπλέον

υλοποιήσαμε μικρά τμήματα λογισμικού για να ελέγξουμε τη λειτουργικότητα και την απόδοση του μοντέλου.

Για την αξιολόγηση του αλγορίθμου αναζήτησης μονοπατιών σε συγκοινωνιακά δίκτυα, χρησιμοποιήσαμε έναν μικρό ιδεατό γράφο συγκοινωνιακού δικτύου και αναπτύξαμε μια απλή υλοποίηση του. Από την εφαρμογή του αλγορίθμου διαπιστώσαμε καταρχήν την ορθότητά του αλλά και την εφαρμοσιμότητά του για την αντιμετώπιση του προβλήματος για το οποίο προορίζεται.

Για την υλοποίηση των αυτόνομων πρακτόρων λογισμικού, χρησιμοποιήσαμε ένα περιβάλλον ανάπτυξης αυτόνομων πρακτόρων (Aglets [82]). Στα πλαίσια της εργασίας μας υλοποιήσαμε ορισμένες από τις λειτουργίες των πρακτόρων και αναπτύξαμε το θεωρητικό υπόβαθρο για την ανάπτυξη της συνολικής πλατφόρμας υλοποίησης του συστήματος.

Κεφάλαιο 2

Περιγραφή του προβλήματος

Ο σχεδιασμός ή προγραμματισμός ενός ταξιδιού είναι μια δραστηριότητα που οι περισσότεροι άνθρωποι αντιμετωπίζουν, άλλοι συχνά και άλλοι λιγότερο συχνά. Χρησιμοποιούμε τον όρο “*σχεδιασμός - προγραμματισμός ταξιδιού*” για να δηλώσουμε μια διαδικασία εύρεσης δρομολογίων για την πραγματοποίηση μιας μετακίνησης από έναν κόμβο ενός συγκοινωνιακού δικτύου σε έναν άλλο. Μια μετακίνηση μπορεί να πραγματοποιείται από ιδιωτικά ή δημόσια μέσα μεταφοράς. Στην πρώτη περίπτωση ο επιβάτης διαθέτει το ή τα μέσα μεταφοράς, ενώ στη δεύτερη περίπτωση τα μέσα μεταφοράς διατίθενται από εταιρίες μεταφορών. Στην παρούσα εργασία εστιάζουμε το ενδιαφέρον μας σε ταξίδια με δημόσια μέσα μεταφοράς. Για το υπόλοιπο αυτού του κειμένου, με τον όρο ταξίδι θα αναφερόμαστε σε ταξίδι με δημόσια μέσα μεταφοράς. Για το σχεδιασμό ενός ταξιδιού συνήθως κάποιος απευθύνεται σε κάποιον ταξιδιωτικό πράκτορα ο οποίος έχει πρόσβαση σε πληροφορίες για προγράμματα δρομολογίων διαφόρων εταιριών. Ο ταξιδιωτικός πράκτορας, αφού συλλέξει πληροφορίες για διαφορετικά μέσα μεταφοράς και για διαφορετικές εταιρίες, τις συνδυάζει για να σχεδιάσει ένα ταξίδι που θα ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του πελάτη (επιβάτη).

Η ραγδαία ανάπτυξη του **Διαδικτύου (Internet)** και των επικοινωνιακών δυνατοτήτων που παρέχονται μέσω του **Παγκόσμιου Δικτυακού Ιστού (World Wide Web - WWW)**, επέτρεψε σε πολλές εταιρίες μεταφορών να διαθέτουν on-line τους πίνακες δρομολογίων τους [12]. Από αυτούς τους πίνακες μπορεί κανείς, εύκολα ή δύσκολα, να εντοπίσει δρομολόγια που τον ενδιαφέρουν. Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί εφαρμογές για την παροχή on-line υπηρεσιών σχεδιασμού ταξιδιών [13]. Ωστόσο, on-line υπηρεσίες σχεδιασμού ταξιδιών παρέχονται συνήθως για ένα μόνο μέσο μεταφοράς και σε ορισμένες περιπτώσεις λαμβάνουν υπόψη περισσότερες από μια εταιρίες μεταφοράς. Ωστόσο τόσο στην περίπτωση του ταξιδιωτικού πράκτορα όσο και στην περίπτωση της on-line πρόσβασης σε πληροφορίες δρομολογίων, ο σχεδιασμός ενός ταξιδιού παραμένει πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία ακόμα και όταν ενδιαφερόμαστε για ένα μόνο μέσο μεταφοράς. Αυτό οφείλεται κυρίως στη δυσκολία συνδυασμού πληροφοριών για διαφορετικά μέσα και εταιρίες μεταφοράς.

Σ’ αυτό το κεφάλαιο, καταρχήν θα μελετήσουμε τη συμπεριφορά των επιβατών και τα χαρακτηριστικά των συγκοινωνιακών δικτύων προκειμένου να κατανοήσουμε τα

ζητήματα και τα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπίσουμε και να δείξουμε γιατί είναι σημαντικό να αναπτύξουμε ένα σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών. Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τεχνικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την υλοποίηση του συστήματος. Τέτοια ζητήματα αφορούν στη μοντελοποίηση των οντοτήτων που εμπλέκονται στο σύστημα καθώς και στην ανάπτυξη και διαχείριση αποθηκευτικών και υπολογιστικών πόρων που απαιτούνται για την υλοποίηση.

2.1 Σχεδιάζοντας ένα ταξίδι

Τα σημεία αναχώρησης και άφιξης ενός ταξιδιού μπορούν να προσδιοριστούν με διάφορους τρόπους. Για παράδειγμα ο προορισμός ενός ταξιδιού μπορεί να είναι μια πόλη ή χωριό ή ακόμη και κάποιος συγκεκριμένος σταθμός μέσων μεταφοράς όπως αεροδρόμιο, λιμάνι σταθμός λεωφορείων ή σιδηροδρομικός σταθμός. Ένα ταξίδι μπορεί να χαρακτηριστεί είτε ως **τοπικό (local)** είτε ως ταξίδι **μεγάλης απόστασης (long distance)**. Ένα τοπικό ταξίδι αφορά μια μετακίνηση στα όρια μιας μικρής γεωγραφικής περιοχής, ενώ ένα ταξίδι μεγάλης απόστασης αφορά μια μετακίνηση μεταξύ απομακρυσμένων περιοχών.

Ένα ταξίδι μπορεί να πραγματοποιείται από ένα ή περισσότερα **διασυνδεδεμένα δρομολόγια**. Η πιθανότητα ένα ταξίδι να χρειάζεται περισσότερα από ένα δρομολόγια για να πραγματοποιηθεί, είναι μεγαλύτερη σε μεγάλης απόστασης ταξίδια ή σε ταξίδια με τελικό προορισμό απομακρυσμένες περιοχές ή περιοχές που δεν προσεγγίζονται από όλα τα μέσα μεταφοράς. Σε ταξίδια πολλαπλών δρομολογίων, είναι πιθανόν να χρησιμοποιούνται περισσότερα από ένα διαφορετικά μέσα μεταφοράς και είναι πιθανό ο επιβάτης να χρειαστεί να αλλάξει μέσο μεταφοράς σε ορισμένους ενδιάμεσους σταθμούς. Τέτοιες αλλαγές σαφώς αυξάνουν τη διάρκεια του ταξιδιού ενώ είναι δυνατόν να αυξήσουν και το κόστος. Επιπλέον είναι σημαντικό, σε περιπτώσεις που απαιτείται αλλαγή μέσου μεταφοράς, να μεσολαβεί αρκετός χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών δρομολογίων ώστε να μπορεί ο επιβάτης να αντιμετωπίσει απρόσμενες καταστάσεις, όπως για παράδειγμα καθυστέρηση σε κάποιο δρομολόγιο.

Η γεωγραφική απόσταση του σημείου αναχώρησης από το σημείο άφιξης, το είδος των μέσων μεταφοράς, οι εταιρίες μεταφορών και το πλήθος των ενδιάμεσων σταθμών καθορίζουν τη χρονική διάρκεια ενός ταξιδιού. Οι ίδιοι παράγοντες καθορίζουν και το χρηματικό κόστος του ταξιδιού. Ωστόσο, ζητήματα ανταγωνισμού των εταιριών διαφοροποιούν το κόστος σε πολλές περιπτώσεις, ανεξάρτητα από τους παραπάνω παράγοντες. Επίσης, ανάλογα με το μέσο μεταφοράς και την εταιρία, επιπλέον υπηρεσίες, όπως φαγητό και σινεμά, (εκτός από την μετακίνηση αυτή καθ' αυτή) μπορεί να παρέχονται στους επιβάτες κατά τη διάρκεια του ταξιδιού.

2.2 Το συγκοινωνιακό δίκτυο

Σ' αυτή την ενότητα μελετάμε τα χαρακτηριστικά ενός συγκοινωνιακού δικτύου για δημόσια μέσα μεταφοράς. Καταρχήν προσδιορίζουμε τις βασικές οντότητες από τις οποίες αποτελείται ένα συγκοινωνιακό δίκτυο. Στη συνέχεια διερευνούμε τρόπους για την αναπαράσταση του και τελικά αναλύουμε το χαρακτηριστικό τις πολύ-τροπικότητας

που παρουσιάζει ένα δίκτυο συγκοινωνιών, καθώς αυτό προσδίδει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και πολυπλοκότητα στο πρόβλημα της σχεδίασης ταξιδιών.

2.2.1 Οντότητες συγκοινωνιακών δικτύων

Ένα δίκτυο συγκοινωνιών μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από φυσικές και εννοιολογικές οντότητες.

2.2.1.1 Φυσικές οντότητες

Κόμβος συγκοινωνιακού δικτύου (Node)

Ένας κόμβος συγκοινωνιακού δικτύου μπορεί να θεωρηθεί μια τοποθεσία με γεωγραφική υπόσταση στην οποία φτάνουν ή αναχωρούν μέσα μεταφοράς. Δηλαδή, κόμβος συγκοινωνιακού δικτύου μπορεί να είναι μια πόλη, ένα χωριό, ή μια ευρύτερη γεωγραφική περιοχή. Επίσης ως κόμβος μπορεί να θεωρηθεί και ένας σταθμός μέσων μεταφοράς. Δηλαδή λιμάνια, αεροδρόμια, σταθμοί τρένων και λεωφορείων μπορούν να είναι κόμβοι ενός συγκοινωνιακού δικτύου.

Μέσο μεταφοράς (Transport media)¹

Ένα μέσο μεταφοράς είναι ένα όχημα που εκτελεί δρομολόγια σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο.

Εταιρία συγκοινωνιών (Transport operator)

Σε ένα δίκτυο συγκοινωνιών, οι υπηρεσίες συγκοινωνιών παρέχονται από εταιρίες που διαθέτουν μέσα μεταφοράς ενός ή περισσοτέρων από τους παραπάνω τύπους.

2.2.1.2 Εννοιολογικές οντότητες

Τύπος μετακίνησης (Transport Type)

Σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο, ορίζουμε τρεις διαφορετικούς τύπους μετακινήσεων: Χερσαίες μετακινήσεις, Θαλάσσιες μετακινήσεις και Εναέριες μετακινήσεις.

Τύπος μέσου μεταφοράς

Σε ένα δίκτυο συγκοινωνιών οι μεταφορές πραγματοποιούνται από μέσα μεταφοράς. Στις δημόσιες συγκοινωνίες χρησιμοποιούνται τέσσερις διαφορετικοί τύποι μέσων μεταφοράς:

1 Λεωφορείο

¹ Στην παρούσα εργασία μελετάμε υπεραστικά ταξίδια. Γι' αυτό το λόγο ενδιαφερόμαστε μόνο για δημόσια μέσα μεταφοράς που πραγματοποιούν υπεραστικά ταξίδια. Έτσι στα μέσα μεταφοράς δεν συμπεριλαμβάνονται το μετρό το ταξί, και το τρόλεϊ που χρησιμοποιούνται για μετακινήσεις μέσα σε πόλεις.

- 2 Τρένο
- 3 Πλοίο
- 4 Αεροπλάνο

Τα δύο πρώτα χρησιμοποιούνται σε χερσαίες μετακινήσεις, το τρίτο σε θαλάσσιες μετακινήσεις και το τελευταίο σε εναέριες μετακινήσεις.

Για κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες μέσω μεταφοράς μπορεί να υπάρχουν και υποκατηγορίες. Για παράδειγμα στην κατηγορία των πλοίων είναι δυνατόν να έχουμε υποκατηγορίες όπως *Επιβατικά – Οχηματαγωγά πλοία, Ferry boat, και Δελφίνια*. Επίσης στην κατηγορία των τρένων μπορούμε να έχουμε κατηγορίες όπως *Συμβατικές αμαξοστοιχίες και Υπερταχεία*.

Δρομολόγιο (Itinerary)

Μια εταιρία μεταφοράς οργανώνει τις υπηρεσίες της με ένα πρόγραμμα δρομολογίων. Ένα δρομολόγιο αντιστοιχίζεται σε μια μετακίνηση πάνω σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο από έναν κόμβο σε έναν άλλο. Ένα δρομολόγιο ξεκινάει μια δεδομένη χρονική στιγμή από την αφετηρία, διαρκεί κάποιο χρονικό διάστημα, πιθανόν να περνάει από μερικούς ενδιάμεσους σταθμούς και καταλήγει στον προορισμό. Το μέσο μεταφοράς, η διάρκεια, το κόστος και άλλα χαρακτηριστικά ή υπηρεσίες που παρέχονται κατά τη διάρκεια ενός δρομολογίου, ορίζουν ένα σύνολο ιδιοτήτων για το δρομολόγιο.

2.2.2 Αναπαράσταση συγκοινωνιακού δικτύου

Η αναπαράσταση ενός συγκοινωνιακού δικτύου μπορεί να είναι *φυσική / γεωγραφική* ή *εννοιολογική*. Μια φυσική αναπαράσταση ορίζει ένα συγκοινωνιακό δίκτυο με βάση το είδος του μέσου μεταφοράς που πραγματοποιεί τις μετακινήσεις σ' αυτό (έδαφος, αέρας ή νερό). Μια εννοιολογική αναπαράσταση ορίζει ένα δίκτυο με βάση την έννοια του δρομολογίου. Οι δύο διαφορετικοί τρόποι αναπαράστασης φαίνονται στον Πίνακα 2.1.

Είδος αναπαράστασης	Ορισμός συγκοινωνιακού δικτύου
Φυσική / Γεωγραφική	Με βάση το είδος του μέσου μεταφοράς
Εννοιολογική	Με βάση τα δρομολόγια

Πίνακας 2.1 Τρόποι αναπαράστασης συγκοινωνιακών δικτύων.

Ένα συγκοινωνιακό δίκτυο που ορίζεται από μια εννοιολογική αναπαράσταση βασίζεται σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο που ορίζεται από μια φυσική αναπαράσταση. Για παράδειγμα, ένα σχεδιάγραμμα (χάρτης) των οδικών αρτηριών μιας γεωγραφικής περιοχής είναι μια φυσική αναπαράσταση που ορίζει το οδικό συγκοινωνιακό δίκτυο της περιοχής. Αντίστοιχα, ένας πίνακας δρομολογίων λεωφορείων που συνδέουν κόμβους της ίδιας περιοχής είναι μια εννοιολογική αναπαράσταση που ορίζει ένα δίκτυο οδικών δρομολογίων με λεωφορείο στο φυσικό οδικό δίκτυο της περιοχής. Η φυσική αναπαράσταση χρησιμοποιείται συνήθως για ταξίδια με ιδιωτικά μέσα μεταφοράς ενώ η εννοιολογική αναπαράσταση χρησιμοποιείται για ταξίδια με δημόσια μέσα μεταφοράς. Πράγματι όταν ένας επιβάτης ταξιδεύει με το ιδιωτικό του αυτοκίνητο, ενδιαφέρεται για τη διάταξη των οδικών αρτηριών της περιοχής αφού είναι ελεύθερος να κινηθεί σε οποιαδήποτε από αυτές επιτρέπει ο κώδικας οδικής κυκλοφορίας. Όταν όμως ένας επιβάτης ταξιδεύει με λεωφορείο ενδιαφέρεται μόνο για τα δρομολόγια των λεωφορείων, αφού αυτά κινούνται μόνο σε ένα υποσύνολο των οδικών αρτηριών και προσεγγίζουν ορισμένους μόνο από τους κόμβους από τους οποίους περνάνε οδικοί άξονες.

Η διαφορά της φυσικής από την εννοιολογική αναπαράσταση είναι ότι στην πρώτη περίπτωση ορίζεται ένα σύνολο από πιθανές φυσικές διαδρομές (για παράδειγμα οδικές αρτηρίες ή σιδηροδρομικές γραμμές) που μπορούν να ακολουθηθούν από κάποιο μέσο μεταφοράς, ενώ στη δεύτερη περίπτωση ορίζεται ένα συγκεκριμένο σύνολο δρομολογίων (διαδρομών) που εκτελούνται από μέσα μεταφοράς. Συνήθως, μια εννοιολογική αναπαράσταση ορίζει ένα υποσύνολο μιας φυσικής αναπαράστασης. Για παράδειγμα, τα λεωφορεία κινούνται στο οδικό δίκτυο μιας περιοχής. Ωστόσο μόνο ένα μέρος του οδικού δικτύου είναι προσπελάσιμο από τα δρομολόγια των λεωφορείων. Δηλαδή το δίκτυο των δρομολογίων των λεωφορείων (εννοιολογική αναπαράσταση) μπορεί να θεωρηθεί ως ένα υποσύνολο του οδικού δικτύου (φυσική αναπαράσταση). Αυτό το υποσύνολο ορίζει εκείνο το μέρος του οδικού δικτύου στο οποίο οι επιβάτες μπορούν να μετακινηθούν χρησιμοποιώντας λεωφορείο.

Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα φυσικής αναπαράστασης συγκοινωνιακού δικτύου. Το Σχήμα 2.1 απεικονίζει το οδικό δίκτυο μιας περιοχής της Ελλάδος. Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζεται ένα πρόγραμμα δρομολογίων λεωφορείων με αφετηρία την Καβάλα και τελικό προορισμό τη Θεσσαλονίκη. Αυτό το πρόγραμμα δρομολογίων είναι μια εννοιολογική αναπαράσταση συγκοινωνιακού δικτύου για ένα μέρος του οδικού δικτύου που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι μια εννοιολογική αναπαράσταση μπορεί να βασίζεται σε περισσότερες από μία διαφορετικές φυσικές αναπαραστάσεις. Δηλαδή, αν θεωρήσουμε μια φυσική αναπαράσταση για το οδικό δίκτυο μιας περιοχής και μια φυσική αναπαράσταση για το σιδηροδρομικό δίκτυο της ίδιας περιοχής τότε το πρόγραμμα δρομολογίων λεωφορείων και τρένων σ' αυτή την περιοχή μπορεί να ορίζει μια εννοιολογική αναπαράσταση.



Σχήμα 2.1: Φυσική αναπαράσταση οδικού δικτύου.

	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ5	Δ6	Δ7
Καβάλα	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00
Ελευθερούπολη	07.15	08.15	09.15	10.15	11.15	12.15	13.15	14.15
Μουσθένη	07.30	08.30	09.30	10.30	11.30	12.30	13.30	14.30
Πλατανότοπος	07.50	08.50	09.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50
Νέα Κερδύλια	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00
Ασπροβάλτα	08.15	09.15	10.15	11.15	12.15	13.15	14.15	15.15
Βρασνά	08.30	09.30	10.30	11.30	12.30	13.30	14.30	15.30
Λαγκαδίκια	09.10	10.10	11.10	12.10	13.10	14.10	15.10	16.10
Θεσσαλονίκη	09.30	10.30	11.30	12.30	13.30	14.30	15.30	16.30

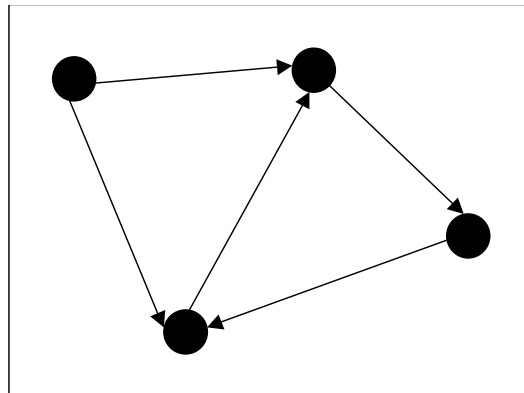
Πίνακας 2.2 : Μια εννοιολογική αναπαράσταση για το οδικό δίκτυο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1

2.2.2.1 Εννοιολογική αναπαράσταση

Η απαίτηση για παροχή υπηρεσιών σχεδίασης ταξιδιών με δημόσια μέσα μεταφοράς οδηγεί στη μοντελοποίηση των δικτύων με εννοιολογικές αναπαραστάσεις. Επιπλέον η εννοιολογική αναπαράσταση επιτρέπει τη δημιουργία μιας ομοιόμορφης όψης για συγκοινωνιακά δίκτυα διαφορετικών τύπων (χερσαία, θαλάσσια, εναέρια).

Θα μπορούσαμε να αναπαραστήσουμε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο με μία μόνο εννοιολογική αναπαράσταση που θα περιλαμβάνει όλες τις φυσικές αναπαραστάσεις. Επιλέγοντας μία μόνο εννοιολογική αναπαράσταση εξασφαλίζουμε το πλεονέκτημα μιας μόνο ομοιόμορφης άποψης (view) για όλα τα δρομολόγια ανεξάρτητα από το μέσο μεταφοράς και την εταιρία. Ωστόσο, με αυτόν τον τρόπο αναπαράστασης καθίσταται πολύπλοκο να ορίσουμε μια άποψη για δρομολόγια ενός μόνο μέσου μεταφοράς ή μερικών μόνο μέσων. Επιπλέον, απόψεις για συγκεκριμένες μόνο εταιρίες είναι επίσης πολύπλοκο να οριστούν με μια μόνο εννοιολογική αναπαράσταση. **Γι' αυτό το λόγο επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε μια εννοιολογική αναπαράσταση για κάθε μέσο μεταφοράς και για κάθε εταιρία.** Με αυτόν τον τρόπο, όταν ενδιαφερόμαστε για ένα μόνο μέσο και μία μόνο εταιρία έχουμε άμεσα μια εννοιολογική αναπαράσταση. Αν πρέπει να συνδυάσουμε περισσότερα μέσα μεταφοράς και περισσότερες εταιρίες κατασκευάζουμε μια εννοιολογική αναπαράσταση παίρνοντας την ένωση πολλών εννοιολογικών αναπαραστάσεων.

Μπορούμε να μοντελοποιήσουμε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο με μια εννοιολογική αναπαράσταση χρησιμοποιώντας έναν κατευθυνόμενο γράφο. Οι κόμβοι του γράφου αντιστοιχίζονται σε κόμβους του συγκοινωνιακού δικτύου και οι ακμές σε δρομολόγια. Μια τέτοια αναπαράσταση συγκοινωνιακού δικτύου παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.2. Οι κορυφές του γράφου αναπαριστούν κόμβους του συγκοινωνιακού δικτύου. Κάθε ακμή του γράφου που συνδέει δύο κόμβους αναπαριστά ένα δρομολόγιο με αφετηρία τον κόμβο από τον οποίο ξεκινάει το δρομολόγιο και προορισμό τον κόμβο στον οποίο καταλήγει. Ένας γράφος όπως αυτός στο Σχήμα 2.2 αναπαριστά πληροφορίες δρομολογίων παρόμοιες με αυτές του Πίνακα 2.2.



Σχήμα 2.2: Εννοιολογική αναπαράσταση συγκοινωνιακού δικτύου

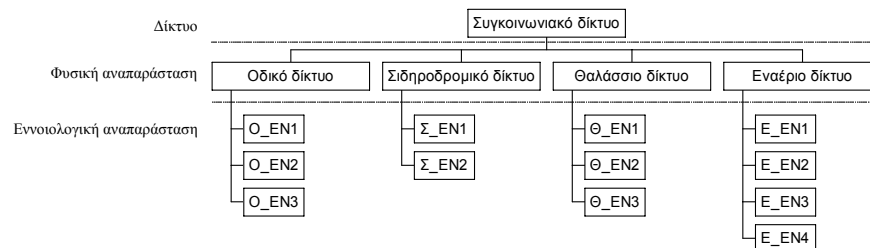
2.2.3 Πολύ-τροπικότητα συγκοινωνιακών δικτύων

Ας θεωρήσουμε το συγκοινωνιακό δίκτυο μιας γεωγραφικής περιοχής. Ανάλογα με τη φυσική αναπαράσταση, δηλαδή το είδος του μέσου μεταφοράς, ορίζουμε για μια γεωγραφική περιοχή, τέσσερα διαφορετικά συγκοινωνιακά δίκτυα (τέσσερις φυσικές αναπαραστάσεις):

- **οδικό δίκτυο**

- σιδηροδρομικό δίκτυο
- θαλάσσιο δίκτυο
- εναέριο δίκτυο

Αν για κάποιο μέσο μεταφοράς (φυσική αναπαράσταση) παρέχονται υπηρεσίες μεταφοράς από περισσότερες από μια εταιρίες, τότε ορίζουμε για κάθε φυσική αναπαράσταση ένα σύνολο από εννοιολογικές αναπαραστάσεις (μια για κάθε εταιρία). Κάθε τέτοια εννοιολογική αναπαράσταση θα ορίζει ένα δίκτυο συγκοινωνιών για ένα συγκεκριμένο μέσο μεταφοράς και για μια συγκεκριμένη εταιρία. Για παράδειγμα, το σύνολο των δρομολογίων μιας ναυτιλιακής εταιρίας, είναι μια εννοιολογική αναπαράσταση και ορίζει ένα δίκτυο - υποσύνολο του θαλάσσιου δικτύου - (φυσική αναπαράσταση) μιας θαλάσσιας περιοχής. Προφανώς είναι δυνατόν πολλές εταιρίες να εκτελούν θαλάσσια δρομολόγια στο ίδιο θαλάσσιο δίκτυο. Δηλαδή είναι δυνατόν να υπάρχουν πολλές διαφορετικές εννοιολογικές αναπαραστάσεις για μια φυσική αναπαράσταση ενός δικτύου συγκοινωνιών. Κάθε εννοιολογική αναπαράσταση ορίζει ένα υποσύνολο του συγκοινωνιακού δικτύου και είναι πιθανό να υπάρχουν επικαλύψεις μεταξύ διαφορετικών εννοιολογικών αναπαραστάσεων.



Σχήμα 2.3 : Φυσική και εννοιολογική αναπαράσταση συγκοινωνιακού δικτύου.

Στο Σχήμα 2.3 φαίνεται ο ορισμός φυσικών και εννοιολογικών αναπαραστάσεων για το συγκοινωνιακό δίκτυο μιας γεωγραφικής περιοχής. Ένα συγκοινωνιακό δίκτυο μπορούμε να το δούμε σε δύο διαφορετικά επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο (Φυσική αναπαράσταση) το δίκτυο ορίζεται από ένα σύνολο φυσικών αναπαραστάσεων. Στο δεύτερο επίπεδο (Εννοιολογική αναπαράσταση) το δίκτυο ορίζεται από ένα σύνολο εννοιολογικών αναπαραστάσεων (Σχήμα 2.3). Η ένωση όλων των εννοιολογικών αναπαραστάσεων αποτελεί μια καθολική άποψη για το συγκοινωνιακό δίκτυο μιας περιοχής και περιλαμβάνει όλα τα μέσα μεταφοράς και όλες τις εταιρίες.

Κάθε δίκτυο που ορίζεται στο επίπεδο της εννοιολογικής αναπαράστασης για ένα δίκτυο του επιπέδου της φυσικής αναπαράστασης, αντιστοιχεί σε υπηρεσίες μεταφοράς που παρέχονται από διαφορετικές εταιρίες μεταφοράς. Για παράδειγμα στο Σχήμα 2.3, το δίκτυο Θ_EN1 μπορούμε να θεωρήσουμε ότι είναι τα δρομολόγια μιας συγκεκριμένης ναυτιλιακής εταιρίας για τη θαλάσσια περιοχή που καλύπτεται από το **Θαλάσσιο δίκτυο**. Έτσι σε περίπτωση που ενδιαφερόμαστε για σχεδιασμό ταξιδιών με ένα μόνο μέσο μεταφοράς χρειάζεται να εξετάζουμε ένα από τα δίκτυα που ορίζονται στο επίπεδο της φυσικής αναπαράστασης και όλα τα δίκτυα που ορίζονται για το συγκεκριμένο δίκτυο

στο επίπεδο της εννοιολογικής αναπαράστασης. Αν ενδιαφερόμαστε για ταξίδια με περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς πρέπει να εξετάσουμε τα αντίστοιχα δίκτυα που ορίζονται στο επίπεδο της φυσικής αναπαράστασης καθώς και τα αντίστοιχα δίκτυα που ορίζονται στο επίπεδο της εννοιολογικής αναπαράστασης.

Τα δύο επίπεδα αναπαράστασης εισάγουν δύο μορφές **πολύ-τροπικότητας** σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο. Το πρώτο επίπεδο αναπαράστασης εισάγει *πολύ-τροπικότητα ως προς το είδος του μέσου μεταφοράς* ενώ το δεύτερο επίπεδο αναπαράστασης εισάγει *πολύ-τροπικότητα ως προς την εταιρία μεταφοράς*. Η έννοια της πολύ-τροπικότητας αναφέρεται στην ιδιότητα των πολλαπλών συνδέσεων, από διαφορετικά μέσα μεταφοράς και εταιρίες, μεταξύ των ίδιων κόμβων σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο.

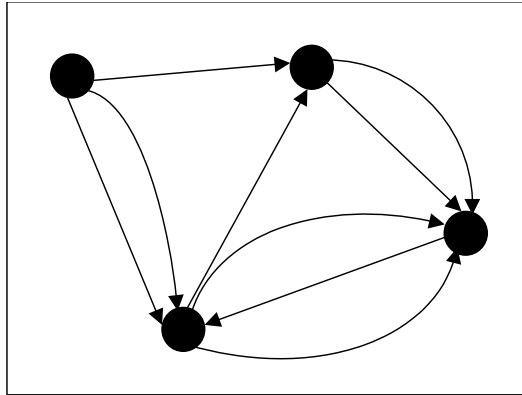
2.2.3.1 Μόνο-τροπικό δίκτυο

Ας θεωρήσουμε ένα δίκτυο συγκοινωνιών στο επίπεδο της εννοιολογικής παράστασης (Σχήμα 2.2). Αυτό το δίκτυο περιλαμβάνει δρομολόγια που εκτελούνται από ένα μόνο μέσο μεταφοράς και μια μόνο εταιρία. Τότε, οποιοδήποτε δύο κόμβοι του δικτύου θα συνδέονται με το ίδιο μέσο μεταφοράς και οι υπηρεσίες θα παρέχονται από την ίδια εταιρία. Ένα τέτοιο δίκτυο θα χαρακτηρίζεται με τον όρο **μόνο-τροπικό (uni-modal)** και μπορεί να μοντελοποιηθεί με έναν **απλά συνδεδεμένο γράφο (single-linked graph)** όπως αυτό στο Σχήμα 2.2. Ορίζουμε έναν γράφο ως απλά συνδεδεμένο όταν για οποιοδήποτε ζεύγος κόμβων, έστω A, B, υπάρχει ένας το πολύ σύνδεσμος με αφετηρία τον κόμβο A και προορισμό τον κόμβο B και ένας το πολύ σύνδεσμος με αφετηρία τον κόμβο B και προορισμό τον κόμβο A.

2.2.3.2 Πολύ-τροπικό δίκτυο

Ας θεωρήσουμε ένα δίκτυο στο επίπεδο της φυσικής αναπαράστασης ή ένα δίκτυο που ορίζεται από πολλές φυσικές αναπαραστάσεις. Αυτή είναι μια πιο ρεαλιστική υπόθεση μια που οι πραγματικές απαιτήσεις στο πεδίο των μεταφορών επιβάλουν το συνδυασμό περισσότερων από ένα μέσων μεταφοράς για την πραγματοποίηση ταξιδιών. Ένα τέτοιο δίκτυο συγκοινωνιών συνδυάζει περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς και πιθανόν περισσότερες από μια εταιρίες. Ένα τέτοιο δίκτυο θα χαρακτηρίζεται ως **πολύ-τροπικό (multi-modal)**. Αυτός ο χαρακτηρισμός χρησιμοποιείται για να δείξει το συνδυασμό πολλών τύπων μέσων μεταφοράς και πολλών εταιριών.

Αντίθετα με ένα μόνο-τροπικό δίκτυο, σε ένα πολύ-τροπικό δίκτυο είναι δυνατόν δύο κόμβοι να συνδέονται από περισσότερα του ενός δρομολόγια που καθένα θα πραγματοποιείται από διαφορετικό μέσο μεταφοράς και διαφορετική εταιρία. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι ένας επιβάτης μπορεί να μετακινηθεί από έναν κόμβο σε έναν άλλο με περισσότερους από έναν τρόπους. Ένα πολύ-τροπικό δίκτυο μπορεί να μοντελοποιηθεί με έναν **πολλαπλά συνδεδεμένο γράφο (multi-linked graph)**. Ορίζουμε έναν γράφο ως πολλαπλά συνδεδεμένο, όταν σ' αυτόν υπάρχουν τουλάχιστον δύο σύνδεσμοι με την ίδια αφετηρία και προορισμό. Ο γράφος στο Σχήμα 2.2 είναι απλά συνδεδεμένος. Στο Σχήμα 2.4 παρουσιάζουμε τον προηγούμενο γράφο τροποποιημένο ώστε να είναι πολλαπλά συνδεδεμένος.



Σχήμα 2.4 : Αναπαράσταση πολύ-τροπικού δικτύου

2.3 Οι επιβάτες

Για τον προγραμματισμό ενός ταξιδιού, ένας επιβάτης πρέπει να πάρει αποφάσεις για ένα σύνολο από παράγοντες και παραμέτρους που σχετίζονται με το ταξίδι. Στόχος είναι να επιλεγεί ένα ταξίδι που να ανταποκρίνεται τόσο στις απαιτήσεις όσο και στις δυνατότητες του επιβάτη. Καταρχήν ο επιβάτης θα πρέπει να προσδιορίσει την αφετηρία και τον προορισμό του ταξιδιού. Εξαιτίας της πολύ-τροπικότητας των συγκοινωνιακών δικτύων είναι δυνατόν να υπάρχουν πολλά διαφορετικά ταξίδια που συνδέουν τους ίδιους κόμβους του συγκοινωνιακού δικτύου και τα οποία διαφέρουν ως προς την ικανοποίηση ενός συνόλου κριτηρίων. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- **Είδη μέσων μεταφοράς**
- **Εταιρίες**
- **Διάρκεια ταξιδιού**
- **Κόστος ταξιδιού**
- **Πλήθος ενδιάμεσων κόμβων**

Όταν ένας επιβάτης σχεδιάζει ένα ταξίδι, πρέπει να αποφασίσει για τα είδη των μέσων μεταφοράς που επιθυμεί να χρησιμοποιήσει. Επιπλέον μπορεί να προτιμάει να ταξιδέψει με δρομολόγια συγκεκριμένων εταιριών ή και να αποκλείσει κάποιες εταιρίες για διάφορους λόγους (π.χ αξιοπιστία). Η διάρκεια του ταξιδιού, το κόστος και το πλήθος των ενδιάμεσων κόμβων είναι κριτήρια με βάση τα οποία μπορεί να βελτιστοποιηθεί η διαδρομή που ακολουθείται σε ένα ταξίδι. Συνήθως οι επιβάτες επιθυμούν τη μικρότερη δυνατή διάρκεια και κόστος για ένα ταξίδι αλλά και όσο το δυνατόν λιγότερους ενδιάμεσους κόμβους.

Η συνηθισμένη διαδικασία που ακολουθείται από έναν επιβάτη όταν θέλει να σχεδιάσει ένα ταξίδι, είναι να απευθύνεται σε κάποιον ταξιδιωτικό πράκτορα. Αν και οι ταξιδιωτικοί πράκτορες έχουν πρόσβαση σε πίνακες δρομολογίων για διάφορων εταιριών είναι δύσκολο να συνδυάσουν δρομολόγια από διαφορετικές εταιρίες καθώς και

διαφορετικά μέσα μεταφοράς. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ταξιδιωτικοί πράκτορες δεν διαθέτουν μια ολοκληρωμένη άποψη για όλα τα μέσα μεταφοράς και όλες τις εταιρίες αλλά για κάθε εταιρία ξεχωριστά. Επιπλέον σε πολλές περιπτώσεις οι ταξιδιωτικοί πράκτορες δεν διαθέτουν πληροφορίες για τοπικά δίκτυα συγκοινωνιών με αποτέλεσμα να είναι αδύνατον να σχεδιάσουν μια διαδρομή μέχρι τον προορισμό που επιθυμεί ο επιβάτης. Επομένως είναι δύσκολο ακόμα και για ένα ταξιδιωτικό πράκτορα να σχεδιάσει ένα ταξίδι βελτιστοποιημένο ως προς τα κριτήρια (διάρκεια, κόστος κτλ.) που θέτει ένας επιβάτης.

2.4 Τυπικός ορισμός του προβλήματος

Ορίζουμε τον **σχεδιασμό ταξιδιού (trip planning)** ως μια διαδικασία εύρεσης μιας ακολουθίας διασυνδεδεμένων δρομολογίων που συνδέουν δύο κόμβους του συγκοινωνιακού δικτύου. Το αποτέλεσμα μιας τέτοιας διαδικασίας είναι ένα ή περισσότερα **σχέδια ταξιδιού (travel schedule)**.

Ένα σχέδιο ταξιδιού μπορεί να οριστεί ως ένα σύνολο δρομολογίων που είναι διατεταγμένα με τέτοιο τρόπο ώστε:

- **αφετηρία του πρώτου δρομολογίου να συμπίπτει με την αφετηρία του ταξιδιού**
- **προορισμός του τελευταίου δρομολογίου να συμπίπτει με τον προορισμό του ταξιδιού**
- **αφετηρία κάθε δρομολογίου (εκτός του πρώτου) να συμπίπτει με τον προορισμό του προηγούμενου δρομολογίου**

Μπορούμε να θεωρήσουμε ένα σχέδιο ταξιδιού ως ένα μονοπάτι σε ένα γράφο όπου οι κορυφές του αντιστοιχούν σε κόμβους του συγκοινωνιακού δικτύου και οι ακμές του σε δρομολόγια. Κάθε δρομολόγιο του μονοπατιού θα κατέχει ένα σύνολο από ιδιότητες που θα προσδιορίζουν κάποια χαρακτηριστικά του όπως το μέσο μεταφοράς, το κόστος, τη διάρκεια, κτλ. Επιπλέον, ένα μονοπάτι θα κατέχει ένα σύνολο από ιδιότητες που προκύπτουν από το άθροισμα των ιδιοτήτων των δρομολογίων από τα οποία αποτελείται. Για παράδειγμα η χρονική διάρκεια ενός μονοπατιού θα προκύπτει ως το άθροισμα των χρονικών διαρκειών όλων των δρομολογίων από τα οποία αποτελείται. Το πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει ένα σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών είναι η εύρεση ενός ή περισσότερων σχεδίων ταξιδιών, που είναι προσαρμοσμένα σε προτιμήσεις των επιβατών και βελτιστοποιημένα ως προς ένα σύνολο κριτηρίων.

Στο [14] δίδεται μια τυπολογική περιγραφή για το πρόβλημα που αναφέρεται με τον όρο **Σχεδιασμός – Προγραμματισμός Μεταφορών (Transportation Planning and Scheduling)**. Αυτή η εργασία πραγματεύεται το πρόβλημα του σχεδιασμού μεταφορών σε μια γενικότερη θεώρηση σύμφωνα με την οποία “πακέτα” (εμπορεύματα, αντικείμενα, άνθρωποι κτλ.) πρέπει να μεταφερθούν από ένα σημείο σε ένα άλλο χρησιμοποιώντας κάποια μέσα μεταφοράς, ικανοποιώντας ταυτόχρονα ένα σύνολο από κριτήρια. Στην εργασία που παρουσιάζεται στο [14] αντιμετωπίζονται δύο διαφορετικές

όψεις του προβλήματος. Η πρώτη αφορά τη χωρική περιγραφή των οντοτήτων (κόμβοι, σταθμοί μέσω μεταφοράς) που εμπλέκονται στο πρόβλημα, τις ιδιότητες των μέσω μεταφοράς, τις απαιτήσεις των μεταφερόμενων οντοτήτων και την δυναμική της συμπεριφοράς όλων αυτών. Η πρώτη όψη αναφέρεται ως το *Βασικό Δυναμικό Σύστημα* (*Basic Dynamic System*). Η δεύτερη όψη αφορά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων για τον έλεγχο των οντοτήτων του συστήματος και αναφέρεται ως *Δομή Λήψης Αποφάσεων* (*Decision-making Structure*). Σ' αυτή την εργασία προτείνεται η χρησιμοποίηση της περιγραφής για τη μοντελοποίηση ειδικών περιπτώσεων του γενικότερου προβλήματος της σχεδίασης μεταφορών.

Στην παρούσα εργασία υιοθετούμε την τυπολογική περιγραφή που παρουσιάζεται στο [14] για να ορίσουμε το πρόβλημα του σχεδιασμού ταξιδιών με δημόσια μέσα μεταφοράς. Στην ενότητα 2.4.1.1 περιγράφουμε τις βασικές οντότητες του συστήματος και στην ενότητα 2.4.1.2 ορίζουμε μια συνθήκη αξιολόγησης της ικανοποίησης των κριτηρίων για τις λύσεις του προβλήματος.

2.4.1 Περιγραφή του συστήματος

Αυτό που θεωρούμε ως σύστημα στο πρόβλημα του σχεδιασμού ταξιδιών με δημόσια μέσα μεταφοράς αποτελείται από το συγκοινωνιακό δίκτυο και τους επιβάτες. Ένα τέτοιο σύστημα έχει μια **στατική δομή** αλλά παρουσιάζει και μια **δυναμική συμπεριφορά**. Η στατική δομή του συστήματος ορίζεται από τις βασικές του οντότητες (ενότητες 2.2 και 2.3). Ωστόσο πολλές από αυτές τις οντότητες επηρεάζονται από δυναμικούς παράγοντες και μπορούν να μεταβάλλονται σε σχέση με το χρόνο. Για παράδειγμα, υπάρχοντα δρομολόγια μπορεί να καταργηθούν ενώ μπορεί να προστεθούν νέα που πιθανόν να περιλαμβάνουν και νέους κόμβους του συγκοινωνιακού δικτύου. Επιπλέον τα χαρακτηριστικά των δρομολογίων μπορεί να αλλάζουν για διάφορους λόγους. Λόγου χάριν μπορεί να είναι προσωρινά μη διαθέσιμα ή η διάρκεια τους μπορεί να αυξάνεται εξαιτίας κακών καιρικών συνθηκών. Ακόμη και οι επιβάτες μπορεί να μεταβάλλουν τις αποφάσεις που πήραν πριν από την εκκίνηση ενός ταξιδιού, την ώρα που το ταξίδι βρίσκεται σε εξέλιξη.

Οι μεταβολές που μπορεί να υποστεί το σύστημα μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά **προγραμματισμένες μεταβολές** (για παράδειγμα ακύρωση παλαιών ή προγραμματισμός νέων δρομολογίων) και η δεύτερη **τυχαίες μεταβολές** (για παράδειγμα καιρικές συνθήκες, κυκλοφοριακό). Όταν κατασκευάζουμε ένα σχέδιο ταξιδιού, θέλουμε αυτό να ισχύει στο άμεσο μέλλον. Κατά την στιγμή του σχεδιασμού είναι δυνατόν να γνωρίζουμε τις προγραμματισμένες μεταβολές που πρόκειται να συμβούν μέχρι τη χρονική περίοδο ισχύος του σχεδίου. Για τις τυχαίες μεταβολές μπορούμε είτε να κάνουμε προβλέψεις (καιρικές συνθήκες) είτε να μην τις λάβουμε καθόλου υπόψη γιατί δεν μπορούν να προβλεφθούν (για παράδειγμα κλείσιμο κάποιου σταθμού λόγω φυσικών καταστροφών).

Στην προσέγγιση που ακολουθούμε ενδιαφερόμαστε κυρίως για τη στατική δομή του συστήματος και λιγότερο για τη δυναμική συμπεριφορά του. Για τη δυναμική συμπεριφορά του λαμβάνονται υπόψη μόνο παράγοντες οι οποίοι μπορούν να προβλεφθούν. Ο στόχος δηλαδή είναι η εύρεση σχεδίων ταξιδιού που θα ισχύουν για μια

χρονική περίοδο στο άμεσο μέλλον σύμφωνα με δεδομένα και προβλέψεις που διαθέτουμε κατά τη στιγμή του σχεδιασμού.

2.4.1.1 Στατική δομή του συστήματος

Στο [14] χρησιμοποιούνται μαθηματικοί ορισμοί για την τυποποίηση των οντοτήτων του συστήματος. Ακολουθώντας αυτή τη μεθοδολογία, χρησιμοποιούμε τους παρακάτω μαθηματικούς ορισμούς για να τυποποιήσουμε τις έννοιες που αφορούν τη στατική δομή του συστήματος :

- ένα σύνολο κόμβων, D : πόλεις ή ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές που διαθέτουν σταθμούς δημόσιων μέσων μεταφοράς.
- ένα σύνολο ιδιοτήτων για κάθε κόμβο, $Q(D)$: τέτοιες ιδιότητες μπορεί να είναι τα είδη των μέσων μεταφοράς που προσεγγίζουν τον κόμβο ή και να αφορούν πληροφορίες σχετικά με τη γεωγραφική του θέση.
- ένα σύνολο δρομολογίων, R : μεταξύ κόμβων του συνόλου D .
- ένα σύνολο ιδιοτήτων για κάθε δρομολόγιο στο R , $Q(R)$: τέτοιες ιδιότητες μπορεί να είναι η διάρκεια, το κόστος, το μέσο μεταφοράς, η εταιρία κτλ.
- το ζεύγος (D, R) αντιστοιχεί σε ένα γράφο με κόμβους τα στοιχεία του D και ακμές τα στοιχεία του R .
- ένα σύνολο $G = \{(D, R)\}$ αντιστοιχεί σε μια εννοιολογική αναπαράσταση ενός συγκοινωνιακού δικτύου.
- ένα σύνολο επιβατών, P
- ένα σύνολο προτιμήσεων / κριτηρίων για κάθε επιβάτη και για δεδομένο ταξίδι, $Q(P)$: τέτοιες προτιμήσεις μπορούν να είναι η μέγιστη επιθυμητή διάρκεια, το είδος των μέσων μεταφοράς, οι εταιρίες, το μέγιστο επιθυμητό κόστος, το μέγιστο πλήθος ενδιάμεσων προορισμών κτλ.
- ένα σύνολο σχεδίων ταξιδιών, S , που ορίζονται στο G .
- ένα σύνολο ιδιοτήτων για κάθε σχέδιο του συνόλου S , $Q(S)$: τέτοιες ιδιότητες μπορεί να είναι η συνολική διάρκεια, συνολικό κόστος κτλ., δηλαδή ιδιότητες που αφορούν το σχέδιο ταξιδιού ως ολότητα. Επιπλέον το $Q(S)$ περιλαμβάνει και τις ιδιότητες των συνόλων $Q(D)$ και $Q(R)$ αφού ένα σχέδιο ταξιδιού περιλαμβάνει δρομολόγια και κόμβους.

Μια ιδιότητα για μια οντότητα χαρακτηρίζεται από ένα **αναγνωριστικό** (o_id). Για παράδειγμα ένα δρομολόγιο θα έχει μια ιδιότητα με αναγνωριστικό “**διάρκεια δρομολογίου**”. Όταν αναφερόμαστε σε ένα συγκεκριμένο στιγμιότυπο μιας οντότητας σε κάθε ιδιότητα τις οντότητας αντιστοιχίζεται μια **τιμή** (**value**) που χαρακτηρίζει το στιγμιότυπο. Για παράδειγμα αν θεωρήσουμε ένα δρομολόγιο X με αφετηρία τον κόμβο A και προορισμό τον κόμβο B , στην ιδιότητα με αναγνωριστικό “**διάρκεια δρομολογίου**” θα έχει αντιστοιχιστεί μια τιμή, έστω 2 (ώρες). Δηλαδή κάθε στιγμιότυπο μιας οντότητας θα χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο ζευγών της μορφής $\langle o_id, value \rangle$, όπου το o_id θα είναι το αναγνωριστικό μιας ιδιότητας και το $value$ μια τιμή γι’ αυτή την ιδιότητα και για το συγκεκριμένο στιγμιότυπο.

Μια **προτίμηση** / **κριτήριο** για έναν επιβάτη χαρακτηρίζεται από ένα **αναγνωριστικό** (c_id) και μια **συνάρτηση αποδοχής** (**acceptance function**) και ορίζεται ως ένα ζεύγος $\langle c_id, acceptance_function \rangle$. Η **συνάρτηση αποδοχής** προσδιορίζει αν η τιμή μιας ιδιότητας, με αναγνωριστικό ίδιο με αυτό του κριτηρίου, ικανοποιεί το κριτήριο. Η **συνάρτηση αποδοχής** μπορεί να οριστεί σαν μια **δίτιμη συνάρτηση με τιμή 1 αν το κριτήριο ικανοποιείται και 0 διαφορετικά**.

2.4.1.2 Συνθήκη αξιολόγησης

Για έναν επιβάτη έστω p και ένα σχέδιο ταξιδιού έστω s μπορούμε να ορίσουμε μια **συνάρτηση που υπολογίζει την ικανοποίηση του επιβάτη από το σχέδιο ταξιδιού**, $satisfaction(p, s)$. Αυτή η συνάρτηση ορίζεται ως εξής:

Έστω

- $p \in P$ **ένας επιβάτης**
- $Q_p = \{ \langle c_id, f \rangle \in Q(P) \}$ **ένα σύνολο κριτηρίων**
- $s \in S$ **ένα σχέδιο ταξιδιού**
- $Q_s = \{ \langle o_id, value \rangle \in Q(S) \}$ **ένα σύνολο ιδιοτήτων του σχεδίου s**

Τότε η συνάρτηση ικανοποίησης ορίζεται όπως παρουσιάζεται στην Εξίσωση 2.1.

$$satisfaction(p, s) = \sum_{c \in Q_p} c.f(q) * (c.c_id = q.o_id), q \in Q_s$$

Εξίσωση 2.1: Συνάρτηση ικανοποίησης επιβάτη.

Είναι προφανές ότι η μέγιστη δυνατή ικανοποίηση ενός επιβάτη από ένα σχέδιο ταξιδιού είναι ίση με το πλήθος των κριτηρίων. Δηλαδή η ικανοποίηση μεγιστοποιείται όταν όλα τα κριτήρια ικανοποιούνται. Δηλαδή $0 \leq satisfaction(p, s) \leq |Q_p|$. Μπορούμε να ορίσουμε μια παραλλαγή της συνάρτησης ικανοποίησης, αν επιτρέψουμε στον επιβάτη να ορίζει **βάρη** (**weights**) για τα κριτήρια / προτιμήσεις του. Το βάρος σε ένα κριτήριο θα προσδιορίζει τη σημαντικότητα του κριτηρίου για τον επιβάτη. Έτσι

μπορούμε να ορίσουμε μια προτίμηση / κριτήριο για έναν επιβάτη ως μια τριάδα $\langle c_id, acceptance_function, weight \rangle$. Όπου **weight** μπορεί να είναι ένας αριθμός μεταξύ κάποιων ορίων (π.χ από 1 έως 5) και δείχνει τη σημαντικότητα του κριτηρίου. Οπότε αν ορίσουμε το $Q_p = \{ \langle c_id, f, w \rangle \in Q(P) \}$ ως ένα σύνολο κριτηρίων η συνάρτηση ικανοποίησης παίρνει τη μορφή που φαίνεται στην Εξίσωση 2.2.

$$satisfaction(p, s) = \sum_{c \in Q_p} c.f(q) * c.w * (c.c_id = q.o_id), q \in Q_s$$

Εξίσωση 2.2: Συνάρτηση ικανοποίησης επιβάτη με βάρη.

Το ζητούμενο του προβλήματος είναι να μεγιστοποιήσουμε την ικανοποίηση του επιβάτη. Δηλαδή να βρούμε ένα τουλάχιστον σχέδιο ταξιδιού για το οποίο η ικανοποίηση του επιβάτη να μεγιστοποιείται. Ωστόσο είναι δυνατόν να μην υπάρχει τέτοιο σχέδιο. Οπότε το ζητούμενο ορίζεται στο να βρούμε ένα τουλάχιστον σχέδιο ταξιδιού για το οποίο η ικανοποίηση του επιβάτη να είναι πάνω από ένα όριο (*min_satisfaction*). Στην Εξίσωση 2.3 ορίζουμε μια συνθήκη αξιολόγησης των λύσεων στο πρόβλημα του σχεδιασμού ταξιδιών με δημόσια μέσα μεταφοράς.

$$x \in S | satisfaction(p, x) \geq min_satisfaction, p \in P$$

Εξίσωση 2.3: Συνθήκη αξιολόγησης σχεδίου ταξιδιού.

2.5 Ανακεφαλαίωση

Σ' αυτό το κεφάλαιο περιγράψαμε το πρόβλημα του **σχεδιασμού ταξιδιών**. Δηλαδή το πρόβλημα της εύρεσης ενός συνόλου διασυνδεδεμένων δρομολογίων που πραγματοποιούν μια μετακίνηση από έναν κόμβο ενός συγκοινωνιακού δικτύου σε ένα άλλο. Η τρέχουσα κατάσταση στο χώρο των μεταφορών και συγκοινωνιών έχει σαν αποτέλεσμα την μη αποδοτική εκμετάλλευση των υπηρεσιών μεταφοράς που παρέχονται στο κοινό (Πίνακας 2.3).

Τρέχουσα κατάσταση	Αποτέλεσμα
Η έλλειψη επαρκούς γνώσης (πληροφορίας) για τις παρεχόμενες υπηρεσίες μεταφοράς	Αυξημένη χρησιμοποίηση ιδιωτικών μέσων μεταφοράς (αυτοκίνητο)
Η δυσκολία συνδυασμού των πληροφοριών για υπηρεσίες μεταφοράς.	Μη αποδοτική εκμετάλλευση περισσότερων από ένα μέσων μεταφοράς για την πραγματοποίηση ενός ταξιδιού

Πίνακας 2.3 : Η τρέχουσα κατάσταση στο χώρο των συγκοινωνιών

Η ανάπτυξη ενός συστήματος σχεδίασης ταξιδιών μπορεί να βοηθήσει με αρκετούς τρόπους :

- 1 Παρέχοντας πληροφορίες για μέσα μεταφοράς και για τις υπηρεσίες μεταφοράς που παρέχονται από εταιρίες, οι επιβάτες μπορούν να κάνουν καλύτερες επιλογές.
- 2 Διευκολύνοντας τη διασύνδεση διαφορετικών μέσων μεταφοράς ενθαρρύνει τους επιβάτες να χρησιμοποιούν περισσότερα από ένα μέσα για ένα ταξίδι. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πιο φθηνά και άνετα ταξίδια σε πολλές περιπτώσεις.
- 3 Επιτρέποντας τη δημιουργία μιας καθολικής άποψης ενός συγκοινωνιακού δικτύου για όλα τα μέσα και εταιρίες μεταφοράς επιτρέπει την καλύτερη διαχείριση της ζήτησης από τους επιβάτες.

Η επίτευξη αυτών των στόχων είναι ένα **πολύ-παραμετρικό** πρόβλημα σε ένα σύστημα που αποτελείται από το **συγκοινωνιακό δίκτυο** και τους **επιβάτες**. Η πολύ-παραμετρικότητα έγκειται στο γεγονός ότι πολλοί παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη και αντικρουόμενα κριτήρια πρέπει να ικανοποιηθούν

2.5.1 Συγκοινωνιακό δίκτυο

Στον Πίνακα 2.4 παρουσιάζουμε τα βασικά χαρακτηριστικά ενός συγκοινωνιακού δικτύου για δημόσια μέσα μεταφοράς.

	Εναέριο	Σιδηροδρομικό	Θαλάσσιο	Οδικό
Σταθμοί	Αεροδρόμιο	Σιδ. σταθμός	Λιμάνι	Σταθμός λεωφορείων
Μέσο μεταφοράς	Αεροπλάνο	Τρένο	Πλοίο	Λεωφορείο
Εταιρία	Αεροπορική	Σιδηροδρομική	Ναυτιλιακή	Εταιρία οδικών συγκοινωνιών
Είδος μετακίνησης	Εναέρια	Χερσαία	Θαλάσσια	Χερσαία

Πίνακας 2.4: Τα βασικά στοιχεία ενός συγκοινωνιακού δικτύου

2.5.2 Επιβάτες

Καταρχήν ένας επιβάτης πρέπει να επιλέξει κάποιες βασικές παραμέτρους για το ταξίδι (Πίνακας 2.5). Ωστόσο τα κριτήρια επιλογής αυτών των παραμέτρων μπορεί να έρχονται σε αντίθεση με προτιμήσεις για άλλες παραμέτρους του ταξιδιού (Πίνακας 2.6). Για παράδειγμα η επιλογή μιας ασφαλούς εταιρίας μπορεί να αυξάνει το κόστος του ταξιδιού. Επιπλέον και οι προτιμήσεις των επιβατών μπορεί να έρχονται σε σύγκρουση. Για παράδειγμα η επιλογή ενός ταξιδιού με πολλούς ενδιάμεσους σταθμούς μπορεί να περιορίζει το κόστος.

Παράμετρος	Κριτήρια επιλογής
Είδος μέσου μεταφοράς	<ul style="list-style-type: none"> ● Οικονομικά ● Ανέσεις ● Δυνατότητα πρόσβασης σε κόμβους του συγκοινωνιακού δικτύου
Εταιρία μεταφοράς	<ul style="list-style-type: none"> ● Οικονομικά ● Ασφάλεια ● Ποιότητα παρεχόμενων υπηρεσιών ● Δυνατότητα πρόσβασης σε κόμβους του συγκοινωνιακού δικτύου

Πίνακας 2.5 : Κριτήρια επιλογής βασικών παραμέτρων ταξιδιού.

Παράμετρος	Προτίμηση
Χρονική διάρκεια	<ul style="list-style-type: none"> ● Ελαχιστοποίηση
Κόστος	<ul style="list-style-type: none"> ● Ελαχιστοποίηση
Πλήθος και επιλογή των ενδιάμεσων σταθμών	<ul style="list-style-type: none"> ● Ελαχιστοποίηση ● Επιλογή συγκεκριμένων σταθμών

Πίνακας 2.6 : Προτιμήσεις επιβατών για συγκεκριμένες παραμέτρους ταξιδιών.

Κεφάλαιο 3

Επισκόπηση υπαρχόντων συστημάτων

Στο δεύτερο κεφάλαιο, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι ένα από σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζονται στο χώρο των δημόσιων συγκοινωνιών είναι η έλλειψη επαρκούς πληροφόρησης για τις υπηρεσίες συγκοινωνιών που παρέχονται. Με βάση αυτή τη διαπίστωση ξεκίνησε έρευνα και μελέτη σχετικά με την παροχή επαρκούς πληροφορίας σε επιβάτες με απλό και εύκολο τρόπο. Αυτή η προσπάθεια κατέληξε στην ανάπτυξη συστημάτων που χαρακτηρίζονται από το γενικό τίτλο *Συστήματα Πληροφόρησης Ταξιδιωτών (Traveler Information Systems)*. Ιδιαίτερα στις ΗΠΑ αλλά και σε χώρες της Ευρώπης έχουν αναπτυχθεί αρκετά συστήματα τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο.

Στα πλαίσια της εργασίας μας, πραγματοποιήσαμε μια επισκόπηση Συστημάτων Πληροφόρησης Ταξιδιωτών που έχουν αναπτυχθεί και λειτουργούν είτε σε πειραματικό επίπεδο είτε σε πραγματικές συνθήκες. Σκοπός αυτής της έρευνας ήταν η διερεύνηση των σύγχρονων τάσεων που επικρατούν στον τομέα της παροχής ταξιδιωτικών πληροφοριών και υπηρεσιών.

Μέσα από αυτή τη μελέτη αναδείχθηκαν καταρχήν οι απαιτήσεις των επιβατών για πληροφόρηση και υπηρεσίες. Επιπλέον μελετήσαμε τις λύσεις που έχουν προταθεί για συγκεκριμένα ζητήματα και κάναμε διαπιστώσεις για τις ελλείψεις που πρέπει να καλυφθούν. Τέλος, αναζητήσαμε τεχνικές και τεχνολογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί με σκοπό την εκμετάλλευση τους αλλά και την εξέλιξη και βελτίωσή τους για τις ανάγκες της δικής μας εργασίας.

Η έρευνα που πραγματοποιήσαμε, παρουσιάζεται αναλυτικά ως αυτόνομη ενότητα στο παράρτημα Α. Εκεί ο αναγνώστης μπορεί να βρει αρκετές λεπτομέρειες τόσο για τα χαρακτηριστικά των διαφόρων συστημάτων που μελετήσαμε όσο και για τις τεχνικές και τεχνολογίες υλοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν. Για λόγους συντομίας και για να μην γίνουμε κουραστικοί για τον αναγνώστη αυτής της εργασίας, παρουσιάζουμε εδώ μια σύντομη περίληψη τις επισκόπησης και αναφερόμαστε κυρίως σε συστήματα και στοιχεία που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη δική μας εργασία. Για περισσότερες λεπτομέρειες, ο αναγνώστης μπορεί να απευθυνθεί στο παράρτημα Α.

3.1 Οργάνωση της επισκόπησης

Η κύρια πηγή πληροφοριών για την έρευνά μας ήταν το Διαδίκτυο. Οι περισσότερες πληροφορίες που παρουσιάζουμε εντοπίστηκαν μέσω του Παγκόσμιου Δικτυακού Ιστού. Μέσα από τη μελέτη διαφορετικών εργασιών και συστημάτων αναγνωρίσαμε καταρχήν τρεις διαφορετικές γενικές κατηγορίες για συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών. Αυτές οι κατηγορίες είναι οι παρακάτω:

- **Συστήματα πληροφόρησης πριν την εκκίνηση του ταξιδιού (*Pre-Trip*)**
- **Συστήματα πληροφόρησης σε σταθμούς (*In-Terminal/Wayside*)**
- **Συστήματα πληροφόρησης πάνω σε μέσα μεταφοράς (*In-Vehicle*)**

Ένα σύστημα ταξινομείται σε μια από τις παραπάνω κατηγορίες ανάλογα με τη χρονική στιγμή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού και πραγματοποίησης ενός ταξιδιού. Πολλές φορές, συστήματα που ανήκουν σε διαφορετικές από τις παραπάνω κατηγορίες έχουν κοινά χαρακτηριστικά και παρέχουν παρόμοιες υπηρεσίες. Συστήματα που παρέχουν πληροφορίες για περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς εντάσσονται σε μια άλλη κατηγορία που αναφέρεται με τον όρο **Συστήματα Πληροφόρησης Πολύ-τροπικών Ταξιδιών (*Multimodal Traveler Information Systems*)**. Τέλος, εκτός από τις παραπάνω κατηγορίες συναντήσαμε και μια άλλη κατηγορία συστημάτων, τα **Συστήματα Σχεδιασμού Ταξιδιών (*Travel / Trip Planning Systems*)**. Τέτοια συστήματα παρέχουν ολοκληρωμένες υπηρεσίες προγραμματισμού δρομολογίων με βάση προτιμήσεις επιβατών.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι η κατηγοριοποίηση που ορίστηκε παραπάνω δεν είναι απόλυτα αυστηρή. Πολλά από τα συστήματα που εξετάσαμε παρουσιάζουν χαρακτηριστικά με βάση τα οποία θα μπορούσαν να ενταχθούν σε περισσότερες από μια κατηγορίες. Ωστόσο για λόγους καλύτερης οργάνωσης βασίζουμε την παρουσίαση των συστημάτων σ' αυτές τις κατηγορίες κατατάσσοντας κάθε σύστημα σε μια από αυτές.

3.2 Pre-Trip συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών

Τα **Pre-Trip συστήματα**, μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους ταξιδιώτες πριν από την εκκίνηση ενός ταξιδιού, κατά το σχεδιασμό του. Αυτά τα συστήματα διευκολύνουν τους επιβάτες στη λήψη αποφάσεων παρέχοντας πληροφόρηση (**pre-trip πληροφορίες**) για μέσα μεταφοράς, δρομολόγια, ώρες άφιξης και αναχώρησης, υπηρεσίες, καιρικές συνθήκες, κυκλοφοριακή κίνηση καθώς και για άλλα θέματα που μπορεί να ενδιαφέρουν τους επιβάτες πριν την εκκίνηση ενός ταξιδιού. Οι πληροφορίες που θα επιθυμούσε να γνωρίζει ένας ταξιδιώτης πριν την εκκίνηση ενός ταξιδιού μπορούν να καλύπτουν ένα ευρύ πεδίο κατηγοριών όπως δρομολόγια, χάρτες, τιμές εισιτηρίων, μετεωρολογική πρόβλεψη και άλλα. Πολλές φορές τέτοια συστήματα μπορεί να υποστηρίζουν υπηρεσίες προγραμματισμού δρομολογίων.

Τα πιο συνηθισμένα μέσα για πρόσβαση σε pre-trip συστήματα είναι το **τηλέφωνο**, το **Διαδίκτυο**, **περίπτερα πληροφοριών (*Information Kiosks*)** και οι **προσωπικές**

τηλεπικοινωνιακές συσκευές (κινητά τηλέφωνα). Ιδιαίτερα από το 1996 και μετά, το Διαδίκτυο χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο ως μέσο για την παροχή ταξιδιωτικών πληροφοριών. Πολλές εταιρίες συγκοινωνιών αλλά και ταξιδιωτικά πρακτορεία διαθέτουν ιστοσελίδες στο Διαδίκτυο. Οι πληροφορίες που παρέχονται από τέτοιες ιστοσελίδες κυμαίνονται από πολύ απλές, όπως κάποιος τηλεφωνικός αριθμός στον οποίο μπορεί κάποιος να καλέσει για πληροφορίες [19], έως σύνθετες υπηρεσίες σχεδιασμού ταξιδιών [45].

Τα συστήματα που εντοπίστηκαν γι' αυτή την κατηγορία μπορούμε να τα κατατάξουμε σε τρεις υποκατηγορίες. Η πρώτη από αυτές περιλαμβάνει συστήματα που παρέχουν ακατέργαστες πληροφορίες για το συγκοινωνιακό δίκτυο μιας περιοχής. Η δεύτερη υποκατηγορία περιλαμβάνει συστήματα που παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και η τρίτη συστήματα που παρέχουν υπηρεσίες σχεδιασμού ταξιδιών.

3.2.1 Ακατέργαστες πληροφορίες

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι το σύστημα **Riderlink** [17]. Αυτό το σύστημα αποτελείται από μια ιστοσελίδα μέσω της οποίας οι χρήστες μπορούν να αναζητήσουν πληροφορίες για τις συγκοινωνίες στην περιοχή Puget Sound του Seattle. Μέσα από μια απλή διεπιφάνεια χρήσης, στην οποία έχει γίνει μια κατηγοριοποίηση ανά μέσο μεταφοράς και ανά εταιρία συγκοινωνιών, κάτοικοι ή επισκέπτες της περιοχής παραπέμπονται σε ιστοσελίδες των εταιριών συγκοινωνιών. Η ουσιαστική υπηρεσία που παρέχει αυτό το σύστημα έγκειται στην δημιουργία ενός κοινού κόμβου απ' όπου οι επιβάτες μπορούν να αναζητήσουν τις ιστοσελίδες διαφορετικών εταιριών συγκοινωνιών. Το σύστημα δεν παρέχει καμιά υπηρεσία προστιθέμενης αξίας.

Ένα άλλο παρόμοιο σύστημα με το Riderlink είναι το σύστημα TravInfo [19]. Η διαφορά των δύο συστημάτων είναι ότι στο TravInfo χρησιμοποιείται το τηλέφωνο ως μέσο πρόσβασης. Επιπλέον το TravInfo έχει προσανατολισμό και προς τα ιδιωτικά μέσα μεταφοράς παρέχοντας πληροφορίες κυκλοφοριακής κίνησης. Επιπλέον για το σύστημα TravInfo αναπτύχθηκε μια βάση δεδομένων στην οποία αποθηκεύεται η πληροφορία. Αυτή η βάση δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή πληροφοριών από άλλα συστήματα.

3.2.2 Πληροφορία πραγματικού χρόνου

Ένα σύστημα πραγματικού χρόνου είναι το **Busview** [18]. Αυτό το σύστημα παρακολουθεί την εξέλιξη δρομολογίων λεωφορείων και μπορεί να ενημερώνει τους χρήστες του κάθε στιγμή για τη θέση των λεωφορείων αλλά και να τους ειδοποιεί όταν ένα λεωφορείο φτάσει σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η υλοποίηση αυτού του συστήματος καθώς χρησιμοποιήθηκε μια αρχιτεκτονική αυτόνομων τμημάτων λογισμικού [47] η οποία παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες με αρχιτεκτονικές αυτόνομων πρακτόρων λογισμικού. Επιπλέον, υπηρεσίες παρακολούθησης δρομολογίων μέσων μεταφοράς, όπως αυτή που παρέχει το συγκεκριμένο σύστημα, είναι σημαντικές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από

συστήματα σχεδίασης ταξιδιών για την παροχή υπηρεσιών και πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια εξέλιξης ενός ταξιδιού.

3.2.3 Σχεδιασμός ταξιδιών

Ένα σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών είναι το **TranStar** [20] το οποίο παρέχει υπηρεσίες σχεδιασμού ταξιδιών για την περιοχή Bay του San Francisco. Το σύστημα χρησιμοποιεί πληροφορίες για τέσσερις εταιρίες συγκοινωνιών της περιοχής. Το σύστημα αναπτύχθηκε γύρω από μια κεντρική βάση δεδομένων στην οποία έχουν πρόσβαση ταξιδιωτικοί πράκτορες προκειμένου να παρέχουν υπηρεσίες στους πελάτες τους. Η συντήρηση αυτής της βάσης δεδομένων απαιτεί από τις εταιρίες να εισάγουν σ' αυτή πληροφορίες για τα δρομολόγιά τους και τις υπόλοιπες υπηρεσίες τους. Επιπλέον οι εταιρίες πρέπει να φροντίζουν για την ενημέρωση των πληροφοριών ώστε αυτές να είναι πάντα έγκυρες. Αν και καταρχήν το σύστημα TranStar ακούγεται αρκετά ενδιαφέρον, κάποια χαρακτηριστικά του μειώνουν το ενδιαφέρον μας γι' αυτό. Επιπλέον δεν παρέχονται λεπτομέρειες για την υλοποίησή του ώστε να μας δοθεί η ευκαιρία να εντοπίσουμε άλλα ενδιαφέροντα στοιχεία. Αναφέρουμε στη συνέχεια τα κυριότερα μειονεκτήματα του συστήματος.

Καταρχήν καλύπτει μια μικρή περιοχή χρησιμοποιώντας πληροφορίες για ορισμένες μόνο εταιρίες μεταφοράς με αποτέλεσμα να μην περιλαμβάνει όλα τα είδη μέσων μεταφοράς. Το σύστημα δεν διαθέτει ένα σύνολο προορισμών από τους οποίους να μπορεί να επιλέξει ο χρήστης. Έτσι από τη μία ο χρήστης δεν γνωρίζει με ακρίβεια σε ποιες περιοχές μπορεί να ταξιδέψει ενώ πρέπει να γνωρίζει με αρκετά μεγάλη ακρίβεια το όνομα του προορισμού του.

Το σύνολο των κριτηρίων δεν καλύπτει όλες τις προτιμήσεις που πιθανόν να έχει ένας επιβάτης, αφού δεν παρέχεται η δυνατότητα να επιλεγούν συγκεκριμένα μέσα μεταφοράς και εταιρίες. Επιπλέον δεν παρέχεται η δυνατότητα βελτιστοποίησης του ταξιδιού με βάση το κόστος.

3.3 In-Terminal / Wayside συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών

Τα **In-Terminal/Wayside** συστήματα παρέχουν πληροφορίες σε ταξιδιώτες κατά τη διάρκεια του ταξιδιού τους. Ένας ταξιδιώτης μπορεί να έχει πρόσβαση σε τέτοια συστήματα είτε σε κάποιο ενδιάμεσο σταθμό του ταξιδιού είτε σε συγκεκριμένα σημεία κατά μήκος της διαδρομής που ακολουθείται. Για τη μετάδοση αυτών των πληροφοριών χρησιμοποιούνται μέσα όπως πίνακες ηλεκτρονικών ενδείξεων, περίπτερα πληροφοριών και κλειστά κυκλώματα τηλεόρασης. Οι υπηρεσίες που παρέχονται περιλαμβάνουν πληροφόρηση για ώρες άφιξης και αναχώρησης μέσω μεταφοράς αλλά και πληροφόρηση παρόμοια με τα Pre-Trip συστήματα. Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη αυτών των συστημάτων έπαιξε η ανάπτυξη **Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης Οχημάτων (Automated Vehicle Locating-AVL Systems)**. Δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι το **Talking Kiosk** [25] και το **Advanced Operating System (AOS)** [28].

3.3.1 Συμπεράσματα

Οι εφαρμογές των In-terminal/Wayside συστημάτων δεν παρουσιάζουν μεγάλη συνάφεια με συστήματα σχεδιασμού ταξιδιών που είναι αυτά που μας ενδιαφέρουν περισσότερο σ' αυτή την ανασκόπηση. Τα δύο συστήματα που περιγράψαμε στην ανασκόπηση είναι χαρακτηριστικά αυτής της κατηγορίας. Τέτοια συστήματα συνήθως είναι εγκατεστημένα σε σταθμούς μέσων μεταφοράς. Επίσης για την λειτουργία τους συνήθως απαιτείται η συνεργασία αυτών των συστημάτων με συστήματα που είναι εγκατεστημένα πάνω σε μέσα μεταφοράς (In-vehicle συστήματα)

Η πληροφορία που παρέχεται έχει σκοπό τη διευκόλυνση της παραμονής ή της διέλευσης των επιβατών σε ένα σταθμό (Talking Kiosk). Η πληροφόρηση που δίδεται από αυτά τα συστήματα κυρίως αφορά :

Πληροφορίες για την εξυπηρέτηση προσωπικών αναγκών του κοινού (είσοδοι και έξοδοι του σταθμού, κυλικείο, τουαλέτες κτλ).

Πληροφορίες για την εξυπηρέτηση των ταξιδιωτικών αναγκών των επιβατών (εκδοτήρια εισιτηρίων, πύλες αναχώρησης των μέσων μεταφοράς, χώροι αναμονής, παραλαβή αποσκευών).

Πληροφορίες για την εξέλιξη ενός ταξιδιού (το επόμενο μέσο μεταφοράς σε περίπτωση μετεπιβίβασης, αναμενόμενη ώρα άφιξης των δρομολογίων, ενημέρωση για πιθανές καθυστερήσεις).

