

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ**

Ενεργειακά αποδοτική σχεδίαση ασύρματων δικτύων

Γαντσιδης Ιωάννης

ΑΕΜ : 12059

Επιβλέπων καθηγητής : Δρ. Άγγελος Ρούσκας

*Διπλωματική Εργασία υποβληθείσα στο Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου
Πειραιώς ως μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης
στα Ψηφιακά Συστήματα και Υπηρεσίες*

Πειραιάς, Ιούλιος 2015

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τον καθηγητή μου κ. Άγγελο Ρούσκα, που μου εμπιστεύτηκε την παρούσα διπλωματική εργασία και μου προσέφερε καθοδήγηση και συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της.

Επίσης, ευχαριστώ τον κ. Γιώργο Κυριαζή ο οποίος παρείχε πολύτιμη τεχνογνωσία και εκτεταμένη ενασχόληση προκειμένου να ολοκληρωθεί αυτή διπλωματική εργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω πάνω από όλα την οικογένειά μου, για την πίστη που δείχνουν στις δυνατότητές μου, αλλά και γιατί η αστείρευτη ψυχολογική υποστήριξη που μου προσφέρουν, με οδήγησε για ακόμη μια φορά στην ολοκλήρωση ενός σημαντικού στόχου της ζωής μου.

Πίνακας περιεχομένων

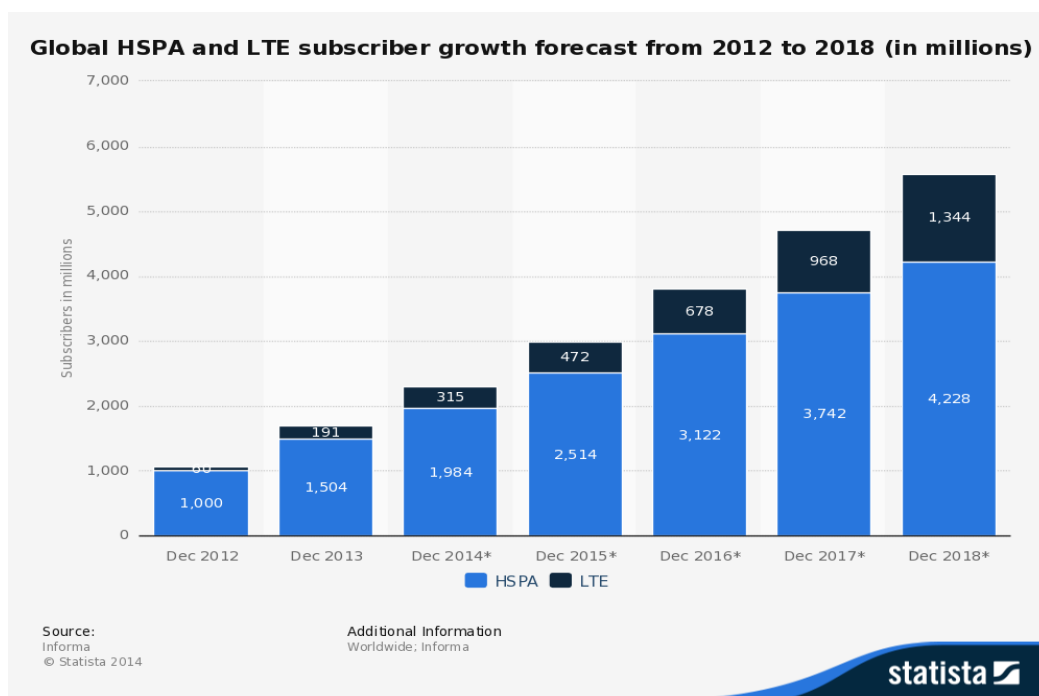
Ευχαριστίες	2
Κεφάλαιο 1 - Η ανάγκη για πράσινες επικοινωνίες	5
1.1 Εισαγωγή στα πράσινα δίκτυα	5
1.2 Ορισμός της ενεργειακής αποδοτικότητας	9
1.3 Βελτιστοποίηση των ενισχυτών ισχύος	11
1.4 Μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας στο LTE	14
1.4.1 Εισαγωγή.....	14
1.4.2 Ενεργειακή αποδοτικότητα στο πεδίο του χρόνου	15
1.4.3 Ενεργειακή αποδοτικότητα στο πεδίο της συχνότητας	18
1.4.4 Ενεργειακή αποδοτικότητα στο πεδίο του χώρου	20
Κεφάλαιο 2 - Προτεινόμενοι αλγόριθμοι εξοικονόμησης ενέργειας.....	26
2.1 Αρχιτεκτονική του προσομοιωτή.....	26
2.2 Παρουσίαση των ευριστικών αλγορίθμων BALSΟ, TWEAK	32
i. BALSΟ.....	32
ii. TWEAK.....	34
2.3 Πειραματικές μετρήσεις	36
Κεφάλαιο 3 - Ετερογενή δίκτυα	54
3.1 Εισαγωγή.....	54
3.2 Παρουσίαση των ευριστικών αλγορίθμων HBALSΟ, HTWEAK	57
i. HBALSΟ	57
ii. HTWEAK	58
3.3 Πειραματικές μετρήσεις	59
Κεφάλαιο 4 - Ισοδύναμες τοπολογίες σταθμών βάσης.....	69
4.1 Έννοια και μέθοδος εξαγωγής των ισοδύναμων τοπολογιών	69
4.2 Πειραματικές μετρήσεις	72
4.2.1 Προσδιορισμός ισοδύναμων τοπολογιών σε συστήματα 3Χ3.....	72
4.2.2 Προσδιορισμός ισοδύναμων τοπολογιών σε συστήματα 4Χ4.....	87
4.2.3 Προσδιορισμός ισοδύναμων τοπολογιών σε ετερογενές σύστημα 9BSs+16bss.....	103
Παράρτημα	119
Βιβλιογραφία	141

Κεφάλαιο 1 - Η ανάγκη για πράσινες επικοινωνίες

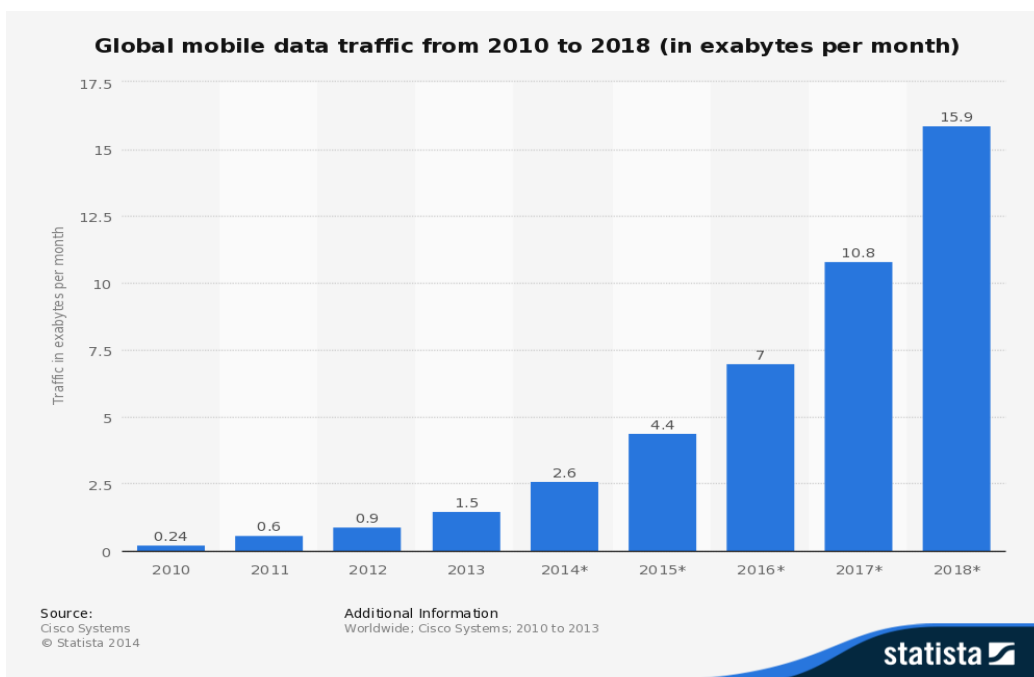
1.1 Εισαγωγή στα πράσινα δίκτυα

Στη διάρκεια των τελευταίων ετών, ο τομέας των κυψελοειδών δικτύων έχει αναπτυχθεί ραγδαία. Κινητήριοι μοχλοί για την ανάπτυξη αυτή ήταν η είσοδος των κοινωνικών δικτύων στη καθημερινότητα του μέσου ανθρώπου και η εξέλιξη του mobile internet, με ότι αυτό συνεπάγεται. Οι παραπάνω εξελίξεις οδήγησαν στην αύξηση του αριθμού των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας, στην ανάπτυξη εφαρμογών πολυμέσων, καθώς και στη συνεχόμενη ανάγκη βελτίωσης του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. Σύμφωνα με το σχήμα 1.1.1, οι εγγεγραμμένοι συνδρομητές των δικτύων HSPA και LTE αναμένεται να φθάσουν τα 5.5 δισεκατομμύρια μέχρι το τέλος του 2018, αριθμό περίπου τριπλάσιο από αυτόν του 2013. Η διακίνηση δεδομένων μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας αναμένεται να αυξηθεί σε 15.9 Exabytes τον μήνα μέχρι το 2018, μια αύξηση σχεδόν 11-πλάσια σε σχέση με το 2013, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1.2 [1].

Το mobile internet έχει εξελιχθεί πολύ γρήγορα τα τελευταία χρόνια και έχει ξεπεράσει εύκολα τη φωνή (τηλεφωνικές κλήσεις) σε όγκο δεδομένων. Μάλιστα, ο ρυθμός αύξησης της μετάδοσης δεδομένων πάνω από κυψελοειδή δίκτυα ακολουθεί το νόμο του Moore από την εμφάνιση των κινητών τηλεφώνων στα μέσα της δεκαετίας του 1990, σύμφωνα με την ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors), όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1.3. Αυτή η συνεχόμενη αυξητική τάση ώθησε τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας στην πύκνωση των δικτύων τους, προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες των συνδρομητών τους. Η παραπομπή [2] περιγράφει την αύξηση του αριθμού των σταθμών βάσης σε αναπτυσσόμενες περιοχές μεταξύ 2007 και 2012, ενώ είχε προβλέψει ότι ο συνολικός αριθμός των εγκατεστημένων σταθμών βάσης θα ξεπερνούσε τα δυο εκατομμύρια εντός της περιόδου αυτής.

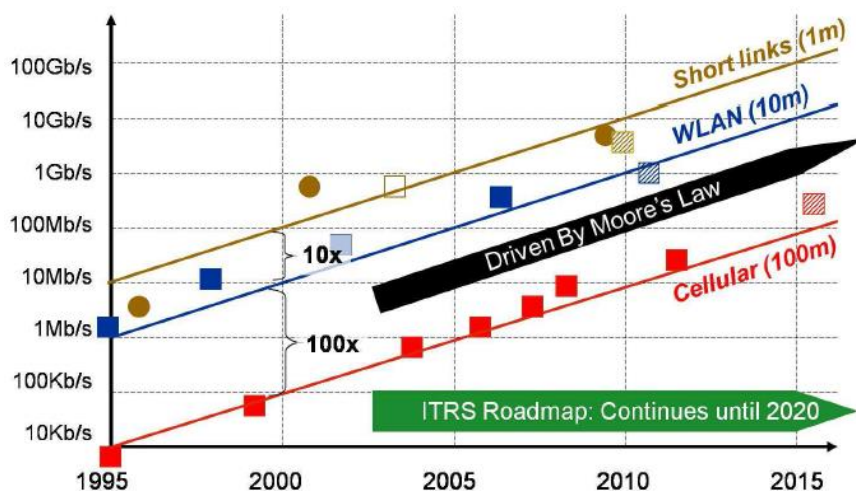


Σχήμα 1.1.1 Συνδρομητές κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών σε εκατομμύρια ανά τον κόσμο



Σχήμα 1.1.2 Παγκόσμια διακίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας σε Exabytes ανά μήνα

Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για ευρυζωνικές υπηρεσίες και πανταχού παρούσα πρόσβαση στο δίκτυο, ωστόσο, έφερε σαν τίμημα την αύξηση του αποτυπώματος εκπομπής άνθρακα (carbon footprint) του τομέα των κινητών επικοινωνιών. Έχει υπολογισθεί ότι συνολικά ο τομέας Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) συνεισέφερε περίπου το 2% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂, και περίπου 1.5% των παγκόσμιων CO_{2e} εκπομπών για το 2007. Ο τομέας κινητών επικοινωνιών ήταν υπεύθυνος για το 0.2% των παγκόσμιων εκπομπών CO_{2e} για το 2007, με τις εκτιμήσεις να κάνουν λόγο για διπλασιασμό τους σε 0.4% μέχρι το 2020.

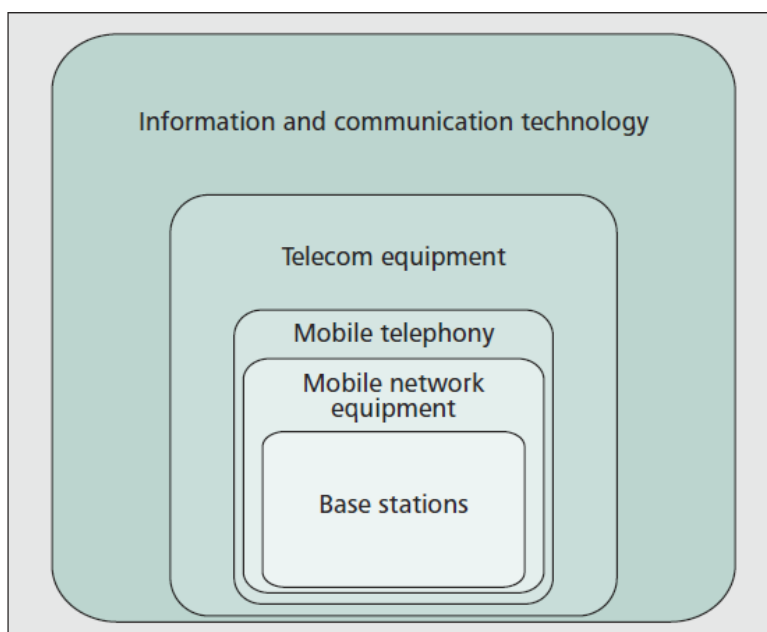


Σχήμα 1.1.3 Αναφορά της ITRS σχετικά με την εξέλιξη των ρυθμών μετάδοσης διάφορων δικτύων επικοινωνιών

Εκτός από την ελαχιστοποίηση του συνολικού αποτυπώματος διοξειδίου του άνθρακα του τομέα των κινητών επικοινωνιών, υπάρχει μια ισχυρή οικονομική συνιστώσα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κυψελοειδών δικτύων. Η διακίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας πρόκειται να αυξηθεί κατακόρυφα τα επόμενα χρόνια, κυρίως εξαιτίας της δραματικής αύξησης της χρήσης πολυμεσικών εφαρμογών. Αν συλλογιστεί κανείς ότι η αύξηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας των εν λόγω δικτύων οδηγείται αφενός από την εισαγωγή πολύπλοκων τεχνικών μετάδοσης και παράλληλα από την αύξηση του αριθμού των σταθμών βάσης για την επίτευξη των υψηλών ρυθμών δεδομένων, και από την άλλη τις σταθερά αυξανόμενες τιμές της ενέργειας, γίνεται φανερό ότι η ενεργειακή κατανάλωση αποτελεί πολύ σημαντικό ζήτημα για τις λειτουργικές δαπάνες (OPEX) των παρόχων τηλεπικοινωνιών. Οι περισσότερες από τις μελέτες βελτιστοποίησης των δικτύων έχουν επικεντρωθεί στην βελτίωση της χωρητικότητας των συστημάτων και του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, ενώ έχει παραμεληθεί η αυξανόμενη ζήτηση των κυψελοειδών δικτύων για ενέργεια. Αυτή η αυξανόμενη απαίτηση ενέργειας οδήγησε στη διεξαγωγή ουσιαστικής έρευνας για το θέμα των «πράσινων επικοινωνιών».

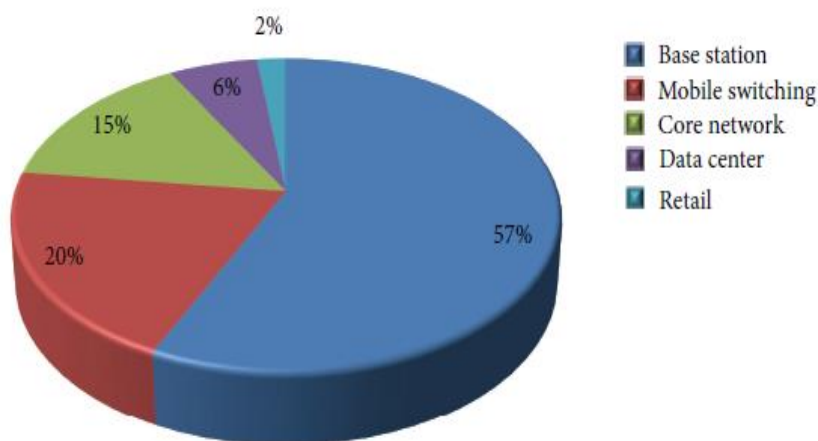
Ίσως οι δύο πιο σημαντικοί λόγοι για να επιδιωχθεί η ανάπτυξη πράσινων δικτύων επικοινωνιών είναι λόγω της αύξησης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και της αύξησης των λειτουργικών δαπανών (OPEX) για τους παρόχους τηλεπικοινωνιών. Η αύξηση των εκπομπών CO₂ σχετίζονται κυρίως με τους σταθμούς βάσης που βρίσκονται εκτός του κεντρικού δικτύου των παρόχων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να παρέχουν κάλυψη σε απομακρυσμένες περιοχές και στη πλειοψηφία τους λειτουργούν με γεννήτριες ντίζελ.

Όσον αφορά τα οικονομικά δεδομένα του τομέα, η παραπομπή [4] επισημαίνει ότι ο τομέας ΤΠΕ για το έτος 2009 απαιτούσε 600 TWh (Terawatt-hours) ηλεκτρικού ρεύματος, ποσότητα που ισοδυναμεί με το 3% της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ η τιμή αυτή αναμένεται να αυξηθεί σε 1.700 TWh μέχρι το 2030. Από το σύνολο της εκάστοτε ενεργειακής απαίτησης, το 1/3 αφιερώνεται στη λειτουργία του τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού και χοντρικά ισούται με το 1% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας αποτελούν τη μεγαλύτερη συνιστώσα του τομέα των Τηλεπικοινωνιών και είναι υπεύθυνα για το 50% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας ολόκληρου του τομέα [3][4]. Η κατανάλωση ενέργειας από τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας αναμένεται να αυξηθεί ραγδαία στο μέλλον αν δεν ληφθούν μέτρα για την εκτροπή αυτής της τάσης. Τα παραπάνω στατιστικά στοιχεία κινητοποίησαν αρκετούς ερευνητές τόσο στα πανεπιστήμια όσο και στη βιομηχανία να αναπτύξουν τεχνικές για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κυψελοειδών δικτύων, διατηρώντας έτσι την κερδοφορία τους, ενώ παράλληλα μετατρέποντας τα κυψελοειδή δίκτυα σε "πράσινα".



Σχήμα 1.1.4 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των δικτύων επικοινωνιών για το 2009

Όπως φαίνεται στα σχήματα 1.1.4 και 1.1.5, ο σταθμός βάσης είναι ο κύριος παράγοντας της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα κυψελοειδές δίκτυο [5]. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο αριθμός των σταθμών βάσης αυξάνεται και θα συνεχίσει να αυξάνεται στο μέλλον, για τη διασφάλιση της ποιότητας των υπηρεσιών (QoS) που απαιτείται από τους συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας. Σαν αποτέλεσμα, η κατανάλωση ενέργειας που οφείλεται στη λειτουργία των σταθμών βάσης θα συνεχίσει να διογκώνεται. Είναι λοιπόν πασιφανές ότι πρέπει να αλλάξει ο σχεδιασμός των κυψελοειδών δικτύων για την ανατροπή αυτής της τάσης, με την εισαγωγή της ενεργειακής αποδοτικότητας στις μετρικές αξιολόγησης τους.



Σχήμα 1.1.5 Ανάλυση της κατανάλωσης ενέργειας ενός τυπικού δικτύου κινητής τηλεφωνίας (Vodafone 2011)

1.2 Ορισμός της ενεργειακής αποδοτικότητας

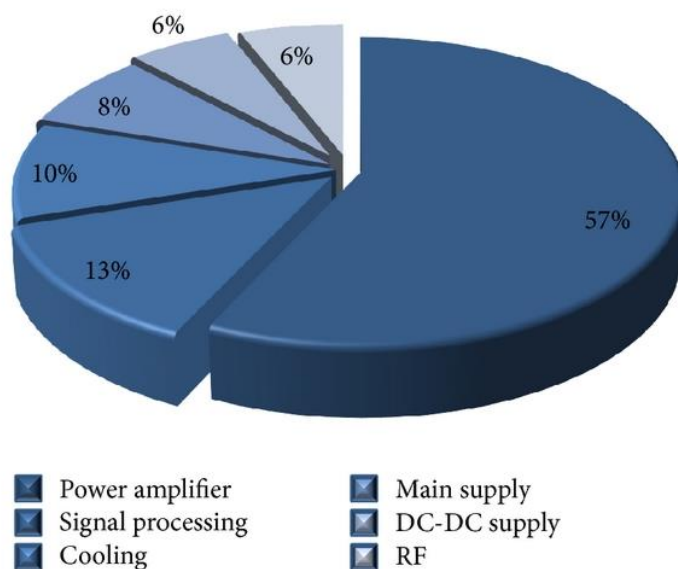
Πριν από τη θέσπιση τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας είναι απαραίτητη η κατανόηση του όρου ‘energy efficiency’. Στον τομέα των κινητών επικοινωνιών, όπως και στους υπόλοιπους τομείς μηχανικών, διάφορα συστήματα σχεδιάζονται για να μετατρέπουν την ενέργεια σε ωφέλιμο έργο. Ο όρος EE λοιπόν μπορεί να οριστεί ως ο λόγος του παραγόμενου έργου προς το σύνολο της παρεχόμενης ενέργειας. Το παραγόμενο έργο στα συστήματα επικοινωνιών αναφέρεται στη παράδοση κατάλληλα διαμορφωμένων σημάτων, με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών. Έτσι, προκύπτουν δυο μέθοδοι για τη μέτρηση της EE στα συστήματα επικοινωνιών. Η πρώτη μέθοδος είναι ο καθορισμός της EE ως ο λόγος της ενεργής ισχύος εξόδου προς τη συνολική ισχύ εισόδου του συστήματος. Αυτός ο ορισμός της EE συνήθως χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό των υποσυστημάτων των σταθμών βάσης όπως τροφοδοτικά, ενισχυτές ισχύος, κεραιοσυστήματα. Η δεύτερη ερμηνεία της EE για ένα σύστημα επικοινωνιών είναι ο λόγος της απόδοσης ανά μονάδα κατανάλωσης ενέργειας. Χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό ολοκληρωμένων συστημάτων και μπορεί να συναντάται με τη μορφή floating point operations per second (FLOPS) στη ψηφιακή επεξεργασία σημάτων (DSP), million instructions per second (MIPS) στα πληροφοριακά συστήματα και τέλος σαν throughput (bits per second) στα συστήματα επικοινωνιών, όπου η πληροφορία μεταφέρεται με τη μορφή διαμορφωμένων ηλεκτρομαγνητικών ή οπτικών σημάτων. Λόγω των ατελειών των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, ένα σημαντικό μέρος της παρεχόμενης ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα. Επιπλέον, στα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών μόνο ένα μέρος της εκπεμπόμενης ενέργειας φθάνει στο δέκτη καθώς το κανάλι που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεν είναι δυνατόν να απομονωθεί. Η *Θεωρία της Πληροφορίας* βοηθάει στη κατανόηση της πολυπλοκότητας του προβλήματος της EE. Σύμφωνα με το κριτήριο του Shannon, η ενεργειακή αποδοτικότητα ενός συστήματος επικοινωνιών πάνω από ένα κανάλι AWGN μπορεί να αποτυπωθεί ως εξής [17]:

$$\eta_{EE} = \frac{R}{P} = \frac{B}{P} \log_2 \left(1 + \frac{P}{BN_0} \right)$$

Σχήμα 1.2.1 Τύπος της EE για συστήματα επικοινωνιών

όπου R είναι ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας, P είναι η ισχύς εκπομπής, B είναι το εύρος ζώνης του συστήματος, και N_0 η φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου. Η ενεργειακή αποδοτικότητα τότε μετριέται σε *bits per joule*. Η παραπάνω σχέση δείχνει ότι για σταθερό N_0 , η EE είναι αποκλειστικά συνάρτηση της πυκνότητας ισχύος P/B . Ακολουθούν μερικά συμπεράσματα από τον τύπο του σχήματος 1.2.1 :

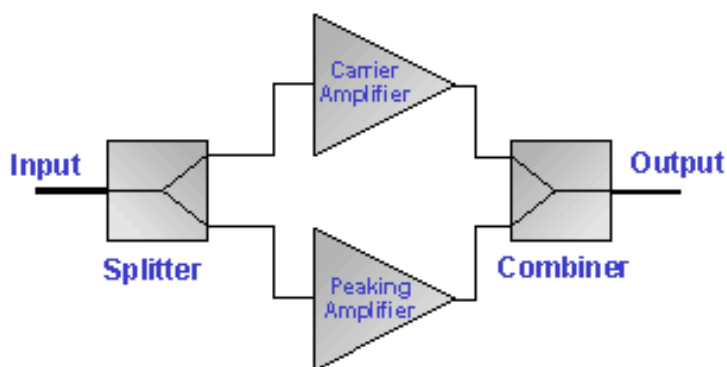
- η_{EE} δεν αυξάνεται μονοτονικά με το B ή το P . Στην πράξη, όπου το εύρος ζώνης των συστημάτων είναι μια λιγότερο εύκαμπτη παράμετρος, είναι δύσκολο να επιτευχθεί η μέγιστη EE .
- Για δεδομένο ρυθμό μετάδοσης R , περισσότερο bandwidth απαιτεί λιγότερη ενέργεια. Αν το εύρος ζώνης είναι άπειρο, η απαιτούμενη ενέργεια αποτυπώνεται ως $P = N0 * R * \ln 2$.
- Η βελτιστοποίηση ως προς το throughput είναι συνήθως αντικρουόμενη με τη βελτιστοποίηση ως προς την ενεργειακή αποδοτικότητα. Η εξισορρόπηση των δυο αυτών στόχων περιπλέκει το σχεδιασμό των συστημάτων. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η σχέση του σχήματος 1.2.1 παρέχει ένα ιδανικό μοντέλο ενεργειακής αποδοτικότητας ανεξάρτητο από τη συχνότητα φορέα, την απόσταση, την αποδοτικότητα των πομπών, της απώλειες λόγω θερμότητας των υποσυστημάτων κτλ. Επίσης φαινόμενα όπως η παρεμβολή και η σκίαση, μεταβάλλουν την EE ενός συστήματος ανάλογα με το περιβάλλον διάδοσης. Επομένως, στη παραπάνω εξίσωση, το P πρέπει να αντικατασταθεί από το άθροισμα της παρεχόμενης ενέργειας σε σταθμό βάσης και κινητά τερματικά αντίστοιχα.



Σχήμα 1.2.2 Κατανομή της κατανάλωσης ισχύος ενός macro σταθμού βάσης

1.3 Βελτιστοποίηση των ενισχυτών ισχύος

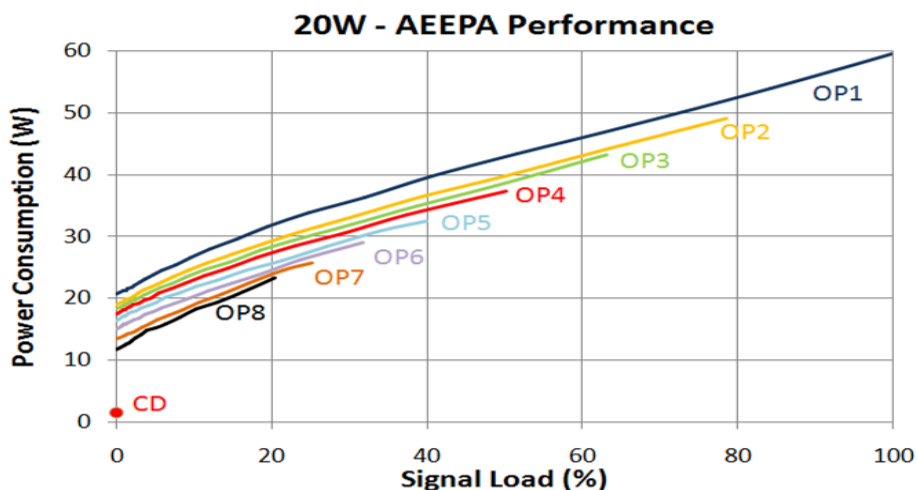
Έχουν συζητηθεί διάφορες προσεγγίσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των εσωτερικών εξαρτημάτων των σταθμών βάσης. Οι προσεγγίσεις αυτές περιλαμβάνουν τη μείωση της ποσότητας της ενέργειας που καταναλώνεται από τα συστήματα ψύξης, τα καλώδια τροφοδοσίας, και τους ενισχυτές ισχύος (*PA*s) των σταθμών βάσης. Το μεγαλύτερο βάρος των συζητήσεων αυτών αφορά τους *PA*s, επειδή πρόκειται για το πιο ενεργοβόρο υποσύστημα ενός macro σταθμού βάσης, ενώ για κάθε τύπο σταθμού συνεισφέρει σημαντικό ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης. Στις κινητές επικοινωνίες, ο ενισχυτής ισχύος σε ένα macro σταθμό καταναλώνει την περισσότερη ενέργεια, κατά μέσο όρο 57% της συνολικής ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία του, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2.2. Ως εκ τούτου, εξαιρετικά αποτελεσματικοί ενισχυτές ισχύος είναι απαραίτητοι για τη μείωση του κόστους των λειτουργικών εξόδων για τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Το πιο αποδοτικό σημείο λειτουργίας ενός *PA* είναι κοντά στη μέγιστη ισχύ εξόδου (κοντά στο κορεσμό). Δυστυχώς, τα μη γραμμικά φαινόμενα διάδοσης και η διαμόρφωση *OFDM* η οποία χαρακτηρίζεται από το υψηλό peak to average power ratio (*PAPR*), αναγκάζουν τους ενισχυτές ισχύος να λειτουργούν σε μια πιο γραμμική περιοχή, από 6 έως 12 dB κάτω του κορεσμού[2]. Αυτός ο περιορισμός έχει αρνητικό αντίκτυπο στην αποδοτικότητα του ενισχυτή και κατ' επέκταση στην αποδοτικότητα ολόκληρου του δικτύου. Μια σημαντική βελτίωση στο πρόβλημα αυτό είναι η εισαγωγή της αρχιτεκτονικής *Doherty*, η οποία βελτίωσε την ενεργειακή απόδοση των ενισχυτών κατά 30 έως 35% πάνω από ένα στενό εύρος ζώνης. Ο ενισχυτής *Doherty* είναι στη πραγματικότητα ένα ψηφιακό κύκλωμα που αποτελείται από δυο τουλάχιστον ενισχυτές. Το κάθε υποσύστημα της αρχιτεκτονικής *Doherty* είναι βελτιστοποιημένο για να λειτουργεί αποδοτικά σε διαφορετικά επίπεδα ισχύος του σήματος εισόδου, πετυχαίνοντας έτσι συνολικά καλύτερη αποδοτικότητα σε σχέση με έναν κλασικό ενισχυτή ισχύος. Περεταίρω βελτίωση μπορεί να επιτευχθεί μέσω της εφαρμογής της τεχνικής *Digital Predistortion* στην είσοδο των ενισχυτών *Doherty* ή τη χρήση τρανζίστορ από νιτρίδιο του Γαλλίου (*GAN*).



Σχήμα 1.3.1 Αρχιτεκτονική ενισχυτών *Doherty*

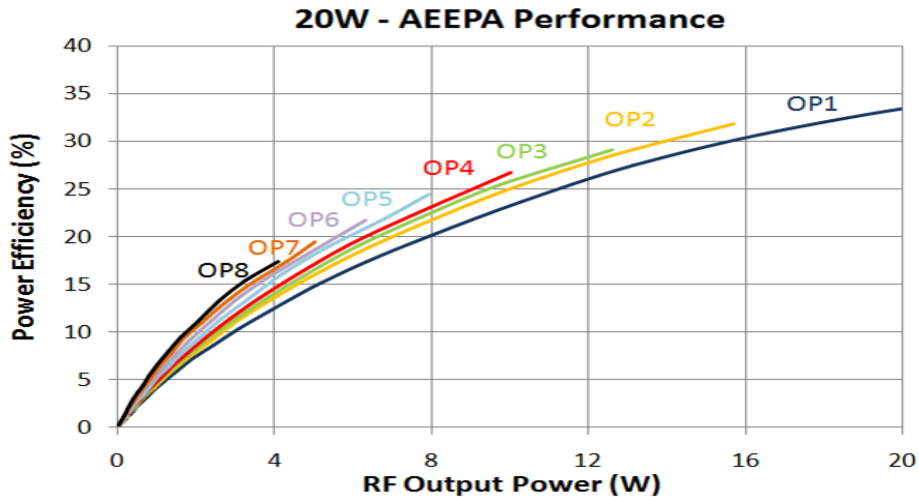
Επί του παρόντος, οι ενισχυτές ισχύος λειτουργούν με σταθερή ισχύ εξόδου, ανεξάρτητα από το φορτίο που εξυπηρετούν. Έτσι για ένα μεγάλο μέρος της ημέρας σπαταλιέται ενέργεια. Στο *EARTH Project* προτείνεται η αντικατάσταση των συμβατικών *PA*s από πιο πολύπλοκους *AAEPAs* (*Adaptive Energy Efficient Power Amplifiers*). Με τη χρήση των τελευταίων εισάγονται στους ενισχυτές δυο υποσυστήματα εξοικονόμησης ενέργειας [6].

Ο πρώτος μηχανισμός ορίζει τη προσαρμογή του σημείου λειτουργίας των *PA*s. Μέσω της *Operational Point Adjustment (OPA)* ο ενισχυτής αλλάζει την ισχύ εξόδου του σε τιμές κοντά στις εκάστοτε επιθυμητές ανάλογα με την απαίτηση του κάθε σήματος. Έτσι λειτουργεί πάντα στη πιο αποδοτική περιοχή ισχύος (κοντά στο κορεσμό). Ο δεύτερος μηχανισμός προβλέπει την απενεργοποίηση του ενισχυτή κατά τη διάρκεια των χρονοθυρίδων χωρίς μετάδοση σήματος (*Component Deactivation*).



Σχήμα 1.3.2 : Κατανάλωση ισχύος ενός AEEPA με 20 W μέγιστη μέση ισχύ εξόδου.

Στα σχήματα 1.3.2 και 1.3.3 παρουσιάζεται η απόδοση ενός *AEEPA* για σήματα διαφορετικής στάθμης ισχύος, κάτω από τη μέγιστη ισχύ εξόδου του ενισχυτή. Έχουν καθοριστεί 8 operation points (*OP*), με βήμα 1 dB για τις διάφορες κατηγορίες φορτίων. Χωρίς την εφαρμογή της *OPA*, ο ενισχυτής λειτουργεί στο *OP1*. Χρησιμοποιώντας την τεχνική αυτή, η εξοικονόμηση της κατανάλωσης ενέργειας είναι περίπου 6% για *OP2*, 9% για *OP3*, 13% για *OP4*, 18% για *OP5*, 23% για *OP6*, 25% για την *OP7* και 35% για *OP8*. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας λόγω του *CD* μπορεί να φτάσει μέχρι και το 94%. Οι δυο αυτοί μηχανισμοί μπορούν να εφαρμοστούν μεμονωμένα ή συνδυαστικά ώστε να επιτύχουν το καλύτερο αποτέλεσμα.



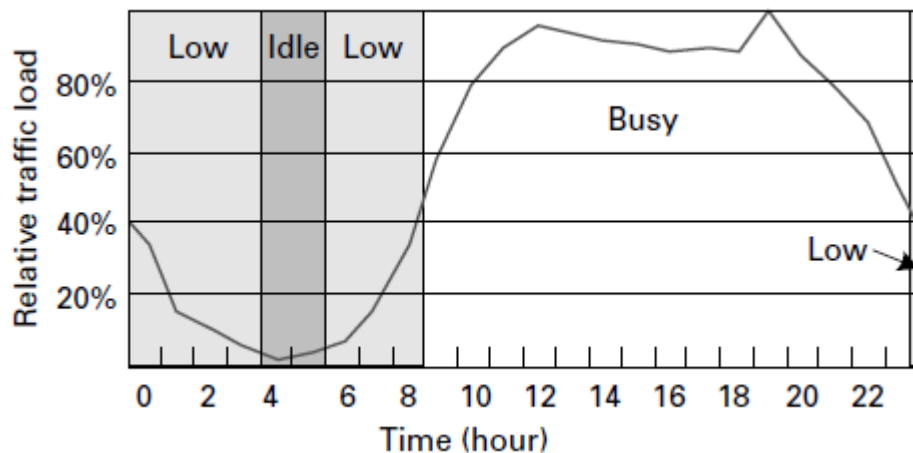
Σχήμα 1.3.3 : Απόδοση ισχύος ενός AEEPA με 20 W μέγιστη μέση ισχύ εξόδου.

Στο κείμενο «*Final Report on Green Radio Technologies*» του *EARTH Project* [13], αναφέρονται παρόμοιες μετατροπές και σε άλλα υποσυστήματα των σταθμών βάσης. Η προσέγγιση της βελτίωσης hardware από μόνη της όμως δεν είναι σε θέση να προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας στο δίκτυο, γιατί παρόλο που βελτιστοποιεί τα δομικά στοιχεία ως προς την ενεργειακή τους απαίτηση, δεν επιφέρει καμία βελτίωση στην ανάθεση των πόρων του δικτύου. Μια ολιστική προσέγγιση για την αντιμετώπιση του προβλήματος της αποδοτικότητας των δικτύων θα πρέπει να περιλαμβάνει ενότητες όπως τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των δικτύων, την εισαγωγή έξυπνων αλγορίθμων ανάθεσης πόρων και την βελτιωμένη αρχιτεκτονική τους. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σημαντικότερες τεχνικές που εφαρμόζονται στο *3GPP LTE*, είτε αποτελούν κομμάτια της προτυποποίησης για το *3GPP LTE-Advanced*, οι οποίες αποσκοπούν στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των δικτύων.

1.4 Μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας στο LTE

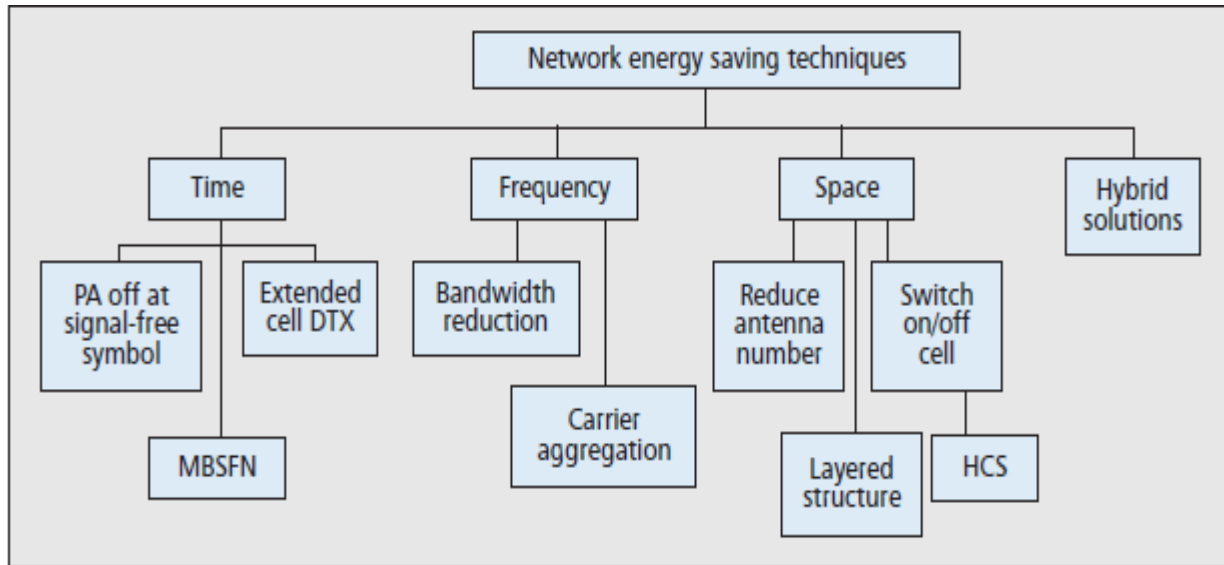
1.4.1 Εισαγωγή

Η βελτίωση της αποδοτικότητας του σταθμού βάσης είναι η σημαντικότερη παράμετρος για τη βελτίωση της *EE* ενός ασύρματου δικτύου πρόσβασης. Μιας και η μετρική της *EE* των δικτύων ξεκίνησε να απασχολεί τους παρόχους σχετικά πρόσφατα, υπάρχει μεγάλο περιθώριο βελτίωσης προς αυτή τη κατεύθυνση. Σύμφωνα με μετρήσεις του TU - Berlin το 2003, ένας τυπικός σταθμός βάσης για το GSM παρουσίαζε ενεργειακή αποδοτικότητα περίπου 3.1%. Αυτή η σπατάλη πόρων και ενέργειας οφείλεται στο σχεδιασμό των δικτύων, όπου η μέγιστη απόδοση είναι το κύριο μέλημα των παρόχων και όχι η ενεργειακή αποδοτικότητα. Ως αποτέλεσμα, η κατανάλωση ενέργειας του σταθμού βάσης δεν κλιμακώνεται με το φορτίο κυκλοφορίας του, αλλά διατηρείται πάντα σε υψηλό επίπεδο. Καθώς το φορτίο κίνησης ενός σταθμού βάσης ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας, είναι δυνατή η προσαρμογή της ενεργειακής του κατανάλωσης ανάλογα με το επίπεδο χρησιμοποίησής του, μέσω δυναμικής ρύθμισης των παραμέτρων του.



Σχήμα 1.4.1.1 Υπόδειγμα φορτίου ενός σταθμού βάσης κατά τη διάρκεια της ημέρας

Όλες οι παρακάτω μέθοδοι αποσκοπούν στη κλιμάκωση της ενεργειακής κατανάλωσης των σταθμών βάσης ανάλογα με το φορτίο εξυπηρέτησης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο χρόνο χρησιμοποίησης του ενισχυτή ισχύος (*PA on-time*). Προτείνονται και άλλες λύσεις, όπως συρρίκνωση του εύρους ζώνης του συστήματος για τη μείωση της ισχύος εκπομπής των σταθμών, ή συνδυαστική χρήση κυψελών διαφορετικών μεγεθών για την αποδοτικότερη κάλυψη μιας δεδομένης περιοχής. Μια επιπλέον κατηγοριοποίηση των προσεγγίσεων γίνεται ανάλογα με το πεδίο στον οποίο εφαρμόζονται, σε χρονικές, συχνοτικές ή χωρικές. Τέλος σημειώνεται ότι είναι δυνατός και ο συνδυασμός των παρακάτω προσεγγίσεων για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος.

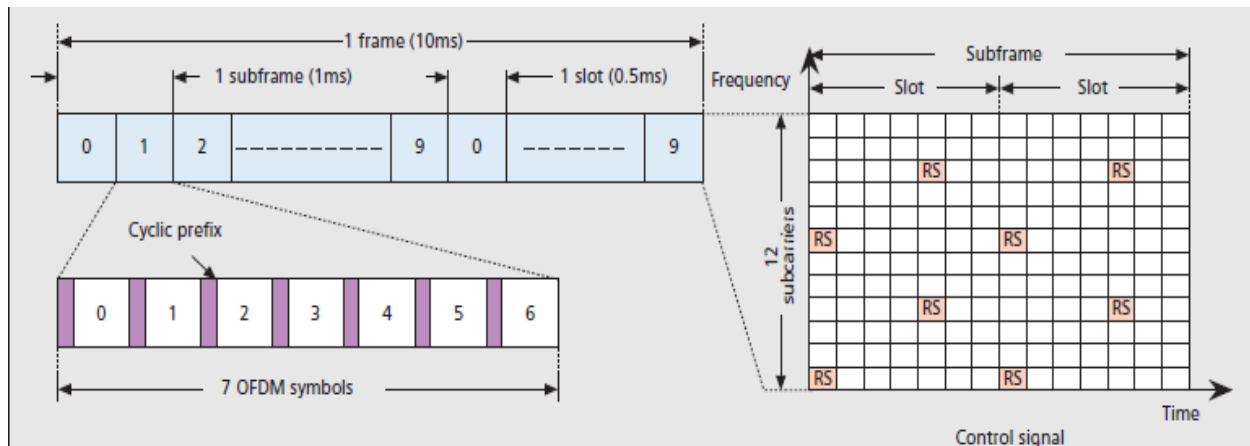


Σχήμα 1.4.1.2 Τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας

1.4.2 Ενεργειακή αποδοτικότητα στο πεδίο του χρόνου

Η βελτίωση της αποδοτικότητας των σταθμών βάσης στο πεδίο του χρόνου επιτυγχάνεται μέσω της απενεργοποίησης των ενισχυτών ισχύος όταν δεν υπάρχει φορτίο προς εξυπηρέτηση στη καθοδική ζεύξη. Δεδομένου ότι αυτές οι προσεγγίσεις είναι στενά συνδεδεμένες με τη δομή του πλαισίου του συστήματος LTE (LTE frame), ακολουθεί μια σύντομη εισαγωγή για το πλαίσιο μετάδοσης και τα σήματα ελέγχου του LTE.

Στο LTE, το κανάλι δομείται από συνεχόμενα καρέ του χρόνου (frames). Κάθε πλαίσιο αποτελείται από 10 υπό-πλαίσια σταθερής διάρκειας ίσης με 1 ms. Κάθε υπό-πλαίσιο διαιρείται σε δυο χρονοθυρίδες. Ανάλογα με το cyclic prefix που χρησιμοποιείται, η κάθε χρονοθυρίδα φιλοξενεί έναν αριθμό από OFDM σύμβολα, (για το *normal CP* ο αριθμός των συμβόλων είναι 7, ενώ για το *extended CP* μειώνεται σε 6). Στο σχήμα 1.4.2.1 απεικονίζεται η δομή ενός τυπικού πλαισίου για τη καθοδική ζεύξη του LTE, στο οποίο περιλαμβάνονται σύμβολα για σήματα ελέγχου αλλά και δεδομένων. Ένας τύπος σημάτων ελέγχου, τα λεγόμενα reference signals (RSs) χρησιμοποιούνται για τη παρακολούθηση των χαρακτηριστικών του καναλιού (CSI) ανάμεσα στο σταθμό βάσης και τα κινητά τερματικά που είναι συνδεδεμένα σε αυτόν. Τα RSs μεταδίδονται ανεξάρτητα από την ύπαρξη ωφέλιμης κίνησης ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε ο σταθμός βάσης να γνωρίζει το περιβάλλον του κινητού τερματικού. Αν δεν υπάρχει κίνηση στη κατερχόμενη ζεύξη, ο αριθμός των μεταδιδόμενων RSs μπορεί να μειωθεί ώστε να μειωθεί και το on-time του ενισχυτή ισχύος.



Σχήμα 1.4.2.1 Δομή ενός LTE πλαισίου

Αυτή είναι η αρχή της εξοικονόμησης ενέργειας στο πεδίο του χρόνου. Κατά συνέπεια, ο ενισχυτής ισχύος μπορεί να κλείνει προσωρινά, μέχρι την εκπομπή του επόμενου σήματος ελέγχου ή σήματος δεδομένων. Η εξοικονόμηση ενέργειας στο πεδίο του χρόνου μπορεί να μετρηθεί με το κλάσμα του χρόνου όπου ο *PA* είναι ανενεργός κατά τη διάρκεια ενός πλαισίου μετάδοσης.

Υπάρχουν τρεις τρόποι για να επιτευχθεί η προσωρινή απενεργοποίηση του *PA*[8].

i. Απενεργοποίηση του ενισχυτή όταν δεν υπάρχει εκπομπή σημάτων (*R8*)

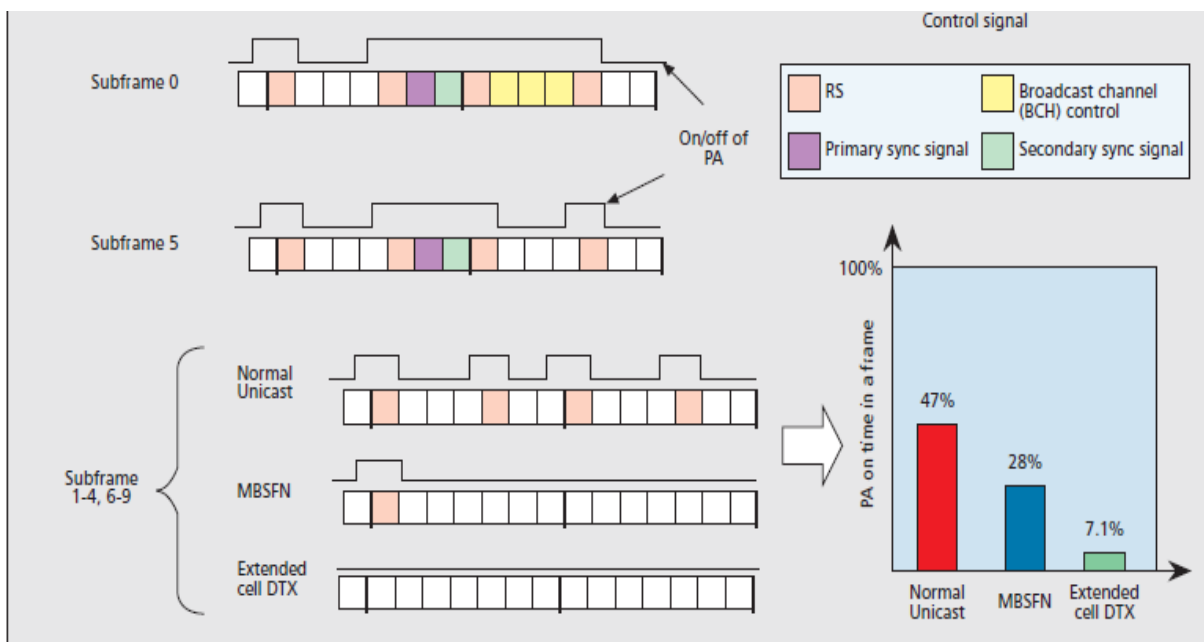
Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4.2.2, σε ένα πλαίσιο LTE με 7 σύμβολα ανά χρονοθυρίδα, τα 4 σύμβολα σε κάθε ένα από υποπλαίσια 1-4 και 6-9, τα 9 σύμβολα στο υπό-πλαίσιο 0, και τα 6 σύμβολα του υπό-πλαισίου 5 αποτελούν τα δεσμευμένα σήματα ελέγχου. Αν θεωρηθεί ότι χρειάζεται χρόνος εκπομπής μισού συμβόλου για να ενεργοποιηθεί ένας ενισχυτής, ενώ μπορεί να απενεργοποιηθεί ακαριαία, με έναν απλό υπολογισμό φαίνεται ότι ο ενισχυτής πρέπει να είναι ενεργός περίπου για το 47% του χρόνου ενός πλαισίου μετάδοσης, μόνο για την εκπομπή των σημάτων ελέγχου.

ii. Χρήση του MBSF πλαισίου (*R9*)

Η δεύτερη προσέγγιση χρησιμοποιεί την *MBSF* δομή για να μειώσει τον αριθμό των *RSs*. Σε ένα πλαίσιο *MBSFN*, 6 υποπλαίσια από τα 10 (πρόκειται για τα υποπλαίσια 1,2,3,6,7,8 για την έκδοση LTE FDD) χρειάζεται να μεταδίδουν μόνο 1 *RS*, ενώ στην κανονική περίπτωση θα μετέδιδαν 4. Το ποσοστό λειτουργίας του ενισχυτή μειώνεται περεταίρω σε 28%.

iii. Εκτεταμένη ασυνεχής μετάδοση (R8)

Αυτή η προσέγγιση μειώνει περαιτέρω τα RSs σε σύγκριση με την προσέγγιση MBSF. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4.2.2, εάν δεν υπάρχει κίνηση στη κατερχόμενη ζεύξη, δεν υπάρχει καμία ανάγκη για οποιαδήποτε μετάδοση σε 8 από τα 10 υποπλαίσια. Ακόμη, για τα υποπλαίσια 0 και 5 εκτέμονται RSs μόνο πριν και μετά από τα υπόλοιπα σήματα ελέγχου. Έτσι η χρησιμοποίηση του PA φτάνει στο 7.1%. Η *extended cell DTX* όμως έχει κάποιους περιορισμούς. Πρώτον, δεν παρέχεται προς τα πίσω συμβατότητα. Δεύτερον, λειτουργεί μόνο όταν δεν υπάρχει κίνηση κατερχόμενη ζεύξη. Αυτή η κατάσταση είναι πολύ σπάνιο φαινόμενο κατά τη διάρκεια μιας τυπικής ημέρας. Τρίτον, η μείωση των RSs έχει αντίκτυπο στην απόδοση του εξοπλισμού του χρήστη (UE). Στο LTE, ορισμένες διαδικασίες ελέγχου πραγματοποιούνται με τη βοήθεια των RSs. Χωρίς αρκετά RSs, τα κινητά τερματικά μπορεί να αντιμετωπίσουν απρόβλεπτα προβλήματα στο συγχρονισμό με το BS ή στην αποκωδικοποίηση των σημάτων ελέγχου και ως εκ τούτου να έχουν αρνητικές επιπτώσεις για τις υπηρεσίες. Επιπλέον, ο περιορισμός των RSs μπορεί να εμποδίσει ένα UE από την είσοδο στη λειτουργία DTX του τερματικού, έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας του χρήστη.



