

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα: Ψηφιακών  
Συστημάτων

Κατεύθυνση:

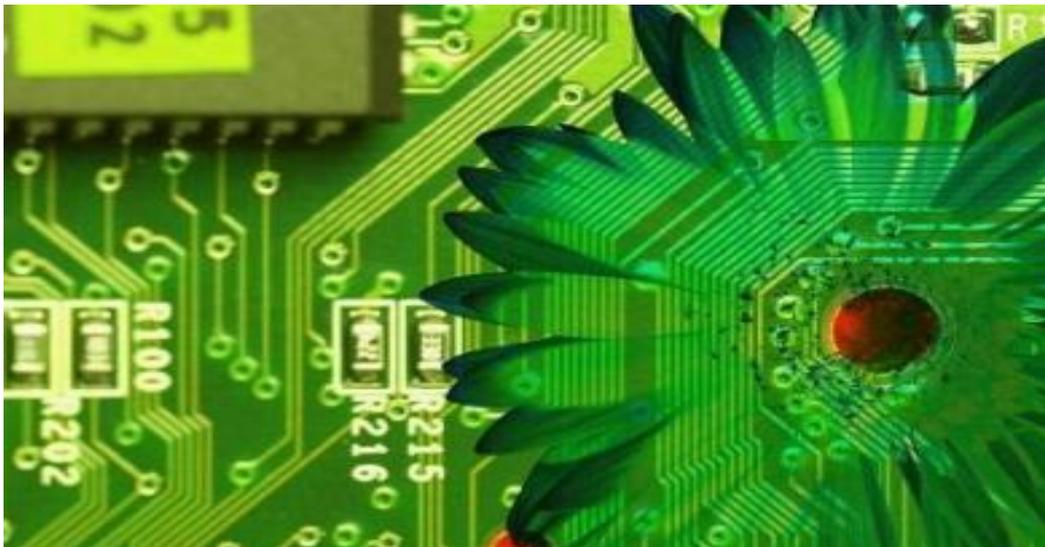
Ψηφιακές Επικοινωνίες και Δίκτυα

# Green Cellular Networks

---

Βανδώρας Κωνσταντίνος

ME/10053



16/5/2014

## Πίνακας περιεχομένων

<i>Κεφάλαιο 1 :Εισαγωγή και προσέγγιση στο χώρο των GreenNetworks</i> .....	3
Εισαγωγή .....	3
Συνέπειες .....	4
Υπάρχουσες Λύσεις .....	6
<i>Κεφάλαιο 2 :Βασικές ισορροπίες και επισκόπηση τεχνικών που εστιάζονται στα GreenNetworks</i> .....	8
Θεμελιώδη trade-off .....	8
DeploymentEfficiency -EnergyEfficiency .....	9
SpectralEfficiency -EnergyEfficiency .....	12
Bandwidth -Power .....	13
Delay-Power .....	15
Προτεινόμενες Τεχνικές .....	16
A proto cooperation-based sleep-wake architecture.....	16
CellZooming .....	19
Two-TierCellularNetwork .....	19
GreenAntennas .....	20
<i>Κεφάλαιο 3 : Περιγραφή CellZooming και συνθήκες υλοποίησης</i> .....	22
Εισαγωγή .....	22
Συνθήκες Υλοποίησης.....	23
Συνθήκες Λειτουργίας CellZooming.....	25
Συνθήκες και αλγόριθμοι υλοποίησης.....	27
<i>Κεφάλαιο 5-Υλοποίηση αλγορίθμου σε λογισμικό Matlab</i> .....	32
Εισαγωγή-δεδομένα .....	32
Ροή και επεξήγηση κώδικα .....	32
Results .....	35
Επίλογος .....	49
<i>Κεφάλαιο 4</i> .....	51
References .....	51
<i>Παράρτημα 1: Κώδικας υλοποίησης αλγορίθμου</i> .....	53
PL.m.....	53
Cell_Zooming.m.....	53
Cell_Zooming_Iterative.m .....	58