Η ανάπτυξη αυτών των συστημάτων συνοδεύεται από σημαντική εργασία και έρευνα που γίνεται για την ανάπτυξη Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης κινούμενων Οχημάτων (AVL). Συνήθως τα AVL συστήματα βασίζονται σε Δορυφορικά Συστήματα Εντοπισμού Γεωγραφικής Θέσης (Global Positioning Systems). Επιπλέον, αναπτύσσονται συστήματα καταγραφής της πορείας οχημάτων αλλά και συστήματα ασύρματης μετάδοσης δεδομένων και φωνής για την επικοινωνία των οχημάτων με σταθερά κέντρα παρακολούθησης. Η ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών καθιστά δυνατή την ενημέρωση των επιβατών σε σταθμούς μεταφοράς για την εξέλιξη δρομολογίων στα οποία περιμένουν να επιβιβαστούν (AOS). Επίσης, δίνει τη δυνατότητα σε επιβάτες που ταξιδεύουν να έχουν άμεση πληροφόρηση για την εξέλιξη του ταξιδιού τους (AOS). Αυτή η δυνατότητα αφορά κυρίως τα In-vehicle συστήματα που εξετάζουμε στην επόμενη ενότητα.

3.4 In -Vehicle συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών

Τα In-Vehicle συστήματα, όπως και τα In-Terminal συστήματα είναι συστήματα που παρέχουν πληροφορίες σε ταξιδιώτες κατά την διάρκεια της εξέλιξης του ταξιδιού τους. Η διαφορά μεταξύ των δύο τύπων συστημάτων είναι ότι στα In-Terminal συστήματα η πληροφορία μεταδίδεται σε σταθερούς σταθμούς απ' όπου είναι διαθέσιμη στους ταξιδιώτες, ενώ στα In-Vehicle συστήματα η πληροφορία μεταδίδεται σε κινητούς σταθμούς που βρίσκονται πάνω σε οχήματα. Τα μέσα που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση των In-terminal πληροφοριών είναι κυρίως αυτόματα συστήματα ηχητικών

ανακοινώσεων, και οθόνες πάνω σε οχήματα. Και με τα δύο μέσα μεταδίδονται κυρίως πληροφορίες σχετικές με την τοποθεσία που βρίσκονται τα οχήματα καθώς ταξιδεύουν. Η επεξεργασία αυτών των πληροφοριών γίνεται από μονάδες πάνω στα οχήματα.

Όπως και στα In-terminal συστήματα, έτσι και τα In-vehicle συστήματα βασίζουν την ανάπτυξή τους σε AVL συστήματα, αφού η κύρια υπηρεσία που παρέχουν είναι η πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο για την εξέλιξη δρομολογίων μέσω μεταφοράς σε δημόσιες συγκοινωνίες. Αυτά τα συστήματα δεν μπορούν να ενταχθούν στην κατηγορία των συστημάτων σχεδιασμού ταξιδιών. Ωστόσο η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα AVL συστήματα, παρουσιάζει ενδιαφέρον και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό ταξιδιών στις περιπτώσεις που χρειάζεται πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο. Στην επισκόπηση που παρουσιάζεται στο παράρτημα Α δίνεται μια σύντομη περιγραφή για εργασίες που έχουν πραγματοποιηθεί σε διαφορετικές περιοχές των ΗΠΑ. Ο σκοπός αυτής της παρουσίασης είναι κυρίως η δημιουργία μιας συνολικής άποψης για τη δουλειά που έχει γίνει στον τομέα των συστημάτων πληροφόρησης ταξιδιωτών.

3.4.1 Συμπεράσματα

Τα In-Vehicle καθώς και τα In-Terminal / Wayside συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών είναι συστήματα που χρησιμοποιούνται για την παροχή πληροφοριών σε επιβάτες καθ' όλη τη διάρκεια εξέλιξης του ταξιδιού τους. Τα συστήματα της πρώτης κατηγορίας προσανατολίζονται κυρίως στην πληροφόρηση ταξιδιωτών πάνω στα μέσα μεταφοράς καθώς εξελίσσεται ένα ταξίδι, ενώ τα συστήματα της δεύτερης κατηγορίας προσανατολίζονται στην πληροφόρηση επιβατών σε σταθμούς μέσω μεταφοράς. Έτσι τα συστήματα της δεύτερης κατηγορίας μπορούν να θεωρηθούν και Pre-Trip συστήματα. Βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων και των δύο κατηγοριών είναι ότι παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την εξέλιξη δρομολογίων. Για να το πετύχουν αυτό, εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες που παρέχονται από δορυφορικά συστήματα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης (GPS, AVL) για την παρακολούθηση των μέσων μεταφοράς καθώς αυτά κινούνται. Επιπλέον, χρησιμοποιούν τεχνολογίες για ασύρματη μετάδοση δεδομένων (ραδιοσυχνότητες, δορυφορικές επικοινωνίες) για την μετάδοση πληροφοριών από και προς κινούμενες μονάδες (οχήματα).

Συστήματα αυτών των κατηγοριών αναπτύχθηκαν κυρίως για χερσαία δημόσια μέσα μεταφοράς (λεωφορεία, τρένα) αλλά και για χερσαία ιδιωτικά μέσα μεταφοράς (αυτοκίνητα). Στην περίπτωση των αυτοκινήτων, τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση των οδηγών σχετικά με την κυκλοφοριακή κίνηση και την κατάσταση των οδικών αρτηριών.

Ένα παρόμοιο σύστημα αναπτύχθηκε για θαλάσσια μέσα μεταφοράς στο πρόγραμμα **SIAMS** [30], [57]. Αυτό το σύστημα αφορά την παροχή πληροφοριών σχετικά με τη γεωγραφική θέση πλοίων καθώς αυτά ταξιδεύουν. Χρησιμοποιώντας αυτό το σύστημα, είναι δυνατή η ανάπτυξη εφαρμογών για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τη θέση και την πορεία πλοίων, καθώς και πληροφοριών που αφορούν την απόσταση πλοίων από συγκεκριμένα λιμάνια και τον αναμενόμενο χρόνο άφιξης.

3.5 Multimodal συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών

Ένας κοινός παράγοντας στα Multimodal Συστήματα Πληροφόρησης Ταξιδιωτών είναι ότι συνδυάζουν πληροφορίες για περισσότερες από μία εταιρίες συγκοινωνιών μαζί με πληροφορία πραγματικού χρόνου ή στατική πληροφορία για κυκλοφοριακή κίνηση. Οι μέθοδοι για τη συλλογή, την επεξεργασία και τη μετάδοση αυτών των πληροφοριών ποικίλουν. Σε πολλές περιπτώσεις, η ευθύνη για την παροχή των πληροφοριών παραμένει στους παροχείς των υπηρεσιών τις οποίες αφορά η πληροφορία.

Τα συστήματα αυτής της κατηγορίας παρέχουν πληροφορίες στατικές ή σε πραγματικό χρόνο. Οι πληροφορίες αφορούν υπηρεσίες συγκοινωνιών και την κυκλοφοριακή κίνηση σε άξονες μεταφορών, επιτρέποντας τους επιβάτες να κάνουν τις καλύτερες επιλογές για τα μέσα μεταφοράς τόσο πριν την εκκίνηση αλλά και κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού. Τα πιο συνηθισμένα μέσα που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση των πληροφοριών είναι τηλεφωνικές γραμμές, κιόσκια πληροφοριών και ο Παγκόσμιος Δικτυακός Ιστός. Στα πλαίσια αυτής της κατηγορίας μελετήσαμε τρία συστήματα, τα **Traveler Information Showcase (TIS)**, **SmarTraveler** [35] και **TransCal**.

3.5.1 Traveler Information Showcase

Το σύστημα Traveler Information Showcase ολοκληρώνει πολλά συστήματα παροχής πληροφοριών σχετικών με μεταφορές και συγκοινωνίες. Οι υπηρεσίες που παρέχονται είναι τοπικού χαρακτήρα και αφορούν μεταφορές και συγκοινωνίες για την περιοχή της πολιτείας της Γεωργίας. Το σύστημα δίνει έμφαση κυρίως σε μετακινήσεις με ιδιωτικά μέσα μεταφοράς και παρέχει υπηρεσίες διευκόλυνσης στην πλοήγηση ιδιωτικών μέσων μεταφοράς. Για δημόσιες συγκοινωνίες, το σύστημα δεν παρέχει πληροφορίες που επεξεργάζεται το ίδιο, αλλά παρέχει συνδέσμους σε πληροφορίες που προσπελούνται μέσω του Παγκόσμιου Δικτυακού Ιστού.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος είναι η παροχή των υπηρεσιών του με διαφορετικές μεθόδους, επιτρέποντας τους χρήστες να χρησιμοποιούν διαφορετικά μέσα πρόσβασης. Ανάλογα με το μέσο πρόσβασης παρέχονται και διαφορετικές υπηρεσίες ή οι ίδιες υπηρεσίες με διαφορετικό τρόπο. Τα μέσα με τα οποία ένας χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στις υπηρεσίες του συστήματος είναι : υπολογιστές χειρός, συστήματα πλοήγησης οχημάτων, Διαδίκτυο, καλωδιακή και αλληλεπιδραστική τηλεόραση.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος βασίζεται σε έναν κεντρικό εξυπηρετητή (fixed-end server και ATMS) που λειτουργεί ως ένα κοινό σημείο πρόσβασης σε πληροφορίες. Εκτός από τους χρήστες του συστήματος ο εξυπηρετητής μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από άλλα παρόμοια συστήματα ως πηγή δεδομένων.

Ο εξυπηρετητής παίζει το ρόλο ενός διαμεσολαβητή ανάμεσα στις πηγές τις πληροφορίες και στους αποδέκτες της πληροφορίας. Είναι υπεύθυνος για τη συλλογή πληροφοριών από διάφορες πηγές δεδομένων, για την επεξεργασία και τη μορφοποίηση τους και για τη μετάδοση τους στους χρήστες. Η ανάπτυξη του εξυπηρετητή επιτρέπει την προσθήκη και νέων πηγών πληροφορίας καθώς και νέων τρόπων μετάδοσης της. Με

αυτό τον τρόπο για την παροχή των υπηρεσιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες συσκευές εκτός από αυτές που επιλέχθηκαν αρχικά.

3.5.2 SmarTraveler

Το σύστημα **SmartTraveler** [35] παρέχει **pre-trip**, **in-terminal** και **in-vehicle** τύπου πληροφορίες για συγκοινωνίες και κυκλοφοριακή κίνηση με σκοπό να βοηθήσει τους επιβάτες να επιλέγουν τα καταλληλότερα μέσα για τη μετάβαση στους προορισμούς τους. Ένας χρήστης του συστήματος μπορεί να αναζητήσει πληροφορίες για έντεκα διαφορετικές πόλεις των ΗΠΑ.

Οι χρήστες του συστήματος μπορούν να έχουν πρόσβαση είτε μέσω τηλεφώνου είτε μέσω μιας ιστοσελίδας στο Διαδίκτυο. Και με τους δύο τρόπους οι χρήστες μπορούν να πάρουν τις ίδιες πληροφορίες. Στην ιστοσελίδα <http://www.smartraveler.com> ο χρήστης του συστήματος καλείται να επιλέξει μία από τις παραπάνω έντεκα περιοχές. Αφού επιλέξει μια περιοχή μεταφέρεται σε ιστοσελίδες με πληροφορίες γι' αυτή την περιοχή.

Το σύστημα SmarTraveler μπορεί να συγκριθεί με το σύστημα RiderLink. Και τα δύο παρέχουν συνδέσμους σε ιστοσελίδες πληροφοριών για δημόσιες συγκοινωνίες χωρίς να πραγματοποιούν σημαντική επεξεργασία στην πληροφορία που παρέχουν. Και τα δύο συστήματα λειτουργούν ως κοινός κόμβος απ' όπου μέσω μιας απλής κατηγοριοποίησης ένας χρήστης μπορεί να αναζητήσει ιστοσελίδες συγκεκριμένων εταιριών συγκοινωνιών. Ωστόσο το SmarTraveler δίνει μεγάλη έμφαση σε μεταφορές με ιδιωτικά μέσα μεταφοράς παρέχοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την κυκλοφοριακή κίνηση σε οδικές αρτηρίες. Και σ' αυτή την περίπτωση όπως και στο σύστημα Showcase έγινε σημαντική εργασία για την ανάπτυξη μεθόδων συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων για την κυκλοφοριακή κίνηση σε πραγματικό χρόνο. Επίσης η μετάδοση αυτών των πληροφοριών στο Διαδίκτυο απετέλεσε ένα άλλο ζήτημα που αντιμετωπίστηκε.

3.5.3 TransCal

Στα πλαίσια του προγράμματος **TransCal** υλοποιήθηκε ένα *Δια-Περιφερειακό Σύστημα Πληροφόρησης Ταξιδιωτών (Inter-Regional traveler Information System-IRTIS)* το οποίο ενοποιεί πληροφορίες για κυκλοφοριακή κίνηση, οδικές αρτηρίες, δημόσιες συγκοινωνίες, καιρικές συνθήκες και παρέχει υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας για το επιβατικό κοινό. Οι υπηρεσίες που παρέχονται αφορούν την περιοχή του San Francisco και την περιοχή Tahoe/Reno.

Οι ταξιδιώτες μπορούν να έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες μέσω διαφόρων συσκευών όπως :Τηλέφωνο, Personal Digital Assistants – PDA, Συστήματα πλοήγησης σε αυτοκίνητα (In-Vehicle navigation systems), Περίπτερα πληροφοριών (Information Kiosks) και Ασύρματα συστήματα επικοινωνίας (Ραδιόφωνο, Κινητά τηλέφωνα)

Το IRTIS λειτουργεί στο Κέντρο Πληροφοριών για Ταξιδιώτες (Traveler Information Center - TIC) στο Sacramento. Η λειτουργία του IRTIS συνίσταται στη συλλογή πληροφοριών από διάφορες πηγές, την επεξεργασία της, και την αποθήκευσή της σε μια βάση δεδομένων. Στη συνέχεια αυτές οι πληροφορίες είναι προσπελάσιμες από διαφορετικές συσκευές.

3.5.4 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της ανάπτυξης Multimodal συστημάτων πληροφόρησης ταξιδιωτών παρατηρούμε μια τάση για συγκέντρωση και συγχώνευση πληροφοριών από πολλές πηγές δεδομένων καθώς και προσπάθειες για παροχή υπηρεσιών προστιθεμένης αξίας από αυτές τις πληροφορίες.

Αυτές οι υπηρεσίες αφορούν την πληροφόρηση για δημόσιες συγκοινωνίες παρέχοντας κυρίως πληροφορίες δρομολογίων από διαφορετικές εταιρίες συγκοινωνιών. Μεγάλη σημασία δίνεται επίσης στην παροχή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο για τις συνθήκες κυκλοφοριακής κίνησης και για την κατάσταση του οδικού δικτύου. Για την παροχή τέτοιων πληροφοριών χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές μέθοδοι παρακολούθησης όπως σταθερές κάμερες, ραντάρ και κάμερες εγκατεστημένες σε οχήματα που κινούνται στο οδικό δίκτυο. Επιπλέον μπορεί κανείς να παρατηρήσει μια τάση για μετάδοση πληροφοριών με πολλούς διαφορετικούς τρόπους καλύπτοντας μεγάλο αριθμό μέσων πρόσβασης στην πληροφορία. Οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν πολλά διαφορετικά μέσα πρόσβασης σε αυτά τα συστήματα, όπως υπολογιστές χειρός, συστήματα πλοήγησης οχημάτων, το Διαδίκτυο, καλωδιακή τηλεόραση, τηλέφωνο και περίπτερα πληροφοριών.

Για την ανάπτυξη των συστημάτων σχεδιάστηκαν πολύπλοκες καταναμημένες αρχιτεκτονικές τόσο για τη συλλογή και επεξεργασία της πληροφορίας όσο και για τη μετάδοσή της (ATMS, IRTIS).

3.6 Συστήματα Σχεδιασμού Ταξιδιών

Τα συστήματα σχεδιασμού ταξιδιών ορίζουν μια κατηγορία συστημάτων τα οποία διαφέρουν από άλλα συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών στο γεγονός ότι παρέχουν υπηρεσίες **υποστήριξης λήψης αποφάσεων (Decision Support)**. Αυτές οι υπηρεσίες περιλαμβάνουν διαδικασίες διαχείρισης πινάκων δρομολογίων, για την εύρεση βέλτιστων διαδρομών σε **πολύ-τροπικά** δίκτυα συγκοινωνιών, ικανοποιώντας τις απαιτήσεις ταξιδιωτών.

Η αναζήτηση βέλτιστων διαδρομών μπορεί να βασιστεί σε ένα πλήθος κριτηρίων (μέτρα κόστους) που περιλαμβάνουν την απόσταση, τη χρονική διάρκεια, το χρηματικό κόστος, το πλήθος των ενδιάμεσων διαδρομών αλλά και συνδυασμό αυτών.

Οι προτιμήσεις των χρηστών (ταξιδιωτών) ορίζουν την αφετηρία και τον προορισμό του ταξιδιού, τα προτιμητέα μέσα μεταφοράς, τις εταιρίες και τα κριτήρια βελτιστοποίησης. Οι προτιμήσεις του χρήστη εισάγονται στο σύστημα και μετά από επεξεργασία και συνδυασμό πληροφοριών από πίνακες δρομολογίων, το σύστημα υπολογίζει ένα σύνολο σχεδίων ταξιδιών που να ανταποκρίνονται στις προτιμήσεις του χρήστη. Το μοναδικό σύστημα που εντοπίσαμε και ανταποκρίνεται σ' αυτά τα χαρακτηριστικά είναι ένα σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών που αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Leeds στην Αγγλία [1].

3.6.1 Trip planning system (University of Leeds)

Αυτό το σύστημα είναι μια εφαρμογή λογισμικού για συστήματα UNIX και περιλαμβάνει μια γραφική διεπιφάνεια χρήσης. Μέσω αυτής της διεπιφάνειας το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσω υπολογιστών στους οποίους έχει εγκατασταθεί κατάλληλο λογισμικό. Παρέχει υπηρεσίες σχεδιασμού **πολύ-τροπικών (multi-modal)** ταξιδιών για δημόσια αλλά και για ιδιωτικά μέσα μεταφοράς. Το σύστημα αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας οντοκεντρική προσέγγιση και βασίζεται σε μια οντοκεντρική βάση δεδομένων. Για την ανάπτυξη και υλοποίηση του συστήματος ακολουθήθηκαν οι παρακάτω γενικές κατευθυντήριες γραμμές:

- **Μοντελοποίηση πολύ-τροπικών δικτύων μεταφορών**
- **Αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων για συγκοινωνιακά δίκτυα**
- **Αλγόριθμος αναζήτησης μονοπατιών σε συγκοινωνιακά δίκτυα**

Το σύστημα που εξετάσαμε παρουσιάζει αρκετά μεγάλη συνάφεια με τη δική μας προσέγγιση. Αυτή η συνάφεια έγκειται στην ανάπτυξη του οντοκεντρικού μοντέλου για την αναπαράσταση του συγκοινωνιακού δικτύου και στον αλγόριθμο εύρεσης διαδρομών.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε μπορεί να συμπεριλάβει τόσο μετακινήσεις με ιδιωτικά όσο και με δημόσια μέσα μεταφοράς, παρέχοντας μια ομοιόμορφη θεώρηση για οδικά δίκτυα και για δημόσια συγκοινωνιακά δίκτυα. Επιπλέον σε ότι αφορά τις δημόσιες συγκοινωνίες, το μοντέλο μπορεί να συμπεριλάβει περισσότερα από ένα διαφορετικά είδη μέσων μεταφοράς. Μαζί με το μοντέλο αναπαράστασης δικτύων αναπτύχθηκε και ένα μοντέλο για την αποθήκευση των δεδομένων του δικτύου. Παρά την εκφραστικότητα και την ευελιξία του μοντέλου αναπαράστασης, δεν λαμβάνεται υπόψη σ' αυτό η ύπαρξη πολλών διαφορετικών μέσων μεταφοράς.

Όπως και στη δική μας προσέγγιση η αναζήτηση διαδρομών χρησιμοποιεί έναν βασικό αλγόριθμο διάσχισης γράφων τροποποιημένο έτσι ώστε να περιορίζεται η έκταση της αναζήτησης. Ωστόσο οι ευρετικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό της έκτασης της αναζήτησης βασίζονται σε εκτιμήσεις αποστάσεων και είναι δύσκολο να συμπεριλάβουν πολύπλοκες προτιμήσεις επιβατών όπως τα μέσα μεταφοράς και οι εταιρίες συγκοινωνιών. Επιπλέον, δεν μπορεί να υποστηρίξει συνδυασμούς διαφορετικών προτιμήσεων των χρηστών.

Τέλος, για την εύρεση πληροφοριών για δημόσια συγκοινωνιακά δίκτυα, χρησιμοποιείται μια βάση δεδομένων όπου αποθηκεύονται πίνακες δρομολογίων. Η στατική αποθήκευση των δεδομένων κάνει το σύστημα εύλωτο σε δυναμικές αλλαγές αυτών των πληροφοριών. Ωστόσο η στατική αποθήκευση σε συνδυασμό με τη χρησιμοποίηση της δομής Quad tree επιτυγχάνει σημαντική ταχύτητα αναζήτησης.

Κεφάλαιο 4

Αναπαράσταση συγκοινωνιακού δικτύου

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την ανάπτυξη ενός συστήματος σχεδιασμού ταξιδιών τα οποία πραγματοποιούνται με δημόσια μέσα μεταφοράς. Μέρος αυτής της εργασίας είναι και η ανάπτυξη ενός μοντέλου για την αναπαράσταση ενός **συγκοινωνιακού δικτύου δημόσιων μέσων μεταφοράς**². Μια βασική ιδιαιτερότητα ενός τέτοιου δικτύου είναι ότι χαρακτηρίζεται από **πολύ-τροπικότητα** όπως περιγράψαμε στο δεύτερο κεφάλαιο.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε ορίζει μια εννοιολογική αναπαράσταση του συγκοινωνιακού δικτύου (Ενότητα 2.2). Αυτή η εννοιολογική αναπαράσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή μιας ομοιόμορφης άποψης ενός συγκοινωνιακού δικτύου, ανεξάρτητα από τα μέσα μεταφοράς ή τις εταιρίες μεταφοράς που εκτελούν τα δρομολόγια. Ωστόσο το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την απομόνωση συγκεκριμένων μέσων μεταφοράς ή εταιριών. Δηλαδή το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σχεδίαση πολύ-τροπικών αλλά και μόνο-τροπικών ταξιδιών.

Για την ανάπτυξη του μοντέλου ακολουθήσαμε την οντοκεντρική προσέγγιση για την μοντελοποίηση των φυσικών και εννοιολογικών οντοτήτων του συγκοινωνιακού δικτύου. Η εννοιολογική αναπαράσταση βασίζεται στη θεωρία γράφων. Συνδυάζοντας αυτές τις δύο τεχνικές μοντελοποίησης αναπτύξαμε τελικά ένα μοντέλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την υλοποίηση λειτουργιών διαχείρισης και αναζήτησης σε συγκοινωνιακά δίκτυα, όσο και για την αποθήκευση των δεδομένων του δικτύου. Το μοντέλο που αναπτύξαμε ορίζει μια **ιεραρχική άποψη** για συγκοινωνιακά δίκτυα μέσα από την οποία ο γράφος που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση του συγκοινωνιακού δικτύου διαιρείται σε μικρότερα τμήματα τα οποία οργανώνονται σε μια ιεραρχία. Αυτή η ιεραρχία χρησιμοποιείται από τον **αλγόριθμο εύρεσης διαδρομών** σε συγκοινωνιακά δίκτυα που είναι ο πυρήνας του συστήματος σχεδιασμού ταξιδιών. Ο ρόλος της ιεράρχησης ενός συγκοινωνιακού δικτύου είναι ο περιορισμός της έκτασης αναζήτησης, όταν αναζητείται μια διαδρομή μεταξύ δύο κόμβων του συγκοινωνιακού δικτύου.

² Για το υπόλοιπο του κειμένου με τον όρο “συγκοινωνιακό δίκτυο” θα εννοούμε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο με δημόσια μέσα μεταφοράς.

4.1 Μελέτη του πεδίου εφαρμογής

Το πεδίο της εφαρμογής της εργασίας είναι οι **Δημόσιες Συγκοινωνίες**. Όταν μιλάμε για δημόσιες συγκοινωνίες αναφερόμαστε σε **υπηρεσίες μεταφοράς** προσώπων από ένα σημείο σε ένα άλλο με **μέσα μεταφοράς** που διατίθενται προς χρήση στο κοινό. Σε αντίθεση, όταν μιλάμε για **Ιδιωτικές Συγκοινωνίες** αναφερόμαστε σε μετακινήσεις προσώπων με ιδιωτικά μέσα μεταφοράς. Στις δημόσιες συγκοινωνίες, οποιοσδήποτε μπορεί να χρησιμοποιήσει τις υπηρεσίες που παρέχονται, ενώ στις ιδιωτικές συγκοινωνίες οι υπηρεσίες μεταφοράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο από τους ιδιοκτήτες των μέσων μεταφοράς.

Οι υπηρεσίες μεταφοράς παρέχονται στο κοινό από **εταιρίες συγκοινωνιών** που μπορεί να είναι **ιδιωτικές** ή **κρατικές**. Μια εταιρία συγκοινωνιών διαθέτει ένα στόλο από μέσα μεταφοράς. Ένα **μέσο μεταφοράς** είναι ένα όχημα που μπορεί να μεταφέρει ένα σύνολο προσώπων από ένα σημείο σε κάποιο άλλο. Οι υπηρεσίες μεταφοράς οργανώνονται με τη μορφή προγραμματισμένων δρομολογίων. Ένα **προγραμματισμένο δρομολόγιο** είναι μια μετάβαση ενός μέσου μεταφοράς από έναν **κόμβο** του συγκοινωνιακού δικτύου σε έναν άλλο, που λαμβάνει χώρα μια δεδομένη χρονική στιγμή που έχει καθοριστεί εκ των προτέρων. Επιπλέον, ένα δρομολόγιο έχει μια **χρονική διάρκεια** (ο χρόνος που διαρκεί η μετάβαση) ενώ ένα πρόσωπο που επιθυμεί να μετακινηθεί με αυτό θα πρέπει να καταβάλει κάποιο **χρηματικό αντίτιμο** στην εταιρία συγκοινωνιών.

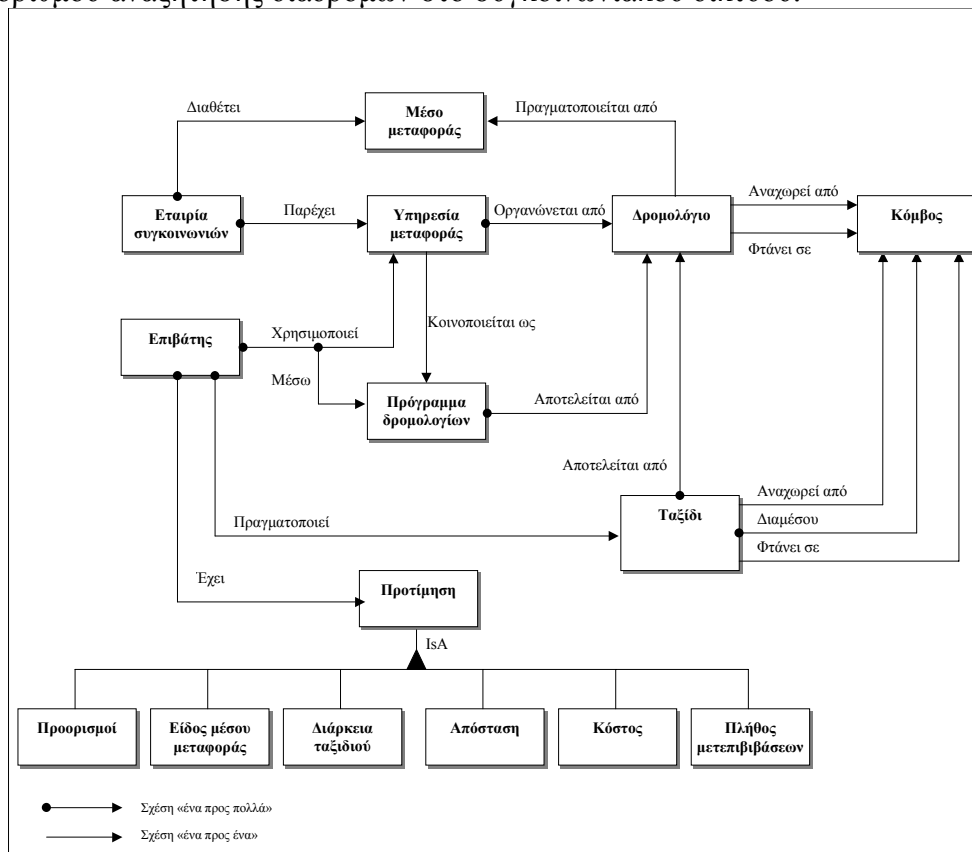
Ένας **κόμβος** του συγκοινωνιακού δικτύου είναι μια τοποθεσία με γεωγραφική υπόσταση στην οποία μπορεί να φτάσει ή να αναχωρήσει ένα μέσο μεταφοράς. Μια εταιρία που επιθυμεί να δραστηριοποιηθεί στο χώρο των συγκοινωνιών επιλέγει ένα σύνολο από κόμβους που θα εξυπηρετεί. Στη συνέχεια οργανώνει ένα πρόγραμμα δρομολογίων που συνδέουν ζευγάρια κόμβων και το γνωστοποιεί στο κοινό.

Ένας **επιβάτης** είναι ένα πρόσωπο που μετακινείται ή επιθυμεί να μετακινηθεί από έναν κόμβο σε κάποιον άλλο, κάνοντας χρήση των υπηρεσιών μεταφοράς. Μια μετακίνηση ενός επιβάτη από έναν κόμβο σε έναν άλλο είναι ένα **ταξίδι** το οποίο μπορεί να αποτελείται από ένα ή περισσότερα διασυνδεδεμένα δρομολόγια. Όταν ένα ταξίδι αποτελείται από περισσότερα από ένα δρομολόγια, μέχρι την μετάβαση στον τελικό προορισμό μεσολαβούν ένας ή περισσότεροι **ενδιάμεσοι κόμβοι**. Σε ένα ταξίδι με περισσότερα από ένα δρομολόγια είναι πιθανό να χρησιμοποιούνται περισσότερα από ένα, διαφορετικά μέσα μεταφοράς του ίδιου ή διαφορετικού τύπου. Όταν συμβαίνει αυτό, σε ορισμένους σταθμούς θα πρέπει ο επιβάτης να αποβιβαστεί από το μέσο μεταφοράς που χρησιμοποιούσε μέχρι εκείνη τη στιγμή και να επιβιβαστεί σε κάποιο άλλο. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται **μετεπιβίβαση**. Επιπλέον όταν για ένα ταξίδι χρησιμοποιούνται περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς είναι πιθανόν αυτά να ανήκουν σε διαφορετικές εταιρίες συγκοινωνιών. **Δηλαδή ένα ταξίδι μπορεί να θεωρηθεί ως ένας συνδυασμός υπηρεσιών μεταφοράς που παρέχονται από μία ή περισσότερες εταιρίες συγκοινωνιών.**

Όταν ένας επιβάτης σχεδιάζει ένα ταξίδι πρέπει να αποφασίσει για τις υπηρεσίες μεταφοράς που θα χρησιμοποιήσει. Αυτή η απόφαση βασίζεται σε **κριτήρια** που εκφράζουν **προτιμήσεις** του επιβάτη. Αυτά τα κριτήρια αφορούν τους κόμβους του συγκοινωνιακού δικτύου που εξυπηρετούνται από τις υπηρεσίες μεταφοράς, τα μέσα μεταφοράς, τη διάρκεια του ταξιδιού, τη συνολική απόσταση που θα διανύσει, το

χρηματικό κόστος του ταξιδιού, αλλά και το πλήθος των ενδιάμεσων κόμβων και μετεπιβιβάσεων.

Στο Σχήμα 4.1 χρησιμοποιούμε μια οντοκεντρική προσέγγιση για την παρουσίαση των οντοτήτων του πεδίου εφαρμογής αλλά και των συσχετίσεων που υπάρχουν μεταξύ τους. Κάθε οντότητα παρίσταται με ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο στο οποίο χρησιμοποιείται ένας τίτλος για να περιγράψει την οντότητα. Στην πραγματικότητα ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο στο σχήμα προσδιορίζει ένα σύνολο αντικειμένων με κοινά χαρακτηριστικά. Τα βέλη στο σχήμα παριστούν συσχετίσεις μεταξύ οντοτήτων. Υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη συσχετίσεων, «*ένα προς ένα*» και «*ένα προς πολλά*». Όταν μεταξύ δύο οντοτήτων υπάρχει μια σχέση «*ένα προς ένα*», αυτό σημαίνει ότι ένα αντικείμενο που ανήκει στο σύνολο που παριστά η πρώτη οντότητα μπορεί να συσχετίζεται με ένα μόνο αντικείμενο από το σύνολο που παριστά η δεύτερη οντότητα. Μια συσχέτιση «*ένα προς πολλά*» σημαίνει ότι ένα αντικείμενο από το σύνολο που παριστά η πρώτη οντότητα μπορεί να συσχετίζεται με περισσότερα από ένα αντικείμενα από το σύνολο που παριστά η δεύτερη οντότητα. Στην επόμενη ενότητα θα χρησιμοποιήσουμε αυτή την ανάλυση για την ανάπτυξη μιας **οντολογίας για ένα συγκοινωνιακό δίκτυο** στην οποία θα βασιστούμε για την περιγραφή του μοντέλου και του αλγορίθμου αναζήτησης διαδρομών στο συγκοινωνιακού δικτύου.



Σχήμα 4.1: Το πεδίο εφαρμογής

4.1.1 Οντολογία

4.1.1.1 Η Οντολογία ως μηχανισμός διαμόρφωσης εννοιών

Μια τυπική αναπαράσταση ενός συνόλου γνώσεων βασίζεται σε μια *διαμόρφωση εννοιών (conceptualization)*, δηλαδή στην περιγραφή με φορμαλιστικό τρόπο των *αντικειμένων*, των *εννοιών* και άλλων οντοτήτων που εμφανίζονται σε μια *περιοχή ενδιαφέροντος* καθώς και των *συσχετίσεων* μεταξύ αυτών [58]. Μια διαμόρφωση εννοιών είναι μια αφαιρετική, απλοποιημένη άποψη μιας περιοχής ενδιαφέροντος που θέλουμε να παραστήσουμε. Μια *οντολογία* είναι ένας άμεσος καθορισμός μιας διαμόρφωσης εννοιών.

Όταν χρησιμοποιούμε μια διαμόρφωση εννοιών για την αναπαράσταση της γνώσης μιας περιοχής ενδιαφέροντος, το σύνολο των αντικειμένων και οι συσχετίσεις μεταξύ τους ορίζουν ένα λεξιλόγιο που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση της γνώσης αλλά και για την επικοινωνία μεταξύ των οντοτήτων που δρουν μέσα στην περιοχή. Μπορούμε λοιπόν να θεωρήσουμε μια οντολογία ως ένα *σύνολο αντιπροσωπευτικών όρων*. Μια οντολογία περιλαμβάνει ορισμούς που συσχετίζουν τα ονόματα των οντοτήτων, που ορίστηκαν για το πεδίο ενδιαφέροντος, με περιγραφές κατανοητές από ανθρώπους, οι οποίες προσδιορίζουν σαφώς το νόημα των ονομάτων. Επιπλέον σε μια οντολογία ορίζονται κανόνες που καθοδηγούν προς τη σωστή ερμηνεία και χρήση των αντιπροσωπευτικών όρων. Εκτός από ένα σύνολο όρων μια οντολογία μπορεί να οριστεί με μια *ταξινομική ιεραρχία* κλάσεων όπου χρησιμοποιείται η σχέση της υπαγωγής.

4.1.1.2 Μια οντολογία για συγκοινωνιακά δίκτυα

Στην εργασία μας το *πεδίο ενδιαφέροντος* είναι οι *δημόσιες συγκοινωνίες* και συγκεκριμένα ενδιαφερόμαστε για *συγκοινωνιακά δίκτυα*. Σ' αυτή την ενότητα παρουσιάζουμε μια οντολογία για την αναπαράσταση της γνώσης (έννοιες, οντότητες και συσχετίσεις) που απαιτείται για τη μελέτη ενός συγκοινωνιακού δικτύου. Η οντολογία μας ορίστηκε καταρχήν ως ένα σύνολο όρων και στη συνέχεια ως μια ταξινομική ιεραρχία κλάσεων.

4.1.1.2.1 Η οντολογία ως σύνολο όρων

Κόμβος (Node)

Ο όρος «**Κόμβος**» προσδιορίζει μια *γεωγραφική τοποθεσία* (πόλη χωριό, περιοχή κτλ.) στην οποία μπορεί να καταλήξει ένα μέσο μεταφοράς (που πραγματοποιεί ένα δρομολόγιο) ή από την οποία μπορεί να αναχωρήσει ένα μέσο μεταφοράς.

Δρομολόγιο (Itinerary)

Ο όρος «**Δρομολόγιο**» προσδιορίζει μια μετακίνηση ενός μέσου μεταφοράς από έναν κόμβο προς έναν άλλο.

Αφετηρία δρομολογίου (Itinerary origin)

Ο όρος «**Αφετηρία δρομολογίου**» προσδιορίζει τον κόμβο από τον οποίο ξεκινάει ένα δρομολόγιο.

Προορισμός δρομολογίου (Itinerary destination)

Ο όρος «**Προορισμός δρομολογίου**» προσδιορίζει τον κόμβο στον οποίο καταλήγει μια δρομολόγιο.

Μονοπάτι (Path)

Ένα «**Μονοπάτι**» είναι ένα σύνολο δρομολογίων τα οποία είναι διατεταγμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να πληρούνται οι παρακάτω συνθήκες:

η αφετηρία κάθε δρομολογίου, εκτός του πρώτου, είναι ίδια με τον προορισμό του προηγούμενου στη διάταξη δρομολογίου.

ο προορισμός κάθε δρομολογίου, εκτός του τελευταίου, είναι ίδιος με την αφετηρία του επόμενου στη διάταξη δρομολογίου.

Η αφετηρία του πρώτου δρομολογίου ονομάζεται **Αφετηρία μονοπατιού (Path origin)** και ο προορισμός του τελευταίου δρομολογίου ονομάζεται **Προορισμός μονοπατιού (Path destination)**.

Μέσο μεταφοράς (Mean of transport)

Ένα «**Μέσο μεταφοράς**» είναι ένα όχημα που πραγματοποιεί ένα δρομολόγιο και μεταφέρει ένα σύνολο επιβατών.

Είδος μέσου μεταφοράς (Transport mode)

Ένα μέσο μεταφοράς, ανάλογα με το φυσικό μέσο πάνω ή μέσα στο οποίο κινείται, μπορεί να ανήκει σε μία από τρεις κατηγορίες: **Χερσαίο, Θαλάσσιο, Εναέριο**. Χερσαία μέσα μεταφοράς είναι τα **λεωφορεία** και τα **τραίνα**, θαλάσσια μέσα μεταφοράς είναι τα **πλοία** και εναέρια μέσα μεταφοράς είναι τα **αεροπλάνα**.

Ταξίδι (Travel - Trip)

Ο όρος «**Ταξίδι**» προσδιορίζει μια μετακίνηση ενός επιβάτη από έναν κόμβο (**Αφετηρία ταξιδιού – Travel origin**) σε έναν άλλο κόμβο (**Προορισμός ταξιδιού – Travel Destination**)

Μονοπάτι ταξιδιού (Travel/Trip path)

Ο όρος «**Μονοπάτι ταξιδιού**» προσδιορίζει ένα μονοπάτι το οποίο αντιστοιχίζεται με ένα ταξίδι. Η αφετηρία του μονοπατιού είναι ίδια με την αφετηρία του ταξιδιού και ο προορισμός του μονοπατιού είναι ίδιος με τον προορισμό του ταξιδιού.

Ενδιάμεσος κόμβος (Intermediate node)

Σε ένα μονοπάτι, κάθε κόμβος εκτός από την αφετηρία και τον προορισμό θα ονομάζεται «**Ενδιάμεσος κόμβος**».

Οντότητα συγκοινωνιακού δικτύου (Transportation network entity)

Οι οντότητες **κόμβος**, **δρομολόγιο** και **μονοπάτι** μπορούν να περιγράψουν πλήρως ένα συγκοινωνιακό δίκτυο. Σε κάθε μια από τις παραπάνω οντότητες αντιστοιχίζουμε ένα σύνολο από **ιδιότητες (properties)**.

Ιδιότητα (Property)

Μια «**ιδιότητα**» εκφράζει ένα χαρακτηριστικό μιας οντότητας συγκοινωνιακού δικτύου ή μια σχέση μεταξύ οντοτήτων. Μια ιδιότητα έχει ένα **όνομα (name)** και μια **τιμή (value)**.

Σε κάθε οντότητα ενός συγκοινωνιακού δικτύου αντιστοιχίζουμε ένα σύνολο ιδιοτήτων. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζουμε για κάθε οντότητα τις ιδιότητες που τις ανατίθενται και θα χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια. Πιθανότατα να είναι δυνατή η ανάθεση περισσότερων ιδιοτήτων από αυτές που χρησιμοποιήσαμε. Ωστόσο, με βάση τη θεώρηση που κάναμε για τα συγκοινωνιακά δίκτυα οι ιδιότητες που χρησιμοποιήσαμε είναι αρκετές για τη μοντελοποίηση ενός συγκοινωνιακού δικτύου ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες και οι στόχοι που τέθηκαν.

Ιδιότητες κόμβου (Node properties)³

Όνομα ιδιότητας	Τιμή ιδιότητας
όνομα	το όνομα του κόμβου
νομός	ο νομός στον οποίο βρίσκεται ο κόμβος
περιφέρεια	η διοικητική περιφέρεια στην οποία βρίσκεται ο νομός του κόμβου
χώρα	η χώρα στην οποία βρίσκεται η διοικητική περιφέρεια του νομού
κατηγορία	η κατηγορία του κόμβου

Ιδιότητες δρομολογίου (Itinerary properties)

Όνομα ιδιότητας	Τιμή ιδιότητας
είδος μέσου μεταφοράς	το είδος του μέσου μεταφοράς που εκτελεί το δρομολόγιο
εταιρία συγκοινωνιών	η εταιρία που διαθέτει το μέσο μεταφοράς που εκτελεί το δρομολόγιο
εκκίνηση	η χρονική στιγμή κατά την οποία το μέσο μεταφοράς ξεκινάει από την αφετηρία του

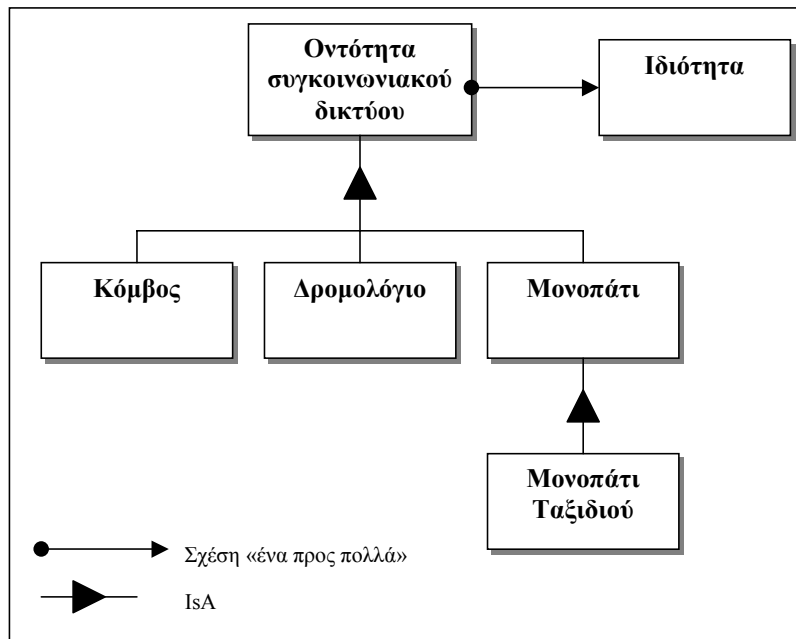
³ Οι ιδιότητες που ορίσαμε για έναν κόμβο, προκύπτουν από την ιεραρχική άποψη των συγκοινωνιακών δικτύων στην οποία θα αναφερθούμε στη συνέχεια.

	δρομολογίου
διάρκεια	η χρονική διάρκεια του δρομολογίου
κόστος	το χρηματικό αντίτιμο που πρέπει να καταβάλει ένας επιβάτης για να μετακινηθεί μ' αυτό το δρομολόγιο
κατηγορία	η κατηγορία του δρομολογίου όπως προκύπτει από την κατηγοριοποίησή του στο ιεραρχικό μοντέλο για ένα συγκοινωνιακό δίκτυο

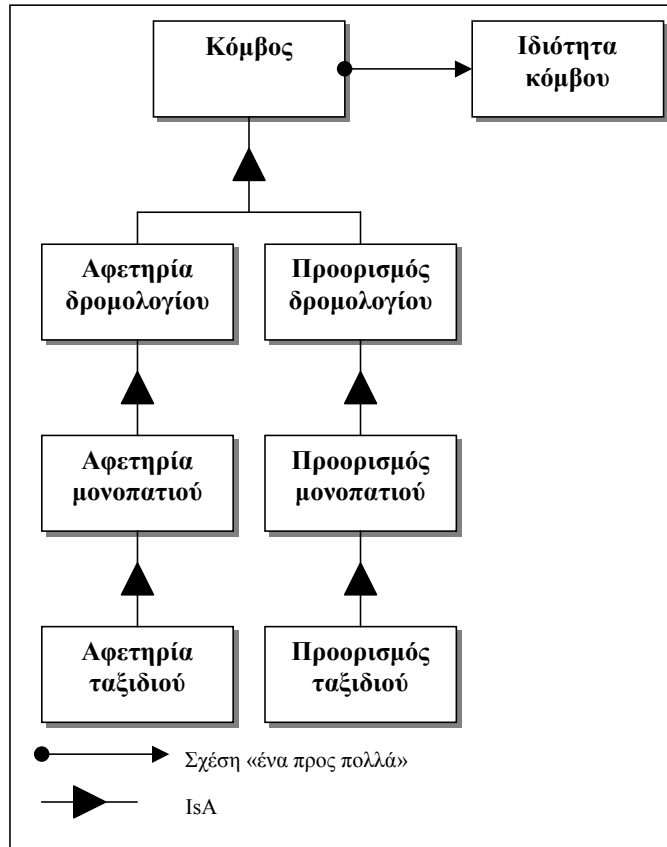
Ιδιότητες μονοπατιού (Path properties)

Όνομα ιδιότητας	Τιμή ιδιότητας
εκκίνηση	η χρονική στιγμή κατά την οποία το μέσο μεταφοράς ξεκινάει από την αφετηρία του μονοπατιού
διάρκεια	το άθροισμα των τιμών τις ιδιότητα «διάρκεια» όλων των δρομολογίων από τα οποία αποτελείται το μονοπάτι
κόστος	το άθροισμα των τιμών τις ιδιότητα «κόστος» όλων των δρομολογίων από τα οποία αποτελείται το μονοπάτι
πλήθος δρομολογίων	ο αριθμός των δρομολογίων από τα οποία αποτελείται το μονοπάτι

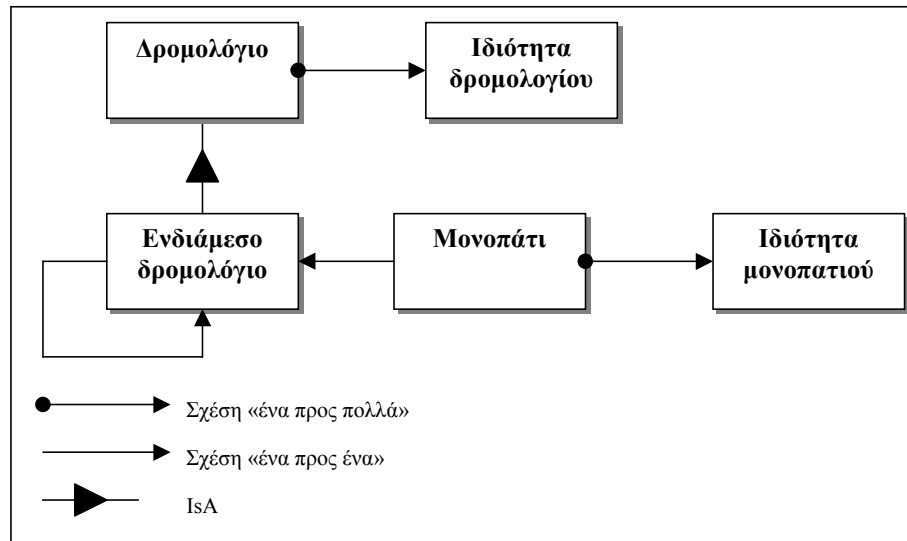
4.1.1.2.2 Η οντολογία ως ταξινομική ιεραρχία



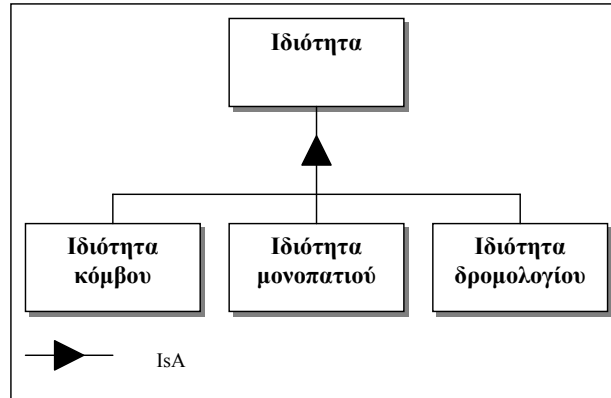
Σχήμα 4.2: Οι οντότητες ενός συγκοινωνιακού δικτύου



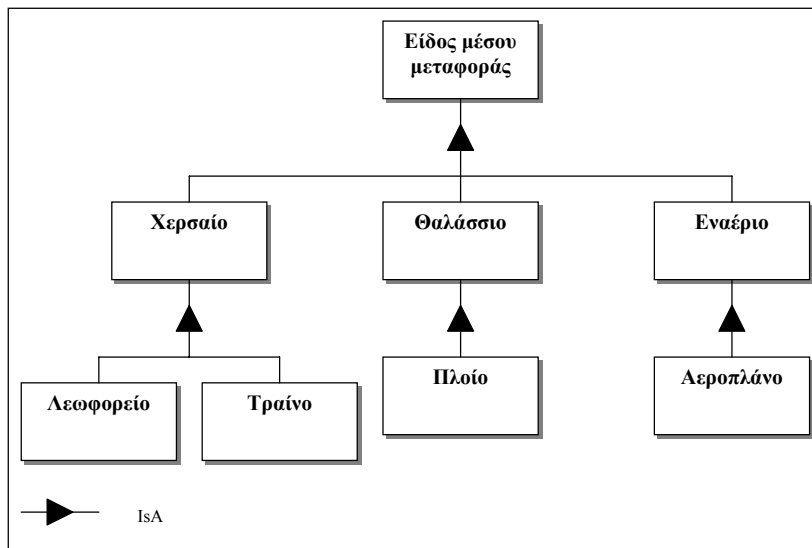
Σχήμα 4.3: Η έννοια «Κόμβος» και οι επαγόμενες από αυτή έννοιες



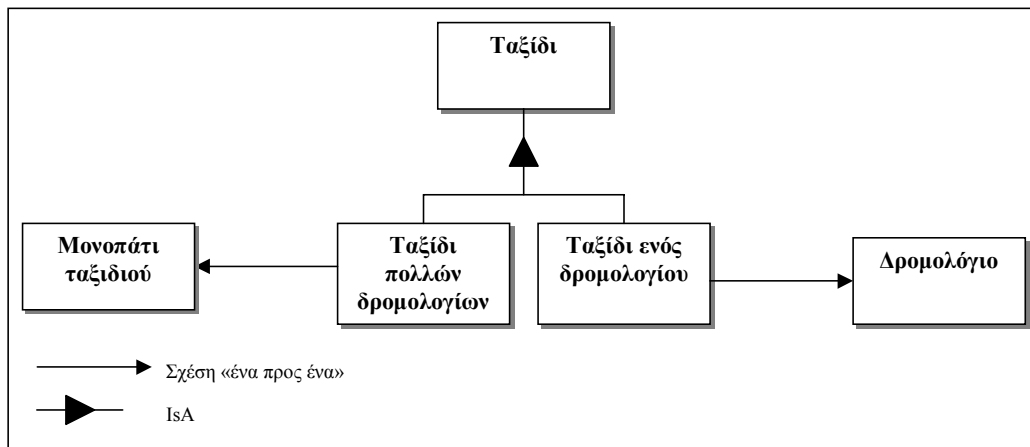
Σχήμα 4.4: Η έννοια «Μονοπάτι»



Σχήμα 4.5: Η έννοια «Ιδιότητα» και οι επαγόμενες από αυτή έννοιες



Σχήμα 4.6: Είδη μέσων μεταφοράς



Σχήμα 4.7: Η έννοια «Ταξίδι»

4.2 Αναπαράσταση συγκοινωνιακού δικτύου

Για την αναπαράσταση ενός συγκοινωνιακού δικτύου χρησιμοποιήσαμε έννοιες της **θεωρίας γράφων**. Έτσι, ένα συγκοινωνιακό δίκτυο αναπαρίσταται από έναν **γράφο** κάνοντας τις τρεις παρακάτω συμβάσεις:

- Οι κορυφές του γράφου αναπαριστούν κόμβους του συγκοινωνιακού δικτύου.
- Οι σύνδεσμοι του γράφου αναπαριστούν δρομολόγια του συγκοινωνιακού δικτύου.
- Τα μονοπάτια του γράφου αναπαριστούν μονοπάτια του συγκοινωνιακού δικτύου.

4.2.1 Θεωρία γράφων – ορισμοί

Ορισμός 1: (Κατευθυνόμενος Γράφος- Directed graph)

Ένας κατευθυνόμενος γράφος (graph) G , είναι ένα ζευγάρι $G = (V, E)$ όπου $V = \{V_i | 1 \leq i \leq n\}$ είναι ένα σύνολο κορυφών (vertices), n είναι το συνολικό πλήθος των κορυφών και $E = \{\langle V_i, V_j \rangle | 1 \leq i, j \leq n \wedge i \neq j\}$ είναι το σύνολο των συνδέσμων του γράφου. Κάθε σύνδεσμος είναι ένα διατεταγμένο ζευγάρι $\langle V_i, V_j \rangle$ που συμβολίζεται για απλότητα ως E_{ij} .

Ορισμός 2: (Μονοπάτι γράφου – Graph path)

Ένα μονοπάτι ενός γράφου $G = (V, E)$, είναι μια ακολουθία κορυφών $P_{ij} = \langle V_{k_1}, V_{k_2}, \dots, V_{k_m} \rangle$, του γράφου, όπου $V_i = V_{k_1}$, $V_j = V_{k_m}$, $V_{k_p} \in N$, $1 \leq p \leq m$ και $E_{k_p, k_{p+1}} \in E$, $1 \leq p \leq m-1$. Τα V_i και V_j είναι η κορυφή αφετηρίας και η κορυφή προορισμού του μονοπατιού, αντίστοιχα.

4.2.2 Γράφος συγκοινωνιακού δικτύου

Για την αναπαράσταση ενός συγκοινωνιακού δικτύου, με έναν γράφο πρέπει να επεκτείνουμε του ορισμούς που δώσαμε για τους γράφους ώστε να λάβουμε υπόψη τα χαρακτηριστικά του συγκοινωνιακού δικτύου. Έτσι ορίζουμε το **Γράφο Συγκοινωνιακού Δικτύου (Transportation Network Graph-TNG)** στη θέση του κατευθυνόμενου γράφου και το **Μονοπάτι Γράφου Συγκοινωνιακού Δικτύου (Transportation Network Graph Path – TNG-Path)** στη θέση του μονοπατιού ενός κατευθυνόμενου γράφου.

Ορισμός 3: (Γράφος Συγκοινωνιακού Δικτύου – Transportation Network Graph / TNG)

Ορίζουμε την τριάδα $TNG = (D, I, IP)$ ως γράφο συγκοινωνιακού δικτύου, όπου:

$D = \{D_i = DP_i \mid 1 \leq i \leq n, DP_i \in DP\}$ είναι το σύνολο των κόμβων (κορυφές) του συγκοινωνιακού δικτύου. Κάθε κόμβος αναπαρίσταται από ένα διάνυσμα. Ένα τέτοιο διάνυσμα αναπαριστά τις διαφορετικές ιδιότητες που έχουν οριστεί για έναν κόμβο. Το n είναι το πλήθος των κόμβων του συγκοινωνιακού δικτύου.

$DP = \{DP_i \mid 1 \leq i \leq n \wedge DP_i = \langle DP_{i_1}, K DP_{i_p} \rangle\}$ είναι ένα σύνολο διανυσμάτων τέτοια ώστε, κάθε διάνυσμα αναπαριστά το σύνολο των ιδιοτήτων που έχουμε ορίσει για έναν κόμβο. Το n είναι το συνολικό πλήθος των κόμβων του δικτύου και p είναι το σύνολο των διαφορετικών ιδιοτήτων που ορίζονται για έναν κόμβο.

$IP = \{IP_i \mid 1 \leq i \leq m \wedge IP_i = \langle IP_{i_1}, K IP_{i_q} \rangle\}$ είναι ένα σύνολο διανυσμάτων τέτοια ώστε, κάθε διάνυσμα αναπαριστά το σύνολο των ιδιοτήτων που έχουμε ορίσει για ένα δρομολόγιο, m είναι το συνολικό πλήθος των δρομολογίων του δικτύου και q είναι το σύνολο των διαφορετικών ιδιοτήτων που ορίζονται για ένα δρομολόγιο

$I = \{I_{k_{ij}} = \langle D_i, D_j, IP_k \rangle \mid 1 \leq i, j \leq n \wedge i \neq j \wedge 1 \leq k \leq m\}$ είναι το σύνολο των δρομολογίων (σύνδεσμοι) του συγκοινωνιακού δικτύου. Ένα δρομολόγιο είναι μια διατεταγμένη τριάδα $\langle D_i, D_j, IP_k \rangle$ και συμβολίζεται για απλότητα $I_{k_{ij}}$. Αυτός ο συμβολισμός μπορεί να ερμηνευτεί ως το υπ' αριθμό k δρομολόγιο του δικτύου από τον υπ' αριθμό i κόμβο στον υπ' αριθμό j κόμβο.

Σε ένα γράφο συγκοινωνιακού δικτύου, ένας κόμβος προσδιορίζεται και από ένα σύνολο ιδιοτήτων. Επιπλέον, ένα δρομολόγιο, εκτός από την αφετηρία και τον προορισμό προσδιορίζεται από ένα σύνολο ιδιοτήτων δρομολογίου. Για λόγους απλότητας, στη συνέχεια θα συμβολίζουμε έναν γράφο συγκοινωνιακού δικτύου ως $TNG = (D, I)$ εννοώντας την ύπαρξη των ιδιοτήτων των κόμβων και των δρομολογίων.

Ορισμός 4: (Μονοπάτι Γράφου Συγκοινωνιακού Δικτύου -Transportation Network Graph Path / TNG-path)

Ορίζουμε το διάνυσμα $TNGP_{ij} = \langle D_{k_1}, D_{k_2}, K D_{k_l} \rangle$ ως μονοπάτι γράφου συγκοινωνιακού δικτύου όπου, $D_{k_r} \in D, 1 \leq r \leq l$ και $\exists IP_t \in IP \mid \langle D_{k_w}, D_{k_{w+1}}, P_t \rangle \in I, 1 \leq w \leq l-1$. Τα $D_i = D_{k_1}, D_j = D_{k_l}$, είναι η αφετηρία και ο προορισμός του μονοπατιού, αντίστοιχα. Δηλαδή ένα μονοπάτι γράφου συγκοινωνιακού δικτύου είναι μια ακολουθία κόμβων τέτοια ώστε για κάθε δύο συνεχόμενους κόμβους να υπάρχει ένα δρομολόγιο που τους συνδέει και ξεκινώντας από τον πρώτο κόμβο και ακολουθώντας δρομολόγια να καταλήγουμε στον τελευταίο κόμβο.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι η βασική διαφορά ανάμεσα σε έναν κατευθυνόμενο γράφο και έναν γράφο συγκοινωνιακού δικτύου είναι ότι στον κατευθυνόμενο γράφο,

μεταξύ δύο κορυφών δεν υπάρχουν περισσότεροι του ενός σύνδεσμοι με την ίδια κατεύθυνση ενώ κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί σε έναν γράφο συγκοινωνιακού δικτύου.

4.3 Ιεραρχικό μοντέλο συγκοινωνιακού δικτύου

Ένα συγκοινωνιακό δίκτυο περιλαμβάνει ένα σύνολο κόμβων οι οποίοι οριοθετούν μια γεωγραφική περιοχή. Μια περιοχή που οριοθετείται από ένα σύνολο κόμβων, μπορεί να είναι μια χώρα ή μια περιοχή μέσα σε μια χώρα. Τα όρια της γεωγραφικής περιοχής που οριοθετείται από το σύνολο κόμβων μιας χώρας, είναι τα σύνορα της χώρας.

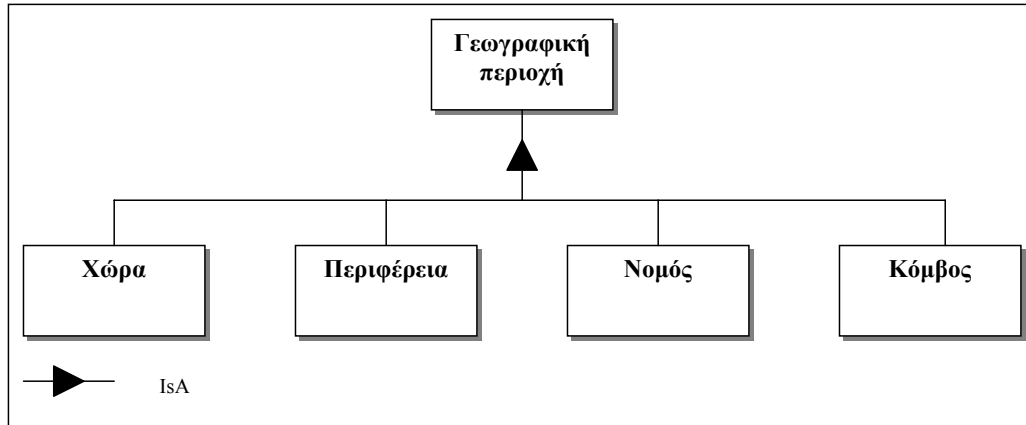
Συνήθως μια χώρα διαιρείται σε μικρότερες γεωγραφικές διοικητικές περιοχές οι οποίες οργανώνονται με έναν ιεραρχικό τρόπο. Για παράδειγμα, η Ελλάδα διαιρείται σε δεκατρείς διοικητικές περιφέρειες και κάθε περιφέρεια διαιρείται σε μικρότερες διοικητικές περιοχές, τους νομούς.

Εκμεταλλεζόμενοι τη διοικητική ιεραρχική διαίρεση μιας χώρας σε μικρότερες γεωγραφικές περιοχές, ορίσαμε μια **ταξινομική ιεραρχία γεωγραφικών περιοχών**. Με βάση αυτή την ιεραρχία, ορίσαμε μια **ταξινομική ιεραρχία δρομολογίων και ταξιδιών** η οποία χρησιμοποιήθηκε για τον ορισμό μιας **ταξινομικής ιεραρχίας κόμβων**. Αυτές οι ταξινομικές ιεραρχίες χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό ενός μοντέλου που ορίζει μια ιεραρχική άποψη για ένα συγκοινωνιακό δίκτυο.

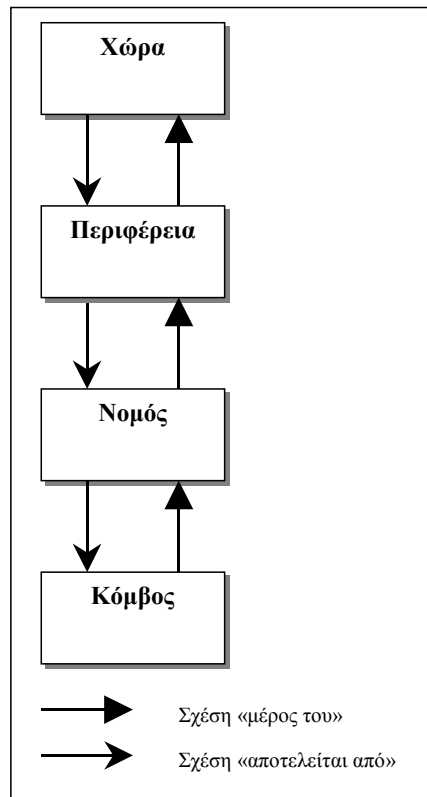
4.3.1 Ταξινομική ιεραρχία γεωγραφικών περιοχών

Στο Σχήμα 4.8 φαίνεται η ταξινομική ιεραρχία των γεωγραφικών περιοχών. Αυτή η ιεραρχία ορίζει τέσσερις κατηγορίες γεωγραφικών περιοχών: **Χώρα, Περιφέρεια, Νομός, Κόμβος**⁴. Μεταξύ γεωγραφικών περιοχών διαφορετικών κατηγοριών ορίζονται σχέσεις «μέρος του» και «αποτελείται από» όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.9. Έτσι μια χώρα αποτελείται από περιφέρειες και κάθε περιφέρεια είναι μέρος μιας χώρας. Κάθε περιφέρεια αποτελείται από νομούς και κάθε νομός είναι μέρος μιας περιφέρειας. Κάθε νομός αποτελείται από κόμβους και κάθε κόμβος είναι μέρος ενός νομού. Αυτές οι σχέσεις είναι μεταβατικές. Για παράδειγμα, ένας κόμβος είναι μέρος ενός νομού, μιας περιφέρειας και μιας χώρας.

⁴ Όπως αναλύσαμε και στην οντολογία για το συγκοινωνιακό δίκτυο, ένας κόμβος είναι μια τοποθεσία με γεωγραφική υπόσταση και συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί ως γεωγραφική περιοχή.



Σχήμα 4.8: Ταξινομική ιεραρχία γεωγραφικών περιοχών



Σχήμα 4.9: Συσχετίσεις μεταξύ γεωγραφικών περιοχών

4.3.2 Ταξινομική ιεραρχία δρομολογίων και ταξιδιών

Με βάση την ταξινομική ιεραρχία των γεωγραφικών περιοχών, ορίσαμε την **ταξινομική ιεραρχία δρομολογίων και ταξιδιών** που φαίνεται στο Σχήμα 4.10. Η ταξινόμηση ενός δρομολογίου ή ταξιδιού σ' αυτή την ιεραρχία γίνεται με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

Διεθνές δρομολόγιο / ταξίδι

Ένα δρομολόγιο / ταξίδι είναι **διεθνές**, όταν η αφετηρία και ο προορισμός βρίσκονται σε διαφορετικές χώρες.

Εθνικό δρομολόγιο / ταξίδι

Ένα δρομολόγιο / ταξίδι είναι **εθνικό**, όταν η αφετηρία και ο προορισμός βρίσκονται στην ίδια χώρα.

Περιφερειακό δρομολόγιο / ταξίδι

Ένα εθνικό δρομολόγιο / ταξίδι είναι **περιφερειακό**, όταν η αφετηρία και ο προορισμός βρίσκονται στην ίδια περιφέρεια.

Διαπεριφερειακό δρομολόγιο / ταξίδι

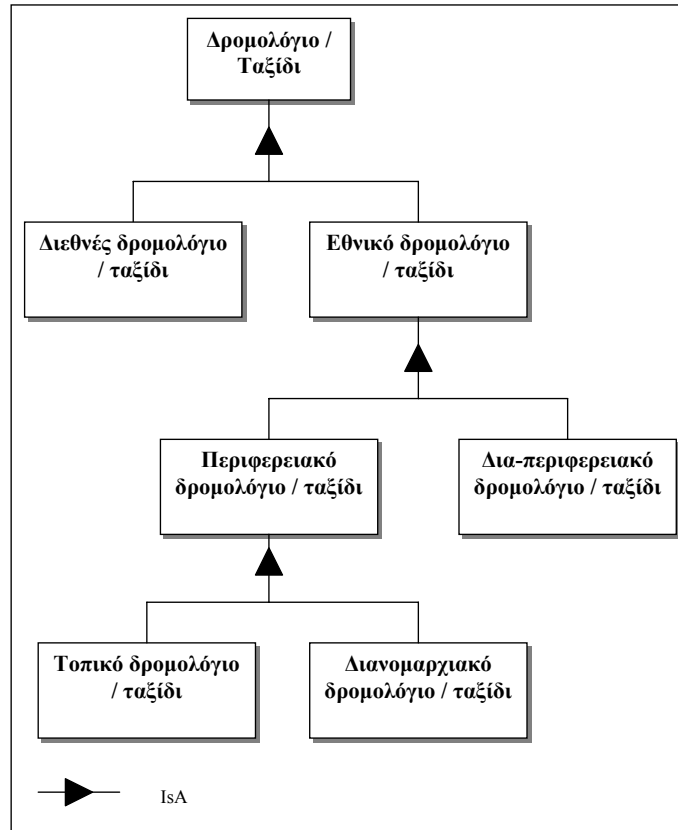
Ένα εθνικό δρομολόγιο / ταξίδι είναι **διαπεριφερειακό**, όταν η αφετηρία και ο προορισμός βρίσκονται σε διαφορετικές περιφέρειες.

Τοπικό δρομολόγιο / ταξίδι

Ένα περιφερειακό δρομολόγιο / ταξίδι είναι **τοπικό**, όταν η αφετηρία και ο προορισμός βρίσκονται στον ίδιο νομό.

Διανομαρχιακό δρομολόγιο / ταξίδι

Ένα περιφερειακό δρομολόγιο / ταξίδι είναι **διανομαρχιακό** όταν η αφετηρία και ο προορισμός βρίσκονται σε διαφορετικούς νομούς.



Σχήμα 4.10: Ταξινομική ιεραρχία δρομολογίων και ταξιδιών

4.3.3 Ταξινομική ιεραρχία κόμβων

Η ταξινομική ιεραρχία δρομολογίων και ταξιδιών χρησιμοποιείται για τον ορισμό της **ταξινομικής ιεραρχίας κόμβων** που φαίνεται στο Σχήμα 4.11.

Ένας κόμβος ταξινομείται στην παραπάνω ιεραρχία με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

Τοπικός κόμβος

Ένας κόμβος είναι **τοπικός** όταν μπορεί να είναι αφετηρία ή προορισμός σε **τοπικά δρομολόγια**.

Περιφερειακό κόμβος

Ένας κόμβος είναι **περιφερειακός** όταν μπορεί να είναι αφετηρία ή προορισμός σε **τοπικά και διανομαρχιακά δρομολόγια**.

Εθνικός κόμβος

Ένας κόμβος είναι **εθνικός** όταν μπορεί να είναι αφετηρία ή προορισμός σε **τοπικά, διανομαρχιακά και διαπεριφερειακά δρομολόγια**.

Διεθνής κόμβος

Ένας κόμβος είναι **διεθνής** όταν μπορεί να είναι αφετηρία ή προορισμός σε **τοπικά, διανομαρχιακά, διαπεριφερειακά και διεθνή δρομολόγια**.



Σχήμα 4.11: Ταξινομική ιεραρχία κόμβων

Η ταξινομική ιεραρχία στο Σχήμα 4.11 είναι μια ιεραρχία κλάσεων όπου ορίζονται σχέσεις υποσυνόλου μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών κόμβων. Παρατηρούμε ότι ένας κόμβος που ταξινομείται σε αυτή την ιεραρχία μπορεί να είναι μέλος μιας ή περισσοτέρων κατηγοριών. Αυτό συμβαίνει διότι ένας κόμβος είναι μέλος της κλάσης στην οποία ταξινομείται και μέλος όλων των υπέρ-κλάσεων αυτής της κλάσης.

Μια κατηγορία κόμβων της παραπάνω ιεραρχίας προσδιορίζει τις δυνατότητες διασύνδεσης (μέσω δρομολογίων) των κόμβων που ταξινομούνται σ' αυτή, με άλλους κόμβους. Κάνουμε την παραδοχή ότι κάθε κόμβος ενός συγκοινωνιακού δικτύου μπορεί να διασυνδεθεί με έναν τουλάχιστον κόμβο του ίδιου νομού. Συνεπώς κάθε κόμβος θεωρείται τοπικός. Γι' αυτό το λόγο η κατηγορία «**Τοπικός κόμβος**» βρίσκεται στην κορυφή της ιεραρχίας. Αν ένας κόμβος έχει περισσότερες δυνατότητες διασύνδεσης απ' ότι ένας τοπικός κόμβος, ταξινομείται σε μια από τις υποκατηγορίες της κατηγορίας «Τοπικός κόμβος». Κατεβαίνοντας την ιεραρχία, ένας κόμβος διατηρεί τις δυνατότητες διασύνδεσης των κατηγοριών των ανωτέρων επιπέδων. Η κλάση στην οποία τελικά ταξινομείται ένας κόμβος διαμορφώνει ένα όριο για τις δυνατότητες διασύνδεσής του με άλλους κόμβους. Για παράδειγμα ένας τοπικός κόμβος μπορεί να διασυνδεθεί μόνο με κόμβους του ίδιου νομού ενώ ένας εθνικός κόμβος μπορεί να συνδεθεί με κόμβους του

ίδιου νομού, με κόμβους διαφορετικών νομών στην ίδια περιφέρεια και με κόμβους διαφορετικών περιφερειών στην ίδια χώρα.

4.3.4 Ιεραρχική άποψη συγκοινωνιακού δικτύου

Βασιζόμενοι στις τρεις παραπάνω ταξινομικές ιεραρχίες, θα ορίσουμε μια ιεραρχική αναπαράσταση για ένα συγκοινωνιακό δίκτυο χρησιμοποιώντας τη θεωρία γράφων. Στη συνέχεια αυτής της ενότητας δίδουμε μια σειρά ορισμών για να καταλήξουμε στον ορισμό της ιεραρχική αναπαράστασης που ονομάζουμε **Ιεραρχική Άποψη Συγκοινωνιακού Δικτύου (Hierarchical View of Transportation Network - HVTN)**.

Ορισμός 5: Τμήμα Γράφου Συγκοινωνιακού Δικτύου (Transportation Network Graph Fragment - TNG^f)

Ένα τμήμα $TNG^f = (D^f, I^f)$ ενός γράφου συγκοινωνιακού δικτύου $TNG = (D, I)$, είναι ένας γράφος συγκοινωνιακού δικτύου τέτοιος ώστε $D^f \subseteq D, I^f \subseteq I$. Δηλαδή ένα τμήμα γράφου συγκοινωνιακού δικτύου είναι ένας υπό-γράφος του αρχικού γράφου.

