



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΩΡΟΘΕΤΙΣΗΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΞΗΠΗΡΕΤΗΣΗΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΝΑΣΤΗΣ ΦΩΤΙΟΣ

DISSERTATION TITLE:

LOCATION MODELS FOR MOBILE SERVICE UNITS

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΗΧΑΗΛΙΔΗΣ

© ΗΡΑΚΛΕΙΟ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2015

Copyright © Νάστης Φώτιος, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της παρούσας εργασίας από το Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων του ΤΕΙ Κρήτης δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ όλους τους ανθρώπους που με στήριξαν στην εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας. Ιδιαίτερως θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να παρουσιάσει τους τρόπους επίλυσης του προβλήματος της χωροθέτησης των ασθενοφόρων, με τα γνωστότερα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται σήμερα. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για αυτήν την έρευνα είναι πρωτογενής όπου με την βοήθεια της βιβλιογραφίας διαφωτίστηκαν κάποιες πτυχές της έρευνας. Τα μοντέλα χωροθέτησης χωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες . Τα Ντετερμινιστικά μοντέλα όπου χρησιμοποιούνται στο στάδιο του σχεδιασμού και αγνοούν στοχαστικά στοιχεία για την διαθεσιμότητα των ασθενοφόρων, και τα πιθανοτικά μοντέλα όπου αντιστακλούν το γεγονός ότι τα ασθενοφόρα λειτουργούν ως διακομιστής σε ένα σύστημα ουρών αναμονής οπότε δεν μπορούν πάντα να ανταποκρίνονται σε μια κλήση. Επιπλέον υπάρχουν τα δυναμικά μοντέλα όπου εξελίχτηκαν για να επαναχωροθετούν συνεχόμενα τα ασθενοφόρα κατά τη διάρκεια της μέρας.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to show how to solve the problem of locating ambulances, with the most famous mathematical models used today. The method used for this research is a primary where with the help of literature enlightened some aspects of the research. The models are classified into two main categories. The deterministic model where used at the design stage and ignore stochastic considerations regarding the availability of ambulances, and probabilistic models where reflects the fact that ambulances operate as a server in a queuing system and cannot always respond to a call. In addition there are dynamic models where have been developed to repeatedly relocate ambulances during the day.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	5
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
2.ΔΥΟ ΑΡΧΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.....	13
2.1.ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ (LSCM).....	13
2.2. ΠΡΟΤΥΠΟ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ (MCLP).....	15
3.ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΕ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΚΑΛΥΨΗ.....	17
3.1.ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΩΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ (TEAM).....	17
3.2.ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΦΕΔΡΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ (BACOP).....	20
3.2.1 ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΦΕΔΡΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ 1 (BACOP1).....	20
3.2.2. ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΦΕΔΡΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ 2 (BACOP2).....	21
3.3.ΠΡΟΤΥΠΟ ΔΙΠΛΗΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ (DSM).....	22
4. ΠΙΘΑΝΟΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ	25

4.1.ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ (ΜΕΧCΛΡ).....	25
4.2.ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ 1 ΚΑΙ 2 (ΜΑLΡ I & ΜΑLΡII).....	28
4.3.ΜΟΝΤΕΛΟ REL-P.....	30
5. ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ.....	31
5.1.ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ (DMCΛΡ).....	31
5.2.ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΔΙΠΛΗΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ (DDSM).....	34
6.ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.....	37
7.ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ LSCM ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ.....	39
7.1.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ.....	39
8.ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	44
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	46
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	50

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια σύντομη παρουσίαση και ανάλυση της βιβλιογραφίας που έχει δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια για τα προβλήματα χωροθέτησης μονάδων παροχής εξυπηρέτησης και άμεσης αντιμετώπισης. Η επιστήμη αυτή προέρχεται από τους αρχαίους Έλληνες γεωμέτρους, Ευκλείδη και Πυθαγόρα, οι οποίοι πρώτοι ασχολήθηκαν με γεωμετρικές αποστάσεις. Ωστόσο ιστορικά, η πρώτη μελέτη που έλυσε πρόβλημα 'χωροθέτησης' έγινε από τον Κωνσταντίνο τον Πορφυρογέννητο κατά την περίοδο της Βυζαντινής αυτοκρατορίας του 4ο μ.Χ. αιώνα. Αναζήτησε λύση στο εξής πρόβλημα:

Σε ένα δίκτυο με διακριτές διαθέσιμες θέσεις θέλησε να τοποθετήσει με το βέλτιστο τρόπο έξι Ρωμαϊκές Λεγεώνες ούτως ώστε όταν μια ομάδα στρατιωτών από κάθε απόσπασμα επιφυλακής κάνει μια απλή μετακίνηση να μπορεί να υπερασπιστεί ταυτόχρονα τόσο το εσωτερικό της αυτοκρατορίας από πιθανές τοπικές αναταραχές, όσο και τα σύνορα από απειλές εισβολέων. Η έννοια της χωροθέτησης έγινε ευρέως γνωστή τα τελευταία 40 χρόνια για τους εξής δύο λόγους:

1. Η ραγδαία ανάπτυξη στην τεχνολογία των υπολογιστών. Τα τελευταία χρόνια αναλύθηκαν πρότυπα και αλγόριθμοι, εκτελέστηκαν και επιλύθηκαν μαθηματικά προγράμματα με χρήση λογισμικών φιλικών προς το χρήστη.
2. Ο Charles ReVelle, ο οποίος το 1970 όταν σχεδόν κανείς δεν ασχολείτο με την χωροθέτηση δημοσίευσε τη λύση του σε ένα πρόβλημα που είχε θέσει λίγα χρόνια νωρίτερα ο Πρόεδρος των Η.Π.Α. Lyndon Baines Johnson. Στα χρόνια που

ακολούθησαν δημοσίευσε πάνω από 150 άρθρα και έγραψε 6 βιβλία που αναφέρονται στην έννοια αυτή.

Το πρώτο πρόβλημα που κλήθηκε να λύσει ο Charles ReVelle μιλούσε για το που θα έπρεπε να τοποθετηθούν νοσοκομεία που εξειδικεύονται στον καρκίνο, στην καρδιά και σε εγκεφαλικό επεισόδιο σε όλη τη χώρα. Χρησιμοποιώντας τον κλάδο των μαθηματικών γνωστός ως βελτιστοποίηση, και το εργαλείο που ονομάζεται γραμμικός προγραμματισμός, επινόησε το εξής μοντέλο:

Τα αστικά κέντρα θα ενσωματώνονται ως «κόμβοι» και τα νοσοκομεία θα τοποθετούνται έτσι ώστε η μέση απόσταση που θα διένυαν οι άνθρωποι να είναι ως όσο το δυνατόν μικρότερη. Τα επόμενα χρόνια σε διαφορετικά προβλήματα πρότεινε τις καλύτερες θέσεις εγκατάστασης εργοστασίων, ασθενοφόρων, πυροσβεστικών σταθμών, αγωγών, αποθηκών και τις πιο ασφαλείς και πιο αποτελεσματικές οδούς για τη 20 μεταφορά χρησιμοποιημένων πυρηνικών ράβδων καυσίμου. (Johns Hopkins Magazine, 1997).

Τα πρότυπα βελτιστοποίησης μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, οι οποίες θα αναλυθούν και θα επεξηγηθούν στα επόμενα κεφάλαια:

1. **Στατικά και ντετερμινιστικά πρότυπα**: Αγνοούν τις πιθανολογικές συνιστώσες του προβλήματος, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται κυρίως στο στάδιο του σχεδιασμού.
2. **Στοχαστικά πρότυπα**: Προσεγγίζουν το στοχαστικό χαρακτήρα των συστημάτων, δηλαδή οι μονάδες παροχής εξυπηρέτησης οι οποίες, κάποιες φορές μπορεί να μην είναι διαθέσιμες για να εξυπηρετήσουν μία κλήση για επέμβαση, λειτουργούν ως ένα σύστημα χωρικών ουρών

Για να κατανοηθεί βαθύτερα το πρόβλημα της χωροθέτησης των ασθενοφόρων θα παρουσιαστούν κάποια σημαντικά βήματα που ακολουθούνται από τα κέντρα ελέγχου των κλήσεων(π.χ. Κέντρο ΕΚΑΒ). Η αλυσίδα των γεγονότων που οδηγούν στην επέμβαση ενός ασθενοφόρου και του νοσηλευτικού προσωπικού σε ένα σημείο ατυχήματος περιλαμβάνει τα εξής τέσσερα στάδια:

1. την ανίχνευση του περιστατικού και την αναφορά,
2. την καταχώρηση του ατυχήματος στο σύστημα και τον έλεγχο της κλήσης,
3. την εκκίνηση του ασθενοφόρου για το σημείο ατυχήματος,
4. πραγματική παρέμβαση του παραϊατρικού προσωπικού.