# *Κεφάλαιο1 :Εισαγωγή και προσέγγιση στο χώρο των GreenNetworks*

## *Εισαγωγή*

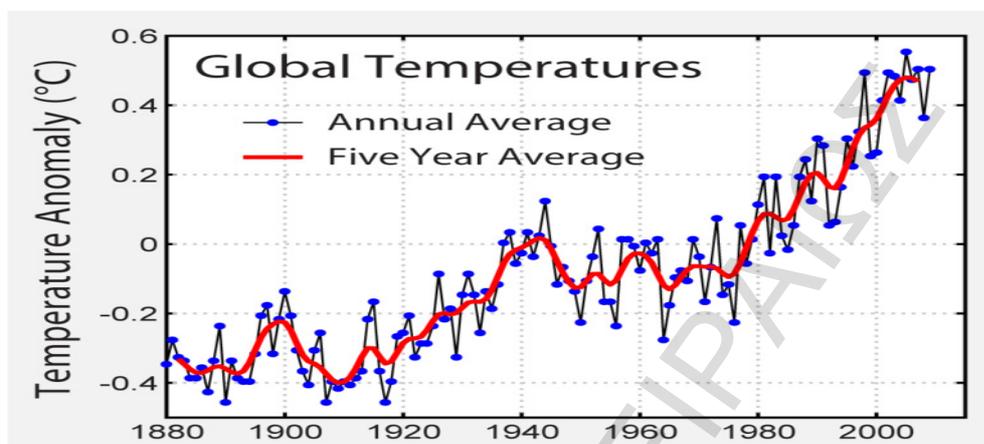
Οι περιβαλλοντολογικές αλλαγές που έχουν προκληθεί εξαιτίας της συνεχής ρύπανσης που προκαλεί ο άνθρωπος σε βάρος του οικοσυστήματος είναι τεράστιες και είναι κοινώς αποδεκτό ότι πρέπει να βρεθούν λύσεις όπου να είναι άμεσα εφαρμόσιμες. Στους διάφορους τομείς που επηρεάζουν άμεσα τον περιβάλλον δεν θα μπορούσε να εξαιρεθεί ο τηλεπικοινωνιακός τομέας όπου με τις υπάρχουσες υποδομές του σπαταλά τεράστια ποσά καταναλωμένης ισχύος έχοντας σαν αποτέλεσμα την άμεση μόλυνση του περιβάλλοντος.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται όλο και πιο εμφανές οι επιπτώσεις που έχουν προκληθεί με τις δραστηριότητες του ανθρώπου να προκαλούν ανακατατάξεις στην ισορροπία του οικοσυστήματος προκαλώντας την σταδιακή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας. Αυτό είναι συνυφασμένο με κλιματολογικές αλλαγές, σε ξηρά και θάλασσα καθώς και επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου.

Είναι γεγονός τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί απότομη αύξηση στις απαιτήσεις των χρηστών ως προς την κίνηση δεδομένων και θέληση για άμεση πρόσβαση στο διαδίκτυο. Είναι λογικό ότι για να μπορέσουν να ικανοποιηθούν οι ανάγκες των χρηστών άμεσα και αποτελεσματικά κρίνεται αναγκαία η βελτιστοποίηση της υπάρχουσας αρχιτεκτονικής του δικτύου όπου θα πρέπει να «μετατραπεί» σ' ένα ευφύες και πάνω απ' όλα ευέλικτο δίκτυο. Είναι λοιπόν ευνόητο ότι βάση των απαιτήσεων κρίνεται επιτακτική η ανάγκη για παροχή υψηλών ταχυτήτων οποιαδήποτε στιγμή θελήσει ο πελάτης με επακόλουθο, βέβαια, της συνεχή και αυξανόμενη διαρκώς χρήση καταναλωτικών πόρων.

Η συνεχής αύξηση της καταναλωμένης ισχύς είναι η αιτία που έχει θέσει τους παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών μπροστά σε ένα τεράστιο θέμα που αφορά την προστασία του περιβάλλοντος και παράλληλα την επιτυχή ικανοποίηση των απαιτήσεων που έχουν πλέον οι χρήστης κινητής τηλεφωνίας. Και αυτό είναι και το μεγάλο στοίχημα γιατί θα κερδίσει αυτός που θα καταφέρει να επιδείξει μια

οικολογική συμπεριφορά ως προς το περιβάλλον και παράλληλα βελτιστοποίηση στην παροχή υπηρεσιών.



