

Χάρος αιχώρος

ΚΕΙΜΕΝΑ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ, ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΤΟΜΟΣ 3
VOLUME 3

ΤΕΥΧΟΣ 2
ISSUE 2

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2004
NOVEMBER 2004



ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ - Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
*Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας
και Περιφερειακής Ανάπτυξης*

ΚΟΚΚΩΣΗΣ ΧΑΡΗΣ
ΜΠΕΡΙΑΤΟΣ ΗΛΙΑΣ
ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ ΔΗΜΗΤΡΗΣ
ΠΕΤΡΑΚΟΣ ΓΙΩΡΓΟΣ
ΓΟΥΣΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ
ΔΕΦΝΕΡ ΑΛΕΞΗΣ
ΨΥΧΑΡΗΣ ΓΙΑΝΝΗΣ

ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΣΥΝΤΑΞΗΣ

Αραβαντινός Αθανάσιος	- ΕΜΠ
Ανδρικόπουλος Ανδρέας	- Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Βασενχόβεν Λουδοβίκος	- ΕΜΠ
Γιαννακούρου Τζίνα	- Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Γιαννιάς Δημήτρης	- Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δελλαδέτσιμας Παύλος	- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
Δεμαθιάς Ζαχαρίας	- Πάντειο Πανεπιστήμιο
Ιωαννίδης Γιάννης	- Tufts University, USA
Καλογήρου Νίκος	- ΑΠΘ
Καρυίδης Δημήτρης	- ΕΜΠ
Κοσμόπουλος Πάνος	- ΔΠΘ
Κουκλέλη Ελένη	- University of California, USA
Λαμπριανίδης Λόης	- Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
Λουκάκης Παύλος	- Πάντειο Πανεπιστήμιο
Λουρή Ελένη	- Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Μαντουβάλου Μαρία	- ΕΜΠ
Μελαχροινός Κώστας	- University of London, Queen Mary, UK
Μοδινός Μιχάλης	- Εθν. Κέντρο Περιβ. και Δειφ. Ανάπτυξης (ΕΚΠΔΑ)
Μπριασούλη Ελένη	- Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Παπαθεοδώρου Ανδρέας	- University of Surrey, UK
Παπτάς Βασίλης	- Πανεπιστήμιο Πατρών
Πρεβελάκης Γεώργιος-Στυλ.	- Universite de Paris I, France
Φωτόπουλος Γιώργος	- Πανεπιστήμιο Πατρών
Χαστάογλου Βίλμα	- ΑΠΘ

Διεύθυνση:

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας
και Περιφερειακής Ανάπτυξης
Περιοδικό ΔΕΙΧΩΡΟΣ

Πεδίον Άρεως, 38334 ΒΟΛΟΣ

<http://www.prd.uth.gr/aeihoros> e-mail: aeihoros@prd.uth.gr

τηλ.: 24210 – 74456 fax: 24210 – 74380



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Ειδικό τεύχος - Αφιέρωμα
Γεωπληροφορική

Επιμέλεια

Μαρίνος Κάβουρας
Ελευθερία Καρνάβου

Επιστημονικό Περιοδικό

αειχώρος

Επιμέλεια έκδοσης : Άννα Σαμαρίνα — Παναγιώτης Πανταζής
Λαγούτ : Παναγιώτης Πανταζής
Σχεδιασμός εξωφύλλου : Γιώργος Παρασκευάς
Εκτύπωση : Αλέκος Ξουράφας
Κεντρική διάθεση : Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	4
Κόκλα Μ., Κάβουρας Μ.	8
Προσδιορισμός σημασιολογικών ιδιοτήτων και σχέσεων για την επίλυση οντολογικής ετερογένειας	
Τομαή Ε., Κάβουρας Μ.	24
Απαραίτητα συστατικά για την ανάπτυξη Θεματικών Γεωγραφικών Οντολογιών	
Γραϊκούσης Γ., Φώτης Γ. και Κουτσόπουλος Κ.	40
Χωροχρονική πρόβλεψη σημειακών προτύπων ζήτησης στοχαστικών χωροθετικών προβλημάτων με χρήση Νευρωνικών Δικτύων	
Παντελέλης Μ., Σουλακέλλης Ν.	62
Διαχείριση και ανάλυση χωροχρονικών δεδομένων αέριας ρύπανσης αστικών περιοχών: Η περίπτωση της Αττικής	
Μανέτος Π., Φώτης Γ.	76
Εφαρμογή μεθόδων εξαγωγής χωρικής γνώσης για τον προσδιορισμό και την απόδοση Χωρικών Προτύπων	
Μελιδόνη Μ., Χατζηχρήστος Θ.	94
Σχεδιασμός και ανάπτυξη περιβάλλοντος διεπαφής με το χρηστή για την ανάλυση χωρικών σημειακών προτύπων με την τεχνική "Ανάλυση Καννάβου" σε περιβάλλον ΓΣΠ	
Σαραφίδης Δ., Παρασκάκης Ι.	112
Ένα χρηστικό περιβάλλον επικοινωνίας για την διάθεση των κτηματολογικών δεδομένων στο διαδίκτυο	
Ντόκου Αικ.	134
Χωρικές διαδικασίες τεκμηρίωσης τρισδιάστατης πληροφορίας ιδιοκτησιακών αντικειμένων	
Καμαριανάκης Γ., Κοντός Δ.	154
Ταξινόμηση των δήμων της Ελλάδας σύμφωνα με τα κοινωνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά τους όπως προκύπτουν από την Απογραφή του 2001	

Χωροχρονική πρόβλεψη σημειακών προτύπων ζήτησης στοχαστικών χωροθετικών προβλημάτων με χρήση Νευρωνικών Δικτύων¹

Γιώργος Γραικούσης

Αγρονόμος - Τοπογράφος Μηχανικός,
Υποψήφιος Διδάκτορας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Γεώργιος Ν. Φώτης

Επίκουρος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Κωστής Κουτσόπουλος

Καθηγητής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Περίληψη

Στη συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζεται ένα μεθοδολογικό πλαίσιο χωρο-χρονικής ανάλυσης και πρόβλεψης σημειακών προτύπων ζήτησης στοχαστικών χωροθετικών προβλημάτων. Στα συγκεκριμένα προβλήματα η εκάστοτε ζήτηση (κατανομή) δεν θεωρείται δεδομένη, αλλά χρονικά και χωρικά μεταβαλλόμενη και ως εκ τούτου οι αντίστοιχα προτεινόμενες λύσεις (χωροθέτηση) δεν είναι μονοσήμαντες.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία, αντιμετωπίζει το εκάστοτε χωροθετικό πρόβλημα σε τρία επίπεδα, παρέχοντας αντίστοιχες δυνατότητες διαχρονικής ανάλυσης του σημειακού χωρικού προτύπου της ζήτησης (spatial pattern), πρόβλεψης της μελλοντικής εξέλιξης του (time-series prediction) καθώς και βέλτιστης χωροθέτησης κέντρων παροχής υπηρεσιών και κατανομής του προς εξυπηρέτηση πληθυσμού (location-allocation).

Η ανάλυση και πρόβλεψη της χωρικής κατανομής της ζήτησης επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση στη διαδικασία ανάλυσης χώρου, μεθόδων Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence) και πιο συγκεκριμένα με ανάπτυξη Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (Artificial Neural Networks). Τέλος, η επίλυση του χωροθετικού προβλήματος ολοκληρώνεται μέσω της βέλτιστης χωροθέτησης των υπηρεσιών και της κατα-

¹ Η εργασία αποτελεί τμήμα διδακτορικής έρευνας η οποία χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα " Ηράκλειτος: Υποτροφίες με προτεραιότητα στην βασική έρευνα". Το πρόγραμμα συγχρηματοδοτείται από Ευρωπαϊκά κονδύλια (75%) και εθνικούς πόρους (25%)

νομής της ζήτησης σε αυτές. Η χωροθέτηση πραγματοποιείται με χρήση του μοντέλου p -διάμεσος (p -median) αλλά και της λογικής της ασάφειας (fuzzy logic).

Στο πλαίσιο της εφαρμογής, εξετάζεται η χωροθέτηση οχημάτων της πυροσβεστικής υπηρεσίας στην μητροπολιτική περιοχή Αθηνών. Οι μελλοντικές κλήσεις που θα δεχθεί το κέντρο επιχειρήσεων δεν είναι γνωστές με βεβαιότητα. Η πρόβλεψη της ζήτησης θα οδηγήσει σε χωροθέτηση των εξωτερικών μονάδων έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι αποστάσεις από τα αναμενόμενα συμβάντα. Αυτό προφανώς θα καταστήσει πιο αποτελεσματική την ουσιαστική επέμβαση και την άμεση αντιμετώπιση των περιστατικών που θα προκύψουν.

Λέξεις-κλειδιά

Στοχαστικά χωροθετικά προβλήματα, χωροχρονική ανάλυση ζήτησης, πρόβλεψη γεωγραφικών χρονοσειρών, τεχνητή νοημοσύνη.

