



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

Αθήνα, Ιούλιος 2017

Δυναμική Πρόβλεψη Επιλογής Μεταφορικού Μέσου για Αλληλοεξαρτώμενες Μετακινήσεις με Μεταβαλλόμενους Προορισμούς

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ: ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΓΚΙΟΤΣΑΛΙΤΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ

Dynamic Transport Mode Estimation subject to joint decisions and spatio-temporal variations

Γιατί πρέπει να ενδιαφερόμαστε για τις Αλληλοεξαρτώμενες Μετακινήσεις;

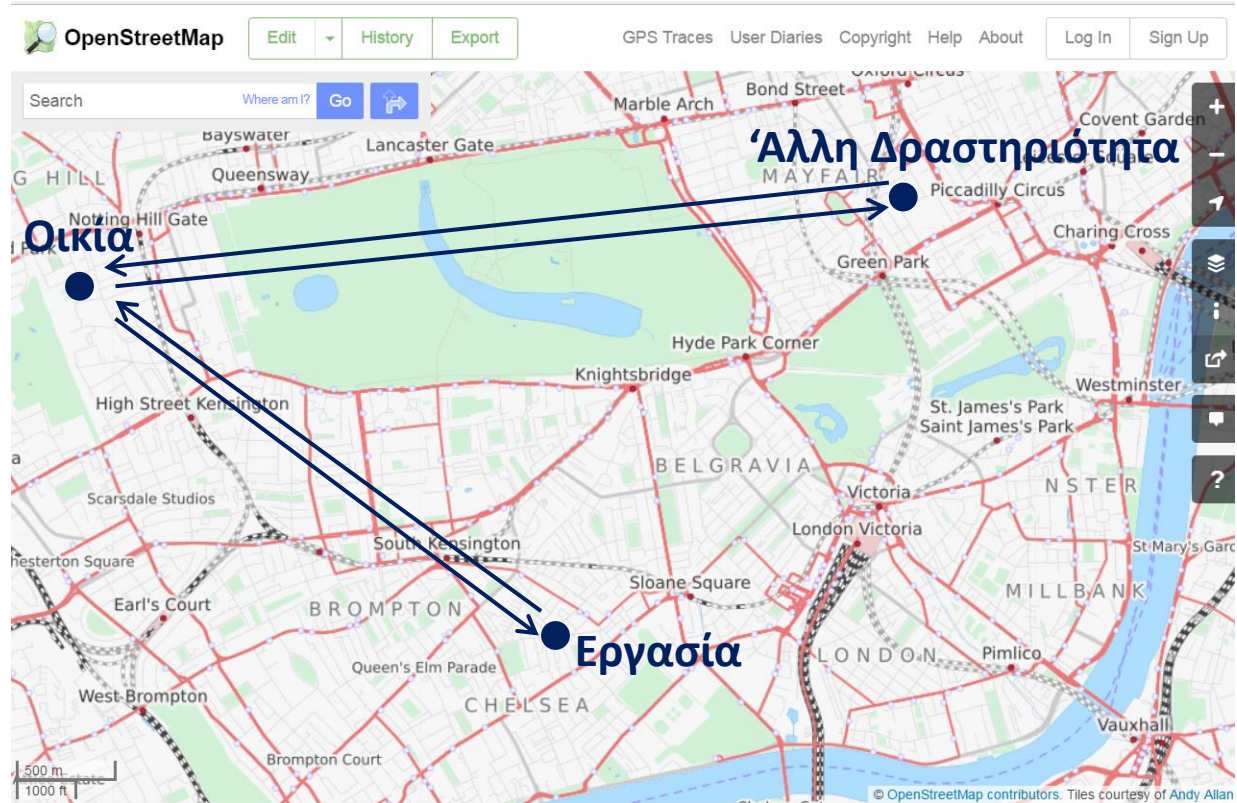
■ Σε αστικά κέντρα, **60+%** των δραστηριοτήτων σχετίζονται με **εξω-εργασιακές** δραστηριότητες

- New York Regional Travel Survey, 2014
- Transport for London, Travel in London, London Travel Demand Survey, 2014
- National Household Travel Survey, USA, 2009

Χαρακτηριστικά

■ Ισχυρή **διακύμανση** στο χώρο και στο χρόνο σε σχέση με δραστηριότητες τύπου “οικία-εργασία”

- Επίπτωση I: Μη εντοπισμός με χρήση **ερωτηματολογίων**
- Επίπτωση II: Μεγαλύτερα σφάλματα στην πρόβλεψη **Μεταφορικής Ζήτησης**



“Activity-based” Μοντελοποίηση των καθημερινών μετακινήσεων χρηστών – Hägerstrand (1969)

Όραμα / Αρχικοί Στόχοι Διατριβής



-
- Δυναμική Βελτιστοποίηση** μετακινήσεων αλληλοεξαρτώμενων δραστηριοτήτων στο χώρο και στο χρόνο
- -> Εντοπισμός μοτίβων Μετακινήσεων για κάθε χρήστη
 - -> Επιλογή Τόπου και Χρόνου Δραστηριοτήτων
 - -> Εκτίμηση Μεταφορικών Μέσων Μετακινούμενων
 - -> Προσαρμογή Μέσων Μαζικής Μεταφοράς

Κύρια Ερωτήματα

- Σε ποιο βαθμό χρησιμοποιούνται ή δύνανται να χρησιμοποιηθούν **συνεχώς ανανεώσιμα ατομικά δεδομένα** για τον εντοπισμό των **μοτίβων αλληλοεξαρτώμενων μετακινήσεων** κάθε χρήστη;
- Μπορεί να εκτιμηθεί η **χρησιμότητα του χρήστη** κατά τη συμμετοχή του σε αλληλοεξαρτώμενες δραστηριότητες λαμβάνοντας υπόψιν τα ιστορικά ατομικά του δεδομένα;
- Πως μπορεί να επιλεγεί ο **βέλτιστος τόπος** και **χρόνος** πραγματοποίησης μιας αλληλεξαρτώμενης μετακίνησης σε **πραγματικό χρόνο**;
- Μπορούν οι δημόσιες συγκοινωνίες να προσαρμόσουν τους **χρόνους αναχώρησης δρομολογίων** ώστε να **καλύψουν την ισχυρά διακυμαινόμενη ζήτηση** για αλληλοεξαρτώμενες μετακινήσεις χωρίς να επηρεάσουν αρνητικά το επιβατικό κοινό;
- Μπορεί να προταθεί μια **βέλτιστη διαδρομή** για κάθε συμμετέχοντα που [α] λαμβάνει υπόψιν τις **προσωπικές του προτιμήσεις** και [β] περιλαμβάνει **ένα ή περισσότερα μεταφορικά μέσα** σε πραγματικό χρόνο;

K. Gkiotsalitis, A. Stathopoulos (2015): "Optimizing Leisure Travel: Is BigData Ready to Improve the Joint Leisure Activities Efficiency?", vol.38 of the series Engineering and Applied Sciences Optimization, Springer International Publishing, 53-71.

K. Gkiotsalitis, A. Stathopoulos (2015): "A utility-maximization model for retrieving users' willingness to travel for participating in activities from big-data", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 58, 265-277.

K. Gkiotsalitis, A. Stathopoulos (2016): "Joint leisure travel optimization with user-generated data via perceived utility maximization", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 68, 532-548.

K. Gkiotsalitis, A. Stathopoulos (2016): "Demand-Responsive Public Transportation Re-scheduling for adjusting to the Joint Leisure Activity Demand", International Journal of Transportation Science and Technology (IJTST), Elsevier, vol. 5, issue 2, 68-82.

K. Gkiotsalitis, A. Stathopoulos (2015): "A mobile application for real-time multimodal routing under a set of users' preferences", Journal of Intelligent Transportation Systems 19 (2), 149-166.

Βιβλιογραφία – Περιοχές Έρευνας

■ Έρευνες για την ανάπτυξη μοντέλων μετακινήσεων με χρήση ατομικών δεδομένων **κινητής τηλεφωνίας**

Calabrese et al. [28]
Becker et al. [13]
Gonzalez et al. [58]
White and Wells [119]
Zhang et al. [124]
Pan et al. [93]
Sohn and Kim [109]



■ Έρευνες για την ανάπτυξη μοντέλων μετακινήσεων με χρήση ατομικών δεδομένων **έξυπνων καρτών μεταφοράς**

Smith et al. [108]
Ceapa et al. [31]
Morency et al. [84]
Bagchi and White [11]
Foell et al. [51]
Ivanchev et al. [66]
Li et al. [72]
Munizaga and Palma [85]
Chakirov and Erath [33]



Pereira et al. [96]
Gkiotsalitis et al. [55]
Alesiani et al. [5]
Gabrielli et al. [54]
Noulas et al. [89]
Hawelka et al. [62]
Hasan et al. [60]
Gkiotsalitis & Alexandrou [56]



■ Έρευνες για την ανάπτυξη μοντέλων μετακινήσεων με χρήση ατομικών δεδομένων **GPS που συλλέγονται από προσωπικούς πλοηγούς ή κινητά τηλέφωνα**

Krumm and Horvitz [71]
Liao et al. [75]
Liao et al. [76]
Wu et al. [122]
Hato [61]
Bohte et al. [20]
Chen et al. [35]
Li et al. [73]
Li et al. [74]



Βιβλιογραφία – Συμπεράσματα

- Στη βιβλιογραφία πολλές έρευνες κάνουν χρήση **συνεχώς ανανεώσιμων ατομικών δεδομένων χρηστών** για την [α] **εκτίμηση της διακύμανσης της μεταφορικής ζήτησης** και την [β] **εκτίμηση των μοτίβων μετακινήσεων και δραστηριοτήτων χρηστών**
- Ωστόσο, μοντέλα για τη **δυναμική επιλογή μεταφορικών μέσων και τοποθεσίας/χρόνου έναρξης αλληλοεξαρτώμενων μετακινήσεων**
 - δεν αποτυπώνονται στην παρούσα βιβλιογραφία
 - απαιτούν πληρέστερη σύνθεση ετερόκλητων πηγών ατομικών δεδομένων

Απαιτούμενες Πηγές Ατομικών Δεδομένων

Εκτίμηση **μέγιστων αποστάσεων** που δύναται να διανύσει κάθε χρήστης για συμμετοχή σε εξω-εργασιακή δραστηριότητα



ή



από όλους τους χρήστες της περιοχής μελέτης

Βελτιστοποίηση **Τόπου** και **Χρόνου έναρξης** αλληλοεξαρτώμενων μετακινήσεων



από όλους τους χρήστες της περιοχής μελέτης

Βελτιστοποίηση **Δρομολογίων Δημοσίων Συγκοινωνιών** που εξυπηρετούν ζήτηση για αλληλοεξαρτώμενες μετακινήσεις



&



Βελτιστοποίηση **Τρόπου Μετακίνησης χρηστών** στην τοποθεσία της κοινής δραστηριότητας



&



&



Ανάλυση Μοτίβων Μετακινήσεων Χρηστών – Πηγές Δεδομένων

■ Πηγή Δεδομένων: **Μέσα Κοινωνικής Δικτύωσης** διότι παρέχουν πληροφορίες για τις **αλλαγές θέσης** και για τα **γενικά χαρακτηριστικά του χρήστη** καθώς και για το **κοινωνικό του δίκτυο** με το οποίο μπορεί να οργανώσει κοινές δραστηριότητες



- Η **θέση κάθε ανάρτησης δεν είναι γνωστή** καθώς ο χρήστης μπορεί μόνο να αναρτήσει τον πλησιέστερο τόπο ενδιαφέροντος ακόμα και αν έχει συσκευή με δυνατότητα GPS
- Η εξόρυξη αναρτήσεων χρηστών δεν είναι δυνατή χωρίς τους **κωδικούς ταυτοποίησης** τους, που διατίθενται μόνο σε αυτούς

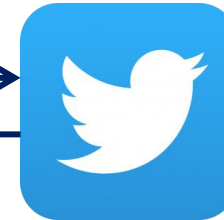


- Οι αναρτήσεις των χρηστών είναι **κοινώς διαθέσιμες**
- **Γενικά χαρακτηριστικά χρηστών** (ηλικία, φύλο, περιοχή κατοικίας) είναι κοινώς διαθέσιμα
- Το **κοινωνικό τους δίκτυο** (followers/following) είναι κοινώς διαθέσιμο
- Οι αναρτήσεις τους δύνανται να περιέχουν τις **τρέχουσες συντεταγμένες θέσης**

Data Mining
Πρόγραμμα στη γλώσσα
προγραμματισμού
Python



Geo-location filter



Twitter **API**
(250 πιο πρόσφατες
αναρτήσεις)

Αποδεκτά Δεδομένα για την Ανάλυση Μοτίβων Μετακινήσεων



- Οι χρήστες πρέπει να είναι από την ίδια περιοχή μελέτης
- Πρέπει να είναι ενεργοί – να παράγουν πλήθος αναρτήσεων κάθε μέρα κατά τη διάρκεια τουλάχιστον τεσσάρων (4) μηνών
- Πρέπει να πραγματοποιούν αναρτήσεις από συσκευές με δυνατότητα ανίχνευσης θέσης μέσω GPS
- Πρέπει να έχουν εξουσιοδοτήσει τη δημοσιοποίηση των συντεταγμένων τους σε κάθε ανάρτηση



Account >

Privacy and safety >

Password >

Cards and shipping >

Order history >

Mobile >

Email notifications >

Notifications >

Web notifications >

Find friends >

Muted accounts >

Muted words >

Tweet privacy ☐ Protect my Tweets

If selected, only those you approve will receive your Tweets. Your future Tweets will not be available publicly. Tweets posted previously may still be publicly visible in some places. [Learn more](#).

Tweet location ☒ Add a location to my Tweets

When you tweet with a location, Twitter stores that location. You can switch location on/off before each Tweet. [Learn more](#)

[Delete location information](#)

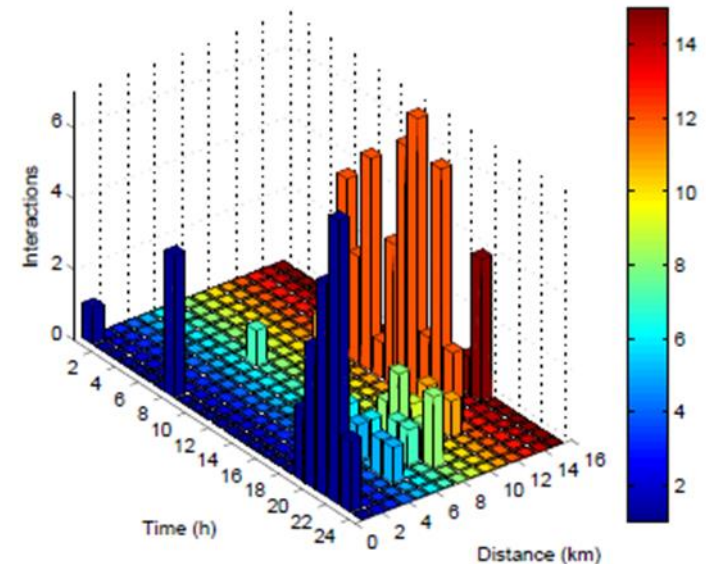
This will delete location labels you have added to your Tweets. This may take up to 30 minutes.

Discoverability ☒ Let others find me by my email address

☐ Let others find me by my phone number

This setting will take effect once you add a phone number. [Add now](#)

[Learn more](#) about how this data is used to connect you with people.