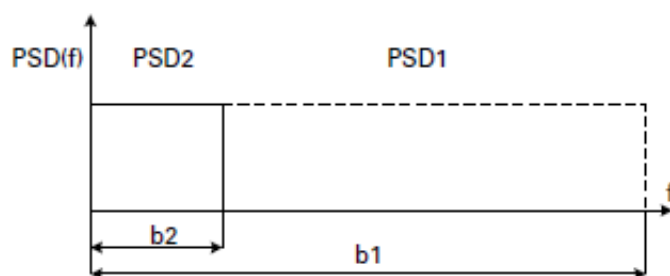
Σχήμα 1.4.2.2 Reference signals για κάθε προσέγγιση

1.4.3 Ενεργειακή αποδοτικότητα στο πεδίο της συχνότητας

Στο πεδίο της συχνότητας υπάρχουν δυο προσεγγίσεις για εξοικονόμηση ενέργειας, η μείωση του εύρους ζώνης και η συνάθροιση φερόντων [8].

i. Bandwidth reduction

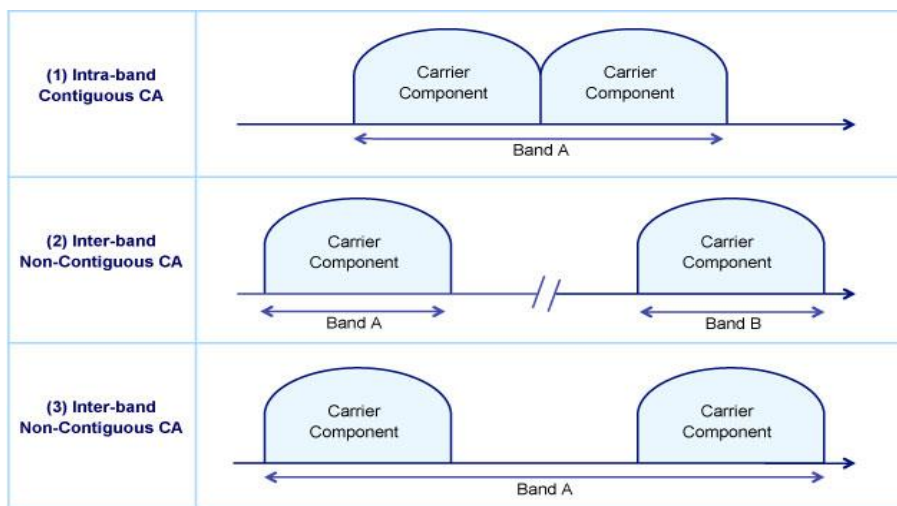
Δεδομένου ότι το LTE υλοποιείται σε διάφορες εκδόσεις όσον αφορά το εύρος ζώνης, είναι δυνατόν για έναν σταθμό βάσης να αλλάζει το εύρος που εκπέμπει ανάλογα με τις συνθήκες φόρτου. Μικρότερο εύρος ζώνης χρησιμοποιείται όταν η κίνηση είναι χαμηλή και αντιστρόφως. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4.3.1, για τη διατήρηση της φασματικής απόδοσης (W/Hz), μικρότερο εύρος ζώνης συνεπάγεται μικρότερη ισχύ εξόδου από τον ενισχυτή. Αν η κίνηση της κατερχόμενης ζεύξης είναι μικρή, το εύρος ζώνης του καναλιού μπορεί να μειωθεί έτσι ώστε να απαιτείται λιγότερη ενέργεια. Για παράδειγμα, όταν το εύρος ζώνης του καναλιού μεταβληθεί από 10 MHz στα 5 MHz , η ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης μειώνεται περίπου κατά 3 dB . Επιπλέον, το μικρότερο εύρος ζώνης συνεπάγεται και λιγότερα reference signals, τα οποία όπως εξηγήθηκε παραπάνω κρατούν τον ενισχυτή ισχύος του σταθμού βάσης ενεργό ακόμα και σε συνθήκες μηδενικού φορτίου κίνησης. Ωστόσο η τεχνική *bandwidth reduction* δεν προβλέπει την απενεργοποίηση του ενισχυτή του σταθμού βάσης, παρά μόνο τη μείωση του εύρους ζώνης του καναλιού του στο ελάχιστο επιτρεπτό, σύμφωνα με τη προτυποποίηση του φυσικού επιπέδου για το LTE. Έτσι, η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται επισκιάζεται από τη συνεχόμενη κατανάλωση ενέργειας του ενισχυτή. Επίσης, οι ενισχυτές είναι κατασκευασμένοι έτσι ώστε να λειτουργούν αποδοτικότερα για συγκεκριμένη ισχύ εξόδου. Με τη μείωση της εκπεμπόμενης ισχύος η αποδοτικότητα του ενισχυτή μειώνεται και η εξοικονόμηση ενέργειας τελικά υπονομεύεται ακόμη περισσότερο.



Σχήμα 1.4.3.1 Φασματική απόδοση σε συνάρτηση με το εύρος ζώνης

ii. Carrier aggregation (R10)

Η τεχνική συνάθροισης φερόντων, η οποία είναι μέρος της προτυποποίησης *LTE Advanced version 10*, στοχεύει στην αύξηση του throughput και της χωρητικότητας μέσω της αύξησης του εύρους ζώνης του συστήματος. Ειδικότερα, πολλά φέροντα (μέχρι πέντε) ίδιας ή διαφορετικής συχνότητας αθροίζονται στο σταθμό βάσης και αντιμετωπίζονται ως ένα ενιαίο φέρον. Η αύξηση στο throughput είναι αποτέλεσμα της αύξησης των πόρων που μπορεί να προσφέρει ο σταθμός βάσης χάρη σε αυτή τη τεχνική. Κάθε κομμάτι φάσματος εκπέμπεται μέσω διαφορετικών *rf-chains* μέσα στο σταθμό βάσης και ανάλογα με την υλοποίηση μπορεί να χρησιμοποιεί *dedicated PAs*.



Σχήμα 1.4.3.2 Τύποι συνάθροισης φερόντων

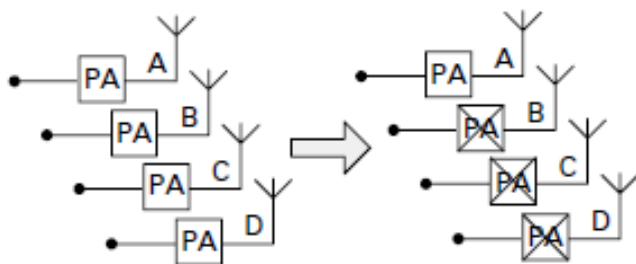
Η προοπτική εξοικονόμησης ενέργειας έρχεται μέσω της απενεργοποίησης των *PAs* εκείνων, οι οποίοι τροφοδοτούν φέροντα τα οποία δεν εξυπηρετούν κίνηση. Είναι εύκολα αντιληπτό πως η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί μόνο για υλοποιήσεις *CA* σε σταθμούς βάσης με αφιερωμένους ενισχυτές ισχύος για κάθε φέρον.

1.4.4 Ενεργειακή αποδοτικότητα στο πεδίο του χώρου

Η δυναμική διαχείριση των πομπών, καθώς και των υποσυστημάτων που τους τροφοδοτούν είναι η πιο κοινή μέθοδος εξοικονόμησης ενέργειας στο πεδίο του χώρου. Στο πεδίο του χώρου υπάρχουν και οι τεχνικές *cell switch*, *cell zoom*, και *layered structure*.

i. Reduce antenna number

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4.4.1, με την απενεργοποίηση των κεραιών ενός σταθμού βάσης, απενεργοποιούνται και οι αντίστοιχοι ενισχυτές ισχύος. Αυτή η προσέγγιση εφαρμόζεται σε καταστάσεις χαμηλού φόρτου όπου ένας πομποδέκτης είναι σε θέση να εξυπηρετήσει όλη τη κίνηση. Η μείωση της εκπεμπόμενης ισχύος μειώνει την ακτίνα της κυψέλης, οπότε είναι απαραίτητος ένας μηχανισμός για τη διατήρηση των σημάτων ελέγχου στα άκρα της, ενώ μπορεί να οδηγήσει και σε υποβάθμιση του *QoS* των χρηστών.



Σχήμα 1.4.4.1 Εξοικονόμηση ενέργειας από την αναδιάταξη των πομπών του σταθμού βάσης ανάλογα με τις συνθήκες φόρτου.

ii. Cell Switch On/Off

Η δημοφιλέστερη προσέγγιση για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των κυψελοειδών δικτύων είναι η απενεργοποίηση των κυψελών. Πρόκειται για τη τεχνική που επιφέρει τα θεαματικότερα αποτελέσματα, όσον αφορά τη ποσότητα ενέργειας που εξοικονομείται. Η τεχνική αυτή βασίζεται στις διακυμάνσεις του κυκλοφοριακού φόρτου ενός κυψελοειδούς δικτύου κατά τη διάρκεια της ημέρας: αν η κίνηση είναι χαμηλή σε μια δεδομένη περιοχή, μερικές κυψέλες μπορούν να απενεργοποιηθούν για να εξοικονομηθεί ενέργεια για το δίκτυο, ενώ οι κυψέλες που θα παραμείνουν ενεργές μπορούν να αυξήσουν την ισχύ εκπομπής τους ώστε να μη δημιουργηθούν κενά στη ραδιοκάλυψη της εν λόγω περιοχής. Αντιστρόφως, η τεχνική *cell switch* μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου, σε περιπτώσεις όπου η κίνηση πυκνώνει για μια δεδομένη περιοχή, με την ενεργοποίηση των κλειστών σταθμών βάσης. Με τη τεχνική αυτή το *QoS* των κινητών τερματικών δεν επηρεάζεται, καθώς οι ενεργοί σταθμοί εγγυώνται τη καλή λειτουργία του δικτύου για κάθε χρονική στιγμή. Μια ειδική περίπτωση της τεχνικής *cell switch* ονομάζεται *HCS*

(*hierarchical cell structure*), όπου macro κυψέλες συνδυάζονται με διαφόρων μεγεθών *small cells* σε ένα ετερογενές δίκτυο όπου οι πρώτες εξασφαλίζουν ευρεία κάλυψη, ενώ οι υπόλοιπες προσθέτουν χωρητικότητα στο σύστημα. Οι *macro* σταθμοί βάσης παραμένουν πάντα ενεργοί έτσι ώστε να υπάρχει κάλυψη των περιοχών, ενώ ανάλογα με τον όγκο του φορτίου μπορούν να ενεργοποιηθούν και οι σταθμοί μικρότερης εμβέλειας.

iii. Layered Structure

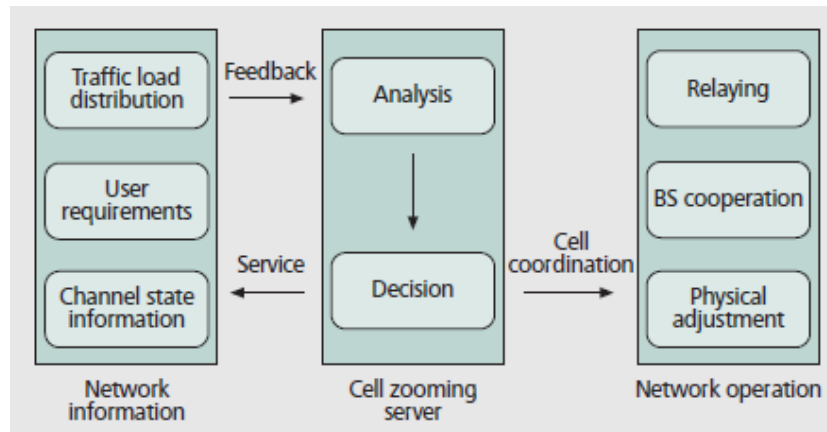
Τα ετερογενή δίκτυα παρουσιάζουν μια πολύ-επίπεδη δομή, στην οποία κυψέλες διαφορετικού μεγέθους συνδυάζονται για να εξυπηρετήσουν τα κινητά τερματικά. Τα ετερογενή δίκτυα αποσκοπούν στη βελτίωση τόσο της απόδοσης όσο και της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της ανάπτυξης ενός δικτύου κυψελών διαφορετικού μεγέθους (*macro, micro, pico, femto*) και διαφορετικών ενεργειακών προφίλ. Στη παραπομπή [9] ορίζεται μια προσεγγιστική σχέση μεταξύ ισχύος εκπομπής ενός σταθμού με τη κατανάλωση ενέργειας από τον ενισχυτή ισχύος, ως $P_{PA} = (1 + a)P_{out}$, όπου P_{PA} είναι η καταναλισκόμενη ενέργεια από τον ενισχυτή, $a = \frac{\xi}{\eta} - 1$, όπου ξ είναι το *PAPR*, η είναι η αποδοτικότητα του ενισχυτή, ενώ P_{out} η ισχύς εκπομπής του σταθμού. Στο σχήμα 1.4.4.2 παρουσιάζονται η ακτίνα και η αντίστοιχη απαιτούμενη ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσης, ανάλογα με τη κλάση τους. Η χρησιμοποίηση των *small cells* στο σχεδιασμό των δικτύων μπορεί να προσφέρει εξοικονόμηση ενέργειας αν ληφθεί υπόψη η διαφορά στην ενεργειακή κατανάλωση τους, σε σύγκριση με τους macro σταθμούς. Έτσι, οι *macro* κυψέλες χρησιμοποιούνται κυρίως για τη κάλυψη μεγάλων περιοχών με μικρή κίνηση, ενώ μικρότερες κυψέλες μπορούν να εγκατασταθούν για να προσφέρουν υψηλή χωρητικότητα σε συγκεκριμένα σημεία των περιοχών αυτών που εμφανίζουν υψηλό επίπεδο κίνησης. Σε συνεργασία με τη τεχνική *cell-switch*, η εξοικονόμηση ενέργειας αυξάνεται ακόμη περισσότερο, καθώς το δίκτυο μπορεί να ενεργοποιεί τους σταθμούς που απαιτούνται για την επίτευξη του απαιτούμενου *QoS* για τα κινητά τερματικά που εξυπηρετεί, χρησιμοποιώντας αρκετά λιγότερη ενέργεια σε σχέση με την συνεχή χρησιμοποίηση όλων των σταθμών του δικτύου.

Cell type	Cell size	Output power
Macro	1–30 km	Tens of watts
Micro	0.4–2 km	1–6.3 W
Pico	4–200 m	200 mW–2 W
Femto	10 m	20–200 mW

Σχήμα 1.4.4.2 Ισχύς εκπομπής για διάφορους σταθμούς βάσης

iv. Cell Zooming

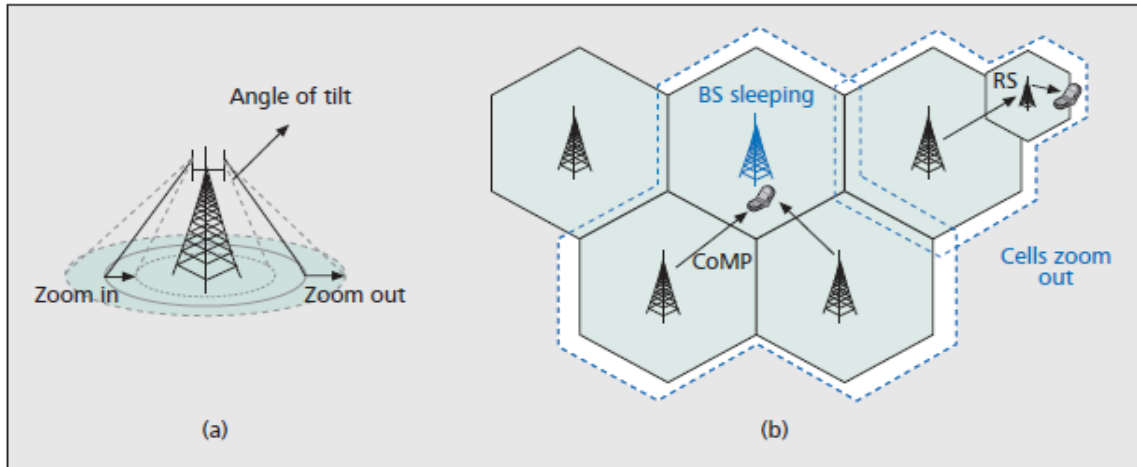
Η τεχνική *cell zooming* προτείνει τη προσαρμογή του μεγέθους των κυψελών, ανάλογα με το εξυπηρετούμενο φορτίο της περιοχής που καλύπτουν. Όταν μια κυψέλη φτάνει σε συμφόρηση εξαιτίας της παρουσίας περισσότερων κινητών τερματικών από αυτά που μπορεί να εξυπηρετήσει, θα μπορεί να μικρύνει την ακτίνα της ώστε να ελαττώσει το φορτίο της, ενώ οι γειτονικές κυψέλες αναλαμβάνουν να διεκπεραιώσουν την επιπλέον κίνηση. Η προσέγγιση αυτή απαιτεί την εισαγωγή ενός συστήματος ελέγχου, τον *cell-zooming server (CS)*, ο οποίος συλλέγει πληροφορίες δικτύου σχετικά με τα επίπεδα του φορτίου κίνησης, τις συνθήκες του καναλιού και το *QoS* των χρηστών και αναλύοντάς τες αποφασίζει για την εκκίνηση του *zooming*. Πέρα από το *load balancing*, η τεχνική αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εξοικονόμηση ενέργειας. Σε περιπτώσεις χαμηλού φόρτου, ο *CS* μπορεί να αυξήσει την ακτίνα κάποιων κυψελών έτσι ώστε να εξυπηρετείται το φορτίο χωρίς τη χρησιμοποίηση του συνόλου των σταθμών βάσης [10].



Σχήμα 1.4.4.3 πλαίσιο της πρότασης cell-zooming

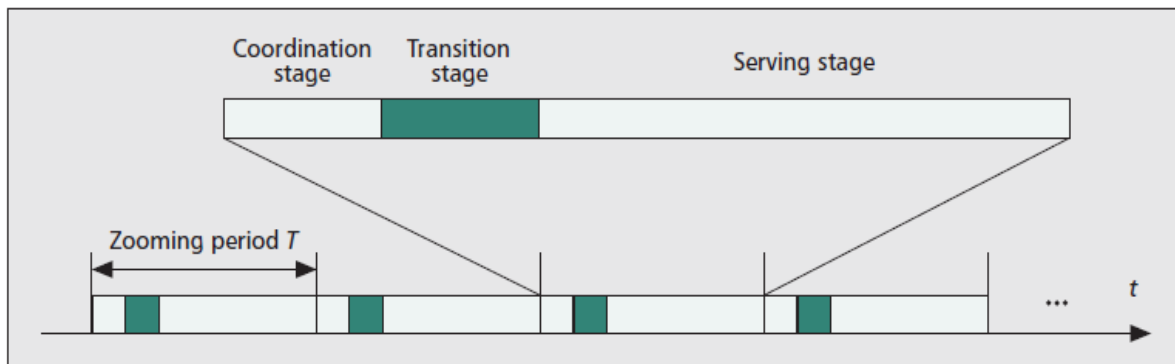
Ο CS εφαρμόζει το cell zooming με τρεις τρόπους :

- με τη προσαρμογή των φυσικών παραμέτρων των σταθμών βάσης, όπως ισχύς εκπομπής, ύψος και κλίση των κεραιών του σταθμού.
- με τη συνεργατική εκπομπή, όπου πολλοί σταθμοί διαμορφώνουν ένα σύμπλεγμα και εκπέμπουν συντονισμένα
- με χρήση σταθμών αναμετάδοσης



Σχήμα 1.4.4.4 Υλοποιήσεις της τεχνικής cell zooming μέσω (a) physical adjustment, (b) συνεργατικής εκπομπής και σταθμού αναμετάδοσης

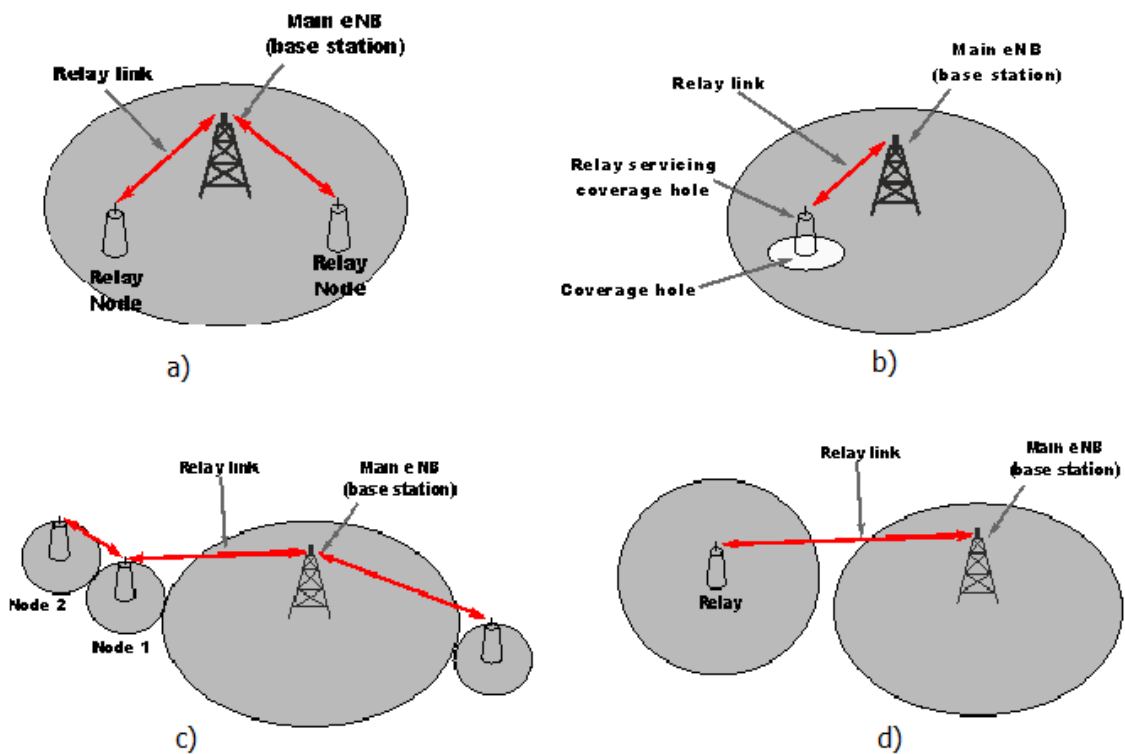
Κάθε περίοδος της λειτουργίας *cell zooming* αποτελείται από τρία στάδια: το στάδιο συντονισμού, το στάδιο της μετάβασης, και το στάδιο της εξυπηρέτησης. Στο στάδιο συντονισμού, ο CS συλλέγει πληροφορίες του δικτύου και παίρνει αποφάσεις για το *zooming*. Στο στάδιο μετάβασης, οι σταθμοί αλλάζουν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους, όπως προκύπτουν από το προηγούμενο στάδιο και εκτελούν όποιες μεταπομπές είναι απαραίτητο να γίνουν. Στο στάδιο εξυπηρέτησης οι σταθμοί είναι έτοιμοι να εξυπηρετήσουν το φορτίο που έχει εισαχθεί στο σύστημα.



Σχήμα 1.4.4.5 Στάδια της λειτουργίας cell-zooming

- **Relaying**

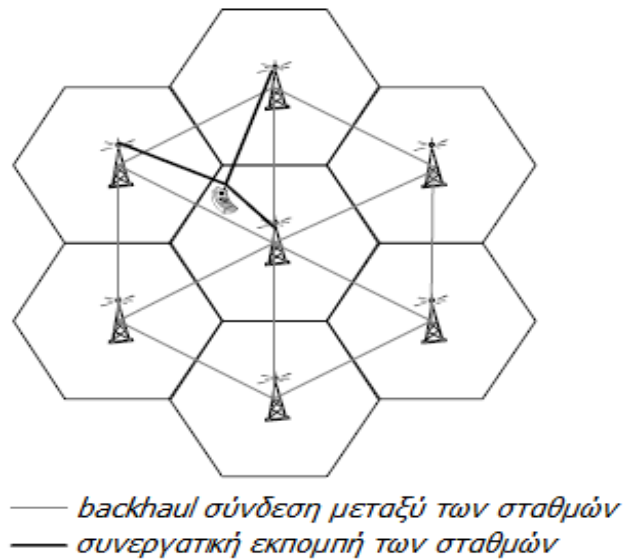
Οι κόμβοι αναμετάδοσης και είναι χαμηλής ισχύος σταθμοί βάσης που παρέχουν ενισχυμένη κάλυψη και χωρητικότητα τόσο στις άκρες των κυψελών, όσο και σε *hot-spot* περιοχές εντός της κυψέλης, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και για τη κάλυψη απομακρυσμένων περιοχών χωρίς να είναι απαραίτητη η ενσύρματη σύνδεση με το υπόλοιπο δίκτυο (*backhaul*). Η χρήση των κόμβων αναμετάδοσης είναι ένα ακόμα μέσο εξοικονόμησης ενέργειας, με παράλληλη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου. Η αρχή αυτής της τεχνικής βασίζεται στην ανάπτυξη κόμβων μεταξύ της πηγής (*BS*) και του προορισμού (*UEs*) και εφαρμόζεται συνήθως για την εξυπηρέτηση χρηστών στα όρια της κυψέλης. Οι κόμβοι αναμετάδοσης επιφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας για το δίκτυο λόγω της μείωσης των αποστάσεων μετάδοσης μεταξύ σταθμού βάσης και κινητών τερματικών, οι οποίες οδηγούν σε μείωση των απωλειών διαδρομής. Έτσι, ο σταθμός βάσης μπορεί να εξυπηρετεί τους *cell-edge* χρήστες του χωρίς να αναγκάζεται να αυξήσει την ισχύ εκπομπής του, εξοικονομώντας ενέργεια.



Σχήμα 1.4.4.6 Χρήσεις των relay nodes για, a) πυκνωση του δικτύου, b) κάλυψη οπής εντός της κυψέλης, c,d) κάλυψη εκτός της κυψέλης

- **BS Cooperation**

Η συνεργασία μεταξύ των σταθμών βάσης (*BSs*), που αναφέρεται γενικά ως *coordinated multipoint (COMP) transmission*, είναι μια πολλά υποσχόμενη ιδέα για την αύξηση της φασματικής απόδοσης και τη βελτίωση της κάλυψης σε κυψελοειδή συστήματα επικοινωνιών, ενώ αποτελεί βασικό στοιχείο της προτυποποίησης *LTE-Advanced*. Οι συνεργαζόμενοι σταθμοί βάσης συνδέονται μεταξύ τους, συνήθως με οπτικές ίνες, διαμορφώνοντας ένα συνεργατικό δίκτυο σταθμών, με κύρια αρχή το συντονισμό της λειτουργίας τους, είτε για να μειωθεί η διακυβελική παρεμβολή (*ICIC scheme*), είτε για να εκμεταλλευθεί ο κινητός σταθμός το κέρδος του χωρικού διαφορισμού, μέσω των σημάτων των γειτονικών σταθμών όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4.4.7. Η συνεργασία μεταξύ των σταθμών βάσης μπορεί επίσης να βελτιώσει σημαντικά την *EE* των κυψελοειδών συστημάτων. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4.4.4 (b), ένας σταθμός βάσης μπορεί να κάνει *zoom στο 0*, δηλαδή να μπει σε *sleep mode*, ενώ το φορτίο του θα συνεχίσει να εξυπηρετείται κανονικά μέσω των άλλων σταθμών του *cluster*.



Σχήμα 1.4.4.7 Συνεργατική εκπομπή τριών σταθμών προς ένα κινητό τερματικό

- **Physical Adjustment**

Η ρύθμιση των φυσικών παραμέτρων των σταθμών βάσης μπορεί να βοηθήσει στην υλοποίηση του *cell zooming*. Οι σταθμοί βάσης μπορούν να μεταβάλλουν την ακτίνα τους είτε αυξομειώνοντας την ισχύ εκπομπής τους, είτε χρησιμοποιώντας μηχανικά εξαρτήματα τα οποία ελέγχουν το ύψος και τη κλίση των κεραίων (*RRHs*), όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4.4.4 (a).

Κεφάλαιο 2 - Προτεινόμενοι αλγόριθμοι εξοικονόμησης ενέργειας

Στο κεφάλαιο 1 σχολιάστηκαν οι σημαντικότερες προσεγγίσεις που έχουν υλοποιηθεί, προκειμένου να βελτιωθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα των συστημάτων τηλεπικοινωνιών 4^{ης} γενιάς. Αντικείμενο του κεφαλαίου 2 είναι η παρουσίαση και η αξιολόγηση δυο ευριστικών αλγορίθμων εξοικονόμησης ενέργειας καθώς και του προσομοιωτή που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις.

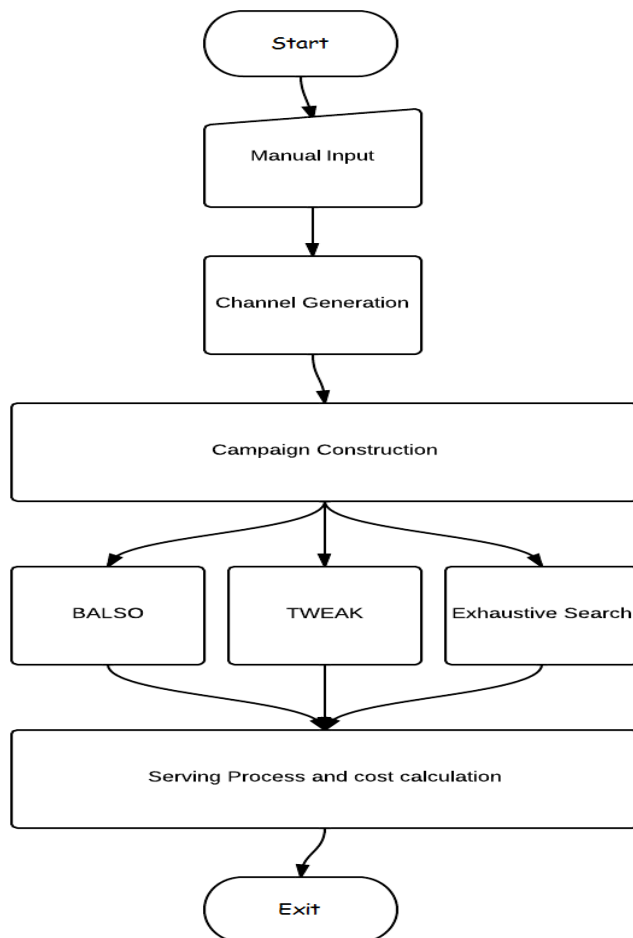
2.1 Αρχιτεκτονική του προσομοιωτή

Το πρόγραμμα προσομοίωσης έχει γραφτεί στη γλώσσα *Matlab* και αποτελείται από δυο οντότητες, τον *Channel Generator* και τον *Simulator*.

Για τη δημιουργία ενός περιβάλλοντος διάδοσης χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο *Wireless World Initiative New Radio II*, ή αλλιώς *WINNER II*. Πρόκειται για ένα μοντέλο επιπέδου συστήματος, το οποίο μπορεί να περιγράψει υλοποιήσεις όλων των προτυποποιημένων σεναρίων μετάδοσης (A^* , B^* , C^* , D^*) και σύνθεσης κεραιών. Οι παράμετροι του καναλιού καθορίζονται στοχαστικά, με βάση τις στατιστικές κατανομές που έχουν εξαχθεί από μετρήσεις των αντίστοιχων καναλιών.

Αρχικά, ορίζονται οι παράμετροι μεγάλης κλίμακας (*LS*) όπως *delay spread and distribution*, *angle of departure spread and distribution*, *angle of arrival Spread and distribution shadow fading standard deviation*, *Ricean K-factor*, με βάση το εκάστοτε σενάριο μετάδοσης. Στη συνέχεια, οι παράμετροι μικρής κλίμακας όπως διάφορες τιμές καθυστέρησης, ισχύος κτλ, καθορίζονται προσεγγιστικά, με βάση τις *LS* παραμέτρους [11]. Αφού έχει υλοποιηθεί το κανάλι *WINNER II*, ο *Simulator* αναλαμβάνει να στήσει ένα σύστημα LTE, παραμετροποιώντας όλες τις παραμέτρους φυσικού και mac επιπέδου όπως *εύρος ζώνης συστήματος*, *αριθμός των subcarriers*, *διάρκεια μετάδοσης συμβόλου*, *διάρκεια μετάδοσης πλαισίου* κτλ. Τέλος, δίνεται η δυνατότητα επιλογής ενός αλγόριθμου ανάθεσης πόρων για να επιλυθεί το σενάριο και να αποτιμηθεί η επίδοση του αλγορίθμου στην ενεργειακή κατανάλωση, τη ταχύτητα εξεύρεσης λύσης και την αναλυτική χρήση των πόρων των σταθμών βάσης.

Ο προσομοιωτής ξεκινάει τη λειτουργία του μέσω της *master function* η οποία καλεί τα κατάλληλα *m files* για τη δημιουργία ενός καναλιού *WINNER II*, τη δημιουργία ενός χωρικού πλέγματος συγκεκριμένων διαστάσεων όπου τοποθετούνται οι χρήστες και οι σταθμοί βάσης και τέλος πραγματοποιεί την επίλυση του σεναρίου μέσω του προεπιλεγμένου αλγόριθμου αποδοτικής ανάθεσης πόρων. Ακολουθεί μια σύντομη αναφορά στις οντότητες του προσομοιωτή καθώς και τις εργασίες που αναλαμβάνει να διεκπεραιώσει η κάθε οντότητα.



Σχήμα 2.1.1 Διάγραμμα των οντοτήτων του προσομοιωτή

- Manual input

Τα δεδομένα εισόδου αφορούν πληροφορίες σχετικά με τους κινητούς σταθμούς, τους σταθμούς βάσης και τη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του προβλήματος ανάθεσης. Τα περισσότερα από αυτά εισάγονται στον προσομοιωτή πριν την εκκίνηση του είτε σαν *mat* αρχεία είτε σαν μεταβλητές μέσα στον κώδικα. Ο αριθμός των κινητών τερματικών πληκτρολογείται απευθείας κατά την εκκίνηση του προσομοιωτή, όμως η απαίτηση τους σε *bit-rate* καθώς και ο αλγόριθμος για την αποδοτική ανάθεση των πόρων του συστήματος σε αυτά ορίζονται μέσα στο προσομοιωτή και πρέπει να έχουν διευκρινιστεί πριν την εκκίνησή του.

Συγκεκριμένα, αυτές οι μεταβλητές εισάγονται στο αρχείο *Execute_Runs.m* στις γραμμές 167,169. Ο αριθμός των σταθμών βάσης μαζί με τις αντίστοιχες πληροφορίες τους πρέπει να εισαχθούν ως ένα mat αρχείο σε καθορισμένες περιοχές πριν από την εκκίνηση του προσομοιωτή, συγκεκριμένα στις θέσεις

C:\dkomna\Channel Generator_update no gui\Bs_Ms_pos

C:\dkomna\Channel Generator_update no gui

Τα δεδομένα για κάθε σταθμό βάσης με τη σειρά που αναγράφονται στο mat αρχείο είναι τα ακόλουθα, ενώ η δομή του αρχείου BSpos_FIXED φαίνεται στο σχήμα 2.4:

- Συντεταγμένες τοποθέτησης του σταθμού βάσης στο πλέγμα (στήλες 1-2)
- Καταναλισκόμενη ισχύς για την εκπομπή του κάθε subcarrier του σταθμού βάσης
- Τύπος λειτουργίας του σταθμού βάσης (LTE ή HSPA)
- pre-existing BSs (σταθμός μόνιμως ενεργός/ανενεργός)
- Τύπος του σταθμού βάσης (macro, micro, femto)



Σχήμα 2.1.2 Εισαγωγή κινητών τερματικών στο προσομοιωτή

```

167 -     methods_used = [1]; %choices: 'exhaustive' = 1, 'european_wireless' = 2, 'revekka_trial' = 3, 'PIMRC' = 4
168 -     %     for BR_multiplier = 2:4
169 -         for BR_multiplier = 4
170 -             for methodUsedCounter = 1:size(methods_used,2)
171 -                 requiredBRPerUserArray = BR_multiplier * tempRequiredBRPerUserArray;

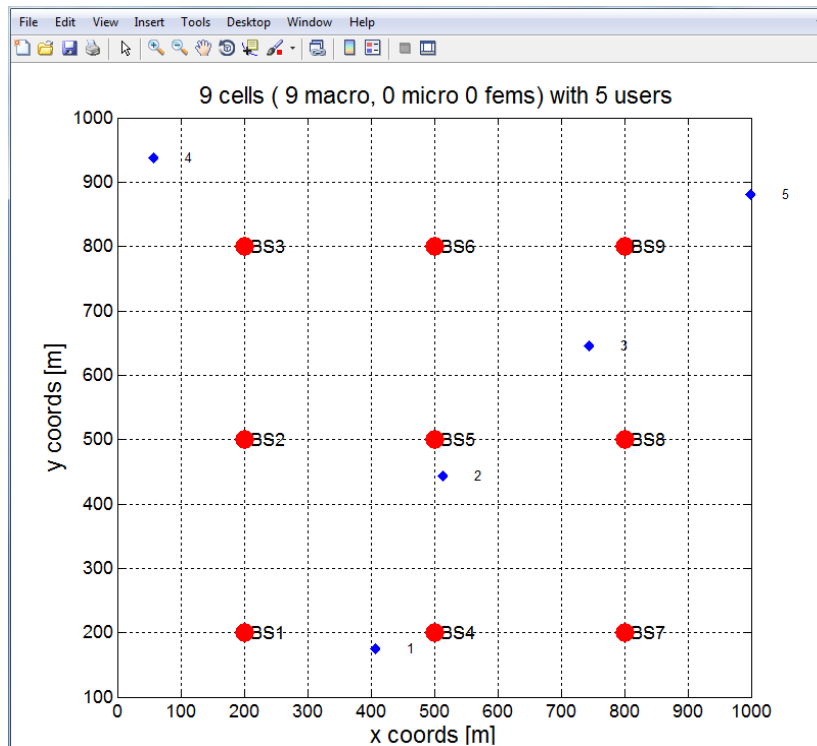
```

Σχήμα 2.1.3 Εισαγωγή του αλγόριθμου επίλυσης και του επιθυμητού bit rate

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2000	0.2000	0.7000	0	0	1		
2	0.2000	0.5000	0.7000	0	0	1		
3	0.2000	0.8000	0.7000	0	0	1		
4	0.5000	0.2000	0.7000	0	0	1		
5	0.5000	0.5000	0.7000	0	0	1		
6	0.5000	0.8000	0.7000	0	0	1		
7	0.8000	0.2000	0.7000	0	0	1		
8	0.8000	0.5000	0.7000	0	0	1		
9	0.8000	0.8000	0.7000	0	0	1		
10								

Σχήμα 2.1.4 Αρχείο BSpos_FIXED για 9 macro σταθμούς βάσης

Αφού έχουν οριστεί οι παράμετροι εισόδου ο προσομοιωτής τοποθετεί τα κινητά τερματικά σε τυχαίες θέσεις στο πλέγμα χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση *randusers.m* του προσομοιωτή και τους σταθμούς βάσης στις αντίστοιχες συντεταγμένες, όπως έχουν οριστεί στο αρχείο BSpos_FIXED.



Σχήμα 2.1.5 Πλέγμα 1000x1000 μέτρα, 9macro BSs (κόκκινες κουκίδες), 5 UEs (μπλε ρόμβοι)

- Channel generator

Η γεννήτρια καναλιού ξεκινάει από το αρχείο *generate_WIM2_channel.m*, όπου διαμορφώνεται ένα καινούργιο κανάλι με τις παραμέτρους προσομοίωσης που εισάγει ο χρήστης (αριθμός σταθμών βάσης, αριθμός κινητών τερματικών, τύποι κεραιών, σενάριο μετάδοσης κ.α.), οι οποίες βρίσκονται στο αρχείο *Wim2_PrmsDefinition.m* και πρέπει να έχουν οριστεί κατάλληλα πριν την εκκίνηση του προσομοιωτή. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, αλλά και με το στοχαστικό προσδιορισμό των *LS* παραμέτρων, στήνεται το κανάλι, υπολογίζοντας το *path_loss* για κάθε πιθανή σύνδεση *BS-MS*.

- Campaign construction

Μετά τη δημιουργία του καναλιού ξεκινάει η λειτουργία του προσομοιωτή από το αρχείο *Execute_Campaign.m*. Όλες οι παράμετροι φυσικού επιπέδου (όπως το εύρος ζώνης του επιλεγμένου συστήματος επικοινωνίας, ο αριθμός, το εύρος ζώνης και η ισχύς θορύβου των subcarriers ανά σταθμό βάσης και το κατώφλι για το *BER* των κινητών σταθμών) καθώς και οι παράμετροι του *MAC* επιπέδου (όπως διάρκεια πλαισίου αποστολής και διάρκεια *OFDM* συμβόλου) υπολογίζονται και αρχικοποιούνται για να χρησιμοποιηθούν στις προσομοιώσεις που θα ακολουθήσουν.

```

55 - cpar.BW = 5*10^6;           % system bandwidth in Hz
56
57 - cpar.Ns = cpar.BW/cpar.Df; % number of subchannels, enter manually 1 for SC
58 - %cpar.Ns = 1;           % number of subchannels, enter manually 1 for SC
59
60 - % cpar.Ns, pause
61
62 - cpar.Ts = 1/cpar.BW;     % symbol duration
63 - cpar.BWs = cpar.BW/cpar.Ns; % subchannel BW
64 - cpar.Tss = 1/cpar.BWs;  % OFDMA symbol duration, else is equal to Ts
65 - cpar.Pnoise = cpar.NO*cpar.BWs; % noise power per subchannel
66
67
68
69 - % MAC
70 - cpar.Tframe = 0.001;    % frame duration in sec
71 - cpar.Nsymb = cpar.Tframe/cpar.Tss; % number of symbols/frame:
72
73 - cpar.WindowLength = 10000; % averaging window in number of frames (moving)

```

Σχήμα 2.1.6 Μερικές παράμετροι φυσικού και MAC επιπέδου

Στη συνέχεια καλείται το αρχείο *Execute_Runs.m*, όπου καλείται ο αλγόριθμός που έχει επιλεγεί και λύνει το σενάριο με τις συγκεκριμένες μεταβλητές. Για κάθε σενάριο που λύνεται, εμφανίζεται και ένα snapshot του χώρου που περιέχει τους σταθμούς βάσης και τους κινητούς σταθμούς.

- Αλγόριθμοι επίλυσης

Έχουν υλοποιηθεί τρεις διαφορετικές μέθοδοι για την εκτέλεση των προσομοιώσεων. Οι δυο τελευταίες είναι ευριστικές και έχουν σαν κύριο χαρακτηριστικό την ταχεία εύρεση μιας όχι απαραίτητα βέλτιστης λύσης στο δοθέν πρόβλημα, ενώ η πρώτη είναι εξαντλητική, δηλαδή χαρακτηρίζεται από μεγάλο χρόνο εκτέλεσης καθώς επεξεργάζεται όλα τα πιθανά σενάρια χρήσης, αλλά δεσμεύεται να βρει την βέλτιστη λύση. Πιο αναλυτική αναφορά στους αλγόριθμους γίνεται παρακάτω.

```

190 -         if (methods_used(methodUsedCounter) == 1) %exhaustive
191 -             method_used = 'exhaustive';
192 -         elseif (methods_used(methodUsedCounter) == 2) %european_wireless
193 -             method_used = 'european_wireless';
194 -         elseif (methods_used(methodUsedCounter) == 4) %PIMRC
195 -             method_used = 'PIMRC';
196 -         end

```

Σχήμα 2.1.7 Διαθέσιμοι αλγόριθμοι επίλυσης

- Serving process and cost calculation

Η τελευταία οντότητα του προσομοιωτή αφορά τη πραγματοποίηση της αποδοτικής ανάθεσης των πόρων του συστήματος στους χρήστες με βάση τα δεδομένα που της επιστρέφουν οι παραπάνω αλγόριθμοι και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της ανάθεσης αυτής. Στο τέλος της ανάθεσης πραγματοποιείται και ο υπολογισμός της ενεργειακής κατανάλωσης του συστήματος με βάση τον αριθμό των σταθμών και των subcarriers που συμμετείχαν στην ανάθεση. Όπως φαίνεται στη παρακάτω σχέση, η συνολική κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται με τη σταθερή συνιστώσα (πρώτος όρος της σχέσης) και τη μεταβλητή συνιστώσα, ανάλογα με το φορτίο κίνησης. Τα παράγωγα της κάθε προσομοίωσης αποθηκεύονται σε αρχεία κειμένου μέσα σε ξεχωριστούς φακέλους. Κάθε φάκελος περιλαμβάνει δυο αρχεία κειμένου, μια σύνοψη της προσομοίωσης στο αρχείο *compact.txt* και το αναλυτικό αποτέλεσμα της μέσα από το αρχείο *results.txt*, ενώ υπάρχει και η επιλογή της αποθήκευσης του δικτύου με τις θέσεις των σταθμών βάσης και των κινητών τερματικών σε αρχείο εικόνας.

```

overallConsumedPower = (air_conditioning_consumption + signal_processing_consumption + general_power_supply)
    +(power_per_LTE_channel_micro * number_of_assigned_channels_LTE_micro)
    +(power_per_LTE_channel_macro * number_of_assigned_channels_LTE_macro)
    +(power_per_LTE_channel_fem * number_of_assigned_channels_LTE_fem)

```

Σχήμα 2.1.8 Τύπος υπολογισμού κατανάλωσης του συστήματος

2.2 Παρουσίαση των ευριστικών αλγορίθμων BALSΟ, TWEAK

i. BALSΟ

Ο *BASe station Location / Status Optimizer* (“*BALSΟ*”) είναι ένας ευριστικός αλγόριθμος. Η κύρια λειτουργία του είναι να παρέχει μεμονωμένους σταθμούς βάσης στο σύστημα, μέχρις ότου καλυφθεί η ζήτηση των χρηστών. Μετά από κάθε βήμα εκτέλεσης του αλγόριθμου, ένας σταθμός βάσης επιστρέφεται ως ο πλέον κατάλληλος για να βοηθήσει το δίκτυο στην εξυπηρέτηση των χρηστών του. Αρχικά όλοι οι σταθμοί βάσης θεωρούνται ανενεργοί και ο αλγόριθμος προσπαθεί να εντοπίσει τον καταλληλότερο για ενεργοποίηση, με βάση τον αντίκτυπο που μπορεί να επιφέρει στην εξυπηρέτηση των χρηστών συνολικά. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται, έως ότου όλοι οι χρήστες του συστήματος είναι ικανοποιημένοι. Για το προσδιορισμό του καταλληλότερου σταθμού βάσης, λαμβάνεται υπόψη η συνολική προσφορά του στην εξυπηρέτηση των χρηστών, δηλαδή όσο υψηλότερο bit-rate μπορεί να επιτύχει ο εξεταζόμενος σταθμός, τόσο πιο γρήγορα θα κληθεί από τον αλγόριθμο για να αποσταλεί στο σύστημα.

Ειδικότερα, υποψήφιος για ενεργοποίηση είναι ο σταθμός βάσης που επιτυγχάνει το υψηλότερο μέσο bit-rate για όλους τους χρήστες του συστήματος. Για να υπολογιστεί αυτός ο παράγοντας κατασκευάζεται ένας τρισδιάστατος πίνακας παρεμβολών (*interference matrix*), ο οποίος αποθηκεύει τις τιμές της παρεμβολής για κάθε ένα ζεύγος (*BS, subcarrier, UE*). Για τον υπολογισμό του πίνακα αυτού χρησιμοποιούνται οι τιμές ισχύος εκπομπής των σταθμών βάσης, οι τιμές ευαισθησίας του δέκτη για κάθε κινητό σταθμό και η στάθμη θορύβου του καναλιού. Ο εξεταζόμενος σταθμός βάσης θεωρείται σταθμός εξυπηρέτησης και όλοι οι υπόλοιποι ενεργοί σταθμοί αποτελούν πηγές παρεμβολής. Χρησιμοποιώντας το θεώρημα Shannon-Hartley, ο πίνακας παρεμβολών μετασχηματίζεται σε έναν αντίστοιχο πίνακα bit-rates, όπου κάθε πεδίο του αποτελεί την επίδοση ενός συγκεκριμένου subcarrier προς ένα χρήστη. Αυτές οι τιμές περιορίζονται όμως από τη μέγιστη φασματική απόδοση του LTE, οπότε όσες τιμές υπερβαίνουν αυτό το όριο αντικαθίστανται από τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή. Σε αυτό το σημείο είναι εύκολο να υπολογιστεί η μέση τιμή της επίδοσης του εξεταζόμενου σταθμού βάσης αθροίζοντας τα bit-rate και διαιρώντας με τον αριθμό των χρηστών.

Αν ένας χρήστης δε μπορεί να εξυπηρετηθεί από το σύστημα με την υπάρχουσα τοπολογία σταθμών, ο *BALSΟ* θα επιχειρήσει να βρει έναν ακόμα σταθμό για να επιστρέψει. Ο σταθμός αυτός πρέπει να πληροί δυο κριτήρια.

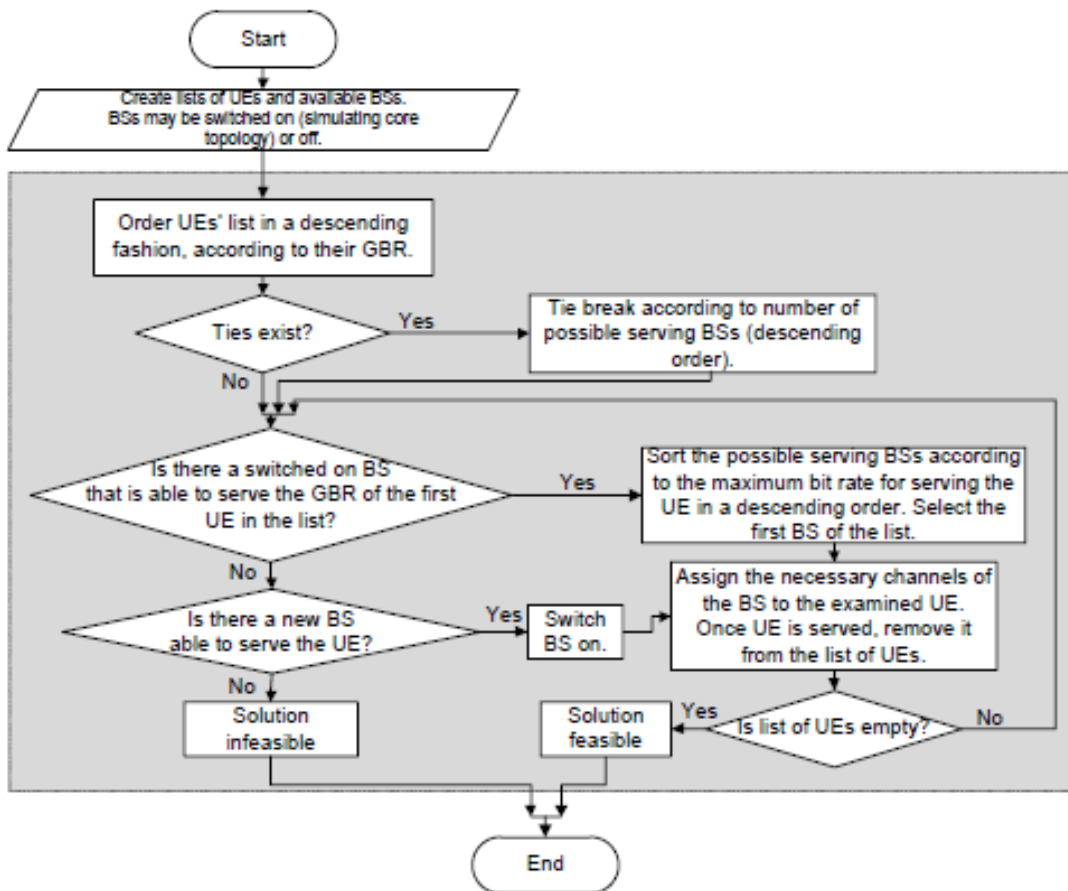
- Το bit rate του εξεταζόμενου σταθμού βάσης για τον χρήστη που δεν εξυπηρετήθηκε προηγουμένως, πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το απαιτούμενο bit-rate του, δηλαδή δίνεται έμφαση στην εξυπηρέτηση του συγκεκριμένου χρήστη.

- Οι σταθμοί βάσης που πληρούν το πρώτο κριτήριο θα συμμετάσχουν στο δεύτερο, το οποίο και πάλι είναι η μεγαλύτερη μέση απόδοση σε όλο το εύρος των χρηστών, έτσι ώστε ο

σταθμός που θα επιλεγεί να είναι σε θέση να προσφέρει όσο το δυνατόν περισσότερο bit-rate στο σύστημα.

Αυτό το σετ περιορισμών διασφαλίζει τη γρήγορη απόκριση του συστήματος σε μια αδυναμία εξυπηρέτησης, καθώς ο επόμενος σταθμός βάσης που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάθεση θα είναι ο βέλτιστος για την εξυπηρέτηση του προβληματικού κινητού τερματικού. Σε περίπτωση που κανένας από τους εναπομείναντες σταθμούς βάσης δε μπορεί εξυπηρετήσει επαρκώς το ‘προβληματικό’ κινητό τερματικό, επιστρέφεται ο σταθμός βάσης χρησιμοποιώντας μόνο το δεύτερο κριτήριο της συνολικής απόδοσης για το σύστημα.

Όπως αποτυπώνεται στη παράγραφο 2.3 βάσει των αποτελεσμάτων, ο *BALSO* είναι με διαφορά ο ταχύτερος αλγόριθμος εξυπηρέτησης, λόγω της αρχιτεκτονικής του και της φιλοσοφίας του να εξυπηρετεί το φορτίο σειριακά (προσθέτοντας ένα σταθμό τη φορά, ανάλογα με τον αντίκτυπο που αυτός επιφέρει).



Σχήμα 2.2.1 Λογικό διάγραμμα του αλγόριθμου *BALSO*

ii. TWEAK

Ο *opTimal poWer consumption schEme for rAdio access networKs* (“TWEAK”) είναι επίσης ευριστικός αλγόριθμος. Σε αντίθεση με τον *BALSO*, επιστρέφει στο δίκτυο όλους τους διαθέσιμους σταθμούς βάσης, ταξινομημένους σε φθίνουσα σειρά σύμφωνα με τη δυνατότητα τους να εξυπηρετήσουν τους χρήστες του δικτύου. Ο αλγόριθμος θεωρεί όλους τους σταθμούς ενεργούς και σε κάθε επανάληψη που κάνει απενεργοποιεί έναν σταθμό βάσης και επιχειρεί να αναθέσει τους χρήστες στους εναπομείναντες ενεργούς σταθμούς.

Αρχικά ο *TWEAK* πραγματοποιεί μια εικονική ανάθεση των χρηστών στους σταθμούς του δικτύου. Όπως και στον *BALSO*, κατασκευάζεται ένας τρισδιάστατος πίνακας παρεμβολών χρησιμοποιώντας τις τιμές ισχύος εκπομπής των σταθμών βάσης, τις τιμές ευαισθησίας του δέκτη για κάθε κινητό σταθμό και τη στάθμη θορύβου του καναλιού. Στη συνέχεια δημιουργείται ο πίνακας των bit-rates για κάθε ζεύγος (BS, subcarrier, UE) χρησιμοποιώντας το θεώρημα Shannon-Hartley και τα subcarriers του κάθε σταθμού ταξινομούνται με φθίνουσα σειρά ανάλογα με το bit-rate που επιτυγχάνουν. Με αυτό τον τρόπο θα χρησιμοποιηθούν μόνο τα αποδοτικότερα subcarriers του κάθε σταθμού στη πραγματική ανάθεση, εξοικονομώντας πόρους στο σύστημα. Σαν περιορισμός στην ανάθεση ορίζεται ένα κατώφλι για τα κανάλια που επιτρέπεται να χρησιμοποιεί κάθε σταθμός βάσης για την εξυπηρέτηση κάθε τερματικού (*cutoff_threshold*), θεωρώντας περιπτώσεις που το ξεπερνούν ως μη αποδοτικές για το σύστημα. Τα στοιχεία της αρχικής ανάθεσης (αριθμός των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετήσει κάθε σταθμός βάσης, αριθμός των subcarriers που δεσμεύονται για κάθε κινητό τερματικό) αποθηκεύονται.