Spatiotemporal analysis of demand in stochastic locational planning problems through the application of an Artificial Neural Network

The aim of this paper is to analyze and predict the spatio-temporal point pattern of demand in stochastic locational planning problems. Demand is not considered static but spatially and temporally in flux. As a result, the potential solutions are not clearly defined. The proposed methodology, handles stochastic locational planning problems in three levels providing, diachronic analysis of spatial point patterns of demand, forecasting their future evolution and finally locating p facilities in an optimal way. More specifically, the spatial point pattern of demand is analysed over time in a nearest neighbour context. Secondly, the approach provides the ability to predict, through the utilization of neural networks, how the pattern of demand will evolve. Finally, it locates supplying centres and allocates demand to them by utilization of fuzzy logic technique.

The application deals with the location of fire brigade vehicles in the metropolitan area of Athens. Demand prediction, based on diachronic data, allows vehicles to be placed in locations that will minimize distances from expected incidents. Diachronic data are analyzed by the neural network interpreting the spatiotemporal pattern of demand, thereby predicting the possible location of future events. The location of mobile units and the allocation of demand to them is then carried out by means of fuzzy logic. Finally, in an attempt to assess the effectiveness of the proposed methodology, the results, both in terms of demand and supply, are compared to the equivalent emergency calls and the proposed locations under the p -median formulation.

Keywords

Stochastic locational planning problems, spatiotemporal point pattern analysis, artificial intelligence.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τους Harris και Batty (1992), ένα από τα βασικά ζητήματα στη λήψη χωροθετικών αποφάσεων και την επίλυση χωροθετικών προβλημάτων είναι η αποφυγή ανεπιθύμητων παρενεργειών για την επίτευξη επιθυμητών στόχων. Κάτι τέτοιο πηγάζει από την εγγενή αβεβαιότητα της διαδικασίας του χωροθετικού σχεδιασμού η οποία μπορεί να προσδιοριστεί από τον βαθμό στον οποίο μακροπρόθεσμες επενδύσεις για τη δημιουργία μονάδων και την παροχή υπηρεσιών θα ανταποκρίνονται στη μελλοντική ζήτηση (Photis, Koutsopoulos, 1994).

Τα χωροθετικά προβλήματα των οποίων οι παράμετροι είναι προκαθορισμένες και δεν εξαρτώνται από το χρόνο ονομάζονται αιτιοκρατικά (ντετερμινιστικά) και προσεγγίζονται από αντίστοιχα υποδείγματα. Στην αντίθετη περίπτωση, οι μεταβλητές και το περιβάλλον του προβλήματος θεωρούνται δυναμικά και για την επίλυση τους χρησιμοποιούνται τα στοχαστικά υποδείγματα.

Η ζήτηση στα χωροθετικά προβλήματα αποτελεί βασικό παράγοντα στην παραμετροποίηση του εκάστοτε προβλήματος. Ειδικότερα, στα στοχαστικά χωροθετικά προβλήματα όπου η ζήτηση δεν θεωρείται χρονικά και χωρικά δεδομένη, αλλά μεταβαλλόμενη, οι προτεινόμενες λύσεις δεν είναι μονοσήμαντες. Η μεταβλητότητα αυτή στο πρότυπο της ζήτησης, απαιτεί την περαιτέρω χωροχρονική ανάλυσή της, ώστε μέσα από την πρόβλεψη της μελλοντικής τιμής της να βελτιστοποιηθεί η τελική χωροθέτηση.

Στο πλαίσιο της προτεινόμενης προσέγγισης, το εκάστοτε χωροθετικό πρόβλημα αντιμετωπίζεται σε *τρία* επίπεδα, παρέχοντας αντίστοιχες δυνατότητες διαχρονικής ανάλυσης του *σημειακού χωρικού προτύπου* της ζήτησης (spatial pattern), *πρόβλεψης* της μελλοντικής εξέλιξης του (time-series prediction) καθώς και βέλτιστης *χωροθέτησης* κέντρων παροχής υπηρεσιών και *κατανομής του* προς εξυπηρέτηση πληθυσμού (location-allocation). Ειδικότερα, ενσωματώνει στην χωροθετική ανάλυση μεθόδους *Τεχνητής Νοημοσύνης* που αποδεδειγμένα βελτιστοποιούν την γεωγραφική ανάλυση (Openshaw, 1997· Hurley, 1995· Guttman, κ.ά. 1996· Guerrero, 1998· Brimberg, 1997· Geb και Zouh, 2002), δημιουργώντας ένα ισχυρό πλαίσιο δράσης.

Η ανάλυση και πρόβλεψη της χωρικής κατανομής της ζήτησης αφορά στον ακριβή προσδιορισμό της γεωγραφικής της θέσης. Η κατασκευή των γεωγραφικών χρονοσειρών επιτυγχάνεται μέσω αλγορίθμου ενώ η πρόβλεψη της ζήτησης μέσω νευρωνικών δικτύων. Η βέλτιστη χωροθέτηση των μονάδων και η κατανομή της ζήτησης πραγματοποιούνται μέσω της λογικής της ασάφειας.

Η εφαρμογή αφορά στη *χωροθέτηση πυροσβεστικών οχημάτων* στην μητροπολιτική περιοχή Αθηνών βάσει της εκτίμησης των μελλοντικών κλίσεων που θα δέχεται το κέντρο

επιχειρήσεων. Η *πρόβλεψη της ζήτησης* οδηγεί σε *χωροθέτηση* των εξωτερικών μονάδων με στόχο να καταλάβουν θέσεις που θα ελαχιστοποιούν τις συνολικές αποστάσεις από τα αναμενόμενα συμβάντα καθιστώντας πιο αποτελεσματική την ουσιαστική επέμβαση και την άμεση αντιμετώπιση των περιστατικών που προκύπτουν. Το τελικό χωροθετικό πρότυπο συγκρίνεται με την αντίστοιχη λύση του υποδείγματος p -διάμεσος (p -median).

Σύμφωνα με τα παραπάνω στο επόμενο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αναφορά στα προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής και στην ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης σε αυτά. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσεται η προτεινόμενη μεθοδολογία. Ακολουθεί η εφαρμογή, με την περιγραφή του νευρωνικού δικτύου που σχεδιάστηκε, τη χωροθέτηση των κέντρων τα αποτελέσματα καθώς και τη σύγκριση με τα πραγματικά δεδομένα. Η εργασία ολοκληρώνεται παραθέτοντας συμπεράσματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης προσέγγισης και τις δυνατότητες περαιτέρω βελτίωσης της.

ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ–ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ (LOCATION–ALLOCATION MODELS)

Ο στόχος των υποδειγμάτων χωροθέτησης-κατανομής είναι η επίλυση αντίστοιχων χωροθετικών προβλημάτων μέσω της βέλτιστης χωροθέτησης p κέντρων και της ταυτόχρονης κατανομής της ζήτησης στα πλησιέστερα, σύμφωνα με συγκεκριμένους περιορισμούς (Daskin 1995). Κάτι τέτοιο, μαθηματικά προσεγγίζεται με την μεγιστοποίηση ή την ελαχιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης, η οποία ουσιαστικά αντανακλά και τους στόχους του εκάστοτε προβλήματος

Τα χωροθετικά προβλήματα διακρίνονται σε αιτιοκρατικά και σε στοχαστικά. Στα αιτιοκρατικά χωροθετικά προβλήματα, οι αποστάσεις των σημείων ζήτησης από τα κέντρα, η ζήτηση και η δυνατότητα παροχής υπηρεσιών από τα κέντρα, είναι διαχρονικά σταθερές. Αντίθετα στα στοχαστικά χωροθετικά προβλήματα ένας ή περισσότεροι από τους παραπάνω παράγοντες μεταβάλλονται διαχρονικά. Εντοπίζονται κατ' αυτήν την έννοια, διαφορές ανάμεσα στα χωρικά πρότυπα της ζήτησης διαχρονικά, παρέχοντας τη δυνατότητα υπολογισμού μελλοντικών τιμών αυτής ή κάποιας επιμέρους μεταβλητής απόφασης του περιβάλλοντος του προβλήματος (Φώτης, 1997).

Η μεταβλητότητα των επιπέδων και της χωρικής κατανομής της ζήτησης σημαίνει πως αν διατηρηθούν σταθερά κέντρα χωροθέτησης κινητών μονάδων δεν διασφαλίζεται η βέλτιστη λύση (Carson and Batta, 1990). Η χωροθέτηση ασθενοφόρων στο δίκτυο μιας πόλης ανήκει στην κατηγορία των παραπάνω προβλημάτων (Beckmann 1999). Οι μελλοντικές κλήσεις για επέμβαση ασθενοφόρων δεν είναι γνωστές με βεβαιότητα ούτε ως προς τον αριθμό αλλά ούτε και ως προς τη χωρική τους κατανομή. Ωστόσο η πρόβλεψή τους, που προφανώς υπόκειται σε αβεβαιότητα, πρέπει να επιτευχθεί ώστε να είναι εφικτή η

κάλυψη της ζήτησης με τον βέλτιστο τρόπο (Daskin, 1995).

