ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΛΕΚΤΟΡΑΣ Γ. ΣΑΧΑΡΙΔΗΣ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΑΞΙΔΙΟΥ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΑ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

ΘΕΟΔΟΣΙΟΥ ΓΙΩΡΓΟΣ
ΚΑΪΜΑΚΑΜΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΒΟΛΟΣ, 2015

<u>JOURNEY PLANNING</u>

- Σκοπός του θέματος είναι η περιγραφή, η μοντελοποίηση και στη συνέχεια η επίλυση ενός προβλήματος σχεδιασμού δρομολόγησης πολλαπλών κριτηρίων
- Το πρόβλημα ανάγεται στον ορισμό ενός πολυτροπικού (multimodal) δικτύου μετακίνησης εξαρτώμενου από το χρόνο, που περιλαμβάνει έναν ιεραρχικό συνδυασμό υπεραστικών και αστικών μέσων μεταφοράς καθώς και άλλων ιδιωτικών μέσων (π.χ. ποδήλατο, αυτοκίνητο) και πεζοπορία.
- Σχεδιάζεται ένα *προσαρμοσμένο δίκτυο* για ένα ζεύγος πιθανών σημείων αναχώρησης και άφιξης σε έναν προορισμό. Αυτό οδηγεί σε μια *λίστα εναλλακτικών δρομολογίων* για τα οποία οι εκάστοτε συγκοινωνιακές συνδέσεις είναι πλήρως προσδιορισμένες.

Τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη είναι τα εξής: i) συνολικός χρόνος ταξιδιού, ii) συνολικός αριθμός των μεταφορών και iii) κόστος. Ακόμη ισχύουν περιορισμοί i) με βάση το χρόνο, και ii) τον τρόπο μετακίνησης.

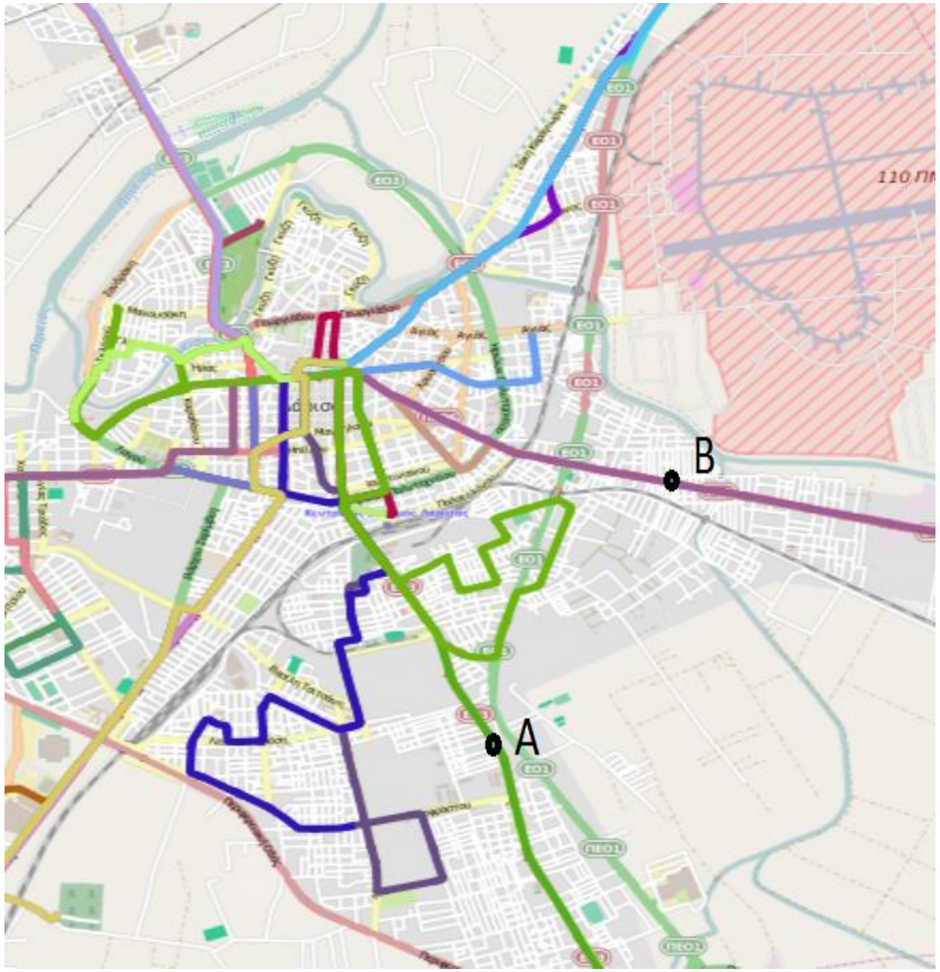
Πολυτροπικός σχεδιασμός ταξιδίου στη Θεσσαλία