Εικόνα 1: Κλιμάκωση της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας του περιβάλλοντος[1]

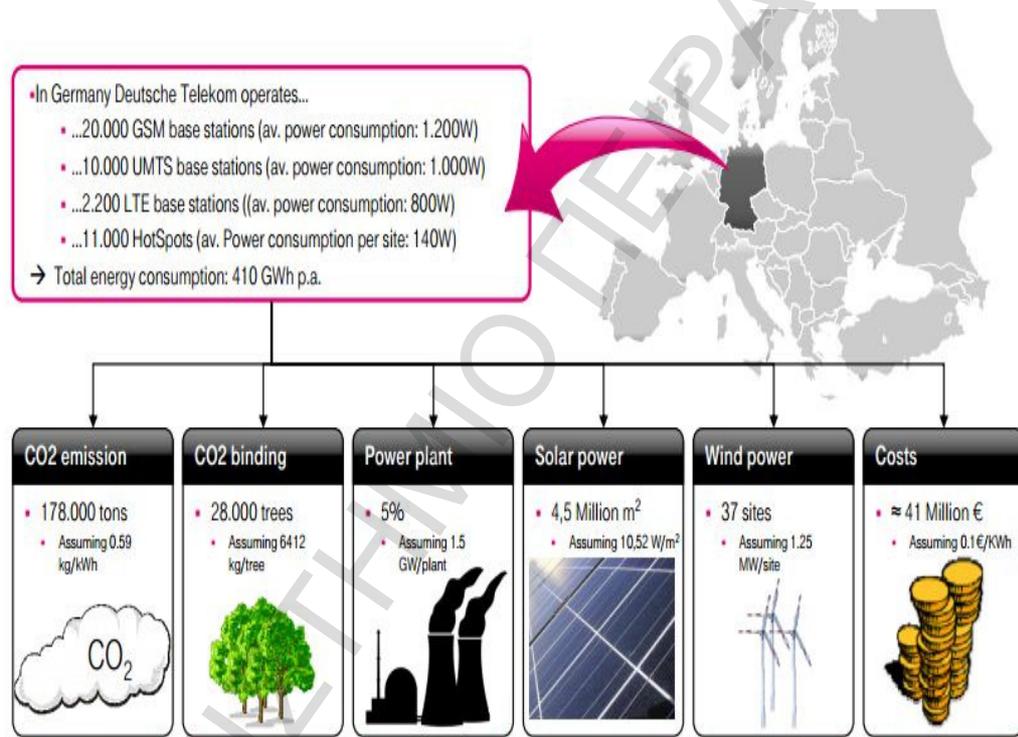
## Συνέπειες

Τα ανωτέρω μπορούν να διαπιστωθούν και με αριθμούς όταν βάση μιας έκθεσης που δημοσιεύθηκε στην Ευρωπαϊκή Ένωση απαιτείται μείωση της τάξης 15-20 % της συνολικής εκπομπής ρύπων μέχρι το 2020 με στόχο να διατηρηθεί η παγκόσμια θερμοκρασία έως και 20C πάνω σε σχέση με τα σημερινά επίπεδα. Σύμφωνα με την Environmental Protection Agency (EPA) η κατανάλωση ενέργειας από servers και από άλλους πόρους έχουν διπλασιαστεί. Ενδεικτικά μόνο το 2010 οι εκπομπές ρύπων διοξειδίου του άνθρακα από τους σταθμούς βάσης έφτασε τους 22 μεγατόνους[2]. Και αυτό είναι απόλυτα λογικό καθώς προς ικανοποίηση των αναγκών έχει προκληθεί δραματική επέκταση των υποδομών του δικτύου και συνεπώς αύξηση των ενεργειακών αναγκών.

Ο όγκος των μεταδιδόμενων δεδομένων αυξάνεται κατά ένα παράγοντα x10 κάθε 5 χρόνια, αριθμός ο οποίος αντιστοιχεί σε αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά ποσοστό 16-20%. Στα κυψελωτά δίκτυα κάθε σταθμός βάσης απαιτεί περίπου 2.7kW ηλεκτρικής ισχύος ποσό το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε κατανάλωση δεκάδων MW κάθε χρόνο για ευρυζωνικά δίκτυα όπως προαναφέρθηκε. Μάλιστα αξιοσημείωτο είναι πως το σύνολο της ενέργειας που καταναλώνεται από τα κυψελωτά ασύρματα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, τα ενσύρματα τηλεπικοινωνιακά

δίκτυα καθώς και το διαδίκτυο αποτελεί το 3% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης [3].