Η αντιμετώπιση χωροθετικών προβλημάτων με κλασσικές μεθόδους παρουσιάζει αδυναμίες κυρίως σε θέματα που αφορούν στην αρχική λύση του αλγορίθμου, στην επιλογή της αντικειμενικής συνάρτησης αλλά και σε θέματα που αφορούν δεδομένα με υψηλή αβεβαιότητα (Young-Hoon Kim και S. Openshaw, 1996). Βασίζεται δε σε σημαντικό βαθμό, σε υποθέσεις όπου κάθε μεταβλητή προσδιορίζεται από τον εκάστοτε λήπτη αποφάσεων (Guttman κ.ά. 1996). Η ραγδαία εξέλιξη των μεθόδων και των τεχνικών της τεχνητής νοημοσύνης έδωσε νέο έναυσμα αφενός στη διεξοδική αντιμετώπιση αντίστοιχων προβλημάτων και αφετέρου στην μορφοποίηση ποιοτικότερων διαδικασιών επίλυσης.

Τεχνητή Νοημοσύνη και Υποδείγματα Χωροθέτησης-κατανομής

Τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence) είναι ο κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών, ο οποίος ασχολείται με την μελέτη και δημιουργία υπολογιστικών συστημάτων τα οποία περιέχουν κάποιου είδους νοημοσύνη ή ευφυΐα (Haykin 1994). Σύμφωνα δε με τον Openshaw (1997), με τον όρο τεχνητή νοημοσύνη περιγράφεται η προσπάθεια ενσωμάτωσης και προσομοίωσης σε ένα υπολογιστικό σύστημα των βασικών χαρακτηριστικών της ανθρώπινης σκέψης ώστε να μπορούν να επιλυθούν πρακτικά προβλήματα.

Η έρευνα στο πεδίο των εφαρμογών της τεχνητής νοημοσύνης σε αντικείμενα των επιστημών του χώρου αναπτύσσεται μόλις τις πρόσφατες δεκαετίες. Καθώς δε μέχρι το 1996 δεν είχαν αναφερθεί εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης σε προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής (Guttman κ.ά. 1996) δημοσιεύσεις όπως των Guerrero (1997), Gen (1997, 2002) και Wilson (2001), θεωρούνται πρωτοπόρες στον συνδυασμό υποδειγμάτων χωροθέτησης-κατανομής και των αντίστοιχων μεθόδων.

Το 1998 οι Guerrero κ.ά. χρησιμοποίησαν αυτό-οργανώσιμο χάρτη (KSOM) για να επιλύσουν προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής στο συνεχή χώρο με δεδομένη ζήτηση. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα επιλέγεται ένας αριθμός βέλτιστων κέντρων από ένα σύνολο 49 πόλεων και στη συνέχεια πραγματοποιείται η κατανομή των υπολοίπων σε αυτά. Αντίστοιχη ήταν και η εργασία των Zhou και Gen κ.ά. (2002), οι οποίοι προτείνουν ένα γενετικό αλγόριθμο για το πρόβλημα χωροθέτησης κέντρων πολλαπλών διανομών ενώ οι Houck κ.ά. (1996) συνέκριναν την αποτελεσματικότητα διαφορετικών γενετικών αλγορίθμων (Random Restart και Two-Opt Switching) για την επίλυση εκτεταμένων χωροθετικών προβλημάτων.

Η πρώτη εργασία πρόβλεψης ζήτησης πραγματοποιήθηκε το 2001 από τους Wilson κ.ά., όπου προτάθηκε μια μεθοδολογία προσδιορισμού περιοχών υψηλής εγκληματικής επικινδυνότητας. Η διαπίστωση ότι ένας τύπος εγκλήματος συμβαίνει όταν υπάρχουν κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες επιτρέπει μελλοντική πρόγνωση. Τα δεδομένα ταξι-

νομούνται με αυτό-οργανώσιμο χάρτη. Στη συνέχεια δημιουργούνται κανόνες έξυπνων συστημάτων (expert systems). Ανάλογα με την τυπολογία κάθε περιοχής και τα δεδομένα του προβλήματος προκύπτουν οι πιθανότητες εμφάνισης εγκληματικών ενεργειών.

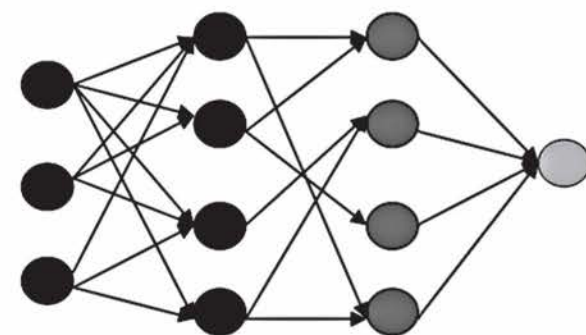
Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι οι μέθοδοι και οι τεχνικές υπολογιστικής νοημοσύνης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανάπτυξη μεθοδολογιών και υποδειγμάτων χωροθέτησης-κατανομής είναι πολλές. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, στην παρούσα εργασία αξιοποιούνται τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και η λογική της ασάφειας.

Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks)

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ΤΝΔ) ανήκουν στην αναπτυσσόμενη τεχνολογία της τεχνητής νοημοσύνης, μιας τεχνολογίας που πρόσφατα άρχισε να εφαρμόζεται και σε προβλήματα χωρικής ανάλυσης με εξαιρετικά αποτελέσματα. Τα ΤΝΔ είναι μια υπολογιστική μέθοδος ανάλυσης πληροφοριών και στοιχείων. Ένα ΤΝΔ είναι μια προσομοίωση βιολογικού εγκεφάλου και σαν στόχο έχει το να μαθαίνει να αναγνωρίζει μαθηματικά πρότυπα ανάμεσα στα δεδομένα (S.Openshaw 1997). Με έναν πιο ευρύ ορισμό τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να θεωρηθούν ως μια συλλογή αλληλοσυνδεδεμένων απλών υπολογιστικών σχέσεων που συνεργάζονται μεταξύ τους για την επίλυση γραμμικών και μη γραμμικών σχέσεων.

Ένα ΤΝΔ είναι ένα σύνολο κόμβων ή νευρώνων που ο καθένας ενώνεται με όλους τους υπόλοιπους (σχήμα 1). Ουσιαστικά πρόκειται για ένα πληροφοριακό σύστημα, σχεδιασμένο με γνώμονα τη συνδεολογία των νευρώνων του ανθρώπινου εγκεφάλου. Τα ΤΝΔ, όπως και ο άνθρωπος, έχουν τη δυνατότητα μάθησης μέσα από παραδείγματα. Στα βιολογικά συστήματα αυτό επιτυγχάνεται με την τροποποίηση των συναπτικών συνδέσεων των νευρώνων. Αντίστοιχη διαδικασία εφαρμόζεται και στα ΤΝΔ.

Σχήμα 1: Βασική δομή ενός νευρωνικού δικτύου πολυεπίπεδου αισθητήρα (multi-layer perceptron)



Επίπεδο	1 ^ο Κρυφό	2 ^ο Κρυφό	Επίπεδο
Εισόδου	Επίπεδο	Επίπεδο	Εξόδου

Η διαδικασία κατασκευής και επιλογής της αρχιτεκτονικής, ενός ΤΝΔ είναι μια πολύπλοκη διαδικασία. Σε κάθε δίκτυο πρέπει να ρυθμίζονται μια σειρά από παραμέτρους όπως μεταξύ άλλων ο αριθμός

των κρυφών επιπέδων, ο αριθμός των νευρώνων ανά επίπεδο, ο ρυθμός εκμάθησης, οι κύκλοι επανάληψης του δικτύου και οι συναρτήσεις μεταφοράς

Η σωστή επιλογή των παραπάνω παραμέτρων είναι καθοριστικής σημασίας και συναρτάται σε σημαντικό βαθμό με την τελική ακρίβεια και αποδοχή του προτεινόμενου δικτύου.

Λογική της Ασάφειας (Fuzzy Logic)

Η θεωρία της λογικής της ασάφειας αναπτύχθηκε για να χειριστεί προβλήματα που δεν έχουν αυστηρά όρια και καταστάσεις στις οποίες τα γεγονότα είναι ασαφώς καθορισμένα. Μπορεί να θεωρηθεί ως μια γενίκευση της κλασσικής θεωρίας συνόλων και της δυαδικής λογικής. Στην δυαδική λογική ένα σύνολο μπορεί να θεωρηθεί ως μια ομαδοποίηση στοιχείων, τα οποία έχουν όλα ένα τουλάχιστον κοινό χαρακτηριστικό. Αν ένα στοιχείο έχει αυτό το χαρακτηριστικό τότε ανήκει στο σύνολο. Αν το στοιχείο δεν έχει αυτό το χαρακτηριστικό, τότε δεν ανήκει στο σύνολο. Στη θεωρία των συνόλων ασάφειας, το σύνολο δεν περιορίζεται πια από τον δυαδικό (ναι/όχι) ορισμό κάθε μέλους του συνόλου, αλλά επιτρέπει ένα βαθμιαίο ορισμό του μέλους. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε στοιχείο μπορεί προσδιοριστεί ένας βαθμιαίος ορισμός του κατά πόσο ανήκει σε κάθε σύνολο. Αυτό το σύνολο ονομάζεται πλέον ως ασαφές.

