

ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ VORONOI

Καραγάνης Αναστάσιος¹ και Μιμής Άγγελος^{2,*}

¹Επ. Καθηγητής, Πάντειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Οικονομικής και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Λεωφ. Συγγρού 136, Αθήνα 17671, Τηλ. 210 9230779,

Email: akaragan@panteion.gr

²Λέκτορας, Πάντειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Οικονομικής και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Λεωφ. Συγγρού 136, Αθήνα 17671, Τηλ. 210 9248791,

Email: mimis@panteion.gr

Περίληψη

Στο παρόν άρθρο, παρουσιάζεται μια υπολογιστική μεθοδολογία επίλυσης του προβλήματος της εύρεσης βέλτιστης θέσης μιας ή περισσότερων νέων εγκαταστάσεων σε ένα υπάρχον δίκτυο παροχής υπηρεσιών. Το πρόβλημα της χωροθέτησης προσεγγίζεται με την χρήση του συνεχούς μοντέλου ενώ οι περιπτώσεις που επιλύονται αφορούν σημειακές υπηρεσίες. Οι υπηρεσίες αυτές μπορεί να χρησιμοποιούνται είτε από ανεξάρτητους χρήστες, ή να υπόκεινται σε ιεραρχική δομή. Τα δύο αυτά διαφορετικά προβλήματα επιλύονται με την χρήση των διαγραμμάτων Voronoi και του λογισμικού που έχει αναπτυχθεί για τον σκοπό αυτό και χρησιμοποιεί ως μέθοδο βελτιστοποίησης την Directed Tabu Search (DTS). Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζονται δυο εφαρμογές. Η πρώτη αφορά την περίπτωση της εισαγωγής δύο υποκαταστημάτων ΕΛΤΑ σε μια υποπεριοχή του νομού Αττικής ενώ στην δεύτερη εξετάζεται η εισαγωγή, σε ένα ιεραρχικό δίκτυο, ενός υποκαταστήματος τράπεζας ή ενός ATM.

Abstract

This paper discusses a methodology for solving the problem of finding the optimum location of a service in a network of facilities. The locational optimization problem is approached with a continuous model and the facilities are considered to be point-like. Point-like facilities are used by independent users, or are considered to be hierarchical facilities. The methodology proposed solves these problems by using Voronoi diagrams implemented in software developed, based on the Directed Tabu Search algorithm for continuous non-linear optimization, with constraints. Two different case studies are illustrated. In the first, two new post offices are inserted in a region where a number of post offices are already in use. In the second case, in a hierarchical network, a new bank branch location is examined and compared with the insertion of an ATM.

Λέξεις Κλειδιά: Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Χωρική ανάλυση, Μέθοδοι βελτιστοποίησης, Χωροθέτηση λειτουργιών.

Key words: Geographic Information Systems, Spatial analysis, Non-linear programming, Locational planning.

1. Εισαγωγή

Τα προβλήματα χωροθέτησης μελετώνται για περισσότερα από 100 χρόνια. Στην πιο γενική τους διατύπωση έχουν ως δεδομένα τον χώρο μελέτης, την αντίστοιχη μετρική που τα συνοδεύει και την πιθανή θέση των πελατών, ενώ ζητείται ο υπολογισμός της βέλτιστης θέσης ενός αριθμού υπηρεσιών με βάση μια συνάρτηση κόστους (Plastria, 2001; Φώτης 2009).

Μεγάλη είναι η ποικιλία και το εύρος των εφαρμογών, που ξεκινάνε από την χωροθέτηση πυροσβεστικών σταθμών, σχολικών μονάδων, στάσεων μέσων μαζική μεταφοράς και φτάνουν ως την χωροθέτηση κέντρων διανομής, καταστημάτων πώλησης, γηπέδων αθλητικών δραστηριοτήτων κ.α.

Η μεθοδολογία που έχει ακολουθηθεί για την επίλυση αυτού του τύπου προβλημάτων ταξινομείται σε τέσσερις κατηγορίες με βάση τον τρόπο ορισμού του χώρου του προβλήματος και την συνάρτηση κόστους (ReVelle *et al.*, 2008).

Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από τα αναλυτικά μοντέλα (analytic models), τα οποία βασίζονται σε μεγάλο αριθμό απλοποιήσεων του προβλήματος όπως για παράδειγμα η υπόθεση ότι η ζήτηση είναι ομοιόμορφη σε όλο το χώρο. Αυτές οι παραδοχές βοηθούν στην εύρεση κλειστών λύσεων για την συνάρτηση κόστους σε σχέση με τον αριθμό των κέντρων υπηρεσιών που χωροθετούνται. Παρόλο που τα μοντέλα δίνουν μια εικόνα της περιοχής που διέπει τον αριθμό των κέντρων σε σχέση με τις παραμέτρους του προβλήματος, οι υποθέσεις εργασίας τα καθιστούν δύσκολα στην χρήση σε πραγματικές – πρακτικές εφαρμογές.

Στην δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται τα μοντέλα δικτύων (network models) όπου το πρόβλημα χωροθέτησης απεικονίζεται σε ένα δίκτυο αποτελούμενο από συνδέσμους (links) και κέντρα (nodes). Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογής η ζήτηση περιορίζεται ώστε να εμφανίζεται μόνο στα κέντρα, ενώ παράδειγμα εμφάνισης ζήτησης και στους συνδέσμους αποτελεί η ζήτηση επειγόντων υπηρεσιών στο οδικό δίκτυο.