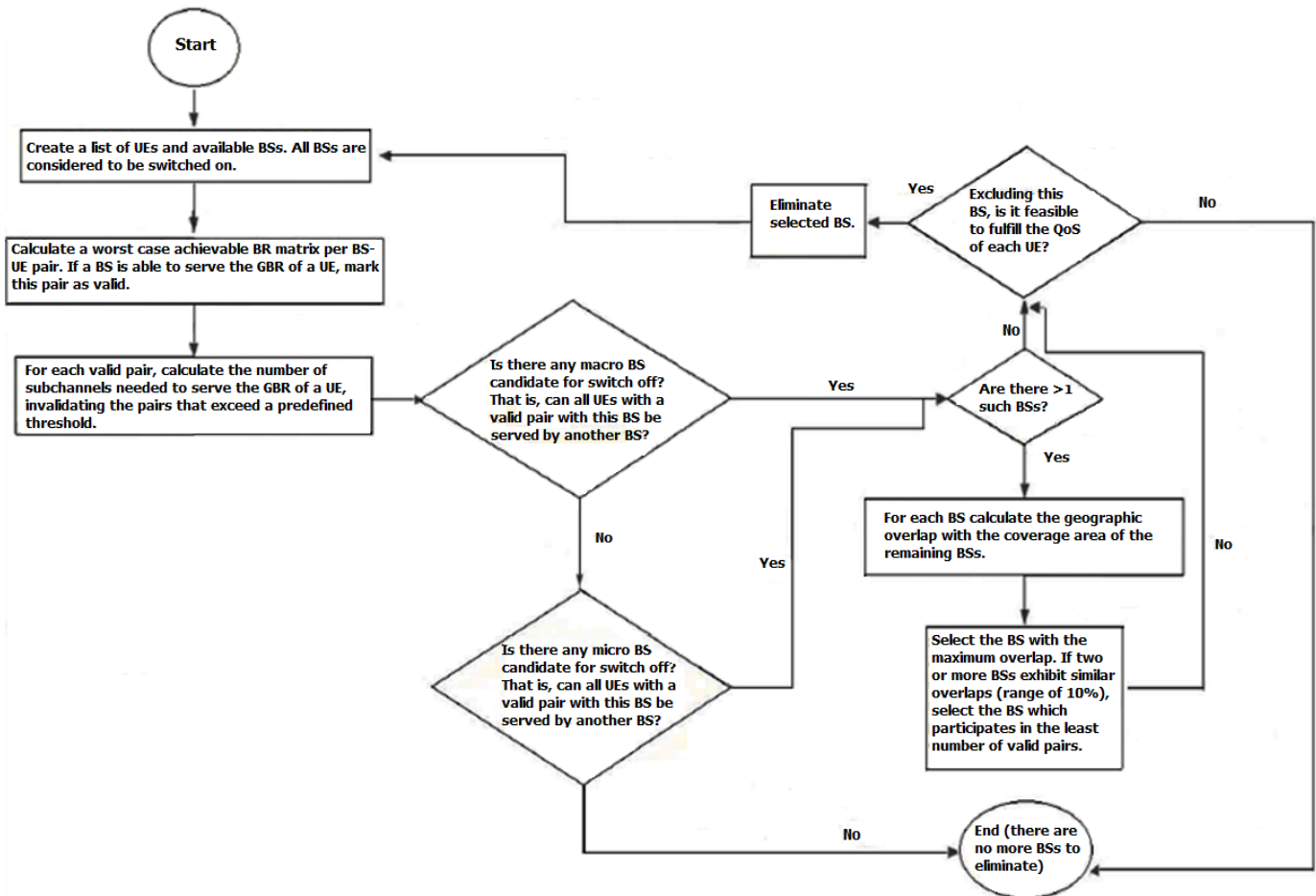
Στη συνέχεια, ξεκινάει η διαδικασία για την εύρεση του λιγότερο απαραίτητου σταθμού βάσης του δικτύου, με τη διαδοχική απενεργοποίηση όλων των σταθμών. Σε κάθε επανάληψη του αλγόριθμου, ένας σταθμός θεωρείται ανενεργός και ο αλγόριθμος προσπαθεί να αναθέσει τους χρήστες στους υπόλοιπους σταθμούς. Αν η ανάθεση στεφθεί με επιτυχία, ο ανενεργός σταθμός σημειώνεται σαν υποψήφιος για απενεργοποίηση και θα συγκριθεί με τους υπόλοιπους υποψήφιους, ώστε να προσδιοριστεί ο λιγότερο χρήσιμος σταθμός του δικτύου. Τα κριτήρια της σύγκρισης εξηγούνται παρακάτω.

Όταν βρεθεί ο λιγότερο χρήσιμος σταθμός, τοποθετείται στη τελευταία θέση της λίστας που θα επιστραφεί στο σύστημα και όλες οι επόμενες επαναλήψεις θα πραγματοποιηθούν χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο συγκεκριμένος σταθμός. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να εκτιμηθούν όλοι οι σταθμοί βάσης του δικτύου και γεμίσει η λίστα εξόδου του αλγόριθμου. Η *Serving process* θα πραγματοποιήσει τότε την τελική ανάθεση των πόρων στους χρήστες του δικτύου χρησιμοποιώντας τους πιο αποδοτικούς σταθμούς βάσης του δεδομένου snapshot δικτύου, εξοικονομώντας ενέργεια.

Έχουν οριστεί δυο κριτήρια για το προσδιορισμό του λιγότερο απαραίτητου σταθμού βάσης. Πρώτο είναι το ποσοστό της γεωγραφικής επικάλυψης του εξεταζόμενου σταθμού με τους υπόλοιπους ενεργούς σταθμούς του δικτύου. Δεύτερο κριτήριο αποτελεί ο αριθμός των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετήσει ο υποψήφιος σταθμός, πληροφορία που έχει αποθηκευτεί μετά την πρώτη ανάθεση που επιχειρεί ο *TWEAK*.

- Υποψήφιοι σταθμοί με αρκετά μεγαλύτερη επικαλυπτόμενη περιοχή θεωρούνται λιγότερο χρήσιμοι για το δίκτυο, καθώς συνεισφέρουν λιγότερο στην έκταση του, ενώ παράλληλα εισάγουν περισσότερη παρεμβολή.
- Υποψήφιοι σταθμοί με ελάχιστα μικρότερη επικαλυπτόμενη περιοχή επίσης μπορούν να θεωρηθούν λιγότερο χρήσιμοι, αν εξυπηρετούν λιγότερους χρήστες από σταθμούς με ελάχιστα μεγαλύτερη επικαλυπτόμενη περιοχή, μιας και η αποκλειστική τους περιοχή δε χρησιμοποιείται αποδοτικά.

Αν κάποιος χρήστης δε μπορούν να εξυπηρετηθούν ενώ όλοι οι σταθμοί είναι ενεργοί, ο αλγόριθμος συμπληρώνει τη λίστα με βάση μόνο το πρώτο από τα δυο κριτήρια, οδηγώντας το σύστημα σε μια υποβέλτιστη επίλυση του snapshot.



Σχήμα 2.2.2 Λογικό διάγραμμα του αλγόριθμου *TWEAK*

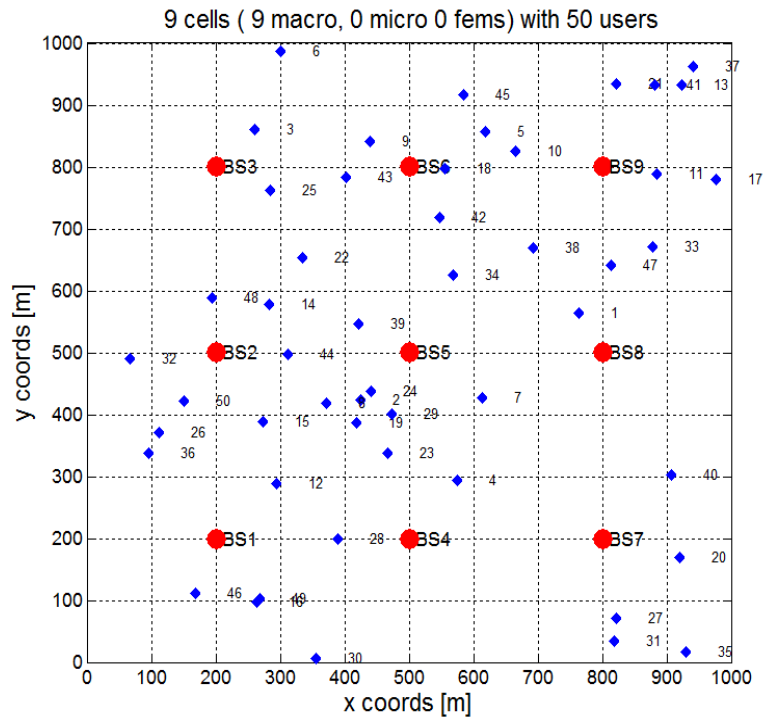
2.3 Πειραματικές μετρήσεις

Ακολουθεί η ανάλυση της απόδοσης των αλγορίθμων *BALSO* και *TWEAK* μέσα από πειραματικές μετρήσεις, στις μετρικές της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος, ταχύτητας εξεύρεσης λύσης και εκτίμηση της λύσης αυτής ως προς τις αντίστοιχες τιμές ενός εξαντλητικού αλγορίθμου [παράρτημα Γ]. Το πλέγμα που χρησιμοποιήθηκε για τη τοποθέτηση των σταθμών βάσης και των κινητών σταθμών είναι ένας τετραγωνισμένος χώρος διαστάσεων 1000τ.μ. (1000μ x 1000μ) και οι σταθμοί βάσης τοποθετήθηκαν σε αυτόν σε επιλεγμένα σημεία με κριτήρια την συμμετρία και την ομοιογένεια ως προς το εμβαδό που καλύπτει ο κάθε ένας. Οι κινητοί σταθμοί τοποθετούνται σε τυχαίες θέσεις πάνω στο πλέγμα, ανεξάρτητα από τις θέσεις και τον αριθμό των σταθμών βάσης που χρησιμοποιούνται, ενώ η θέση τους μεταβάλλεται για κάθε σενάριο που εκτελείται.

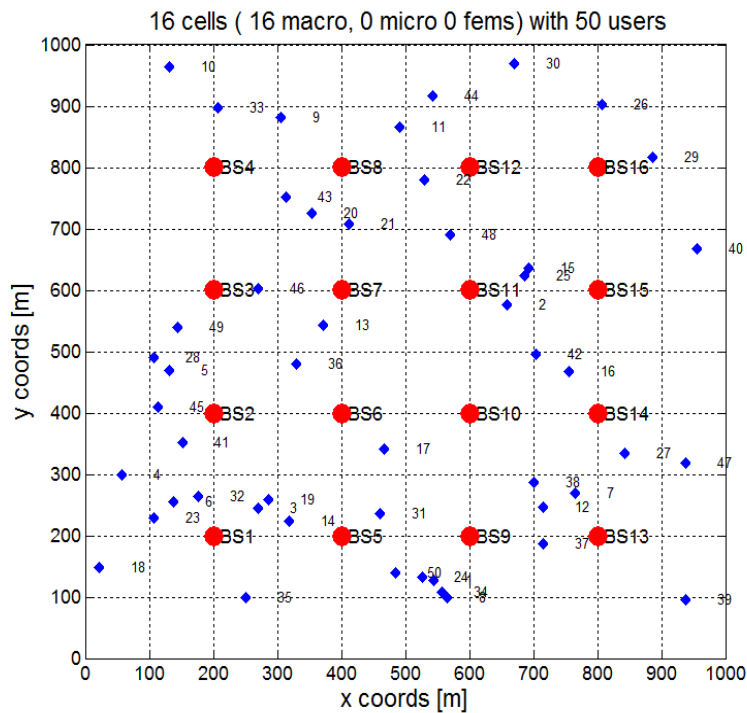
Δοκιμάστηκαν δυο τοπολογίες σταθμών βάσης, 3x3 και 4x4, στα σημεία που φαίνονται στα σχήματα 2.3.2 και 2.3.3. Οι θέσεις των σταθμών βάσης παρέμειναν σταθερές για το σύνολο των προσομοιώσεων. Οι αλγόριθμοι δοκιμάστηκαν σε ένα σύνολο πειραμάτων με σκοπό τη καταγραφή της απόδοσής τους τόσο σε ευνοϊκές όσο και σε δυσχερείς συνθήκες φόρτου, πάνω από ένα σύστημα LTE με εύρος 5MHz. Οι δυο αλγόριθμοι δοκιμάστηκαν διαδοχικά σε σενάρια 5, 15, 30 και 50 χρηστών με επιθυμητό bit-rate του κάθε χρήστη 500, 750 και 1000kbps αντίστοιχα. Κάθε σενάριο δοκιμάστηκε στο προσομοιωτή έως ότου παραχθούν 200 επιτυχείς επαναλήψεις και τα παράγωγα των προσομοιώσεων παρατίθενται στους παρακάτω πίνακες.

Παράμετροι	Τοπολογία 3X3	Τοπολογία 4X4
Αριθμός σταθμών βάσης	9	16
Αριθμός PRBs	25	
BW συστήματος LTE	5MHz	
Αριθμός UEs	5, 15, 30, 50	
Απαιτήσεις σε bit rate /UE	500kbps, 750kbps, 1000kbps	
Μοντέλο διάδοσης	C3 - Bad Urban (NLOS)	

Σχήμα 2.3.1 Πίνακας παραμέτρων των προσομοιώσεων



Σχήμα 2.3.2 Χώρος 1000τμ και θέσεις σταθμών βάσης (3x3)



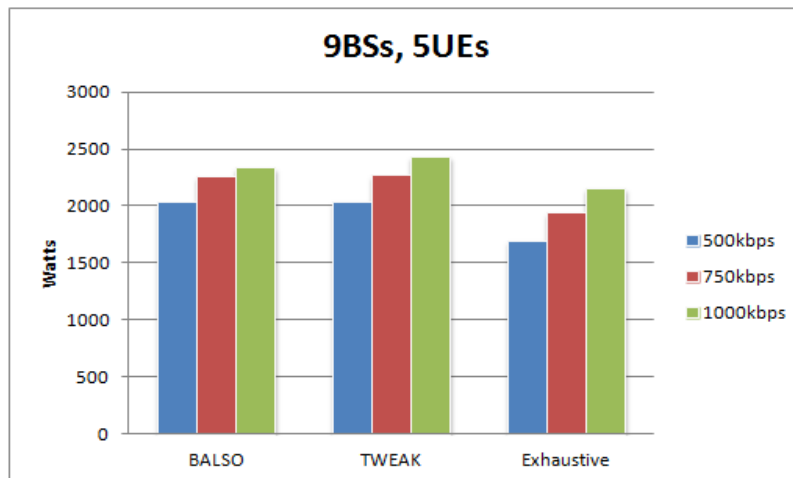
Σχήμα 2.3.3 Χώρος 1000τμ και θέσεις σταθμών βάσης (4x4)

Σενάριο 1 (9BSs, 5users)

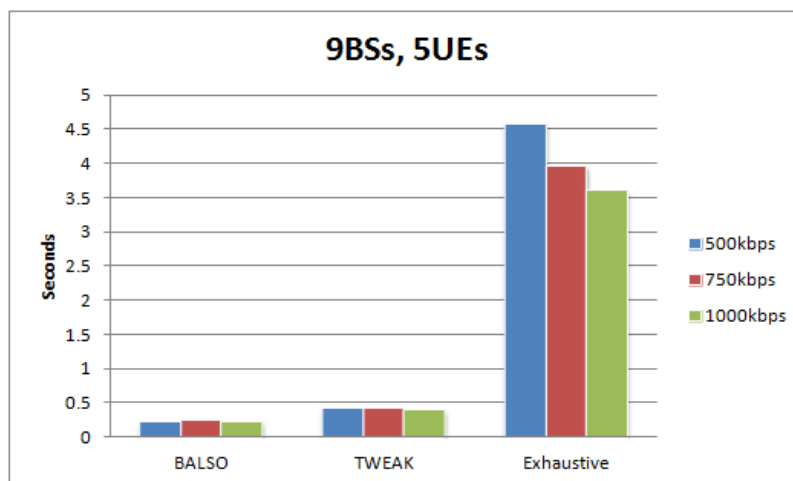
	BALSO				TWEAK		
	Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)		Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)
500kbps	0.217	2024.28	0		0.420	2034.6	0
750kbps	0.234	2251.92	0		0.409	2262.6	0
1000kbps	0.229	2329.2	0		0.341	2429.52	0

Σχήμα 2.3.4 Αποτελέσματα μετρήσεων για το σενάριο 1

Πρόκειται για ένα σενάριο χαμηλού φόρτου. Οι δυο ευριστικοί αλγόριθμοι παρουσίασαν παρόμοια αποτελέσματα στη κατανάλωση ενέργειας για τη λύση του σεναρίου, με διαφορά της τάξης του 15% σε σχέση με τα αποτελέσματα του εξαντλητικού αλγορίθμου. Στη μετρική της χρονικής απαίτησης, ο *BALSO* παρουσίασε σαφώς ταχύτερα αποτελέσματα λόγω της αρχιτεκτονικής του σε σχέση με τον *TWEAK*, ενώ είναι εμφανής η διαφορά των δυο ευριστικών αλγορίθμων από τον εξαντλητικό.

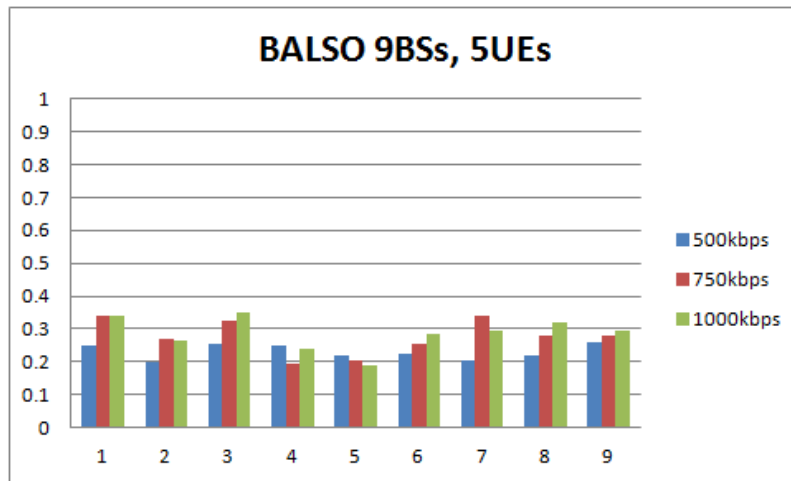


Σχήμα 2.3.5 Ενεργειακή απαίτηση των αλγορίθμων για το σενάριο 1

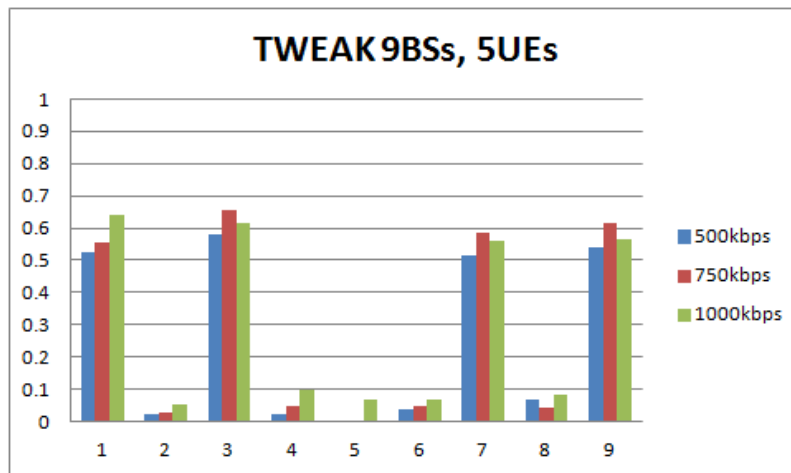


Σχήμα 2.3.6 Χρόνος εκτέλεσης των αλγορίθμων για το σενάριο 1

Στο τομέα της χρησιμοποίησης πόρων, ο *BALSO* μοιράζει το φορτίο ισοδύναμα στους διαθέσιμους σταθμούς βάσης, ενώ ο *TWEAK* χρησιμοποιεί κυρίως τους τέσσερις γωνιακούς σταθμούς της τοπολογίας για να εξυπηρετήσει το φορτίο, ενώ οι υπόλοιποι σταθμοί ενεργοποιούνται σε ελάχιστες περιπτώσεις. Η κατανομή που εφαρμόζει ο *TWEAK* δείχνει τη τάση του αλγόριθμου να χρησιμοποιεί τους σταθμούς βάσης με μικρή επικάλυψη στο χώρο, για το περιορισμό της παρεμβολής στο σύστημα.



Σχήμα 2.3.7 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *BALSO* για το σενάριο 1



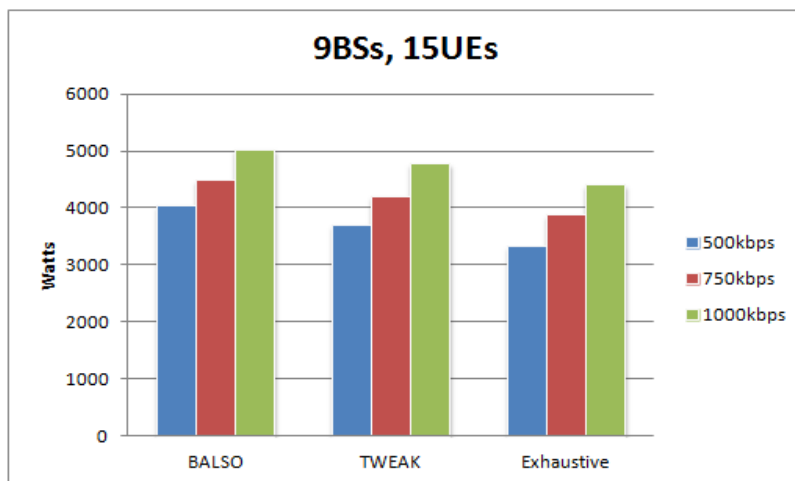
Σχήμα 2.3.8 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *TWEAK* για το σενάριο 1

Σενάριο 2 (9BSs, 15users)

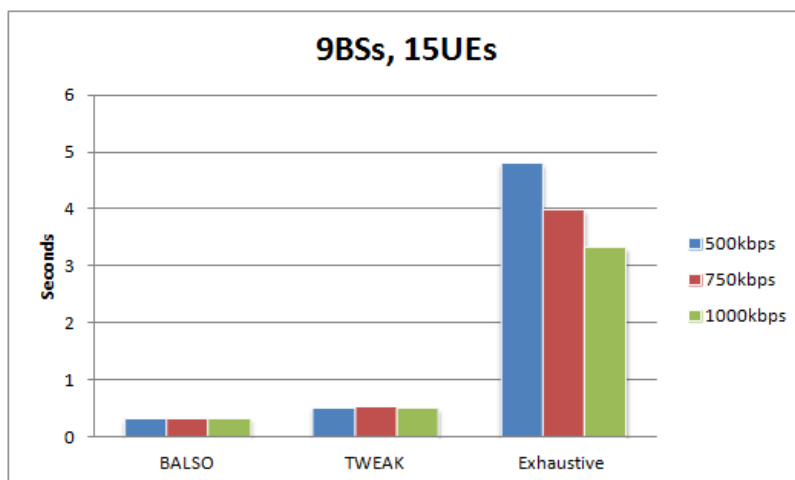
		BALSO			TWEAK		
	Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)		Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)
500kbps	0.315	4038.96	0		0.512	3696.6	0
750kbps	0.328	4482.48	0		0.515	4199.16	0
1000kbps	0.329	5016.96	0		0.499	4769.28	0

Σχήμα 2.3.9 Αποτελέσματα μετρήσεων για το σενάριο 2

Το σενάριο 2 είναι ένα σενάριο μεσαίου φόρτου. Ο *TWEAK* πλησίασε σε ενεργειακή αποδοτικότητα τις τιμές του εξαντλητικού αλγόριθμου (τάξη 90%), ενώ ο *BALSO* κατά μέσο όρο έφτασε στο 85%. Στη μετρική του χρόνου και οι δυο ευριστικοί αλγόριθμοι παρουσιάστηκαν σαφώς ταχύτεροι από τον εξαντλητικό, με τον *BALSO* να χρειάζεται κατά μέσο όρο 35% λιγότερο χρόνο από τον *TWEAK* για να λύσει το σενάριο.

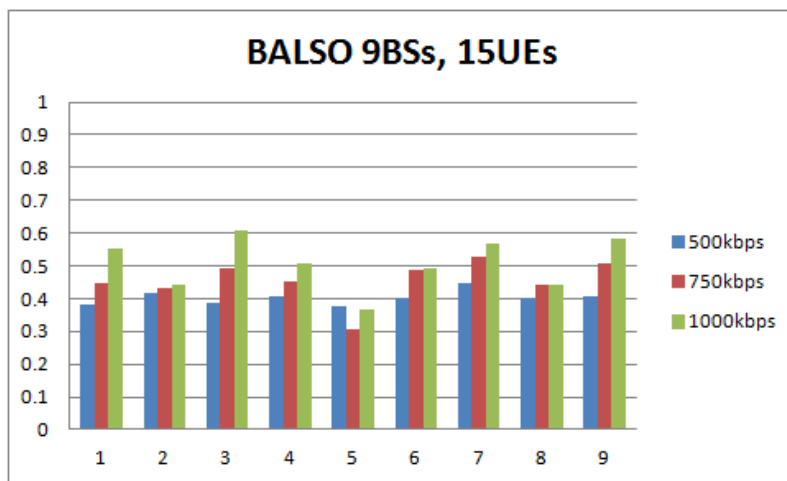


Σχήμα 2.3.10 Ενεργειακή απαίτηση των αλγορίθμων για το σενάριο 2

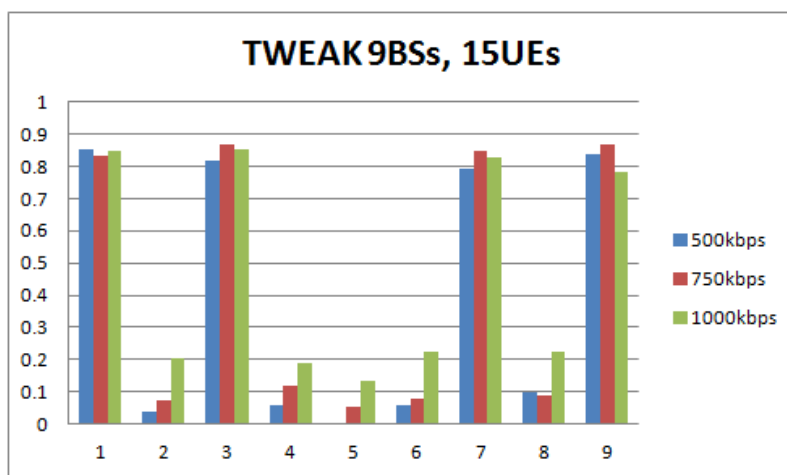


Σχήμα 2.3.11 Χρόνος εκτέλεσης των αλγορίθμων για το σενάριο 2

Στο τομέα της χρησιμοποίησης πόρων, ο *BALSO* μοιράζει το φορτίο ισοδύναμα στους διαθέσιμους σταθμούς βάσης, ενώ ο *TWEAK* χρησιμοποιεί κυρίως τους τέσσερις γωνιακούς σταθμούς της τοπολογίας και εξαντλεί τους πόρους κάθε ενεργοποιημένου σταθμού προτού επιχειρήσει να ενεργοποιήσει τον επόμενο. Σε αντίθεση με το προηγούμενο σενάριο, η προσέγγιση *TWEAK* έφερε αρκετά καλύτερο αποτέλεσμα στην ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος, καθώς η προσέγγιση του χρησιμοποιεί τους σταθμούς που εισάγουν μικρή παρεμβολή στο σύστημα και έτσι μπορούν να εξυπηρετήσουν περισσότερους χρήστες αναλογικά με τη προσέγγιση του *BALSO*.



Σχήμα 2.3.12 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *BALSO* για το σενάριο 2



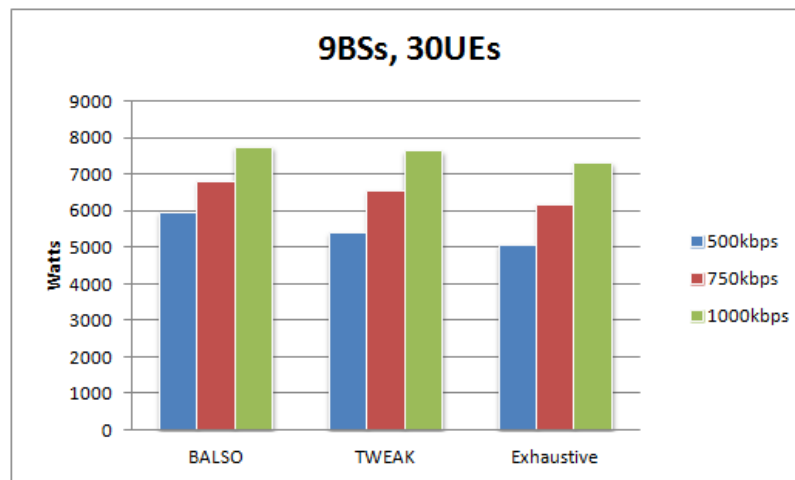
Σχήμα 2.3.13 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *TWEAK* για το σενάριο 2

Σενάριο 3 (9BSs, 30users)

	BALSO				TWEAK		
	Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)		Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)
500kbps	0.436	5961.6	0		0.610	5410.44	0
750kbps	0.453	6814.2	0		0.592	6552.72	0
1000kbps	0.457	7760.75	0		0.586	7700.04	0

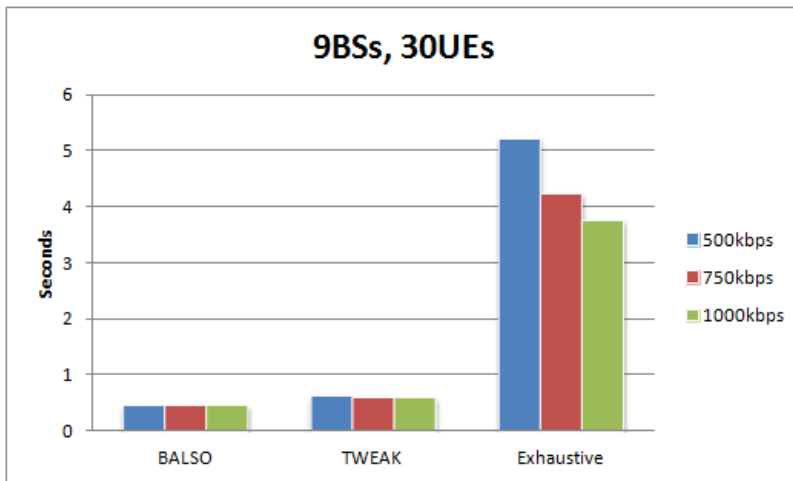
Σχήμα 2.3.14 Αποτελέσματα μετρήσεων για το σενάριο 3

Το σενάριο 3 είναι ένα σενάριο υψηλού φορτίου κίνησης. Ο *TWEAK* παρουσίασε καλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα, η οποία πλησίασε τις τιμές του εξαντλητικού αλγόριθμου σε ποσοστό άνω του 90%. Στη μετρική του χρόνου οι δυο ευριστικοί αλγόριθμοι ήταν σαφώς ταχύτεροι από τον εξαντλητικό, με τον *BALSO* να χρειάζεται κατά μέσο όρο 25% λιγότερο χρόνο για να λύσει το σενάριο σε σχέση με τον *TWEAK*.

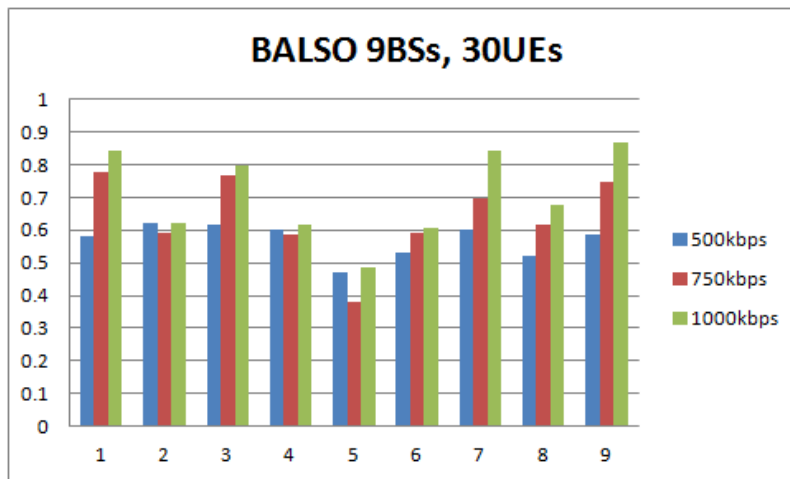


Σχήμα 2.3.15 Ενεργειακή απαίτηση των αλγορίθμων για το σενάριο 3

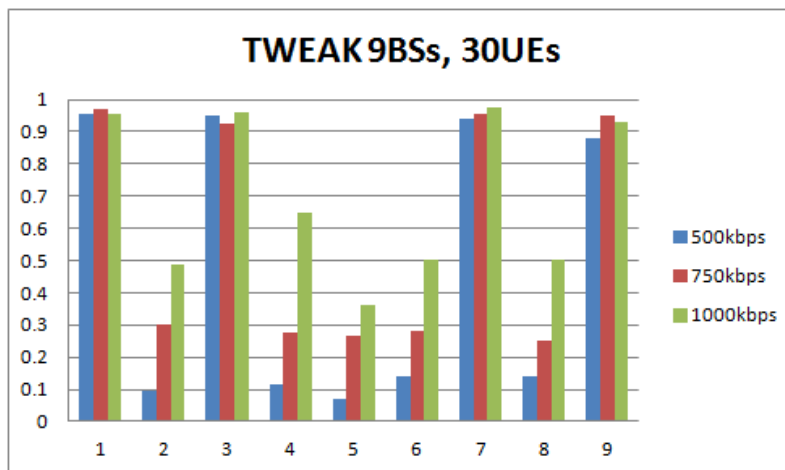
Στο τομέα της χρησιμοποίησης πόρων, παρατηρείται σταδιακή σύγκλιση των ποσοστών χρησιμοποίησης των σταθμών μεταξύ των δυο αλγόριθμων όσο ανεβαίνει το φορτίο κίνησης, η οποία συνεπάγεται και σύγκλιση της ενεργειακής κατανάλωσης, όπως αποτυπώνεται στην υποπερίπτωση του $GBR = 1000kbps$. Παρόλα αυτά είναι φανερό η τάση του *TWEAK* να χρησιμοποιεί κατά κόρον τους γωνιακούς σταθμούς βάσης σε αντίθεση με τον *BALSO*. Η χρησιμοποίηση των γωνιακών σταθμών πλέον πλησιάζει το 100%.



Σχήμα 2.3.16 Χρόνος εκτέλεσης των αλγορίθμων για το σενάριο 3



Σχήμα 2.3.17 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *BALSO* για το σενάριο 3



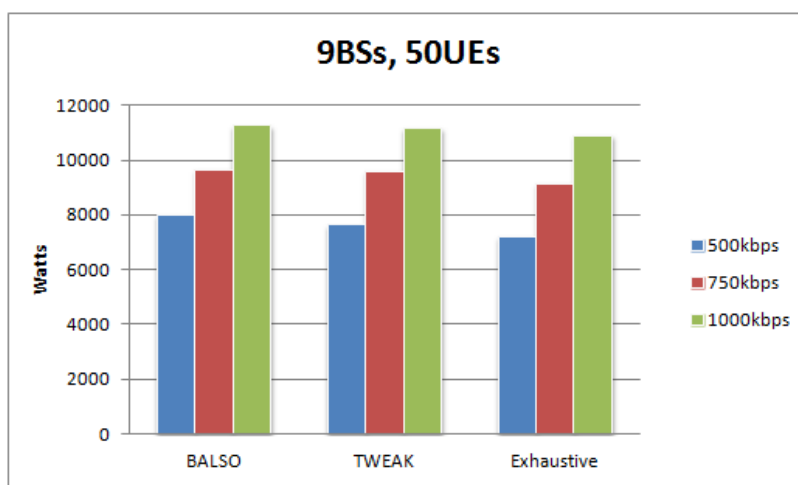
Σχήμα 2.3.18 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *TWEAK* για το σενάριο 3

Σενάριο 4 (9BSs, 50users)

	BALSO				TWEAK		
	Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)		Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)
500kbps	0.601	8000.64	0		0.843	7638.72	0
750kbps	0.626	9670.44	4.76		0.738	9611.4	3.85
1000kbps	0.665	11267.76	45.9		0.717	11187.4	46.5

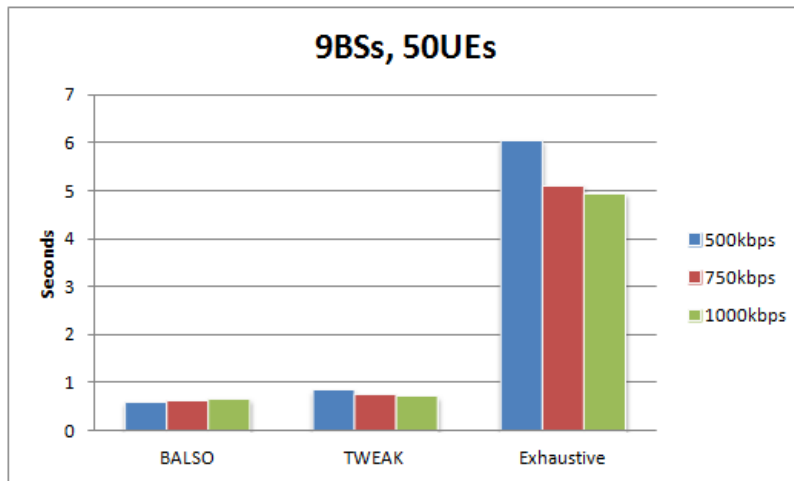
Σχήμα 2.3.19 Αποτελέσματα μετρήσεων για το σενάριο 4

Το σενάριο 4 είναι ένα σενάριο πολύ υψηλού φορτίου κίνησης και χρησιμοποιήθηκε για να οριοθετήσει τις δυνατότητες των αλγορίθμων να χρησιμοποιήσουν αποδοτικά τους πόρους του συστήματος. Οι δυο ευριστικοί αλγόριθμοι έφτασαν σε ποσοστό άνω του 90% την ενεργειακή αποδοτικότητα του εξαντλητικού αλγόριθμου, με τον *TWEAK* να προηγείται παρουσιάζοντας κατά μέσο όρο 95%. Στη μετρική της χρονικής απαίτησης ο *BALSO* συνέχισε να προηγείται, εξάγοντας τα αποτελέσματά του περίπου στο 85% του χρόνου που απαιτήθηκε με τη χρήση του *TWEAK*. Με εξαίρεση τη πρώτη υποπερίπτωση και οι δυο αλγόριθμοι παρουσίασαν αδυναμία να λύσουν το σενάριο με 100% επιτυχία, σύμφωνα με τις τιμές των infeasibilities που αναγράφονται στο πίνακα.

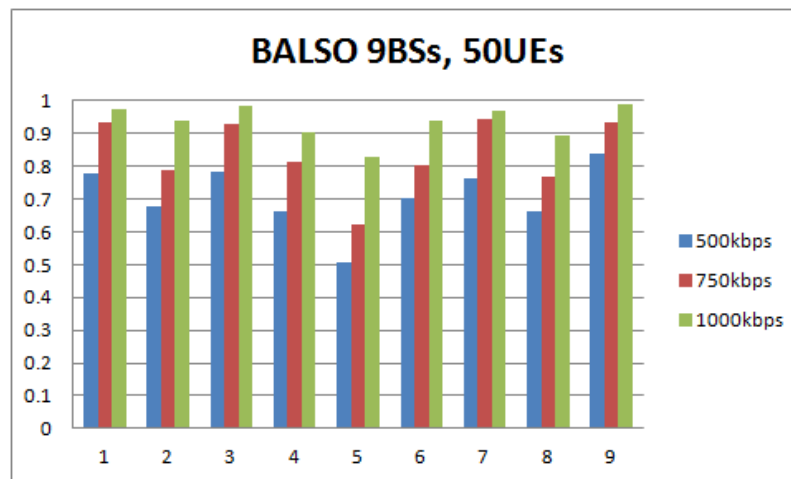


Σχήμα 2.3.20 Ενεργειακή απαίτηση των αλγορίθμων για το σενάριο 4

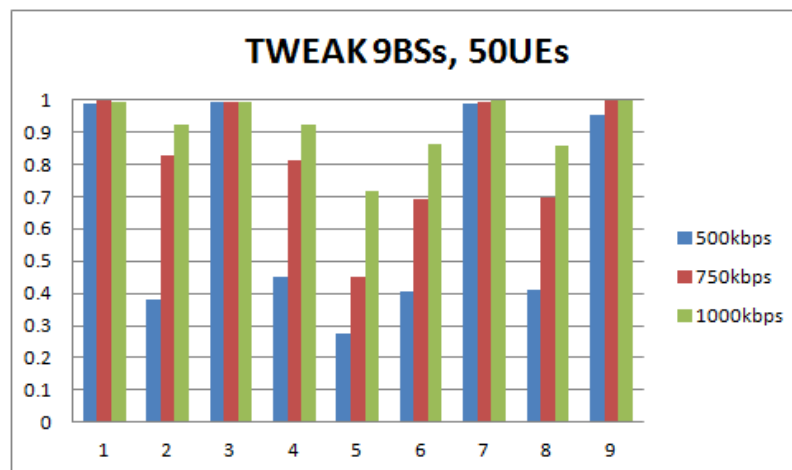
Στο τομέα της χρησιμοποίησης πόρων συνεχίστηκε η σύγκλιση των διαγραμμάτων ενεργοποίησης, η οποία παρατηρήθηκε στο προηγούμενο σενάριο. Για τον *TWEAK* για πρώτη φορά κάποιοι σταθμοί άγγιξαν το 100% ενεργοποίησης, δείχνοντας έτσι τον όγκο του φορτίου κίνησης.



Σχήμα 2.3.21 Χρόνος εκτέλεσης των αλγορίθμων για το σενάριο 4



Σχήμα 2.3.22 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *BALS0* για το σενάριο 4



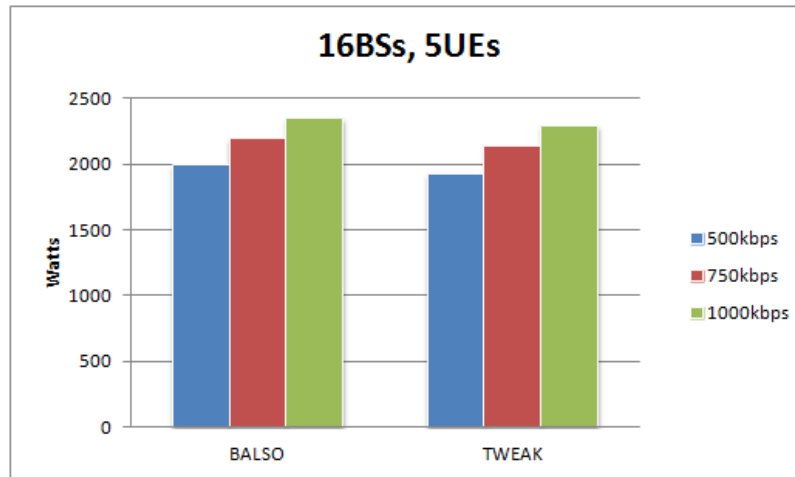
Σχήμα 2.3.23 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *TWEAK* για το σενάριο 4

Σενάριο 5 (16BSs, 5users)

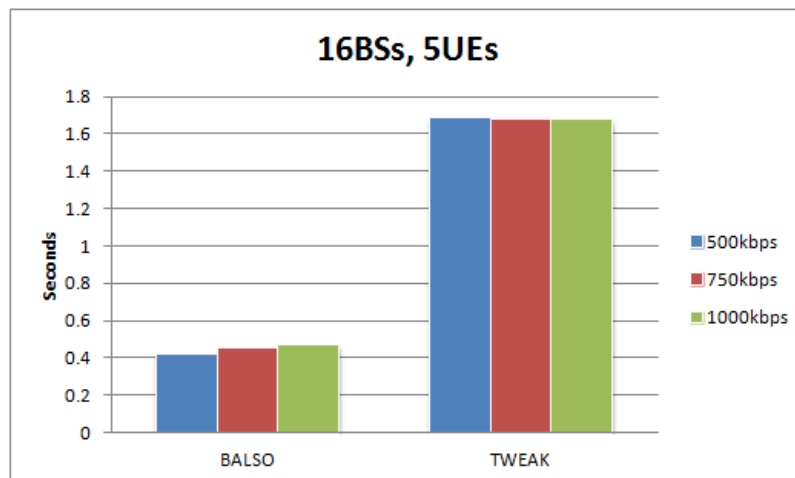
	BALSO				TWEAK		
	Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)		Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)
500kbps	0.420	1994.4	0		1.690	1927.8	0
750kbps	0.450	2195.64	0		1.682	2137.08	0
1000kbps	0.469	2352.84	0		1.674	2295.84	0

Σχήμα 2.3.24 Αποτελέσματα μετρήσεων για το σενάριο 5

Το σενάριο 5 είναι ένα σενάριο πολύ χαμηλού φόρτου. Οι δυο αλγόριθμοι παρουσίασαν διαφορά στην ενεργειακή κατανάλωση της τάξης του 4% υπέρ του *TWEAK*. Στο τομέα της χρονικής απαίτησης ο *BALSO* έλυσε το σενάριο σε πολύ λιγότερο χρόνο (25% του χρόνου που χρειάστηκε ο *TWEAK*). Οι τιμές του εξαντλητικού αλγόριθμου παραλήφθηκαν σε όλες τις μετρήσεις των συστημάτων με 16 σταθμούς βάσης λόγω της τεράστιας χρονικής τους απαίτησης.

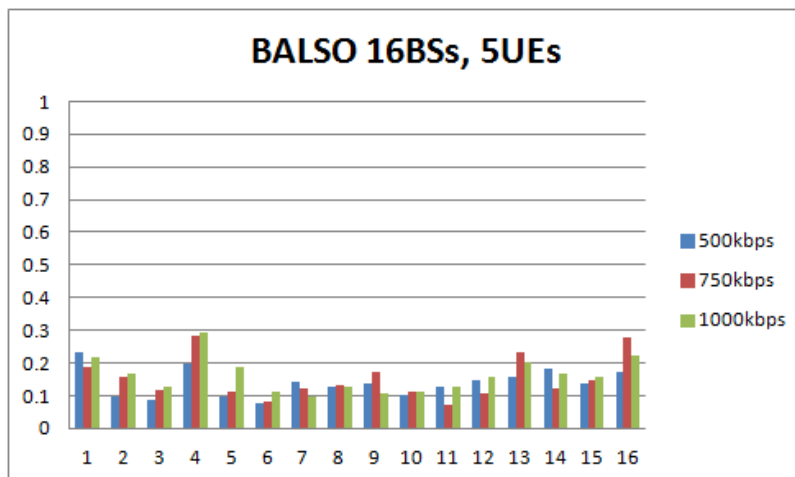


Σχήμα 2.3.25 Ενεργειακή απαίτηση των αλγορίθμων για το σενάριο 5

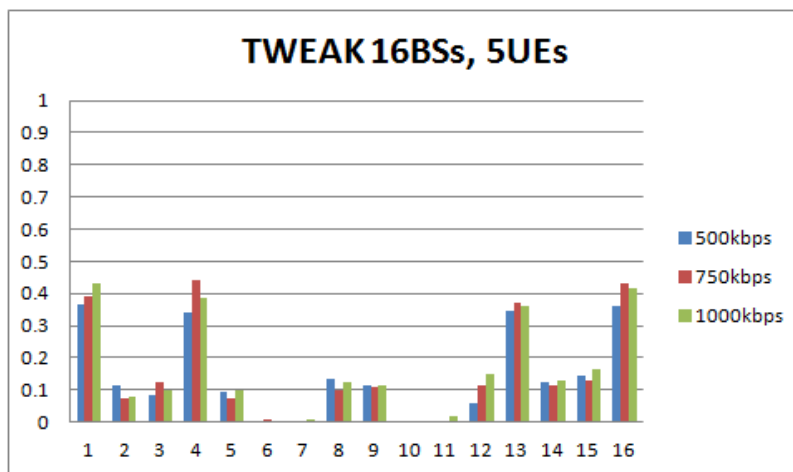


Σχήμα 2.3.26 Χρόνος εκτέλεσης των αλγορίθμων για το σενάριο 5

Στο τομέα της χρησιμοποίησης ο *BALSO* μοίρασε το φορτίο ομοιόμορφα στους 16 σταθμούς, ενώ ο *TWEAK* χρησιμοποίησε τη χαρακτηριστική κατανομή του φορτίου στους γωνιακούς σταθμούς βάσης. Παρατηρώντας το διάγραμμα του 2^{ου} φαίνεται πως οι κεντρικοί σταθμοί (BSindex 6,7,10,11) χρησιμοποιήθηκαν λιγότερο από τους υπόλοιπους καθώς πρόκειται για τους σταθμούς με τη μεγαλύτερη γεωγραφική επικάλυψη σε σχέση με τους υπόλοιπους στο πλέγμα.



Σχήμα 2.3.27 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *BALSO* για το σενάριο 5



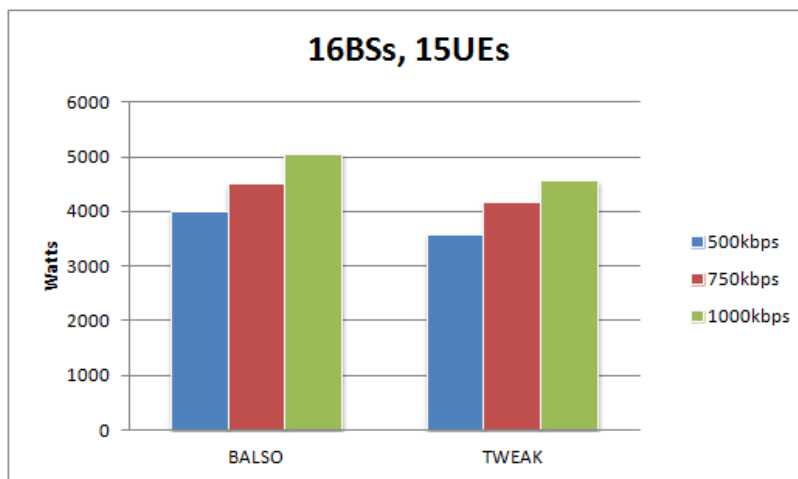
Σχήμα 2.3.28 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *TWEAK* για το σενάριο 5

Σενάριο 6 (16BSs, 15users)

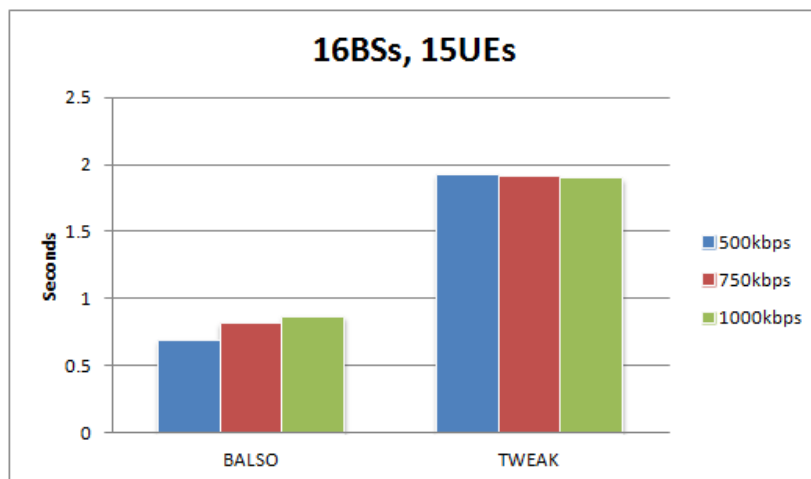
	BALSO				TWEAK		
	Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)		Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)
500kbps	0.691	3995.88	0		1.925	3584.64	0
750kbps	0.819	4497.36	0		1.908	4176.48	0
1000kbps	0.869	5063.88	0		1.896	4572.12	0

Σχήμα 2.3.29 Αποτελέσματα μετρήσεων για το σενάριο 6

Το σενάριο 6 μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ένα σενάριο μεσαίου προς υψηλού φόρτου. Ο αλγόριθμος *TWEAK* παρουσίασε καλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα από τον *BALSO*, της τάξης του 10%. Στο τομέα της χρονικής απαίτησης ο *BALSO* είναι πιο αποδοτικός καθώς χρειάζεται μόλις το 38% του χρόνου εκτέλεσης του *TWEAK* κατά μέσο όρο.

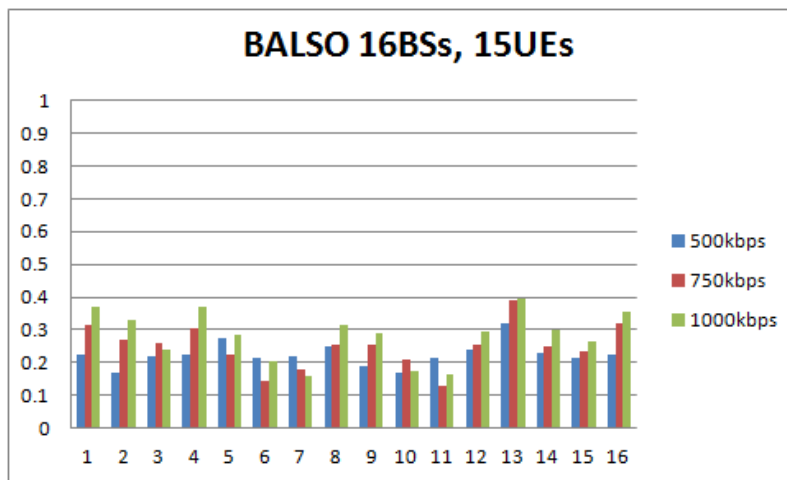


Σχήμα 2.3.30 Ενεργειακή απαίτηση των αλγορίθμων για το σενάριο 6

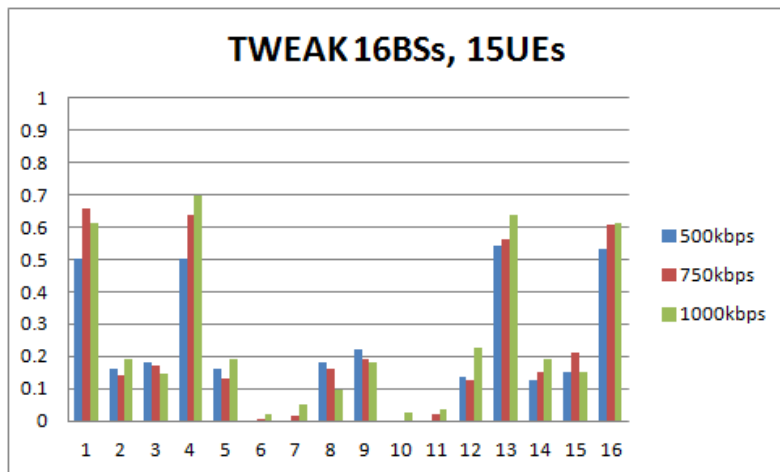


Σχήμα 2.3.31 Χρόνος εκτέλεσης των αλγορίθμων για το σενάριο 6

Στο τομέα της χρησιμοποίησης των πόρων ο *BALSO* παρουσίασε ομοιομορφία στην ενεργοποίηση των 16 σταθμών δίνοντας μικρή έμφαση στους γωνιακούς, σε αντίθεση με τον *TWEAK* που έλυσε τα σενάρια χρησιμοποιώντας κυρίως τους 4 γωνιακούς σταθμούς. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα του *TWEAK*, οι κεντρικοί σταθμοί του συστήματος είχαν τη μικρότερη χρησιμοποίηση, καθώς πρόκειται για τους σταθμούς με τη μεγαλύτερη γεωγραφική επικάλυψη σε σχέση με τους υπόλοιπους του πλέγματος.