Οι αποφάσεις που παίρνονται από τους υπευθύνους της χωροθέτησης ασθενοφόρων(διαχειριστές) απασχολούνται με τα βήματα (2) και (3). Η κύρια λειτουργία της διαδικασίας ελέγχου είναι να καθοριστεί η σοβαρότητα του περιστατικού και ο βαθμός επείγοντος χαρακτήρα (π.χ., σε ένα-προς-τέσσερα κλίμακα), και να καθοριστεί το είδος και ο αριθμός των ασθενοφόρων που θα αποσπαστούν. Δεδομένου ότι ο χρόνος είναι ζωτικής σημασίας σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, είναι κρίσιμο τα οχήματα να είναι ανά πάσα στιγμή χωροθετημένα με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής κάλυψη και

γρήγορος χρόνος απόκρισης των περιστατικών. Το USEMSA(United States Emergency Medical Services Act) θέτει ορισμένες προδιαγραφές, όπου αυτές οι προδιαγραφές έχουν υιοθετηθεί σήμερα σχεδόν σε όλα τα κράτη του κόσμου:

1. Σε αστικές περιοχές το 95% των περιστατικών θα πρέπει να εξυπηρετούνται μέσα σε 10 λεπτά
2. Σε αγροτικές περιοχές το 95% των περιστατικών θα πρέπει να εξυπηρετούνται μέσα σε 30 λεπτά

Σε αυτό το σημείο έρχονται να πάρουν θέση τα μοντέλα χωροθέτησης, οι αλγόριθμοι και τα πληροφοριακά συστήματα. Στις μέρες μας τα προηγμένα πληροφοριακά συστήματα βοηθάνε στη διαδικασία διαχείρισης των ασθενοφόρων. Αυτά περιλαμβάνουν το οδικό δίκτυο παρακολούθησης, τα συστήματα εντοπισμού του οχήματος (Bouveyron, 1993); (American TriTech, 1996), τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (Bernhardsen, 1999) και τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης που βασίζονται στον έλεγχο των κλήσεων (Clawson, 1991).

Ιδανικά, αυτά τα συστήματα θα πρέπει να είναι ενσωματωμένα πλήρως και διασυνδεδεμένα μέσα σε ένα ασθενοφόρο.

Από ιατρική και οικονομική άποψη, κρίνεται σκόπιμο για ένα τέτοιο σύστημα να χρησιμοποιεί σειριακά πολλών διαφορετικών τύπων ασθενοφόρα. Έχει αποδειχτεί ότι με αυτόν τον τρόπο διαχείρισης έχουν αυξηθεί παγκοσμίως οι συνολικές επιδόσεις των συστημάτων αυτών ειδικά σε περιστατικά σοβαρών τραυμάτων ή καρδιακών επεισοδίων (Hass, Hoffman, Mauch, Fournier, & Sudkamp, 1995). Οι υπηρεσίες άμεσης παροχής ιατρικών υπηρεσιών συνήθως λειτουργούν με δύο τύπων ασθενοφόρα, τα οποία έχουν διαφορετικές δυνατότητες: τις μονάδες βασικής υποστήριξη ζωής (BLS), και τις μονάδες

προηγμένες υποστήριξης ζωής (ALS), οι οποίες συχνά αποστέλλονται στο ίδιο περιστατικό, αλλά σε διαφορετικό χρόνο (Mandell, 1998)

Σε αρκετές Βόρεια-αμερικανικές πόλεις, τα BLS χρησιμοποιούνται από πυροσβέστες οι οποίοι είναι εκπαιδευμένοι ως παραϊατρικό προσωπικό. Συνήθως βρίσκονται σε πυροσβεστικά κέντρα και είναι τα πρώτα οχήματα που φτάνουν σε ένα περιστατικό. Οι περισσότερες κλήσεις μπορεί να εξυπηρετούνται από ένα μόνο ασθενοφόρο, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτούνται δύο ή περισσότερα.

Υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των εργασιών των ιατρικών υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης και εκείνων των υπηρεσιών πυρόσβεσης ή των αστυνομικών τμημάτων. Πρώτον, τα ασθενοφόρα δεν σταθμεύουν πάντα σε ένα κτίριο, αλλά έχουν μεταβλητή τοποθεσία, π.χ. ένα πάρκινγκ, μια λεωφόρος κ.ο.κ. Το σημαντικότερο, είναι ότι περιοδικά αλλάζουν τοποθεσία για να προσφέρουν συνεχώς βέλτιστη κάλυψη των περιστατικών. Τα ασθενοφόρα συνήθως δεν περιπολούν στους δρόμους μεταξύ των κλήσεων, αλλά από τη στιγμή που αποστέλλονται προς το μέρος του περιστατικού, μπορεί να εκτραπεί σε ένα σημαντικότερο τηλεφώνημα. Τα αστυνομικά αυτοκίνητα, αντίθετα, εκτελούν τακτικά καθήκοντα περιπολίας, και η παρουσία τους στους δρόμους της πόλης λειτουργεί ως αποτρεπτικός παράγοντας της εγκληματικότητας.

2.ΔΥΟ ΑΡΧΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

2.1.ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ (LSCM)

Τα μοντέλα χωροθέτησης των ασθενοφόρων ορίζονται σε γραφήματα. Το σύνολο των σημείων ζήτησης συμβολίζεται με το σύμβολο V και το σύνολο των πιθανών τοποθεσιών των ασθενοφόρων συμβολίζεται με το σύμβολο W . Ο συντομότερος χρόνος μεταφοράς t_{ij} από το σημείο i στο σημείο j του γραφήματος είναι γνωστός. Όπως είναι σύνηθες στη θεωρία χωροθέτησης, η εκχώρηση ζητούμενων σε ένα διακριτό σύνολο μπορεί να επιτευχθεί μέσω της διαδικασίας συσσωμάτωσης όπου αναπόφευκτα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Διάφορες τεχνικές έχουν προταθεί για τη μέτρηση και τον έλεγχο περιθωρίου σφάλματος (Erkut & Bozkaya, 1999) (Francis, Lowe, & Tamir, 2000). Ένα σημείο ζήτησης $i \in V$ θεωρείται ότι καλύπτεται από το κόμβο $j \in W$ αν και μόνο αν $t_{ij} \leq r$, όπου r είναι η προκαθορισμένη σταθερά χρονικής κάλυψης (Present Coverage Standar). Έστω ότι $W_i = \{j \in W : t_{ij} \leq r\}$ είναι το σύνολο των τοποθεσιών που καλύπτουν το σημείο ζήτησης

Το Μοντέλο Καθορισμένης Κάλυψης (Location Set Covering Model, LSCM), το εισήγαγαν οι (Toregas, Swain, Revell, & Bergman, 1971). Σκοπός του συγκεκριμένου μοντέλου είναι να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των ασθενοφόρων που χρειάζονται για να καλύψουν όλα τα σημεία ζήτησης. Χρησιμοποιείται η δυαδική μεταβλητή x_j όπου ισούται με 1 αν και μόνο αν ένα ασθενοφόρο βρίσκεται στο κόμβο j . Το πρόβλημα διατυπώνεται ως εξής:

$$\text{Minimize } \sum_{j \in W} x_j \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_{j \in W} x_j \geq 1 \quad (i \in V) \quad (2)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (j \in W) \quad (3)$$

Αυτό το μοντέλο αγνοεί αρκετές πτυχές των προβλημάτων της πραγματικότητας, με σημαντικότερο ότι όταν ένα ασθενοφόρο αποσπάται, κάποια σημεία ζήτησης δεν καλύπτονται πλέον. Το μοντέλο επίσης υποθέτει ότι μέχρι $|W|$ ασθενοφόρα είναι διαθέσιμα, το οποίο στην πράξη δεν ισχύει πάντα. Ωστόσο θέτει ένα ελάχιστο όριο στον αριθμό των ασθενοφόρων που χρειάζονται για να επιτευχτεί πλήρης κάλυψη.

2.2. ΠΡΟΤΥΠΟ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ (MCLP)

Μια εναλλακτική προσέγγιση που προτάθηκε για να διορθώσει κάποιες παραλήψεις του LSCM είναι να μεγιστοποιηθεί ο καλυπτόμενος πληθυσμός έχοντας περιορισμένο αριθμό ασθενοφόρων. Στο Maximal Covering Location Problem, (MCLP) όπου αρχικά προτάθηκε από τους (Church & ReVelle, 1974) το d_i συμβολίζει τη ζήτηση του κόμβου i , και το p είναι ο αριθμός των διαθέσιμων ασθενοφόρων. Η δυαδική μεταβλητή y_i ισούται με 1 αν και μόνο αν ο κόμβος i καλύπτεται από τουλάχιστον ένα ασθενοφόρο.