Τα διακριτά μοντέλα (discrete location models) υποθέτουν ότι η ζήτηση καθώς και η προσφορά της υπηρεσίας εμφανίζονται μόνο σε διακριτά σημεία. Η διατύπωσή τους καταλήγει σε N-P δυσκολίας προβλήματα ακέραιου προγραμματισμού (integer programming). Τα μοντέλα αυτά εμφανίζονται σε πλειάδα εφαρμογών ενώ οι βασικές κατηγορίες τους είναι η διατύπωση της διαμέσου (median) και τα προβλήματα κάλυψης (coverage) και κέντρου (center). Στην πρώτη περίπτωση στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της μέσης απόστασης ζήτησης μεταξύ ενός κόμβου ζήτησης και του κέντρου της υπηρεσίας που είναι υπεύθυνο για τον συγκεκριμένο κόμβο. Στην άλλη περίπτωση για δεδομένο αριθμό κέντρων που παρέχουν την υπηρεσία, μεγιστοποιείται η ζήτηση που θα εξυπηρετηθεί σε μια καθορισμένη απόσταση κάλυψης.

Η τελευταία κατηγορία αφορά τα συνεχή μοντέλα (continuous models) τα οποία υποθέτουν ότι οι υπηρεσίες μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου εξυπηρέτησης, ενώ η ζήτηση συνήθως υπάρχει σε διακριτά σημεία. Τα προβλήματα αυτά προσεγγίζονται από μεθόδους μη-γραμμικού προγραμματισμού και αλγορίθμους εύρεσης ολικών ακρότατων (global optimization). Παρά την κριτική που έχει δεχθεί η συγκεκριμένη προσέγγιση όσο αναφορά την μη δυνατή πρακτική εφαρμογή της μεθόδου, έχει εφαρμοστεί σε περιπτώσεις όπως η χωροθέτηση κουτιών ταχυδρομείου, στις μεταφορές και στα logistics (Novaes *et al.*, 2009).

Τα συνεχή μοντέλα, με την χρήση διαγραμμάτων Voronoi, επιλύουν τρία διαφορετικά είδη προβλημάτων, των σημειακών, των γραμμικών και των χωροχρονικών (Okabe *et al.*, 2000). Στο πρώτο, το οποίο αφορά την χωροθέτηση σημειακών λειτουργιών, στόχος είναι η εύρεση των θέσεων των υπηρεσιών ώστε να ελαχιστοποιηθεί το μέσο κόστος. Οι σημειακές υπηρεσίες μπορεί να είναι υπηρεσίες οι οποίες χρησιμοποιούνται είτε από ανεξάρτητους χρήστες ή από ομάδες χρηστών, ιεραρχικές υπηρεσίες (π.χ. κεντρική βιβλιοθήκη και παραρτήματά της), σημεία περισυλλογής μετρήσεων, και σημεία μέσω των οποίων χρήστες μεταβαίνουν σε κεντρικά σημεία (πχ. δρομολόγια λεωφορείων). Τα προβλήματα αυτά μπορούν να λυθούν με την χρήση κανονικών ή σταθμισμένων διαγραμμάτων Voronoi.

Στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστεί λογισμικό βασισμένο σε ΓΣΠ το οποίο επιλύει σημειακά προβλήματα που έχουν διατυπωθεί με συνεχή μοντέλα με την χρήση διαγραμμάτων Voronoi. Στην επόμενη παράγραφο θα παρουσιαστεί η μαθηματική διατύπωση των προβλημάτων, ενώ στην τρίτη θα αναλυθεί το λογισμικό που αναπτύχθηκε. Στην τέταρτη παράγραφο θα στοιχειοθετηθούν δύο εφαρμογές και θα παρουσιαστούν τα ευρήματα. Τέλος θα συζητηθούν τα αποτελέσματα και οι πιθανές μελλοντικές βελτιώσεις.

2. Περιγραφή προβλήματος

Στα προβλήματα που θα μελετήσουμε θεωρούμε ότι το πεδίο μελέτης είναι ένα συνεχές πεδίο όπου η ζήτηση μπορεί να υπάρχει σε πεπερασμένο αριθμό σημείων, ενώ η προσφορά της υπηρεσίας μπορεί να χωροθετηθεί οπουδήποτε στον χώρο. Θα προσεγγίσουμε δύο προβλήματα (Okabe *et al.*, 2000; Okabe and Suzuki, 1997). Στο πρώτο θα διατυπώσουμε το πρόβλημα της χωροθέτησης σημειακών υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται από ανεξάρτητους χρήστες. Παράδειγμα τέτοιας υπηρεσίας αποτελεί η χωροθέτηση ταχυδρομικών κουτιών. Στην δεύτερη περίπτωση εξετάζουμε υπηρεσίες που βασίζονται στην ιεραρχική δομή με κλασσικό παράδειγμα τις κεντρικές βιβλιοθήκες με τα παραρτήματα τους (Okabe *et al.*, 1997).

2.1 Χωροθέτηση σημειακής εγκατάστασης που εξυπηρετεί ανεξάρτητους χρήστες.