Ορισμός 6: Καταμερισμός Γράφου Συγκοινωνιακού Δικτύου (Partition of Transportation Network Graph)

Ένας καταμερισμός $P_{TNG} = \{TNG_1^f, TNG_2^f, TNG_3^f, \Lambda TNG_p^f\}$ ενός γράφου συγκοινωνιακού δικτύου $TNG = (D, I)$, είναι ένα σύνολο τμημάτων για τα οποία πληρούνται οι παρακάτω συνθήκες:

$D_1^f \cup D_2^f \cup \Lambda \cup D_p^f = D$, δηλαδή η ένωση των συνόλων των κόμβων των τμημάτων είναι το σύνολο των κόμβων του γράφου συγκοινωνιακού δικτύου.

$I_1^f \cup I_2^f \cup \Lambda \cup I_p^f = I$, δηλαδή η ένωση των συνόλων των δρομολογίων των τμημάτων είναι το σύνολο των δρομολογίων του γράφου συγκοινωνιακού δικτύου.

Αν υποθέσουμε ότι έχουμε ένα γράφο συγκοινωνιακού δικτύου για να αναπαραστήσουμε το συγκοινωνιακό δίκτυο μιας χώρας. Τότε μπορούμε να ορίσουμε για τη χώρα ένα **Εθνικό Συγκοινωνιακό Δίκτυο**, για κάθε περιφέρεια της χώρας ένα **Περιφερειακό Συγκοινωνιακό Δίκτυο**, και για κάθε νομό της χώρας ένα **Τοπικό Συγκοινωνιακό Δίκτυο**.

Ορισμός 7: Εθνικό Συγκοινωνιακό Δίκτυο (National Transportation Network - NTN)

Ένα εθνικό συγκοινωνιακό δίκτυο $NTN = (D^N, I^N)$, είναι ένα τμήμα γράφου συγκοινωνιακού δικτύου στο οποίο οι κόμβοι και τα δρομολόγια είναι τέτοια ώστε να πληρούνται οι παρακάτω συνθήκες:

$\forall d \in D^N$ το d είναι εθνικός κόμβος. Δηλαδή κάθε κόμβος ενός εθνικού δικτύου είναι εθνικός κόμβος.

$\forall i \in I^N$ το i είναι διαπεριφερειακό δρομολόγιο. Δηλαδή κάθε δρομολόγιο σε ένα εθνικό δίκτυο είναι διαπεριφερειακό δρομολόγιο.

Ορισμός 8: Περιφερειακό Συγκοινωνιακό Δίκτυο (Regional Transportation Network - RTN)

Ένα περιφερειακό συγκοινωνιακό δίκτυο $RTN = (D^R, I^R)$ είναι ένα τμήμα γράφου συγκοινωνιακού δικτύου, στο οποίο οι κόμβοι και τα δρομολόγια είναι τέτοια ώστε να πληρούνται οι παρακάτω συνθήκες:

$\forall d \in D^R$ το d είναι περιφερειακός κόμβος. Δηλαδή κάθε κόμβος ενός περιφερειακού δικτύου είναι περιφερειακός κόμβος.

$\forall i \in I^R$ το i είναι διανομαρχιακό δρομολόγιο. Δηλαδή κάθε δρομολόγιο σε ένα περιφερειακό δίκτυο είναι διανομαρχιακό δρομολόγιο.

Ορισμός 9: Τοπικό Συγκοινωνιακό Δίκτυο (Local Transportation Network- LTN)

Ένα τοπικό συγκοινωνιακό δίκτυο $LTN = (D^L, I^L)$ είναι ένα τμήμα γράφου συγκοινωνιακού δικτύου στο οποίο οι κόμβοι και τα δρομολόγια είναι τέτοια ώστε να πληρούνται οι παρακάτω συνθήκες:

$\forall d \in D^L$ το d είναι τοπικός κόμβος. Δηλαδή κάθε κόμβος ενός τοπικού δικτύου είναι τοπικός κόμβος.

$\forall i \in I^L$ το i είναι τοπικό δρομολόγιο. Δηλαδή κάθε δρομολόγιο σε ένα τοπικό δίκτυο είναι τοπικό δρομολόγιο.

Ορισμός 10: Ιεραρχική Τμηματοποίηση Συγκοινωνιακού Δικτύου (Hierarchical Fragmentation of Transportation Network - HFTN)

Έστω $P_{TNG} = \{TNG_1^f, TNG_2^f, TNG_3^f, \dots, TNG_p^f\}$ ένας καταμερισμός ενός γράφου συγκοινωνιακού δικτύου $TNG = (D, I)$ για τον οποίο πληρούνται οι παρακάτω συνθήκες:

$\exists TNG_k^f \in P_{TNG}, 1 \leq k \leq p | TNG_k^f$ είναι ένα εθνικό δίκτυο συγκοινωνιών. Δηλαδή ένα **ακριβώς** τμήμα του καταμερισμού είναι εθνικό δίκτυο συγκοινωνιών.

$\exists TNG_m^f \in P_{TNG}, 1 \leq m \leq p, m \neq k | TNG_m^f$ είναι ένα περιφερειακό δίκτυο συγκοινωνιών. Δηλαδή ένα **τουλάχιστον** τμήμα του καταμερισμού είναι περιφερειακό δίκτυο συγκοινωνιών.

$\exists TNG_n^f \in P_{TNG}, 1 \leq n \leq p, n \neq m \wedge n \neq k | TNG_n^f$ είναι ένα τοπικό δίκτυο συγκοινωνιών. Δηλαδή ένα **τουλάχιστον** τμήμα του καταμερισμού είναι τοπικό δίκτυο συγκοινωνιών.

Αν ομαδοποιήσουμε τα τμήματα της ίδιας βαθμίδας του καταμερισμού P_{TNG} , τότε συμβολίζουμε αυτόν τον καταμερισμό με την τριάδα

$HFTN_{TNG} = (NTN_{P_{TNG}}^f, RTN_{P_{TNG}}^f, LTN_{P_{TNG}}^f)$ όπου $NTN_{P_{TNG}}^f \in P_{TNG}$ είναι ένα εθνικό δίκτυο συγκοινωνιών, το $RTN_{P_{TNG}}^f \subset (P_{TNG} - \{NTN_{P_{TNG}}^f\})$ είναι ένα σύνολο από περιφερειακά δίκτυα συγκοινωνιών και το $LTN_{P_{TNG}}^f = (P_{TNG} - RTN_{P_{TNG}}^f - \{NTN_{P_{TNG}}^f\})$ είναι ένα σύνολο από τοπικά δίκτυα συγκοινωνιών. Ονομάζουμε το $HFTN_{TNG} = (NTN_{P_{TNG}}^f, RTN_{P_{TNG}}^f, LTN_{P_{TNG}}^f)$ **ιεραρχική τμηματοποίηση του γράφου** $TNG = (D, I)$.

Ορισμός 11: Ιεραρχική Άποψη Συγκοινωνιακού Δικτύου (Hierarchical View of Transportation Network - *HVTN*)

Μια ιεραρχική άποψη ενός γράφου συγκοινωνιακού δικτύου $TNG = (D, I)$ ορίζεται ως $TNG^h = (D, I, HFTN_{TNG})$, όπου $HFTN_{TNG} = (NTN_{P_{TNG}}^f, RTN_{P_{TNG}}^f, LTN_{P_{TNG}}^f)$ είναι μια ιεραρχική τμηματοποίηση του TNG .

Μια ιεραρχική άποψη ενός συγκοινωνιακού δικτύου ορίζει μια κλίμακα τριών βαθμίδων για συγκοινωνιακά δίκτυα. Η πρώτη βαθμίδα περιέχει ένα εθνικό δίκτυο συγκοινωνιών, η δεύτερη περιέχει περιφερειακά δίκτυα συγκοινωνιών, και η τρίτη περιέχει τοπικά δίκτυα συγκοινωνιών. Στον ορισμό που δώσαμε αναφερόμαστε σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο που καλύπτει τη γεωγραφική περιοχή μιας χώρας. Αν μας ενδιαφέρουν διεθνή δρομολόγια και ταξίδια, οπότε έχουμε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο που καλύπτει μια γεωγραφική περιοχή ευρύτερη απ' ότι αυτή μιας χώρας, τότε πρέπει να εισάγουμε άλλη μία βαθμίδα στην κλίμακα συγκοινωνιακών δικτύων. Για να ορίσουμε αυτή τη βαθμίδα πρέπει να ορίσουμε το **Διεθνές Συγκοινωνιακό Δίκτυο** ως τμήμα συγκοινωνιακού δικτύου στο οποίο κάθε κόμβος είναι διεθνής και κάθε δρομολόγιο είναι διεθνές.

Η ιεραρχική τμηματοποίηση που ορίσαμε για ένα συγκοινωνιακό δίκτυο βασίστηκε στην ιεραρχική διαίρεση μιας χώρας σε διοικητικές γεωγραφικές περιοχές. Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να ορίσουμε μια διαφορετική τμηματοποίηση ομαδοποιώντας τους κόμβους ενός συγκοινωνιακού δικτύου με βάση άλλα χαρακτηριστικά. Ανάλογα με τις απαιτήσεις μπορούμε να ορίσουμε περισσότερες ή λιγότερες βαθμίδες συγκοινωνιακών δικτύων.

Ας δούμε ξανά την ταξινομητική ιεραρχία κόμβων που ορίσαμε στο Σχήμα 4.8. Είδαμε ότι ένας κόμβος που ταξινομείται σε μια κατηγορία, μπορεί να είναι μέλος περισσότερων της μιας κατηγορίας. Για παράδειγμα ένας εθνικός κόμβος είναι ταυτόχρονα περιφερειακός και τοπικός. Αυτό συμβαίνει γιατί ένας κόμβος μπορεί να περιλαμβάνεται σε δρομολόγια διαφορετικών κατηγοριών. Ένας εθνικός κόμβος περιλαμβάνεται σε διαπεριφερειακά δρομολόγια, σε διανομαρχιακά δρομολόγια και σε τοπικά δρομολόγια.

Λόγω των διαπεριφερειακών δρομολογίων, ένας εθνικός κόμβος θα ανήκει στο εθνικό συγκοινωνιακό δίκτυο που έχει οριστεί για τη χώρα στην οποία βρίσκεται. Λόγω των διανομαρχιακών δρομολογίων, ένας εθνικός κόμβος, θα ανήκει και στο περιφερειακό συγκοινωνιακό δίκτυο που έχει οριστεί για την περιφέρεια στην οποία ανήκει. Τέλος, λόγω των τοπικών δρομολογίων, ένας εθνικός κόμβος θα ανήκει και σε στο τοπικό δίκτυο που έχει οριστεί για το νομό στον οποίο βρίσκεται. Κατ' αυτόν τον τρόπο, κάθε τμήμα σε μια ιεραρχική άποψη ενός συγκοινωνιακού δικτύου, περιλαμβάνει κοινούς

κόμβους με ένα τουλάχιστον τμήμα που ανήκει σε διαφορετική βαθμίδα. Με βάση αυτή την παρατήρηση, ορίζουμε το ένα **σύνολο συνοριακών κόμβων** για κάθε τμήμα σε μια ιεραρχική άποψη συγκοινωνιακού δικτύου.

Ορισμός 12: Σύνορο τμήματος συγκοινωνιακού δικτύου

Έστω ένας γράφος συγκοινωνιακού δικτύου $TNG = (D, I)$ και μια ιεραρχική άποψη $TNG^h = (D, T, HFTN_{TNG})$ του, όπου $HFTN_{TNG} = (NTN_{P_{TNG}}^f, RTN_{P_{TNG}}^f, LTN_{P_{TNG}}^f)$. Η τομή του συνόλου των κόμβων ενός τοπικού συγκοινωνιακού δικτύου, $TNG_{LTN}^f \in LTN_{P_{TNG}}^f$ με το σύνολο των κόμβων όλων των περιφερειακών συγκοινωνιακών δικτύων του $HFTN_{TNG}$ ονομάζεται **σύνολο συνοριακών κόμβων (border node set)** του TNG_{LTN}^f . Η τομή του συνόλου των κόμβων ενός περιφερειακού συγκοινωνιακού δικτύου $TNG_{RTN}^f \in RTN_{P_{TNG}}^f$ με το σύνολο των κόμβων του εθνικού συγκοινωνιακού δικτύου του $HFTN_{TNG}$, ονομάζεται **σύνολο συνοριακών κόμβων (border node set)** του TNG_{RTN}^f .

Μπορούμε να πούμε ότι το σύνορο ενός τμήματος συγκοινωνιακού δικτύου, είναι ένα σύνολο κόμβων απ' όπου μπορούμε να μεταβούμε από αυτό το τμήμα σε κόμβους ενός τμήματος που βρίσκεται σε ανώτερη βαθμίδα στην ιεραρχία.

4.4 Εφαρμογή του ιεραρχικού μοντέλου

Θα θεωρήσουμε ένα συγκεκριμένο συγκοινωνιακό δίκτυο και θα δούμε πώς μπορούμε να το αναπαραστήσουμε χρησιμοποιώντας την ιεραρχική άποψη που ορίσαμε παραπάνω. Έστω λοιπόν το συγκοινωνιακό δίκτυο που καλύπτει την γεωγραφική περιοχή την Ελλάδα. Η Ελλάδα διαιρείται διοικητικά σε δεκατρείς **περιφέρειες**. Κάθε περιφέρεια διαιρείται σε **νομούς** σχηματίζοντας ένα σύνολο πενήντα δύο νομών. Αυτή η διαίρεση της Ελλάδας σε διοικητικές γεωγραφικές περιοχές φαίνεται στον Πίνακα 4.1.

Περιφέρεια	Νομοί
Ανατολική Μακεδονία και Θράκη	Δράμας Καβάλας Εύρου Ξάνθης Ροδόπης
Κεντρική Μακεδονία	Ημαθίας Θεσσαλονίκης Κιλκίς Πέλλης Πιερίας Σερρών Χαλκιδικής
Δυτική Μακεδονία	Γρεβενών Καστοριάς Κοζάνης Φλώρινας

Θεσσαλία	Καρδίτσας Λάρισας Μαγνησίας Τρικάλων
Ήπειρος	Αρτας Θεσπρωτίας Ιωαννίνων Πρεβέζης
Ιόνια Νησιά	Ζακύνθου Κέρκυρας Κεφαλληνίας Λευκάδας
Δυτική Ελλάδα	Αιτωλοακαρνανίας Αχαΐας Ηλείας
Στερεά Ελλάδα	Βοιωτίας Ευβοίας Ευρυτανίας Φθιώτιδος Φωκίδος
Πελοπόννησος	Αργολίδος Αρκαδίας Κορινθίας Λακωνίας Μεσσηνίας
Αττική	Αττικής Πειραιώς
Βόρειο Αιγαίο	Λέσβου Σάμου Χίου
Νότιο Αιγαίο	Δωδεκανήσου Κυκλάδων
Κρήτη	Ηρακλείου Λασιθίου Ρεθύμνης Χανίων

Πίνακας 4.1: Περιφέρειες και νομοί της Ελλάδας

Κάθε κόμβος στην Ελλάδα, ανήκει σε έναν νομό και κάθε νομός ανήκει σε μια περιφέρεια. Μια ιεραρχική τμηματοποίηση για το συγκοινωνιακό δίκτυο της Ελλάδας περιλαμβάνει ένα εθνικό συγκοινωνιακό δίκτυο, δεκατρία περιφερειακά συγκοινωνιακά δίκτυα και πενήντα ένα τοπικά συγκοινωνιακά δίκτυα, τα οποία ορίζονται ως εξής:

Τοπικά συγκοινωνιακά δίκτυα

Για κάθε νομό της Ελλάδας ορίζουμε ένα τοπικό συγκοινωνιακό δίκτυο το οποίο περιλαμβάνει όλους τους κόμβους του νομού από και προς τους οποίους πραγματοποιούνται δρομολόγια προς άλλους κόμβους του ίδιου νομού.

Περιφερειακά δίκτυα

Για κάθε περιφέρεια της Ελλάδας ορίζουμε ένα περιφερειακό δίκτυο το οποίο περιλαμβάνει όλους τους κόμβους της περιφέρειας από και προς τους οποίους πραγματοποιούνται διανομαρχιακά δρομολόγια.

Εθνικό δίκτυο

Για την Ελλάδα ορίζουμε ένα εθνικό δίκτυο που περιλαμβάνει όλους τους κόμβους από και προς τους οποίους πραγματοποιούνται διαπεριφερειακά δρομολόγια.

Με βάση αυτή την ιεραρχική τμηματοποίηση, ορίζουμε για κάθε τμήμα της ένα σύνολο συνοριακών κόμβων ως εξής:

Σύνολο τοπικού συγκοινωνιακού δικτύου

Θεωρούμε ότι σε κάθε τοπικό δίκτυο που ορίζεται για έναν νομό, περιλαμβάνεται και ένας τουλάχιστον κόμβος από και προς τον οποίο πραγματοποιούνται διανομαρχιακά δρομολόγια. Αυτοί οι κόμβοι προφανώς ανήκουν και στο περιφερειακό δίκτυο που έχει οριστεί για την περιφέρεια στην οποία ανήκει ο νομός. Δηλαδή αυτοί οι κόμβοι είναι το σύνολο των συνοριακών κόμβων για ένα τοπικό δίκτυο.

Σύνολο περιφερειακού συγκοινωνιακού δικτύου

Θεωρούμε ότι σε κάθε περιφερειακό δίκτυο που έχει οριστεί για μια περιφέρεια περιλαμβάνεται ένας τουλάχιστον κόμβος από και προς τον οποίο πραγματοποιούνται διαπεριφερειακά δρομολόγια. Αυτοί οι κόμβοι ανήκουν προφανώς και στο εθνικό δίκτυο που έχει οριστεί για τη χώρα στην οποία ανήκει η περιφέρεια. Δηλαδή αυτοί οι κόμβοι είναι το σύνολο των συνοριακών κόμβων για ένα περιφερειακό δίκτυο.

Σύνολο εθνικού συγκοινωνιακού δικτύου

Αν ενδιαφερόμαστε για ταξίδια που πραγματοποιούνται στα γεωγραφικά όρια μιας μόνο χώρας, δεν ενδιαφερόμαστε για συνοριακούς κόμβους του εθνικού δικτύου. Ωστόσο στο εθνικό δίκτυο περιλαμβάνονται κόμβοι από και προς τους οποίους πραγματοποιούνται διεθνή δρομολόγια. Αυτοί οι κόμβοι ανήκουν προφανώς σε κάποιο διεθνές δίκτυο που έχει οριστεί για δύο ή περισσότερες χώρες. Δηλαδή αυτοί οι κόμβοι είναι το σύνολο των συνοριακών κόμβων για το εθνικό δίκτυο.

Κεφάλαιο 5

Αλγόριθμος εύρεσης μονοπατιών σε συγκοινωνιακά δίκτυα

Στο προηγούμενο κεφάλαιο μοντελοποιήσαμε ένα ταξίδι ως ένα **διατεταγμένο σύνολο δρομολογίων** ή για να χρησιμοποιήσουμε την ορολογία που εισάγαμε στην οντολογία για το συγκοινωνιακό δίκτυο, ως ένα **μονοπάτι ταξιδιού**. Ένας επιβάτης που επιθυμεί να ταξιδέψει προς έναν προορισμό πρέπει πρώτα να αναζητήσει ένα μονοπάτι ταξιδιού το οποίο θα συνδέει την αφετηρία με τον προορισμό του ταξιδιού. Το ενδιαφέρον σε μια τέτοια αναζήτηση είναι ότι μπορεί να υπάρχουν περισσότερα από ένα διαφορετικά μονοπάτια ταξιδιού που συνδέουν τους κόμβους για τους οποίους ενδιαφέρεται ένας επιβάτης. Αυτή η ποικιλότητα οφείλεται στα χαρακτηριστικά **πολύ-τροπικότητας** που παρουσιάζει ένα συγκοινωνιακό δίκτυο. Συνεπώς ένας επιβάτης που επιθυμεί να βρει ένα μονοπάτι ταξιδιού θα πρέπει να εκτελέσει μια πολύπλοκη αναζήτηση μεταξύ διαφορετικών δρομολογίων σε ένα πολύ-τροπικό συγκοινωνιακό δίκτυο.

Από τα διαφορετικά μονοπάτια ταξιδιού που μπορεί να βρει ένας επιβάτης, ένα ή ορισμένα από αυτά ικανοποιούν τις προτιμήσεις και τις ανάγκες του.

Δεδομένων της αφετηρίας και του προορισμού ενός ταξιδιού και ενός συνόλου προτιμήσεων ενός επιβάτη, ο στόχος ενός συστήματος σχεδιασμού ταξιδιών είναι να εντοπίσει εκείνο ή εκείνα τα μονοπάτια ταξιδιών σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο που να ανταποκρίνονται κατά το δυνατόν καλύτερα στις προτιμήσεις του επιβάτη.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο μοντελοποιήσαμε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο ως ένα γράφο συγκοινωνιακού δικτύου. Σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε έναν αλγόριθμο εύρεσης μονοπατιών σε γράφους συγκοινωνιακών δικτύων με βάση προτιμήσεις επιβατών. Αυτός ο αλγόριθμος χρησιμοποιείται από το σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών για την αναζήτηση μονοπατιών ταξιδιού. Ο αλγόριθμος βασίζεται στην ιεραρχική άποψη που παρουσιάσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τόσο η ιεραρχική δομή του συγκοινωνιακού δικτύου όσο και οι προτιμήσεις ενός επιβάτη χρησιμοποιούνται για την κατασκευή **περιορισμών (constraints)** με βάση τους οποίους περιορίζεται ο χώρος αναζήτησης στο συγκοινωνιακό δίκτυο.

5.1 Μελέτη του προβλήματος

Έχοντας μοντελοποιήσει ένα συγκοινωνιακό δίκτυο ως ένα γράφο, το πρόβλημα της αναζήτησης ενός μονοπατιού ταξιδιού μπορεί να αναχθεί στο γνωστό πρόβλημα **εύρεσης μονοπατιών σε γράφους**. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις έχουν ακολουθηθεί αλλά σημαντική εργασία έχει γίνει για εξειδικευμένες περιπτώσεις του προβλήματος όπου αναζητούνται μονοπάτια τα οποία χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες ιδιότητες. Ίσως το πιο διαδεδομένο πρόβλημα αναζήτησης μονοπατιού σε γράφους είναι αυτό της **συντομότερης διαδρομής**.

Στο πρόβλημα της συντομότερης διαδρομής σε γράφο, για κάθε ζευγάρι κόμβων του γράφου αναζητείται το συντομότερο μονοπάτι που τους συνδέει. Το πόσο σύντομο είναι ένα μονοπάτι σε έναν γράφο προσδιορίζεται από το μήκος ενός μονοπατιού. Για την μέτρηση του μήκους ενός μονοπατιού έχουν οριστεί διαφορετικές μέθοδοι. Για παράδειγμα, το μήκος ενός μονοπατιού μπορεί να προσδιορίζει την απόσταση μεταξύ των δύο κόμβων που συνδέει το μονοπάτι ή κάποιο κόστος για τη διάσχισή του. Από τους πιο γνωστούς αλγόριθμους για το πρόβλημα του συντομότερου μονοπατιού είναι ο αλγόριθμος του Dijkstra [59]. Τροποποιήσεις αυτού του αλγορίθμου έχουν προταθεί για εξειδικευμένες εφαρμογές. Μια τέτοια τροποποίηση παρουσιάζεται και στο [60] και προσανατολίζεται για εφαρμογές στο χώρο των μεταφορών και συγκοινωνιών.

Το πρόβλημα της εύρεσης μονοπατιών σε πολύ-τροπικά δίκτυα συγκοινωνιών μοιάζει με το πρόβλημα του συντομότερου μονοπατιού. Και στις δύο περιπτώσεις αναζητείται ένα μονοπάτι σε γράφο το οποίο να είναι βελτιστοποιημένο ως προς κάποια παράμετρο. Ωστόσο μπορούμε να αναγνωρίσουμε τουλάχιστον τέσσερις βασικές διαφορές οι οποίες κάνουν μη αποτελεσματική την εφαρμογή των υπαρχόντων αλγορίθμων. Αυτές οι διαφοροποιήσεις είναι οι παρακάτω:

Βάρος δρομολογίου

Στο πρόβλημα του συντομότερου μονοπατιού, σε κάθε σύνδεσμο του γράφου αντιστοιχίζεται μια **μονοδιάστατη τιμή** που αντιπροσωπεύει ένα **βάρος** για το σύνδεσμο. Αυτή η τιμή μπορεί να αθροιστεί για κάθε σύνδεσμο ενός μονοπατιού ώστε να υπολογιστεί το κόστος ή το μήκος του.

Στο πρόβλημα του σχεδιασμού ταξιδιών σε πολύ-τροπικό δίκτυο συγκοινωνιών, το βάρος κάθε συνδέσμου αντιπροσωπεύεται από μια **πολυδιάστατη τιμή** που προσδιορίζεται από το σύνολο των ιδιοτήτων του συνδέσμου (εταιρία συγκοινωνιών, μέσο μεταφοράς, χρονική διάρκεια, χρηματικό κόστος). Επιπλέον, το βάρος ενός μονοπατιού σε συγκοινωνιακό δίκτυο μπορεί να εξαρτάται και από τους κόμβους από τους οποίους περνάει.

Μοναδικότητα μονοπατιού

Το συντομότερο μονοπάτι μεταξύ δύο κόμβων ενός κατευθυνόμενου γράφου, ορίζεται μοναδικά. Δηλαδή κάθε αναζήτηση του συντομότερου μονοπατιού μεταξύ δύο κόμβων θα δώσει το ίδιο αποτέλεσμα εφόσον δεν αλλάζουν τα βάρη των συνδέσμων.

Σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο το «συντομότερο» μονοπάτι μεταξύ δύο κόμβων δεν μπορεί να οριστεί μοναδικά γιατί το βάρος κάθε δρομολογίου εξαρτάται και από τις προτιμήσεις του επιβάτη.

Προ-επεξεργασία γράφων

Για την εύρεση του συντομότερου μονοπατιού σ' έναν κατευθυνόμενο γράφο, πολλοί αλγόριθμοι βασίζονται σε μια επεξεργασία του γράφου από την οποία προκύπτουν πίνακες δρομολόγησης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την εύρεση του μονοπατιού.

Σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο η κατασκευή πινάκων δρομολόγησης απαιτεί να ληφθούν υπόψη όλα τα δυνατά διαφορετικά σύνολα προτιμήσεων των επιβατών. Από την άλλη ένα συγκοινωνιακό δίκτυο μπορεί να αλλάζει δυναμικά με συνέπεια να απαιτείται συνεχής ενημέρωση των πινάκων δρομολόγησης. Αν λάβουμε υπόψη και το μέγεθος ενός συγκοινωνιακού δικτύου, η κατασκευή ενός πίνακα δρομολόγησης θα είναι μια χρονοβόρα διαδικασία που θα απαιτεί πλήθος υπολογιστικών πόρων.

Πολύ-τροπικότητα

Οι αλγόριθμοι εύρεσης του συντομότερου μονοπατιού σε κατευθυνόμενους γράφους αντιμετωπίζουν απλά συνδεδεμένους γράφους ενώ σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο πρέπει να αντιμετωπιστούν πολλαπλά συνδεδεμένοι γράφοι.

5.2 Ο αλγόριθμος

Για την εύρεση μονοπατιών σε συγκοινωνιακά δίκτυα αναπτύξαμε τον αλγόριθμο *TNG-PF* (Transportation Network Graph – Path Finding). Με δεδομένους δύο κόμβους του συγκοινωνιακού δικτύου και ένα σύνολο προτιμήσεων ενός επιβάτη, ο αλγόριθμος εντοπίζει ένα σύνολο μονοπατιών που συνδέουν τους δύο κόμβους ενώ ταυτόχρονα ικανοποιούν τις προτιμήσεις.

Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε είναι ισόμορφος με μια διαδικασία κατάβασης μιας δενδρικής δομής (tree descend) όπου ξεκινώντας από έναν αρχικό κόμβο, απαριθμεί τους θυγατρικούς κόμβους και πιθανόν τους επισκέπτεται. Τέτοιοι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές αναζήτησης και ευρετηριασμού σελίδων στον Παγκόσμιο Δικτυακό Ιστό (Web Walkers) [61]. Μπορούμε να θεωρήσουμε τον αλγόριθμο ως μια διαδικασία διάσχισης ενός γράφου (graph traversal) η οποία επεξεργάζεται και ερμηνεύει τη σημασιολογία των συνδέσμων και των κόμβων. Η διάσχιση που πραγματοποιεί ο αλγόριθμος, ξεκινάει από έναν κόμβο του γράφου του συγκοινωνιακού δικτύου ο οποίος αναπαριστά την αφετηρία του μονοπατιού. Καθώς τα εξερχόμενα δρομολόγια από έναν κόμβο εντοπίζονται, μια διαδικασία φιλτραρίσματος επιλέγει μόνο εκείνα που πληρούν ένα σύνολο συνθηκών οι οποίες προσδιορίζονται από ένα σύνολο περιορισμών. Για κάθε κόμβο, έστω D_i , που προσεγγίζεται κατά τη διάσχιση του γράφου εκτελούνται οι παρακάτω ενέργειες:

- **Εντοπισμός των εξερχόμενων δρομολογίων**

Εντοπίζονται όλα τα δρομολόγια $\langle D_i, D_j, IP_k \rangle$ Δηλαδή τα δρομολόγια με αφετηρία τον κόμβο D_i .

- **Εφαρμογή περιορισμών**

Για κάθε εξερχόμενο δρομολόγιο, εφαρμόζεται ένα σύνολο περιορισμών (**Ατομικοί περιορισμοί – Single constraints**). Από όλα τα εξερχόμενα

δρομολόγια, επιλέγονται μόνον εκείνα που πληρούν τις συνθήκες που εκφράζονται από τους περιορισμούς. Όλα τα υπόλοιπα δρομολόγια αγνοούνται.

- **Εκτέλεση ενεργειών**

Κάθε δρομολόγιο που έχει επιλεγεί μετά την εφαρμογή των περιορισμών στο προηγούμενο βήμα, αναφέρεται ως επέκταση ενός μονοπατιού. Για κάθε μονοπάτι στο οποίο μπορεί να συμμετέχει ένα δρομολόγιο, εφαρμόζεται ένα σύνολο από περιορισμούς (**Αθροιστικοί περιορισμοί - Cumulative constraints**). Μετά την εφαρμογή αυτών των περιορισμών μόνο όσα μονοπάτια πληρούν τις συνθήκες που εκφράζονται από τους περιορισμούς, διατηρούνται και επεκτείνονται στη συνέχεια από νέα δρομολόγια που εντοπίζονται.

Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζουμε τον αλγόριθμο *TNG-PF*. Με δεδομένα εισόδου ένα συγκοινωνιακό δίκτυο, δύο κόμβους (αφετηρία και προορισμός), και δύο σύνολα περιορισμών (ατομικοί και αθροιστικοί), ο αλγόριθμος υπολογίζει ένα σύνολο μονοπατιών που συνδέουν τους δύο κόμβους και πληρούν τις συνθήκες που εκφράζονται από τους περιορισμούς.

Σε κάθε κόμβο που επισκέπτεται ο αλγόριθμος, ελέγχει αν ο κόμβος αυτός είναι ο προορισμός του μονοπατιού που αναζητεί. Αν ναι ο αλγόριθμος σταματάει έχοντας εντοπίσει ένα τουλάχιστον μονοπάτι. Αν όχι εντοπίζει όλα τα εξερχόμενα δρομολόγια από αυτόν τον κόμβο. Σε κάθε ένα από αυτά τα δρομολόγια εφαρμόζει ένα σύνολο ατομικών περιορισμών και επιλέγει μόνο εκείνα που ικανοποιούν αυτούς τους περιορισμούς. Κάθε ένα από τα δρομολόγια που επιλέχθηκαν από την εφαρμογή των ατομικών περιορισμών ελέγχεται αν σχηματίζει ένα κυκλικό μονοπάτι. Αν ναι, τότε το δρομολόγιο απορρίπτεται. Αν όχι, ελέγχεται αν το μονοπάτι που σχηματίζεται, ικανοποιεί ένα σύνολο συγκεντρωτικών περιορισμών. Αν όχι το αντίστοιχο δρομολόγιο απορρίπτεται. Αν ναι, το αντίστοιχο δρομολόγιο επιλέγεται και ο αλγόριθμος επισκέπτεται τον κόμβο που καταλήγει το δρομολόγιο. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο αλγόριθμος, ξεκινώντας από την αφετηρία του ζητούμενου μονοπατιού κατασκευάζει αυξητικά το ζητούμενο μονοπάτι. Μπορούμε τελικά να πούμε ότι ο αλγόριθμος πραγματοποιεί μια **κατά βάθος διάσχιση του γράφου υπό περιορισμούς (constraint based depth first traversal)**.

Αλγόριθμος *TNG-PF*

Δεδομένα εισόδου :

- Γράφος συγκοινωνιακού δικτύου $TNG = (D, I)$
- Αφετηρία D_o
- Προορισμός D_d
- Ατομικοί περιορισμοί (Single constraints) : C_s
- Αθροιστικοί περιορισμοί (Cumulative constraints) : C_c

```

1  $D_c = D_o$ 
2 If  $(D_c \neq D_d)$ 
3    $I_{out} = \{ \langle D_i, D_j, IP_k \rangle \mid D_i = D_c \}$ 
4    $I_{out} = apply\_cns(C_s, I_{out})$ 
5   for each  $I_o$  in  $I_{out}$ 
6     if  $(!cycle(I_o))$ 
7        $P = extend\_path(I_o)$ 
8        $P = apply\_cns(C_c, P)$ 
9        $TNG - PF(TNG, D_j, D_d, C_s, C_c)$ 
10    end if
11  end for each
12 end if
13 report  $P$  as path

```

Σχήμα 5.1: Ο αλγόριθμος *TNG-PF*

5.2.1 Ορθότητα του αλγορίθμου

Αποδεικνύουμε τώρα την ορθότητα του αλγορίθμου *TNG-PF*. Ένας αλγόριθμος θεωρείται ορθός όταν :

- η εκτέλεσή του περατώνεται
- η εκτέλεσή του περατώνεται σε ανεκτά χρονικά όρια
- υπολογίζει αυτό που αναμένεται να υπολογίσει

5.2.1.1 Περάτωση

Σε ότι αφορά την περάτωση, υπάρχουν δύο περιπτώσεις στις οποίες ο αλγόριθμος μπορεί να μην περατώνεται. Η πρώτη περίπτωση είναι το σύνολο των κόμβων του

γράφου να είναι άπειρο. Η δεύτερη περίπτωση είναι να δημιουργηθεί ένα κυκλικό μονοπάτι το οποίο να ακολουθεί συνέχεια. Ωστόσο ένα συγκοινωνιακό δίκτυο έχει πεπερασμένο πλήθος κόμβων και επιπλέον ο αλγόριθμος για κάθε δρομολόγιο που εξετάζει ελέγχει αν αυτό δημιουργεί ένα κυκλικό μονοπάτι.

Γενικά, ο αλγόριθμος περατώνεται σε δύο περιπτώσεις. Καταρχήν, ο αλγόριθμος περατώνεται όταν φτάσει στον προορισμό του μονοπατιού που αναζητεί. Επίσης, ο αλγόριθμος περατώνεται όταν φτάσει σε έναν κόμβο στον οποίο κανένα από τα εξερχόμενα δρομολόγια δεν ικανοποιεί ούτε τους ατομικούς περιορισμούς ούτε τους συγκεντρωτικούς περιορισμούς. Αν επιλέξουμε κατάλληλα έναν συγκεντρωτικό περιορισμό τότε μπορούμε να εγγυηθούμε ότι ο αλγόριθμος περατώνεται κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες. Ένας τέτοιος περιορισμός αφορά το μέγιστο πλήθος δρομολογίων από τα οποία αποτελείται ένα μονοπάτι. Περιορίζοντας το μέγιστο πλήθος των δρομολογίων για ένα μονοπάτι, τότε από ένα σημείο και μετά κάθε δρομολόγιο θα παραβιάζει αυτόν τον περιορισμό ή θα εξαντληθούν τα δρομολόγια του γράφου και είτε θα έχει εντοπιστεί ένα μονοπάτι είτε όχι.

5.2.1.2 Υπολογιστική πολυπλοκότητα

Ένας αλγόριθμος **κατά βάθος αναζήτησης** έχει γραμμική πολυπλοκότητα ανάλογη του πλήθους των κόμβων και των συνδέσμων του γράφου (αν υποθέσουμε ότι χρησιμοποιούμε μια δομή δεδομένων στην οποία για κάθε κόμβο διατηρούμε μια λίστα των γειτονικών του). Ωστόσο στον αλγόριθμο **TNG-PF** υπάρχουν ιδιαιτερότητες που αυξάνουν πολύ την πολυπλοκότητά του. Μια κατά βάθος αναζήτηση, επισκέπτεται κάθε κόμβο του γράφου μία μόνο φορά. Ο **TNG-PF** μπορεί να επισκεφτεί έναν κόμβο τόσες φορές όσα και τα εισερχόμενα δρομολόγια σε αυτόν.

Στη χειρίστη περίπτωση για την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου, όλα τα δρομολόγια θα πληρούν τις συνθήκες που εκφράζονται από τους περιορισμούς και δεν θα υπάρχουν κυκλικά μονοπάτια. Σ' αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμος θα τερματιστεί όταν φτάσει στον προορισμό του μονοπατιού που ακολουθεί. Στη χειρίστη λοιπόν περίπτωση ο αλγόριθμος θα επισκεφτεί κάθε κόμβο τόσες φορές όσα και τα εισερχόμενα σ' αυτόν δρομολόγια. Συνεπώς η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου είναι :

$$N = \sum_{i=1}^{|D|} \left| \left\{ I_{k_{ji}} = \langle D_j, D_i, IP_k \rangle \right\} \right|, I_{k_{ji}} \in I$$

Εξίσωση 5.1: Η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου **TNG-PF** στη χειρίστη περίπτωση.

Για μεγάλα συγκοινωνιακά δίκτυα η πολυπλοκότητα θα είναι πολύ μεγάλη στην χειρίστη τουλάχιστον περίπτωση. Ωστόσο η εφαρμογή των περιορισμών, μπορεί να μειώσει σημαντικά την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου. Η εφαρμογή των περιορισμών μπορεί να περιορίσει το πλήθος των κόμβων που επισκέπτεται ο αλγόριθμος αλλά και το πλήθος των επαναεπισκέψεων σε κάθε κόμβο. Αν θεωρήσουμε έναν περιορισμό για το μέγιστο επιτρεπτό πλήθος δρομολογίων από τα οποία αποτελείται ένα μονοπάτι που αναζητείται, τότε μπορούμε προσεγγιστικά να υπολογίσουμε ένα άνω όριο για την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου.

Έστω I_{\max} το μέγιστο πλήθος εξερχόμενων δρομολογίων ενός κόμβου του συγκοινωνιακού δικτύου. Έστω H_{\max} το μέγιστο επιτρεπτό πλήθος δρομολογίων για το μονοπάτι που αναζητείται. Τότε το μέγιστο πλήθος βημάτων που θα εκτελέσει ο αλγόριθμος θα δίνεται από την Εξίσωση 5.2. Βέβαια σ' αυτόν τον υπολογισμό υποθέσαμε ότι κάθε κόμβος του συγκοινωνιακού δικτύου έχει το μέγιστο πλήθος εξερχόμενων δρομολογίων και ότι δεν δημιουργούνται κυκλικά μονοπάτια. Συνεπώς το άνω όριο που υπολογίζεται είναι πιθανότατα μεγαλύτερο από το πραγματικό. Ωστόσο αυτό δεν δημιουργεί πρόβλημα επειδή ούτος ή άλλως έχουμε ένα ασφαλές άνω όριο.

$$N_{\max} = \sum_{i=1}^{H_{\max}-1} (I_{\max})^i \geq N$$

Εξίσωση 5.2: Άνω όριο της πολυπλοκότητας του αλγορίθμου *TNG-PF*.

Αν θεωρήσουμε μια μέση τιμή για το I_{\max} και το H_{\max} , π.χ $I_{\max} = 100$ και $H_{\max} = 4$ προκύπτει ένας σημαντικά μεγάλος αριθμός της τάξης του 10^6 . Ωστόσο η εφαρμογή και των άλλων περιορισμών μπορεί να περιορίσει σημαντικά τη μέση τιμή του I_{\max} . Επιπλέον εκμεταλλευόμενοι και την ιεραρχική δομή του συγκοινωνιακού δικτύου η πολυπλοκότητα μπορεί να μειωθεί ακόμη περισσότερο.

5.2.1.3 Ορθότητα αποτελέσματος

Μια κατά βάθος αναζήτηση σε έναν γράφο συγκοινωνιακού δικτύου χωρίς την εφαρμογή κανενός περιορισμού, εγγυάται ότι κάθε κόμβος του γράφου θα προσεγγιστεί και κατά συνέπεια και ο προορισμός του μονοπατιού που αναζητείται. Δηλαδή χωρίς περιορισμούς, αν υπάρχει μονοπάτι που να συνδέει τη ζητούμενη αφετηρία και προορισμό, τότε αυτό θα εντοπιστεί.

Ο αλγόριθμος *TNG-PF* αγνοεί μόνο εκείνα τα δρομολόγια και κόμβους, τα οποία δεν πληρούν τις συνθήκες που εκφράζονται από τους περιορισμούς. Αυτό σημαίνει ότι ένας αριθμός κόμβων δεν θα εξεταστούν. Ωστόσο, ακόμα και όταν κόμβοι παρακάμπτονται δεν χάνουμε κανένα μονοπάτι που μπορεί να μας ενδιαφέρει. Αυτό είναι αληθές γιατί αν ένα δρομολόγιο δεν πληροί κάποιους περιορισμούς τότε ούτε και το μονοπάτι στο οποίο συμμετέχει θα πληροί τους περιορισμούς και συνεπώς δεν υπάρχει λόγος να ακολουθηθεί.

5.3 Περιορισμοί

Στο προηγούμενο κεφάλαιο για κάθε οντότητα του συγκοινωνιακού δικτύου, ορίσαμε ένα σύνολο από ιδιότητες που εκφράζουν χαρακτηριστικά της κάθε οντότητας. Ένας **περιορισμός (constraint)** προσδιορίζει μια συνθήκη για μια ιδιότητα οντότητας συγκοινωνιακού δικτύου. Συγκεκριμένα, ένας περιορισμός ορίζει ένα πεδίο τιμών για μια ιδιότητα και όταν εφαρμόζεται σε μια οντότητα ελέγχει αν η τιμή μιας συγκεκριμένης ιδιότητα ανήκει σ' αυτό το πεδίο τιμών. Μια συνθήκη που εκφράζεται από έναν

περιορισμό, προσδιορίζει είτε μια προτίμηση ενός επιβάτη, είτε έναν κανόνα που συνεπάγεται από τη δομή του συγκοινωνιακού δικτύου.

Ορισμός 1: Περιορισμός (Constraint)

Ένας περιορισμός είναι μια τριάδα $C = (c_type, p_name, p_value)$, όπου c_type (τύπος περιορισμού) είναι ένας τελεστής που προσδιορίζει τον τύπο του περιορισμού και μαζί με το p_value (τιμή ιδιότητας) ορίζουν ένα πεδίο τιμών για μια ιδιότητα με όνομα p_name . Ο τύπος ενός περιορισμού μπορεί να είναι ένας από τους παρακάτω:

- *lt* (*less than* – μικρότερο από)
- *gt* (*greater than* - μεγαλύτερο από)
- *eq* (*equal* – ίσο)
- *ne* (*not equal* - διαφορετικό)
- *lte* (*less than equal* – μικρότερο ή ίσο)
- *gte* (*grater than equal* – μεγαλύτερο ή ίσο)
- *member* (*member of* – μέλος)
- *not_member* (*not member of* – όχι μέλος)
- *class* (*class* - κατηγορία)

Το όνομα της ιδιότητας (p_name) προσδιορίζει μια ιδιότητα στην οποία μπορεί να εφαρμοστεί ο περιορισμός.

5.3.1 Τύποι περιορισμών

Ένας περιορισμός είναι ένα **στιγμιότυπο (instance)** ενός **τύπου περιορισμού (constraint type)**. Ένας τύπος περιορισμού λειτουργεί ως μια **φόρμα (template)** η οποία καθοδηγεί τη συμπεριφορά ενός στιγμιότυπου. Ένας τύπος περιορισμού ορίζει μια γενική λειτουργικότητα που προσδιορίζει τη συμπεριφορά ενός στιγμιότυπου, ενώ τα στιγμιότυπα των τύπων διατηρούν συγκεκριμένες παραμέτρους για την εφαρμογή αυτής της λειτουργικότητας. Οι τύποι περιορισμών καθώς και η λειτουργικότητά τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1.

Τύπος περιορισμού	Λειτουργικότητα
Μικρότερο από (<i>lt</i> – less than)	Ελέγχει αν η τιμή μιας ιδιότητας είναι μικρότερη από την τιμή μιας παραμέτρου
Μεγαλύτερο από (<i>gt</i> – greater than)	Ελέγχει αν η τιμή μιας ιδιότητας είναι μεγαλύτερη από την τιμή μιας παραμέτρου
Ίσο (<i>eq</i> – equal)	Ελέγχει αν η τιμή μιας ιδιότητας είναι ίση με την τιμή μιας παραμέτρου
Διαφορετικό (<i>ne</i> – not equal)	Ελέγχει αν η τιμή μιας ιδιότητας δεν είναι ίση

	με την τιμή μιας παραμέτρου
Μικρότερο ή ίσο (lte – less than equal)	Ελέγχει αν η τιμή μιας ιδιότητας είναι μικρότερη ή ίση από την τιμή μιας παραμέτρου
Μεγαλύτερο ή ίσο (gte – greater than equal)	Ελέγχει αν η τιμή μιας ιδιότητας είναι μεγαλύτερη ή ίση από την τιμή μιας παραμέτρου
Μέλος του (member_of - member of)	Ελέγχει αν η τιμή μιας ιδιότητας είναι μέλος ενός συνόλου
Όχι μέλος του (not_member – not member of)	Ελέγχει αν η τιμή μιας ιδιότητας δεν είναι μέλος ενός συνόλου
Κατηγορία (class – class)	Ελέγχει αν η τιμή μιας ιδιότητας είναι μιας συγκεκριμένη κατηγορίας

Πίνακας 5.1: Τύποι περιορισμών

5.3.2 Κατηγορίες περιορισμών

Οι περιορισμοί μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση διαφορετικά χαρακτηριστικά. Μια πρώτη κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει με βάση τις οντότητες του συγκοινωνιακού δικτύου στις οποίες ένας περιορισμός μπορεί να εφαρμοστεί. Αυτή η κατηγοριοποίηση παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.2. Η πρώτη στήλη του πίνακα περιέχει τις οντότητες του συγκοινωνιακού δικτύου, η δεύτερη στήλη περιέχει τα ονόματα των ιδιοτήτων για κάθε οντότητα και η τελευταία στήλη περιέχει τους τύπους των περιορισμών που εφαρμόζονται σε κάθε ιδιότητα.

Οντότητα	Όνομα ιδιότητας	Τύποι περιορισμών
Μονοπάτι	εκκίνηση	lt, gt, eq, lte, gte
	διάρκεια	lt, gt, eq, lte, gte
	κόστος	lt, gt, eq, lte, gte
	πλήθος μετεπιβιβάσεων	lt, gt, eq, lte, gte
Δρομολόγιο	είδος μέσου μεταφοράς	Member, not_member, eq
	εταιρία συγκοινωνιών	Member, not_member, eq
	εκκίνηση	lt, gt, eq, lte, gte
	διάρκεια	lt, gt, eq, lte, gte
	κόστος	lt, gt, eq, lte, gte
	κατηγορία	Eq
Κόμβος	όνομα	Eq
	νομός	Member, not_member, eq
	περιφέρεια	Member, not_member, eq
	χώρα	Eq

κατηγορία	Eq
-----------	----

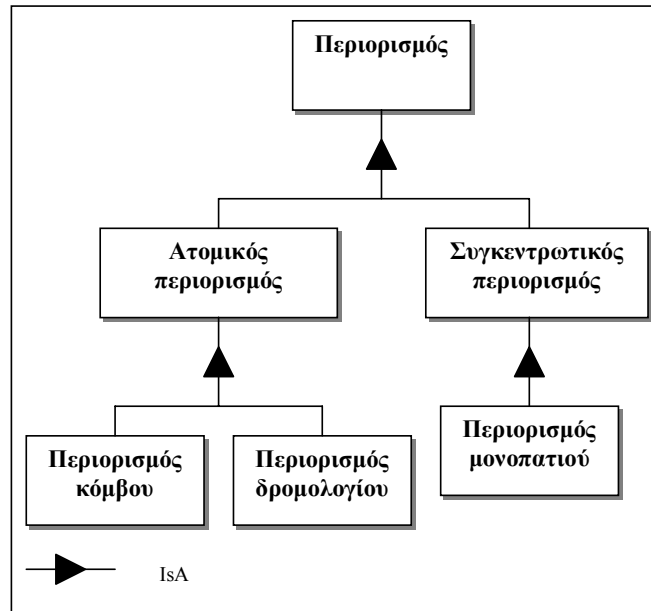
Πίνακας 5.2: Κατηγοριοποίηση περιορισμών

Με βάση τον Πίνακα 5.2, ένας περιορισμός μπορεί να ανήκει σε μία από τις κατηγορίες:

- **Περιορισμός κόμβου**
Περιορισμοί που μπορούν να εφαρμοστούν σε ιδιότητες κόμβου.
- **Περιορισμός δρομολογίου**
Περιορισμοί που μπορούν να εφαρμοστούν σε ιδιότητες δρομολογίου.
- **Περιορισμός μονοπατιού**
Περιορισμοί που μπορούν να εφαρμοστούν σε ιδιότητες μονοπατιών.

Επιπλέον ένας περιορισμός μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε δύο ακόμα κατηγορίες. Η πρώτη ονομάζεται **Ατομικός Περιορισμός (Single Constraint)** και η δεύτερη **Συγκεντρωτικός Περιορισμός (Cumulative Constraint)**. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει περιορισμούς που εφαρμόζονται σε ατομικές οντότητες που είναι ο **κόμβος** και το **δρομολόγιο**. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει περιορισμούς που εφαρμόζονται σε **μονοπάτια**. Ένα μονοπάτι είναι μια σύνθετη οντότητα καθώς αποτελείται από πολλές ατομικές οντότητες. Ένας συγκεντρωτικός περιορισμός εφαρμόζεται σε ιδιότητες σύνθετων οντοτήτων. Μια ιδιότητα σύνθετης οντότητας προκύπτει ως το άθροισμα ιδιοτήτων των οντοτήτων από τις οποίες αποτελείται η σύνθετη οντότητα. Για παράδειγμα η διάρκεια ενός μονοπατιού προκύπτει από το άθροισμα της διάρκειας όλων των δρομολογίων από τα οποία αποτελείται το μονοπάτι. Στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζουμε μια ταξινομική ιεραρχία για την κατηγοριοποίηση των περιορισμών.

Ένας περιορισμός μπορεί να εκφράζει μια προτίμηση ενός επιβάτη ή έναν κανόνα που επάγεται από την ιεραρχική δομή του συγκοινωνιακού δικτύου. Με βάση αυτόν το διαχωρισμό ένας περιορισμός μπορεί να χαρακτηρίζεται είτε ως **Περιορισμός Χρήστη** είτε ως **Περιορισμός συστήματος**.



Σχήμα 5.2: Ταξινομική ιεραρχία περιορισμών

5.3.2.1 Περιορισμοί χρήστη

Ένας περιορισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκφράσει μια προτίμηση ενός επιβάτη. Τέτοιου είδους περιορισμοί θα χαρακτηρίζονται ως **περιορισμοί χρήστη (User Constraints)**. Περιορισμοί χρήστη είναι όλοι εκείνοι που εφαρμόζονται σε ιδιότητες που αντιστοιχίζονται με προτιμήσεις χρηστών. Οι ιδιότητες μονοπατιού και δρομολογίου μπορούν να αντιστοιχιστούν με προτιμήσεις χρηστών. Συνεπώς οι περιορισμοί μονοπατιού και δρομολογίου είναι και περιορισμοί χρήστη. Για παράδειγμα μια προτίμηση ενός επιβάτη μπορεί να είναι ότι η συνολική διάρκεια του ταξιδιού να μην ξεπερνάει κάποια τιμή, έστω X . Αυτή η προτίμηση αντιστοιχίζεται με την ιδιότητα μονοπατιού με όνομα «**διάρκεια**». Ένας περιορισμός, έστω C , που εκφράζει αυτή την προτίμηση θα είναι του τύπου «**μικρότερο ή ίσο**» και ορίζεται όπως φαίνεται στην Έκφραση 5.1.

$$C = (lte, "διάρκεια", X)$$

Έκφραση 5.1: Ένας περιορισμός χρήστη

Εκτός από τους περιορισμούς δρομολογίων και μονοπατιών, υπάρχει περίπτωση και ένας περιορισμός κόμβου να είναι περιορισμός χρήστη. Ας υποθέσουμε για παράδειγμα ότι ένας επιβάτης δεν επιθυμεί να περάσει από κάποιον ενδιάμεσο κόμβο, έστω D , κατά τη διάρκεια του ταξιδιού του. Αυτή η προτίμηση μπορεί να εκφραστεί με έναν περιορισμό κόμβου του τύπου «**διαφορετικό**», όπως φαίνεται στην Έκφραση 5.2.

$$C = (ne, "όνομα", D)$$

Έκφραση 5.2: Ένας περιορισμός κόμβου ως περιορισμός χρήστη.

5.3.2.2 Περιορισμοί συστήματος

Αν η αναζήτηση ενός μονοπατιού πρέπει να γίνει σε ένα τμήμα ενός συγκοινωνιακού δικτύου και όχι σε όλη την έκτασή του, τότε πρέπει με κάποιο τρόπο να προσδιοριστούν τα όρια του τμήματος. Αντί να δημιουργήσουμε ένα αντίγραφο του τμήματος του συγκοινωνιακού δικτύου, μπορούμε να εκφράσουμε τα όριά του χρησιμοποιώντας περιορισμούς κόμβων, και δρομολογίων. Για παράδειγμα ας υποθέσουμε ότι πρέπει να αναζητηθεί ένα μονοπάτι σε ένα τοπικό συγκοινωνιακό δίκτυο που έχει οριστεί για το νομό X . Γνωρίζουμε ότι σε ένα τοπικό συγκοινωνιακό δίκτυο για έναν νομό όλοι οι κόμβοι του ανήκουν στο νομό και όλα τα δρομολογία του είναι τοπικά. Έτσι μπορούμε να προσδιορίσουμε τα όρια του τοπικού συγκοινωνιακού δικτύου για το νομό X με δύο περιορισμούς, έναν περιορισμό κόμβου και έναν περιορισμό δρομολογίου. Αυτοί οι δύο περιορισμοί φαίνονται στην Έκφραση 5.3.

$$C_1 = (eq, "νομός", X)$$

$$C_2 = (eq, "κατηγορία", "τοπικό δρομολόγιο")$$

Έκφραση 5.3: Προσδιορισμός τοπικού συγκοινωνιακού δικτύου με χρήση περιορισμών

Περιορισμοί όπως αυτοί στην Έκφραση 5.3 δεν εκφράζουν προτίμηση επιβάτη αλλά κάποια συνθήκη η οποία συσχετίζεται με την ιεραρχική άποψη του συγκοινωνιακού δικτύου. Αυτού του είδους τους περιορισμούς θα τους ονομάζουμε **περιορισμούς συστήματος**.

5.3.3 Δήλωση και εφαρμογή περιορισμών

Ένας περιορισμός δηλώνεται ορίζοντας ένα στιγμιότυπο ενός τύπου περιορισμού. Για παράδειγμα ας θεωρήσουμε τον τύπο **Ίσο (eq)**. Η σημασία αυτού του περιορισμού είναι ότι μια τιμή πρέπει να είναι ίση με μια άλλη τιμή. Ορίζοντας ένα στιγμιότυπο αυτού του τύπου, προσδιορίζουμε αυτές τις δύο τιμές. Ας υποθέσουμε ότι ένας επιβάτης επιθυμεί να πραγματοποιήσει ένα ταξίδι χρησιμοποιώντας μόνο αεροπλάνο ή λεωφορείο. Εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο *TNG-PF* για την εύρεση ενός μονοπατιού για το ταξίδι, απαιτείται ένας περιορισμός για την επιλογή μόνο των δρομολογίων που πραγματοποιούνται από αεροπλάνο ή λεωφορείο. Εύκολα μπορεί να δει κανείς ότι ένας τέτοιος περιορισμός είναι ένας περιορισμός δρομολογίου του τύπου «**Μέλος του**» ο οποίος θα εφαρμόζεται σε ιδιότητες με όνομα « **είδος μέσου μεταφοράς**». Αν M_1 είναι μια τιμή που παριστά το αεροπλάνο ως είδος μέσου μεταφοράς και M_2 είναι μια τιμή που παριστά το λεωφορείο ως είδος μέσου μεταφοράς, τότε ο περιορισμός ορίζεται όπως φαίνεται στην Έκφραση 5.4.

$$C = (member, "είδος μέσου μεταφοράς", \{M_1, M_2\})$$

Έκφραση 5.4: Ένα στιγμιότυπο του τύπου περιορισμού **Μέλος του**

Ο περιορισμός που ορίσαμε στην Έκφραση 5.4, εφαρμόζεται σε δρομολόγια που εντοπίζονται κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου *TNG-PF*. Έστω λοιπόν ότι σε έναν κόμβο κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου εντοπίζεται ένα εξερχόμενο δρομολόγιο I . Τότε, ο αλγόριθμος πρέπει να αποφασίσει αν το δρομολόγιο I πληροί τον περιορισμό C . Αυτό μπορεί να γίνει αν εφοδιάσουμε έναν περιορισμό και με ένα μηχανισμό επιβεβαίωσης. Όταν καλείται ο μηχανισμός επιβεβαίωσης ενός περιορισμού για μια οντότητα, αναζητεί μια ιδιότητα της οντότητας με όνομα ίδιο με αυτό που ορίζεται στον περιορισμό. Συνεχίζοντας το παράδειγμα, ο μηχανισμός επιβεβαίωσης του περιορισμού C αναζητεί μια ιδιότητα του δρομολογίου I με όνομα «είδος μέσου μεταφοράς». Έστω ότι το δρομολόγιο έχει μια τέτοια ιδιότητα με τιμή Y τότε ο μηχανισμός επιβεβαίωσης αποτιμά την έκφραση ($Y \in \{M_1, M_2\}$). Αν η τιμή της έκφρασης είναι «αληθές» τότε ο περιορισμός πληρείται, διαφορετικά όχι.

Ο περιορισμός που ορίστηκε στην Έκφραση 5.4 μπορεί να χαρακτηριστεί ως απλός αφού αφορά μόνο μια ιδιότητα για μια οντότητα. Σε πολλές περιπτώσεις είναι χρήσιμη η ομαδοποίηση πολλών περιορισμών που αφορούν διαφορετικές ιδιότητες της ίδιας οντότητας. Ας υποθέσουμε ότι ο επιβάτης του προηγούμενου παραδείγματος εκτός από το αεροπλάνο και το λεωφορείο, επιθυμεί το ταξίδι του να μην κοστίζει περισσότερο από κάποια συγκεκριμένη τιμή και να μην διαρκέσει πάνω από ένα χρονικό όριο. Αν παραστήσουμε με Z το άνω όριο για το κόστος και με W το άνω όριο για τη διάρκεια του ταξιδιού, μπορούμε να εκφράσουμε αυτές τις προτιμήσεις με τους περιορισμούς C_1 και C_2 όπως φαίνεται στην Έκφραση 5.5.

$$C_1 = (lte, "κόστος", Z)$$

$$C_2 = (lte, "διάρκεια", W)$$

Έκφραση 5.5: Δύο στιγμιότυπα του τύπου περιορισμού **Μικρότερο ή ίσο**

Ο αλγόριθμος *TNG-PF* θα πρέπει να ελέγξει κάθε μονοπάτι που εντοπίζει αν πληροί τους περιορισμούς C_1 και C_2 . Για να γίνει αυτό θα πρέπει να κληθεί ξεχωριστά ο μηχανισμός επιβεβαίωσης για κάθε περιορισμό. Αντί γι' αυτό χρησιμοποιούμε το δυαδικό τελεστή **ΚΑΙ (AND)**, για να ορίσουμε μια σύζευξη των περιορισμών όπως φαίνεται στην Έκφραση 5.6.

$$C^{\wedge} = C_1 \wedge C_2$$

Έκφραση 5.6: Σύζευξη περιορισμών.

Επιπλέον χρησιμοποιούμε τον δυαδικό τελεστή **Η (OR)**, για τον ορισμό διάζευξης μεταξύ περιορισμών καθώς και τον τελεστή **ΟΧΙ (NOT)** για τον ορισμό άρνησης. Στον Πίνακα 5.3 παρουσιάζουμε τους δυαδικούς τελεστές που εφαρμόζονται σε περιορισμούς..

Τελεστής	Σύμβολο	Τελεστής 1	Τελεστής 2	Αποτέλεσμα
ΚΑΙ	^	περιορισμός	Περιορισμός	Σύζευξη
Η		περιορισμός	Περιορισμός	Διάζευξη
ΟΧΙ		περιορισμός		Άρνηση

Πίνακας 5.3: Δυαδικοί τελεστές που εφαρμόζονται σε περιορισμούς

5.4 Αναζήτηση μονοπατιών σε ιεραρχικά συγκοινωνιακά δίκτυα

Βασιζόμενοι στην ιεραρχική άποψη ενός συγκοινωνιακού δικτύου, εξάγαμε τρία αξιώματα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διάσπαση ενός μονοπατιού που αναζητείται σε επιμέρους τμήματα τα οποία μπορούν να αναζητηθούν σε μικρότερα τμήματα του συγκοινωνιακού δικτύου. Αναπτύξαμε έναν αλγόριθμο ο οποίος χρησιμοποιώντας τα παραπάνω αξιώματα, διασπά το ζητούμενο μονοπάτι σε επιμέρους τμήματα κάθε ένα από τα οποία αναζητείται σε μικρότερα μέρη του συγκοινωνιακού δικτύου. Για την αναζήτηση κάθε τμήματος του μονοπατιού χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος TNG-PF. Αφού εντοπιστούν τα επιμέρους τμήματα, στη συνέχεια συνδυάζονται για το σχηματισμό του ζητούμενου μονοπατιού. Με αυτόν τον τρόπο η εκτέλεση του αλγορίθμου επιταχύνεται αφού εφαρμόζεται σε μικρά τμήματα του δικτύου ενώ τα επιμέρους τμήματα μπορούν να αναζητούνται από παράλληλες διαδικασίες επιταχύνοντας ακόμη περισσότερο τη διαδικασία αναζήτησης.

5.4.1 Αξιώματα

Αξίωμα 1

Εστω $TNG^h = (D, T, HFTN_{TNG})$ μια ιεραρχική άποψη γράφου συγκοινωνιακού δικτύου $TNG = (D, T)$ και $TNG^f = (D^f, T^f)$ ένα τμήμα της ιεραρχικής τμηματοποίησης $HFTN_{TNG}$. Για κάθε ζευγάρι κόμβων $D_a, D_b \in TNG^f$ υπάρχει τουλάχιστον ένα μονοπάτι $P_{(a,b)} = \langle D_a, D_i, D_{i+1}, \Lambda D_j, D_b \rangle$ τέτοιο ώστε $D_i, D_{i+1}, \Lambda D_j \in D^f$.

Αυτό το αξίωμα λει ότι αν αναζητείται ένα μονοπάτι μεταξύ δύο κόμβων που βρίσκονται στο ίδιο τμήμα ενός συγκοινωνιακού δικτύου, τότε όλοι οι ενδιάμεσοι κόμβοι του μονοπατιού θα ανήκουν στο ίδιο τμήμα. Δηλαδή για την εύρεση του μονοπατιού δεν χρειάζεται να εξεταστούν δρομολόγια που οδηγούν σε κόμβους άλλων τμημάτων.

Αξίωμα 2

Εστω $TNG^h = (D, T, HFTN_{TNG})$ μια ιεραρχική άποψη γράφου συγκοινωνιακού δικτύου $TNG = (D, T)$. Εστω $TNG_k^f = (D_k^f, T_k^f)$ και $TNG_l^f = (D_l^f, T_l^f)$ δύο τμήματα της ιεραρχικής τμηματοποίησης $HFTN_{TNG}$ τα οποία ανήκουν σε διαφορετικές βαθμίδες της κλίμακας που ορίζει η ιεραρχική άποψη. Για κάθε ζευγάρι κόμβων $D_a \in D_k^f, D_b \in D_l^f$, κάθε μονοπάτι $P_{(a,b)} = \langle D_a, D_i, D_{i+1}, \Lambda D_j, D_b \rangle$ από τον κόμβο D_a στον κόμβο D_b είναι τέτοιο ώστε :

- $\exists D_m, i \leq m < j \mid D_m \in \text{BORDER}(TNG_k^f)$ αν το TNG_k^f βρίσκεται σε κατώτερη βαθμίδα απ' ότι το TNG_l^f
- $\exists D_m, i \leq m < j \mid D_m \in \text{BORDER}(TNG_l^f)$ αν το TNG_k^f βρίσκεται σε ανώτερη βαθμίδα απ' ότι το TNG_l^f

Το αξίωμα 2 λει ότι ταξιδεύοντας από ένα τμήμα συγκοινωνιακού δικτύου σε ένα άλλο τμήμα ανώτερης βαθμίδας, περνάμε απαραίτητα από κόμβου του συνόλου συνοριακών κόμβων του κατώτερου τμήματος. Αντίστροφα, ταξιδεύοντας από ένα τμήμα συγκοινωνιακού δικτύου σε ένα άλλο τμήμα κατώτερης βαθμίδας, περνάμε απαραίτητα από κόμβους του συνόλου συνοριακών κόμβων του κατώτερου τμήματος.

Αξίωμα 3

Εστω $TNG^h = (D, T, HFTN_{TNG})$ μια ιεραρχική άποψη γράφου συγκοινωνιακού δικτύου $TNG = (D, T)$. Εστω $TNG_k^f = (D_k^f, T_k^f)$ και $TNG_l^f = (D_l^f, T_l^f)$ δύο τμήματα της ιεραρχικής τμηματοποίησης $HFTN_{TNG}$ τα οποία ανήκουν στην ίδια βαθμίδα της κλίμακας που ορίζει η ιεραρχική άποψη. Για κάθε ζευγάρι κόμβων $D_a \in D_k^f, D_b \in D_l^f$, κάθε μονοπάτι $P_{(a,b)} = \langle D_a, D_i, D_{i+1}, \dots, D_j, D_b \rangle$ από τον κόμβο D_a στον κόμβο D_b είναι τέτοιο ώστε :

- $\exists D_m, i \leq m < j \mid D_m \in \text{BORDER}(TNG_k^f) \wedge \exists D_n, m < n \leq j \mid D_n \in \text{BORDER}(TNG_l^f)$

Το τρίτο αξίωμα λει ότι ταξιδεύοντας από ένα τμήμα συγκοινωνιακού δικτύου σε ένα άλλο τμήμα της ίδιας βαθμίδας, περνάμε απαραίτητα από κόμβους των συνόλων συνοριακών κόμβων και των δύο τμημάτων.

5.4.2 Ο αλγόριθμος *HVTN-PF*

Στον Πίνακα 5.4 παρουσιάζουμε τον αλγόριθμο *HTVN-PF*. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τον *TNG-PF* για την εύρεση ενός συνόλου μονοπατιών που συνδέουν δύο κόμβους σε ένα γράφο συγκοινωνιακού δικτύου. Ωστόσο, αντί να αναζητεί τα μονοπάτια σε ολόκληρο το γράφο εντοπίζει εκείνα τα τμήματα του γράφου στα οποία αναμένεται να βρεθούν τα μονοπάτια αν υπάρχουν. Χρησιμοποιώντας τα τρία αξιώματα που αναφέραμε παραπάνω, ο αλγόριθμος διασπά το ζητούμενο μονοπάτι, σε μικρότερα μονοπάτια κάθε ένα από τα οποία αναζητείται σε ένα τμήμα του συγκοινωνιακού δικτύου. Αφού βρεθούν τα επιμέρους μονοπάτια, στη συνέχεια συνδυάζονται για την δημιουργία του αρχικού ζητούμενου μονοπατιού.

Για την αναζήτηση ενός επιμέρους μονοπατιού σε έναν τμήμα του συγκοινωνιακού δικτύου χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος *TNG-PF*. Επειδή η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου *TNG-PF* εξαρτάται από το μέγεθος του δικτύου, εφαρμόζοντας τον σε μικρά τμήματα του δικτύου, η εκτέλεσή του επιταχύνεται σημαντικά. Επιπλέον τα επιμέρους τμήματα του μονοπατιού μπορούν να υπολογίζονται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Συνεπώς μπορούν να αναζητούνται παράλληλα αυξάνοντας ακόμη περισσότερο την απόδοση του αλγορίθμου.

Αλγόριθμος HVTN-PF

Δεδομένα εισόδου :

Γράφος συγκοινωνιακού δικτύου $TNG = (D, I)$ Αφετηρία D_a Προορισμός D_b Ατομικοί περιορισμοί (Single constraints) : C_s Αθροιστικοί περιορισμοί (Cumulative constraints) : C_c

```

1   $TNG_a^f = fragmentOf(D_a)$ 
2   $TNG_b^f = fragmentOf(D_b)$ 
3  if  $TNG_a^f \equiv TNG_b^f$ 
4       $TNG - PF(TNG_a^f, D_a, D_b, C_s, C_c)$ 
5  else if  $scaleOf(TNG_a^f) < scaleOf(TNG_b^f)$ 
6       $B = Border(TNG_a^f)$ 
7      foreach  $D \in B$ 
8           $TNG - PF(TNG_a^f, D_a, D, C_s, C_c)$ 
9           $HVTN-PF(TNG, D, D_b, C_s, C_c)$ 
10     end foreach
11 else if  $scaleOf(TNG_a^f) > scaleOf(TNG_b^f)$ 
12      $B = Border(TNG_b^f)$ 
13     foreach  $D \in B$ 
14          $TNG - PF(TNG_b^f, D, D_b, C_s, C_c)$ 
15          $HVTN-PF(TNG, D_a, D, C_s, C_c)$ 
16     end foreach
17 else if  $scaleOf(TNG_a^f) == scaleOf(TNG_b^f)$ 
18      $B_a = Border(TNG_a^f)$ 
19      $B_b = Border(TNG_b^f)$ 
20     foreach  $D \in B_a$ 
21          $TNG - PF(TNG_a^f, D_a, D, C_s, C_c)$ 
22     end foreach
23     foreach  $D \in B_b$ 
24          $TNG - PF(TNG_b^f, D, D_b, C_s, C_c)$ 
25     end foreach
26      $B_{ab} = B_a \times B_b$ 
27     foreach  $(d_a, d_b) \in B_{ab}$ 
28          $HVTN-PF(TNG, d_a, d_b, C_s, C_c)$ 
29     end foreach;
```

30 end if;

Πίνακας 5.4: Ο αλγόριθμος *HVTN-PF*

5.4.2.1 Εφαρμογή των αξιωμάτων

Ο αλγόριθμος ξεκινάει εντοπίζοντας το τμήμα στο οποίο ανήκει η αφετηρία και ο προορισμός του ζητούμενου μονοπατιού. Στη συνέχεια λαμβάνονται υπόψη τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις.

Πρώτη περίπτωση

(Η αφετηρία και ο προορισμός βρίσκονται στο ίδιο τμήμα – γραμμή 3)

Σ' αυτή την περίπτωση γίνεται χρήση του πρώτου αξιώματος και καλείται ο αλγόριθμος *TNG-PF* ο οποίος θα αναζητήσει το / τα μονοπάτια μόνο στο κοινό τμήμα του δικτύου (γραμμή 4).

Δεύτερη περίπτωση

(Το τμήμα στο οποίο ανήκει η αφετηρία βρίσκεται σε χαμηλότερη βαθμίδα απ' ότι το τμήμα του προορισμού – γραμμή 5)

Σ' αυτή την περίπτωση γίνεται χρήση του δεύτερου αξιώματος. Καταρχήν εντοπίζεται το σύνορο του τμήματος της αφετηρίας (γραμμή 6). Το ζητούμενο μονοπάτι διασπάται σε δύο επιμέρους μονοπάτια. Ένα από την αφετηρία προς συνοριακούς κόμβους του τμήματος αφετηρίας και ένα από συνοριακούς κόμβους του τμήματος προορισμού προς τον προορισμό του μονοπατιού. Το πρώτο μονοπάτι εντοπίζεται από τον αλγόριθμο *TNG-PF* (γραμμή 8) ο οποίος εξετάζει μόνο το τμήμα της αφετηρίας και για το δεύτερο μέρος, καλείται αναδρομικά ο αλγόριθμος *HVTN-PF* (γραμμή 9).

Τρίτη περίπτωση

(Το τμήμα στο οποίο ανήκει η αφετηρία βρίσκεται σε ανώτερη βαθμίδα απ' ότι το τμήμα του προορισμού – γραμμή 11)

Και σ' αυτή την περίπτωση γίνεται χρήση του δεύτερου αξιώματος. Καταρχήν εντοπίζεται το σύνολο συνοριακών κόμβων του τμήματος προορισμού του μονοπατιού (γραμμή 12). Το ζητούμενο μονοπάτι διασπάται σε δύο επιμέρους μονοπάτια. Ένα από συνοριακούς κόμβους του τμήματος προορισμού προς τον προορισμό του μονοπατιού και ένα από την αφετηρία προς συνοριακούς κόμβους του τμήματος αφετηρίας. Το πρώτο μονοπάτι εντοπίζεται από τον αλγόριθμο *TNG-PF* (γραμμή 14) ο οποίος εξετάζει μόνο το τμήμα του προορισμού του μονοπατιού και για το δεύτερο μέρος, καλείται αναδρομικά ο αλγόριθμος *HVTN-PF* (γραμμή 15).

Τέταρτη περίπτωση

(Αφετηρία και προορισμός του μονοπατιού βρίσκονται σε διαφορετικά τμήματα της ίδιας βαθμίδας. – γραμμή 17)

Σ' αυτή την περίπτωση γίνεται χρήση του τρίτου αξιώματος. Καταρχήν εντοπίζεται το σύνολο συνοριακών κόμβων του τμήματος της αφετηρίας και το σύνολο συνοριακών κόμβων του τμήματος προορισμού (γραμμή 18, 19). Το ζητούμενο μονοπάτι διασπάται

σε τρία επιμέρους μονοπάτια. Ένα από την αφετηρία προς συνοριακούς κόμβους του τμήματος αφετηρίας. Ένα από συνοριακούς κόμβους του τμήματος προορισμού, προς τον προορισμό και ένα από συνοριακούς κόμβους του τμήματος αφετηρίας προς συνοριακούς κόμβους του τμήματος προορισμού. Το πρώτο και το δεύτερο τμήμα του μονοπατιού εντοπίζονται από τον αλγόριθμο *TNG-PF* (γραμμή 21, 24) και το τρίτο μονοπάτι αναζητείται από τον αλγόριθμο *HVTN-PF* ο οποίος καλείται αναδρομικά (γραμμή 28).

