



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
UNIVERSITY OF PELLOPONNESE

*Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας
Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών*

*Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Προηγμένα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα και Δίκτυα*

Διπλωματική Εργασία
*«Αυτοματοποιημένη Τοποθέτηση Σταθμών Βάσης για
Βέλτιστη Ραδιοκάλυψη σε Ασύρματα Δίκτυα»*

ΚΑΡΑΜΠΑΤΣΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

AM: 2008111

Επιβλέποντες Καθηγητες :

Επ. Καθηγήτρια Αθανασιάδου Γεωργία

Επ. Καθηγητής Τσούλος Γεώργιος

Τρίπολη, Οκτώβριος 2011



Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου
Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Προηγμένα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα και Δίκτυα



Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου
Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Προηγμένα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα και Δίκτυα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ ιδιαίτερος τους επιβλέποντες καθηγητές μου την κα. Γ. Αθανασιάδου και τον κ. Γ. Τσούλο για την πολύτιμη καθοδήγηση τους.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος αυτής της εργασίας είναι η αυτοματοποιημένη τοποθέτηση σταθμών βάσης, για βέλτιστη ραδιοκάλυψη σε ασύρματα δίκτυα μιας περιοχής με το μικρότερο κόστος, δηλαδή μέσω του ελάχιστου δυνατού αριθμού σταθμών βάσης (BSs). Το κόστος και η πολυπλοκότητα ενός δικτύου, συνδέονται στενά με τον αριθμό των σταθμών βάσης (BSs) που απαιτούνται για την επίτευξη των στόχων, τους οποίους έχει ορίσει η επιχείρηση εκμετάλλευσης του συστήματος. Η τοποθεσία των BSs δεν είναι εύκολο έργο και υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν καθορίζεται η βέλτιστη θέση του BS. Σε αυτήν την εργασία θα εξεταστούν δυο αλγόριθμοι βελτιστοποίησης, ο Συνδυαστικός Αλγόριθμος για Ολική Βελτιστοποίηση CAT (Combination Algorithm for Total Optimisation) [1] και ο Άπληστος Αλγόριθμος GR (Greedy Algorithm) [3].

Αρχικά θα εφαρμοστεί ο αλγόριθμος CAT, του οποίου η λειτουργία βασίζεται στην συνδυαστική προσέγγιση. Ο αλγόριθμος CAT εφαρμόζεται σε τυχαία υποσύνολα των δυνατών θέσεων των BSs στην περιοχή δοκιμής. Στην συνέχεια ο αλγόριθμος GR θα εφαρμοστεί σε όλες τις τελικές λύσεις που δίνει ο αλγόριθμος CAT, με σκοπό την περαιτέρω μείωση του αριθμού σταθμών βάσης.

Επίσης οι αλγόριθμοι εξετάστηκαν ως προς την ικανότητα σύγκλισης σε μια λύση, ως προς τον αριθμό των επαναλήψεων που είναι απαραίτητος για να βρεθεί λύση και ως προς τον αριθμό των BSs που θα έχουν τα τυχαία υποσύνολα των δυνατών θέσεων των BSs. Βρέθηκε ότι χρειάζονται 8000 επαναλήψεις. Για κάθε διαφορετικό περιβάλλον που εξετάσαμε βρήκαμε διαφορετική λύση. Έτσι καταλήξαμε ότι για περιβάλλον με $n=2$ χρειαζόμαστε 3-4 BSs ανάλογα και την σκίαση, σε περιβάλλον με $n=3$ χρειαζόμαστε 4-6 BSs ανάλογα και την σκίαση και σε περιβάλλον με $n=4$ χρειαζόμαστε 6-7 BSs ανάλογα και την σκίαση.

Οι δυο αλγόριθμοι προσομοιώθηκαν σε Matlab και συγκρίθηκαν ως προς την πολυπλοκότητα και την αποτελεσματικότητά τους στην εύρεση της βέλτιστης λύσης για την πλήρη κάλυψη της περιοχής.



ABSTRACT

In this work, we study the problem of the automatic positioning of Mobile network Base Stations (BS) in order to achieve optimal radio-coverage over the wireless networks in a specific area, by using the optimally minimum number of BSs. The cost and complexity of a network is tightly coupled with the number of BSs available, and are allocated according to the Mobile network operator's needs and restrictions. The positioning of the BSs is not an easy task as it depends on several factors that should be considered in order to determine the optimal allocation. In this work, two such algorithms are studied: the Combination Algorithm for Total Optimization (CAT) [1] and the Greedy Algorithm [3].

The CAT algorithm, which is based on a combinatorial approach, is studied first. The CAT algorithm is applied on random subsets of the possible BS positions in the area of interest. Then, the Greedy algorithm is applied on the solutions provided by the CAT algorithm, in order to achieve further reduction in the number of required BSs.

In addition, the algorithms were examined on their ability to converge to a solution, based on the number of repetitions required to find a solution and the number of BSs of the random subsets of the possible BS positions in the area of interest. Our simulations showed that 8000 repetitions are required. For each different setup studied, a different solution was found. We concluded that for a setup with $n=2,3-4$ BSs are required, depending on the shadow. Similarly, for a setup with $n=3, 4-6$ BSs are required, while for $n=4, 6-7$ BSs are required.

The two algorithms were simulated using Matlab and were compared for their complexity and effectiveness in finding the optimal solution for the full coverage of the examined area.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΔΟΣΗΣ	10
2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΒΑΣΗΣ.....	12
2.1 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ (CAT).....	12
2.2 ΑΠΛΗΣΤΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ (GR).....	14
3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ	15
3.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΟΚΙΜΗΣ.....	15
3.2 ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	15
3.3 ΠΙΘΑΝΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΒΑΣΗΣ.....	15
3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ	16
3.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ CAT	17
3.6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΑΠΛΗΣΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ GR	19
4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	22
4.1 ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ.....	22
4.2 ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΒΑΣΗΣ ΑΝΑ ΟΜΑΔΑ	25
4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ	27
4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΧΩΡΙΣ ΝΑ ΟΡΙΣΟΥΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ BSs ΑΝΑ ΟΜΑΔΑ	30
4.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΔΥΟ ΤΕΧΝΙΚΕΣ.....	35
4.6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	37
4.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΩΡΙΣ ΝΑ ΟΡΙΣΟΥΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ BSs ΑΝΑ ΟΜΑΔΑ.....	44
5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	48
6 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ.....	48
7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	53
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	55
Π1 Κύριο script αρχείο "auto_location.m".....	55
Π2 Αρχείο για να υπολογιστεί που έχουμε κάλυψη "cover.m"	57
Π3 Αρχείο υπολογισμού συνδυασμών σταθμών βάσης " randomsplit.m"	58
Π4 Αρχείο υπολογισμού συνδυασμών σταθμών βάσης "combinations.m".....	59



Π5	Αρχείο για τον αυτόματο υπολογισμό του BSpergroup "greedy_algorithm .m".....	59
Π6	Αρχείο υπολογισμού του group από τον GR " greedy_after_cat.m"	60
Π7	Αρχείο δεδομένων συντεταγμένων σημείων έλεγχου	61
Π8	Αρχείο δεδομένων συντεταγμένων σταθμών βάσης	62



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο τομέας των τηλεπικοινωνιών συγκαταλέγεται στους πιο ταχείς αναπτυσσόμενους τεχνολογικά τομείς, έχοντας φτάσει σήμερα να χρησιμοποιεί Συστήματα Επικοινωνιών 3^{ης} Γενιάς UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Η εισαγωγή της 3^{ης} γενιάς δικτύων κινητής τηλεφωνίας παρέχεται στους πελάτες με έναν αυξανόμενο αριθμό υπηρεσιών πολυμέσων. Αυτό το δίκτυο επέφερε πρόσθετες απαιτήσεις, όπως είναι οι προηγμένες υπηρεσίες, που λειτουργούν σε διαφορετικά περιβάλλοντα διάδοσης (π.χ. μικροκυψέλες, οι οποίες ήταν ήδη εγκατεστημένες στα 2^{ης} γενιάς δίκτυα). Για να υποστηριχθούν λοιπόν, οι νέες αυτές απαιτήσεις των συστημάτων 3^{ης} γενιάς, καθώς και η απρόσκοπτη αναβάθμιση των υφιστάμενων κυψελοειδών δικτύων, απαιτούνται νέα εργαλεία σχεδιασμού για την κάλυψη της πολυπλοκότητας της διαστασιολόγησης των πόρων. Το αναμενόμενο κόστος και τα οφέλη αυτών των νέων δικτύων θα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις δυνατότητες των νέων εργαλείων σχεδιασμού.

Ένα από τα κύρια καθήκοντα στον σχεδιασμό του κυψελοειδούς δικτύου είναι η βέλτιστη θέση του BS. Η αναζήτηση ενός εργαλείου που θα βρίσκει την βέλτιστη θέση του BS δεν είναι καινούργια. Τα τελευταία χρόνια πολλοί επιστήμονες έχουν ερευνήσει την εφαρμογή των διαφόρων αλγόριθμων για την επίλυση αυτού του προβλήματος [1,2,3]. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση δυο αλγόριθμων: τον άπληστο αλγόριθμο (GR) και τον συνδυαστικό αλγόριθμο για ολική βελτιστοποίηση (CAT). Ο τελευταίος είναι ένας νέος αλγόριθμος που διερευνήθηκε για πρώτη φορά από τους A. Molina , G.E.Athanasiadou και A.R.Nix , στο Πανεπιστήμιο του Bristol [1].

Ο στόχος της έρευνας, που παρουσιάζεται σε αυτή την εργασία, είναι η εξεύρεση ενός αλγόριθμου που να μπορεί αυτόματα να εντοπίσει τη βέλτιστη λύση στο πρόβλημα της τοποθέτησης BSs σε μια περιοχή. Η λύση που θα διερευνήσουμε θα στηρίζεται στις ακόλουθες υποθέσεις: α) η επιφάνεια δοκιμής που καλούμαστε να καλύψουμε αντιπροσωπεύεται από ένα σύνολο σημείων. β) ο αριθμός των επιτρεπόμενων κόμβων ελέγχου CN επιλέγεται από τον χρήστη και τοποθετούνται με τυχαίο τρόπο. γ) η πιθανή θέση τοποθέτησης των BSs, είναι σημεία, στα οποία επιτρέπεται η εγκατάσταση τέτοιων



σταθμών (δηλ. τοποθεσίες στις οποίες έχουν δοθεί τηλεπικοινωνιακές άδειες ή έχουν γίνει συμφωνίες που επιτρέπουν την εγκατάσταση BS).

Η πιθανή θέση των BSs που καθορίζεται από τον χρήστη κάνει τους αλγόριθμους πιο αποτελεσματικούς. Ένας αλγόριθμος που δεν έχει καθορισμένες θέσεις BSs, αλλά είναι τοποθετημένες με τυχαίο τρόπο, μπορεί να δίνει αποτελέσματα συμπεριλαμβανομένων των μη λογικών λύσεων όπως είναι λόγου χάρη μέσα σε μια λίμνη ή κοντά σε ένα σχολικό συγκρότημα. Αυτό θα μπορούσε να καταστήσει όλη τη λύση εντελώς ανέφικτη, ακόμη και αν οι υπόλοιπες απαιτήσεις ικανοποιούνταν πλήρως. Θέλουμε να τονίσουμε σε αυτό το σημείο ότι η αρχική επιλογή του χρήστη, να τοποθετήσει αυτός τους BSs σε διάφορα σημεία του χώρου δοκιμής, θα καθορίσουν σε μεγάλο βαθμό την τελική έκβαση της διαδικασίας. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει, από το γεγονός ότι, οι θέσεις των BSs που έχουν επιλεγεί από το χρήστη, δεν θα τροποποιηθούν ως προς τη θέση τους στον χώρο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας βελτιστοποίησης.

Στο τέλος της εργασίας θα διερευνηθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των αλγόριθμων, καθώς και η μελλοντική εξέλιξη του αλγόριθμου CAT.



1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Οι αλγόριθμοι μπορούν να δουλέψουν με οποιοδήποτε μοντέλο διάδοσης. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο διάδοσης ελεύθερου χώρου (Free Space Loss) [8,9,10]. Η πλειονότητα των επίγειων κυψελωτών συστημάτων κινητών επικοινωνιών λειτουργεί σε περιβάλλον μη οπτικής επαφής NLOS (Non Line Of Sight) μεταξύ πομπού και δέκτη. Για τον υπολογισμό της μέσης τιμής των απωλειών $\overline{PL(d)}$ [dB] σε απόσταση d από τον πομπό χρειάζεται να γνωρίζουμε τη μέση τιμή των απωλειών σε μια κοντινή απόσταση d_0 όπου και υπάρχει οπτική επαφή LOS (Line Of Sight). Οι απώλειες μέχρι την απόσταση αναφοράς d_0 όπου υπάρχει οπτική επαφή την υπολογίζουμε από την σχέση (2). Οι απώλειες από την d_0 έως d υπολογίζονται βάσει αυτών από την σχέση (1). Όταν έχουμε κατάσταση οπτικής επαφής LOS (Line Of Sight) οι απώλειες είναι ανάλογες του d^2 . Όπου n είναι ο εκθέτης απωλειών διάδοσης, ο οποίος μας δείχνει τον ρυθμό με τον οποίο μεγαλώνει η εξασθένηση. Στην περίπτωση του ελεύθερου χώρου (FSL) το $n=2$, ενώ ανάλογα με το περιβάλλον και τις διαστάσεις των κυψελών κυμαίνεται από 2 έως 4 για τυπικές αστικές περιοχές με μακροκυψέλες [10].

$$\overline{PL(d)}[dB] = \overline{PL(d_0)}[dB] + 10 * n * \log_{10} \left(\frac{d_0}{d} \right) \quad (1)$$

$$\overline{PL(d_0)}[dB] = -10 * \log_{10} \left(G_T * G_R * \left(\frac{\lambda}{4*\pi*d_0} \right)^2 \right) \quad (2)$$

Στην σχέση (1) δεν λαμβάνεται υπόψη η αταξία του περιβάλλοντος διάδοσης που μπορεί να είναι διαφορετική σε δυο θέσεις, όπου η απόσταση πομπού και δέκτη είναι ίδια. Λόγω της ανομοιομορφίας του περιβάλλοντος διάδοσης, η μέση τιμή των απωλειών διαδρομής $\overline{PL(d)}$ [dB] που υφίσταται το σήμα σε διάφορες θέσεις του δέκτη, που απέχουν ίδια απόσταση από τον πομπό, είναι πολύ διαφορετικές από αυτές που υπολογίζουμε από την σχέση (1). Μετρήσεις που έχουν γίνει από διάφορους ερευνητές [9] έχουν δείξει ότι, η τιμή των απωλειών διαδρομής $PL(d)$ σε μια συγκεκριμένη θέση είναι τυχαία μεταβλητή



και έχει λογαριθμική-κανονική κατανομή γύρω από τη μέση τιμή των απωλειών που υπολογίζεται βάσει της απόστασης.

Άρα:

$$PL(d)[dB] = \overline{PL(d_0)}[dB] + 10 * n * \log_{10} \left(\frac{d_0}{d} \right) + X_{\sigma} \quad (3)$$

Όπου $X_{\sigma}(dB)$ τυχαία μεταβλητή, με μηδενική μέση τιμή $\mu=0$ και τυπική απόκλιση σ (dB). Η λογαριθμική κατανομή περιγράφει τις τυχαίες επιδράσεις της σκίασης που εμφανίζονται σε θέσεις που έχουν την ίδια απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη αλλά έχουν διαφορετικούς βαθμούς αταξίας στην διάδοση.



2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΒΑΣΗΣ

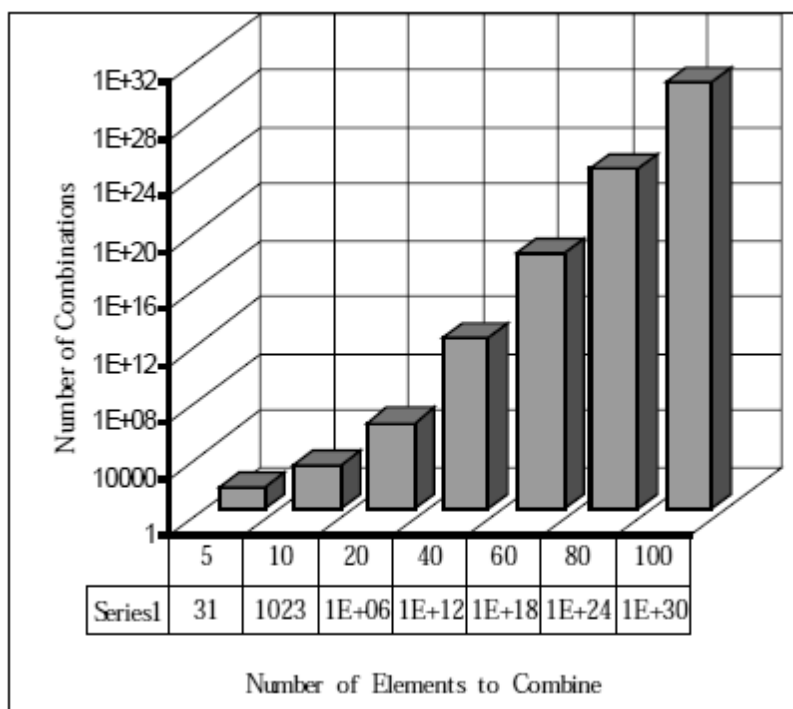
Ο βασικός στόχος αυτής της εργασίας είναι η ανάπτυξη αλγόριθμου βελτιστοποίησης τοποθέτησης σταθμών βάσης, ο οποίος θα βρίσκει τον ελάχιστο αριθμό από σταθμούς βάσης που χρειάζονται για να έχουμε κάλυψη σε μια περιοχή δοκιμής. Θα χρησιμοποιήσουμε δυο αλγόριθμους, τον Συνδυαστικό Αλγόριθμο για Ολική Βελτιστοποίηση CAT (Combination Algorithm for Total Optimization) και τον Άπληστο Αλγόριθμο GR (Greedy Algorithm) [1].