Αριθμός αναρτήσεων χρήστη και απόσταση κάθε ανάρτησης από την οικία για διαφορετικές ώρες της ημέρας



"Mobility Patterns"



ΜΟΤΙΒΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ
ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΩΝ ΑΦΙΞΗΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΩΝ ΣΕ ΚΟΙΝΕΣ
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Ανάλυση Μοτίβων Μετακινήσεων Χρηστών – Μοντελοποίηση

Ενδεικτικό Παράδειγμα επισκεψιμότητας Χρήστη σε διάφορες τοποθεσίες ενδιαφέροντος

Καθημερινές	Τοποθεσία 1	Τοποθεσία 2		Τοποθεσία χ
Χρονική Περίοδος: 0:00-1:00	13	3		12
Χρονική Περίοδος: 1:00-2:00	0	0		7
Χρονική Περίοδος: 2:00-3:00	0	0		6
.....				
Χρονική Περίοδος: 23:00-24:00	52	38		3

$$1 \quad P(I, k, t, L_m, A_n) = \frac{N(I, k, t, L_m, A_n)}{\sum_{A_n \in A} \sum_{L_m \in \Lambda} N(I, k, t, L_m, A_n)}$$

Πιθανοτικός Πίνακας P: Πιθανότητα ο Χρήστης να βρίσκεται σε κάποια τοποθεσία L_m και να πραγματοποιεί μία δραστηριότητα A_n σε κάποιο χρονικό διάστημα της ημέρας t

$$2 \quad a_{i,j} = P(S_{t+1} = q_j | S_t = q_i)$$

Πιθανότητα Μετάβασης $a_{i,j}$: Πιθανότητα ο Χρήστης να μεταφερθεί στην κατάσταση S_{t+1} τη χρονική περίοδο $t + 1$ εάν τη χρονική περίοδο t βρισκόταν στην κατάσταση S_t

$$3 \quad A(I, L_n) = A_m$$

$$A_m = \begin{cases} A_1 : \text{Home} \\ A_2 : \text{Fixed Activity} \\ A_3 : \text{Quasi-Fixed Activity} \\ A_4 : \text{Flexible Activity} \end{cases}$$

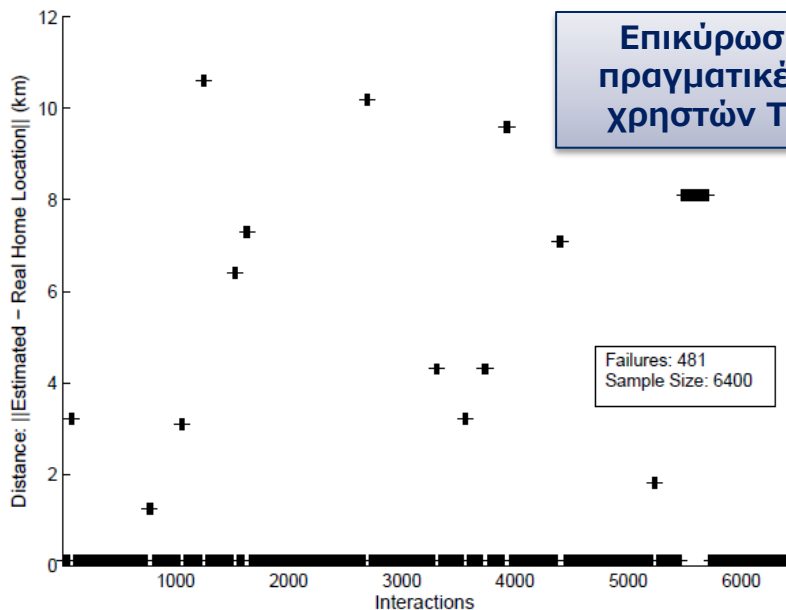
Είδος δραστηριότητας A_m που αντιστοιχίζεται στην τοποθεσία L_n για τον χρήστη

Αντιστοίχιση Δραστηριοτήτων σε Τοποθεσίες

$$\sum_{k=D_1}^{k=D_M} \sum_{t=Min_T}^{t=Min_T+2hr} y_i^{t,k} w^{t,k} + \sum_{k=D_1}^{k=D_M} \sum_{t=Max_T-3hr}^{t=Max_T} y_i^{t,k} w^{t,k} \geq$$

$$\sum_{k=D_1}^{k=D_M} \sum_{t=Min_T}^{t=Min_T+2hr} y_l^{t,k} w^{t,k} + \sum_{k=D_1}^{k=D_M} \sum_{t=Max_T-3hr}^{t=Max_T} y_l^{t,k} w^{t,k} \quad \forall L_l \in \Lambda$$

Εύρεση Τοποθεσίας Οικίας: Τοποθεσία στην οποία ο χρήστης πραγματοποιεί τις περισσότερες αναρτήσεις **3 ώρες** μετά την αρχή της ημέρας του και **2 ώρες** πριν το τέλος της ημέρας του λαμβάνοντας υπόψιν μόνο τις καθημερινές



* Feature Engineering + Ensemble Learning για αυτοματοποιημένη βελτίωση της ακρίβειας πρόβλεψης τοποθεσίας οικίας σε μελλοντικά, συνεχώς ανανεώσιμα δείγματα από διάφορες πόλεις / περιοχές μελέτης

Αντιστοίχιση Δραστηριοτήτων, A_m σε Τοποθεσίες L_n

Home -> Εύρεση Τοποθεσίας Οικίας

Fixed (Σταθερές Δραστηριότητες):
Επαναληψιμότητα >10% στο Σύνολο των Δραστηριοτήτων

Quasi - Fixed (Επαναλαμβανόμενες Δραστηριότητες):
Επαναληψιμότητα 5-10% στο Σύνολο των Δραστηριοτήτων

Flexible (Εξω-εργασιακές, μη Επαναλαμβανόμενες Μετακινήσεις):
Επαναληψιμότητα <5% στο Σύνολο των Δραστηριοτήτων

Προσομοίωση ημερήσιων μετακινήσεων χρήστη

■ **Διακριτοποίηση** της ημέρας σε **23 ωριαίες** χρονικές περιόδους

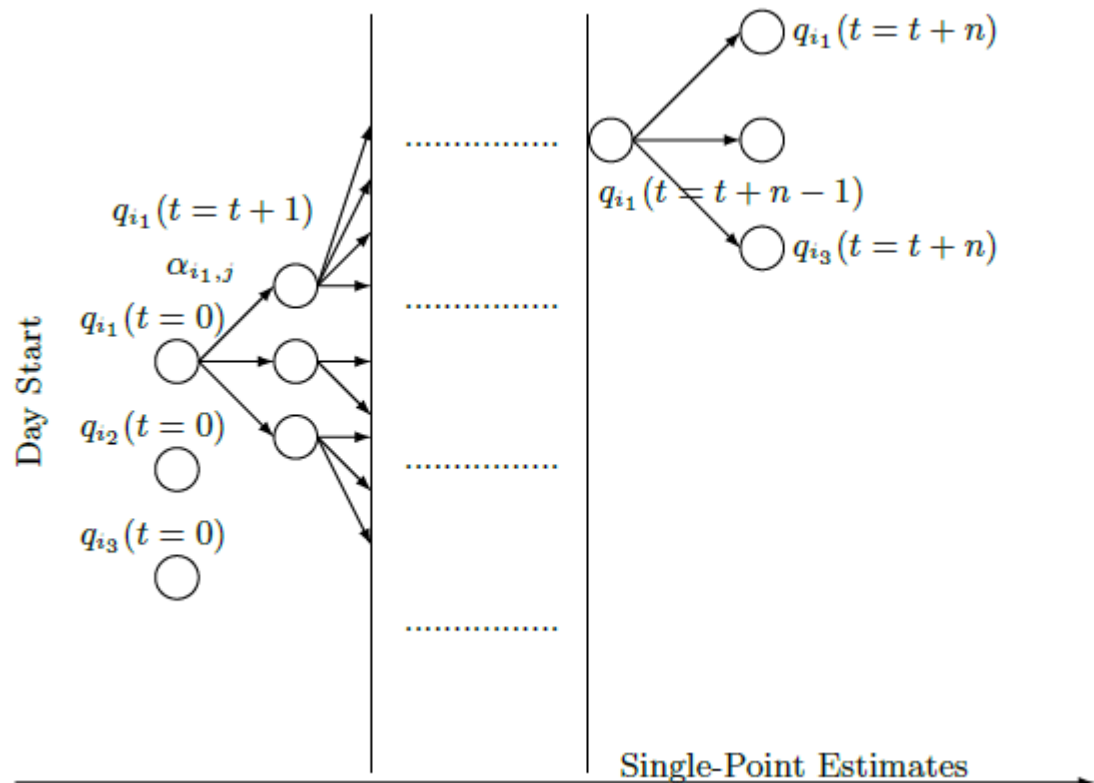
■ **Βήμα-προς-βήμα** προσομοίωση πιθανών μετακινήσεων στο πέρας κάθε χρονικής περιόδου βάσει

- Της **τρέχουσας θέσης** του χρήστη
- Της **χρονικής στιγμής** μετάβασης
- Της **τρέχουσας δραστηριότητας** του χρήστη

■ Οντότητα προσομοίωσης είναι η μεταβολή κατάστασης του χρήστη από

- Τοποθεσία/Δραστηριότητα $q_i(t)$ σε τοποθεσία/δραστηριότητα $q_j(t+1)$

Βήμα-προς-βήμα επιλογή μετάβασης σε νέα ζεύγη τοποθεσίας/δραστηριότητας κατά τη διάρκεια της ημέρας



Εκτίμηση καθημερινών μεταβάσεων σε διαφορετικά ζεύγη τοποθεσίας/δραστηριότητας βάσει της **πιθανότητας μετάβασης** και του **πιθανοτικού πίνακα**

Εκτίμηση Αποστάσεων που είναι διατεθειμένος να διανύσει ο χρήστης για διαφορετικού τύπου δραστηριότητες

$$j = \begin{cases} 1 : F_j \leq x_0, & x_0 : \text{distance in km} \\ 2 : x_0 < F_j \leq x_1, & x_1 : \text{distance in km} \\ \dots \\ J : F_j > x_{J-2}, & x_{J-2} : \text{distance in km} \end{cases}$$

Διακριτή κατηγοριοποίηση αποστάσεων διάνυσης χρήστη για τη μετάβασή του στην επόμενη δραστηριότητα σε χρόνο t λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις πιθανές επιλογές του

$$V_{ij}(k, A_m) = \alpha_j(k, A_m) + \beta_j(k, A_m)A_m$$

Παράμετροι που εκτιμώνται για κάθε χρήστη με βάση τα ιστορικά του δεδομένα

Τύπος Δραστηριότητας

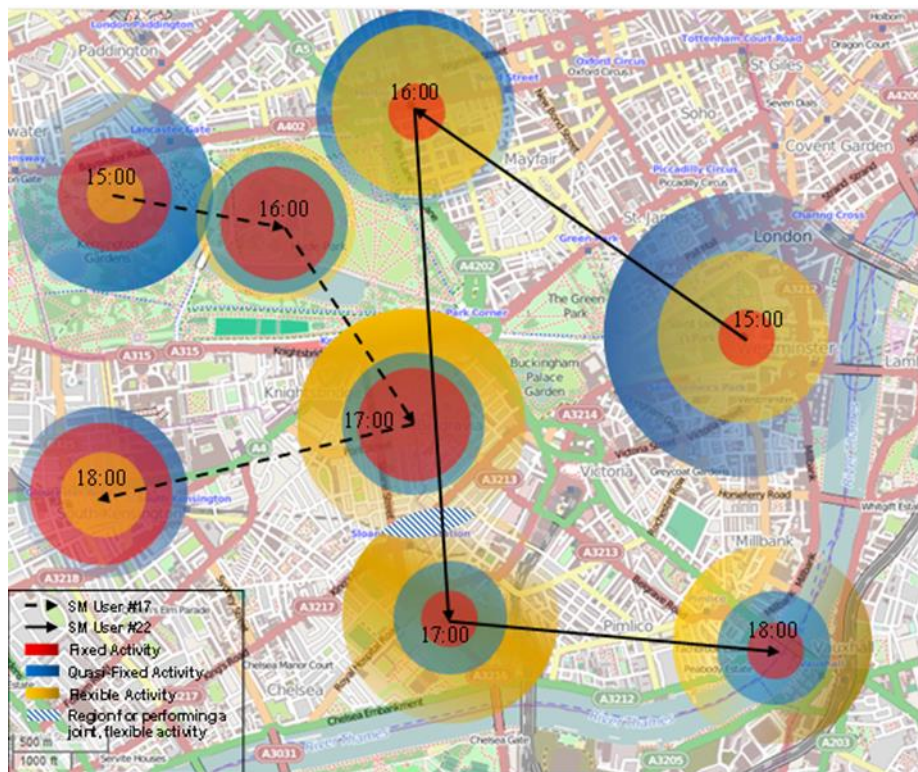
Γραμμικό μοντέλο χρησιμότητας χρήστη k για τη συμμετοχή σε δραστηριότητα A_m που απέχει απόσταση F_j από την προηγούμενη δραστηριότητα τη χρονική στιγμή t

Για κάθε δραστηριότητα A_m :

$$P_{ti}(k) = P\left(V_{ti}(k) + \epsilon_{ti}(k) \geq \max_{j \in \{1, \dots, J\}} V_{jt}(k) + \epsilon_{jt}(k)\right)$$

$$= \frac{e^{V_{ti}(k)}}{\sum_{j=1}^J e^{V_{jt}(k)}}$$

Πιθανότητα επιλογής μέγιστης απόστασης διάνυσης i από πλήθος επιλογών j θεωρώντας ότι τα σφάλματα ακολουθούν την κατανομή Gumbel (ή αλλιώς η σχετική πιθανότητα επιλογής μίας απόστασης i έναντι όλων των άλλων δεν αλλάζει αν προστεθεί ένας νέος προορισμός επίσκεψης -> multinomial logit model)



Εκτίμηση πιο πιθανών αποστάσεων που είναι διατεθειμένοι να διανύσουν δύο χρήστες σε διαφορετικούς χρόνους της ημέρας για διαφορετικούς τύπους δραστηριότητας

Ομαδοποίηση Χρηστών με βάση τα Μοτίβα Μετακινήσεων

- Ομαδοποίηση Χρηστών με βάση τις **αποστάσεις που είναι διατεθειμένοι να διανύσουν κάθε ώρα της ημέρας** για συμμετοχή σε **διάφορους τύπους δραστηριοτήτων**
- Κριτήριο ομαδοποίησης:** Η **διαφορά πιθανοτήτων** κάθε ζεύγους χρηστών για συμμετοχή σε μία ίδιου τύπου δραστηριότητα για **διαφορετικές περιόδους της ημέρας**

$$CL_{I_1, I_2} = \frac{1}{|A_m|T} \sum_{k=0}^{k=1} \sum_{t=0}^T \sum_{j=1}^J \sum_{A_m=0}^{|A_m|} \left| \frac{e^{V_{I_1, t_j}(k)}}{\sum_{r=1}^J e^{V_{I_1, tr}(k)}} - \frac{e^{V_{I_2, t_j}(k)}}{\sum_{r=1}^J e^{V_{I_2, tr}(k)}} \right|^2$$

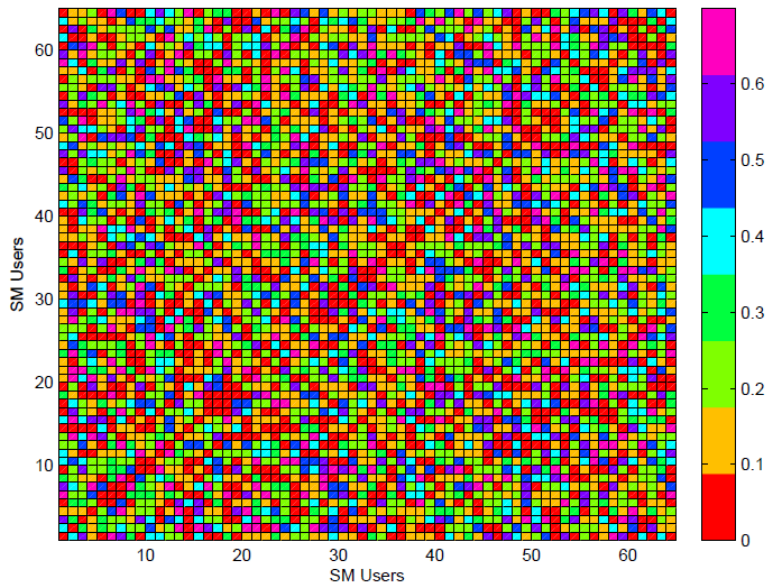
Τύπος ημέρας

Χρόνος της Ημέρας

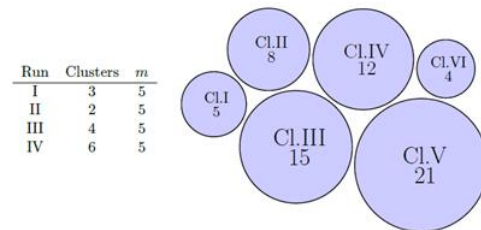
Πλήθος Εναλλακτικών Δραστηριοτήτων

Clustering - Αλγόριθμος DBSCAN

- Θέσε οριακή τιμή τ κάτω από την οποία οι χρήστες ανατίθενται στην ίδια ομάδα, μετρητή $i = 0$ και σύνολο $Q = \emptyset$
- Για κάθε χρήστη $u \neq Q$ θέσε $Q = Q + \{u\}$, $i = i + 1$ και δημιούργησε νέα ομάδα $C_i = \emptyset$
 - Για κάθε χρήστη p με $CL_p < \tau$ θέσε $C_i = C_i \cup \{p\}$ και $Q = Q \cup \{p\}$
- Συνένωσε ομάδες που περιέχουν κοινούς χρήστες



Υπολογισμός Απόστασης πιθανοτήτων μεταξύ ζευγών χρηστών



Ομαδοποίηση χρηστών με χρήση του Density-based Algorithm of Applications with Noise (DBSCAN)

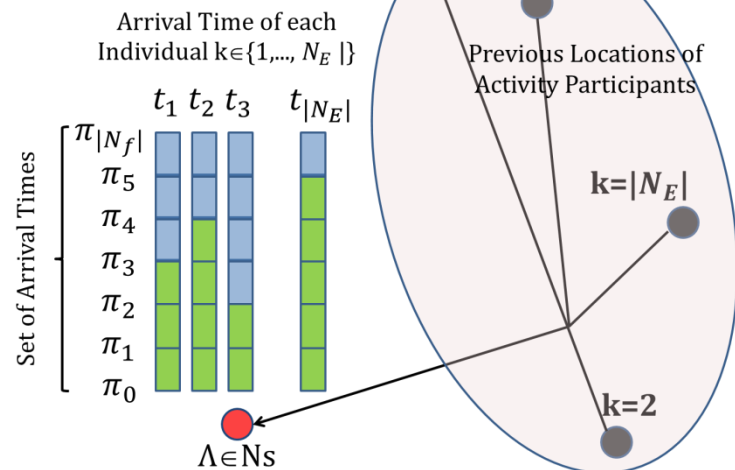
Επιλογή Τοποθεσίας/Χρόνου Έναρξης κοινής δραστηριότητας



Παράδειγμα Μορφής Αντικ. Συνάρτησης

$$\Theta_{\Lambda, t_1, t_2, \dots, t_{|N_E|}} = \frac{\sum_{k=1}^{|N_E|} U_{t_k, \Lambda}(k)}{|N_E|} - w_k \frac{\sum_{k=1}^{|N_E|} D_{t_k, \Lambda}(k, T_p - t_k)}{|N_E|}$$

Ορισμός Προβλήματος



$k \in N_E$ χρήστες αναζητούν τοποθεσία κοινής δραστηριότητας $\Lambda \in N_S$ όπου κάθε χρήστης μπορεί να φθάσει εκεί σε χρόνο $\pi \in N_f$

Χρησιμότητα Χρηστών για την τοποθεσία Λ και χρόνους άφιξης t_k

ΜΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗ ΚΥΡΤΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΥΠΟ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ

➔ **Αρνητική Χρησιμότητα** εάν η άφιξη του χρήστη είναι χρονικό διάστημα l πριν την έναρξη της δραστηριότητας

$$\arg \max_{t_k \in N_f, \Lambda \in N_S} f(U_{t_k, \Lambda}(k), D_{t_k, \Lambda}(k, l))$$