5.4.2.2 Εντοπισμός τμήματος ενός κόμβου

Η πρώτη ενέργεια που κάνει ο αλγόριθμος *HVTN-PF* είναι να εντοπίσει τα τμήματα του συγκοινωνιακού δικτύου στα οποία ανήκουν η αφετηρία και ο προορισμός του μονοπατιού. Όπως είδαμε ένας κόμβος μπορεί να ανήκει σε περισσότερα από ένα τμήματα. Ωστόσο κάθε κόμβος έχει κατηγοριοποιηθεί σε μία μόνο βαθμίδα στην ιεραρχία κόμβων. Η διαδικασία εντοπισμού του τμήματος ξεκινάει με την εύρεση του νομού στον οποίο βρίσκεται ο κόμβος. Αφού εντοπιστεί ο νομός, χρησιμοποιούμε τους παρακάτω κανόνες για να βρούμε το τμήμα στο οποίο ανήκει ο κόμβος.

Κανόνας 1

Αν ο κόμβος είναι τοπικός, τότε το τμήμα στο οποίο ανήκει, είναι το τοπικό συγκοινωνιακό δίκτυο που έχει οριστεί για το νομό στον οποίο βρίσκεται.

Κανόνας 2

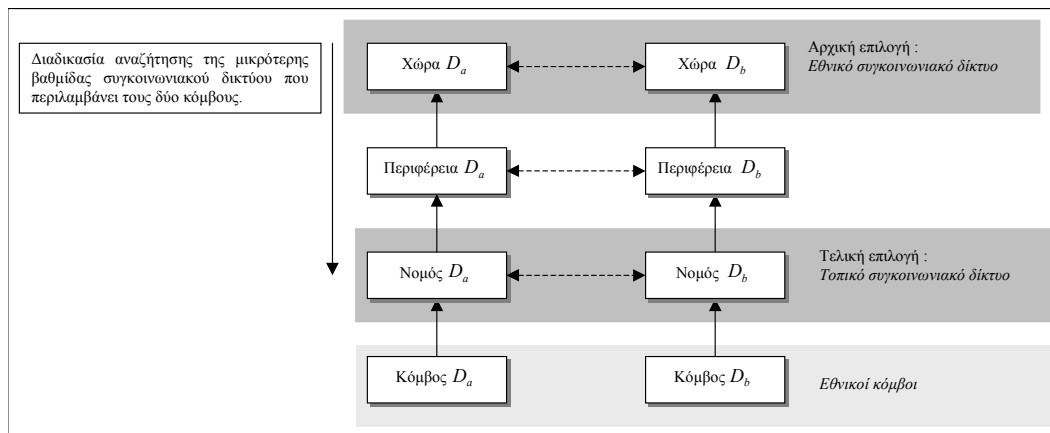
Αν ο κόμβος είναι περιφερειακός, τότε το τμήμα στο οποίο ανήκει, είναι το περιφερειακό συγκοινωνιακό δίκτυο που έχει οριστεί για την περιφέρεια στην οποία βρίσκεται ο νομός του κόμβου.

Κανόνας 3

Αν ο κόμβος είναι εθνικός, τότε το τμήμα στο οποίο ανήκει, είναι το εθνικό συγκοινωνιακό δίκτυο που έχει οριστεί για τη χώρα στην οποία βρίσκεται ο κόμβος.

Αν και οι παραπάνω κανόνες εντοπίζουν σωστά το τμήμα για έναν κόμβο, υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες τα τμήματα που εντοπίζονται δεν περιορίζουν όσο θα έπρεπε το χώρο αναζήτησης στο συγκοινωνιακό δίκτυο. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν οι παραπάνω κανόνες εντοπίσουν το ίδιο τμήμα για δύο κόμβους. Τότε υπάρχει περίπτωση και οι δύο κόμβοι να ανήκουν και σε ένα τμήμα του συγκοινωνιακού δικτύου που βρίσκεται χαμηλότερα στην κλίμακα απ' ότι το τμήμα που εντοπίζεται. Για παράδειγμα φανταστείτε δύο εθνικούς κόμβους που ανήκουν στην ίδια περιφέρεια. Η διαδικασία εντοπισμού των τμημάτων τους, θα έδινε και για τους δύο το εθνικό συγκοινωνιακό δίκτυο της χώρας. Ωστόσο και οι δύο κόμβοι εκτός από εθνικοί κόμβοι είναι και περιφερειακοί κόμβοι (θυμίζουμε ότι το σύνολο των εθνικών κόμβων είναι υποσύνολο του συνόλου των περιφερειακών κόμβων). Επομένως ένα μονοπάτι μεταξύ των δύο κόμβων θα μπορούσε να αναζητηθεί στο περιφερειακό συγκοινωνιακό δίκτυο που έχει οριστεί για την περιφέρεια στην οποία ανήκουν. Χρησιμοποιώντας τους παραπάνω κανόνες, ένα μονοπάτι μεταξύ των δύο αυτών κόμβων θα αναζητούταν στο εθνικό συγκοινωνιακό δίκτυο.

Συνεπώς χρειαζόμαστε έναν μηχανισμό επαναπροσδιορισμού των τμημάτων των κόμβων όταν αυτά είναι ίδια. Αν στην κλίμακα των συγκοινωνιακών δικτύων υπάρχει βαθμίδα χαμηλότερη από αυτή που έχει υπολογιστεί για τους δύο κόμβους τότε για κάθε κόμβο, αναζητείται ένα τμήμα συγκοινωνιακού δικτύου βαθμίδας κατά ένα χαμηλότερη από αυτή που αρχικά είχε υπολογιστεί και το οποίο περιλαμβάνει τον κόμβο⁵. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου εντοπιστεί ένα συγκοινωνιακό δίκτυο της χαμηλότερης δυνατής βαθμίδας που να περιλαμβάνει και τους δύο κόμβους.



Σχήμα 5.3: Η διαδικασία επαναπροσδιορισμού των τμημάτων των κόμβων για τον αλγόριθμο HVTN-PF

Για παράδειγμα θεωρήστε δύο κόμβους έστω D_a και D_b που είναι εθνικοί κόμβοι και ανήκουν στον ίδιο νομό. Με βάση του κανόνες εντοπισμού των τμημάτων τους θα προέκυπτε ως τμήμα κάθε κόμβου το εθνικό συγκοινωνιακό δίκτυο που έχουμε ορίζει για τη χώρα στην οποία βρίσκονται και σ' αυτό θα αναζητούταν ένα μονοπάτι που θα τους συνδέει. Ωστόσο για το νομό στον οποίο ανήκουν και οι δύο κόμβοι, έχει οριστεί ένα τοπικό συγκοινωνιακό δίκτυο στο οποίο περιλαμβάνονται και οι δύο. Το ζητούμενο λοιπόν είναι να βρεθεί ο νομός στον οποίο ανήκουν και οι δύο κόμβοι. Η διαδικασία επαναπροσδιορισμού εντοπίζει καταρχήν την περιφέρεια στην οποία ανήκει ο κάθε κόμβος και διαπιστώνει ότι είναι η ίδια και για τους δύο. Συνεπώς και οι δύο κόμβοι περιλαμβάνονται στο περιφερειακό συγκοινωνιακό δίκτυο που έχει οριστεί για την κοινή τους περιφέρεια. Ωστόσο επειδή υπάρχει κατώτερη κλίμακα συγκοινωνιακών δικτύων από αυτή των περιφερειακών, η διαδικασία συνεχίζει και εντοπίζει το νομό κάθε κόμβου. Διαπιστώνει τότε ότι και οι δύο κόμβοι ανήκουν στον ίδιο νομό και συνεπώς και στο τοπικό συγκοινωνιακό δίκτυο που έχει οριστεί γι' αυτό το νομό. Έτσι τα μονοπάτια που συνδέουν τους δύο κόμβους αναζητούνται πλέον σε ένα τοπικό συγκοινωνιακό δίκτυο αντί σε ένα εθνικό δίκτυο.

⁵ Πρέπει να σημειώσουμε ότι ένας κόμβος, που περιλαμβάνεται σε συγκοινωνιακό δίκτυο μιας συγκεκριμένη βαθμίδας, θα περιλαμβάνεται και σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο της αμέσως χαμηλότερης βαθμίδας

Κεφάλαιο 6

Αυτόνομοι πράκτορες λογισμικού (Autonomous Software Agents)

Σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε μια σύντομη βιβλιογραφική έρευνα που έγινε με σκοπό να αναζητηθούν και να κατανοηθούν οι βασικές αρχές και οι έννοιες της τεχνολογίας των **αυτόνομων πρακτόρων λογισμικού (autonomous software agents)** ή **πρακτόρων (agents)** όπως θα τους ονομάζουμε στη συνέχεια χάριν συντομίας. Η ανάγκη γι' αυτή την παρουσίαση προέκυψε από την επιλογή μιας αρχιτεκτονικής που βασίζεται στην τεχνολογία πρακτόρων ως πιο κατάλληλης για την υλοποίηση του αλγορίθμου *HVTN-PF* που παρουσιάσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Καταρχήν, θα ορίσουμε την έννοια του πράκτορα όπως αυτή έχει βρεθεί στη βιβλιογραφία και θα παρουσιάσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά του. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε ζητήματα και μεθοδολογίες σχεδιασμού συστημάτων αυτόνομων πρακτόρων ώστε από αυτά να καταλήξουμε στην αρχιτεκτονική που προτείνουμε.

6.1 Ορισμοί – συζήτηση

Η έννοια του πράκτορα λογισμικού είναι αρκετά ασαφής. Στην ερώτηση «*τί είναι ένας agent;*» έχουν δοθεί πολλές απαντήσεις από διάφορους ερευνητές του τομέα της **τεχνητής νοημοσύνης** (καθώς η τεχνολογία των αυτόνομων πρακτόρων λογισμικού ανέκυψε μέσα από έρευνες και μελέτες στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης). Τελικά δεν υπάρχει σύγκληση σε έναν κοινό ορισμό καθώς κάθε ερευνητής έδωσε έναν ορισμό σκεπτόμενος συγκεκριμένες εφαρμογές των πρακτόρων. Ωστόσο, κάθε ορισμός αναδεικνύει χαρακτηριστικά και ιδιότητες για αυτόνομους πράκτορες μέσα από τα οποία μπορούμε να ορίσουμε ένα πλαίσιο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κατατάξουμε μια οντότητα ως αυτόνομο πράκτορα ή όχι. Απαριθμούμε στη συνέχεια μερικούς από τους πιο ενδιαφέροντες ορισμούς για αυτόνομους πράκτορες.

Artificial Intelligence: a Modern Approach [62]

Ένας πράκτορας είναι οτιδήποτε μπορεί να αντιληφθεί το περιβάλλον του μέσω αισθητήρων (sensors) και να δράσει σε αυτό χρησιμοποιώντας δρώντα αντικείμενα.

Pattie Maes [63]

Οι αυτόνομοι πράκτορες είναι υπολογιστικά συστήματα που διαμένουν σε πολύπλοκα και δυναμικά περιβάλλοντα, αντιλαμβάνονται, και δρουν μέσα σ' αυτά εκτελώντας με αυτό τον τρόπο ένα σύνολο καθηκόντων που τους έχει ανατεθεί.

IBM

Οι αυτόνομοι πράκτορες λογισμικού είναι οντότητες λογισμικού, που εκτελούν ενέργειες για λογαριασμό ενός χρήστη ή μιας άλλης οντότητας λογισμικού, δρώντας με κάποιο βαθμό αυτονομίας.

Λαμβάνοντας υπόψη τις έννοιες που προκύπτουν από κάθε ορισμό, οι Franklin και Graesser [64] επιχείρησαν να δώσουν έναν γενικό ορισμό ο οποίος θα εμπεριέχει την ουσία του να είναι κάτι πράκτορας (essence of agency).

Franklin και Graesser [64]

Ένας αυτόνομος πράκτορας είναι ένα σύστημα που βρίσκεται μέσα σε ένα περιβάλλον, αποτελεί μέρος αυτού, το αντιλαμβάνεται και ενεργεί αυτόνομα μέσα σ' αυτό με τρόπο τέτοιο που να το επηρεάζει και συνεπώς να αλλάζει την αντίληψή που θα έχει στο μέλλον γι' αυτό.

Από τους παραπάνω αλλά και άλλους ορισμούς [64] μπορούμε να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των πρακτόρων. Μέσα σ' αυτούς τους ορισμούς περιγράφεται τόσο η συμπεριφορά ενός πράκτορα (π.χ αυτόνομη δράση) όσο και στοιχεία της αρχιτεκτονικής του (π.χ αισθητήρες). Γενικά μπορούμε να πούμε ότι ένας αυτόνομος πράκτορας είναι μια οντότητα λογισμικού στην οποία μια άλλη οντότητα (π.χ χρήστης) αναθέτει μια ή παραπάνω εργασίες, και περιμένει από αυτή να τις εκτελέσει με κάποιον τρόπο που έχει οριστεί ως σωστός. Μπορούμε επίσης να πούμε ότι ένας αυτόνομος πράκτορας εκτελεί μια εργασία για λογαριασμό κάποιου χρήστη έχοντας πλήρη έλεγχο της εκτέλεσης. Η δυνατότητα του πλήρους ελέγχου στην εκτέλεση της εργασίας αποδίδει σ' έναν πράκτορα το χαρακτηριστικό της **αυτονομίας**.

Η ανάπτυξη των αυτόνομων πρακτόρων, έχει άμεση σχέση με την ανάγκη χειρισμού σύνθετων εφαρμογών από υπολογιστές, με όσο το δυνατόν λιγότερη αλληλεπίδραση με τους χρήστες. Δηλαδή θα ήταν επιθυμητές εφαρμογές οι οποίες να μπορούν να χειριστούν προβλήματα τα οποία δεν έχουν ορίσει πλήρως, ωστόσο έχουν επιλεγεί γι' αυτά κατευθυντήριες γραμμές (στόχοι) για την επίλυση τους. Η πλήρης ανάθεση της εργασίας στην οντότητα λογισμικού καθώς και η φαινομενικά, από τον εξωτερικό παρατηρητή, ευφυής συμπεριφορά του πράκτορα είναι δυνατόν να της αποδώσει τον όρο **ευφυής πράκτορας (intelligent agent)**.

6.2 Ιδιότητες αυτόνομων πρακτόρων

Μέσα από την πληθώρα των διαφορετικών ορισμών που έχουν δοθεί, μπορεί κανείς να εντοπίσει κάποια κοινά χαρακτηριστικά και ιδιότητες που μπορούν να έχουν οι πράκτορες λογισμικού [64],[65] :

Αυτονομία (Autonomy)

Κάθε πράκτορας θα πρέπει να έχει κάποιο βαθμό ανεξαρτησίας από το χρήστη. Δηλαδή θα πρέπει να ενεργεί χωρίς καθοδήγηση από το χρήστη και να έχει πλήρη έλεγχο των ενεργειών του. Στα πλαίσια αυτής της αυτονομίας, ο πράκτορας θα πρέπει να αναλαμβάνει πρωτοβουλίες και να εκτελεί περιοδικά και αυθόρμητα ενέργειες οι οποίες τελικά θα ωφελούν το χρήστη.

Προσαρμοστικότητα (Adaptability - Reactivity)

Κάθε πράκτορας θα πρέπει να μπορεί να αντιλαμβάνεται τις αλλαγές του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο ενεργεί και να προσαρμόζεται σ' αυτές διατηρώντας σταθερή την απόδοσή του.

Δυνατότητα για μάθηση (Learning ability)

Ένας πράκτορας πρέπει να μπορεί να προσαρμόζει τη συμπεριφορά του βασισμένος σε προηγούμενη εμπειρία, βελτιώνοντας την απόδοσή του.

Επικοινωνία (Social ability)

Ένας πράκτορας πρέπει να μπορεί να επικοινωνεί με άλλους πράκτορες ή και με χρήστες. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει την παροχή από την πλευρά των χρηστών πληροφοριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον πράκτορα για τη βελτίωση της απόδοσής του (feedback). Επίσης επικοινωνώντας με άλλους πράκτορες, ένας πράκτορας μπορεί να αντλεί έτοιμες πληροφορίες ή γνώσεις εξοικονομώντας χρόνο και υπολογιστική ισχύ.

6.3 Αρχιτεκτονική και απαιτήσεις συστημάτων αυτόνομων πρακτόρων

Η ανάγκη για συστήματα τα οποία να ικανοποιούν ταυτόχρονα πολλούς στόχους σε ένα δυναμικό και μη προβλέψιμο περιβάλλον οδήγησε στον ορισμό κάποιων χαρακτηριστικών τα οποία είναι επιθυμητά (αν όχι αναγκαία) να πληρούνται από αυτά. Επίσης, η τεχνολογία λογισμικού των αυτόνομων πρακτόρων έχει συνδεθεί με μια γενικότερη αρχιτεκτονική λογισμικού ή αλλιώς μοντελοποίηση της συμπεριφοράς του πράκτορα και η οποία ταξινομεί τις λειτουργίες του σε αυτές που σχετίζονται με την **αντίληψη, νοητική διεργασία και δράση**, οι οποίες διεκπεραιώνονται από τα αντίστοιχα **τμήματα λογισμικού** του πράκτορα (**Perception – Cognition – Action**) [66]. Σ' αυτή την παράγραφο θα δούμε γιατί είναι απαραίτητο να πληρούνται αυτά τα χαρακτηριστικά καθώς και την αρχιτεκτονική σχεδιασμού αυτών των συστημάτων.

Ένα σύστημα το οποίο έχει σχεδιαστεί με χρήση αυτόνομων πρακτόρων, συνήθως πρέπει να ανταποκριθεί σε διάφορες απαιτήσεις οι οποίες μπορεί να είναι αντικρουόμενες μεταξύ τους. Το πως μπορεί ένας αυτόνομος πράκτορας να συνδυάσει στόχους έτσι ώστε να κάνει ενέργειες οι οποίες ωφελούν την εκπλήρωση όσο το δυνατόν παραπάνω στόχων, καθώς και το να ικανοποιήσει αντικρουόμενους στόχους (ή το να βρει τον καλύτερο συμβιβασμό μεταξύ τους), αποτελούν τρέχοντα ερευνητικά θέματα.

Για να μπορεί το σύστημα να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις για τις οποίες κατασκευάστηκε θα πρέπει να γνωρίζει τις προτιμήσεις του χρήστη. Αυτές οι προτιμήσεις καθώς και άλλες υπολογιστικές ανάγκες του συστήματος μαζί με τις εντολές προς εκτέλεση του χρήστη, μπορούν να αποτελέσουν ένα σύνολο στόχων. Για παράδειγμα, ας επανέλθουμε στο πρόβλημα της σχεδίασης ταξιδιών. Αν υποθέσουμε ότι υπάρχει ένας αυτόνομος πράκτορας που χρησιμοποιείται για την αναζήτηση μονοπατιών σ' ένα συγκοινωνιακό δίκτυο, αυτός θα μπορούσε να περιλαμβάνει στους στόχους του τα εξής :

- **Την επιθυμία του επιβάτη για περιοδική ενημέρωση του για νέα δρομολόγια προς συγκεκριμένους προορισμούς.**
- **Την υπολογιστική ανάγκη για αποδοτική επικοινωνία με διαφορετικές πηγές δεδομένων.**
- **Εντολές του χρήστη. Για παράδειγμα «βρες ένα μονοπάτι από τον κόμβο Α στον κόμβο Β στο οποίο να χρησιμοποιείται μόνο αεροπλάνο».**

Το ζητούμενο είναι ένας εξωτερικός παρατηρητής του συστήματος, να αντιλαμβάνεται πως αυτό ενεργεί βάση ενός συνόλου στόχων προς εκπλήρωση.

Ωστόσο, δεν είναι απαραίτητος ο ορισμός των στόχων αυτών σε επίπεδο λογισμικού. Το σύστημα θα μπορούσε να προσπαθεί να ικανοποιήσει του στόχους αυτούς προσπαθώντας να επιτύχει καλύτερες καταστάσεις, (όπου η κάθε κατάσταση βαθμολογείται ανάλογα με το ποσοστό το κατά πόσο έχουν επιτευχθεί κάποιοι από του στόχους του χρήστη). Ακόμα το σύστημα θα μπορούσε να λειτουργεί με τη χρήση ανακλαστικών όπου οι γνωσιακές δομές του πράκτορα του υπαγορεύουν πως πρέπει να αντιδράσει σε κάθε κατάσταση [67]. Οι αντιδράσεις του πράκτορα είναι ορισμένες έτσι ώστε να ικανοποιούν τους ζητούμενους στόχους. Μια επέκταση αυτής της τεχνικής είναι το να δημιουργούνται “σχέδια δράσης” (action plans) τα οποία υπαγορεύουν μελλοντικές ενέργειες σε συνάρτηση με τα δυνατά συμβάντα τα οποία είναι δυνατόν να αντιληφθεί ο πράκτορας [68]. Πάντως είναι δυνατόν το σύστημα να έχει ορισμένους σε ένα σύνολο (το οποίο μάλιστα θα μπορεί να είναι δυναμικά μεταβαλλόμενο) τους στόχους προς εκπλήρωση. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει ο κάθε στόχος να είναι ορισμένος σε κάποια γλώσσα την οποία να μπορεί να καταλάβει το σύστημα.

6.3.1 Αυτονομία

Έχουμε δει πως η ανάγκη για έξυπνη διαχείριση και επιλογή της πληροφορίας καθώς και η δράση σε δυναμικά μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα, ήταν δύο από τους λόγους που

οδήγησαν στο σχεδιασμό και ανάπτυξη συστημάτων βασισμένων σε αυτόνομους πράκτορες. Στην ουσία δηλαδή ο χρήστης χρησιμοποιεί ένα έξυπνο σύστημα έτσι ώστε να χάνει όσο το δυνατόν λιγότερο χρόνο για αναζήτηση και διαχείριση της πληροφορίας. Ένα σύστημα το οποίο ξέρει, ή μπορεί να μάθει πως να κάνει κάτι τέτοιο χωρίς να καταφεύγει σε διάλογο, μέσω μιας διεπιφάνειας χρήσης, σίγουρα κάνει πιο εύκολη και γρήγορη τη δουλειά του χρήστη. Είναι επιθυμητό μάλιστα, το σύστημα να παίρνει πρωτοβουλίες απαλλάσσοντας το χρήστη από επιπλέον επικοινωνία μαζί του. Ο χρήστης δεν θα ήθελε να βρίσκεται όλη αυτή την ώρα πάνω από έναν υπολογιστή περιμένοντας μήπως το σύστημα αντιμετωπίσει κάποιο δίλημμα έτσι ώστε να του το επιλύσει.

Για να είναι δυνατή η αυτονομία ενός πράκτορα αυτός θα πρέπει να παίρνει κάποιες αποφάσεις. Η επιλογή της απόφασης αυτής θα πρέπει να γίνεται βάση των προτιμήσεων του χρήστη οι οποίες είτε έχουν οριστεί από την αρχή, είτε έχουν εκμαθηθεί από το σύστημα παρακολουθώντας τις ενέργειες του χρήστη καθώς και τα αποτελέσματα των ίδιων του των ενεργειών καθώς και την πιθανή τους βαθμολογία από το χρήστη.

Για παράδειγμα ένας πράκτορας για σχεδιασμό ταξιδιών δεν θα αναζητούσε δρομολόγια λεωφορείων αν ο επιβάτης στο παρελθόν ποτέ δεν έχει χρησιμοποιήσει αυτό το μέσο μεταφοράς και αν υπάρχουν άλλα δρομολόγια που εξυπηρετούν τις προτιμήσεις του. Η αυτονομία καθώς και η τάση για μάθηση των προτιμήσεων του χρήστη είναι δυνατόν να συμπεριληφθούν στους στόχους του συστήματος.

6.3.2 Προσαρμοστικότητα

Είναι εύκολο να διαπιστώσει κανείς, πως οι κυριότεροι τομείς εφαρμογής έξυπνων συστημάτων σχετίζονται με δυναμικά περιβάλλοντα. Θα θέλαμε τα συστήματα που λειτουργούν σε αυτό το πλαίσιο να προσαρμόζονται στις αλλαγές του περιβάλλοντος τους ώστε να μην μειώνεται η απόδοση τους λόγω των αλλαγών αυτών.

Από την άλλη πλευρά με την πάροδο του χρόνου εκτός από το περιβάλλον μπορεί να μεταβάλλονται και οι προτιμήσεις του χρήστη (στην πραγματικότητα και ο ίδιος ο χρήστης είναι κομμάτι του περιβάλλοντος του πράκτορα) με αποτέλεσμα το σύστημα να πρέπει να προσαρμόζει όχι μόνο εσωτερικές γνωσιακές δομές, αλλά και τρόπο αντίληψης, μέσω των αισθητήρων.

Τέλος, απαίτηση των χρηστών είναι ότι, το σύστημα θα πρέπει να μπορεί να προσαρμόζεται και στις καταστάσεις στις οποίες το ίδιο βρίσκεται. Έτσι θα πρέπει να μπορεί να διαχειριστεί τους υπολογιστικούς του πόρους ανάλογα με την τρέχουσα κατάσταση. Έτσι όταν ο χρήστης κάνει μια επείγουσα επερώτηση, το σύστημα θα πρέπει να ασχολείται όσο το δυνατόν μόνο με αυτό αφήνοντας για μετά άλλες εργασίες.

6.3.3 Ανεκτικότητα σε βλάβες – Καλή λειτουργία (Robustness)

Απαίτηση των χρηστών είναι και η καλή λειτουργία του συστήματος ακόμα και σε στιγμές μεγάλου φόρτου εργασίας ή σε βλάβες. Το σύστημα θα πρέπει να συνεχίσει να λειτουργεί ικανοποιητικά και να αποκρίνεται σε πραγματικό χρόνο, ενώ να μπορεί να εφαρμόσει εναλλακτικές λύσεις σε περίπτωση βλάβης ή αποτυχίας μιας ενέργειας. Η τεχνική που συνήθως συναντά κανείς είναι το σύστημα να υπολογίζει κάποια ικανοποιητική λύση, αλλά όχι ίσως τη βέλτιστη. Σε αυτή την περίπτωση, το αποτέλεσμα

που θα του επιστραφεί ίσως να μην είναι το βέλτιστο, αλλά το πιο ικανοποιητικό δεδομένων των συνθηκών υπολογισμού.

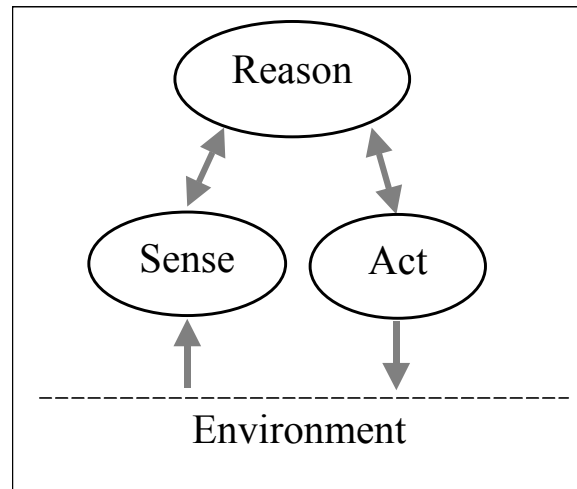
6.3.4 Αντίληψη – Νοητική Διεργασία Δράση (Sense – Reasoning – Action)

Η υιοθέτηση του παραδείγματος μοντελοποίησης της συμπεριφοράς μιας οντότητας ως μια συνεχή ακολουθία λειτουργιών αντίληψης, νοητικής διεργασίας και δράσης, αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό σχεδιασμού όσον αφορά την αρχιτεκτονική του συστήματος. Μάλιστα αυτό το παράδειγμα υπαγορεύει και αντίστοιχη αρχιτεκτονική, αφού αυτές οι λειτουργίες πραγματοποιούνται από αντίστοιχα **τμήματα λογισμικού (software modules)** και τα οποία μπορούν να χαρακτηριστούν ως **αισθητήρες, νοητικό ή γνωσιακό τμήμα και αντικείμενα δράσης (perception – cognition – action)**. Θα θέλαμε να σταθούμε για λίγο στο νοητικό ή γνωσιακό τμήμα. Ο χαρακτηρισμός του παίρνει το όνομά του τόσο από το ότι είναι το τμήμα στο οποίο κρατούνται γνωσιακές δομές οι οποίες χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση γνώσης, εμπειρίας ή άλλης πληροφορίας, όσο και από το ότι είναι αυτό το οποίο υλοποιεί τις συμπερασματικές διαδικασίες, δηλαδή αυτό που ονομάζεται «νόηση» του πράκτορα. Μάλιστα ενδιαφέρον είναι ο προβληματισμός πάνω στην άποψη ότι οι γνωσιακές δομές μιας οντότητας καθορίζουν πλήρως τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η συμπερασματική διαδικασία, με την έννοια του ότι η μέθοδος η οποία ακολουθείται είναι αποθηκευμένη σε αυτές, ή αλλιώς οι γνωσιακές δομές είναι κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε η διαδικασία νόησης να υπαγορεύεται από τη δομή. Παραθέτουμε στη συνέχεια την περιγραφή των τμημάτων τα οποία προαναφέραμε.

Παρατηρώντας ένα σύστημα, όπως και αυτό το οποίο περιγράφουμε, μπορεί να διακρίνει κανείς τρία επίπεδα:

- **αυτό στο οποίο ανήκουν όλα τα τμήματα του συστήματος από τα οποία παίρνει πληροφορίες από το περιβάλλον (αισθητήρες, καταχωρητές γεγονότων)**
- **αυτό με στο οποίο παίρνονται αποφάσεις για τη λειτουργία και τις ενέργειες του συστήματος**
- **αυτό στο οποίο ανήκουν τα τμήματα με τα οποία το σύστημα επικοινωνεί και δρα πάνω στο περιβάλλον του.**

Αυτά τα τμήματα υλοποιούν τις λειτουργίες **αντίληψης, συμπερασματικής διαδικασίας και δράσης** του αυτόνομου πράκτορα (Σχήμα 6.1). Το περιβάλλον γίνεται αντιληπτό από το αισθητήριο τμήμα της οντότητας, ενώ το γνωσιακό ή νοητικό επίπεδο, δρα έχοντας στη διάθεση του τα γεγονότα του περιβάλλοντος και πληροφορία αποθηκευμένη στις γνωσιακές του δομές. Η συμπερασματική διαδικασία και η εξαγωγή αποφάσεων γίνεται στο γνωσιακό επίπεδο, το οποίο μεταβιβάζει τις αποφάσεις για δράση πάνω στο περιβάλλον, στα δρώντα αντικείμενα τα οποία και εκτελούν τις δοθείσες εντολές.



Σχήμα 6.1: Η τυπική λειτουργία του παραδείγματος της αντίληψης (Sense), συμπερασματικής διαδικασίας (Reason) και δράσης (Act)

Στην σχεδιαστική αυτή τεχνική βασίζεται η πλειοψηφία των συστημάτων τα οποία μελετάμε. Ωστόσο πρέπει να τονιστεί πως αυτή αποτελεί τεχνική σχεδιασμού και μοντελοποίησης των τμημάτων τα οποία αποτελούν έναν αυτόνομο πράκτορα και όχι λύση πάνω στο πρόβλημα της τεχνητής ευφυΐας. Μάλιστα όπως είναι δυνατόν να διαπιστώσει κανείς, σχεδόν κάθε πρόγραμμα σε έναν υπολογιστή μπορεί να μοντελοποιηθεί κατά αυτό τον τρόπο.

Το τμήμα του αυτόνομου όντος το οποίο είναι υπεύθυνο για την αντίληψη και περιλαμβάνει τους αισθητήρες (sensors) του συστήματος, δημιουργεί τα αντικείμενα τα οποία περιγράφουν τα αντιλαμβανόμενα γεγονότα και τα καταχωρεί στις δομές γεγονότων που αντιλαμβάνεται το σύστημα, ενώ ταυτόχρονα τα χαρακτηρίζει ανάλογα με τη σημασία τους και τα φιλτράρει (όσον αφορά το ποια θα προωθηθούν στο γνωσιακό επίπεδο), ανάλογα με το βαθμό ενδιαφέροντός τους. Οι αισθητήρες είναι δυνατόν να προσαρμόσουν τη λειτουργία τους επιλέγοντας ανάλογα με εντολές που δέχονται από το νοητικό επίπεδο.

Το γνωσιακό επίπεδο επηρεάζει τις επιλεγόμενες προς εκτέλεση ενέργειες και πιθανά και τη διαδικασία αντίληψης, ανάλογα με τη σχεδίαση. Σε αυτό το τμήμα το σύστημα αντιλαμβάνεται τη σημασιολογική σημασία των γεγονότων, λύνει προβλήματα και δημιουργεί σχέδια δράσης. Συνήθως μέλη του τμήματος αυτού αποτελούν ένα “blackboard system” [69] του οποίου οι δομές είναι προσβάσιμες από όλες τις οντότητες του γνωσιακού επιπέδου. Επίσης το τμήμα αυτό είναι υπεύθυνο για την επιλογή στρατηγικών μάθησης καθώς και για την διαδικασία προσαρμογής στο περιβάλλον, όλων των επιπέδων (ακόμα και του ίδιου του εαυτού του). Το τμήμα αυτό είναι δυνατόν να εμπεριέχει τις οντότητες / αντικείμενα τα οποία αποφασίζουν για το που θα ψάξει ή το πως θα φιλτράρει ή το τι συμπέρασμα θα ενάγει για κάποια ιδιότητα του χρήστη κ.τ.λ.

Το επίπεδο δράσης το οποίο είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση εξωτερικών για τον πράκτορα ενεργειών, περιλαμβάνει τα τμήματα τα οποία ενεργούν στο περιβάλλον του. Τα αντικείμενα του επιπέδου αυτού, δέχονται εντολές από οντότητες του γνωσιακού επιπέδου, τις οποίες προσπαθούν να εφαρμόσουν.

Συνήθως τα τρία παραπάνω τμήματα λειτουργούν παράλληλα επικοινωνώντας με μηνύματα, ενώ οι διαδικασίες αντίληψης και δράσης είναι κατά πολύ ταχύτερες από αυτές του γνωσιακού επιπέδου.

6.3.5 Δύο ακόμα προβλήματα

Για την εκπλήρωση των απαιτήσεων που περιγράψαμε παραπάνω είναι βασική ανάγκη να δοθεί λύση σε δύο ακόμη προβλήματα, το **πρόβλημα της επιλογής ενέργειας** και το **πρόβλημα της μάθησης από εμπειρία**.

6.3.5.1 Το πρόβλημα της επιλογής ενέργειας

Το πρόβλημα της επιλογής ενέργειας είναι δυνατόν να διατυπωθεί ως εξής:

«Δεδομένου, ενός πράκτορα ο οποίος έχει χρονικά μεταβαλλόμενους στόχους, ένα σύνολο από πιθανές ενέργειες (από τις οποίες μερικές είναι δυνατό να εκτελεστούν) και πληροφορία από τους αισθητήρες, ποιες ενέργειες πρέπει να εκτελέσει το σύστημα έτσι ώστε να βελτιστοποιήσει την επίτευξη των στόχων ;»

Θα πρέπει να επισημάνουμε ότι αν σκεφτούμε και το πρόβλημα της μάθησης από εμπειρία, το πρόβλημα διαφοροποιείται επειδή ένας από τους στόχους του πράκτορα είναι να μάθει πως να επιτύχει καλύτερα τους στόχους του.

Είναι δυνατόν να υπολογίσουμε την βέλτιστη πολιτική επιλογής ενέργειας, για έναν πράκτορα ο οποίος βρίσκεται σε ένα ντετερμινιστικό και πιθανοκρατικό περιβάλλον [71]. Οι λόγοι που καθιστούν αδύνατη την εφαρμογή μιας τέτοιας λύσης στους περισσότερους πράκτορες, είναι το ότι ένας πράκτορας πρέπει να λειτουργήσει (1) έχοντας περιορισμένους υπολογιστικούς πόρους (απόκριση σε πραγματικό χρόνο, ταχύτητα υπολογισμού, μνήμη), (2) έχοντας πιθανώς ατελής ή λανθασμένες πληροφορίες (πληροφορία που προέρχεται από τους αισθητήρες), (3) σε ένα δυναμικό, μη ντετερμινιστικό, μη πιθανοκρατικό περιβάλλον και (4) με στόχους οι οποίοι αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου.

Για λύσεις που έχουν δοθεί μέχρι τώρα σ' αυτό το πρόβλημα μπορεί κανείς να βρει μια επισκόπηση καθώς και σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές στις εργασίες, στο [70].

6.3.5.2 Το πρόβλημα της μάθησης από εμπειρία

Η μάθηση η οποία προέρχεται από την εμπειρία είναι απαραίτητη για ένα σύστημα το οποίο πρέπει να βελτιώνεται με την πάροδο του χρόνου, ενώ πρέπει να παρουσιάζει καλή λειτουργία και αυτονομία για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Το πρόβλημα είναι δυνατόν να διατυπωθεί ως εξής:

“Δεδομένου ενός αυτόνομου όντος με (1) ένα σύνολο ενεργειών, (2) πληροφορία από τους αισθητήρες, (3) πολλαπλούς και χρονικά μεταβαλλόμενους στόχους, πως μπορεί αυτό να βελτιώσει τη συμπεριφορά επιλογής ενέργειας βασιζόμενο στην εμπειρία;”

Οι μέθοδοι της μάθησης θα πρέπει να δίνουν απάντηση στο πως μαθαίνει το σύστημα, ποια είναι η στρατηγική εκμάθησης και ποιος είναι ο μηχανισμός επιλογής ενέργειας που χρησιμοποιεί το σύστημα.

Για λύσεις που έχουν δοθεί μέχρι τώρα σ' αυτό το πρόβλημα μπορεί κανείς να βρει μια επισκόπηση καθώς και σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές στις εργασίες, στο [70].

6.4 Βασικές αρχές και χαρακτηριστικά σχεδιασμού

6.4.1 Βασικές αρχές σχεδιασμού

Η μελέτη των συστημάτων αυτόνομων όντων δίνει έμφαση σε δύο βασικές παρατηρήσεις οι οποίες αποτελούν και τη βάση για αρχές σχεδιασμού και περαιτέρω έρευνα στον τομέα:

Είναι ευκολότερο να σχεδιάσει κανείς συστήματα όταν γνωρίζει το περιβάλλον χρήσης τους,

Η επικοινωνία μεταξύ αυτόνομων τμημάτων του συστήματος μπορεί να αποδώσει στο σύστημα επιπλέον χαρακτηριστικά για τα οποία δεν έχει προγραμματιστεί το σύστημα.

6.4.1.1 Γνώση του περιβάλλοντος

Όσον αφορά τη γνώση του περιβάλλοντος χρήσης είναι δυνατό να επαληθεύσει κανείς την ορθότητα της αρχής σχεδιασμού σε πολλαπλά επίπεδα:

- **Οι μέθοδοι οι οποίοι μοντελοποιούνται όπως αντίληψη, προγραμματισμός ενεργειών, μάθηση, κτλ. είναι μέρος ενός πλήρους συστήματος το οποίο ονομάζεται πράκτορας. Σχεδιάζοντας συστήματα με έναν ολοκληρωμένο τρόπο, είναι δυνατόν να κάνει απλούστερο το σχεδιασμό. Για παράδειγμα, ένα σύστημα μπορεί να εξαρτάται λιγότερο από τον προγραμματισμό ενεργειών, διότι μπορεί να αποθηκεύει παλιά σχέδια δράσης για επαναχρησιμοποίηση. Ένα σύστημα το οποίο έχει αισθητήρες, έχει λιγότερη ανάγκη μοντελοποίησης του περιβάλλοντος, μιας και μπορεί να το παρατηρήσει όποτε είναι αναγκαίο κτλ.**
- **Ένας πράκτορας, αποτελεί τμήμα του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται. Γενικά στα συστήματα αυτόνομων πρακτόρων, δεν υπάρχει ανάγκη μοντελοποίησης του περιβάλλοντος, μιας και ο πράκτορας το παρατηρεί μέσω των αισθητήρων του [72]. Το εξωτερικό περιβάλλον μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως εξωτερική μνήμη. Για παράδειγμα το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει το περιβάλλον για θυμάται του ποιες από τις προγραμματισμένες εργασίες έχουν γίνει και ποιες όχι [73]**

- Το σύστημα είναι δυνατόν να έχει αντίληψη του χρόνου. Αυτό υπονοεί ότι το σύστημα είναι δυνατόν να βελτιώσει την επίδοσή του με την πάροδο του χρόνου. Επίσης κατά την πάροδο του χρόνου το σύστημα σε διάλογο με το χρήστη μπορεί να πάρει πληροφορίες για τη διαλεύκανση ασαφειών. Για παράδειγμα, ένα σύστημα το οποίο αναγνωρίζει φυσική γλώσσα δεν είναι ανάγκη να μπορεί να καταλήγει σε συμπέρασμα όταν έχει κάποια ασάφεια στη γραμματική ανάλυση. Είναι δυνατόν να ρωτά το χρήστη, για τη σωστή σημασιολογική σημασία της πρότασης, βελτιώνοντας παράλληλα τις γνωσιακές του δομές.
- Τέλος, κάθε πράκτορας είναι μέλος μιας “κοινωνίας”. Άλλοι πράκτορες στο ίδιο περιβάλλον είναι δυνατόν να ασχολούνται με τα ίδια ή παρόμοια προβλήματα. Έτσι ο πράκτορας δεν είναι ανάγκη να μπορεί να κάνει τα πάντα μόνος του, μιας και μπορεί να καταφεύγει σε άλλους για την απόκτηση γνώσης ή πληροφορίας. Στη βιβλιογραφία μπορεί κανείς να μελετήσει παραδείγματα συστημάτων τα οποία κατάφεραν να μάθουν να κάνουν ορισμένες εργασίες (κυρίως όσον αφορά tasks σε επίπεδο διεπιφάνειας χρήσης), παρακολουθώντας και μιμούμενα άλλους χρήστες [75].

Οι παραπάνω παρατηρήσεις συνετέλεσαν ώστε η έρευνα πάνω στα συστήματα αυτόνομων πρακτόρων να επικεντρωθεί στη μοντελοποίηση συστημάτων ειδικά στο περιεχόμενο της εφαρμογής για την οποία προορίζονται.

6.4.1.2 Επικοινωνία μεταξύ αυτόνομων τμημάτων

Η δεύτερη παρατήρηση πάνω στην οποία βασίζεται η μελέτη συστημάτων αυτόνομων πρακτόρων είναι ότι η επικοινωνία μεταξύ αυτόνομων τμημάτων του συστήματος μπορεί να αποδώσει στο σύστημα επιπλέον χαρακτηριστικά για τα οποία δεν έχει προγραμματιστεί το σύστημα. Και αυτή η παρατήρηση μπορεί να βρει εφαρμογή σε διάφορα επίπεδα σχεδιασμού [76],[77].

- Η δυναμική της αλληλεπίδρασης μεταξύ ενός πράκτορα και του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται, μπορεί να οδηγήσει στην ανάδειξη νέων δομών και λειτουργιών του συστήματος επιπρόσθετες από αυτές για τις οποίες είχε προγραμματιστεί. Στη βιβλιογραφία μπορεί να δει κανείς πως πολύπλοκη συμπεριφορά, όπως αυτή της επίτευξης στόχων, μπορεί να μοντελοποιηθεί ως αναδεικνυόμενη, από την αλληλεπίδραση, μεταξύ ενός πολύπλοκου περιβάλλοντος και ενός πράκτορα προγραμματισμένου μόνο για ανακλαστικές ενέργειες. Το νόημα των παραπάνω είναι ότι οι γνωσιακές δομές οι οποίες καθορίζουν τη συμπεριφορά ενός αυτόνομου πράκτορα, δεν

είναι ανάγκη να είναι πολύπλοκες για να προκαλέσουν σύνθετη συμπεριφορά [78].

- Η αλληλεπίδραση μεταξύ ενός αυτόνομου πράκτορα και του περιβάλλοντος είναι επίσης δυνατό να αναδείξει νέες δυνατότητες, όσον αφορά τις δυνατές ενέργειες του συστήματος. Για παράδειγμα ένας πράκτορας ο οποίος μπορεί να βρίσκει έγγραφα τα οποία μοιάζουν με ένα πρότυπο έγγραφο, δεν χρειάζεται να έχει κάποια μέθοδο εξειδικευμένη για αυτή την εργασία. Είναι δυνατόν να έχει μικρότερες οντότητες, μια η οποία να βρίσκει λέξεις κλειδιά από ένα έγγραφο, μια που αναγνωρίζει τη δομή του εγγράφου, μια η οποία βάση των λέξεων κλειδιών, αναγνωρίζει το γνωσιακό πεδίο πάνω στο οποίο αναφέρεται το έγγραφο και μια η οποία γνωρίζει πού να αναζητήσει έγγραφα ανάλογα με το γνωσιακό πεδίο στο οποίο αναφέρονται. Πολλές φορές μάλιστα είναι δυνατόν να μην υπάρχει απολύτως κανένα τμήμα του αυτόνομου πράκτορα υπεύθυνο για την επιλογή ενέργειας. Αντίθετα υπάρχουν πολλά μικρότερα, αυτόνομα το καθένα, τα οποία ζητούν από το σύστημα να πραγματοποιήσει κάποια συγκεκριμένη ενέργεια [79].
- Η ίδια ιδέα βρίσκει εφαρμογή και σε μεγαλύτερη κλίμακα, όπου η αλληλεπίδραση μεταξύ πολλών αυτόνομων πρακτόρων, κάτω από ένα σύνολο “κοινωνικών” κανόνων συμπεριφοράς, μπορεί να αναδείξει δυνατότητα για πολύπλοκη συμπεριφορά και ενέργειες. Η ιδέα αυτή μπορεί να βρει εφαρμογή σε πολύπλοκα υπολογιστικά συστήματα διαχειριζόμενα από αυτόνομους πράκτορες [80].

Το συμπέρασμα το οποίο μπορεί να εξάγει κανείς, είναι ότι η αναδεικνυόμενη πολυπλοκότητα του συστήματος, είναι πολλές φορές πιο ανεκτική σε λάθη και ευέλικτη από τον top – down σχεδιασμό. Αυτό συμβαίνει διότι κανένα από τα τμήματα του συστήματος δεν είναι υπεύθυνο για την παραγωγή αυτής της πολύπλοκης συμπεριφοράς, ενώ κανένα δεν θεωρείται ως πιο κρίσιμο από κάποιο άλλο. Εάν κάποιο από αυτά δεν είναι σε θέση να λειτουργήσει, απλά η απόδοση του συστήματος σημειώνει κάποια επιδείνωση. Δεδομένου του ότι όλα τα τμήματα του συστήματος, λειτουργούν εν παραλλήλω, το σύστημα είναι πιο πιθανό να μπορεί να προσαρμοστεί σε αλλαγές του περιβάλλοντος. Πολλές φορές το σύστημα υπολογίζει πολλές λύσεις για κάποιο πρόβλημα, παράλληλα, έτσι ώστε με την αλλαγή κάποιων μεταβλητών του περιβάλλοντος, το σύστημα να έχει ήδη υπολογισμένη κάποια εναλλακτική λύση [81].

6.4.2 Χαρακτηριστικά των αρχιτεκτονικών πρακτόρων

Πολλές από τις αρχιτεκτονικές αυτόνομων όντων, οι οποίες έχουν προταθεί έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ τους. Τα βασικότερα από αυτά τα κοινά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται σ’ αυτή την παράγραφο.

Task – Oriented Modules

Ένας πράκτορας μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύνολο από οντότητες, κάθε μια από τις οποίες είναι υπεύθυνη για μια μικρή αλλά συγκεκριμένη εργασία (competence) Μια τέτοια εργασία συχνά ονομάζεται **συμπεριφορά** [81]. Οι οντότητες από τις οποίες αποτελείται ο πράκτορας επικοινωνούν μεταξύ τους, με μικρά απλά μηνύματα. Αυτή η επικοινωνία γίνεται μεταξύ δύο οντοτήτων κάθε φορά και δεν χρησιμοποιούνται καθολικές εκπομπές (broadcast). Επιπλέον, η επικοινωνία είναι δυνατόν να γίνει και έμμεσα, μέσω του περιβάλλοντος (μια οντότητα μπορεί να αλλάξει κάτι στο περιβάλλον, γεγονός το οποίο μπορεί να ενεργοποιήσει μια άλλη οντότητα).

Task – Specific Solutions

Ένας πράκτορας δεν έχει γενικά τμήματα ή τμήματα ανεξάρτητα από το πεδίο της εφαρμογής του. Κάθε τμήμα του πράκτορα είναι επιφορτισμένο να κάνει την αναπαράσταση, τους υπολογισμούς, τη νόηση και την εκτέλεση για την εργασία την οποία έχει αναλάβει να επιτελέσει. Δεν υπάρχει κάποιο κεντρικό κομμάτι το οποίο να ελέγχει όλες τις ενέργειες οι οποίες γίνονται από τον πράκτορα.

Η αναπαράσταση του περιβάλλοντος αποκτά μικρότερη σημασία

Σε συστήματα αυτόνομων πρακτόρων δίνεται μικρή σημασία στην μοντελοποίηση του περιβάλλοντος. Καταρχήν δεν υπάρχει μια κεντρική αναπαράσταση του περιβάλλοντος που να διαμοιράζεται από διαφορετικά τμήματα. Επιπλέον το σύστημα δεν προσπαθεί να συγχωνεύσει την πληροφορία από διαφορετικούς αισθητήρες για να δημιουργήσει κάποιο μοντέλο του περιβάλλοντος. Κάθε οντότητα αναπαριστά τοπικά ότι χρειάζεται να αναπαραστήσει προκειμένου να επιτύχει τους στόχους της. Οι τοπικές αναπαραστάσεις διαφορετικών οντοτήτων δεν συσχετίζονται και μπορεί να είναι αντιφατικές ή επαναλαμβανόμενες.

Απουσία κεντρικής μονάδας ελέγχου

Οι αρχιτεκτονικές αυτόνομων πρακτόρων, είναι όσο το δυνατόν κατανεμημένες. Όλες οι οντότητες του συστήματος, λειτουργούν παράλληλα, ενώ δεν υπάρχει κάποια οντότητα η οποία να ελέγχει κάποια άλλη. Ωστόσο, πρέπει να υπάρχει κάποιος τρόπος για την επιλογή ή την ένωση πολλών ενεργειών σε μια. Συνήθως αυτό γίνεται οργανώνοντας τις οντότητες αυτές σε κάποιο δίκτυο είτε τύπου “winner take all” [79], είτε κάποιο προκαθορισμένο με προτεραιότητες [81]. Λόγω της κατανεμημένης φύσης του συστήματος, αυτό είναι δυνατόν να αντιδρά πιο γρήγορα σε αλλαγές του περιβάλλοντος, ή των ίδιων του των στόχων.

6.4.2.1 Αποτελέσματα του σχεδιασμού

Τα συστήματα τα οποία σχεδιάζονται με τις παραπάνω αρχές, τείνουν να παρουσιάσουν μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα και καλύτερη λειτουργία. Λειτουργούν γρηγορότερα διότι:

- έχουν λιγότερα επίπεδα επεξεργασίας της πληροφορίας

- είναι περισσότερο κατανεμημένα και δεν υπάρχει ανάγκη συγχρονισμού
- απαιτούν λιγότερο υπολογιστικό φόρτο μιας και υπάρχουν εξειδικευμένες όσον αφορά το πεδίο εφαρμογής οντότητες.

Επιπλέον, συστήματα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι ικανά να προσαρμόζονται ευκολότερα σε αλλαγές του περιβάλλοντος, αφού χρησιμοποιούν αυτό ως πηγή πληροφορίας και παρουσιάζουν καλύτερη λειτουργία διότι:

- κανένα από τα τμήματα του συστήματος δεν είναι πιο κρίσιμο από κάποιο άλλο (δεν υπάρχει σημείο ολικής αποτυχίας)
- δεν ασχολούνται με την πλήρη κατανόηση της κατάστασης του συστήματος (το οποίο συνήθως απαιτεί μεγάλο υπολογιστικό φόρτο)
- προσαρμόζονται κατά την πάροδο του χρόνου.

Κεφάλαιο 7

Μια αρχιτεκτονική αυτόνομων πρακτόρων για το πρόβλημα του σχεδιασμού ταξιδιών

Σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε μια **αρχιτεκτονική αυτόνομων πρακτόρων** που λειτουργεί ως πλαίσιο για την υλοποίηση του συστήματος σχεδιασμού ταξιδιών. Συγκεκριμένα, η αρχιτεκτονική που προτείνουμε στοχεύει στην υλοποίηση του αλγορίθμου *HVTN-PF*, στη διαχείριση των δεδομένων για ένα συγκοινωνιακό δίκτυο αλλά και στη διαχείριση των χρηστών του συστήματος.

Για την ανάπτυξη του συστήματος ακολουθήσαμε τις κατευθυντήριες γραμμές του οντοκεντρικού σχεδιασμού, δηλαδή τη διάσπαση σύνθετων λειτουργιών σε απλούστερες και την ανάθεση τους σε εξειδικευμένα τμήματα λογισμικού που τις επιτελούν. Η ανάλυση και μοντελοποίηση του συστήματος που έχει γίνει, υπαγορεύει την ανάπτυξή του βάση των αρχών του οντοκεντρικού σχεδιασμού. Παρατηρήσαμε ακόμη τις ομοιότητες της σχεδίασης αυτόνομων πρακτόρων λογισμικού με τον οντοκεντρικό προγραμματισμό. Αυτή η διαπίστωση οδήγησε την ανάπτυξη του συστήματος με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί βασιστεί στην τεχνολογία των πρακτόρων λογισμικού καθώς αυτή η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως τεχνική σχεδίασης συστημάτων λογισμικού.

Εκτός από τη σχεδίαση της αρχιτεκτονικής, παρουσιάζουμε επίσης και ζητήματα που αφορούν την υλοποίηση των τμημάτων της. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήσαμε τη γλώσσα προγραμματισμού **Java** [6] σε συνδυασμό με το περιβάλλον ανάπτυξης πρακτόρων **Aglets** [82], για τη μοντελοποίηση των τμημάτων των πρακτόρων (αισθητήρες, συμπερασματική διαδικασία, δράση) αλλά και για την υλοποίηση των συμπεριφορών τους. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το σύστημα **TOPLink** [8] ως ένα ενδιάμεσο στρώμα λογισμικού για τη διασύνδεση του οντοκεντρικού μοντέλου με τα δεδομένα για την αποθήκευση των οποίων χρησιμοποιήσαμε μια σχεσιακή βάση δεδομένων (**Sybase**) [7].

7.1 Η τεχνολογία αυτόνομων πρακτόρων ως τεχνική σχεδίασης λογισμικού

Εξετάζοντας την αρχιτεκτονική των αυτόνομων πρακτόρων από άλλη οπτική γωνία, είναι δυνατόν να βρούμε κοινά στοιχεία με τον **οντοκεντρικό προγραμματισμό**. Αυτό συμβαίνει διότι πράγματι ο σχεδιασμός έχει γίνει με τέτοιο προσανατολισμό [83].

Η κυριότερη κατευθυντήριος γραμμή του οντοκεντρικού σχεδιασμού συστημάτων η οποία χρησιμοποιήθηκε, ήταν αυτή του διαχωρισμού των εργασιών του συστήματος και η αντιστοίχησή τους σε ανάλογες οντότητες (πράκτορες) οι οποίες αναλαμβάνουν την εκτέλεσή τους. Αυτές οι οντότητες μπορεί να είναι σύνθετες, με την έννοια ότι αποτελούνται και από άλλα αντικείμενα, ή άλλες οντότητες. Έτσι για κάθε εργασία υπάρχει η αντίστοιχη οντότητα ενώ κάθε δομή δεδομένων η οποία χρησιμοποιείται είναι και αυτή ένα αντικείμενο. Η αντιστοιχία δηλαδή, βρίσκεται στον κατακερματισμό μιας σύνθετης εργασίας σε απλές και η ανάθεση της κάθε εργασίας σε ένα αντικείμενο (φυσικά κάθε εργασία είναι δυνατόν να αποτελείται από υπό εργασίες κ.τ.λ.) το οποίο περιέχει τόσο την πληροφορία όσο και τις μεθόδους για την επιτέλεση της [84]. Κάθε τέτοιο αντικείμενο είναι δυνατόν να αντιμετωπιστεί ως ένα κλειστό σύστημα (ή αλλιώς “μαύρο κουτί”) με την έννοια ότι αναλαμβάνει εξ' ολοκλήρου την εργασία η οποία του ανατέθηκε και επιτελεί την εργασία ή επιστρέφει το αποτέλεσμα του υπολογισμού, χωρίς περαιτέρω αλληλεπίδραση με την αιτούσα οντότητα. Κατά αυτόν τον τρόπο μπορεί να πει κανείς πως διαχωρίζουμε την εφαρμογή σε τμήματα το κάθε ένα εξειδικευμένο σε μια εργασία και αποκλειστικά υπεύθυνο για την επιτέλεσή της. Ταυτόχρονα, διασπάμε και τα δεδομένα της εφαρμογής μας διαμοιράζοντάς τα στις οντότητες οι οποίες τα χρησιμοποιούν [83]. Πληροφορίες γι' αυτή την τεχνική σχεδιασμού μπορεί κανείς να αναζητήσει στη βιβλιογραφία με τον όρο *Agent Oriented Programming* [85], ο οποίος αντιμετωπίζεται ως εξειδίκευση του οντοκεντρικού προγραμματισμού.

Σχεδιάζοντας το σύστημα κατά αυτόν τον τρόπο μπορούμε να αντιμετωπίσουμε την κάθε εργασία του συστήματος μας ανεξάρτητα από τις άλλες και κατά το σχεδιασμό να επικεντρώνουμε την προσοχή μας στο σχεδιασμό μιας οντότητας η οποία επιτελεί μια μεμονωμένη εργασία. Η τεχνική αυτή είναι εντελώς αντίστοιχη με το δομημένο προγραμματισμό κατά τον οποίο διασπάμε μια σύνθετη εργασία σε απλούστερες προκειμένου να υλοποιήσουμε ένα σύνολο από απλές εργασίες παρά μια σύνθετη η οποία θα ήταν πολύπλοκη στον προγραμματισμό.

Από τα πλεονεκτήματα του οντοκεντρικού σχεδιασμού εφαρμογών αυτό το οποίο μας ενδιαφέρει περισσότερο είναι η κατασκευή μιας μεγάλης και σύνθετης οντότητας από απλές. Παράλληλα, απλοποιείται τόσο ο σχεδιασμός της εφαρμογής όσο και η υλοποίησή της. Επιπλέον, ο εντοπισμός λαθών κατά την υλοποίηση γίνεται ευκολότερα. Επιπρόσθετα πλεονεκτήματα που κερδίζουμε από τον οντοκεντρικό σχεδιασμό είναι η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης τμημάτων λογισμικού και η χρήση οντοτήτων λογισμικού από τρίτους κατασκευαστές. Κατά αυτόν τον τρόπο θα προσπαθήσουμε να σχεδιάσουμε μια σύνθετη οντότητα από έναν αριθμό απλούστερων και μικρότερων οντοτήτων. Ο λόγος για αυτό είναι η προσπάθεια ανάπτυξης αυτόνομης και προσαρμοστικής συμπεριφοράς η οποία, σύμφωνα με τη φιλοσοφία σχεδιασμού την οποία ακολουθούμε, οφείλεται στην αλληλεπίδραση απλών και αυτόνομων οντοτήτων, χωρίς κάποια από αυτές να έχει τον κεντρικό έλεγχο. Οι οντότητες αυτές μπορούν

φυσικά να επικοινωνούν μεταξύ τους, έτσι ώστε να είναι δυνατή η συνεργασία τους σε εργασίες όπου απαιτείται να εμπλακεί παραπάνω από μια οντότητα [83].

Δεδομένης της έλλειψης κεντρικού σημείου ελέγχου και της πολιτικής επιλογής ενέργειας της κάθε οντότητας, οι ενέργειες τις οποίες επιτελεί το σύστημα καθορίζονται από τις ενέργειες τις οποίες αποφασίζουν προς εκτέλεση οι οντότητες του γνωσιακού επιπέδου, και διατάζουν τα δρώντα αντικείμενα. Η ολική συμπεριφορά του συστήματος είναι η συνισταμένη των συμπεριφορών όλων των οντοτήτων που το αποτελούν.

Προκειμένου όμως να μιλήσουμε για ολική συμπεριφορά του συστήματος θα πρέπει να ορίσουμε τον τρόπο με τον οποίο αποδίδουμε συμπεριφορά σε έστω μια οντότητα. Στα περισσότερα συστήματα λογισμικού η ροή ελέγχου καθορίζεται από ένα και μόνο νήμα ελέγχου το οποίο και αποτελεί τη διεργασία του συστήματος. Προκειμένου να αποδώσουμε ξεχωριστή συμπεριφορά σε κάθε οντότητα του συστήματός μας έχουμε δύο επιλογές [83]:

- **Να δημιουργήσουμε μια κεντρική οντότητα η οποία να μοιράζει τον έλεγχο (δηλαδή ποσοστό υπολογιστικού χρόνου του επεξεργαστή) περιοδικά στις οντότητες και με ποσοστό ανάλογο με την προτεραιότητα της εργασίας που πρόκειται να επιτελέσει η οντότητα**
- **Να δώσουμε σε κάθε οντότητα τουλάχιστον ένα νήμα ελέγχου, κάνοντας την εφαρμογή μας πολυπρογραμματιστική (multithreaded) και αναθέτοντας προτεραιότητες σε κάθε νήμα.**

Οι κυριότεροι λόγοι οι οποίοι μας προτρέπουν να χρησιμοποιήσουμε τη δεύτερη λύση είναι η αποφυγή κεντρικού σημείου ελέγχου, η αποφυγή της πλεονάζουσας επικοινωνίας μεταξύ των οντοτήτων, η επεκτασιμότητα (στην πρώτη περίπτωση για να προσθέσουμε μια οντότητα θα πρέπει να επαναπρογραμματίσουμε την οντότητα που διαμοιράζει τον έλεγχο, ενώ στη δεύτερη απλά προσθέτουμε μια οντότητα η οποία δρα παράλληλα με τις άλλες) καθώς και η ευκολία προγραμματισμού. Κατά αυτό τον τρόπο επεκτείνουμε την έννοια του αντικείμενου που υπάρχει στον κλασσικό οντοκεντρικό προγραμματισμό και του δίνουμε την δυνατότητα αυτόνομης συμπεριφοράς, με την έννοια ότι το ίδιο το αντικείμενο φροντίζει για το πότε θα εκτελέσει κάποια εργασία ή όχι, ανάλογα με τα μηνύματα τα οποία δέχεται η τις εσωτερικές νοητικές αποφάσεις τις οποίες λαμβάνει. Θα αναφερόμαστε σε αντικείμενα αυτού του είδους ως *ενεργά αντικείμενα* [83], τα οποία μάλιστα είναι και η υποδομή πάνω στην οποία θα στηριχτεί η υλοποίηση μιας τυπικής αυτόνομης οντότητας. Κάτι που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι έχοντας πολλά νήματα ελέγχου να δρουν πάνω σε διαμοιραζόμενη μνήμη, είναι δυνατόν να αντιμετωπίσουμε προβλήματα συντονισμού και ταυτόχρονης πρόσβασης στο ίδιο τμήμα μνήμης από παραπάνω από μια οντότητες. Οι κυριότεροι τρόποι αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών βασίζονται σε τεχνικές των λειτουργικών και κατανεμημένων συστημάτων [86].

Η διάσπαση ενός σύνθετου προβλήματος σε απλούστερα, όπως επιτάσσουν οι αρχές του οντοκεντρικού προγραμματισμού, απαιτούν τη συνεργασία των αυτόνομων αντικειμένων (πρακτόρων) που έχουν αναλάβει την εκτέλεση των επιμέρους εργασιών. Αυτή η συνεργασία είναι απαραίτητη καταρχήν για τη σύνθεση της λύσης του

προβλήματος από τις λύσεις των επιμέρους προβλημάτων. Επιπλέον είναι δυνατόν ένα αντικείμενο που εκτελεί μια εργασία να χρειάζεται πληροφορία την οποία κατέχει κάποιο άλλο αντικείμενο. Προφανώς για να είναι δυνατή η συνεργασία μεταξύ διαφορετικών οντοτήτων θα πρέπει να υπάρχει κάποιος τρόπος επικοινωνίας. Δεδομένου ότι οι οντότητες εκτελούνται σε διαμοιραζόμενη μνήμη, είναι δυνατόν να επικοινωνήσουν καλώντας η μια μεθόδους της άλλης. Ωστόσο αυτό μειώνει την επεκτασιμότητα του συστήματος, ενώ κάνει ουσιαστικά αδύνατη τη χρήση οντοτήτων από τρίτους κατασκευαστές και ακόμα δυσκολότερη την επιλογή χρήσης μιας οντότητας μεταξύ πολλών. Επιπλέον θα δούμε πως δεν είναι απαραίτητο όλες οι οντότητες να εκτελούνται στο ίδιο μηχανήμα. Οι προηγούμενοι λόγοι μας ωθούν στην επικοινωνία των οντοτήτων με μηνύματα και κατά συνέπεια στον ορισμό κάποιας γλώσσας επικοινωνίας μεταξύ των οντοτήτων.

Τόσο στη βιβλιογραφία όσο και σε άλλα υπάρχοντα συστήματα μπορεί να βρει κανείς αρκετές **γλώσσες επικοινωνίας πρακτόρων (agent communication languages)**, όπως για παράδειγμα τις **KQML** και **KIF** [87]. Καμία από αυτές ωστόσο δεν αποτελεί πρότυπο έτσι ώστε να το υιοθετήσουμε. Επιπλέον οι ανάγκες για επικοινωνία στο σύστημά μας απαιτούν την ανταλλαγή μηνυμάτων σχετικά απλών και με συγκεκριμένη δομή. Τέτοια μηνύματα μπορεί να αφορούν αίτηση για πληροφορίες είτε αίτηση για την εκτέλεση μιας εργασίας. Αυτά τα δύο είδη μηνυμάτων είναι δυνατόν να κωδικοποιηθούν σε πολλές από τις υπάρχοντες γλώσσες επικοινωνίας πρακτόρων έτσι ώστε να μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάποια για αυτό το σκοπό.

7.2 Χαρακτηριστικά του συστήματος σχεδιασμού ταξιδιών

Σ' αυτή την ενότητα παρουσιάζουμε συνοπτικά τα χαρακτηριστικά, τις ανάγκες και τις απαιτήσεις που προκύπτουν για την υλοποίηση του συστήματος σχεδιασμού ταξιδιών. Από τη μελέτη των χαρακτηριστικών του συστήματος θα καθοριστούν οι απαιτήσεις για τη σχεδίαση και την υλοποίηση της αρχιτεκτονικής. Συγκεκριμένα, μέσα από τα χαρακτηριστικά του συστήματος καθώς και από τις ιδιαιτερότητες του αλγορίθμου *HVTN-PF* θα προσδιορίσουμε τα είδη των πρακτόρων που θα χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση και για κάθε πράκτορα τα επιμέρους τμήματα και την αρχιτεκτονική του.

7.2.1 Χαρακτηριστικά του συστήματος

7.2.1.1 Χρόνος απόκρισης

Το σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών προορίζεται για χρήση από επιβάτες οι οποίοι σχεδιάζουν ένα ταξίδι. Μια τέτοια διαδικασία πραγματοποιείται συνήθως αρκετό χρόνο πριν την εκκίνηση του ταξιδιού και κατά συνέπεια ο χρόνος απόκρισης του συστήματος σε μια αίτηση από έναν χρήστη δεν είναι κρίσιμης σημασίας. Ωστόσο, ο χρόνος απόκρισης πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να μην είναι χειρότερος από το χρόνο που θα έπρεπε να αφιερώσει ο χρήστης επιτελώντας την ίδια εργασία χωρίς να χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες του συστήματος.

Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν ο χρόνος απόκρισης να έχει κρίσιμο ρόλο στις αποφάσεις ενός επιβάτη. Αυτό αφορά μια εξέλιξη του συστήματος τέτοια ώστε να επιτρέπει σε έναν επιβάτη να αναθεωρεί τις αποφάσεις για τη διαδρομή που έχει επιλέξει, κατά τη διάρκεια του ταξιδιού του. Για παράδειγμα υποθέστε ότι ένας επιβάτης, φτάνοντας σε έναν ενδιάμεσο προορισμό διαπιστώνει ότι δεν μπορεί να συνεχίσει σύμφωνα με το προεπιλεγμένο πρόγραμμα (ακύρωση δρομολογίου) ή αποφασίζει ότι η διαδρομή που έχει επιλέξει δεν τον ικανοποιεί. Σ' αυτή την περίπτωση θα ήταν επιθυμητό να μπορεί να χρησιμοποιήσει το σύστημά μας προκειμένου να σχεδιάσει μια τουλάχιστον εναλλακτική διαδρομή από τον ενδιάμεσο προορισμό μέχρι τον τελικό προορισμό του ταξιδιού. Βέβαια, σε μια τέτοια περίπτωση ο χρόνος απόκρισης του συστήματος είναι κρίσιμη παράμετρος καθώς ο επιβάτης θα πρέπει να προλάβει την επιβίβαση σε κάποιο άλλο μέσο μεταφοράς είτε στον ίδιο είτε σε κάποιο διαφορετικό σταθμό του ενδιάμεσου προορισμού. Επιπλέον, κρίσιμος μπορεί να είναι ο χρόνος απόκρισης όταν ένας επιβάτης σχεδιάζει το ταξίδι του λίγο πριν την αναχώρηση του.

Για την διατήρηση του χρόνου απόκρισης σε ικανοποιητικά επίπεδα κινηθήκαμε προς δύο κατευθύνσεις. Η πρώτη είναι η ανάπτυξη ενός αποδοτικού αλγορίθμου αναζήτησης μονοπατιών (*HVTN-PF*) και η δεύτερη είναι η παράλληλη εκτέλεση των διαδικασιών αναζήτησης μονοπατιών σε δίκτυα συγκοινωνιών.

7.2.1.2 Εξυπηρέτηση πολλών χρηστών

Το σύστημα θα πρέπει να μπορεί να διαχειρίζεται αιτήσεις από πολλούς χρήστες. Αυτό το χαρακτηριστικό δημιουργεί δύο διαφορετικές απαιτήσεις. Καταρχήν θα πρέπει να κατανέμει αποδοτικά τους υπολογιστικούς του πόρους ώστε να μπορεί να εξυπηρετεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερο αριθμό ταυτόχρονων αιτήσεων. Επιπλέον, για επιβάτες που χρησιμοποιούν συχνά το σύστημα θα πρέπει να διατηρείται κάποιος λογαριασμός με το προφίλ του κάθε χρήστη ώστε να αποφεύγεται η παροχή της ίδιας πληροφορίας από το χρήστη κάθε φορά που χρησιμοποιεί το σύστημα.

7.2.1.3 Επαναχρησιμοποίηση της πληροφορίας

Είναι πολύ πιθανό για την εξυπηρέτηση διαφορετικών αιτήσεων από τον ίδιο ή διαφορετικούς χρήστες να απαιτείται από το σύστημα η χρησιμοποίηση της ίδιας πληροφορίας. Για παράδειγμα, αν δύο ταξίδια περνάνε διαμέσου κοινών ενδιάμεσων κόμβων, τότε κατά τη σχεδίαση των ταξιδιών το σύστημα χρησιμοποιεί την ίδια πληροφορία για τους κοινούς κόμβους. Για την επιτάχυνση της διαδικασίας σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκε από το σύστημα ένα είδος μνήμης γρήγορης πρόσβασης στην οποία αποθηκεύεται πληροφορία η οποία είναι πιθανόν να ξαναχρησιμοποιηθεί σύντομα. Ωστόσο επειδή η φύση της πληροφορίας είναι δυναμική και πιθανόν να μεταβάλλεται, απαιτείται περιοδική επιβεβαίωση και ανανέωση της πληροφορίας που κρατείται στη μνήμη. Ένα παράδειγμα επαναχρησιμοποίησης πληροφορίας είναι το εξής. Ας υποθέσουμε ότι ο αλγόριθμος αναζήτησης μονοπατιών φτάνει σε έναν κόμβο κατά τη διάρκεια της εκτέλεσής του και εντοπίζει όλα τα εξερχόμενα δρομολόγια ορισμένα από τα οποία θα επιλέξει να ακολουθήσει. Επειδή ένας κόμβος μπορεί να έχει περισσότερα

από ένα εισερχόμενα δρομολόγια, είναι δυνατόν ο αλγόριθμος να επισκεφτεί ξανά τον ίδιο κόμβο. Αν κατά την πρώτη επίσκεψη η πληροφορία για τα εξερχόμενα δρομολόγια αποθηκευτεί σε κάποιο χώρο γρήγορης πρόσβασης, στη δεύτερη επίσκεψη ο χρόνος αναζήτησης της πληροφορίας μειώνεται σημαντικά. Επιπλέον, αν λάβουμε υπόψη ότι ο αλγόριθμος μπορεί να επισκεφθεί τον ίδιο κόμβο πολλές φορές κατά τη διάρκεια μιας εκτέλεσής του, μπορούμε να αναλογιστούμε τη βελτίωση που μπορούμε να πετύχουμε.

7.2.1.4 Μάθηση

Η χρησιμοποίηση μνήμης γρήγορης πρόσβασης προβλέπεται για την επαναχρησιμοποίηση πληροφορίας σε μια βραχυπρόθεσμη προοπτική (στα χρονικά όρια της εκτέλεσης του αλγορίθμου αναζήτησης). Είναι δυνατόν να έχουμε επαναχρησιμοποίηση πληροφορίας σε μια μακροπρόθεσμη προοπτική. Δηλαδή, μπορεί το σύστημα να διατηρεί σε μνήμη γρήγορης πρόσβασης πληροφορίες για κόμβους, δρομολόγια και ταξίδια για τα οποία δέχεται συχνές αιτήσεις. Το ζήτημα σ' αυτή την περίπτωση είναι η επιλογή της πληροφορίας που πρέπει να διατηρείται. Αυτή η επιλογή μπορεί να βασιστεί σε στατιστικά χρήσης του συστήματος είτε σε μια καθολική βάση (για όλους τους χρήστες), είτε σε προσωπική βάση (για κάθε χρήστη ξεχωριστά). Για παράδειγμα αν ένας χρήστης ταξιδεύει συχνά σε μια συγκεκριμένη περιοχή, μπορεί το σύστημα να διατηρεί σε μνήμη γρήγορης πρόσβασης, πληροφορίες για κόμβους και δρομολόγια αυτής της περιοχής επιταχύνοντας έτσι τη διαδικασία αναζήτησης μονοπατιών. Επιπλέον, μπορεί το σύστημα να διατηρεί έτοιμα σχέδια ταξιδιών για συγκεκριμένα ζεύγη κόμβων (τα οποία ένας επιβάτης πραγματοποιεί συχνά) ώστε κάθε φορά που ένας χρήστης ζητάει ένα μονοπάτι μεταξύ αυτών των κόμβων στην πραγματικότητα να μην ψάχνει για ένα νέο μονοπάτι αλλά να επιβεβαιώνει ένα ήδη γνωστό. Τέλος, το σύστημα μπορεί να επιλέγει κόμβους στους οποίους ο χρήστης ταξιδεύει συχνά και περιοδικά να σχεδιάζει στο παρασκήνιο ταξίδια γι' αυτούς χωρίς να χρειάζεται να το ζητήσει ο χρήστης. Αυτή η σχεδίαση μπορεί να βασίζεται σε προτιμήσεις που ο χρήστης έχει εισάγει στον προσωπικό του λογαριασμό ή σε προτιμήσεις που το σύστημα έχει συμπεράνει για το χρήστη από την εμπειρία της χρήσης.