Τυπική πολυτροπική διαδρομή στην πόλη της Λάρισας:

- Πεζοπορία
- 14 γραμμές αστικών λεωφορείων
- 35 έως 60 στάσεις ανά γραμμή
- Τα δρομολόγια ανά γραμμή ανάλογα με την περιοχή που καλύπτουν κυμαίνονται σε 10 εώς 110 ημερησίως
- Μέγιστη διάρκεια πεζοπορίας αυτή μεταξύ των 2 πιο μακρινών διαδοχικών στάσεων ενός μέσου

Δεδομένα του ταξιδιού:

- Η τοποθεσία των στάσεων
- Οι διαδρομές που ακολουθούν τα αστικά λεωφορεία
- Οι χρόνοι άφιξης σε κάθε στάση
- Ο μέγιστος χρόνος πεζοπορίας
- Σημεία εκκίνησης/προορισμού

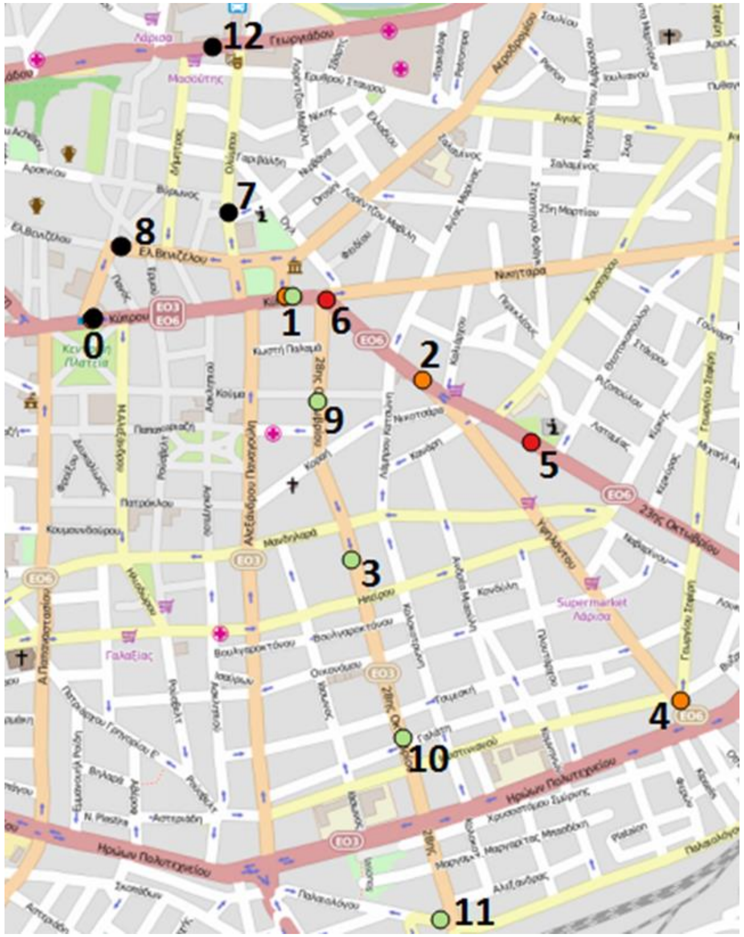


Στο παράδειγμα μας, σκοπό είναι να πάμε από το σημείο Α στο σημείο Β ελαχιστοποιών ας ένα κριτήριο (κόστος, χρόνος, απόσταση)