Στο παρακάτω σχήμα έχουμε κάποιες σχετικές πληροφορίες για την χώρα της Germany Deutsche Telekom όπου απεικονίζεται το πλήθος των Base Stations που διαθέτει και η επιμέρους κατανάλωση ισχύος που γίνεται και ενδεικτικά αναφέρεται μόνο η κατανάλωση ενός κράτους για να γίνει αντιληπτό η έκταση που λαμβάνει το πρόβλημα της μόλυνσης του περιβάλλοντος όταν αναφερόμαστε σε κλίμακα παγκοσμίου επιπέδου.



Εικόνα 2: Στατιστικά στοιχεία για το κράτος της Γερμανίας [13]

Ανωτέρω έχουμε μια εικόνα για την κατάσταση που επικρατεί στο κράτος της Γερμανίας και απ αυτήν μπορούν να αντληθούν κρίσιμα συμπεράσματα. Είναι εμφανής οι συνέπειες που έχουμε στο περιβαλλοντικό τομέα αλλά και στον οικονομικό καθώς έχει διαπιστωθεί το κόστος της καταναλισκόμενης ισχύος ως 0.1 €/KWh.

Ο συνολικός αριθμός σταθμών βάσεων ανέρχεται στα 4.000.000 για εξυπηρέτηση χρηστών κινητής τηλεφωνίας και κατά μέσο όρο ο κάθε χρήστης καταναλώνει 25MWh ανά έτος. Έχει αποδειχθεί ότι το 70-80% της συνολικής ισχύος σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας καταναλώνεται από τους σταθμούς βάσης, συνεπώς κρίνεται απαγορευτική η περαιτέρω η αύξηση τους. Η καταναλωμένη ισχύς αποτελεί πρωταρχικό ζήτημα για τους παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών καθότι από την μια πλευρά δαπανούνται τεράστια οικονομικά ποσά, αν αναλογιστεί κανείς ότι το κόστος ενέργειας ανά σταθμό βάσης υπολογίζεται στα 3.200\$ ετησίως και από την άλλη είναι τεράστιες οι επιπτώσεις στον περιβαλλοντικό τομέα [4].

Βάση των ανωτέρω, λοιπόν, υπάρχει γενικά μια κατεύθυνση ως προς την βελτιστοποίηση της υπάρχουσας υποδομής των δικτύων δίχως την περαιτέρω αύξηση των BaseStation αλλά , κατά κάποιον τρόπο, μίας πιο έξυπνης εκμετάλλευσής τους. Έτσι οι εταιρείες παρουσιάζουν προς το περιβάλλον μια πιο οικολογική συμπεριφορά και παράλληλα εξοικονομούνται τεράστια οικονομικά ποσά που προορίζονταν στην καταναλωμένη ισχύς. Είναι διπλό το κέρδος καθότι πλέον στην σημερινή εποχή έχει γίνει πλήρως κατανοητό η σημασία της προστασίας του περιβάλλοντος και το καταναλωτικό κοινό επικροτεί και στηρίζει εταιρείες που στοχεύουν και θέτουν σε προτεραιότητα μια «πράσινη» πολιτική.

## Υπάρχουσες Λύσεις

Για να επιτευχθεί η καλύτερη εκμετάλλευση της υπάρχουσας υποδομής έχει κριθεί αναγκαία η αυτονομία του δικτύου με σκοπό να παρέχει εξίσου υψηλό QoS και παράλληλα να τηρεί τα ενεργειακά standards που έχουν τεθεί. Προφανώς κάνοντας αναφορά σε αυτονομία θα πρέπει το δίκτυο από μόνο του σε συνδυασμό με την βοήθεια «έξυπνων» αλγορίθμων να κρίνει και να εκτελεί πλέον όμως σύμφωνα με τις ανάγκες που υπάρχουν από τους χρήστες.