Σχήμα 2.3.32 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *BALSO* για το σενάριο 6



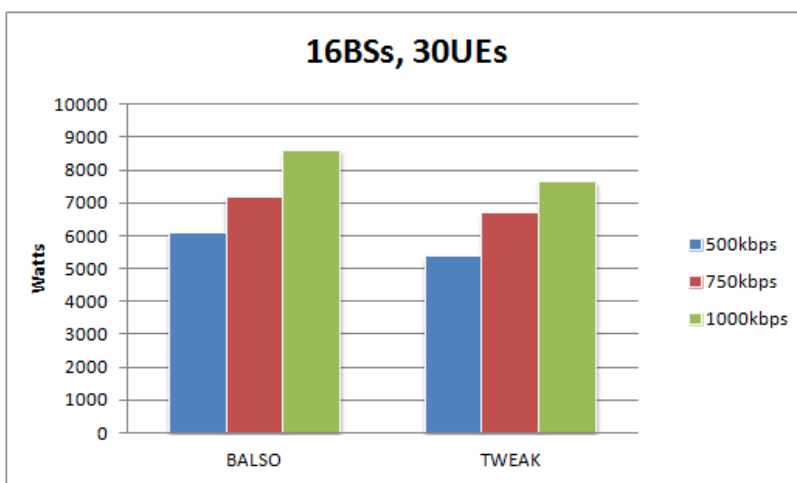
Σχήμα 2.3.33 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *TWEAK* για το σενάριο 6

Σενάριο 7 (16BSs, 30users)

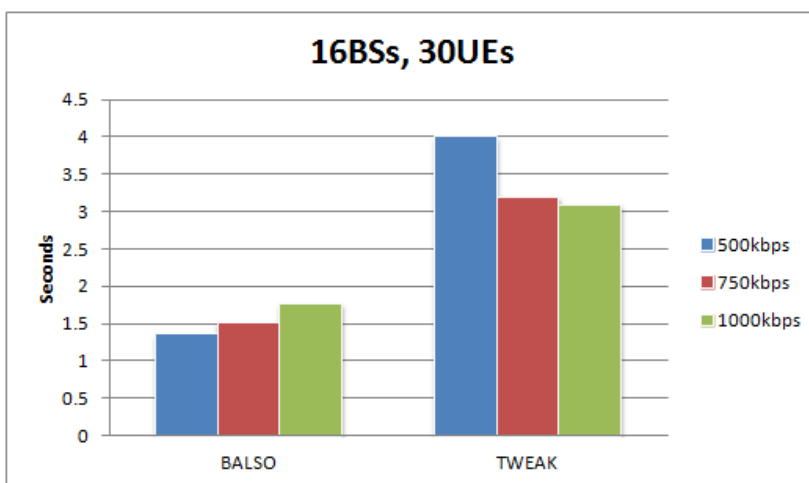
		BALSO			TWEAK		
	Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)		Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)
500kbps	1.355	6094.92	0		4.000	5371.44	0
750kbps	1.517	7167.84	0		3.195	6711.84	0
1000kbps	1.773	8600.76	0		3.091	7653.12	0

Σχήμα 2.3.34 Αποτελέσματα μετρήσεων για το σενάριο 7

Το σενάριο 7 είναι ένα σενάριο υψηλού φόρτου για το σύστημα. Οι δυο αλγόριθμοι κατάφεραν να το λύσουν με επιτυχία, με τον *TWEAK* να παρουσιάζει υψηλότερη ενεργειακή αποδοτικότητα κατά 10% μέσο όρο. Στο τομέα της χρονικής απαίτησης ο *BALSO* χρειάστηκε σημαντικά λιγότερο χρόνο για να ολοκληρώσει τη λειτουργία του, κατά μέσο όρο το 46% του χρόνου που απαιτήσε ο *TWEAK*.

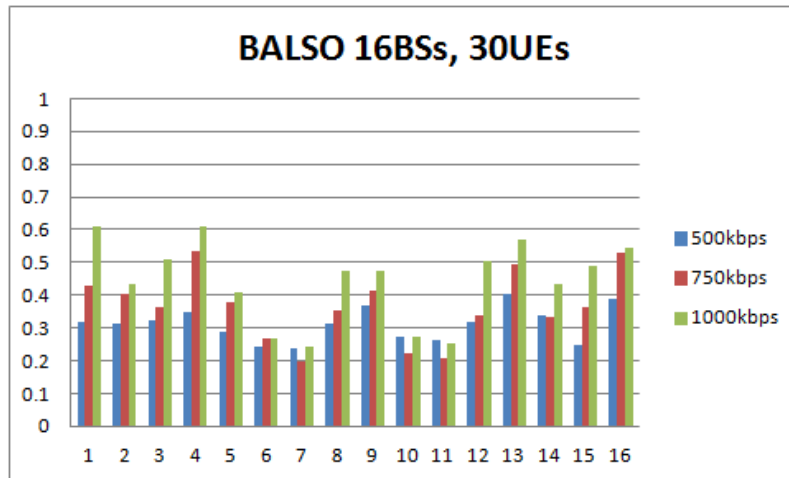


Σχήμα 2.3.35 Ενεργειακή απαίτηση των αλγορίθμων για το σενάριο 7

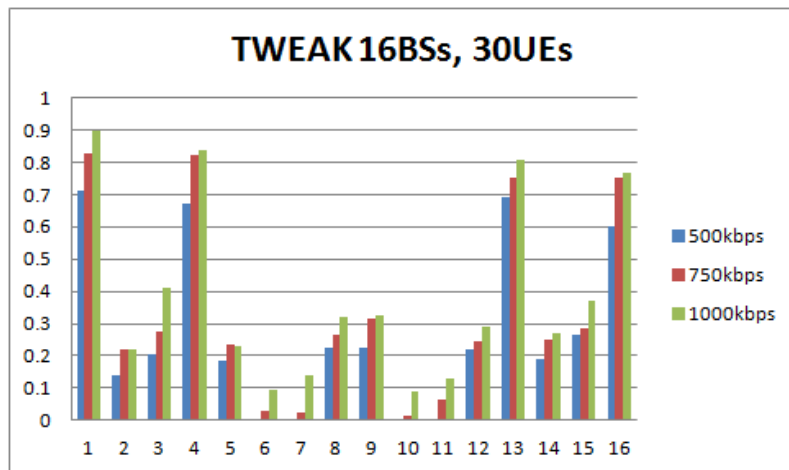


Σχήμα 2.3.36 Χρόνος εκτέλεσης των αλγορίθμων για το σενάριο 7

Στο τομέα της χρησιμοποίησης πόρων ξεχωρίζουν και για τις δυο περιπτώσεις τα ποσοστά ενεργοποίησης των γωνιακών σταθμών, με τις τιμές για τον *TWEAK* να αγγίζουν το 90%, ενώ για τον *BALSO* να παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιομορφία και να μη ξεπερνούν το 60%. Οι τέσσερις κεντρικοί σταθμοί είχαν τη μικρότερη πιθανότητα ενεργοποίησης και για τις δυο περιπτώσεις, με χαρακτηριστική τη πρώτη περίπτωση bit rate του *TWEAK* όπου δεν ενεργοποιήθηκαν καθόλου, συμβάλλοντας στη διατήρηση της παρεμβολής σε χαμηλό επίπεδο.



Σχήμα 2.3.37 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *BALSO* για το σενάριο 7



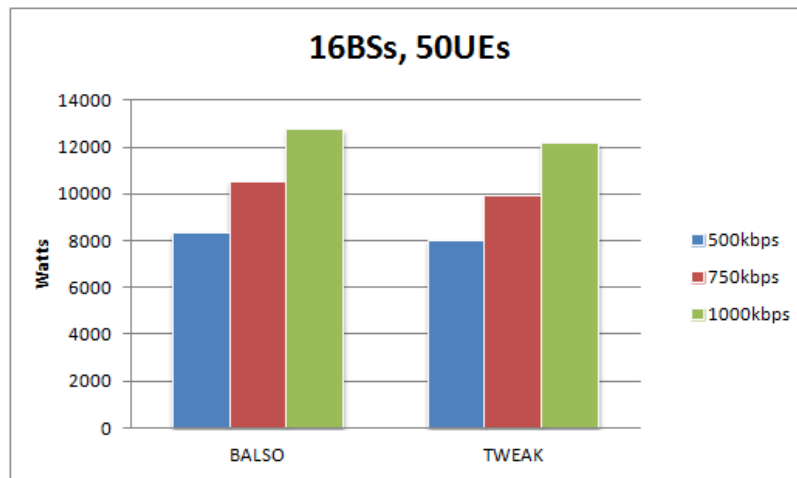
Σχήμα 2.3.38 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *TWEAK* για το σενάριο 7

Σενάριο 8 (16BSs, 50users)

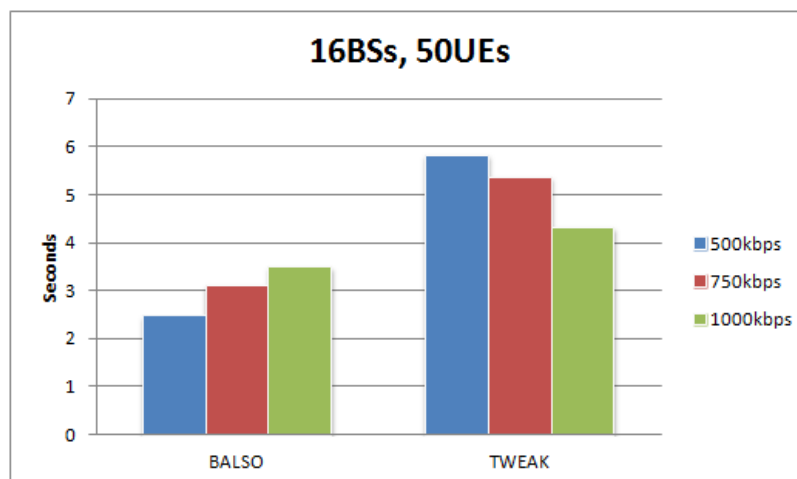
	BALSO				TWEAK		
	Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)		Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)
500kbps	2.477	8354.64	0		5.825	8036.64	0
750kbps	3.114	10530.2	0		5.367	9902.76	0
1000kbps	3.501	12756.4	5.21		4.322	12171.84	3.38

Σχήμα 2.3.39 Αποτελέσματα μετρήσεων για το σενάριο 8

Το σενάριο 8 είναι ένα σενάριο υψηλού φόρτου για το σύστημα. Η τρίτη υποπερίπτωση (*GBR 1000kbps*) ήταν η μοναδική που συνοδεύτηκε από αποτυχημένες επαναλήψεις, με τον *TWEAK* να παρουσιάζεται πιο ανθεκτικός. Στο τομέα της ενεργειακής κατανάλωσης ο *TWEAK* παρουσίασε 5% καλύτερη επίδοση από τον *BALSO*, ενώ ο τελευταίος χρειάστηκε κατά μέσο όρο 40% λιγότερο χρόνο από τον *TWEAK* για να λύσει το σενάριο.

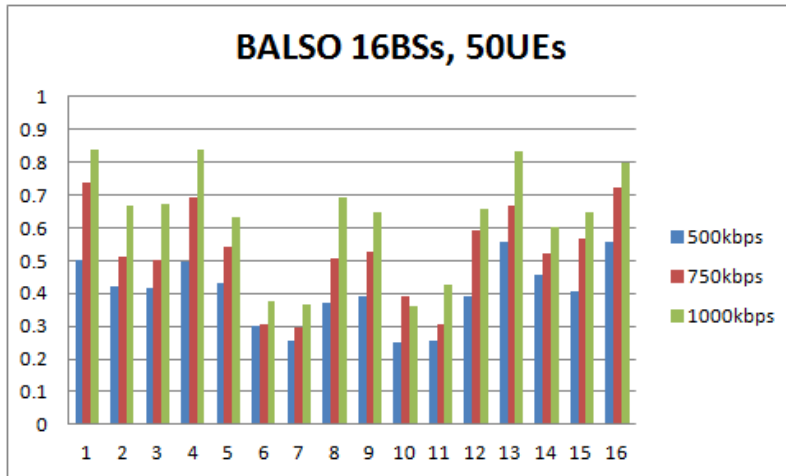


Σχήμα 2.3.40 Ενεργειακή απαίτηση των αλγορίθμων για το σενάριο 8

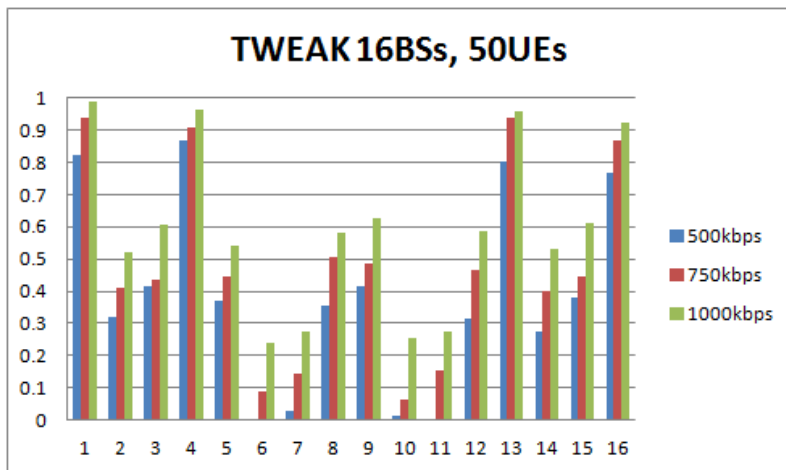


Σχήμα 2.3.41 Χρόνος εκτέλεσης των αλγορίθμων για το σενάριο 8

Στο τομέα της χρησιμοποίησης πόρων, ο *BALSO* έδωσε μεγαλύτερη έμφαση στους τέσσερις γωνιακούς σταθμούς, ειδικά στις υποπεριπτώσεις *GBR 750kbps* και *1000kbps*, καταδεικνύοντας έτσι το μέγεθος του φορτίου κίνησης. Ο *TWEAK* λειτούργησε στο χαρακτηριστικό του μοτίβο, με τη χρησιμοποίηση των γωνιακών σταθμών να ξεπερνά το 90% στις δυο υποπεριπτώσεις υψηλότερου *GBR*, κατάφερε όμως να κρατήσει τους κεντρικούς σταθμούς του συστήματος σε αρκετά χαμηλό ποσοστό ενεργοποίησης.



Σχήμα 2.3.42 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *BALSO* για το σενάριο 8

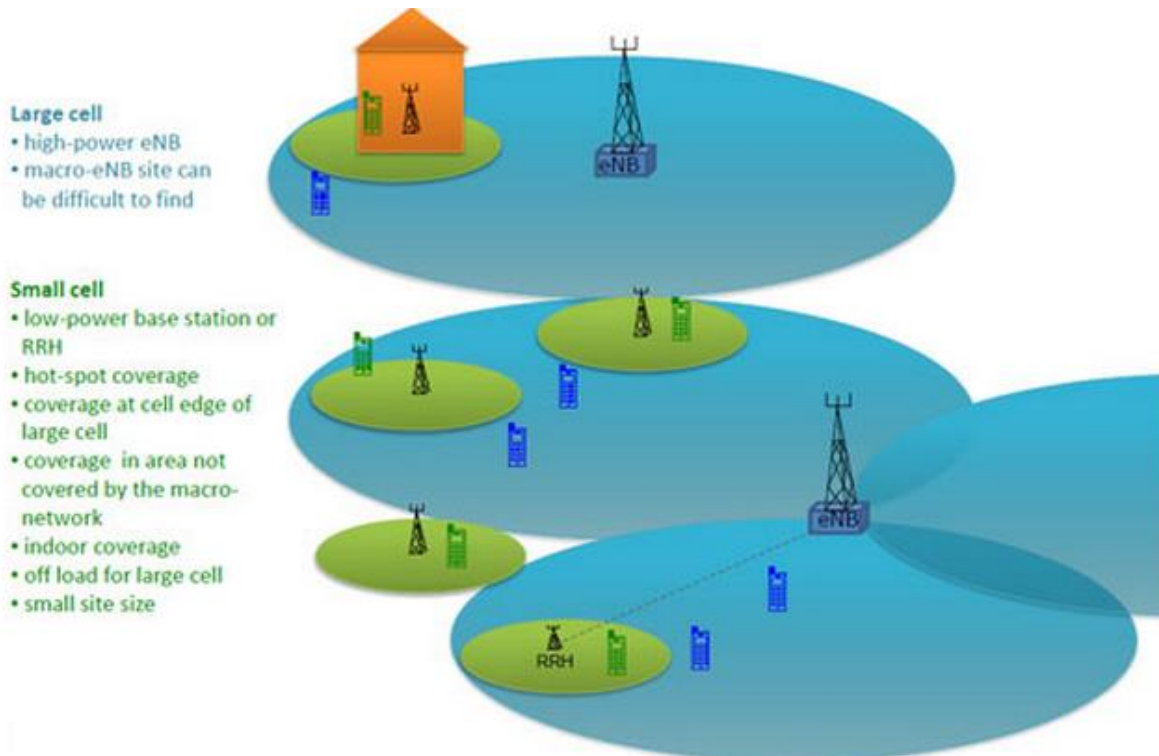


Σχήμα 2.3.43 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *TWEAK* για το σενάριο 8

Κεφάλαιο 3 - Ετερογενή δίκτυα

3.1 Εισαγωγή

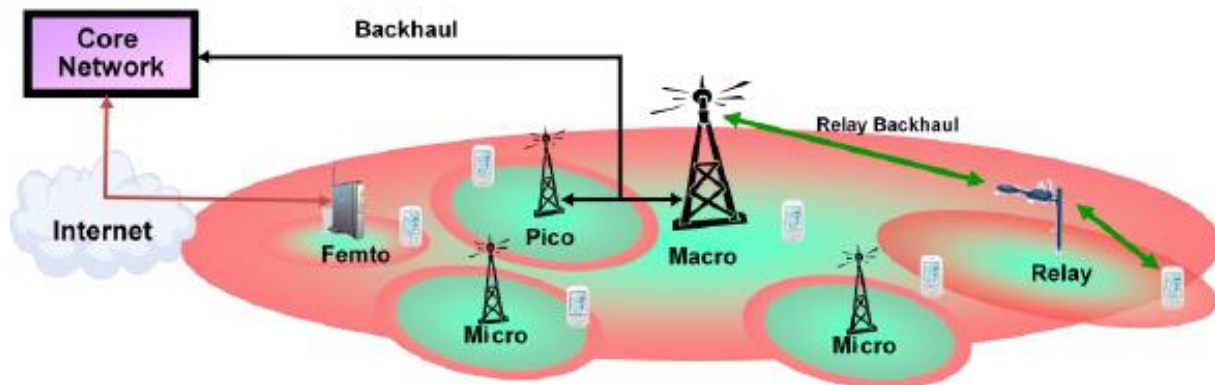
Ο αποτελεσματικός σχεδιασμός των δικτύων είναι μια πολύ κρίσιμη παράμετρος για την αντιμετώπιση του αυξανόμενου αριθμού των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας και ευρυζωνικών υπηρεσιών. Οι πάροχοι έχουν ήδη τεθεί αντιμέτωποι με αυτή την πρόκληση, έχοντας βελτιστοποιήσει την απόδοση των δικτύων τους με την αύξηση της χωρητικότητας των συστημάτων τους μέσω τεχνικών όπως τη διεύρυνση του ραδιοφάσματος, τη προσθήκη της τεχνολογίας πολλαπλών κεραιών (MIMO) στους σταθμούς βάσης και την εφαρμογή αποτελεσματικότερων τεχνικών διαμόρφωσης και κωδικοποίησης των σημάτων τους. Ωστόσο, τα μέτρα αυτά δεν κρίνονται αρκετά για τη διασφάλιση του *QoS* στα πιο επιβαρυνόμενα περιβάλλοντα και στις άκρες των κυψελών, όπου η απόδοση του συστήματος μπορεί να υποβαθμιστεί σημαντικά σε σχέση με το υπόλοιπο δίκτυο. Για την αντιμετώπιση της αυξημένης κίνησης οι πάροχοι πλέον προσθέτουν κυψέλες μικρότερου βεληνεκούς στα ήδη υπάρχοντα δίκτυα τους, θέτοντας σαν στόχους την εξισορρόπηση του φορτίου των πολυσύχναστων περιοχών, τη διατήρηση της ποιότητας υπηρεσίας στις απομακρυσμένες περιοχές και την αποδοτικότερη εκμετάλλευση του ραδιοφάσματος [14].



Σχήμα 3.1.1 Εισαγωγή των small cells στα ομογενή macro-δίκτυα

Τα τρέχοντα ασύρματα κυψελοειδή δίκτυα κατά κανόνα αναπτύσσονται ως ομογενή δίκτυα χρησιμοποιώντας μια μακρο-κεντρική διαδικασία σχεδιασμού. Ένα ομογενές κυψελώδες σύστημα είναι ένα δίκτυο σταθμών βάσης σε μια προγραμματισμένη διάταξη μαζί με μια συλλογή από τερματικά, στο οποίο όλοι οι σταθμοί βάσης έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά όπως είναι τα επίπεδα ισχύος μετάδοσης, τα πρότυπα των κεραιών, τα κατώφλια θορύβου στο δέκτη και η *backhaul* σύνδεση με το δίκτυο δεδομένων. Επιπλέον, όλοι οι σταθμοί βάσης προσφέρουν απεριόριστη πρόσβαση στα τερματικά των χρηστών στο δίκτυο, και εξυπηρετούν περίπου τον ίδιο αριθμό τερματικών, τα οποία φέρουν παρόμοιες ροές δεδομένων με παρόμοιες απαιτήσεις *QoS*. Οι θέσεις των μακρο-σταθμών βάσης επιλέγονται προσεκτικά μέσα από το σχεδιασμό του δικτύου, καθώς και οι ρυθμίσεις του σταθμού βάσης είναι κατάλληλα διαμορφωμένες ώστε να μεγιστοποιήσουν την κάλυψη και να διασφαλίζουν χαμηλό επίπεδο παρεμβολών μεταξύ των γειτονικών σταθμών βάσης.

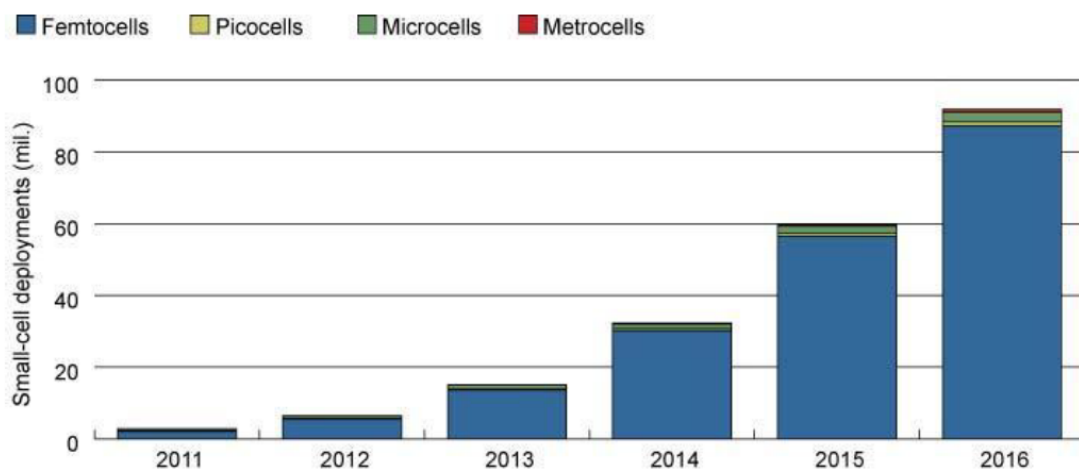
Καθώς η ζήτηση ευρυζωνικών υπηρεσιών μεγαλώνει και το *RF* περιβάλλον αλλάζει, ένα ομογενές δίκτυο βασίζεται στη περαιτέρω διάσπαση των κυψελών του, είτε στη πύκνωση του με την προσθήκη περισσότερων τομέων ανά σταθμό βάσης ή την ανάπτυξη περισσότερων macro-σταθμών, για να ξεπεράσει τις αυξημένες προδιαγραφές χωρητικότητας και προϋπολογισμού ζεύξης. Ωστόσο, η μείωση της απόστασης *site-to-site (ISD)* του *macro-δικτύου* μπορεί να επιδιωχθεί μόνο σε κάποιο βαθμό επειδή η εύρεση νέων macro-sites γίνεται όλο και πιο δύσκολη και μπορεί να είναι δαπανηρή, ιδιαίτερα στα κέντρα των πόλεων.



Σχήμα 3.1.2 Ετερογενές δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με παράλληλη χρήση macro-micro-pico-femto cells

Τα ασύρματα κυψελοειδή συστήματα έχουν εξελιχθεί στο σημείο όπου ένα απομονωμένο σύστημα (με ένα μόνο σταθμό βάσης) επιτυγχάνει σχεδόν βέλτιστη απόδοση, όπως καθορίζεται από το θεωρητικό άνω όριο του *Shannon* για τη μετάδοση πληροφορίας [15]. Οι μελλοντικές βελτιώσεις των ασύρματων δικτύων θα βασίζονται σε προηγμένες τοπολογίες, ικανές να φέρουν το δίκτυο πιο κοντά στους χρήστες κινητής τηλεφωνίας. Τα ετερογενή δίκτυα απαρτίζονται από ένα σύνολο από διαφορετικούς σταθμούς βάσης και μπορούν έτσι να

βελτιώσουν τη φασματική απόδοση του δικτύου ανά μονάδα επιφάνειας. Στο σχήμα 3.1.2 αποτυπώνεται ένα ετερογενές δίκτυο που αποτελείται από συνηθισμένους μακρο-σταθμούς βάσης που μεταδίδουν συνήθως σε υψηλό επίπεδο ισχύος (~ 5W - 40 W), οι οποίοι επικαλύπτονται με σταθμούς βάσης που εκπέμπουν σε σημαντικά χαμηλότερα επίπεδα ισχύος (~ 100 mW - 6 W) και είναι τοποθετημένοι με ένα σχετικά απρογραμματίστο τρόπο. Οι χαμηλής ισχύος σταθμοί βάσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξάλειψη κενών κάλυψης του προγραμματισμένου μακρο-δικτύου και τη βελτίωση της εξυπηρέτησης κίνησης σε *hot-spots*. Ενώ η τοποθέτηση των μακρο-σταθμών βάσης σε ένα κυψελοειδές δίκτυο βασίζεται σε προσεκτικό σχεδιασμό του δικτύου, η τοποθέτηση των *pico / relay* σταθμών βάσης μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο *ad hoc*, με βάση μόνο μια πρόχειρη γνώση των προδιαγραφών κάλυψης και της πυκνότητας της κυκλοφορίας (π.χ. *hot-spots*) στο δίκτυο. Λόγω της χαμηλότερης ισχύος εκπομπής τους και του μικρότερου φυσικού μεγέθους, οι *pico / femto / relay* σταθμοί βάσης μπορούν να μειώσουν το κόστος αγοράς της θέσης εγκατάστασης. Οι *relay* σταθμοί βάσης τέλος, δεν απαιτούν ενσύρματη *backhaul* ζεύξη με το δίκτυο οπότε προσφέρουν ένα πρόσθετο βαθμό ευελιξίας σε περιπτώσεις όπου η σύνδεση δεν είναι διαθέσιμη από τεχνική ή από οικονομική άποψη. Σε ένα ομοιογενές δίκτυο, κάθε κινητό τερματικό εξυπηρετείται από το σταθμό βάσης με το ισχυρότερο επίπεδο σήματος, ενώ τα ανεπιθύμητα σήματα που λαμβάνει από άλλους σταθμούς συνήθως αντιμετωπίζονται ως παρεμβολή. Σε ένα ετερογενές δίκτυο, τέτοιες αρχές μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικά υπό-βέλτιστη απόδοση. Τέτοια συστήματα πρέπει να βασίζονται σε μηχανισμούς, όπως έξυπνος συντονισμός των πόρων μεταξύ σταθμών βάσης, καλύτερες στρατηγικές επιλογής σταθμού εξυπηρέτησης και πιο προηγμένες τεχνικές για την αποτελεσματική διαχείριση των παρεμβολών, για τη βελτίωση της παροχής υπηρεσίας προς το χρήστη σε σύγκριση με τη συμβατική προσέγγιση των κυψελοειδών συστημάτων του παρόντος.

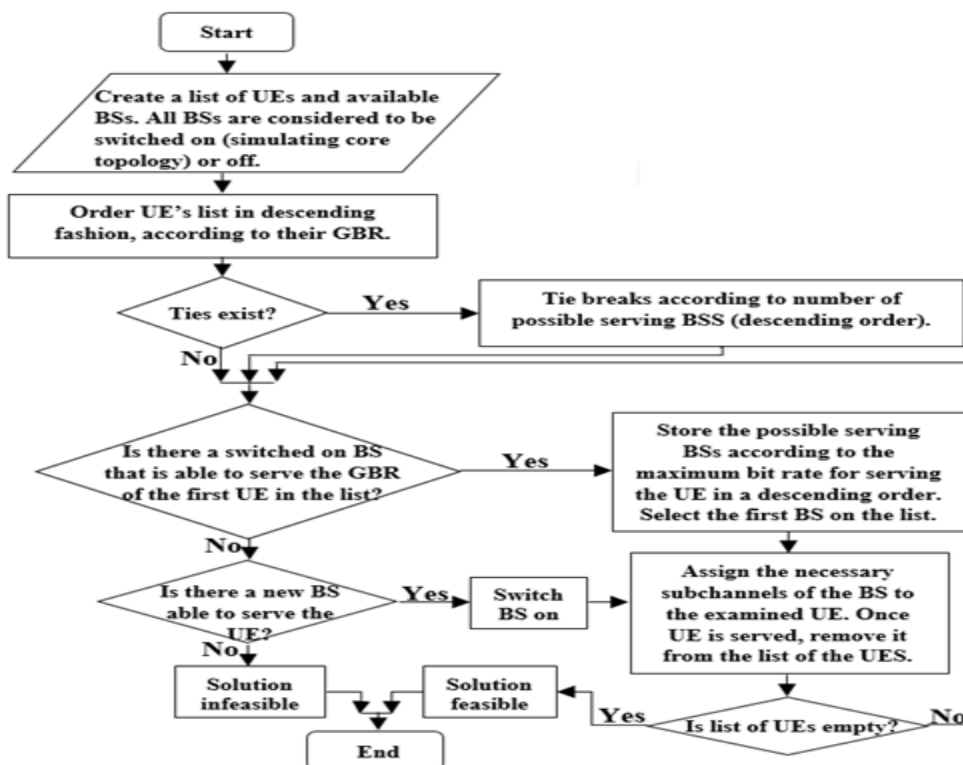


Σχήμα 3.1.3 Πρόβλεψη για ανάπτυξη small cells σε υπάρχοντα δίκτυα παγκοσμίως

3.2 Παρουσίαση των ευριστικών αλγόριθμων HBALSO, HTWEAK

i. HBALSO

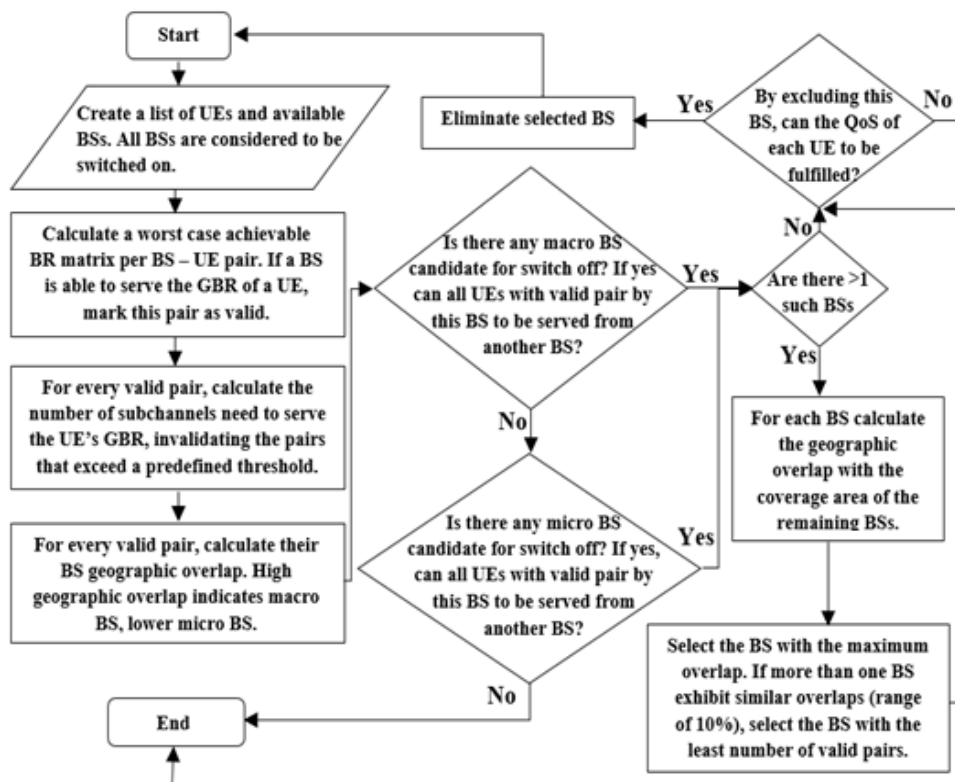
Ο αλγόριθμος *Heterogeneous-BALSO* ελαχιστοποιεί τη κατανάλωση ενέργειας ενός ετερογενούς δικτύου, έχοντας την ίδια λογική με τον συμβατικό *BALSO*, δηλαδή τη διαδοχική παροχή σταθμών βάσης (*macro,micro,femto*) στο σύστημα για την εξυπηρέτηση των χρηστών. Στην αρχή της λειτουργίας του *HBALSO*, όλοι οι σταθμοί είναι ανενεργοί και ο αλγόριθμος αποφασίζει τη σειρά με την οποία θα επιστραφούν στο σύστημα. Η διαφοροποίηση του *HBALSO* σε σχέση με τον συμβατικό *BALSO* έγκειται στη προτίμηση που δείχνει ο πρώτος προς τους macro σταθμούς βάσης. Ειδικότερα, επειδή το κριτήριο για την ενεργοποίηση ενός σταθμού είναι το συνολικά επιτυγχανόμενο bit rate προς τους χρήστες εντός της εμβέλειάς του, ο *HBALSO* τείνει να χρησιμοποιεί τους macro σταθμούς στα αρχικά στάδια της ανάθεσης, προσφέροντας έτσι κάλυψη στο χώρο, ενώ οι micro σταθμοί λειτουργούν συμπληρωματικά για τη κάλυψη των hotspots. Έτσι, ο *HBALSO* εμφανίζει μικρή πολυπλοκότητα και συνάμα μικρότερο χρόνο εκτέλεσης από τον αντίστοιχο ετερογενή αλγόριθμο *HTWEAK*. Το κόστος αυτών των προτερημάτων είναι η χαμηλή αποδοτικότητα του αλγόριθμου, καθώς σε πολλές περιπτώσεις αρκετοί macro σταθμοί ενεργοποιούνται για να εξυπηρετήσουν ένα σενάριο πολύ μικρού φόρτου, ενώ η ίδια κίνηση θα μπορούσε να έχει εξυπηρετηθεί από ένα σύνολο micro σταθμών, χαμηλώνοντας σημαντικά τη κατανάλωση ενέργειας για το σύστημα.



Σχήμα 3.2.1 Λογικό διάγραμμα του *HBALSO*

ii. HTWEAK

Ο αλγόριθμος *Heterogeneous-TWEAK* ελαχιστοποιεί τη κατανάλωση ενέργειας ενός ετερογενούς δικτύου, έχοντας την ίδια λογική με τον συμβατικό *TWEAK*, δηλαδή τη παροχή όλων των διαθέσιμων σταθμών βάσης (*macro, micro, femto*) σε σειρά προτεραιότητας ως προς τη χρησιμότητά τους στο σύστημα για την εξυπηρέτηση των χρηστών. Στην αρχή της διαδικασίας της ταξινόμησης, όλοι οι σταθμοί είναι ενεργοί και ο *HTWEAK* αποφασίζει σε ποια θέση θα μπει ο κάθε ένας, έχοντας σαν κριτήριο τη γεωγραφική επικάλυψη των σταθμών, όπως ακριβώς έχει διατυπωθεί στην ανάλυση του *TWEAK*. Το αποτέλεσμα αυτής της διεργασίας είναι η προτίμηση του αλγόριθμου να κρατάει σε υψηλή προτεραιότητα χρησιμοποίησης τους *micro* σταθμούς βάσης, εφόσον έχουν μικρότερο ποσοστό επικάλυψης λόγω της περιορισμένης εμβέλειάς τους σε σχέση με τους *macro* σταθμούς. Έτσι, ο *HTWEAK* παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα από τον *HBALSO* στη μετρική της κατανάλωσης ενέργειας, επειδή όμως βασίζεται σε έναν πολύπλοκο αλγόριθμο ο οποίος πραγματοποιεί εσωτερικά εικονική ανάθεση των πόρων του συστήματος προκειμένου να ταξινομήσει τους σταθμούς βάσης, υστερεί και πάλι στη μετρική της ταχύτητας σε σχέση με τον *HBALSO*.



Σχήμα 3.2.2 Λογικό διάγραμμα του *HTWEAK*

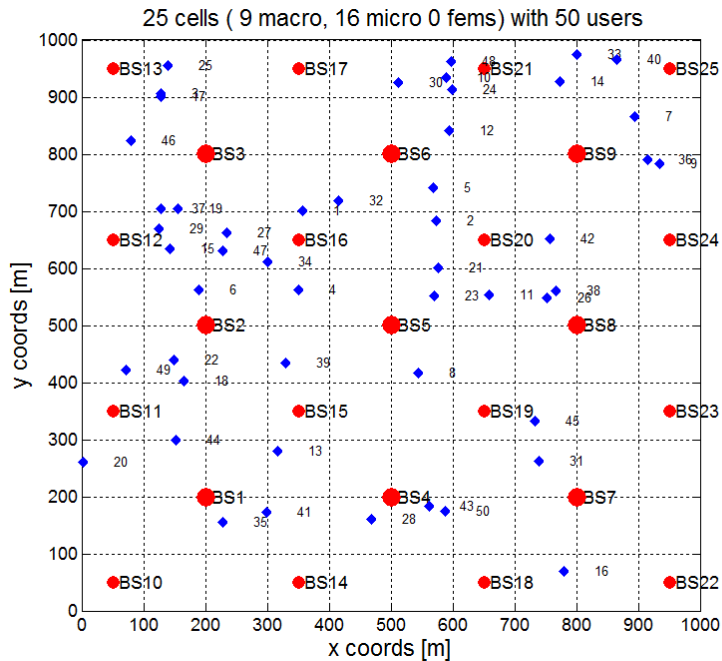
3.3 Πειραματικές μετρήσεις

Ακολουθεί η ανάλυση της απόδοσης των αλγορίθμων *HBALSO* και *HTWEAK* μέσα από πειραματικές μετρήσεις, στις μετρικές της κατανάλωσης ρεύματος, και ταχύτητας εξεύρεσης λύσης [παράρτημα Γ]. Το πλέγμα που χρησιμοποιήθηκε για τη τοποθέτηση των σταθμών βάσης και των κινητών σταθμών, είναι ένας τετραγωνισμένος χώρος διαστάσεων 1000τ.μ. (1000μ x 1000μ) και οι σταθμοί βάσης τοποθετήθηκαν σε αυτόν σε επιλεγμένα σημεία με κριτήρια την συμμετρία και την ομοιογένεια ως προς το εμβαδό που καλύπτει ο κάθε ένας. Οι κινητοί σταθμοί τοποθετούνται σε τυχαίες θέσεις πάνω στο πλέγμα, ανεξάρτητα από τις θέσεις και τον αριθμό των σταθμών βάσης που χρησιμοποιούνται, ενώ η θέση τους μεταβάλλεται για κάθε σενάριο που εκτελείται.

Η τοπολογία που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από 25 σταθμούς βάσης, 9 macro-cells και 16 micro-cells. Οι θέσεις των σταθμών βάσης παρέμειναν σταθερές για το σύνολο των προσομοιώσεων. Οι αλγόριθμοι δοκιμάστηκαν σε ένα σύνολο πειραμάτων με σκοπό τη καταγραφή της απόδοσής τους τόσο σε ευνοϊκές όσο και σε δυσχερείς συνθήκες φόρτου. Το εύρος του συστήματος LTE υπό εξέταση είναι 5MHz. Οι δυο αλγόριθμοι δοκιμάστηκαν διαδοχικά σε σενάρια 5, 15, 30 και 50 χρηστών με επιθυμητό bit-rate του κάθε χρήστη 500, 750 και 1000kbps αντίστοιχα. Κάθε σενάριο δοκιμάστηκε στο προσομοιωτή έως ότου παραχθούν 200 επιτυχείς επαναλήψεις και τα παράγωγα των προσομοιώσεων παρατίθενται στους παρακάτω πίνακες.

Παράμετροι	Τοπολογία 9macro + 16micro
Αριθμός σταθμών βάσης	25
Αριθμός PRBs	25
BW συστήματος LTE	5MHz
Αριθμός UEs	5,15,30,50
Απαιτήσεις σε bit rate/UE	500kbps, 750kbps, 1000kbps
Μοντέλο διάδοσης	C3 - Bad Urban (NLOS)

Σχήμα 3.3.1 Πίνακας παραμέτρων των προσομοιώσεων



Σχήμα 3.3.2 Τοπολογία των σταθμών βάσης για τις προσομοιώσεις ετερογενούς δικτύου

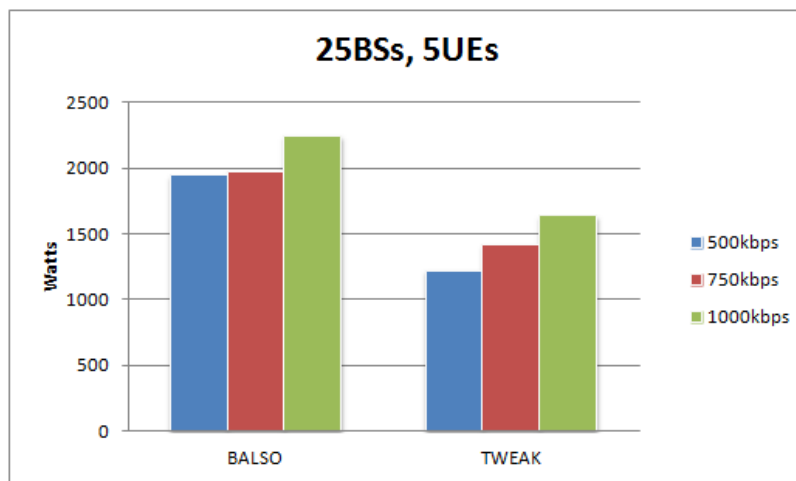
Στο σχήμα 3.3.2 απεικονίζεται το ετερογενές σύστημα σταθμών που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα της παραγράφου 3.3. Πρόκειται για ένα ομογενές σύστημα 3x3 όπως αυτό που χρησιμοποιήθηκε παραπάνω, με τη προσθήκη 16 micro σταθμών στις θέσεις του σχήματος. Οι θέσεις των micro σταθμών ορίστηκαν έτσι, ώστε να έχουν ελάχιστο ποσοστό επικάλυψης μεταξύ τους (ακτίνα κάλυψης είναι τα 167 μέτρα), ενώ ταυτόχρονα να προσφέρουν κάλυψη στις άκρες του συστήματος, έτσι ώστε να διευκολύνουν την εξυπηρέτηση στις ‘δύσβατες’ περιοχές. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για ένα ομογενές σύστημα 3x3 όπως αυτό που εξετάστηκε, μόνον οι τέσσερις γωνιακοί macro σταθμοί μπορούσαν να προσφέρουν υψηλό bit rate στα τέσσερα γωνιακά τετράγωνα χώρου. Υπό αυτή την έννοια, προτεραιότητα της ετερογενούς τοπολογίας αποτέλεσε η διασφάλιση του GoS στην άκρη των κυψελών.

Σενάριο 9 (25BSs, 5users)

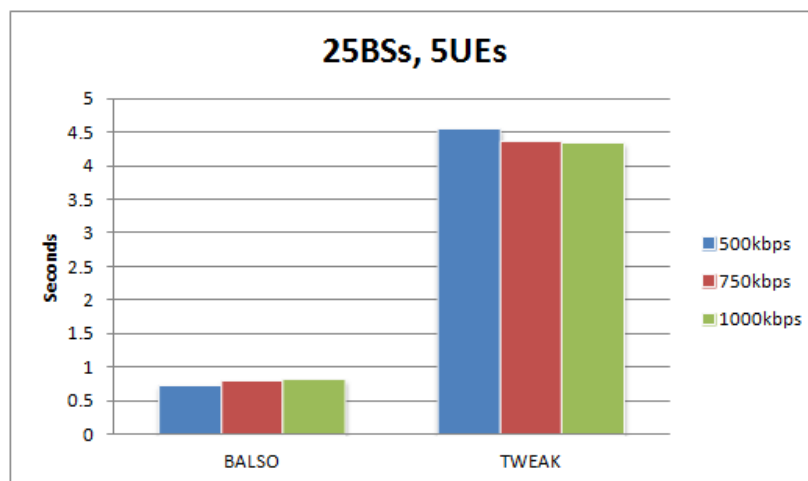
	BALSO				TWEAK		
	Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)		Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)
500kbps	0.733	1945.3	0		4.540	1223.5	0
750kbps	0.785	1974.97	0		4.347	1414.96	0
1000kbps	0.815	2247.21	0		4.334	1638.7	0

Σχήμα 3.3.3 Αποτελέσματα μετρήσεων για το σενάριο 9

Το σενάριο 9 χαρακτηρίζεται από πολύ μικρό φορτίο κίνησης. Οι δυο αλγόριθμοι εμφάνισαν σημαντική διαφορά στην ενεργειακή κατανάλωση, με τον *BALSO* να υπολείπεται κατά 31% μέσο όρο, ενώ στη μετρική της χρονικής απαίτησης ο *TWEAK* χρειάστηκε κατά μέσο όρο τον 6-πλάσιο χρόνο. Η μεγάλη αυτή απόκλιση οφείλεται στη διαφορά της αρχιτεκτονικής των δυο αλγορίθμων, καθώς ο *TWEAK* επιστρέφει αποτέλεσμα αφού έχει ταξινομήσει όλους τους σταθμούς βάσης του συστήματος, σε αντίθεση με τον *BALSO* όπου προτείνει έναν σταθμό κάθε φορά.

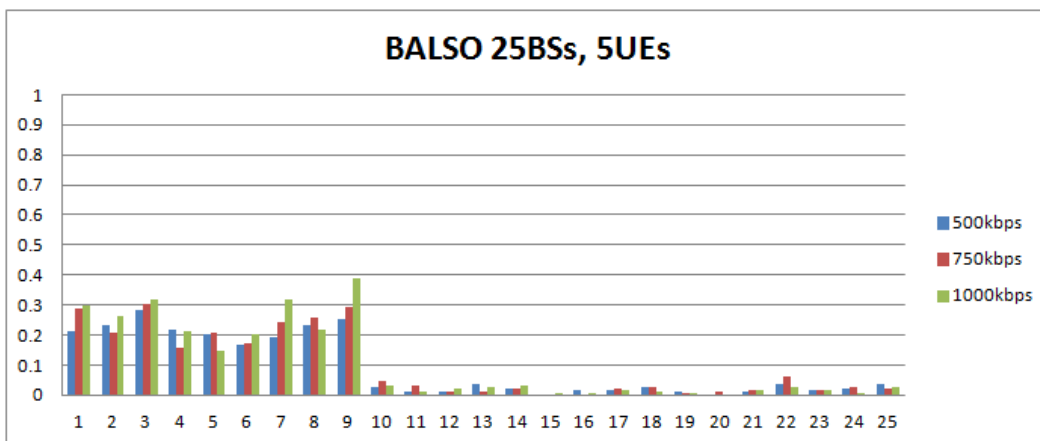


Σχήμα 3.3.4 Ενεργειακή απαίτηση των αλγορίθμων για το σενάριο 9

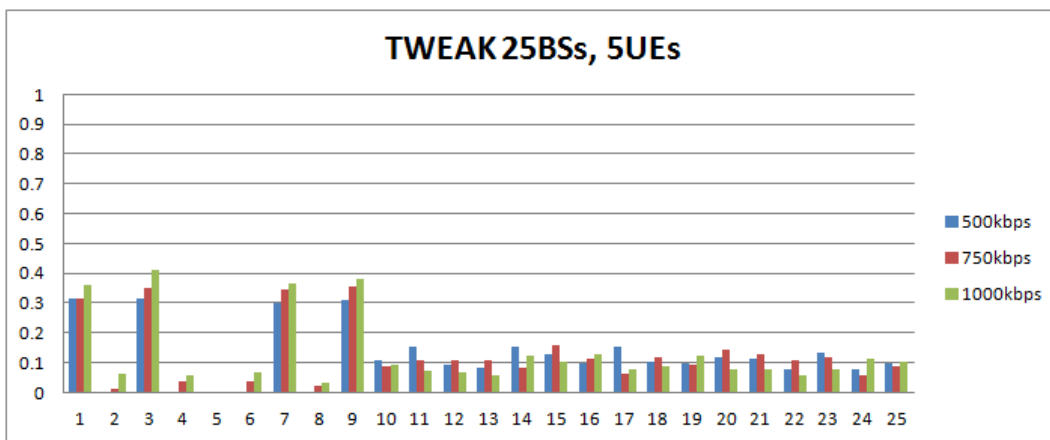


Σχήμα 3.3.5 Χρόνος εκτέλεσης των αλγορίθμων για το σενάριο 9

Στο τομέα της χρησιμοποίησης πόρων ο *BALSO* ενεργοποίησε αρκετά ομοιόμορφα τόσο τους macro-BSs όσο και τους micro-BSs, με την εξαίρεση των κεντρικών micro σταθμών (*BSindex 15,16,19,20*). Ο *TWEAK* χρησιμοποίησε κυρίως τους μη γωνιακούς macro σταθμούς και τους γωνιακούς micro σταθμούς, προσφέροντας κάλυψη σε όλο το πλέγμα χωρίς να ενεργοποιήσει καθόλου τους τέσσερεις κεντρικούς micro σταθμούς και τον κεντρικό macro σταθμό (*BSindex 5*). Για τον *BALSO*, η χρησιμοποίηση των micro σταθμών βρίσκεται κατά μέσο όρο στο 1.5%, ενώ για τον *TWEAK* στο 9%, με τη διαφορά αυτή να αποτυπώνεται στο γράφημα της ενεργειακής κατανάλωσης.



Σχήμα 3.3.6 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *BALSO* για το σενάριο 9



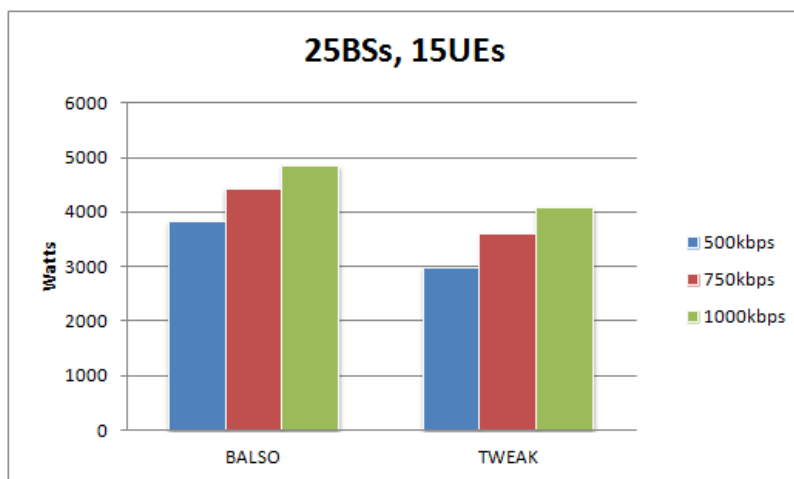
Σχήμα 3.3.7 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *TWEAK* για το σενάριο 9

Σενάριο 10 (25BSs, 15users)

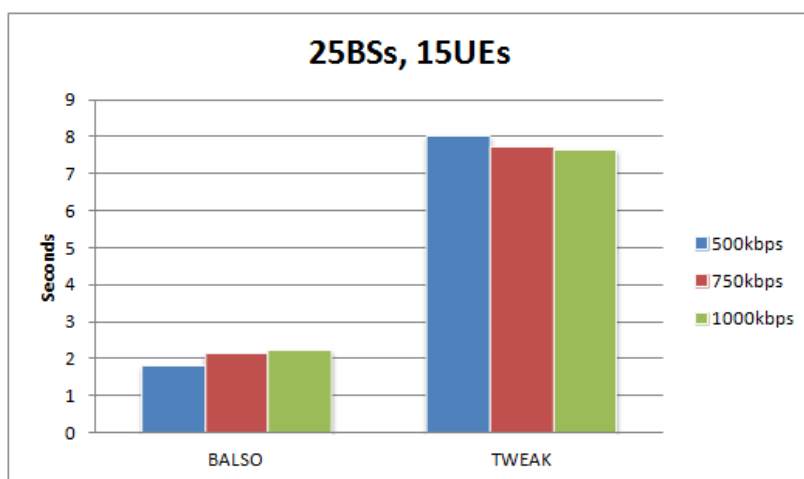
		BALSO			TWEAK		
	Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)		Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)
500kbps	1.795	3844.76	0		8.027	2974.21	0
750kbps	2.159	4435.97	0		7.741	3590.41	0
1000kbps	2.242	4862.95	0		7.650	4077.37	0

Σχήμα 3.3.8 Αποτελέσματα μετρήσεων για το σενάριο 10

Το δέκατο σενάριο ορίζεται σαν σενάριο χαμηλού προς μέτριου φορτίου κίνησης. Ο *TWEAK* έλυσε το σενάριο απαιτώντας κατά μέσο όρο 19.3% λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τον *BALSO*, ο οποίος χρειάστηκε πολύ λιγότερο χρόνο για να ολοκληρώσει την εκτέλεσή του (κατά μέσο όρο το 26.2% του χρόνου που απαιτήσε ο *TWEAK*). Η διαφορά στη κατανάλωση οφείλεται στον αποδοτικότερο μηχανισμό που διαθέτει ο *TWEAK*, ο οποίος προάγει τη χρήση των micro σταθμών βάσης, σε αντίθεση με τον *BALSO*.