Η λογική της ασάφειας θεμελιώθηκε από τον Lotfi Zadeh το 1965 σύμφωνα με τον οποίο πρόκειται για μια "μεθοδολογία υπολογισμών με λέξεις". Η λογική της ασάφειας προσφέρει, με την εισαγωγή περισσότερων παραμέτρων (όπως το "σχεδόν", "περισσότερο από", "περίπου", "σε μεγαλύτερο ποσοστό από") μια περισσότερο ικανοποιητική αντιμετώπιση της αβεβαιότητας που προκύπτει όταν ένα σύστημα γίνεται πολύπλοκο.

Ο πλέον κλασσικός αλγόριθμος ταξινόμησης που βασίζεται στην θεωρία της λογικής της ασάφειας ονομάζεται Fuzzy C-Means. Ο αλγόριθμος αρχικά αναπτύχθηκε από τον Dunn το 1973 και στη συνέχεια βελτιώθηκε από τον Bazdek το 1981. Βασίζεται στην ελαχιστοποίηση της συνάρτησης:

$$J_m = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2, 1 \leq m \quad (1)$$

όπου: m είναι ένας πραγματικός αριθμός μεγαλύτερος του 1 και εκφράζει τον βαθμό της ασάφειας.

Όταν το $m \rightarrow 1$ τότε η ταξινόμηση τείνει προς την κλασσική δυαδική ταξινόμηση, ενώ όταν $m \rightarrow \infty$ τότε ο βαθμός συμμετοχής κάθε αντικειμένου σε κάθε ομάδα τείνει να λάβει την αντίστροφη τιμή του αριθμού των τάξεων $1/c$ (Zimmerman 1993), u_{ij}^m είναι ο βαθμός συμμετοχής του x_i στην ομάδα j , x_i είναι το i -οστό στοιχείο της d -διάστατης

μετρημένης πληροφορίας, c_j είναι το d-διάστατο κέντρο της τάξης και $\| \cdot \|$ είναι οποιαδήποτε νόρμα που εκφράζει μέτρο ομοιότητας ανάμεσα στην μετρούμενη πληροφορία και το κέντρο της κάθε τάξης. Τα κέντρα τάξης προσδιορίζονται από τον τύπο:

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m \cdot x_i}{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m} \quad (2)$$

Ο βαθμός συμμετοχής προσδιορίζεται από τον τύπο:

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}}, \quad \sum_j u_{ij} = 1 \quad \text{και} \quad u_{ij} \in [0,1] \quad (3)$$

Ο αλγόριθμος τερματίζει μετά από k βήματα με τον καθορισμό του κριτηρίου ε , όταν

$$\max\{ |u_{ij}^{(k+1)} - u_{ij}^k| \} < \varepsilon, \quad 0 < \varepsilon < 1$$

Συνοπτικά ο αλγόριθμος εξελίσσεται στα παρακάτω βήματα :

Βήμα 1^ο: Αρχικοποίηση των τιμών u_{ij}^m (βαθμός συμμετοχής) με τυχαίο ή προκαθορισμένο τρόπο.

Βήμα 2^ο: Υπολογισμός των κέντρων τάξεων c_j βάσει των προηγούμενων βαθμών συμμετοχής.

Βήμα 3^ο: Υπολογισμός των νέων βαθμών συμμετοχής.

Βήμα 4^ο: Υπολογισμός του κριτηρίου ε . Αν $|u_{ij}^{(k+1)} - u_{ij}^k| > \varepsilon$ τότε $u_{ij}^k = u_{ij}^{k+1}$ και επιστροφή στο βήμα 2, αλλιώς τερματισμός.

Στην συγκεκριμένη εργασία ο αλγόριθμος fuzzy c-means χρησιμοποιείται για την επίλυση στοχαστικών χωροθετικών προβλημάτων, προσδιορίζοντας τις θέσεις χωροθέτησης των κέντρων και την κατανομή της ζήτησης σε αυτά.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Πρωταρχικός στόχος της προτεινόμενης προσέγγισης είναι ο προσδιορισμός των πιθανών θέσεων πλειονώντων περιστατικών –ζήτησης– την χρονική στιγμή \mathbf{t}_v , όταν διατίθενται διαχρονικά δεδομένα για την περιοχή μελέτης μέχρι τη χρονική στιγμή \mathbf{t}_{v-1} . Η πρόβλεψη βασίζεται στην κατασκευή χωρικών χρονοσειρών που εκφράζουν την μετακίνηση των περιστατικών στο χρόνο. Οι χρονοσειρές δημιουργούνται μέσω αλγόριθμου ο οποίος, υπολογίζει για κάθε σημείο μιας χρονικής στιγμής τον εγγύτερο γείτονα της επόμενης χρονικής

στιγμής (Γραϊκούσης και Φώτης, 2005). Το χωρικό πρότυπο της ζήτησης που προκύπτει κατανέμεται σε δεδομένο αριθμό κέντρων, τα οποία χωροθετούνται έτσι ώστε να καλύπτεται η περιοχή στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο απεικονίζεται στο σχήμα 2.

Συλλογή Δεδομένων

Αρχικά συγκεντρώνονται τα διαχρονικά δεδομένα για t_{v-1} χρονικές στιγμές που αφορούν την ζήτηση (W) της εκάστοτε υπηρεσίας η οποία μεταφράζεται σε μια μήτρα συντεταγμένων που περιλαμβάνει τις θέσεις των περιστατικών. Ανάλογα με την χρονική ακρίβεια των δεδομένων αλλά και τον απαιτούμενο χρονικό ορίζοντα, προσδιορίζονται οι θέσεις των περιστατικών (X_i^{iv}, Y_i^{iv}) την χρονική στιγμή t_v με χρήση νευρωνικών δικτύων.

Αλγόριθμος Κατασκευής Χρονοσειρών

Ο αλγόριθμος αντιστοιχεί σημεία $P_i(t)$ μιας χρονικής στιγμής t (χώρο-χρονικό σύνολο L) με σημεία $P_j(t+1)$ της αμέσως επόμενης $t+1$ (t) (χώρο-χρονικό σύνολο G) και ελαχιστοποιεί το συνολικό άθροισμα αποστάσεων των επιλεγόμενων ζευγαριών. Η αντιστοίχιση βασίζεται στο κριτήριο του εγγύτερου γείτονα ενώ σε κάθε σημείο δεν μπορούν να αντιστοιχηθούν περισσότερα από ένα. Τα ζευγάρια επιλέγονται με κριτήριο την ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης F που ορίζεται στη συνέχεια (4).

Ο αλγόριθμος αποτελείται από πέντε επιμέρους βήματα. Στο πρώτο, επιλέγεται το σημείο αρχικοποίησης του αλγορίθμου, δηλαδή η αρχική λύση. Στη συνέχεια ακολουθεί η κατανομή των σημείων των δυο συνόλων στα ομόλογά τους με κριτήριο την ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης F . Ανάλογα με το αν η αντιστοίχιση έχει γίνει τον εγγύτερο γείτονα πρώτης τάξης, ακολουθεί και η οριστική ή μη αντιστοίχιση των ζευγαριών.

$$F = \sum_{i=1, j=1}^v \sqrt{(P_i^t x_i - P_j^{t+1} x_j)^2 + (P_i^t y_i - P_j^{t+1} y_j)^2} \quad (4)$$

$P_i^t x_i$: Τεταγμένη του σημείου P_i την χρονική στιγμή t .

$P_i^t y_i$: Τετμημένη του σημείου P_i την χρονική στιγμή t .

$P_j^{t+1} x_j$: Τεταγμένη του σημείου P_j την χρονική στιγμή $t+1$.

$P_j^{t+1} y_j$: Τετμημένη του σημείου P_j την χρονική στιγμή $t+1$.