<u>JOURNEY PLANNING- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ</u>

Το δίκτυο πάνω στο οποίο βασίζεται το μοντέλο και ο κώδικας CPLEX φαίνεται παρακάτω:

Με βάση την εικόνα και τους δείκτες των στάσεων που δηλώθηκαν στον κώδικα, τα μέσα ακολουθούν τις παρακάτω διαδρομές:



ΜΕΣΟ	**ΔΙΑΔΡΟΜΗ**
0	0→1→2→3→4
1	5→6→7→8→0
2	0→1→9→3→10→11
3	7→12→8→0

Συμβολισμοί:

S: Το σύνολο των στάσεων που ένα ταξίδι ξεκινά ή καταλήγει με την δεικτοδότηση τους:

$S = \{0,1,2,3, \dots ,12\}$

K: Το σύνολο των μέσων που μπορεί να χρησιμοποιηθούν με την δεικτοδότηση τους:

$K = \{0,1,2,3,4\}$ όπου $k = 4$ δηλώνει το μέσο της πεζοπορίας.

Δεδομένα:

$\boldsymbol{C_{i,j,k}}$: Ποσότητα που εκφράζει τη χρονική διάρκεια της διαδρομής από μία στάση i σε μία στάση j χρησιμοποιώντας το μέσο $k \in K$.

lat1: Το γεωγραφικό πλάτος του σημείου εκκίνησης/τερματισμού που δίνει ο ταξιδιώτης.

long1: Το γεωγραφικό μήκος του σημείου εκκίνησης/ τερματισμού που δίνει ο ταξιδιώτης.

lat2: Το γεωγραφικό πλάτος τυχαίας στάσης $i \in S$

long2: Το γεωγραφικό μήκος τυχαίας στάσης $i \in S$

{*Με κώδικα στη C++ (αρχείο apostaseis.cpp) υπολογίζουμε σε λεπτά τις 2 πιο κοντινές στάσεις εκκίνησης* $(r1, r2)$ *από το σημείο εκκίνησης, και τις 2 πιο κοντινές στάσεις τερματισμού* $(s1, s2)$ *από το σημείο τερματισμού. Οι υπολογισμοί βασίζονται στους παρακάτω τύπους:*

$$dlon = long2 - long1 (\text{σε ακτίνια})$$

$$dlat = lat2 - lat1 \ (\text{σε ακτίνια})$$

$$a = (sin(dlat/2))^2 + cos(lat1)cos(lat2)(sin(dlon/2))^2$$

$$c = 2 \cdot atan2\left(\sqrt{a}, \sqrt{(1-a)}\ \right)$$

$$d = R \cdot c \ \left(where\ R\ is\ the\ radius\ of\ \ the\ Earth = 6378.137\ km\right)$$

Διαιρώντας την απόσταση d με το γινόμενο 0.00092 (που είναι το μέσο περπάτημα σε km/sec) επί 60sec, παίρνουμε την απόσταση σε λεπτά.}

Μεταβλητή απόφασης:

$\boldsymbol{X_{i,j,k}}$: Δυαδική μεταβλητή (0-1) που εκφράζει αν ο ταξιδιώτης μπορεί να πάει από μία στάση i σε μία στάση j χρησιμοποιώντας το μέσο $k \in K$ ή όχι.

Περιορισμοί:

1A) Από την στάση εκκίνησης μία διαδρομή επιλέγεται:

$$\sum_{j=0}^{12}\sum_{k=0}^{4} X_{r,j,k} = 1,\ \forall r \in \{0,\ldots,12\}$$

1B) Καμία διαδρομή δε καταλήγει προς τη στάση εκκίνησης:

$$\sum_{i=0}^{12}\sum_{k=0}^{4} X_{i,r,k} = 0,\ \forall r \in \{0,\ldots,12\}$$

όπου r η στάση εκκίνησης.