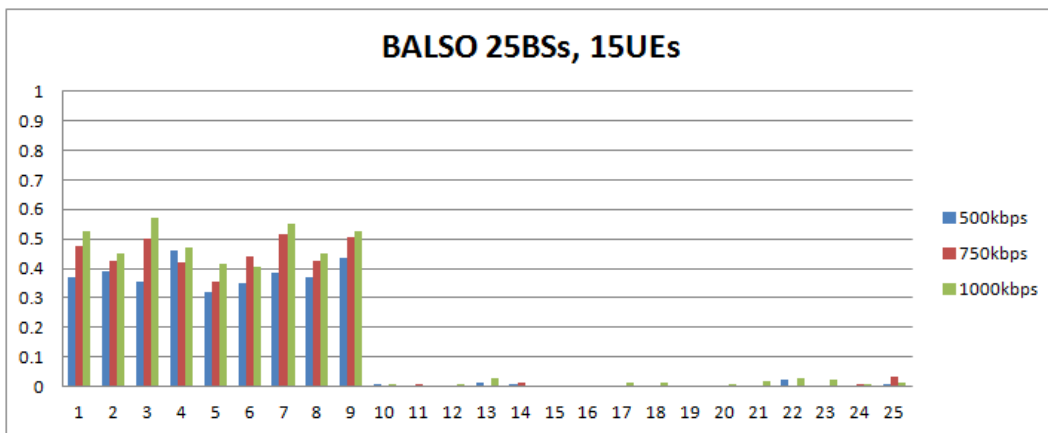


Σχήμα 3.3.9 Ενεργειακή απαίτηση των αλγορίθμων για το σενάριο 10

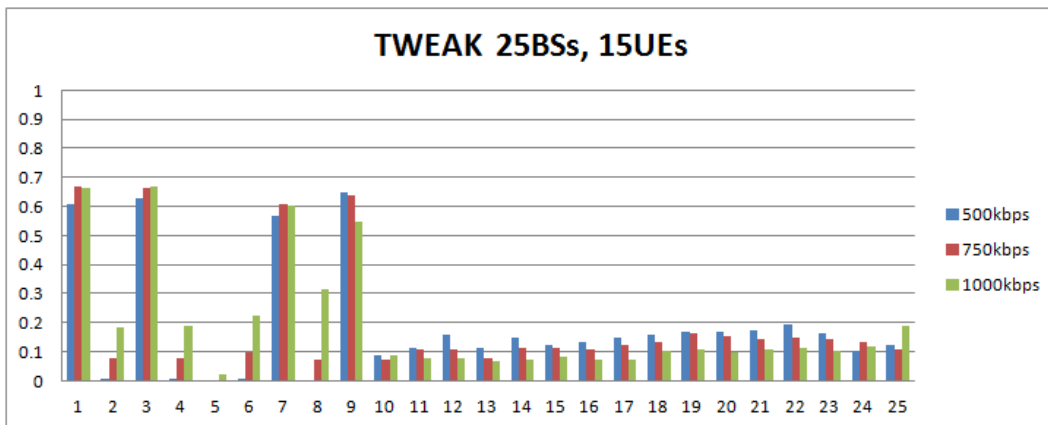


Σχήμα 3.3.10 Χρόνος εκτέλεσης των αλγορίθμων για το σενάριο 10

Στο τομέα της χρησιμοποίησης πόρων, ο *BALSO* χρησιμοποίησε αρκετά ομοιόμορφα τους macro σταθμούς βάσης και βασίστηκε αρκετά λιγότερο στους micro σταθμούς σε σχέση με τον *TWEAK*, ενώ οι κεντρικοί micro σταθμοί παρουσίασαν το μικρότερο ποσοστό ενεργοποίησης. Ο *TWEAK* βασίστηκε περισσότερο στους γωνιακούς micro σταθμούς και στους μη γωνιακούς macro σταθμούς, ενώ οι κεντρικοί micro είχαν και πάλι μηδενικό ποσοστό χρησιμοποίησης, ενώ ο κεντρικός macro σταθμός εμφάνισε ποσοστό κάτω του 10%. Η ενεργοποίηση των micro σταθμών για τον *BALSO* έφτασε το 0.71%, ενώ για τον *TWEAK* ήταν αρκετά μεγαλύτερη, κατά μέσο όρο 10.58%, γεγονός που συνέβαλε στο περιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης.



Σχήμα 3.3.11 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *BALSO* για το σενάριο 10



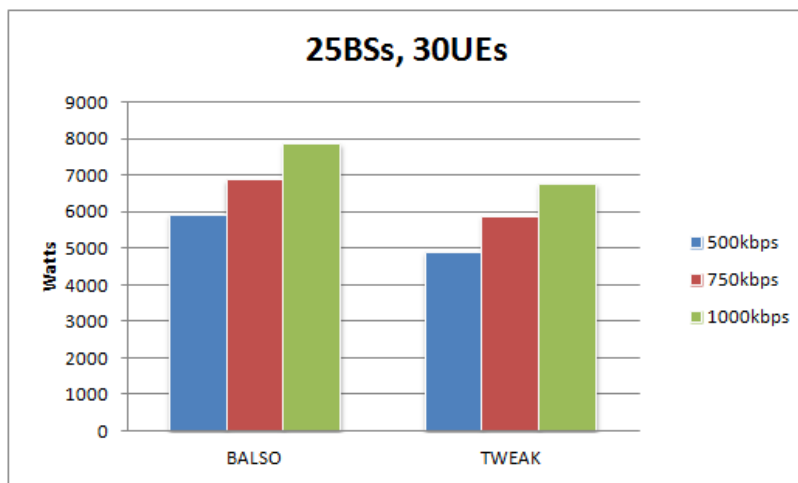
Σχήμα 3.3.12 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *TWEAK* για το σενάριο 10

Σενάριο 11 (25BSs, 30users)

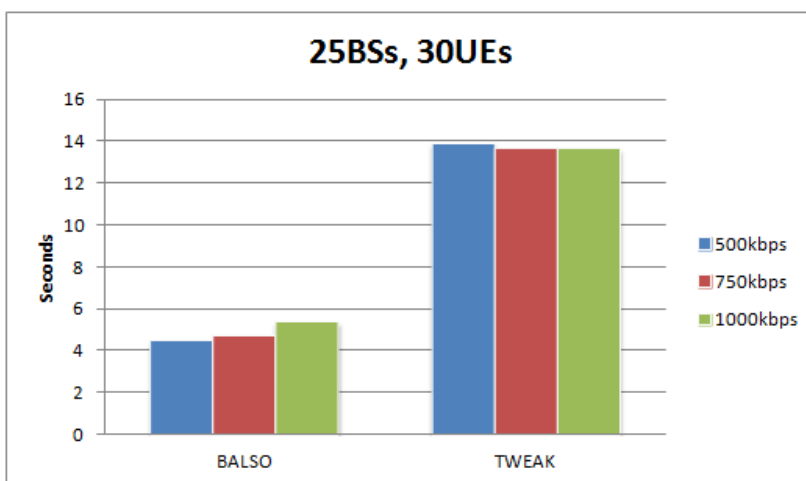
		BALSO				TWEAK		
	Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)		Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)	
500kbps	4.462	5935.01	0		13.878	4888.14	0	
750kbps	4.721	6877.52	0		13.658	5888.29	0	
1000kbps	5.375	7877.77	0		13.616	6769.90	0	

Σχήμα 3.3.13 Αποτελέσματα μετρήσεων για το σενάριο 11

Το σενάριο 11 είναι ένα σενάριο μεσαίου προς υψηλού φόρτου για το σύστημα. Στη μετρική της κατανάλωσης ενέργειας ο *TWEAK* παρουσιάστηκε βελτιωμένος κατά 15.3% μέσο όρο σε σχέση με τον *BALSO*. Στη μετρική του χρόνου ο *BALSO* ήταν σαφώς ανώτερος, απαιτώντας κατά μέσο όρο το 35.4% του χρόνου εκτέλεσης του *TWEAK*. Αυτή η απόκλιση οφείλεται στη διαφορά της αρχιτεκτονικής των δύο αλγόριθμων, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως.

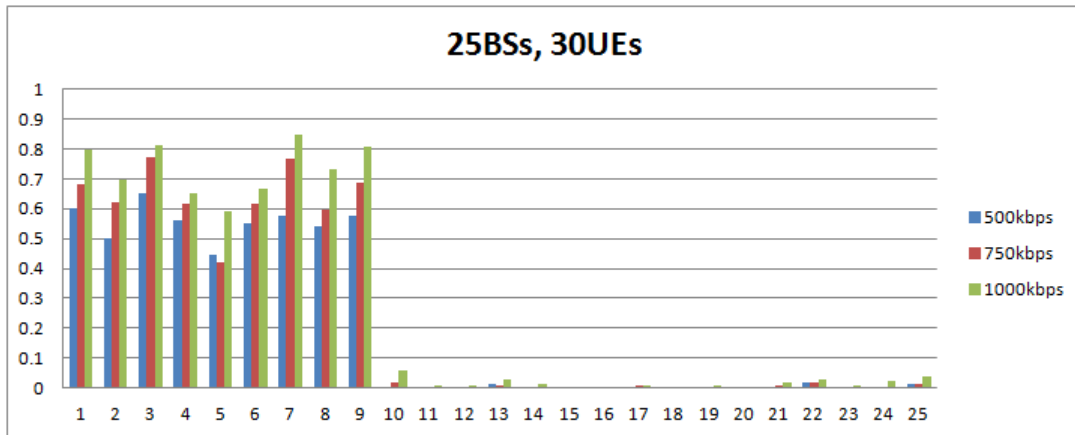


Σχήμα 3.3.14 Ενεργειακή απαίτηση των αλγορίθμων για το σενάριο 11

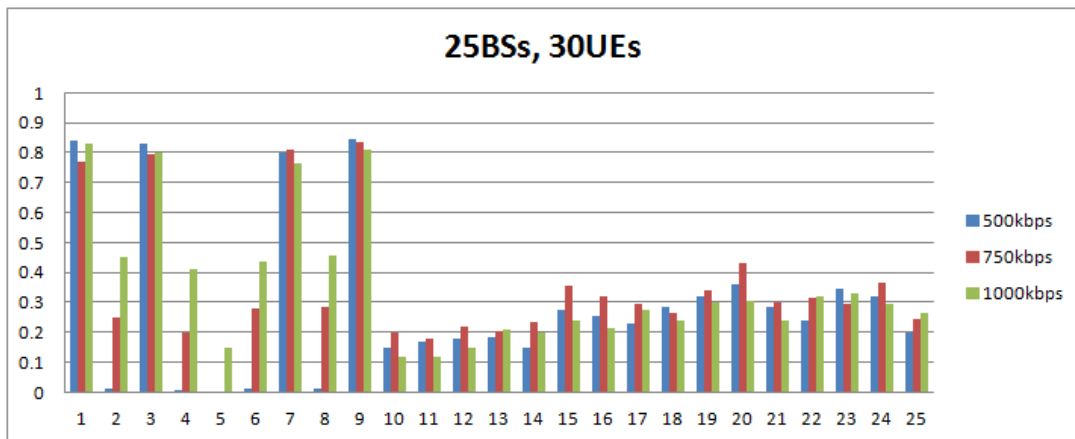


Σχήμα 3.3.15 Χρόνος εκτέλεσης των αλγορίθμων για το σενάριο 11

Στο τομέα της χρησιμοποίησης πόρων φαίνεται η μεγάλη διαφορά στη φιλοσοφία των δυο αλγορίθμων, όπου ο *BALSO* εξυπηρετεί το φορτίο μέσω των macro σταθμών, ενώ η χρησιμοποίηση των micro σταθμών δε ξεπερνάει σε καμία περίπτωση το 7%, σε αντίθεση με τον *TWEAK* που ενεργοποιεί τους micro σταθμούς πολύ περισσότερο, δίνοντας προτεραιότητα στους τέσσερεις γωνιακούς (σε κάποιες περιπτώσεις μεγαλύτερη σε σχέση με τον *BSindex 5*). Ο *BALSO* έλυσε το σενάριο ενεργοποιώντας ελάχιστα τους micro σταθμούς, σε ποσοστό 0.86%, ενώ ο *TWEAK* τους χρησιμοποίησε σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό, το οποίο μάλιστα αρκετές φορές ξεπέρασε τα ποσοστά των macro σταθμών, κατά μέσο όρο 22%. Αυτή η ουσιαστική διείσδυση των micro σταθμών βάσης επέφερε μεγάλη διαφορά στη κατανάλωση του συστήματος όπως φαίνεται από το σχετικό σχήμα παραπάνω.



Σχήμα 3.3.16 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *BALSO* για το σενάριο 11



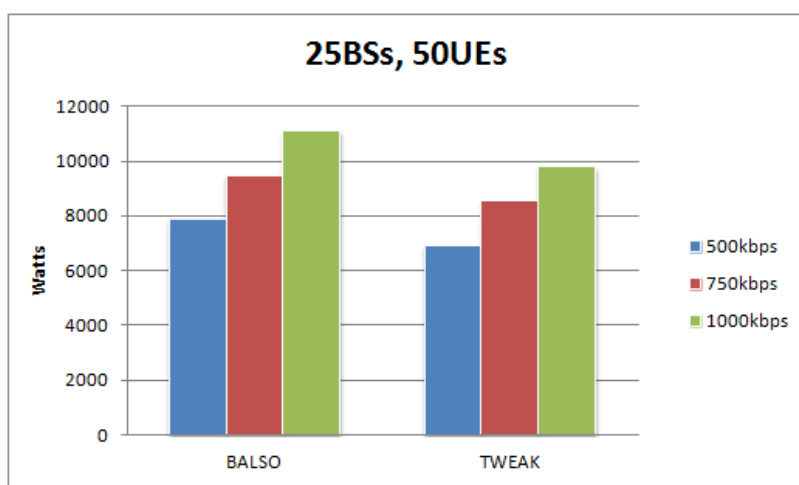
Σχήμα 3.3.17 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *TWEAK* για το σενάριο 11

Σενάριο 12 (25BSs, 50users)

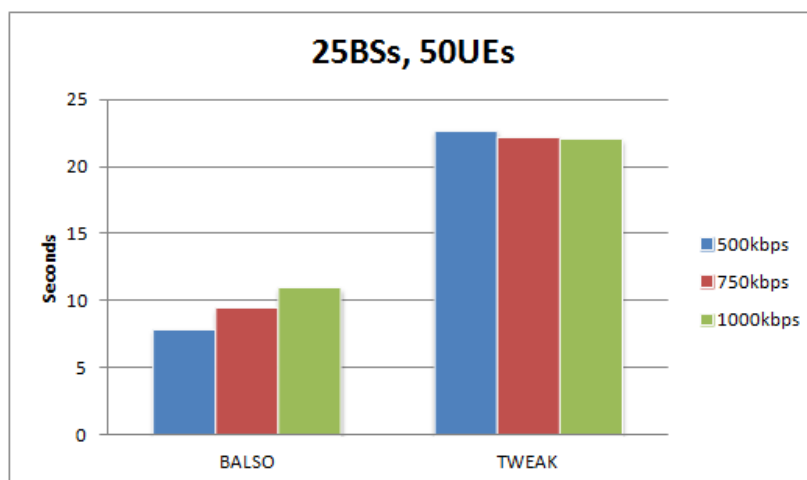
		BALSO				TWEAK		
	Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)		Mean values (sec)	Mean values (W)	Infeasible (%)	
500kbps	7.843	7892.1	0		22.635	6921.31	0	
750kbps	9.391	9470.96	0		22.15	8545.43	0	
1000kbps	10.925	11102.92	5.2		21.987	9788.81	4.3	

Σχήμα 3.3.18 Αποτελέσματα μετρήσεων για το σενάριο 12

Το σενάριο 12 χαρακτηρίζεται από μεγάλο φορτίο κίνησης για το σύστημα, όπως φαίνεται από τα ποσοστά αποτυχίας των δυο αλγορίθμων. Στο τομέα της ενεργειακής κατανάλωσης, ο *TWEAK* εμφανίστηκε αρκετά πιο αποδοτικός έχοντας διαφορά της τάξης του 11.3% από τον *BALSO*. Στη μετρική του χρόνου επίλυσης ο *BALSO* ήταν αρκετά πιο ταχύς και χρειάστηκε μόλις το 42.2% του χρόνου που απαίτησε ο *TWEAK* για να λύσει το σενάριο.

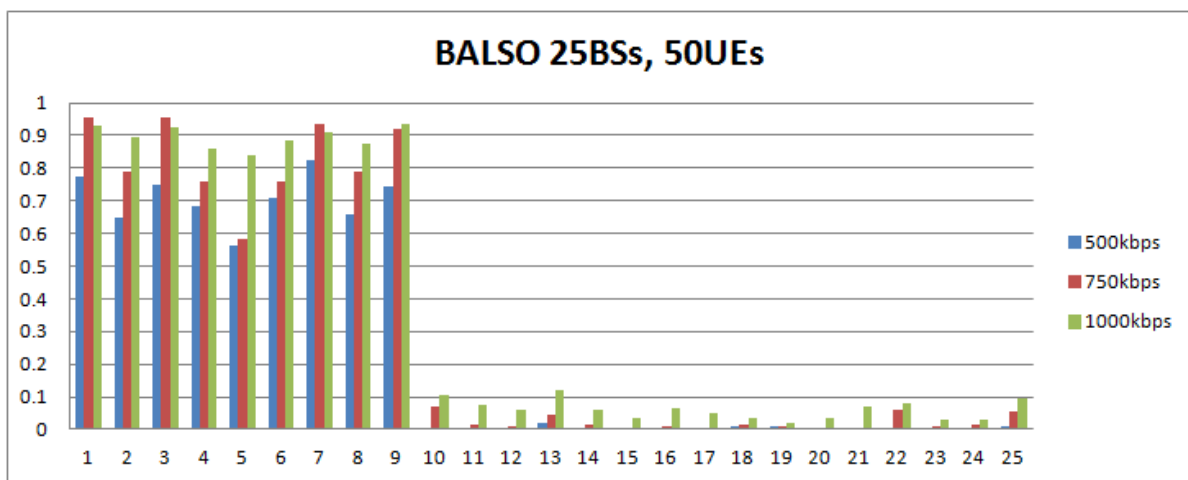


Σχήμα 3.3.19 Ενεργειακή απαίτηση των αλγορίθμων για το σενάριο 12

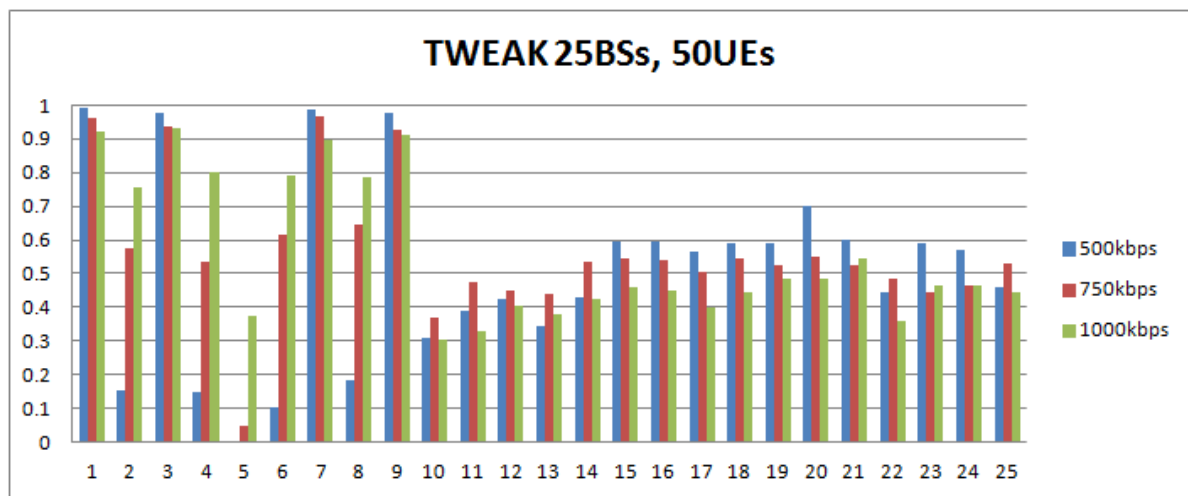


Σχήμα 3.3.20 Χρόνος εκτέλεσης των αλγορίθμων για το σενάριο 12

Στο τομέα της χρησιμοποίησης πόρων αποτυπώνεται και πάλι η διαφορά στη φιλοσοφία των δυο αλγορίθμων, με τον *BALSO* να δίνει έμφαση στους macro σταθμούς, τους οποίους ενεργοποίησε σε αρκετά υψηλό ποσοστό (εκτός του *BSindex* 5 όλοι βρίσκονται πάνω από το 60%), διατηρώντας τη χρησιμοποίηση των micro στο 2.5%. Σε αντίθεση ο *TWEAK* χρησιμοποίησε τους τέσσερεις γωνιακούς macro σταθμούς σε ποσοστό πάνω από 90%, με παράλληλη ενεργοποίηση των micro σταθμών σε ποσοστό 41.5%. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της πρώτης περίπτωσης bit rate, όπου οι τέσσερεις μη-γωνιακοί macro σταθμοί του συστήματος δε ξεπερνούν το 20% σε χρησιμοποίηση, την ώρα που όλοι οι micro βρίσκονται πάνω από το 30%. Σε αυτή τη διαφορά βασίζεται η καλύτερη ενεργειακή απόδοση του *TWEAK* και σε αυτό το σενάριο.



Σχήμα 3.3.21 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *BALSO* για το σενάριο 12

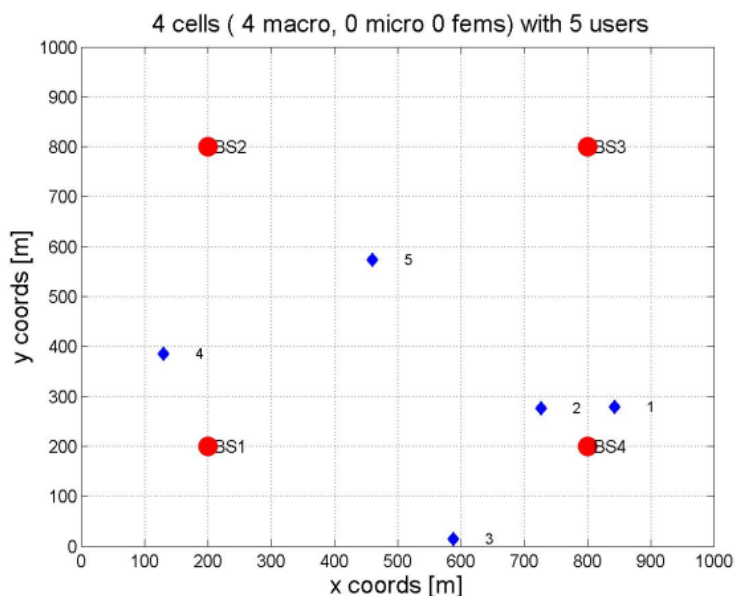


Σχήμα 3.3.22 Ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών βάσης για τον *TWEAK* για το σενάριο 12

Κεφάλαιο 4 - Ισοδύναμες τοπολογίες σταθμών βάσης

4.1 Έννοια και μέθοδος εξαγωγής των ισοδύναμων τοπολογιών

Στο κεφάλαιο αυτό ακολουθεί η εύρεση υποσυνόλων των εξετασμένων τοπολογιών σταθμών βάσης (9BSs, 16BSs, 25BSs) τα οποία μπορούν να εξυπηρετήσουν τα σενάρια χρήσης του κεφαλαίου 3, διατηρώντας το ίδιο GoS για το σύστημα. Κάθε ένα από αυτά τα υποσύνολα μπορεί να ορίζεται σαν είσοδος στο σύστημα, ανάλογα με τις εκάστοτε παραμέτρους φόρτου. Η χρήση των ισοδύναμων τοπολογιών μπορεί να προσφέρει παρόμοιο αποτέλεσμα στη μετρική της κατανάλωσης ενέργειας σε σχέση με τη χρήση της πλήρους τοπολογίας σταθμών βάσης, χαρακτηρίζεται όμως από πολύ μικρότερο χρόνο διεκπεραίωσης, καθώς απαιτούνται σαφώς λιγότεροι υπολογισμοί για την ανάθεση των πόρων στους κινητούς σταθμούς.



Σχήμα 4.1.1 Ισοδύναμη τοπολογία για το σενάριο 9BSs, 5UEs, 500kbps, BALS0

Λόγω των λιγότερων σταθμών βάσης, τα *GBR* (*guaranteed bitrates*) των χρηστών υπολογίζονται γρηγορότερα, συντελώντας στη μείωση της χρονικής απαίτησης για τη λύση του εκάστοτε σεναρίου. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι διαφορές των ισοδύναμων τοπολογιών σε σύγκριση με τις πλήρεις, στις μετρικές του χρόνου εκτέλεσης, της ενεργειακής απαίτησης και της πιθανότητας εύρεσης λύσης. Για τη κατάρτιση του συνόλου σταθμών βάσης χρησιμοποιήθηκε ένας συμπληρωματικός αλγόριθμος ταξινόμησης, έχοντας σαν κριτήρια το ποσοστό ενεργοποίησης των σταθμών με βάση τις μετρήσεις που προηγήθηκαν και τη γεωγραφική τους επικάλυψη, σύμφωνα με τις θέσεις τους πάνω στο τετραγωνισμένο χώρο [Παράρτημα Α]. Για τη ταύτιση μιας ισοδύναμης τοπολογίας με ένα σενάριο φόρτου έγιναν επαναληπτικές μετρήσεις με τις παραμέτρους του κεφαλαίου 3.

Ο αλγόριθμος ταξινόμησης χρησιμοποιεί τον πίνακα *BSPomat* με N γραμμές ($N =$ αριθμός σταθμών βάσης) και 5 στήλες, στις οποίες αποθηκεύονται οι συντεταγμένες των σταθμών, η κατανάλωση ενέργειας ανά subcarrier, το index του σταθμού και το ποσοστό ενεργοποίησης του σύμφωνα με τις μετρήσεις του κεφαλαίου 3. Αρχικά υπολογίζονται τα ποσοστά επικάλυψης μεταξύ των σταθμών και αποθηκεύονται ξεχωριστά για τους μετέπειτα υπολογισμούς. Στη συνέχεια ορίζεται ένα σετ από κατώφλια γεωγραφικής επικάλυψης σύμφωνα με την τοπολογία που εξετάζεται, χωρίζοντας τους σταθμούς βάσης σε ομάδες, έτσι ώστε οι σταθμοί με μικρότερη επικάλυψη να έχουν προτεραιότητα στη διαλογή. Για τα συστήματα 3x3 και 4x4 οι τιμές των κατωφλίων ορίστηκαν ως «0.30:0.1:0.60», ενώ για το ετερογενές σύστημα 9BSs+16bss το κατώφλι για τους macro = 0.48 και για τους micro = 0.24.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	NaN	0.6238	0.2848	0.6238	0.4765	0.2152	0.2848	0.2152	0.0691
2	0.6238	NaN	0.6238	0.4765	0.6238	0.4765	0.2152	0.2848	0.2152
3	0.2848	0.6238	NaN	0.2152	0.4765	0.6238	0.0691	0.2152	0.2848
4	0.6238	0.4765	0.2152	NaN	0.6238	0.2848	0.6238	0.4765	0.2152
5	0.4765	0.6238	0.4765	0.6238	NaN	0.6238	0.4765	0.6238	0.4765
6	0.2152	0.4765	0.6238	0.2848	0.6238	NaN	0.2152	0.4765	0.6238
7	0.2848	0.2152	0.0691	0.6238	0.4765	0.2152	NaN	0.6238	0.2848
8	0.2152	0.2848	0.2152	0.4765	0.6238	0.4765	0.6238	NaN	0.6238
9	0.0691	0.2152	0.2848	0.2152	0.4765	0.6238	0.2848	0.6238	NaN

Σχήμα 4.1.2 Τιμές γεωγραφικής επικάλυψης μεταξύ των σταθμών για ομογενές σύστημα 3x3

Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα 3x3, εάν η διαδικασία ταξινόμησης ξεκινήσει από το σταθμό 1, θα αξιολογηθούν οι σταθμοί {3 6 7 8 9}, στη συνέχεια ο σταθμός {5}, ενώ οι σταθμοί {2 4} κρατούνται για να τοποθετηθούν στις τελευταίες θέσεις της λίστας. Με τον τρόπο αυτό αποτρέπεται σε μεγάλο βαθμό η χρήση γειτονικών σταθμών για τη κατάρτιση της ταξινομημένης λίστας, έχοντας σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος.

Η διαδικασία εύρεσης των προτεινόμενων σταθμών σε ομογενές σύστημα (3x3, 4x4), έχει σαν αφετηρία το σταθμό με τη μεγαλύτερη χρησιμοποίηση και συνεχίζει με φθίνουσα πορεία προς αυτόν με τη μικρότερη χρησιμοποίηση, έχοντας σαν μοναδικό κριτήριο το εκάστοτε κατώφλι γεωγραφικής επικάλυψης του εξεταζόμενου σταθμού με όλους τους σταθμούς που έχουν ήδη μπει στη λίστα. Στη συνέχεια, ελέγχεται αν υπάρχουν σταθμοί με μηδενικό ποσοστό ενεργοποίησης.

- Αν βρεθούν, μεταφέρονται στις τελευταίες θέσεις της λίστας. Όσοι σταθμοί δε τήρησαν το κριτήριο της επικάλυψης, τοποθετούνται στη θέση τους ανάλογα με το ποσοστό επικάλυψής τους.
- Αν δε βρεθούν, η λίστα συμπληρώνεται με τους υπόλοιπους σταθμούς ανάλογα με το ποσοστό επικάλυψής τους.

Η διαδικασία εύρεσης των προτεινόμενων σταθμών σε ετερογενές σύστημα (9BSs+16bss), έχει σαν αφετηρία το σταθμό με τη μεγαλύτερη χρησιμοποίηση και συνεχίζει με φθίνουσα πορεία προς αυτόν με τη μικρότερη χρησιμοποίηση, έχοντας σαν μοναδικό κριτήριο το ανάλογο κατώφλι γεωγραφικής επικάλυψης του εξεταζόμενου σταθμού με όλους τους σταθμούς που έχουν ήδη μπει στη λίστα. Υπενθυμίζεται ότι στον ετερογενή αλγόριθμο χρησιμοποιούνται σταθερά κατώφλια ανάλογα με τον τύπο του εξεταζόμενου σταθμού. Στη συνέχεια, ελέγχεται αν υπάρχουν σταθμοί με μηδενικό ποσοστό ενεργοποίησης.

- Αν βρεθεί σταθμός με ποσοστό ενεργοποίησης 0%, τότε όλοι οι υπόλοιποι σταθμοί τοποθετούνται στη θέση του ανάλογα με το ποσοστό ενεργοποίησής τους και ο μηδενικός σταθμός τοποθετείται στη τελευταία θέση της λίστας.
- Αν δε βρεθεί μηδενικός σταθμός, οι υπόλοιποι σταθμοί ταξινομούνται ανάλογα με το ποσοστό ενεργοποίησής τους και εξετάζονται διαδοχικά, έχοντας σαν κριτήριο τη γεωγραφική τους επικάλυψη σε σχέση με τους σταθμούς της λίστας.
 - Για να προστεθεί ένας macro σταθμός στη λίστα πρέπει να μη ξεπερνάει το macro-threshold προς δυο τουλάχιστον από τους σταθμούς της λίστας και να έχει ποσοστό ενεργοποίησης άνω του 0%.
 - Για να προστεθεί ένας micro σταθμός στη λίστα, πρέπει να μη ξεπερνάει το micro-threshold προς δυο σταθμούς της λίστας, ενώ ταυτόχρονα να έχει ποσοστό ενεργοποίησης μεγαλύτερο από το 75% του μέγιστου ποσοστού ενεργοποίησης των λοιπών σταθμών.
 - Όσοι σταθμοί δε κατάφεραν και πάλι να προκριθούν, εισάγονται στις τελευταίες θέσεις της λίστας με κριτήριο μόνο το ποσοστό ενεργοποίησής τους.

Με αυτά τα κριτήρια επιτυγχάνεται μια δεύτερη διαλογή των σταθμών που δε προκρίνονται κατά τη πρώτη φάση συμπλήρωσης της λίστας. Ακολουθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων των εξαγόμενων τοπολογιών για τα σενάρια φόρτου του κεφαλαίου 3. Τα σενάρια έχουν χωριστεί περαιτέρω σε τρεις υποκατηγορίες (α,β,γ) ανάλογα με το *GBR*. Οι πίνακες με τα ποσοστά χρησιμοποίησης των σταθμών βάσης έχουν τοποθετηθεί στο παράρτημα Β του κειμένου.

4.2 Πειραματικές μετρήσεις

4.2.1 Προσδιορισμός ισοδύναμων τοπολογιών σε συστήματα 3x3

Σενάριο 1α (9BS 5UEs 500kbps)

500 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 9BSs</i>	0.217	2024.28	0	100	100
<i>BALSO - 4BSs (not proposed)</i>	0.155	2155.8	0	71.43	106.5
<i>BALSO - 5BSs</i>	0.157	2079.6	0	72.35	102.73
<i>TWEAK - full topology 9BSs</i>	0.420	2034.6	0	100	100
<i>TWEAK - 4BSs</i>	0.187	2062.92	0	44.52	101.39

Σχήμα 4.2.1.1 Επίλυση σεναρίου 1α

Για το σενάριο (*BALSO*) 1α δοκιμάστηκε μια τοπολογία 5 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Για το ίδιο ποσοστό αποτυχιών παρατηρήθηκε βελτίωση του χρόνου επίλυσης κατά 27.6% με ενεργειακή αποδοτικότητα 2.66% χειρότερη σε σύγκριση με τη χρήση πλήρους τοπολογίας. Δοκιμάστηκε επίσης μια μη-προτεινόμενη τοπολογία τεσσάρων σταθμών, η οποία απορρίφθηκε καθώς χειροτέρευσε τη κατανάλωση ενέργειας του συστήματος, ενώ προσέφερε οριακή βελτίωση στην απόκριση.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 1α δοκιμάστηκε μια τοπολογία 4 γωνιακών σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Για το ίδιο ποσοστό αποτυχιών παρατηρήθηκε βελτίωση του χρόνου επίλυσης κατά 55.5% με ενεργειακή αποδοτικότητα να φτάνει στο 98.6% της αρχικής.

Σενάριο 1β (9BS 5UEs 750kbps)

750 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 9BSs</i>	0.234	2251.92	0	100	100
<i>BALSO - 4BSs</i>	0.140	2263.68	0	59.83	100.52
<i>TWEAK - full topology 9BSs</i>	0.409	2262.6	0	100	100
<i>TWEAK - 4BSs</i>	0.184	2326.56	0	44.99	102.83

Σχήμα 4.2.1.2 Επίλυση σεναρίου 1β

Για το σενάριο (*BALSO*) 1β, δοκιμάστηκε μια τοπολογία 4 γωνιακών σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Για το ίδιο ποσοστό αποτυχιών παρατηρήθηκε βελτίωση του χρόνου επίλυσης κατά 40.2% με ενεργειακή αποδοτικότητα 0.52% χειρότερη σε σύγκριση με τη χρήση πλήρους τοπολογίας.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 1β, δοκιμάστηκε μια τοπολογία 4 γωνιακών σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Για το ίδιο ποσοστό αποτυχιών παρατηρήθηκε βελτίωση του χρόνου επίλυσης κατά 45% με ενεργειακή αποδοτικότητα 2.83% χειρότερη σε σύγκριση με τη χρήση πλήρους τοπολογίας.

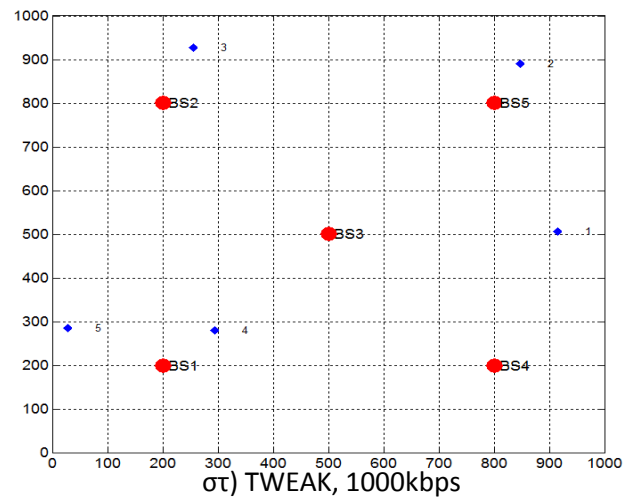
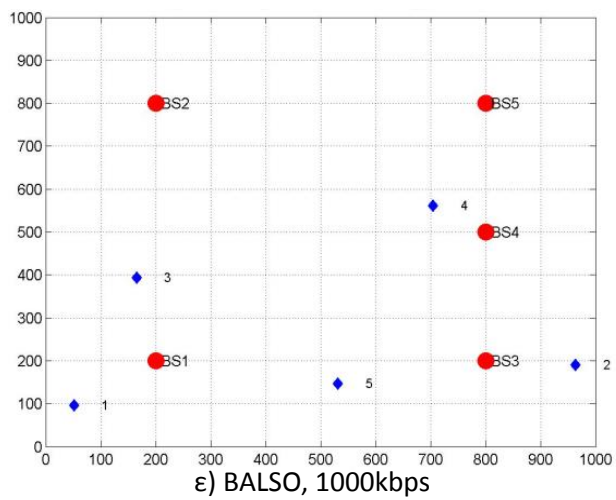
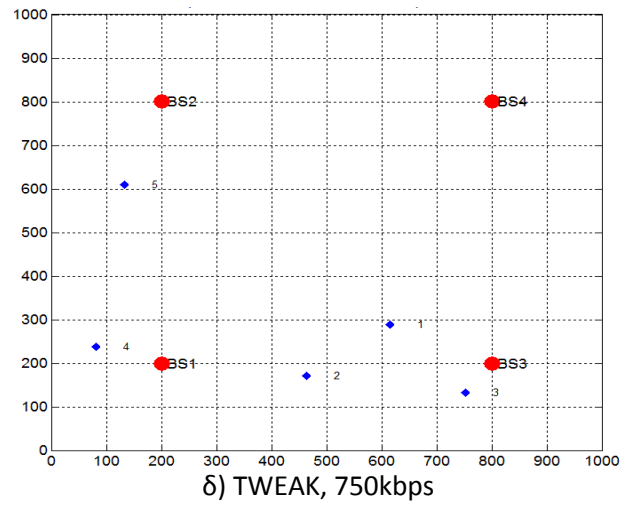
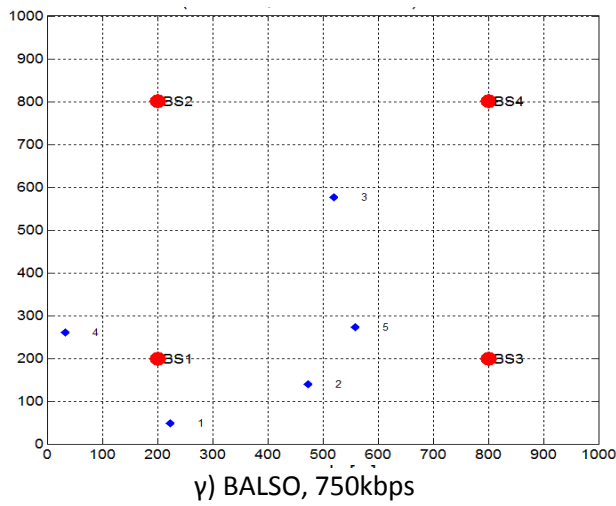
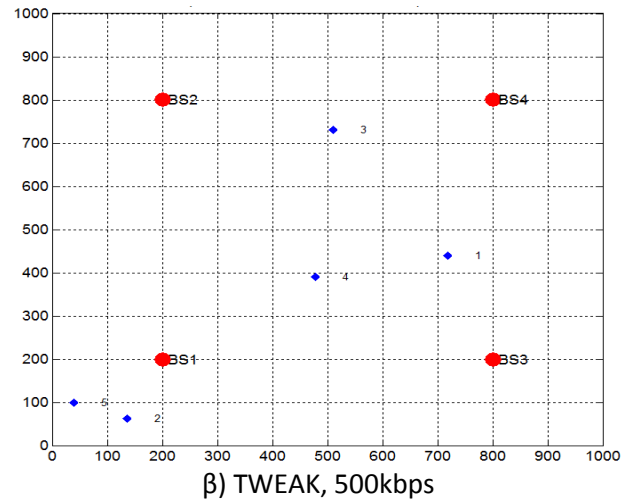
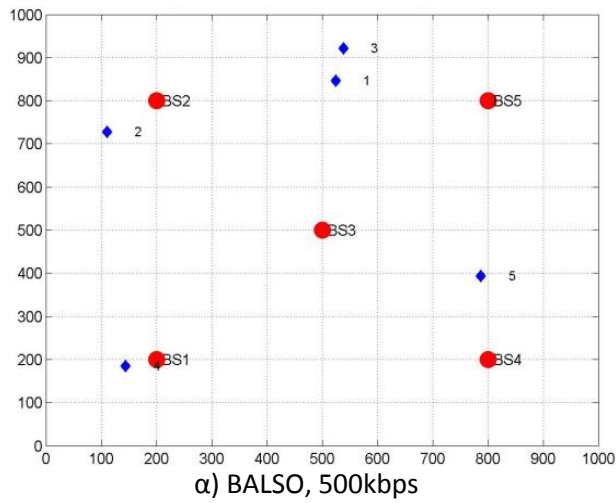
Σενάριο 1γ (9BS 5UEs 1000kbps)

1000 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 9BSs</i>	0.229	2329.2	0	100	100
<i>BALSO - 4BSs (not proposed)</i>	0.14	2550.24	0	61.13	109.49
<i>BALSO - 5BSs</i>	0.157	2521.44	0	68.56	108.25
<i>TWEAK - full topology 9BSs</i>	0.229	2329.2	0	100	100
<i>TWEAK - 4BSs</i>	0.181	2542	1	79.04	109.14
<i>TWEAK - 5BSs</i>	0.199	2476.7	0	86.90	106.33

Σχήμα 4.2.1.3 Επίλυση σεναρίου 1γ

Για το σενάριο (*BALSO*) 1γ δοκιμάστηκε μια τοπολογία από 4 σταθμούς, ακολουθώντας το πρότυπο του προηγούμενου πειράματος. Το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, βελτιώνοντας την απόκριση του συστήματος κατά 31% περίπου, ενώ η κατανάλωση αυξήθηκε κατά 9.5% σε σχέση με την αρχική λύση. Ακολούθως, δοκιμάστηκε μια τοπολογία 5 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Για το ίδιο ποσοστό αποτυχιών παρατηρήθηκε βελτίωση του χρόνου επίλυσης κατά 31.4% με ενεργειακή αποδοτικότητα 8.25% χειρότερη σε σχέση με την αρχική λύση.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 1γ δοκιμάστηκαν δυο τοπολογίες, η πρώτη αποτελείται από τους 4 γωνιακούς σταθμούς, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει και τον κεντρικό, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Αρχικά δοκιμάστηκε η τοπολογία με τους τέσσερις σταθμούς βάσης, η οποία παρουσίασε υψηλότερο ποσοστό αποτυχιών σε σχέση με την αρχική λύση. Προστέθηκε ο επόμενος σταθμός της λίστας και το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, με βελτίωση χρόνου κατά 13.1% και ενεργειακή αποδοτικότητα ίση με το 93.67% της αρχικής λύσης.



Σχήμα 4.2.1.4 Ισοδύναμες τοπολογίες για το σενάριο 1

Σενάριο 2α (9BS 15UEs 500kbps)

500 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 9BSs</i>	0.315	4038.96	0	100	100
<i>BALSO - 5BSs</i>	0.214	4052.8	1.48	67.94	100.34
<i>BALSO - 6BSs</i>	0.207	4146.8	2.91	65.71	102.67
<i>BALSO - 6BSs</i>	0.216	4005	1	68.57	99.16
<i>BALSO - 7BSs</i>	0.204	3963.4	0	64.76	98.13
<i>TWEAK - full topology 9BSs</i>	0.512	3696.6	0	100	100
<i>TWEAK - 5BSs</i>	0.175	3800.8	0	34.18	102.82

Σχήμα 4.2.1.5 Επίλυση σεναρίου 2^α

Για τη περίπτωση (*BALSO*) 2α δοκιμάστηκαν τέσσερις τοπολογίες, οι [2 4 6 7 9], [2 4 6 7 8 9], [2 3 4 6 7 9] και [1 2 3 4 6 7 9], σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Αρχικά δοκιμάστηκε η τοπολογία με τους 5 σταθμούς βάσης, η οποία παρουσίασε αποτυχημένες επαναλήψεις της τάξης του 1.5%. Προστέθηκε ο επόμενος προτεινόμενος σταθμός (*BSindex* 8), όμως το ποσοστό επιτυχιών επιδεινώθηκε και ο σταθμός 8 αποκλείστηκε από τη συνέχεια των πειραμάτων. Στη συνέχεια δοκιμάστηκε η τοπολογία [2 3 4 6 7 9], αντικαθιστώντας το σταθμό 8 με τον επόμενο προτεινόμενο σταθμό της λίστας (*BSindex* 3), όπου σημειώθηκε πρόοδος στο ποσοστό αποτυχιών, χωρίς όμως να ταυτιστεί με το επιθυμητό. Στην εξεταζόμενη τοπολογία προστέθηκε ο επόμενος προτεινόμενος σταθμός βάσης (*BSindex* 1). Η τοπολογία με τους 7 σταθμούς βάσης κατάφερε να λύσει το σενάριο παρουσιάζοντας βελτίωση στο χρόνο εκτέλεσης κατά 35.2% και παράλληλα βελτίωση της αποδοτικότητας κατά 1.87%.

Για τη περίπτωση (*TWEAK*) 2α δοκιμάστηκε μια τοπολογία από 5 σταθμούς, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, ενώ για το ίδιο ποσοστό αποτυχιών παρατηρήθηκε βελτίωση του χρόνου επίλυσης κατά 65.8% με ενεργειακή αποδοτικότητα να φτάνει στο 97.3% της αρχικής λύσης.

Σενάριο 2β (9BS 15UEs 750kbps)

750 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 9BSs</i>	0.328	4482.48	0	100	100
<i>BALSO - 5BSs</i>	0.189	4398.8	1	57.62	98.13
<i>BALSO - 6BSs</i>	0.214	4496.6	0	65.24	100.32
<i>TWEAK - full topology 9BSs</i>	0.515	4199.16	0	100	100
<i>TWEAK - 5BSs</i>	0.243	4341	0.5	47.18	103.38
<i>TWEAK - 6BSs</i>	0.285	4323.7	0	55.34	102.97

Σχήμα 4.2.1.6 Επίλυση σεναρίου 2β

Για το σενάριο (*BALSO*) 2β δοκιμάστηκαν δυο τοπολογίες, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η πρώτη τοπολογία έλυσε το σενάριο με καλύτερη αποδοτικότητα, όμως εμφάνισε 1% περισσότερες αποτυχημένες επαναλήψεις σε σχέση με τη πλήρη τοπολογία. Για την εξάλειψη των αποτυχιών προστέθηκε ο επόμενος προτεινόμενος σταθμός της λίστας (*BSindex 6*). Η τοπολογία με τους 6 σταθμούς βάσης κατάφερε να λύσει το σενάριο παρουσιάζοντας βελτίωση στο χρόνο εκτέλεσης κατά 34.8% με την ενεργειακή αποδοτικότητα να φτάνει στο 99.7% της αρχικής.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 2β δοκιμάστηκαν δυο τοπολογίες, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η πρώτη παρουσίασε ελάχιστα μεγαλύτερο ποσοστό από την αρχική λύση και έτσι προστέθηκε ο επόμενος σταθμός της λίστας. Η δεύτερη τοπολογία έλυσε με επιτυχία το σενάριο παρουσιάζοντας βελτίωση στο χρόνο εκτέλεσης κατά 34.8% με την ενεργειακή αποδοτικότητα να φτάνει στο 99.7% της αρχικής.

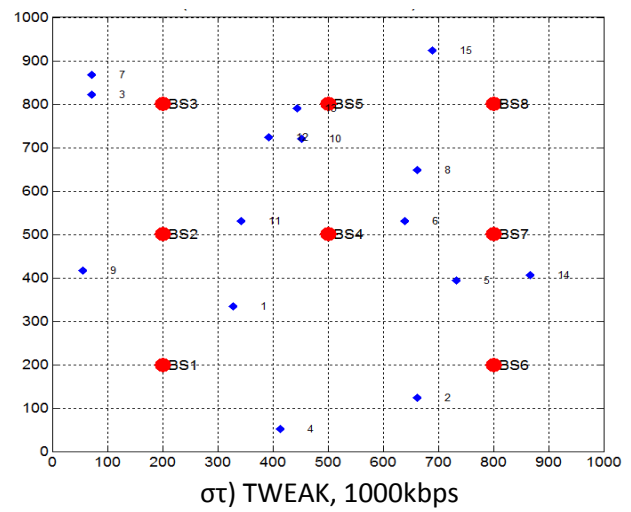
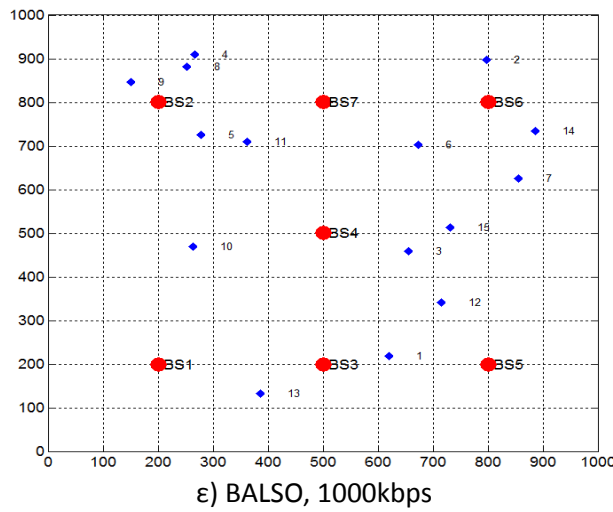
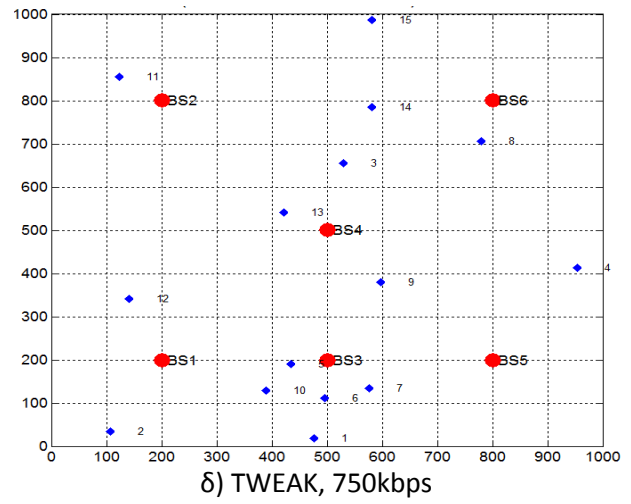
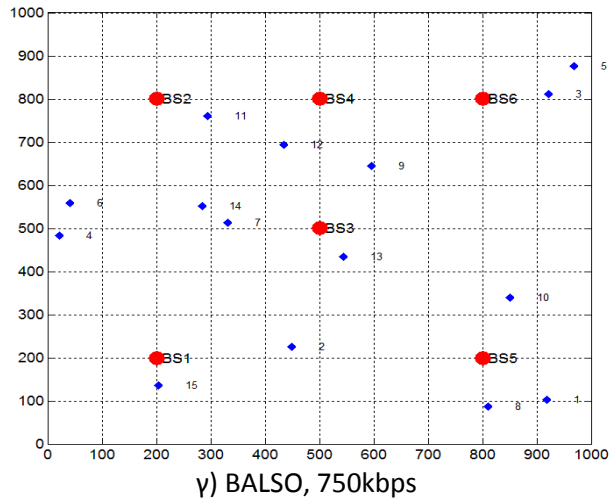
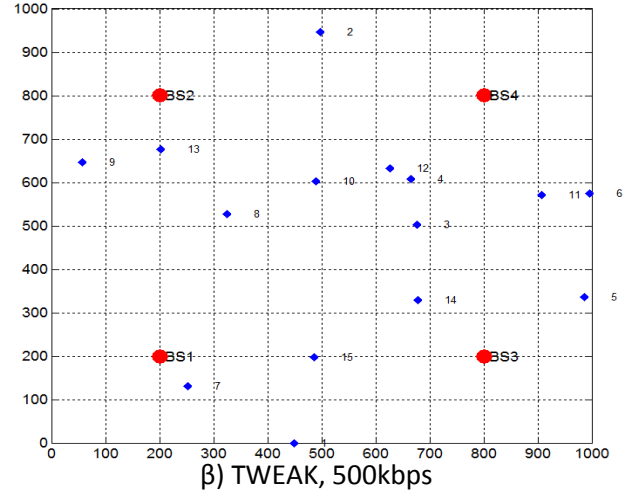
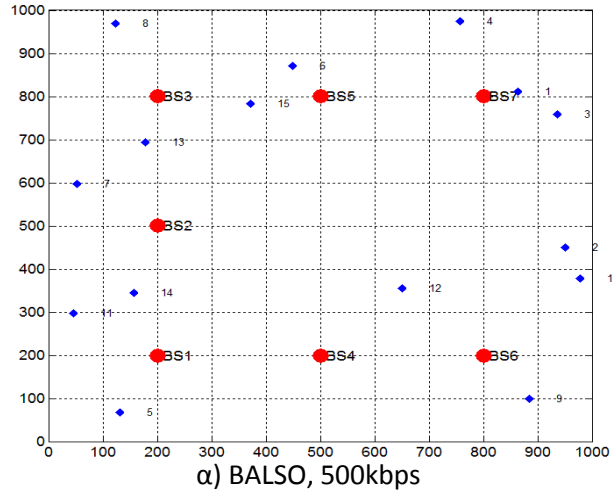
Σενάριο 2γ (9BS 15UEs 1000kbps)

1000 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 9BSs</i>	0.329	5016.96	0	100	100
<i>BALSO - 6BSs</i>	0.223	5034.48	3.38	67.78	100.35
<i>BALSO - 7BSs</i>	0.212	5078.16	0	64.44	101.22
<i>TWEAK - full topology 9BSs</i>	0.499	4769.28	0	100	100
<i>TWEAK - 7BSs</i>	0.254	4889.6	1.48	50.90	102.53
<i>TWEAK - 8BSs</i>	0.35	4847.28	0	70.14	101.64

Σχήμα 4.2.1.7 Επίλυση σεναρίου 2γ

Για το σενάριο (*BALSO*) 2γ δοκιμάστηκαν δυο τοπολογίες, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η τοπολογία με τους 6 σταθμούς βάσης εμφάνισε 3.38% περισσότερες αποτυχημένες επαναλήψεις από την αρχική λύση και απορρίφθηκε. Με τη προσθήκη του επόμενου σταθμού το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, παρουσιάζοντας βελτίωση στο χρόνο εκτέλεσης κατά 35.6% ενώ η ενεργειακή αποδοτικότητα έφτασε στο 98.8% της αρχικής.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 2γ δοκιμάστηκαν δυο τοπολογίες, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η τοπολογία με τους επτά σταθμούς βάσης έλυσε το σενάριο με καλύτερη αποδοτικότητα, παρουσίασε όμως 1.48% περισσότερες αποτυχημένες επαναλήψεις από την αρχική λύση και απορρίφθηκε. Με τη προσθήκη του επόμενου σταθμού το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, παρουσιάζοντας βελτίωση στο χρόνο εκτέλεσης κατά 29.9% ενώ η ενεργειακή αποδοτικότητα έφτασε στο 98.4% της αρχικής. Σε αυτό το παράδειγμα είναι εμφανής η διαφορά στην απόκριση του συστήματος πλήρους τοπολογίας με αυτό των 8 σταθμών βάσης, κάτι που οφείλεται στους αρκετούς υπολογισμούς που εκτελεί ο TWEAK για να προσδιορίσει τη χρησιμότητα κάθε σταθμού του συστήματος.