Κρίνεται λοιπόν επιτακτική η ανάγκη κατανάλωσης της ισχύος μόνο κατά απαίτηση των αναγκών του χρήστη έτσι ώστε να αποφευχθεί η άσκοπη χρήση καταναλωτικών πόρων δίχως να υπάρχει λόγος. Τα ανωτέρω είναι άκρως εφικτά στοχεύοντας πρωταρχικά στην ελαχιστοποίηση της καταναλωμένης ενέργειας των BaseStation πραγματοποιώντας καλύτερο σχεδιασμό στο hardware αλλά και στο

softwareμέρος επικεντρώνοντας στην επίτευξη χαμηλής ισχύος σε κατάσταση αναμονής του δικτύου και ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ο οποίος θα είναι προσαρμοστικός σύμφωνα με τις υπάρχουσες απαιτήσεις.

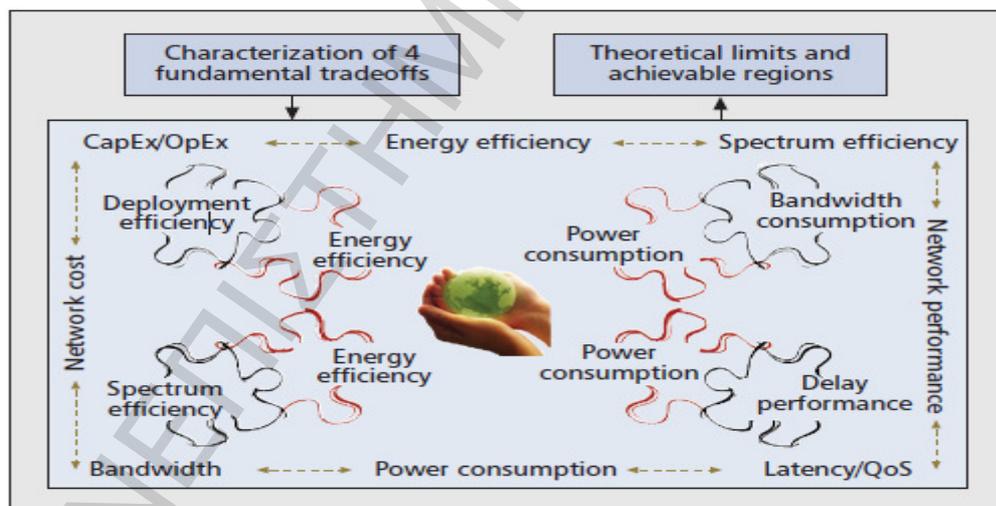
Γίνεται αντιληπτό πλέον ότι κάνοντας αναφορά σε «έξυπνους αλγορίθμους» θα υπάρχει η δυνατότητα, κρίνοντας την κίνηση εντός της κυψέλης, να μεταβαίνει ο σταθμός βάσης σε activeή sleepmode. Αυτό βέβαια μόνο εύκολο δεν είναι καθώς θα πρέπει να τηρούνται κάποια κριτήρια για να υπάρχει αποτελεσματικότητα και παράλληλα θα διατηρείται το QoS προς τον χρήστη στα ίδια, υψηλά, επίπεδα. Πιο αναλυτικά έχουμε ένα trade-off μεταξύ του energy efficiency-blocking probability και είναι πολύ σημαντικό γιατί πρέπει να εξετάζονται όλα τα σενάρια αλλά μέχρι το σημείο που θα μιλάμε για υψηλά επίπεδα QoS. Τι σημασία θα έχει αν απενεργοποιήσουμε έναν αριθμό base station μειώνοντας την καταναλωμένη ισχύ αλλά αυξάνοντας, παράλληλα, κατακόρυφα την πιθανότητα ο χρήστης να μην μπορεί να πραγματοποιήσει κλήση και να μην μπορεί να εξυπηρετηθεί άμεσα; Όλα αυτά είναι ισορροπίες που θα εξεταστούν στην συνέχεια και θα βρεθεί η χρυσή τομή για να χαρακτηριστεί το σύστημα λειτουργικό και αποτελεσματικό.

Πρέπει όμως να υπάρχει και η συνείδηση από την πλευρά του καταναλωτή διότι δεν είναι λίγες οι φορές που γίνεται αλόγιστη χρήση διαφόρων υπηρεσιών χωρίς να υπάρχει η σκέψη κατά πόσο επιβαρύνουμε την ρύπανση του περιβάλλοντος. Θα ήταν λοιπόν αρκετά χρήσιμο η τοποθέτηση «έξυπνων μετρητών» στα κινητά τηλεκάρτες όπου θα υποδεικνύουν στο χρήστη πόσο ενέργεια σπαταλά και το μερίδιο ευθύνης στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Κατά αυτό τον τρόπο στοχεύουμε στην ευαισθητοποίηση του χρήστη και γενικά σε μια αλλαγή τρόπου σκέψης ως προς το περιβάλλον.