2A) Στη στάση τερματισμού μόνο μία διαδρομή καταλήγει:

$$\sum_{i=0}^{12}\sum_{k=0}^{4} X_{i,s,k} = 1,\ \forall s \in \{0,...,12\}$$

2B) Από τη στάση τερματισμού καμία διαδρομή δεν επιλέγεται:

$$\sum_{j=0}^{12}\sum_{k=0}^{4} X_{s,j,k} = 0,\ \forall s \in \{0,...,12\}$$

όπου s η στάση τερματισμού.

3) Για κάθε διαδρομή από την στάση *i* στη στάση *j* ισχύει:

$$0 \le \sum_{k=0}^{4} X_{i,j,k} \le 1 \ , \forall i, j \in \{0,...,12\}$$

4) Το άθροισμα των ροών που μπαίνουν σε μία στάση που είναι δυνατόν να είναι στάση εκκίνησης αλλά και τερματισμού, είναι ίσο με το άθροισμα των ροών που βγαίνουν από αυτή:

$$\sum_{i=0}^{12} \sum_{k1=0}^{4} X_{i,j,k1} = \sum_{m=0}^{12} \sum_{k2=0}^{4} X_{j,m,k2} \ , \forall j \in \{0,...,12\} - \{\mathrm{r,s}\}$$

Ελαχιστοποίηση αντικειμενικής συνάρτησης συνολικού κόστους βέλτιστης διαδρομής:

$$\min \sum_{i=0}^{12} \sum_{j=0}^{12} \sum_{k=0}^{4} C_{i,j,k} X_{i,j,k}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Περίπτωση 1:

Ο ταξιδιώτης εισάγει τις συντεταγμένες του σημείου εκκίνησης και τερματισμού της διαδρομής του στη κονσόλα του **προγράμματος apostaseis.cpp:**

Σημείο εκκίνησης: Latitude = 22.4165 , Longtitude = 39,6391

Σημείο τερματισμού: Latitude = 22.4215 , Longtitude = 39,6322

Η στάση εκκίνησης με τη μικρότερη απόσταση απο το σημείο εκκίνησης είναι:

$r_0 = 0$ με χρόνο, $tr_0 = 0{,}824\ min$

Η στάση εκκίνησης με τη δεύτερη μικρότερη απόσταση απο το σημείο εκκίνησης είναι:

$r_1 = 8$ με χρόνο, $tr_1 = 1{,}366\ min$

Η στάση τερματισμού με τη μικρότερη απόσταση απο το σημείο τερματισμού είναι:

$s_0 = 10$ με χρόνο, $ts_0 = 1{,}233\ min$

Η στάση τερματισμού με τη δεύτερη μικρότερη απόσταση απο το σημείο τερματισμού είναι:

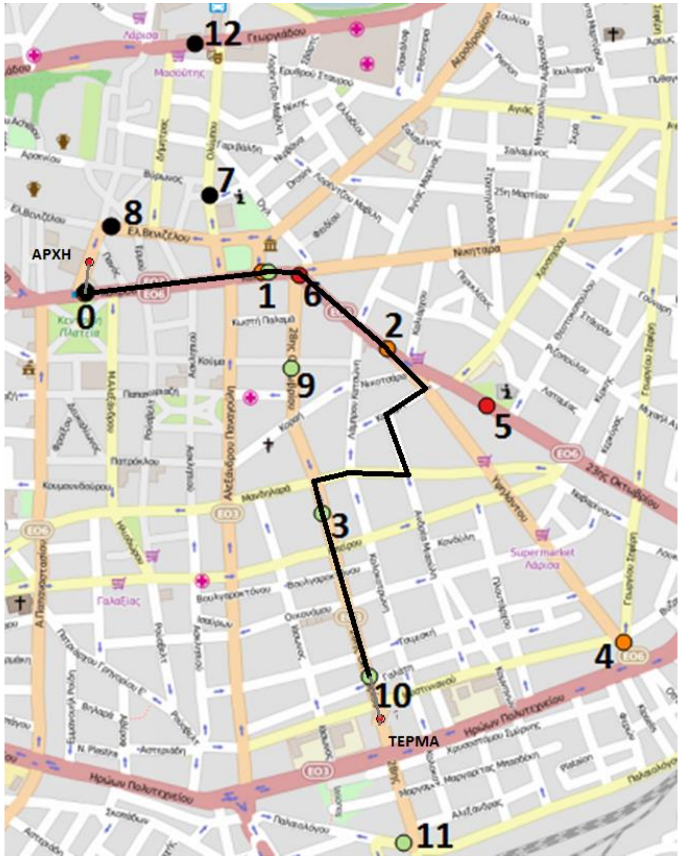
$s_1 = 11$ με χρόνο, $ts_1 = 4{,}445\ min$