Το πρόβλημα διατυπώνεται ως εξής:

$$\text{Maximize } \sum_{j \in W_i} d_j y_i \quad (4)$$

Subject to:

$$\sum_{j \in W_i} x_j \geq y_i \quad (i \in V), \quad (5)$$

$$\sum_{j \in W} x_j = p, \quad (6)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (j \in W), \quad (7)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad (i \in V) \quad (8)$$

Κάθε ένα από τα δυο προαναφερθέντα μοντέλα (LSCM και MCLP) έχουν λογική ανάλογα από την οπτική γωνία που έχουν τεθεί και επιλυθεί αυτά τα προβλήματα. Το πρώτο

(LSCM) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο σχεδίασης για να βοηθήσει στην εύρεση του σωστού αριθμού οχημάτων που μπορούν να καλύψουν όλη τη ζήτηση, ενώ το δεύτερο (MCLP) προσπαθεί να βελτιστοποιήσει την χρήση περιορισμένων διαθέσιμων πόρων. Αρκετές επεκτάσεις των δύο αυτών μοντέλων υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία για τη χωροθέτηση κινητών μονάδων. Μια λογική προσέγγιση για να λυθεί το MCLP είναι η επαναλαμβανόμενη λύση του MCLP αυξάνοντας σε κάθε επίλυση του προβλήματος τη τιμή του p έως ότου καλυφτεί όλη η ζήτηση. Οι (Eaton, Daskin, Simmons, Bulloch, & Jansma, 1985) χρησιμοποίησαν το Maximal Covering Location Problem,(MCLP) για να σχεδιάσουν το σύστημα επείγουσας ιατρικής ανάγκης στο Austin του Texas το 1984. Το προτεινόμενο σχέδιο εφαρμογής μείωσε τα κατασκευαστικά έξοδα της πόλης κατά 3.4 εκατομμύρια δολάρια (\$) και τα έξοδα λειτουργίας κατά 1.2 εκατομμύρια δολάρια (\$). Ταυτόχρονα, ο μέσος χρόνος επέμβασης των ασθενοφόρων μειώθηκε παρόλο την αύξηση των κλήσεων για περιστατικά.

Κανένα από τα δυο προαναφερθέντα μοντέλα δεν αναγνωρίζει το γεγονός ότι σε κάποια συμβάντα χρειάζονται να επέμβουν οχήματα διαφόρων τύπων. Επίσης, ακόμα και αν χρησιμοποιούνται οχήματα μόνο ενός τύπου, επιλύοντας μόνο του το MCLP δεν μπορεί να παρέχει αρκετά συμπαγές χωροθετικό πλάνο. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποια βασικά ντετερμινιστικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν για να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της πολλαπλής κάλυψης. Ένα από τα πρώτα μοντέλα που αναπτύχθηκαν για τη διαχείριση διαφόρων τύπων οχημάτων είναι το μοντέλο συνεργαζόμενων εξοπλισμών χωροθέτησης, (Tandem Equipment Allocation Mode,TEAMI) από τους (Schilling, Elzinga, Cohon, Church, & ReVelle, 1979)

3.ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΕ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΚΑΛΥΨΗ

3.1.ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΩΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ (TEAM)

Το Tandem Equipment Allocation Model από τους (Schilling, Elzinga, Cohon, Church, & ReVelle, 1979) είναι από τα πρώτα πρότυπα που αναπτύχθηκαν για τη διαχείριση οχημάτων διάφορων τύπων. Σύμφωνα με αυτό υπάρχουν δύο τύποι οχημάτων A και B. Το πρότυπο αυτό αποτελεί μία απευθείας επέκταση του Μέγιστης Κάλυψης Προβλήματος Χωροθέτησης (MCLP) για να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις μονάδων διαφορετικού τύπου. Με βάση την ίδια λογική μπορεί να διαμορφωθεί ώστε να υπάρξει εφαρμογή και για περισσότερα από δύο διαφορετικού τύπου οχήματα. Στο TEAM συμβολίζουμε με P^A και P^B τον αριθμό των διαθέσιμων οχημάτων τύπου A και B, έστω ότι r^A και r^B είναι η σταθερά κάλυψης για κάθε τύπο οχήματος ορίζεται $W_i^A = \{j \in W: t_{ij} \leq r^A\}$, $W_i^B = \{j \in W: t_{ij} \leq r^B\}$. Έστω $x_j^A(x_j^B)$ δυαδική μεταβλητή όπου ισούται με 1 αν και μόνο αν ένα όχημα τύπου A(B) βρίσκεται τοποθετημένο στο κόμβο i , και έστω ότι y_i είναι δυαδική μεταβλητή όπου ισούται με 1 αν και μόνο αν ο κόμβος $i \in V$ καλύπτεται από δυο οχήματα διαφορετικών τύπων.

Το μοντέλο TEAM μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$\text{Maximize } \sum_{i \in V} d_i y_i \quad (9)$$

Subject to:

$$\sum_{j \in W_i^A} X_j^A \geq y_i \quad (i \in V), \quad (10)$$

$$\sum_{j \in W_i^B} X_j^B \geq y_i \quad (i \in V), \quad (11)$$

$$\sum_{j \in W_i^A} X_j^A = P^A, \quad (12)$$

$$\sum_{j \in W_i^B} X_j^B = P^B, \quad (13)$$

$$X_j^A \leq X_j^B \quad (j \in W), \quad (14)$$

$$X_j^A, X_j^B \in \{0,1\} \quad (j \in W) \quad (15)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad (i \in V). \quad (16)$$

Αυτό το μοντέλο είναι άμεση επέκταση του MCLP εκτός των περιορισμών (14) όπου επιβάλλουν ιεραρχία μεταξύ δυο τύπων οχημάτων. Αυτός ο περιορισμός μπορεί φυσικά να αφαιρεθεί εάν οι περιστάσεις το επιβάλλουν. Στο μοντέλο FLEET (Schilling, Elzinga, Cohon, Church, & ReVelle, 1979) οι περιορισμοί (14) είναι χαλαροί, αλλά μόνο p τοποθεσίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Ένα πιο περίτεχνο μοντέλο χωροθέτησης για πυροπροστασία το οποίο ανήκει στην ίδια οικογένεια μοντέλων, αναπτύχθηκε αργότερα από τους (Marianon & ReVelle, 1992). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση πυροσβεστικών σταθμών με δυο τύπους εξοπλισμού, υπό όντας σε περιορισμούς

διασφαλίζοντας ότι κάθε σημείο ζήτησης καλύπτεται επαρκώς από το σωστό αριθμό οχημάτων διαφόρου τύπου.

Σε οποιοδήποτε από τα παραπάνω μοντέλα, η κάλυψη μπορεί να είναι ανεπαρκής όταν τα οχήματα αποσπαστούν και είναι απασχολημένα. Μια στρατηγική που μπορεί να ακολουθηθεί σε περίπτωση που υπάρχει μόνο ενός τύπου όχημα, είναι να τροποποιηθεί το MCLP προκειμένου να παρέχεται καλύτερη πολλαπλή κάλυψη χωρίς την αύξηση του αριθμού των ασθενοφόρων πέραν του p . Όπως προτάθηκε από τους (Daskin & Stern, A hierarchical objective set covering model for emergency medical service vehicle deployment, 1981) και τους (Hogan & ReVelle, 1986), ένα δεύτερο ζητούμενο μπορεί να ενσωματωθεί στο MCLP να γίνει καλύτερη διάκριση μεταξύ πολλών βέλτιστων του (4). Στην πρώτη περίπτωση οι συγγραφείς χρησιμοποιούν ιεραρχημένα ζητούμενα για την μεγιστοποίηση του αριθμού των σημείων που καλύπτονται μόνο από μια φορά. Στη δεύτερη περίπτωση, η συνολική ζήτηση που καλύπτεται διπλά είναι μεγιστοποιημένη.

3.2.ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΦΕΔΡΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ (BACOP)

Οι (Hogan & ReVelle, 1986) παρουσίασαν ακόμα δυο μοντέλα κάλυψης τα Πρότυπα Εφεδρικής Κάλυψης (BACkup COverage Problem) 1 και 2, εμπεριέχοντας τις δυαδικές μεταβλητές y_i όπου ισούνται με 1 αν και μόνο αν ένα σημείο ζήτησης $i \in V$ καλύπτεται μια φορά από ένα ασθενοφορο μέσα στη σταθερα κάλυψης r , και τις δυαδικές μεταβλητές u_i όπου ισούνται με 1 αν και μόνο αν το i καλύπτεται δυο φορές μέσα στο r .

Τα δυο μοντέλα γράφοντα ως εξής:

3.2.1 ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΦΕΔΡΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ 1 (BACOP1)

$$\text{Maximize } \sum_{i \in V} d_i u_i \quad 17$$

Subject to

$$\sum_{j \in W_i} x_j - u_i \geq 1 \quad (i \in V), \quad 18$$

$$\sum_{j \in W} x_j = p, \quad 19$$

$$0 \leq u_i \leq 1 \quad (i \in V), \quad 20$$

$$x_j \geq 0 \quad (i \in V) \quad 21$$

3.2.2. ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΦΕΔΡΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ 2 (BACOP2)

$$\text{Maximize } \theta \sum_{i \in V} d_i y_i + (1 - \theta) \sum_{i \in V} d_i u_i \quad 22$$

Subject to

$$\sum_{j \in W_i} x_j - y_i - u_i \geq 0 \quad (i \in V), \quad 23$$

$$u_i - y_i \leq 0 \quad (i \in V), \quad 24$$

$$\sum_{j \in W} x_j = p, \quad 25$$

$$0 \leq u_i \leq 1 \quad (i \in V), \quad 26$$

$$0 \leq y_i \leq 1 \quad (i \in V), \quad 27$$

$$x_j \geq 0, \quad (i \in W), \quad 28$$

3.3.ΠΡΟΤΥΠΟ ΔΙΠΛΗΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ (DSM)

Στο μοντέλο που προτάθηκε από τους (Gendreau, Laporte, & Semet, Solving an ambulance location model by Tabu search, 1997), χρησιμοποιούνται δυο σταθερές κάλυψης r_1 και r_2 , με $r_1 < r_2$. Όλη η ζήτηση πρέπει να καλύπτεται από ένα ασθενοφόρο τοποθετημένο εντός των ορίων των μονάδων χρόνου r_2 , και η αναλογία a της ζήτησης πρέπει να βρίσκεται εντός των ορίων μονάδων χρόνου r_1 ενός ασθενοφόρου το οποίο πιθανός να συμπίπτει με το ασθενοφόρο που καλύπτει εκείνη τη ζήτηση η οποία βρίσκεται μέσα στα όρια r_2 μονάδων χρόνου. Το USEMSA το 1973 έθεσε τη τιμή 10 λεπτά της ώρας για το r_1 αλλά δεν έθεσε καμία τιμή για το r_2 , και για το $a=0,95$.