7.2.1.5 Κατανεμημένη πληροφορία

Μέχρι στιγμής έχουμε παρουσιάσει ένα μοντέλο για την αναπαράσταση ενός συγκοινωνιακού δικτύου και έναν αλγόριθμο εύρεσης μονοπατιών. Η κατασκευή ενός γράφου για την αναπαράσταση ενός συγκοινωνιακού δικτύου μιας χώρας που θα περιλαμβάνει όλες τις εταιρίες συγκοινωνιών και όλα τα μέσα μεταφοράς απαιτεί την αποθήκευση και διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων τόσο για τους κόμβους του γράφου, δηλαδή τους κόμβους του συγκοινωνιακού δικτύου, όσο και για τους συνδέσμους του γράφου, δηλαδή τα δρομολόγια του συγκοινωνιακού δικτύου.

Κάθε εταιρία συγκοινωνιών μπορεί να διατηρεί μια βάση δεδομένων ή κάποιο άλλο σύστημα για την αποθήκευση και τη διαχείριση των δρομολογίων της. Συνεπώς η πληροφορία που απαιτείται για την αναπαράσταση του γράφου ενός συγκοινωνιακού δικτύου βρίσκεται κατανεμημένη σε πολλές διαφορετικές πηγές. Για να μπορεί το σύστημα να προσπελάσει αυτή την πληροφορία υπάρχουν δύο εναλλακτικές λύσεις. Η

πρώτη λύση αφορά μια κεντριοποιημένη προσέγγιση. Σύμφωνα μ' αυτή την προσέγγιση, δημιουργείται μια κεντρική βάση δεδομένων στην οποία διατηρείται όλη η πληροφορία για τους κόμβους και τα δρομολόγια του συγκοινωνιακού δικτύου. Η δομή της βάσης ακολουθεί το μοντέλο αναπαράστασης. Η δεύτερη λύση αφορά μια κατανεμημένη προσέγγιση. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, το σύστημα γνωρίζει μόνο το μοντέλο αναπαράστασης και τα δεδομένα προσπελαύνονται απευθείας από τις πηγές όπου βρίσκονται αποθηκευμένα, όταν πρέπει να χρησιμοποιηθούν.

7.2.1.5.1 Η πρώτη λύση – Κεντριοποιημένη προσέγγιση

Η πρώτη λύση υιοθετείται και από το σύστημα που παρουσιάζεται στο [1] και περιγράφεται στο παράρτημα Α.. Το πλεονέκτημα αυτής της λύσης είναι ότι διαθέτουμε άμεσα μια ομοιόμορφη άποψη για όλη την πληροφορία ενώ χρησιμοποιώντας τεχνικές ευρητηριασμού όπως τα Quad trees [39] μπορούμε να επιτύχουμε γρήγορους χρόνους αναζήτησης και ανάκτησης των δεδομένων. Ωστόσο αυτή η λύση έχει και μειονεκτήματα. Καταρχήν, η αποθήκευση όλων των δεδομένων ενός πολύ-τροπικού συγκοινωνιακού δικτύου απαιτεί πολύ μεγάλο χώρο αποθήκευσης. Επιπλέον η στατική αποθήκευση των δεδομένων μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα ασυνέπειας μεταξύ των δεδομένων στη βάση και των πραγματικών δεδομένων.

Στο χώρο των συγκοινωνιών είναι πολύ συχνό για μια εταιρία συγκοινωνιών να μεταβάλλει τους πίνακες δρομολογίων της προσθέτοντας νέα δρομολόγια ή καταργώντας υπάρχοντα δρομολόγια. Οπότε, χρησιμοποιώντας μια βάση δεδομένων για την αποθήκευση όλης της πληροφορίας για το συγκοινωνιακό δίκτυο, θα πρέπει το σύστημα να αντιλαμβάνεται πότε γίνεται μια μεταβολή σε πίνακες δρομολογίων ώστε να ανανεώνεται κατάλληλα. Εκτός όμως από προγραμματισμένες αλλαγές στα δρομολόγια μιας εταιρίας, είναι δυνατόν να συμβούν και έκτακτες αλλαγές. Έκτακτες αλλαγές μπορούν να συμβούν σε περιόδους μεγάλης ζήτησης οπότε οι εταιρίες αναγκάζονται να πραγματοποιούν έκτακτα δρομολόγια. Επίσης για λόγους πολιτικής και ανταγωνισμού, είναι δυνατόν μια εταιρία να μεταβάλλει τις τιμές των δρομολογίων της με τη μορφή προσφορών που ισχύουν για περιορισμένα χρονικά διαστήματα. Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι η πληροφορία για ένα συγκοινωνιακό δίκτυο μπορεί να μεταβάλλεται κατά τρόπο μη προγραμματισμένο. Εξαιτίας της δυναμικής φύσης της πληροφορίας η ανανέωση των δεδομένων που διατηρούνται σε μια κεντρική βάση γίνεται μια πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία.

Η ανανέωση των δεδομένων μπορεί να γίνεται με δύο τρόπους. Ένας τρόπος είναι οι χειριστές του συστήματος να έρχονται σε επικοινωνία με τις εταιρίες συγκοινωνιών για να πληροφορούνται για τις αλλαγές τις οποίες πρέπει να κάνουν στη βάση δεδομένων με το χέρι. Ένας άλλος τρόπος είναι να υπάρχει κάποιο σύστημα το οποίο αυτόματα θα πληροφορείται τις αλλαγές και θα κάνει τις απαραίτητες εισαγωγές τροποποιήσεις ή διαγραφές στη βάση δεδομένων. Αν σκεφτόμαστε ότι η δεύτερη λύση είναι μια καλή περίπτωση ίσως είναι καλύτερο να δώσουμε μεγαλύτερη σημασία στην εναλλακτική λύση για την ανάκτηση των δεδομένων, που παρουσιάζουμε στην επόμενη ενότητα.

7.2.1.5.2 Η δεύτερη λύση – Κατανεμημένη προσέγγιση

Σύμφωνα μ' αυτή τη λύση, η πληροφορία για το συγκοινωνιακό δίκτυο δεν βρίσκεται αποθηκευμένη σε μια μόνο βάση δεδομένων. Κάθε φορά που το σύστημα χρειάζεται μια πληροφορία, την ανακτά από την φυσική πηγή όπου βρίσκεται αποθηκευμένη. Τέτοιες πηγές δεδομένων μπορεί να είναι οι βάσεις δεδομένων εταιριών συγκοινωνιών ή βάσεις δεδομένων ταξιδιωτικών πρακτορείων.

Το πρώτο ζήτημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί, αν υιοθετηθεί αυτή η λύση, είναι το πρόβλημα του εντοπισμού της πληροφορίας. Δηλαδή κάθε φορά που το σύστημα χρειάζεται μια πληροφορία πρέπει να γνωρίζει από ποια πηγή δεδομένων θα την πάρει. Επιπλέον, έχοντας την πληροφορία κατανοημένη σε διαφορετικές πηγές δεδομένων κανείς δεν μας εγγυάται για την ομοιογένεια των δεδομένων [89], [90]. Για παράδειγμα κάθε εταιρία μπορεί να χρησιμοποιεί διαφορετικές δομές για την αποθήκευση πληροφοριών για τα δρομολόγια της και ακόμα χειρότερα, διαφορετικά συστήματα αποθήκευσης και διαχείρισης δεδομένων. Δηλαδή ακόμα και όταν το σύστημα εντοπίσει την πηγή απ' όπου πρέπει να πάρει την πληροφορία που χρειάζεται, ανάλογα με την πηγή πρέπει να χρησιμοποιήσει διαφορετική μέθοδο πρόσβασης.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω δύο ζητημάτων, δηλαδή την προσπέλαση πληροφοριών από πολλαπλές ετερογενείς πηγές δεδομένων έχει γίνει σημαντική εργασία και έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι. Στα [88], μπορεί κανείς να βρει μια επισκόπηση των πιο σημαντικών εργασιών που έχουν γίνει για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι ορισμένες από τις μεθόδους που αναπτύχθηκαν χρησιμοποιούν την τεχνολογία των πρακτόρων λογισμικού [93], [94].

Το σοβαρό πλεονέκτημα αυτής της δεύτερης λύσης είναι ότι εξασφαλίζουμε την εγκυρότητα των δεδομένων ενώ απαιτείται πολύ μικρός χώρος αποθήκευσης σε σχέση με την πρώτη λύση. Επιπλέον, αν υιοθετηθεί η πρώτη λύση, αυτόματα εισάγεται στο σύστημα ένα κεντρικό σημείο αποτυχίας. Αυτό το σημείο είναι η βάση δεδομένων. Δηλαδή σε περίπτωση που η βάση δεδομένων, στην οποία διατηρείται όλη η πληροφορία, καταρρεύσει τότε το σύστημα καθίσταται εκτός λειτουργίας. Κάτι τέτοιο βέβαια έρχεται σε αντίθεση με τις αρχές σχεδίασης για αυτόνομους πράκτορες. Η δεύτερη – κατανοημένη – προσέγγιση ξεπερνά αυτό το εμπόδιο αφού πλέον δεν υπάρχει κεντρικό σημείο αποτυχίας. Βέβαια είναι δυνατόν κάποιες από τις πηγές δεδομένων να βρίσκονται εκτός λειτουργίας τη στιγμή που το σύστημα χρειάζεται να πάρει πληροφορίες από αυτές. Αυτό όμως δεν εμποδίζει το σύστημα να λειτουργήσει καθώς άλλες πηγές δεδομένων θα είναι διαθέσιμες. Υποθέστε για παράδειγμα ότι κατά τη λειτουργία του συστήματος η βάση δεδομένων μιας εταιρίας είναι εκτός λειτουργίας. Η επίδραση αυτού του συμβάντος στο σύστημα θα είναι να μην ληφθούν υπόψη τα δρομολόγια της συγκεκριμένης εταιρίας για το σχεδιασμό του ταξιδιού. Ωστόσο, δεδομένου ότι οι υπόλοιπες πηγές δεδομένων λειτουργούν κανονικά, το σύστημα κατά πάσα πιθανότητα θα μπορεί να εντοπίσει ένα σχέδιο ταξιδιού. Το αποτέλεσμα μπορεί να μην είναι βέλτιστο, ωστόσο σε αντίθεση με την κεντροποιημένη προσέγγιση έχουμε ένα αποτέλεσμα.

Στα μειονεκτήματα αυτής της λύσης συγκαταλέγεται η προσθήκη ενός επιπλέον μηχανισμού ο οποίος χρησιμοποιείται για την ανάκτηση της πληροφορίας. Ένας τέτοιος μηχανισμός χρησιμοποιείται ως ένα ενδιάμεσο στρώμα μεταξύ του συστήματος και των πηγών δεδομένων. Η ύπαρξη αυτού του στρώματος, προσθέτει κάποια χρονική επιβάρυνση αφού απαιτείται επιπλέον επικοινωνία καθώς και επεξεργασία. Ωστόσο,

όπως είδαμε ο χρόνος απόκρισης του συστήματος δεν είναι κρίσιμος παράγοντας οπότε μπορούμε να ανεχτούμε κάποια επιπλέον επιβάρυνση.

7.2.2 Οι στόχοι του συστήματος

Ο βασικός στόχος του συστήματος είναι η διευκόλυνση των επιβατών κατά τη διαδικασία σχεδιασμού ενός ταξιδιού. Δηλαδή το σύστημα βοηθάει έναν επιβάτη να συνδυάσει διαφορετικές υπηρεσίες συγκοινωνιών για την πραγματοποίηση ενός ταξιδιού με τρόπο τέτοιο ώστε να ικανοποιούνται κατά το δυνατόν καλύτερα οι απαιτήσεις, οι ανάγκες και οι προτιμήσεις του. Μπορούμε να πούμε ότι η βοήθεια προς τον επιβάτη παρέχεται σε δύο άξονες. Πρώτον επιτρέπει σε έναν επιβάτη να εντοπίσει τις υπηρεσίες συγκοινωνιών που παρέχονται και δεύτερον, βοηθάει τον επιβάτη να συνδυάσει διαφορετικές υπηρεσίες συγκοινωνιών σε ένα ταξίδι. Η απόκριση του συστήματος σε μια αίτηση από επιβάτη πρέπει να είναι όσο το δυνατόν συντομότερη και να πραγματοποιείται με όσο το δυνατόν μικρότερη αλληλεπίδραση μεταξύ χρήστη και συστήματος.

Μέσα από την εκπλήρωση του βασικού του στόχου, το σύστημα επιδιώκει και την επίτευξη δευτερευόντων στόχων. Διευκολύνοντας τους επιβάτες στο συνδυασμό διαφορετικών υπηρεσιών μεταφοράς, από την μία προτρέπει τους ταξιδιώτες στη χρησιμοποίηση δημόσιων συγκοινωνιών έναντι των ιδιωτικών μέσων μεταφοράς, ενώ από την άλλη δημιουργεί συνθήκες για καλύτερη εκμετάλλευση του συνόλου του συγκοινωνιακού δικτύου. Η επίτευξη αυτών των στόχων αποφέρει οφέλη τόσο στους επιβάτες αυξάνοντας το βαθμό ικανοποίησης από τις υπηρεσίες συγκοινωνιών όσο και στις εταιρίες συγκοινωνιών καθώς δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για αύξηση της ζήτησης υπηρεσιών.

Οι εταιρίες συγκοινωνιών μπορούν να ωφεληθούν και με άλλους τρόπους χρησιμοποιώντας το σύστημά μας. Κάθε εταιρία συγκοινωνιών μπορεί να υπολογίζει στατιστικά στοιχεία για την χρησιμοποίηση των δικών της υπηρεσιών μεταφοράς και με βάση αυτά να βελτιώνει τις υπηρεσίες της. Συνήθως, μια εταιρία συγκοινωνιών δεν μπορεί να γνωρίζει με ακρίβεια, αντίστοιχα στατιστικά στοιχεία από άλλες εταιρίες. Το σύστημά μας στα πλαίσια των διαδικασιών μάθησης μπορεί να υπολογίζει καθολικά στατιστικά στοιχεία για τη χρησιμοποίηση των υπηρεσιών μεταφοράς και μέσα από συμπερασματικές διαδικασίες να δίνει τη δυνατότητα σε εταιρίες συγκοινωνιών να βγάζουν συμπεράσματα για τη βελτίωση των δικών τους υπηρεσιών. Βέβαια κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει μόνο ορίζοντας ένα πλαίσιο συνεργασίας μεταξύ των διαφορετικών εταιριών.

7.3 Η αρχιτεκτονική του συστήματος

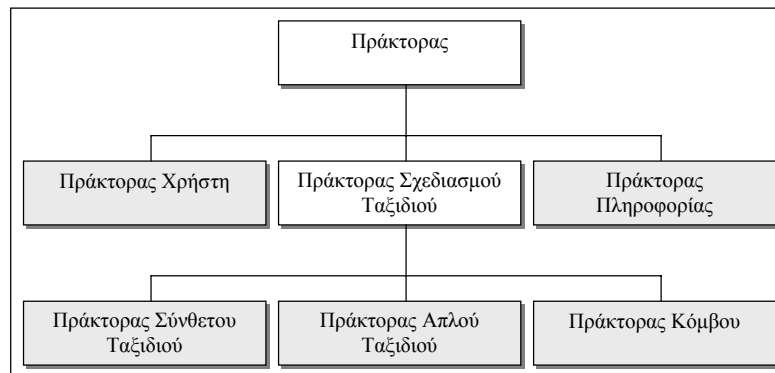
Για την υλοποίηση του συστήματος σχεδιασμού ταξιδιών προτείναμε μια αρχιτεκτονική αυτόνομων πρακτόρων λογισμικού. Σ' αυτή την αρχιτεκτονική ορίσαμε πέντε διαφορετικές κατηγορίες πρακτόρων:

- **Πράκτορας Χρήστη (User Agent)**

- **Πράκτορας Σύνθετου Ταξιδιού (Compound Travel Agent)**
- **Πράκτορας Απλού ταξιδιού (Single Travel Agent)**
- **Πράκτορας Κόμβου (Node Agent)**
- **Πράκτορας Πληροφορίας (Information Agent)**

Ο παραπάνω ορισμός των κατηγοριών για τους πράκτορες υπαγορεύεται από την ανάλυση της λειτουργίας του συστήματος σε ένα σύνολο επιμέρους λειτουργιών. Κάθε κατηγορία πρακτόρων περιλαμβάνει πράκτορες οι οποίοι είναι εξειδικευμένοι στην πραγματοποίηση συγκεκριμένων εργασιών από τη σύνθεση των οποίων υλοποιείται η συνολική του λειτουργία. Ορισμένες από τις παραπάνω κατηγορίες μπορούν να ομαδοποιηθούν περαιτέρω σε μια ευρύτερη κατηγορία αφού από τη συνεργασία τους συντίθεται μια σύνθετη λειτουργία του συστήματος.

Συγκεκριμένα οι πράκτορες Σύνθετου Ταξιδιού, Απλού Ταξιδιού και Κόμβου μπορούν να ταξινομηθούν σε μια κατηγορία που ονομάζουμε **Πράκτορες Σχεδιασμού Ταξιδιού** μια που η συνεργασία τους είναι αυτή που υλοποιεί τον αλγόριθμο *HVTN-PF* για την εύρεση μονοπατιών σε συγκοινωνιακά δίκτυα. Από την ανάλυση των επιμέρους λειτουργιών που επιτελεί το σύστημα ορίσαμε την ταξινόμηση των πρακτόρων που χρησιμοποιούνται όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.1.



Σχήμα 7.1: Ταξινόμηση των πρακτόρων του συστήματος.

7.3.1 Ανάλυση των λειτουργιών του συστήματος

7.3.1.1 Αλληλεπίδραση με το χρήστη

Η υπηρεσία που παρέχει το σύστημα είναι ο σχεδιασμός ενός ταξιδιού για λογαριασμό ενός χρήστη (επιβάτη). Καταρχήν, ο χρήστης πρέπει να έχει έναν τρόπο αλληλεπίδρασης με το σύστημα. Αυτή η επικοινωνία παρέχεται μέσω μιας διεπιφάνειας χρήσης. Ο χρήστης χρησιμοποιεί τη διεπιφάνεια για να προσδιορίσει την αφετηρία και

τον προορισμό του ταξιδιού αλλά και ένα σύνολο προτιμήσεων. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να έχει έναν προσωπικό λογαριασμό στο σύστημα και πιθανόν να διατηρεί κάποιο αρχείο προτιμήσεων. Σ' αυτή την περίπτωση το σύστημα εκτελεί κάποια διαδικασία πιστοποίησης της ταυτότητας του χρήστη και αναλύει το προφίλ του προκειμένου να συμπεράνει κάποιες από τις προτιμήσεις του. Στη συνέχεια ξεκινά η διαδικασία σχεδιασμού του ταξιδιού. Αφού τελειώσει αυτή η διαδικασία, το σύστημα πρέπει να παρουσιάσει τα αποτελέσματα στο χρήστη. Οι λειτουργίες της αλληλεπίδρασης του συστήματος με τους χρήστες, και η εκκίνηση της διαδικασίας σχεδιασμού μετά από αίτηση του χρήστη είναι λειτουργίες που επιτελούνται από έναν πράκτορα χρήστη. Όπως είδαμε από τις προτιμήσεις του χρήστη, κατασκευάζονται περιορισμοί (περιορισμοί χρήστη) οι οποίοι χρησιμοποιούνται από τον αλγόριθμο *HVTN-PF*. Η κατασκευή των περιορισμών χρήστη είναι άλλη μια λειτουργία που επιτελείται από έναν πράκτορα χρήστη.

7.3.1.2 Σχεδιασμός ταξιδιού

Η διαδικασία σχεδιασμού ενός ταξιδιού είναι μια σύνθετη διεργασία η οποία συνίσταται στην εκτέλεση του αλγορίθμου *HVTN-PF* για την αναζήτηση ενός συνόλου μονοπατιών σε ένα κοινωνικό δίκτυο, τα οποία θα ανταποκρίνονται στις προτιμήσεις του επιβάτη. Αυτή η διαδικασία επιτελείται από τη συνεργασία των πρακτόρων σχεδιασμού. Επιγραμματικά αναφέρουμε εδώ τις λειτουργίες που επιτελεί κάθε διαφορετικός πράκτορας σχεδιασμού. Ένας πράκτορας σύνθετου ταξιδιού διασπά, χρησιμοποιώντας τα αξιώματα που παρουσιάσαμε στο πέμπτο κεφάλαιο, το ζητούμενο μονοπάτι σε μικρότερα. Αν ένα από τα επιμέρους μονοπάτια δεν διασπάται περαιτέρω χρησιμοποιείται ένας πράκτορας απλού ταξιδιού για την εκτέλεση του αλγορίθμου *TNG-PF*. Για την εκτέλεση του *TNG-PF* χρησιμοποιούνται οι πράκτορες κόμβου. Όπως είδαμε ο αλγόριθμος *TNG-PF* είναι μια διαδικασία διάσχισης γράφου που καθώς επισκέπτεται έναν κόμβο εκτελεί κάποιες ενέργειες. Για κάθε κόμβο που επισκέπτεται ο αλγόριθμος, οι ενέργειες εκτελούνται από έναν πράκτορα κόμβου. Ένας πράκτορας απλού ταξιδιού παίζει έναν ρόλο συντονιστή για τους πράκτορες κόμβου ενώ ένας πράκτορας σύνθετου ταξιδιού παίζει το ρόλο συντονιστή για τους πράκτορες απλού ταξιδιού.

7.3.1.3 Ανάκτηση πληροφορίας

Όπως είδαμε ένας πράκτορας κόμβου εκτελεί τις ενέργειες του αλγορίθμου *TNG-PF* για κάθε κόμβο. Μία από αυτές τις ενέργειες είναι ο εντοπισμός όλων των εξερχόμενων δρομολογίων από έναν κόμβο. Όπως εξηγήσαμε παραπάνω, η πληροφορία για τα δρομολόγια βρίσκεται κατανεμημένη σε πολλές διαφορετικές πηγές δεδομένων και προτείνουμε τη χρησιμοποίηση ενός ενδιάμεσου στρώματος μέσω του οποίου καθίσταται δυνατή η ανάκτηση της πληροφορίας. Ένας πράκτορας πληροφορίας αναλαμβάνει το ρόλο της διεπιφάνειας μεταξύ ενός πράκτορα κόμβου και του ενδιάμεσου στρώματος για την ανάκτηση της πληροφορίας. Δηλαδή κάθε φορά που ένας πράκτορας κόμβου χρειάζεται πληροφορία για το κοινωνικό δίκτυο ρωτάει έναν πράκτορα

πληροφορίας. Ο πράκτορας πληροφορίας αναλαμβάνει την ανάκτηση της πληροφορίας αποκρύπτοντας λεπτομέρειες για τον εντοπισμό και την προσπέλαση της από τους πράκτορες κόμβου.

7.3.2 Υλοποίηση ενός πράκτορα

Για την υλοποίηση ενός πράκτορα του συστήματος, χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού **Java** σε συνδυασμό με το περιβάλλον ανάπτυξης και προγραμματισμού πρακτόρων **Aglets** [82].

7.3.2.1 Η γλώσσα προγραμματισμού Java

Η γλώσσα Java επιλέχθηκε κυρίως επειδή υλοποιεί σε πολύ μεγάλο βαθμό την φιλοσοφία του οντοκεντρικού σχεδιασμού εφαρμογών όντας οντοκεντρική γλώσσα προγραμματισμού. Επιπλέον, το μοντέλο της γλώσσας επιτρέπει την εύκολη υλοποίηση οντολογιών όπως αυτή που παρουσιάσαμε για το συγκοινωνιακό δίκτυο. Άλλα στοιχεία της γλώσσας Java που συνετέλεσαν για την επιλογή της είναι οι δυνατότητες που παρέχει για εύκολη ανάπτυξη γραφικών διεπιφανειών χρήσης για τον Παγκόσμιο Δικτυακό Ιστό αλλά και η ανεξαρτησία της από την πλατφόρμα εκτέλεσης. Ειδικά το τελευταίο χαρακτηριστικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την ανάπτυξη κινούμενων αυτόνομων πρακτόρων λογισμικού [95], [96]. Αν και στην αρχιτεκτονική που προτείνουμε δεν έχουμε λάβει υπόψη αυτή τη δυνατότητα, οι κινούμενοι πράκτορες λογισμικού είναι μια ενδιαφέρουσα τεχνολογία για την ανάπτυξη εφαρμογών κατανεμημένων υπολογισμών και θα μπορούσε να εφαρμοστεί στο σύστημά μας κυρίως για λόγους κατανομής και εξισορρόπησης του φόρτου των υπολογισμών.

7.3.2.2 Το περιβάλλον ανάπτυξης πρακτόρων Aglets

Το περιβάλλον προγραμματισμού Aglets επιλέχθηκε ως πλαίσιο για την υλοποίηση των πρακτόρων για το σύστημα, κυρίως λόγω της απλότητας στον προγραμματισμό του αλλά και του μοντέλου του, το οποίο χρησιμοποιεί την γλώσσα Java. Στην πραγματικότητα το περιβάλλον ανάπτυξης πρακτόρων Aglets, είναι μια επέκταση του οντοκεντρικού μοντέλου της γλώσσας Java μέσω του οποίου προσδίδονται σε αντικείμενα της γλώσσας χαρακτηριστικά και ιδιότητες των αυτόνομων πρακτόρων. Το περιβάλλον ανάπτυξης Aglets, παρέχει τους μηχανισμούς για την απόδοση αυτόνομης συμπεριφοράς σε αντικείμενα της γλώσσας Java καθώς και την υποδομή για την επικοινωνία μεταξύ αυτόνομων αντικειμένων της γλώσσας. Χρησιμοποιώντας αυτό το περιβάλλον ανάπτυξης, χρησιμοποιούμε τη γλώσσα Java για την σχεδίαση ενός πράκτορα ως αντικείμενο της γλώσσας. Η ιδιαιτερότητα ενός τέτοιου αντικειμένου μέσα στο περιβάλλον ανάπτυξης είναι ότι κληρονομεί τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες του πράκτορα από αντικείμενα του περιβάλλοντος. Επιπλέον πρέπει ο προγραμματιστής, να υλοποιήσει εκείνες τις μεθόδους του αντικειμένου που ορίζουν τη συμπεριφορά του.

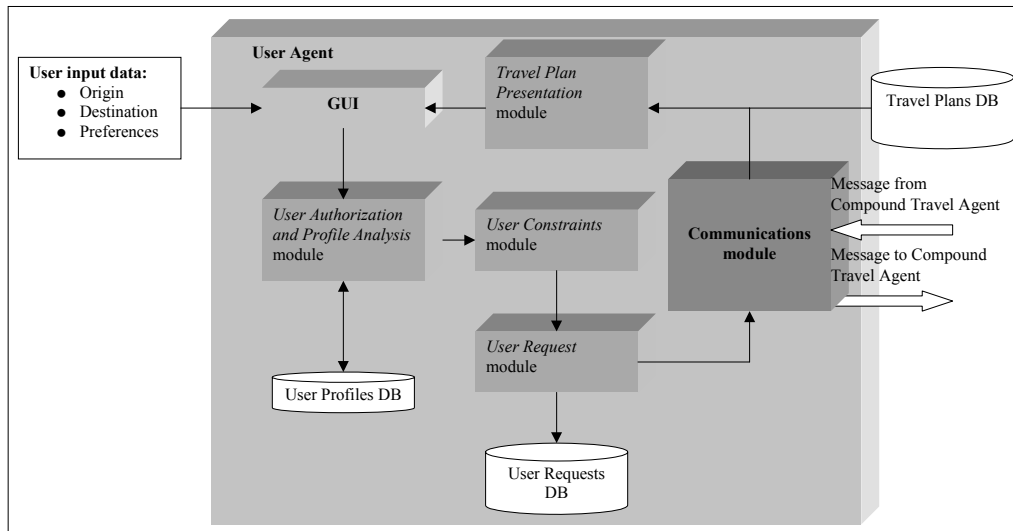
Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του περιβάλλοντος ανάπτυξης πρακτόρων Aglets είναι ότι δίνει τη δυνατότητα για ανάπτυξη αυτόνομων πρακτόρων οι οποίοι μπορούν να μετακινούνται (**mobile agents**) [95], [96]. Στα πλαίσια της εργασίας μας δεν

χρησιμοποιήσαμε αυτή τη δυνατότητα αλλά τη σκεφτήκαμε ως μια πιθανή μελλοντική εξέλιξη.

7.3.3 Αρχιτεκτονική των πρακτόρων του συστήματος

Σ' αυτή την ενότητα παρουσιάζουμε το ρόλο και τις βασικές λειτουργίες κάθε πράκτορα του συστήματος καθώς και τη συνεργασία τους για την εκτέλεση των λειτουργιών του συστήματος.

7.3.3.1 Πράκτορας χρήστη

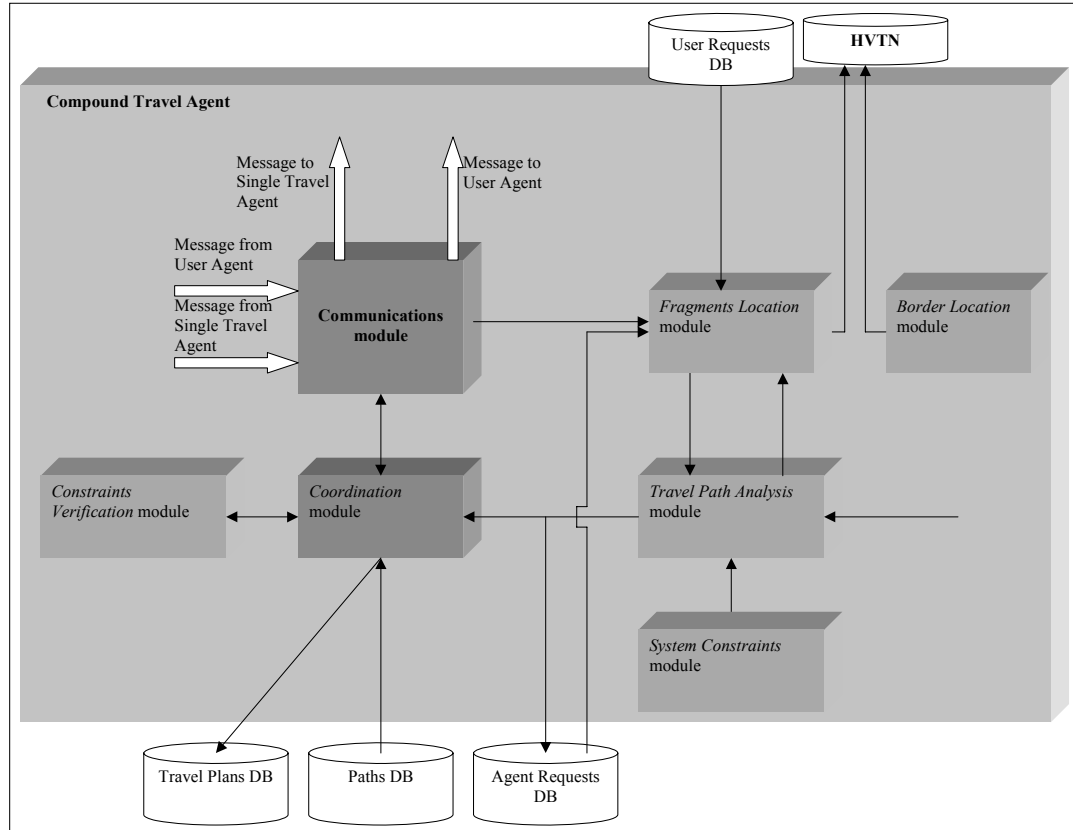


Σχήμα 7.2: Η αλληλεπίδραση ενός χρήστη με το σύστημα μέσω ενός Πράκτορα Χρήστη

Στο Σχήμα 7.2 βλέπουμε τα τμήματα ενός πράκτορα χρήστη και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Μέσω μιας γραφικής διεπιφάνειας χρήσης (**GUI**) ο χρήστης παρέχει στο σύστημα την αφετηρία και τον προορισμό του ταξιδιού καθώς και ένα σύνολο προτιμήσεων. Στη συνέχεια, το τμήμα πιστοποίησης ταυτότητας χρήστη (**User Authorization and Profile Analysis module**) αναζητεί ένα αρχείο προτιμήσεων για το χρήστη. Από τα δεδομένα εισόδου και το αρχείο προτιμήσεων, το τμήμα περιορισμών χρήστη (**User Constraints module**) κατασκευάζει ένα σύνολο ατομικών περιορισμών και ένα σύνολο αθροιστικών περιορισμών που εκφράζουν τις προτιμήσεις του χρήστη. Η αφετηρία, ο προορισμός και οι περιορισμοί χρήστη συνθέτουν μια αίτηση του επιβάτη (τμήμα κατασκευής αίτησης επιβάτη – **User Request module**) η οποία καταχωρείται σε μια βάση αιτήσεων επιβατών (**User Requests DB**). Στη συνέχεια ένας πράκτορας σύνθετου ταξιδιού ειδοποιείται για την άφιξη της νέας αίτησης που πρέπει να επεξεργαστεί. Όταν η διαδικασία σχεδιασμού τελειώσει, ο πράκτορας χρήστη ειδοποιείται από τον πράκτορα σύνθετου ταξιδιού και μπορεί να βρει τα αποτελέσματα σε μια βάση σχεδίων ταξιδιού (**Travel Plans DB**). Τα αποτελέσματα επεξεργάζονται από το τμήμα παρουσίασης (**Travel Plan Presentation module**) και παρουσιάζονται στο χρήστη μέσω της διεπιφάνειας χρήσης. Η επικοινωνία του πράκτορα με άλλους

πράκτορες γίνεται μέσω του τμήματος επικοινωνιών (**Communications module**). Όπως θα δούμε και στη συνέχεια κάθε πράκτορας διαθέτει ένα τμήμα επικοινωνιών.

7.3.3.2 Πράκτορας σύνθετου ταξιδιού



Σχήμα 7.3: Η αρχιτεκτονική ενός πράκτορα σύνθετου ταξιδιού

Ένας πράκτορας σύνθετου ταξιδιού (Σχήμα 7.3) εκτελεί τον αλγόριθμο *HVTN-PF* για τον εντοπισμό των μονοπατιών, στο συγκοινωνιακό δίκτυο, τα οποία ικανοποιούν τις προτιμήσεις του επιβάτη. Δίνουμε στη συνέχεια μια περιγραφή για τις λειτουργίες που εκτελεί κάθε τμήμα αυτού του πράκτορα.

Fragment Location module

Όταν ένας πράκτορας σύνθετου ταξιδιού λάβει ένα μήνυμα από έναν πράκτορα χρήστη, αυτό το τμήμα προσπελαύνει τη βάση αιτήσεων επιβατών για να εντοπίσει την αίτηση. Αφού εντοπίσει την αφετηρία και τον προορισμό του ζητούμενου ταξιδιού, εκτελεί τη διαδικασία εντοπισμού τμημάτων που περιγράψαμε στο πέμπτο κεφάλαιο για να βρει τα τμήματα του συγκοινωνιακού δικτύου στα οποία ανήκουν η αφετηρία και ο προορισμός.

Travel Path Analysis module

Με βάση τα τμήματα που υπολογίστηκαν από το προηγούμενο τμήμα, αυτό το τμήμα αναλύει το ζητούμενο μονοπάτι χρησιμοποιώντας τα αξιώματα που ορίσαμε στο πέμπτο

κεφάλαιο. Όπως είδαμε ο αλγόριθμος *HVTN-PF* διαχωρίζει τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις με τις οποίες διασπά το ζητούμενο μονοπάτι σε ένα σύνολο επιμέρους μονοπατιών. Για κάθε επιμέρους τμήμα του μονοπατιού που πρέπει να εντοπιστεί, καλείται είτε ο αλγόριθμος *TNG-PF* είτε ο αλγόριθμος *HVTN-PF* αναδρομικά. Για κάθε κλήση του αλγορίθμου *TNG-PF* χρησιμοποιείται ένας πράκτορας απλού ταξιδιού ενώ για κάθε αναδρομική κλήση του αλγορίθμου *HVTN-PF* εισάγεται μια νέα αίτηση στη βάση αιτήσεων πρακτόρων (**Agents Requests DB**) και ειδοποιείται το τμήμα εντοπισμού τμημάτων συγκοινωνιακού δικτύου (**Fragment Location module**) να ξεκινήσει μια νέα διαδικασία ανάλυσης. Το τμήμα ανάλυσης μονοπατιού υπολογίζει τα δεδομένα που χρειάζεται κάθε νέος πράκτορας, και για κάθε έναν τα εισάγει σε μια βάση με τη μορφή αιτήσεων (**Agent Requests DB**). Στη συνέχεια δίνει εντολή στο τμήμα συντονισμού (**Coordination module**) να ξεκινήσει την εκτέλεση των πρακτόρων. Κάθε νέος πράκτορας θα βρει την πληροφορία που χρειάζεται στη βάση αιτήσεων πρακτόρων.

Border Location module

Αυτό το τμήμα υπολογίζει το σύνολο των συνοριακών κόμβων για ένα τμήμα του συγκοινωνιακού δικτύου. Το σύνορο ενός τμήματος χρησιμοποιείται από το τμήμα ανάλυσης μονοπατιού για την ανάλυση του ταξιδιού.

System Constraints module

Είδαμε ότι για να ορίσουμε το τμήμα στο οποίο αναζητείται έναν μονοπάτι χρησιμοποιούμε τους περιορισμούς συστήματος. Οι περιορισμοί συστήματος κατασκευάζονται από αυτό το τμήμα.

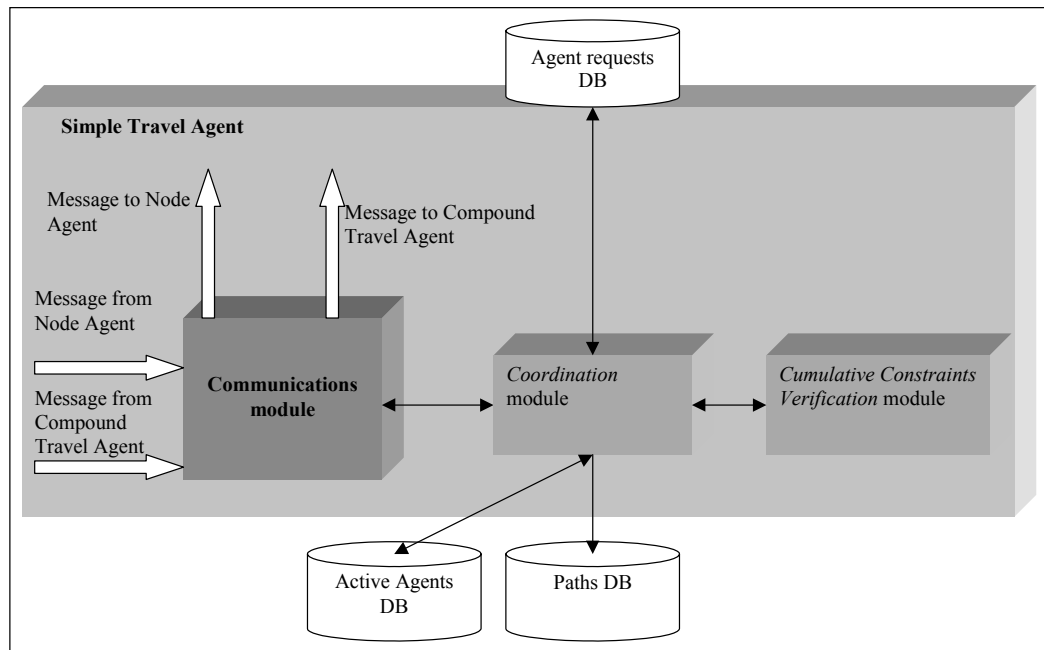
Coordination module

Όπως είδαμε αυτό το τμήμα είναι υπεύθυνο για την εκκίνηση των πρακτόρων που θα υπολογίσουν τα επιμέρους τμήματα του ζητούμενου μονοπατιού. Κάθε επιμέρους τμήμα του ζητούμενου μονοπατιού που εντοπίζεται από έναν πράκτορα, μεταδίδεται στον πράκτορα από την ανάλυση του οποίου προέκυψε. Το τμήμα συντονισμού είναι επίσης υπεύθυνο να μαζεύει τις απαντήσεις από κάθε πράκτορα που εκκίνησε ώστε από τα επιμέρους τμήματα των μονοπατιών να κατασκευάσει το ζητούμενο μονοπάτι. Ωστόσο κατασκευάζοντας ένα μονοπάτι από τα τμήματά του θα πρέπει να ελέγχεται κατά πόσο αυτό πληροί τις συνθήκες που ορίζονται από τους αθροιστικούς περιορισμούς. Αυτός ο έλεγχος πραγματοποιείται από το τμήμα ελέγχου αθροιστικών περιορισμών (**Constraints Verification Module**). Το τμήμα συντονισμού βρίσκει τα επιμέρους τμήματα των μονοπατιών σε μια βάση δεδομένων (**Paths DB**) όπου τοποθετούνται από τους πράκτορες που τα κατασκεύασαν. Κάθε μονοπάτι που εντοπίζεται από το τμήμα συντονισμού για την αίτηση του χρήστη, τοποθετείται στη βάση σχεδίων ταξιδιού (**Travel Plans DB**).

Constraints Verification module

Αυτό το τμήμα ελέγχει τους αθροιστικούς περιορισμούς για κάθε μονοπάτι που κατασκευάζεται από τα επιμέρους τμήματά του, από το τμήμα συντονισμού.

7.3.3.3 Πράκτορας απλού ταξιδιού και πράκτορας κόμβου



Σχήμα 7.4: Η αρχιτεκτονική ενός πράκτορα απλού ταξιδιού

Ένας πράκτορας απλού ταξιδιού (Σχήμα 7.4) μαζί με ένα σύνολο πρακτόρων κόμβου υλοποιεί τον αλγόριθμο *TNG-PF*. Αυτός ο πράκτορας εκκινεί από έναν πράκτορα σύνθετου ταξιδιού για να κατασκευάσει ένα τμήμα ενός μεγαλύτερου μονοπατιού. Ο πράκτορας απλού ταξιδιού, αφού λάβει μια αίτηση αναζητεί στη βάση αιτήσεων των πρακτόρων (Agents requests DB) τις παραμέτρους αυτής της αίτησης. Οι παράμετροι της αίτησης είναι :

- η αφετηρία και ο προορισμός του μονοπατιού
- ένα σύνολο ατομικών περιορισμών
- ένα σύνολο αθροιστικών περιορισμών
- το τμήμα του συγκοινωνιακού δικτύου στο οποίο αναζητείται το μονοπάτι.
Πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι το τμήμα του συγκοινωνιακού δικτύου προσδιορίζεται από ένα σύνολο περιορισμών συστήματος.

Όταν ένας πράκτορας απλού ταξιδιού λαμβάνει μια αίτηση από έναν πράκτορα σύνθετου ταξιδιού για την κατασκευή ενός τμήματος μονοπατιού, εκκινεί έναν **πράκτορα κόμβου**. Αυτή η λειτουργία επιτελείται από το τμήμα συντονισμού του πράκτορα (**Coordination module**).

Ένας πράκτορας κόμβου (Σχήμα 7.5) ανατίθεται σε έναν συγκεκριμένο κόμβο του συγκοινωνιακού δικτύου και αναλαμβάνει να εξυπηρετεί αιτήσεις που προέρχονται από

πράκτορες απλού ταξιδιού ή από άλλους πράκτορες κόμβου. Ένας πράκτορας κόμβου αφού ανατεθεί σε έναν κόμβο παραμένει ενεργός για ένα χρονικό διάστημα το οποίο ο ίδιος αποφασίζει. Το χρονικό διάστημα για το οποίο παραμένει ενεργός μπορεί να καθορίζεται από το ρυθμό των εισερχόμενων αιτήσεων. Όταν ένας πράκτορας κόμβου ενεργοποιηθεί, καταχωρείται σε μια βάση ενεργών πρακτόρων (**Active Agents DB**) από την οποία κάθε άλλος πράκτορας μπορεί να βρει στοιχεία για να επικοινωνήσει μ' αυτόν. Όταν ένας πράκτορας κόμβου αποφασίσει να αναστείλει τη λειτουργία του, διαγράφει την καταχώρηση που έχει γίνει γι' αυτόν. Έτσι όταν ένας πράκτορας επιθυμεί να στείλει μια αίτηση σε έναν πράκτορα κόμβου για κάποιον συγκεκριμένο κόμβο, καταρχήν ελέγχει αν υπάρχει κάποιος ενεργός πράκτορας για τον κόμβο. Αν υπάρχει στέλνει σ' αυτόν την αίτηση. Διαφορετικά εκκινεί έναν νέο πράκτορα για τον κόμβο, τον καταχωρεί στη βάση ενεργών πρακτόρων και του στέλνει την αίτηση.

Ένας πράκτορας κόμβου λαμβάνει μια αίτηση από έναν πράκτορα απλού ταξιδιού είτε από έναν άλλο πράκτορα κόμβου. Η ενέργειες που εκτελεί ένας πράκτορας κόμβου αφορούν την εκτέλεση του αλγορίθμου *TNG-PF* την οποία συντονίζει ένας πράκτορας απλού ταξιδιού. Συνεπώς ένας πράκτορας κόμβου χρειάζεται ένα σύνολο ατομικών περιορισμών, ένα σύνολο αθροιστικών περιορισμών και ένα αναγνωριστικό του πράκτορα απλού ταξιδιού για τον οποίο εργάζεται. Αυτή η πληροφορία λαμβάνεται από τη βάση αιτήσεων των πρακτόρων. Όταν ένας πράκτορας κόμβου λάβει μια αίτηση εκτελεί με τη σειρά τις παρακάτω ενέργειες:

- **Εντοπίζει όλα τα εξερχόμενα δρομολόγια του κόμβου.**

Για τον εντοπισμό των εξερχόμενων δρομολογίων απαιτείται πληροφορία για το συγκοινωνιακό δίκτυο. Αυτή την πληροφορία, ο πράκτορας τη λαμβάνει είτε μέσω ενός **πράκτορα πληροφορίας (Information Agent)** είτε από μια **μνήμη γρήγορης πρόσβασης (Itinerary fast access memory)**. Καταρχήν ο πράκτορας ελέγχει αν αυτή η πληροφορία υπάρχει στη μνήμη γρήγορης πρόσβασης. Αν ναι, δεν χρησιμοποιείται ο πράκτορας πληροφορίας. Διαφορετικά, ο πράκτορας πληροφορίας αναλαμβάνει να εντοπίσει τα δρομολόγια και αφού γίνει αυτό, η πληροφορία αποθηκεύεται στη μνήμη γρήγορης πρόσβασης. Ένας πράκτορας κόμβου μπορεί να παραμένει ενεργός για ένα χρονικό διάστημα ακόμη και αν δεν δέχεται αιτήσεις. Κάθε φορά που λαμβάνει μια αίτηση θα πρέπει να προσδιορίσει αν η πληροφορία που διαθέτει στη μνήμη γρήγορης πρόσβασης (αν τη διαθέτει) είναι έγκυρη ή όχι. Αν αποφασίσει ότι η πληροφορία στη μνήμη δεν είναι έγκυρη, τότε χρησιμοποιεί τον πράκτορα πληροφορίας και ανανεώνει τη μνήμη του.

- **Εφαρμόζει ατομικούς περιορισμούς**

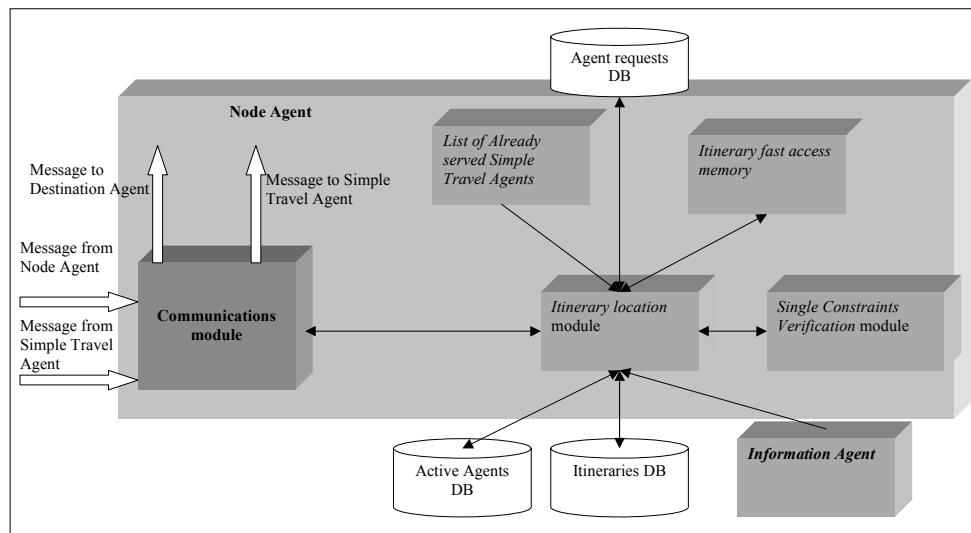
Για κάθε ένα από τα εξερχόμενα δρομολόγια που έχει εντοπίσει, εφαρμόζει ένα σύνολο ατομικών περιορισμών (**Constraints Verification module**) προκειμένου να επιλέξει εκείνα τα δρομολόγια που πληρούν το σύνολο των συνθηκών που εκφράζονται από τους ατομικούς περιορισμούς.

- **Αναφορά των δρομολογίων**

Κάθε δρομολόγιο που έχει επιλεγεί από την προηγούμενη ενέργεια αναφέρεται στον πράκτορα απλού ταξιδιού, για το οποίο εργάζεται, ως επέκταση ενός μονοπατιού. Αυτά τα δρομολόγια εισάγονται σε μια βάση δρομολογίων και ο πράκτορας απλού ταξιδιού ειδοποιείται να τα παραλάβει από κει.

- **Εκκίνηση νέου πράκτορα κόμβου**

Για κάθε κόμβο που προσεγγίζεται από τα επιλεγμένα δρομολόγια στέλνεται μια αίτηση σε έναν πράκτορα κόμβου, γι' αυτόν τον κόμβο. Αν δεν υπάρχει ενεργός πράκτορας για έναν κόμβο, τότε ενεργοποιείται ένας νέος.



Σχήμα 7.5: Η αρχιτεκτονική ενός πράκτορα κόμβου

Ένας πράκτορας απλού ταξιδιού, αφού στείλει μια αίτηση σε έναν πράκτορα κόμβου (ο οποίος με τη σειρά του θα ενεργοποιήσει άλλους πράκτορες κόμβου) θα αρχίσει να λαμβάνει δρομολόγια τα οποία θα συνθέτουν το μονοπάτι το οποίο του ζητήθηκε να κατασκευάσει. Το τμήμα συντονισμού του πράκτορα αναλαμβάνει να συνδυάζει τα δρομολόγια καθώς φτάνουν από τους πράκτορες κόμβου ώστε να κατασκευάζει με αυξητικό τρόπο το μονοπάτι. Καθώς πραγματοποιείται αυτή η διαδικασία, το τμήμα ελέγχου αθροιστικών περιορισμών (**Cumulative Constraints Verification module**) ελέγχει αν το μονοπάτι που κατασκευάζεται πληροί τους αθροιστικούς περιορισμούς. Σε περίπτωση που ένα μονοπάτι παραβιάσει έναν περιορισμό, ο πράκτορας απλού ταξιδιού ειδοποιεί τον πράκτορα κόμβου από τον οποίο έλαβε το δρομολόγιο να σταματήσει την αναζήτηση. Αυτός ο πράκτορας κόμβου αν έχει ήδη ενεργοποιήσει και άλλους πράκτορες τους ειδοποιεί για τον τερματισμό της εργασίας. Αυτή η διαδικασία εκτελείται αναδρομικά έως ότου φτάσει στον τελευταίο πράκτορα που έχει ενεργοποιηθεί. Επιπλέον ένας πράκτορας κόμβου σταματάει την εκτέλεση των λειτουργιών του όταν φτάσει στον προορισμό του μονοπατιού.

7.3.3.3.1 Παρατηρήσεις

Πρέπει εδώ να κάνουμε κάποιες παρατηρήσεις για τη λειτουργία των πρακτόρων κόμβου. Ένας πράκτορας κόμβου ενεργοποιείται για έναν κόμβο όταν ένας άλλος πράκτορας εντοπίσει ένα δρομολόγιο που οδηγεί σ' αυτόν τον κόμβο. Στη συνέχεια, ο πράκτορας κόμβου παραμένει ενεργός για κάποιο χρονικό διάστημα. Αν ένας ενεργός πράκτορας κόμβου λάβει μια αίτηση από έναν άλλο πράκτορα κόμβου τότε εντοπίζει ποιον πράκτορα απλού ταξιδιού εξυπηρετεί ο αιτών πράκτορας κόμβου. Αν ο αιτούμενος πράκτορας είχε ενεργοποιηθεί για να εξυπηρετήσει τον ίδιο πράκτορα απλού ταξιδιού όπως και ο αιτών πράκτορας, τότε αν τα δρομολόγια που διαθέτει στη μνήμη του είναι έγκυρα δεν χρειάζεται να τα στείλει πίσω στον πράκτορα απλού ταξιδιού αφού τα έχει στείλει ήδη μια φορά. Έτσι σ' αυτή την περίπτωση, ο αιτούμενος πράκτορας κόμβου δεν χρειάζεται να κάνει τίποτα. Αν ο αιτών πράκτορας κόμβου εξυπηρετεί έναν πράκτορα απλού ταξιδιού διαφορετικό από αυτόν που ο αιτούμενος πράκτορας έχει εξυπηρετήσει τότε ο αιτούμενος πράκτορας εκτελεί κανονικά τις λειτουργίες του σαν να έχει ενεργοποιηθεί εκείνη τη στιγμή. Συνεπώς κάθε ενεργός πράκτορας κόμβου πρέπει να διατηρεί μια λίστα με τους πράκτορες απλού ταξιδιού που έχει ήδη εξυπηρετήσει. Με αυτόν τον τρόπο, αιτήσεις που φτάνουν από άλλους πράκτορες και αφορούν τον ίδιο πράκτορα απλού ταξιδιού αγνοούνται αν εν τω μεταξύ δεν έχει υπάρξει κάποια μεταβολή στα δρομολόγια.

Ένας πράκτορας απλού ταξιδιού πρέπει να γνωρίζει πότε οι πράκτορες κόμβου έχουν ολοκληρώσει την εργασία τους ώστε να σταματήσει να αναμένει νέα δρομολόγια. Όταν ένας πράκτορας κόμβου δεν καταφέρει να εντοπίσει νέα δρομολόγια για ένα μονοπάτι ή είναι ανατεθειμένος στον προορισμό του μονοπατιού που αναζητείται, ειδοποιεί όλους τους πράκτορες κόμβου από τους οποίους έχει λάβει αιτήσεις ότι τελείωσε την εργασία του. Κάθε πράκτορας κόμβου που έχει λάβει μηνύματα τερματισμού από όλους τους άλλους πράκτορες στους οποίους έχει στείλει αίτηση προωθεί αυτό το μήνυμα προς τα πίσω στους πράκτορες που έχουν στείλει αίτηση σ' αυτόν. Με αυτό τον τρόπο ο πρώτος πράκτορας κόμβου που έλαβε αίτηση από έναν πράκτορα απλού ταξιδιού λαμβάνει μηνύματα τερματισμού από όλους τους πράκτορες στους οποίους έχει στείλει αιτήσεις. Τότε ειδοποιείται ο πράκτορας απλού ταξιδιού ότι η διαδικασία αναζήτησης έχει περατωθεί.

Στο παράρτημα C παρουσιάζουμε ένα απλό παράδειγμα εφαρμογής του αλγορίθμου *TNG-PF* και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πρακτόρων που τον υλοποιούν.

7.3.3.4 Πράκτορας πληροφορίας

Ένας πράκτορας πληροφορίας παίζει το ρόλο μιας διεπιφάνειας μεταξύ ενός πράκτορα κόμβου και της πηγής ή των πηγών δεδομένων όπου διατηρούνται οι πληροφορίες για το συγκοινωνιακό δίκτυο. Η ύπαρξη αυτού του πράκτορα αποκρύπτει από τους πράκτορες κόμβου τις λεπτομέρειες για το πού βρίσκεται η πληροφορία και πως προσπελάζεται. Ένας πράκτορας κόμβου ζητάει από τον πράκτορα πληροφορίας απαντήσεις σε επερωτήσεις (queries) της μορφής “*όλα τα εξερχόμενα δρομολόγια από τον κόμβο X*”. Κάθε πράκτορας κόμβου ρωτάει έναν πράκτορα πληροφορίας με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και λαμβάνει τα δεδομένα που ζητάει σε μια ομοιόμορφη μορφοποίηση ανεξάρτητα από που προέρχονται.

7.4 Λεπτομέρειες υλοποίησης

7.4.1 Αποθήκευση των αντικειμένων

Για την υλοποίηση του μοντέλου της ιεραρχικής αναπαράστασης ενός συγκοινωνιακού δικτύου χρησιμοποιήσαμε τη γλώσσα προγραμματισμού **Java**. Με αυτόν τον τρόπο η ταξινομική ιεραρχία για τις γεωγραφικές περιοχές, η ταξινομική ιεραρχία για τα δρομολόγια και τα ταξίδια και η ταξινομική ιεραρχία για τους κόμβους υλοποιήθηκαν ως ιεραρχίες κλάσεων της γλώσσας. Κάθε αντικείμενο του συγκοινωνιακού δικτύου που μοντελοποιήθηκε αναπαρίσταται από ένα αντικείμενο της γλώσσας.

Για την υλοποίηση των περιορισμών επίσης χρησιμοποιήσαμε τη γλώσσα Java αναπαριστώντας έναν περιορισμό ως αντικείμενο της γλώσσας. Αντικείμενα της γλώσσας Java χρησιμοποιήθηκαν επίσης για την αναπαράσταση των αιτήσεων των χρηστών, των αιτήσεων των πρακτόρων, και όλων των άλλων αντικειμένων που χειρίζονται οι πράκτορες της εφαρμογής.

Ένα αντικείμενο της γλώσσας Java διατηρείται στο χώρο της μνήμης που διατίθεται για την εκτέλεση ενός νήματος ελέγχου (thread) στην μηχανή όπου εκτελείται η εφαρμογή. Ωστόσο, αντικείμενα που διατηρούνται στη μνήμη δεν είναι μόνιμα με την έννοια ότι με το πέρας της εκτέλεσης του νήματος ελέγχου η μνήμη διατίθεται σε κάποια άλλη διεργασία και τα περιεχόμενά της δεν είναι πλέον διαθέσιμα. Είδαμε όμως ότι τα αντικείμενα του χρησιμοποιεί η εφαρμογή μας θα πρέπει να είναι μόνιμα. Δηλαδή θα πρέπει να βρίσκονται σε χώρο αποθήκευσης όπου θα είναι διαθέσιμα για χρονική περίοδο ανεξάρτητη από την εκτέλεση των διαφορετικών τμημάτων της εφαρμογής. Για παράδειγμα, η ιεραρχική αναπαράσταση του συγκοινωνιακού δικτύου θα πρέπει να υπάρχει μόνιμα αποθηκευμένη σε χώρο αποθήκευσης όπου κάθε πράκτορας του συστήματος να μπορεί να την προσπελάσει. Επίσης είδαμε ότι οι αιτήσεις που στέλνονται μεταξύ των πρακτόρων ή από τους χρήστες σε πράκτορες αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων απ' όπου ο αιτούμενος πράκτορας μπορεί να βρει την αίτηση που τον αφορά.

Συνεπώς το πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί ήταν να βρούμε έναν τρόπο για εύκολη αποθήκευση και ανάκτηση αντικειμένων της γλώσσας Java. Παραπάνω εξηγήσαμε γιατί επιλέχτηκε η συγκεκριμένη γλώσσα. Αυτό το πρόβλημα λύθηκε χρησιμοποιώντας μια **σχεσιακή βάση δεδομένων (Sybase)**. Οι λόγοι που μας οδήγησαν στην επιλογή μιας σχεσιακής βάσης δεδομένων είναι οι παρακάτω:

- **Η τεχνολογία των σχεσιακών βάσεων δεδομένων είναι αρκετά ώριμη ώστε να παρέχει υψηλή χωρητικότητα ικανοποιητική απόδοση και αξιοπιστία.**
- **Καθώς οι εφαρμογές σχεσιακών βάσεων είναι ευρέως διαδεδομένη είναι πολύ πιθανόν για μια άλλη εφαρμογή να χρησιμοποιήσει τη βάση που αναπτύξαμε για τις ανάγκες της δικής μας εφαρμογής.**

- Η εξοικείωση με τη σχεσιακή τεχνολογία κατέστησε περισσότερο ελκυστική τη χρησιμοποίηση μιας σχεσιακής βάσης.
- Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε ήταν η μόνη άμεσα διαθέσιμη.

Ωστόσο για να χρησιμοποιήσουμε μια σχεσιακή βάση δεδομένων σε μια εφαρμογή της γλώσσας Java θα έπρεπε να γράψουμε πολύπλοκο κώδικα και επερωτήσεις SQL για την αποθήκευση και ανάκτηση των δεδομένων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η εφαρμογή χειρίζεται αντικείμενα ενώ η βάση σχεσιακά δεδομένα. Αντί να κάνουμε κάτι τέτοιο χρησιμοποιήσαμε το **TOPLink**. Το TOPLink είναι ένα εργαλείο ανάπτυξης εφαρμογών το οποίο σκοπό έχει να γεφυρώσει την ασυμβατότητα μεταξύ του σχεσιακού και του οντοκεντρικού κόσμου.

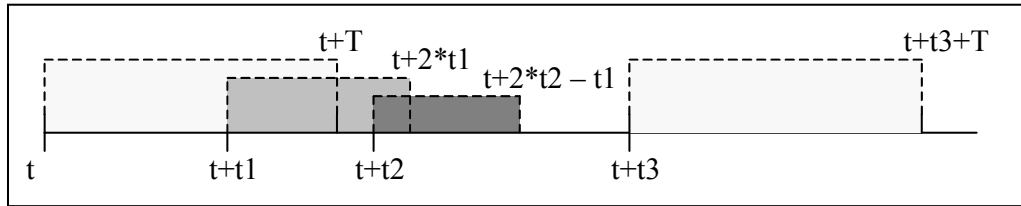
Χρησιμοποιώντας αυτό το εργαλείο, μια Java εφαρμογή μπορεί να προσπελαίνει δεδομένα, που βρίσκονται αποθηκευμένα σε μια σχεσιακή βάση, ως αντικείμενα της γλώσσας. Για παράδειγμα ένας κόμβος (αντικείμενο της γλώσσας) από το μοντέλο ιεραρχικής αναπαράστασης ανακτάται από τη βάση ως αντικείμενο παρόλο που είναι αποθηκευμένο σε έναν ή περισσότερους πίνακες της βάσης. Επιπλέον μια επερώτηση προς τη βάση αναπαρίσταται και μορφοποιείται ως αντικείμενο της γλώσσας. Αυτή η διασύνδεση μεταξύ του οντοκεντρικού και του σχεσιακού μοντέλου επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας το TOPLink μέσω αντιστοιχίσεων (mappings) μεταξύ αντικειμένων του οντοκεντρικού μοντέλου και πινάκων (tables) της σχεσιακής βάσης δεδομένων.

7.4.2 Χρονική διάρκεια ενεργοποίησης

Είδαμε ότι ένας πράκτορας κόμβου από τη στιγμή που ενεργοποιείται, παραμένει ενεργοποιημένος για ένα χρονικό διάστημα. Με αυτό τον τρόπο ο πράκτορας μπορεί να διατηρεί στη μνήμη του τα εξερχόμενα δρομολόγια ενός κόμβου χωρίς να χρειάζεται να τα αναζητεί μέσω ενός πράκτορα πληροφορίας. Επιπλέον παραμένοντας ενεργοποιημένος ένας πράκτορας κόμβου είναι δυνατόν να μειωθεί η επικοινωνία με τον πράκτορα απλού ταξιδιού αφού σε κάθε επιπλέον επίσκεψη του αλγορίθμου σε έναν κόμβο δεν είναι απαραίτητο να στέλνει τα εξερχόμενα δρομολόγια.

Το ζήτημα που πρέπει να εξεταστεί είναι η χρονική διάρκεια κατά την οποία ο πράκτορας παραμένει ενεργός. Μια απλή λύση θα ήταν να παραμένει ενεργός για πάντα. Ωστόσο αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα τη σπατάλη υπολογιστικών πόρων του συστήματος. Για τον υπολογισμό της χρονικής διάρκειας ενεργοποίησης ενός πράκτορα κόμβου χρησιμοποιήθηκε ένας αλγόριθμος επαναλαμβανόμενης ανάθεσης χρόνου.

Σύμφωνα με αυτόν τον αλγόριθμο, όταν ένας πράκτορας ενεργοποιείται, του ανατίθεται μια προαποφασισμένη χρονική διάρκεια έστω T . Αν μετά από χρόνο T δε φτάσει καμιά αίτηση στον πράκτορα αυτός απενεργοποιείται. Αν πριν την έλευση του χρόνου ενεργοποίησης φτάσει μια αίτηση τότε ο χρόνος ενεργοποίησης τίθεται ίσος με το χρόνο που πέρασε από την στιγμή έλευσης της τελευταίας αίτησης. Με αυτόν τον τρόπο, μετά από κάθε αίτηση που φτάνει, ανατίθεται στον πράκτορα όλο και μικρότερη διάρκεια ενεργοποίησης. Συνεπώς για να παραμένει ενεργός ένας πράκτορας θα πρέπει συνεχώς να αυξάνεται ο ρυθμός άφιξης νέων αιτήσεων.



Σχήμα 7.6: Διάρκεια ενεργοποίησης ενός πράκτορα κόμβου

Στο Σχήμα 7.6 παρουσιάζουμε τη διαδικασία υπολογισμού της διάρκειας ενεργοποίησης ενός πράκτορα κόμβου. Έστω ότι τη χρονική στιγμή t φτάνει μια αίτηση και ο πράκτορας ενεργοποιείται. Ο πράκτορας θα παραμείνει ενεργός για ένα χρονικό διάστημα T μετά τη στιγμή t . Έστω ότι τη στιγμή $t+t_1$ ($t_1 < T$) φτάνει μια νέα αίτηση. Τότε ο πράκτορας υπολογίζει ξανά το χρόνο ενεργοποίησης του. Η νέα διάρκεια ενεργοποίησης είναι t_1 . Συνεπώς ο πράκτορας παραμένει ενεργός μέχρι τη στιγμή $t + 2*t_1$. Τη χρονική στιγμή $t + t_2$ ($t_2 < 2*t_1$, $t_2 > t_1$) φτάνει και νέα αίτηση. Τότε ο πράκτορας υπολογίζει ξανά το χρόνο ενεργοποίησης του. Η νέα διάρκεια ενεργοποίησης είναι $t_2 - t_1$. Συνεπώς ο πράκτορας παραμένει ενεργός μέχρι τη στιγμή $t + 2*t_2 - t_1$. Τη χρονική στιγμή $t + t_3$ φτάνει μια νέα αίτηση. Ωστόσο, έχει εξαντληθεί ο χρόνος ενεργοποίησης που είχε υπολογιστεί μετά την άφιξη της προηγούμενης αίτησης. Συνεπώς ο πράκτορας ενεργοποιείται ξανά και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Κεφάλαιο 8

Συμπεράσματα και μελλοντική εργασία

Σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε παρατηρήσεις και συμπεράσματα που προέκυψαν καθ' όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης του συστήματος σχεδιασμού ταξιδιών που περιγράψαμε στα προηγούμενα κεφάλαια. Ένα βασικό συμπέρασμα που μπορούμε να βγάλουμε τελειώνοντας αυτή την εργασία είναι ότι το πρόβλημα του σχεδιασμού ενός ταξιδιού με δημόσια μέσα μεταφοράς είναι σύνθετο και πολύ-παραμετρικό. Μια ολοκληρωμένη θεώρηση του προβλήματος απαιτεί τη μελέτη και την αντιμετώπιση πλήθους πολύπλοκων ζητημάτων. Αυτά τα ζητήματα ξεκινάνε από την μελέτη της συμπεριφοράς και των προτιμήσεων των επιβατών και φτάνουν μέχρι την αντιμετώπιση τεχνικών και τεχνολογικών ζητημάτων, όπως η αποδοτική διαχείριση μεγάλου όγκου πληροφοριών για συγκοινωνιακά δίκτυα. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας μελετήσαμε ορισμένα από τα ζητήματα που εμπλέκονται στο πρόβλημα και προσπαθήσαμε να δώσουμε ικανοποιητικές λύσεις. Ορισμένα από τα ζητήματα που έπρεπε να αντιμετωπιστούν παραμένουν ανοιχτά ενώ για τα άλλα είναι πιθανόν σε μερικές περιπτώσεις να υπάρχουν δυνατότητες για καλύτερη αντιμετώπιση.

8.1 Συμπεράσματα

Στα δύο πρώτα κεφάλαια αυτής της αναφοράς καταλήξαμε σε ορισμένες διαπιστώσεις οι οποίες αποτέλεσαν το κίνητρο για την ανάπτυξη ενός συστήματος σχεδιασμού ταξιδιών. Συνοψίζοντας την τρέχουσα κατάσταση στο χώρο των δημόσιων συγκοινωνιών, καταλήξαμε σε δύο βασικά συμπεράσματα.

Υπάρχει έλλειψη επαρκούς πληροφόρησης για τις παρεχόμενες υπηρεσίες συγκοινωνιών.

Ο συνδυασμός διαφορετικών υπηρεσιών μεταφοράς για την πραγματοποίηση ενός ταξιδιού είναι δύσκολη, πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία για τους ταξιδιώτες.

Τα αποτελέσματα από την επικράτηση αυτής της κατάστασης μπορούμε να τα μελετήσουμε σε δύο διαφορετικούς άξονες: από τη μεριά των επιβατών αλλά και από τη μεριά των εταιριών μεταφοράς.

Από την πλευρά των επιβατών μπορεί κανείς να παρατηρήσει μια μη αποδοτική χρήση των δημόσιων μέσων μεταφοράς με αποτέλεσμα να υπάρχει χαμηλού βαθμού ικανοποίηση από τις δημόσιες συγκοινωνίες. Συνέπεια της χαμηλής ικανοποίησης είναι η αυξανόμενη χρησιμοποίηση ιδιωτικών μέσων μεταφοράς

Από την πλευρά των εταιριών συγκοινωνιών, η μη αποδοτική εκμετάλλευση των υπηρεσιών μεταφοράς οδηγεί σε μείωση της ζήτησης για υπηρεσίες από τους επιβάτες. Κάτι τέτοιο κυρίως παρατηρείται σε εταιρίες συγκοινωνιών τοπικού χαρακτήρα, που εξυπηρετούν περιορισμένο αριθμό προορισμών σε μικρές γεωγραφικές περιοχές.

8.1.1 Απαιτήσεις από το σύστημα

Το σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών που περιγράψαμε έχει ως κύριο στόχο την παροχή βοήθειας σε επιβάτες μέσω της διευκόλυνσης της διαδικασίας σχεδιασμού ενός ταξιδιού. Ο παραδοσιακός τρόπος εκτέλεσης μιας τέτοιας διαδικασίας από επιβάτες είναι η αναζήτηση υπηρεσιών συγκοινωνιών μέσω ταξιδιωτικών πρακτόρων ή μέσω ενημερωτικού υλικού που παρέχεται από τις ίδιες τις εταιρίες. Η μεγάλη ανάπτυξη του Διαδικτύου επέτρεψε σε πολλές εταιρίες συγκοινωνιών την παροχή υπηρεσιών ενημέρωσης για τις υπηρεσίες τους μέσω του Παγκόσμιου Δικτυακού Ιστού. Με αυτόν τον τρόπο είναι πιθανό σε πολλές περιπτώσεις, ο επιβάτης να μην εντοπίζει όλες τις δυνατές υπηρεσίες που μπορεί να χρησιμοποιήσει. Ωστόσο και για τις υπηρεσίες που εντοπίζει είναι δύσκολο να τις συνδυάσει.

Η ανάπτυξη ενός συστήματος που θα παρέχει υπηρεσίες σχεδιασμού ταξιδιών είναι πολύπλοκη διαδικασία αν σκεφτούμε τις πολλές διαφορετικές παραμέτρους που πρέπει να λαμβάνει υπόψη. Ένας επιβάτης έχει συνήθως ένα σύνολο προτιμήσεων και απαιτήσεων για ένα ταξίδι οι οποίες μπορεί να είναι και αλληλοσυγκρουόμενες. Διαφορετικές υπηρεσίες συγκοινωνιών μπορεί να ικανοποιούν διαφορετικές προτιμήσεις. Ο στόχος του συστήματός μας είναι να αναζητήσει όλες τις πιθανές διαφορετικές υπηρεσίες συγκοινωνιών, να επιλέξει τις καταλληλότερες από αυτές και να τις συνδυάσει με τρόπο τέτοιο ώστε να επιτυγχάνεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερος βαθμός ικανοποίησης των προτιμήσεων και των απαιτήσεων των επιβατών.

8.1.2 Χαρακτηριστικά του πεδίου εφαρμογής

Το βασικό χαρακτηριστικό του πεδίου της εφαρμογής μας, είναι η πολύ-τροπικότητα που χαρακτηρίζει ένα κοινωνιακό δίκτυο. Δηλαδή η ύπαρξη πολλών διαφορετικών εταιριών συγκοινωνιών αλλά και πολλών διαφορετικών μέσων μεταφοράς. Αυτός ο συνδυασμός, έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη πολλών διαφορετικών επιλογών για έναν επιβάτη που επιθυμεί να πραγματοποιήσει ένα ταξίδι. Επιπλέον η πολύ-τροπικότητα καθιστά πολύπλοκη την αναπαράσταση και τη διαχείριση της πληροφορίας για ένα κοινωνιακό δίκτυο. Σε συνδυασμό και με την ανάγκη για ικανοποίηση πολλαπλών προτιμήσεων των επιβατών, η πολύ-τροπικότητα περιπλέκει και τις διαδικασίες αναζήτησης διαδρομών σε κοινωνιακά δίκτυα.