Σχήμα 4.2.1.8 Ισοδύναμες τοπολογίες για το σενάριο 2

Σενάριο 3α (9BS 30UEs 500kbps)

500 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 9BSs</i>	0.436	5961.6	0	100	100
<i>BALSO - 6BSs</i>	0.23	5707.56	2.44	52.75	95.74
<i>BALSO - 7BSs</i>	0.286	5853.24	0	65.60	98.18
<i>TWEAK - full topology 9BSs</i>	0.61	5410.44	0	100	100
<i>TWEAK - 6BSs</i>	0.271	5397.5	1.48	44.43	99.76
<i>TWEAK - 7BSs</i>	0.344	5410	0	56.4	99.99

Σχήμα 4.2.1.9 Επίλυση σεναρίου 3^α

Για το σενάριο (*BALSO*) 3α δοκιμάστηκαν δυο τοπολογίες, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η πρώτη τοπολογία έλυσε το σενάριο με καλύτερη αποδοτικότητα σε σχέση με την αρχική λύση, παρουσίασε όμως περισσότερες 2.44% αποτυχημένες επαναλήψεις και απορρίφθηκε. Προστέθηκε ο επόμενος προτεινόμενος σταθμός (*BSindex 1*) και το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, παρουσιάζοντας βελτίωση στο χρόνο εκτέλεσης κατά 34.4% ενώ η ενεργειακή αποδοτικότητα έφτασε στο 98.2% της αρχικής.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 3α δοκιμάστηκαν δυο τοπολογίες, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η πρώτη τοπολογία έλυσε το σενάριο με καλύτερη αποδοτικότητα σε σχέση με την αρχική λύση, παρουσίασε όμως 1.48% περισσότερες αποτυχημένες επαναλήψεις και απορρίφθηκε. Προστέθηκε ο επόμενος προτεινόμενος σταθμός (*BSindex 8*) και το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, παρουσιάζοντας βελτίωση στο χρόνο εκτέλεσης κατά 43.6% ενώ η ενεργειακή αποδοτικότητα προσέγγισε το 100% της αρχικής λύσης.

Σενάριο 3β (9BS 30UEs 750kbps)

750 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
BALSO - full topology 9BSs	0.453	6814.2	0	100	100
BALSO - 7BSs	0.278	6872.04	6.54	61.37	100.85
BALSO - 8BSs	0.351	6963.36	1.48	77.48	102.19
BALSO - 8BSs (w/o BSindex 5)	0.328	6899.88	0	72.41	101.26
TWEAK - full topology 9BSs	0.592	6552.72	0	100	100
TWEAK - 7BSs	0.354	6503	13	59.80	99.24
TWEAK - 8BSs	0.451	6594.5	0.5	76.18	100.64
TWEAK - 8BSs (w/o BSindex 5)	0.416	6623.8	0	70.27	101.08

Σχήμα 4.2.1.10 Επίλυση σεναρίου 3β

Για το σενάριο (BALSO) 3β δοκιμάστηκαν δυο τοπολογίες, οι [1 2 3 5 7 8 9] και [1 2 3 5 6 7 8 9], σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Αρχικά δοκιμάστηκε η τοπολογία με τους 7 σταθμούς, η οποία παρουσίασε υψηλό ποσοστό αποτυχιών (6.54%) και απορρίφθηκε. Ακολούθως προστέθηκε ο επόμενος σταθμός βάσης της λίστας και το ποσοστό αποτυχιών περιορίστηκε σε 1.48%, σε αντίθεση με το μηδενικό ποσοστό της αρχικής λύσης. Επειδή δεν υπήρξε σύγκλιση των αποτελεσμάτων με την αρχική λύση, δοκιμάστηκε μια τοπολογία εξαιρώντας το σταθμό βάσης με το μικρότερο ποσοστό ενεργοποίησης από τους 9 διαθέσιμους (BSindex 5), η οποία κατάφερε να λύσει το σενάριο με επιτυχία, βελτιώνοντας το χρόνο εκτέλεσης κατά 27.6%, ενώ η ενεργειακή αποδοτικότητα έφτασε στο 98.8% της αρχικής λύσης.

Για το σενάριο (TWEAK) 3β δοκιμάστηκαν δυο τοπολογίες, οι [1 2 3 5 6 7 9] και [1 2 3 4 5 6 7 9], σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Αρχικά δοκιμάστηκε η τοπολογία με τους 7 σταθμούς βάσης, η οποία παρουσίασε υψηλό ποσοστό αποτυχιών (13%) και απορρίφθηκε. Ακολούθως προστέθηκε ο επόμενος σταθμός βάσης της λίστας και το ποσοστό αποτυχιών περιορίστηκε σε 0.5%, σε αντίθεση με το μηδενικό ποσοστό της αρχικής λύσης. Τέλος, δοκιμάστηκε μια τοπολογία εξαιρώντας το σταθμό βάσης με το μικρότερο ποσοστό ενεργοποίησης από τους 9 διαθέσιμους (BSindex 5), η οποία κατάφερε να λύσει το σενάριο με επιτυχία, βελτιώνοντας το χρόνο εκτέλεσης κατά 27.6%, ενώ η ενεργειακή αποδοτικότητα έφτασε στο 98.9% της αρχικής λύσης.

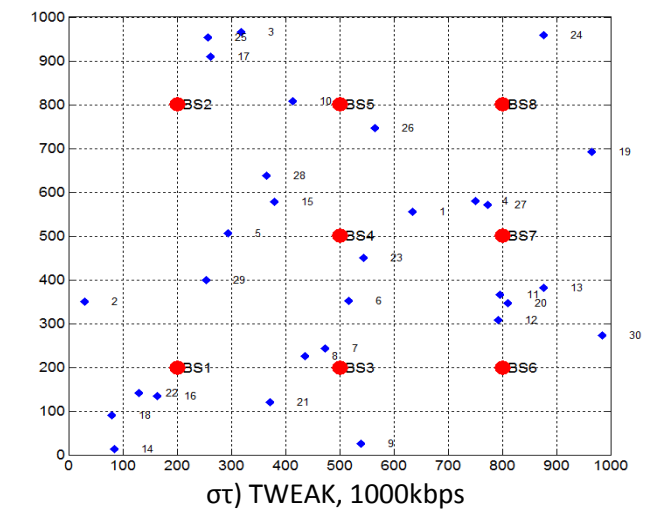
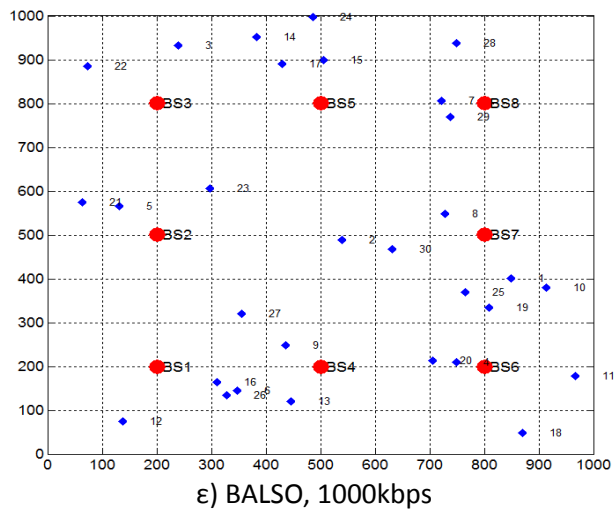
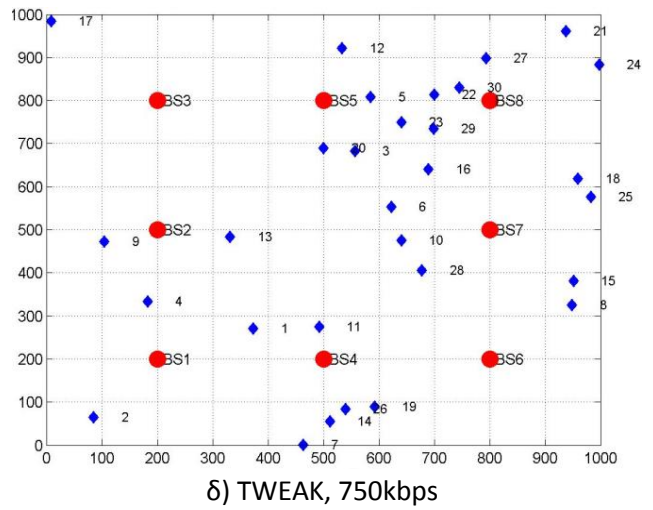
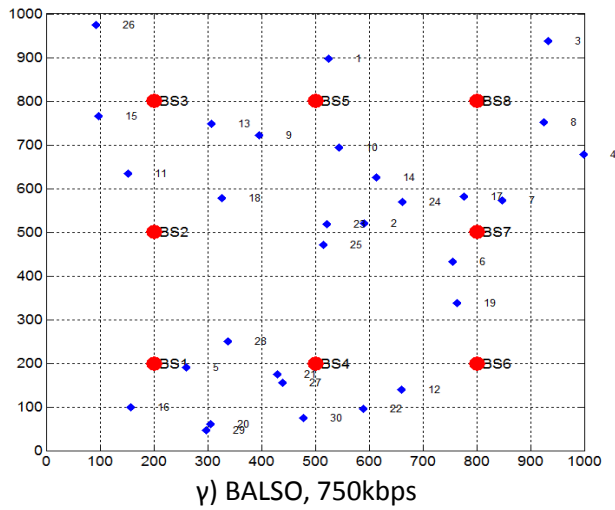
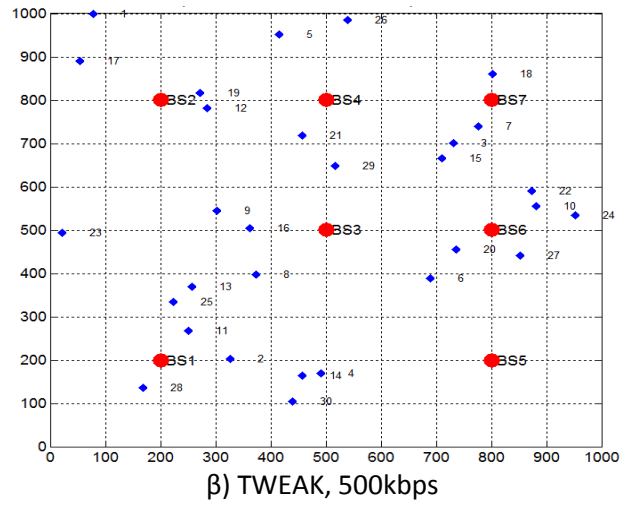
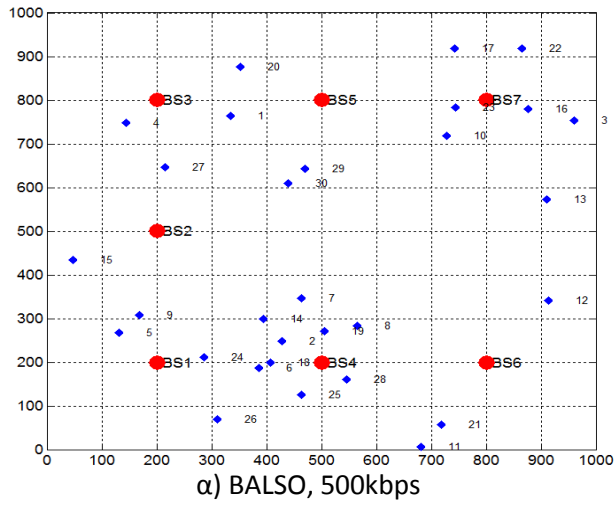
Σενάριο 3γ (9BS 30UEs 1000kbps)

1000 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 9BSs</i>	0.457	7760.75	0.5	100	100
<i>BALSO - 8BSs</i>	0.336	7899.72	20.6	73.53	98.2
<i>BALSO - 8BSs (w/o BSindex 5)</i>	0.359	8038.08	5.2	78.56	103.57
<i>TWEAK - full topology 9BSs</i>	0.587	7659.24	0	100	100
<i>TWEAK - 8BSs</i>	0.414	7721.2	18.4	70.53	100.81
<i>TWEAK - 8BSs (w/o BSindex 5)</i>	0.423	7702.9	8.68	72.06	100.57

Σχήμα 4.2.1.11 Επίλυση σεναρίου 3γ

Για το σενάριο (*BALSO*) 3γ δοκιμάστηκε η τοπολογία 8 σταθμών [1 2 3 4 5 6 7 9] σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Εφόσον η χρήση της πλήρους τοπολογίας παρουσίασε αποτυχημένες επαναλήψεις της τάξης του 0.5%, στόχος είναι η προσέγγιση αυτού του ποσοστού με παράλληλη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του συστήματος. Η προτεινόμενη τοπολογία παρουσίασε αρκετά περισσότερες αποτυχημένες επαναλήψεις σε σχέση με την αρχική λύση και απορρίφθηκε. Δοκιμάστηκε μια μη-προτεινόμενη τοπολογία αποκλείοντας το σταθμό βάσης με το μικρότερο ποσοστό ενεργοποίησης, η οποία παρουσίασε καλύτερο ποσοστό αποτυχιών (5.2% αντί 20.6%), αλλά χαρακτηρίστηκε από χειρότερη αποδοτικότητα χρόνου και ενέργειας σε σχέση με τη προτεινόμενη λύση.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 3γ δοκιμάστηκε η τοπολογία 8 σταθμών [1 3 4 5 6 7 8 9] σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η προτεινόμενη τοπολογία παρουσίασε αρκετά περισσότερες αποτυχημένες επαναλήψεις σε σχέση με την αρχική λύση και απορρίφθηκε. Δοκιμάστηκε μια μη-προτεινόμενη τοπολογία αποκλείοντας το σταθμό βάσης με το μικρότερο ποσοστό ενεργοποίησης, η οποία παρουσίασε καλύτερο ποσοστό αποτυχιών (19% αντί 20.6%), αλλά χαρακτηρίστηκε από χειρότερη αποδοτικότητα χρόνου και ενέργειας σε σχέση με τη προτεινόμενη λύση.



Σχήμα 4.2.1.12 Προτεινόμενες τοπολογίες για το σενάριο 3

Σενάριο 4α (9BS 50UEs 500kbps)

500 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 9BSs</i>	0.601	8000.64	0	100	100
<i>BALSO - 8BSs</i>	0.474	8015.4	6.1	78.87	100.18
<i>BALSO - 8BSs (w/o BSindex 5)</i>	0.423	7888.8	0	70.38	98.6
<i>TWEAK - full topology 9BSs</i>	0.843	7638.72	0	100	100
<i>TWEAK - 8BSs</i>	0.581	7664.52	2.91	68.92	100.34
<i>TWEAK - 8BSs (w/o BSindex 5)</i>	0.576	7806	0	68.33	102.19

Σχήμα 4.2.1.13 Επίλυση σεναρίου 4α

Για το σενάριο (*BALSO*) 4α δοκιμάστηκε η τοπολογία 8 σταθμών [1 2 3 4 5 6 7 9] σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η τοπολογία αυτή παρουσίασε υψηλό ποσοστό αποτυχημένων επαναλήψεων σε σχέση με την αρχική λύση, οπότε δοκιμάστηκε μια μη-προτεινόμενη τοπολογία εξαιρώντας το σταθμό με το μικρότερο ποσοστό ενεργοποίησης (*BSindex* 5). Η δεύτερη τοπολογία έλυσε το σενάριο με επιτυχία, βελτιώνοντας το χρόνο εκτέλεσης κατά 30% περίπου, ενώ η ενεργειακή κατανάλωση μειώθηκε κατά 1.4% σε σχέση με την αρχική λύση.

Για το σενάριο (*BALSO*) 4α δοκιμάστηκε η τοπολογία 8 σταθμών [1 3 4 5 6 7 8 9] σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η προτεινόμενη τοπολογία έλυσε το σενάριο αποδοτικά ως προς τη κατανάλωση ενέργειας, όμως παρουσίασε υψηλό ποσοστό αποτυχημένων επαναλήψεων σε σχέση με την αρχική λύση, οπότε δοκιμάστηκε μια μη-προτεινόμενη τοπολογία εξαιρώντας το σταθμό με το μικρότερο ποσοστό ενεργοποίησης (*BSindex* 5). Η δεύτερη τοπολογία έλυσε το σενάριο με επιτυχία, βελτιώνοντας το χρόνο εκτέλεσης κατά 31.67%, ενώ η ενεργειακή αποδοτικότητα έφτασε στο 97.9% της αρχικής λύσης.

Σενάριο 4β (9BS 50UEs 750kbps)

750 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 9BSs</i>	0.626	9670.44	4.77	100	100
<i>BALSO - 8BSs</i>	0.489	9617.16	40.30	78.12	99.45
<i>BALSO - 8BSs (w/o BSindex 5)</i>	0.455	9546	21.26	72.68	98.71
<i>TWEAK - full topology 9BSs</i>	0.738	9611.4	3.85	100	100
<i>TWEAK - 8BSs</i>	0.588	9443.16	40.3	79.68	98.25
<i>TWEAK - 8BSs (w/o BSindex 5)</i>	0.579	9560.28	16.32	78.46	99.47

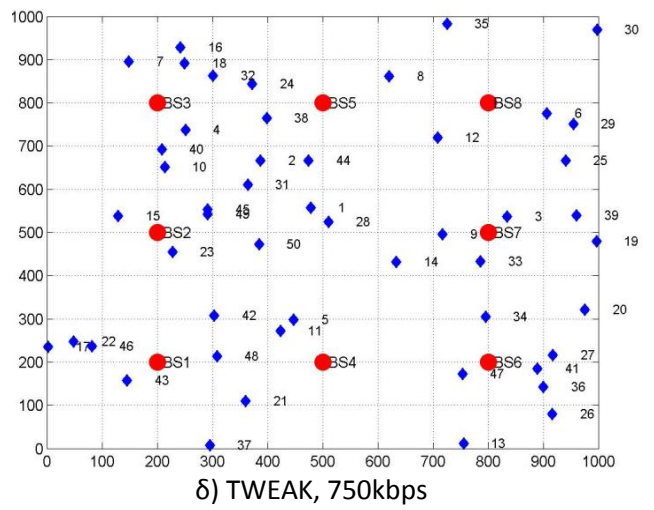
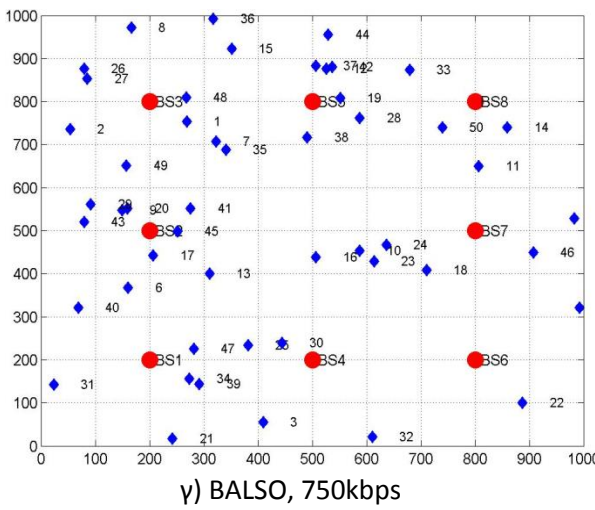
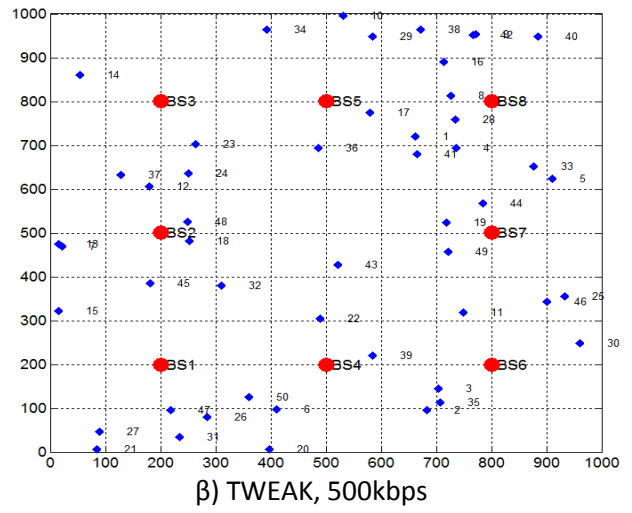
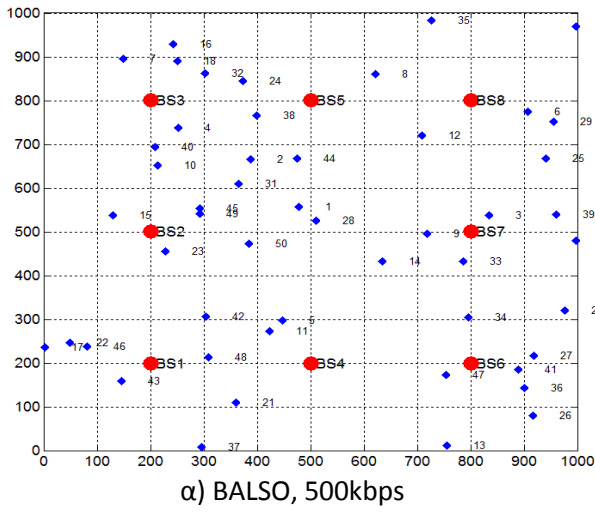
Σχήμα 4.2.1.14 Επίλυση σεναρίου 4β

Για το σενάριο (*BALSO*) 4β δοκιμάστηκε η τοπολογία 8 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η τοπολογία αυτή βελτίωσε την αποδοτικότητα του συστήματος, παρουσίασε όμως πολύ υψηλό ποσοστό αποτυχημένων επαναλήψεων σε σχέση με την αρχική λύση και απορρίφθηκε. Δοκιμάστηκε μια μη-προτεινόμενη τοπολογία εξαιρώντας το σταθμό με το μικρότερο ποσοστό ενεργοποίησης (*BSindex 5*). Η δεύτερη τοπολογία έλυσε το σενάριο με καλύτερο ποσοστό αποτυχιών, βελτιώνοντας το χρόνο εκτέλεσης κατά 27.3% και την ενεργειακή κατανάλωση κατά 1.29%.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 4β δοκιμάστηκε η τοπολογία 8 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η προτεινόμενη τοπολογία έλυσε το σενάριο αποδοτικά, όμως παρουσίασε πολύ υψηλό ποσοστό αποτυχημένων επαναλήψεων σε σχέση με την αρχική λύση, οπότε απορρίφθηκε και δοκιμάστηκε μια μη-προτεινόμενη τοπολογία εξαιρώντας το σταθμό με το μικρότερο ποσοστό ενεργοποίησης (*BSindex 5*). Η δεύτερη τοπολογία έλυσε το σενάριο με καλύτερο ποσοστό αποτυχιών, βελτιώνοντας το χρόνο εκτέλεσης κατά 21.5% και την ενεργειακή κατανάλωση κατά 0.53%.

Σενάριο 4γ (9BS 50UEs 1000kbps)

Οι μετρήσεις του σεναρίου 4γ παραλείφθηκαν και για τους δυο αλγόριθμους, καθώς οποιαδήποτε παρέμβαση στην είσοδο του προσομοιωτή οδηγεί το σύστημα σε πολύ υψηλά ποσοστά αποτυχιών (της τάξης του 70%).



Σχήμα 4.2.15 Προτεινόμενες τοπολογίες για το σενάριο 4

4.2.2 Προσδιορισμός ισοδύναμων τοπολογιών σε συστήματα 4x4

Σενάριο 5α (16BS, 5UEs, 500kbps)

500 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 16BSs</i>	0.42	1994.4	0	100	100
<i>BALSO - 5BSs</i>	0.155	2080.68	0	36.9	104.33
<i>BALSO - 4BSs (w/o BSindex 14)</i>	0.147	2008.8	0	35	100.72
<i>TWEAK - full topology 16BSs</i>	1.689	1927.8	0	100	100
<i>TWEAK - 4BSs</i>	0.179	2082.84	0	10.6	108.4

Σχήμα 4.2.2.1 Επίλυση σεναρίου 5α

Για το σενάριο (*BALSO*) 5α δοκιμάστηκε η τοπολογία 5 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η τοπολογία αυτή βελτίωσε την απόκριση του συστήματος κατά 63.1%, με ενεργειακή επιβάρυνση της τάξης του 4%. Δοκιμάστηκε μια μη-προτεινόμενη τοπολογία εξαιρώντας το μη-γωνιακό σταθμό (*BSindex 14*). Η δεύτερη τοπολογία έλυσε το σενάριο με καλύτερη αποδοτικότητα, 65% στη ταχύτητα απόκρισης και μόλις 0.72% ενεργειακή επιβάρυνση σε σχέση με τη πλήρη τοπολογία.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 5α δοκιμάστηκε μια τοπολογία 4 γωνιακών σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η προτεινόμενη τοπολογία έλυσε το σενάριο σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα σε σχέση με τη πλήρη τοπολογία (10.6% του χρόνου), λόγω της αρχιτεκτονικής του *TWEAK* ο οποίος απαιτεί τη ταξινόμηση των διαθέσιμων σταθμών βάσης πριν τη λύση του σεναρίου. Η ενεργειακή κατανάλωση της ισοδύναμης τοπολογίας ξεπέρασε κατά 8.4% την αρχική λύση.

Σενάριο 5β (16BS, 5UEs, 750kbps)

750 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 16BSs</i>	0.45	2195.64	0	100	100
<i>BALSO - 4BSs</i>	0.151	2304.6	0	33.56	104.96
<i>TWEAK - full topology 16BSs</i>	1.682	2137.08	0	100	100
<i>TWEAK - 4BSs</i>	0.18	2317.92	0	10.7	108.46

Σχήμα 4.2.2.2 Επίλυση σεναρίου 5β

Για το σενάριο (*BALSO*) 5β δοκιμάστηκε μια τοπολογία 4 γωνιακών σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η τοπολογία αυτή βελτίωσε την απόκριση του συστήματος κατά 66.44%, με ενεργειακή επιβάρυνση της τάξης του 5%. Η μεγάλη διαφορά στη ταχύτητα εξεύρεσης λύσης οφείλεται στο χαμηλό φορτίο του σεναρίου σε συνδυασμό με την αρχιτεκτονική του *BALSO*, ο οποίος εξαντλεί τους πόρους του κάθε σταθμού πριν ενεργοποιήσει τον επόμενο.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 5β δοκιμάστηκε μια τοπολογία 4 γωνιακών σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η προτεινόμενη τοπολογία έλυσε το σενάριο σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα σε σχέση με τη πλήρη τοπολογία (10.7% του χρόνου), λόγω της αρχιτεκτονικής του *TWEAK* ο οποίος απαιτεί τη ταξινόμηση των διαθέσιμων σταθμών βάσης πριν τη λύση του σεναρίου. Η ενεργειακή κατανάλωση της ισοδύναμης τοπολογίας ξεπέρασε κατά 8.46% την αρχική λύση.

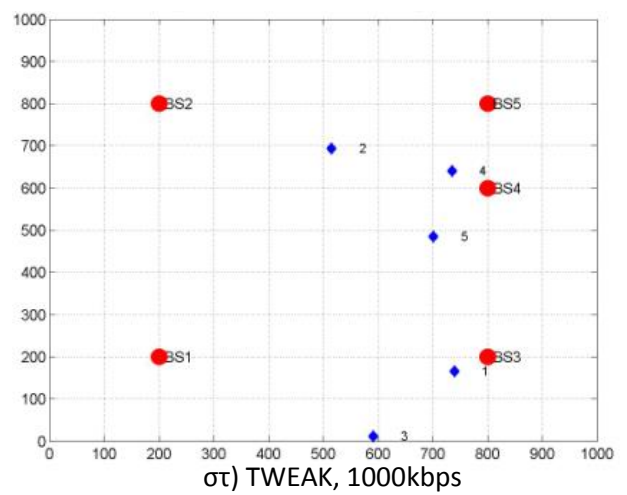
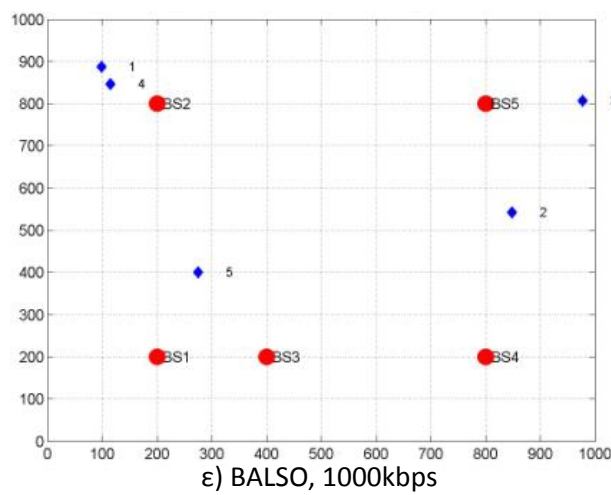
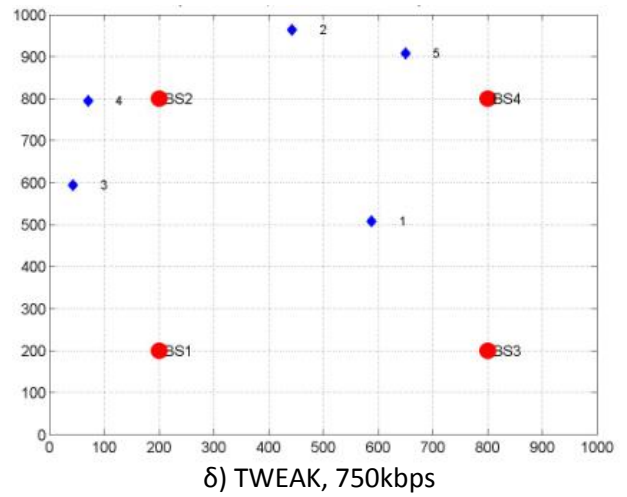
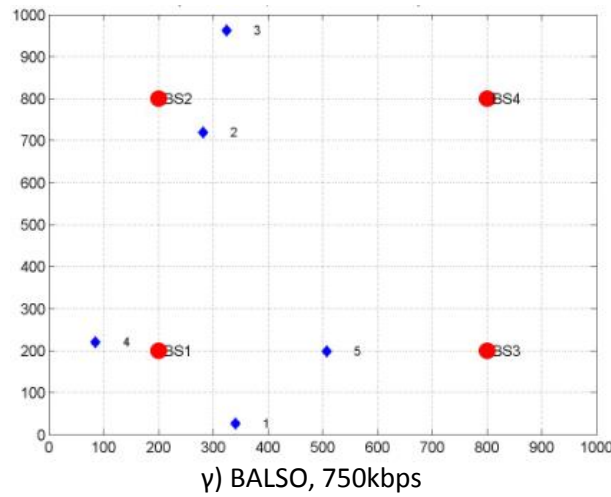
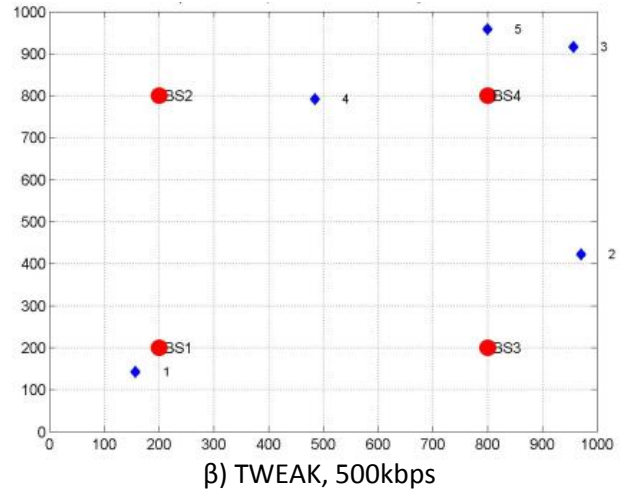
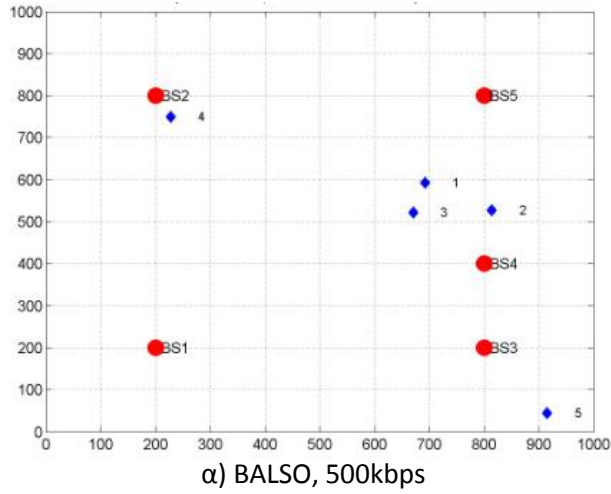
Σενάριο 5γ (16BS, 5UEs, 1000kbps)

1000 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 16BSs</i>	0.469	2352.84	0	100	100
<i>BALSO - 5BSs</i>	0.158	2470.8	0	33.69	105.01
<i>TWEAK - full topology 16BSs</i>	1.674	2295.84	0	100	100
<i>TWEAK - 5BSs</i>	0.193	2544	0	11.53	110.81

Σχήμα 4.2.2.3 Επίλυση σεναρίου 5γ

Για το σενάριο (*BALSO*) 5γ δοκιμάστηκε μια τοπολογία 5 σταθμών σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η τοπολογία αυτή βελτίωσε την απόκριση του συστήματος κατά 66.31%, με ενεργειακή επιβάρυνση της τάξης του 5%. Καθώς το φορτίο συνεχίζει να είναι αρκετά μικρό και συνεπώς να εξυπηρετείται εύκολα από το σύστημα, διατηρείται και η απόκριση στο χρόνο εκτέλεσης του αλγόριθμου.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 5γ δοκιμάστηκε μια τοπολογία 4 σταθμών σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η προτεινόμενη τοπολογία έλυσε το σενάριο σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα σε σχέση με τη πλήρη τοπολογία (11.53% του χρόνου), ενώ η ενεργειακή κατανάλωση της ισοδύναμης τοπολογίας ξεπέρασε κατά 10.81% την αρχική λύση. Όπως και στις προηγούμενες υποπεριπτώσεις του σεναρίου 5, το φορτίο δεν ζόρισε το σύστημα ως προς τη ταχύτητα εύρεσης λύσης, καθώς το κέρδος χρόνου από τη χρήση λιγότερων σταθμών εξάλειψε την όποια καθυστέρηση εισήγαγε η υψηλότερη απαίτηση bit rate.



Σχήμα 4.2.2.4 Προτεινόμενες τοπολογίες για το σενάριο 5

Σενάριο 6α (16BS, 15UEs, 500kbps)

500 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 16BSs</i>	0.691	3995.88	0	100	100
<i>BALSO - 6BSs</i>	0.205	4055.04	1.96	29.67	101.48
<i>BALSO - 7BSs</i>	0.202	4070.64	1	29.23	101.86
<i>BALSO - 6BSs</i>	0.207	3825.72	0	29.96	95.74
<i>TWEAK - full topology 16BSs</i>	1.925	3584.64	0	100	100
<i>TWEAK - 4BSs</i>	0.191	3747.5	0	9.92	104.54

Σχήμα 4.2.2.5 Επίλυση σεναρίου 6α

Για το σενάριο (*BALSO*) 6α δοκιμάστηκε μια τοπολογία 6 σταθμών σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η τοπολογία αυτή δε κατάφερε να λύσει το σενάριο με επιτυχία, καθώς παρουσίασε αποτυχημένες επαναλήψεις σε αντίθεση με την αρχική λύση. Προστέθηκε ο επόμενος σταθμός βάσης από τη λίστα, όμως και πάλι το σενάριο δε λύθηκε με επιτυχία. Στο σημείο αυτό, δοκιμάστηκε μια μη-προτεινόμενη τοπολογία, στην οποία συμπεριλήφθησαν όλοι οι γωνιακοί σταθμοί βάσης και οι δυο επικρατέστεροι μη-γωνιακοί σύμφωνα με το ποσοστό χρησιμοποίησής τους [1 4 5 8 13 16]. Η μη-προτεινόμενη τοπολογία έλυσε με επιτυχία το σενάριο, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του συστήματος τόσο σε ταχύτητα (απαιτήθηκε περίπου το 30% του αρχικού χρόνου), όσο και στη κατανάλωση ενέργειας όπου παρατηρήθηκε βελτίωση της τάξης του 5%.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 6α δοκιμάστηκε η τοπολογία 4 σταθμών σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η προτεινόμενη τοπολογία έλυσε το σενάριο σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα σε σχέση με τη πλήρη τοπολογία (9.92% του χρόνου), λόγω της αρχιτεκτονικής του *TWEAK* ο οποίος απαιτεί τη ταξινόμηση των διαθέσιμων σταθμών βάσης πριν τη λύση του σεναρίου. Η ενεργειακή κατανάλωση της ισοδύναμης τοπολογίας ξεπέρασε κατά 4.54% την αρχική λύση.

Σενάριο 6β (16BS, 15UEs, 750kbps)

750 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 16BSs</i>	0.819	4497.36	0	100	100
<i>BALSO - 7BSs</i>	0.206	4545.84	0.5	25.15	101.08
<i>BALSO - 8BSs</i>	0.233	4394.4	0	28.45	97.71
<i>TWEAK - full topology 16BSs</i>	1.908	4176.48	0	100	100
<i>TWEAK - 6BSs</i>	0.25	4257.6	1.96	13.1	101.94
<i>TWEAK - 7BSs</i>	0.292	4265.64	0	15.3	101.13

Σχήμα 4.2.2.6 Επίλυση σεναρίου 6β

Για το σενάριο (*BALSO*) 6β δοκιμάστηκαν δυο τοπολογίες σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Με τη χρήση της πρώτης, το σύστημα έλυσε το σενάριο με 0.5% αποτυχημένες επαναλήψεις, οπότε προστέθηκε ο επόμενος σταθμός βάσης. Η τοπολογία των 8 σταθμών βελτίωσε την απόκριση του συστήματος κατά 72.55%, και τη κατανάλωση ενέργειας κατά 2.29%.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 6β δοκιμάστηκε μια τοπολογία 6 σταθμών, η οποία οδήγησε το σύστημα σε αποτυχημένες επαναλήψεις. Ακολούθησε μια τοπολογία 7 σταθμών σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η προτεινόμενη τοπολογία έλυσε το σενάριο σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα σε σχέση με τη πλήρη τοπολογία (15.3% του χρόνου), καθώς χρησιμοποιήθηκαν λιγότεροι σταθμοί, ενώ η ενεργειακή κατανάλωση της ισοδύναμης τοπολογίας ξεπέρασε την αρχική λύση κατά 1.13%.

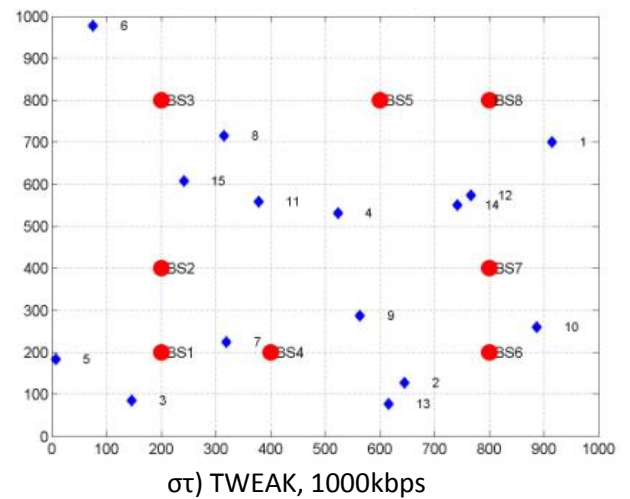
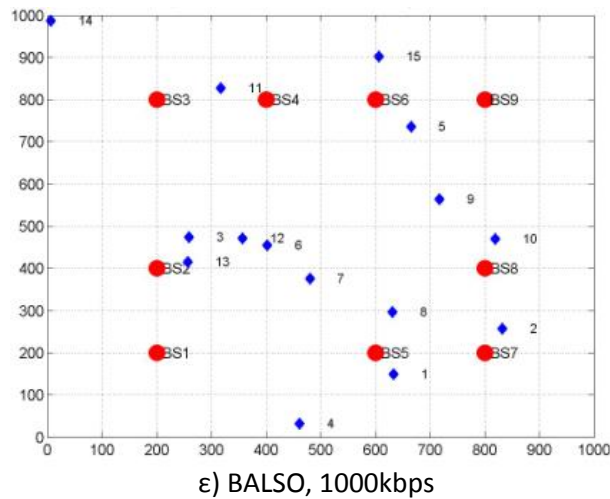
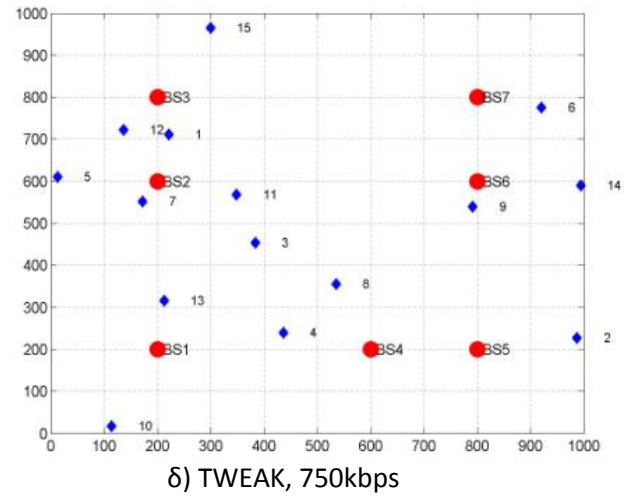
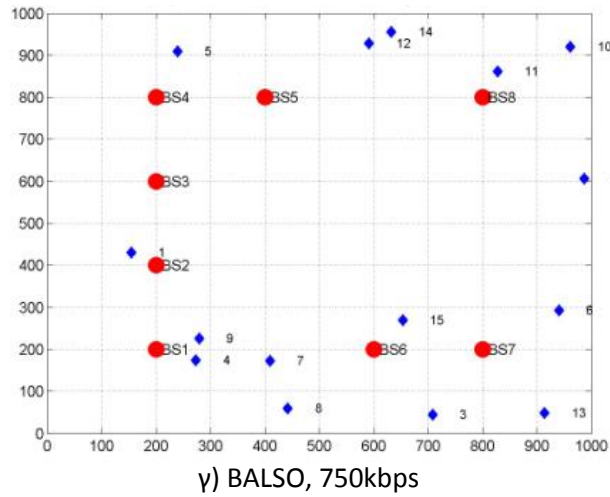
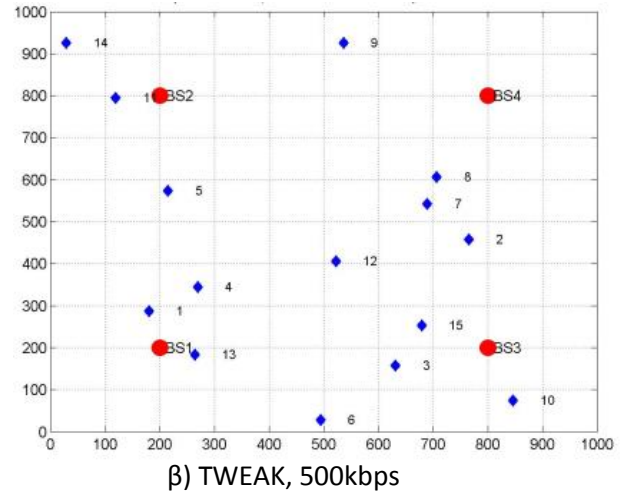
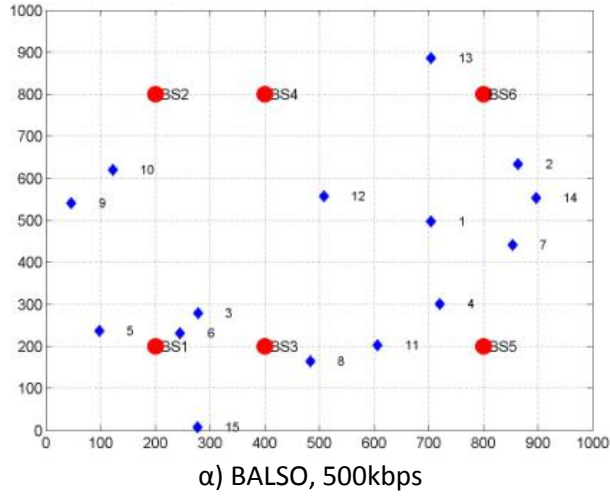
Σενάριο 6γ (16BS, 15UEs, 1000kbps)

1000 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 16BSs</i>	0.868	5063.88	0	100	100
<i>BALSO - 8BSs</i>	0.243	5192.04	1	28	102.53
<i>BALSO - 9BSs</i>	0.285	5134.2	0	32.83	113.89
<i>TWEAK - full topology 16BSs</i>	1.896	4572.12	0	100	100
<i>TWEAK - 7BSs</i>	0.266	5149	1.48	14.03	112.62
<i>TWEAK - 8BSs</i>	0.317	4859.8	0	16.72	106.29

Σχήμα 4.2.2.7 Επίλυση σεναρίου 6γ

Για το σενάριο (*BALSO*) 6γ δοκιμάστηκε μια τοπολογία 7 σταθμών σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Το σύστημα έλυσε το σενάριο με 0.5% αποτυχημένες επαναλήψεις, οπότε προστέθηκε ο επόμενος σταθμός βάσης. Η τοπολογία 8 σταθμών βελτίωσε την απόκριση του συστήματος κατά 72.55%, και τη κατανάλωση ενέργειας κατά 2.29%.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 6γ δοκιμάστηκε μια τοπολογία 7 σταθμών σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η αρχική τοπολογία δε κατάφερε να λύσει το σενάριο, παρουσιάζοντας αποτυχίες 1.48%. Προστέθηκε ο επόμενος σταθμός της λίστας και το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, βελτιώνοντας την απόκριση του συστήματος κατά 83.3%, απόκλιση που οφείλεται στο μειωμένο αριθμό σταθμών που μετείχαν στην ανάθεση. Η ενεργειακή κατανάλωση επιβαρύνθηκε κατά 6.29% σε σχέση με την αρχική λύση.



Σχήμα 4.2.2.8 Προτεινόμενες τοπολογίες για το σενάριο 6

Σενάριο 7α (16BS, 30UEs, 500kbps)

500 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 16BSs</i>	1.355	6094.92	0	100	100
<i>BALSO - 7BSs</i>	0.254	5819.76	0.5	18.75	95.49
<i>BALSO - 8BSs</i>	0.292	5714.04	0	21.55	93.75
<i>TWEAK - full topology 16BSs</i>	4	5371.44	0	100	100
<i>TWEAK - 6BSs</i>	0.275	5514.48	2.44	6.88	102.66
<i>TWEAK - 7BSs</i>	0.335	5510.28	0	8.38	102.58

Σχήμα 4.2.2.9 Επίλυση σεναρίου 7α

Για το σενάριο (*BALSO*) 7α δοκιμάστηκε η τοπολογία 7 σταθμών σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Το σύστημα έλυσε το σενάριο με 0.5% αποτυχημένες επαναλήψεις, οπότε προστέθηκε ο επόμενος σταθμός βάσης. Η δεύτερη τοπολογία έλυσε με επιτυχία το σενάριο, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του συστήματος κατά 78.45% στην απόκριση και κατά 6.25%.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 7α δοκιμάστηκε μια τοπολογία 6 σταθμών σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η αρχική τοπολογία δε κατάφερε να λύσει το σενάριο, παρουσιάζοντας αποτυχίες 2.44%. Προστέθηκε ο επόμενος σταθμός βάσης της λίστας και το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, βελτιώνοντας την απόκριση του συστήματος κατά 93.12%, απόκλιση που οφείλεται στο μειωμένο αριθμό σταθμών που μετείχαν στην ανάθεση. Η ενεργειακή κατανάλωση επιβαρύνθηκε κατά 2.58% σε σχέση με την αρχική λύση.

Σενάριο 7β (16BS, 30UEs, 750kbps)

750 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 16BSs</i>	1.517	7167.84	0	100	100
<i>BALSO - 9BSs</i>	0.411	7229.04	4.3	27.09	100.85
<i>BALSO - 10BSs</i>	0.506	7063.44	0	33.36	98.54
<i>TWEAK - full topology 16BSs</i>	3.195	6711.84	0	100	100
<i>TWEAK - 8BSs</i>	0.435	6847.32	2.44	13.62	102.02
<i>TWEAK - 9BSs</i>	0.58	6747.96	0	18.15	100.54

Σχήμα 4.2.2.10 Επίλυση σεναρίου 7β

Για το σενάριο (*BALSO*) 7β δοκιμάστηκε μια τοπολογία 9 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Λόγω του αυξημένου ποσοστού αποτυχιών προστέθηκε ο επόμενος σταθμός της λίστας και το σενάριο λύθηκε, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του συστήματος κατά 66.45% στην απόκριση και κατά 1.5% στη κατανάλωση ενέργειας.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 7β δοκιμάστηκε η τοπολογία 8 σταθμών σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η αρχική τοπολογία δε κατάφερε να λύσει το σενάριο, παρουσιάζοντας αποτυχίες 2.44%. Προστέθηκε ο επόμενος σταθμός βάσης της λίστας και το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, βελτιώνοντας την απόκριση του συστήματος κατά 81.85%, απόκριση που οφείλεται στο μειωμένο αριθμό σταθμών που μετείχαν στην ανάθεση. Η ενεργειακή κατανάλωση επιβαρύνθηκε μόλις κατά 0.54% σε σχέση με την αρχική λύση.

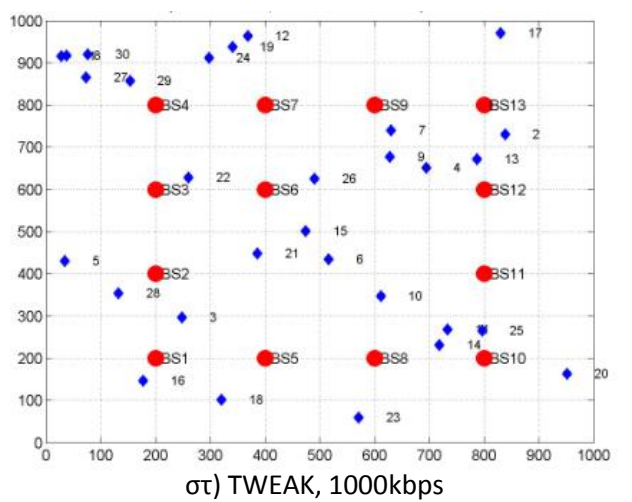
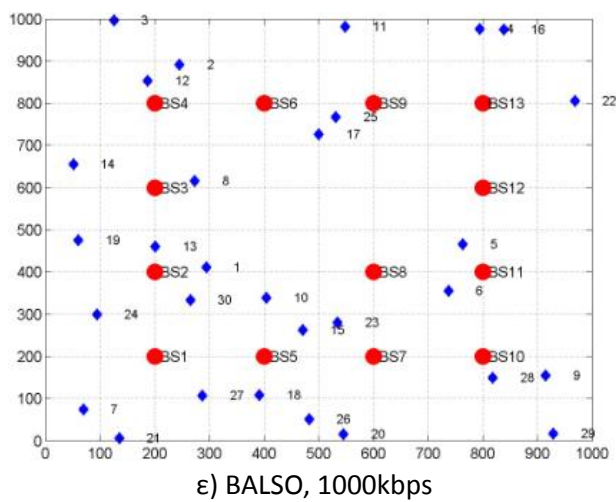
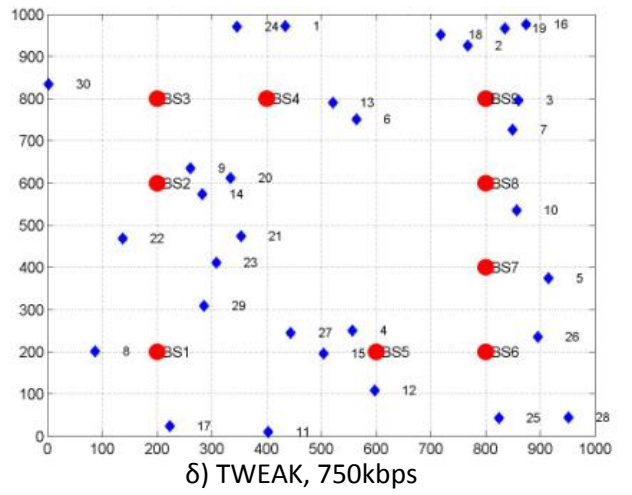
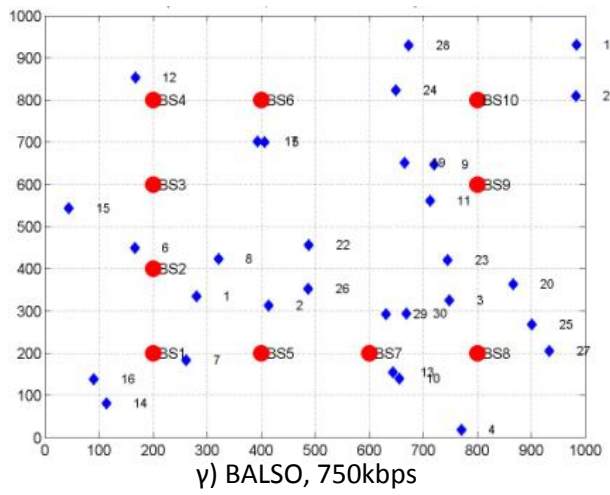
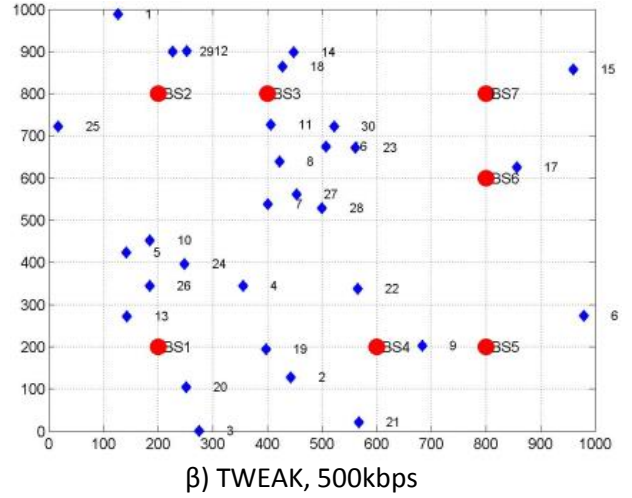
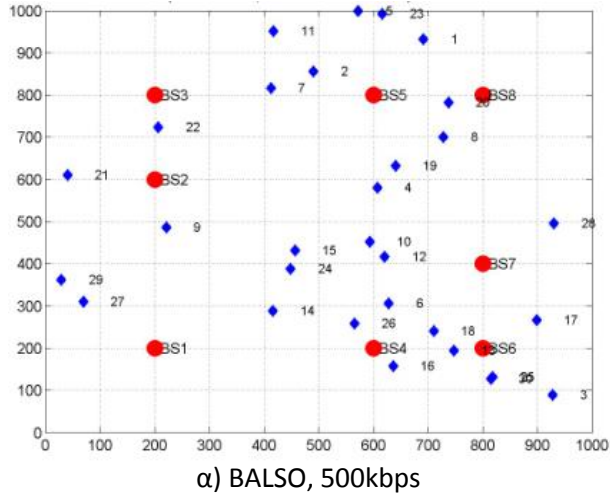
Σενάριο 7γ (16BS, 30UEs, 1000kbps)

1000 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 16BSs</i>	1.773	8600.76	0	100	100
<i>BALSO - 12BSs</i>	0.729	8736.6	2.91	41.11	101.58
<i>BALSO - 13BSs</i>	0.911	8488.56	0	51.38	98.7
<i>TWEAK - full topology 16BSs</i>	3.091	7653.12	0	100	100
<i>TWEAK - 12BSs</i>	0.902	8750.64	12.3	29.18	114.34
<i>TWEAK - 13BSs</i>	1.467	8022.84	0	47.46	104.83

Σχήμα 4.2.2.11 Επίλυση σεναρίου 7γ

Για το σενάριο (*BALSO*) 7γ δοκιμάστηκε μια τοπολογία 12 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η πρώτη τοπολογία εμφάνισε αποτυχημένες επαναλήψεις και απορρίφθηκε, ενώ με τη προσθήκη του επόμενου σταθμού το σενάριο λύθηκε, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του συστήματος τόσο στην απόκριση (μείωση χρόνου κατά 48.62%), αλλά και στη κατανάλωση ενέργειας (μείωση κατά 1.3%). Η βελτίωση της απόκρισης οφείλεται στη χρήση λιγότερων σταθμών βάσης, ενώ η βελτίωση στην απόκριση οφείλεται στην αφαίρεση των μη-αποδοτικών σταθμών από το σύστημα σε συνδυασμό με την αρχιτεκτονική του *BALSO*.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 7γ δοκιμάστηκε μια τοπολογία 12 σταθμών σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η αρχική τοπολογία δε κατάφερε να λύσει το σενάριο, παρουσιάζοντας αποτυχίες 12.3%. Προστέθηκε ο επόμενος σταθμός βάσης της λίστας και το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, βελτιώνοντας την απόκριση του συστήματος κατά 52.54%, απόκλιση που οφείλεται στο μειωμένο αριθμό σταθμών που μετείχαν στην ανάθεση. Η ενεργειακή κατανάλωση επιβαρύνθηκε κατά 4.83% σε σχέση με την αρχική λύση.