Το Double Standard Model(DSM) των (Gendreau, Laporte, & Semet, 2001)ζητάει να μεγιστοποιήσει τη ζήτηση που καλύπτεται δυο φορές μέσα στα χρονικά όρια της χρονικής σταθεράς r_1 χρησιμοποιώντας p ασθενοφόρα, το πολύ p_j ασθενοφόρα στη τοποθεσία j , και να υπόκεινται στους περιορισμούς διπλής κάλυψης.

Έστω $W_1^A = \{j \in W: t_{ij} \leq r^A\}$ και $W_1^B = \{j \in W: t_{ij} \leq r^B\}$. Η ακαιραία μεταβλητή y_j συμβολίζει τον αριθμό των ασθενοφόρων που βρίσκονται στο $j \in W$ και η δυαδική μεταβλητή x_i^k ισούται με 1 αν και μόνο αν η ζήτηση στο κόμβο $i \in V$ καλύπτεται k φορές ($k=1$ ή 2) μέσα στα όρια των χρονικών μονάδων r_1 .

Το πρότυπο διατυπώνεται ως εξής:

$$\text{Maximize } \sum_{i \in V} d_i x_i^2$$

Subject to:

$$\sum_{j \in W_i^2} y_j \geq 1 \quad (i \in V) \quad 30$$

$$\sum_{j \in V} d_j x_j \geq a \sum_{i \in V} d_i \quad 31$$

$$\sum_{j \in W_i^2} y_j \geq x_i^1 + x_i^2 \quad (i \in V) \quad 32$$

$$x_i^1 \geq x_i^2 \quad (i \in V) \quad 33$$

$$\sum_{j \in W} y_j = p \quad 34$$

$$y_j \leq p_j \quad (j \in W) \quad 35$$

$$x_i^1, x_i^2 \in \{0,1\} \quad (i \in V) \quad 36$$

$$y_j \text{ ακέραιος} \quad (j \in W) \quad 37$$

Εδώ η αντικειμενική συνάρτηση υπολογίζει τη ζήτηση που καλύπτεται διπλά μέσα στα όρια της χρονικής μονάδας r_1 , οι περιορισμοί (30) και (31) εκφράζουν τις προϋποθέσεις της διπλής κάλυψης. Το αριστερό μέρος του (32) αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ασθενοφόρων που καλύπτουν τον κόμβο i μέσα στα όρια της μονάδας r_1 , ενώ το δεξί μέρος είναι 1 αν το i καλύπτεται μέσα στα όρια της μονάδας r_1 , και 2 αν καλύπτεται τουλάχιστον δυο φορές μέσα στα όρια της μονάδας r_1 . Ο συνδυασμός των περιορισμών

(31) και (32) εξασφαλίζει ότι η αναλογία a της ζήτησης καλύπτεται και η σταθερά κάλυψης πρέπει να είναι r_1 . Οι περιορισμοί (33) δηλώνουν ότι ο κόμβος i δεν μπορεί να καλυφτεί τουλάχιστον δυο φορές αν πρώτα δεν έχει καλυφτεί τουλάχιστον μια φορά. Στο περιορισμό (35) το p_j μπορεί να οριστεί ότι ισούται με 2 αφού χρησιμεύοντας αυτή τη τιμή υπάρχει πάντα μια βέλτιστη λύση.

4. ΠΙΘΑΝΟΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ

4.1.ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ (ΜΕΧCLP)

Ένα από τα πρώτα πιθανοτικά πρότυπα χωροθέτησης κινητών μονάδων είναι το μοντέλο χωροθέτησης μέγιστης αναμενόμενης κάλυψης του (Daskin, 1983). Σε αυτό γίνεται η υπόθεση ότι κάθε ασθενοφωρο έχει την ίδια πιθανότητα q , όπου ονομάζεται και ποσοστό απασχόλησης, να μην είναι διαθέσιμο να απαντήσει μια κλήση, και όλα τα ασθενοφορα είναι ανεξαρτήτα. Το ποσοστό απασχόλησης q υπολογίζεται διαιρώντας τη συνολική προβλεπόμενη διάρκεια των κλησεων για όλα τα σημεία ζήτησης με τον συνολικό αριθμό των διαθέσιμων ασθενοφορων. Οποτε, αν ο κομβος $i \in V$ καλυπτεται απο k ασθενοφορα, η αντιστοιχη αναμενομενη καλυπτωμενη ζητηση ειναι $E_k = d_i(1 - q^k)$, και η περιφεριακη συνησφορα του k^{ov} ασθενοφορου σε αυτην την αναμενομενη τιμη ειναι $E_k - E_{k-1} = d_i(1 - q)q^{k-1}$. Στο ΜΕΧCLP συνολικα μεχρι p ασθενοφορα μπορουν να τοποθετηθουν, αλλα πανω απο ενα οχημα μπορει να τοποθετηθει στον ιδιο κομβο. Εστω οτι y_{ik} ειναι διαδικη μεταβλητη οπου ισουτε με 1 αν και μονο αν ο κομβος $i \in V$ καλυπτεται απο τουαχιστον k ασθενοφορα.

Το μοντελο διατυπωνεται ως εξής:

$$\text{Maximize } \sum_{i \in V} \sum_{k=1}^p d_i(1 - q)q^{k-1}y_{ik} \quad (38)$$

Subject to

$$\sum_{j=W_i} x_j \geq \sum_{k=1}^p y_{ik} \quad (i \in V), \quad (39)$$

$$\sum_{j=W} x_j \leq p, \quad (40)$$

$$x_j \text{ integer} \quad (j \in W), \quad (41)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \quad (i \in V, k = 1, \dots, p). \quad (42)$$

Η ισχύς αυτού του μοντέλου πηγάζει από το γεγονός ότι η αντικειμενική συνάρτηση είναι κοίλη στο k . Ως εκ τούτου, αν $y_{ik} = 1$, τότε $y_{ih} = 1$ για $h \leq k$. Δεδομένου ότι ο στόχος είναι να μεγιστοποιηθεί, και τα δύο (39) και (40) πρέπει να πληρούνται ως ισότητες. Ακολουθεί ότι και οι δύο πλευρές του (39) θα είναι ίσες με τον αριθμό των ασθενοφορών που θα καλύπτουν τον κόμβο $i \in V$. Το MEXCLP εφαρμόστηκε το 1987 στην πόλη της Bangkok από τους (Fujiwara, Makjamroen, & Gupta, 1987). Οι συγγραφείς έλυσαν το πρόβλημα για μεταβλητό αριθμό παροχών από 10 έως 30. Το συμπέρασμα που έβγαλαν είναι ο μέσος χρόνος επέμβασης και η προσδοκώμενη κάλυψη δεν μεταβάλλονται ιδιαίτερα όταν μείωσαν τον αριθμό των παροχών από 21 σε 15. Μια επέκταση του MEXCLP, είναι το TIMEXCLP το οποίο αναπτύχθηκε από τους (Repede & Bernardo, 1994) και εφαρμόστηκε στο Louisville, Kentucky. Στο TIMEXCLP, οι μεταβολές στη ταχύτητα κατά τη διάρκεια της μέρας λαμβάνονται υπόψη ρητά. Οι συγγραφείς έχουν συνδυάσει το μοντέλο με ένα μοντέλο προσομοίωσης για να αξιολογήσουν τις προτεινόμενες λύσεις. Τα κύρια αποτελέσματα ήταν η αύξηση του ποσοστού των κλήσεων που καλύπτονταν σε 10 λεπτά η λιγότερο, από 84% σε 95%. Επιπλέον ο χρόνος απόκρισης μειώθηκε κατά 36%. Τέλος οι (Goldberg, Dietrich, Chen, & Mitwasi, 1990b) ανέπτυξαν ένα ακόμα εναλλακτικό

μοντέλο του MEXCLP, στο οποίο παίρνονται υπόψη στοχαστικά οι χρόνοι των ταξιδιών. Ο στόχος ήταν να μεγιστοποιηθεί ο αναμενόμενος αριθμός των κλήσεων που θα καλύπτονταν μέσα σε 8 λεπτά. Σε δεδομένα από την πόλη Tucson στην Arizona, φάνηκε ότι ένα καλύτερο χωροθετικό πλάνο μπορούσε να αποδώσει 1% αύξηση στην κάλυψη των κλήσεων που καλύπτονται σε λιγότερο από 8 λεπτά και ότι το χειρότερο ποσοστό κάλυψης ενός χώρου στο χρόνο μπορούσε να αυξηθεί από 23% σε 53.1%.