2.1 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ (CAT)

Ο αλγόριθμος CAT βασίζεται στην συνδυαστική προσέγγιση. Η λειτουργία του έγκειται στην ανάλυση όλων των δυνατών συνδυασμών από τις πιθανές τοποθεσίες των σταθμών βάσης BSs στην περιοχή δοκιμής. Ο βέλτιστος συνδυασμός είναι το μικρότερο υποσύνολο από σταθμούς βάσης που παρέχουν πλήρη κάλυψη σε όλα τα σημεία ελέγχου CN στην περιοχή δοκιμής. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν να βρεθούν περισσότεροι του ενός βέλτιστοι συνδυασμοί από BSs, οπότε έτσι μπορούμε να παρέμβουμε θέτοντας πιο στενό πλαίσιο περιορισμών ώστε να επιτύχουμε το βέλτιστο αποτέλεσμα. Ο αρχικός ορισμός των θέσεων των σταθμών βάσης BSs στην περιοχή δοκιμής χρησιμεύει στην εξέλιξη του αλγόριθμου, αλλά όσο αυξάνεται ο αριθμός των σταθμών βάσης τόσο ο χρόνος εκτέλεσης του αλγόριθμου μεγαλώνει τείνοντας στο άπειρο. Ο συνολικός αριθμός των συνδυασμών C_T , που μπορούν να παραχθούν, όταν όλες οι πιθανές ομάδες έχουν συσταθεί για ένα συγκεκριμένο αριθμό σταθμών βάσης, δίνεται από την παρακάτω σχέση.

$$C_T = \sum_{G=1}^{G=B} \frac{B!}{G!*(B-G)!} \quad (4)$$

Όπου B είναι ο συνολικός αριθμός σταθμών βάσης και G είναι ο αριθμός των σταθμών βάσης που περιέχει η κάθε ομάδα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η εκθετική αύξηση των συνδυασμών όσο αυξάνεται ο αριθμός των σταθμών βάσης BSs.



Σχήμα 2.1.1: Συνδυασμοί συναρτήσεως των σταθμών βάσης

Όταν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί έχουν υπολογιστεί σύμφωνα με τη σχέση (4), τότε λέμε ότι έχουμε Γνήσιο Συνδυαστικό Αλγόριθμο (Original Combination Algorithm, OCA) [3].

Παρόλο που η λύση μπορεί να βρεθεί μέσω της εφαρμογής της σχέσης (4) ο χρόνος υπολογισμού αυξάνεται εκθετικά από την αύξηση των πιθανών σταθμών βάσης (BSs). Αυτό καθιστά την άμεση χρήση της σχέσης (4) ανέφικτη. Για το λόγο αυτό, η χρήση του αλγόριθμου CAT στη εργασία αυτή, βασίζεται σε σύνθετη επιλογή και σε συγχώνευση των διαδικασιών για τη μείωση του χρόνου υπολογισμού, ώστε να μπορούμε να υπολογίσουμε την καλύτερη λύση δηλαδή δεν επιλέγεται να υπολογίζεται η OCA λύση αλλά να χωρίζονται οι σταθμοί βάσης (BSs) σε τυχαία υποσύνολα. Σε αυτά τα υποσύνολα ψάχνουμε να βρούμε OCA λύσεις οι οποίες θα εκπληρώνουν τους αρχικούς μας στόχους (πλήρη κάλυψη στην περιοχή δοκιμής) αλλά ο χρόνος υπολογισμού τους αποβαίνει σημαντικά μικρότερος. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για έναν μεγάλο αριθμό επαναλήψεων χωρίζοντας κάθε φορά σε τυχαία υποσύνολα τους σταθμούς βάσης. Η



καλύτερη λύση από κάθε επανάληψη αποθηκεύεται. Τέλος ψάχνουμε να βρούμε στις αποθηκευμένες λύσεις την ομάδα με τους λιγότερους BSs. Αυτή θα είναι η βέλτιστη λύση που υπολόγισε ο αλγόριθμος CAT.

2.2 ΑΠΛΗΣΤΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ (GR)

Ο άπληστος αλγόριθμος Greedy Algorithm (GR) είναι ένας απλός αλγόριθμος που μπορεί να εφαρμοστεί στην επίλυση του προβλήματος τοποθέτησης σταθμών βάσης (BSs). Ο GR αλγόριθμος βασίζεται στην ιδέα, ότι δεδομένου αριθμού σταθμών βάσης (BSs) και κόμβων ελέγχου (CN), ο αλγόριθμος επιλέγει πρώτα τον BS που καλύπτει τα πιο πολλά CN. Ο σταθμός βάσης και οι κόμβοι ελέγχου στη συνέχεια απομακρύνονται από το χώρο της μελέτης και η ίδια εργασία επαναλαμβάνεται μέχρι να μην υπάρχουν άλλοι κόμβοι ελέγχου για κάλυψη [3]. Βασική προϋπόθεση για την εύρεση βέλτιστης λύσης με τον αλγόριθμο GR είναι να έχουν κάλυψη όλα τα CN από τους BSs.

Η ταχύτητα του αλγόριθμου GR βρίσκεται σε συνάρτηση με τον αριθμό των πιθανών σταθμών βάσης, οι οποίοι βρίσκονται στην περιοχή δοκιμής. Σε γενικές γραμμές, ο χρόνος υλοποίησης του GR αλγόριθμου είναι ελάχιστος και σημαντικά μικρότερος από τον αλγόριθμο CAT.

Στην εργασία αυτή, ο GR αλγόριθμος εφαρμόζεται στο σύνολο των λύσεων του αλγόριθμου CAT, με σκοπό τη μείωση ακόμα περισσότερο του αριθμού των σταθμών βάσης που απαιτούνται για να καλύψουν μια περιοχή. Αυτό συμβαίνει επειδή, στη λύση που δίνει ο CAT αλγόριθμος, κάποιος κόμβος ελέγχου μπορεί να καλύπτεται από περισσότερους από έναν σταθμό βάσης. Επομένως, για μεγαλύτερη βελτιστοποίηση της τελικής λύσης του CAT θα πρέπει κάθε CN να καλύπτεται από έναν μόνο BS, όπου αυτό μπορεί να γίνει εφικτό.



3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

3.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΟΚΙΜΗΣ

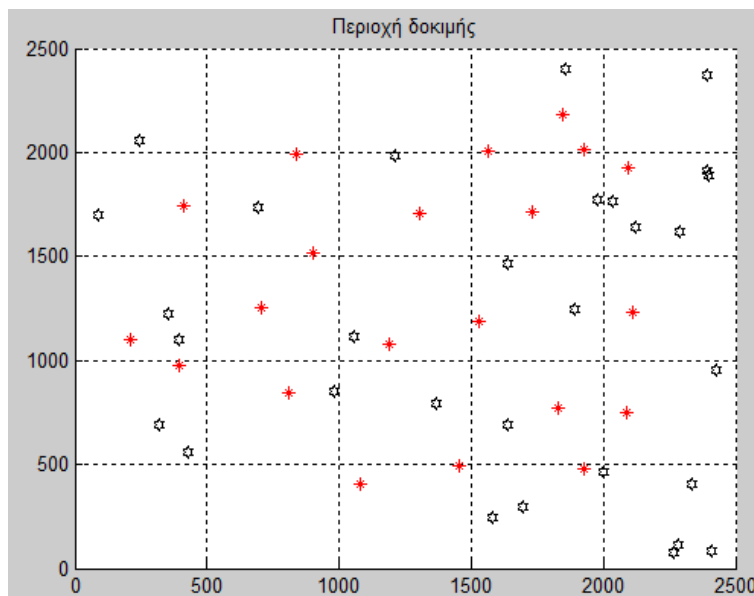
Η περιοχή δοκιμής της εργασίας θα είναι μια περιοχή με διαστάσεις 2500m x 2500m δηλαδή $6.250.000 \text{ m}^2 = 6.250$ στρέμματα, η οποία είναι αρκετά μεγάλη περιοχή για να χωρέσει μια πόλη. Φυσικά έχουμε την δυνατότητα να αλλάξουμε τα δεδομένα του προγράμματος και να προσομοιώσουμε μια άλλη περιοχή σε ό,τι διαστάσεις εμείς θέλουμε.

3.2 ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Έχουμε επιλέξει να ορίζει ο χρήστης των αριθμό των σημείων ελέγχου και αυτά να τοποθετούνται τυχαία στην περιοχή της δοκιμής. Υπάρχει πρόβλεψη να αποθηκεύσουμε τις θέσεις των CN στην περιοχή δοκιμής και να τις φορτώνουμε όταν θέλουμε να μελετήσουμε περιπτώσεις όπου τα CN είναι σε συγκεκριμένες και όχι σε τυχαίες θέσεις.

3.3 ΠΙΘΑΝΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΒΑΣΗΣ

Οι θέσεις και ο αριθμός των σταθμών βάσης επιλέγονται από τον χρήστη, πρέπει όμως να γίνεται προσεκτική επιλογή των θέσεων των σταθμών βάσης στην περιοχή δοκιμής γιατί δεν θα τροποποιηθούν ως προς τη θέση τους στον χώρο κατά τη διάρκεια της διαδικασία βελτιστοποίησης. Από τα προηγούμενα οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι οι πιθανές θέσεις που θα επιλεγούν για τους σταθμούς βάσης θα επηρεάσουν όλη την έκβαση της λύσης. Στην πραγματικότητα η τοποθέτηση των σταθμών βάσης δεν εξαρτάται μόνο από την κατανομή των σημείων ελέγχου αλλά και από άλλους παράγοντες όπως παραδείγματος χάρη δεν μπορούμε να τοποθετήσουμε σταθμό βάσης σε ένα σχολείο ή σε έναν αρχαιολογικό χώρο. Στην παρακάτω σχήμα βλέπουμε την περιοχή δοκιμής μαζί με τις πιθανές θέσεις των BSs (κόκκινα αστέρια) και τα CN (μαύρα πολύγωνα).



**Σχήμα 3.4.1 Περιοχή δοκιμής CN μαζί με BSs
CN (μαύρα πολύγωνα), BSs (κόκκινα αστέρια)**

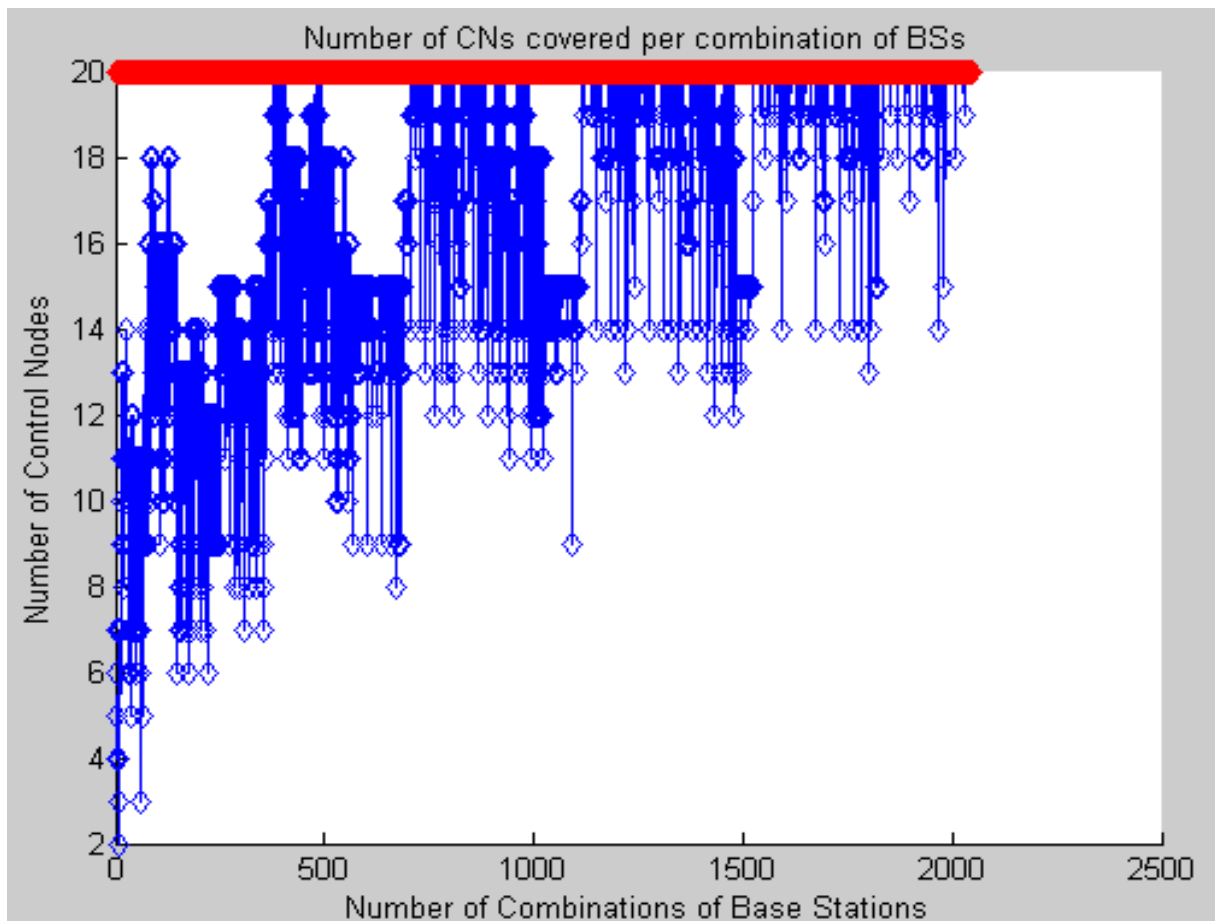
3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ

Ο υπολογισμός της ραδιοκάλυψης θα γίνει, όπως προαναφέραμε, με το μοντέλο της εξασθένησης στον ελεύθερο χώρο. Ο εκθέτης απωλειών διαδρομής n για τον ελεύθερο χώρο είναι $n=2$. Με βάση αυτήν την τιμή και θεωρώντας ότι έχουμε οπτική επαφή με τον σταθμό βάσης τουλάχιστον μέχρι τα 100m, γνωρίζοντας επίσης ότι οι σταθμοί βάσης για τα συστήματα επικοινωνιών 3^{ης} γενιάς UMTS εκπέμπουν σε συχνότητες στα 1,8GHz και έχοντας ορίσει ένα κατώφλι ισχύος του δικτύου (threshold) στα -95dBm, η ακτίνα του σταθμού βάσης (στον ελεύθερο χώρο) είναι $R=745m$. Άρα για να καλύψουμε την περιοχή δοκιμής ως προς το εμβαδόν, θα χρειαστούμε οπωσδήποτε 5 BSs. Αρχικά το πρόγραμμα θα υπολογίσει την κάλυψη που παρέχει κάθε σταθμός βάσης σε όλα τα σημεία έλεγχου. Αν βρεθεί ένα σημείο έλεγχου που δεν έχει κάλυψη θα σταματήσει η διαδικασία και θα ζητηθεί από τον χρήστη να κάνει επανατοποθέτηση των σταθμών βάσης στην περιοχή δοκιμής.



3.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ CAT

Ο CAT αλγόριθμος βασίζεται στην ιδέα του συνδυασμού όλων των BSs μεταξύ τους με σκοπό την εύρεση του συνδυασμού αυτού που θα πληροί τις αρχικές προϋποθέσεις (δηλαδή πλήρης κάλυψη της περιοχής δοκιμής με το μικρότερο κόστος). Ο αριθμός των συνδυασμών αυξάνει εκθετικά όσο αυξάνουν οι BSs με αποτέλεσμα ο χρόνος υλοποίησης του αλγόριθμου να αυξάνει δραματικά και να κάνει την λύση ανέφικτη. Στο παρακάτω σχήμα (3.5.1) παρατηρούμε την φύση του προβλήματος στην περιοχή δοκιμής με 20 CN και 10 BSs.