Περιορισμοί

Σχέση τύπου ένα προς ένα

$$i = 1, \dots, v$$

$$j = 1, \dots, k$$

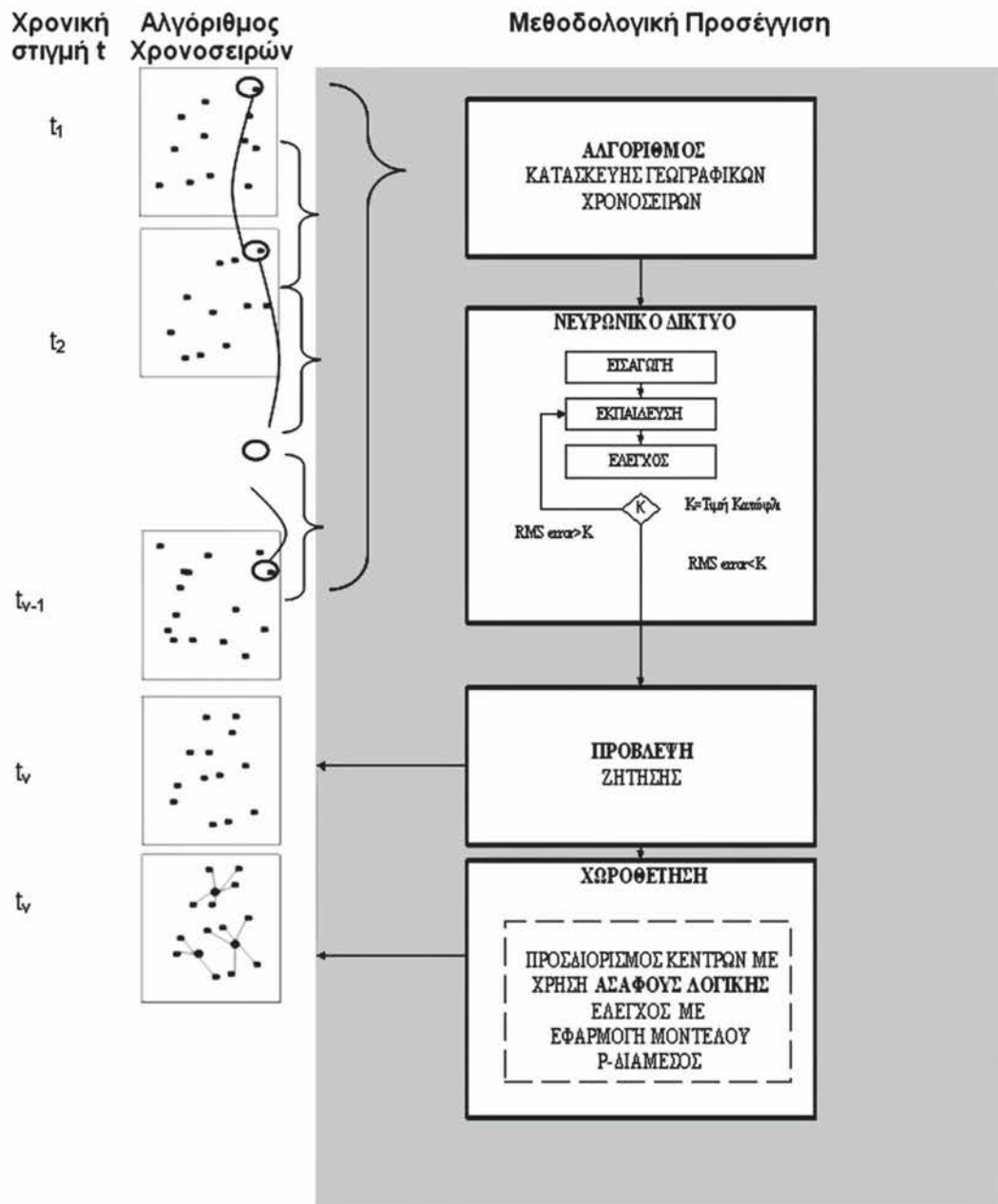
Αν ένα οποιοδήποτε ζευγάρι είναι $(P_a P_b)$ τότε

$$\forall (P_i P_j) \text{ ισχύει} \\ (P_i P_j) \neq P_a P_b \cup P_i P_b$$

Πιο αναλυτικά τα πέντε βήματα ανάπτυξης του αλγορίθμου είναι :

- Βήμα 1^ο:** Υπολογίζονται οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων-κόμβων i, j των δύο συνόλων L, G . Επιλέγεται η αρχική λύση, κατανέμοντας κάθε κόμβο i της χρονικής στιγμής t σε ένα και μόνο ένα κόμβο j (τον πλησιέστερο) της επόμενης χρονικής στιγμής $t+1$. Υπολογίζεται η τιμή της συνάρτησης F για το σύνολο των συνδυασμών αυτών. Η αρχική λύση προσδιορίζεται από το σημείο i του συνόλου L που απέχει την μέγιστη απόσταση από οποιοδήποτε άλλο σημείο k του ίδιου συνόλου με οποιοδήποτε σημείο j του συνόλου G .
- Βήμα 2^ο:** Όσοι κόμβοι της χρονικής στιγμής t αντιστοιχίζονται με τους κοντινότερους κόμβους πρώτης τάξης της χρονικής στιγμής $t+1$, καταγράφονται σαν τελικά ζευγάρια αντιστοίχισης και διαγράφονται από τα αρχικά σύνολα L, G .
- Βήμα 3^ο:** Για κάθε ένα από τους εναπομείναντες κόμβους i της χρονικής στιγμής t υπολογίζεται ο εγγύτερος κόμβος της επόμενης χρονικής στιγμής και η ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους. Στην συνέχεια για κάθε κόμβο j της χρονικής στιγμής t υπολογίζεται η διαφορά της απόστασης από κάθε κόμβο, της επόμενης χρονικής στιγμής, με την ελάχιστη απόσταση ($D - D_{\min}$). Ο κόμβος i του οποίου η διαφορά μεγιστοποιείται επιλέγεται σαν αρχικός. Το ζευγάρι του κόμβου αυτού με τον εγγύτερό του αποτελεί προσωρινή αντιστοίχιση
- Βήμα 4^ο:** Υπολογίζονται εκ νέου οι αποστάσεις μεταξύ των κόμβων i, j των δυο συνόλων L, G με τους εναπομείναντες κόμβους και πραγματοποιείται η αντιστοιχία με τους εγγύτερους γείτονες. Υπολογίζεται η τιμή της συνάρτησης $F = F_1$ (κρίσιμη τιμή) για το σύνολο των συνδυασμών και συγκρίνεται με την τιμή του πρώτου βήματος. Αν η τιμή είναι μικρότερη τότε σαν νέα τιμή F είναι η τιμή F του 4^{ου} βήματος και η προσωρινή αντικατάσταση γίνεται μόνιμη και ακολουθεί το βήμα 2. Αν η τιμή F_1 είναι μεγαλύτερη από αυτή του πρώτου βήματος τότε, η αντικατάσταση δεν γίνεται δεκτή και γίνεται επιστροφή στο βήμα 3 λαμβάνοντας σαν αρχικό ζευγάρι αυτό του οποίου η απόσταση είναι αμέσως μικρότερη από αυτή που επιλέχθηκε σε εκείνο το βήμα .
- Βήμα 5^ο:** Αν καμία προσωρινή αντικατάσταση δεν γίνει στα βήματα 3 και 4 ο αλγόριθμος τερματίζει.

Σχήμα 2: Μεθοδολογικό πλαίσιο



Σχεδιασμός του Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου

Αφού ολοκληρωθεί η εκτέλεση του αλγορίθμου για όλες τις χρονικές στιγμές δημιουργείται ο πίνακας εισαγωγής του νευρωνικού δικτύου. Στη συνέχεια ακολουθούν η διαδικασία επιλογής του βέλτιστου νευρωνικού δικτύου (επιλογή αριθμού των κρυφών επιπέδων, καθορισμός του αριθμού των νευρώνων ανά επίπεδο και επιλογή ρυθμού εκμάθησης) και ο προσδιορισμός του χωρικού προτύπου της ζήτησης για την χρονική στιγμή t_v .

Υποδείγματα Χωροθέτησης-Κατανομής

Στο τελευταίο στάδιο καθορίζεται ο αριθμός των κέντρων που χωροθετούνται και πραγματοποιείται η χωροθέτηση στο *συνεχή χώρο* με χρήση *ασαφούς λογικής*. Μέσω της ασαφούς λογικής τα δεδομένα χωρίζονται σε τόσες ομάδες (clusters) όσες και οι επιθυμητές μονάδες παροχής υπηρεσιών, οι οποίες χωροθετούνται στα αντίστοιχα στατιστικά κέντρα (cluster centers). Τα τελικά αποτελέσματα χωροθέτησης συγκρίνονται με εκείνα που προκύπτουν από την εφαρμογή κατάλληλου υποδείγματος χωροθέτησης-κατανομής.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ: ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΤΟΝ ΔΗΜΟ ΑΘΗΝΑΣ

Η περιοχή μελέτης είναι το Πολεοδομικό Συγκρότημα Αθηνών και η εφαρμογή αφορά στην πρόβλεψη της ζήτησης αλλά και στην βέλτιστη χωροθέτηση εξωτερικών κινητών μονάδων για άμεση επέμβαση. Τα δεδομένα αναφέρονται σε περιστατικά που εξυπηρετήσε η πυροσβεστική υπηρεσία κατά τα έτη 1998-99.

Πρόβλεψη Ζήτησης χωρικών χρονοσειρών

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν νωρίτερα, μέσω της εφαρμογής του αλγορίθμου, δημιουργούνται χωρικές χρονοσειρές που θεωρείται ότι αντανακλούν το διάνυσμα μετακίνησης κάθε περιστατικού. Η γενική μορφή του νευρωνικού δικτύου που επιλέχθηκε ήταν το ανατροφοδοτούμενο δίκτυο με καθυστέρηση χρόνου (time lag recurrent network) που αποτελεί επέκταση του κλασσικού πολυεπίπεδου αισθητήρα (multilayer perceptron) και θεωρείται το καταλληλότερο για πρόβλεψη χρονοσειρών.