Προκειμένου να εξετάσουμε την ποιότητα της υπηρεσίας και την αξιολόγηση όποιιας αλλαγής προτείνει το μοντέλο χρειαζόμαστε ένα μέτρο σύγκρισης δηλαδή μια συνάρτηση κόστους

(αντικειμενική συνάρτηση). Στο πρόβλημα μας υπάρχουν δύο διαφορετικές πηγές κόστους. Η πρώτη αφορά την εγκατάσταση και περιέχει το κόστος παροχής της υπηρεσίας στην συγκεκριμένη θέση. Η δεύτερη πηγή αντικατοπτρίζει το κόστος χρήσης της υπηρεσίας από τους χρήστες. Στην παρούσα εργασία θα μοντελοποιήσουμε μόνο το δεύτερο κομμάτι, θεωρώντας την ικανοποίηση των πελατών ως το μόνο κριτήριο για την χωροθέτηση, κάτι το οποίο ισχύει για παράδειγμα σε υπηρεσίες που παρέχονται από το δημόσιο (public services).

Με αυτό το σκεπτικό η αντικειμενική συνάρτηση μπορεί να οριστεί ως συνάρτηση της απόστασης της υπηρεσίας από τον χρήστη. Έτσι κάθε σημειακή εγκατάσταση έχει μια περιοχή ευθύνης η οποία μπορεί να οριστεί με την χρήση διαγραμμάτων Voronoi. Ως απόσταση χρησιμοποιείται η Ευκλείδεια απόσταση κάτι το οποίο δεν απέχει από την πραγματικότητα όπως έχουν δείξει οι συγκριτικές μελέτες των Koshizuka and Kobayashi (1983) και Love *et al.* (1988). Άρα το κόστος του χρήστη συνολικά θα είναι η μέση απόσταση που θα διανύσει ο χρήστης μέχρι την υπηρεσία ανά περιοχή ευθύνης.

Για να διατυπώσουμε μαθηματικά το πρόβλημα ως $S \subseteq R^2$ την περιοχή μελέτης και $x_1, x_2, \dots, x_n \in S$ η θέση των n εγκαταστάσεων των υπηρεσιών. Έστω $\phi(x)$ η πυκνότητα των χρηστών στην περιοχή μελέτης S και V_1, V_2, \dots, V_n τα πολύγωνα Voronoi που αντιστοιχούν στις θέσεις των εγκαταστάσεων. Έτσι λοιπόν η συνάρτηση κόστους δίνεται από την σχέση:

$$\phi(x) = \sum_{i=1}^n \frac{\|x - x_i\|^{-2}}{\sum_{j=1}^n \|x - x_j\|^{-2}} \quad (1)$$

όπου $\|x - x_i\|$ η Ευκλείδεια απόσταση. Αν θεωρήσουμε ότι $\sum_{i=1}^n \|x - x_i\|^{-2} = \phi(x)$ το πρόβλημα της βέλτιστης χωροθέτησης μπορεί να επαναδιατυπωθεί ως:

$$\min_{x_1, x_2, \dots, x_n} \int_S \phi(x) dx \quad (2)$$

με το περιορισμό η θέση εγκατάστασης των υπηρεσιών x_1, x_2, \dots, x_n να ανήκει στο S .

2.3 Βέλτιστη χωροθέτηση σημειακής εγκατάστασης σε ιεραρχικό δίκτυο υπηρεσιών.

Ας θεωρήσουμε n εγκαταστάσεις μιας υπηρεσίας στην περιοχή S οι οποίες έχουν τάξη από 1 έως m . Έστω ότι n_i από αυτές έχουν τάξη i ($\sum_{i=1}^m n_i = n$) και x_1, x_2, \dots, x_n η θέση των n υπηρεσιών.

Ας υποθέσουμε ότι οι n_1 πρώτες έχουν τάξη 1 και οι επόμενες n_2 έχουν τάξη 2 κ.ο.κ.

Θεωρούμε ότι οι n εγκαταστάσεις παρέχουν k είδη υπηρεσιών s_1, s_2, \dots, s_k και ότι οι υπηρεσίες τάξης i παρέχουν τις επόμενες s_i, s_{i+1}, \dots, s_m , δηλαδή την υπηρεσία που αντιστοιχεί στην τάξη που ανήκει και όλες τις εργασίες των χαμηλότερων τάξεων $i+1, i+2, \dots, m$.

Πριν διατυπώσουμε την συνάρτηση κόστους κάνουμε δύο παραδοχές. Πρώτον ότι κάθε χρήστης πάει στην κοντινότερη εγκατάσταση που παρέχει την υπηρεσία που επιθυμεί να χρησιμοποιήσει. Έτσι λοιπόν οι περιοχές ευθύνης δίνονται από την κατάτμηση του χώρου, σε κάθε τάξη, από τα πολύγωνα Voronoi. Δεύτερον κάθε χρήστης χρησιμοποιεί a_j χρονικές μονάδες από

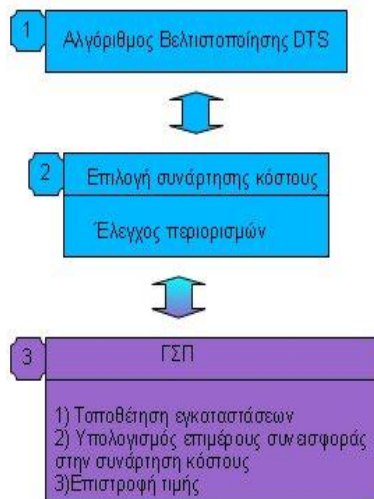
την υπηρεσία s_j . Τέλος θεωρούμε ότι $\sum_{j=1}^k a_j = 1$. Άρα λοιπόν η συνάρτηση κόστους θα είναι:

$$\int_S \sum_{j=1}^k a_j \phi_j(x) dx \quad (3)$$

Παρατηρούμε ότι το πρόβλημα της βέλτιστης χωροθέτησης που περιγράφεται από την Σχέση (3) είναι ίδιο με το αρχικό (1).