Σχήμα 3.5.1 Αριθμός CN που καλύπτονται από τους συνδυασμούς των BS

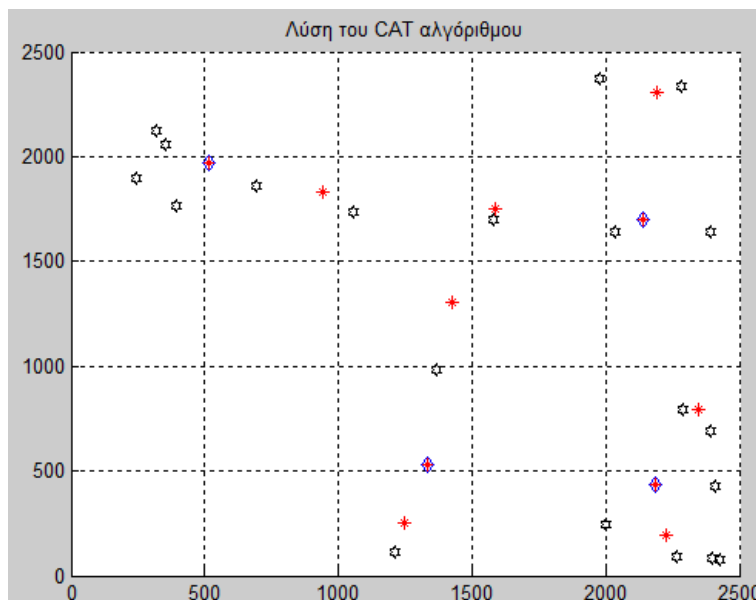
Στο σχήμα (3.5.1) η οριζόντια κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει τη λύση (δηλαδή να καλύπτονται και τα 20 CN), στην συνέχεια στον οριζόντιο άξονα έχουμε τον αριθμό



των συνδυασμών που έχουν γίνει και η καμπύλη αντιπροσωπεύει τον αριθμό των CN που καλύπτει ο έκαστος συνδυασμός. Όταν η καμπύλη τέμνει την κόκκινη γραμμή σημαίνει ότι έχει βρεθεί ένας συνδυασμός από BSs ο οποίος παρέχει κάλυψη όλων των CN δηλαδή είναι μια λύση. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα παρατηρούμε ότι η καμπύλη τείνει στη λύση όσο η ομάδα των σταθμών βάσης είναι μεγαλύτερη του οκτώ (πάνω από 1000 συνδυασμούς), αλλά υπάρχουν λύσεις και με ομάδες των τεσσάρων σταθμών (στους 400 συνδυασμούς). Ως βέλτιστη λύση θεωρείται ο συνδυασμός με τους λιγότερους BSs ο οποίος όμως παρέχει κάλυψη όλων των CN.

Όπως προαναφέρθηκε, όταν ο αριθμός των σταθμών βάσης αυξηθεί, και καταστήσει τη χρήση του αλγόριθμου ανέφικτη, αναγκαστικά ακολουθούμε την προσεγγιστική λογική, δηλαδή να δημιουργούμε τυχαία υποσύνολα από σταθμούς βάσης και να αναζητούμε εκεί την βέλτιστη λύση. Ο αριθμός των σταθμών βάσης που θα έχει το κάθε υποσύνολο ορίζεται από τον χρήστη. Η βέλτιστη λύση με το μικρότερο κόστος αποθηκεύεται. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για αρκετές φορές ώστε να εξασφαλίσουμε, ότι έχουμε πάρει όσο το δυνατόν περισσότερους συνδυασμούς από τυχαία υποσύνολα των σταθμών βάσης. Σε κάθε επανάληψη δημιουργούνται τυχαία, διαφορετικά υποσύνολα (με τον ίδιο αριθμό σταθμών βάσης). Από το σύνολο των βέλτιστων λύσεων που υπολογίσαμε σε κάθε επανάληψη του αλγόριθμου επιλέγουμε τυχαία μια από τις λύσεις με το μικρότερο κόστος. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν γίνουν όλες οι επαναλήψεις που έχει ορίσει ο χρήστης.

Στο παρακάτω σχήμα (3.5.2) βλέπουμε το αποτέλεσμα του CAT αλγόριθμου στην περιοχή δοκιμής όταν έχουμε 20 CN (μαύρα πολύγωνα) και 10 BS (κόκκινα αστέρια). Το αποτέλεσμα του CAT αλγόριθμου (μπλε ρόμβοι) αποτελείται από μια ομάδα των 4 BSs.



Σχήμα 3.5.2 Αποτέλεσμα CAT αλγόριθμου (μπλε ρόμβοι)

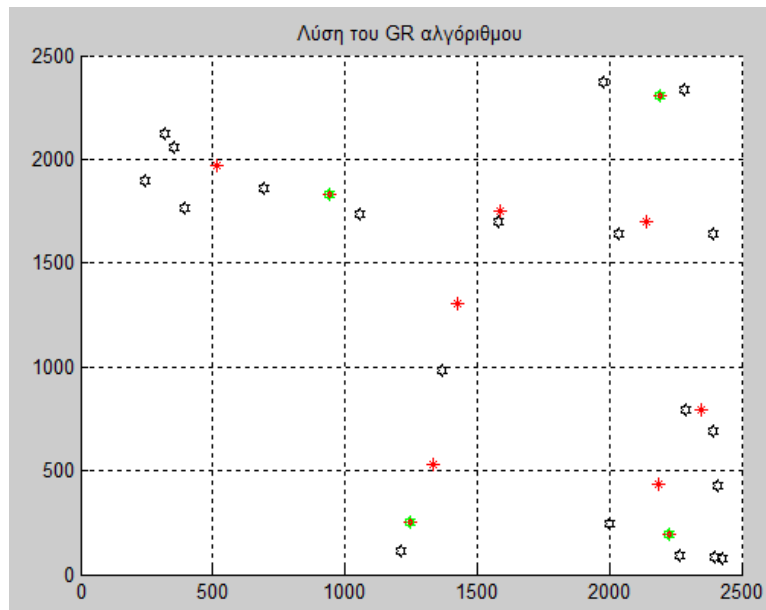
Για περαιτέρω μείωση του χρόνου υπολογισμού της βέλτιστης λύσης, χρησιμοποιούμε τον αλγόριθμο GR, ως εργαλείο πρόβλεψης όπου, εκτελώντας τον πρώτο θα μας δώσει τον αριθμό των σταθμών βάσης που απαρτίζουν την ομάδα. Σημείωση: η χρήση του αλγόριθμου GR δεν είναι απαραίτητη, αν και η χρήση του ως μεθόδου προεπεξεργασίας μειώνει δραματικά τον υπολογιστικό χρόνο [3]. Οι επαναλήψεις που θα εκτελέσει ο CAT αλγόριθμος καθορίζονται από το χρήστη στην αρχή του προγράμματος.

3.6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΑΠΛΗΣΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ GR

Λόγω ταχύτητας εκτέλεσης του GR αλγόριθμου, μπορούμε να τον εκτελέσουμε στο σύνολο των βέλτιστων λύσεων που έχει υπολογίσει ο CAT αλγόριθμος. Η εκτέλεση του GR αλγόριθμου θα προσπαθήσει να μειώσει και άλλο τους BSs που απαρτίζουν τις ομάδες με τις βέλτιστες λύσεις, τις οποίες έχει υπολογίσει ο CAT αλγόριθμος. Για κάθε ομάδα των βέλτιστων λύσεων του CAT αλγόριθμου, ο GR αλγόριθμος θα επιλέξει τον BS που καλύπτει τα περισσότερα CN. Στην συνέχεια θα αφαιρέσει τον BS και τα CN από την περιοχή δοκιμής και θα επαναλάβει την ίδια διαδικασία μέχρι να μην υπάρχουν άλλα CN προς κάλυψη στην περιοχή δοκιμής.



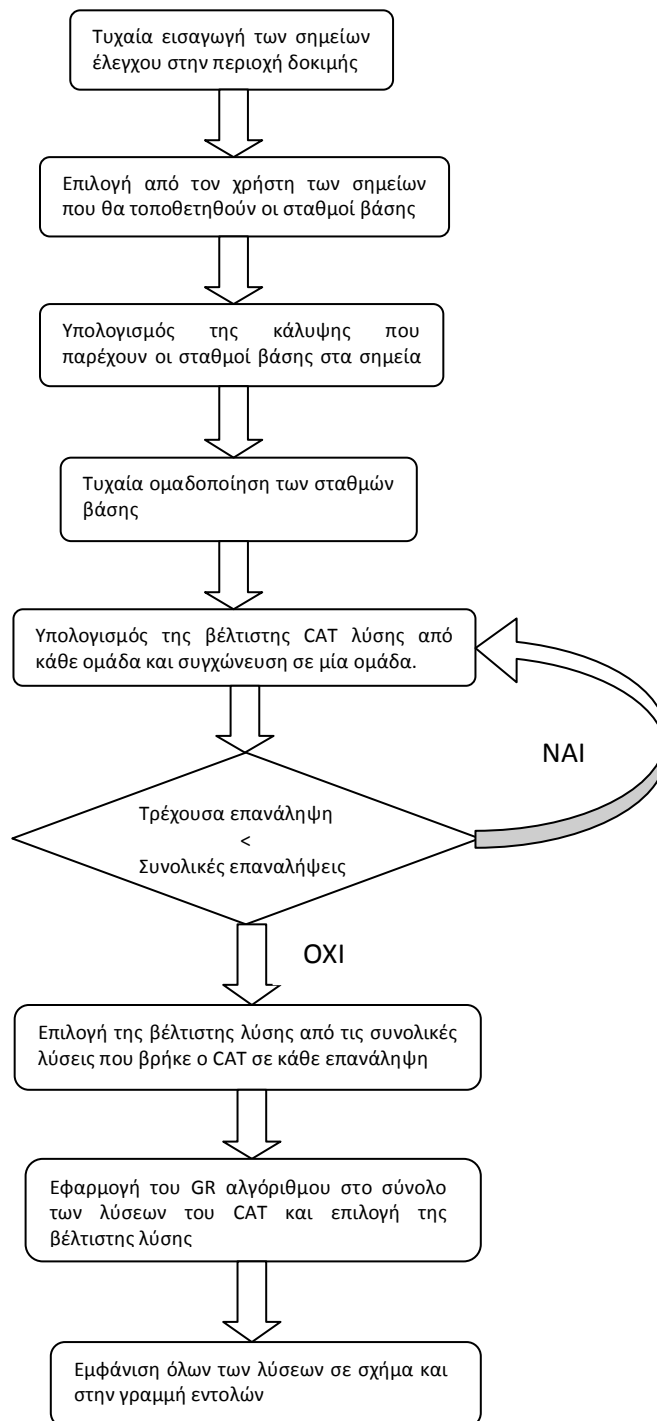
Στο παρακάτω σχήμα (3.6.1) βλέπουμε το αποτέλεσμα του GR αλγόριθμου στην περιοχή δοκιμής όταν έχουμε 20 CN (μαύρα πολύγωνα) και 10 BS (κόκκινα αστέρια). Το αποτέλεσμα του GR αλγόριθμου (πράσινοι ρόμβοι) αποτελείται από μια ομάδα των 4 BSs.



Σχήμα 3.6.1 Αποτέλεσμα GR αλγόριθμου (πράσινοι ρόμβοι)



Στο σχήμα (3.6.2) φαίνεται όλο το πρόγραμμα προσομοίωσης σε διάγραμμα ροής.



Σχήμα 3.6.2 Διάγραμμα ροής του προγράμματος



4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με την ανάλυση των παραμέτρων του προγράμματος. Αρχικά θα γίνουν δοκιμές για τον προσδιορισμό των επαναλήψεων του προγράμματος και για τον προσδιορισμό των σταθμών βάσης που θα έχει η κάθε ομάδα. Στην συνέχεια θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα για όλα τα δυνατά σενάρια, λαμβάνοντας υπόψη τον εκθέτη απωλειών διάδοσης και τη σκίαση. Στόχος μας είναι να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα για τις παραμέτρους που επηρεάζουν την αυτόματη τοποθέτηση των σταθμών βάσης σε μια περιοχή, ώστε να γίνει εφικτή η χρησιμοποίηση των αλγόριθμων σε πραγματικές συνθήκες.

4.1 ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Αρχικά θα προσπαθήσουμε να προσδιορίσουμε τον αριθμό των επαναλήψεων εκτέλεσης του αλγόριθμου. Δεδομένου ότι ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθούν όλες οι επαναλήψεις και αφού σε κάθε επανάληψη δημιουργούνται τυχαίες ομάδες από σταθμούς βάσης που περιέχουν κάθε φορά διαφορετικούς σταθμούς βάσης, θα πρέπει να βρεθεί ένας αριθμός επαναλήψεων του αλγόριθμου, ο οποίος θα μας διασφαλίζει ότι θα περιέχει τη λύση με το μικρότερο κόστος. Ο αλγόριθμος εκτελείται διαδοχικά για διαφορετικό αριθμό επαναλήψεων δηλαδή για 1000, 2000, 4000 κ.λ.π. λαμβάνοντας υπόψη ή μη τις απώλειες ελευθέρου χώρου και τις απώλειες σκίασης. Οι αρχικές παράμετροι του προγράμματος θα αφορούν μια περιοχή 2500m x 2500m στην οποία θα υπάρχουν 30 CN (σημεία που μας ενδιαφέρει να έχουμε κάλυψη), όπου θα εισάγουμε 21 BSs οι οποίοι θα είναι χωρισμένοι σε δυο ομάδες. Θα ψάξουμε να βρούμε που θα έχουμε σύγκλιση ως προς τους σταθμούς βάσης. Για να μπορέσουμε να προσεγγίσουμε πιο πολύ τις πραγματικές συνθήκες θα μεταβάλουμε τον εκθέτη απωλειών διάδοσης σε τιμές $n=2,3,4$ και θα εφαρμόσουμε σκίαση με μέση τιμή $\mu=0$ και απόκλιση $s=6\text{dB}$. Για κάθε διαφορετικό εκθέτη απωλειών διάδοσης θα μεταβάλουμε το threshold στις τιμές -95dB , -100dB , -106dB . Παρακάτω υπάρχει ο Πίνακας 1 με τις θεωρητικές τιμές που προκύπτουν αν χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο της εξασθένησης στον ελεύθερο χώρο και μεταβάλουμε



τον εκθέτη απωλειών και το threshold στις παραπάνω τιμές. Για τον υπολογισμό του εμβαδού της κεραίας χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο του κυψελοειδούς δικτύου.

$$E = \frac{3}{2} * \sqrt{3} * R^2 = 2.598 * R^2$$

Πίνακας 1: Θεωρητικές τιμές ακτίνας και εμβαδού κεραίας

	Ακτίνα σταθμού R (m)	Ελάχιστος αριθμός σταθμών για κάλυψη της περιοχής
n=2 threshold = - 95 dB	745	5
n=3 threshold = - 100 dB	560	8
n=4 threshold = - 106 dB	514	~9

Στον Πίνακα 2 εμφανίζονται τα αποτελέσματα του προγράμματος για τις περιπτώσεις που εξετάσαμε. Πρέπει να σημειωθεί ότι, για μερικές περιπτώσεις χρειάστηκε να επαναλάβουμε την εκτέλεση του αλγόριθμου για να λάβουμε τα αποτελέσματα του Πίνακα 2. Αυτό συμβαίνει λόγω της τυχαιότητας εμφάνισης των CN ή λόγω κακής τοποθέτησης των BSs και είχε ως αποτέλεσμα να μην βγάλουμε αποτελέσματα όλες τις φορές που εκτελέστηκε το πρόγραμμα.



Πίνακας 2: Αριθμός επαναλήψεων σε σχέση με τον δείκτη απωλειών και την σκίαση

Αριθμός Επαναλήψεων	Σταθμοί Βάσης					
	Χωρίς Απώλειες Σκίασης			Με Απώλειες Σκίασης $\mu=0$ και $s=6\text{dB}$		
	Απώλειες Ελεύθερου Χώρου			Απώλειες Ελεύθερου Χώρου		
	n=2 threshold= -95dB	n=3 threshold= -100dB	n=4 threshold= -106dB	n=2 threshold= -95dB	n=3 threshold= -100dB	n=4 threshold= -106dB
	CAT/ GR	CAT/ GR	CAT/ GR	CAT/ GR	CAT/ GR	CAT/ GR
1000	5/5	7/7	9/8	4/4	9/8	8/8
2000	4/4	8/8	8/7	4/4	6/6	8/8
4000	5/5	8/8	9/8	5/5	8/7	8/8
6000	5/5	7/7	8/8	4/4	6/6	8/7
8000	5/5	7/7	8/8	4/4	6/6	8/8
10000	4/4	7/7	8/8	4/4	6/6	8/8
12000	5/5	7/7	8/7	4/4	6/6	8/8
14000	5/5	7/7	8/8	4/4	6/6	8/8

Παρατηρούμε ότι υπάρχει βελτίωση των τιμών που πήραμε από το πρόγραμμα, σε σχέση με τις θεωρητικές τιμές. Στις παραπάνω τιμές παρεμβαίνει ο παράγοντας της τυχαιότητας εμφάνισης των σημείων ελέγχου και η τοποθέτηση των σταθμών βάσης από τον χρήστη, καθώς για κάθε διαφορετική παραμετροποίηση του προγράμματος αλλάζουν θέση τα σημεία ελέγχου και χρειάζεται επανατοποθέτηση των σταθμών βάσης. Παρόλα αυτά παρατηρούμε ότι μετά από 6000 επαναλήψεις το πρόγραμμα δεν κατάφερε να μειώσει τον αριθμό των σταθμών βάσης εκτός από μια περίπτωση στις 10000 επαναλήψεις στην οποία δεν είχαμε απώλειες σκίασης και ο εκθέτης απωλειών διαδρομής ήταν $n=2$ και καταφέραμε να μειώσουμε κατά έναν τους σταθμούς βάσης. Αυτό όμως είναι αποτέλεσμα της τυχαιότητας εμφάνισης των σημείων ελέγχου στην περιοχή δοκιμής που στην



συγκεκριμένη περίπτωση η κατανομή των σημείων ελέγχου ήταν τέτοια που βοήθησε το πρόγραμμα να υπολογίσει λύση με 4 BSs. Το παραπάνω ενισχύεται παρατηρώντας την στήλη στην οποία δεν έχουμε απώλειες σκίασης και ο εκθέτης απωλειών διαδρομής είναι $n=2$, παρατηρούμε ότι λύσεις με 4 BSs βρέθηκαν όταν είχαμε 2000 και 10000 επαναλήψεις που σημαίνει ότι τα αποτελέσματα αυτά οφείλονται στην κατανομή των σημείων ελέγχου και όχι στον αριθμό των επαναλήψεων. Λόγο της τυχαιότητας κατανομής των σημείων ελέγχου στην περιοχή δοκιμής και επειδή ο υπολογιστικός χρόνος δεν θα επηρεάσει την εξέλιξη του προγράμματος, θα δώσουμε ένα περιθώριο ασφάλεια προς τα πάνω στον αριθμό των επαναλήψεων. Έτσι παρόλο που η σύγκλιση των τιμών φαίνεται να είναι στις 6000 επαναλήψεις ο αριθμός επαναλήψεων ορίστηκε στις 8000.