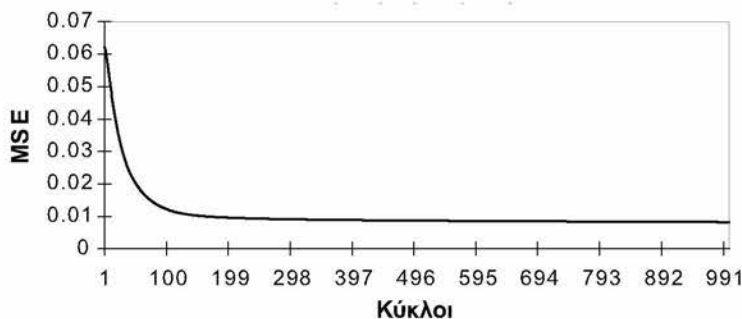
Αποτελείται από δυο κρυφά επίπεδα με γραμμική συνάρτηση μεταφοράς. Οι παράμετροι εκμάθησης step και momentum καθορίστηκαν ανά κρυμμένο επίπεδο και εμφανίζονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1: Αρχιτεκτονική ΤΝΔ

Κρυμμένα Επίπεδα	Συνάρτηση Μεταφοράς	Step	Mom
2			
1 ^ο	Linear	0,1	0,1
2 ^ο	Linear	0,01	0,1
Output	Linear	0,001	0,1

Το δίκτυο παρουσιάζει μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Square Error) $MSE=0.009$ (σχήμα 3) καθώς και υψηλούς συντελεστές συσχέτισης στα διανύσματα ελέγχου ($r_x=0.92$ $r_y=0.95$). Ο συντελεστής συσχέτισης εκφράζει τον βαθμό στον οποίο τα αποτελέσματα εξόδου συσχετίζονται με τα δεδομένα εισόδου. Ένα άλλο μέτρο που δηλώνει το κατά πόσο ένα δίκτυο αναγνωρίζει τις σχέσεις των διανυσμάτων εισόδου είναι η κανονικοποιημένη τιμή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Normalized Mean Square Error) που ισούται με το πηλίκο του μέσου τετραγωνικού σφάλματος προς την μεταβλητότητα του διανύσματος εξόδου. Όσο η τιμή πλησιάζει προς το μηδέν τόσο καλύτερα εκπαιδευμένο είναι το δίκτυο. Για το συγκεκριμένο δίκτυο, οι τιμές του NMSE είναι $NMSE_x=0.16$ και $NMSE_y=0.14$).

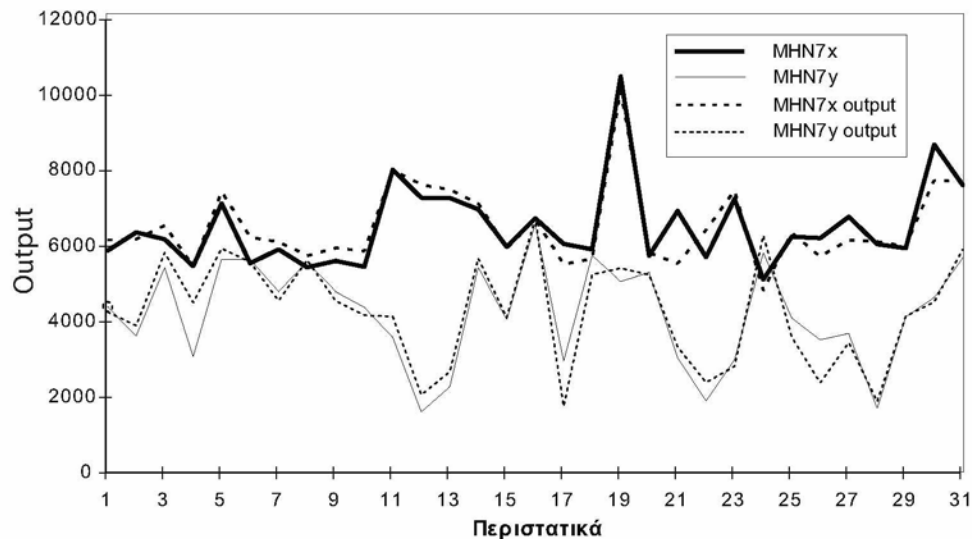
Σχήμα 3: Μέσο τετραγωνικό σφάλμα ανά κύκλο



Στο σχήμα 4, εμφανίζεται το συγκριτικό αποτέλεσμα της εξόδου των ΤΝΔ σε σχέση με τα υφιστάμενα περιστατικά.

Οι θέσεις των προβλεπόμενων περιστατικών μαζί με τα πραγματικά του 12^{ου} μήνα παρουσιάζονται σχήμα 6. Στο πλαίσιο αξιολόγησης του τελικού αποτελέσματος ελέγχονται οι αποστάσεις των σημείων που προβλέφθηκαν από τα πραγματικά. Για το σκοπό αυτό, δημιουργούνται διαδοχικές ζώνες 250 μέτρων γύρω από τα σημεία πρόβλεψης και υπολογίζεται το πλήθος των σημείων που εμπεριέχουν. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 2 και στο σχήμα 5.

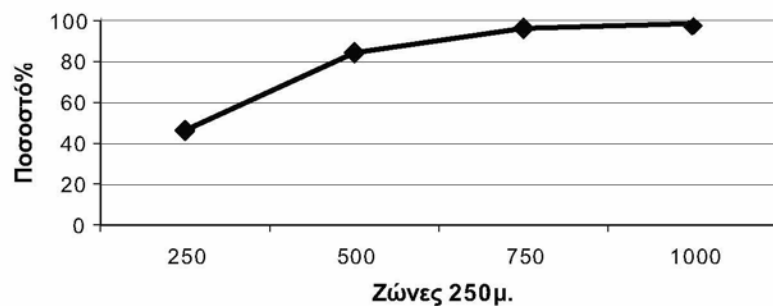
Σχήμα 4: Προβλεπόμενα και πραγματικά περιστατικά



Πίνακας 2: Αποτελέσματα διαδικασίας ζωνοποίησης

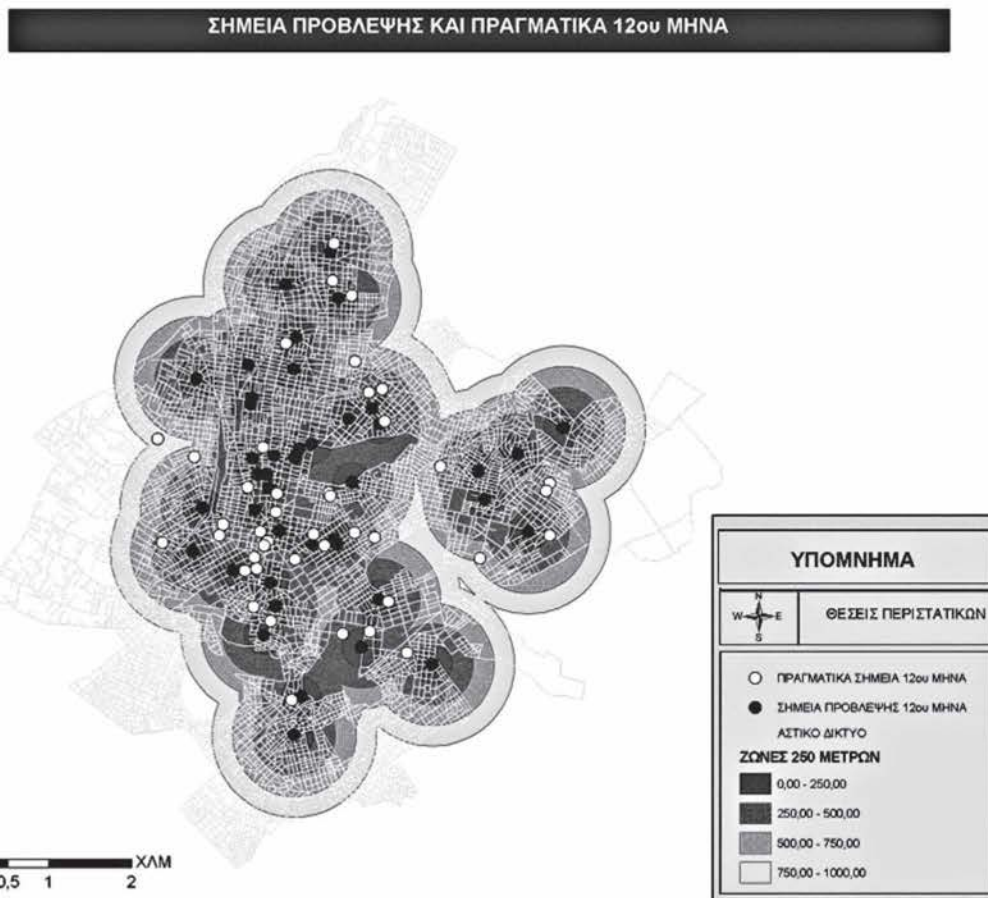
ΖΩΝΕΣ (μέτρα)	ΖΕΥΓΗ ΖΩΝΗΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΖΕΥΓΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ %
250	20	20	47,62
500	16	36	85,71
750	5	41	97,62
1000	1	42	100,00

Σχήμα 5: Ποσοστό κάλυψης ανά ζώνη



Σύμφωνα με αυτά σε μια απόσταση 500 μέτρων από τα προβλεπόμενα περιστατικά βρίσκεται το 85,71% των πραγματικών περιστατικών. Ειδικότερα, το 47% βρίσκεται εντός της ζώνης 0-250μ., στην ζώνη 250-500μ. εμπεριέχεται το 45% και στις ζώνες 500-750μ. και 750-1000μ. εμφανίζεται το 12% και 3% αντίστοιχα.