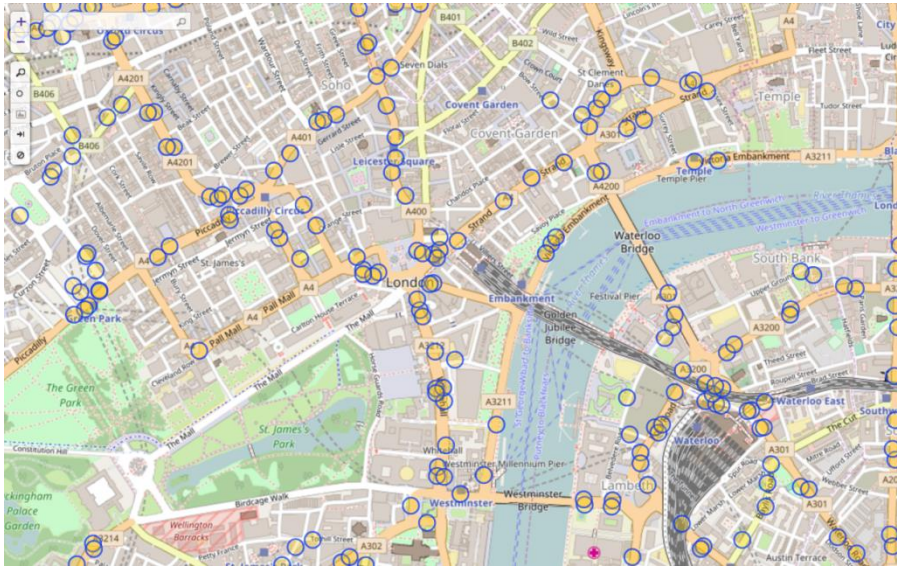
subject to:

$$\sum_{q=1}^{|q|} P(k, t_k^*, q \mid k, t_k, \Lambda, A_n) \geq \vartheta$$

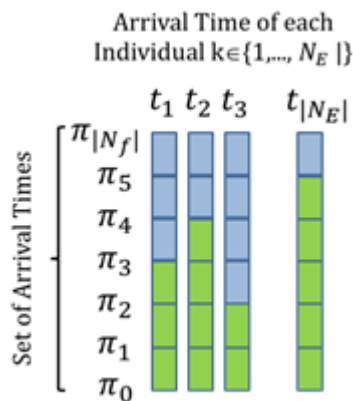
$$q \neq (\Lambda, A_n)$$

➔ Η πιθανότητα να συνεχιστούν οι μεταβάσεις των χρηστών σε άλλες μελλοντικές δραστηριότητες εάν βρεθούν στην κοινή τοποθεσία Λ πρέπει να είναι μεγαλύτερη από μία τιμή ϑ

Υπολογιστικό Κόστος



(1) Ενδεικτικές Πιθανές τοποθεσίες κοινής δραστηριότητας $\Lambda \in N_S$



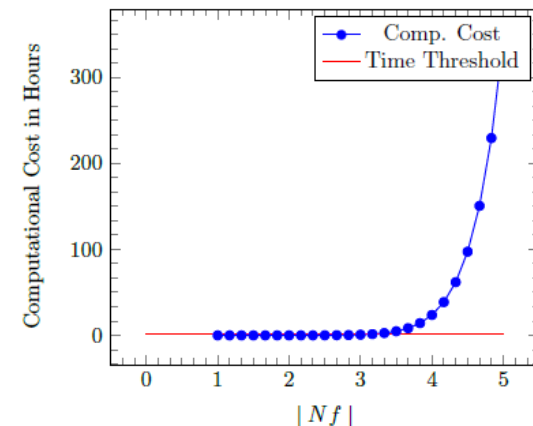
(3) Διακριτό Σύνολο Πιθανών χρόνων άφιξης κάθε συμμετέχοντα



(2) Πιθανοί συμμετέχοντες $k \in N_E$ σε μία κοινή δραστηριότητα

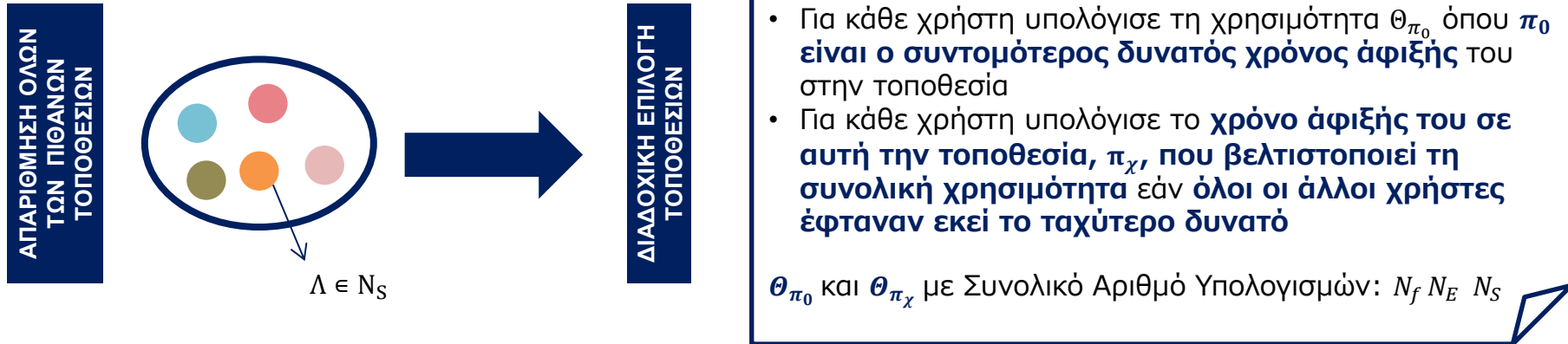
Εκθετικό Υπολογιστικό Κόστος με
Απλή Απαρίθμηση: $N_S N_f^{N_E}$

Activity Participants: 12



Το κόστος υπολογισμού της αντικ. συνάρτησης σε υπολογιστική μονάδα με 2556MHz επεξεργαστή και 1024MB RAM ήταν **0.084675milisec**. Για 12 συμμετέχοντες και 60 πιθανές τοποθεσίες το κόστος υπερβαίνει την ώρα εάν οι πιθανές εναλλακτικές χρόνων άφιξης για κάθε χρήστη ξεπερνούν τις **τρεις (3)**

Στοχαστική Αναζήτηση με χρήση Simulated Annealing



ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ για ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΡΙΩΝ ($N_f = 3$) ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΧΡΟΝΩΝ ΑΦΙΞΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΧΡΗΣΤΗ (π_{K*}, π_{K**} και π_{K***})

- Για κάθε χρόνο άφιξης χρήστη $\pi_K \in N_f$ θέσε πιθανότητα επιλογής του με βάση
 - τις τιμές των χρησιμοτήτων θ_{π_0} και θ_{π_χ}
 - του πόσο κοντά είναι ο χρόνος π_K στους χρόνους π_0 και π_χ
- Επίλεξε το χρόνο π_{K*} για τον οποίο $P(\pi_{K*}) \geq P(\pi_K)$ για κάθε $\pi_K \in N_f$ και υπολόγισε τη χρησιμότητα του χρήστη $\theta_{\pi_{K*}}$
- Χρησιμοποίησε τις ήδη υπολογισμένες χρησιμότητες $\theta_{\pi_{K*}}, \theta_{\pi_0}, \theta_{\pi_\chi}$ και επέλεξε π_{K**} για τον οποίο $P(\pi_{K**}) \geq P(\pi_K)$ για κάθε $\pi_K \in N_f$
- Χρησιμοποίησε τις ήδη υπολογισμένες χρησιμότητες $\theta_{\pi_{K**}}, \theta_{\pi_{K*}}, \theta_{\pi_0}, \theta_{\pi_\chi}$ και επέλεξε π_{K***} για τον οποίο $P(\pi_{K***}) \geq P(\pi_K)$ για κάθε $\pi_K \in N_f$

$$P(\pi_K) = \frac{(\theta_{\pi_0}/\theta_{\pi_\chi})\pi_K + L}{\sum_{\pi_K \in N_f} (\theta_{\pi_0}/\theta_{\pi_\chi})\pi_K + L}$$

Αλγοριθμικό Κόστος Στοχαστικής επιλογής υποψήφιων χρόνων άφιξης

$N_S (N_E)$ υπολογισμοί για τον υπολογισμό του βέλτιστου χρόνου άφιξης κάθε χρήστη σε κάθε πιθανή τοποθεσία υποθέτοντας ότι όλοι οι άλλοι συμμετέχοντες θα φθάσουν εκεί το συντομότερο δυνατό

$N_S (N_f N_E)$ υπολογισμοί για τη στοχαστική επιλογή των τριών υποψήφιων χρόνων άφιξης κάθε χρήστη για κάθε πιθανή τοποθεσία

$N_S (N_f, N_E)$ υπολογισμοί για τον υπολογισμό της τοποθεσίας και των χρόνων άφιξης κάθε χρήστη που μεγιστοποιεί τη συνολική χρησιμότητα Θ , όπου $N_f=3$

Κόστος Απλής Απαρίθμησης	Κόστος με Στοχαστική Επιλογή Υποψήφιων χρόνων άφιξης
$N_S N_f N_E$	$N_S N_f N_E + N_S (3^{N_E})$

for all candidate locations $\Lambda \in N_S$ do

 Compute Θ when all individuals arrive at Λ as fast as possible;

 for each individual $k = \{1, \dots, |N_E|\}$ do

 Select the optimal arrival time $t_k \in N_f$ for individual $k: \Theta_{\pi_x}$ considering that all other individuals arrive at Λ as fast as possible;

 end

 for each individual $k = \{1, \dots, |N_E|\}$ do

 for each arrival time $\pi_k = \{\pi_0, \dots, \pi_{|N_f|}\}$ do

 Calculate $P(\pi_k(k))$;

 Select $\pi_{k*}(k)$ such that $P(\pi_{k*}(k)) \geq P(\pi_k(k))$;

 Recalculate $P(\pi_k(k))$ and select $\pi_{k**}(k)$ such that $P(\pi_{k**}(k)) \geq P(\pi_k(k))$;

 Recalculate $P(\pi_k(k))$ and select $\pi_{k***}(k)$ such that $P(\pi_{k***}(k)) \geq P(\pi_k(k))$;

 end

 end

 for $\pi_{k*}(1), \pi_{k**}(1), \pi_{k***}(1)$ do

 for $\pi_{k*}(2), \pi_{k**}(2), \pi_{k***}(2)$ do

 ;

 for $\pi_{k*}(N_f), \pi_{k**}(N_f), \pi_{k***}(N_f)$ do

 Calculate $New.\Theta$;

 if $New.\Theta > \Theta$ then

$\Theta = New.\Theta$;

 end

 end

 ;

 end

 end

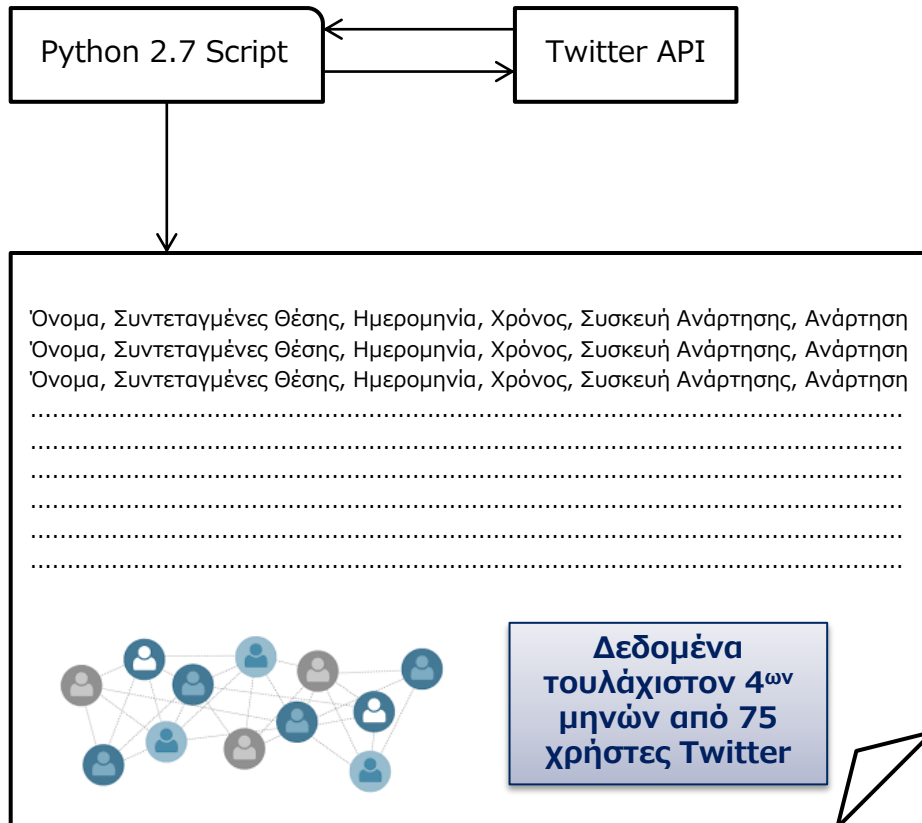
end

Return the selected arrival time for each individual and the location of the joint leisure activity;

Εφαρμογή - Δείγμα

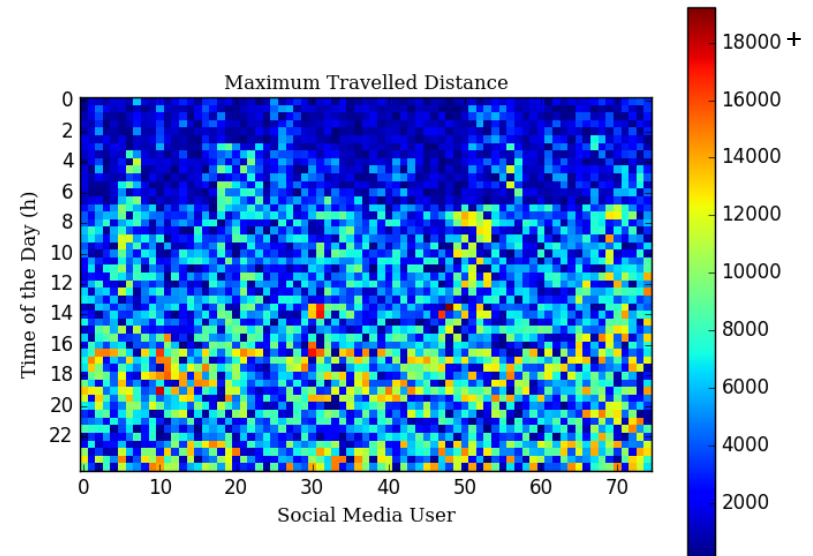
ΔΕΙΓΜΑ - ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- **75 χρήστες** που πληρούσαν όλα τα κριτήρια
- Περίοδος: **Νοέμβριος 2012-Ιανουάριος 2014**
- Ελάχιστο όριο αποδοχής: **90 αναρτήσεις** με συντεταγμένες



ΔΕΙΓΜΑ – ΤΡΟΠΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ

- Μέσω Twitter χρησιμοποιώντας τις βιβλιοθήκες simplejson, oauth2, httplib2 και Python Twitter για επικοινωνία με το **Twitter API**
- Φιλτράρισμα χρηστών εντός ορίων κεντρικού **Λονδίνου** οι οποίοι είναι:
 - (α) ενεργοί με σχεδόν καθημερινές αναρτήσεις για διάστημα **4^{ων} μηνών**
 - (β) αναρτούν από συσκευές με δυνατότητα **ανίχνευσης θέσης μέσω GPS** και έχουν ενεργοποιήσει την επιλογή δημοσίευσης θέσης



Πιθανότερη Μέγιστη Απόσταση (μέτρα) που ταξίδεψαν 75 χρήστες για τη συμμετοχή μόνο σε εξω-εργασιακές (flexible) δραστηριότητες για διάφορες ώρες της ημέρας

Εφαρμογή Βελτιστοποίησης Κοινών Δραστηριοτήτων

ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΥΡΕΣΗΣ ΚΟΙΝΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ

- **Βήμα-προς-βήμα προσομοίωση** πιθανών μετακινήσεων για **κάθε χρήστη** με βάση τον **πιθανοτικό πίνακα** και την **πιθανότητα μετάβασης**
- Εάν χρήστες βρεθούν στην ίδια εξω-εργασιακή τοποθεσία, τότε **έχουμε μία κοινή δραστηριότητα (Joint Leisure Activity Instance)**
- Οι χρήστες **ομαδοποιούνται** σε **10 ομάδες έως 9 ατόμων** (δεν είναι δυνατό να έχουμε κοινή δραστηριότητα 75 χρηστών) με βάση τις πιθανότητες να έχουν κοινές δραστηριότητες και τις διαδικτυακές αλληλεπιδράσεις τους

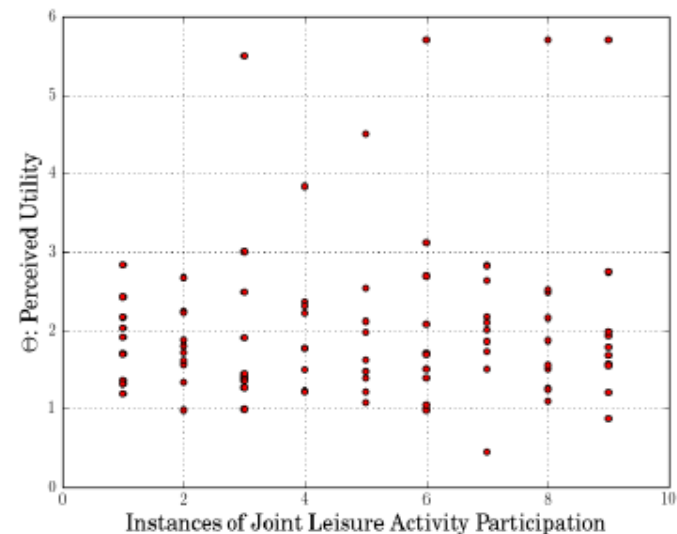


Συνολική Αντιληπτή Χρησιμότητα εννέα (9) κοινών δραστηριοτήτων για κάθε ομάδα χρηστών από τη βήμα-προς βήμα **προσομοίωση** μετακινήσεων κάθε χρήστη

ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

- Το σύνολο διακριτών χρόνων άφιξης N_f από το οποίο μπορεί να επιλέξει ο χρήστης το χρόνο άφιξής του δεν περιέχει χρόνους πάνω από **80 λεπτά** από το χρόνο άφιξης του πρώτου συμμετέχοντα
- Η αντιληπτή χρησιμότητα του συνόλου των χρηστών μίας κοινής δραστηριότητας εκτιμάται με βάση τη σχέση

$$\Theta_{\Lambda, t_1, t_2, \dots, t_{|N_E|}} = \frac{\sum_{k=1}^{|N_E|} U_{t_k, \Lambda}(k)}{|N_E|} - w_k \frac{\sum_{k=1}^{|N_E|} D_{t_k, \Lambda}(k, T_p - t_k)}{|N_E|}$$



Βελτιστοποίηση εννέα (9) κοινών δραστηριοτήτων για κάθε ομάδα χρηστών και η **νέα αντιληπτή τους χρησιμότητα**

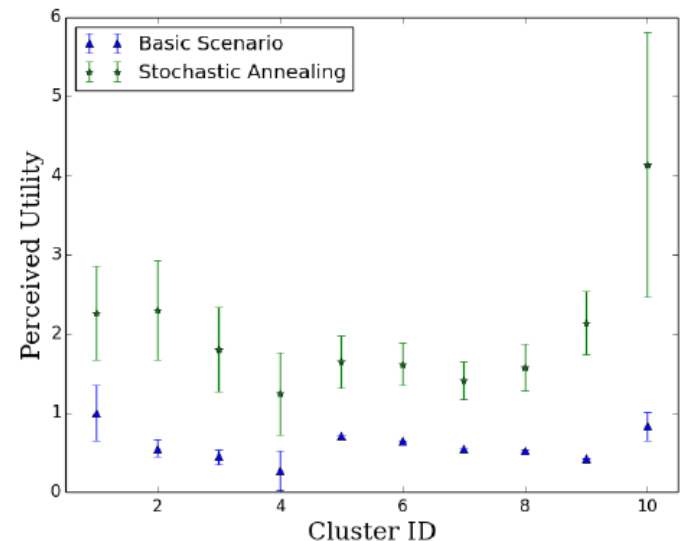
Εφαρμογή Βελτιστοποίησης Κοινών Δραστηριοτήτων

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

- Μετά τη βελτιστοποίηση οι χρόνοι άφιξης χρηστών άλλαξαν απότομα και παρατηρήθηκαν **ακόμα και αλλαγές στη σειρά αφίξεων χρηστών** στις δραστηριότητες (αρνητικές τιμές στο δεξιό διάγραμμα)
- Κατά μέσο όρο η συνολική αντιληπτή χρησιμότητα κάθε ομάδας χρηστών βελτιώθηκε κατά **~2.5 φορές**

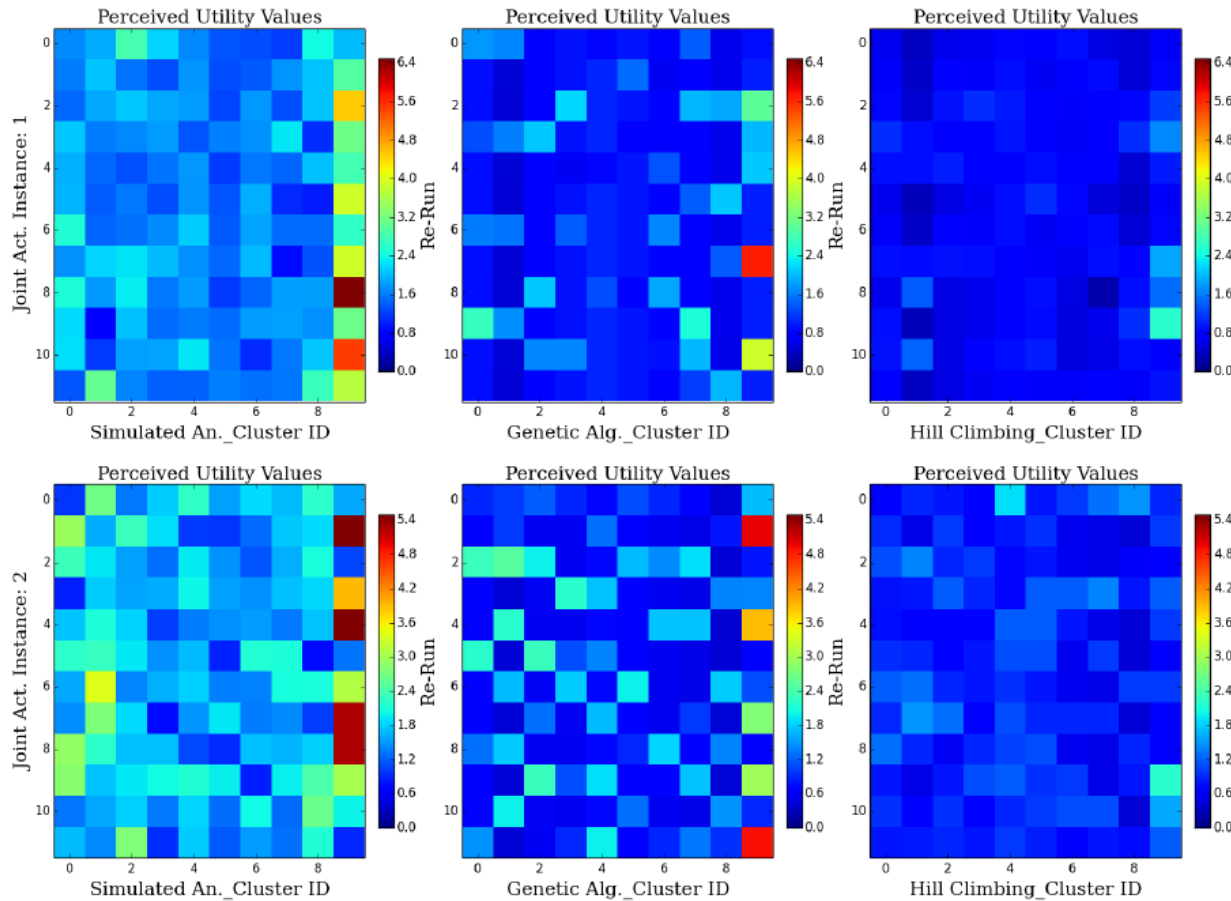
ΣΥΖΗΤΗΣΗ

- Παρόμοια βελτιστοποίηση μπορεί να εφαρμοστεί σε πλήρες δείγμα δεδομένων αλλαγής θέσεων χρηστών που μπορεί να αντικαταστήσει τη **Βήμα-προς-βήμα προσομοίωση** πιθανών μετακινήσεων κάθε χρήστη



Μέση Τιμή και Τυπική Απόκλιση της **συνολικής χρησιμότητας κάθε ομάδας χρηστών** πριν και μετά τη βελτιστοποίηση των 9 κοινών δραστηριοτήτων για κάθε ομάδα χρηστών

Σύγκριση με Ευρετικούς Αλγορίθμους Διακριτού Προγραμματισμού



Τιμές της **συνολικής αντιληπτής χρησιμότητας** των χρηστών κατά τη συμμετοχή τους στις προτεινόμενες δραστηριότητες **σε κάθε μία από τις 12 επανεκτελέσεις των αλγορίθμων βελτιστοποίησης**, όπου κάθε εκτέλεση υπολογίζει μία νέα λύση που προσεγγίζει το ολικό βέλτιστο

■ Η **στοχαστική αναζήτηση βελτίωσε έως και 2 φορές** τη συνολική αντιληπτή χρησιμότητα των συμμετεχόντων συγκριτικά με το γενετικό αλγόριθμο και τη μέθοδο hill climbing.

■ Η μέθοδος **Hill Climbing** σε πολλές περιπτώσεις **παγιδευόταν σε τοπικά βέλτιστα** ξεκινώντας από το βασικό σενάριο και η σύγκλιση της ήταν αργή.

■ Ο **γενετικός αλγόριθμος** απέτυχε σε αρκετές περιπτώσεις να δημιουργήσει νέες γενιές με βελτιωμένα χαρακτηριστικά. Ωστόσο,

- Λόγω της επιθετικής εξερεύνησης πιθανών λύσεων, η **απόδοσή του ήταν κοντά στην απόδοση της στοχαστικής αναζήτησης σε μερικές περιπτώσεις.**
- Το κύριο πρόβλημά του ήταν η **μεγάλη απόκλιση των λύσεων που υπολόγιζε σε κάθε μία από τις εκτελέσεις του.** Για παράδειγμα, σε πολλές εκτελέσεις του δεν κατάφερε να βρει κάποια λύση που βελτιώνει αισθητά το βασικό σενάριο

Διερεύνηση Αντικατάστασης Τοποθεσιών με Κεντροειδή

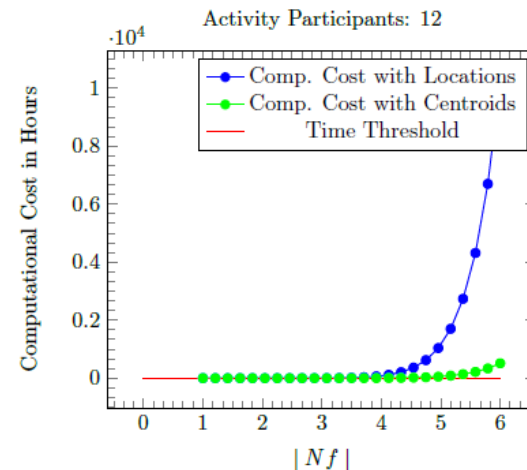
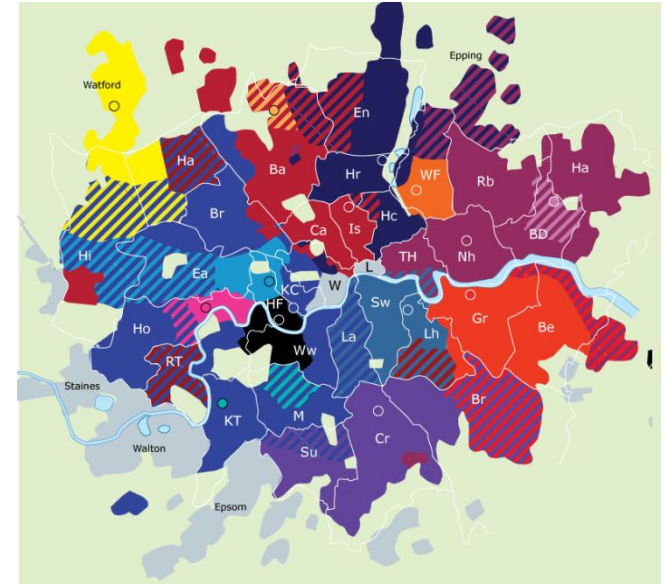
■ ΑΡΧΙΚΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ $N_S(N_f^{NE})$ υπολογισμοί

■ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

- Χωρισμός της πόλης σε N_C κεντροειδή
- Κάθε κεντροειδές περιέχει N_{CL} πιθανές τοποθεσίες κοινών δραστηριοτήτων
- Το πρόβλημα βελτιστοποίησης διασπάται σε δύο επίπεδα όπου αρχικά επιλέγεται το βέλτιστο κεντροειδές μετά από $N_C(N_f^{NE})$ υπολογισμούς
- Έπειτα η βέλτιστη τοποθεσία αναζητείται μόνον εντός του κεντροειδούς

■ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ

- Το υπολογιστικό κόστος εύρεσης του βέλτιστου κεντροειδούς παραμένει εκθετικό $N_C(N_f^{NE})$
- Το κεντροειδές μπορεί να περιλαμβάνει σειρά τοποθεσιών οι οποίες **απέχουν αρκετά από το σημείο αναφοράς του**
 - > Η δημιουργία κεντροειδών πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε **οι τοποθεσίες εντός του κεντροειδούς να είναι πλησίον του σημείου αναφοράς του (clustering)**

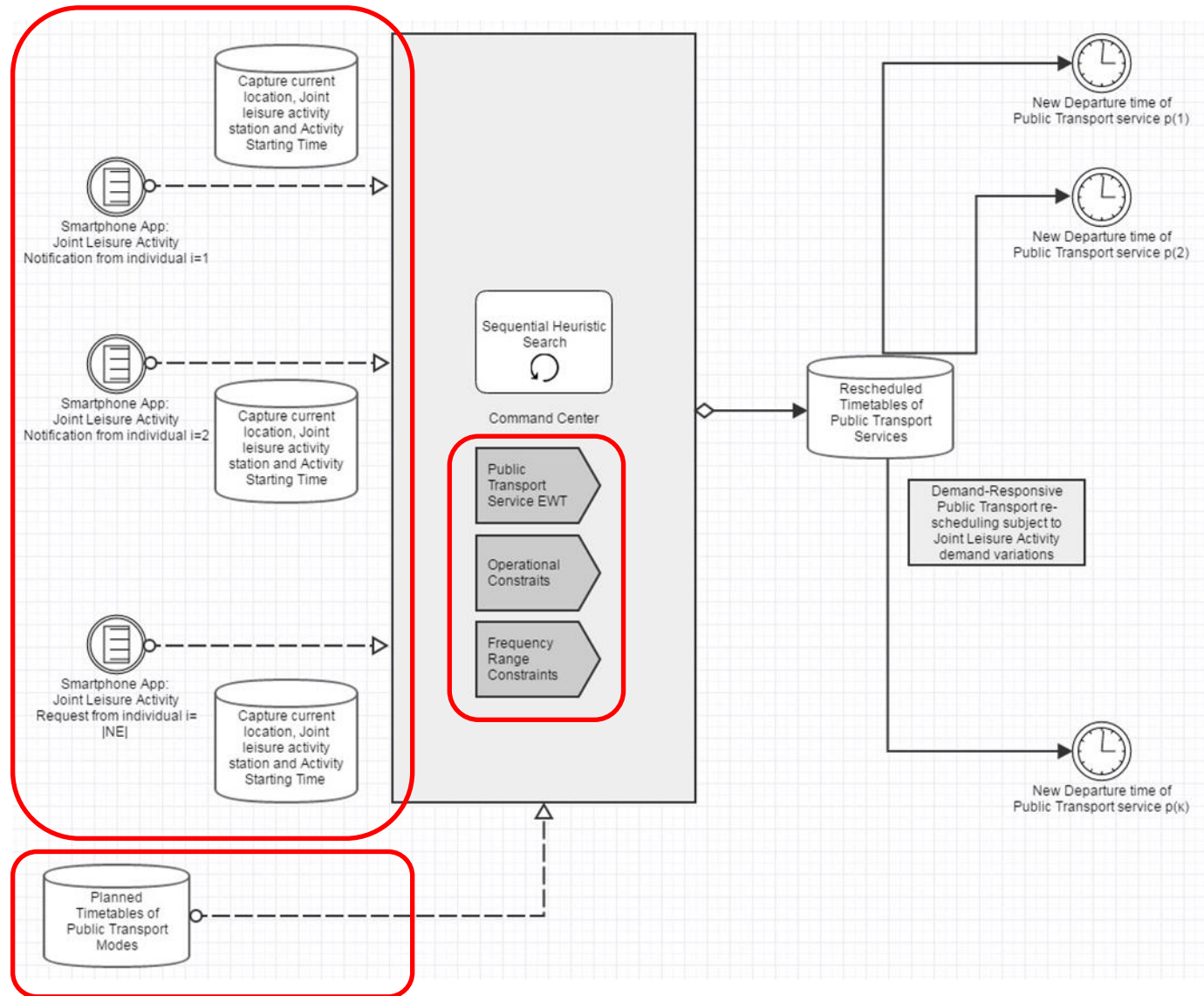


Μείωση υπολογιστικού κόστους με χρήση κεντροειδών αντί για τοποθεσίες για διάφορους αριθμούς εναλλακτικών χρόνων άφιξης

ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΧΡΟΝΩΝ ΑΝΑΧΩΡΗΣΗΣ ΜΕΣΩΝ ΜΑΖΙΚΗΣ
ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΚΑΛΥΨΗ ΤΗΣ ΙΣΧΥΡΑ ΔΙΑΚΥΜΑΙΝΟΜΕΝΗΣ
ΖΗΤΗΣΗΣ ΚΟΙΝΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ

Μητροπολιτικές περιοχές με πλήθος κοινών δραστηριοτήτων που μπορούν να επηρεάσουν τη ζήτηση

Δυναμική Προσαρμογή χρόνων αναχώρησης δρομολογίων που **μπορούν να καλύψουν ζήτηση για κοινές δραστηριότητες**

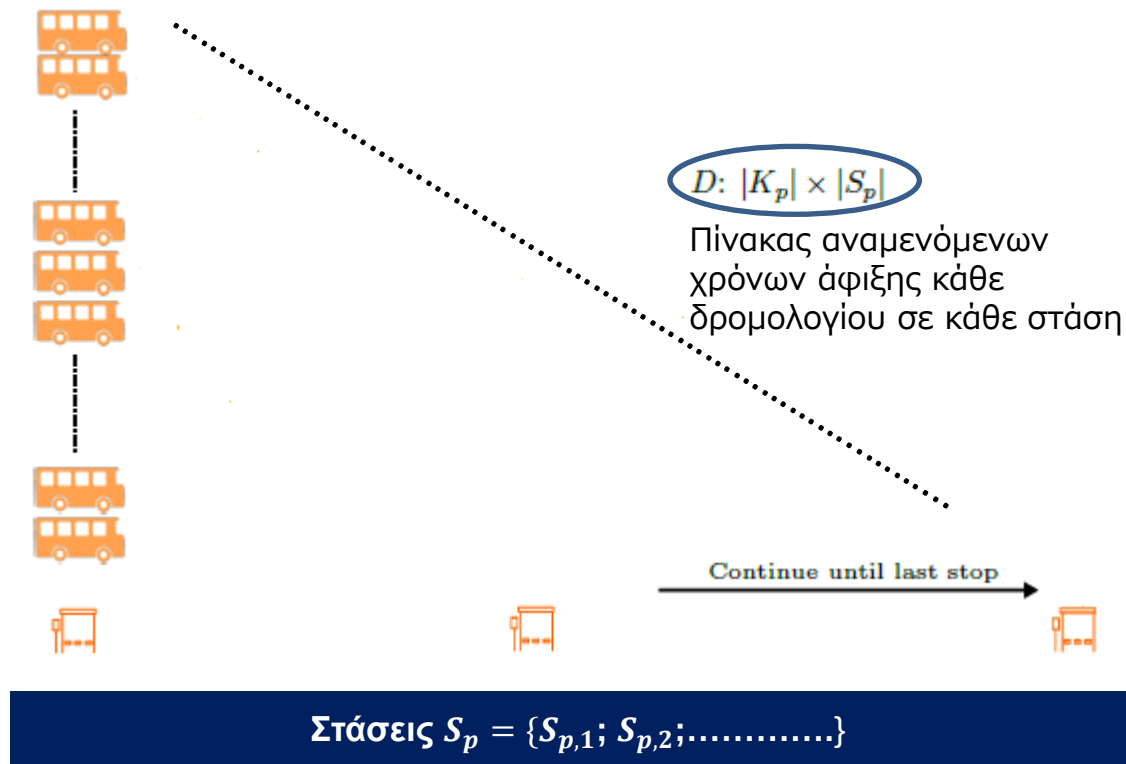


Μοντελοποίηση Προβλήματος

$$\pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_\pi\}$$

σύνολο ημερήσιων διαδρομών M.M.M. που δύνανται να ικανοποιήσουν ζήτηση για κοινές δραστηριότητες. Καθεμία από αυτές ανήκει σε μία γραμμή p