4.2 ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΒΑΣΗΣ ΑΝΑ ΟΜΑΔΑ

Στην συνέχεια θα εξετάσουμε τα αποτελέσματα για διαφορετικό αριθμό σταθμών βάσης σε κάθε ομάδα. Το πρόγραμμα θα εκτελεστεί για διαφορετικό αριθμό (4,5,6,7,8,9,10) σταθμών βάσης σε κάθε ομάδα και για 8000 επαναλήψεις, λαμβάνοντας υπόψη ή μη τις απώλειες ελευθέρου χώρου και τις απώλειες σκίασης. Οι αρχικές παράμετροι του προγράμματος θα αφορούν μια περιοχή 2500m x 2500m στην οποία θα υπάρχουν 30 CN (σημεία που μας ενδιαφέρει να έχουμε κάλυψη) όπου και θα εισάγουμε 21 BSs. Ο εκθέτης απωλειών διάδοσης θα μεταβάλλεται στις τιμές 2,3,4 και όταν θα εφαρμόσουμε σκίαση, αυτή θα έχει μέση τιμή $\mu=0$ και απόκλιση $s=6,8,10$ dB. Να σημειώσουμε εδώ ότι, η ομαδοποίηση των σταθμών βάσεων σε ομάδες γίνεται με τον εξής τρόπο: δηλώνουμε στο πρόγραμμα τον αριθμό των σταθμών βάσεων που θα έχει η κάθε ομάδα και αυτό διαιρεί τους συνολικούς σταθμούς βάσης με τον αριθμό που του δίνουμε εμείς. Αν το αποτέλεσμα της διαίρεσης είναι ακέραιος αριθμός, θα δημιουργήσει τόσες ομάδες όσες δίνει ο ακέραιος, αν δεν είναι ακέραιος αριθμός θα δημιουργήσει τόσες ομάδες όσες δίνει ο ακέραιος, αλλά στην τελευταία ομάδα θα βάλει τους σταθμούς που περισσεύουν π.χ. για ομάδα των 4 σταθμών βάσης, θα δημιουργηθούν οι εξής ομάδες σταθμών βάσης 4,4,4,4,5.



Πίνακας 3: Αριθμός BSs ομάδας σε σχέση με δείκτη απωλειών και σκίασης

Αριθμός Σταθμών Βάσης ανά Ομάδα	Οι Σταθμοί Βάσης που χρειάζονται για την βέλτιστη λύση (CAT/GR)											
	Απώλειες Ελεύθερου Χώρου			Απώλειες Ελεύθερου Χώρου								
	n=2	n=3	n=4	n=2	n=3	n=4	n=2	n=3	n=4	n=2	n=3	n=4
	Χωρίς Σκίαση			Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=6$			Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=8$			Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=10$		
4	5/5			4/4			4/4			4/4		
5	4/4	6/6		4/4	5/5		4/4	6/6		3/3	6/6	
6	5/5	9/8	8/7	5/5	9/7	7/7	4/4	6/6	7/7	4/4	5/5	7/7
7	5/5	6/6	7/7	4/4	6/6	7/6	4/4	5/5	7/7	3/3	5/5	6/6
8	5/5	10/8	8/8	5/5	6/6	8/8	5/5	6/6	8/7	4/4	5/5	7/6
9	5/5	8/8	8/8	4/4	7/7	8/8	4/4	5/5	7/7	3/3	5/5	6/6
10	5/5	7/7	8/8	4/4	6/6	8/8	4/4	6/6	7/7	4/4	5/5	6/6

Παρατηρούμε από τον Πίνακα 3 ότι ο αλγόριθμος βρίσκει την βέλτιστη λύση όταν οι BSs/group είναι περίπου ίσοι ή και λίγο μικρότεροι με τους BSs που χρειάζονται, για να έχουμε γεωγραφική κάλυψη όλης της περιοχής. Έτσι η καλύτερη ομαδοποίηση που βρήκε ο αλγόριθμος για $n=2$ ήταν αυτή των 5 BSs/group, για $n=3$ των 7 BSs/group και για $n=4$ των 7 BSs/group. Παρατηρούμε ακόμα ότι η σκίαση που εφαρμόστηκε τελικά βοήθησε να υπολογίσουμε λύσεις με λιγότερους BSs. Πρέπει να σημειωθεί, ότι η τυχαιότητα εμφάνισης των CN καθώς και η τοποθέτηση των BSs παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εύρεση καλύτερης λύσης. Δεν αναζητήθηκε να βρεθούν λύσεις για group μεγαλύτερων των 10 BSs γιατί τότε οι λύσεις που θα έδινε το πρόγραμμα ως προς την υλοποίηση του CAT αλγόριθμου θα ήταν OCA λύσεις.

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας σύγκρισης των θεωρητικών τιμών του Πίνακα 1 με τα τελικά αποτελέσματα των διαφορετικών τιμών που πήραμε από τον Πίνακα 3 ως προς την βέλτιστη λύση.



Πίνακας 4: Σύγκριση αποτελεσμάτων του Πίνακα 1 με τον Πίνακα 3

Απώλειες Ελεύθερου Χώρου	Θεωρητικές τιμές	Χωρίς Σκίαση	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=6$	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=8$	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=10$
n=2	5	4	4	4	3
n=3	8	6	5	5	5
n=4	9	7	6	7	6

Οι θεωρητικές τιμές αντιπροσωπεύουν των αριθμό των BSs που χρειαζόμαστε για να καλύψουμε την περιοχή δόκιμης αν χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο του κυψελοειδούς δικτύου. Οι υπόλοιπες τιμές είναι τα αποτελέσματα του GR αλγόριθμου του Πίνακα 3 και αντιπροσωπεύουν των αριθμό των BSs που υπολογίσαμε από την εξομοίωση ότι χρειαζόμαστε, για να καλύψουμε την περιοχή δόκιμης. Παρατηρούμε ότι για όλες τις περιπτώσεις που εξετάσαμε είχαμε μείωση του αριθμού των BSs.

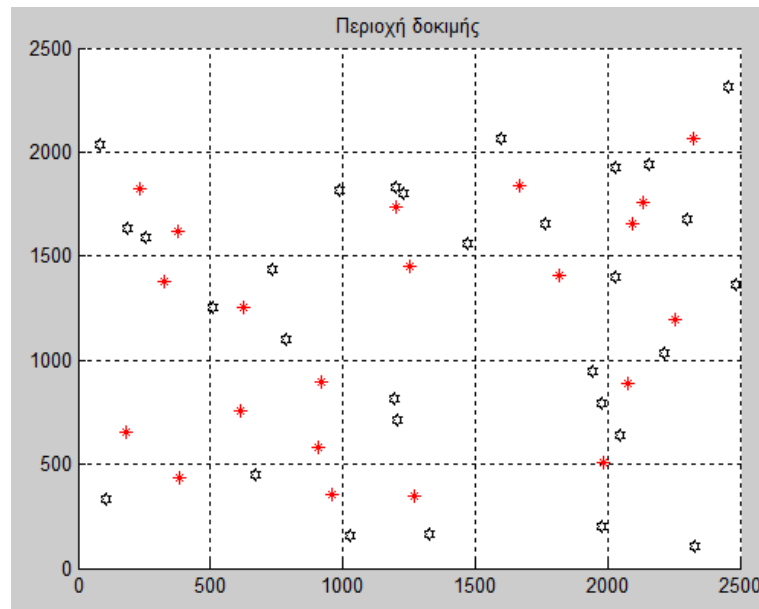
4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

Στην συνέχεια γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων για την εφαρμογή των αλγόριθμων σε όλες τις περιοχές και για όλα τα πιθανά σενάρια. Υπενθυμίζεται ότι, με βάση την ανάλυση των προηγούμενων παραγράφων, για την εκτέλεση του προγράμματος επιλέγονται 8000 επαναλήψεις και οι σταθμοί βάσης ανά ομάδα θα επιλέγονται ανάλογα με τον εκθέτη απωλειών διάδοσης.

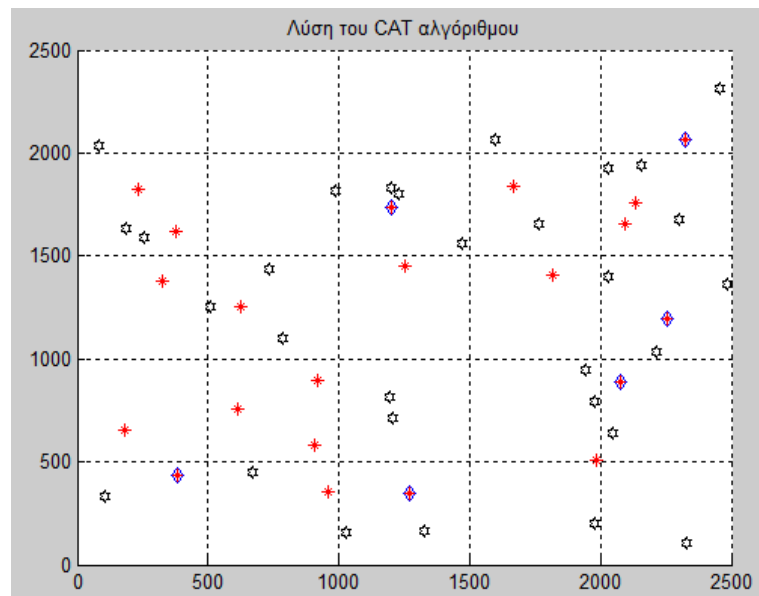
Ενδιαφέρων παρουσιάζει η παρακάτω περίπτωση στην οποία παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος CAT υπολόγισε διαφορετική λύση από τον αλγόριθμο GR αλλά με τον ίδιο αριθμό BSs.



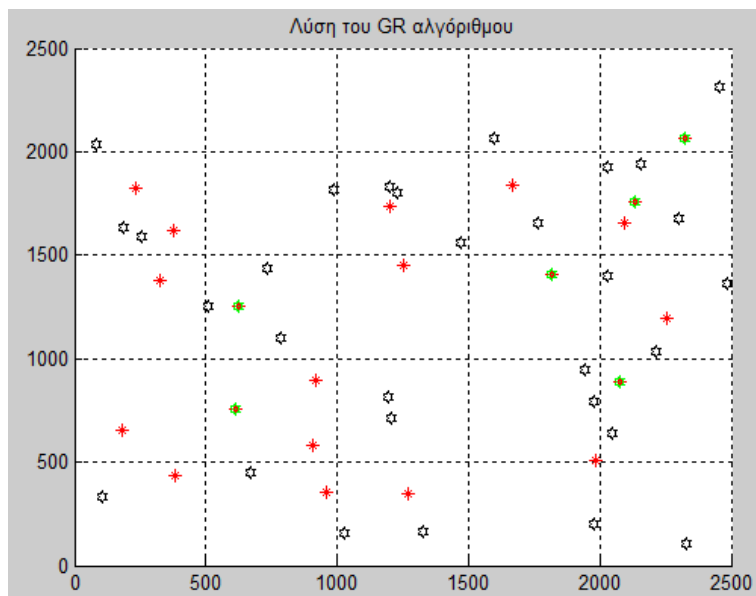
- **21 BSs με BSs/group=7, n=3, threshold=-100dB και σκίαση ($\mu=0, s=8$)**



Σχήμα 4.3.1 Περιοχή δοκιμής CN (μαύρα πολύγωνα), BSs (κόκκινα αστέρια)



Σχήμα 4.3.2 Αποτέλεσμα CAT αλγόριθμου (μπλε ρόμβοι)



Σχήμα 4.3.3 Αποτέλεσμα GR αλγόριθμου (πράσινοι ρόμβοι)

Ο συνδυαστικός αλγόριθμος CAT δίνει ως λύση 6 σταθμούς βάσης οι οποίοι μπορούν να καλύψουν την περιοχή (Σχήμα 4.3.2). Ο αλγόριθμος GR δίνει ως λύση 6 σταθμούς βάσης (Σχήμα 4.3.3) αντίστοιχα αλλά οι τέσσερις από τους έξι BSs τοποθετούνται σε διαφορετικές τοποθεσίες στην περιοχή δοκιμής.

Παρατίθεται παρακάτω ο πίνακας με τα αποτελέσματα της εξομοίωσης.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα εξομοίωσης

Σταθμοί Βάσης ανά Ομάδα (CAT/GR)					
Απώλειες Ελεύθερου Χώρου	Αριθμός BSs/group	Χωρίς Σκίαση	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=6$	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=8$	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=10$
n=2	5	4/4	4/4	4/4	3/3
n=3	7	6/6	6/6	5/5	5/5
n=4	7	7/7	7/6	7/7	6/6

Υπενθυμίζουμε ότι η στήλη «Αριθμός BSs/group» του Πίνακα 5 περιέχει τις τιμές που έχουμε ορίσει στο πρόγραμμα



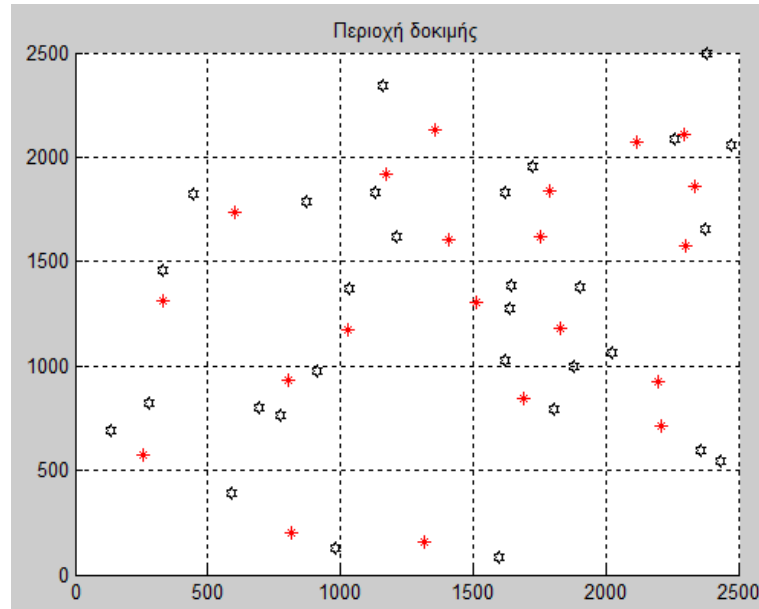
4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΧΩΡΙΣ ΝΑ ΟΡΙΣΟΥΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ BSs ΑΝΑ ΟΜΑΔΑ

Από τα προηγούμενα συμπεραίνουμε ότι, για να επιτύχουμε την βέλτιστη λύση είναι σημαντικό να κάνουμε σωστή πρόβλεψη των σταθμών βάσης ανά ομάδα. Επίσης παρατηρήθηκε ότι, όταν ο αριθμός των BSs/group που επιλέγουμε τείνει να είναι ίδιος με τον αριθμό των BSs/group της βέλτιστης λύσης, τότε ο αλγόριθμος δίνει καλύτερα αποτελέσματα. Λόγω των προαναφερθέντων θα εκτελέσουμε το πρόγραμμα για όλα τα πιθανά σενάρια και για 8000 επαναλήψεις χωρίς όμως να ορίσουμε στο πρόγραμμα εμείς τους σταθμούς βάσης ανά ομάδα και αφήνοντας το ίδιο να επιλέξει. Αυτό επιτυγχάνεται τρέχοντας αρχικά τον GR αλγόριθμο. Αυτό θα μας δώσει ένα αποτέλεσμα το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε, ορίζοντας τον αριθμό των BSs/group ίσο με τον αριθμό των σταθμών βάσης που υπολόγισε ο GR αλγόριθμος και θα ακολουθηθεί η κανονική διαδικασία εύρεσης της βέλτιστης λύσης. Έτσι είμαστε σίγουροι ότι η ομαδοποίηση που επιλέγουμε στους σταθμούς βάσης είναι μικρή. Αυτό θα μας είναι χρήσιμο σε νέες περιοχές με νέα δεδομένα στις οποίες η τεχνική αυτή θα μας δώσει μια πρώτη εικόνα για το που θα τείνει η βέλτιστη λύση. Τα αποτελέσματα αυτά θα συγκριθούν με τα προηγούμενα.