Σχήμα 6: Χωρικό πρότυπο προβλεπόμενων περιστατικών



Χωροθέτηση

Το βέλτιστο χωροθετικό πρότυπο προσδιορίζεται με χρήση λογικής της ασάφειας και τα αποτελέσματα αντιπαρατίθενται με τα αντίστοιχα του υποδείγματος p-διάμεσος (p-median). Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η χωροθέτηση πέντε εξωτερικών κινητών μονάδων

στο οδικό δίκτυο της Μητροπολιτικής περιοχής Αθηνών. Τα προβλεπόμενα περιστατικά που αποτελούν και την ζήτηση, χωρίζονται σε πέντε ομάδες και ως βέλτιστες θέσεις επιλέγονται αυτές που αντιστοιχούν στα στατιστικά τους κέντρα. Με τον τρόπο αυτό η τελική λύση λαμβάνει τιμές στον συνεχή χώρο καθώς τα κέντρα των τάξεων μπορούν να λάβουν οποιαδήποτε τιμή. Για την ομαδοποίηση των πραγματικών αλλά και των προβλεπόμενων περιστατικών χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Fuzzy-C-Means με επιλογή επιπέδου ασάφειας $\text{exponent} = 2.0$. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο σχήμα 7.

Το ίδιο πρόβλημα επιλύεται και με το υπόδειγμα p -διάμεσος, σύμφωνα με το οποίο η αντικειμενική συνάρτηση που ελαχιστοποιείται αφορά στη συνολικά διανύμενη απόσταση. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον πίνακα 3 και σχήμα 7. Η μέση απόσταση των κέντρων από τα σημεία ζήτησης είναι 603 μέτρα ενώ η μέγιστη γενική είναι 1676 μέτρα.

Πίνακας 3: Αποτελέσματα υποδείγματος p -διάμεσος για τα πραγματικά σημεία

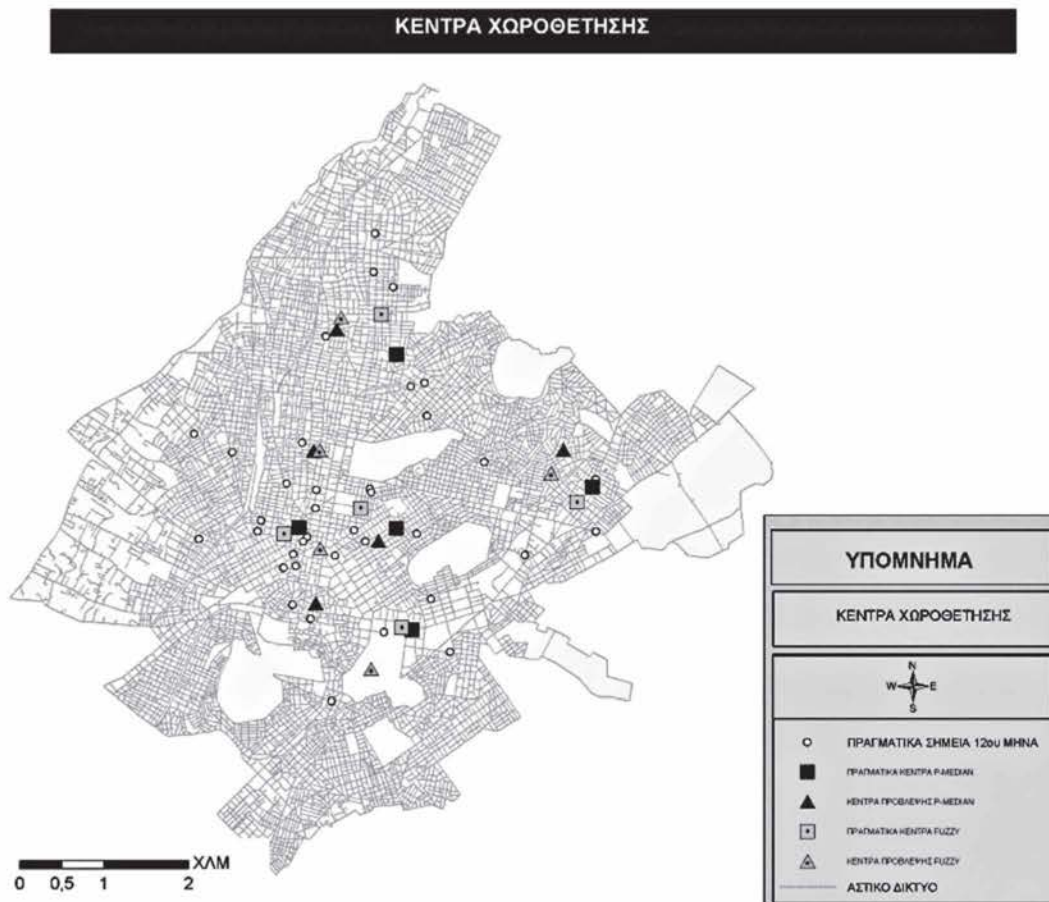
Μονάδες	Εξυπηρετούμενοι κόμβοι	Αντ. Συνάρτ.	Μέση	Μέγιστη
37	17-[5, 10, 15, 16, 17, 19, 22, 23, 26, 28, 32, 33, 36, 39, 40, 41, 42]	11560	642,22	1676-[10]
25	3-[6, 18, 30]	1788	447,00	1147-[30]
27	7-[1, 2, 3, 8, 11, 14, 29]	5859	732,37	1465-[1]
9	4-[4, 7, 13, 24]	2559	511,80	1272-[4]
31	6-[12, 20, 21, 34, 35, 38]	3561	508,71	1308-[12]
Σύνολο:	37	25327	603,02	1676-[10]

Η αντίστοιχη χωροθέτηση-κατανομή, για τα προβλεπόμενα σημεία έδωσε τα αποτελέσματα που εμφανίζονται στον πίνακα 4 και σχήμα 7. Η μέση απόσταση στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι 660 μέτρα ενώ η μέγιστη γενική είναι 1866 μέτρα.

Πίνακας 4: Αποτελέσματα υποδείγματος p -διάμεσος για τα προβλεπόμενα σημεία

Μονάδες	Εξυπηρετούμενοι κόμβοι	Αντ. Συνάρτ.	Μέση	Μέγιστη
26	7-[1, 19, 23, 24, 30, 40, 42]	6130	766,25	1313-[19]
10	7-[12, 15, 20, 21, 27, 35, 39]	6483	810,37	1601-[12]
16	6-[3, 7, 18, 29, 33, 38]	4562	651,71	1866-[18]
6	4-[2, 4, 34, 37]	2773	554,60	939-[2]
5	13-[8, 9, 11, 13, 14, 17, 22, 25, 28, 31, 32, 36, 41]	7797	556,92	1336-[41]
Σύνολο:	37	27745	660,59	1866-[18]

Σχήμα 7: Σύγκριση υφιστάμενων και προτεινόμενων χωροθετήσεων



Συγκριτική παρουσίαση χωροθέτησης

Στο πλαίσιο της αξιολόγησης του τελικού αποτελέσματος ελέγχονται οι αποστάσεις των σημείων που προβλέφθηκαν ως προς τα πραγματικά με χρήση ζωνών 250 μέτρων γύρω από τα σημεία πρόβλεψης. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον πίνακα 5 και στο σχήμα 8.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι η χωροθέτηση των μονάδων μέσω της λογικής της ασάφειας, με εξαίρεση τα πρώτα 250 μέτρα όπου υστερεί συγκριτικά με την χωροθέτηση p-διάμεσος, επιτυγχάνει υψηλότερα ποσοστά κάλυψης για τα πραγ-

ματικά περιστατικά,. Έτσι στη ζώνη των 500 μέτρων καλύπτεται το 50% της ζήτησης, ενώ στη ζώνη των 1000 μέτρων το 81%.

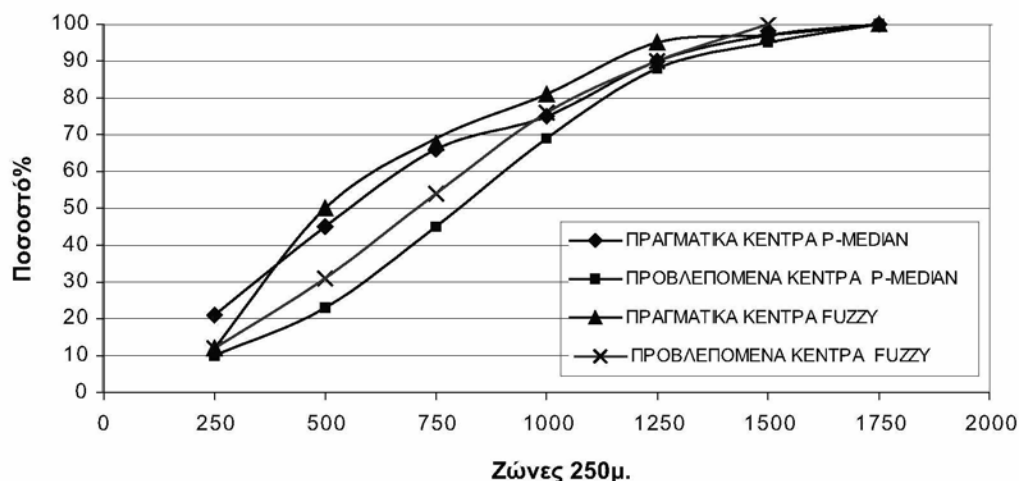
Για τα προβλεπόμενα σημεία η χωροθέτηση είναι επίσης καλύτερη σε σχέση με αυτήν που προκύπτει με το υπόδειγμα p-διάμεσος. Έτσι στην ζώνη των 500 μέτρων καλύπτεται το 31% της ζήτησης ενώ στην ζώνη των 1000 μέτρων καλύπτεται το 76% της ζήτησης. Επιπλέον, μετά την ζώνη των 750 μέτρων η εν λόγω χωροθέτηση δίνει καλύτερα αποτελέσματα ακόμα και από την χωροθέτηση με το υπόδειγμα p-διάμεσος που πραγματοποιήθηκε στα πραγματικά δεδομένα.