Ημερήσια
Δρομολόγια
 $K_p = \{K_{p,1}; K_{p,2}; \dots\}$
μίας γραμμής p



Μοντελοποίηση – Χρησιμότητα Χρήστη από την Επιλογή Δρομολογίου

$s_{p,j}$ είναι η στάση αποβίβασης που βρίσκεται πλησίον της τοποθεσίας της δραστηριότητας, A



$$z = (t - t^w - D_{K_{p,i}, s_{p,j}})^2$$

Χρησιμότητα χρήστη από την επιλογή του δρομολογίου $K_{p,i} \in K_p$ η οποία ισούται με μηδέν στη βέλτιστη περίπτωση όπου η αποβίβαση του χρήστη πραγματοποιείται σε χρόνο που ισούται με το χρόνο έναρξης της δραστηριότητας, t , μείον το χρόνο βαδίσματος στην τοποθεσία, t^w

$$x = \{x_{K_{p,1}}, x_{K_{p,2}}, \dots, x_{K_{p,|K_p|}}\}$$

Μεταβλητές του προβλήματος για κάθε γραμμή p και αντιπροσωπεύουν τους **χρόνους μεταβολής των προγραμματισμένων χρόνων αναχώρησης** κάθε ημερήσιου δρομολογίου από την αφετηρία. Λαμβάνουν ακέραιες τιμές από το σύνολο $q = \{-5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5\}$ λεπτά

$$z(x_{K_{p,i}}) = (t - t^w - (D_{K_{p,i}, s_{p,j}} + x_{K_{p,i}}))^2$$

Συνάρτηση μεταβολής χρησιμότητας του χρήστη για αλλαγές στους **χρόνους αναχώρησης** των δρομολογίων

$$x_{K_{p,\phi}} : \begin{cases} \in q = \{-5, -4, \dots, 0, \dots, 4, 5\} & \text{if } |D_{K_{p,\phi}, s_{p,j}} - t - t^w| \leq 60 \text{ minutes} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

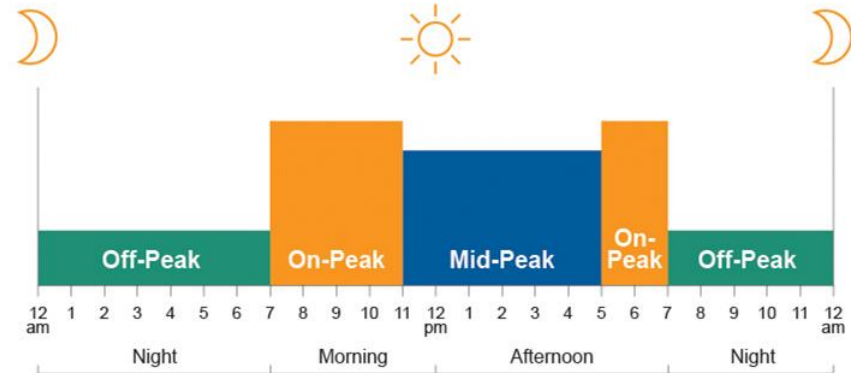
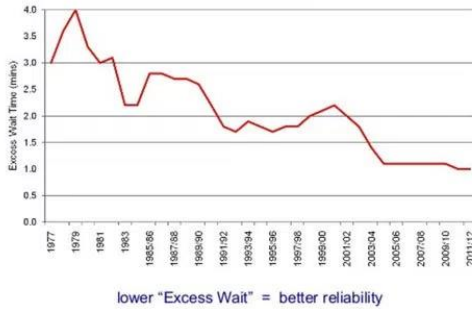


Μεταβολές χρόνων αναχώρησης δρομολογίων επιτρέπονται **μόνο** για δρομολόγια που αναμένεται να **εξυπηρετήσουν ζήτηση για κάποια κοινή δραστηριότητα** και **αναμένεται να διέλθουν από την τοποθεσία κοινής δραστηριότητας** εντός διαστήματος **± 60 λεπτών από το χρόνο έναρξης της δραστηριότητας** συνυπολογίζοντας το χρόνο βαδίσματος

Μοντελοποίηση – Excess Waiting Times (EWT)

EWT = Χρόνος αναμονής επιβατών στις στάσεις – Προγραμματισμένο Χρόνο Αναμονής

Reliability (Excess Wait Time)



Διαχωρισμός της συχνότητας των δρομολογίων κάθε γραμμής σε χρονικές περιόδους με βάση τη μεταφορική ζήτηση. Για κάθε περίοδο της ημέρας εφαρμόζονται διαφορετικές συχνότητες δρομολογίων

$((T_1^s, T_1^e), (T_2^s, T_2^e), (T_o^s, T_o^e))$



Παράδειγμα χρονικών περιόδων της ημέρας

$$EWT_{S_{p,j}}^{(T_g^s, T_g^e)} = \max[0; \frac{\sum_{i=2}^{|K_p|-1} \theta_{K_{p,i}, S_{p,j}} ((D_{K_{p,i}, S_{p,j}} + x_{K_{p,i}}) - (D_{K_{p,i-1}, S_{p,j}} + x_{K_{p,i-1}}))^2}{2 \sum_{i=2}^{|K_p|-1} \theta_{K_{p,i}, S_{p,j}} ((D_{K_{p,i}, S_{p,j}} + x_{K_{p,i}}) - (D_{K_{p,i-1}, S_{p,j}} + x_{K_{p,i-1}}))} - \frac{\sum_{i=2}^{|K_p|-1} \theta_{K_{p,i}, S_{p,j}} ((D_{K_{p,i}, S_{p,j}} + x_{K_{p,i}}) - (D_{K_{p,i-1}, S_{p,j}} + x_{K_{p,i-1}}))}{2 \sum_{i=2}^{|K_p|-1} \theta_{K_{p,i}, S_{p,j}}}]$$

$$EWT_{S_{p,j}} = \frac{\sum_{g=1}^o EWT_{S_{p,j}}^{(T_g^s, T_g^e)}}{\sum_{g=1}^o 1}$$

EWT στη στάση $S_{p,j}$ κατά τη διάρκεια της ημέρας

$$EWT_p = \frac{\sum_{j=1}^{|S_p|} EWT_{S_{p,j}}}{\sum_{j=1}^{|S_p|} 1}$$

EWT λεωφορειακής γραμμής p ως μέσος όρος των **EWT** επιμέρους στάσεων

$$\theta_{K_{p,i}, S_{p,j}} : \begin{cases} 1 & \text{if } D_{K_{p,i}, S_{p,j}} + x_{K_{p,i}} \text{ and } D_{K_{p,i-1}, S_{p,j}} + x_{K_{p,i-1}} \in (T_g^s, T_g^e) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Μετάφραση Απαιτήσεων σε Πρόβλημα Βελτιστοποίησης

Δυναμική Προσαρμογή χρόνων αναχώρησης δρομολογίων που **μπορούν να καλύψουν ζήτηση για κοινές δραστηριότητες**

→ Αντικειμενική Συνάρτηση

- Χωρίς τη **μείωση της ποιότητας της υπηρεσίας για τους υπόλοιπους επιβάτες**
- Χωρίς τη χρήση περαιτέρω πόρων (**επιπλέον οχημάτων/προσωπικού**)
- Εντός κάθε χρονικής περιόδου της ημέρας, (T_g^s, T_g^e) , η χρονική διαφορά αναχώρησης διαδοχικών δρομολογίων πρέπει να κυμαίνεται εντός διαστήματος $l(g), h(g)$ ώστε να ικανοποιείται η προγραμματισμένη συχνότητα

→ Περιορισμός I (ΜΗ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ - EWT)

→ Περιορισμός II (ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ)

→ Περιορισμός III (ΠΡΟΓ. ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΔΡΟΜ.)

minimize $f(x) = (t - t^w - (D_{K_{p,i}, S_{p_j}} + x_{K_{p,i}}))^2 + EWT_p(x)$ → Αντικειμενική Συνάρτηση

subject to $EWT_p^{before} - EWT_p(x) \geq 0$ → Περιορισμός I

$\forall g \in \{0, 1, 2, \dots, o\}$ $(D_{K_{p,\phi}, S_{p,1}} + x_{K_{p,\phi}}) - (D_{K_{p,\phi-1}, S_{p,1}} + x_{K_{p,\phi-1}}) - l(g) \geq 0, \forall D_{K_{p,\phi}, S_{p,1}} + x_{K_{p,\phi}} \in (T_g^s, T_g^e)$

$\forall g \in \{0, 1, 2, \dots, o\}$ $h(g) - (D_{K_{p,\phi}, S_{p,1}} + x_{K_{p,\phi}}) + (D_{K_{p,\phi-1}, S_{p,1}} + x_{K_{p,\phi-1}}) \geq 0, \forall D_{K_{p,\phi}, S_{p,1}} + x_{K_{p,\phi}} \in (T_g^s, T_g^e)$

$x \in q = \{-5, -4, \dots, 0, \dots, 4, 5\}$ minutes → Περιορισμός II (έμμεσα)

$x_{K_{p,\phi}} = 0, \forall \phi : |D_{K_{p,\phi}, S_{p_j}} - t - t^w| > 60 \text{ minutes}$

↓
Περιορισμός III

ΜΗ ΣΥΝΕΧΕΣ πρόβλημα βελτιστοποίησης με **ΜΗ ΚΥΡΤΗ** Αντικειμενική Συνάρτηση και **ΕΚΘΕΤΙΚΟ** Υπολογιστικό Κόστος $O(q^p)$ όπου p ο αριθμός δρομολογίων που επιτρέπεται να μεταβάλλουν τους χρόνους αναχώρησής τους

~ 6.727E+20 υπολογισμοί για 20 δρομολόγια εντός διαστήματος 2 ωρών

Μετατροπή σε Ισοδύναμο Πρόβλημα χωρίς Περιορισμούς

“Exterior Point Penalization με χρήση συνάρτησης πέναλτι”

- **Βήμα 1^ο:** Χρήση συναρτήσεων $c_i(x)$ που διατηρούν τη θετική τους τιμή $c_i(x) \geq 0$ όταν ικανοποιείται ο εκάστοτε περιορισμός
- **Βήμα 2^ο:** Γραφή του προβλήματος βελτιστοποίησης στη βασική του μορφή

$$\begin{aligned} &\text{minimize} && f(x) \\ &\text{subject to} && c_1(x) \geq 0 \\ &\forall g \in \{0, 1, 2, \dots, o\} && c_2(x), c_3(x), \dots, c_{1+m1}(x) \geq 0, \forall D_{K_{p,\phi}, S_{p,1}} + x_{K_{p,\phi}} \in (T_g^s, T_g^e) \\ &\forall g \in \{0, 1, 2, \dots, o\} && c_{m1+2}(x), c_{m1+3}(x), \dots, c_{1+m1+m2}(x) \geq 0, \forall D_{K_{p,\phi}, S_{p,1}} + x_{K_{p,\phi}} \in (T_g^s, T_g^e) \\ &&& x \in q = \{-5, -4, \dots, 0, \dots, 4, 5\} \text{minutes} \\ &&& x_{K_{p,\phi}} = 0, \forall \phi : |D_{K_{p,\phi}, S_{p_j}} - t - t^w| > 60 \text{minutes} \end{aligned}$$

- **Βήμα 3^ο:** Δημιουργία νέας αντικειμενικής συνάρτησης p και αντικατάσταση/προσέγγιση περιορισμών με χρήση ειδικών βαρών στην αντικειμενική συνάρτηση

$$\begin{aligned} &\text{minimize} && p(x) = f(x) + \sum_{i=1}^{1+m1+m2} (\min[-c_i(x), 0])^2 \longrightarrow \text{Πρόσθετοι Όροι} \\ &&& x \in q = \{-5, -4, \dots, 0, \dots, 4, 5\} \text{minutes} \\ &&& x_{K_{p,\phi}} = 0, \forall \phi : |D_{K_{p,\phi}, S_{p_j}} - t - t^w| > 60 \text{minutes} \end{aligned}$$

Ιδιότητες Ισοδύναμου Προβλήματος

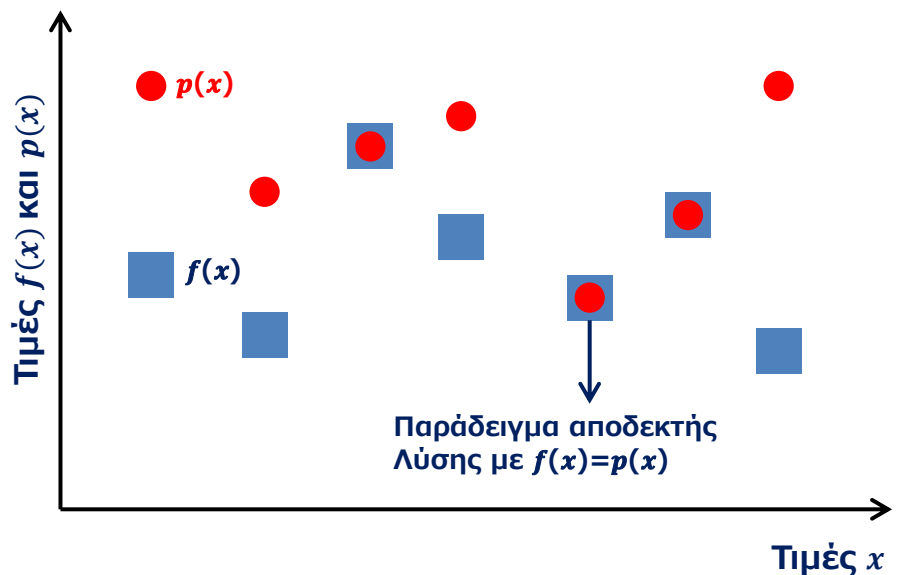
$$\begin{aligned} \text{minimize } p(x) &= f(x) + \sum_{i=1}^{1+m1+m2} (\min[-c_i(x), 0])^2 \\ x &\in q = \{-5, -4, \dots, 0, \dots, 4, 5\} \text{minutes} \\ x_{K_{p,\phi}} &= 0, \forall \phi : |D_{K_{p,\phi}, S_{p_j}} - t - t^w| > 60 \text{minutes} \end{aligned}$$

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

- Η τιμή της συνάρτησης $p(x)$ ισούται με την τιμή της αρχικής αντικειμενικής συνάρτησης $f(x)$ όταν για κάποιο x ικανοποιούνται όλοι οι περιορισμοί:
 $\sum_{i=1}^{1+m1+m2} (\min[-c_i(x), 0])^2 = 0$
- Μπορεί να δοθεί προτεραιότητα στην εύρεση αποδεκτής λύσης χρησιμοποιώντας πολλαπλασιαστή του όρου
 $\sum_{i=1}^{1+m1+m2} (\min[-c_i(x), 0])^2$

ΧΑΡΑΚΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Στην νέα αντικειμενική συνάρτηση προστίθεται ένας όρος $\sum_{i=1}^{1+m1+m2} (\min[-c_i(x), 0])^2$ ο οποίος είναι **μεγαλύτερος ή ίσος του μηδενός**
- Κάθε μη ικανοποιημένος περιορισμός $c_i(x) < 0$ επιβαρύνει την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης κατά $c_i(x)^2$



Γενετικός Αλγόριθμος Διαδοχικής Ευρετικής Αναζήτησης



1, 2, ..., p Δρομολόγια που διέρχονται από τη στάση της κοινής δραστηριότητας εντός μίας ώρας από την έναρξη της δραστηριότητας



$S_{p,i} \in S_p$

ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Γονέας $P_a = \{P_{a1}, P_{a2}, \dots, P_{ap}\}$ όπου η μεταβολή του χρόνου αναχώρησης για κάθε δρομολόγιο **επιλέγεται τυχαία** από το διακριτό σύνολο $q = \{-5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5\}$ λεπτά

Γονέας $P_b = \{P_{b1}, P_{b2}, \dots, P_{bp}\}$ όπου η μεταβολή του χρόνου αναχώρησης για κάθε δρομολόγιο **επιλέγεται τυχαία** από το σύνολο q

Απόγονος $C_h = \{C_{h1}, C_{h2}, \dots, C_{hp}\}$

Διαδοχικές 'Απληστες Μεταλλάξεις

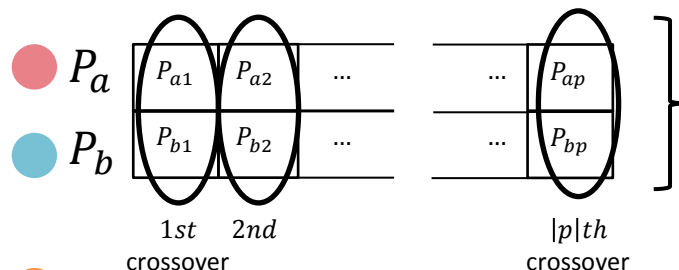
Απόγονος

10% για να λάβει τιμή από το σύνολο q

Σε κάθε διαδοχική μετάλλαξη, εάν η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης του απογόνου έχει μειωθεί υιοθετείται η προτεινόμενη μετάλλαξη