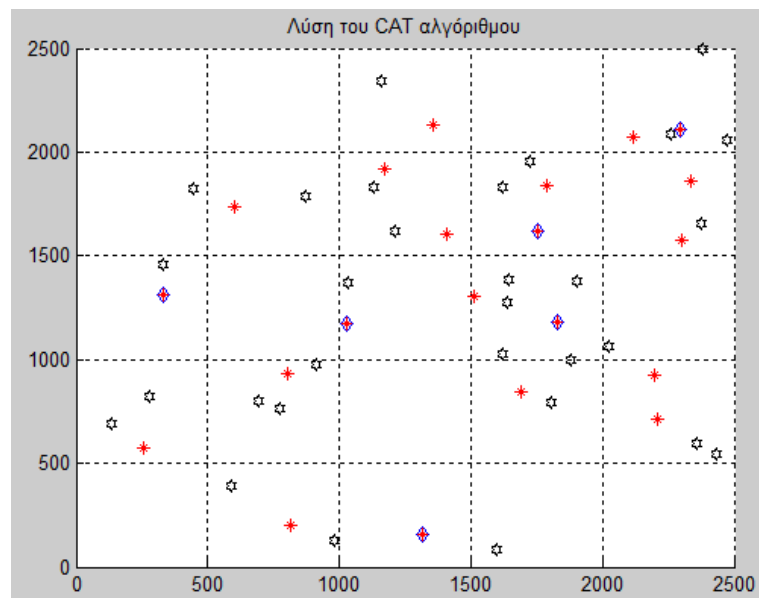
Ενδιαφέρων παρουσιάζουν οι παρακάτω περιπτώσεις στις οποίες παρατηρούμε ότι η αύξηση της σκίασης από ($\mu=0, s=8$) σε ($\mu=0, s=10$) δίνει αποτελέσματα βελτιωμένα κατά δυο σταθμούς βάσης.



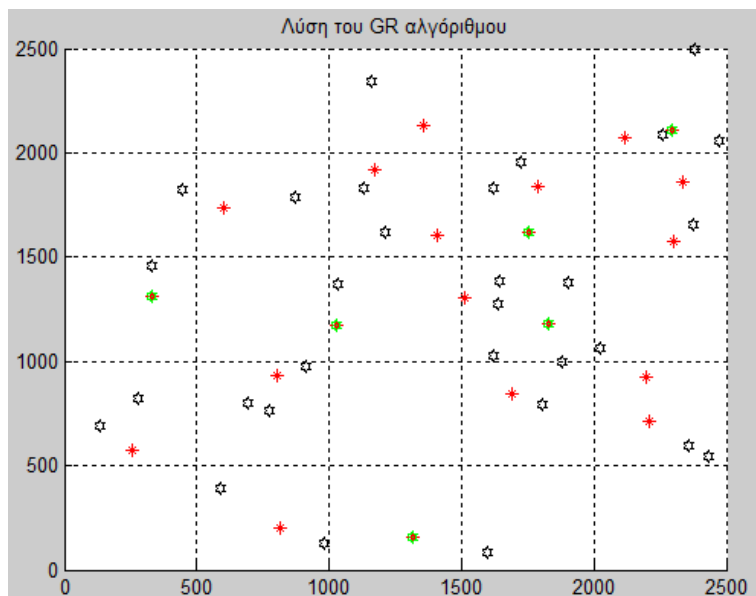
➤ **21 BSs με $n=3$, $\text{threshold}=-100\text{dB}$ και σκίαση ($\mu=0, \sigma=8$)**



Σχήμα 4.4.1 Περιοχή δοκιμής CN (μαύρα πολύγωνα), BSs (κόκκινα αστέρια)



Σχήμα 4.4.2 Αποτέλεσμα CAT αλγόριθμου (μπλε ρόμβοι)

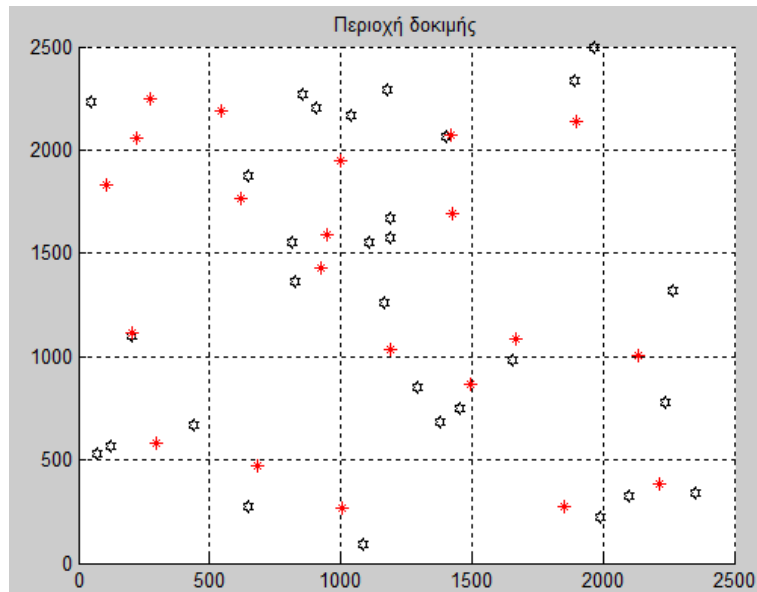


Σχήμα 4.4.3 Αποτέλεσμα GR αλγόριθμου (πράσινοι ρόμβοι)

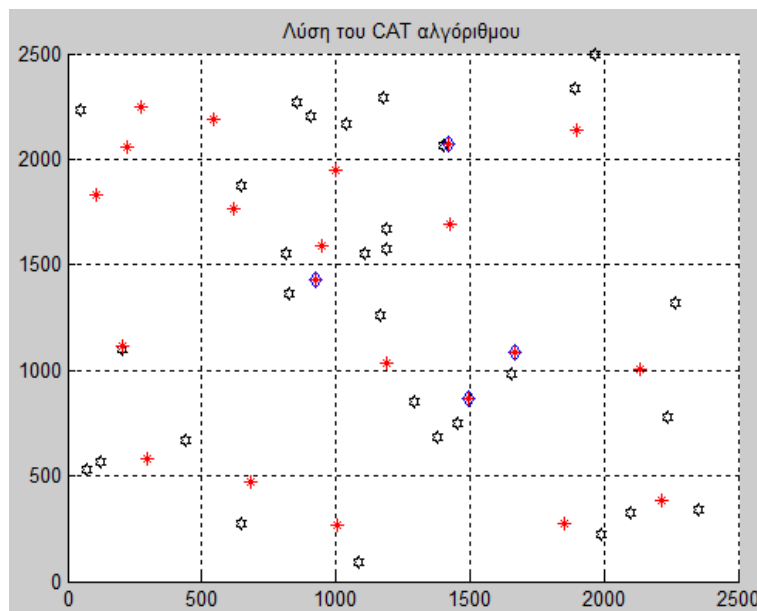
Ο συνδυαστικός αλγόριθμος CAT δίνει ως λύση 6 σταθμούς βάσης οι οποίοι μπορούν να καλύψουν την περιοχή (Σχήμα 4.4.2). Ο αλγόριθμος GR δίνει ως λύση 6 σταθμούς βάσης αντίστοιχα (Σχήμα 4.4.3).



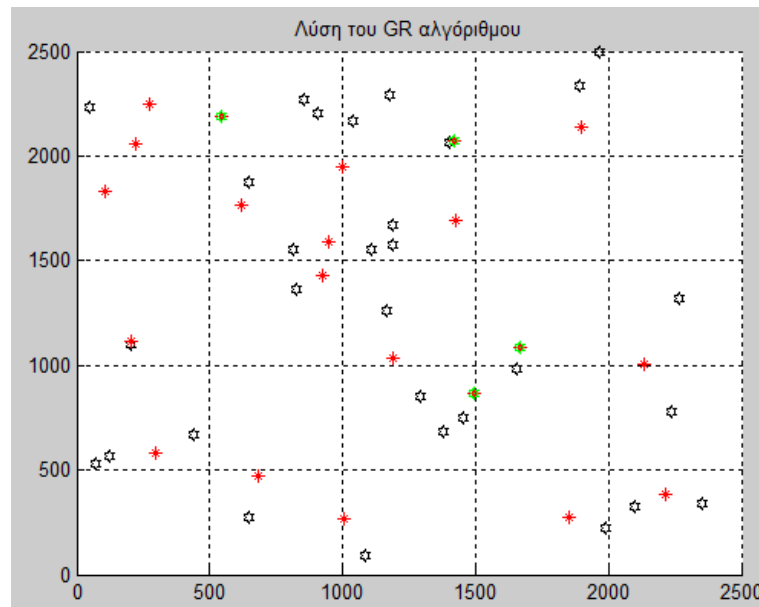
➤ **21 BSs με $n=3$, threshold=-100dB και σκίαση ($\mu=0, s=10$)**



Σχήμα 4.4.5 Περιοχή δοκιμής CN (μαύρα πολύγωνα), BSs (κόκκινα αστέρια)



Σχήμα 4.4.6 Αποτέλεσμα CAT αλγόριθμου (μπλε ρόμβοι)



Σχήμα 4.4.7 Αποτέλεσμα GR αλγόριθμου (πράσινοι ρόμβοι)

Ο συνδυαστικός αλγόριθμος CAT δίνει ως λύση 4 σταθμούς βάσης οι οποίοι μπορούν να καλύψουν την περιοχή (Σχήμα 4.4.6). Ο αλγόριθμος GR δίνει ως λύση 4 σταθμούς βάσης αντίστοιχα (Σχήμα 4.4.7).

Παρατίθεται παρακάτω ο πίνακας με τα αποτελέσματα της εξομοίωσης χωρίς να ορίζουμε αριθμό σταθμών βάσης ανά ομάδα.

Πίνακας 6: Αποτελέσματα εξομοίωσης χωρίς να ορίζουμε αριθμό σταθμών βάσης ανά ομάδα.

Σταθμοί Βάσης ανά Ομάδα (CAT/GR)				
Απώλειες Ελεύθερου Χώρου	Χωρίς Σκίαση	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=6$	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=8$	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=10$
n=2	5/5	5/5	4/4	4/4
n=3	6/6	7/7	6/6	4/4
n=4	8/7	7/7	8/8	7/7



4.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΔΥΟ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Τα αποτελέσματα των προηγούμενων δυο ενοτήτων παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα και θα κάνουμε σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυο αυτών τεχνικών.

Πίνακας 7: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

Σταθμοί Βάσης ανά Ομάδα (CAT/GR)				
Απώλειες Ελεύθερου Χώρου	Χωρίς Σκίαση	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=6$	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=8$	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=10$
n=2	4/4	4/4	4/4	3/3
n=3	6/6	6/6	5/5	5/5
n=4	7/7	7/6	7/7	6/6
Χωρίς να ορίσουμε Σταθμούς Βάσης ανά Ομάδα				
n=2	5/5	5/5	4/4	4/4
n=3	6/6	7/7	6/6	4/4
n=4	8/7	7/7	8/8	7/7

Από τον Πίνακα 7 παρατηρούμε ότι ορίζοντας εμείς τον αριθμό των BSs/group παίρνουμε καλύτερα αποτελέσματα. Παρόλα αυτά, επειδή τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν πολύ αλλά είναι κοντινά, θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε την δεύτερη τεχνική για να κάνουμε μια αρχική πρόβλεψη για τον αριθμό των BSs/group σε μια νέα περιοχή ή όταν αλλάξουν κάποιες παράμετροι όπως η σκίαση και οι απώλειες ελεύθερου χώρου.

Ένα άλλο σημείο που χρειάζεται να τονίσουμε είναι ο χρόνος υλοποίησης των δυο τεχνικών. Με την πρώτη τεχνική για να βρούμε την βέλτιστη λύση χρειάστηκε να εξετάσουμε τα αποτελέσματα για διαφορετικό αριθμό (4,5,6,7,8,9,10) σταθμών βάσης ανά ομάδα. Ενώ με την δεύτερη τεχνική μπορούμε με μια φορά που θα εκτελέσουμε το πρόγραμμα να βρούμε που τείνει η βέλτιστη λύση γλιτώνοντας μας αρκετό χρόνο.



Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται επίσης η αποτελεσματικότητα του CAT αλγόριθμου που σχεδόν όλες τις φορές (έκτος από μια περίπτωση σε κάθε τεχνική) υπολόγισε την βέλτιστη λύση, αφού ο GR αλγόριθμος δεν μπόρεσε να μειώσει άλλο τους σταθμούς βάσης.

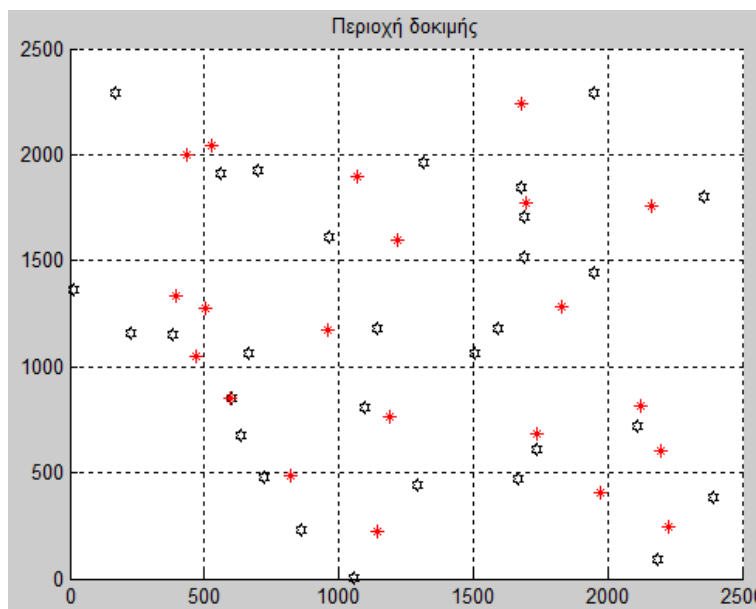


4.6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

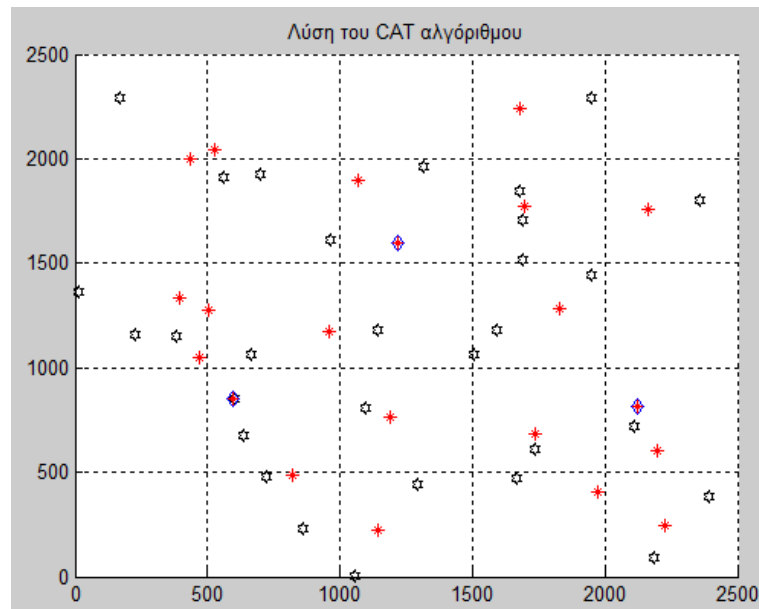
Παρατηρώντας όλα τα προηγούμενα αποτελέσματα, συμπεραίνουμε ότι, στην τελική λύση καθοριστικός παράγοντας είναι ο τυχαίος ορισμός των CN. Για να παρακάμψουμε την τυχαιότητα εμφάνισης των σημείων έλεγχου θα χρησιμοποιήσουμε σταθερά σημεία έλεγχου και θα εκτελέσουμε τον αλγόριθμο για όλα τα προηγούμενα σενάρια. Υπενθυμίζεται ότι, με βάση την ανάλυση των προηγούμενων παραγράφων, για την εκτέλεση του προγράμματος επιλέγονται 8000 επαναλήψεις και οι σταθμοί βάσης ανά ομάδα θα επιλέγονται ανάλογα με τον εκθέτη απωλειών διάδοσης.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι παρακάτω περιπτώσεις στις οποίες έχουμε σταθερή σκίαση ($\mu=0$ και $s=8$) και αλλάζουμε τον εκθέτη απωλειών και παρατηρούμε ότι κάθε αύξηση του εκθέτη απωλειών κατά μια μονάδα αυξάνει κατά δυο τους σταθμούς βάσης κάθε φορά.