## Κεφάλαιο 2 :Βασικές ισορροπίες και επισκόπηση τεχνικών που εστιάζονται στα GreenNetworks

### Θεμελιώδη trade-off

Είναι πολύ σημαντικό στα greennetworks να εξετάζεται η αποτελεσματικότητα σε καθετί που ερευνάται για να υπάρχουν και τα επιθυμητά αποτελέσματα που θα μπορούν να ικανοποιήσουν τις αυξημένες απαιτήσεις που έχουν τεθεί[5]. Παρακάτω θα αναλυθούν τέσσερα βασικά μεγέθη που συνθέτουν την αλυσίδα των πιο βασικών ισορροπιών που πρέπει να τηρηθούν κατά τρόπο που θα χαρακτηρίσει το σύστημα μας ευέλικτο και αποδοτικό.



Εικόνα3: Θεμελιώδη trade-offs[6]

- i. Deployment Efficiency-Energy Efficiency
- ii. Spectral Efficiency-Energy Efficiency
- iii. Bandwidth-Power
- iv. Delay-Power

Η δυσκολία για να εισάγεις τις ανωτέρω ισορροπίες κατά τον καλύτερο τρόπο εντοπίζεται στο γεγονός ότι από υπάρχουν αποκλίσεις μεταξύ θεωρητικής και πρακτικής προσέγγισης. Σ' ένα μαθηματικό μοντέλο δεν είναι δυνατόν να συμπεριληφθούν συνθήκες που παρουσιάζονται κατά την πράξη όπως για παράδειγμα η συμπεριφορά των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Πρέπει λοιπόν να γίνει μια προσεκτική προσέγγιση και των δύο πλευρών (θεωρητικής-πρακτικής) και να βρεθεί η χρυσή τομή όπου θα αποφέρει την βέλτιστη και παράλληλα την πιο αποδοτική συμπεριφορά του συστήματος.

### Deployment Efficiency -Energy Efficiency

Το deployment efficiency μπορεί να ερμηνευθεί ως το μέτρο της ρυθμαπόδοσης του συστήματος ανά μονάδα κόστους εγκατάστασης. Το κόστος εγκατάστασης συμπεριλαμβάνει δυο παράγοντες:

- i. Capital Expenditure (CapEx): Αναφερόμαστε σε δαπάνες υποδομής (εξοπλισμός σταθμού βάσης), τον backhaul εξοπλισμό μετάδοσης, την εγκατάσταση στον χώρο λειτουργίας κ.α.
- ii. Operational Expenditure (OpEx): Ορίζονται τα έξοδα κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος, μίσθωσης του χώρου που βρίσκεται ο σταθμός βάσης αλλά και τα λειτουργικά έξοδα συντήρησης που απαιτούνται [7].

Και τέλος το energy efficiency το οποίο ορίζεται ως η ρυθμαπόδοση του δικτύου ανά μονάδα ενεργειακής κατανάλωσης. Είναι δύο έννοιες αντιδιαμετρικές που παρουσιάζουν μεγάλη δυσκολία ώστε να βρεθεί η χρυσή τομή και να παρουσιαστούν τα βέλτιστα διαστήματα αυτού του trade-off καθώς από την μια πλευρά προσπαθώντας να εξοικονομηθούν τα πάγια έξοδα ενοικίασης χώρων και συντήρησης των σταθμών βάσης, υπάρχει η τάση για μεγαλύτερη κάλυψη δικτύου από τα υπάρχοντα base stations. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το path loss μεταξύ του base station και του κινητού τερματικού να αυξάνεται κατά 12dB κάθε που η ακτίνα του BS διπλασιάζεται.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} = \frac{P_t}{4\pi d^2} G_t G_r \frac{\lambda^2}{4\pi L} \quad 2.1$$