Ελιτιστική Αντικατάσταση του χειρότερου γονέα με τον απόγονο και επανάληψη

Διαδοχικές Διασταυρώσεις



Απόγονος

50% για P_{a1}
50% για P_{b1}

Σε κάθε διαδοχική διασταύρωση εάν η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης του απογόνου έχει μειωθεί, τότε υιοθετείται η προτεινόμενη διασταύρωση

Αντιμετώπιση Στασιμότητας

ΠΡΟΤΕΡΗΜΑΤΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Ταχεία Σύγκλιση λόγω 'Απληστων Διαδοχικών Διασταυρώσεων και Μεταλλάξεων	Δε μπορεί να εγγυηθεί Σύγκλιση στο Ολικό Βέλτιστο λόγω της μορφής της Αντικειμενικής Συνάρτησης
Μικρό Υπολογιστικό Κόστος λόγω ύπαρξης μόνο δύο (2) γονέων	Προβλήματα Στασιμότητας όταν οι δύο γονείς είναι παρόμοιοι
Αυξημένες πιθανότητες ανανέωσης απογόνων λόγω διαδοχικών αναζητήσεων αντί για αξιολόγηση επί του συνόλου	Δε μπορεί να μελετηθεί ο βαθμός σύγκλισης λόγω του εκθετικού κόστους υπολογισμού του ολικού βέλτιστου

- **Στασιμότητα:** Όταν οι δύο γονείς είναι παρόμοιοι και δε μπορεί να βρεθεί απόγονος με βελτιωμένη απόδοση μετά από πολλές επαναλήψεις, η πιθανότητα μετάλλαξης αυξάνεται σε **70%** από 10% και επανέρχεται στο 10% όταν βρεθεί αυτός ο απόγονος

- **Σύγκλιση:** Όταν μετά από πολλές επαναλήψεις δε μπορεί να βρεθεί νέος απόγονος με βελτιωμένη απόδοση παρά την χρήση πιθανότητας μετάλλαξης 70%, τότε με το πέρας **max_iter** επαναλήψεων η παρούσα λύση ανακηρύσσεται ως βέλτιστο

ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΠΟ ΕΚΘΕΤΙΚΟ, $O(q^p)$,
ΣΕ ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΟ $O(\rho \times \text{max_iter})$

Εφαρμογή - Δείγμα

ΔΕΙΓΜΑ - ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Λεωφορειακές γραμμές στη Στοκχόλμη διπλής κατεύθυνσης
- Περίοδος: **13 Φεβρουαρίου 2016 - 17 Ιουνίου 2016**
- Ημερήσιοι **Χρόνοι άφιξης** κάθε δρομολογίου σε κάθε στάση

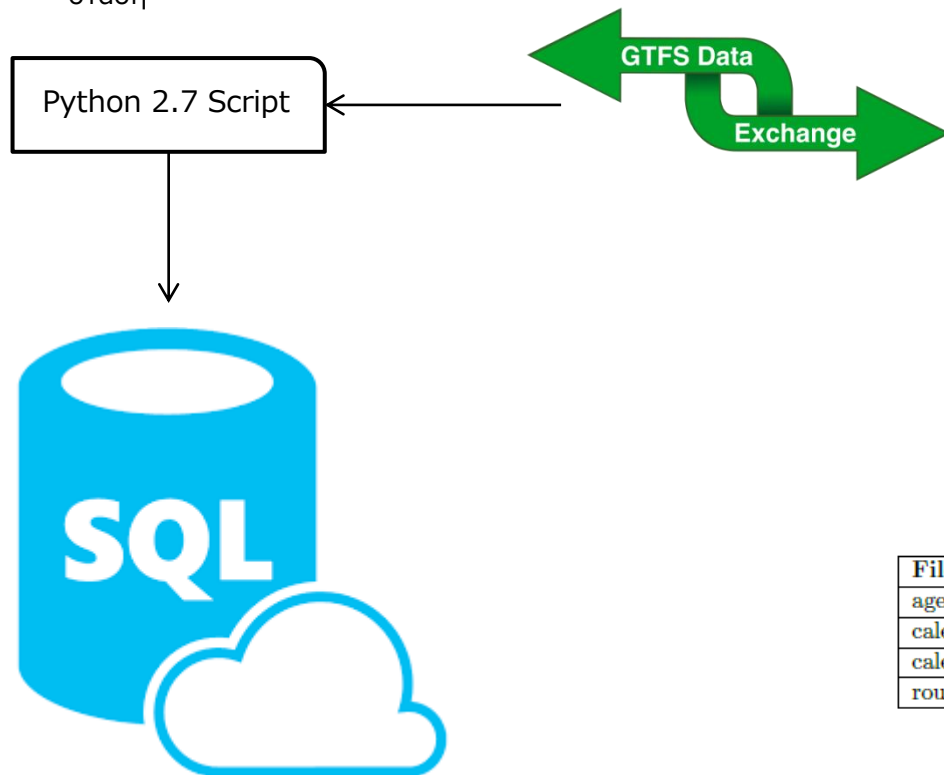


TABLE 2.6: GTFS data files and size (total size: 0.25GB)

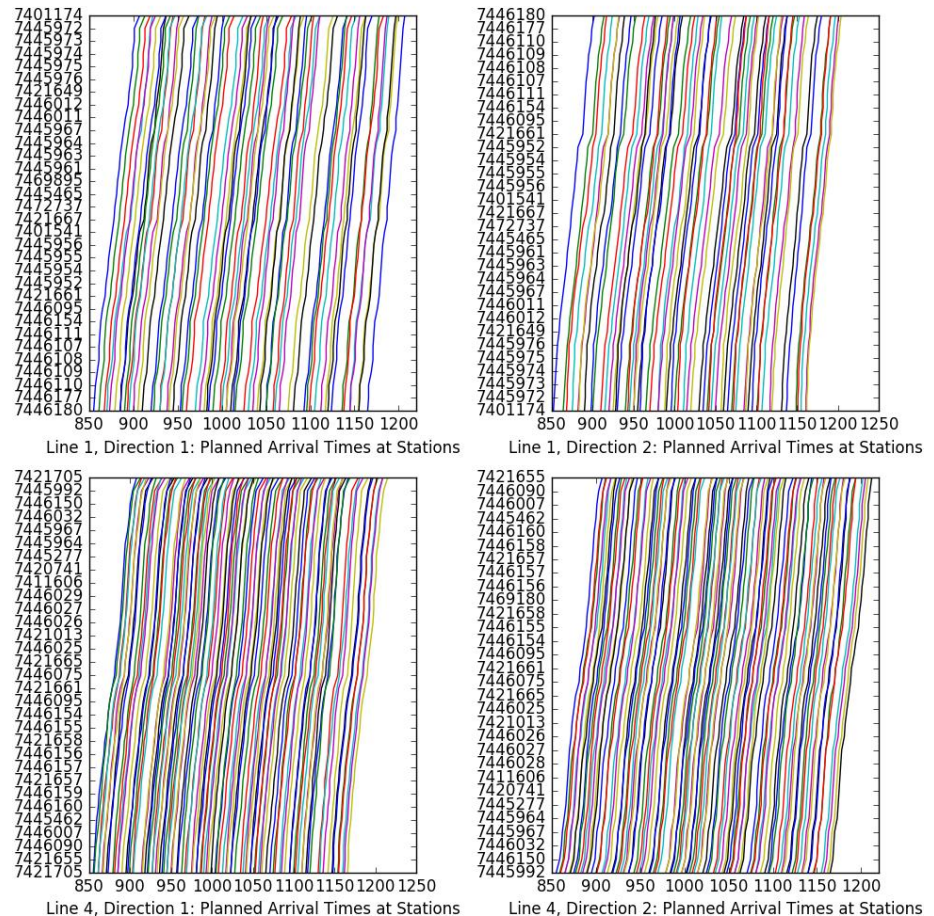
File Name	Size	File Name	Size
agency.txt	5KB	stop_times.txt	242,000KB
calendar.txt	17KB	stops.txt	6,384KB
calendar_dates.txt	890KB	transfers.txt	1,020KB
routes.txt	218KB	trips.txt	11,628KB

Υποθέσεις Εφαρμογής

ΔΕΙΓΜΑ – ΣΥΛΛΟΓΗ - ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

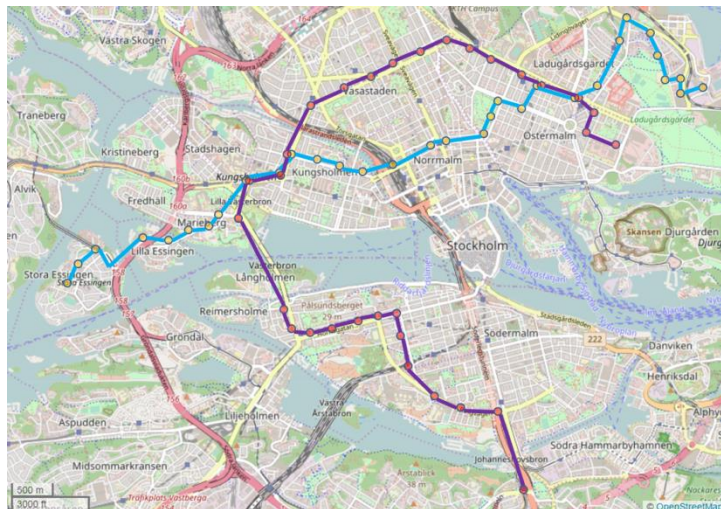
- Δύο (2) κεντρικές λεωφορειακές γραμμές στη Στοκχόλμη με κωδικές ονομασίες 1 και 4
- Επικέντρωση στην **περίοδο απογευματινών δραστηριοτήτων (2:10μ.μ.-7:30μ.μ.)**
- $N_E = 62$ χρήστες **Twitter** στη Στοκχόλμη
 - Αλλάζουν συχνά τη γεωγραφική τους θέση σε χρονικά διαστήματα εκτός του τυπικού ωραρίου εργασίας (15:30-19:30)
 - Φτάνουν σε κοινές τοποθεσίες με **χρονική διαφορά μικρότερη από 25 λεπτά**, οπότε μπορεί δυνητικά να συμμετείχαν σε κοινή εξω-εργασιακή δραστηριότητα

Τοποθεσίες κοινών δραστηριοτήτων	$\Lambda=9$
Δρομολόγια που εξυπηρετούν κοινές δραστηριότητες εντός μίας ώρας από το χρόνο έναρξής τους	$\pi_k \in \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{97}\}$



Χρόνοι άφιξης δρομολογίων στις στάσεις κατά τις απογευματινές ώρες για τις γραμμές 1 και 4 (δύο κατευθύνσεις)

Βελτιστοποίηση Χρόνων Αναχώρησης Δρομολογίων

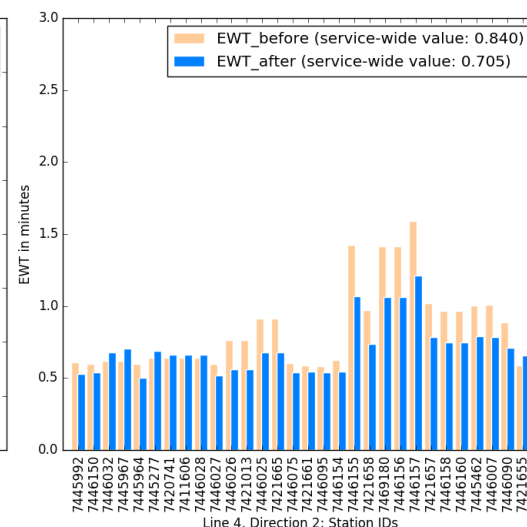
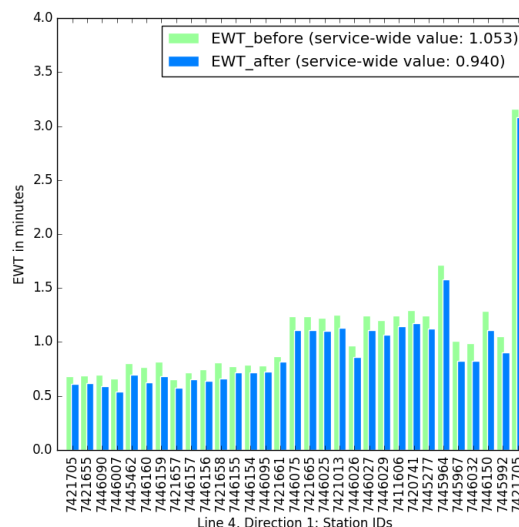
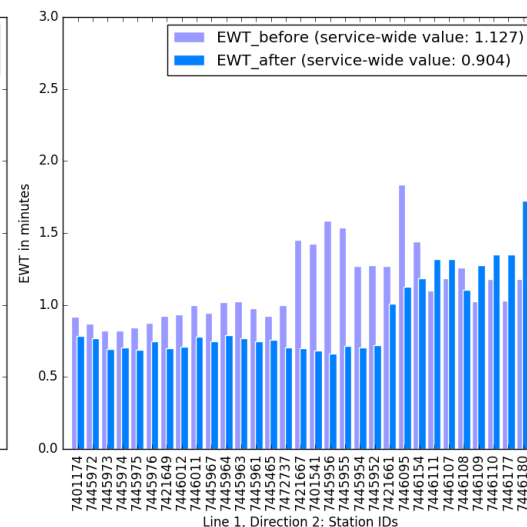
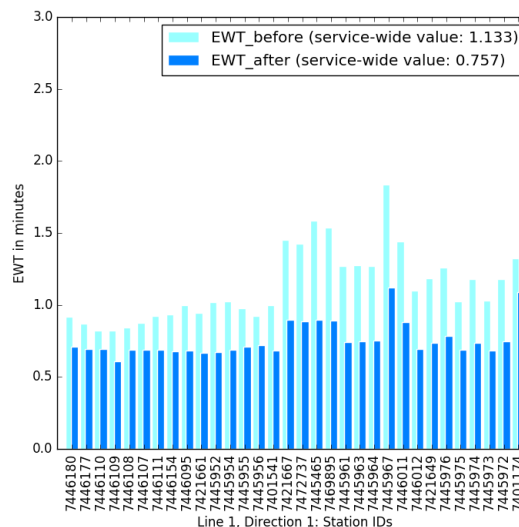


Λεωφορειακή Γραμμή 1 (χρώμα θαλασσί) και Γραμμή 4 (μωβ)

$$z(x_{K_{p,i}}) = (t - t^w - (D_{K_{p,i}, S_{p_j}} + x_{K_{p,i}}))^2$$

		service-wide EWT	Χρονικές Διαφορές (λεπτά)	Computational Time (sec)
Line 1 Direction 1	before	1.133273406	178	129.44
	after	0.75732	67	
Line 2 Direction 2	before	1.127213956	129	112.981
	after	0.90436021944		
Line 4 Direction 1	before	1.05272815	210	263.067
	after	0.94029	97	
Line 4 Direction 2	before	0.840175194	216	199.558
	after	0.704939879105		

Τελικά αποτελέσματα μετά τη βελτιστοποίηση των χρόνων αναχώρησης δρομολογίων μέσω της ευρετικής αναζήτησης



EWT σε κάθε σταθμό πριν και μετά την ευρετική αναζήτηση νέων χρόνων αναχώρησης δρομολογίων που μπορούν να εξυπηρετήσουν ζήτηση για εξω-εργασιακές δραστηριότητες (χρονική περίοδος 2:10μ.μ.-7:30μ.μ)

- Υπήρξε ~10-30% βελτίωση των **service-wide EWTs** και μόνο ορισμένες μεμονωμένες στάσεις παρουσίασαν μικρή αύξηση **έως και 0.6 λεπτά**
- Σημαντική προσαρμογή στους χρόνους έναρξης των δραστηριοτήτων της τάξης του 50%**
- Ιδιαίτερα χαμηλό υπολογιστικό κόστος (**2-6 λεπτά**)

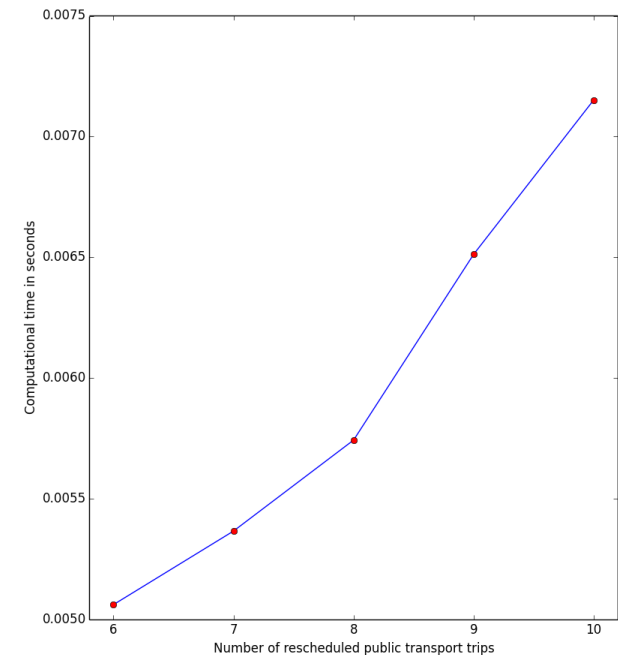
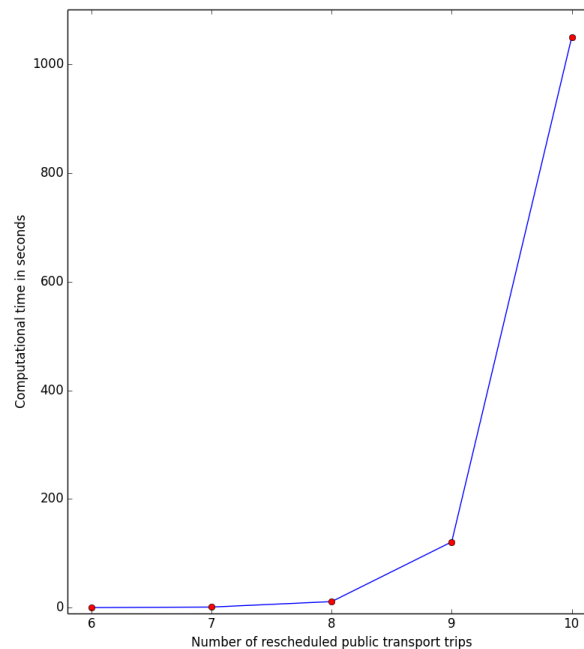
Μελέτη Εναλλακτικών Μεθόδων Επίλυσης