8.1.3 Άλλες εφαρμογές

Στα πλαίσια της εργασίας μας πραγματοποιήσαμε μια επισκόπηση σε εργασίες που έχουν πραγματοποιηθεί και αφορούν την παροχή υπηρεσιών πληροφόρησης σε επιβάτες και ταξιδιώτες. Η μεγάλη πλειοψηφία των εργασιών που εντοπίστηκαν αφορούν εμπορικά συστήματα τα οποία είναι εξειδικευμένα σε συγκεκριμένα πεδία εφαρμογών. Ελάχιστες είναι οι εργασίες ακαδημαϊκού χαρακτήρα που βρέθηκαν. Μέσα από τη μελέτη των διαφορετικών συστημάτων καταλήξαμε στη μελέτη τριών διαφορετικών κατηγοριών: Pre-Trip συστήματα, In-Terminal συστήματα και In-Vehicle συστήματα.

Η πρώτη κατηγορία αφορά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την παροχή πληροφοριών σε επιβάτες πριν από την εκκίνηση ενός ταξιδιού. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν διαφορετικά μέσα για την μετάδοση των πληροφοριών. Τα πιο συνηθισμένα μέσα είναι ο Παγκόσμιος Δικτυακός Ιστός, Κιόσκια Πληροφοριών, Τηλέφωνο και Τηλεοπτικές Οθόνες. Χαρακτηριστικό των συστημάτων που μελετήσαμε είναι ότι παρέχουν πληροφορίες για τοπικά συγκοινωνιακά δίκτυα που καλύπτουν περιορισμένες γεωγραφικές περιοχές. Επίσης οι υπηρεσίες που παρέχουν αφορούν την πρόσβαση σε πληροφορίες συγκοινωνιών χωρίς να δίνεται η δυνατότητα για αναζήτηση με συγκεκριμένα κριτήρια, όπως προορισμοί ή προτιμήσεις επιβατών. Η σημαντικότητα αυτών των συστημάτων έγκειται κυρίως στο γεγονός ότι συγκεντρώνουν πληροφορίες για τις υπηρεσίες συγκοινωνιών για συγκεκριμένες περιοχές. Έτσι ένας επιβάτης μπορεί μέσω αυτών των συστημάτων να αναζητήσει πληροφορίες για μέσα μεταφοράς εταιρίες και δρομολόγια μιας περιοχής. Άλλα συστήματα αυτής της κατηγορίας προσανατολίζονται σε ιδιωτικά μέσα μεταφοράς. Τέτοια συστήματα κυρίως παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για τις συνθήκες κυκλοφοριακής κίνησης ώστε να δίνουν τη δυνατότητα σε οδηγούς αυτοκινήτων να επιλέξουν δρόμους με μικρή κίνηση ώστε να ελαχιστοποιήσουν το χρόνο του ταξιδιού.

Τα συστήματα της δεύτερης κατηγορίας δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη συνάφεια με αυτό που εμείς ορίσαμε ως σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών. Τέτοια συστήματα είναι συνήθως εγκατεστημένα σε σταθμούς μέσων μεταφοράς και σε πολλές περιπτώσεις συνεργάζονται με συστήματα της τρίτης κατηγορίας. Οι υπηρεσίες που παρέχουν αυτά τα συστήματα έχουν κυρίως στόχο να διευκολύνουν την παραμονή ή την διέλευση των ταξιδιωτών από σταθμούς μέσων μεταφοράς. Ένας επιβάτης μπορεί να πληροφορηθεί για τις υπηρεσίες εξυπηρέτησης που παρέχονται σε σταθμούς αλλά και για την εξέλιξη δρομολογίων που τον ενδιαφέρουν (αναμενόμενη ώρα άφιξης, καθυστερήσεις κτλ.) Για την ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων γίνεται σημαντική εργασία και έρευνα για την ανάπτυξη Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης κινούμενων Οχημάτων (AVL). Επιπλέον αναπτύσσονται συστήματα καταγραφής της πορείας οχημάτων αλλά και συστήματα ασύρματης μετάδοσης δεδομένων και φωνής για την επικοινωνία των οχημάτων με σταθερά κέντρα παρακολούθησης. Η ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών καθιστά δυνατή την ενημέρωση των επιβατών σε σταθμούς μεταφοράς για την εξέλιξη δρομολογίων στα οποία περιμένουν να επιβιβαστούν.

Τα συστήματα της τρίτης κατηγορίας παρουσιάζουν ομοιότητες με αυτά της δεύτερης, αφού δίνουν τη δυνατότητα σε επιβάτες να πληροφορούνται για θέματα που αφορούν την εξέλιξη του ταξιδιού τους καθώς αυτό βρίσκεται σε εξέλιξη. Σημαντικό χαρακτηριστικό αυτών των συστημάτων είναι ότι οι πληροφορίες μεταδίδονται σε κινητές μονάδες (μέσα μεταφοράς) καθώς ταξιδεύουν.

Τα συστήματα και των τριών παραπάνω κατηγοριών απέχουν πολύ από την ικανοποίηση των απαιτήσεων και των στόχων που θέσαμε για ένα σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών. Μπορούμε να πούμε ότι ορισμένα από αυτά τα συστήματα ανταποκρίνονται στους στόχους που έχουμε θέσει αλλά σε καμιά περίπτωση δεν τους καλύπτουν πλήρως. Ενδιαφέρον ωστόσο παρουσιάζουν τα συστήματα των δύο τελευταίων κατηγοριών σε ότι αφορά την τεχνολογία για την παροχή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο για την εξέλιξη ενός ταξιδιού.

Στην έρευνα που πραγματοποιήσαμε, εντοπίσαμε ένα μόνο σύστημα που αντιμετωπίζει συνολικά το πρόβλημα του σχεδιασμού ταξιδιών και μάλιστα ακολουθώντας μια προσέγγιση παρόμοια με τη δική μας. Αυτό το σύστημα [1] αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Leeds στην Αγγλία. Κρίνουμε σκόπιμο λοιπόν να παρουσιάσουμε μια σύγκριση ανάμεσα στο σύστημα του Leeds και στο δικό μας σύστημα προκειμένου να δείξουμε τα σημεία στα οποία η δική μας προσέγγιση διαφοροποιείται.

8.1.4 Σχεδίαση και υλοποίηση

Η μελέτη του πεδίου της εφαρμογής υπαγόρευσε την αναπαράσταση ενός συγκοινωνιακού δικτύου για τις ανάγκες της εφαρμογής χρησιμοποιώντας τη θεωρία γράφων. Ωστόσο η φυσική διαίρεση μιας χώρας σε ιεραρχικά δομημένες γεωγραφικές διοικητικές περιοχές επέτρεψε την ανάπτυξη ενός ιεραρχικού μοντέλου για την αναπαράσταση του συγκοινωνιακού δικτύου.

Τα χαρακτηριστικά του συγκοινωνιακού δικτύου και η απαίτηση για το συνδυασμό διαφορετικών προτιμήσεων των επιβατών για τη σχεδίαση ενός ταξιδιού, επέβαλε τη χρησιμοποίηση ενός αλγορίθμου εξαντλητικής αναζήτησης σε συγκοινωνιακά δίκτυα. Ωστόσο η μεγάλη πολυπλοκότητα ενός τέτοιου αλγορίθμου επέβαλε την αναζήτηση μεθόδων για τον περιορισμό της. Η απαίτηση για την ικανοποίηση προτιμήσεων των χρηστών αλλά και η ιεραρχική αναπαράσταση του συγκοινωνιακού δικτύου κατέστησε σχετικά εύκολη υπόθεση το σχεδιασμό ενός συστήματος περιορισμών που χρησιμοποιήθηκε για τον περιορισμό της πολυπλοκότητας του αλγορίθμου αναζήτησης. Επιπλέον η ιεραρχική δόμηση του δικτύου επέτρεψε την διάσπαση της διαδικασίας αναζήτησης μονοπατιών σε επιμέρους απλούστερες διαδικασίες επιτρέποντας την παράλληλη εκτέλεσή τους και συνάμα τη βελτίωση της απόδοσης.

Η ανάλυση του προβλήματος καθώς και ο σχεδιασμός και η μοντελοποίηση έγιναν με βάση τις αρχές του οντοκεντρικού σχεδιασμού και προγραμματισμού. Αυτή η οντοκεντρική θεώρηση του προβλήματος υπαγόρευσε και την χρησιμοποίηση της τεχνολογίας αυτόνομων πρακτόρων λογισμικού για την υλοποίηση.

8.1.4.1 Υλοποίηση

Στα πλαίσια της εργασίας μας αναπτύχθηκε κυρίως το θεωρητικό υπόβαθρο για την υλοποίηση του συστήματος. Περιγράψαμε με λεπτομέρεια τα διαφορετικά τμήματα του συστήματος, τις λειτουργίες που επιτελεί το καθ' ένα και το τρόπο διασύνδεσής τους. Επιπλέον, για τα επιμέρους τμήματα του συστήματος μελετήθηκαν τεχνικές υλοποίησης και αξιολογήθηκαν εργαλεία ανάπτυξης λογισμικού. Για συγκεκριμένα τμήματα της

εφαρμογής υλοποιήσαμε μέρος της λειτουργικότητάς τους ώστε να διαπιστώσουμε και να δείξουμε την ορθότητα των αποφάσεων σχεδιασμού.

Ιεραρχικό μοντέλο αναπαράστασης

Το ιεραρχικό μοντέλο αναπαράστασης υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού Java. Κάθε οντότητα του μοντέλου αναπαραστάθηκε ως μια κλάση της γλώσσας ενώ οι ταξινομικές ιεραρχίες του μοντέλου αναπαραστάθηκαν από ιεραρχίες κλάσεων της γλώσσας. Αυτή η υλοποίηση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε για την αναπαράσταση ενός υποσυνόλου του συγκοινωνιακού δικτύου της Ελλάδας. Συγκεκριμένα, επιλέξαμε ένα σύνολο κόμβων του συγκοινωνιακού δικτύου τους οποίους εισάγαμε σε μια βάση δεδομένων ακολουθώντας το μοντέλο αναπαράστασης. Επίσης, υλοποιήσαμε τμήματα λογισμικού για τον έλεγχο των λειτουργιών που πρέπει να υποστηρίζονται από το μοντέλο αναπαράστασης. Για την υλοποίηση του μοντέλου αναπαράστασης και της εφαρμογής ελέγχου χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού Java ενώ για την αποθήκευση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε μια σχεσιακή βάση δεδομένων. Για την προσπέλαση των δεδομένων στη βάση μέσα από την οντοκεντρική εφαρμογή μας χρησιμοποιήθηκε και αξιολογήθηκε το σύστημα TOPLink [8].

Αλγόριθμος εύρεσης μονοπατιών

Για τον έλεγχο της ορθότητας του αλγορίθμου αναζήτησης μονοπατιών σε γράφους συγκοινωνιακού δικτύου υλοποιήσαμε μια απλή εκδοχή του χρησιμοποιώντας έναν απλό γράφο συγκοινωνιακού δικτύου. Η εφαρμογή του αλγορίθμου έδειξε καταρχήν την ορθότητα του και επιβεβαίωσε τις εκτιμήσεις μας για την πολυπλοκότητα του. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τη γλώσσα Java υλοποιήσαμε έναν μηχανισμό κατασκευής περιορισμών. Εφαρμόζοντας τους περιορισμούς, και χρησιμοποιώντας το ιεραρχικό μοντέλο για τον περιορισμό του χώρου αναζήτησης στο συγκοινωνιακό δίκτυο (αλγόριθμος *HVTN-PF*) επιβεβαιώθηκαν οι εκτιμήσεις που είχαμε κάνει για τον περιορισμό της πολυπλοκότητας του αλγορίθμου.

Αυτόνομοι πράκτορες λογισμικού

Για την υλοποίηση των αυτόνομων πρακτόρων λογισμικού χρησιμοποιήσαμε και αξιολογήσαμε το περιβάλλον ανάπτυξης πρακτόρων λογισμικού της IBM (Agllets) [82]. Η αρχιτεκτονική που προτείναμε δεν υλοποιήθηκε πλήρως αλλά τεκμηριώθηκε μόνο το θεωρητικό της υπόβαθρο. Ωστόσο υλοποιήθηκαν ορισμένα τμήματα της. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας το περιβάλλον Aglets υλοποιήσαμε το μηχανισμό ενεργοποίησης των πρακτόρων όπως περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο. Επιπλέον, υλοποιήσαμε τους μηχανισμούς επικοινωνίας και τη δομή των μηνυμάτων που ανταλλάσσουν. Τέλος υλοποιήσαμε ορισμένα από τα επιμέρους τμήματα των πρακτόρων όπως περιγράφηκαν στην αρχιτεκτονική. Συγκεκριμένα υλοποιήσαμε τους μηχανισμούς εντοπισμού τμημάτων κόμβων του συγκοινωνιακού δικτύου, τους μηχανισμούς ανάλυσης και

διάσπασης των μονοπατιών ταξιδιού με βάση το ιεραρχικό μοντέλο και τα αξιώματα που ορίσαμε στο κεφάλαιο 5 καθώς και τους μηχανισμούς για τον εντοπισμό των συνοριακών κόμβων ενός τμήματος συγκοινωνιακού δικτύου.

8.1.5 Σύγκριση με το σύστημα του Leeds

Το σύστημα με το οποίο συγκρίνουμε την εργασία μας περιγράφεται λεπτομερώς στην ανασκόπηση που παρουσιάζεται στο παράρτημα Α. Η ανάπτυξη αυτού του συστήματος ακολουθεί τρεις βασικές κατευθύνσεις:

- **Μοντέλο για την αναπαράσταση συγκοινωνιακών δικτύων**
- **Αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων για συγκοινωνιακά δίκτυα και υπηρεσίες συγκοινωνιών**
- **Αλγόριθμος αναζήτησης μονοπατιών σε συγκοινωνιακά δίκτυα**

Στον Πίνακα 8.1 παρουσιάζουμε συνοπτικά τις βασικές διαφορές της προσέγγισης που ακολουθήσαμε με αυτή του συστήματος του Leeds.

	Leeds	Η δική μας προσέγγιση
Μοντέλο αναπαράστασης συγκοινωνιακού δικτύου	πολύπλοκο	απλούστερο
Κριτήρια αναζήτησης σχεδίων ταξιδιού	απλά	συνδυασμοί
Αλγόριθμος αναζήτησης μονοπατιών	ευρετικές μέθοδοι	προτιμήσεις και ιεραρχική άποψη
Διαχείριση δεδομένων	κεντροποιημένη προσέγγιση	κατανεμημένη προσέγγιση

Πίνακας 8.1: Σύγκριση του συστήματος του Leeds με τη δική μας προσέγγιση

Μοντέλο αναπαράστασης

Και στα δύο συστήματα αναπτύχθηκε ένα οντοκεντρικό μοντέλο για την αναπαράσταση ενός συγκοινωνιακού δικτύου. Στο σύστημα του Leeds, το μοντέλο που αναπτύχθηκε περιλαμβάνει τόσο δημόσια μέσα μεταφοράς όσο και ιδιωτικά μέσα μεταφοράς (αυτοκίνητα). Στη δική μας προσέγγιση λαμβάνουμε υπόψη μόνο δημόσια μέσα μεταφοράς. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το μοντέλο που αναπτύχθηκε να είναι απλούστερο από το μοντέλο του συστήματος του Leeds. Για την αντιμετώπιση ταξιδιών και με ιδιωτικά και με δημόσια μέσα μεταφοράς θα πρέπει να ληφθεί υπόψη τόσο η φυσική αναπαράσταση όσο και η εννοιολογική αναπαράσταση ενός συγκοινωνιακού

δικτύου (Κεφάλαιο 2). Επιπλέον, το μοντέλο που αναπτύχθηκε στη δική μας προσέγγιση βασίζεται στην ιεραρχική διαίρεση γεωγραφικών περιοχών αναπαριστώντας ακριβέστερα τις μετακινήσεις (δρομολόγια) σε ένα κοινωνιακό δίκτυο.

Κριτήρια αναζήτησης σχεδίων ταξιδιού

Οι επιλογές που υιοθετήσαμε τόσο για το μοντέλο αναπαράστασης όσο και για τον αλγόριθμο αναζήτησης σχεδίων ταξιδιού επέτρεψαν καταρχήν τη χρησιμοποίηση διαφορετικών προτιμήσεων και κριτηρίων για την αναζήτηση σχεδίων ταξιδιού. Επιπλέον ενώ στο σύστημα του Leeds η αναζήτηση ενός σχεδίου ταξιδιού μπορεί να βασίζεται σε ένα μόνο κριτήριο στη δική μας προσέγγιση μπορούν να χρησιμοποιούνται συνδυασμοί διαφορετικών κριτηρίων. Τέλος η ανάπτυξη του συστήματος περιορισμών κάνει εύκολη την επέκταση του συστήματος με την προσθήκη και νέων προτιμήσεων.

Αλγόριθμος αναζήτησης μονοπατιών

Στον αλγόριθμο που σχεδιάσαμε για την αναζήτηση μονοπατιών σε κοινωνιακά δίκτυα, επικεντρώσαμε τις προσπάθειές μας στον περιορισμό της πολυπλοκότητας του. Αντίστοιχη προσπάθεια έγινε και στο σύστημα του Leeds. Και στις δύο περιπτώσεις ο στόχος είναι ο περιορισμός της έκτασης του τμήματος του κοινωνιακού δικτύου στο οποίο αναζητείται ένα μονοπάτι. Στο σύστημα του Leeds αυτό επιδιώκεται χρησιμοποιώντας ευρετικές μεθόδους που βασίζονται σε εκτιμήσεις. Στη δική μας προσέγγιση ο περιορισμός της έκτασης της αναζήτησης επιτυγχάνεται μέσω των περιορισμών που εισάγονται από τις προτιμήσεις των επιβατών αλλά και μέσω τις ιεραρχικής άποψης του κοινωνιακού δικτύου.

Αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων

Για την αποθήκευση και διαχείριση της πληροφορίας για κοινωνιακά δίκτυα και υπηρεσίες κοινωνιών, στο σύστημα του Leeds προτείνεται μια κεντροποιημένη προσέγγιση που βασίζεται σε μια βάση δεδομένων. Στη δική μας εργασία προτείνουμε μια κατανεμημένη προσέγγιση όπως περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Χρησιμοποιώντας αυτή την προσέγγιση μπορούμε να αντιμετωπίσουμε καλύτερα ζητήματα που αφορούν τόσο το χώρο αποθήκευσης όσο και τη δυναμική φύση της πληροφορίας. Επιπλέον η αρχιτεκτονική πρακτόρων που σχεδιάσαμε, συνδράμει στην υλοποίηση αυτής της κατανεμημένης προσέγγισης.

8.2 Μελλοντική εργασία

Εδώ περιγράφουμε εργασία που θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί τόσο για τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος όσο και για την εξέλιξη και την επαύξηση των δυνατοτήτων του.

8.2.1 Εξέλιξη του συστήματος

Σε ότι αφορά την εξέλιξη του συστήματος θα μπορούσαμε να κινηθούμε σε δύο κατευθύνσεις.

8.2.1.1 Παρακολούθηση δρομολογίων σε πραγματικό χρόνο

Είναι πιθανό για έναν επιβάτη φτάνοντας σε έναν ενδιάμεσο κόμβο ενός ταξιδιού να διαπιστώσει ότι δεν μπορεί να συνεχίσει σύμφωνα με το προεπιλεγμένο πρόγραμμα (ακύρωση δρομολογίου) ή να αποφασίσει ότι η διαδρομή που έχει επιλέξει δεν τον ικανοποιεί. Σ' αυτή την περίπτωση θα ήταν επιθυμητό να μπορεί να χρησιμοποιήσει το σύστημα μας προκειμένου να σχεδιάσει μια τουλάχιστον εναλλακτική διαδρομή από τον ενδιάμεσο κόμβο μέχρι τον τελικό προορισμό του ταξιδιού. Για την παροχή μιας τέτοιας υπηρεσίας θα πρέπει το σύστημά μας να παρακολουθεί την εξέλιξη δρομολογίων ώστε να μπορεί να ενημερώσει τον επιβάτη για τις πιθανές εναλλακτικές λύσεις που έχει. Για την εξέλιξη του συστήματος προς αυτή την κατεύθυνση θα μπορούσαμε να εκμεταλλευτούμε τις τεχνολογίες GPS και AVL που χρησιμοποιούνται από συστήματα όπως το AOS και το Busview που παρουσιάζουμε στο παράρτημα Α.

8.2.1.2 Σχεδιασμός ταξιδιών στο παρασκήνιο

Για επιβάτες που χρησιμοποιούν συχνά το σύστημα θα ήταν δυνατό να συλλέγονται στοιχεία για τη συμπεριφορά και τις προτιμήσεις του χρήστη. Με βάση αυτά τα στοιχεία θα ήταν δυνατή η σχεδίαση ταξιδιών στο παρασκήνιο χωρίς άμεση αίτηση από το χρήστη. Έτσι αν ένας χρήστης ταξιδεύει συχνά μεταξύ συγκεκριμένων κόμβων, το σύστημα θα μπορούσε να διατηρεί έτοιμα σχέδια ταξιδιών τα οποία θα φροντίζει να ενημερώνει ανά τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να λαμβάνονται υπόψη μεταβολές των δεδομένων του συγκοινωνιακού δικτύου. Επιπλέον αν τα ταξίδια που πραγματοποιούν ένας ή περισσότεροι επιβάτες περνάνε συχνά από συγκεκριμένους ενδιάμεσους κόμβους, το σύστημα θα μπορούσε να διατηρεί την πληροφορία για τα εξερχόμενα δρομολόγια αυτών των κόμβων σε χώρο αποθήκευσης ταχείας ανάκτησης ώστε σε μελλοντικές αιτήσεις χρηστών να επιταχύνεται ακόμα περισσότερο η διαδικασία σχεδιασμού.

Για την υλοποίηση αυτής της ιδιότητας απαιτείται καταρχήν ένας μηχανισμός παρακολούθησης και καταγραφής της συμπεριφοράς των χρηστών, καθώς και ένας μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων για την επιλογή των ταξιδιών που πρέπει να σχεδιάζονται στο παρασκήνιο και της πληροφορίας που πρέπει αποθηκεύεται σε χώρο ταχείας ανάκτησης. Επιπλέον πρέπει να οριστεί και μια πολιτική ανανέωσης της πληροφορίας ώστε να παραμένει πάντα έγκυρη.

8.2.2 Βελτίωση της απόδοσης

Για τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος θα μπορούσαμε να κινηθούμε σε δύο άξονες.

8.2.2.1 Ιεράρχηση συγκοινωνιακών δικτύων

Η ιεραρχική αναπαράσταση που ορίσαμε για ένα συγκοινωνιακό δίκτυο βασίστηκε στη φυσική διαίρεση μιας χώρας σε γεωγραφικές διοικητικές περιοχές. Ωστόσο θα είχε ενδιαφέρον να μελετήσουμε άλλα κριτήρια για την διαίρεση μιας γεωγραφικής περιοχής και με βάση αυτή να ορίσουμε διαφορετικές ιεραρχικές αναπαραστάσεις.

8.2.2.2 Διαμοιρασμός φόρτου εργασίας χρησιμοποιώντας κινούμενους πράκτορες

Το περιβάλλον ανάπτυξης πρακτόρων Aglets που χρησιμοποιήσαμε, είδαμε ότι παρέχει δυνατότητες για ανάπτυξη κινούμενων πρακτόρων (mobile agents). Θα είχε λοιπόν ενδιαφέρον να μελετήσουμε έναν μηχανισμό διαμοιρασμού του φόρτου εργασίας του συστήματος χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο μηχανών (υπολογιστών) και κινούμενους πράκτορες. Με αυτόν τον τρόπο, για κάθε νέο πράκτορα που ενεργοποιείται, η πολιτική διαμοιρασμού φόρτου θα καθορίζει τον υπολογιστή στον οποίο ο πράκτορας θα εκτελεστεί.

Βιβλιογραφία

- [1] McCormack J.E., “*The specification of trip planning systems: report on the development of the trip planning system prototype*”, School of Computer Studies, University of Leeds, Report number 94.5.
- [2] Booch G., “*Object Oriented Design with Applications*”, Benjamin Cummings, 1994.
- [3] Coad P., Yourdon E., “*Object-Oriented Analysis*”, Prentice Hall, 1991.
- [4] Coad P., Yourdon E., “*Object-Oriented Design*”, Yourdon Press, 1991.
- [5] Rumbaugh J., Blaha M., Premerlani Eddy W., F., Lorensen W., “*Object-oriented Modeling and Design*”, Prentice Hall, 1991.
- [6] Horstmann S., Cornell G., “*Core Java 2 , Volume 1: Fundamentals*”, Prentice Hall, 1998.
- [7] Sybase web page, <http://sybase.com>
- [8] THE OBJECT PEOPLE, TOPLink for Java, Version 1.2, Whitepaper , <http://www.objectpeople.com>
- [9] Foner L., “*What's an Agent, Anyway? A Sociological Case Study*”, In: The Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents (AA '97).
- [10] Intermodalism. URL : <http://www.dot.gov/intermodal/>
- [11] Telematics Applications for Transport.
URL : <http://www.trentel.org/transport/frame1.htm>
- [12] <http://routesinternational.com/links.htm>
- [13] <http://www.gtnetwork.com/frame3.html>
- [14] Dean T., Greenwald L. G., “*A Formal Description of the Transportation Problem*”, Department of Computer Science, Brown University, Tech. Report

CS-92-14.

- [15] U.S Department of Transportation - Federal Transit Administration, “*Advanced Public Transportation Systems, The State of the Art, Update 98*”. January 1998.
URL : <http://www.fta.dot.gov/office/research/apts98.pdf>
- [16] DeMers M.N., “*Fundamentals of Geographic Information Systems*”, Wiley, New York, 1997.
- [17] Riderlink. URL : <http://www.riderlink.gen.wa.us/>
- [18] BusView. URL : <http://www.its.washington.edu/busview/>
- [19] TravInfo. URL : <http://www.travinfo.org/>
- [20] TranStar. URL : <http://www.scag.ca.gov/transit/>
- [21] TheBus. URL : <http://www.thebus.org/>
- [22] BC Transit. URL : <http://www.bctransit.com/>
- [23] The City University of New York, Baruch College.
URL : <http://www.baruch.cuny.edu/>
- [24] The City University of New York, Baruch College, Computer Center for Visually Impaired People. URL : <http://www.baruch.cuny.edu/ccvip/>
- [25] Talking Kiosk. URL <http://www.baruch.cuny.edu/ccvip/kiosk.html>
- [26] Long Island Railroad. URL : <http://www.mta.nyc.ny.us/lirr/index.html>
- [27] New York City Transit. URL : <http://www.mta.nyc.ny.us/nyc/nycet.htm>
- [28] Advanced Operating System. URL : <http://theride.org/aos.html>
- [29] Metropolitan Transit Authority of Harris County, Houston, Texas. URL : <http://www.hou-metro.harris.tx.us/>
- [30] European Union – Telematics Applications Programme, 4th Framework Programme for RTD&D (1994-1998), “*TELEMATICS APPLICATIONS FOR TRANSPORT – PROJECT ANNUAL REPORTS 1998-1999*”.
- [31] Marc Torrens Arnal, “*An application using the Java Constraint Library: The Air Travel Planning System*”, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, Diploma Thesis, June 1997.

- [32] New Jersey Transit. URL : <http://www.njtransit.state.nj.us/mainterm.htm>
- [33] Ann Arbor Transportation Authority, Michigan. URL : <http://theride.org/>
- [34] London Transit Commission.
URL : www.city.london.on.ca/Transportation/ltc.htm
- [35] SmartTraveler. URL : <http://www.smartraveler.com/>
- [36] TransCal. URL: http://www.fastline.com/docs/proj_transcal.html
- [37] PROMISE.
URL: <http://www.trentel.org/transport/research/Projectsum/promise.html>
- [38] University of Leeds, School of Computer Studies. URL: <http://agora.leeds.ac.uk/>
- [39] Raphael A. F., Bentley J. L., “*Quad trees. A data structure for retrieval on composite keys*”, Acta Informatica, 4:1-9, 1974.
- [40] Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne. URL <http://www.epfl.ch/>
- [41] Java Constraint Library. URL : <http://liawww.epfl.ch/~torrens/Project/JCL>
- [42] Air Travel Planning System demo.
URL <http://liawww.epfl.ch/~torrens/Project/ATP/Client.html>
- [43] Java resources. URL : <http://java.sun.com/>
- [44] Tsang E., “*Foundations of Constraint Satisfaction* ”, Academic Press, London, 1993.
- [45] <http://expedia.msn.com/daily/home/>
- [46] Dailey D. J., Maclean S., Pao I., “*Busview: an APTS Precursor and a Deployed Applet*”, Final Research Report, Research Project T903, Task 43, May 1999.
- [47] Dailey, D.J, Haselkorn M.P., Meyers D., “*A Structured Approach to Developing Real-Time Distributed Network Applications for ITS Deployment*”, ITS Journal, Vol. 3, No. 3, 1996, pp. 163-180.
- [48] Metropolitan Transportation Commission. URL : <http://www.mtc.ca.gov/>
- [49] Talking Directory Display System.

- URL : http://www.baruch.cuny.edu/ccvip/background_kiosk.html
- [50] Metropolitan Rapid Authority of Atlanta. URL: <http://www.itsmarta.com/>
- [51] Federal Highway Administration. URL : <http://www.fhwa.dot.gov/>
- [52] Georgia Department of Transportation. URL : <http://www.dot.state.ga.us/>
- [53] Federal Transportation Authority. URL : <http://www.fta.dot.gov/>
- [54] Intelligent Transportation Systems. URL : <http://www.its.dot.gov/>
- [55] Kondrak, G, “*A theoretical Evaluation of Selected Backtracking Algorithms*”. Technical report TR-94-10, Department of Computing Science, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.
- [56] Bruchez E., Torrens M., “*Java Constraint Library (documentation)*”. Swiss Federal Institute of Technology, Artificial Intelligence Laboratory.
- [57] European Commission, Telematics Applications Programme, DGXIII. “*SIAMS – Ship Information And Management System*”. URL: <http://www.siams.net>
- [58] Genesereth R., Nilsson N. J., “*Logical Foundations of Artificial Intelligence*”. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA, 1987.
- [59] Dijkstra, E. W “*A Note on Two Problems in Connection with Graphs*”, Numerische Mathematics, March, 1959, pp. 269 – 271.
- [60] Huang Y. W., Jing N., Rundensteiner E. A., “*Hierarchical Path Views: A Model Based on Fragmentation and Transportation Road Types*”, Proc. of the 3rd ACM Workshop on Geographic Information Systems, 1995, pp. 93-100.
- [61] Mallery J. C, Blumberg A. J., Vincend C. R., “*A Constraint Guided Web Walker for Specialized Activities*“ Proc. of the Dynamic Objects Workshop at Object World East, Boston, Massachusetts, May, 1996.
- [62] Russell S. J., Norvig P., “*Artificial Intelligence: A Modern approach*”, Englewood Clifss, NJ: Prentice Hall, 1995.
- [63] Maes P., “*Artificial Life Meets Entertainment: Life like Autonomous Agents*”. Communications of the ACM, Vol. 38, No. 11, 1995, pp. 108-114.
- [64] Franklin S., Graesser A., “*Is it an Agent, or just a Program? A Taxonomy for Autonomous Agents*”, In proceedings of the Third International Workshop on Agents Theories, Architectures and Languages. Springer-Verlag, 1996.

- [65] Foner L., “*What is An Agent, Anyway? A Sociological Case Study*”. In The proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents (AA ’97).
- [66] Hayes-Roth B., “*An Architecture for Adaptive Intelligent Systems*”, Artificial Intelligence: Special Issue on Agents and Interactivity, 72(1995): 329-365, 1995.
- [67] Kaelbling and Rosenchein, “*Action and Planning in Embeded System*”, Robotics and Autonomous Systems, Vol 6, No 1-2, pg. 35-48; 1990.
- [68] Firby R., “*An Investigation into Reactive Planning in Complex Domains*”, In Sixth National Conference on Artificial Intelligence; 1987.
- [69] Ernman L. et al., “*The Hearsay-II speech-understanding System: Integrating knowledge to resolve uncertainty*”, Computing Surveys, 12, 213-253, 1980.
- [70] Maes P., “*Modeling Adaptive Autonomous Agents*”, Artificial Life Journal, C. Langton, ed., Vol. 1, No. 1 & 2, MIT Press, 1994.
- [71] Tyrrell T., “*Computational Mechanisms for Action Selection*”, PhD Thesis, King’s College, Cambridge, 1989.
- [72] Brooks R.A., “*Intelligence without Reason*”, Computers and Thought lecture, Proceedings of IJCAI-91, Sidney Aystralia, 1991.
- [73] Sucjman L.A., “*Plans and Situated Actions: The Problem of Human – Machine Communication*”, Cambridge University Press, 1991.
- [74] Horswill I., “*Characterizing Adaptation by Constraint*”, In: : Toward a Practice of Autonomous Systems, Proceedings of the First European Conference on Artificial Life, edited by F.J. Varela & P.Bourgine. MIT Press / Bradford Books, 1992.
- [75] Maes P., Kozierok R., “*Learning Interface Agents*”, Proceedings of AAAI-93, the Eleventh National Conference on Artificial Intelligence, MIT Press, 1993.
- [76] Brooks R.A., “*Artificial Life and Real Robots*”, In: : Toward a Practice of Autonomous Systems, Proceedings of the First European Conference on Artificial Life, edited by Meyer J.-A & Wilson S. W., MIT Press / Bradford Books, 1991.
- [77] Resnick M., “*Beyond the Centralized Mindset: Explorations in Massively Parallel Microworlds*”, PhD Thesis, MIT Media – Laboratory Epistemology and Learning Group, 1992.

- [78] Agre P. E., *“The Dynamic Structure of Everyday Life”*, Cambridge University Press, 1991.
- [79] Maes P., *“Situated Agents Can Have Goals”*, In: *Designing Autonomous Agents: Theory and Practice from Biology to Engineering and Back*, edited by P.Mayes, MIT Press / Bradford Books, 1990.
- [80] Malone T. W., Fikes R.E., Grant K. R, Howard M.T., *“Enterprise: A Market – Like Task Scheduler for Distributed Computing Environments”*, In: *The Ecology of Computation*, edited by B. Huberman, North – Holland, 1988.
- [81] Brooks R. A., *“A Robust Layered Control System for a Mobile Robot”*, IEEE Journal of Robotics and Automation, RA – 2, April 1986.
- [82] IBM Aglets Software Development Kit. URL: <http://www.trl.ibm.co.jp/aglets/>
- [83] Ζαμπούλης Ξ., *“Χρήση αυτόνομων οντοτήτων λογισμικού στη διαχείριση πόρων ενός συστήματος επείγουσας προνοσοκομειακής ιατρικής”*, Μεταπτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Κρήτης – Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών. Ιούνιος 1998.
- [84] O’Hare G.M.O., Jennings N. R., *“Foundations of Distributed Artificial Intelligence”*, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [85] Franklin S., *“Agent Oriented Programming”*, Artificial Intelligence, vol 60, 51-92, 1993.
- [86] Tanebaum A. S., *“Modern Operating Systems”*, Vol 1,2 Hanser – Prentice Hall London 1994.
- [87] Genesereth M. R., *“Software Agents”*, Communications of the ACM, Vol. 37, No. 7, July 1994, pp. 48-53.
- [88] Liu L., Yan L. L., Ozsu M. T., *“Interoperability in Large-scale Distributed Information Delivery Systems”*, In *Advances in Workflow Systems and Interoperability*, A. Dogac, L. Kalinichenko, M.T. Ozsu and A. Sheth (eds.), Springer-Verlag, 1998 in press.
- [89] Liu L., Pu C., Lee Y., *“Adaptive Query Mediation across Heterogeneous Information Sources”*, In *International Conference on Cooperative Information Systems (CoopIS)*, Brussels, Belgium, June 19-13, 1996, pp144-156. Also in TR96-10, Department of Computing Science, University of Alberta, 1996 pp144-156.
- [90] Liu L., Pu C., *“Distributed Interoperable Object Model and Its Application to Large-scale Interoperable Database Systems”*, In *ACM International Conference*

on Information and Knowledge Management (CIKM'95), November 28 - December 2, 1995 Baltimore, Maryland, USA.

- [93] Knoblock C. A., Ambite J. L., “*Agents for Information Gathering*”, Software Agents, J. Bradshaw ed., AAAI/MIT Press, Menlo Park, CA, 1997.
- [94] Knoblock C. A., Arens Y., Hsu C., “*Cooperating Agents for Information Retrieval*”, Proceedings of the Second International Conference on Cooperative Information Systems, Toronto, Ontario, Canada, University of Toronto Press, 1994.
- [95] Lange D. B., “*Mobile Objects and Mobile Agents: The Future of Distributed Computing*”. In Proceedings of The European Conference on Object-Oriented Programming '98, 1998.
- [96] Chang D. T., Lange D. B., “*Mobile Agents: A New Paradigm for Distributed Object Computing on the WWW*”, In Proceedings of the OOPSLA96 Workshop: Toward the Integration of WWW and Distributed Object Technology, October 1996.

Παράρτημα Α

Επισκόπηση υπαρχόντων συστημάτων

Ένα σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών μπορεί να ενταχθεί σε μια γενικότερη κατηγορία συστημάτων, τα *Συστήματα Πληροφόρησης Ταξιδιωτών (Traveler Information Systems)*. Όπως εξηγήσαμε και στο πρώτο κεφάλαιο, η ουσιαστική επιπλέον υπηρεσία που παρέχει ένα σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών σε σχέση με ένα πληροφοριακό σύστημα είναι ο αυτόματος σχεδιασμός ταξιδιών με βάση κριτήρια και προτιμήσεις από τους επιβάτες.

Τα *συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών* παρέχουν σε ταξιδιώτες πληροφορίες για υπηρεσίες μεταφοράς (μέσα μεταφοράς, εταιρίες, δρομολόγια κτλ.) με σκοπό τη διευκόλυνση τους στη λήψη αποφάσεων τόσο πριν την εκκίνηση όσο και κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού. Οι πληροφορίες μπορεί να παρέχονται σε ταξιδιώτες στο σπίτι, στο χώρο εργασίας, σε κέντρα μεταφορών, σε σταθμούς του συγκοινωνιακού δικτύου καθώς επίσης και πάνω στα μέσα μεταφοράς κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού. Στη βιβλιογραφία αναγνωρίζονται τρεις γενικές κατηγορίες συστημάτων πληροφόρησης ταξιδιωτών :

- *Συστήματα πληροφόρησης πριν την εκκίνηση του ταξιδιού (Pre-Trip)*
- *Συστήματα πληροφόρησης σε σταθμούς (In-Terminal/Wayside)*
- *Συστήματα πληροφόρησης σε μέσα μεταφοράς (In-Vehicle)*

Σημαντική εργασία στην ανάπτυξη συστημάτων, όπως τα παραπάνω έχει γίνει τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην Ευρώπη. Ωστόσο, τα περισσότερα από αυτά είναι τοπικού χαρακτήρα και καλύπτουν τις ανάγκες περιορισμένων περιοχών. Επιπλέον, τα περισσότερα συστήματα καλύπτουν μεμονωμένα μέσα μεταφοράς, χωρίς τη δυνατότητα συνδυασμού πληροφοριών για περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς ή εταιρίες. Συστήματα που καλύπτουν περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς εντάσσονται σε μια άλλη κατηγορία που αναφέρεται με τον όρο *Συστήματα Πληροφόρησης Πολύτροπικών Ταξιδιών (Multimodal Traveler Information Systems)*. Εκτός από τις παραπάνω κατηγορίες συναντάμε στη βιβλιογραφία και μια άλλη κατηγορία

συστημάτων, τα *Συστήματα Σχεδιασμού Ταξιδιών (Travel / Trip Planning Systems)*. Τέτοια συστήματα παρέχουν ολοκληρωμένες υπηρεσίες προγραμματισμού δρομολογίων με βάση προτιμήσεις επιβατών.

Στις επόμενες ενότητες αυτού του κεφαλαίου, δίνουμε μια σύντομη περιγραφή για κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες και για κάθε μια από αυτές εξετάζουμε τα χαρακτηριστικά μερικών αντιπροσωπευτικών συστημάτων. Τα στοιχεία που παραθέτουμε έχουν συλλεχθεί από την ετήσια επισκόπηση του Αμερικανικού Υπουργείου Μεταφορών [15] και την αντίστοιχη της Ευρωπαϊκής Ένωσης [30] για εξέλιξη προγραμμάτων στο χώρο των μεταφορών.

Αν και βρέθηκαν αρκετές εργασίες εφαρμογής νέων τεχνολογιών για την πληροφόρηση ταξιδιωτών, σ' αυτό το κεφάλαιο επιλέχτηκαν ορισμένες από αυτές για παρουσίαση. Τρία ήταν τα βασικά κριτήρια για την επιλογή αυτών των εργασιών:

- **Μέγεθος**

Το μέγεθος ενός συστήματος καθορίζεται από τον όγκο των πληροφοριών που παρέχει από το εύρος της περιοχής που καλύπτει και από τις δυνατότητες πρόσβασης που παρέχει στους χρήστες του.

- **Πλήθος στοιχείων**

Αυτό το κριτήριο αφορά την επάρκεια των στοιχείων που έχουμε για κάθε σύστημα.

- **Συνάφεια**

Για τα συστήματα που εξετάζουμε μας ενδιαφέρει η συνάφεια που παρουσιάζουν με το σύστημα που προτείνουμε στην παρούσα εργασία.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι η κατηγοριοποίηση που ορίσαμε παραπάνω δεν είναι απόλυτα αυστηρή. Πολλά από τα συστήματα που εξετάζουμε παρουσιάζουν χαρακτηριστικά περισσότερων από μια κατηγορίες και θα μπορούσαν να ενταχθούν σε περισσότερες από μια κατηγορίες. Ωστόσο για λόγους καλύτερης οργάνωσης βασίζουμε την παρουσίαση των συστημάτων σ' αυτές τις κατηγορίες κατατάσσοντας κάθε σύστημα σε μια από αυτές.

Για κάθε σύστημα που περιγράφουμε, παρουσιάζουμε και μια σύντομη αξιολόγησή του. Μέσα από κάθε αξιολόγηση, επισημαίνουμε τα ενδιαφέροντα στοιχεία και χαρακτηριστικά που παρουσιάζει κάθε σύστημα. Επιπλέον, επισημαίνουμε ομοιότητες των συστημάτων με το δικό μας σύστημα και πραγματοποιούμε συγκρίσεις. Τέλος για κάθε σύστημα που περιγράφουμε, παραθέτουμε συνοπτικά σε πίνακες τα κυριότερα χαρακτηριστικά του. Συγκεκριμένα για κάθε σύστημα ενδιαφερόμαστε για :

- **τα σημεία από τα οποία οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση**
- **το μέσο που χρησιμοποιείται για πρόσβαση**
- **τις πληροφορίες που παρέχει**
- **αν παρέχει υπηρεσίες σύνθετης αναζήτησης και σχεδιασμού ταξιδιών**

A.1 Pre-Trip συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών

Τα *Pre-Trip συστήματα* μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους ταξιδιώτες πριν από την εκκίνηση ενός ταξιδιού, κατά το σχεδιασμό του. Αυτά τα συστήματα διευκολύνουν τους επιβάτες στη λήψη αποφάσεων παρέχοντας πληροφόρηση (**pre-trip πληροφορίες**) για μέσα μεταφοράς, δρομολόγια, ώρες άφιξης και αναχώρησης, υπηρεσίες, καιρικές συνθήκες, κυκλοφοριακή κίνηση καθώς και για άλλα θέματα που μπορεί να ενδιαφέρουν τους επιβάτες πριν την εκκίνηση ενός ταξιδιού. Οι πληροφορίες που θα επιθυμούσε να γνωρίζει ένας ταξιδιώτης πριν την εκκίνηση ενός ταξιδιού μπορούν να καλύπτουν ένα ευρύ πεδίο κατηγοριών όπως δρομολόγια, χάρτες, τιμές εισιτηρίων, μετεωρολογική πρόβλεψη και άλλα. Πολλές φορές τέτοια συστήματα μπορεί να υποστηρίζουν υπηρεσίες προγραμματισμού δρομολογίων.

A.1.1 Εξέλιξη

Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών διεύρυνε τους τρόπους παροχής **pre-trip** τύπου **πληροφοριών** από εταιρίες μεταφορών και ταξιδιωτικά πρακτορεία. Παράλληλα αυξάνεται, και το πλήθος των διαφορετικών κατηγοριών πληροφορίας. Πολλά πρακτορεία προσφέρουν υπηρεσίες σχεδιασμού δρομολογίων χρησιμοποιώντας ευρέως διαδεδομένα μέσα επικοινωνίας και μετάδοσης πληροφοριών. Τέτοια μέσα είναι το **τηλέφωνο**, το **Διαδίκτυο**, **περίπτερα πληροφοριών (Information Kiosks)** και οι **προσωπικές τηλεπικοινωνιακές συσκευές (κινητά τηλέφωνα)**.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος παροχής αυτού του είδους των υπηρεσιών, είναι μέσω τηλεφώνου. Σε μια τέτοια υπηρεσία, είτε κάποιος αντιπρόσωπος (υπάλληλος) εξυπηρετεί τον πελάτη, είτε ο πελάτης εξυπηρετείται από κάποιο αλληλεπιδραστικό πρόγραμμα επιλογών [19] (menu-driven interactive voice response system) είτε από ένα συνδυασμό των δύο. Η λειτουργία των συστημάτων σχεδιασμού ταξιδιών απαιτεί από το χρήστη να ορίσει κάποια αφετηρία και προορισμό για το ταξίδι, καθώς και ένα σύνολο από κριτήρια βελτιστοποίησης. Τέτοια κριτήρια μπορεί να είναι η ελαχιστοποίηση της χρονικής διάρκειας του ταξιδιού, η ελαχιστοποίηση της απόστασης που πρέπει να καλυφθεί, η ελαχιστοποίηση του κόστους, η επιλογή μέσων μεταφοράς, η ελαχιστοποίηση του πλήθους των ενδιάμεσων σταθμών κτλ. Επίσης κάποια συστήματα συνεργάζονται και με **Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (Geographic Information Systems - GIS)** για την παροχή υπηρεσιών εντοπισμού της θέσης των οχημάτων [16].

Τα τελευταία χρόνια, έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται καινούριες μέθοδοι παροχής ταξιδιωτικών πληροφοριών στο κοινό. Ιδιαίτερα από το 1996 και μετά, το Διαδίκτυο χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο ως μέσο για την παροχή ταξιδιωτικών πληροφοριών. Πολλές εταιρίες συγκοινωνιών αλλά και ταξιδιωτικά πρακτορεία διαθέτουν ιστοσελίδες στο Διαδίκτυο. Οι πληροφορίες που παρέχονται από τέτοιες ιστοσελίδες κυμαίνονται από πολύ απλές, όπως κάποιος τηλεφωνικός αριθμός στον οποίο μπορεί κάποιος να καλέσει για πληροφορίες [19], έως σύνθετες υπηρεσίες σχεδιασμού ταξιδιών [45].

Υπάρχει επίσης και μια τάση για σχεδιασμό συστημάτων που παρέχουν πληροφορίες για περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς και περισσότερες από μια εταιρίες μεταφορών. Για τις δημόσιες συγκοινωνίες αυτά τα συστήματα παρέχουν συνήθως

πληροφορίες για λεωφορεία, τρένα και αεροπλάνα. Ωστόσο η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων αντιμετωπίζει δυσκολίες κυρίως λόγω της έλλειψης ενός καθολικού τρόπου μορφοποίησης ταξιδιωτικών πληροφοριών μεταξύ των ταξιδιωτικών πρακτορείων ή των εταιριών μεταφοράς. Επιπλέον το κόστος για τη συλλογή των δεδομένων καθώς και το κόστος για το χειρισμό των συχνών μεταβολών τους δρα ανασταλτικά στην ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων.

Μια άλλη κατεύθυνση που ακολουθείται είναι η παροχή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο για την κατάσταση της κίνησης σε αυτοκινητόδρομους. Αυτή η υπηρεσία απευθύνεται κυρίως σε ταξιδιώτες που κινούνται με ιδιωτικά μέσα μεταφοράς και ιδιαίτερα με αυτοκίνητο. Ωστόσο, πληροφορία για την κίνηση σε αυτοκινητόδρομους μπορεί να ενδιαφέρει και ταξιδιώτες που μετακινούνται με λεωφορεία ώστε να μπορούν να επιλέγουν τη καλύτερη μεταξύ εναλλακτικών διαθέσιμων διαδρομών.

A.1.2 Παραδείγματα εφαρμογών

A.1.2.1 Riderlink

A.1.2.1.1 Περιγραφή

Το σύστημα **Riderlink** [17] παρέχει πληροφορίες για συγκοινωνίες στην περιοχή Puget Sound του Seattle. Μέσω μιας ιστοσελίδας ένας επιβάτης μπορεί να προσπελάσει ιστοσελίδες τοπικών εταιριών που παρέχουν υπηρεσίες μεταφορών και συγκοινωνιών. Η συνεισφορά του συστήματος είναι η δημιουργία μιας ιστοσελίδας στην οποία υπάρχουν συγκεντρωμένοι σύνδεσμοι που οδηγούν σε ιστοσελίδες εταιριών όπου υπάρχουν οι πληροφορίες. Στην ιστοσελίδα του Riderlink γίνεται και μια κατηγοριοποίηση των πληροφοριών ώστε να διευκολύνεται η αναζήτηση. Επιπλέον το σύστημα παρέχει και πληροφορίες για συνδυασμό διαφορετικών μέσων μεταφοράς από διαφορετικές εταιρίες για την πραγματοποίηση μιας μετακίνησης.

Από τις ιστοσελίδες του Riderlink μπορεί κανείς εύκολα να εντοπίσει πληροφορίες που παρέχονται από τις εταιρίες Community Transit, Kitsap Transit, Metro Transit, Pierce Transit καθώς και από το Σύστημα Φεριμπότ και το Τμήμα Μεταφορών (Washington State Department) της πολιτείας της Ουάσινγκτον. Η πρόσβαση στο σύστημα επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας προσωπικούς υπολογιστές (μέσω του Παγκόσμιου Δικτυακού Ιστού) είτε από περίπτερα πληροφοριών που βρίσκονται τοποθετημένα σε δημόσιους χώρους. Οι πληροφορίες αφορούν (ανάλογα με την περιοχή και την εταιρία):

- **δρομολόγια λεωφορείων**
- **υπηρεσίες ενοικίασης μικρών λεωφορείων (vanpool/carpool)⁶**

⁶ Αυτή η υπηρεσία παρέχεται συνήθως σε περιοχές των ΗΠΑ. Εταιρίες μεταφορών διαθέτουν μικρά λεωφορεία τα οποία ενοικιάζονται για ορισμένο χρονικό διάστημα σε ομάδες ανθρώπων (πέντε ή περισσότεροι) που μετακινούνται καθημερινά στην ίδια περιοχή (για παράδειγμα εργαζόμενοι που

- σημεία για στάθμευση αυτοκινήτων
- δρομολόγια φεριμπότ
- τιμές εισιτηρίων
- κυκλοφορία ποδηλάτων στην περιοχή Puget Sound
- υπηρεσίες μεταφοράς για άτομα με ειδικές ανάγκες.
- κυκλοφοριακή κίνηση σε δρόμους

Επιπλέον είναι δυνατόν να παρέχονται και άλλες πληροφορίες που τοποθετούνται ανεξάρτητα, από τις εταιρίες στις ιστοσελίδες τους. Για παράδειγμα η εταιρία Metro Transit στην ιστοσελίδα που παρέχει πληροφορίες για δρομολόγια λεωφορείων, διαθέτει πληροφορίες για και τις καιρικές συνθήκες της περιοχής.

A.1.2.1.2 Αξιολόγηση

Το Riderlink δεν είναι ένα πολύπλοκο σύστημα. Δε διαθέτει ούτε επεξεργάζεται πληροφορίες. Η ουσιαστική συνεισφορά του είναι ότι συγκεντρώνει σε μία ιστοσελίδα συνδέσμους προς τις πληροφορίες. Επιπλέον, μέσα από μια απλή κατηγοριοποίηση (ανά μέσω μεταφοράς και εταιρία / περιοχή) διευκολύνει την αναζήτηση. Οι πληροφορίες που παρέχονται είναι τοπικού χαρακτήρα, αφού αφορούν υπηρεσίες συγκοινωνιών για μια μικρή γεωγραφική περιοχή. Ο χρήστης του συστήματος μπορεί απλά να δει τις πληροφορίες που παρέχουν οι διαφορετικές εταιρίες, αλλά δεν μπορεί να πραγματοποιήσει αναζητήσεις με βάση τους προορισμούς για τους οποίους ενδιαφέρεται ή με βάση άλλες προτιμήσεις (κόστος ταξιδιού, μέσα μεταφοράς κτλ.). Έτσι είναι δύσκολο να συνδυάσει υπηρεσίες μεταφοράς που παρέχονται από διαφορετικά μέσα μεταφοράς ή διαφορετικές εταιρίες. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζουμε συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του συστήματος.

Σημείο πρόσβασης	Ναι	Όχι
Σπίτι	✓	
Χώρος εργασίας	✓	
Σταθμοί μέσων μεταφοράς		✓
Οχήματα		✓
Δημόσιοι χώροι	✓	

δουλεύουν στην ίδια εταιρία). Ένας από την ομάδα αναλαμβάνει να οδηγεί το όχημα και είναι υπεύθυνος γι' αυτό.

Κινητές μονάδες		✓
-----------------	--	---

A.1 Πίνακας A.1 : Σημεία πρόσβασης του συστήματος Riderlink

Μέσο πρόσβασης	Ναι	Όχι
Τηλέφωνο		✓
Υπολογιστής	✓	
Περίπτερο πληροφοριών		✓
Οθόνες		✓

A.2 Πίνακας A.2 : Μέσα πρόσβασης του συστήματος Riderlink

Παρεχόμενες πληροφορίες	Ναι	Όχι	Σε ορισμένες περιπτώσεις
Πίνακες δρομολογίων	✓		
Τιμές εισιτηρίων			✓
Πρόσθετες πληροφορίες για κάθε δρομολόγιο			✓
Εταιρίες μεταφορών	✓		
Περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς	✓		
Περισσότερες από μια εταιρίες μεταφοράς	✓		
Συνδυασμένες πληροφορίες		✓	
Άλλες πληροφορίες ταξιδιωτικού ενδιαφέροντος			✓

A.3 Πίνακας A.3: Πληροφορίες που παρέχει το σύστημα Riderlink

Υπηρεσίες	Ναι	Όχι
Αναζήτηση		✓
Σχεδιασμός ταξιδιού		✓

A.4 Πίνακας A.4: Υπηρεσίες που παρέχει το σύστημα Riderlink

A.1.2.2 BusView

A.1.2.2.1 Περιγραφή

Ένας χρήστης του **Busview** [18] μπορεί να χρησιμοποιεί το σύστημα για να παρακολουθεί την κίνηση των λεωφορείων σε μια περιοχή και να ενημερώνεται για τη θέση των λεωφορείων που εκτελούν συγκεκριμένα δρομολόγια. Ο χρήστης του συστήματος επιλέγει το δρομολόγιο που θέλει να παρακολουθήσει καθώς και ένα σημείο της διαδρομής στο οποίο επιθυμεί να ειδοποιηθεί όταν το λεωφορείο περάσει από αυτό. Το σύστημα ενημερώνει το χρήστη (σε πραγματικό χρόνο) για τη θέση του λεωφορείου που εκτελεί το δρομολόγιο. Όταν το λεωφορείο φτάσει στο προεπιλεγμένο σημείο της διαδρομής, ο χρήστης ειδοποιείται για το γεγονός. Έτσι, κάποιος μπορεί να παρακολουθεί από το σπίτι ή το γραφείο του τη θέση του λεωφορείου σ' ένα δρομολόγιο, ώστε να έχει αρκετό χρόνο για να μεταβεί σε κάποιο σταθμό πριν φτάσει εκεί το λεωφορείο.

Το σύστημα **BusView** [46] αναπτύχθηκε σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση πραγματοποιήθηκε ως ένα σχέδιο έρευνας και σχεδιάστηκε για τους χρήστες στο χώρο του Πανεπιστημίου της Ουάσινγκτον. Η δεύτερη φάση ήταν η υλοποίηση μιας γραφικής εφαρμογής της γλώσσας Java (Applet) που ως σκοπό είχε την παροχή πρόσβασης στο σύστημα από ευρύτερο κοινό.

Το σύστημα που αναπτύχθηκε στην πρώτη φάση ονομάστηκε **Busview-X** και ήταν ένα σύστημα που μετέδιδε σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες για τη θέση λεωφορείων μέσα στην πανεπιστημιούπολη του Πανεπιστημίου της Ουάσινγκτον. Στο πλαίσιο αυτής της φάσης σχεδιάστηκε ένα γραφικό περιβάλλον για την χρησιμοποίηση του συστήματος από τους σταθμούς εργασίας μέσα στο πανεπιστήμιο. Για τις πληροφορίες που παρείχε το σύστημα χρησιμοποιήθηκε το **Σύστημα Εντοπισμού Οχημάτων (Automatic Vehicle Location – AVL – System)** της εταιρίας King County Metro, και η υποδομή σε συστήματα πληροφοριών για συγκοινωνίες στην περιοχή Puget Sound. Για τη γραφική διεπιφάνεια χρήσης χρησιμοποιήθηκε το σύστημα X-Windows.

Στη δεύτερη φάση ανάπτυξης του συστήματος, χρησιμοποιήθηκε η υποδομή που δημιουργήθηκε από την πρώτη φάση για την επέκταση του συστήματος ώστε να είναι προσπελάσιμο από το Διαδίκτυο. Κατά τη δεύτερη φάση αναπτύχθηκε το σύστημα **Busview** που παρείχε την ίδια λειτουργικότητα με το **Busview-X**. Η βασική διαφορά της δεύτερης φάσης είναι ότι το σύστημα υλοποιήθηκε ως μια Γραφική Εφαρμογή της γλώσσας Java (Java Applet) και ήταν προσπελάσιμη από το Διαδίκτυο με τη χρησιμοποίηση κατάλληλων **αναδυφητών** του Παγκόσμιου Δικτυακού Ιστού (World Wide Web Browsers). Έτσι η πρόσβαση στις υπηρεσίες που παρέχονται από το σύστημα μπορεί να γίνεται απ' οπουδήποτε υπάρχει υπολογιστής με σύνδεση στο Διαδίκτυο και είναι εφοδιασμένος με αναδιφητές (browsers) που υποστηρίζουν εφαρμογές της γλώσσας Java (σπίτι, εργασία κτλ.).

A.1.2.2.2 Αρχιτεκτονική

Και οι δύο εκδοχές του συστήματος ακολουθούν την **αρχιτεκτονική τμημάτων (component architecture)** που περιγράφεται στο [47]. Αυτή η αρχιτεκτονική ορίζει ένα περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών για Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών (Intelligent Transportation Systems - ITS) τα οποία αντιμετωπίζονται ως εφαρμογές καταναμημένων υπολογισμών, κατάλληλες για τη μετάδοση πληροφοριών σε μεγάλο αριθμό χρηστών.

Η αρχιτεκτονική τμημάτων είναι μια αρχιτεκτονική εξυπηρετούμενου – εξυπηρετητή που βασίζεται στη δημιουργία αυτόνομων, επαναχρησιμοποιούμενων τμημάτων λογισμικού. Μια εφαρμογή που ακολουθεί αυτή την αρχιτεκτονική μπορεί να θεωρηθεί ως μια διαμόρφωση τμημάτων λογισμικού [47].

Το περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών που ορίζεται από την αρχιτεκτονική τμημάτων, αποτελείται από διαφορετικά είδη τμημάτων λογισμικού τα οποία μπορούν να διαμορφωθούν και να συνδεθούν για την ανάπτυξη μιας εφαρμογής. Κάθε τμήμα λογισμικού είναι :

- **Αυτόνομο**

τα διάφορα τμήματα μπορούν να είναι κατανεμημένα σε διαφορετικές υπολογιστικές πλατφόρμες

- **Ανεξάρτητο**

τα διάφορα τμήματα μπορούν να λειτουργούν παράλληλα

- **Επαναχρησιμοποιούμενο**

ο σχεδιασμός μιας εφαρμογής συνίσταται κυρίως στη διαμόρφωση έτοιμων τμημάτων παρά στην ανάπτυξη νέου λογισμικού

Ορίζονται τέσσερα διαφορετικά είδη τμημάτων λογισμικού:

- **Source**

Αυτό το τμήμα δημιουργεί μια ροή δεδομένων και την κάνει διαθέσιμη σε άλλα τμήματα

- **Redistributor**

Λαμβάνει μια ροή δεδομένων από ένα τμήμα και τη διανέμει σε ένα ή περισσότερα άλλα τμήματα.

- **Operator**

Λαμβάνει ροές δεδομένων από ένα ή περισσότερα άλλα τμήματα και δημιουργεί μια καινούρια ροή δεδομένων η οποία μπορεί να διανεμηθεί σε ένα ή περισσότερα άλλα τμήματα.

- **Sink**

Μπορεί να λαμβάνει ροές δεδομένων από ένα ή περισσότερα τμήματα.

Τα τμήματα του τύπου Redistributor και Operator λειτουργούν είτε ως εξυπηρετητές είτε ως εξυπηρετούμενοι, ενώ τα τμήματα του τύπου Source λειτουργούν ως εξυπηρετητές και τα τμήματα τύπου Sink λειτουργούν ως εξυπηρετούμενοι.

A.1.2.2.3 Εφαρμογή της αρχιτεκτονικής τμημάτων στο σύστημα Busview

Το σύστημα Busview, χρησιμοποιεί όλα τα παραπάνω είδη των τμημάτων λογισμικού. Στο Σχήμα A.1 βλέπουμε τη διασύνδεση των διαφορετικών τμημάτων που συγκροτούν την αρχιτεκτονική του συστήματος Busview.

Στο σύστημα Busview το Source τμήμα είναι ένα αυτόματο σύστημα εντοπισμού οχημάτων (AVL). Αυτό το τμήμα, που στο σχήμα έχει τον τίτλο *AVLUW*, παρακολουθεί τις επικοινωνίες μεταξύ των τμημάτων του AVL συστήματος. Τα δεδομένα που λαμβάνει χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θέσης ενός οχήματος (λεωφορείο). Αυτό το τμήμα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύστημα που φιλτράρει την πληροφορία που παρέχεται από το AVL σύστημα με σκοπό την μείωση του όγκου των δεδομένων αλλά και την προστασία τις ιδιωτικότητας τους.

Τα ακατέργαστα δεδομένα που παρέχονται από το παραπάνω τμήμα πολυπλέκονται από το Redistributor τμήμα, που στο σχήμα τιτλοφορείται *AVL_Rebroadcast* για την παραπέρα μετάδοση τους.

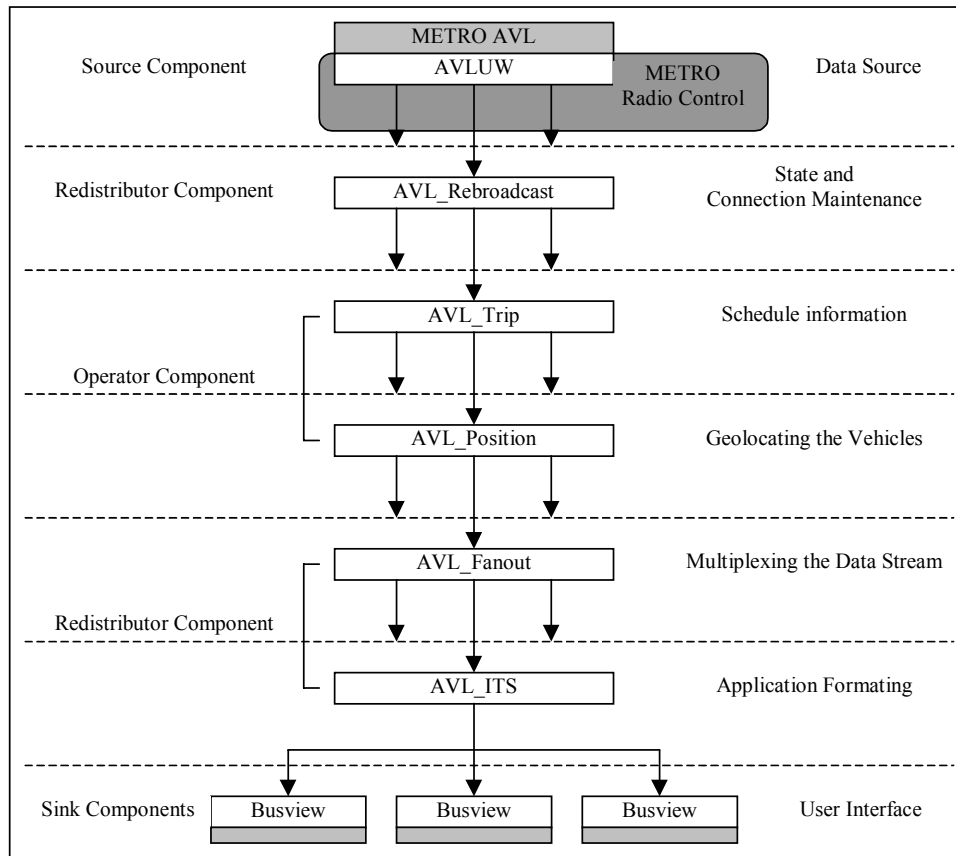
Τα δεδομένα από το τμήμα *AVL_Rebroadcast* μεταβιβάζονται στο Operator τμήμα, που τιτλοφορείται *AVL_Trip*. Το τμήμα *AVL_Trip*, χρησιμοποιεί τα δεδομένα από το AVL σύστημα και συσχετίζει ένα λεωφορείο με ένα συγκεκριμένο δρομολόγιο χρησιμοποιώντας έναν πίνακα δρομολογίων.

Τα δεδομένα από το τμήμα *AVL_Trip* μεταδίδονται στο Operator τμήμα που τιτλοφορείται *AVL_Position* το οποίο χρησιμοποιεί αυτά τα δεδομένα, πληροφορίες για προγραμματισμένα δρομολόγια, χάρτες και μετασχηματισμούς συντεταγμένων για να υπολογίσει το ακριβές γεωγραφικό μήκος και πλάτος των οχημάτων.

Μετά το τμήμα *AVL_Position*, η ροή των δεδομένων περνάει από ένα Redistributor τμήμα που τιτλοφορείται *AVL_Fanout*, και το οποίο πολυπλέκει τα δεδομένα που περιέχουν τις θέσεις των οχημάτων για τη μετάδοση τους σε διαφορετικούς χρήστες. Με την εμπλοκή αυτού του τμήματος, το προηγούμενο τμήμα ασχολείται μόνο με την επεξεργασία των δεδομένων, χωρίς να ασχολείται με ζητήματα μετάδοσης.

Το τμήμα *AVL_ITS* είναι ένα Redistributor τμήμα που προσαρμόζει τη ροή των δεδομένων για την παρουσίασή τους στο Busview. Αυτό το τμήμα ελαχιστοποιεί τον όγκο των δεδομένων που πρέπει να στέλνονται στο Busview για κάθε αλλαγή στη θέση ενός λεωφορείου.

Η γραφική διεπιφάνεια χρήσης του συστήματος Busview είναι το Sink τμήμα του συστήματος.



Σχήμα Α.1: Η αρχιτεκτονική και η ροή δεδομένων στο σύστημα Busview

A.1.2.2.4 Αξιολόγηση

Μπορούμε να κατατάξουμε το σύστημα Busview σε μια οικογένεια Pre-Trip συστημάτων, αυτά που παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο. Υπηρεσίες παρακολούθησης δρομολογίων μέσω μεταφοράς, όπως αυτή που παρέχει το συγκεκριμένο σύστημα, είναι σημαντικές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από συστήματα σχεδίασης ταξιδιών για την παροχή υπηρεσιών και πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια εξέλιξης ενός ταξιδιού. Ωστόσο το σύστημα Busview από μόνο του είναι περιορισμένων δυνατοτήτων αφού οι πληροφορίες που παρέχει αφορούν μια περιορισμένη γεωγραφική περιοχή αλλά και ένα μόνο μέσο μεταφοράς. Γι' αυτό το σύστημα, εκτός από τη δυνατότητα συνεργασίας του με ένα σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών θα πρέπει να κρατήσουμε και την αρχιτεκτονική υλοποίησής του. Η αρχιτεκτονική του παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες με αρχιτεκτονική αυτόνομων πρακτόρων λογισμικού η οποία χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση και του δικού μας συστήματος.

Στους πίνακες παρακάτω παρουσιάζουμε συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του συστήματος Busview.

Σημείο πρόσβασης	Ναι	Όχι
------------------	-----	-----

Σπίτι	✓	
Χώρος εργασίας	✓	
Σταθμοί μέσων μεταφοράς		✓
Οχήματα		✓
Δημόσιοι χώροι		✓
Κινητές μονάδες ⁷		✓

A.5 Πίνακας A.5: Σημεία πρόσβασης του συστήματος Busview

Μέσο πρόσβασης	Ναι	Όχι
Τηλέφωνο		✓
Υπολογιστής	✓	
Περίπτερο πληροφοριών		✓
Οθόνες		✓

A.6 Πίνακας A.6: Μέσα πρόσβασης του συστήματος Busview

Παρεχόμενες πληροφορίες	Ναι	Όχι	Σε ορισμένες περιπτώσεις
Πίνακες δρομολογίων	✓		
Τιμές εισιτηρίων		✓	
Πρόσθετες πληροφορίες για κάθε δρομολόγιο		✓	
Εταιρίες μεταφορών		✓	
Περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς		✓	
Περισσότερες από μια εταιρίες μεταφοράς		✓	
Συνδυασμένες πληροφορίες		✓	
Άλλες πληροφορίες	✓ ⁷		

A.7 Πίνακας A.7: Πληροφορίες που παρέχει το σύστημα Busview

Υπηρεσίες	Ναι	Όχι
-----------	-----	-----

⁷ Πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο για την εξέλιξη δρομολογίων λεωφορείων.

Αναζήτηση		✓
Σχεδιασμός ταξιδιού		✓

A.8 Πίνακας A.8: Υπηρεσίες που παρέχει το σύστημα Busview

A.1.2.3 TravInfo

A.1.2.3.1 Περιγραφή

Το σύστημα **TravInfo** [19] είναι ένα Σύστημα Πληροφόρησης Ταξιδιωτών για την περιοχή Bay του San Francisco. Βασικός στόχος του συστήματος είναι η μείωση της οδικής κυκλοφοριακής συμφόρησης στην περιοχή. Για την επίτευξη αυτού το στόχου, το σύστημα φιλοδοξεί να διευκολύνει τους επιβάτες στην χρησιμοποίηση δημόσιων μέσων μεταφοράς.

Οι πληροφορίες που παρέχει το σύστημα καλύπτουν όλα τα επίγεια μέσα μεταφοράς στην περιοχή (αυτοκίνητο, λεωφορείο, τρένο, φεριμπότ, και ποδήλατο). Καλώντας ένα τοπικό τηλεφωνικό αριθμό, ένας ταξιδιώτης μπορεί να λάβει πληροφορίες σχετικές με όλα τα παραπάνω μεταφορικά μέσα και βοήθεια στο σχεδιασμό του ταξιδιού του. Επιπλέον παρέχεται πληροφόρηση για την κυκλοφοριακή κίνηση στις οδικές αρτηρίες της περιοχής.

Η ανάπτυξη του συστήματος γίνεται από μια συνεργασία κρατικών και ιδιωτικών φορέων. Οι κρατικοί φορείς έχουν την αρμοδιότητα να συλλέγουν τις πληροφορίες ενώ οι ιδιωτικοί φορείς επεξεργάζονται τις πληροφορίες και παρέχουν υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας στο κοινό.

Ένα βασικό τμήμα του συστήματος είναι το **Τηλεφωνικό Σύστημα Ταξιδιωτικών Συμβουλών (Travel Advisory Telephone System - TIC)**. Οι χειριστές του TIC συγκεντρώνουν συνεχώς δεδομένα από διάφορες πηγές. Αυτά τα δεδομένα αφορούν αναφορές κυκλοφοριακής κίνησης, πληροφορίες για ατυχήματα και άλλα συμβάντα στους δρόμους. Επιπλέον το σύστημα περιλαμβάνει πληροφορίες για σημεία που γίνονται κατασκευές σε δρόμους ή για δρόμους που έχουν κλείσει ή για άλλα συμβάντα που επηρεάζουν την κίνηση (π.χ συγκεντρώσεις ανθρώπων).

Επίσης το σύστημα περιέχει πληροφορίες από τις βάσεις δεδομένων της **Μητροπολιτικής Επιτροπής Μεταφορών (Metropolitan Transportation Commission - MTC)** [48].

Οι ταξιδιώτες μπορούν να έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες που παρέχει το σύστημα με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Πρώτον, από το τηλέφωνο καλώντας ένα νούμερο, και μέσω ενός συστήματος επιλογών (menu-driven system). Δεύτερον από το τηλέφωνο συνδεδεμένοι απευθείας με τις εταιρίες μεταφορών. Και τρίτον μέσω των ιδιωτικών φορέων που συμμετέχουν στην ανάπτυξη του συστήματος και οι οποίοι έχουν πλήρη πρόσβαση στις πληροφορίες του TravInfo.

Τα δεδομένα του TravInfo μπορούν μεταδίδονται με ψηφιακό τρόπο μέσω Modems και συστήματα ασύρματης μετάδοσης δεδομένων. Με αυτούς τους τρόπους, οι ενδιαφερόμενες εταιρίες μπορούν να προσπελαύνουν τις πληροφορίες, δωρεάν, να τις

διαμορφώνουν κατάλληλα και να τις παρέχουν στους πελάτες τους. Επιπροσθέτως αυτές οι εταιρίες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις πληροφορίες που παρέχονται από το TravInfo για να προσφέρουν προϊόντα όπως συστήματα πλοήγησης σε οχήματα, υπηρεσίες ηλεκτρονικών υπολογιστών και περίπτερα πληροφοριών.