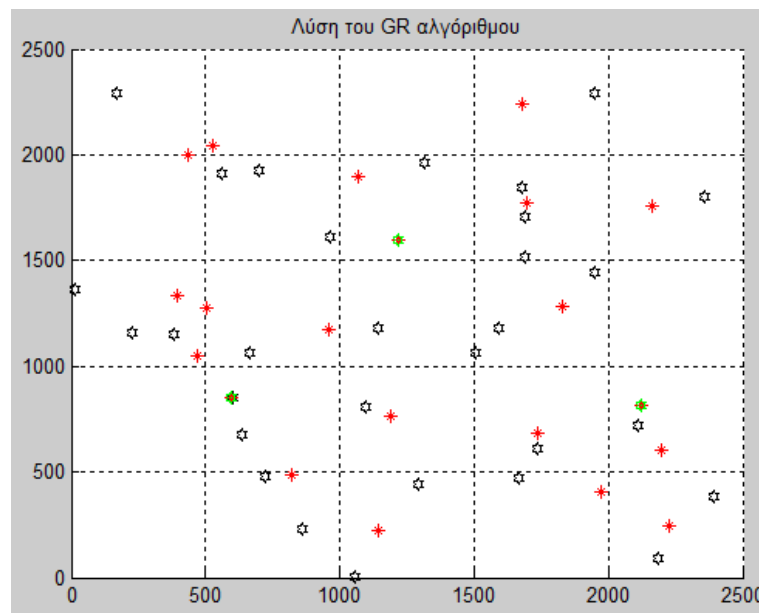
- **21 BSs με BSs/group=5, n=2 threshold=-95dB και σκίαση ($\mu=0, s=8$)**



Σχήμα 4.6.1 Περιοχή δοκιμής CN (μαύρα πολύγωνα), BSs (κόκκινα αστέρια)



Σχήμα 4.6.2 Αποτέλεσμα CAT αλγόριθμου (μπλε ρόμβοι)

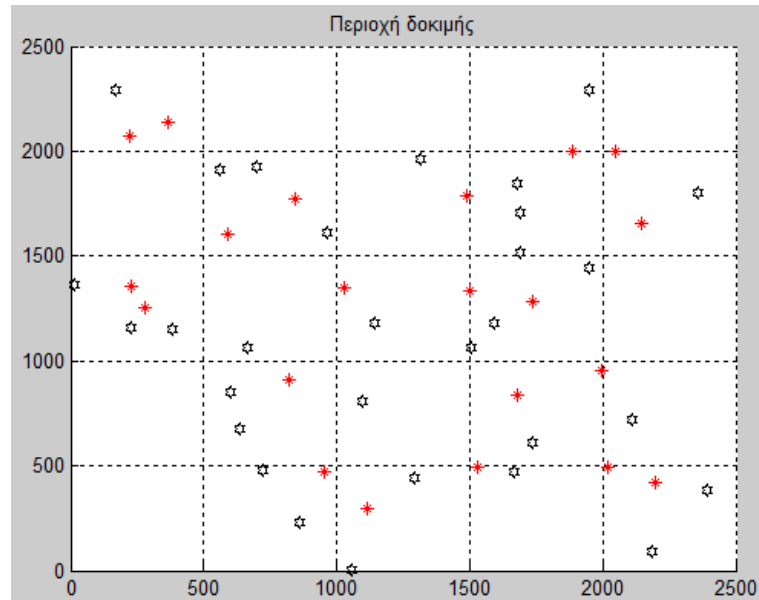


Σχήμα 4.6.3 Αποτέλεσμα GR αλγόριθμου (πράσινοι ρόμβοι)

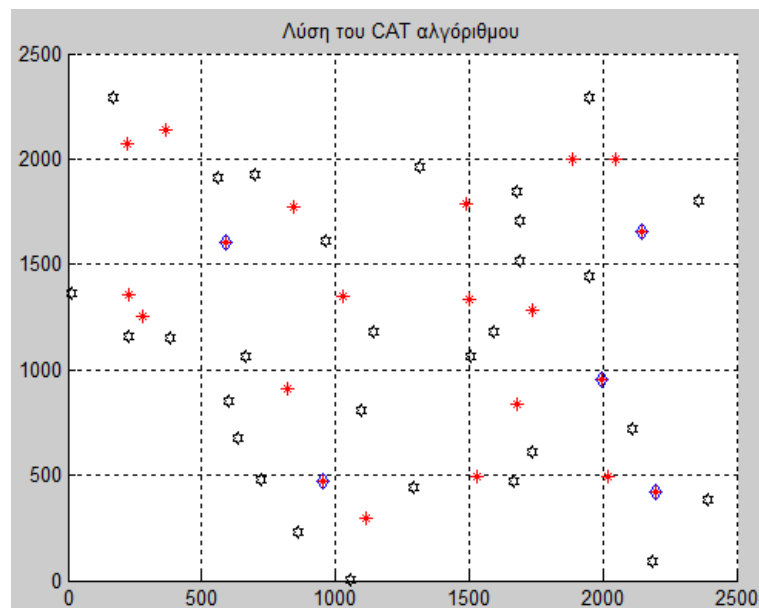
Ο συνδυαστικός αλγόριθμος CAT δίνει ως λύση 3 σταθμούς βάσης οι οποίοι μπορούν να καλύψουν την περιοχή (Σχήμα 4.6.2). Ο αλγόριθμος GR δίνει ως λύση 3 σταθμούς βάσης αντίστοιχα (Σχήμα 4.6.3).



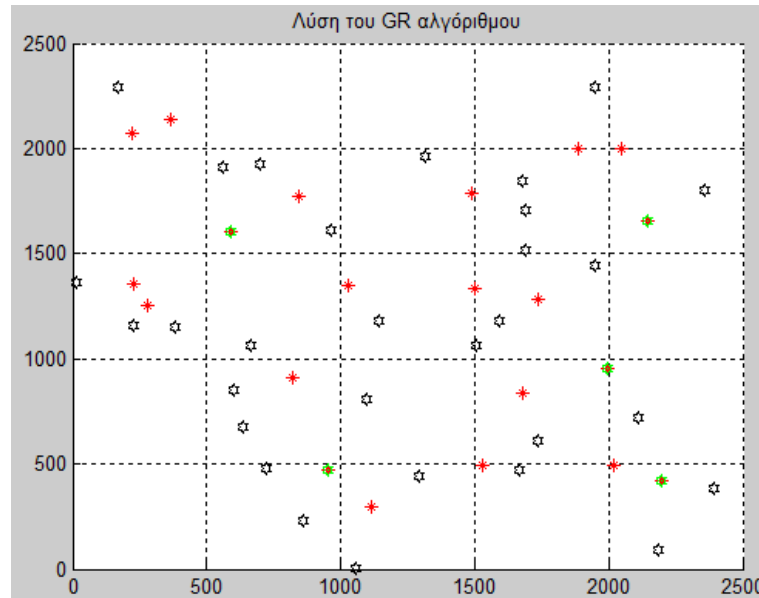
- **21 BSs με BSs/group=7, $n=3$ threshold=-100dB και σκίαση ($\mu=0, s=8$)**



Σχήμα 4.6.4 Περιοχή δοκιμής CN (μαύρα πολύγωνα), BSs (κόκκινα αστέρια)



Σχήμα 4.6.5 Αποτέλεσμα CAT αλγόριθμου (μπλε ρόμβοι)

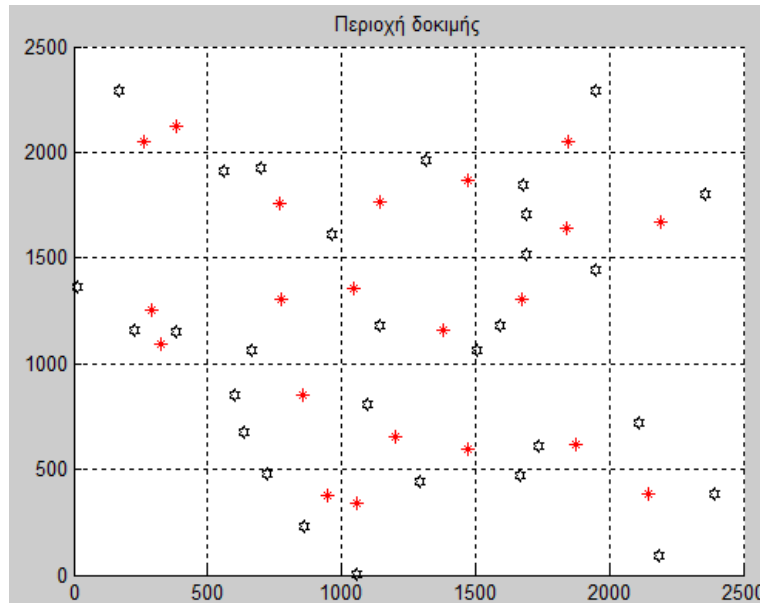


Σχήμα 4.6.6 Αποτέλεσμα GR αλγόριθμου (πράσινοι ρόμβοι)

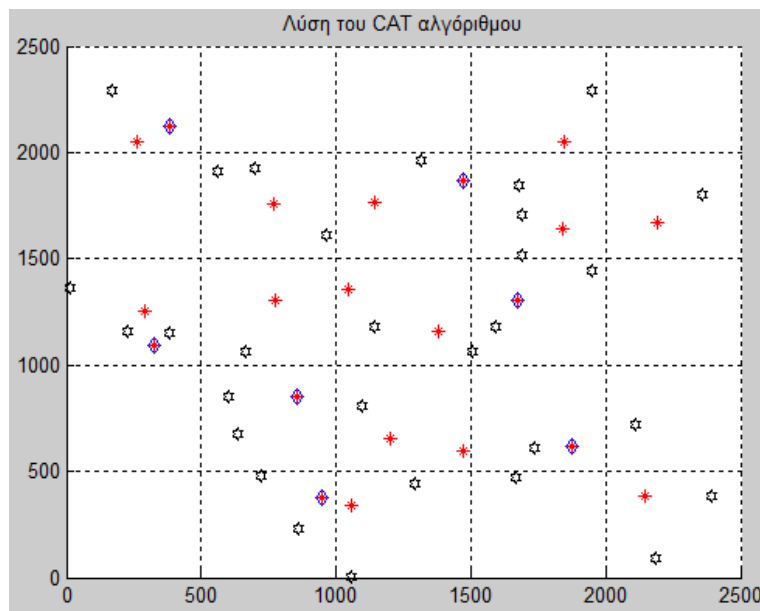
Ο συνδυαστικός αλγόριθμος CAT δίνει ως λύση 5 σταθμούς βάσης οι οποίοι μπορούν να καλύψουν την περιοχή (Σχήμα 4.6.5). Ο αλγόριθμος GR δίνει ως λύση 5 σταθμούς βάσης αντίστοιχα (Σχήμα 4.6.6).



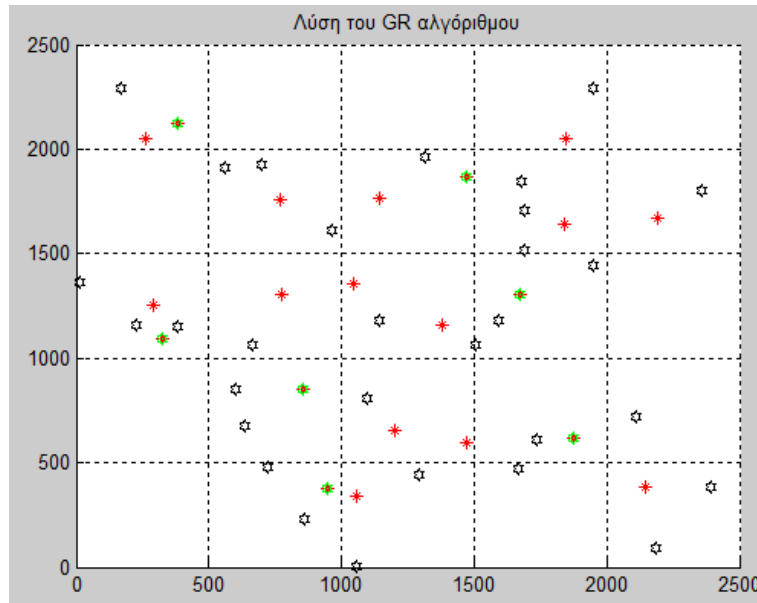
- **21 BSs με BSs/group=7, n=4 threshold=-106dB και σκίαση ($\mu=0, s=8$)**



Σχήμα 4.6.7 Περιοχή δοκιμής CN (μαύρα πολύγωνα), BSs (κόκκινα αστέρια)



Σχήμα 4.6.8 Αποτέλεσμα CAT αλγόριθμου (μπλε ρόμβοι)



Σχήμα 4.6.9 Αποτέλεσμα GR αλγόριθμου (πράσινοι ρόμβοι)

Ο συνδυαστικός αλγόριθμος CAT δίνει ως λύση 7 σταθμούς βάσης οι οποίοι μπορούν να καλύψουν την περιοχή (Σχήμα 4.6.8). Ο αλγόριθμος GR δίνει ως λύση 7 σταθμούς βάσης αντίστοιχα (Σχήμα 4.6.9).

Πίνακας 8: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων με σταθερά σημεία ελέγχου

Σταθμοί Βάσης ανά Ομάδα (CAT/GR)				
Απώλειες Ελεύθερου Χώρου	Χωρίς Σκίαση	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=6$	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=8$	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=10$
$n=2$	5/5	4/4	3/3	3/3
$n=3$	6/6	7/7	5/5	4/4
$n=4$	7/7	7/7	7/7	7/6

Σε προηγούμενη ενότητα αναφέραμε ότι, όσο μεγαλώνει η σκίαση, ο αλγόριθμος βρίσκει λύσεις με μικρότερο αριθμό BSs. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε παρατηρώντας και τον Πίνακα 8. Αυτό συμβαίνει γιατί το αστικό περιβάλλον λειτουργεί



ορισμένες φορές ως κυματοδηγός για το σήμα. Τα προηγούμενα επιβεβαιώνονται και από τις μετρήσεις που έχουμε λάβει.

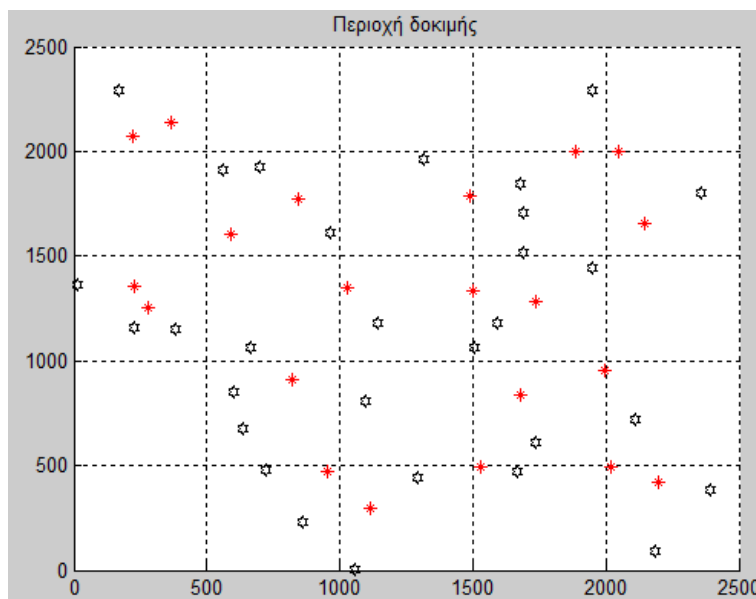


4.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΩΡΙΣ ΝΑ ΟΡΙΖΟΥΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ BSs ΑΝΑ ΟΜΑΔΑ.

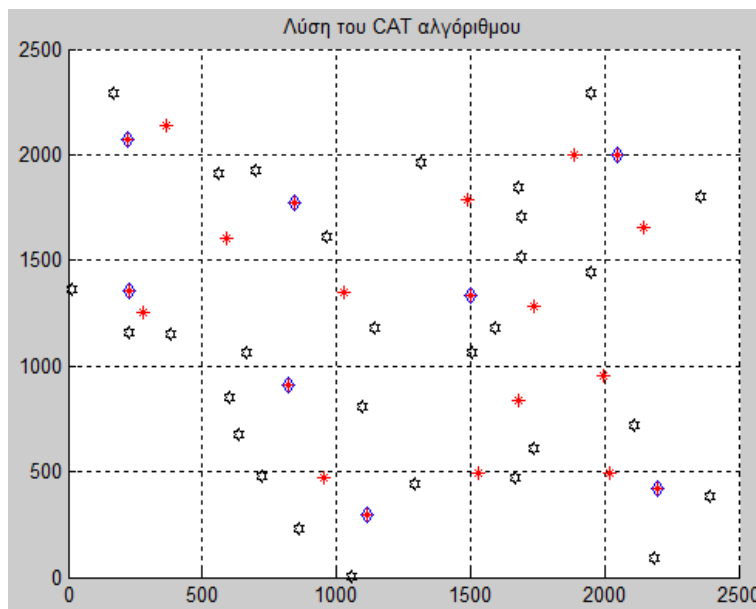
Στην ενότητα 4.4 αναφέραμε μια τεχνική για να μην ορίζουμε εμείς τους BSs/group, αλλά να επιλέγει το πρόγραμμα την ομάδα με την χρήση του αλγόριθμου GR. Σε αυτή την ενότητα θα χρησιμοποιήσουμε σταθερά σημεία ελέγχου και θα αφήσουμε το πρόγραμμα να επιλέξει τους BSs/group, ορίζοντας ότι ο αριθμός αυτός θα είναι μικρότερος κατά μια μονάδα. Εάν δηλαδή το πρόγραμμα βρει ότι η ομάδα θα αποτελείται από 7 BSs/group, εμείς αυτή την τιμή θα την μειώσουμε κατά έναν σταθμό δηλαδή 6 BSs/group.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι παρακάτω περιπτώσεις στις οποίες παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος CAT υπολόγισε διαφορετική λύση από τον αλγόριθμο GR αλλά με τον ίδιο αριθμό BSs.