4.2. ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ 1 ΚΑΙ 2 (MALP I & MALP II)

Οι (ReVelle & Hogan, The maximum availability location problem, 1989) πρότειναν δυο ακόμα πιθανοτικά πρότυπα για να μεγιστοποιήσουν τη καλυπτόμενη ζήτηση με μια δοσμένη πιθανότητα a . Αυτοί οι συγγραφείς δημιούργησαν το μοντέλο χωροθέτησης μέγιστης διαθεσιμότητας (MALP I & MALP II) ως ευκαιρία να περιορίσουν το στοχαστικό πρόγραμμα των (Charles and Cooper (1959)). Στο MALP I το ποσοστό απασχόλησης q υποθέτεται ότι είναι το ίδιο για όλες τα πιθανές τοποθεσίες. Ο ελάχιστος αριθμός ασθενοφόρων που χρειάζονται για να εξυπηρετηθεί κάθε σημείο ζήτησης i με επίπεδο αξιοπιστίας a καθορίζεται από τους περιορισμούς:

$$1 - q^{\sum_{j \in W_i} x_j} \geq a \quad (i \in V) \quad (43)$$

Που μπορεί να γραφτεί γραμμικά ως:

$$\sum_{j \in W_i} x_j \geq \left\lceil \frac{\log(1 - a)}{\log q} \right\rceil = b \quad (i \in V) \quad (44)$$

Για να διατυπωθεί το MALP I ορίζεται η δυαδική μεταβλητή y_{ih} όπως στο μοντέλο MEXCLP. Το μοντέλο γράφεται ως εξής:

$$\text{Maximize } \sum_{i \in V} d_i y_{ib} \quad (45)$$

Subject to:

$$\sum_{k=1}^b y_{jk} \leq \sum_{j \in W_i} x_j \quad (i \in V) \quad (46)$$

$$y_{ik} \leq y_{i,k-1} \quad (i \in V, k = 2, \dots, b) \quad (47)$$

$$\sum_{j \in W} x_j = p, \quad (48)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (j \in W). \quad (49)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \quad (i \in V, k = 1, \dots, p). \quad (50)$$

Εδώ οι περιορισμοί (47) χρειάζονται εφόσον δεν υπάρχει η κοίλη ιδιότητα που υπάρχει στο MEXCLP. Στο MALP II, η υπόθεση ότι το ποσοστό απασχόλησης είναι το ίδιο για όλες τις τοποθεσίες είναι χαλαρό. Αντί αυτού οι Hogan και ReVelle υπολογίζουν την εκτίμηση του ποσοστού απασχόλησης q_i που σχετίζεται με κάθε $i \in V$, ενώ η αναλογία της συνολικής διάρκειας των κλήσεων που σχετίζονται με το i , προς το σύνολο της διαθεσιμότητας όλων των ασθενοφόρων στο W_i . Αυτή η τιμή είναι το ελάχιστο όριο εφόσον μερικά ασθενοφόρα στο W_i μπορούν να αποσπαστούν σε κλήσεις άσχετες με το i . Στο MALP II στη θέση του b , η τιμή b_i υπολογίζεται για κάθε $i \in V$. Ο (ReVelle & Hogan, 1989) υποδεικνύουν τη δυσκολία να δουλεύεις με το ποσοστό απασχόλησης q_j συγκεκριμένα για κάθε $j \in W$ εφόσον αυτές οι τιμές είναι αποτέλεσμα του μοντέλου και δεν μπορούν να είναι γνωστά εκ των προτέρων. Ωστόσο, έχοντας ένα πλάνο χωροθέτησης ασθενοφόρων και επίπεδα ζήτησης, οι πιθανότητες μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας αναλυτικά εργαλεία όπως το μοντέλο Hypercube (Larson, 1974) (1975) (Burwell, McKnew, & Jarvis, 1992), ένα επαναληπτικό αλγόριθμο βελτιστοποίησης (Jarvis, 1975) ή προσομοίωση (Davis, 1981)

4.3. ΜΟΝΤΕΛΟ REL-P

Ο (Ball & Lin, 1993), ανέπτυξαν μια εξέλιξη του LSCM, το Rep-P, που ενσωματώνει ένα γραμμικό περιορισμό στον αριθμό των οχημάτων που χρειάζονται για να επιτευχθεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο αξιοπιστίας. Το μοντέλο εμπεριέχει μια δυαδική μεταβλητή x_{jk} όπου ισούται με 1 αν και μόνο αν k ασθενοφόρα είναι τοποθετημένα στο κόμβο $j \in W$, και οι μεταβλητές c_{jk} ισούνται με το κόστος της τοποθέτησης k οχημάτων στο σημείο j . Ένα ανώτατο όριο p_j επιβάλλεται στον αριθμό των ασθενοφόρων που είναι τοποθετημένα στο σημείο j .

Το μοντέλο είναι το εξής:

$$\text{Minimize } \sum_{j \in J} \sum_{1 \leq k \leq p_j} c_{jk} x_{jk} \quad (51)$$

Subject to:

$$\sum_{1 \leq k \leq p_j} x_{jk} \leq 1 \quad (j \in W) \quad (52)$$

$$\sum_{j \in W_i} \sum_{1 \leq k \leq p_j} a_{jk} x_{jk} \geq b_i \quad (i \in V) \quad (53)$$

$$x_{jk} \in \{0,1\} \quad (j \in W, 1 \leq k \leq p_j) \quad (54)$$

Στο περιορισμό (53), οι σταθερές a_{jk} και b_i υπολογίζονται για να διασφαλίζουν ότι δίνοντας τον αριθμό των ασθενοφόρων που καλύπτουν τα σημεία ζήτησης i , η πιθανότητα να μην υπάρχει δυνατότητα απάντησης κλήσεων δεν υπερβαίνει μια συγκεκριμένη τιμή. Ο

υπολογισμός των συντελεστών a_{jk} και b_i πραγματοποιείτε χρησιμοποιώντας ένα ανώτατο όριο σε αυτήν την πιθανότητα.

5. ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ

5.1. ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ (DMCLP)

Τα προβλήματα χωροθέτησης απαιτούν ανάπτυξη προτύπων που λαμβάνουν υπόψη τους την μελλοντική αβεβαιότητα. Έτσι παρουσιάζεται η δυσκολία που αυτά πρέπει να λύνονται πολλές φορές επαναλαμβανόμενα με μικρή χρονική προθεσμία. Το δυναμικό πρόβλημα, με την ανάπτυξη γρήγορων ευρεστικών αλγορίθμων και υπολογιστικών τεχνολογιών, είναι δυνατό να λύνεται σε πραγματικό χρόνο. Οι (Kolesar & Walker, 1974) σχεδίασαν ένα σύστημα επανατοποθέτησης για πυροσβεστικούς σταθμούς. Οι αποφάσεις για την επανατοποθέτηση (relocation decisions), που έπεται της τοποθέτησης μονάδων άμεσης επέμβασης, πρέπει να λαμβάνονται κατά συχνά χρονικά διαστήματα ώστε να μην υπάρχουν περιοχές που πιθανώς δεν θα εξυπηρετούνται τουλάχιστον εντός των χρονικών ορίων που θέτονται. Μετά από 6 χρόνια ο Schilling (1980) μελέτησε μια εναλλακτική προσέγγιση του δυναμικού προβλήματος χωροθέτησης. Σύμφωνα με αυτήν μια πολυκριτηριακή διατύπωση μέγιστης κάλυψης προσπαθεί να ανακαλύψει ένα σύνολο από αποτελεσματικές λύσεις. Από αυτές επιλέγεται μια για υλοποίηση.

Το πρότυπο διατυπώνεται ως εξής:

$$\text{Maximize } \sum_i h_{it} Y_{it} \quad \forall 1, \dots, T \quad (55)$$

Subject to

$$\sum_{j \in N_{it}} X_{jt} \geq Y_{it} \quad \forall t \quad (56)$$

$$\sum_j X_{jt} \geq P_t \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (57)$$

$$X_{jt} \geq X_{j,t-1} \quad \forall j, t = 2, \dots, T \quad (58)$$

$$X_{jt} \in \{0,1\} \quad \forall j, t = 1, \dots, T \quad (59)$$

$$Y_{it} \in \{0,1\} \quad \forall j, t = 1, \dots, T \quad (60)$$

όπου:

d_{ijt} = η ελάχιστη χωρική ή χρονική απόσταση από τον κόμβο i στον κόμβο j τη χρονική περίοδο t

h_{it} = ζήτηση στον κόμβο i τη χρονική περίοδο t

P_t = αριθμός μονάδων που εργάζονται τη χρονική περίοδο t

$N_{it} = \{j \mid d_{ijt} \leq S\}$ = σύνολο μονάδων που μπορούν να καλύψουν τον κόμβο την χρονική περίοδο

$X_{jt} = 1$ αν η μονάδα εργάζεται στη θέση j την περίοδο t , διαφορετικά 0

$Y_{it} = 1$ αν ο κόμβος i καλύπτεται την περίοδο t , διαφορετικά 0

(55) Η αντικειμενική συνάρτηση είναι ουσιαστικά ένα διάνυσμα από T ξεχωριστές περιοδικές αντικειμενικές συναρτήσεις, που κατά βάσει δεν έχουν ένα μοναδικό βέλτιστο.