3. Μεθοδολογία

Προκειμένου να επιλυθούν τα προβλήματα βέλτιστης χωροθέτησης που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα χρειαζόμαστε λογισμικό το οποίο να περιέχει δυο υπολογιστικούς μηχανισμούς. Ο πρώτος είναι ένα ΓΣΠ όπου με την χρήση των κατάλληλων υποβάθρων θα υπολογίζεται η αντίστοιχη συνάρτηση κόστους ενώ ο δεύτερος θα είναι ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης μη γραμμικών συναρτήσεων με περιορισμούς.



Σχήμα 1. Μεθοδολογία υπολογισμού βέλτιστης θέσης.

Για τον σκοπό αυτό έχει αναπτυχθεί μια μεθοδολογία η οποία στην υλοποίησή της αποτελείται από τρία κομμάτια. Το πρώτο κομμάτι (Σχήμα 1) το οποίο είναι η μέθοδος βελτιστοποίησης, που στην περίπτωση μας είναι μια εκδοχή της Tabu search (Glover, 1989; Glover, 1990) για συνεχή πεδία (Directed Tabu Search), η οποία έχει υλοποιηθεί στο Matlab. Η μέθοδος Directed Tabu Search (DTS) που χρησιμοποιείται βασίζεται στην metaheuristic Tabu search μέθοδο η οποία έχει τροποποιηθεί από τους Hedar and Fukushima (2006) ώστε να αντιμετωπίζει προβλήματα συνεχών συναρτήσεων. Η DTS χρησιμοποιεί κατευθυνόμενες μεθόδους (direct-search) ώστε να δίνει την διεύθυνση αναζήτησης στην Tabu. Αυτές οι τεχνικές βασίζονται στην μέθοδο Nelder-Mead (Kelly, 1999) η οποία έχει εμπλουτιστεί από adaptive pattern search.

Η μέθοδος απαιτεί τον ορισμό της συνάρτησης κόστους (δεύτερο κομμάτι) η οποία λειτουργεί και σαν interface μεταξύ του αλγόριθμου βελτιστοποίησης και του λογισμικού του ΓΣΠ. Στο σημείο αυτό εξετάζεται και το αν ικανοποιούνται οι περιορισμοί. Στα προβλήματα που εξετάζουμε, οι μεταβλητές του προβλήματος είναι θέσεις υπηρεσιών οι οποίες πρέπει να λαμβάνουν τιμές στην περιοχή μελέτης. Αυτό ικανοποιείται σε πρώτο βαθμό από τους ανισοτικούς περιορισμούς που δέχεται η μέθοδος βελτιστοποίησης και σε δεύτερο βαθμό από penalty functions.

Το τρίτο κομμάτι, το οποίο έχει αναπτυχθεί στην γλώσσα MapBasic (Mapinfo, 2008) και εκτελείται στο εμπορικό ΓΣΠ MapInfo, υπολογίζει την αντικειμενική συνάρτηση για τις παραμέτρους του προβλήματος που προστάζει η μέθοδος βελτιστοποίησης (πχ. Θέση και αριθμός εγκαταστάσεων). Η αντικειμενική συνάρτηση των προβλημάτων που είδαμε περιγράφεται από τις εξισώσεις (1), και (3) και στην περίπτωση της χωροθέτησης σημειακής εγκατάστασης που χρησιμοποιείται από ανεξάρτητους χρήστες παίρνει την μορφή :

$$\text{Cost} = \sum_{i=1}^n \frac{Area_{V_i}}{Area_{total}} \cdot \frac{Population^j}{Population^{total}} \cdot \|x - x_i\| \quad (4)$$

όπου

x_1, x_2, \dots, x_n	Η θέση των n σημειακών εγκαταστάσεων
$Area_{V_i}$	Εμβαδό του V_i πολυγώνου
$Area_{total}$	Συνολικό εμβαδόν της περιοχής μελέτης
$\ x - x_i\ $	Η απόσταση του j οικοδομικού τετραγώνου από το σημείο x_i .
$Population^j$	Πληθυσμός στο j οικοδομικό τετράγωνο
$Population^{total}$	Συνολικός πληθυσμός σε όλη την περιοχή μελέτης