A.1.2.3.2 Αξιολόγηση

Το σύστημα TravInfo μοιάζει με το σύστημα Riderlink που παρουσιάσαμε παραπάνω αφού και τα δύο παρέχουν πληροφορίες για συγκοινωνίες σε μια μικρή γεωγραφική περιοχή. Οι διαφορές τους αφορούν τόσο το μέσο πρόσβασης στο σύστημα όσο και το γεγονός ότι το σύστημα TravInfo χρησιμοποιεί μια βάση δεδομένων όπου αποθηκεύει πληροφορίες για τις συγκοινωνίες. Επίσης το TravInfo δίνει μεγάλη σημασία σε μεταφορές με ιδιωτικά μέσα μεταφοράς παρέχοντας πληροφορίες για την κατάσταση του οδικού δικτύου αλλά και για την κυκλοφοριακή κίνηση. Ένα από τα θετικά στοιχεία του συστήματος μπορεί να θεωρηθεί η χρησιμοποίηση του τηλεφώνου με συνέπεια να καθίσταται ευκολότερη η πρόσβαση από τους χρήστες. Ωστόσο η έλλειψη οπτικής επαφής των χρηστών με το σύστημα (γραφική διεπιφάνεια χρήσης) το καθιστά δύσκολο στη χρησιμοποίησή του. Τέλος, αυτό που μπορούμε να κρατήσουμε από το σύστημα TravInfo είναι η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων με ταξιδιωτική πληροφορία η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παροχή πληροφοριών σε ένα σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών.

Σημείο πρόσβασης	Ναι	Όχι
Σπίτι	✓	
Χώρος εργασίας	✓	
Σταθμοί μέσων μεταφοράς	✓	
Οχήματα	✓	
Δημόσιοι χώροι	✓	
Κινητές μονάδες	✓ (κινητό τηλέφωνο)	

A.9 Πίνακας A.9: Σημεία πρόσβασης του συστήματος TravInfo

Μέσο πρόσβασης	Ναι	Όχι
Τηλέφωνο	✓	
Υπολογιστής		✓
Περίπτερο πληροφοριών		✓
Οθόνες		✓

A.10 Πίνακας A.10: Μέσα πρόσβασης του συστήματος TravInfo

Παρεχόμενες πληροφορίες	Ναι	Όχι	Σε ορισμένες περιπτώσεις
Πίνακες δρομολογίων		✓	
Τιμές εισιτηρίων		✓	
Πρόσθετες πληροφορίες για κάθε δρομολόγιο		✓	
Εταιρίες μεταφορών	✓		
Περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς	✓		
Περισσότερες από μια εταιρίες μεταφοράς	✓		
Συνδυασμένες πληροφορίες			✓
Άλλες πληροφορίες	✓ (κυκλοφοριακή ή κίνηση)		

A.11 Πίνακας A.11: Πληροφορίες που παρέχει το σύστημα TravInfo

Υπηρεσίες	Ναι	Όχι
Αναζήτηση		✓
Σχεδιασμός ταξιδιού		✓

A.12 Πίνακας A.12: Υπηρεσίες που παρέχει το σύστημα TravInfo

A.1.2.4 TranStar

A.1.2.4.1 Περιγραφή

Το **TranStar** [20] είναι Σύστημα Σχεδιασμού Ταξιδιών για την περιοχή Bay του San Francisco. Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό ταξιδιών για ένα ή περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς και εταιρίες. Το σύστημα ξεκίνησε περιλαμβάνοντας τις τέσσερις μεγαλύτερες εταιρίες συγκοινωνιών της περιοχής και ο στόχος είναι να συμπεριληφθούν όλες.

Το σύστημα αναπτύχθηκε γύρω από μια κεντρική βάση δεδομένων στην οποία έχουν πρόσβαση ταξιδιωτικοί πράκτορες προκειμένου να παρέχουν υπηρεσίες στους πελάτες τους. Η συντήρηση αυτής της βάσης δεδομένων απαιτεί από τις εταιρίες να εισάγουν σ' αυτή πληροφορίες για τα δρομολόγια τους και τις υπόλοιπες υπηρεσίες τους. Επιπλέον οι εταιρίες πρέπει να φροντίζουν για την ενημέρωση των πληροφοριών ώστε να είναι ακριβή.

Κατά την εξέλιξη του συστήματος προστέθηκε η δυνατότητα πρόσβασης σ' αυτό μέσω του Παγκόσμιου Δικτυακού Ιστού [20] ώστε να είναι δυνατή η χρησιμοποίηση του από το ευρύ κοινό. Μέσω μιας ιστοσελίδας, ένας χρήστης του συστήματος μπορεί να προσδιορίσει την αφετηρία και τον προορισμό του ταξιδιού του καθώς και ένα σύνολο από προτιμήσεις. Το σύστημα αναλαμβάνει να αναζητήσει στη βάση δεδομένων δρομολόγια για την κατασκευή σχεδίων ταξιδιού που θα ανταποκρίνονται στις προτιμήσεις του χρήστη.

Τα κριτήρια για την αναζήτηση μπορεί να είναι ένα από τα παρακάτω η και κάποιος συνδυασμός τους:

- **Ημερομηνία και ώρα εκκίνησης**
- **Χρονική στιγμή άφιξης**
- **Χρονική διάρκεια**
- **Πλήθος μετεπιβιβάσεων**
- **Κατηγορία ναύλου**

A.1.2.4.2 Αξιολόγηση

Το σύστημα TranStar πλησιάζει σε αυτό που ορίσαμε ως σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών. Ωστόσο ένα σύνολο από μειονεκτήματα μειώνουν τη σημαντικότητά του.

Καταρχήν καλύπτει μια μικρή περιοχή χρησιμοποιώντας πληροφορίες για ορισμένες μόνο εταιρίες μεταφοράς με αποτέλεσμα να μην περιλαμβάνει όλα τα είδη μέσω μεταφοράς. Το σύστημα δεν διαθέτει ένα σύνολο προορισμών από τους οποίους να μπορεί να επιλέξει ο χρήστης. Έτσι από τη μία ο χρήστης δεν γνωρίζει με ακρίβεια σε ποιες περιοχές μπορεί να ταξιδέψει ενώ πρέπει να γνωρίζει με αρκετά μεγάλη ακρίβεια το όνομα του προορισμού του.

Το σύνολο των κριτηρίων είναι πιθανόν να μην καλύπτουν όλες τις προτιμήσεις των χρηστών αφού δεν παρέχεται η δυνατότητα να επιλεγούν συγκεκριμένα μέσα μεταφοράς και εταιρίες. Επιπλέον δεν παρέχεται η δυνατότητα βελτιστοποίησης του ταξιδιού με βάση το κόστος.

Σημείο πρόσβασης	Ναι	Όχι
Σπίτι	✓	
Χώρος εργασίας	✓	

Μεταπτυχιακή εργασία

Σταθμοί μέσων μεταφοράς		✓
Οχήματα		✓
Δημόσιοι χώροι		✓
Κινητές μονάδες		✓

A.13 Πίνακας A.13: Σημεία πρόσβασης του συστήματος TraStar

Μέσο πρόσβασης	Ναι	Όχι
Τηλέφωνο		✓
Υπολογιστής	✓	
Περίπτερο πληροφοριών		✓
Οθόνες		✓

A.14 Πίνακας A.14: Μέσα πρόσβασης του συστήματος TranStar

Παρεχόμενες πληροφορίες	Ναι	Όχι	Σε ορισμένες περιπτώσεις
Πίνακες δρομολογίων		✓	
Τιμές εισιτηρίων		✓	
Πρόσθετες πληροφορίες για κάθε δρομολόγιο		✓	
Εταιρίες μεταφορών		✓	
Περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς	✓		
Περισσότερες από μια εταιρίες μεταφοράς	✓		
Συνδυασμένες πληροφορίες	✓		
Άλλες πληροφορίες		✓	

A.15 Πίνακας A.15: Πληροφορίες που παρέχει το σύστημα TranStar

Υπηρεσίες	Ναι	Όχι
Αναζήτηση		✓
Σχεδιασμός ταξιδιού	✓	

A.16 Πίνακας A.16: Υπηρεσίες που παρέχει το σύστημα TranStar

Προτιμήσεις χρηστών για υπηρεσίες σχεδιασμού ταξιδιού	Ναι	Όχι
Αφιετηρία	✓	
Προορισμός	✓	
Μέσα μεταφοράς		✓
Εταιρίες μεταφοράς		✓
Διάρκεια	✓	
Κόστος		✓
Ενδιάμεσοι σταθμοί		✓

Α.17 Πίνακας Α.17: Προτιμήσεις των χρηστών για υπηρεσίες σχεδιασμού ταξιδιών στο σύστημα TranStar

A.2 In-Terminal / Wayside συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών

Τα **In-Terminal/Wayside** συστήματα παρέχουν πληροφορίες σε ταξιδιώτες κατά τη διάρκεια του ταξιδιού τους. Ένας ταξιδιώτης μπορεί να έχει πρόσβαση σε τέτοια συστήματα είτε σε κάποιο ενδιάμεσο σταθμό του ταξιδιού είτε σε συγκεκριμένα σημεία κατά μήκος της διαδρομής που ακολουθείται. Για τη μετάδοση αυτών των πληροφοριών χρησιμοποιούνται μέσα όπως πίνακες ηλεκτρονικών ενδείξεων, περίπτερα πληροφοριών και κλειστά κυκλώματα τηλεόρασης. Οι υπηρεσίες που παρέχονται περιλαμβάνουν πληροφόρηση για ώρες άφιξης και αναχώρησης μέσω μεταφοράς αλλά και πληροφόρηση παρόμοια με τα Pre-Trip συστήματα.

A.2.1 Εξέλιξη

Από τον Ιανουάριο του 1996 υπάρχει μια σημαντική εξέλιξη στην ανάπτυξη τεχνολογιών για την παροχή ταξιδιωτικών πληροφοριών κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού (**en-route information**). Πολλές εταιρίες μεταφορών άρχισαν να χρησιμοποιούν **Συστήματα Εντοπισμού Θέσης Οχημάτων (Automated Vehicle Locating-AVL Systems)** για την ανάπτυξη συστημάτων πληροφόρησης ταξιδιωτών. Ο στόχος όλων των προσπαθειών είναι η παροχή, σε πραγματικό χρόνο, πληροφοριών για τους χρόνους αναχώρησης και άφιξης λεωφορείων, τραίνων και άλλων μέσων μεταφοράς.

Ως κύριο μέσο για τη μετάδοση της πληροφορίας σε In-Terminal/Wayside συστήματα χρησιμοποιήθηκαν περίπτερα πληροφοριών. Η εμπειρία από τη χρησιμοποίηση περιπτερών πληροφοριών οδήγησε τις εταιρίες σε εξαγωγή συμπερασμάτων για τη χρησιμότητά τους. Για παράδειγμα η Seattle Metro καθόρισε ότι

η θέση του περιπτέρου αλλά και το περιεχόμενο της πληροφορίας είναι αποφασιστικής σημασίας. Η υπηρεσία μεταφορών του Ann Arbor στο Michigan θεωρεί ότι είναι πιο σημαντικό να γίνει πρώτα η ανάπτυξη ιστοσελίδας ώστε το σύστημα να είναι προσπελάσιμο μέσω του Παγκόσμιου Δικτυακού Ιστού και ότι τα περίπτερα πληροφοριών πρέπει να έχουν την ίδια διεπιφάνεια χρήσης με την ιστοσελίδα. Επιπλέον θεωρεί ότι το κλειδί για την επιτυχία των περιπτέρων είναι η παροχή υπηρεσιών σχεδιασμού ταξιδιών χρησιμοποιώντας πληροφορία πραγματικού χρόνου.

A.2.2 Παραδείγματα εφαρμογών

A.2.2.1 Talking Kiosk

A.2.2.1.1 Περιγραφή

Το “**Baruch College Computer Center for Visually Impaired People**” [24] σε συνεργασία με την υπηρεσία σιδηροδρόμου του Long Island της Νέας Υόρκης (**LIRR**) [26] ανέπτυξαν το *Talking Directory Display System (TDDS)*. Το κωδικό όνομα του συστήματος είναι “*Talking Kiosk*” [25]. Το Baruch College [23] είναι υπεύθυνο για τη σχεδίαση, την ανάπτυξη και τη συντήρηση του συστήματος ενώ η υπηρεσία σιδηροδρόμων για την εγκατάσταση και την προώθηση του.

Το σύστημα σχεδιάστηκε για να βοηθάει ταξιδιώτες με προβλήματα όρασης που βρίσκονται στο σταθμό Penn στη Νέα Υόρκη. Το σύστημα αποτελείται από έναν χάρτη του σταθμού και ένα πληκτρολόγιο ίδιο με αυτό ενός τηλεφώνου. Ο χάρτης είναι απτικός. Δηλαδή αγγίζοντας ο χρήστης ένα σημείο πάνω σ’ αυτόν, ενεργοποιείται μια λειτουργία του συστήματος. Ένας χρήστης του συστήματος μπορεί να χρησιμοποιήσει τον ένα (χάρτη) ή το άλλο (πληκτρολόγιο) τρόπο ή και τους δύο και να πάρει τις πληροφορίες που παρέχει το σύστημα.

A.2.2.1.2 Πως παρέχονται οι πληροφορίες

Οι πληροφορίες μπορεί να προσπελαστούν με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι μέσω ενός συστήματος επιλογών ηχητικών μηνυμάτων που ενεργοποιείται χρησιμοποιώντας το πληκτρολόγιο. Ο δεύτερος είναι μέσω του απτικού χάρτη που ενεργοποιείται αγγίζοντας ένα σημείο πάνω σ’ αυτόν (touch and tell mode). Με το δεύτερο τρόπο τρία διαφορετικά είδη πληροφοριών είναι διαθέσιμα :

- **Αγγίζοντας ο χρήστης ένα σημείο πάνω στο χάρτη, ακούγεται το όνομα αυτού του σημείου του σταθμού.**
- **Αν ο χρήστης κρατήσει το δάχτυλό του πάνω στο χάρτη, θα ακούσει περισσότερες πληροφορίες για το πως μπορεί να φτάσει στο σημείο που αγγίζει.**

- **Αν συνεχίσει να έχει το δάχτυλό του τοποθετημένο σ' αυτό το σημείο θα ακούσει πληροφορίες για τις υπηρεσίες που παρέχονται σ' αυτό το σημείο.**

Χρησιμοποιώντας το σύστημα, ο χρήστης μπορεί εύκολα να βρει πως μπορεί να μεταβεί σε ένα συγκεκριμένο σημείο μέσα στο σταθμό. Όλα τα μηνύματα που ακούγονται, ταυτόχρονα προβάλλονται και σε μια οθόνη με μεγάλα γράμματα ώστε να μπορούν να διαβαστούν και από χρήστες με μειωμένη όραση αλλά και από χρήστες χωρίς προβλήματα όρασης.

A.2.2.1.3 Τι πληροφορίες παρέχονται

Στην πληροφορία που παρέχεται περιλαμβάνεται μια γενική άποψη του σταθμού και πλήρεις πληροφορίες για το σιδηρόδρομο του Long Island. Επίσης περιλαμβάνεται λίστα με τους προορισμούς που εξυπηρετεί η LIRR καθώς και οι πύλες επιβίβασης (στο σταθμό) γι' αυτούς τους προορισμούς, τα σημεία έκδοσης εισιτηρίων, οι χώροι αναμονής για την αναχώρηση κ.α.

Το σύστημα σχεδιάστηκε ώστε να μπορεί εύκολα να ενσωματώσει και άλλου είδους πληροφορίες, όπως πίνακες δρομολογίων, και κόστος εισιτηρίων. Επίσης, το προσωπικό του σταθμού έχει τη δυνατότητα να ηχογραφεί μηνύματα στο σύστημα για την παροχή οποιασδήποτε έκτακτης πληροφορίας σχετικά με τη διαμονή των επιβατών στο σταθμό.

A.2.2.1.4 Αξιολόγηση

Το σύστημα Talking Kiosk δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως σύστημα σχεδιασμού ταξιδιού αλλά είναι ένα αντιπροσωπευτικό είδος συστήματος παροχής πληροφοριών σε ταξιδιώτες. Επιπλέον μπορεί να χαρακτηριστεί και ως αντιπροσωπευτικό για την κατηγορία In-terminal / Wayside. Γι' αυτούς τους λόγους γίνεται η αναφορά του.

A.2.2.2 Ann Arbor, Michigan

A.2.2.2.1 Περιγραφή

Η υπηρεσία μεταφορών του Ann Arbor ανέπτυξε το σύστημα **AOS (Advanced Operating System)** [28] για την παροχή πληροφοριών σε επιβάτες. Το σύστημα AOS βασίζεται σε ένα AVL σύστημα από το οποίο λαμβάνονται δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται για την πληροφόρηση των επιβατών σχετικά με ώρες αναχώρησης και άφιξης, καθυστερήσεις σε δρομολόγια κ.α. Επιπλέον, το σύστημα μπορεί να παρέχει πληροφορίες, σε πραγματικό χρόνο, για συμβάντα που επηρεάζουν την κυκλοφορία των οχημάτων. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα σε επιβάτες να αλλάζουν τη διαδρομή που έχουν σχεδιάσει, όταν κάποιο γεγονός προκαλεί σημαντική καθυστέρηση σε κάποιο δρομολόγιο.

A.2.2.2.2 Επικοινωνίες

Για την επικοινωνία των οχημάτων, κάθε λεωφορείο είναι εφοδιασμένο με ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας και έναν υπολογιστή. Το σύστημα χρησιμοποιείται τόσο για τη μετάδοση δεδομένων, όσο και για φωνητικές επικοινωνίες. Σε κανονική λειτουργία το σύστημα χρησιμοποιείται για την αποστολή δεδομένων για την κατάσταση και θέση του λεωφορείου. Αυτή η πληροφορία μεταδίδεται μέσα από ένα κανάλι δεδομένων. Όταν ο οδηγός του οχήματος ζητάει φωνητική επικοινωνία, το σύστημα επικοινωνίας χρησιμοποιεί ένα κανάλι μετάδοσης φωνής. Οι οδηγοί έχουν πρόσβαση στο σύστημα επικοινωνιών μέσω ενός **κινητού τερματικού (Mobile Display Terminal - MDT)** που διαθέτει μια γραφική διεπιφάνεια χρήσης.

A.2.2.2.3 Το σύστημα AVL

Η θέση κάθε λεωφορείου προσδιορίζεται από ένα **Δορυφορικό Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (Global Positioning Satellite – GPS - System)**. Το MDT διατηρεί σε μνήμη τα προγράμματα δρομολογίων. Μέσω του συστήματος GPS κάθε λεωφορείο γνωρίζει με ακρίβεια το χρόνο. Ένα λεωφορείο συγκρίνει τους προγραμματισμένους χρόνους και θέσεις με τον πραγματικό χρόνο και τη θέση του και μπορεί να διαπιστώσει αν έχει καθυστερήσει σε σχέση με το προγραμματισμένο δρομολόγιο. Σε περίπτωση που υπάρχει καθυστέρηση, ο υπολογιστής του οχήματος ενημερώνει τον οδηγό. Επιπλέον, το σύστημα AVL ενημερώνει το σύστημα πληροφόρησης στους σταθμούς των λεωφορείων αλλά και τους επιβάτες μέσα στο λεωφορείο για την καθυστέρηση και την αναμενόμενη ώρα άφιξης.

A.2.2.2.4 Πληροφόρηση των επιβατών

Οι επιβάτες ενημερώνονται τόσο στους σταθμούς των λεωφορείων αλλά και πάνω στα οχήματα κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Πάνω στο λεωφορείο οι επιβάτες ενημερώνονται για τον επόμενο ενδιάμεσο σταθμό του δρομολογίου, για την τρέχουσα θέση του οχήματος αλλά και για γεγονότα που μπορεί να συμβούν, όπως πιθανή καθυστέρηση λόγω κακών καιρικών συνθηκών. Οι επιβάτες που περιμένουν στους σταθμούς ενημερώνονται για τα δρομολόγια, για τις ώρες άφιξης και για την τρέχουσα θέση των λεωφορείων για συγκεκριμένα δρομολόγια.

A.2.3 Συμπεράσματα

Οι εφαρμογές των In-terminal/Wayside συστημάτων δεν παρουσιάζουν μεγάλη συνάφεια με συστήματα σχεδιασμού ταξιδιών που είναι αυτά που μας ενδιαφέρουν περισσότερο σ' αυτή την ανασκόπηση. Τα δύο συστήματα που περιγράψαμε στις προηγούμενες ενότητες είναι χαρακτηριστικά αυτής της κατηγορίας. Τέτοια συστήματα συνήθως είναι εγκατεστημένα σε σταθμούς μέσω μεταφοράς. Επίσης για την λειτουργία τους συνήθως απαιτείται η συνεργασία αυτών των συστημάτων με συστήματα που είναι εγκατεστημένα πάνω σε μέσα μεταφοράς (In-vehicle συστήματα)

Η πληροφορία που παρέχεται έχει σκοπό τη διευκόλυνση της παραμονής ή της διέλευσης των επιβατών σε ένα σταθμό (Talking Kiosk). Η πληροφόρηση που δίδεται από αυτά τα συστήματα κυρίως αφορά :

- Πληροφορίες για την εξυπηρέτηση προσωπικών αναγκών του κοινού (είσοδοι και έξοδοι του σταθμού, κυλικείο, τουαλέτες κτλ).
- Πληροφορίες για την εξυπηρέτηση των ταξιδιωτικών αναγκών των επιβατών (εκδοτήρια εισιτηρίων, πύλες αναχώρησης των μέσων μεταφοράς, χώροι αναμονής, παραλαβή αποσκευών).
- Πληροφορίες για την εξέλιξη ενός ταξιδιού (το επόμενο μέσο μεταφοράς σε περίπτωση μετεπιβίβασης, αναμενόμενη ώρα άφιξης των δρομολογίων, ενημέρωση για πιθανές καθυστερήσεις).

Για την ανάπτυξη αυτών των συστημάτων γίνεται σημαντική εργασία και έρευνα για την ανάπτυξη Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης κινούμενων Οχημάτων (AVL). Συνήθως τα AVL συστήματα βασίζονται σε Δορυφορικά Συστήματα Εντοπισμού Γεωγραφικής Θέσης (Global Positioning Systems). Επιπλέον, αναπτύσσονται συστήματα καταγραφής της πορείας οχημάτων αλλά και συστήματα ασύρματης μετάδοσης δεδομένων και φωνής για την επικοινωνία των οχημάτων με σταθερά κέντρα παρακολούθησης. Η ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών καθιστά δυνατή την ενημέρωση των επιβατών σε σταθμούς μεταφοράς για την εξέλιξη δρομολογίων στα οποία περιμένουν να επιβιβαστούν. Επίσης, δίνει τη δυνατότητα σε επιβάτες που ταξιδεύουν να έχουν άμεση πληροφόρηση για την εξέλιξη του ταξιδιού τους. Αυτή η δυνατότητα αφορά κυρίως τα In-vehicle συστήματα που εξετάζουμε στην επόμενη ενότητα.

A.3 In -Vehicle συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών

Τα In-Vehicle συστήματα, όπως και τα In-Terminal συστήματα είναι συστήματα που παρέχουν πληροφορίες σε ταξιδιώτες κατά την διάρκεια της εξέλιξης του ταξιδιού τους. Η διαφορά μεταξύ των δύο τύπων συστημάτων είναι ότι στα In-Terminal συστήματα η πληροφορία μεταδίδεται σε σταθερούς σταθμούς απ' όπου είναι διαθέσιμη στους ταξιδιώτες, ενώ στα In-Vehicle συστήματα η πληροφορία μεταδίδεται σε κινητούς σταθμούς που βρίσκονται πάνω σε οχήματα. Αυτό το χαρακτηριστικό των In-Vehicle συστημάτων περιπλέκει τις μεθόδους επικοινωνίας μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων ενός συστήματος.

Το κίνητρο για την ανάπτυξη **In-Vehicle** συστημάτων είναι η δυνατότητα να παρέχεται χρήσιμη πληροφορία σε επιβάτες πάνω στα μέσα μεταφοράς κατά τη διάρκεια του ταξιδιού.

Όπως και με τα **In-Terminal/Wayside** συστήματα πληροφοριών, η δυνατότητα για την παροχή πληροφοριών (είτε με μορφή ανακοινώσεων, είτε με οπτικά μέσα) κατά τη διάρκεια ταξιδιών πάνω στα μέσα μεταφοράς, γίνεται εφικτή με την ανάπτυξη και εγκατάσταση **AVL** συστημάτων. Η εφαρμογή των **In-terminal** συστημάτων εκτός από το ότι βελτιώνει τις υπηρεσίες που παρέχονται στο επιβατικό κοινό, επιτρέπει στους

οδηγούς των οχημάτων να συγκεντρώνονται στην οδήγηση αποφεύγοντας έτσι την ενόχλησή τους από τους επιβάτες.

Τα μέσα που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση των In-terminal πληροφοριών είναι κυρίως αυτόματα συστήματα ηχητικών ανακοινώσεων, και οθόνες πάνω σε οχήματα. Και με τα δύο μέσα μεταδίδονται κυρίως πληροφορίες σχετικές με την τοποθεσία που βρίσκονται τα οχήματα καθώς ταξιδεύουν. Η επεξεργασία αυτών των πληροφοριών γίνεται από μονάδες πάνω στα οχήματα.

Μια πρόκληση που αντιμετωπίστηκε κατά την ανάπτυξη αυτών των συστημάτων είναι η βελτίωση της ακρίβειας των πληροφοριών ώστε οι πληροφορίες που δίνονται στους επιβάτες πάνω στα μέσα μεταφοράς καθώς ταξιδεύουν να είναι ακριβείς. Ιδιαίτερη σημασία έχει η ακριβής πληροφόρηση για τον επόμενο ενδιάμεσο σταθμό ενός δρομολογίου. Η ακρίβεια της πληροφορίας που παρέχεται πολλές φορές σχετίζεται με το σύστημα εντοπισμού θέσης του οχήματος, αλλά μπορεί να σχετίζεται και με άλλους παράγοντες, όπως η γεωγραφική ακρίβεια των δεδομένων σε μια βάση ενός ταξιδιωτικού πράκτορα ή μιας εταιρίας μεταφορών.

Ένα άλλο θέμα που αντιμετωπίστηκε είναι η ενοποίηση των AVL συστημάτων με συστήματα παροχής πληροφοριών σε σταθμούς λεωφορείων, ώστε να παρέχονται ακριβείς πληροφορίες σε επιβάτες που περιμένουν σε σταθμούς λεωφορείων. Με αυτή την ενοποίηση η ανανέωση των πληροφοριών σε σταθμούς γίνεται αυτόματα. Επιπλέον, πολλές εταιρίες μεταφορών επαυξάνουν τις δυνατότητες των συστημάτων τους ώστε να παρέχουν στους επιβάτες, που ταξιδεύουν σε κάποιο δρομολόγιο, πληροφορίες σχετικές με το επόμενο μέσο μεταφοράς που πιθανόν να πρέπει να χρησιμοποιήσουν.

A.3.1 Παραδείγματα εφαρμογών

Όπως και στα In-terminal συστήματα, έτσι και τα In-vehicle συστήματα βασίζουν την ανάπτυξή τους σε AVL συστήματα, αφού η κύρια υπηρεσία που παρέχουν είναι η πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο για την εξέλιξη δρομολογίων μέσω μεταφοράς σε δημόσιες συγκοινωνίες. Αυτά τα συστήματα δεν μπορούν να ενταχθούν στην κατηγορία των συστημάτων σχεδιασμού ταξιδιών. Ωστόσο η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα AVL συστήματα, παρουσιάζει ενδιαφέρον και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό ταξιδιών στις περιπτώσεις που χρειάζεται πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο. Σ' αυτή την ενότητα παρουσιάζουμε μια σύντομη περιγραφή για εργασίες που έχουν γίνει και δίνουμε έμφαση στις υπηρεσίες που παρέχουν και στο είδος της πληροφόρησης. Ο σκοπός αυτής της παρουσίασης είναι κυρίως η δημιουργία μιας συνολικής άποψης για τη δουλειά που έχει γίνει στον τομέα των συστημάτων πληροφόρησης ταξιδιωτών.

A.3.1.1 New Jersey

A.3.1.1.1 Λεωφορείο

Η εταιρία **New Jersey Transit** [32] δοκίμασε δύο διαφορετικές τεχνολογίες για την παροχή ταξιδιωτικών πληροφοριών πάνω σε μέσα μεταφοράς. Ο στόχος ήταν η ανάπτυξη ενός συστήματος ηχητικών ανακοινώσεων για την βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών σε συγκοινωνίες με λεωφορεία.

Στην πρώτη προσπάθεια δοκίμασαν ένα σύστημα μέτρησης οδομετρικών αποστάσεων σε συνεργασία με ένα σύστημα εντοπισμού θέσεων (GPS). Ωστόσο το πρόβλημα που αντιμετώπισαν ήταν ότι αποκλείσεις των οχημάτων από την προγραμματισμένη πορεία οδηγούσαν σε λανθασμένο υπολογισμό της θέσης τους με αποτέλεσμα να παρέχονται λανθασμένες πληροφορίες.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, εξέλιξαν το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε στην πρώτη προσπάθεια και το εγκατέστησαν σε ένα λεωφορείο που εκτελεί ένα αντιπροσωπευτικό δρομολόγιο για την αξιολόγηση του. Σκοπός της νέας προσπάθειας ήταν η επίλυση των προβλημάτων εντοπισμού.

Το εξελιγμένο σύστημα χρησιμοποιεί και πάλι το σύστημα οδομετρικών αποστάσεων αλλά είναι εξοπλισμένο με ένα σύστημα υπολογισμού θέσης (dead-reckoning system) και ένα GPS. Το νέο σύστημα έχει τη δυνατότητα να ανακοινώνει και να παρουσιάζει πληροφορίες για την επόμενη στάση και την τρέχουσα θέση του λεωφορείου, αλλά και να ειδοποιεί τον οδηγό για πιθανές αποκλείσεις από την προγραμματισμένη πορεία.

A.3.1.1.2 Τρένο

Η εταιρία **New Jersey Transit** [32] σχεδίασε ένα σύστημα αντίστοιχο με αυτό των λεωφορείων για τρένα. Τα βαγόνια των τρένων εξοπλίστηκαν με ένα σύστημα παροχής πληροφοριών κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Για την παρουσίαση των πληροφοριών χρησιμοποιήθηκαν οθόνες υγρών κρυστάλλων. Το σύστημα παρέχει πληροφορίες για τον επόμενο σταθμό καθώς το τρένο πλησιάζει σ' αυτόν. Οι πληροφορίες ανανεώνονται αυτόματα από ένα σύστημα εντοπισμού θέσης πάνω στο τρένο. Όταν το σύστημα δεν δίνει πληροφορίες για τον επόμενο σταθμό παρέχει διάφορες άλλες πληροφορίες που μπορεί να αφορούν τους επιβάτες.

A.3.1.2 New York City

Η εταιρία **New York City Transit** [27] ανέλαβε την ανάπτυξη ενός συστήματος παροχής πληροφοριών σε επιβάτες στα βαγόνια του υπόγειου σιδηροδρόμου. Το κύριο μέσο για τη μετάδοση της πληροφορίας είναι οθόνες διόδων εκπομπής φωτός (LED displays) στις δύο άκρες των βαγονιών.

Η πληροφορία που παρέχεται περιλαμβάνει ειδοποίηση για τον επόμενο σταθμό, την πλευρά του τρένου από όπου θα ανοίξουν οι πόρτες στον επόμενο σταθμό και άλλες πληροφορίες που αφορούν τους επιβάτες. Επιπλέον, χάρτες πάνω από τις πόρτες των βαγονιών πληροφορούν τους επιβάτες για τη θέση του συρμού σε σχέση με τον τρέχον ή τον επόμενο σταθμό αλλά και την κατεύθυνση προς την οποία ταξιδεύει το τρένο.

A.3.1.3 Ann Arbor, Michigan

Ο οργανισμός **Ann Arbor Transportation Authority (AATA)** στο **Michigan** εγκατέστησε ένα **GPS-AVL** σύστημα για την παροχή πληροφοριών σε επιβάτες που ταξιδεύουν στην περιοχή με μέσα μεταφοράς της εταιρίας. Οι επιβάτες μπορούν να λαμβάνουν πληροφορίες για τον επόμενο σταθμό καθώς και πληροφορίες μετεπιβιβάσεων. Με τη δεύτερη υπηρεσία, οι επιβάτες μπορούν να ενημερώνονται για μετεπιβιβάσεις σε σημεία διασταύρωσης δρομολογίων.

Μια ειδική υπηρεσία του συστήματος μετεπιβιβάσεων είναι η δυνατότητα των οδηγών να εξυπηρετούν αιτήσεις για μετεπιβιβάσεις. Όταν ένας οδηγός λεωφορείου λαμβάνει μια αίτηση για μετεπιβίβαση, εισάγει σε μια κονσόλα τις απαραίτητες πληροφορίες και ένας υπολογιστής τις επεξεργάζεται και αποφασίζει αν μπορεί να γίνει η επιθυμητή μετεπιβίβαση λαμβάνοντας υπόψη τα δρομολόγια του λεωφορείου που βρίσκεται ο επιβάτης και των λεωφορείων με τα δρομολόγια των οποίων διασταυρώνεται. Σε περίπτωση που η μετεπιβίβαση μπορεί να γίνει ο επιβάτης ενημερώνεται και ο οδηγός του επόμενου λεωφορείου ειδοποιείται να περιμένει για να γίνει η μετεπιβίβαση.

A.3.1.4 London Ontario

Η **London Transit Commission** [34] ολοκλήρωσε την ανάπτυξη ενός AVL συστήματος και ολοκλήρωσε την υποδομή για την ανάπτυξη ενός συστήματος παροχής πληροφοριών πάνω σε μέσα μεταφοράς αλλά και πληροφορίες για πριν την εκκίνηση ενός ταξιδιού.

Το σημαντικό χαρακτηριστικό του In-vehicle συστήματος πληροφόρησης ταξιδιωτών του London Transit Commission είναι η δυνατότητα ειδοποίησης των επιβατών για μετεπιβιβάσεις από λεωφορείο σε λεωφορείο. Με αυτή την υπηρεσία ένας επιβάτης μπορεί να ζητήσει από τον οδηγό ενός λεωφορείου να ειδοποιήσει τον οδηγό ενός άλλου λεωφορείου σε δρομολόγιο που διασταυρώνεται με το δρομολόγιο του δικού του λεωφορείου ότι επιθυμεί να μετεπιβιβαστεί. Ο οδηγός εισάγει την αίτηση σε μια κονσόλα στο λεωφορείο και ο οδηγός στο λεωφορείο του διασταυρούμενου δρομολογίου ειδοποιείται να περιμένει για κάποιο χρονικό διάστημα στο σημείο μετεπιβίβασης.

A.3.1.5 Συμπεράσματα

Τα In-Vehicle καθώς και τα In-Terminal / Wayside συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών είναι συστήματα που χρησιμοποιούνται για την παροχή πληροφοριών σε επιβάτες καθ' όλη τη διάρκεια εξέλιξης του ταξιδιού τους. Τα συστήματα της πρώτης κατηγορίας προσανατολίζονται κυρίως στην πληροφόρηση ταξιδιωτών πάνω στα μέσα μεταφοράς καθώς εξελίσσεται ένα ταξίδι, ενώ τα συστήματα της δεύτερης κατηγορίας προσανατολίζονται στην πληροφόρηση επιβατών σε σταθμούς μέσων μεταφοράς. Έτσι τα συστήματα της δεύτερης κατηγορίας μπορούν να θεωρηθούν και Pre-Trip συστήματα. Βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων και των δύο κατηγοριών είναι ότι παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την εξέλιξη δρομολογίων. Για να το πετύχουν αυτό, εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες που παρέχονται από δορυφορικά συστήματα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης (GPS, AVL) για την παρακολούθηση των μέσων μεταφοράς καθώς αυτά κινούνται. Επιπλέον, χρησιμοποιούν τεχνολογίες για ασύρματη

μετάδοση δεδομένων (ραδιοσυχνότητες, δορυφορικές επικοινωνίες) για την μετάδοση πληροφοριών από και προς κινούμενες μονάδες (οχήματα).

Συστήματα αυτών των κατηγοριών αναπτύχθηκαν κυρίως για χερσαία δημόσια μέσα μεταφοράς (λεωφορεία, τρένα) αλλά και για χερσαία ιδιωτικά μέσα μεταφοράς (αυτοκίνητα). Στην περίπτωση των αυτοκινήτων, τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση των οδηγών σχετικά με την κυκλοφοριακή κίνηση και την κατάσταση των οδικών αρτηριών.

Ένα παρόμοιο σύστημα αναπτύχθηκε για θαλάσσια μέσα μεταφοράς στο πρόγραμμα **SIAMS** [30], [57]. Αυτό το σύστημα αφορά την παροχή πληροφοριών σχετικά με τη γεωγραφική θέση πλοίων καθώς αυτά ταξιδεύουν. Χρησιμοποιώντας αυτό το σύστημα, είναι δυνατή η ανάπτυξη εφαρμογών για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τη θέση και την πορεία πλοίων, καθώς και πληροφοριών που αφορούν την απόσταση πλοίων από συγκεκριμένα λιμάνια και τον αναμενόμενο χρόνο άφιξης.

A.4 Multimodal συστήματα πληροφόρησης ταξιδιωτών

Ένας κοινός παράγοντας στα Multimodal Συστήματα Πληροφόρησης Ταξιδιωτών είναι ότι συνδυάζουν πληροφορίες για περισσότερες από μία εταιρίες συγκοινωνιών μαζί με πληροφορία πραγματικού χρόνου ή στατική πληροφορία για κυκλοφοριακή κίνηση. Οι μέθοδοι για τη συλλογή, την επεξεργασία και τη μετάδοση αυτών των πληροφοριών ποικίλουν. Σε πολλές περιπτώσεις, η ευθύνη για την παροχή των πληροφοριών παραμένει στους παροχείς των υπηρεσιών τις οποίες αφορά η πληροφορία.

Τα συστήματα αυτής της κατηγορίας παρέχουν πληροφορίες στατικές ή σε πραγματικό χρόνο. Οι πληροφορίες αφορούν υπηρεσίες συγκοινωνιών και την κυκλοφοριακή κίνηση σε άξονες μεταφορών, επιτρέποντας τους επιβάτες να κάνουν τις καλύτερες επιλογές για τα μέσα μεταφοράς τόσο πριν την εκκίνηση αλλά και κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού. Τα πιο συνηθισμένα μέσα που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση των πληροφοριών είναι τηλεφωνικές γραμμές, κιόσκια πληροφοριών και ο Παγκόσμιος Δικτυακός Ιστός.

A.4.1 Παραδείγματα εφαρμογών

A.4.1.1 Traveler Information Showcase

A.4.1.1.1 Περιγραφή

Το σύστημα Traveler Information Showcase (TIS) ξεκίνησε από την Ομοσπονδιακή Διοίκηση Εθνικών οδών (Federal Highway Administration - FHA) [51], την Υπηρεσία Μεταφορών της πολιτείας της Γεωργίας (Georgia Department of Transportation) [52] την Ομοσπονδιακή Διοίκηση Μεταφορών (Federal Transit Administration - FTA) [53] και άλλες υπηρεσίες και οργανισμούς που δραστηριοποιούνται στο χώρο των μεταφορών και συγκοινωνιών στις ΗΠΑ. Το TIS είναι ένα σύστημα επίδειξης της εκμετάλλευσης

Έξυπνων Συστημάτων Μεταφορών (Intelligent Transportation Systems)⁸ [54] για την παροχή υπηρεσιών στο επιβατικό κοινό.

Το TIS επιτρέπει σε κατοίκους και επισκέπτες της Atlanta να χρησιμοποιούν υπολογιστές χειρός, συστήματα πλοήγησης, το Διαδίκτυο, καλωδιακή τηλεόραση και περίπτερα πληροφοριών για την προσπέλαση ταξιδιωτικών πληροφοριών για την περιοχή.

Η πληροφορία που παρέχεται από το σύστημα περιλαμβάνουν:

- **κυκλοφοριακή κίνηση σε οδικές αρτηρίες**
- **πληροφορίες για έργα που γίνονται σε δρόμους και πληροφορίες για κλειστούς δρόμους**
- **πληροφορίες για σταθμούς τρένων και λεωφορείων**
- **πίνακες δρομολογίων και τιμές εισιτηρίων**
- **αεροπορικά δρομολόγια και πληροφορίες για πτήσεις**

A.4.1.1.2 Υποδομή και τεχνολογία

Η καρδιά του συστήματος είναι ένα υπολογιστικό σύστημα που λειτουργεί σαν εξυπηρετητής αιτήσεων για πληροφορίες από τις συσκευές μέσω των οποίων οι χρήστες έχουν πρόσβαση στο TIS. Η τεχνολογική υποδομή του συστήματος συμπληρώνεται από συστήματα παρακολούθησης για την συλλογή πληροφοριών πραγματικού χρόνου, για την κυκλοφοριακή συμμόρφωση και για άλλα συμβάντα που επηρεάζουν την κυκλοφορία στους δρόμους. Το κεντρικό υπολογιστικό σύστημα που είναι γνωστό ως *fixed-end server* (FES) είναι συμβατό με το **Σύστημα Ελέγχου Κυκλοφορίας (Advanced Traffic Management System - ATMS)** της υπηρεσίας μεταφορών της πολιτείας της Γεωργίας.

Η πρόσβαση στο σύστημα μπορεί να γίνεται χρησιμοποιώντας πέντε διαφορετικές συσκευές:

Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές - Διαδίκτυο

Η ιστοσελίδα του TIS περιέχει χάρτες που παρουσιάζουν την κυκλοφοριακή κίνηση σε πραγματικό χρόνο, δυνατότητες σχεδίασης δρομολογίων, και συνδέσμους στο σύστημα συγκοινωνιών της MARTA [50]

Προσωπικές Συσκευές Επικοινωνίας

⁸ Τα Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών (Intelligent Transportation Systems - ITS) είναι εφαρμογές τηλεπικοινωνιών, πληροφοριακών συστημάτων και υπολογιστών για τις ανάγκες και τα προβλήματα της συγκοινωνιακής υποδομής. Χρησιμοποιώντας αισθητήρες, αυτόματα συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας, και συστήματα πλοήγησης, αυτά τα συστήματα επιδιώκουν να κάνουν τη μετακίνηση ανθρώπων και αγαθών ευκολότερη, ασφαλέστερη και λιγότερο επιβλαβή για το περιβάλλον.

Αυτές οι συσκευές είναι υπολογιστές χειρός που χρησιμοποιούν ασύρματους τρόπους επικοινωνίας για τη σύνδεσή τους με το κεντρικό υπολογιστικό σύστημα. Η πληροφορία που παρέχεται από αυτές τις συσκευές είναι παρόμοια με αυτή του Διαδικτύου.

Συστήματα Πλοήγησης Οχημάτων

Υπολογιστές εγκατεστημένοι σε οχήματα, εφοδιασμένοι με οδικούς χάρτες που χρησιμοποιούνται για την εύρεση διαδρομών από τους οδηγούς. Επιπλέον, μέσω αυτών των συσκευών, παρέχονται πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, για την κυκλοφοριακή κίνηση.

Καλωδιακή Τηλεόραση

Μέσω ενός καναλιού, πληροφορία τύπου pre-trip παρέχεται σε συνδρομητές.

Αλληλεπιδραστική Τηλεόραση

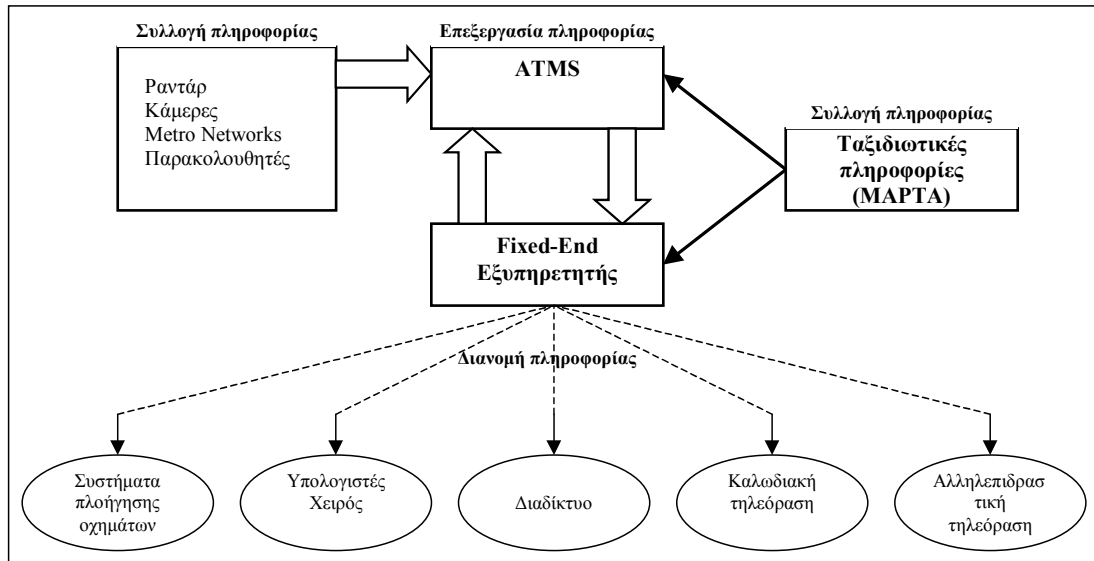
Όλες οι συσκευές, εκτός από την καλωδιακή τηλεόραση, παρέχουν επίσης και πληροφορίες Χρυσού Οδηγού. Σ' αυτές τις πληροφορίες περιλαμβάνονται τοποθεσίες εστιατορίων, νοσοκομείων, θεάτρων, μουσείων κ.α. Επίσης παρέχονται οδηγίες για την μετάβαση σε προορισμούς χρησιμοποιώντας ιδιωτικά ή δημόσια μέσα μεταφοράς.

A.4.1.1.3 Αρχιτεκτονική

Το σύστημα TIS αποτελείται από τρία τμήματα. Κάθε ένα από αυτά επιτελεί μια διαφορετική διεργασία. Αυτές οι διεργασίες είναι:

- **Συλλογή πληροφορίας**
- **Επεξεργασία και χειρισμός δεδομένων**
- **Διανομή πληροφορίας**

Στο Σχήμα A.2 παρουσιάζουμε την αρχιτεκτονική του συστήματος και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων.



Σχήμα Α.2: Αρχιτεκτονική του συστήματος Traveler Information Showcase

Συλλογή πληροφορίας

Η παρακολούθηση των αυτοκινητοδρόμων αποτέλεσε τη μεγαλύτερη εργασία του συστήματος για την παροχή πληροφοριών σχετικές με τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Για τη συλλογή αυτής της πληροφορίας χρησιμοποιούνται αυτόματα συστήματα παρακολούθησης των αυτοκινητόδρομων που έχουν τοποθετηθεί σε στρατηγικά σημεία στην περιοχή της Ατλάντα. Οι μέθοδοι παρακολούθησης που χρησιμοποιούνται είναι οι παρακάτω:

- **Το σύστημα ATMS που παρέχει πληροφορίες για κυκλοφοριακή συμφόρηση και άλλα συμβάντα στους αυτοκινητοδρόμους.**
- **Μονάδες ραντάρ που έχουν τοποθετηθεί σε επιλεγμένα σημεία.**
- **Βιντεοκάμερες που έχουν τοποθετηθεί σε κρίσιμα σημεία και επιτρέπουν την παρακολούθηση της κυκλοφοριακής κίνησης.**
- **Αεροσκάφη της εταιρίας Metro Networks τα οποία είναι εφοδιασμένα με κινητά συστήματα παρακολούθησης.**
- **Εννιά κινητούς παρακολουθητές που κινούνται στους δρόμους και αναφέρουν προβλήματα που δημιουργούνται.**

Επιπλέον το σύστημα παρέχει και άλλες ταξιδιωτικές πληροφορίες οι οποίες συλλέγονται κυρίως από τις υπηρεσίες σχεδιασμού δρομολογίων της MAPTA. Ωστόσο και άλλες πληροφορίες παρέχονται οι οποίες προέρχονται από τα υπάρχοντα συστήματα στα πλαίσια της υποδομής που αναπτύσσεται στην Ατλάντα.

Επεξεργασία δεδομένων

Η επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνονται από τις πηγές που αναφέρουμε παραπάνω, γίνεται από τον εξυπηρετητή **fixed-end server** και το ATMS. Η επεξεργασία συνίσταται στη μορφοποίηση της πληροφορίας ώστε αυτή να είναι προσπελάσιμη από τις διάφορες συσκευές που χρησιμοποιούν οι χρήστες του συστήματος.

Ο εξυπηρετητής παρέχει το υλικό (hardware) και το λογισμικό (software) που είναι απαραίτητο για την συνδεσιμότητα και τις λειτουργίες που πρέπει να υποστηρίζονται για τους χρήστες του συστήματος. Ο εξυπηρετητής υποστηρίζει λειτουργίες για τη συλλογή και την επεξεργασία δεδομένων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα σημείο αποθήκευσης δεδομένων που μπορούν να προσπελαστεί είτε από τους χρήστες του TIS είτε από άλλες εφαρμογές.

Διανομή πληροφορίας

Υπολογιστές χειρός

Για το TIS οι υπολογιστές χειρός χρησιμοποιήθηκαν για διάφορους σκοπούς, όπως διευκόλυνση της πλοήγησης στην περιοχή και άμεση πρόσβαση σε πληροφορίες για τις συγκοινωνίες.

Συστήματα πλοήγησης οχημάτων

Αυτά τα συστήματα είναι υπολογιστές εγκατεστημένοι πάνω σε οχήματα. Μέσω αυτών οι οδηγοί των οχημάτων μπορούν να λαμβάνουν πληροφορίες που τους βοηθάνε στην επιλογή διαδρομών και στην πλοήγηση. Το TIS επιτρέπει τους οδηγούς να επιλέγουν έναν προορισμό και στη συνέχεια να σχεδιάσουν μια διαδρομή βασισμένη σε προτιμήσεις τους, όπως αποφυγή δρόμων με μεγάλη κίνηση. Όταν η διαδρομή έχει επιλεγεί το σύστημα δίνει οδηγίες στον οδηγό είτε προφορικά είτε μέσω ενός γραφικού περιβάλλοντος.

Διαδίκτυο

Οποιοσδήποτε διαθέτει υπολογιστή και πρόσβαση στο Διαδίκτυο μπορεί να έχει πρόσβαση σε πληροφορίες πραγματικού χρόνου για σχεδίαση ταξιδιών στην περιοχή που καλύπτει το TIS. Ο εξυπηρετητής που έχει εγκατασταθεί για τον Παγκόσμιο Δικτυακό Ιστό παρέχει τρεις βασικές υπηρεσίες:

- Έναν χάρτη του οδικού δικτύου στον οποίο παρουσιάζονται πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την κυκλοφοριακή κίνηση.
- Έναν δίαυλο για την μεταβίβαση αιτήσεων προς το fixed-end εξυπηρετητή οι οποίες αφορούν οδηγίες (σχεδιασμό δρομολογίων) για πλοήγηση, πληροφορίες χρυσού οδηγού και άλλες γενικές πληροφορίες.
- Μια ιστοσελίδα με γενικές πληροφορίες για το TIS.

Καλωδιακή τηλεόραση

Μέσω ενός τηλεοπτικού καναλιού, συνδρομητές μπορούν να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες για την κυκλοφοριακή κίνηση και για συμβάντα στους αυτοκινητοδρόμους.

Επιπλέον, μέσω συστημάτων παρακολούθησης με βιντεοκάμερες, οι συνδρομητές μπορούν να παρακολουθούν σε απευθείας σύνδεση τι συμβαίνει σε συγκεκριμένους δρόμους.

Η πληροφορία λαμβάνεται αυτόματα από τον fixed-end εξυπηρετητή και μορφοποιείται σε τηλεοπτικό σήμα για τη μετάδοσή του. Η επεξεργασία της πληροφορίας γίνεται στο Κέντρο Ελέγχου Μεταφορών στην Ατλάντα και από κει μεταδίδεται στο δημόσιο τηλεοπτικό σταθμό της Γεωργίας για την εκπομπή του. Οποιοσδήποτε παροχέας υπηρεσιών καλωδιακής τηλεόρασης διαθέτει κατάλληλο εξοπλισμό, μπορεί να αποκωδικοποιήσει το σήμα και να το εκπέμψει μέσω των δικών του κυκλωμάτων.

Αλληλεπιδραστική τηλεόραση

Αυτό το σύστημα έχει εγκατασταθεί στο ξενοδοχείο Crowne Plaza Ravinia στην Ατλάντα. Οι ένοικοι του ξενοδοχείου μπορούν μέσω τηλεοπτικών συσκευών και χρησιμοποιώντας τηλεχειριστήριο να ζητάνε πληροφορίες ανάλογες με αυτές της καλωδιακής τηλεόρασης και του Διαδικτύου.

Για τη μετάδοση αυτής της πληροφορίας, ένας υπολογιστής λαμβάνει τα δεδομένα από τον fixed-end εξυπηρετητή και τα μεταδίδει σε έναν άλλο υπολογιστή που είναι εγκατεστημένος στο ξενοδοχείο. Ο υπολογιστής του ξενοδοχείου επικοινωνεί με συσκευές που βρίσκονται συνδεδεμένες σε κάθε τηλεοπτική συσκευή και μέσω αυτών η πληροφορία παρουσιάζεται στην οθόνη.

A.4.1.1.4 Αξιολόγηση

Το σύστημα Traveler Information Showcase ολοκληρώνει πολλά συστήματα παροχής πληροφοριών σχετικών με μεταφορές και συγκοινωνίες. Οι υπηρεσίες που παρέχονται είναι τοπικού χαρακτήρα και αφορούν μεταφορές και συγκοινωνίες για την περιοχή της πολιτείας της Γεωργίας. Το σύστημα δίνει έμφαση κυρίως σε μετακινήσεις με ιδιωτικά μέσα μεταφοράς και παρέχει υπηρεσίες διευκόλυνσης στην πλοήγηση ιδιωτικών μέσων μεταφοράς. Για δημόσιες συγκοινωνίες, το σύστημα δεν παρέχει πληροφορίες που επεξεργάζεται το ίδιο, αλλά παρέχει συνδέσμους σε πληροφορίες που προσπελούνται μέσω του Παγκόσμιου Δικτυακού Ιστού.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος είναι η παροχή των υπηρεσιών του με διαφορετικές μεθόδους, επιτρέποντας τους χρήστες να χρησιμοποιούν διαφορετικά μέσα πρόσβασης. Ανάλογα με το μέσο πρόσβασης παρέχονται και διαφορετικές υπηρεσίες ή οι ίδιες υπηρεσίες με διαφορετικό τρόπο.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος βασίζεται σε έναν κεντρικό εξυπηρετητή που λειτουργεί ως ένα κοινό σημείο πρόσβασης σε πληροφορίες. Εκτός από τους χρήστες του συστήματος ο εξυπηρετητής μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από άλλα παρόμοια συστήματα ως πηγή δεδομένων.

Ο εξυπηρετητής παίζει το ρόλο ενός διαμεσολαβητή ανάμεσα στις πηγές τις πληροφορίες και στους αποδέκτες της πληροφορίας. Είναι υπεύθυνος για τη συλλογή πληροφοριών από διάφορες πηγές δεδομένων, για την επεξεργασία και τη μορφοποίηση τους και για τη μετάδοση τους στους χρήστες. Η ανάπτυξη του εξυπηρετητή επιτρέπει την προσθήκη και νέων πηγών πληροφορίας καθώς και νέων τρόπων μετάδοσης της. Με

αυτό τον τρόπο για την παροχή των υπηρεσιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες συσκευές εκτός από αυτές που επιλέχτηκαν αρχικά.

Σημείο πρόσβασης	Ναι	Όχι
Σπίτι	✓	
Χώρος εργασίας	✓	
Σταθμοί μέσων μεταφοράς		✓
Οχήματα	✓	
Δημόσιοι χώροι		✓
Κινητές μονάδες	✓	

A.18 Πίνακας A.18: Σημεία πρόσβασης του συστήματος Showcase

Μέσο πρόσβασης	Ναι	Όχι
Τηλέφωνο		✓
Υπολογιστής	✓	
Περίπτερο πληροφοριών		✓
Οθόνες		✓
Τηλεόραση	✓	

A.19 Πίνακας A.19: Μέσα πρόσβασης του συστήματος Showcase

Παρεχόμενες πληροφορίες	Ναι	Όχι	Σε ορισμένες περιπτώσεις
Πίνακες δρομολογίων		✓	
Τιμές εισιτηρίων		✓	
Πρόσθετες πληροφορίες για κάθε δρομολόγιο		✓	
Εταιρίες μεταφορών		✓	
Περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς		✓	
Περισσότερες από μια εταιρίες μεταφοράς		✓	
Συνδυασμένες πληροφορίες		✓	

Μεταπτυχιακή εργασία

Άλλες πληροφορίες	✓		
-------------------	---	--	--

A.20 Πίνακας A.20: Πληροφορίες που παρέχει το σύστημα Showcase

Υπηρεσίες	Ναι	Όχι
Αναζήτηση		✓
Σχεδιασμός ταξιδιού	✓	
Πλοήγηση	✓	

A.21 Πίνακας A.21: Υπηρεσίες που παρέχει το σύστημα Showcase

A.22

Προτιμήσεις χρηστών για υπηρεσίες σχεδιασμού ταξιδιού	Ναι	Όχι
Αφετηρία	✓	
Προορισμός	✓	
Μέσα μεταφοράς		✓
Εταιρίες μεταφοράς		✓
Διάρκεια	✓	
Κόστος		✓
Ενδιάμεσοι σταθμοί		✓

A.23 Πίνακας A.22: Προτιμήσεις των χρηστών για υπηρεσίες σχεδιασμού ταξιδιών που παρέχονται από το σύστημα Showcase.

A.4.1.2 SmartTraveler

A.4.1.2.1 Περιγραφή

Το σύστημα **SmartTraveler** [35] παρέχει **pre-trip**, **in-terminal** και **in-vehicle** τύπου πληροφορίες για συγκοινωνίες και κυκλοφοριακή κίνηση με σκοπό να βοηθήσει τους επιβάτες να επιλέγουν τα καταλληλότερα μέσα για τη μετάβαση στους προορισμούς τους. Οι ταξιδιώτες μπορούν να έχουν πρόσβαση σ' αυτές τις πληροφορίες είτε από το σπίτι είτε από το γραφείο τους μέσω μιας δωρεάν τηλεφωνικής κλήσης ή μέσω του Παγκόσμιου Δικτυακού Ιστού.

Το σύστημα συλλέγει τις πληροφορίες από διάφορες πηγές δεδομένων όπως :

- κάμερες για την παρακολούθηση της κίνησης
- ανιχνευτές ράδιο-συχνοτήτων για την παρακολούθηση των συχνοτήτων της αστυνομίας και άλλων επικοινωνιών υπηρεσιών επείγουσας ανάγκης
- ένα ασύρματο σύστημα επικοινωνίας για την αναφορά των συνθηκών κίνησης και άλλων σημαντικών γεγονότων που επηρεάζουν τις μεταφορές και τις συγκοινωνίες
- μια βάση δεδομένων η οποία περιλαμβάνει πληροφορίες δρομολόγησης για δημόσια και ιδιωτικά μέσα μεταφοράς

- ιδιωτικές εταιρίες μεταφορών και ταξιδιωτικά πρακτορεία

Οι πληροφορίες από τις διαφορετικές πηγές δεδομένων συγχωνεύονται σε μια βάση δεδομένων για τη μετάδοσή τους στους χρήστες του συστήματος.

Το SmarTraveler καλύπτει έντεκα περιοχές των ΗΠΑ: Βοστώνη, Σινσινάτι, Λος Άντζελες, Νέα Υόρκη, Σαν Ντιέγκο, Σικάγο, Ντιτρόιτ, Μιλγουόκι, Φιλαδέλφεια, Σαν Φρανσίσκο και Ουάσινγκτον.

A.4.1.2.2 Πληροφορίες

Οι χρήστες του συστήματος μπορούν να έχουν πρόσβαση είτε μέσω τηλεφώνου είτε μέσω μιας ιστοσελίδας στο Διαδίκτυο. Και με τους δύο τρόπους οι χρήστες μπορούν να πάρουν τις ίδιες πληροφορίες. Στην ιστοσελίδα <http://www.smartraveler.com> ο χρήστης του συστήματος καλείται να επιλέξει μία από τις παραπάνω έντεκα περιοχές. Αφού επιλέξει μια περιοχή μεταφέρεται σε ιστοσελίδες με πληροφορίες γι' αυτή την περιοχή. Στον Πίνακα A.23 παρουσιάζουμε συνοπτικά τα είδη των πληροφοριών που παρέχονται για κάθε μια από τις περιοχές που καλύπτει το σύστημα SmarTraveler. Το σύμβολο ✓ σημαίνει ότι καλύπτεται η αντίστοιχη κατηγορία πληροφοριών ενώ το σύμβολο ✗ σημαίνει ότι δεν παρέχονται πληροφορίες για την αντίστοιχη κατηγορία. Το σύμβολο ★ σημαίνει ότι για το μέσω μεταφοράς στο οποίο αντιστοιχίζεται, παρέχονται μόνο πληροφορίες που αφορούν μόνο την κατάσταση του αντίστοιχου συγκοινωνιακού δικτύου και όχι πληροφορίες για δρομολόγια. Το σύμβολο — σημαίνει ότι για την αντίστοιχη περιοχή το σύστημα ήταν εκτός λειτουργίας.

	Κυκλοφοριακή κίνηση		Δημόσιες συγκοινωνίες		
	Κυκλοφοριακή κίνηση	Κάμερες Παρακολούθησης	Λεωφορείο	Τραίνο	Αυτόματος Σχεδιασμός ταξιδιών
Washington	✓	✓	✓	✓	✓
San Francisco	✓	✗	✓	✓	✗
Philadelphia	✓	✗	★	★	✗
Milwaukee	✓	✗	✓	✓	✗
Detroit	✓	✗	✓DOT	✓	✗
Chicago	✓	✗	✓	✓	✗
San Diego	✓	✗	✓	✓	✓
New York	—	—	—	—	—
Los Angeles	✓	✗	✓TranStar	✓	✓ TranStar
Cincinnati	✓	✗	★	★	✗
Boston	✓	✓ Real Time	✓	✓	✗

A.24 Πίνακας A.23: Πληροφορίες που παρέχονται από σύστημα SmarTraveler

Κυκλοφοριακή κίνηση

Για κάθε περιοχή παρουσιάζεται ένας χάρτης του οδικού δικτύου όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει έναν συγκεκριμένο δρόμο και να πάρει πληροφορίες για την κυκλοφοριακή κίνηση σ' αυτόν.

Κάμερες παρακολούθησης

Για τις περιοχές της Ουάσινγκτον και της Βοστώνης, υπάρχουν εγκαταστημένες κάμερες για την παρακολούθηση της κυκλοφοριακής κίνησης σε ορισμένους κόμβους του οδικού δικτύου. Για την Ουάσινγκτον, ο χρήστης βλέπει φωτογραφίες από συγκεκριμένους κόμβους του οδικού δικτύου, οι οποίες ανανεώνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Για την περιοχή της Βοστώνης ο χρήστης μπορεί να βλέπει βίντεο σε πραγματικό χρόνο.

Πληροφορίες για συγκοινωνίες

Για κάθε περιοχή παρέχονται πληροφορίες για τις δημόσιες συγκοινωνίες με τρένο και λεωφορείο. Το σύστημα SmarTraveler δεν παρέχει επεξεργασμένες πληροφορίες αλλά συνδέσμους σε ιστοσελίδες όπου παρέχονται πληροφορίες από εταιρίες και οργανισμούς συγκοινωνιών. Για παράδειγμα για την περιοχή του Ντιτρόιτ υπάρχει σύνδεσμος στις ιστοσελίδες της υπηρεσίας μεταφορών της πολιτείας (DOT) ενώ για την περιοχή του Λος Άντζελες σύνδεσμος στο σύστημα TranStar (ενότητα A.1.2.4). Επιπλέον για ορισμένες περιοχές υπάρχουν σύνδεσμοι σε ιστοσελίδες που παρέχουν υπηρεσίες αυτόματου σχεδιασμού ταξιδιών (TranStar). Σε ορισμένες περιπτώσεις δεν παρέχονται λεπτομερείς πληροφορίες για τις συγκοινωνίες μιας περιοχής, αλλά η πληροφορία που παρέχεται περιορίζεται μόνο στην αναφορά προβλημάτων που πιθανόν έχουν προκύψει (σύμβολο ★).

A.4.1.2.3 Αξιολόγηση

Το σύστημα SmarTraveler μπορεί να συγκριθεί με το σύστημα RiderLink (ενότητα A.1.2.1). Και τα δύο παρέχουν συνδέσμους σε ιστοσελίδες πληροφοριών για δημόσιες συγκοινωνίες χωρίς να πραγματοποιούν σημαντική επεξεργασία στην πληροφορία που παρέχουν. Και τα δύο συστήματα λειτουργούν ως κοινοί κόμβοι απ' όπου μέσω μιας απλής κατηγοριοποίησης ένας χρήστης μπορεί να αναζητήσει ιστοσελίδες συγκεκριμένων εταιριών συγκοινωνιών. Ωστόσο το SmarTraveler δίνει μεγάλη έμφαση σε μεταφορές με ιδιωτικά μέσα μεταφοράς παρέχοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την κυκλοφοριακή κίνηση σε οδικές αρτηρίες. Και σ' αυτή την περίπτωση όπως και στο σύστημα Showcase (ενότητα A.4.1.1) έγινε σημαντική εργασία για την ανάπτυξη μεθόδων συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων για την κυκλοφοριακή κίνηση σε πραγματικό χρόνο. Επίσης η μετάδοση αυτών των πληροφοριών στο Διαδίκτυο απετέλεσε ένα άλλο ζήτημα που αντιμετωπίστηκε.

A.4.1.3 TransCal

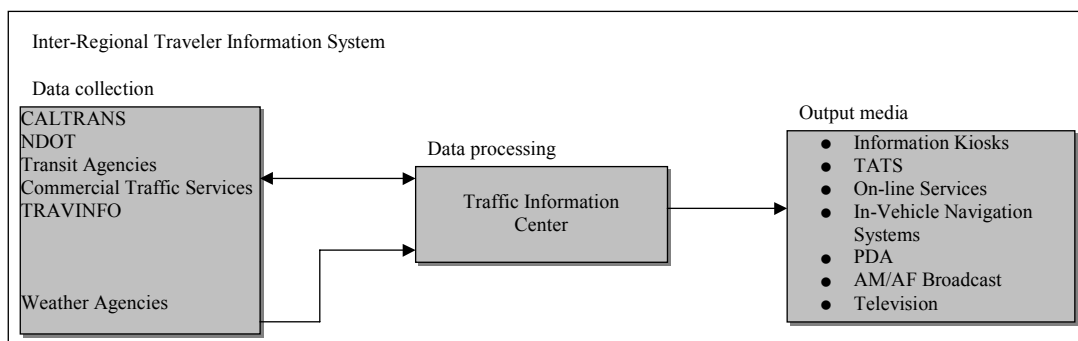
Στα πλαίσια του προγράμματος **TransCal** υλοποιήθηκε ένα *Δια-Περιφερειακό Σύστημα Πληροφόρησης Ταξιδιωτών (Inter-Regional traveler Information System-IRTIS)* το οποίο ενοποιεί πληροφορίες για κυκλοφοριακή κίνηση, οδικές αρτηρίες, δημόσιες συγκοινωνίες, καιρικές συνθήκες και παρέχει υπηρεσίες προστιθεμένης αξίας για το επιβατικό κοινό. Οι υπηρεσίες που παρέχονται αφορούν την περιοχή του San Francisco και την περιοχή Tahoe/Reno.

Οι ταξιδιώτες μπορούν να έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες μέσω διαφόρων συσκευών όπως :

- **Τηλέφωνο**
- **Personal Digital Assistants - PDA**
- **Συστήματα πλοήγησης σε αυτοκίνητα (In-Vehicle navigation systems)**
- **Περίπτερα πληροφοριών (Information Kiosks)**
- **Ασύρματα συστήματα επικοινωνίας (Ραδιόφωνο, Κινητά τηλέφωνα)**

Το IRTIS λειτουργεί στο Κέντρο Πληροφοριών για Ταξιδιώτες (Traveler Information Center - TIC) στο Sacramento. Η λειτουργία του IRTIS συνίσταται στη συλλογή πληροφοριών από διάφορες πηγές, την επεξεργασία της, και την αποθήκευσή της σε μια βάση δεδομένων. Στη συνέχεια αυτές οι πληροφορίες είναι προσπελάσιμες από διαφορετικές συσκευές. Στο Σχήμα A.3 παρουσιάζουμε την γενική αρχιτεκτονική του IRTIS όπου φαίνονται οι βασικές πηγές δεδομένων, οι συσκευές για την πρόσβαση στις πληροφορίες αλλά και η ροή της πληροφορίας από τις πηγές μέχρι τους χρήστες του συστήματος.

Στον Πίνακα A.24 παρουσιάζουμε τα είδη των πληροφοριών στις οποίες μπορεί να έχει πρόσβαση ένας χρήστης του συστήματος IRTIS ανάλογα με το είδος της συσκευής που διαθέτει.



Σχήμα A.3: Η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος IRTIS

Μέσο	Είδος πληροφορίας
Ράδιο, Τηλεόραση, On-line υπηρεσίες	Μετάδοση πληροφοριών για κυκλοφοριακή

	κίνηση σε πραγματικό χρόνο. Δυνατότητα αναζήτησης συγκεκριμένων ταξιδιωτικών πληροφοριών.
Περίπτερα πληροφοριών	Πληροφορίες για κυκλοφοριακή κίνηση μέσω χαρτών οδικών δικτύων.
Τηλεφωνικό Σύστημα παροχής Συμβουλών σε Ταξιδιώτες (Traveler Advisory Telephone System)	Πρόσβαση μέσω τηλεφώνου σε πληροφορίες για την κυκλοφοριακή κίνηση στις περιοχές που καλύπτει το πρόγραμμα TransCal.
Συστήματα Πλοήγησης σε Αυτοκίνητα, PDAs	Μετάδοση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο για την κυκλοφοριακή κίνηση στις περιοχές που καλύπτει το πρόγραμμα TransCal.

Α.25 Πίνακας Α.24: Τα είδη της πληροφορίας που παρέχονται από το σύστημα IRTIS

A.4.1.3.1 Το σύστημα IRTIS

Στο IRTIS ορίζονται τρεις τύποι δεδομένων : **στατικά (static)**, **περιοδικά (periodic)** και **δυναμικά (dynamic)**. Τα στατικά δεδομένα παραμένουν αμετάβλητα κατά τη διάρκεια που χρησιμοποιούνται. Τα περιοδικά δεδομένα παραμένουν αμετάβλητα για μικρά χρονικά διαστήματα. Τα δυναμικά δεδομένα αφορούν γεγονότα τη στιγμή που αυτά συμβαίνουν. Τα στατικά δεδομένα βρίσκονται αποθηκευμένα στη βάση δεδομένων του IRTIS ή και στις συσκευές πρόσβασης. Τα περιοδικά και δυναμικά δεδομένα τα επεξεργάζεται το IRTIS σε πραγματικό χρόνο.

Το IRTIS αποτελείται από ένα υποσύστημα για τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων και ένα σύστημα μετάδοσης δεδομένων. Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιείται με όσο το δυνατόν περισσότερο αυτοματοποιημένο τρόπο. Ωστόσο οι χειριστές του IRTIS θα πρέπει να εισάγουν στο σύστημα με το χέρι δεδομένα από ορισμένες πηγές. Επιπλέον οι χειριστές του συστήματος φροντίζουν για τη λειτουργία του Τηλεφωνικού Συστήματος παροχής Συμβουλών. Οι χειριστές ηχογραφούν τα μηνύματα που ακούει ένας ταξιδιώτης που χρησιμοποιεί αυτή την υπηρεσία.

A.4.1.3.2 Αξιολόγηση

Σημείο πρόσβασης	Ναι	Όχι
Σπίτι	✓	
Χώρος εργασίας	✓	
Σταθμοί μέσων μεταφοράς		✓
Οχήματα	✓	
Δημόσιοι χώροι	✓	

Μεταπτυχιακή εργασία

Κινητές μονάδες	✓	
-----------------	---	--

A.26 Πίνακας A.25: Σημεία πρόσβασης του συστήματος TransCal

Μέσο πρόσβασης	Ναι	Όχι
Τηλέφωνο	✓	
Υπολογιστής	✓	
Περίπτερο πληροφοριών	✓	
Οθόνες		✓
Τηλεόραση	✓	
Personal Digital Assistants		

A.27 Πίνακας A.26: Μέσα πρόσβασης του συστήματος TransCal

Παρεχόμενες πληροφορίες	Ναι	Όχι	Σε ορισμένες περιπτώσεις
Πίνακες δρομολογίων		✓	
Τιμές εισιτηρίων		✓	
Πρόσθετες πληροφορίες για κάθε δρομολόγιο		✓	
Εταιρίες μεταφορών		✓	
Περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς		✓	
Περισσότερες από μια εταιρίες μεταφοράς		✓	
Συνδυασμένες πληροφορίες		✓	
Άλλες πληροφορίες	✓		
Κυκλοφοριακή κίνηση			

A.28 Πίνακας A.27: Πληροφορίες που παρέχει το σύστημα TransCal

Υπηρεσίες	Ναι	Όχι
Αναζήτηση		✓
Σχεδιασμός ταξιδιού		✓

Πλοήγηση	✓	
----------	---	--

A.29 Πίνακας A.28: Υπηρεσίες που παρέχει το σύστημα TransCal

A.4.2 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της ανάπτυξης Multimodal συστημάτων πληροφόρησης ταξιδιωτών παρατηρούμε μια τάση για συγκέντρωση και συγχώνευση πληροφοριών από πολλές πηγές δεδομένων καθώς και προσπάθειες για παροχή υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας από αυτές τις πληροφορίες.

Αυτές οι υπηρεσίες αφορούν την πληροφόρηση για δημόσιες συγκοινωνίες παρέχοντας κυρίως πληροφορίες δρομολογίων από διαφορετικές εταιρίες συγκοινωνιών. Μεγάλη σημασία δίνεται επίσης στην παροχή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο για τις συνθήκες κυκλοφοριακής κίνησης και για την κατάσταση του οδικού δικτύου. Για την παροχή τέτοιων πληροφοριών χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές μέθοδοι παρακολούθησης όπως σταθερές κάμερες, ραντάρ και κάμερες εγκατεστημένες σε οχήματα που κινούνται στο οδικό δίκτυο. Επιπλέον μπορεί κανείς να παρατηρήσει μια τάση για μετάδοση πληροφοριών με πολλούς διαφορετικούς τρόπους καλύπτοντας μεγάλο αριθμό μέσων πρόσβασης στην πληροφορία. Οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν πολλά διαφορετικά μέσα πρόσβασης σε αυτά τα συστήματα, όπως υπολογιστές χειρός, συστήματα πλοήγησης οχημάτων, το Διαδίκτυο, καλωδιακή τηλεόραση, τηλέφωνο και περίπτερα πληροφοριών.

Για την ανάπτυξη των συστημάτων σχεδιάστηκαν πολύπλοκες κατανεμημένες αρχιτεκτονικές τόσο για τη συλλογή και επεξεργασία της πληροφορίας όσο και για τη μετάδοσή της.