(56) Ο περιορισμός καθορίζει αν η ζήτηση στον κόμβο i καλύπτεται από τουλάχιστον μια μονάδα που απέχει απόσταση S την χρονική περίοδο t .

(57) Ο περιορισμός δείχνει τον αριθμό των μονάδων που θα τοποθετηθούν την χρονική περίοδο t .

(58) Το πρότυπο υποθέτει ότι αν μια μονάδα είναι ελεύθερη κάποια χρονική περίοδο, θα είναι ελεύθερη και σε όλες τις μελλοντικές χρονικές περιόδους.

5.2. ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΔΙΠΛΗΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ (DDSM)

Οι Gendreau et al. (2001) ανέπτυξαν το Δυναμικό Πρότυπο Διπλής Σταθεράς (Dynamic Double Standard Model) πιο γενικευμένο δυναμικό πρότυπο χωροθέτησης, χρησιμοποιώντας το DSM που περιγράφηκε στο υποκεφάλαιο 3.3. Στο πρότυπο αυτό εκτός από τις σταθερές κάλυψης και του περιορισμούς ικανότητας παροχής εξυπηρέτησης του DSM λαμβάνονται υπόψη πρακτικές θεωρήσεις που υπάρχουν στην δυναμική φύση του προβλήματος. Οι θεωρήσεις αυτές είναι ότι πρέπει να αποφεύγονται επαναλαμβανόμενες κυκλικές διαδρομές μεταξύ των ίδιων δύο θέσεων εγκατάστασης μονάδας, να αποτρέπονται μεγάλες διαδρομές μεταξύ των αρχικών και των τελικών θέσεων εγκατάστασης μονάδας (Schilling, 1980) και ότι δεν είναι εφικτό να είναι πάντα ίδιες, μονάδες που κινούνται σε επιτυχείς αναδιαρθρώσεις. Για την επίλυση του προτύπου αυτού οι Gendreau et al. ανέπτυξαν ένα γρήγορο tabu αναζήτησης, ευρεστικό αλγόριθμο αναζήτησης (fast tabu search heuristic), εκτελούμενο σε παράλληλους επεξεργαστές. Το πρότυπο εφαρμόστηκε στο νησί του Montreal χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα. Για τη λύση του προβλήματος δημιουργήθηκαν 120 και 140 κλήσεις για άμεση επέμβαση τυχαία από τις 5 έως τις 12 τα μεσάνυχτα. Το νησί χωρίστηκε σε 2521 κόμβους ζήτησης. Οι κόμβοι εξυπηρετούνταν από 40 έως 51 ασθενοφόρα. Ο ευρεστικός αλγόριθμος αναζήτησης ήταν σε θέση να υπολογίζει την επανατοποθέτηση των οχημάτων στο 95% των περιπτώσεων (Gendreau et al., 2001). Έτσι, τα αποτελέσματα του προτύπου κρίθηκαν ικανοποιητικά.

Το πρότυπο διατυπώνεται ως εξής:

$$\sum_{i \in V} d_i x_i^2 - \sum_{j \in W} \sum_{1=1}^p M_{j1}^t y_{j1} \quad (61)$$

Subject to:

$$\sum_{j \in W_i^2} \sum_{1=1}^p y_{j1} \geq 1 \quad i \in V \quad (62)$$

$$\sum_{i \in V} d_i x_i^1 \geq \alpha \sum_{i \in V} d_i \quad (63)$$

$$\sum_{j \in W_i^1} \sum_{1=1}^p y_{j1} \geq x_i^1 + x_i^1 \quad i \in V \quad (64)$$

$$x_i^2 \leq x_i^1 \quad i \in V \quad (65)$$

$$\sum_{j \in W} y_{j1} = 1 \quad (1 = 1, \dots, p) \quad (66)$$

$$\sum_{1=1}^p y_{jt} \leq p_j \quad (j \in W) \quad (67)$$

$$x_i^1, x_i^2 \in \{0,1\} \quad (i \in V) \quad (68)$$

$$y_{j1} \in \{0,1\} \quad (j \in W, 1 = 1, \dots, p) \quad (69)$$

όπου:

W = σύνολο δυνατών θέσεων μονάδων παροχής άμεσης βοήθειας (με δείκτη j)

V = σύνολο κόμβων ζήτησης παροχής υπηρεσίας (με δείκτη i)

$W_{i1} = \{j \in W : t_{ij} \leq r_1\}$

$W_{i2} = \{j \in W : t_{ij} \leq r_2\}$

r_1, r_2 = προκαθορισμένες σταθερές χρονικής κάλυψης

α = ελάχιστο ποσοστό ζήτησης που πρέπει να καλυφθεί σε χρόνο r_1

p = συνολικός αριθμός τοποθετούμενων μονάδων

p_j = μέγιστος αριθμός τοποθετούμενων μονάδων στον κόμβο j

d_i = ζήτηση για εξυπηρέτηση κόμβου i

$x_i^k = 1$ αν η ζήτηση στον κόμβο i καλύπτεται k φορές σε χρόνο r_1 , διαφορετικά 0

$y_{j1} = 1$ αν η μονάδα 1 κινείται προς τη θέση j , διαφορετικά 0

(61) Η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποιεί τη ζήτηση που καλύπτεται διπλά μειωμένη κατά το κόστος ποινής για αναδιάρθρωση των μονάδων.

(62) Ο περιορισμός εκφράζει τις απαιτήσεις καλύψεις εντός χρόνου r_2 .

(63),(64),(65) Οι περιορισμοί αυτοί είναι ίδιοι με τους (64), (65) και (66) του Πρότυπου Διπλής Σταθεράς (Double Standard Model, DSM),

(66) Ο περιορισμός καθορίζει ότι κάθε μονάδα μπορεί να τοποθετηθεί μόνο σε μία θέση κάθε χρονική περίοδο t .

(67) Ο περιορισμός θέτει ένα άνω όριο στον αριθμό των μονάδων που μπορούν να τοποθετηθούν σε κάθε θέση.

6.ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Ο κύριος στόχος των μοντέλων χωροθέτησης είναι να μεγιστοποιήσουν τη κάλυψη της ζήτησης σε ένα συγκεκριμένο χρόνο με το μικρότερο δυνατό αριθμό ασθενοφόρων. Σύμφωνα με τους (Karimi, Shafahi, & Mohammadian, 2013) όπου πραγματοποίησαν μια σύγκριση μεταξύ στατικών μοντέλων για να δουν ποιο μοντέλο είναι πιο αποτελεσματικό, υπάρχουν κάποια στοιχεία μέτρησης όπου υποδηλώνουν την αποτελεσματικότητα των μοντέλων.. Τα στοιχεία μέτρησης είναι τα εξής:

- A. Κάλυψη ενός υψηλού ποσοστού ζήτησης 95% σε μια σταθερή περίοδο.
- B. Μέτρηση της ικανότητας κάλυψης του ασθενοφόρου
- C. Κάλυψη όλων των χώρων από τουλάχιστον ένα ασθενοφόρο
- D. Μέτρηση της διαθεσιμότητας του ασθενοφόρου
- E. Παροχή επιπλέον ασθενοφόρων

MODELS	A	B	C	D	E
LSCM	NAI	OXI	NAI	OXI	OXI
MCLP	NAI	OXI	OXI	OXI	OXI
TEAM	NAI	OXI	OXI	OXI	OXI
BACOP I	NAI	OXI	NAI	OXI	NAI
BACOP II	NAI	OXI	OXI	OXI	NAI
DSM	NAI	OXI	NAI	OXI	NAI
MEXCLP	NAI	OXI	OXI	NAI	OXI
MALP I	NAI	OXI	OXI	NAI	OXI
MALP II	NAI	OXI	OXI	NAI	OXI
REL-P	NAI	OXI	OXI	NAI	OXI
TTM	NAI	OXI	OXI	NAI	NAI

Το στοιχείο Α βασίζεται στο USEMSA του 1973 όπου θέτει το 95% των κλήσεων σε αστικές περιοχές να πρέπει να καλύπτονται μέσα σε 10 λεπτά και σε επαρχιακές 30 λεπτά. Όλα τα μοντέλα έχουν καλύψει αυτή τη παράμετρο. Το στοιχείο Β υποθέτει πως τα ασθενοφόρα έχουν περιορισμένη δυναμική και δε μπορούν να καλύψουν όλα τα σημεία σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Το στοιχείο Γ υποθέτει πως όλα τα σημεία είναι καλυμμένα , όχι μόνο τα σημεία με μεγάλη ζήτηση. Το στοιχείο Δ δείχνει την μη διαθεσιμότητα ενός ασθενοφόρου. Βοηθά να ληφθούν υπόψη απρόβλεπτες συνθήκες όπως αν ένα ασθενοφόρο δεν είναι στη σωστή θέση λόγω αυτοκινητικής συμφόρησης. Το στοιχείο Ε μετράει την επιπλέον κάλυψη των ασθενοφόρων σε περίπτωση μη διαθεσιμότητας ενός ασθενοφόρου. Οπότε εάν το Β και το Δ καλύπτονται τότε καλύπτεται και το στοιχείο μέτρησης Ε. Από τα αποτελέσματα της σύγκρισης των (Karimi, Shafahi, & Mohammadian, 2013) βλέπουμε πως το μοντέλο DSM είναι το πιο αποτελεσματικό, συνεπώς το δυναμικό μοντέλο DDSM όπου είναι μια επέκταση του στατικού μοντέλου DSM υποθέτουμε ότι είναι το πιο αποτελεσματικό μοντέλο από τα μοντέλα που έχουν παρουσιαστεί σε αυτήν την εργασία.