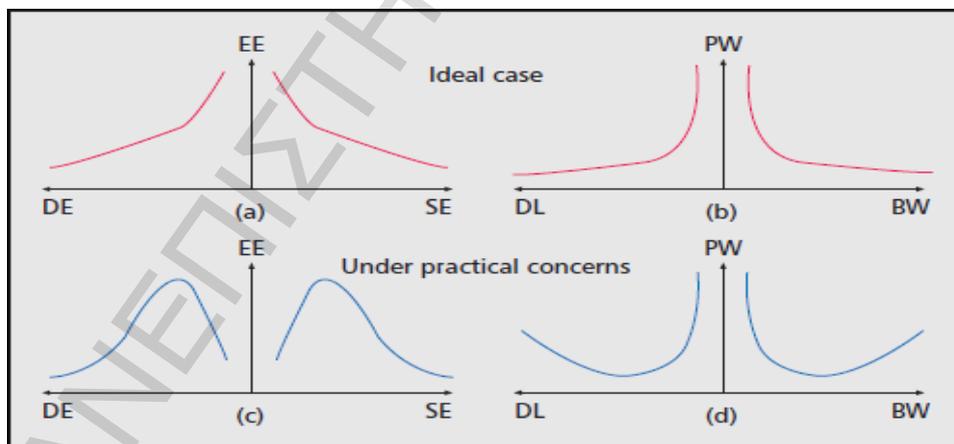
$G_r$ : απολαβή κεραίας BS

$G_r$ : απολαβή κεραίας κινητού τερματικού

$c$ : ταχύτητα ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ( $3 \times 10^8$  m/sec)

$f$ : συχνότητα του φέροντος

Από την άλλη οπτική πλευρά προσπάθεια αύξησης των σταθμών βάσης για την ίδια περιοχή κάλυψης εξοικονομεί την συνολική εκπεμπόμενη ισχύ του δικτύου. Έχει διαπιστωθεί ότι μειώνοντας την ακτίνα της κυψέλης από τα 1000m σε 250m το μέγιστο EE για HSDPA δίκτυο διαμορφώνεται από τα 0.11Mb/Jsτα 1.92Mb/Js παρατηρώντας αύξηση 17.5% [8].



Εικόνα 4: Γραφική απεικόνιση θεωρητικής και πρακτικής προσέγγισης[6]

Κατά το σχεδιασμό ενός δικτύου τα δύο αυτά μεγέθη οδηγούνται σε αντίθετες πορείες καθότι από την μια πλευρά προσπαθώντας να εξοικονομηθούν έξοδα από τους basestations και περιορίζοντας τον αριθμό τους προωθείται μια τακτική αύξησης της περιοχής κάλυψης της κυψέλης, παρατηρείται μείωση του pathloss μεταξύ

σταθμού βάσης - κινητού τερματικού. Από την άλλη πλευρά, σ' ένα δεδομένο χώρο κάλυψης της κυψέλης αυξάνοντας τον αριθμό των σταθμών βάσης περιορίζεται η συνολικά μεταδιδόμενη ισχύς.

Είναι στόχος, λοιπόν, η εξεύρεση λύσεων και τακτικών που θα έχει την δυνατότητα δυναμικής διαχείρισης των πόρων σύμφωνα με τις τρέχουσες ανάγκες που προκύπτουν εντός της κυψέλης. Να σημειωθεί δε ότι είναι πολύ σημαντικό και έχει πρωταρχικό λόγο στη διαμόρφωση της πρακτικής καμπύλης το περιβάλλον στο οποίο καλείται να ανταπεξέλθει το σύστημα μιλώντας για αστικές ή μη αστικές περιοχές.

Είναι αρκετά ελπιδοφόρο όμως το γεγονός ότι τα νεοεισαχθέντα συστήματα ασύρματων επικοινωνιών θέτουν πρωταρχικό στόχο την βελτιστοποίηση των εξεταζόμενων μεγεθών καθότι σε lte-advance για παράδειγμα παρατηρείται το όφελος του συστήματος καθότι λόγω της συνεργασίας macro-cells και micro-cells το αποτέλεσμα είναι να υπάρχει ισοκατανομή της κίνησης και συνεπώς βέλτιστη διαχείριση της καταναλωμένης ενέργειας.