A.5 Συστήματα Σχεδιασμού Ταξιδιών

Όλα τα συστήματα που εξετάσαμε μέχρι εδώ μπορούν να θεωρηθούν συστήματα σχεδιασμού ταξιδιών αφού με τον ένα ή τον άλλο τρόπο παρέχουν βοήθεια σε ταξιδιώτες για το σχεδιασμό ταξιδιών. Ωστόσο τα συστήματα σχεδιασμού ταξιδιών ορίζουν μια κατηγορία συστημάτων τα οποία διαφέρουν από τα προηγούμενα στο γεγονός ότι παρέχουν υπηρεσίες **υποστήριξης λήψης αποφάσεων (Decision Support)**. Αυτές οι υπηρεσίες περιλαμβάνουν διαδικασίες διαχείρισης πινάκων δρομολογίων, για την εύρεση βέλτιστων διαδρομών σε **πολύ-τροπικά** δίκτυα συγκοινωνιών, ικανοποιώντας τις απαιτήσεις των ταξιδιωτών.

Τα συστήματα σχεδιασμού ταξιδιών συγχωνεύουν πίνακες δρομολογίων διαφορετικών μέσων μεταφοράς και εταιριών συγκοινωνιών σε ένα ομοιόμορφο σχήμα. Έτσι οι χρήστες του συστήματος μπορούν εύκολα να έχουν πρόσβαση σε συνδυασμένες πληροφορίες για δρομολόγια διαφορετικών μέσων από διαφορετικές εταιρίες. Για παράδειγμα, ένας χρήστης μπορεί να δει τους πίνακες δρομολογίων για συγκεκριμένους προορισμούς. Τέτοιου είδους πληροφορίες δεν μπορούν να είναι άμεσα διαθέσιμες από πολλούς διαφορετικούς πίνακες δρομολογίων χωρίς εξαντλητική αναζήτηση.

Η αναζήτηση βέλτιστων διαδρομών μπορεί να βασιστεί σε ένα πλήθος κριτηρίων (μέτρα κόστους) που περιλαμβάνουν την απόσταση, τη χρονική διάρκεια, το χρηματικό κόστος, το πλήθος των ενδιάμεσων διαδρομών αλλά και συνδυασμό αυτών.

Οι προτιμήσεις των χρηστών (ταξιδιωτών) ορίζουν την αφετηρία και τον προορισμό του ταξιδιού, τα προτιμητέα μέσα μεταφοράς, τις εταιρίες και τα κριτήρια βελτιστοποίησης. Οι προτιμήσεις του χρήστη εισάγονται στο σύστημα και μετά από επεξεργασία και συνδυασμό πληροφοριών από πίνακες δρομολογίων, το σύστημα υπολογίζει ένα σύνολο σχεδίων ταξιδιών που να ανταποκρίνονται στις προτιμήσεις του χρήστη.

A.5.1 Trip planning system (University of Leeds)

Ένα σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών με τις παραπάνω προδιαγραφές υλοποιήθηκε στο τμήμα υπολογιστών (**School of Computer Studies**) [38] του πανεπιστημίου του Leeds στην Αγγλία. Το σύστημα [1], είναι μια εφαρμογή λογισμικού για συστήματα UNIX και περιλαμβάνει μια γραφική διεπιφάνεια χρήσης. Μέσω αυτής της διεπιφάνειας το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσω υπολογιστών στους οποίους έχει εγκατασταθεί κατάλληλο λογισμικό. Παρέχει υπηρεσίες σχεδιασμού **πολύ-τροπικών (multi-modal)** ταξιδιών για δημόσια αλλά και για ιδιωτικά μέσα μεταφοράς. Το σύστημα αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας οντοκεντρική προσέγγιση και βασίζεται σε μια οντοκεντρική βάση δεδομένων.

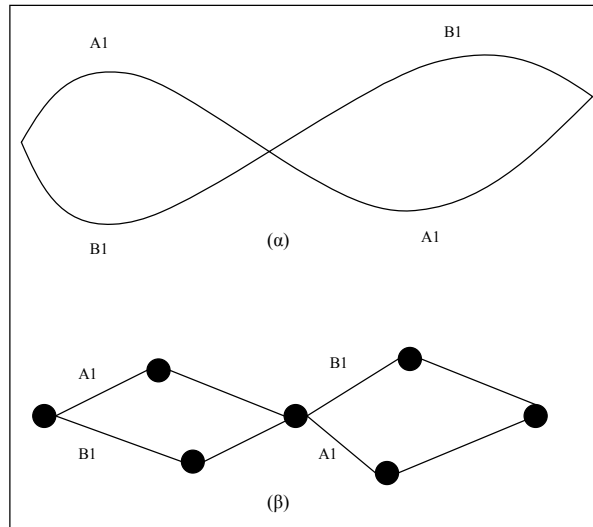
Η ανάπτυξη του συστήματος κινείται γύρω από την μελέτη τεσσάρων διαφορετικών ζητημάτων. Αυτά τα ζητήματα είναι:

- **Μοντελοποίηση πολύ-τροπικών δικτύων μεταφορών**
- **Αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων για δίκτυα μεταφορών**
- **Σχεδιασμός ταξιδιών**
- **Παροχή ταξιδιωτικών πληροφοριών**

A.5.1.1 Μοντελοποίηση συγκοινωνιακού δικτύου

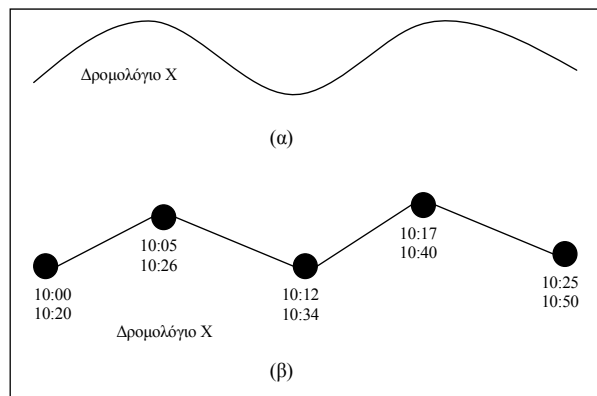
Με βάση τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των συγκοινωνιακών δικτύων κατασκευάζεται καταρχήν ένα φυσικό μοντέλο και στη συνέχεια ένα οντοκεντρικό μοντέλο για συγκοινωνιακά δίκτυα.

A.5.1.1.1 Φυσικό μοντέλο



Σχήμα A.4: Φυσικό μοντέλο ενός οδικού δικτύου

Για την αναπαράσταση της γεωγραφικής υπόστασης ενός συγκοινωνιακού δικτύου, τα δρομολόγια προσεγγίζονται από ακολουθίες ευθυγράμμων τμημάτων ή διάνυσματα. Μια αναπαράσταση ενός μέρους οδικού δικτύου και η διανυσματική του προσέγγιση φαίνονται στο Σχήμα A.4. Στο Σχήμα A.4 (α) φαίνεται ένα μέρος οδικού δικτύου όπως αυτό παρουσιάζεται σε έναν οδικό χάρτη. Στο Σχήμα A.4 (β) φαίνεται το φυσικό μοντέλο για το οδικό δίκτυο. Το δίκτυο προσεγγίζεται από κόμβους που επιλέχτηκαν κατά μήκος των δρόμων μεταξύ των οποίων σχεδιάζονται ευθείες γραμμές. Με αυτόν τον τρόπο μια οδική αρτηρία μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα διάνυσμα οι συντεταγμένες του οποίου είναι οι κόμβοι από τους οποίους περνάει.



Σχήμα A.5: Φυσικό μοντέλο ενός δρομολογίου λεωφορείου

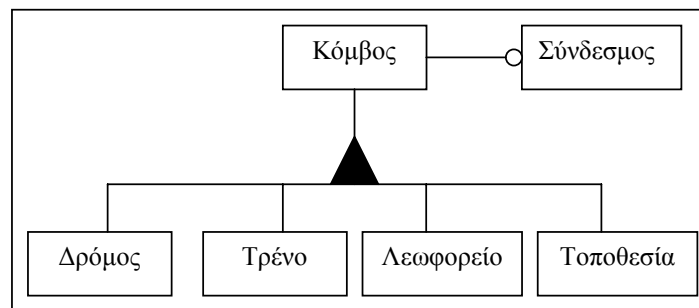
Στο Σχήμα A.5 παρουσιάζεται η αναπαράσταση ενός δρομολογίου λεωφορείου. Στο Σχήμα A.5 (α) φαίνεται η φυσική διαδρομή (οδικό δίκτυο) που ακολουθεί ένα λεωφορείο. Στο Σχήμα A.5 (β) φαίνεται η αναπαράσταση του δρομολογίου για το φυσικό μοντέλο. Με τον ίδιο τρόπο όπως και για το οδικό δίκτυο, το δρομολόγιο μπορεί να αναπαρασταθεί από ένα διάνυσμα οι συντεταγμένες του οποίου είναι οι σταθμοί (κόμβοι) από τους οποίους περνάει το δρομολόγιο. Επιπλέον σε κάθε κόμβο αντιστοιχίζεται και

μια χρονική στιγμή που προσδιορίζει τη στιγμή κατά την οποία το λεωφορείο περνάει από το συγκεκριμένο κόμβο.

A.5.1.1.2 Οντοκεντρικό μοντέλο

Με βάση το φυσικό μοντέλο ενός συγκοινωνιακού δικτύου δύο βασικές έννοιες επάγονται για την οντοκεντρική του μοντελοποίηση. Αυτές είναι ο **κόμβος (node)** και ο **σύνδεσμος (link)**. Η έννοια κόμβος χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση οντοτήτων που προσδιορίζουν θέσεις με γεωγραφική υπόσταση. Τέτοιες οντότητες μπορεί να είναι κόμβοι ενός οδικού δικτύου, ή σταθμοί μέσων μεταφοράς σε δημόσια συγκοινωνιακά δίκτυα. Επιπλέον, μπορεί να είναι και άλλες τοποθεσίες που μπορούν να χαρακτηριστούν και να προσδιοριστούν από κάποια συγκεκριμένη ιδιότητα, π.χ κάποια πλατεία σε μια πόλη.

“Κόμβος”

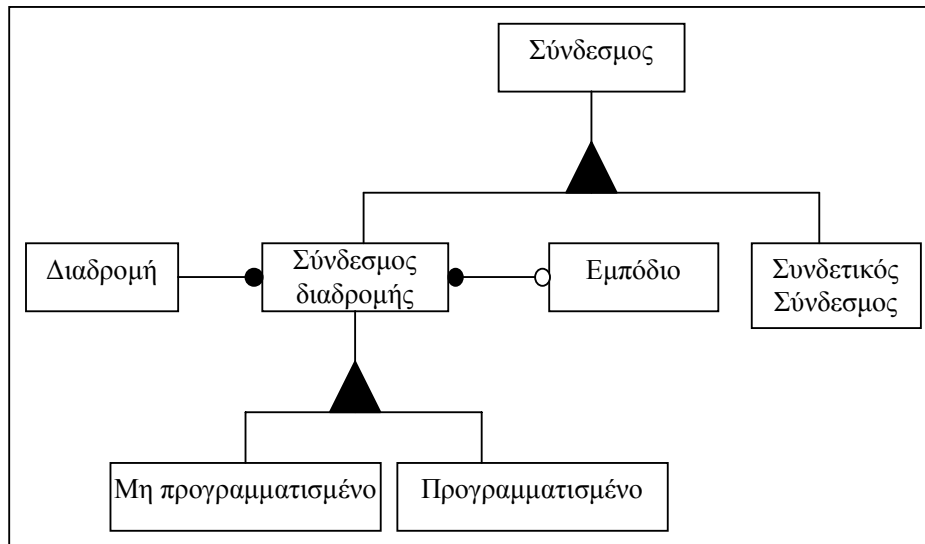


Σχήμα A.6: Η έννοια “Κόμβος”

Στο Σχήμα A.6 παρουσιάζουμε το αντικείμενο “Κόμβος” και τα επαγόμενα από αυτό αντικείμενα. Το αντικείμενο “Κόμβος” περιλαμβάνει τις γενικές ιδιότητες ενός κόμβου. Τα επαγόμενα από αυτό αντικείμενα (“Δρόμος”, “Τρένο”, “Λεωφορείο”, “Τοποθεσία”) κληρονομούν τις βασικές ιδιότητες ενός κόμβου ενώ για κάθε ένα από αυτά ορίζονται επιπλέον ιδιότητες. Για παράδειγμα το αντικείμενο “Τρένο” προσδιορίζει σταθμούς του σιδηροδρομικού δικτύου. Το αντικείμενο “Τρένο” κληρονομεί τις γενικές ιδιότητες ενός κόμβου από το αντικείμενο “Κόμβος” και έχει επιπλέον ιδιότητες που προσδιορίζουν έναν σιδηροδρομικό σταθμό.

Επίσης, ένας κόμβος μπορεί να συσχετίζεται με έναν ή περισσότερους συνδέσμους (αντικείμενο “Σύνδεσμος”) οι οποίοι ορίζουν μονοπάτια σε άλλους κόμβους.

“Σύνδεσμος”



Σχήμα Α.7: Η έννοια “Σύνδεσμος”

Το αντικείμενο “Σύνδεσμος” χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση μονοπατιών μεταξύ κόμβων. Ένας σύνδεσμος είναι μονόδρομος. Συνεπώς για τη μοντελοποίηση μιας μετακίνησης μεταξύ δύο κόμβων και προς τις δύο κατευθύνσεις απαιτούνται δύο σύνδεσμοι. Από το αντικείμενο “Σύνδεσμος” επάγονται τα αντικείμενα “**Σύνδεσμος διαδρομής**” (**Route link**) και “**Συνδετικός σύνδεσμος**” (**Connection**). Στο Σχήμα Α.7 παρουσιάζουμε το αντικείμενο “Σύνδεσμος” και τα επαγόμενα από αυτό αντικείμενα.

Μια διαδρομή (αντικείμενο “**Διαδρομή**” - **Route**) μοντελοποιείται ως μια ακολουθία συνδέσμων διαδρομής από έναν κόμβο κατά μήκος της διαδρομής στον επόμενο κόμβο. Στο οντοκεντρικό μοντέλο, για την αναπαράσταση μιας διαδρομής χρησιμοποιείται μια σχέση *ένα προς πολλά* (one to many) μεταξύ του αντικειμένου Διαδρομή και του αντικειμένου Σύνδεσμος διαδρομής. Το αντικείμενο **Σύνδεσμος διαδρομής** χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει μετακινήσεις μεταξύ διαφορετικών διαδρομών ή μεταξύ διαφορετικών μέσων μεταφοράς. Μια τέτοια μετακίνηση είναι απαραίτητη όταν ένας επιβάτης, φτάνοντας σε έναν σταθμό πρέπει να μεταβεί από το μέσο μεταφοράς με το οποίο έφτασε, σε άλλο μέσο μεταφοράς του ίδιου ή διαφορετικού τύπου για να συνεχίσει το ταξίδι σε άλλη διαδρομή.

Το αντικείμενο **Εμπόδιο (Impediment)** μοντελοποιεί την έννοια της καθυστέρησης ή οποιουδήποτε άλλου προβλήματος σε μια διαδρομή. Ένα Εμπόδιο μπορεί να αντιστοιχιστεί σε έναν ή περισσότερους συνδέσμους, και ένας Σύνδεσμος μπορεί να συσχετίζεται με ένα ή περισσότερα διαφορετικά Εμπόδια.

Το αντικείμενο **Route link** επάγει δύο ακόμη αντικείμενα για τη μοντελοποίηση μετακινήσεων. Το πρώτο είναι το αντικείμενο **Μη-Προγραμματισμένο (Unscheduled)** και το δεύτερο είναι το αντικείμενο **Προγραμματισμένο (Scheduled)**. Ο σκοπός για τη χρησιμοποίηση αυτών των δύο αντικειμένων είναι ο διαχωρισμός μεταξύ διαδρομών που πραγματοποιούνται από ιδιωτικά και δημόσια μέσα μεταφοράς.

Οι μετακινήσεις με ιδιωτικά μέσα μεταφοράς μπορούν να πραγματοποιούνται οποιαδήποτε χρονική στιγμή ενώ στις δημόσιες συγκοινωνίες τα δρομολόγια πραγματοποιούνται σε δεδομένες χρονικές στιγμές. Οπότε μια διαδρομή με ιδιωτικά μέσα μεταφοράς θα είναι μια ακολουθία από μη προγραμματισμένους συνδέσμους

(αντικείμενο Μη Προγραμματισμένο) ενώ μια διαδρομή με δημόσια μέσα μεταφοράς θα είναι μια ακολουθία προγραμματισμένων συνδέσμων (αντικείμενο Προγραμματισμένο). Πρέπει να σημειώσουμε ότι το αντικείμενο προγραμματισμένο συμπεριλαμβάνει και μια χρονική παράμετρο που προσδιορίζει την χρονική στιγμή που πραγματοποιείται.

Αντικείμενο Εμπόδιο

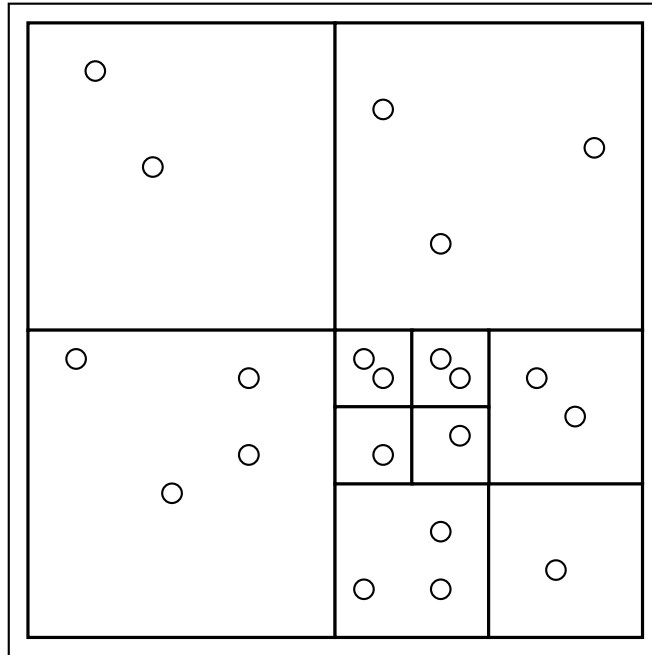
Αυτό το αντικείμενο μοντελοποιεί την έννοια της καθυστέρησης ή προβλημάτων σε μια μετακίνηση. Ένα εμπόδιο μπορεί να συσχετίζεται με έναν ή περισσότερους διαφορετικούς συνδέσμους ενώ ένας σύνδεσμος μπορεί να συσχετίζεται με ένα ή περισσότερα διαφορετικά εμπόδια Σχήμα Α.7.

Α.5.1.2 Αποθήκευση δεδομένων του δικτύου

Για την αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων για το συγκοινωνιακό δίκτυο, εισάγεται στο οντοκεντρικό μοντέλο ένα νέο αντικείμενο. Αυτό το αντικείμενο ονομάζεται **δίκτυο (network object)**. Οι κόμβοι θα πρέπει να είναι με κάποιον τρόπο διατεταγμένοι έτσι ώστε να είναι εύκολη η εκτέλεση διαδικασιών, όπως εισαγωγή νέου κόμβου στο δίκτυο και αναζήτηση του κοντινότερου (ως προς κάποιο σημείο) κόμβου. Επιπλέον, για λόγους απόδοσης, θα πρέπει να υπάρχει τοπικότητα στην αποθήκευση δεδομένων για κόμβους που βρίσκονται κοντά (γεωγραφικά) ως φυσικές οντότητες. Για την αποθήκευση των κόμβων έτσι ώστε να είναι χωρικά διατεταγμένοι, χρησιμοποιήθηκε η ιδέα του **Quad tree** [39]. Η βασική αρχή στη δομή δεδομένων Quad-tree είναι η υποδιαίρεση περιοχών σε τεταρτημόρια (quadrants). Το μέγεθος κάθε τεταρτημορίου είναι αντιστρόφως ανάλογο της πυκνότητας της πληροφορίας για κάθε περιοχή. Περιοχές με μικρή πυκνότητα πληροφορίας αναπαρίστανται από μεγάλα τεταρτημόρια ενώ περιοχές με μεγάλη πυκνότητα πληροφορίας αναπαρίστανται από μικρότερα τεταρτημόρια.

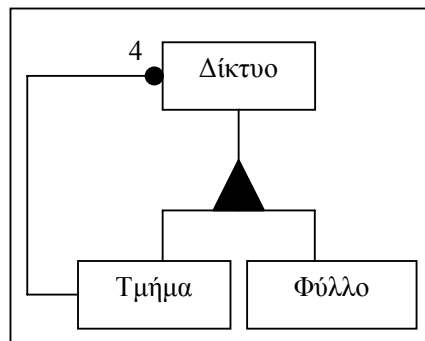
Στο Σχήμα Α.8 φαίνεται η εφαρμογή της δομής Quad-tree για τη διάταξη κόμβων. Σ' αυτή την περίπτωση έχει οριστεί όριο τεσσάρων κόμβων για κάθε τεταρτημόριο. Αν σε ένα τεταρτημόριο το πλήθος των κόμβων υπερβαίνει τους τέσσερις, τότε αυτό διαιρείται σε τεταρτημόρια μέχρι να επιτευχθεί το όριο.

Η χρησιμοποίηση της δομής Quad-tree επιτρέπει τη γρήγορη εκτέλεση λειτουργιών εισαγωγής και αναζήτησης κόμβων χωρίς επιβάρυνση στο μέγεθος του χώρου αποθήκευσης.



Σχήμα Α.8: Η δομή Quad-tree για τη διάταξη κόμβων

Για την αναπαράσταση της αναδρομικής δομής Quad-tree χρησιμοποιήθηκε ένα οντοκεντρικό μοντέλο. Αυτό το μοντέλο φαίνεται στο Σχήμα Α.9. Το αντικείμενο **Δίκτυο** επάγει δύο άλλα αντικείμενα, τα **Τμήμα** και **Φύλλο**. Ένα τμήμα αποτελείται από τέσσερα θυγατρικά δίκτυα και αναπαριστά την διάσπαση μιας περιοχής σε τεταρτημόρια. Κάθε ένα από αυτά τα τεταρτημόρια μοντελοποιείται από ένα αντικείμενο δικτύου το οποίο καλύπτει μια περιοχή κατά ένα τέταρτο μικρότερη από αυτή που καλύπτει το πατρικό αντικείμενο. Ένα θυγατρικό δίκτυο μπορεί να είναι το ίδιο ένα τμήμα κ.ο.κ. Ένα φύλλο δεν υφίσταται περαιτέρω διαίρεση και χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της πληροφορίας για τους κόμβους.



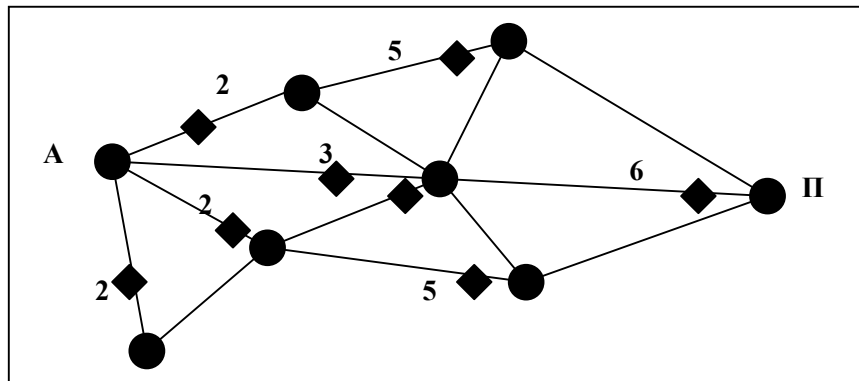
Σχήμα Α.9: Μοντέλο δικτύου για την αποθήκευση κόμβων

Α.5.1.3 Εύρεση διαδρομών στο συγκοινωνιακό δίκτυο

Με βάση το μοντέλο για το συγκοινωνιακό δίκτυο, ένα συγκοινωνιακό δίκτυο μπορεί να θεωρηθεί ως ένας γράφος (Σχήμα Α.10) στον οποίο οι κορυφές του αναπαριστούν κόμβους και οι ακμές του συνδέσμους του δικτύου.

Για την εύρεση βέλτιστων διαδρομών σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο, χρησιμοποιήθηκε ένας βασικός αλγόριθμος διάσχισης των κόμβων ενός γράφου. Όταν ένας επιβάτης επιλέξει μια διαδρομή για ένα ταξίδι από μια αφετηρία σε έναν προορισμό, θα πρέπει να καταβάλει κάποιο αντίτιμο για την πραγματοποίησή του. Αυτό το αντίτιμο μπορεί να είναι είτε χρηματικό είτε μπορεί να αναφέρεται σε άλλες παραμέτρους όπως η διάρκεια του ταξιδιού, το συνολικό μήκος της διαδρομής που ακολουθείται κ.α. Ακόμη αυτές οι παράμετροι μπορεί να ορίζουν και προτιμήσεις του επιβάτη (π.χ είδος μέσου μεταφοράς). Ο συνδυασμός αυτών των παραμέτρων ορίζει ένα είδος κόστους για το ταξίδι. Μια διαδρομή θα θεωρείται βέλτιστη μεταξύ άλλων που συνδέουν τους ίδιους κόμβους, όταν το κόστος της είναι το μικρότερο.

Ο αλγόριθμος εύρεσης διαδρομών ξεκινώντας από την αφετηρία διασχίζει επαναλαμβανόμενα το γράφο και η διεύθυνση της βέλτιστης διαδρομής (καθώς και το μήκος του μονοπατιού) από κάθε κόμβο μεταδίδεται στην αφετηρία καθώς ο αλγόριθμος προσεγγίζει κάθε κόμβο του γράφου. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα Α.10 το βέλτιστο μονοπάτι από έναν κόμβο προς την αφετηρία, μαρκάρεται με ένα σημάδι και σημειώνεται σ' αυτόν η τιμή του κόστους για τη βέλτιστη διαδρομή. Όταν η διαδικασία ολοκληρωθεί η βέλτιστη διαδρομή από έναν κόμβο προς την αφετηρία βρίσκεται ακολουθώντας τα σημάδια.

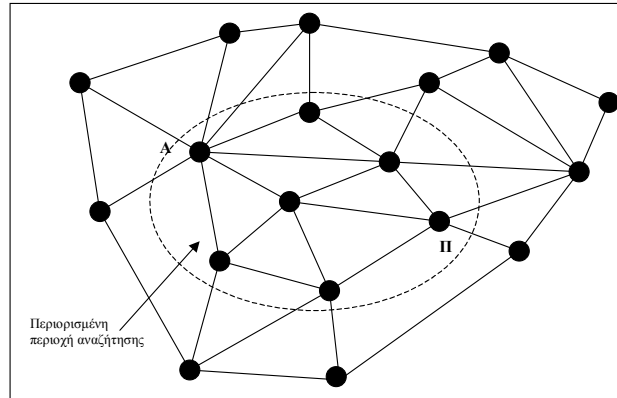


Σχήμα Α.10: Εύρεση βέλτιστης διαδρομής σε συγκοινωνιακό δίκτυο

Α.5.1.3.1 Ευρετικές μέθοδοι εύρεσης διαδρομών

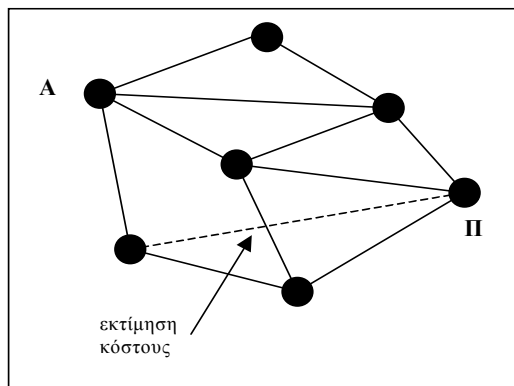
Στην πραγματικότητα, τα συγκοινωνιακά δίκτυα είναι τόσο μεγάλα (πολλοί κόμβοι και σύνδεσμοι) για να χρησιμοποιηθεί ο παραπάνω αλγόριθμος για την εύρεση ενός βέλτιστου μονοπατιού από κάθε κόμβο. Η εφαρμογή αυτού του αλγορίθμου θα απαιτούσε σπατάλη υπολογιστικών πόρων και η απόκριση του θα ήταν πολύ αργή.

Όταν αναζητείται μια βέλτιστη διαδρομή σε έναν γράφο θα ήταν περισσότερο αποδοτικό αν αυτή αναζητούνταν στην περιοχή του γράφου που είναι πιθανόν να εντοπιστεί και όχι σε ολόκληρο το γράφο. Στο Σχήμα Α.11 φαίνεται σχηματικά ο περιορισμός της περιοχής αναζήτησης.



Σχήμα Α.11: Περιορισμός της έκτασης αναζήτησης σε συγκοινωνιακά δίκτυα

Μια προσέγγιση για τον περιορισμό της έκτασης της αναζήτησης είναι ο παραπάνω αλγόριθμος να υπολογίζει σε κάθε βήμα του μια εκτίμηση το κόστους από τον τρέχον κόμβο ως τον προορισμό. Αυτή η εκτίμηση γίνεται θεωρώντας έναν ιδεατό σύνδεσμο (ευθεία γραμμή) από τον κόμβο στον προορισμό (Σχήμα Α.12). Η εκτίμηση του εναπομείναντος κόστους προστιθέμενη στο πραγματικό κόστος που έχει υπολογιστεί μέχρι έναν κόμβο, είναι μια εκτίμηση του συνολικού κόστους για το ταξίδι χρησιμοποιώντας τον συγκεκριμένο κόμβο. Αν αυτό το κόστος υπερβαίνει ένα όριο ανοχής τότε δεν χρειάζεται περαιτέρω αναζήτηση από αυτόν τον κόμβο. Το ζήτημα σ' αυτή την περίπτωση είναι ο καθορισμός μιας κατάλληλης τιμής για το όριο ανοχής. Αν αυτό είναι πολύ μικρό τότε είναι πιθανόν να μην εντοπιστούν διαδρομές. Στην αντίθετη περίπτωση (μεγάλο όριο) αυξάνεται η έκταση της αναζήτησης με πιθανή μείωση της απόδοσης του αλγορίθμου.



Σχήμα Α.12: Εκτίμηση του εναπομείναντος κόστους

Α.5.1.4 Αξιολόγηση

Το σύστημα που εξετάσαμε παρουσιάζει αρκετά μεγάλη συνάφεια με τη δική μας προσέγγιση. Αυτή η συνάφεια έγκειται στην ανάπτυξη του οντοκεντρικού μοντέλου για την αναπαράσταση του συγκοινωνιακού δικτύου και στον αλγόριθμο εύρεσης διαδρομών.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε μπορεί να συμπεριλάβει τόσο μετακινήσεις με ιδιωτικά όσο και με δημόσια μέσα μεταφοράς, παρέχοντας μια ομοιόμορφη θεώρηση για οδικά δίκτυα και για δημόσια συγκοινωνιακά δίκτυα. Επιπλέον σε ότι αφορά τις δημόσιες συγκοινωνίες, το μοντέλο μπορεί να συμπεριλάβει περισσότερα από ένα διαφορετικά είδη μέσων μεταφοράς. Μαζί με το μοντέλο αναπαράστασης δικτύων αναπτύχθηκε και ένα μοντέλο για την αποθήκευση των δεδομένων του δικτύου. Παρά την εκφραστικότητα και την ευελιξία του μοντέλου αναπαράστασης, δεν λαμβάνεται υπόψη σ' αυτό η ύπαρξη πολλών διαφορετικών μέσων μεταφοράς.

Όπως και στη δική μας προσέγγιση η αναζήτηση διαδρομών χρησιμοποιεί έναν βασικό αλγόριθμο διάσχισης γράφων τροποποιημένο έτσι ώστε να περιορίζεται η έκταση της αναζήτησης. Ωστόσο οι ευρετικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό τις έκτασης της αναζήτησης βασίζονται σε εκτιμήσεις αποστάσεων και είναι δύσκολο να συμπεριλάβουν πολύπλοκες προτιμήσεις επιβατών όπως τα μέσα μεταφοράς και οι εταιρίες συγκοινωνιών. Επιπλέον, δεν μπορεί να υποστηρίξει συνδυασμούς διαφορετικών προτιμήσεων των χρηστών.

Τέλος για την εύρεση πληροφοριών για δημόσια συγκοινωνιακά δίκτυα, χρησιμοποιείται μια βάση δεδομένων όπου αποθηκεύονται πίνακες δρομολογίων. Η στατική αποθήκευση των δεδομένων κάνει το σύστημα ευάλωτο σε δυναμικές αλλαγές αυτών των πληροφοριών. Ωστόσο η στατική αποθήκευση σε συνδυασμό με τη χρησιμοποίηση της δομής Quad tree επιτυγχάνει σημαντική ταχύτητα αναζήτησης.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζουμε συνοπτικά τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του συστήματος.

Σημείο πρόσβασης	Ναι	Όχι
Σπίτι		✓
Χώρος εργασίας	✓	
Σταθμοί μέσων μεταφοράς		✓
Οχήματα		✓
Δημόσιοι χώροι		✓
Κινητές μονάδες		✓

A.30 Πίνακας A.29: Σημεία πρόσβασης του συστήματος του Leeds

Μέσο πρόσβασης	Ναι	Όχι
Τηλέφωνο		✓
Υπολογιστής	✓	
Περίπτερο πληροφοριών		✓

Οθόνες		✓
Τηλεόραση		✓

A.31 Πίνακας A.30: Μέσα πρόσβασης του συστήματος του Leeds

Παρεχόμενες πληροφορίες	Ναι	Όχι	Σε ορισμένες περιπτώσεις
Πίνακες δρομολογίων	✓		
Τιμές εισιτηρίων		✓	
Πρόσθετες πληροφορίες για κάθε δρομολόγιο		✓	
Εταιρίες μεταφορών		✓	
Περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς	✓		
Περισσότερες από μια εταιρίες μεταφοράς		✓	
Συνδυασμένες πληροφορίες	✓		
Άλλες πληροφορίες		✓	

A.32 Πίνακας A.31: Πληροφορίες που παρέχει το σύστημα του Leeds

Υπηρεσίες	Ναι	Όχι
Αναζήτηση		✓
Σχεδιασμός ταξιδιού	✓	
Πλοήγηση		

A.33 Πίνακας A.32: Υπηρεσίες που παρέχει το σύστημα του Leeds

Προτιμήσεις χρηστών για υπηρεσίες σχεδιασμού ταξιδιού	Ναι	Όχι
Αφετηρία	✓	
Προορισμός	✓	
Μέσα μεταφοράς	✓	

Εταιρίες μεταφοράς		✓
Διάρκεια	✓	
Κόστος	✓	
Ενδιάμεσοι σταθμοί		✓

A.34 Πίνακας A.33: Προτιμήσεις των χρηστών για υπηρεσίες σχεδιασμού ταξιδιών στο σύστημα του Leeds

A.5.2 The Air Traveler Planning System (ATP)

Το σύστημα ATP [31] αναπτύχθηκε ως διπλωματική εργασία στο εργαστήριο τεχνητής νοημοσύνης στο **Ελβετικό Ομοσπονδιακό Ίδρυμα Τεχνολογίας στη Λοζάννη** [40]. Το σύστημα ATP υλοποιήθηκε [42] με τη γλώσσα **Java** [43] χρησιμοποιώντας ένα σύστημα περιορισμών (**Java Constraint Library-JCL**) [41]. Το σύστημα διαπραγματεύεται την επίλυση το προβλήματος προγραμματισμού επαγγελματικών ταξιδιών. Το πρόβλημα μορφοποιείται ως ένα **πρόβλημα εκπλήρωσης περιορισμών (constraint satisfaction problem - CSP)** [44], [55].

Η υλοποίηση του συστήματος ακολουθεί την αρχιτεκτονική **εξυπηρετούμενου - εξυπηρετητή (client - server)**. Η επίλυση του προβλήματος γίνεται σε δύο στάδια :

- **κατασκευή του προβλήματος εκπλήρωσης περιορισμών στον εξυπηρετητή**
- **παραγωγή των λύσεων στον εξυπηρετούμενο**

A.5.2.1 Περιγραφή

Είναι σύνηθες σε πολλούς επαγγελματίες να πρέπει να συναντήσουν άλλους ανθρώπους σε διαφορετικές πόλεις τον ένα μετά τον άλλο. Αυτό απαιτεί την πραγματοποίηση ενός ταξιδιού με πολλούς ενδιάμεσους σταθμούς. Ωστόσο, το ταξίδι πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε ο ταξιδιώτης να φτάνει σε κάθε σταθμό μέσα σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (αυτά στα οποία πραγματοποιούνται οι συναντήσεις).

Αξίопιστη πληροφορία για το σχεδιασμό τέτοιων ταξιδιών μπορεί να ανακτηθεί από ταξιδιωτικούς πράκτορες ή από on-line πληροφοριακά συστήματα. Με αυτό τον τρόπο ο σχεδιασμός ενός ταξιδιού απαιτεί την υποβολή επερωτήσεων σε διαφορετικές βάσεις δεδομένων για κάθε εναλλακτικό δρομολόγιο. Υπολογίζοντας χρόνο απόκρισης της τάξης του ενός λεπτού για κάθε επερώτηση η διαδικασία σχεδιασμού του ταξιδιού παραμένει χρονοβόρα διαδικασία.

Το σύστημα ATP μοντελοποιεί το πρόβλημα σχεδιασμού τέτοιων ταξιδιών σαν ένα **πρόβλημα εκπλήρωσης περιορισμών (CSP)**. Με αυτό τον τρόπο, καταρχήν κατασκευάζεται το πρόβλημα εκπλήρωσης περιορισμών και στη συνέχεια επιλύεται. Το σύστημα που υλοποιήθηκε χρησιμοποιεί μια μόνο βάση δεδομένων όπου όλη η απαραίτητη πληροφορία είναι αποθηκευμένη.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το σύστημα λαμβάνει υπόψη μόνο αεροπορικά δρομολόγια ενώ η προσθήκη και άλλων μέσων μεταφοράς είναι στα σχέδια επέκτασης του. Ωστόσο ο σχεδιασμός του κάνει την προσθήκη και άλλων μέσων εύκολη διαδικασία.

A.5.2.2 Προβλήματα Εκ πλήρωσης Περιορισμών (ΠΕΠ)

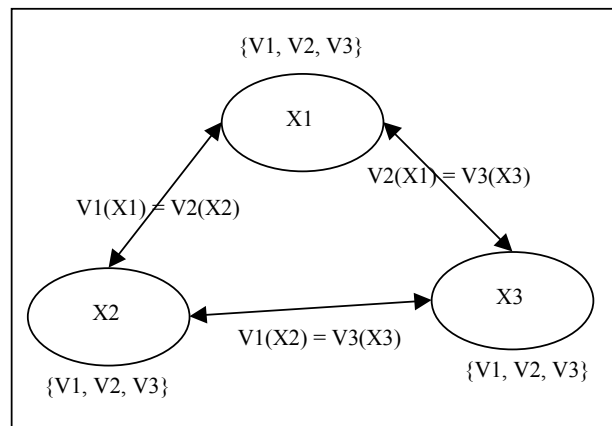
Τα προβλήματα εκπλήρωσης περιορισμών αφορούν τον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης. Ένα δυαδικό πεπερασμένο Πρόβλημα Εκπλήρωσης Περιορισμών (ΔΠΕΠ), ορίζεται από ένα **σύνολο μεταβλητών**, ένα **πεδίο τιμών** για κάθε μεταβλητή και ένα **σύνολο περιορισμών** για κάθε ζευγάρι μεταβλητών. Μια λύση σε ένα τέτοιο πρόβλημα είναι μια ανάθεση τιμών σε όλες τις μεταβλητές με τέτοιον τρόπο ώστε οι περιορισμοί να εκπληρώνονται. Ένα ΠΕΠ μπορεί να έχει καμιά, μία ή περισσότερες από μια λύσεις.

Τυπικά ένα ΔΠΕΠ P ορίζεται από μια τετράδα $P = (X, D, C, R)$ όπου :

- $X = X_1, K X_n$ είναι ένα σύνολο μεταβλητών
- $D = D_1, K D_n$ είναι ένα σύνολο πεδίων τιμών που συσχετίζονται με τις μεταβλητές
- $C = C_1, K C_m$ είναι ένα σύνολο περιορισμών
- $R = R_{\{i,j\}} \subseteq D_i \times D_j$ για έναν περιορισμό που εφαρμόζεται στο ζεύγος μεταβλητών X_i, X_j είναι ένα σύνολο σχέσεων που ορίζει τους περιορισμούς.

Ένα ΠΕΠ μπορεί να αναπαρασταθεί από έναν γράφο (Σχήμα A.13). Κάθε μεταβλητή αναπαρίσταται από έναν κόμβο και κάθε σύνδεσμος αναπαριστά ένα περιορισμό. Οι ετικέτες των συνδέσμων ορίζουν τους περιορισμούς ενώ οι ετικέτες των κόμβων ορίζουν τα πεδία τιμών για κάθε μεταβλητή.

Για την επίλυση των ΠΕΠ έχουν αναπτυχθεί πολύ διαφορετικοί αλγόριθμοι. Για περισσότερες λεπτομέρειες μπορεί κανείς να απευθυνθεί στα [44], [55].



Σχήμα A.13: Γραφική αναπαράσταση ενός ΠΕΠ

A.5.2.3 Βιβλιοθήκη περιορισμών Java (JCL)

Η βιβλιοθήκη περιορισμών Java αποτελείται από δύο μέρη :

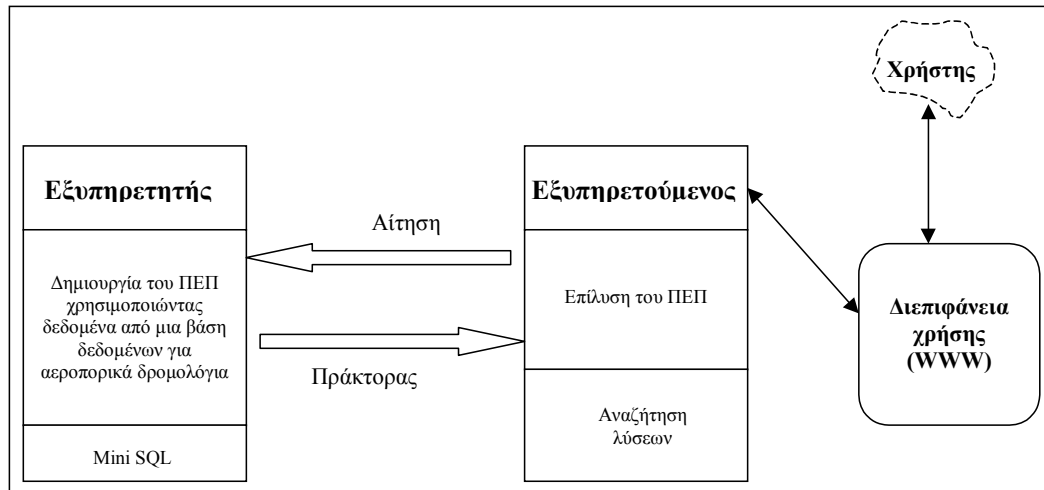
- **μια βασική βιβλιοθήκη περιορισμών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη Java εφαρμογών, οι οποίες χρησιμοποιούν μηχανισμούς περιορισμών. Η βιβλιοθήκη περιέχει μηχανισμούς για τη δημιουργία ΠΕΠ, αλγορίθμους επίλυσης και αλγορίθμους προ-επεξεργασίας των ΠΕΠ.**
- **ένα κέλυφος περιορισμών (constraint shell) που έχει αναπτυχθεί πάνω από τη βιβλιοθήκη και παρέχει μια διεπιφάνεια χρήσης για τη βιβλιοθήκη για τη δημιουργία και επίλυση ΠΕΠ.**

A.5.2.4 Αρχιτεκτονική

Το σύστημα αναπτύχθηκε με βάση μια κατανεμημένη αρχιτεκτονική **εξυπηρετητή - εξυπηρετούμενου** και τη χρησιμοποίηση τεχνολογίας **πρακτόρων λογισμικού** (software agents). Στο Σχήμα A.14 φαίνεται η αρχιτεκτονική καθώς και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των τμημάτων.

Μια γραφική διεπιφάνεια χρήσης παρέχεται στους χρήστες μέσω του Παγκόσμιου Δικτυακού Ιστού. Μέσω αυτής ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα εισόδου (παράμετροι για το ταξίδι που επιθυμεί να σχεδιαστεί). Αυτά τα δεδομένα στέλνονται στον εξυπηρετητή. Ο εξυπηρετητής αντλεί πληροφορίες από μια βάση δεδομένων και κατασκευάζει ένα ΠΕΠ οι λύσεις του οποίου είναι πιθανά σχέδια ταξιδιών που ικανοποιούν την αίτηση του χρήστη. Το ΠΕΠ μαζί με ένα σύνολο αλγορίθμων για την επίλυσή του στέλνονται στον εξυπηρετούμενο μέσω ενός πράκτορα λογισμικού. Ο πράκτορας είναι μια εφαρμογή που εκτελείται στον εξυπηρετούμενο και επιλύει το ΠΕΠ χρησιμοποιώντας πιθανόν περισσότερους από έναν αλγορίθμους. Αφού παραχθούν οι λύσεις, ο χρήστης μπορεί να αναζητήσει μέσα σ' αυτές την καταλληλότερη.

Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι περιορίζεται σημαντικά η επικοινωνία του εξυπηρετούμενου με τον εξυπηρετητή και επιπλέον μειώνεται ο φόρτος εργασίας του εξυπηρετητή. Σε μια συμβατική προσέγγιση όπου η δημιουργία του ΠΕΠ γινόταν στον εξυπηρετούμενο, θα απαιτούνταν αυξημένη επικοινωνία με τον εξυπηρετητή για την μεταφορά της πληροφορίας από τη βάση δεδομένων. Αν η δημιουργία και η επίλυση του ΠΕΠ γινόταν στον εξυπηρετητή τότε ο φόρτος εργασίας του θα αυξανόταν σημαντικά.



Σχήμα Α.14: Η αρχιτεκτονική του συστήματος

A.5.2.5 Μορφοποίηση του ΠΕΠ

Τα δεδομένα εισόδου στο σύστημα είναι ένα σύνολο από συναντήσεις, όπου κάθε συνάντηση περιγράφεται από έναν τόπο και ένα σύνολο χρονικών στιγμών στις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί. Μια λύση στο πρόβλημα της σχεδίασης επαγγελματικών ταξιδιών είναι μια ακολουθία πτήσεων μεταξύ των πόλεων που πραγματοποιούνται οι συναντήσεις. Αυτό το πρόβλημα μορφοποιείται ως ένα δυαδικό ΠΕΠ (**travel plan CSP - TCSP**).

Για το TCSP ορίζονται οι **μεταβλητές συναντήσεων (meeting variables - MV)** και οι **μεταβλητές πτήσεων (flight variables - FV)**. Οι μεταβλητές συναντήσεων μαζί με τους περιορισμούς μεταξύ τους επάγουν ένα πρόβλημα περιορισμών που ονομάζεται **πρόβλημα περιορισμών συναντήσεων (meeting CSP - MCSP)**. Αντίστοιχα οι μεταβλητές πτήσεων επάγουν ένα άλλο πρόβλημα περιορισμών που ονομάζεται **πρόβλημα περιορισμού πτήσεων (flight CSP - FCSP)**. Η λύση του συνολικού προβλήματος αποτελείται από δύο συμβατές λύσεις των παραπάνω υπό-προβλημάτων.

A.5.2.5.1 MCSP

Για κάθε συνάντηση M_i δημιουργείται μια μεταβλητή $MV_i (i = 1, K, n)$ με πεδίο τιμών το σύνολο των πιθανών ημερομηνιών στις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί. Η επίλυση του MCSP είναι η ανάθεση ημερομηνιών σε κάθε συνάντηση έτσι ώστε να μην υπάρχουν συναντήσεις που πρέπει να πραγματοποιηθούν την ίδια ημέρα.

A.5.2.5.2 FCSP

Για κάθε μετακίνηση από έναν τόπο σε έναν άλλο δημιουργείται μια μεταβλητή πτήσης FV με πεδίο τιμών τις προγραμματισμένες πτήσεις μεταξύ των δύο τόπων στους οποίους πραγματοποιούνται οι συναντήσεις. Ένας επιβάτης μπορεί να μετακινηθεί από

μια συνάντηση j σε μια συνάντηση i μόνο όταν τελειώσει η πρώτη συνάντηση αλλά πρέπει να φτάσει στον προορισμό πριν την έναρξη της επόμενης συνάντησης.

A.5.2.5.3 Περιορισμοί

Οι περιορισμοί μεταξύ των μεταβλητών του MCSP και του FCSP αλλά και μεταξύ μεταβλητών από τα δύο προβλήματα μπορούν να εκφραστούν με μαθηματικό τρόπο για την επίλυσή τους. Εδώ χάριν απλότητας θα δώσουμε μια περιφραστική περιγραφή για τους περιορισμούς ώστε να γίνει κατανοητή η διαδικασία επίλυσης.

Σε ότι αφορά το MCSP, οι αναθέσεις στις μεταβλητές πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να μην υπάρχουν συναντήσεις που πραγματοποιούνται την ίδια μέρα. Σε ότι αφορά το FCSP, οι αναθέσεις στις μεταβλητές πρέπει να είναι τέτοιες ώστε ένας επιβάτης να αναχωρεί από έναν τόπο μετά την ολοκλήρωση μιας συνάντησης και να φτάνει στον προορισμό πριν την έναρξη της επόμενης συνάντησης. Μια λύση του συνολικού προβλήματος είναι ο συνδυασμός δύο λύσεων των επιμέρους προβλημάτων.

A.5.2.6 Αξιολόγηση

Το σύστημα ATP αντιμετωπίζει ένα αρκετά εξειδικευμένο πρόβλημα σχεδιασμού ταξιδιών. Αν και τα επαγγελματικά ταξίδια αποτελούν ένα μεγάλο μέρος των ταξιδιών που πραγματοποιούνται με δημόσια μέσα μεταφοράς, ταξίδια με πολλούς ενδιάμεσους σταθμούς στους οποίους οι επιβάτες πρέπει να βρίσκονται σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές είναι μια μικρή μειοψηφία. Εξαιτίας αυτής της συγκεκριμενοποίησης, το σύστημα που αναπτύχθηκε χάνει σε γενικότητα και δεν μπορεί να αντιμετωπίσει προβλήματα σχεδιασμού ταξιδιών για το μέσο επιβάτη. Συγκεκριμένα δεν λαμβάνονται υπόψη διαφορετικά μέσα μεταφοράς και οι ιδιαιτερότητες που προκύπτουν από την ανάγκη συνδυασμού τους. Επιπλέον δεν έχουν ληφθεί υπόψη απαιτήσεις των επιβατών για τη βελτιστοποίηση των σχεδιαζόμενων ταξιδιών. Τέτοιες απαιτήσεις περιλαμβάνουν προτιμήσεις για το κόστος, τα μέσα μεταφοράς, τις εταιρίες και τη διάρκεια του ταξιδιού.

Η έλλειψη ενός μοντέλου για συγκοινωνιακά δίκτυα περιορίζει τις δυνατότητες του συστήματος και κάνει δύσκολη την εξέλιξή του ώστε να περιλάβει περισσότερα μέσα μεταφοράς και εταιρίες.

Ο αλγόριθμος εύρεσης σχεδίων ταξιδιού (επίλυση ΠΕΠ) είναι αρκετά περίπλοκος και μπορεί να χαρακτηριστεί μη αποδοτικός για γενικές περιπτώσεις σχεδιασμού ταξιδιών, όπου μπορούν να εφαρμοστούν απλούστεροι αλγόριθμοι ([1]).

Για την αποθήκευση πληροφοριών για δρομολόγια μέσω μεταφοράς επιλέχθηκε η χρησιμοποίηση μιας βάσης δεδομένων με αποτέλεσμα την απαίτηση για τακτικές ανανεώσεις της πληροφορίας ώστε να εξασφαλίζεται η εγκυρότητα και η αξιοπιστία των δεδομένων.

Παρά τα μειονεκτήματα που αναφέραμε παραπάνω, η αρχιτεκτονική που επιλέχθηκε τελικά, επέτρεψε τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος, περιορίζοντας την επικοινωνία μεταξύ των τμημάτων του και κατανέμοντας το φόρτο εργασίας. Η προσέγγιση που τελικά ακολουθήθηκε κάνει το σύστημα αρκετά αποδοτικό για το συγκεκριμένο είδος προβλημάτων για το οποίο προορίζεται.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζουμε συνοπτικά τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του συστήματος.

Σημείο πρόσβασης	Ναι	Όχι
Σπίτι	✓	
Χώρος εργασίας	✓	
Σταθμοί μέσων μεταφοράς		✓
Οχήματα		✓
Δημόσιοι χώροι		✓
Κινητές μονάδες		✓

A.35 Πίνακας A.34: Σημεία πρόσβασης του συστήματος

Μέσο πρόσβασης	Ναι	Όχι
Τηλέφωνο		✓
Υπολογιστής	✓	
Περίπτερο πληροφοριών		✓
Οθόνες		✓
Τηλεόραση		✓

A.36 Πίνακας A.35: Μέσα πρόσβασης του συστήματος

Παρεχόμενες πληροφορίες	Ναι	Όχι	Σε ορισμένες περιπτώσεις
Πίνακες δρομολογίων		✓	
Τιμές εισιτηρίων		✓	
Πρόσθετες πληροφορίες για κάθε δρομολόγιο		✓	
Εταιρίες μεταφορών		✓	
Περισσότερα από ένα μέσα μεταφοράς		✓	

Περισσότερες από μια εταιρίες μεταφοράς	✓		
Συνδυασμένες πληροφορίες		✓	
Άλλες πληροφορίες		✓	

A.37 Πίνακας A.36: Πληροφορίες που παρέχει το σύστημα

Υπηρεσίες	Ναι	Όχι
Αναζήτηση		✓
Σχεδιασμός ταξιδιού	✓	
Πλοήγηση		✓

A.38 Πίνακας A.37: Υπηρεσίες που παρέχει το σύστημα

Προτιμήσεις χρηστών για υπηρεσίες σχεδιασμού ταξιδιού	Ναι	Όχι
Αφειτηρία	✓	
Προορισμός	✓	
Μέσα μεταφοράς		✓
Εταιρίες μεταφοράς		✓
Διάρκεια		✓
Κόστος		✓
Ενδιάμεσοι σταθμοί	✓	

A.39 Πίνακας A.38: Προτιμήσεις των χρηστών για υπηρεσίες σχεδιασμού ταξιδιών

A.6 Συμπεράσματα

Στο δεύτερο κεφάλαιο, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι ένα από σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζονται στο χώρο των δημόσιων συγκοινωνιών είναι η έλλειψη επαρκούς πληροφόρησης για τις υπηρεσίες συγκοινωνιών, που παρέχονται. Με βάση αυτή τη διαπίστωση ξεκίνησε έρευνα και μελέτη σχετικά με την παροχή επαρκούς πληροφορίας σε επιβάτες με απλό και εύκολο τρόπο. Αυτή η προσπάθεια κατέληξε στην ανάπτυξη συστημάτων που χαρακτηρίζονται από το γενικό τίτλο **Συστήματα Πληροφόρησης Ταξιδιωτών (Traveler Information Systems)**. Ιδιαίτερα στις ΗΠΑ αλλά

και σε χώρες της Ευρώπης έχουν αναπτυχθεί αρκετά συστήματα τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο.

Σ' αυτό το κεφάλαιο επιχειρήσαμε μια παρουσίαση Συστημάτων Πληροφόρησης Ταξιδιωτών που έχουν αναπτυχθεί και λειτουργούν είτε σε πειραματικό επίπεδο είτε σε πραγματικές συνθήκες. Σκοπός αυτής της παρουσίασης ήταν η διερεύνηση των σύγχρονων τάσεων που επικρατούν στον τομέα της παροχής ταξιδιωτικών πληροφοριών και υπηρεσιών.

Μέσα από αυτή τη μελέτη αναδείχθηκαν καταρχήν οι απαιτήσεις των επιβατών για πληροφόρηση και υπηρεσίες. Επιπλέον μελετήσαμε τις λύσεις που έχουν αναπτυχθεί και κάναμε διαπιστώσεις για τις ελλείψεις που πρέπει να καλυφθούν. Επιπλέον αναζητήσαμε τεχνικές και τεχνολογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί με σκοπό την εκμετάλλευση τους αλλά και την εξέλιξη και βελτίωσή τους για τις ανάγκες της δικής μας εργασίας.

Για την οργάνωση της μελέτης βασιστήκαμε σε μια κατηγοριοποίηση των διαφόρων συστημάτων όπως αυτή προέκυψε από τη βιβλιογραφία και παρουσιάζουμε στον Πίνακα Α.39.

- **Συστήματα πληροφόρησης πριν την εκκίνηση του ταξιδιού (Pre-Trip)**
- **Συστήματα πληροφόρησης σε σταθμούς (In-Terminal/Wayside)**
- **Συστήματα πληροφόρησης σε μέσα μεταφοράς (In-Vehicle)**
- **Συστήματα Σχεδιασμού Ταξιδιών (Travel / Trip Planning Systems)**
- **Συστήματα Πληροφόρησης Πολύ-τροπικών Ταξιδιών (Multimodal Traveler Information Systems)**

Α.40 Πίνακας Α.39: Κατηγοριοποίηση Συστημάτων Πληροφόρησης Ταξιδιωτών

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζουμε συνοπτικά για κάθε κατηγορία συστημάτων τα κυριότερα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες τους. Σε κάθε πίνακα η γραμμή “Χρόνος” αναφέρεται στη χρονική στιγμή κατά την οποία το σύστημα χρησιμοποιείται, η γραμμή “Τόπος” προσδιορίζει τον τόπο από τον οποίο ένας χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στο σύστημα, η γραμμή “Πληροφορίες / Υπηρεσίες” προσδιορίζει το είδος των πληροφοριών και υπηρεσιών που παρέχει το σύστημα, η γραμμή “Μέσο πρόσβασης” προσδιορίζει τα μέσα με τα οποία ο χρήστης έχει πρόσβαση στο σύστημα και η γραμμή “Τεχνολογία” προσδιορίζει την τεχνολογία που χρησιμοποιείται από το σύστημα.

Συστήματα πληροφόρησης πριν την εκκίνηση του ταξιδιού

Χρόνος	Πριν την εκκίνηση ενός ταξιδιού
Τόπος	<ul style="list-style-type: none"> ● Σπίτι ● Δουλειά

	<ul style="list-style-type: none"> ● Σταθμοί μέσων μεταφοράς ● Ταξιδιωτικά πρακτορεία
Πληροφορίες / Υπηρεσίες	<ul style="list-style-type: none"> ● Εταιρίες μεταφοράς ● Μέσα μεταφοράς ● Δρομολόγια ● Ώρες άφιξης / αναχώρησης ● Εισιτήρια ● Καιρικές συνθήκες
Μέσο πρόσβασης	<ul style="list-style-type: none"> ● WWW ● Τηλέφωνο ● Information Kiosks
Τεχνολογία	<ul style="list-style-type: none"> ● GIS

Συστήματα πληροφόρησης σε σταθμούς

Χρόνος	Κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού
Τόπος	<ul style="list-style-type: none"> ● Σταθμοί μέσων μεταφοράς ● Σε σημεία της διαδρομής
Πληροφορίες / Υπηρεσίες	<ul style="list-style-type: none"> ● Ώρες άφιξης / αναχώρησης σε πραγματικό χρόνο ● Καιρικές συνθήκες
Μέσο πρόσβασης	<ul style="list-style-type: none"> ● WWW ● Τηλέφωνο ● Information Kiosks
Τεχνολογία	<ul style="list-style-type: none"> ● GIS ● AVL

Συστήματα πληροφόρησης σε μέσα μεταφοράς

Χρόνος	Κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού
Τόπος	<ul style="list-style-type: none"> ● Πάνω σε μέσα μεταφοράς
Πληροφορίες / Υπηρεσίες	<ul style="list-style-type: none"> ● Τρέχουσα θέση του μέσου μεταφοράς ● Επόμενος σταθμός ● Αναμενόμενη ώρα άφιξης ● Επόμενο μέσο μεταφοράς
Μέσο πρόσβασης	<ul style="list-style-type: none"> ● Ηλεκτρονικοί πίνακες κλήσεων ● Οθόνες
Τεχνολογία	<ul style="list-style-type: none"> ● GIS ● AVL Μέτρηση χιλιομετρικής κάλυψης

Συστήματα Σχεδιασμού Ταξιδιών

Χρόνος	Πριν την εκκίνηση ενός ταξιδιού
Τόπος	<ul style="list-style-type: none"> ● Σπίτι ● Δουλειά ● Σταθμοί μέσων μεταφοράς ● Ταξιδιωτικά πρακτορεία
Πληροφορίες / Υπηρεσίες	<ul style="list-style-type: none"> ● Εταιρίες μεταφοράς ● Μέσα μεταφοράς ● Δρομολόγια ● Ώρες άφιξης / αναχώρησης ● Εισιτήρια ● Καιρικές συνθήκες ● Σχεδιασμός ταξιδιών

Μέσο πρόσβασης	<ul style="list-style-type: none"> ● WWW
Τεχνολογία	<ul style="list-style-type: none"> ●

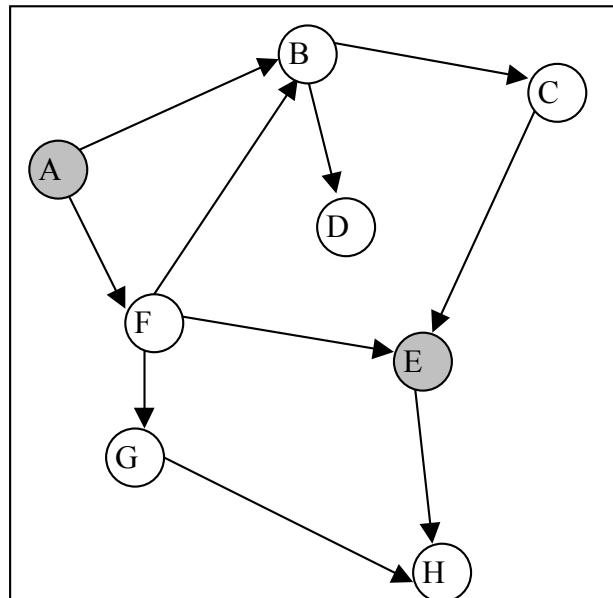
Συστήματα Πληροφόρησης Πολύ-τροπικών Ταξιδιών

Χρόνος	<ul style="list-style-type: none"> ● Πριν την εκκίνηση ενός ταξιδιού ● Κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού
Τόπος	<ul style="list-style-type: none"> ● Δουλειά ● Σταθμοί μέσων μεταφοράς ● Ταξιδιωτικά πρακτορεία ● Σε σημεία της διαδρομής ● Πάνω σε μέσα μεταφοράς
Πληροφορίες / Υπηρεσίες	<ul style="list-style-type: none"> ● Εταιρίες μεταφοράς ● Μέσα μεταφοράς ● Δρομολόγια ● Ώρες άφιξης / αναχώρησης ● Εισιτήρια ● Καιρικές συνθήκες ● Ώρες άφιξης / αναχώρησης σε πραγματικό χρόνο ● Τρέχουσα θέση του μέσου μεταφοράς ● Επόμενος σταθμός ● Αναμενόμενη ώρα άφιξης ● Επόμενο μέσο μεταφοράς

Μέσο πρόσβασης	<ul style="list-style-type: none">● προσωπικές συσκευές επικοινωνίας● συστήματα πλοήγησης οχημάτων● καλωδιακή τηλεόραση● αλληλεπιδραστική τηλεόραση● Internet
Τεχνολογία	<ul style="list-style-type: none">● GIS● AVL

Παράρτημα Β

Παράδειγμα εφαρμογής του αλγορίθμου *TNG-PF*



Σχήμα Β.1: Ένας γράφος αναπαράστασης συγκοινωνιακού δικτύου

Στο Σχήμα Β.1 βλέπουμε έναν γράφο για τον οποίο θεωρούμε ότι αναπαριστά ένα τμήμα συγκοινωνιακού δικτύου στο οποίο αναζητείται ένα μονοπάτι από τον κόμβο Α στον κόμβο Ε. Χρησιμοποιώντας αυτό το γράφο θα δείξουμε πως εφαρμόζεται ο αλγόριθμος *TNG-PF* και ποιες αλληλεπιδράσεις λαμβάνουν χώρα μεταξύ των πρακτόρων απλού ταξιδιού και των πρακτόρων κόμβου. Για να απλοποιήσουμε το παράδειγμα επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε έναν απλό γράφο και παράλληλα να θεωρήσουμε ότι δεν υπάρχουν κύκλοι. Επιπλέον θα θεωρήσουμε ότι μόνο ένας πράκτορας απλού ταξιδιού εξυπηρετείται από τους πράκτορες κόμβου και ότι κάθε πράκτορας κόμβου παραμένει ενεργός για όλη τη διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου. Πρέπει να παρατηρήσουμε ότι κάθε πράκτορας κόμβου που ενεργοποιείται για έναν κόμβο εκτελείται αυτόνομα και δεν υπάρχει κανένας συντονισμός. Συνεπώς δεν μπορούμε να γνωρίζουμε τη σειρά με την οποία ενεργοποιούνται οι πράκτορες ούτε και

τη σειρά με την οποία φτάνουν τα αποτελέσματα από κάθε πράκτορα στον πράκτορα απλού ταξιδιού. Για τις ανάγκες του παραδείγματος επιλέξαμε μια εντελώς τυχαία σειρά ενεργοποίησης των πρακτόρων κόμβου.

Στον Πίνακα C.1 βλέπουμε τη σειρά με την οποία ενεργοποιείται κάθε πράκτορας και τις ενέργειες που εκτελεί. Για παράδειγμα, καταρχήν ενεργοποιείται ο πράκτορας για τον κόμβο A ο οποίος ενεργοποιεί τους πράκτορες για τους κόμβους F, B, και στέλνει στον πράκτορα απλού ταξιδιού δύο δρομολόγια. Στη συνέχεια ο πράκτορας για τον κόμβο F, ενεργοποιεί τους πράκτορες για τους κόμβους G, E και στέλνει μια αίτηση στον πράκτορα που έχει ενεργοποιηθεί για τον κόμβο B. Επιπλέον στέλνει στον πράκτορα απλού ταξιδιού τρία νέα δρομολόγια. Με τον ίδιο τρόπο μπορεί κανείς να ερμηνεύσει και τις υπόλοιπες γραμμές του πίνακα. Παρατηρούμε ότι οι πράκτορες που ενεργοποιούνται για τους κόμβους E, D και H δεν εκτελούν καμιά ενέργεια. Αυτό που κάνουν είναι να στέλνουν μηνύματα τερματισμού.

Πράκτορας	Ενεργοποιεί τον	Στέλνει αίτηση στον	Στέλνει δρομολόγιο
A	F, B		A->F, A->B
F	G, E	B	F->G, F->E, F->B
B	D, C		B->D, B->C
G	H		G->H
C		E	C->E
E			
D			
H			

Πίνακας C.1: Σειρά ενεργοποίησης και εκτέλεσης των πρακτόρων κόμβου

Με βάση τη σειρά εκτέλεσης των πρακτόρων κόμβου ο πράκτορας απλού ταξιδιού λαμβάνει δρομολόγια με τη σειρά με την οποία στέλνονται από τους πράκτορες κόμβου. Καθώς τα δρομολόγια φτάνουν, ο πράκτορας απλού ταξιδιού τα συνδυάζει για την κατασκευή του ζητούμενου μονοπατιού. Στον Πίνακα C.2 βλέπουμε τα βήματα μέσα από τα οποία ο πράκτορας απλού ταξιδιού κατασκευάζει το ζητούμενο μονοπάτι. Κάθε γραμμή του πίνακα αντιστοιχεί σε ένα βήμα κατά το οποίο ο πράκτορας λαμβάνει ένα σύνολο δρομολογίων και επεκτείνει τα μονοπάτια που έχει κατασκευάσει μέχρι εκείνη τη στιγμή.

Τρέχουσα κατάσταση	Νέα δρομολόγια	Επόμενη κατάσταση
	A->F A->B	A->F A->B
A->F A->B	F->G F->E F->B	A->F->G A->F->E A->F->B A->B
A->F->G A->F->E A->F->B	B->D B->C	A->F->G A->F->E A->F->B->D

A->B		A->F->B->C A->B->D A->B->C
A->F->G A->F->E A->F->B->D A->F->B->C A->B->D A->B->C	G->H	A->F->G->H A->F->E A->F->B->D A->F->B->C A->B->D A->B->C
A->F->G->H A->F->E A->F->B->D A->F->B->C A->B->D A->B->C	C->E	A->F->G->H A->F->E A->F->B->D A->F->B->C->E A->B->C->E A->B->D

Πίνακας C.2: Τα βήματα κατασκευής του μονοπατιού από τα δρομολόγια που εντοπίζουν οι πράκτορες κόμβου

Παράρτημα C

Αγγλο-ελληνικό γλωσσάριο

Action	δράση
Adaptability	προσαρμοστικότητα
Advanced Operating System	Σύστημα πληροφόρησης ταξιδιωτών
Agent	πράκτορας
Aglets	Περιβάλλον ανάπτυξης αυτόνομων πρακτόρων λογισμικού
Ann Arbor Transportation Authority	Κρατική Υπηρεσία Συγκοινωνιών του Ann Arbor
Autonomy	αυτονομία
Autonomous agent	αυτόνομος πράκτορας
Autonomous software agent	αυτόνομος πράκτορας λογισμικού
Border	σύνορο
Border destination set	σύνολο συνοριακών προορισμών
Browser	αναδιφυτής
Cognition	νόηση
Component architecture	αρχιτεκτονική τμημάτων

Conceptualization	διαμόρφωση εννοιών
Constraint	περιορισμός
Constraint type	τύπος περιορισμού
Cumulative constraint	συγκεντρωτικός περιορισμός
Depth first traversal	κατά βάθος διάσχιση
Destination	προορισμός
Directed graph	κατευθυνόμενος γράφος
Display	συσκευή οπτικής παρουσίασης πληροφοριών
en-route	καθ' οδόν
en-route information	πληροφορία που αφορά την εξέλιξη ενός ταξιδιού
Entity	οντότητα
Federal Highway Administration	Ομοσπονδιακή Διεύθυνση Εθνικών Οδών
Federal Transit Administration	Ομοσπονδιακή Διεύθυνση Μεταφορών
Global Positioning System	Σύστημα Καθολικού Εντοπισμού (σύστημα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης μέσω δορυφόρων)
Geographic Positioning System	Σύστημα Γεωγραφικού Εντοπισμού (σύστημα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης μέσω δορυφόρων)
Graph	γράφος
Graph path	μονοπάτι σε γράφο
Graph traversal	διάσχιση γράφου
Hardware	υλικό
Hierarchical Fragmentation of Transportation Network	Ιεραρχική Τμηματοποίηση Συγκοινωνιακού Δικτύου
Hierarchical View of Transportation	Ιεραρχική Άποψη Συγκοινωνιακού

Network	Δικτύου
Information kiosk	περίπτερο πληροφοριών
Instance	στιγμιότυπο
Intelligent Transportation System	Ευφυές Σύστημα Συγκοινωνιών
Intermediate destination	ενδιάμεσος προορισμός
In-vehicle navigation system	Σύστημα πλοήγησης εγκατεστημένο πάνω σε όχημα
Itinerary	δρομολόγιο
Learning ability	ικανότητα μάθησης
Light Emitting Diode	Δίοδος Εκπομπής Φωτός
Local Transportation Network	Τοπικό Δίκτυο Συγκοινωνιών
London Transit Commission	Επιτροπή Συγκοινωνιών του London
Long Island Railroad	Υπηρεσία Σιδηροδρόμων του Long Island
Mean of transport	μέσο μεταφοράς
Mobile agent	κινούμενος πράκτορας
Mobile Display Terminal	Συσκευή επικοινωνιών
Name	ονομα
National Transportation Network	Εθνικό Συγκοινωνιακό Δίκτυο
New Jersey Transit	Υπηρεσία Συγκοινωνιών του New Jersey
Node	κόμβος
Origin	αφετηρία
Partition of Transportation Network	Καταμερισμός Συγκοινωνιακού Δικτύου
Path	μονοπάτι – διαδρομή
Property	ιδιότητα
Regional Transportation Network	Περιφερειακό Δίκτυο Συγκοινωνιών

Sensor	αίσθηση
SmarTraveler	Σύστημα πληροφόρησης ταξιδιωτών
Single constraint	ατομικός περιορισμός
Social ability	ικανότητα επικοινωνίας
Software	λογισμικό
Software module	τιμήμα λογισμικού
Talking Directory Display System	Σύστημα πληροφόρησης ταξιδιωτών
Talking Kiosk	Σύστημα πληροφόρησης ταξιδιωτών
Template	φορμα
TOPLink	Εργαλείο διασύνδεσης οντοκεντρικών εφαρμογών με σχεσιακές βάσεις δεδομένων
Transportation network	Συγκοινωνιακό δίκτυο
Transportation Network Graph	Γράφος Συγκοινωνιακού Δικτύου
Transportation Network Graph Fragment	Τμήμα Γράφου Συγκοινωνιακού Δικτύου
Transportation Network Graph Path	Μονοπάτι Γράφου Συγκοινωνιακού Δικτύου
Transport mode	είδος μέσου μεταφοράς
TransCal	Σύστημα πληροφόρησης ταξιδιωτών
Travel	ταξίδι
Traveler Information Center	Κέντρο Πληροφορίας για Ταξιδιώτες
Traveler Information Showcase	Σύστημα πληροφόρησης ταξιδιωτών
Traveler Information System	Σύστημα Πληροφόρησης Ταξιδιωτών
Trip	ταξίδι
User constraint	περιορισμός χρήστη
Value	τιμή

Web page

ιστοσελίδα

Παράρτημα D

Συντομογραφίες

AATA	Ann Arbor Transportation Authority
AOS	Advanced Operating System
ATMS	Advanced Traffic Management System
FES	Fixed End Server
FHA	Federal Highway Administration
FTA	Federal Transit Administration
GPS	Geographic Positioning System
GPS	Global Positioning System
HFTN	Hierarchical Fragmentation of Transportation Network
HVTN	Hierarchical View of Transportation Network
IRTIS	Interregional Traveler Information System
ITS	Intelligent Information System
LED	Light Emitting Diode
LIRR	Long Island Railroad

LTN	Local Transportation Network
MDT	Mobile Display Terminal
NTN	National Transportation Network
NJT	New Jersey Transit
PDA	Personal Digital Assistant
PTN	Partition of Transportation Network
RTN	Regional Transportation Network
TDDS	Talking Directory Display System
TIC	Traveler Information Center
TIS	Traveler Information Showcase
TIS	Traveler Information System
TNG	Transportation Network Graph
TNG ^f	Transportation Network Graph Fragment
TNG-Path	Transportation Network Graph Path
TNG-PF	Transportation Network Graph – Path Finding