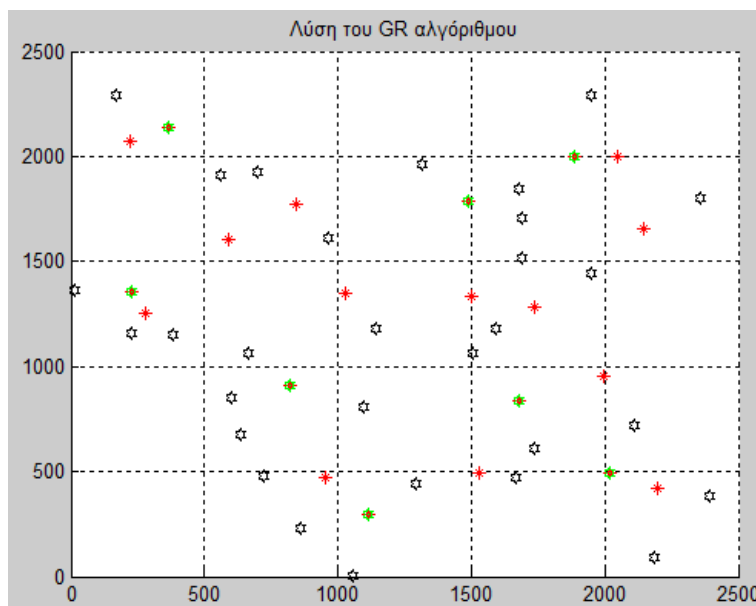
➤ 21 BSs με $n=4$ threshold=-106dB και σκίαση ($\mu=0, s=6$)



Σχήμα 4.7.1 Περιοχή δοκιμής CN (μαύρα πολύγωνα), BSs (κόκκινα αστέρια)



Σχήμα 4.7.2 Αποτέλεσμα CAT αλγόριθμου (μπλε ρόμβοι)

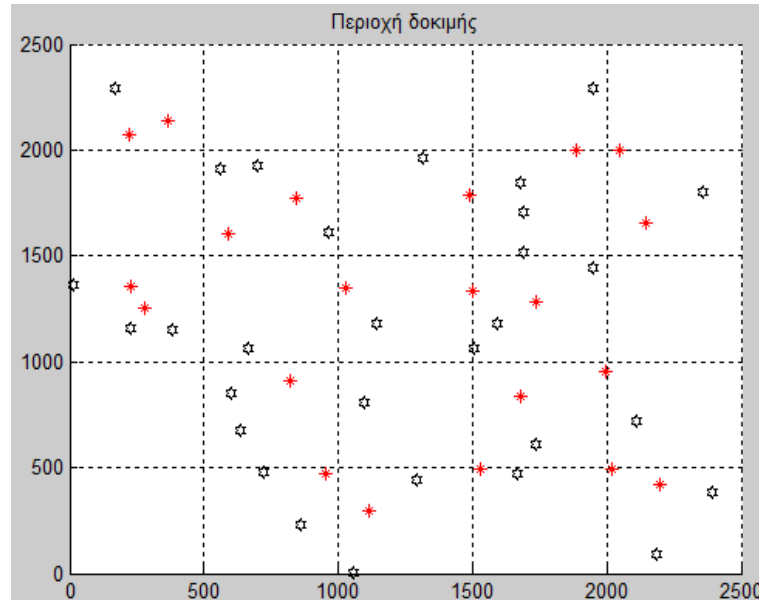


Σχήμα 4.7.3 Αποτέλεσμα GR αλγόριθμου (πράσινοι ρόμβοι)

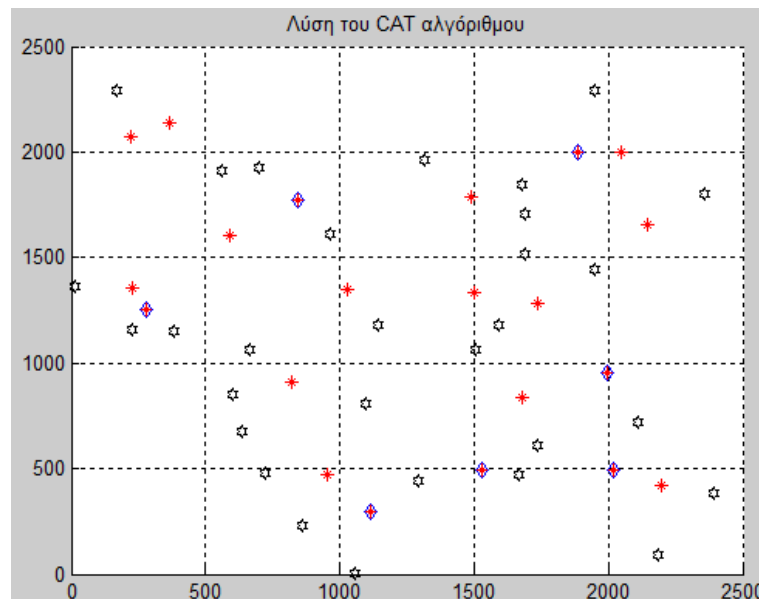
Ο συνδυαστικός αλγόριθμος CAT δίνει ως λύση 8 σταθμούς βάσης οι οποίοι μπορούν να καλύψουν την περιοχή (Σχήμα 4.7.2). Ο αλγόριθμος GR δίνει ως λύση 8 σταθμούς βάσης αντίστοιχα (Σχήμα 4.7.3).



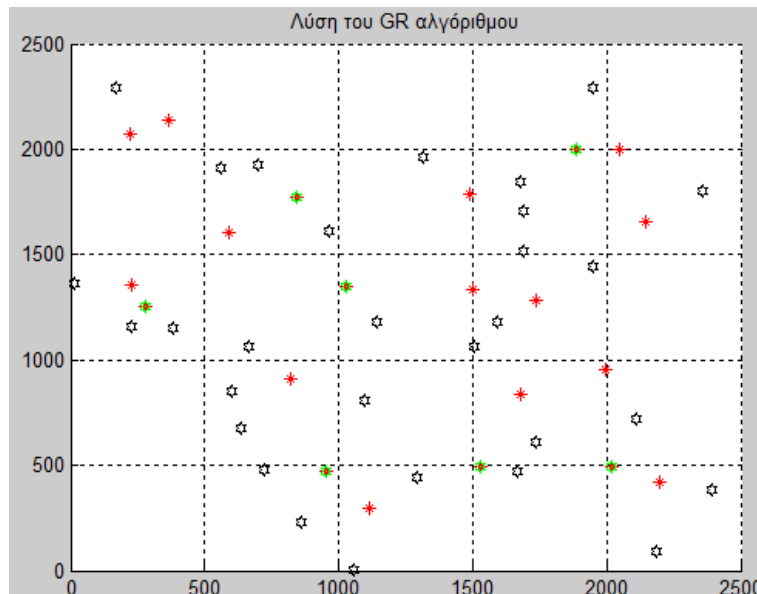
➤ **21 BSs με $n=4$ threshold=-106dB και σκίαση ($\mu=0, \sigma=10$)**



Σχήμα 4.7.4 Περιοχή δοκιμής CN (μαύρα πολύγωνα), BSs (κόκκινα αστέρια)



Σχήμα 4.7.5 Αποτέλεσμα CAT αλγόριθμου (μπλε ρόμβοι)



Σχήμα 4.7.6 Αποτέλεσμα GR αλγόριθμου (πράσινοι ρόμβοι)

Ο συνδυαστικός αλγόριθμος CAT δίνει ως λύση 7 σταθμούς βάσης οι οποίοι μπορούν να καλύψουν την περιοχή (Σχήμα 4.7.5). Ο αλγόριθμος GR δίνει ως λύση 7 σταθμούς βάσης αντίστοιχα (Σχήμα 4.7.6).

Πίνακας 9: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων με σταθερά σημεία ελέγχου και χωρίς να ορίσουμε τον αριθμό των BSs ανά ομάδα

Σταθμοί Βάσης ανά Ομάδα (CAT/GR)				
Απώλειες Ελεύθερου Χώρου	Χωρίς Σκίαση	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=6$	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=8$	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=10$
$n=2$	5/5	4/4	3/3	3/3
$n=3$	7/7	7/7	6/6	6/6
$n=4$	7/7	8/8	9/9	7/7



5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Πλεονέκτημα του αλγόριθμου CAT είναι ότι παρέχει παραπάνω από μια λύσεις, δίνοντας έτσι στο χρήστη τη δυνατότητα να επιλέξει ποια θέλει ή και να θέσει παραπάνω περιορισμούς στις υπάρχουσες λύσεις για περαιτέρω βελτιστοποίηση. Ένα πλεονέκτημα του GR αλγόριθμου είναι η απλότητά του, δηλαδή ότι έχει μικρή πολυπλοκότητα και ότι ο χρόνος εκτέλεσής του είναι πολύ μικρός. Όμως τα αποτελέσματα που προσφέρει δεν είναι τα καλύτερα. Γενικά ο αλγόριθμος CAT έχει καλύτερη απόδοση και σε συνδυασμό με τον GR αλγόριθμο μπορούν να δώσουν ρεαλιστικές λύσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Ένα από τα βασικότερα μειονεκτήματα του αλγόριθμου CAT είναι ο χρόνος υπολογισμού και η υπολογιστική ισχύ που απαιτείται για να υλοποιηθεί. Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με μεγάλες ομάδες από BSs, καθιστούν την υλοποίηση ανέφικτη. Αντίθετα ο αλγόριθμος GR είναι ταχύς, αλλά η απλότητα υλοποίησής του μας δίνει αποτελέσματα τα οποία δεν είναι ικανοποιητικά. Έτσι ο αλγόριθμος GR χρησιμοποιείται ως μέθοδος προεπεξεργασίας ή ως βοηθητικός στον αλγόριθμο CAT.

6 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ

Θα μπορούσαν να γίνουν κάποιες βελτιώσεις στο πρόγραμμα ώστε να εξελιχθεί και να δώσει ακόμα καλύτερα αποτελέσματα. Μια πρώτη βελτίωση θα ήταν η εξής: τα σημεία ελέγχου CN να χωριστούν σε πρώτης τάξης, δεύτερης τάξης και τρίτης τάξης [1], όπου και θα δίνονται στο πρόγραμμα από τον χρήστη. Τα πρώτης τάξης CN αντιπροσωπεύουν σημεία που πρέπει υποχρεωτικά να καλύπτονται από κάποιον σταθμό βάσης (έτσι όπως αντιμετωπίστηκαν όλα τα CN σε αυτό το πρόγραμμα). Τα δεύτερης τάξης CN εκπροσωπούν σημεία που η κάλυψη τους είναι επιθυμητή, εάν όμως δεν καλύπτονται από κάποιον σταθμό βάσης, που υπάρχει για να καλύπτει τα πρώτης τάξης, τότε είναι στην ευχέρεια του χρήστη να αποφασίσει εάν θα τοποθετήσει κάποιο BS για να τα καλύπτει ή όχι. Τέλος τα τρίτης τάξης CN αντιπροσωπεύουν σημεία που, εάν δεν καλύπτονται από τους BSs οι οποίοι καλύπτουν τα πρώτης τάξης, τότε δεν θα τοποθετούνται BSs για να καλυφθούν. Με αυτόν τον τρόπο, ο αριθμός των BSs που απαιτείται για να καλύψει την περιοχή, θα μειωθεί αρκετά, καθώς έτσι σταθμοί βάσης BSs θα τοποθετηθούν



υποχρεωτικά για τα πρώτης τάξης CN, οπότε ο χρήστης αποφασίζει εάν για τα δεύτερης τάξης CN θα τοποθετηθούν επιπλέον σταθμοί βάσης. Όπως έχει αναφερθεί, ο αλγόριθμος CAT εκτελείται όσες φορές ορίζει ο χρήστης και για κάθε επανάληψη δίνει μια λύση. Από το πλήθος των λύσεων επιλέγονται εκείνες με το μικρότερο κόστος, τον ελάχιστο δηλαδή αριθμό από σταθμούς βάσης και από αυτές, σε αυτή την εργασία, επιλέγεται η τελευταία λύση. Υπό τον περιορισμό να επιλέγεται εκείνη η λύση που καλύπτει μεγαλύτερο αριθμό από σημεία ελέγχου πρώτης τάξης, το αποτέλεσμα που δίνει ο αλγόριθμος είναι ακόμα καλύτερο.

Μια περαιτέρω βελτίωση θα σημειωνόταν εάν η αρχική περιοχή θα μπορούσε να χωριστεί σε υποπεριοχές [2] και ανάλογα με τις απαιτήσεις που έχει η κάθε υποπεριοχή σε κίνηση (Erlang), να τοποθετηθούν σταθμοί βάσης για να την καλύψουν. Έτσι θα δοθεί προτεραιότητα σε υποπεριοχές με υψηλές απαιτήσεις σε Erlang, θα τοποθετηθούν δηλαδή σταθμοί βάσης BS για να καλύψουν αυτές τις απαιτήσεις και σε υποπεριοχές όπου υπάρχει χαμηλή κίνηση θα τοποθετηθούν λίγοι BSs. Όλες αυτές οι πληροφορίες θα δίνονται σαν είσοδοι στο πρόγραμμα, το οποίο, έχοντας αυτούς τους περιορισμούς (δηλαδή κάλυψη υποχρεωτικά μόνο στα πρώτης τάξης CN, έμφαση σε υποπεριοχές με υψηλές απαιτήσεις σε κίνηση) θα δώσει ακόμα καλύτερη τελική λύση.



7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Προηγμένα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα και Δίκτυα» του τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου. Αντικείμενο της εργασίας ήταν η Αυτοματοποιημένη Τοποθέτηση Σταθμών Βάσης για Βέλτιστη Ραδιοκάλυψη σε Ασύρματα Δίκτυα.

Εξετάστηκαν δύο αλγόριθμοι βελτιστοποίησης, ο συνδυαστικός Αλγόριθμος για Ολική Βελτιστοποίηση ή Combination Algorithm for Total Optimization (CAT) και ο Απληστος Αλγόριθμος ή Greedy Algorithm (GR). Και οι δύο αλγόριθμοι προσομοιώθηκαν σε γλώσσα προγραμματισμού Matlab. Αρχικά εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος CAT σε τυχαία υποσύνολα των δυνατών θέσεων των BSs και στη συνέχεια εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος GR στο σύνολο των λύσεων που δίνει ο αλγόριθμος CAT με σκοπό την μείωση ακόμα περισσότερο του αριθμού σταθμών βάσης, λαμβάνοντας υπόψη ή μη τις απώλειες σκίασης. Οι αρχικές παράμετροι που ορίστηκαν στο πρόγραμμα αφορούσαν μια περιοχή 2500m x 2500m με 30CN και 21 BSs.

Αρχικά προσδιορίστηκε ο αριθμός των επαναλήψεων εκτέλεσης του αλγόριθμου CAT. Δεδομένου ότι η προσημείωση βασίζεται στην προσεγγιστική λογική του αλγόριθμου CAT, δηλαδή να δημιουργούμε τυχαία υποσύνολα από σταθμούς βάσης και να αναζητούμε εκεί την βέλτιστη λύση. Θα πρέπει να βρεθεί ο κατάλληλος αριθμός των επαναλήψεων ώστε να εξασφαλίσουμε, ότι έχουμε πάρει όσο το δυνατό περισσότερα συνδυασμούς από τυχαία υποσύνολα των BSs. Σε κάθε επανάληψη δημιουργούνται τυχαία, διαφορετικά υποσύνολα (με τον ίδιο αριθμό σταθμών βάσης). Ο αλγόριθμος εκτελέστηκε διαδοχικά για διαφορετικό αριθμό επαναλήψεων 1000, 2000, 4000, 6000 κλπ, λαμβάνοντας υπόψη ή μη τις απώλειες σκίασης. Από όλα τα αποτελέσματα βγαίνει το συμπέρασμα ότι υπάρχει σύγκλιση για όλες τις περιπτώσεις. Επομένως, η καλύτερη επιλογή είναι ο αλγόριθμος CAT να εκτελείται για 8000 επαναλήψεις.

Στη συνέχεια εξετάστηκαν τα αποτελέσματα του αλγόριθμου CAT για διαφορετικό αριθμό σταθμών βάσης ανά ομάδα. Ο αλγόριθμος εκτελείται διαδοχικά για 4, 5, 6, 7, 8, 9 σταθμούς βάσης ανά ομάδα και για 8000 επαναλήψεις για όλα τα σενάρια. Παρατηρήθηκε



ότι για κάθε διαφορετική παραμετροποίηση, των παραγόντων που επηρεάζουν την Ραδιοκάλυψη που παρέχει ο BS, βρέθηκε διαφορετική λύση. Έτσι η καλύτερη ομαδοποίηση που βρήκε ο αλγόριθμος είναι: για $n=2$ ήταν αυτή των 5 BSs/group, για $n=3$ και $n=4$ εκείνη των 7 BSs/group. Βάσει αυτών, προέκυψαν τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα.

Σταθμοί Βάσης ανά Ομάδα (CAT/GR)				
Απώλειες Ελεύθερου Χώρου	Χωρίς Σκίαση	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=6$	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=8$	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=10$
n=2	4/4	4/4	4/4	3/3
n=3	6/6	6/6	5/5	5/5
n=4	7/7	7/6	7/7	6/6

Παρατηρούμε ακόμα ότι η σκίαση που εφαρμόστηκε βοήθησε το σήμα ως προς την ισχύ του και επομένως βοήθησε και το πρόγραμμα να υπολογίσει λύσεις με λιγότερους BSs. Τέλος φαίνεται ξεκάθαρα η αποτελεσματικότητα του CAT αλγόριθμου που σχεδόν πάντα βρίσκει την βέλτιστη λύση χωρίς την βοήθεια του GR αλγόριθμου.