Basic Genetic Algorithm

Πολύ λίγες πιθανότητες δημιουργίας απογόνου με καλύτερη απόδοση από τυχαία διασταύρωση πολλών μεταβλητών

Multi-start Sequential Quadratic Programming

Δεν υπάρχει εγγύηση σύγκλισης στο ολικό βέλτιστο λόγω μη κυρτότητας της αντ. συνάρτησης. Μη σύγκλιση σε τοπικό βέλτιστο λόγω πλήθους μεταβλητών



Υπολογιστικό κόστος για την αλλαγή χρόνων αναχώρησης των δρομολογίων που σχετίζονται με κοινές δραστηριότητες με απλή απαρίθμηση (αριστερά) και διαδοχική εξελικτική αναζήτηση (δεξιά). Μόνο 10 δρομολόγια εξετάστηκαν λόγω του απαγορευτικού υπολογιστικού κόστους της απλής απαρίθμησης

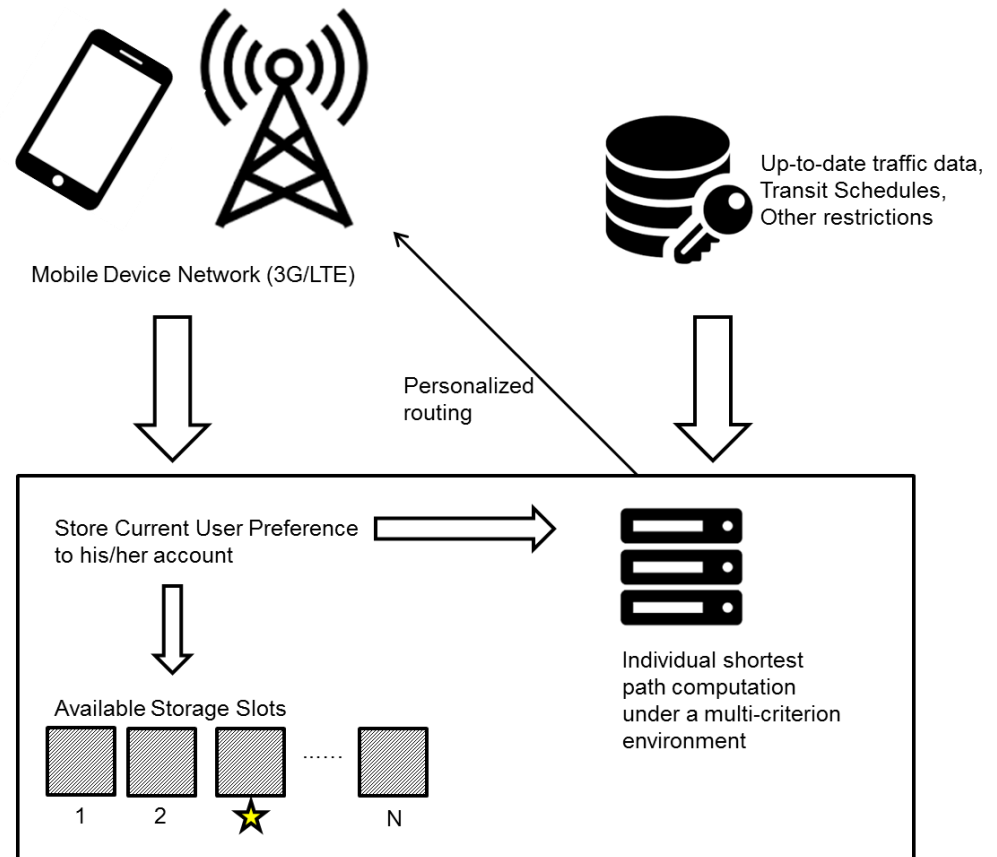


ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ/ΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ ΓΙΑ ΤΗ
ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΧΡΗΣΤΩΝ ΣΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΤΗΣ ΕΞΩ-ΕΡΓΑΣΙΑΚΗΣ
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ

Διαμόρφωση Προβλήματος

Επιλογή Βέλτιστου Τρόπου Μετακίνησης (Συντομότερη διαδρομή) λαμβάνοντας υπόψιν

- Την **αρχική θέση** του χρήστη και την τοποθεσία της **κοινής δραστηριότητας (προέλευση/προορισμός)**
- Όλα τα **εναλλακτικά μεταφορικά μέσα** που μπορούν να συνδυαστούν για την πραγματοποίηση της διαδρομής
- **Τις προσωπικές προτιμήσεις** του χρήστη
 - Μέγιστο αριθμό μεταφορικών μέσων
 - Συνολική απόσταση διαδρομής
 - Μέγιστο κόστος διαδρομής (κόστος καυσίμου, εισιτήριο κ.α.)
 - Εξαιρέση συγκεκριμένων μεταφορικών μέσων

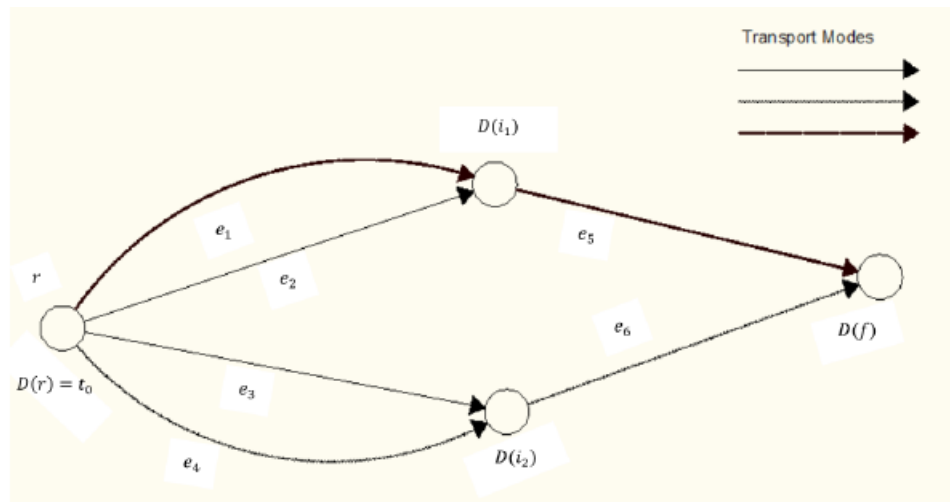


Αρχιτεκτονική Εφαρμογής για τον υπολογισμό του βέλτιστου τρόπου μετακίνησης

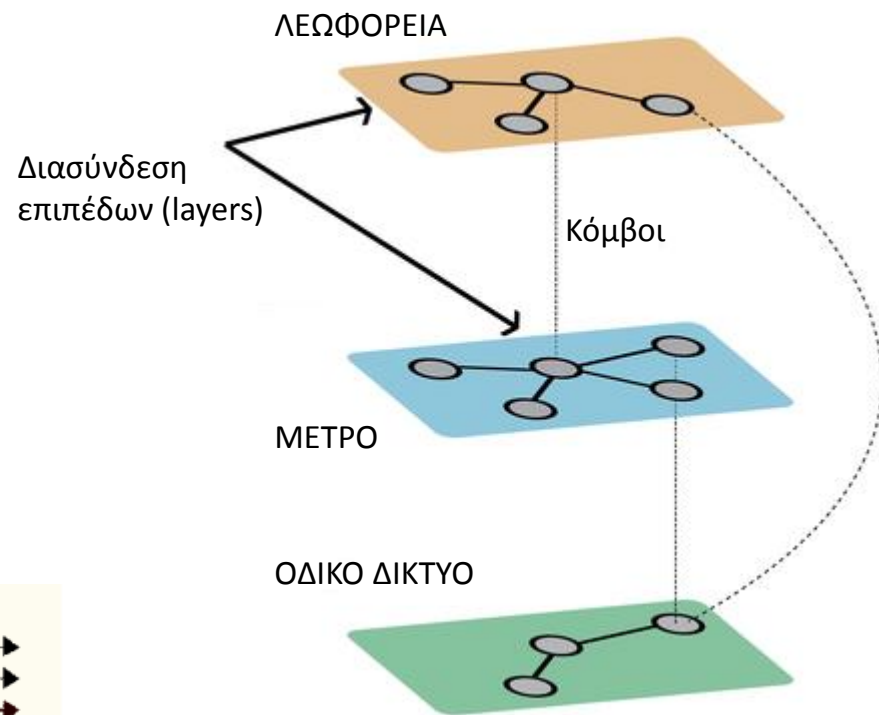
Αναπαράσταση Δικτύου σε μορφή γραφήματος

Μοντελοποίηση

- $G\{N, E\}$ αστικό μεταφορικό δίκτυο με N κόμβους και E συνδέσμους
- Κάθε σύνδεσμος $e \in E$ συνδέει έναν κόμβο προέλευσης $Or(e) = i \in N$ με έναν κόμβο προορισμού $De(e) = z \in N$
- Κάθε σύνδεσμος μπορεί να διανυθεί μόνο από ένα μεταφορικό μέσο και μπορεί να αντιστοιχηθεί σε ένα GIS layer: $layer(e) = k$
 - Έχει ένα χρόνο διαδρομής ο οποίος μεταβάλλεται ανάλογα με την ώρα της ημέρας $w(e, t - t_0)$ όπου t_0 η παρούσα χρονική στιγμή
 - Έχει ένα σύνολο δρομολογίων ΔT που τον διατρέχουν με χρόνους αναχώρησης κάθε δρομολογίου από την αρχή του συνδέσμου $e(\Delta T)$

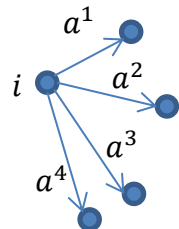
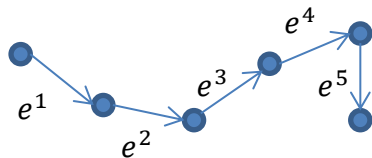


Παράδειγμα κωδικοποίησης συνδέσμων από 3 διαφορετικά μεταφορικά μέσα



Μοντελοποίηση συνδυασμού πολλαπλών μεταφορικών μέσων σε ένα χάρτη GIS με χρήση διαφορετικών επιπέδων (layers) για κάθε μέσο

Συντομότερη Διαδρομή με χρήση πολλαπλών μέσων



Ορισμός Διαδρομής

- Μια σειρά συνδέσμων $P = (e^1, e^2, e^3, e^4)$ ορίζουν ένα μονοπάτι εάν $Or(e^{x+1}) = De(e^x)$

Χρόνοι Μετακίνησης

- Εάν ένας χρήστης βρίσκεται στον κόμβο i τη χρονική στιγμή $D(i)$ και από εκεί εκκινούν οι σύνδεσμοι $\alpha_r = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$, τότε το κόστος για τη μεταφορά από το τρέχον μεταφορικό μέσο σε ένα μεταφορικό μέσο $Layer(\alpha_r)$ είναι: $SW = \min\{\max\{a_r(\Delta T) - D(i); 0\} \forall \Delta T$

Χρόνος άφιξης κάθε δρομολογίου
στο σύνδεσμο α_r

χρόνος άφιξης
χρήστη στον κόμβο i

- και ο απαιτούμενος χρόνος μετακίνησης μέσω του συνδέσμου $e \in E$ είναι:

$$\min\{\max\{a_r(\Delta T) - D(i); 0\} + w(e, \min\{\max\{a_r(\Delta T) - D(i); 0\}) \forall \Delta T$$

- Εάν ένας χρήστης ξεκινά τη χρονική στιγμή t_0 από τον κόμβο προέλευσης r και κατευθύνεται στον κόμβο προορισμού f , τότε η συντομότερη διαδρομή p^* από ένα σύνολο $P(r, f)$ με όλες τις εναλλακτικές διαδρομές υπολογίζεται ως

$$\text{Minimise } \sum_{e \in p} (\min\{\max\{a_r(\Delta T) - D(i); 0\} + w(e, \min\{\max\{a_r(\Delta T) - D(i); 0\}))$$

$\downarrow$
 $p \in P(r, f)$

Ανανέωση σε κάθε βήμα με αρχικοποίηση $D(r) = t_0$ και

$$D(De(e)) = De(Or(e)) + \min\{\max\{e(\Delta T) - D(Or(e)); 0\} + w(e, \min\{\max\{e(\Delta T) - D(Or(e)); 0\})$$

■ Μέγιστη απόσταση, αριθμός εναλλαγών μεταφορικών μέσων, κόστος διαδρομής και άλλοι περιορισμοί

- Εάν $p^* = (\dots, e^x, e^{x+1}, \dots)$ η βέλτιστη διαδρομή όπου $Or(e^{x+1}) = De(e^x), \forall x$ τότε μπορεί να υπολογιστεί ο αριθμός εναλλαγών μεταφορικών μέσων θέτοντας αρχικά $TR = 0$ και αυξάνοντας τον αριθμό εναλλαγών $TR = TR + 1$ για κάθε $Layer(e^x) \neq Layer(e^{x+1})$
- Κατά τη διάσχιση κάθε συνδέσμου e καταναλώνεται ένα πλήθος **χαρακτηριστικών** $k = 1, 2, \dots, m$ και ο χρήστης λαμβάνει αυτά τα χαρακτηριστικά υπόψιν όταν επιλέγει τη βέλτιστη διαδρομή αθροίζοντας τις επιμέρους τιμές που αντιστοιχούν στους συνδέσμους

$$R_p^k = \sum_{e \in p} R_e^k, k = 1, \dots, m$$

- Από τις προσωπικές προτιμήσεις κάθε χρήστη μπορεί να εξαχθούν οι περιορισμοί για τα χαρακτηριστικά των διαδρομών (για παράδειγμα κάποιος χρήστης μπορεί **να μην επιθυμεί περισσότερες από δύο αλλαγές μεταφορικών μέσων και δiάνυση συνολικής απόστασης 30% μεγαλύτερης από τη μικρότερη δυνατή**)
- Τα **ανώτερα επιτρεπτά όρια για κάθε περιορισμό**, b^k , μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της συντομότερης διαδρομής p^* που ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς

$$\text{minimize} \quad \sum_{e \in p} (\min\{\max\{e(\Delta T) - D(i); 0\}\} + w(e, \min\{\max\{e(\Delta T) - D(i); 0\}\}))$$

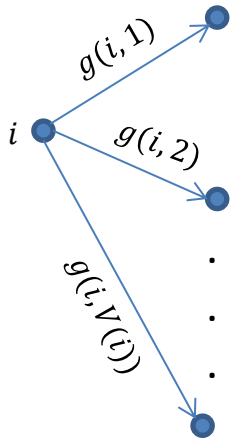
$$\text{subject to} \quad \sum_{e \in p^*} R_e^k \leq b^k, \forall k = 1, \dots, m - 1$$

$$TR \leq b^m$$

→ $k=1, \dots, m-1$ προτιμήσεις που πρέπει να ικανοποιούνται από τη βέλτιστη διαδρομή

→ Προτίμηση που σχετίζεται με το συνολικό αριθμό εναλλαγής μεταφορικών μέσων

Εξερεύνηση Διαδρομών με Δημιουργία Λιστών



u
$A(u)$
$D(u)$
$RC^k(u)$
$TR(u)$

ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

- Για κάθε κόμβο του δικτύου $i \in N$ όλοι οι σύνδεσμοι που προέρχονται από αυτόν αποθηκεύονται σε έναν διδιάστατο πίνακα $g(i, j) = \{g(i, 1), g(i, 2), \dots, g(i, V(i))\}$
- Κατά τη διάσχιση κάθε συνδέσμου $e \in g(i, j)$ οι τιμές που σχετίζονται με τις προτιμήσεις του χρήστη αυξάνονται κατά $R^k(g(i, j))$ και εάν ο χρήστης βρίσκεται τη χρονική στιγμή t_0 στον κόμβο προέλευσης ενός συνδέσμου, ο χρόνος διάνυσής του είναι:

$$\min\{\max\{g(i, j)(\Delta T) - D(i); 0\} + w(g(i, j)), \min\{\max\{g(i, j)(\Delta T) - D(i); 0\}\}.$$

ΛΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΙΣΤΩΝ (Label Setting)

- Κάθε διαδρομή αποθηκεύεται ως **λίστα** $\{u, A(u), D(u), RC^k(u), TR(u)\}$ όπου u είναι ο κωδικός αριθμός της λίστας, $A(u)$ **ο τελικός κόμβος της διαδρομής που αντιπροσωπεύει η λίστα**, $D(u)$ ο συνολικός χρόνος διάνυσης της διαδρομής μέχρι τον κόμβο $A(u)$ και $TR(u)$ ο αριθμός εναλλαγών μεταφορικών μέσων

ΛΗΜΜΑ (List Domination)

- Μία λίστα $\{u_2, A(u_2), D(u_2), RC^k(u_2), TR(u_2)\}$ μπορεί να διαγραφεί εάν υπάρχει λίστα $\{u_1, A(u_1), D(u_1), RC^k(u_1), TR(u_1)\}$ για την οποία
 - $A(u_1) = A(u_2)$ ΚΑΙ $D(u_1) \leq D(u_2)$ ΚΑΙ $TR(u_1) < TR(u_2)$ ΚΑΙ $RC^i(u_1) \leq RC^i(u_2) \forall i = 1, \dots, m$

Ευρετική Αναζήτηση Βέλτιστης Διαδρομής

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΥΡΕΤΙΚΗΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