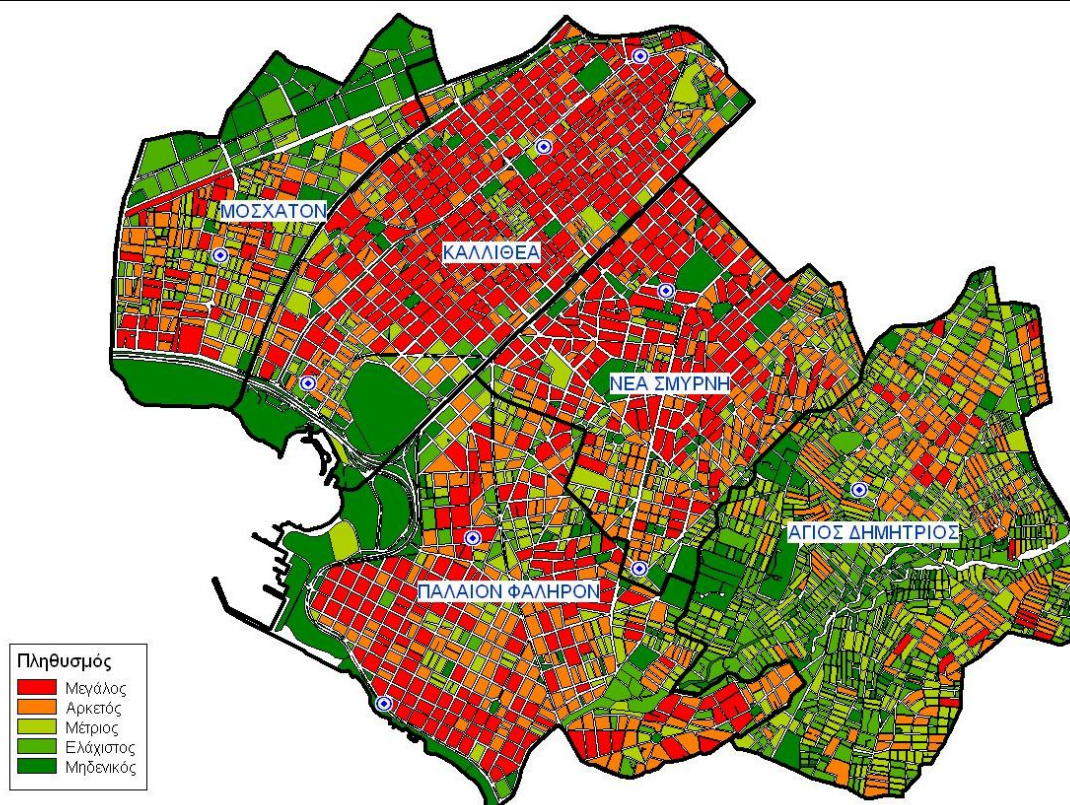
4. Εφαρμογή

Με βάση την μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο και το εργαλείο που αναπτύχθηκε για αυτόν τον σκοπό, θα παρουσιαστούν δυο εφαρμογές. Η πρώτη αφορά την βέλτιστη χωροθέτηση ταχυδρομείων ενώ το δεύτερο πρόβλημα αντιμετωπίζει το πρόβλημα της χωροθέτησης υποκαταστημάτων και ΑΤΜ μιας Τράπεζας. Το πρόβλημα λύνεται στο ήδη υπάρχον δίκτυο. Στις περιπτώσεις αυτές ως υπόβαθρο έχουμε τους δήμους του Μοσχάτου, της Καλλιθέας, της Ν. Σμύρνης, του Π. Φαλήρου και του Αγ. Δημητρίου, μαζί με τον αντίστοιχο πληθυσμό ανά οικοδομικό τετράγωνο (Χάρτης 1).

4.1 Βέλτιστη χωροθέτηση ταχυδρομείων.

Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται ως πρόβλημα χωροθέτησης εγκατάστασης που χρησιμοποιείται από ανεξάρτητους χρήστες και για αυτό τον σκοπό γεωκωδικογραφήθηκαν εννέα καταστήματα ταχυδρομείων στην περιοχή μελέτης. Η συνάρτηση κόστους δίνεται από την Σχέση 2 ενώ η πυκνότητα των χρηστών $\phi(x)$ υπολογίστηκε από το υπόβαθρο του πληθυσμού.

Η παρούσα υλοποίηση μπορεί να απαντήσει σε ερωτήματα όπως “Ποια είναι η βέλτιστη θέση n καταστημάτων σε ένα νέο δίκτυο υπηρεσιών”, και “Ποια η βέλτιστη θέση m νέων καταστημάτων σε ένα υπάρχον δίκτυο υπηρεσιών”.



Χάρτης 1. Πρόβλημα βέλτιστης χωροθέτησης ταχυδρομείων.