Έπειτα τρέχουμε το πρόγραμμα montelo.cpp, εισάγοντας στη κονσόλα τα κατάλληλα r και s και παίρνουμε τις 4 διαφορετικές περιπτώσεις που φαίνονται στο πίνακα παρακάτω.

Περίπτωση	**Στάσεις**	**Κόστος σε min (Solution value)**	**Μεταβλητές που επιλέγονται**	**Συνολικός χρόνος ταξιδίου (min)**
1	$r_0 = 0$ και $s_0 = 10$	5	$X_{0,1,0} = 1$ $X_{1,2,0} = 1$ $X_{2,3,0} = 1$ $X_{3,10,2} = 1$	7,057
2	$r_0 = 0$ και $s_1 = 11$	7	$X_{0,1,0} = 1$ $X_{1,2,0} = 1$ $X_{2,3,0} = 1$ $X_{3,10,2} = 1$ $X_{10,11,2} = 1$	12,269
3	$r_1 = 8$ και $s_0 = 10$	6	$X_{8,0,1} = 1$ $X_{0,1,0} = 1$ $X_{1,2,0} = 1$ $X_{2,3,0} = 1$ $X_{3,10,2} = 1$	8,6
4	$r_1 = 8$ και $s_1 = 11$	8	$X_{8,0,1} = 1$ $X_{0,1,0} = 1$ $X_{1,2,0} = 1$ $X_{2,3,0} = 1$ $X_{3,10,2} = 1$ $X_{10,11,2} = 1$	13,811

Συνεπώς, το καλύτερο σενάριο είναι να ξεκινήσει ο ταξιδιώτης απο τη στάση $r_0 = 0$ και να καταλήξει στη στάση $s_0 = 10$

<u>Απεικόνιση της διαδρομής:</u>



Περίπτωση 2:

Ο ταξιδιώτης εισάγει τις συντεταγμένες του σημείου εκκίνησης και τερματισμού της διαδρομής του στη κονσόλα του **προγράμματος apostaseis.cpp:**

Σημείο εκκίνησης: Latitude = 22.4265, Longtitude = 39,6331

Σημείο τερματισμού: Latitude = 22.419, Longtitude = 39,64

Η στάση εκκίνησης με τη μικρότερη απόσταση απο το σημείο εκκίνησης είναι:

$r_0 =$ 4 με χρόνο, $tr_0 = \ 1{,}266\ min$

Η στάση εκκίνησης με τη δεύτερη μικρότερη απόσταση απο το σημείο εκκίνησης είναι:

$r_1 =$ 3 με χρόνο, $tr_1 = \ 5{,}516 min$

Η στάση τερματισμού με τη μικρότερη απόσταση απο το σημείο τερματισμού είναι:

$s_0 =$ 7 με χρόνο, $ts_0 = \ 1{,}333 min$

Η στάση τερματισμού με τη δεύτερη μικρότερη απόσταση απο το σημείο τερματισμού είναι:

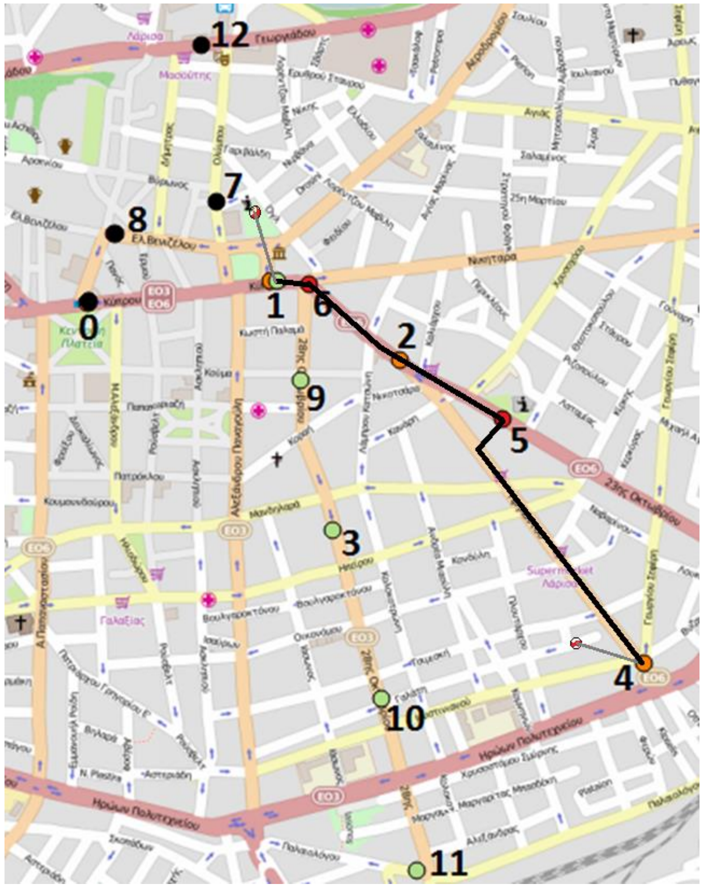
$s_1 = 11$ με χρόνο, $ts_1 = \ 2{,}328 min$

Έπειτα τρέχουμε το πρόγραμμα montelo.cpp, εισάγοντας στη κονσόλα τα κατάλληλα r και s και παίρνουμε τις 4 διαφορετικές περιπτώσεις που φαίνονται στο πίνακα παρακάτω.

Περίπτωση	**Στάσεις**	**Κόστος σε min (Solution value)**	**Μεταβλητές που επιλέγονται**	**Συνολικός χρόνος ταξιδίου (min)**
1	$r_0 = 4$ και $s_0 = 7$	11	$X_{4,5,4} = 1$ $X_{5,6,1} = 1$ $X_{6,7,1} = 1$	13,559
2	$r_0 = 4$ και $s_1 = 11$	11	$X_{4,5,4} = 1$ $X_{5,6,1} = 1$ $X_{6,1,4} = 1$	14,594
3	$r_1 = 3$ και $s_0 = 7$	5	$X_{3,5,4} = 1$ $X_{5,6,1} = 1$ $X_{6,7,1} = 1$	11,849
4	$r_1 = 3$ και $s_1 = 11$	5	$X_{3,5,4} = 1$ $X_{5,6,1} = 1$ $X_{6,1,4} = 1$	12,844

Συνεπώς, το καλύτερο σενάριο είναι να ξεκινήσει ο ταξιδιώτης απο τη στάση $r_0 = 3$ και να καταλήξει στη στάση $s_0 = 7$.

<u>Απεικόνιση της διαδρομής:</u>



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία & Δημοσιεύσεις

1. *N.R. Achuthan and L. caccetta: **" Integer linear programming formulation for a vehicle routing problem"** European Journal of Operational Research 52 (1991) 86-89 North-Holland.*

2. G. Saharidis: **´´ Scheduling of Loading and Unloading of Crude oil in a Refinery´´.**

3. Prof. Athanasios Ziliaskopoulos, Dr. Georgia Aifandopoulou, Ms. Evangelia Chrisohoou´´ **A multi-objective optimum path algorithm for passenger pre- trip planning in multimodal transportation networks.´´,** Submission date: August 1st, 2006l.

4. Alessandro Perugia, Luigi Moccia, Jean-François Cordeau, Gilbert Laporte***: ´´*** **Designing a home-to-work bus service in a metropolitan area´´*,*** *Transportation Research Part B 45 (2011) 1710–1726.*

5. Δεδομένα μέσων μεταφοράς: **http://ktelast-larisas.gr/index.php.**