- Εκκίνηση με τη δημιουργία λίστας $\{u, A(u), D(u), RC^k(u), TR(u)\} = \{1, r, t_0, 0, 0\}$ όπου r είναι ο **κόμβος προέλευσης** και t_0 ο χρόνος έναρξης της μετακίνησης

ΕΥΡΕΤΙΚΗ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ

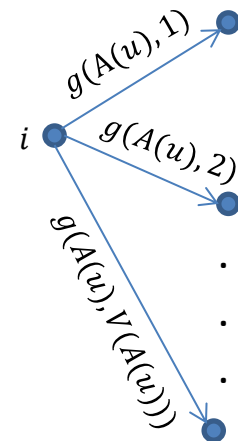
- Δημιουργία νέων λιστών για κάθε εξερχόμενο σύνδεσμο $j = \{1, \dots, V(A(u))\}$ από τον κόμβο $A(u)$
- Για παράδειγμα, ο σύνδεσμος $g(A(u), 1)$ οδηγεί σε προορισμό $A(2) = De(g(A(u), 1))$, έχει χρόνο διάνυσης $D(2)$, αυξάνει τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά διαδρομής κατά $R^k(g(A(u), 1))$, και -εάν υπάρχει εναλλαγή μεταφορικού μέσου- $TR(2) = TR(u) + 1$

ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ

- Σε κάθε επανάληψη αρχικά τοποθετείται η προηγούμενη μητρική λίστα σε ένα σύνολο $Q = Q + \{u\}$
- Θέτουμε νέα μητρική λίστα τη λίστα z για την οποία $RC^k(z) \leq b^k$ με $k = 1, 2, \dots, m-1$ και $TR(z) \leq b^m$ και $D(z) \leq D(i) \forall i \in Q$. Αυτή είναι η τρέχουσα βέλτιστη διαδρομή
- Ξεκινώντας από αυτή τη μητρική λίστα δημιουργούμε άλλες λίστες για **κάθε εξερχόμενο σύνδεσμο** από τον κόμβο προορισμού της μητρικής λίστας
- Κάποια από τις νέες λίστες μπορεί να διαγραφεί εάν υπάρχει άλλη λίστα η οποία ικανοποιεί όλα τα κριτήρια του λήμματος (list domination check)

ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ

- Εάν μετά από έναν αριθμό επαναλήψεων επιλεγεί νέα μητρική λίστα j^* για την οποία $A(j^*) = f$ όπου f είναι ο κόμβος τελικού προορισμού. Το υπολογιστικό κόστος είναι $O(\varphi J)$ όπου φ είναι ο αριθμός των επαναλήψεων και J ο αριθμός των λιστών που δημιουργήθηκαν



Μείωση του Υπολογιστικού Κόστους με Προσέγγιση της Βέλτιστης Λύσης

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ

ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

- Υπολογίζεται η μέση τιμή του κόστους διάνυσης κάθε συνδέσμου e : $W(e) = (\sum_{t=1}^Y w(e, t)) / Y$ όπου t είναι οι χρονικές στιγμές που υπάρχει μεταβολή στο χρόνο διάνυσης του συνδέσμου
- Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Dijkstra υπολογίζεται ο συντομότερος χρόνος διαδρομής από κάθε κόμβο i του δικτύου στον κόμβο τελικού προορισμού f χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν οι χρόνοι εναλλαγής μεταφορικών μέσων
- > Το υπολογιστικό κόστος είναι $O(N(E + N \log N))$ και οι συντομότεροι χρόνοι άφιξης στον τελικό προορισμό κάθε κόμβου αποθηκεύονται ως $H(i)$

ΕΥΡΕΤΙΚΗ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ

- Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία δημιουργίας λιστών, σε κάθε επανάληψη επιλέγεται η λίστα u ως μητρική για την οποία $RC^k(u) \leq b^k$ με $k = 1, 2, \dots, m - 1$ και $TR(u) \leq b^m$ και $D(u) + H(A(u)) = \min(D(i) + H(A(i)), \forall i \in Q = \emptyset$ αντί για την $D(u) = \min(D(i)), \forall i \in Q = \emptyset$

Η χρήση της εκτίμησης του χρόνου διαδρομής από τον κόμβο $A(u)$ στον κόμβο τελικού προορισμού f μέσω της χρήσης του χρόνου $H(u)$ βοηθά στην επιλογή κόμβων που έχουν περισσότερες πιθανότητες να ανήκουν στο συντομότερο μονοπάτι. Έτσι ο αλγόριθμος συγκλίνει ταχύτερα

ΠΡΩΤΗ ΑΦΙΞΗ ΣΤΟΝ ΤΕΛΙΚΟ ΠΡΟΟΡΙΣΜΟ

- Όταν μετά από έναν αριθμό επαναλήψεων επιλεγεί νέα μητρική λίστα j^* για την οποία $A(j^*) = f$ όπου f είναι ο κόμβος τελικού προορισμού, τότε $H(A(j^*)) = 0$.
- Όλες οι λίστες με χρόνο διάνυσης μεγαλύτερο από $D(A(j^*))$ διαγράφονται και οι επαναλήψεις συνεχίζονται

ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ

- Μετά από την επιλογή ενός πλήθους λιστών (π.χ. $\theta = 10$ λίστες) που φτάνουν στον τελικό κόμβο προορισμού. Κάθε φορά που μία νέα λίστα j^{**} φτάνει στον τελικό κόμβο προορισμού, τότε εάν $D(j^{**}) \leq D(j^*)$ η λίστα αυτή θεωρείται η βέλτιστη λύση

Αποτελέσματα εύρεσης Εναλλακτικών Μέσων και Συντομότερης Διαδρομής

Οι δύο αλγόριθμοι εφαρμόστηκαν για την επιλογή της συντομότερης διαδρομής ενός χρήστη λαμβάνοντας υπόψιν προσομοιωμένες **προσωπικές προτιμήσεις** σε μία σειρά από **προσομοιωμένα συγκοινωνιακά δίκτυα** που είχαν από **100** έως **3000** κόμβους.

Υπολογιστικά Κόστη, Αριθμοί Λιστών και βαθμός ακρίβειας λύσεων

Randomised Network			Number of Modes	Number of Constraints	Constraint Limit (units)	Travel time (min) and resource consumption (units)	Complexity				
Intersections/ Stations	Purpose-Built Arcs	Ratio Nodes/Edges					Algorithm 4. Running Time (sec)	Number of Labels	Algorithm 4'. Running Time (sec)	Number of Labels	Accu- acy
100	1000	10.00%	2	1	670	54.78 / 488.23	0.717	1294	0.0321	472	97%
200	2158	9.27%	3	1	1540	139.72 / 1486	11.844	5511	0.0349	2412	94%
600	49811	1.20%	3	1	430	12.3 / 234.5	7.22	3014	0.1013	1158	100%
1400	13250	10.57%	4	1	1021.76	315 / 1011	> 200	Out of bound	0.8512	23225	94%
1600	15420	10.38%	4	1	972.72	342 / 963.5	> 200	Out of bound	0.4964	15942	92%
1800	17690	10.18%	5	1	861.85	369 / 850.4	> 200	Out of bound	1.325	17526	96%
2600	24980	10.41%	5	1	727.61	358 / 716.1	> 200	Out of bound	1.748	16954	97%
500	25200	1.98%	3	1	415.17	36 / 405.1	86.12	58241	0.1491	4223	100%
300	20434	1.47%	3	1	588.41	19 / 567.3	0.1748	2981	0.071	392	100%
400	23962	1.67%	4	1	427.22	27 / 421.11	0.336	3769	0.093	612	100%
2800	27312	10.25%	6	1	911.61	334 / 906.3	> 200	Out of bound	0.896	9125	93%
3000	29762	10.08%	6	1	1052.8	315 / 1044.16	> 200	Out of bound	0.847	7032	95%

Υπολογιστικό Κόστος του αλγορίθμου 2 για την περίπτωση τεσσάρων περιορισμών

Randomised Network			Complexity		Limits of Constraints (units)	Travel Time (min)	Algorithm 4' Run. Time (sec)	Number of Labels
Intersections/ Station	Purpose-Built Arcs	Ratio Nodes/Edges	Number of Modes	Number of Constraints				
100	1000	10.00%	2	4	15.6/135/19/1	79	0.0321	2113
200	2009	9.95%	3	4	13.6/115/17/2	58	0.0812	8051
1000	11000	9.25%	3	4	15.4/122.9/15/5	61	0.1932	9736
1400	14000	10.57%	4	4	22.5/186/13/4	228	34.11	379125
1600	16000	10.38%	4	4	31/285/25/2	181	7.048	135209
1800	18000	10.18%	5	4	66/470/34/3	439	2.311	51611
2600	26000	10.41%	5	4	200/1550/18/2	874	3.72	85236
500	26000	1.98%	3	4	10.7/91/11/3	89	0.142	6948
300	20400	1.47%	3	4	2/12.4/21/2	28	0.314	307
400	24000	1.67%	4	4	6/39.6/23/3	49	0.307	811
2800	28000	10.25%	6	4	89/540/14/4	412	21.49	192597
3000	30000	10.08%	6	4	161/1040/28/3	617	4.07	51321

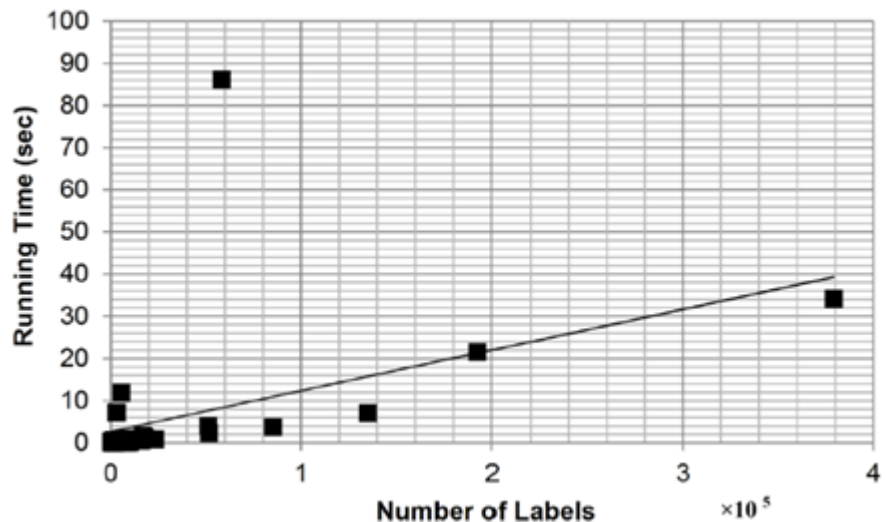
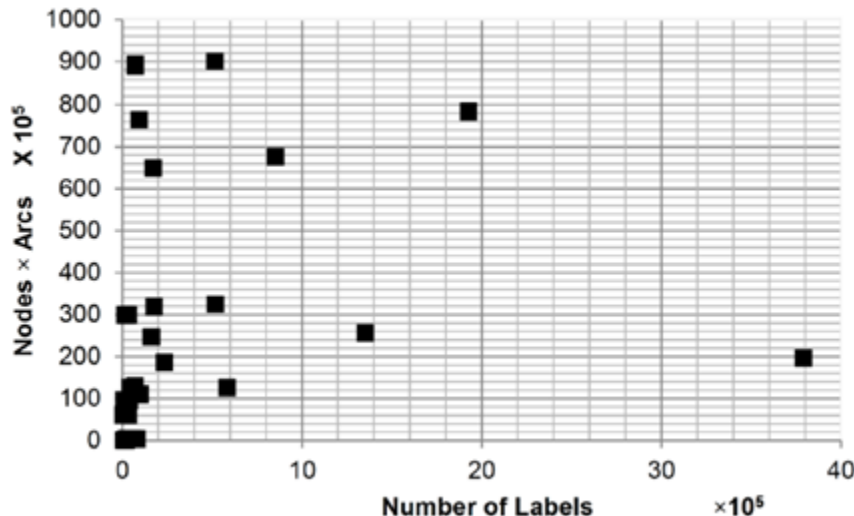
Εφαρμοσιμότητα και Υπολογιστικό Κόστος

Ο ευρετικός αλγόριθμος που συνέκλινε στο ολικό βέλτιστο μπόρεσε να εφαρμοστεί σε δίκτυα με έως και

- 600 κόμβους,
- 50,000 συνδέσμους,
- 1 προτίμηση χρήστη και
- έως και 3 εναλλακτικά μέσα μεταφοράς.

Ο δεύτερος αλγόριθμος προσέγγισης του ολικού βέλτιστου μπόρεσε να εφαρμοστεί σε δίκτυα με

- 3,000+ κόμβους,
- 6 εναλλακτικά μέσα μεταφοράς
- 4 προτιμήσεις χρήστη
- με βαθμό ακριβείας υπολογισμού της συντομότερης διαδρομής 90-100%



Το υπολογιστικό κόστος

- συνδέεται με **σχεδόν γραμμική σχέση** με τον αριθμό των λιστών (labels = J) που δημιουργούνται κατά την εξεύρεση της βέλτιστης λύσης
- εξαρτάται και από τον τελικό αριθμό επαναλήψεων $O(\varphi J)$ οπότε η γραμμική σχέση δεν είναι πάντα δεδομένη
- Δεν υπάρχει διακριτή σχέση μεταξύ του **υπολογιστικού κόστους** και του **αριθμού κόμβων/συνδέσμων** καθώς ο αριθμός κόμβων $\times$ αριθμός συνδέσμων δε σχετίζεται με τον αριθμό των λιστών

Ο τελικός αριθμός λιστών σχετίζεται με τα ανώτερα όρια των περιορισμών, την πυκνότητα του δικτύου, τα κριτήρια διαγραφής λιστών κ.α. Όχι μόνο με τον **αριθμό κόμβων/συνδέσμων**

Συνοπτικά Συμπεράσματα – Τεχνική Συμβολή



Δυναμική Βελτιστοποίηση μετακινήσεων αλληλοεξαρτώμενων δραστηριοτήτων στο χώρο και στο χρόνο

- -> **Επιλογή Τόπου και Χρόνου Δραστηριοτήτων**
- -> **Προσαρμογή Μέσων Μαζικής Μεταφοράς**
- -> **Εκτίμηση Μεταφορικών Μέσων Μετακινούμενων**

Δημιουργία μίας μεθόδου «label setting» αναζήτησης που συγκλίνει στο ολικό βέλτιστο και ενός ευρετικού αλγορίθμου που το προσεγγίζει για την επίλυση του προβλήματος εύρεσης μεταφορικών μέσων που ικανοποιούν τις προτιμήσεις του χρήστη. Ο ευρετικός αλγόριθμος δεν αντιμετώπισε προβλήματα σε δίκτυα με έως και 3,000+ κόμβους, 6 εναλλακτικά μέσα μεταφοράς και 4 προτιμήσεις χρήστη αλλά είχε βαθμό ακρίβειας ~90+%

Αυτοματοποιημένη αναγνώριση μοτίβων χρηστών και Μοντελοποίηση του προβλήματος λαμβάνοντας υπόψιν τη συνολική χρησιμότητα των χρηστών και δημιουργία στοχαστικής μεθόδου εξελικτικής αναζήτησης που μπόρεσε να ανιχνεύσει έως και 2 φορές καλύτερες επιλογές τόπου/χρόνου έναρξης κοινών δραστηριοτήτων συγκριτικά με άλλες μεθόδους όπως hill-climbing και GA

Μοντελοποίηση του προβλήματος δυναμικής μεταβολής των χρόνων αναχώρησης δρομολογίων μ.μ.μ. Δημιουργία μεθόδου διαδοχικής γενετικής αναζήτησης με θεωρητική βελτίωση των χρόνων προσαρμογής δρομολογίων έως και 50% και βελτίωση των EWT έως και 10-30% με υπολογιστικό κόστος (2-6λεπτά)

Διδάγματα και Εφαρμοσιμότητα Μεθοδολογιών

- Τα ατομικά δεδομένα χρηστών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εύρεση κοινών δραστηριοτήτων κινούνται σε χαμηλά επίπεδα (~**3-10%** επί του συνόλου «low penetration»)
 - Το ποσοστό αναμένεται να διαφέρει από πόλη σε πόλη ανάλογα με το πόσο ενεργοί είναι οι χρήστες μέσω κοινωνικής δικτύωσης
 - Το ποσοστό αυτό μπορεί να αυξηθεί στο μέλλον ή μπορεί να δημιουργηθούν εφαρμογές για αυτό το σκοπό (joint activity planning applications)

■ “One-to-Many”

- Τα μοντέλα εντοπισμού αποστάσεων που είναι διατεθειμένοι να διανύσουν οι χρήστες για συμμετοχή σε δραστηριότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τη βελτιστοποίηση μη αλληλοεξαρτώμενων δραστηριοτήτων
- Πέρα από την προσαρμογή των μ.μ.μ. στη ζήτηση για κοινές δραστηριότητες, η ίδια μέθοδος δυναμικής προσαρμογής των χρόνων αναχώρησης δρομολογίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσαρμογή και σε άλλες μορφές επιβατικής ζήτησης
- Οι αλγόριθμοι για τον υπολογισμό των βέλτιστων μεταφορικών μέσων για τη συμμετοχή σε μία κοινή δραστηριότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση κάθε διαδρομής με βάση τις προτιμήσεις του χρήστη

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΠΟΛΥ!

- Επιβλέπων κ. Σταθόπουλο που εργαζόμαστε μαζί από ~2009
- Κ. Μπαλλή και κ. Αντωνίου -> βοήθησαν σημαντικά στη βελτίωση της διατριβής με συγκεκριμένες συστάσεις και προτροπές
- Στην 7μελή (κ. Ψαράκη – Καλουπτσίδη, κ. Πολυδωροπούλου, κ. Κεπατσόγλου και κ. Βλαχογιάννη)
- Ε.Μ.Π. που συνέβαλε σημαντικά στην επιστημονική και επαγγελματική μου εξέλιξη από το 2005
- Στην οικογένειά μου για την ΨΥΧΡΑΙΜΙΑ της όλα αυτά τα χρόνια
- Στη NEC και τα πανεπιστήμια Imperial College και TU Delft

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