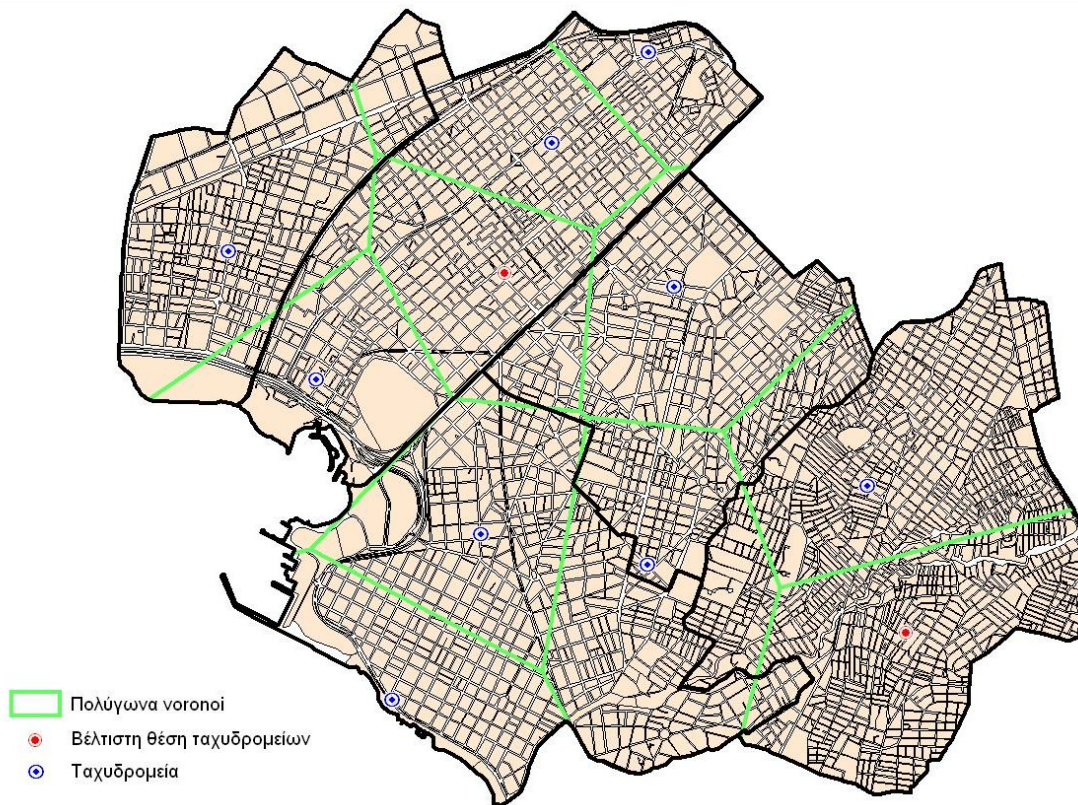
Στον Χάρτη 2 παρουσιάζεται η λύση του προβλήματος χωροθέτησης δυο νέων καταστημάτων στην περιοχή μελέτης. Η συνάρτηση κόστους με την προσθήκη ενός υποκαταστήματος παρουσιάζει βελτίωση **29%** (δεν παρουσιάζεται στον Χάρτη 2) σε σύγκριση με το υπάρχον δίκτυο ενώ η προσθήκη δύο εγκαταστάσεων επιφέρει βελτίωση της τάξης του **40%**. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για την επίλυση του προβλήματος με τον αλγόριθμο DTS γίνανε 807 συναρτησιακοί υπολογισμοί κάθε ένας από τους οποίους απαιτεί χρόνο 4 δευτερολέπτων σε ένα υπολογιστή με επεξεργαστή AMD Athlon x2 250.

4.2 Βέλτιστη χωροθέτηση υποκαταστημάτων Τράπεζας και ΑΤΜ.

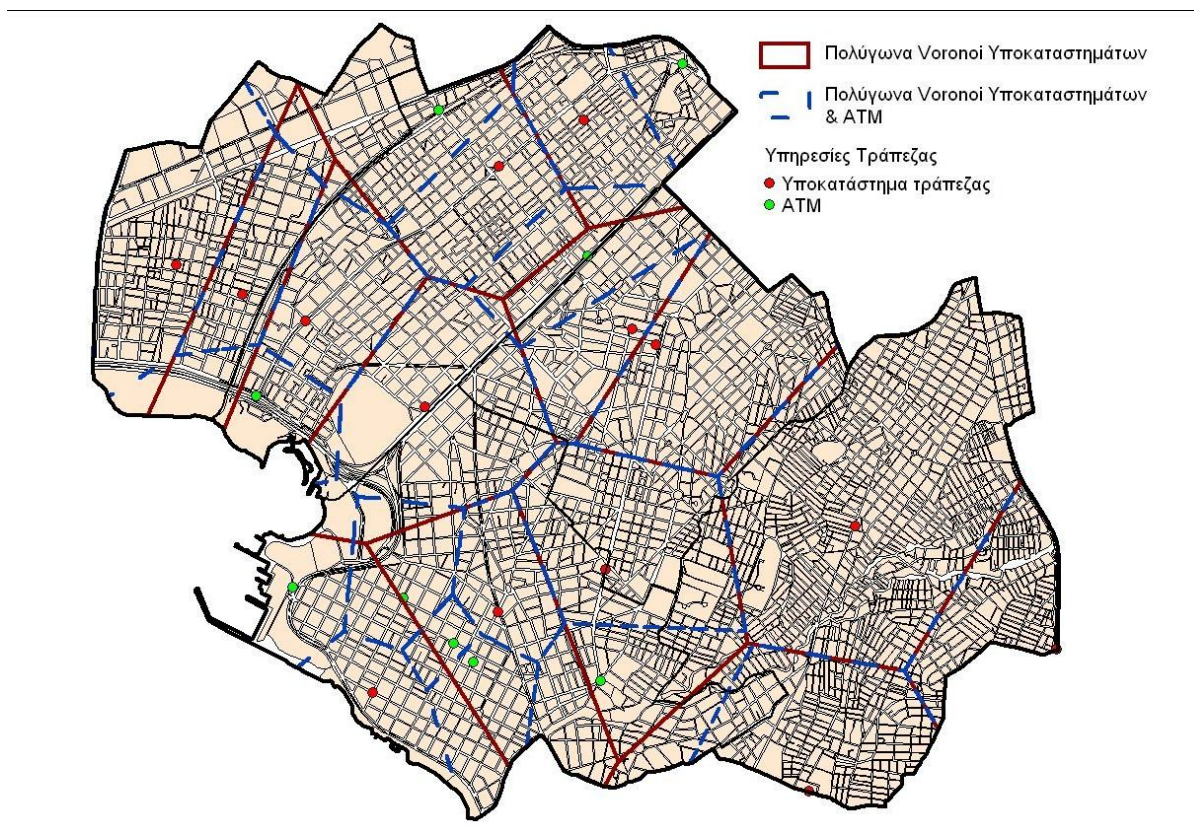
Το πρόβλημα μοντελοποιήθηκε σαν ένα πρόβλημα βέλτιστης χωροθέτησης ιεραρχικής δομής ενός δικτύου. Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκε ένας τραπεζικός όμιλος και γεωκωδικογραφήθηκαν τα υποκαταστήματά του και τα ΑΤΜ στην περιοχή μελέτης (Χάρτης 3). Τα υποκαταστήματα θεωρήθηκαν τάξης 1 ενώ τα ΑΤΜ τάξης 2, δεδομένου ότι στα καταστήματα εκτελούνται και άλλες υπηρεσίες πέρα αυτών των ΑΤΜ. Στην εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε σαν συνάρτηση κόστους η Σχέση 5 ενώ οι χρονικές μονάδες χρήσης της κάθε υπηρεσίας θεωρήθηκαν ίσες δηλαδή $\alpha_1 = \alpha_2 = 0.5$.