Για να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι για $n=2$ χρειαζόμαστε 5 BSs/group, για $n=3$ και $n=4$ χρειαζόμαστε 7 BSs/group έπρεπε να εξετάσουμε όλους τους συνδυασμούς από 4 έως 10. Διαδικασία η οποία απαιτεί αρκετό χρόνο για την υλοποίηση της. Για τον λόγο αυτόν χρησιμοποιήσαμε τον GR αλγόριθμο ως εργαλείο επιλογής του αριθμού των BSs/group. Από τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι είναι κοντά στα αποτελέσματα που βρήκαμε ψάχνοντας την σύγκλιση ως προς τον αριθμό των BSs/group και ο χρόνος ήταν πολύ μικρότερος αφού χρειάστηκε να εκτελέσουμε το πρόγραμμα μόνο μια φορά και όχι για κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Έτσι καταλήξαμε ότι ο GR αλγόριθμος ως εργαλείο επιλογής του αριθμού των BSs/group μας δίνει μια πρώτη εικόνα για το που τείνει η βέλτιστη λύση και μας γλιτώνει από αρκετό χρόνο ψαξίματος.

Παρόλ' αυτά σε όλα τα αποτελέσματα που λάβαμε, υπήρχε ακόμα ο παράγοντας της τυχαίας τοποθέτησης των σημείων έλεγχου. Για να παρακάμψουμε την τυχαιότητα αυτή, εκτελέσαμε τους αλγόριθμους με σταθερά σημεία ελέγχου. Τα αποτελέσματα των



μετρήσεων που λάβαμε φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές με ή χωρίς τυχαία σημεία έλεγχου.

Σταθμοί Βάσης ανά Ομάδα (CAT/GR)				
Απώλειες Ελεύθερου Χώρου	Χωρίς Σκίαση	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=6$	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=8$	Με Σκίαση $\mu=0$ και $s=10$
n=2	5/5	4/4	3/3	3/3
n=3	6/6	7/7	5/5	4/4
n=4	7/7	7/7	7/7	7/6

Εν κατακλείδι μπορούμε να πούμε ότι σε όλα τα σενάρια που εκτελέσαμε βρήκαμε λύσεις που θεωρούνται βέλτιστες αφού ικανοποιούν τα κριτήρια που είχαμε θέσει αρχικά.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] A.Molina , A.R.Nix , G.EAthanasiadou , “*The effects of control node density in cellular network planning using the combination algorithm for total optimisation (CAT)*”, IEEE PIMRC '00 , London , UK , September 2000 .
- [2] A.Molina , A.R.Nix , G.EAthanasiadou , “*Cellular network capacity planning using the combination algorithm for total optimisation*”, IEEE VTC'00 , Tokyo , Japan , May 2000 .
- [3] A.Molina , G.E.Athanasiadou and A.R.Nix , “*The Automatic Location of Base-Stations for optimised cellular coverage: A new combinatorial Approach*”, IEEE VTC '99 , pp. 606-610 , Texas , USA ,16-19 May 1999 .
- [4] A.Molina, A.R.Nix, G.EAthanasiadou, “*Optimised base-station location algorithm for next generation microcellular networks*”, IEE Electronics Letters, 30 March 2000 , vol. 36 , no 7 , 30 pp. 668-669 .
- [5] P. Calegari, F. Guidec, P. Kuonen , F. Nielsen , “*Combinatorial optimization algorithms for radio network planning* ”, Volume 263 , Issues 1-2, Pages 235-245 , 28 July 2001.
- [6] P. Calegari, F. Guidec, P. Kuonen, B. Chamaret, S. Ubeda, S. Josselin, D. Wagner, M. Pizarroso, “*Radio Network Planning with Combinatorial Optimisation Algorithms*”, ACTS Mobile Telecommunications Summit 96
- [6] K. Kedem, I. Rabaev, N. Sokolovsky, “*Algorithms for Placing and Connecting Facilities and their Comparative Analysis*”
- [7] R. Menolascino, M. Pizarroso, ”*STORMS Project Final Report*”, AC016, *Software Tools for the Optimisation of Resources in Mobile Systems*”, April 1999
- [8] T.Rappaport “*Ασύρματες επικοινωνίες Αρχές και πρακτική*” Εκδόσεις Μ. Γκιούρδα
- [9] Μ. Ε. Θεολόγου, “*Δίκτυα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών*”, Εκδόσεις Τζιόλα
- [10] Α. Κανάτας, Φ. Κωνσταντίνου, Γ. Πάντος, “*Συστήματα κινητών επικοινωνιών*”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου



Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου
Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Προηγμένα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα και Δίκτυα

Διευθύνσεις στο διαδίκτυο

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Mobile_Telecommunications_System
UMTS, Wikipedia Free Encyclopedia
- [2] <http://en.wikipedia.org/wiki/GSM>
GSM, Wikipedia Free Encyclopedia



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρακάτω παρατίθεται ολόκληρος ο κώδικας σε Matlab R2010a. Ο κώδικας έχει διαρθρωθεί σε συναρτήσεις, μία σε κάθε αρχείο, και ένα κύριο script αρχείο το οποίο καλεί όλες τις συναρτήσεις.

Π1 Κύριο script αρχείο "auto_location.m"

```
% δημιουργία της περιοχής , τυχαία εισαγωγή των CN και εισαγωγή των BS

clear;
close all;
clc
% Initialisations
n=2; % ο εκθέτης απωλειών
THRESHOLD=-95;%Συνδυάζεται με τον εκθέτη απωλειών.
%Για n=2 threshold=-95dB για n=3 threshold=-100dB και για n=4
%threshold=-106dB.
D0=100;% Η αποσταση αναφοράς
Gt=1; Gr=1;% Gains
NUM_CN=20; NUM_BS=11;% Number of CN and BS
MAX_DIST=2500; %Area
c=3*10^8; f=1.8*10^9; lamda=c/f;
mu=0; s=10;% Χσ(dB) τυχαία μεταβλητή Gauss, με μέση τιμή(mu) και
% τυπική απόκλιση (s)(dB) η ενεργοποίηση του γίνεται απο την
% function cover
BSperGroup=5;% BSs per group
num_count=8000;% how many iterations for CAT
total_best_sol=zeros(NUM_BS,num_count);
cn=rand(NUM_CN,2)*MAX_DIST; % αν θελουμε να εχουμε τυχαια σημεια για cn
%load auto_location cn; % αν θελουμε να εχουμε σταθερα σημεια για cn
figure(1); hold on;
title('Περιοχή δοκιμής');
plot(cn(:, 1), cn(:, 2), 'kh');
bs=zeros(NUM_BS,2);
grid on;
for i = 1:NUM_BS
    % load auto_location bs;
    [bs(i,1), bs(i,2)]=ginput(1);
    plot(bs(i,1), bs(i,2), 'r*');
end

[cover,pl_d,d]=cover (NUM_CN,
NUM_BS,bs,cn,n,THRESHOLD,lamda,D0,Gr,Gt,mu,s);

%[ct] = combinations( NUM_CN,NUM_BS,cover);
```



```
% Έλεγχος για τον υπάρχει κάλυψη σε όλη την περιοχή μετά την τοποθέτηση των BSs
K=any(cover);
KK=logical(ones(1,NUM_CN));
tf = isequal(K,KK);
if tf==1
%αν θελουμε ενεργοποιουμαι τον greedy_algorithm για να μας βγαλει το
%μικροτερο αριθμο BSs per group
%[greedy,BSperGroup]=greedy_algorithm(cover,NUM_BS,NUM_CN);

count=0; %Μετρητης για το ποσες φορες θα εκτελεστει ο CAT
[best_sol,count] = randomsplit(cover,NUM_BS,BSperGroup,count,NUM_CN);
if isempty(best_sol)==0
    g=size(best_sol,2);
    for i=1:g
        total_best_sol(i,count)= best_sol(1,i);
    end
end
while (count<num_count)
    [best_sol,count] = randomsplit(cover,NUM_BS,BSperGroup,count,NUM_CN);
    [x,y]=size(best_sol);
    for i=1:y
        total_best_sol(i,count)=best_sol(1,i);
    end
end
for i=1:NUM_BS
    B(i,1)=size(find(sum(total_best_sol(i,:),1)>0), 2);
end
r=find(B==0);
total_best_sol(r,:)=[];
D=sum(total_best_sol);
r=find(D==0);
total_best_sol(:,r)=[];
[q,w]=size(total_best_sol);
TF = isempty(total_best_sol);
if TF==1
    disp('Δεν βρέθηκαν αποτελέσματα');
    break;
end
for i=1:w
    MNM(:,i)=size(find(total_best_sol(:,i)>0),1);
end
total_best_sol

L=min(MNM);
for i=1:w
    if MNM(1,i)==L
        the_best_sol=total_best_sol(:,i);
    end
end
the_best_sol
%Υπολογισμος του greedy algorithm για ολα τα total_best_sol
[GR,the_best_GR]=greedy_after_cat(cover,total_best_sol)
```




```
% Τοποθέτηση cn και καλύτερων λύσεων BS στην περιοχή
figure (2);hold on;
grid on;
title('Λύση του CAT αλγόριθμου');
plot(cn(:, 1), cn(:, 2),'kh');
plot(bs(:, 1), bs(:, 2),'r*');
for i=1:size(the_best_sol,1)
    if the_best_sol(i,1)~=0
        plot (bs(the_best_sol(i,1),1),bs(the_best_sol(i,1),2), 'bd');
    else
        end
end
figure (3);hold on;
grid on;
title('Λύση του GR αλγόριθμου');
plot(cn(:, 1), cn(:, 2),'kh');
plot(bs(:, 1), bs(:, 2),'r*');
for i=1:size(the_best_GR,1)
    if the_best_GR(i,1)~=0
        plot (bs(the_best_GR(i,1),1),bs(the_best_GR(i,1),2), 'gh--');
    else
        end
end
else
    disp('Δεν έγινε σωστή τοποθέτηση των BSs με αποτέλεσμα να μην
καλύπτονται όλα τα CN');
end
end
```

Π2 Αρχείο για να υπολογιστεί που έχουμε κάλυψη "cover.m"

```
% δημιουργείται ο πίνακας των απωλειών cover για να δω που έχω κάλυψη
function [cover,pl_d,d] = cover (NUM_CN,
NUM_BS,bs,cn,n,THRESHOLD,lamda,D0,Gr,Gt,mu,s)
cover=zeros(NUM_BS,NUM_CN);
pl_D0=10*log10(Gt*Gr*(lamda/(4*pi*D0))^2);
%Υπολογισμός της απόστασης BS-CN και υπολογισμός της απώλειας ισχύος
d=zeros(NUM_BS,NUM_CN);pl_d=zeros(NUM_BS,NUM_CN);
for i=1:NUM_BS
    for j=1:NUM_CN
        d(i,j)=sqrt((bs(i, 1) - cn(j, 1))^2 + (bs(i, 2)- cn(j, 2))^2);
        Xs=normrnd(mu,s);
        pl_d(i,j)=pl_D0+10*n*log10(D0/d(i,j));% + Xs ;
    end
end
for i=1:NUM_BS
    for j=1:NUM_CN
        if pl_d(i,j) >= THRESHOLD
            cover(i,j)=1;
        else
            end
        end
    end
end
```



```
        cover(i,j)=0;
    end
end
end
end
```

Π3 Αρχείο υπολογισμού συνδυασμών σταθμών βάσης "

randomsplit.m"

```
% Random split for CAT
function [best_sol,count] =
randomsplit(cover,NUM_BS,group_GR,count,NUM_CN)
per = randperm(NUM_BS); % Τυχαία διαταξη των BS Random permutation
NUM_GRP=floor(NUM_BS/group_GR);%βρισκω ποσα group απο BS μπορω να φτιαξω
best_sol = [];
if NUM_GRP == 1
    cover_grpo = cover(per, :);
    per_grp=per;
    [best_sol_grp] = coverage_grp(cover_grpo,NUM_CN,per_grp);
    best_sol = best_sol_grp;
    count=count+1;
else
    n = group_GR;
    a = 1;
    b = n;
    for i = 1:NUM_GRP
        if i == NUM_GRP
            b = NUM_BS; %το τελευταιο group θα παρει οσα BS μενουν
        end
        per_grp = per(1, a:b);
        cover_grp = cover(per_grp, :);
        [best_sol_grp] = coverage_grp(cover_grp,NUM_CN, per_grp);
        x=size(best_sol_grp,2);
        for j=1:x
            best_sol(i,j)=best_sol_grp(1,j);
        end
        a = a + n;
        b = b + n;
    end
    count=count+1;
    [x,y]=size(best_sol);
    for i=1:x
        if best_sol(i,1)~0;
            best_sol=best_sol(i,:);
            break;
        end
    end
end
end% End of function
```



Π4 Αρχείο υπολογισμού συνδυασμών σταθμών βάσης "combinations.m"

```
function [ct] = combinations( NUM_CN,NUM_BS, cover)
% Total Number of Combinations
ct = 0;
for g = 1:NUM_BS
ct = ct + factorial(NUM_BS)/(factorial(g)*factorial(NUM_BS - g));
end
B1 = zeros(ct, 1);
for j = 1:NUM_BS
a = combnk(1:NUM_BS, j);
if j == 1
sa = size(a,1);
for i = 1:sa
B(i,1) = size(find(sum(cover(a(i,:),:),1)>0), 2);
end
B1 = B;
else
sa = size(a,1);
G = ones(sa,1);
for i = 1:sa
sum1 = sum(cover(a(i,:),:),1);
f1 = find(sum1 > 0);
sf = size(f1,2);
G(i,1) = sf;
end
B1 = [B1;G];
end
end
figure(4); hold on;
plot(B1, 'db-');
plot(0:ct, NUM_CN, 'dr-');
title('Number of CNs covered per combination of BSs');
xlabel('Number of Combinations of Base Stations');
ylabel('Number of Control Nodes');
end
```

Π5 Αρχείο για τον αυτόματο υπολογισμό του BSpergroup "greedy_algorithm.m"

```
% υλοποίηση του αλγορίθμου greedy για τον υπολογισμό του BSpergroup

function [greedy,BSperGroup]=greedy_algorithm(cover,NUM_BS,NUM_CN)
a=combnk(1:NUM_BS,1);
new_cov=cover;
greedy=[];
K=any(new_cov);
tf = isequal(K, ones(1,(NUM_CN)));
if tf==1
```



```
for j=1:NUM_BS
    tp= isempty(new_cov);
    if tp==0
        for i=1:NUM_BS
            B(i,1)=size(find(sum(new_cov(a(i,:),:),1)>0), 2);
        end
        r= find(B>=max(max(B)));
        greedy(j,1)= r(1,1);
        m= new_cov(r(1,1),:)>0;
        new_cov(:,m)=[];
    end
end

BSperGroup=length(greedy);
%BSperGroup= BSperGroup -1; % επιλεγουμε μικροτερη ομαδα
else
    disp('ta BS den kalyprtoyn ola ta CN');
    greedy=zeros(0);BSperGroup=0;
end
end
```

Π6 Αρχείο υπολογισμού του group από τον GR "greedy_after_cat.m"

```
% υλοποίηση του αλγορίθμου greedy μετα απο τον CAT

function [GR,the_best_GR]=greedy_after_cat(cover,total_best_sol)
for j=1:size(total_best_sol,2)
    new_cov=[];
    for i=1:size(total_best_sol,1)
        if total_best_sol(i,j)==0
            else
                new_cov(i,:)=cover(total_best_sol(i,j),:);
            end
        end
    end
    [z,x]=size(new_cov);
    for v=1:z
        m=[];
        TF = isempty(new_cov);
        if TF==1
            GR(v,j)=0;
        else
            C=[];
            for k=1:z
                C(k,1)=size(find(sum(new_cov(k,:),1)>0), 2);
            end
            r=[];r= find(C>=max(max(C)));
            GR(v,j)= total_best_sol(r(1,1),j);
            m= new_cov(r(1,1),:)>0;
            new_cov(:,m)=[];
        end
    end
end
```



```
end
[q,w]=size(GR);
for i=1:w
    MNM(:,i)=size(find(GR(:,i)>0),1);
end
L=min(MNM);
for i=1:w
    if MNM(1,i)==L
        the_best_GR=GR(:,i);
    end
end
end
```

Π7 Αρχείο δεδομένων συντεταγμένων σημείων έλεγχου

1947,005605	2289,97811
1058,632297	2,877642823
227,0582145	1156,122898
666,1787269	1060,8726
384,141794	1152,290915
702,5132563	1925,399322
1100,212848	806,179518
1317,856854	1961,848237
1143,560914	1178,392884
2188,428997	89,40683317
1295,130271	439,6860392
2359,056561	1804,395083
1594,272745	1183,714982
2394,23485	381,8030011
601,7675887	852,8115176
1690,30576	1518,473034
722,6614292	479,3631387
1679,520414	1846,0671
1737,851249	607,1239958
169,9819212	2293,560855
636,9753915	672,6539667
560,1000771	1913,750042
1669,581818	471,654942
2110,980391	718,7454327
861,1560283	227,7836592
1951,299132	1440,523452



1688,330164	1708,408108
16,7882858	1366,482786
1505,426219	1064,322105
966,9279863	1611,106954

Π8 Αρχείο δεδομένων συντεταγμένων σταθμών βάσης

365,7834	2138,158
279,3779	1253,655
820,8525	910,0877
953,341	471,4912
1529,378	493,4211
2019,009	493,4211
2197,581	420,3216
1736,751	1282,895
1028,226	1348,684
1489,055	1787,281
1886,521	1999,269
2145,737	1655,702
843,894	1772,661
1114,631	296,0526
1500,576	1334,064
590,4378	1604,532
221,7742	2072,368
227,5346	1355,994
1995,968	953,9474
1679,147	836,9883
2047,811	1999,269