Σχήμα 4.2.2.12 Προτεινόμενες τοπολογίες για το σενάριο 7

Σενάριο 8α (16BS, 50UEs, 500kbps)

500 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 16BSs</i>	2.447	8354.64	0	100	100
<i>BALSO - 10BSs</i>	0.722	8473.32	1.48	29.51	101.42
<i>BALSO - 11BSs</i>	0.854	8281.56	0	34.90	99.13
<i>TWEAK - full topology 16BSs</i>	5.824	8036.64	0	100	100
<i>TWEAK - 11BSs</i>	1.469	8015.64	0.5	25.22	99.74
<i>TWEAK - 12BSs</i>	1.766	7970.64	0	30.32	99.18

Σχήμα 4.2.2.13 Επίλυση σεναρίου 8α

Για το σενάριο (*BALSO*) 8α δοκιμάστηκαν δυο τοπολογίες, χρησιμοποιώντας 10 και 11 σταθμούς αντίστοιχα, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η πρώτη τοπολογία εμφάνισε αποτυχημένες επαναλήψεις 1.48% και απορρίφθηκε, ενώ η δεύτερη έλυσε το σενάριο, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του συστήματος τόσο στην απόκριση (μείωση χρόνου κατά 74.78%), ενώ η κατανάλωση ενέργειας προσέγγισε την αρχική λύση κατά 99.74%.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 8α δοκιμάστηκαν δυο τοπολογίες, χρησιμοποιώντας 11 και 12 σταθμούς αντίστοιχα, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η πρώτη τοπολογία δε κατάφερε να λύσει το σενάριο, παρουσιάζοντας αποτυχίες 0.5%. Προστέθηκε ο επόμενος σταθμός βάσης της λίστας και το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, βελτιώνοντας την απόκριση του συστήματος κατά 74.78%, απόκλιση που οφείλεται στο μειωμένο αριθμό σταθμών που μετείχαν στην ανάθεση. Η ενεργειακή κατανάλωση βελτιώθηκε κατά 0.82% σε σχέση με την αρχική λύση.

Σενάριο 8β (16BS, 50UEs, 750kbps)

750 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 16BSs</i>	3.114	10530.2	0	100	100
<i>BALSO - 14BSs</i>	1.916	10545.5	1.48	61.53	100.15
<i>BALSO - 15BSs</i>	2.256	10606	0	72.45	100.72
<i>TWEAK - full topology 16BSs</i>	5.367	9902.76	0	100	100
<i>TWEAK - 12BSs</i>	1.457	10916	5.66	27.15	110.23
<i>TWEAK - 13BSs</i>	2.4	10098.6	0	44.72	101.98

Σχήμα 4.2.2.14 Επίλυση σεναρίου 8β

Για το σενάριο (*BALSO*) 8β δοκιμάστηκαν δυο τοπολογίες, η πρώτη με 14 και η δεύτερη με 15 σταθμούς, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η πρώτη τοπολογία εμφάνισε αποτυχημένες επαναλήψεις 1.48% και απορρίφθηκε, ενώ η δεύτερη έλυσε το σενάριο, βελτιώνοντας την απόκριση του συστήματος κατά 38.47%, με μια πολύ μικρή επιβάρυνση στη κατανάλωση ενέργειας, της τάξης του 0.7%.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 8β δοκιμάστηκαν δυο τοπολογίες, χρησιμοποιώντας 12 και 13 σταθμούς αντίστοιχα, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η πρώτη τοπολογία δε κατάφερε να λύσει το σενάριο, παρουσιάζοντας αποτυχίες 5.66%. Προστέθηκε ο επόμενος σταθμός βάσης της λίστας και το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, βελτιώνοντας την απόκριση του συστήματος κατά 55.28%, απόκλιση που οφείλεται στο μειωμένο αριθμό σταθμών που μετείχαν στην ανάθεση. Η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος επιβαρύνθηκε κατά 1.98% σε σχέση με την αρχική λύση.

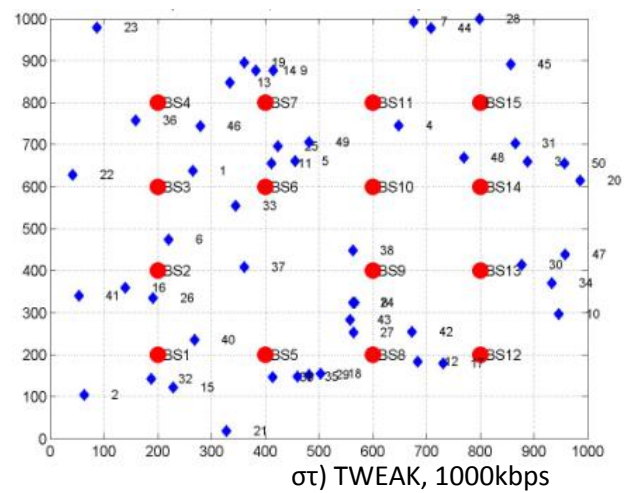
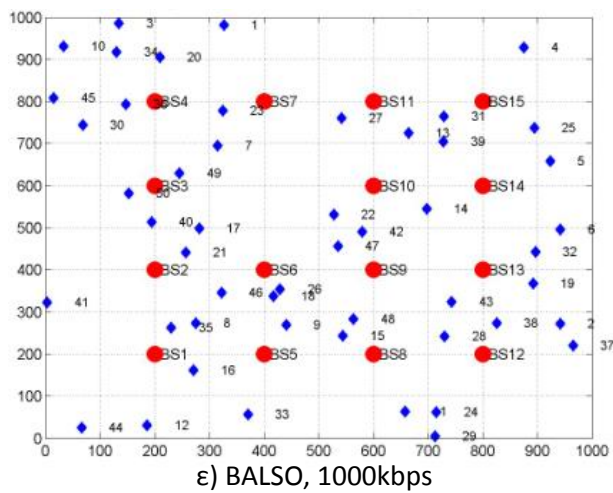
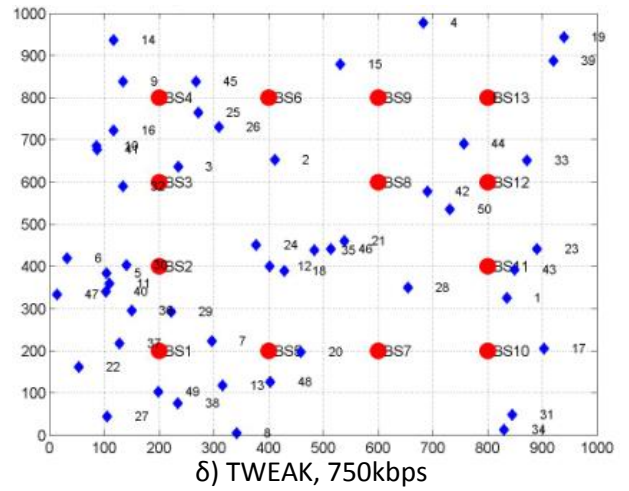
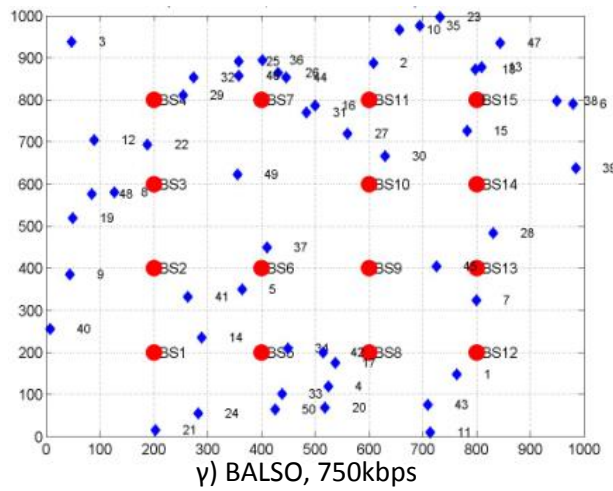
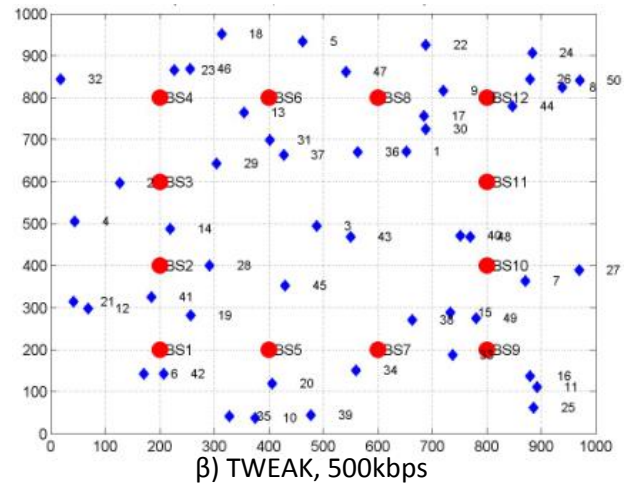
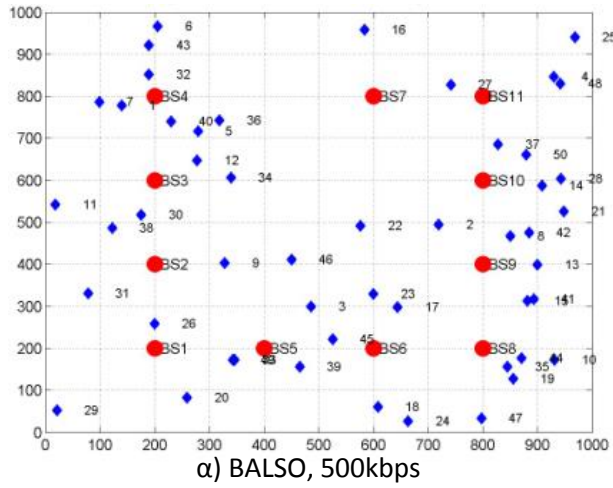
Σενάριο 8γ (16BS, 50UEs, 1000kbps)

1000 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 16BSs</i>	3.5	12756.4	5.21	100	100
<i>BALSO - 15BSs</i>	2.4	12800.9	10.31	68.57	100.35
<i>TWEAK - full topology 16BSs</i>	4.322	12171.84	3.38	100	100
<i>TWEAK - 15BSs</i>	3.34	12393.8	5.66	77.28	101.82

Σχήμα 4.2.2.15 Επίλυση σεναρίου 8γ

Για το σενάριο (*BALSO*) 8γ δοκιμάστηκε μια τοπολογία 15 σταθμών βάσης, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Δεδομένης της αδυναμίας του συστήματος πλήρους τοπολογίας να εξυπηρετήσει το σύστημα, το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο, με τη πιθανότητα αποτυχίας να αυξάνεται κατά 5.1%, ενώ η ενεργειακή αποδοτικότητα έφτασε πολύ κοντά στην αρχική λύση. Παρατηρείται ότι με την αφαίρεση ενός μόλις σταθμού από τους διαθέσιμους πόρους του συστήματος σημειώνεται μια διαφορά στην απόκρισή του κατά 32% περίπου.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 8γ δοκιμάστηκε μια τοπολογία 15 σταθμών βάσης, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Στη περίπτωση του *TWEAK* επίσης το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο, καθώς το σύστημα πλήρους τοπολογίας εμφάνισε αποτυχημένες επαναλήψεις της τάξης του 3.4%. Με την αφαίρεση του σταθμού (*BSIndex 6*) το ποσοστό αυτό άγγιξε το 5.66%. Η απόκριση του συστήματος έπεσε κατά 33% περίπου, με την ενεργειακή κατανάλωση να αυξάνεται ελάχιστα.



Σχήμα 4.2.2.16 Προτεινόμενες τοπολογίες για το σενάριο 8

4.2.3 Προσδιορισμός ισοδύναμων τοπολογιών σε ετερογενές σύστημα 9BSs+16bss

Σενάριο 9α (25BS, 5UEs, 500kbps)

500 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 25BSs</i>	0.733	1945.33	0	100	100
<i>BALSO - 3BSs+2bss</i>	0.162	2112	0	22.1	108.57
<i>TWEAK - full topology 25BSs</i>	4.54	1223.53	0	100	100
<i>TWEAK - 4BSs</i>	0.187	2062.9	0	4.12	168.6
<i>TWEAK - 4BSs+7bss</i>	0.493	1831.81	0	10.86	149.72

Σχήμα 4.2.3.1 Επίλυση σεναρίου 9α

Για το σενάριο (*BALSO*) 9α δοκιμάστηκε μια ετερογενής τοπολογία 5 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η τοπολογία αυτή έλυσε το σενάριο με επιτυχία και βελτίωσε την απόκριση του συστήματος κατά 77.9%, με ενεργειακή επιβάρυνση της τάξης του 9%.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 9α δοκιμάστηκε μια ομογενής τοπολογία 4 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η προτεινόμενη τοπολογία έλυσε το σενάριο σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα σε σχέση με τη πλήρη τοπολογία (4.12% του χρόνου), λόγω της αρχιτεκτονικής του *TWEAK* ο οποίος απαιτεί τη ταξινόμηση των διαθέσιμων σταθμών βάσης πριν τη λύση του σεναρίου. Η ενεργειακή κατανάλωση της ισοδύναμης τοπολογίας ξεπέρασε κατά 68.6% την αρχική λύση. Επειδή η εξεταζόμενη τοπολογία υστέρησε σε μεγάλο βαθμό της αρχικής λύσης στο τομέα της κατανάλωσης, δοκιμάστηκε και μια ετερογενής τοπολογία 11 σταθμών, προσθέτοντας και τους επτά *micro* σταθμούς βάσης με ποσοστό ενεργοποίησης μεγαλύτερο του μέσου όρου (11.5% μέσος όρος των *micro* στο δεδομένο σενάριο). Η κατανάλωση ενέργειας μειώθηκε σε σχέση με την υπάρχουσα λύση, παρέμεινε όμως σε υψηλό επίπεδο σε σχέση με τη πλήρη τοπολογία, διαφορά που δείχνει την αποδοτικότητα με την οποία λειτουργεί ο *HTWEAK*.

Σενάριο 9β (25BS, 5UEs, 750kbps)

750 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 25BSs</i>	0.785	1974.97	0	100	100
<i>BALSO - 5BSs</i>	0.162	2222.16	0	20.64	112.52
<i>TWEAK - full topology 25BSs</i>	4.347	1414.96	0	100	100
<i>TWEAK - 4BSs</i>	0.184	2326.6	0	4.23	164.43
<i>TWEAK - 4BSs+11bss</i>	0.863	1899.25	0	19.85	134.22

Σχήμα 4.2.3.2 Επίλυση σεναρίου 9β

Για το σενάριο (*BALSO*) 9β δοκιμάστηκε μια ομογενής τοπολογία 5 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η τοπολογία αυτή βελτίωσε την απόκριση του συστήματος κατά 79.4%, με ενεργειακή επιβάρυνση της τάξης του 12%. Εδώ γίνεται αντιληπτή η εξοικονόμηση ενέργειας που προσδίδουν στο σύστημα οι micro σταθμοί, οι οποίοι μπορούν να εξυπηρετούν φορτίο με πολύ χαμηλότερη ενεργειακή απαίτηση σε σχέση με τους macro σταθμούς.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 9β δοκιμάστηκε μια ομογενής τοπολογία 4 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η προτεινόμενη τοπολογία έλυσε το σενάριο σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα σε σχέση με τη πλήρη τοπολογία (4.23% του χρόνου), λόγω της αρχιτεκτονικής του *TWEAK* ο οποίος απαιτεί τη ταξινόμηση των διαθέσιμων σταθμών βάσης πριν τη λύση του σεναρίου. Η ενεργειακή κατανάλωση της ισοδύναμης τοπολογίας ξεπέρασε κατά 65% περίπου την αρχική λύση. Επειδή η υπάρχουσα λύση ξεπέρασε κατά πολύ την αρχική, δοκιμάστηκε μια ετερογενής τοπολογία 14 σταθμών, εισάγοντας στο σύστημα και τους micro σταθμούς βάσης με ποσοστό ενεργοποίησης άνω του 10.75% (μέσος όρος ενεργοποίησης micro σταθμών στο δεδομένο σενάριο). Η απόκριση του συστήματος έφτασε περίπου στο 20% της αρχικής, ενώ η κατανάλωση ενέργειας ξεπέρασε κατά 34% την αρχική λύση.

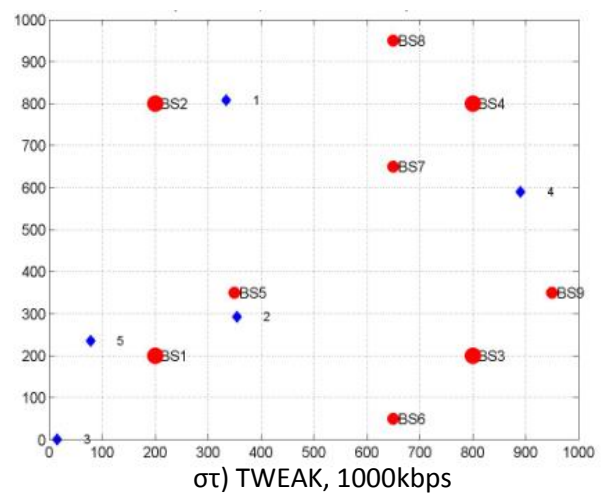
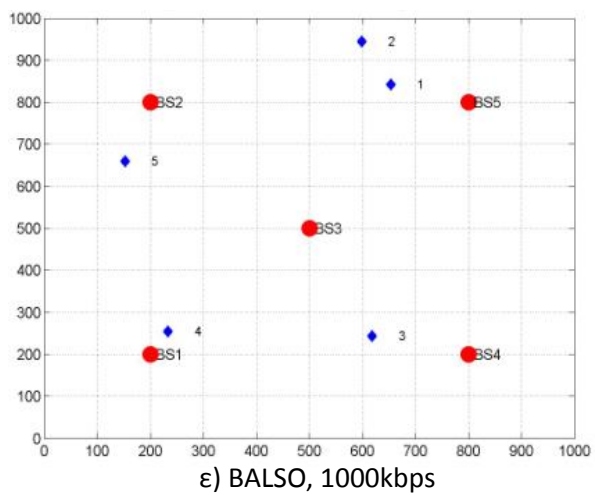
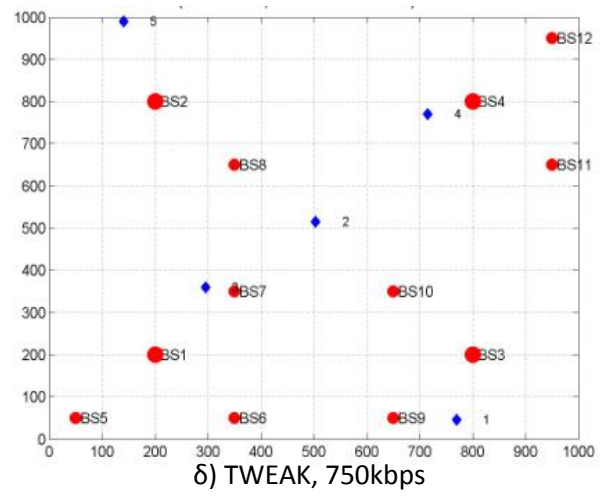
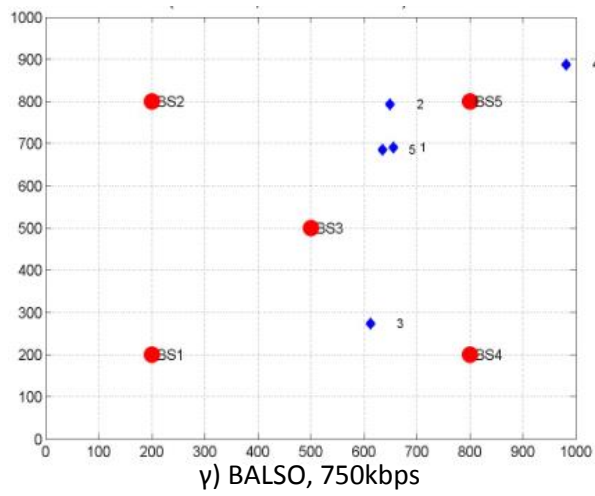
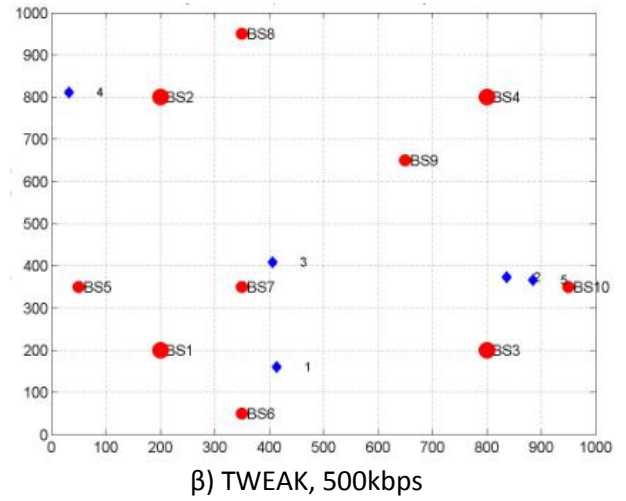
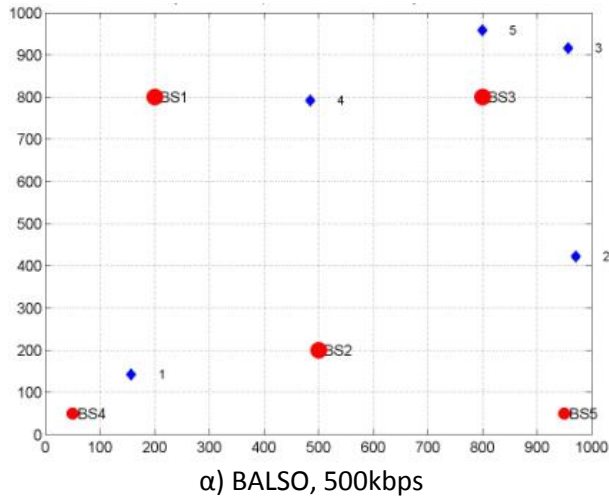
Σενάριο 9γ (25BS, 5UEs, 1000kbps)

1000 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 25BSs</i>	0.815	2247.21	0	100	100
<i>BALSO - 5BSs</i>	0.164	2452.8	0	20.12	109.15
<i>TWEAK - full topology 25BSs</i>	4.334	1638.7	0	100	100
<i>TWEAK - 4BSs+3bss</i>	0.235	2460.8	0	5.42	150.17
<i>TWEAK - 4BSs+11bss</i>	1.01	2038.9	0	23.3	124.4

Σχήμα 4.2.3.3 Επίλυση σεναρίου 9γ

Για το σενάριο (*BALSO*) 9γ δοκιμάστηκε μια ομογενής τοπολογία 5 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η τοπολογία αυτή βελτίωσε την απόκριση του συστήματος κατά 79.78%, με ενεργειακή επιβάρυνση της τάξης του 10%. Καθώς το φορτίο σύμφωνα με το σενάριο 9 είναι αρκετά μικρό και συνεπώς εξυπηρετείται εύκολα από το σύστημα, διατηρείται και η απόκλιση στο χρόνο εκτέλεσης του αλγόριθμου. Η μη-χρησιμοποίηση *micro* σταθμών ανεβάζει αρκετά τη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με την αρχική λύση, όπως και στη προηγούμενη περίπτωση του σεναρίου 9.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 9γ δοκιμάστηκε μια ετερογενής τοπολογία 7 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η προτεινόμενη τοπολογία έλυσε το σενάριο σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα σε σχέση με τη πλήρη τοπολογία (5.42% του χρόνου), ενώ η ενεργειακή κατανάλωση της ισοδύναμης τοπολογίας ξεπέρασε κατά 50% περίπου την αρχική λύση. Όπως και στις προηγούμενες υποπεριπτώσεις του σεναρίου 9, το φορτίο δεν ζόρισε το σύστημα ως προς τη ταχύτητα εύρεσης λύσης, καθώς το κέρδος χρόνου από τη χρήση λιγότερων σταθμών εξάλειψε την όποια καθυστέρηση εισήγαγε η υψηλότερη απαίτηση *bit rate* των χρηστών. Καθώς η κατανάλωση ενέργειας της υπάρχουσας λύσης είναι πολύ υψηλότερη από την αρχική λύση, δοκιμάστηκε και μια ετερογενής τοπολογία 15 σταθμών, συμπεριλαμβάνοντας τους *micro* σταθμούς με ποσοστό ενεργοποίησης ίσο ή μεγαλύτερο του 8% (μέσος όρος ενεργοποίησης για το δεδομένο σενάριο). Η απόκριση του συστήματος έφτασε στο 23.3% της αρχικής λύσης, ενώ η κατανάλωση ενέργειας την ξεπέρασε κατά 24.4%.



Σχήμα 4.2.3.4 Προτεινόμενες τοπολογίες για το σενάριο 9

Σενάριο 10α (25BS, 15UEs, 500kbps)

500 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 25BSs</i>	1.795	3844.76	0	100	100
<i>BALSO - 6BSs+3bss</i>	0.278	4092.14	1.96	15.49	106.43
<i>BALSO - 7BSs+3bss</i>	0.287	3857.19	0	15.82	100.32
<i>TWEAK - full topology 25BSs</i>	8.027	2974.21	0	100	100
<i>TWEAK - 4BSs</i>	0.175	3800.8	0	2.18	127.8
<i>TWEAK - 4BSs+9bss</i>	0.91	3454.29	0	11.33	116.14
<i>TWEAK - 4BSs+12bss</i>	1.6	3314.09	0	0.20	111.43

Σχήμα 4.2.3.5 Επίλυση σεναρίου 10α

Για το σενάριο (*BALSO*) 10α δοκιμάστηκαν δυο ετερογενείς τοπολογίες 9 και 10 σταθμών αντίστοιχα, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η πρώτη τοπολογία δε κατάφερε να λύσει το σενάριο με επιτυχία, καθώς παρουσίασε αποτυχημένες επαναλήψεις της τάξης του 2% σε σχέση με την αρχική λύση. Με τη χρήση της δεύτερης τοπολογίας το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, βελτιώνοντας την απόκριση του συστήματος κατά 84% περίπου, ενώ εισήχθη στο σύστημα μια ελάχιστη επιβάρυνση στη κατανάλωση ενέργειας, μόλις 0.32% σε σχέση με την αρχική λύση.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 10α δοκιμάστηκε μια ομογενής τοπολογία 4 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η προτεινόμενη τοπολογία έλυσε το σενάριο σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα σε σχέση με τη πλήρη τοπολογία (2.2% του χρόνου), λόγω της αρχιτεκτονικής του *TWEAK* ο οποίος απαιτεί τη ταξινόμηση των διαθέσιμων σταθμών βάσης πριν τη λύση του σεναρίου. Η ενεργειακή κατανάλωση της ισοδύναμης τοπολογίας ξεπέρασε κατά 27.8% την αρχική λύση. Καθώς η κατανάλωση ενέργειας της υπάρχουσας λύσης είναι πολύ υψηλότερη από την αρχική λύση, δοκιμάστηκε και μια ετερογενής τοπολογία 13 σταθμών, συμπεριλαμβάνοντας και τους *micro* σταθμούς με ποσοστό ενεργοποίησης άνω του 15% (ποσοστό ίσο με 75% πάνω από το μέσο όρο για το δεδομένο σενάριο). Η απόκριση του συστήματος αυξήθηκε κατά 9.1% σε σχέση με την υπάρχουσα λύση, ενώ η κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε κατά 11.66%. Τέλος, δοκιμάστηκε μια τοπολογία 16 σταθμών σε μια προσπάθεια σύγκλισης της κατανάλωσης ενέργειας με την αρχική λύση, η οποία τη μείωσε κατά 5% περίπου ακόμα, φτάνοντας σε επιβάρυνση 11.43%, ενώ η απόκριση του συστήματος έφτασε στο 20% της αρχικής λύσης.

Σενάριο 10β (25BS, 15UEs, 750kbps)

750 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 25BSs</i>	2.159	4435.97	0	100	100
<i>BALSO - 6BSs</i>	0.214	4496.64	0	9.9	101.37
<i>BALSO - 6BSs+2bss</i>	0.232	4451.8	0	10.75	100.36
<i>TWEAK - full topology 25BSs</i>	7.741	3590.41	0	100	100
<i>TWEAK - 4BSs+14bss</i>	2.05	3854.7	1.48	26.48	107.36
<i>TWEAK - 5BSs+14bss</i>	2.554	3749.1	0	32.99	104.42
<i>TWEAK - 5BSs+12bss</i>	2.153	3908.5	0	27.81	108.86
<i>TWEAK - 5BSs+10bss</i>	1.31	4007.4	1	16.93	111.61

Σχήμα 4.2.3.6 Επίλυση σεναρίου 10β

Για το σενάριο (*BALSO*) 10β δοκιμάστηκε μια ομογενής τοπολογία 6 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Το σύστημα έλυσε το σενάριο με επιτυχία, σημειώνοντας μεγάλη βελτίωση στην απόκριση του συστήματος με ποσοστό πάνω από 90%, ενώ η κατανάλωση ενέργειας ξεπέρασε κατά 1.37% την αρχική λύση. Σημειώνεται ότι καθώς οι προτεινόμενοι σταθμοί για το σενάριο 10β ήταν όμοιοι με αυτούς του σεναρίου 2β, χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις του τελευταίου για τη παραπάνω σύγκριση. Επίσης δοκιμάστηκε μια ετερογενής τοπολογία 8 σταθμών, συμπεριλαμβάνοντας τους δυο micro σταθμούς με το μεγαλύτερο ποσοστό ενεργοποίησης, όπου παρατηρήθηκε σύγκλιση της ενεργειακής κατανάλωσης με την αρχική λύση (0.36% διαφορά), ενώ η απόκριση του συστήματος επιβαρύνθηκε κατά 0.85% σε σχέση με την ομογενή τοπολογία.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 10β δοκιμάστηκαν τέσσερις ετερογενείς τοπολογίες, σύμφωνα με τη λίστα προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η πρώτη προσέγγιση με τους 4 macro σταθμούς παρουσίασε αποτυχημένες επαναλήψεις και απορρίφθηκε. Προστέθηκε ο επόμενος macro σταθμός της λίστας και το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, παρουσιάζοντας βελτίωση στην απόκριση του συστήματος κατά 77%, ενώ η κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε κατά 4.42% σε σχέση με την αρχική λύση. Ακολούθησαν δυο τοπολογίες εξαιρώντας σταδιακά τους micro σταθμούς που βρίσκονται εντός των ορίων του 5^{ου} macro, όμως στη πρώτη περίπτωση το αποτέλεσμα δε βελτιώθηκε σημαντικά, ενώ στη δεύτερη παρουσιάστηκαν αποτυχημένες επαναλήψεις.

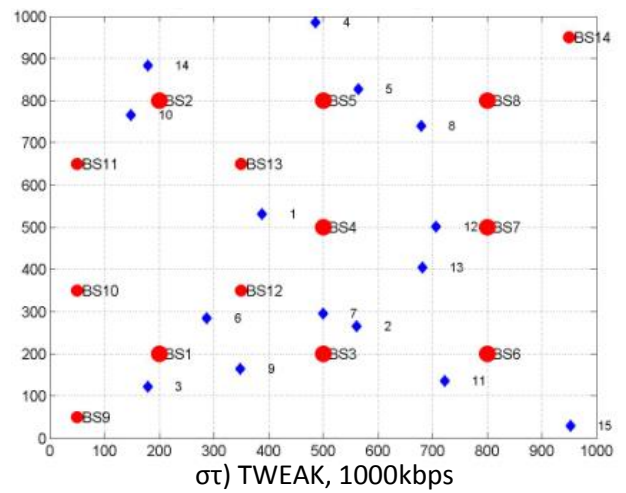
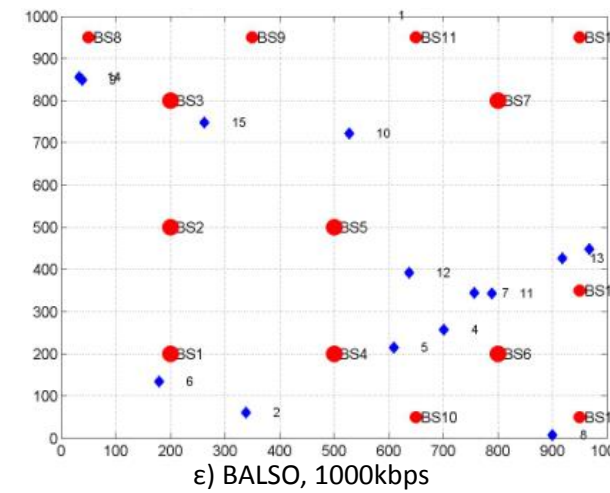
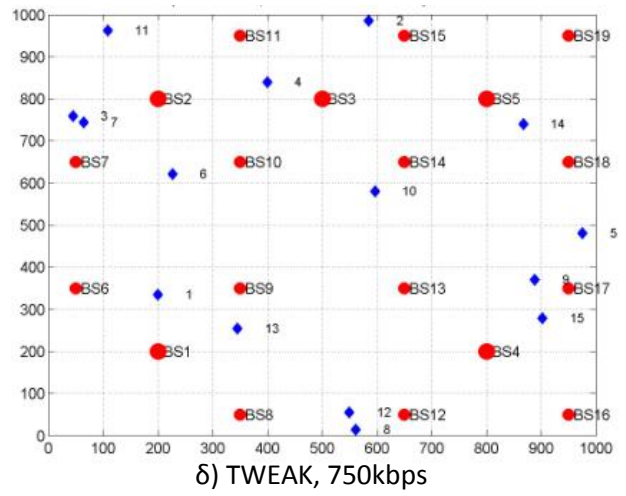
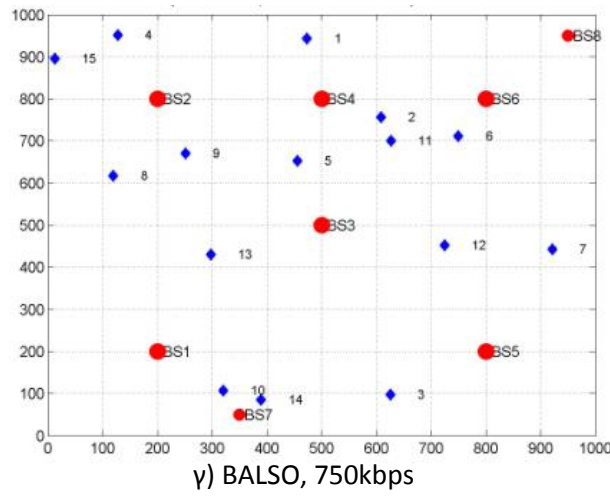
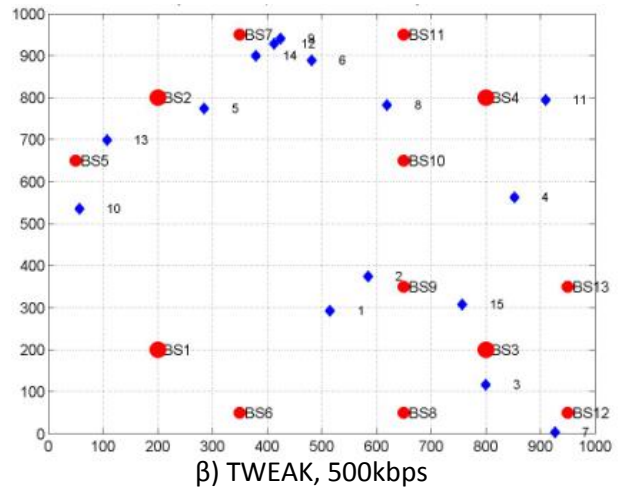
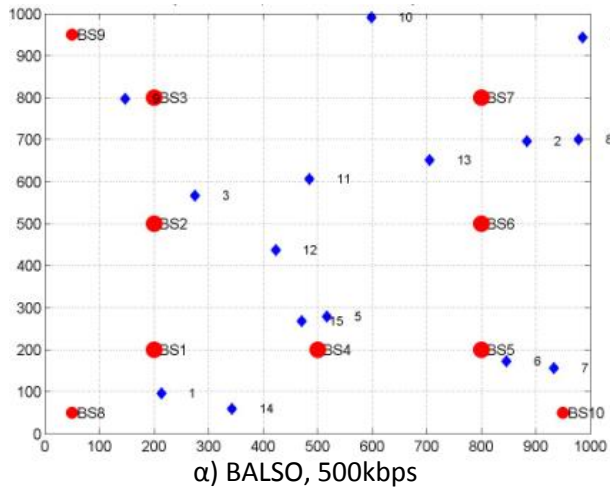
Σενάριο 10γ (25BS, 15UEs, 1000kbps)

1000 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 25BSs</i>	2.242	4862.95	0	100	100
<i>BALSO - 7BSs</i>	0.212	5078.16	0	9.46	104.43
<i>BALSO - 7BSs+7bss</i>	0.57	5042.61	0	25.44	103.69
<i>TWEAK - full topology 25BSs</i>	7.649	4077.37	0	100	100
<i>TWEAK - 7BSs+1bs</i>	0.354	4905.9	2.44	4.63	120.32
<i>TWEAK - 8BSs+1bs</i>	0.41	4842.4	1.48	5.36	118.76
<i>TWEAK - 9BSs+1bs</i>	0.497	4802.9	0	6.5	117.8
<i>TWEAK - 8BSs+6bss</i>	1.21	4690.7	0	15.82	115.04

Σχήμα 4.2.3.7 Επίλυση σεναρίου 10γ

Για το σενάριο (*BALSO*) 10γ δοκιμάστηκε μια ομογενής τοπολογία 7 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Όπως και στη περίπτωση 10β, έτσι και εδώ οι προτεινόμενοι σταθμοί εμφάνιζαν σύγκλιση με το αντίστοιχο σενάριο του ομογενούς συστήματος 9 macro σταθμών και χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματά του. Ακολούθησε η δοκιμή μιας ετερογενούς τοπολογίας, συμπεριλαμβάνοντας και τους micro σταθμούς, που εμφάνισαν ενεργοποίηση πάνω από 1.5% (μέσος όρος ενεργοποίησης των micro σταθμών στο δεδομένο σενάριο). Για την ετερογενή τοπολογία παρατηρήθηκε μείωση της απόκρισης κατά 74.5% σε σχέση με την αρχική λύση, ενώ η κατανάλωση ενέργειας του συστήματος βελτιώθηκε οριακά σε σχέση με την ομογενή τοπολογία.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 10γ δοκιμάστηκαν τέσσερις ετερογενείς τοπολογίες σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η πρώτη δυο δε κατάφεραν να λύσουν το σενάριο, παρουσιάζοντας αποτυχίες 2.44% και 1.48% αντίστοιχα.. Προστέθηκε ο επόμενος macro σταθμός της λίστας και το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, βελτιώνοντας την απόκριση του συστήματος κατά 93.5%, απόκλιση που οφείλεται στο μειωμένο αριθμό σταθμών που μετείχαν στην ανάθεση. Η ενεργειακή κατανάλωση επιβαρύνθηκε κατά 17.8% σε σχέση με την αρχική λύση. Τέλος δοκιμάστηκε και μια τοπολογία 14 σταθμών βάσης, αντικαθιστώντας τον macro σταθμό με το μικρότερο ποσοστό ενεργοποίησης από τους 4 micro σταθμούς που τον περιβάλλουν, συν δυο γωνιακούς micro σταθμούς με μεγάλο ποσοστό ενεργοποίησης. Η απόκριση του συστήματος ανέβηκε κατά 9.3% σε σχέση με την υπάρχουσα λύση, ενώ η κατανάλωση βελτιώθηκε κατά 2.76%.



Σχήμα 4.2.3.8 Προτεινόμενες τοπολογίες για το σενάριο 10

Σενάριο 11α (25BS, 30UEs, 500kbps)

500 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 25BSs</i>	4.462	5935.01	0	100	100
<i>BALSO - 9BSs</i>	0.436	5961.6	0	9.71	100.45
<i>BALSO - 9BSs+3bss</i>	0.657	5926.65	0	14.72	99.86
<i>TWEAK - full topology 25BSs</i>	13.878	4888.14	0	100	100
<i>TWEAK - 4BSs+16bss</i>	6.325	4834.6	2.91	45.58	98.9
<i>TWEAK - 5BSs+16bss</i>	7.857	4864.6	0	56.61	99.52
<i>TWEAK - 5BSs+14bss</i>	5.345	5012.7	0	38.51	102.55

Σχήμα 4.2.3.9 Επίλυση σεναρίου 11α

Για το σενάριο (*BALSO*) 11α δοκιμάστηκε μια ομογενής τοπολογία 9 σταθμών σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Καθώς οι *micro* σταθμοί βρίσκονταν χαμηλά στη προτεινόμενη λίστα, το σενάριο 11^α εκτιμήθηκε σαν μια ομογενής τοπολογία 9 *macro* σταθμών για το σενάριο 3α. Η απόκριση του συστήματος μειώθηκε περίπου κατά 90% σε σχέση με την αρχική λύση, ενώ η κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε μόλις κατά 0.45%. Επίσης δοκιμάστηκε μια ετερογενής τοπολογία, συμπεριλαμβάνοντας και τους *micro* σταθμούς, που εμφάνισαν ενεργοποίηση πάνω από 1% (μέσος όρος ενεργοποίησης των *micro* σταθμών στο δεδομένο σενάριο). Για την ετερογενή τοπολογία παρατηρήθηκε μείωση της απόκρισης κατά 85.3% σε σχέση με την αρχική λύση, ενώ η κατανάλωση ενέργειας του συστήματος βελτιώθηκε οριακά.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 7α δοκιμάστηκαν τρεις ετερογενείς τοπολογίες, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η αρχική τοπολογία δε κατάφερε να λύσει το σενάριο, παρουσιάζοντας αποτυχίες 2.91%. Προστέθηκε ο επόμενος σταθμός βάσης της λίστας και το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, βελτιώνοντας την απόκριση του συστήματος κατά 43.4%, απόκλιση που οφείλεται στο μειωμένο αριθμό σταθμών που μετείχαν στην ανάθεση. Η ενεργειακή κατανάλωση βελτιώθηκε οριακά σε σχέση με την αρχική λύση. Η τρίτη τοπολογία εξαίρεσε του δυο *micro* σταθμούς που βρίσκονταν εντός των ορίων του 5^{ου} *macro* σταθμού με το χαμηλότερο ποσοστό ενεργοποίησης, όμως η κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε περίπου κατά 3% και η λύση αυτή απορρίφθηκε.

Σενάριο 11β (25BS, 30UEs, 750kbps)

750 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/TO (%)	W/WO (%)
<i>BALSO - full topology 25BSs</i>	4.721	6877.52	0	100	100
<i>BALSO - 9BSs</i>	0.454	6814.2	0	9.62	99.79
<i>BALSO - 9BSs+6bss</i>	1.027	6876.09	0	21.76	99.98
<i>TWEAK - full topology 25BSs</i>	13.659	5888.29	0	100	100
<i>TWEAK - 7BSs+14bss</i>	6.656	5713.7	1.96	48.73	97.03
<i>TWEAK - 7BSs+15bss</i>	7.104	6168.5	1	52	104.76
<i>TWEAK - 8BSs+14bss</i>	8.341	5994.4	0	61.66	101.8
<i>TWEAK - 8BSs+12bss</i>	6.145	6117.4	0	44.99	103.89

Σχήμα 4.2.3.10 Επίλυση σεναρίου 11β

Για το σενάριο (*BALSO*) 11β δοκιμάστηκε μια ομογενής τοπολογία από 9 σταθμούς, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Ομοίως με το σενάριο 11^α, οι micro σταθμοί βρίσκονταν χαμηλά στη προτεινόμενη λίστα και η εκτίμηση έγινε με τις μετρήσεις του σεναρίου 3β. Η απόκριση του συστήματος μειώθηκε περίπου κατά 90% σε σχέση με την αρχική λύση, ενώ η κατανάλωση ενέργειας έμεινε στο ίδιο επίπεδο με την αρχική λύση (μείωση 0.21%). Επίσης δοκιμάστηκε μια ετερογενής τοπολογία, συμπεριλαμβάνοντας και τους micro σταθμούς, που εμφάνισαν ενεργοποίηση πάνω από 1% (μέσος όρος ενεργοποίησης των micro σταθμών στο δεδομένο σενάριο). Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, η ομογενής τοπολογία απέδωσε καλύτερα, τόσο σε απόκριση, όσο και σε ενεργειακή απαίτηση. Στο σενάριο 11β γίνεται αντιληπτή η αδυναμία του HBALSO να διαχειριστεί αποδοτικά τους micro σταθμούς του συστήματος, καθώς δε σημειώνεται κάποιο όφελος από την διεύρυνση της τοπολογίας.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 11β δοκιμάστηκαν τέσσερις ετερογενείς τοπολογίες, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η πρώτη δυο παρουσίασαν αποτυχίες και απορρίφθηκαν. Με τη προσθήκη του όγδοου macro σταθμού, το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, βελτιώνοντας την απόκριση του συστήματος κατά 38.4% και επιβαρύνοντας τη κατανάλωση κατά 1.8%. Τέλος, δοκιμάστηκε η τελευταία τοπολογία εξαιρώντας τους 2 micro σταθμούς εντός των ορίων του macro σταθμού που προστέθηκε τελευταίος, όμως το κέρδος σε χρόνο (περίπου 16.7%) επισκιάστηκε από την έξτρα επιβάρυνση 2.1% στη κατανάλωση, έτσι προτιμήθηκε η προηγούμενη τοπολογία.

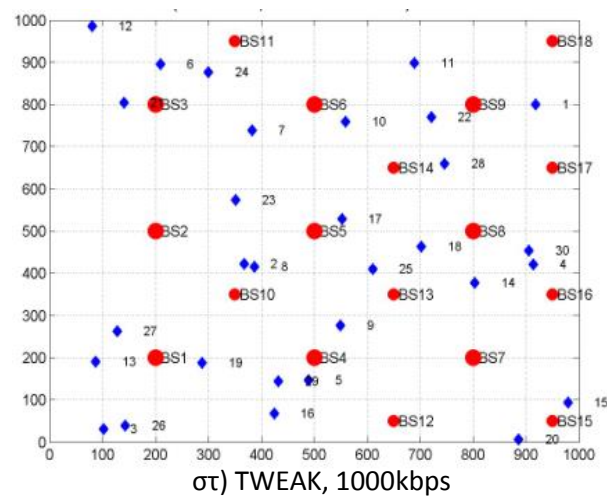
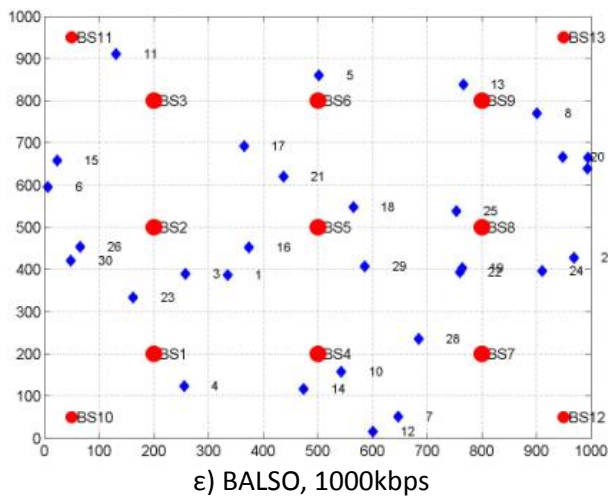
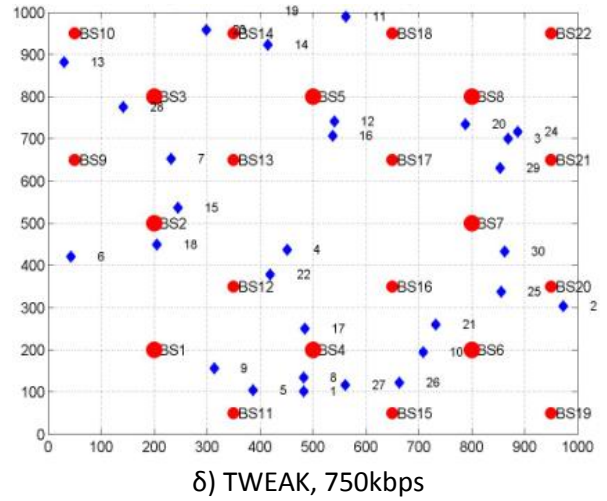
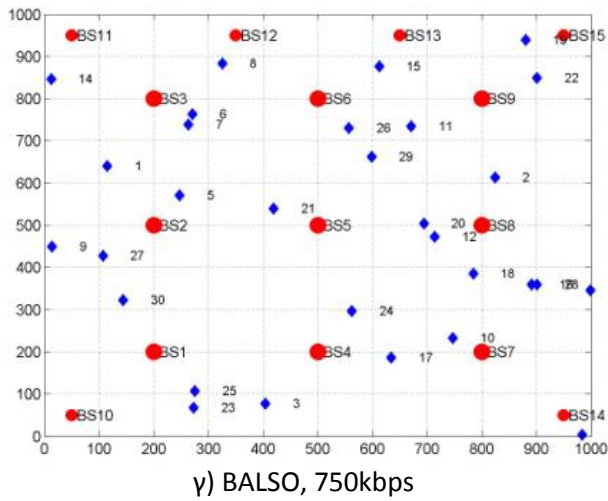
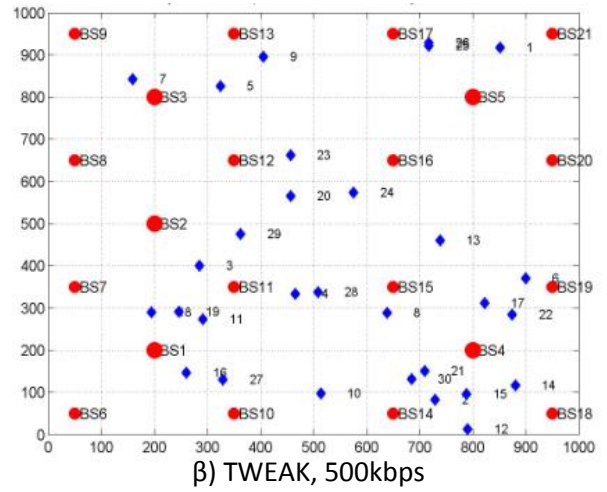
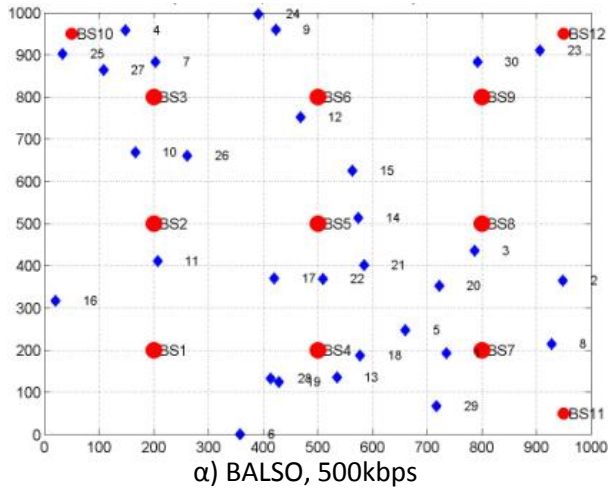
Σενάριο 11γ (25BS, 30UEs, 1000kbps)

1000 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 25BSs</i>	5.375	7877.77	0	100	100
<i>BALSO - 9BSs</i>	0.459	7916.4	0	8.54	100.49
<i>BALSO - 9BSs+4bss</i>	1.03	7900.47	0	19.17	100.29
<i>TWEAK - full topology 25BSs</i>	13.616	6769.9	0	100	100
<i>TWEAK - 9BSs+8bss</i>	3.315	7128.1	1	24.35	105.29
<i>TWEAK - 9BSs+9bss</i>	4.203	7192.8	0	30.87	106.25

Σχήμα 4.2.3.11 Επίλυση σεναρίου 11γ

Για το σενάριο (*BALSO*) 11γ δοκιμάστηκε μια ομογενής τοπολογία 9 σταθμών, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Ομοίως με τις προηγούμενες υποπεριπτώσεις του σεναρίου 11, χρησιμοποιήθηκε η αντίστοιχη μέτρηση της ομογενούς τοπολογίας 9 σταθμών βάσης. Σε σχέση με την αρχική λύση η απόκριση του συστήματος μειώθηκε περισσότερο από 90%, γεγονός που οφείλεται στην μεγάλη διαφορά του αριθμού των σταθμών βάσης σε σχέση με την αρχική λύση, ενώ παρατηρείται μια μικρή αύξηση στη κατανάλωση του συστήματος της τάξης του 0.5%. Ακολούθως, σε μια προσπάθεια να αξιοποιηθεί η ανομοιογενής τοπολογία του συστήματος, προστέθηκαν στην ήδη υπάρχουσα δομή και οι micro σταθμοί, οι οποίοι εμφάνισαν ενεργοποίηση πάνω από 3% (μέσος όρος ενεργοποίησης των micro σταθμών στο δεδομένο σενάριο). Η απόκριση του συστήματος με τη δεύτερη τοπολογία αυξήθηκε σημαντικά σε σχέση με την ομοιογενή, ενώ παρατηρήθηκε μια αμελητέα μείωση στη κατανάλωση ενέργειας. Όπως έχει σημειωθεί παραπάνω, είναι εμφανής η αδυναμία του HBALSO να διαχειριστεί αποδοτικά τους micro σταθμούς βάσης και να συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας για το σύστημα.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 11γ δοκιμάστηκε μια ετερογενής τοπολογία 17 σταθμών σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η αρχική τοπολογία δε κατάφερε να λύσει το σενάριο, παρουσιάζοντας αποτυχίες 1%. Προστέθηκε ο επόμενος σταθμός βάσης της λίστας και το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, βελτιώνοντας την απόκριση του συστήματος κατά 69.2%, απόκλιση που οφείλεται στο μειωμένο αριθμό σταθμών που μετείχαν στην ανάθεση. Η ενεργειακή κατανάλωση επιβαρύνθηκε κατά 6.25% σε σχέση με την αρχική λύση.