Τέλος, η χωροθέτηση με το υπόδειγμα p-διάμεσος καλύπτει το 45% της ζήτησης σε μια ζώνη 500 μέτρων ενώ σε μια ζώνη 1250 μέτρων καλύπτεται το 90% της ζήτησης. Η χωροθέτηση των προβλεπόμενων κέντρων με το ίδιο υπόδειγμα καλύπτει το 23% των πραγματικών περιστατικών σε μια ζώνη 500 μέτρων ενώ τα πραγματικά κέντρα καλύπτουν το 45% της ζήτησης.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα ζωνοποίησης

ΖΩΝΕΣ	250	500	750	1000	1250	1500	1750
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ P-MEDIAN	21%	45%	66%	76%	90%	97%	100%
ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΑ ΚΕΝΤΡΑ P-MEDIAN	10%	23%	45%	69%	88%	95%	100%
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ FUZZY	12%	50%	69%	81%	95%	97%	100%
ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΑ ΚΕΝΤΡΑ FUZZY	10%	31%	54%	76%	90%	100%	

Σχήμα 8: Ποσοστό κάλυψης ζήτησης ανά χωροθέτηση και ζώνη



ΕΠΙΛΟΓΟΣ–ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία, αντιμετωπίστηκε το πρόβλημα της επίλυσης στοχαστικών χωροθετικών προβλημάτων. Σκοπός, ήταν αφενός, η χωροχρονική ανάλυση της ζήτησης και η μελλοντική πρόβλεψή της και αφετέρου η χωροθέτηση κέντρων εξυπηρέτησης για την βέλτιστη κάλυψη αυτής μέσω της αξιοποίησης μεθόδων και τεχνικών υπολογιστικής νοημοσύνης. Στο συγκεκριμένο πλαίσιο, πραγματοποιήθηκε χωροχρονική ανάλυση επειγόντων περιστατικών με χρήση αλγορίθμου παραγωγής γεωγραφικών χρονοσειρών. Μετά την εν λόγω ανάλυση η μελλοντική πρόβλεψη της ζήτησης πραγματοποιήθηκε με χρήση ΤΝΔ. Η χωροχρονική ανάλυση και πρόβλεψη της ζήτησης οδήγησε στη χωροθέτηση κινητών μονάδων μέσω της λογικής της ασάφειας.

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται στα κλασικά χωροθετικά υποδείγματα σε σχέση με γεωγραφικά δεδομένα που μεταβάλλονται στο χρόνο είναι ανεπαρκείς, ενώ οι περισσότερες πραγματικές χωροθετικές εφαρμογές εμπλέκουν δεδομένα που αλλάζουν στο χρόνο. Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στην συγκεκριμένη εργασία έδειξαν ότι η ενσωμάτωση της υπολογιστικής νοημοσύνης στην χωροθετική ανάλυση δίνουν την δυνατότητα για μεγαλύτερη ευελιξία στη διαδικασία της μορφοποίησης υποδειγμάτων, σε αντίθεση με τα παραδοσιακά υποδείγματα που αδυνατούν να διαχειριστούν την αβεβαιότητα στην αναπαράσταση και ανάλυση γεωγραφικών πληροφοριών.

Σήμερα έχει γίνει φανερό ότι υβριδικά συστήματα, με τη μορφή συνδυασμών περισσότερων της μιας μεθόδων υπολογιστικής νοημοσύνης, είναι περισσότερο ισχυρά από την χρήση μεμονωμένων τεχνολογιών. Κατά συνέπεια, η ανάπτυξη εξειδικευμένων γενετικών αλγορίθμων βελτιστοποίησης των νευρωνικών δικτύων που προβλέπουν την σημειακή ζήτηση μπορεί να συνεισφέρει στην όλη διαδικασία. Με την χρήση των παραπάνω αλγορίθμων θα επιλέγονται όλοι οι παράμετροι που συνθέτουν την αρχιτεκτονική του δικτύου. Με τον τρόπο αυτό θα εξοικονομηθεί χρόνος και οι παράμετροι που τελικά θα χρησιμοποιηθούν θα είναι ποιοτικότερες και αντιπροσωπευτικότερες σε σύγκριση με εκείνες που θα επιλέγονταν με την μέθοδο δοκιμής και ελέγχου (try & test) στην κλασική κατασκευή νευρωνικού δικτύου.

Βιβλιογραφία

- Bazdek J. C. (1981): *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*, Plenum Press, New York
- Beckmann M. (1999) *Lectures on Location Theory*, Springer–Verlag.
- Brimberg J. και Mladenovic N. (1996) "Solving the continuous Location-Allocation Problem with Tabu Search", *Studies in Locational Analysis*, 8: 23-32.

- Brimberg J., Hansen P., Mladenovic N., και Taillard E. (1997) "Improvements and comparison of Heuristics for solving the Multisource Weber Problem", *Les Cahiers du GERAD*, Montreal Canada (forthcoming).
- Carson Y.M., Batta R (1990) "Locating an ambulance on the Amherst campus of the State University of New York at Buffalo", *Interfaces*, 20 (5): 43-49.
- Γραικούσης Γ., Φώτης Γ. Ν. (2004) "Προσδιορισμός αλγορίθμου χωροχρονικής συνδυαστικής αντιστοίχισης σημειακών χωρικών προτύπων", *Γεωγραφίες* (υπό κρίση).
- Daskin M. (1995) *Network and Discrete Location*, J.Wiley & Sons, N.Y
- Dunn J. C. (1973) "A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and Its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters", *Journal of Cybernetics*, 3: 32-57
- Φώτης Γ., (1997) "Σχεδιασμός δικτύων παροχής υπηρεσιών με ταυτόχρονη επίλυση εναλλακτικών σεναρίων", *Τόπος*, 12/96
- Gen M., Gong D., Yamazaki G., Xu W. (1997) "Hybrid evolutionary methods for capacitated location allocation problem", *Computers Ind. Engng*, 33: 577-580.
- Gen M., Zhou G. και Min H. (2002) "The balanced allocation of customers to multiple distribution centers in the supply chain network: a genetic algorithm approach", *Computers Ind. Engng*, 43: 251-261.
- Guerrero F., Lozano S., Onieva L., Larraneta J. (1998) "Kohonen maps for solving a class of location allocation problems", *European Journal of Operational Research*, 108: 106-117.
- Guttman T., Nickel S *et all.* (1996) "Some personal views on the current state and the future of locational analysis".
- Harris B και M Batty (1992) "Locational Models, Geographic Information and Planning Support Systems", Technical Papers 12-1, NCGIA.
- Haykin, S. (1994) *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, NY: Macmillan, p.2
- Houck R., Joines A., Kay G. (1996) "Comparison of genetic algorithms, random restart and two opt- switching for solving large location allocation problems", *Computers and Operations Research*, 23: 587-596.
- Hurley S., Moutinho L. και Stephens N.M. (1995) "Solving marketing optimization problems using genetic algorithms" *European Journal of Marketing*, Vol. 29, no4: 39-56.
- Openshaw S. και Openshaw C. (1997) *Artificial Intelligence in Geography*, John Wiley & Sons Ltd. England.
- Photis Y.N., Koutsopoulos K., (1994) "Supporting Locational Decision Making: regionalization of Service Delivery systems", *Studies in Regional & Urban Planning*, 1: 13-34.

- Wilson D., Corcoran J., Lews M. (2001) "Data clustering and rule abduction to facilitate crime hot spot prediction", *Fuzzy Days 2001*, LNCS 2206, pp. 807-821, Springer Verlag.
- Young–Hoon Kim, Openshaw S. (1996) Comparison of alternative location allocation algorithms in GIS.
- Zimmermann, H.-J. (επ.) (1993) *Fuzzy Technologien-Prinzipien, Werkzeuge, Potentiale*. VDI-Verlag, Düsseldorf.

Γιώργος Γραϊκούσης

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών.
 Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου, Αθήνα, e-mail: ggrek@mail.ntua.gr

Γεώργιος Ν. Φώτης

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πεδίο Άρεως, 38334 Βόλος, e-mail: yphotis@prd.uth.gr

Κωστής Κουτσόπουλος

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών.
 Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου, Αθήνα, e-mail: koutsop@survey.ntua.gr