Με την παρούσα υλοποίηση όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο μπορούμε να απαντήσουμε σε ερωτήματα όπως “Ποια είναι η βέλτιστη θέση n υποκαταστημάτων και m ΑΤΜ σε ένα νέο δίκτυο υπηρεσιών”, και “Ποια η βέλτιστη θέση n νέων υποκαταστημάτων και m ΑΤΜ σε ένα υπάρχον δίκτυο υπηρεσιών”.

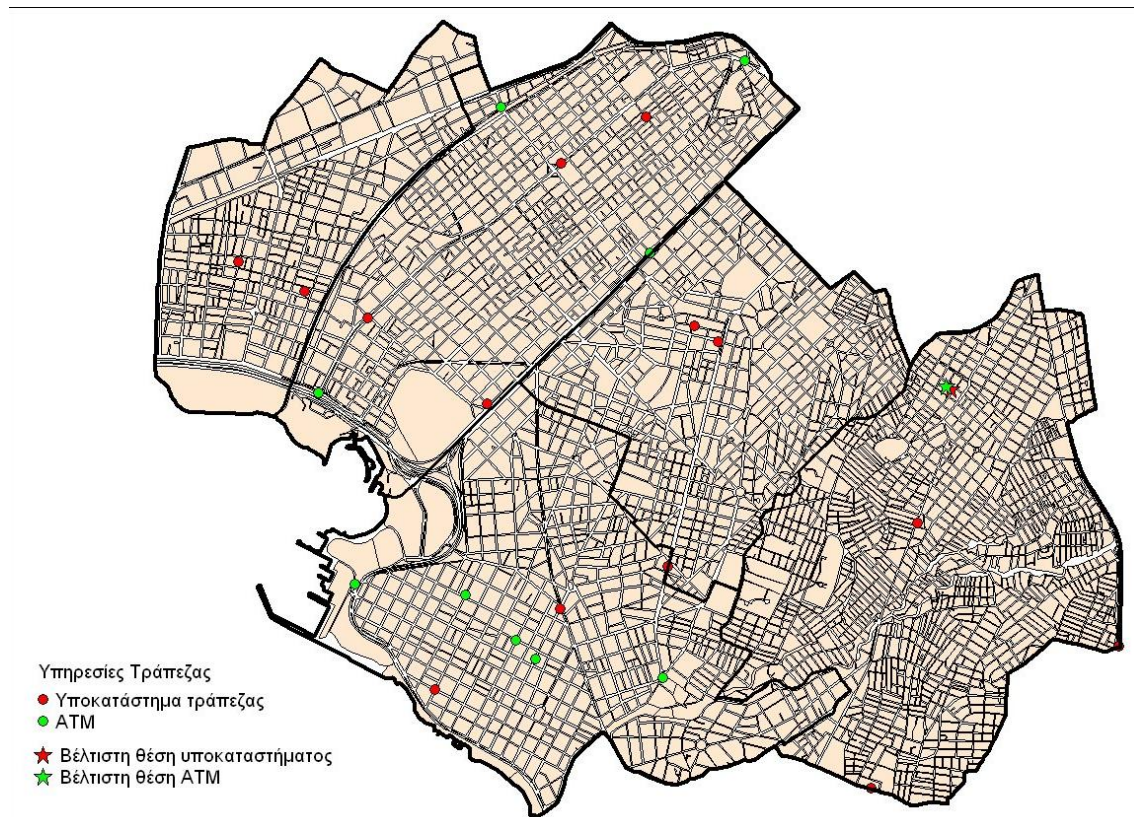
Στο Χάρτη 4 παρουσιάζεται η λύση δύο προβλημάτων. Το πρώτο αφορά την χωροθέτηση ενός υποκαταστήματος και το δεύτερο την χωροθέτηση ΑΤΜ στο υπάρχον δίκτυο. Η προσθήκη του υποκαταστήματος επιφέρει βελτίωση **25.6%** της συνάρτησης κόστους ενώ η προσθήκη του ΑΤΜ **12.8%**. Στο Χάρτη 4 μπορεί να παρατηρηθεί ότι τα δύο αυτά βέλτιστα σημεία είναι κοντά. Για την επίλυση των προβλημάτων απαιτήθηκαν 263 και 269 συναρτησιακοί υπολογισμοί αντίστοιχα ενώ μια εκτίμηση της αντικειμενικής συνάρτησης χρειάστηκε 5.4 δευτερόλεπτα και στις δύο αυτές περιπτώσεις.