Σχήμα 4.2.3.12 Προτεινόμενες τοπολογίες για το σενάριο 11

Σενάριο 12α (25BS, 50UEs, 500kbps)

500 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 25BSs</i>	7.843	7892.1	0	100	100
<i>BALSO - 9BSs</i>	0.601	8000.64	0	7.66	101.38
<i>BALSO - 9BSs+4bss</i>	1.41	7959.65	0	17.98	100.86
<i>TWEAK - full topology 25BSs</i>	22.635	6921.31	0	100	100
<i>TWEAK - 6BSs+16bss</i>	15.59	6962.19	1	68.88	100.59
<i>TWEAK - 7BSs+16bss</i>	18.171	6835.15	0	80.28	98.76

Σχήμα 4.2.3.13 Επίλυση σεναρίου 12α

Για το σενάριο (*BALSO*) 12α δοκιμάστηκαν δυο τοπολογίες, μια ομογενής που αποτελείται από 9 σταθμούς και μια ετερογενής με 14 σταθμούς, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Παρόλο που η ομογενής τοπολογία ήταν ικανή να λύσει το σενάριο 12^α, δοκιμάστηκε μια ανομοιογενής τοπολογία, εισάγοντας στο σύστημα και τους micro σταθμούς βάσης με ποσοστό ενεργοποίησης πάνω από 1% (μέσος όρος ενεργοποίησης των micro σταθμών στο δεδομένο σενάριο). Η κατανάλωση ενέργειας και για τις δυο περιπτώσεις προσέγγισε την αρχική λύση, με την ετερογενή τοπολογία να έχει ένα μικρό προβάδισμα, όμως η απόκριση του συστήματος αυξήθηκε δυσανάλογα με το κέρδος.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 12α δοκιμάστηκαν δυο ετερογενείς τοπολογίες, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η πρώτη τοπολογία δε κατάφερε να λύσει το σενάριο, παρουσιάζοντας αποτυχίες 1%. Προστέθηκε ο επόμενος σταθμός βάσης της λίστας και το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, βελτιώνοντας την απόκριση του συστήματος κατά 19.7%, απόκλιση που οφείλεται στο μειωμένο αριθμό σταθμών που μετείχαν στην ανάθεση. Η ενεργειακή κατανάλωση βελτιώθηκε κατά 1.24% σε σχέση με την αρχική λύση.

Σενάριο 12β (25BS, 50UEs, 750kbps)

750 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 25BSs</i>	9.391	9470.96	0	100	100
<i>BALSO - 9BSs+10bss</i>	4.238	9485.84	1	45.13	100.16
<i>BALSO - 9BSs+12bss</i>	5.259	9484.79	0	56	100.15
<i>TWEAK - full topology 25BSs</i>	22.15	8545.43	0	100	100
<i>TWEAK - 8BSs+16bss</i>	20.049	8499.65	3.38	90.51	99.46
<i>TWEAK - 9BSs+15bss</i>	18.393	8447.89	0.5	83.04	98.86

Σχήμα 4.2.3.14 Επίλυση σεναρίου 12β

Για το σενάριο (*BALSO*) 12β δοκιμάστηκαν δυο ετερογενείς τοπολογίες, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η πρώτη τοπολογία εμφάνισε αποτυχημένες επαναλήψεις 1% και απορρίφθηκε, ενώ η δεύτερη έλυσε το σενάριο, βελτιώνοντας την απόκριση του συστήματος κατά 44%, εισάγοντας αμελητέα ενεργειακή επιβάρυνση με ποσοστό 0.15% πάνω από την αρχική λύση.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 12β δοκιμάστηκαν δυο ετερογενείς τοπολογίες, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Η πρώτη τοπολογία δε κατάφερε να λύσει το σενάριο, παρουσιάζοντας αποτυχίες 3.38%. Προστέθηκε ο επόμενος σταθμός βάσης της λίστας και το σενάριο λύθηκε με επιτυχία, βελτιώνοντας την απόκριση του συστήματος κατά 17%, απόκλιση που οφείλεται στο μειωμένο αριθμό σταθμών που μετείχαν στην ανάθεση. Η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος βελτιώθηκε κατά 1.2% σε σχέση με την αρχική λύση. Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων φαίνεται ότι το σενάριο 12β απαιτεί όλους τους σταθμούς του συστήματος.

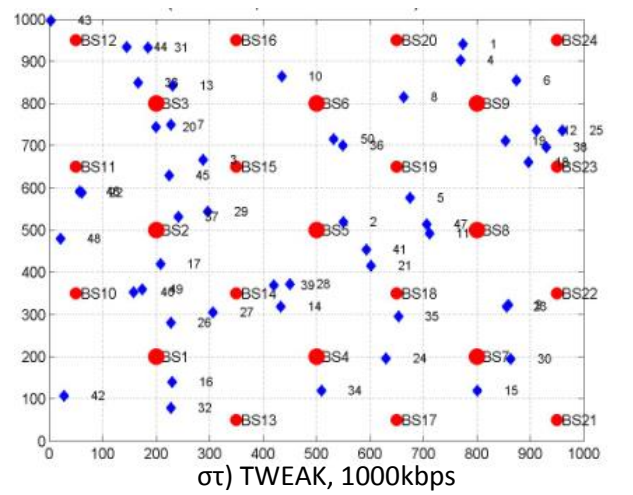
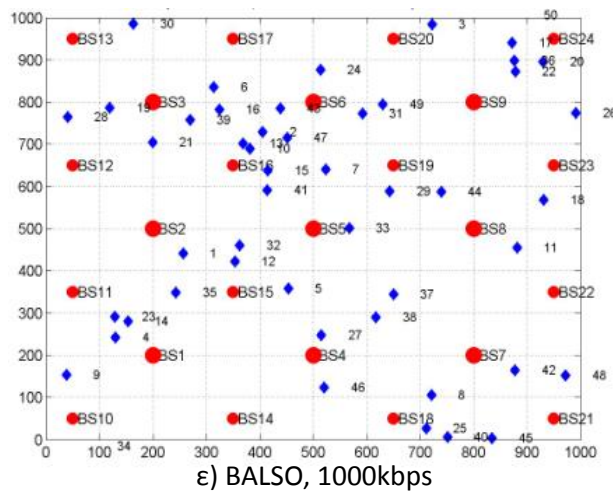
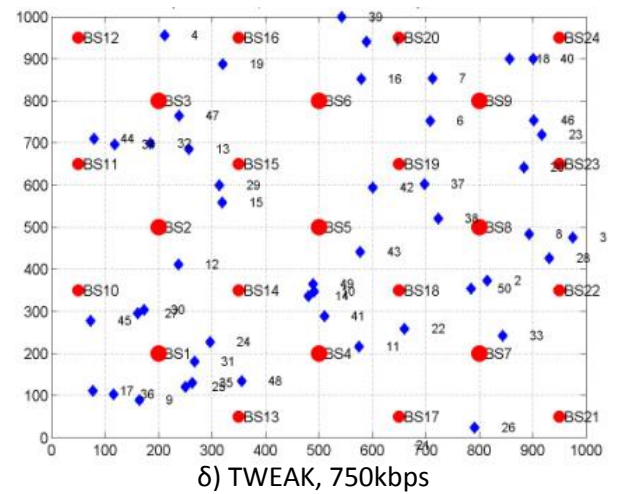
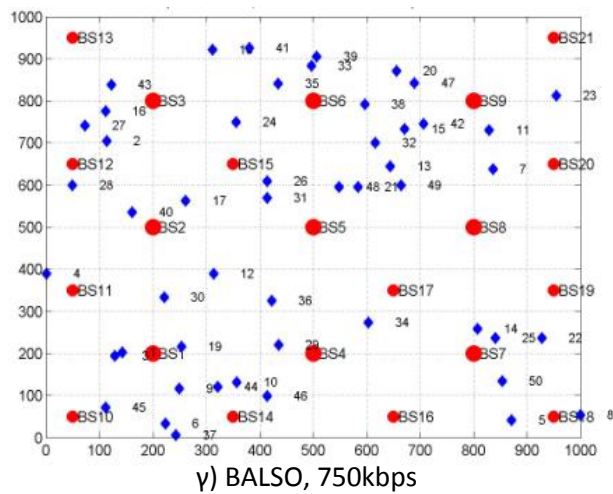
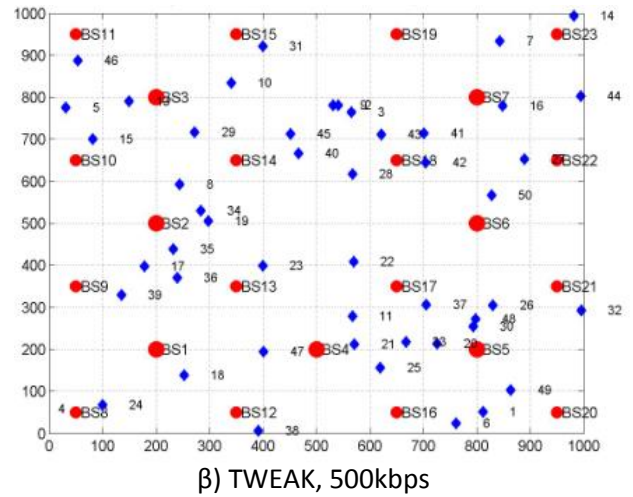
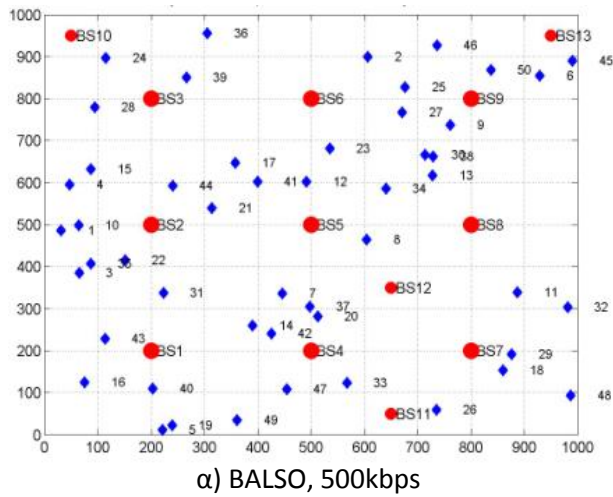
Σενάριο 12γ (25BS, 50UEs, 1000kbps)

1000 kbps	Mean values (sec)	Mean values (W)	Fail percentage (%)	T/T0 (%)	W/W0 (%)
<i>BALSO - full topology 25BSs</i>	10.925	11102.92	5.21	100	100
<i>BALSO - 9BSs+15bss</i>	9.792	10960.23	8.26	89.63	98.7
<i>TWEAK - full topology 25BSs</i>	21.986	9788.81	7.407	100	100
<i>TWEAK - 9BSs+15bss</i>	19.05	9899.4	6.97	86.65	101.29

Σχήμα 4.2.3.15 Επίλυση σεναρίου 12γ

Για το σενάριο (*BALSO*) 12γ δοκιμάστηκε μια τοπολογία 24 σταθμών βάσης, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Δεδομένης της αδυναμίας του συστήματος πλήρους τοπολογίας να εξυπηρετήσει το σύστημα, το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο, με τη πιθανότητα αποτυχίας να αυξάνεται κατά 3% και το σύστημα να κερδίζει περίπου 10% σε απόκριση και 1.3% σε κατανάλωση. Η μικρή βελτίωση της μετρικής της ενεργειακής απαίτησης οφείλεται σε ένα βαθμό στην αύξηση του ποσοστού αποτυχιών, καθώς δεν εξυπηρετήθηκαν τα πειράματα που απαιτούσαν και τους 25 σταθμούς του συστήματος, άρα αφαιρέθηκε από το αποτέλεσμα ένα τμήμα της άνω συνισταμένης του μέσου όρου κατανάλωσης.

Για το σενάριο (*TWEAK*) 12γ δοκιμάστηκε μια ετερογενής τοπολογία 24 σταθμών βάσης, σύμφωνα με τη λίστα των προτεινόμενων σταθμών βάσης. Στη περίπτωση του *TWEAK* επίσης το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο, καθώς το σύστημα πλήρους τοπολογίας εμφάνισε αποτυχημένες επαναλήψεις της τάξης του 7.4%. Με την αφαίρεση του σταθμού (*BSIndex 10*) το ποσοστό αυτό άγγιξε το 7%. Η απόκριση του συστήματος έπεσε κατά 13% περίπου, με την ενεργειακή κατανάλωση να αυξάνεται ελάχιστα.



Σχήμα 4.2.3.16 Προτεινόμενες τοπολογίες για το σενάριο 12

Παράρτημα

A)

Προϊόντα των αλγορίθμων προσδιορισμού των ισοδύναμων τοπολογιών, όπου η πρώτη σειρά αναφέρεται στο index του σταθμού βάσης και η δεύτερη στο επί τοις εκατό ποσοστό ενεργοποίησής του μετά από 200 επαναλήψεις.

BALSO 9 5 500

9.0000 3.0000 1.0000 5.0000 7.0000 4.0000 6.0000 8.0000 2.0000
26.0000 25.5000 25.0000 22.0000 20.5000 25.0000 22.5000 22.0000 20.0000

BALSO 9 5 750

1.0000 7.0000 3.0000 9.0000 5.0000 8.0000 2.0000 6.0000 4.0000
34.0000 34.0000 32.5000 28.0000 20.5000 28.0000 27.0000 25.5000 19.5000

BALSO 9 5 1000

3.0000 1.0000 8.0000 7.0000 9.0000 6.0000 2.0000 4.0000 5.0000
35.0000 34.0000 32.0000 29.5000 29.5000 28.5000 26.5000 24.0000 19.0000

BALSO 9 15 500

7.0000 2.0000 9.0000 4.0000 6.0000 8.0000 3.0000 1.0000 5.0000
44.5000 41.5000 40.5000 40.5000 40.0000 40.0000 38.5000 38.0000 37.5000

BALSO 9 15 750

7.0000 9.0000 3.0000 1.0000 5.0000 6.0000 4.0000 8.0000 2.0000
53.0000 51.0000 49.5000 44.5000 30.5000 48.5000 45.0000 44.0000 43.0000

BALSO 9 15 1000

3.0000 9.0000 7.0000 1.0000 5.0000 4.0000 6.0000 2.0000 8.0000
61.0000 58.5000 57.0000 55.5000 36.5000 51.0000 49.5000 44.0000 44.0000

BALSO 9 30 500

2.0000 4.0000 9.0000 3.0000 7.0000 1.0000 6.0000 8.0000 5.0000
62.0000 60.0000 58.5000 61.5000 60.0000 58.0000 53.0000 52.0000 47.0000

BALSO 9 30 750

1.0000 3.0000 9.0000 7.0000 5.0000 8.0000 2.0000 6.0000 4.0000
78.0000 76.5000 74.5000 69.5000 38.0000 61.5000 59.0000 59.0000 58.5000

BALSO 9 30 1000

9.0000 1.0000 7.0000 3.0000 5.0000 8.0000 2.0000 4.0000 6.0000
87.0000 84.5000 84.5000 80.0000 48.5000 67.5000 62.0000 61.5000 60.5000

BALSO 9 50 500

9.0000 3.0000 1.0000 7.0000 5.0000 6.0000 2.0000 4.0000 8.0000
84.0000 78.5000 78.0000 76.5000 50.5000 70.5000 68.0000 66.5000 66.5000

BALSO 9 50 750

7.0000 1.0000 9.0000 3.0000 5.0000 4.0000 6.0000 2.0000 8.0000
94.5000 93.5000 93.5000 93.0000 62.0000 81.5000 80.5000 79.0000 77.0000

BALSO 9 50 1000

9.0000 3.0000 1.0000 7.0000 5.0000 2.0000 6.0000 4.0000 8.0000
99.0000 98.5000 97.5000 97.0000 83.0000 94.0000 94.0000 90.5000 89.5000

TWEAK 9 5 500

3.0000 9.0000 1.0000 7.0000 5.0000 8.0000 6.0000 2.0000 4.0000
58.0000 54.0000 52.5000 51.5000 0 7.0000 3.5000 2.0000 0

TWEAK 9 5 750

3.0000 9.0000 7.0000 1.0000 4.0000 6.0000 8.0000 2.0000 5.0000
65.5000 61.5000 58.5000 55.5000 4.5000 4.5000 4.0000 2.5000 0

TWEAK 9 5 1000

1.0000 3.0000 9.0000 7.0000 5.0000 4.0000 8.0000 6.0000 2.0000
64.0000 61.5000 56.5000 56.0000 7.0000 10.0000 8.5000 7.0000 5.5000

TWEAK 9 15 500

1.0000 9.0000 3.0000 7.0000 5.0000 8.0000 4.0000 6.0000 2.0000
85.5000 84.0000 82.0000 79.5000 0.5000 10.0000 6.0000 6.0000 4.0000

TWEAK 9 15 750

3.0000 9.0000 7.0000 1.0000 5.0000 4.0000 8.0000 6.0000 2.0000
87.0000 87.0000 85.0000 83.5000 5.5000 12.0000 9.0000 8.0000 7.5000

TWEAK 9 15 1000

3.0000 1.0000 7.0000 9.0000 5.0000 6.0000 8.0000 2.0000 4.0000
85.5000 85.0000 83.0000 78.5000 13.5000 22.5000 22.5000 20.5000 19.0000

TWEAK 9 30 500

1.0000 3.0000 7.0000 9.0000 5.0000 6.0000 8.0000 4.0000 2.0000
95.5000 95.0000 94.0000 88.0000 7.0000 14.0000 14.0000 11.5000 9.5000

TWEAK 9 30 750

1.0000 7.0000 9.0000 3.0000 5.0000 2.0000 6.0000 4.0000 8.0000
97.0000 95.5000 95.0000 92.5000 26.5000 30.0000 28.0000 27.5000 25.0000

TWEAK 9 30 1000

7.0000 3.0000 1.0000 9.0000 5.0000 4.0000 6.0000 8.0000 2.0000
97.5000 96.0000 95.5000 93.0000 36.0000 65.0000 50.5000 50.5000 48.5000

TWEAK 9 50 500

3.0000 1.0000 7.0000 9.0000 5.0000 4.0000 8.0000 6.0000 2.0000
99.5000 99.0000 99.0000 95.5000 27.5000 45.0000 41.0000 40.5000 38.0000

TWEAK 9 50 750

1.0000 9.0000 3.0000 7.0000 5.0000 2.0000 4.0000 8.0000 6.0000
100.0000 100.0000 99.5000 99.5000 45.0000 83.0000 81.0000 69.5000 69.0000

TWEAK 9 50 1000

7.0000 9.0000 1.0000 3.0000 5.0000 2.0000 4.0000 6.0000 8.0000
100.0000 100.0000 99.5000 99.5000 71.5000 92.5000 92.5000 86.5000 86.0000

BALSO 16 5 500

Columns 1 through 8

1.0000 4.0000 14.0000 16.0000 13.0000 12.0000 7.0000 9.0000
23.5000 19.5000 18.0000 17.0000 15.5000 14.5000 14.0000 13.5000

Columns 9 through 16

15.0000 8.0000 11.0000 10.0000 2.0000 5.0000 3.0000 6.0000
13.5000 12.5000 12.5000 10.0000 9.5000 9.5000 8.5000 7.5000

BALSO 16 5 750

Columns 1 through 8

4.0000 16.0000 13.0000 1.0000 9.0000 2.0000 15.0000 8.0000
28.5000 28.0000 23.5000 18.5000 17.0000 15.5000 14.5000 13.0000

Columns 9 through 16

7.0000 14.0000 3.0000 5.0000 10.0000 12.0000 6.0000 11.0000
12.0000 12.0000 11.5000 11.0000 11.0000 10.5000 8.0000 7.0000

BALSO 16 5 1000

Columns 1 through 8

4.0000 16.0000 1.0000 13.0000 5.0000 2.0000 14.0000 12.0000
29.5000 22.5000 22.0000 20.5000 18.5000 16.5000 16.5000 15.5000

Columns 9 through 16

15.0000 3.0000 8.0000 11.0000 6.0000 10.0000 9.0000 7.0000

15.5000 12.5000 12.5000 12.5000 11.0000 11.0000 10.5000 9.5000

BALSO 16 15 500

Columns 1 through 8

13.0000 8.0000 1.0000 16.0000 5.0000 12.0000 14.0000 4.0000

32.0000 25.0000 22.5000 22.5000 27.5000 24.0000 23.0000 22.5000

Columns 9 through 16

3.0000 7.0000 6.0000 11.0000 15.0000 9.0000 2.0000 10.0000

22.0000 22.0000 21.5000 21.5000 21.5000 19.0000 17.0000 17.0000

BALSO 16 15 750

Columns 1 through 8

13.0000 16.0000 1.0000 4.0000 2.0000 3.0000 8.0000 9.0000

39.0000 32.0000 31.5000 30.5000 27.0000 26.0000 25.5000 25.5000

Columns 9 through 16

12.0000 14.0000 15.0000 5.0000 10.0000 7.0000 6.0000 11.0000

25.5000 25.0000 23.5000 22.5000 21.0000 18.0000 14.5000 13.0000

BALSO 16 15 1000

Columns 1 through 8

13.0000 1.0000 4.0000 16.0000 2.0000 8.0000 14.0000 12.0000

39.5000 37.0000 37.0000 35.5000 33.0000 31.5000 30.0000 29.5000

Columns 9 through 16

9.0000 5.0000 15.0000 3.0000 6.0000 10.0000 11.0000 7.0000

29.0000 28.5000 26.5000 24.0000 20.5000 17.5000 16.5000 16.0000

BALSO 16 30 500

Columns 1 through 8

13.0000 16.0000 4.0000 1.0000 9.0000 14.0000 3.0000 12.0000

40.5000 39.0000 35.0000 32.0000 37.0000 34.0000 32.5000 32.0000

Columns 9 through 16

2.0000 8.0000 5.0000 10.0000 11.0000 15.0000 6.0000 7.0000
31.5000 31.5000 29.0000 27.5000 26.5000 25.0000 24.5000 24.0000

BALSO 16 30 750

Columns 1 through 8

4.0000 16.0000 13.0000 1.0000 9.0000 2.0000 5.0000 3.0000
53.5000 53.0000 49.5000 43.0000 41.5000 40.5000 38.0000 36.5000

Columns 9 through 16

15.0000 8.0000 12.0000 14.0000 6.0000 10.0000 11.0000 7.0000
36.5000 35.5000 34.0000 33.5000 27.0000 22.5000 21.0000 19.5000

BALSO 16 30 1000

Columns 1 through 8

1.0000 4.0000 13.0000 16.0000 3.0000 12.0000 15.0000 8.0000
61.0000 61.0000 57.0000 54.5000 51.0000 50.5000 49.0000 47.5000

Columns 9 through 16

9.0000 2.0000 14.0000 5.0000 10.0000 6.0000 11.0000 7.0000
47.5000 43.5000 43.5000 41.0000 27.5000 27.0000 25.5000 24.5000

BALSO 16 50 500

Columns 1 through 8

13.0000 16.0000 1.0000 4.0000 14.0000 5.0000 2.0000 3.0000
55.5000 55.5000 50.0000 49.5000 45.5000 43.0000 42.0000 41.5000

Columns 9 through 16

15.0000 9.0000 12.0000 8.0000 6.0000 7.0000 11.0000 10.0000
40.5000 39.0000 39.0000 37.0000 30.0000 25.5000 25.5000 25.0000

BALSO 16 50 750

Columns 1 through 8

1.0000 16.0000 4.0000 13.0000 12.0000 15.0000 5.0000 9.0000
74.0000 72.5000 69.5000 67.0000 59.0000 56.5000 54.0000 52.5000

Columns 9 through 16

14.0000 2.0000 8.0000 3.0000 10.0000 6.0000 11.0000 7.0000
52.0000 51.0000 50.5000 50.0000 39.0000 30.5000 30.5000 29.5000

BALSO 16 50 1000

Columns 1 through 8

1.0000 4.0000 13.0000 16.0000 8.0000 3.0000 2.0000 12.0000
84.0000 84.0000 83.5000 80.0000 69.5000 67.5000 67.0000 65.5000

Columns 9 through 16

9.0000 15.0000 5.0000 14.0000 11.0000 6.0000 7.0000 10.0000
64.5000 64.5000 63.0000 60.0000 42.5000 37.5000 36.5000 36.0000

TWEAK 16 5 500

Columns 1 through 8

1.0000 16.0000 13.0000 4.0000 15.0000 8.0000 14.0000 2.0000
36.5000 36.0000 34.5000 34.0000 14.5000 13.5000 12.5000 11.5000

Columns 9 through 16

9.0000 5.0000 3.0000 12.0000 6.0000 7.0000 10.0000 11.0000
11.5000 9.5000 8.5000 6.0000 0 0 0 0

TWEAK 16 5 750

Columns 1 through 8

4.0000 16.0000 1.0000 13.0000 15.0000 3.0000 12.0000 14.0000
44.0000 43.0000 39.0000 37.0000 13.0000 12.5000 11.5000 11.5000

Columns 9 through 16

9.0000 8.0000 2.0000 5.0000 6.0000 7.0000 10.0000 11.0000
11.0000 10.0000 7.5000 7.5000 1.0000 0 0 0

TWEAK 16 5 1000

Columns 1 through 8

1.0000 16.0000 4.0000 13.0000 15.0000 12.0000 14.0000 8.0000
43.0000 41.5000 38.5000 36.0000 16.5000 15.0000 13.0000 12.5000

Columns 9 through 16

9.0000 3.0000 5.0000 2.0000 11.0000 7.0000 6.0000 10.0000
11.5000 10.0000 10.0000 8.0000 2.0000 1.0000 0.5000 0

TWEAK 16 15 500

Columns 1 through 8

13.0000 16.0000 1.0000 4.0000 9.0000 3.0000 8.0000 2.0000
54.5000 53.5000 50.0000 50.0000 22.0000 18.0000 18.0000 16.0000

Columns 9 through 16

5.0000 15.0000 12.0000 14.0000 6.0000 7.0000 10.0000 11.0000
16.0000 15.0000 13.5000 12.5000 0 0 0 0

TWEAK 16 15 750

Columns 1 through 8

1.0000 4.0000 16.0000 13.0000 15.0000 9.0000 3.0000 8.0000
66.0000 64.0000 61.0000 56.5000 21.0000 19.0000 17.0000 16.0000

Columns 9 through 16

14.0000 2.0000 5.0000 12.0000 11.0000 7.0000 6.0000 10.0000
15.0000 14.0000 13.0000 12.5000 2.0000 1.5000 0.5000 0

TWEAK 16 15 1000

Columns 1 through 8

4.0000 13.0000 1.0000 16.0000 12.0000 2.0000 5.0000 14.0000

70.0000 64.0000 61.5000 61.5000 22.5000 19.0000 19.0000 19.0000

Columns 9 through 16

9.0000 15.0000 3.0000 8.0000 7.0000 11.0000 10.0000 6.0000

18.0000 15.0000 14.5000 9.5000 5.0000 3.5000 2.5000 2.0000

TWEAK 16 30 500

Columns 1 through 8

1.0000 13.0000 4.0000 16.0000 15.0000 8.0000 9.0000 12.0000

71.0000 69.0000 67.0000 60.0000 26.5000 22.5000 22.5000 22.0000

Columns 9 through 16

3.0000 14.0000 5.0000 2.0000 7.0000 6.0000 10.0000 11.0000

20.5000 19.0000 18.5000 14.0000 0.5000 0 0 0

TWEAK 16 30 750

Columns 1 through 8

1.0000 4.0000 13.0000 16.0000 9.0000 15.0000 3.0000 8.0000

83.0000 82.5000 75.0000 75.0000 31.5000 28.5000 27.5000 26.5000

Columns 9 through 16

14.0000 12.0000 5.0000 2.0000 11.0000 6.0000 7.0000 10.0000

25.0000 24.5000 23.5000 22.0000 6.5000 3.0000 2.5000 1.5000

TWEAK 16 30 1000

Columns 1 through 8

1.0000 4.0000 13.0000 16.0000 3.0000 15.0000 9.0000 8.0000

90.0000 84.0000 80.5000 76.5000 41.0000 37.0000 32.5000 32.0000

Columns 9 through 16

12.0000 14.0000 5.0000 2.0000 7.0000 11.0000 6.0000 10.0000

29.0000 27.0000 23.0000 22.0000 14.0000 13.0000 9.5000 9.0000

TWEAK 16 50 500

Columns 1 through 8

4.0000 1.0000 13.0000 16.0000 3.0000 9.0000 15.0000 5.0000
87.0000 82.5000 80.5000 76.5000 41.5000 41.5000 38.0000 37.0000

Columns 9 through 16

8.0000 2.0000 12.0000 14.0000 7.0000 10.0000 6.0000 11.0000
35.5000 32.0000 31.5000 27.5000 3.0000 1.5000 0.5000 0

TWEAK 16 50 750

Columns 1 through 8

1.0000 13.0000 4.0000 16.0000 8.0000 9.0000 12.0000 5.0000
94.0000 94.0000 91.0000 87.0000 50.5000 48.5000 46.5000 44.5000

Columns 9 through 16

15.0000 3.0000 2.0000 14.0000 11.0000 7.0000 6.0000 10.0000
44.5000 43.5000 41.0000 40.0000 15.5000 14.5000 9.0000 6.5000

TWEAK 16 50 1000

Columns 1 through 8

1.0000 4.0000 13.0000 16.0000 9.0000 15.0000 3.0000 12.0000
99.0000 96.5000 96.0000 92.5000 62.5000 61.0000 60.5000 58.5000

Columns 9 through 16

8.0000 5.0000 14.0000 2.0000 7.0000 11.0000 10.0000 6.0000
58.0000 54.0000 53.0000 52.0000 27.5000 27.5000 25.5000 24.0000

BALSO 25 5 500

Columns 1 through 9

3.0000 9.0000 4.0000 22.0000 10.0000 23.0000 11.0000 5.0000 2.0000
28.5000 25.5000 22.0000 3.5000 2.5000 1.5000 1.0000 20.0000 23.5000

Columns 10 through 18

8.0000 1.0000 7.0000 6.0000 13.0000 25.0000 18.0000 14.0000 24.0000
23.5000 21.5000 19.0000 16.5000 3.5000 3.5000 2.5000 2.0000 2.0000

Columns 19 through 25

16.0000 17.0000 12.0000 19.0000 21.0000 15.0000 20.0000

1.5000 1.5000 1.0000 1.0000 1.0000 0 0

BALSO 25 5 750

Columns 1 through 9

3.0000 9.0000 1.0000 7.0000 5.0000 8.0000 2.0000 6.0000 4.0000

30.5000 29.5000 29.0000 24.5000 21.0000 26.0000 21.0000 17.0000 15.5000

Columns 10 through 18

22.0000 10.0000 11.0000 18.0000 24.0000 14.0000 17.0000 25.0000 21.0000

6.0000 4.5000 3.0000 2.5000 2.5000 2.0000 2.0000 2.0000 1.5000

Columns 19 through 25

23.0000 12.0000 13.0000 20.0000 19.0000 15.0000 16.0000

1.5000 1.0000 1.0000 1.0000 0.5000 0 0

BALSO 25 5 1000

Columns 1 through 9

9.0000 3.0000 7.0000 1.0000 5.0000 2.0000 8.0000 4.0000 6.0000

39.0000 32.0000 32.0000 30.0000 14.5000 26.5000 22.0000 21.5000 20.0000

Columns 10 through 18

10.0000 14.0000 13.0000 22.0000 25.0000 12.0000 17.0000 21.0000 23.0000

3.0000 3.0000 2.5000 2.5000 2.5000 2.0000 1.5000 1.5000 1.5000

Columns 19 through 25

11.0000 18.0000 15.0000 16.0000 19.0000 24.0000 20.0000

1.0000 1.0000 0.5000 0.5000 0.5000 0.5000 0

BALSO 25 15 500

Columns 1 through 9

4.0000 9.0000 2.0000 22.0000 13.0000 10.0000 7.0000 1.0000 8.0000

46.0000 43.5000 39.0000 2.5000 1.5000 1.0000 38.5000 37.0000 37.0000

Columns 10 through 18

3.0000	6.0000	5.0000	14.0000	25.0000	18.0000	21.0000	11.0000	12.0000
35.5000	35.0000	32.0000	1.0000	1.0000	0.5000	0.5000	0	0

Columns 19 through 25

15.0000	16.0000	19.0000	20.0000	24.0000	17.0000	23.0000
0	0	0	0	0	0	0

BALSO 25 15 750

Columns 1 through 9

7.0000	9.0000	3.0000	1.0000	5.0000	6.0000	2.0000	8.0000	4.0000
51.5000	50.5000	50.0000	47.5000	35.5000	44.0000	42.5000	42.5000	42.0000

Columns 10 through 18

25.0000	14.0000	11.0000	24.0000	10.0000	13.0000	17.0000	18.0000	20.0000
3.5000	1.5000	1.0000	1.0000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000

Columns 19 through 25

22.0000	23.0000	12.0000	15.0000	16.0000	19.0000	21.0000
0.5000	0.5000	0	0	0	0	0

BALSO 25 15 1000

Columns 1 through 9

3.0000	7.0000	1.0000	9.0000	5.0000	4.0000	2.0000	8.0000	6.0000
57.0000	55.0000	52.5000	52.5000	41.5000	47.0000	45.0000	45.0000	40.5000

Columns 10 through 18

13.0000	22.0000	23.0000	21.0000	17.0000	18.0000	25.0000	10.0000	12.0000
3.0000	3.0000	2.5000	2.0000	1.5000	1.5000	1.5000	1.0000	1.0000

Columns 19 through 25

20.0000	24.0000	15.0000	11.0000	14.0000	16.0000	19.0000
1.0000	1.0000	0.5000	0	0	0	0

BALSO 25 30 500

Columns 1 through 9

3.0000 1.0000 7.0000 9.0000 5.0000 4.0000 6.0000 8.0000 2.0000

65.0000 60.0000 57.5000 57.5000 44.5000 56.0000 55.0000 54.0000 50.0000

Columns 10 through 18

22.0000 13.0000 25.0000 12.0000 14.0000 17.0000 18.0000 21.0000 10.0000

2.0000 1.5000 1.5000 0.5000 0.5000 0.5000 0.5000 0.5000 0

Columns 19 through 25

11.0000 15.0000 16.0000 19.0000 20.0000 23.0000 24.0000

0 0 0 0 0 0 0

BALSO 25 30 750

Columns 1 through 9

3.0000 7.0000 9.0000 1.0000 5.0000 2.0000 4.0000 6.0000 8.0000

77.5000 77.0000 68.5000 68.0000 42.0000 62.0000 61.5000 61.5000 59.5000

Columns 10 through 18

10.0000 22.0000 25.0000 13.0000 17.0000 21.0000 11.0000 12.0000 14.0000

2.0000 2.0000 1.5000 1.0000 1.0000 1.0000 0.5000 0.5000 0.5000

Columns 19 through 25

24.0000 15.0000 16.0000 18.0000 19.0000 20.0000 23.0000

0.5000 0 0 0 0 0 0

BALSO 25 30 1000

Columns 1 through 9

7.0000 3.0000 9.0000 1.0000 5.0000 8.0000 2.0000 6.0000 4.0000

85.0000 81.5000 81.0000 80.0000 59.0000 73.0000 69.5000 66.5000 65.0000

Columns 10 through 18

10.0000 25.0000 13.0000 22.0000 24.0000 21.0000 14.0000 11.0000 12.0000

6.0000 4.0000 3.0000 3.0000 2.5000 2.0000 1.5000 1.0000 1.0000

Columns 19 through 25

17.0000 19.0000 23.0000 18.0000 15.0000 16.0000 20.0000

1.0000 1.0000 1.0000 0.5000 0 0 0

BALSO 25 50 500

Columns 1 through 9

7.0000 1.0000 3.0000 9.0000 5.0000 6.0000 4.0000 8.0000 2.0000

82.5000 77.5000 75.0000 74.5000 56.5000 71.0000 68.5000 66.0000 65.0000

Columns 10 through 18

13.0000 18.0000 19.0000 25.0000 11.0000 14.0000 22.0000 24.0000 10.0000

2.0000 1.0000 1.0000 1.0000 0.5000 0.5000 0.5000 0.5000 0

Columns 19 through 25

12.0000 15.0000 16.0000 17.0000 20.0000 21.0000 23.0000

0 0 0 0 0 0 0

BALSO 25 50 750

Columns 1 through 9

1.0000 3.0000 7.0000 9.0000 5.0000 2.0000 8.0000 4.0000 6.0000

95.5000 95.5000 93.5000 92.0000 58.5000 79.0000 79.0000 76.0000 76.0000

Columns 10 through 18

10.0000 22.0000 25.0000 13.0000 11.0000 14.0000 18.0000 24.0000 12.0000

7.0000 6.0000 5.5000 4.5000 1.5000 1.5000 1.5000 1.5000 1.0000

Columns 19 through 25

16.0000 19.0000 23.0000 15.0000 17.0000 20.0000 21.0000

1.0000 1.0000 1.0000 0.5000 0.5000 0.5000 0

BALSO 25 50 1000

Columns 1 through 9

9.0000 1.0000 3.0000 7.0000 5.0000 2.0000 6.0000 8.0000 4.0000

93.5000 93.0000 92.5000 91.0000 84.0000 89.5000 88.5000 87.5000 86.0000

Columns 10 through 18

13.0000 10.0000 25.0000 22.0000 11.0000 21.0000 16.0000 12.0000 14.0000
12.0000 10.5000 9.5000 8.0000 7.5000 7.0000 6.5000 6.0000 6.0000

Columns 19 through 25

17.0000 15.0000 18.0000 20.0000 23.0000 24.0000 19.0000
5.0000 3.5000 3.5000 3.5000 3.0000 3.0000 2.0000

TWEAK 25 5 500

Columns 1 through 9

1.0000 3.0000 9.0000 7.0000 11.0000 14.0000 17.0000 23.0000 15.0000
31.5000 31.5000 31.0000 30.0000 15.5000 15.5000 15.5000 13.5000 13.0000

Columns 10 through 18

20.0000 21.0000 10.0000 18.0000 16.0000 19.0000 25.0000 12.0000 13.0000
12.0000 11.5000 11.0000 10.5000 10.0000 10.0000 10.0000 9.5000 8.5000

Columns 19 through 25

24.0000 22.0000 2.0000 4.0000 5.0000 6.0000 8.0000
8.0000 7.5000 0 0 0 0 0

TWEAK 25 5 750

Columns 1 through 9

9.0000 3.0000 7.0000 1.0000 15.0000 20.0000 21.0000 18.0000 23.0000
35.5000 35.0000 34.5000 31.5000 16.0000 14.5000 13.0000 12.0000 12.0000

Columns 10 through 18

16.0000 11.0000 12.0000 13.0000 22.0000 19.0000 10.0000 25.0000 14.0000
11.5000 11.0000 11.0000 11.0000 11.0000 9.5000 9.0000 9.0000 8.5000

Columns 19 through 25

17.0000 24.0000 4.0000 6.0000 8.0000 2.0000 5.0000
6.0000 5.5000 3.5000 3.5000 2.0000 1.0000 0

TWEAK 25 5 1000

Columns 1 through 9

3.0000 9.0000 7.0000 1.0000 16.0000 14.0000 19.0000 24.0000 15.0000
41.0000 38.0000 36.5000 36.0000 13.0000 12.5000 12.5000 11.5000 10.5000

Columns 10 through 18

25.0000 10.0000 18.0000 20.0000 21.0000 23.0000 17.0000 11.0000 6.0000
10.5000 9.5000 9.0000 8.0000 8.0000 8.0000 7.5000 7.0000 6.5000

Columns 19 through 25

12.0000 2.0000 4.0000 13.0000 22.0000 8.0000 5.0000
6.5000 6.0000 5.5000 5.5000 5.5000 3.0000 0

TWEAK 25 15 500

Columns 1 through 9

9.0000 3.0000 1.0000 7.0000 22.0000 21.0000 19.0000 20.0000 23.0000
65.0000 63.0000 61.0000 56.5000 19.5000 17.5000 17.0000 17.0000 16.5000

Columns 10 through 18

12.0000 18.0000 14.0000 17.0000 16.0000 15.0000 25.0000 11.0000 13.0000
16.0000 16.0000 15.0000 15.0000 13.5000 12.5000 12.5000 11.5000 11.5000

Columns 19 through 25

24.0000 10.0000 2.0000 4.0000 6.0000 5.0000 8.0000
10.5000 9.0000 0.5000 0.5000 0.5000 0 0

TWEAK 25 15 750

Columns 1 through 9

1.0000 3.0000 9.0000 7.0000 19.0000 20.0000 22.0000 21.0000 23.0000
67.0000 66.5000 64.0000 61.0000 16.5000 15.5000 15.0000 14.5000 14.5000

Columns 10 through 18

18.0000 24.0000 17.0000 14.0000 15.0000 11.0000 12.0000 16.0000 25.0000
13.5000 13.5000 12.5000 11.5000 11.5000 11.0000 11.0000 11.0000 11.0000

Columns 19 through 25

6.0000 4.0000 13.0000 2.0000 8.0000 10.0000 5.0000
10.0000 8.0000 8.0000 7.5000 7.0000 7.0000 0

TWEAK 25 15 1000

Columns 1 through 9

3.0000 1.0000 7.0000 9.0000 25.0000 5.0000 8.0000 6.0000 4.0000
67.0000 66.5000 60.5000 54.5000 19.0000 2.0000 31.5000 22.5000 19.0000

Columns 10 through 18

2.0000 24.0000 22.0000 19.0000 21.0000 18.0000 23.0000 20.0000 10.0000
18.5000 12.0000 11.5000 11.0000 11.0000 10.5000 10.5000 10.0000 9.0000

Columns 19 through 25

15.0000 12.0000 11.0000 14.0000 16.0000 17.0000 13.0000
8.5000 8.0000 7.5000 7.0000 7.0000 7.0000 6.5000

TWEAK 25 30 500

Columns 1 through 9

9.0000 1.0000 3.0000 7.0000 20.0000 23.0000 19.0000 24.0000 18.0000
84.5000 84.0000 83.0000 80.0000 36.0000 34.5000 32.0000 32.0000 28.5000

Columns 10 through 18

21.0000 15.0000 16.0000 22.0000 17.0000 25.0000 13.0000 12.0000 11.0000
28.5000 27.5000 25.5000 24.0000 23.0000 20.0000 18.5000 18.0000 17.0000

Columns 19 through 25

10.0000 14.0000 2.0000 6.0000 8.0000 4.0000 5.0000
15.0000 15.0000 1.0000 1.0000 1.0000 0.5000 0

TWEAK 25 30 750

Columns 1 through 9

9.0000 7.0000 3.0000 1.0000 20.0000 24.0000 15.0000 19.0000 16.0000
83.5000 81.0000 79.5000 77.0000 43.0000 36.5000 35.5000 34.0000 32.0000

Columns 10 through 18

22.0000 21.0000 17.0000 23.0000 18.0000 25.0000 8.0000 6.0000 2.0000
31.5000 30.0000 29.5000 29.5000 26.5000 24.5000 28.5000 28.0000 25.0000

Columns 19 through 25

14.0000 12.0000 13.0000 4.0000 10.0000 11.0000 5.0000
23.5000 22.0000 20.5000 20.0000 20.0000 18.0000 0

TWEAK 25 30 1000

Columns 1 through 9

1.0000 9.0000 3.0000 7.0000 23.0000 5.0000 8.0000 2.0000 6.0000
83.0000 81.0000 80.0000 76.5000 33.0000 15.0000 45.5000 45.0000 43.5000

Columns 10 through 18

4.0000 22.0000 20.0000 19.0000 24.0000 17.0000 25.0000 15.0000 18.0000
41.0000 32.0000 30.5000 30.0000 29.5000 27.5000 26.5000 24.0000 24.0000

Columns 19 through 25

21.0000 16.0000 13.0000 14.0000 12.0000 10.0000 11.0000
24.0000 21.5000 21.0000 20.0000 15.0000 12.0000 12.0000

TWEAK 25 50 500

Columns 1 through 9

1.0000 7.0000 3.0000 9.0000 20.0000 21.0000 15.0000 16.0000 18.0000
99.0000 98.5000 97.5000 97.5000 70.0000 60.0000 59.5000 59.5000 59.0000

Columns 10 through 18

19.0000 23.0000 24.0000 17.0000 25.0000 22.0000 14.0000 12.0000 11.0000
59.0000 59.0000 57.0000 56.5000 46.0000 44.5000 43.0000 42.5000 39.0000

Columns 19 through 25

13.0000 10.0000 8.0000 2.0000 4.0000 6.0000 5.0000
34.5000 31.0000 18.5000 15.5000 15.0000 10.5000 0

TWEAK 25 50 750

Columns 1 through 9

7.0000 1.0000 3.0000 9.0000 20.0000 15.0000 18.0000 16.0000 14.0000
96.5000 96.0000 93.5000 92.5000 55.0000 54.5000 54.5000 54.0000 53.5000

Columns 10 through 18

25.0000 19.0000 21.0000 17.0000 22.0000 8.0000 6.0000 2.0000 4.0000
53.0000 52.5000 52.5000 50.5000 48.5000 64.5000 61.5000 57.5000 53.5000

Columns 19 through 25

11.0000 24.0000 12.0000 23.0000 13.0000 10.0000 5.0000
47.5000 46.5000 45.0000 44.5000 44.0000 37.0000 5.0000

TWEAK 25 50 1000

Columns 1 through 9

3.0000 1.0000 9.0000 7.0000 21.0000 5.0000 4.0000 6.0000 8.0000
93.0000 92.0000 91.0000 89.5000 54.5000 37.5000 80.0000 79.0000 78.5000

Columns 10 through 18

2.0000 19.0000 20.0000 23.0000 24.0000 15.0000 16.0000 18.0000 25.0000
75.5000 48.5000 48.5000 46.5000 46.5000 46.0000 45.0000 44.5000 44.5000

Columns 19 through 25

14.0000 12.0000 17.0000 13.0000 22.0000 11.0000 10.0000
42.5000 40.5000 40.0000 38.0000 36.0000 33.0000 30.5000

B)

Πίνακες με τις τιμές των γεωγραφικών επικαλύψεων μεταξύ των σταθμών βάσης για συστήματα 9BSs, 16BSs, 25BSs

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	NaN	0.6238	0.2848	0.6238	0.4765	0.2152	0.2848	0.2152	0.0691
2	0.6238	NaN	0.6238	0.4765	0.6238	0.4765	0.2152	0.2848	0.2152
3	0.2848	0.6238	NaN	0.2152	0.4765	0.6238	0.0691	0.2152	0.2848
4	0.6238	0.4765	0.2152	NaN	0.6238	0.2848	0.6238	0.4765	0.2152
5	0.4765	0.6238	0.4765	0.6238	NaN	0.6238	0.4765	0.6238	0.4765
6	0.2152	0.4765	0.6238	0.2848	0.6238	NaN	0.2152	0.4765	0.6238
7	0.2848	0.2152	0.0691	0.6238	0.4765	0.2152	NaN	0.6238	0.2848
8	0.2152	0.2848	0.2152	0.4765	0.6238	0.4765	0.6238	NaN	0.6238
9	0.0691	0.2152	0.2848	0.2152	0.4765	0.6238	0.2848	0.6238	NaN

α) ομογενές 9BSs

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	NaN	0.7471	0.5046	0.2848	0.7471	0.6447	0.4502	0.2522	0.5046	0.4502	0.3203	0.1692	0.2848	0.2522	0.1692	0.0691
2	0.7471	NaN	0.7471	0.5046	0.6447	0.7471	0.6447	0.4502	0.4502	0.5046	0.4502	0.3203	0.2522	0.2848	0.2522	0.1692
3	0.5046	0.7471	NaN	0.7471	0.4502	0.6447	0.7471	0.6447	0.3203	0.4502	0.5046	0.4502	0.1692	0.2522	0.2848	0.2522
4	0.2848	0.5046	0.7471	NaN	0.2522	0.4502	0.6447	0.7471	0.1692	0.3203	0.4502	0.5046	0.0691	0.1692	0.2522	0.2848
5	0.7471	0.6447	0.4502	0.2522	NaN	0.7471	0.5046	0.2848	0.7471	0.6447	0.4502	0.2522	0.5046	0.4502	0.3203	0.1692
6	0.6447	0.7471	0.6447	0.4502	0.7471	NaN	0.7471	0.5046	0.6447	0.7471	0.6447	0.4502	0.4502	0.5046	0.4502	0.3203
7	0.4502	0.6447	0.7471	0.6447	0.5046	0.7471	NaN	0.7471	0.4502	0.6447	0.7471	0.6447	0.3203	0.4502	0.5046	0.4502
8	0.2522	0.4502	0.6447	0.7471	0.2848	0.5046	0.7471	NaN	0.2522	0.4502	0.6447	0.7471	0.1692	0.3203	0.4502	0.5046
9	0.5046	0.4502	0.3203	0.1692	0.7471	0.6447	0.4502	0.2522	NaN	0.7471	0.5046	0.2848	0.7471	0.6447	0.4502	0.2522
10	0.4502	0.5046	0.4502	0.3203	0.6447	0.7471	0.6447	0.4502	0.7471	NaN	0.7471	0.5046	0.6447	0.7471	0.6447	0.4502
11	0.3203	0.4502	0.5046	0.4502	0.4502	0.6447	0.7471	0.6447	0.5046	0.7471	NaN	0.7471	0.4502	0.6447	0.7471	0.6447
12	0.1692	0.3203	0.4502	0.5046	0.2522	0.4502	0.6447	0.7471	0.2848	0.5046	0.7471	NaN	0.2522	0.4502	0.6447	0.7471
13	0.2848	0.2522	0.1692	0.0691	0.5046	0.4502	0.3203	0.1692	0.7471	0.6447	0.4502	0.2522	NaN	0.7471	0.5046	0.2848
14	0.2522	0.2848	0.2522	0.1692	0.4502	0.5046	0.4502	0.3203	0.6447	0.7471	0.6447	0.4502	0.7471	NaN	0.7471	0.5046
15	0.1692	0.2522	0.2848	0.2522	0.3203	0.4502	0.5046	0.4502	0.4502	0.6447	0.7471	0.6447	0.5046	0.7471	NaN	0.7471
16	0.0691	0.1692	0.2522	0.2848	0.1692	0.3203	0.4502	0.5046	0.2522	0.4502	0.6447	0.7471	0.2848	0.5046	0.7471	NaN

b) Ομογενές 16BSs

Γ)

Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας το Matlab R2013a (x86) και τον επεξεργαστή *Intel Core2Quad Q9550*. Οι Η/Υ που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων ήταν εφοδιασμένοι με 4GB DDR2 RAM, ποσότητα αρκετή για να εξασφαλίσει την απρόσκοπτη λειτουργία του προσομοιωτή. Το πρόγραμμα προσομοίωσης πρέπει να τοποθετηθεί στη διαδρομή 'C:\dkomna', όπου dkomna είναι ο φάκελος που το περιέχει, καθώς σε πολλά τμήματα του προγράμματος καλούνται αρχεία χρησιμοποιώντας σταθερό όνομα διαδρομής.

Οι τιμές κατανάλωσης ενέργειας των υποσυστημάτων των σταθμών βάσης εξήχθησαν από τη βιβλιογραφία, συγκεκριμένα από τη παραπομπή 18 και παρατίθενται στο παρακάτω σχήμα.

Equipment	Power consumption	
	Macro	Micro
Power amplifier	50-80% (~1200W)	75-90% (~145W)
Air conditioning	10-25% (~300W)	0% (0W)
Signal processing (analog/digital)	5-15% (~200W)	5-15% (~35W)
Power supply	5-10% (~100W)	5-10% (~15W)

Πίνακας απεικόνισης της κατανάλωσης ενέργειας για τα υποσυστήματα macro και micro σταθμών βάσης.

Βιβλιογραφία

- 1) Cisco Visual Networking Index: Global mobile data traffic forecast update, 2013-2018
http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html
- 2) Survey of Green Radio Communications Networks: Techniques and Recent Advances
Mohammed H. Alsharif, Rosdiadee Nordin, and Mahamod Ismail.
<http://www.hindawi.com/journals/jcnc/2013/453893>
- 3) Trends in worldwide ICT electricity consumption from 2007 to 2012, *Ward Van Heddeghem, Sofie Lambert, Bart Lannoo, Didier Colle, Mario Pickavet, Piet Demeester*, Department of Information Technology (INTEC) of Ghent University - iMinds, Gaston Crommenlaan 8, B-9050 Gent, Belgium
<https://www.ibcn.intec.ugent.be/sites/default/files/docs/ICT%20electricity%20consumption%202007-2012.pdf>
- 4) Rethinking energy efficiency models of cellular networks with embodied energy, *I. Humar, X. Ge, L. Xiang, M. Jo, M. Chen, and J. Zhang*, IEEE Network, vol. 25, no. 2, pp. 40–49, 2011.
http://www.researchgate.net/publication/224224699_Rethinking_energy_efficiency_models_of_cellular_networks_with_embodied_energy
- 5) Green Radio: Radio Techniques to Enable Energy-Efficient Wireless Networks
http://eprints.soton.ac.uk/271431/5/MCOM2011JUN_GR2_PUB.pdf
- 6) EARTH Project: Final report on green radio technologies D4.3, pp. 23-27
https://bscw.ict-earth.eu/pub/bscw.cgi/d70472/EARTH_WP4_D4.3.pdf
- 7) Green Radio Communication Networks, *Ekram Hossain, Vijay K. Bhargava, Gerhard P. Fettweis*, Cambridge University Press August 2012, pp 195-196.
<http://www.rlsfile.com/34812-green-radio-communication-networks.html>
- 8) Network energy saving technologies for green wireless access networks, *Tao Chen, Yang Yang, Honggang Zhang, Haesik Kim, Kari Horneman*, IEEE Wireless Communications, October 2011, pp 30-37
<http://mypage.zju.edu.cn/attachments/2012-02/07-1329642992-645889.pdf>
- 9) Energy-efficiency of MIMO and Cooperative MIMO techniques in sensor networks
Shuguang Cui, Student Member, IEEE, Andrea J. Goldsmith, Senior Member, IEEE, and Ahmad Bahai, Member, IEEE, pp 2
http://www.ece.tamu.edu/~cui/publications/final_jsac.pdf

- 10) Cell zooming for cost-efficient green cellular networks, *Zhisheng Niu, Yiqun Wu, Jie Gong, and Zexi Yang*, Tsinghua University
<http://network.ee.tsinghua.edu.cn/papers/NiuCommag10.pdf>
- 11) IST-4-027756 WINNER II Channel Models, Part1, pp 26,28
<http://www.signal.uu.se/Publications/WINNER/WIN2D112.pdf>
- 12) Challenges and enabling technologies for energy aware mobile radio networks, *Luis M. Correia, Dietrich Zeller, Oliver Blume, Dieter Ferling, Ylva Jading, Istvan Godor, Gunther Auer, Liesbet Van der Perre*, IEEE Communications Magazine • November 2010, pp. 67-69
http://www.greentouch.org/uploads/documents/IEEECommMag_Earth.pdf
- 13) EARTH Project: Final report on green radio technologies D4.3, pp. 17-28
https://bscw.ict-earth.eu/pub/bscw.cgi/d70472/EARTH_WP4_D4.3.pdf
- 14) Heterogeneous Networks in LTE, *Jeanette Wannstrom, masterltefaster.com and Keith Mallinson, WiseHarbor* <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/1576-hetnet>
- 15) LTE-Advanced: Heterogeneous Networks, 2010 European Wireless Conference, *Aamod Khandekar, Naga Bhushan, Ji Tingfang, Vieri Vanghi*
<http://www.engr.uconn.edu/~bing/cse330/papers/heter-net/LTE-Advanced.pdf>, pp. 978-982
- 16) Small cell market status, Informa Telecomms and Media December 2012
<http://www.informatandm.com/wp-content/uploads/2012/12/Small-Cell-Forum-Q4-Market-Status-Report.pdf>
- 17) Energy efficiency definition, Green Communication in 4g Wireless Systems, *Shahid Mumtaz (Editor), Jonathan Rodriguez (Editor)*, pp. 12-13
<https://books.google.gr/books?id=tjWYWsKNwLoC&pg=PA12#v=onepage&q&f=false>
- 18) Energy optimization schemes in heterogeneous wireless mobile networks, *Georgios Kyriazis, Angelos Rouskas*, Department of Digital Systems University of Piraeus, pp. 1
http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=7033269&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D7033269