7.ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ LSCM ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

Για την υλοποίηση αυτού του κεφαλαίου έγινε συλλογή στοιχείων και δεδομένων από το GOOGLE EARTH. Ο Νομός Ηρακλείου χωρίστηκε γεωγραφικά σε περιοχές όπου σύμφωνα με το μοντέλο LSCM τα πιθανά σημεία των ασθενοφόρων συμβολίζονται με j και τα σημεία ζήτησης με i . Μετρήθηκαν οι αποστάσεις όλων των σημείων και με τη βοήθεια του SOLVER και της VBA βγήκαν τα αποτελέσματα. Μετέπειτα έγινε ανάλυση ευαισθησίας σε σχέση με το r δηλαδή των ελάχιστο χρόνο που θα πρέπει να χρειάζονται τα ασθενοφόρα να καλύψουν όλες τις περιοχές.

7.1.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Οι πιθανές τοποθεσίες ασθενοφόρων ($j \in W$) είναι οι εξής:

	Γεωγραφικό Μήκος (A)	Γεωγραφικό Πλάτος (B)
	Μοίρες	Μοίρες
ΑΓ ΠΕΛΑΓΙΑ	24.990386	35.39847
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	25.131148	35.327635
ΚΡΟΥΣΟΝΑΣ	24.984894	35.231809
ΑΓΙΑ ΒΑΡΒΑΡΑ	24.995193	35.12571
ΤΥΜΠΑΚΙ	24.823531	35.111107
ΣΙΒΑΣ	24.808082	35.017846
ΜΟΙΡΕΣ	24.872799	35.048707
ΓΟΡΤΙΝΑ	24.956054	34.963245
ΑΓΟΙ ΔΕΚΑ	24.960431	35.058711
ΘΑΛΑΣΣΑ	24.731648	34.922625
ΠΥΡΓΟΣ	25.120378	35.009383
ΚΑΣΤΕΛΙΑΝΑ	25.262857	35.037639
ΑΝΩ ΠΟΥΛΙΑ	25.26423	35.115187
ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ	25.109735	35.217347
ΑΝΩΠΟΛΗ	25.255915	35.325823
ΚΑΣΤΕΛΙ	25.338589	35.208017
ΑΝΩ ΒΙΑΝΟΣ	25.410601	35.053116
ΒΙΑΝΟΣ	25.36757	35.112238
ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	25.36596	35.307001
ΔΑΜΑΝΙΑ	25.114284	35.132316
ΠΑΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ	25.159224	35.234425

ΟΡΟΠΕΔΙΟ ΛΑΣΗΘΕΙΟΥ	25.519319	35.131684
ΟΡΟΠΕΔΙΟ ΛΑΣΗΘΕΙΟΥ	25.498719	35.220363
ΑΓ ΠΕΛΑΓΙΑ	25.01678	35.406594
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	25.138789	35.328799
ΜΑΛΙΑ	25.461512	35.287666
ΚΡΟΥΣΟΝΑΣ	24.984894	35.231809
ΖΑΡΟΣ	24.904514	35.130263
ΜΟΙΡΕΣ	24.872799	35.048707
ΜΑΤΑΛΑ	24.750155	34.992602
ΠΥΡΓΟΣ	25.154375	35.007876
ΑΡΚΑΛΟΧΩΡΙ	25.264839	35.144604
ΠΑΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ	25.159224	35.234425
ΚΑΣΤΕΛΙ	25.338589	35.208017
ΑΝΩ ΒΙΑΝΟΣ	25.410601	35.053116

Ζητάμε να καλυφθούν οι εξής περιοχές ($i \in V$):

- ΑΓ ΠΕΛΑΓΙΑ
- ΗΡΑΚΛΕΙΟ
- ΜΑΛΙΑ
- ΚΡΟΥΣΟΝΑΣ
- ΜΟΙΡΕΣ
- ΜΑΤΑΛΑ
- ΠΥΡΓΟΣ
- ΑΡΚΑΛΟΧΩΡΙ
- ΠΑΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ
- ΚΑΣΤΕΛΙ
- ΑΝΩ ΒΙΑΝΟΣ

Τρέχοντας το μοντέλο LSCM με τη βοήθεια του solver βρίσκουμε τα εξής:

Με r από 14 λεπτά έως 16 λεπτά χρειάζονται 10 ασθενοφόρα στις παρακάτω περιοχές:

1. ΗΡΑΚΛΕΙΟ
2. ΑΓΙΑ ΠΕΛΑΓΙΑ
3. ΚΡΟΥΣΩΝΑ
4. ΣΙΒΑΣ
5. ΠΥΡΓΟΣ

6. ΑΝΩ ΠΟΥΛΙΑ
7. ΚΑΣΤΕΛΙ
8. ΑΝΩ ΒΙΑΝΟΣ
9. ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ
10. ΠΑΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ.

Με r από 17 λεπτά έως 18 λεπτά χρειάζονται 9 ασθενοφόρα στις παρακάτω περιοχές:

1. ΗΡΑΚΛΕΙΟ
2. ΑΓΙΑ ΠΕΛΑΓΙΑ
3. ΚΡΟΥΣΩΝΑ
4. ΣΙΒΑΣ
5. ΑΝΩ ΠΟΥΛΙΑ
6. ΚΑΣΤΕΛΙΑΝΑ
7. ΑΝΩ ΒΙΑΝΟΣ
8. ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ
9. ΠΑΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ.

Με r από 19 λεπτά έως 20 λεπτά χρειάζονται 8 ασθενοφόρα στις παρακάτω περιοχές:

1. ΑΓΙΑ ΠΕΛΑΓΙΑ
2. ΚΡΟΥΣΩΝΑ
3. ΣΙΒΑΣ
4. ΠΥΡΓΟΣ
5. ΚΑΣΤΕΛΙ
6. ΑΝΩ ΒΙΑΝΟΣ
7. ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ
8. ΠΑΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ.

Με τ από 21 λεπτά έως 23 λεπτά χρειάζονται 7 ασθενοφόρα στις παρακάτω περιοχές:

1. ΗΡΑΚΛΕΙΟ
2. ΑΓΙΑ ΠΕΛΑΓΙΑ
3. ΚΡΟΥΣΩΝΑ
4. ΜΟΙΡΕΣ
5. ΚΑΣΤΕΛΙΑΝΑ
6. ΒΙΑΝΟΣ
7. ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ

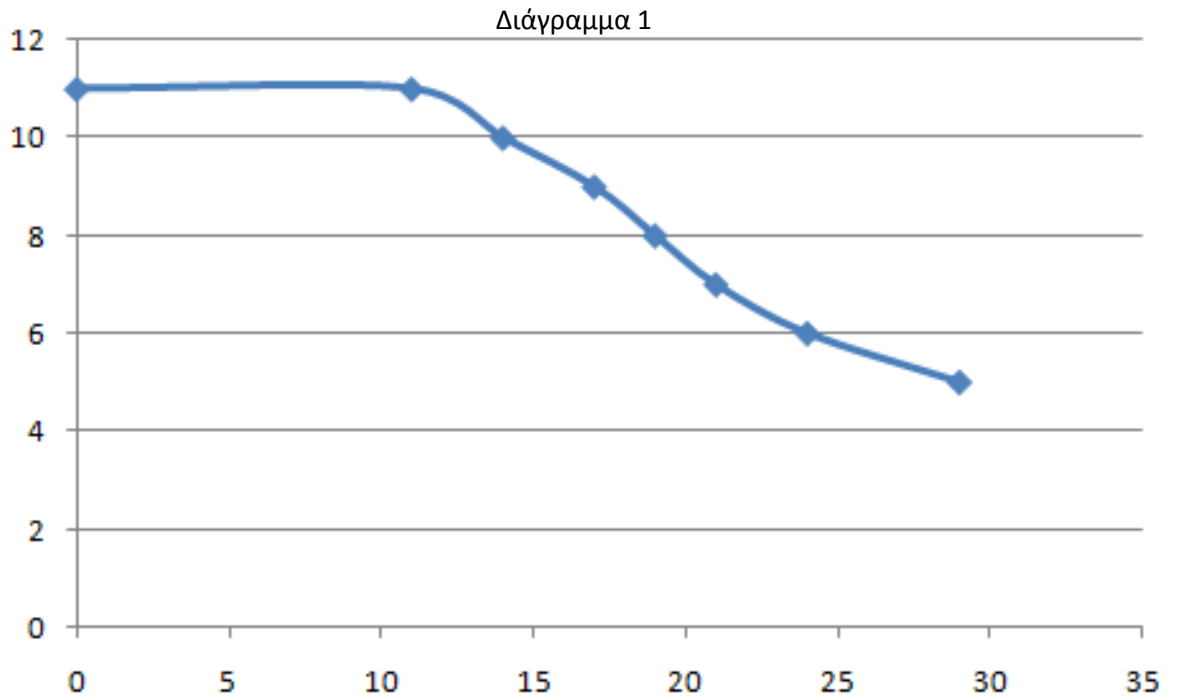
Με τ από 24 λεπτά έως 28 λεπτά χρειάζονται 6 ασθενοφόρα στις παρακάτω περιοχές:

1. ΗΡΑΚΛΕΙΟ
2. ΚΡΟΥΣΩΝΑ
3. ΣΙΒΑΣ
4. ΑΝΩ ΠΟΥΛΙΑ
5. ΑΝΩ ΒΙΑΝΟΣ
6. ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ

Με τ από 29 λεπτά έως 30 λεπτά χρειάζονται 5 ασθενοφόρα στις παρακάτω περιοχές:

1. ΗΡΑΚΛΕΙΟ
2. ΚΡΟΥΣΩΝΑ
3. ΜΟΙΡΕΣ
4. ΚΑΣΤΕΛΙΑΝΑ
5. ΚΑΣΤΕΛΙ

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η σχέση του ελάχιστου αριθμού ασθενοφόρων που χρειάζονται για να επιτευχθεί μέγιστη κάλυψη προς τον μέγιστο χρόνο επέμβασης t .