Χάρτης 2. Βέλτιστη θέση δύο νέων ταχυδρομείων.



Χάρτης 3. Πρόβλημα βέλτιστης χωροθέτησης υποκαταστημάτων Τραπεζών και ATM.



Χάρτης 4. Βέλτιστη θέση υποκαταστήματος και ATM.

5. Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε μια μέθοδο υπολογισμού της βέλτιστης θέσης εγκατάστασης νέων υπηρεσιών σε ένα υπάρχον δίκτυο. Κατά την προσέγγιση αυτή ο χώρος θεωρήθηκε συνεχής και οι υπηρεσίες μοντελοποιήθηκαν ως σημειακές. Επίσης διατυπώθηκαν μαθηματικά δύο προβλήματα, το πρόβλημα της εύρεσης θέσης εγκατάστασης που χρησιμοποιείται από ανεξάρτητους χρήστες και το πρόβλημα χωροθέτησης σε μια ιεραρχική δομή.

Στην συνέχεια παρατέθηκαν δύο εφαρμογές. Στην πρώτη, δύο νέα παραρτήματα ταχυδρομείων εντάχθηκαν σε ένα υπάρχον δίκτυο. Η μεθοδολογία επέφερε βελτίωση 29% στην συνάρτηση κόστους. Στην δεύτερη εφαρμογή εξετάστηκε εναλλακτικά η εισαγωγή ενός υποκαταστήματος τράπεζας ή ενός ATM σε υπάρχον δίκτυο. Η λύση στην πρώτη περίπτωση επέφερε βελτίωση 25.6% ενώ στην δεύτερη 12.8%.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία ενώ απέδειξε την χρησιμότητά της, επιδέχεται επιπλέον βελτιώσεις. Μια από αυτές είναι η ενσωμάτωση της μεθόδου βελτιστοποίησης μέσα στο ΓΣΠ ώστε η μεθοδολογία να μπορεί να ενσωματωθεί στην εργαλειοθήκη του ΓΣΠ. Μια ακόμα σημαντική βελτίωση θα αποτελούσε η περαιτέρω μείωση του χρόνου εκτέλεσης ενός συναρτησιακού υπολογισμού. Ο χρόνος επηρεάζει έμμεσα τον αριθμό των εγκαταστάσεων που μπορούν να μελετηθούν (κάθε εγκατάσταση μοντελοποιείται από δύο μεταβλητές) δεδομένου ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των μεταβλητών αυξάνεται και ο αντίστοιχος χρόνος που χρειάζεται η μέθοδος βελτιστοποίησης.

Βιβλιογραφία

- Φώτης Γ.Ν., 2009: *Ποσοτική χωρική ανάλυση*. Γκοβόστης εκδοτική.
- Glover F., 1989: Tabu search – Part I. *ORSA Journal of Computing*, **1(3)**, 190-206.
- Glover F., 1990: Tabu search – Part II. *ORSA Journal of Computing*, **2(1)**, 4-32.
- Hedar A.R. And Fukushima M. 2006: Tabu search directed by direct search methods for nonlinear global optimization. *European Journal of Operational Research*, **170**, 329-349.
- Kelly C.T., 1999: *Iterative methods for optimization*. SIAM, Philadelphia.
- Koshizuka T. and Kobayashi J., 1983: Road distances and straight line distances. *Papers of the Annual Conference of the City Planning Institute of Japan*, **18**, 43-48.
- Love R.F., Morris J.Q. and Wesolowsky G.O., 1988: *Facilities Location*. New York: North-Holland.
- Mapinfo, 2008: *MapBasic version 9.5. Reference guide*. Pitney Bowes Software Inc.
- Novaes A.G.N., Souza de Cursi J.E., da Silva A.C.L. and Souza J.C. 2009: Solving continuous location-districting problems with Voronoi diagrams. *Computers & Operations Research*, **36(4)**, 40-59.
- Okabe A., Boots B., Sugihara K. and Chiu S.N., 2000: *Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams*, 2nd edition, John Wiley and Sons, New York.
- Okabe A., Okunuki K-I. and Suzuki T., 1997: A computational method for optimizing the hierarchy and spatial configuration of successively inclusive facilities on a continuous plane. *Location Science*, **5(4)**, 255–268.
- Okabe A. and Suzuki A., 1997: Locational optimization problems solved through Voronoi diagrams. *European Journal of Operational Research*, **98**, 445–456.
- Plastria F., 2001: Static competitive facility location: An overview of optimization approaches. *European Journal of Operational Research*, **129**, 461–470.
- ReVelle C.S., Eiselt H.A. and Daskin M.S., 2008: A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science. *European Journal of Operational Research*, **184**, 817–848.