8.ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Τα τελευταία 40 χρόνια έχει υπάρξει πολλή σημαντική εξέλιξη στην ανάπτυξη μοντέλων χωροθέτησης. Τα πρώτα μοντέλα, ήταν πολύ βασικά και δεν υπολόγιζαν το γεγονός ότι μερικές καλύψεις χάνονταν όταν ένα ασθενοφόρο αποστέλλονταν σε μια κλήση. Παρόλα αυτά, τα πρώτα μοντέλα, λειτούργησαν ως βάση για την ανάπτυξη των μετέπειτα μοντέλων. Το ερώτημα για το μη επαρκή αριθμό ασθενοφόρων προσεγγίστηκε προς δυο βασικές κατευθύνσεις. Τα ντετερμινιστικά μοντέλα δίνουν λύσεις όπου τα σημεία ζήτησης είναι υπερκαλυμμένα, αλλά η πραγματική διαθεσιμότητα των ασθενοφόρων δε λαμβάνεται υπόψη. Τα πιθανοτικά μοντέλα λειτουργούν με το ποσοστό απασχόλησης(busy fraction) των οχημάτων, τα οποία μοντέλα μπορούν να εκτιμηθούν με διάφορους τρόπους, συμπεριλαμβανομένου πολύπλοκων υπολογισμών ουρών αναμονής. Τα δυναμικά μοντέλα τα οποία ξεκίνησαν να αναπτύσσονται τη προηγούμενη δεκαετία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο να ανανεώνουν περιοδικά την τοποθεσία των ασθενοφόρων κατά τη διάρκεια της ημέρας. Δόκιμες έχουν δείξει ότι τέτοια μοντέλα μπορούν να λειτουργήσουν όταν υπάρχει μια ευριστική μέθοδος(fast heuristic) και όταν είναι διαθέσιμη επαρκής επεξεργαστική δύναμη (hardware).

Όπως είχαν περιγράψει οι Mariannov and ReVelle(1995),η ανάπτυξη των δυναμικών μοντέλων της χωροθέτησης και επαναχωροθέτησης των ασθενοφόρων, παραλληλίστηκε με την ανάπτυξη των τεχνολογιών πληροφορικής. Όπως προέβλεψαν ένα μεγάλο μέρος της εξέλιξης έλαβε μέρος στο πεδίο των δυναμικών μοντέλων τα οποία δεν είναι μόνο εξαρτημένα από εξειδικευμένα τεχνολογικά συστήματα, αλλά επίσης στη διαθεσιμότητα γρήγορων και στοχευόμενων ευριστικών μεθόδων (heuristics).

Τέλος με το κατάλληλο hardware θα μπορούσαν να γίνουν δοκιμές αυτών των μοντέλων στο το ΕΚΑΒ Κρήτης. Θα μπορούσε να βρεθεί το κατάλληλο μοντέλο που θα μπορεί να εφαρμοστεί στο Νησί και να βοηθήσει στη βέλτιστη χωροθέτηση των κινητών μονάδων εξυπηρέτησης με σκοπό την μελλοντικά αποτελεσματικότερη εξυπηρέτηση των κατοίκων και των τουριστών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ameriican TriTech. (1996). *VisiCAD for EMS*. San Diego, CA.

Ball, M., & Lin, L. (1993). A reliability model applied to emergency service vehicle location. *Operations Research* 41 , σσ. 18-36.

Bernhardsen, T. (1999). *Geographic Information Systems*. Chichester: Wiley.

Bouveyron, C. D. (1993). *Guide Economique et Methodologique des SIG*. Paris: Hermes.

Burwell, T., McKnew, M., & Jarvis, J. (1992). An application of a spatially distributed queueing model to an ambulance system. *Socio-Economic Planning Sciencs* 26 , σσ. 289-300.

Church, R., & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association* 32 , σσ. 101-118.

Clawson, J. D. (1991). *Principles of Emergency Medical Dispatch*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Daskin, M. (1983). A maximum expected location model: Formulation, properties and heuristic solution. . *Transportation Science* 7 , σσ. 48-70.

Daskin, M., & Stern, E. (1981). A hierarchical objective set covering model for emergency medical service vehicle deployment. *Transportation Science* 15 , σσ. 137-152.

Davis, S. (1981). Analysis of the deployment of emergency medical services. *Omega* 9 , σσ. 655-657.

Eaton, D., Daskin, M., Simmons, D., Bulloch, B., & Jansma, G. (1985). Determining emergency medical deployment in Austin, Texas. *Interfaces* 15 (1) , σσ. 96-108.

Erkut, E., & Bozkaya, B. (1999). *Analysis of aggregation errors for the p-median problem*. Computers and Operations Research 26, 1075-1096.

Francis, R., Lowe, T., & Tamir, A. (2000). *Aggregation error bounds for a class of location models*. Operations Research 48, 294-307.

Fujiwara, O., Makjamroen, T., & Gupta, K. (1987). Ambulance deployment analysis: A case of Bangkok. *European Journal of Operational Research* 31 , σσ. 9-18.

Gendreau, M., Laporte, G., & Semet, F. (2001). A dynamic model and parallel Tabu search heuristic for real-time ambulance relocation. *Parallel Computing* 27 , σσ. 1641-1653.

Gendreau, M., Laporte, G., & Semet, F. (1997). Solving an ambulance location model by Tabu search. *Location Science* 5 , σσ. 75-88.

Goldberg, J., Dietrich, R., Chen, J., & Mitwasi, M. (1990b). Validating and applying a model for locating emergency medical services in Tucson, AZ. *European Journal of Operational Research* 49 , σσ. 308-324.

Hass, N., Hoffman, R., Mauch, C., Fournier, C., & Sudkamp, N. (1995). *The management of polytraumatized patients in Germany*. Clinical Orthopaedics and Related Research 318.

Hogan, K., & ReVelle, C. (1986). Concepts and applications of backup coverage. *Management Science* 34 , σσ. 1434-1444.

- Jarvis, J. (1975). *Optimization in stochastic service with distinguishable servers*. In: TR-19-75, *Innovative Resource Planning Project in Urban Public Safety Systems*. Cambridge, MA: Operations Research Center, Massachusetts Institute of Technology.
- Karimi, B., Shafahi, Y., & Mohammadian, K. (2013). A Multi-Objective, Stochastic, and Capacity-Constrained Static Ambulance Location Model.
- Kolesar, P., & Walker, W. (1974). An algorithm for the dynamic relocation of the fire companies. *Operations Research* 22 , σσ. 249-274.
- Larson, R. (1974). A hypercube queueing model for facility location and redistricting in urban emergency services. *Computer and Operations Research* 1 , σσ. 67-75.
- Larson, R. (1975). Approximating the performance of urban emergency service systems. *Operations Research* 23 , σσ. 355-368.
- Mandell. (1998). *Covering models for two-tiered emergency service systems*. *Operations Research* 1, 67-75.
- Marianov, V., & ReVelle, C. (1992). The capacitated standard response fire protection siting problem: deterministic and probabilistic models. *Annals of Operations Research* 40 , σσ. 302-322.
- Repede, J., & Bernardo, J. (1994). Developing and validating a decision support system for locating emergency medical vehicles in Louisville, Kentucky. *European Journal of Operational Research* 75 , σσ. 567-581.
- ReVelle, C., & Hogan, K. (1989). Review, extension and prediction in emergency service siting models. *European Journal of Operational Research* 40 , σσ. 58-69.

ReVelle, C., & Hogan, K. (1989). The maximum availability location problem. *Transportation Science* 23 , σσ. 192-200.

Schilling, D., Elzinga, D., Cohon, J., Church, R., & ReVelle, C. (1979). The TEAM/FLEET models for simultaneous facility and equipment siting. *Transportation Science* 13 , σσ. 163-175.

Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., & Bergman, L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations Research* 19 , σσ. 1363-1373.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

$r = (29:30)$, 5 ασθενοφόρα



$r = (24:28)$, 6 ασθενοφόρα



$r = (21:23)$, 7 ασθενοφόρα



$r = (19:20)$, 8 ασθενοφόρα



r= (17:18), 9 ασθενοφόρα



r= (14:16), 10 ασθενοφόρα