Μαθηματικά μπορεί να γίνει η εξής προσέγγιση [9]:

Από τον κανόνα του Shannon ισχύει:

$$R = W \log_2 \left( 1 + \frac{P}{WN_0} \right) \quad 2.2$$

W: Εύρος ζώνης καναλιού

P/WN<sub>0</sub>: Σηματοθρομβικός λόγος

N<sub>0</sub>: Η Φασματική πυκνότητα ισχύος για AWGN κανάλι

Έπειτα για τα μεγέθη DE-EE αντίστοιχα ισχύει:

$$n_{DE} = \frac{T\Delta t}{C} \text{ (bits/\$ ή €)} \quad 2.3$$

$$n_{EE} = \frac{T\Delta t}{E} \text{ (bits/Joule)} \quad 2.4$$

Προσαρμόζοντας τα ανωτέρω στον κανόνα του Shannon ισχύει:

$$n_{EE} = \left( \frac{W}{P} \right) \log_2 \left( 1 + \frac{P}{WN_0} \right) \quad 2.5$$

$$n_{DE} = \left( \frac{W}{C} \right) \log_2 \left( 1 + \frac{P}{WN_0} \right) \quad 2.6$$

$$n_{EE}(n_{DE}) = \frac{n_{DE}C}{\left( 2^{\frac{n_{DE}C}{W}} - 1 \right) WN_0} \quad 2.7$$

## Spectral Efficiency - Energy Efficiency

Το Spectral Efficiency ορίζεται ως η ρυθμιακή απόδοση του συστήματος ανά μονάδα εύρους ζώνης. Μεταβαίνοντας από το GSM στο LTE το επιθυμητό SE μεταπηδά από 0.05 bps/Hz σε 5 bps/Hz. Και σ' αυτή την περίπτωση η ισορροπία που εξετάζεται είναι πάρα πολύ δύσκολά και καθίσταται ανάλογη των συνθηκών μετάδοσης.

Είναι αρκετές οι φορές που οι θεωρητικές προσεγγίσεις διαφόρων μεγεθών αποκλίνουν κατά πολύ της πραγματικότητας. Η θεωρητική προσέγγιση στο εν λόγω tradeoff έχει ως εξής:

Από τον κανόνα του Shannon:

$$R = W \log_2 \left( 1 + \frac{P}{WN_0} \right) \quad 2.8$$

Εν συνεχεία και αντίστοιχα για EE και SE ισχύει:

$$n_{SE} = \log_2 \left( 1 + \frac{P}{WN_0} \right) \quad 2.9$$

$$n_{EE} = \left( \frac{W}{P} \right) \log_2 \left( 1 + \frac{P}{WN_0} \right) \quad 2.10$$

$$n_{EE}(n_{SE}) = \frac{n_{SE}}{(2^{n_{SE}} - 1)N_0} \quad 2.11$$

Η ανωτέρω σχέση αποτυπώνεται στην Εικόνα 4 σαν μια απλή μονοτονική καμπύλη και προσαρμόζοντας την σε πραγματικά περιβάλλοντα η καμπύλη παίρνει σχήμα καμπάνας, γεγονός που αποδεικνύει ότι στο καθετί στοιχείο που μπορεί να χαρακτηρίσει το σύστημα μας όπως απόσταση μετάδοσης δεδομένων από τον σταθμό βάσης, αλγόριθμοι διαχείρισης των πόρων, κωδικοποίηση κ.α. διαδραματίζουν σημαντικές επιπτώσεις μεταξύ EE-SE[10].

Καθίσταται αναγκαίο να γίνουν μελέτες σε πραγματικά περιβάλλοντα παρατηρώντας στοιχεία όπως η γραμμικότητα των ενισχυτών κ.α. ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο είναι εφικτό η αποτύπωση του θεωρητικού μοντέλου σε πραγματικά περιβάλλοντα και κάτω από ποιές συνθήκες αποδίδεται το βέλτιστο trade-off μεταξύ EE-SE.

Οι παρεμβολές που δημιουργούνται από γειτονικά cells είναι ένα από τα κυριότερα προβλήματα που υποβαθμίζουν κατά πολύ τη σχέση που εξετάζεται και μειώνοντας την ενεργειακή απόδοση του συστήματος. Βέλτιστο μέτρο για να επιτευχθεί το αποτελεσματικότερο trade-off είναι να υπάρχει σωστή ανάθεση των πόρων, στους σωστούς χρήστες και το κυριότερο την κατάλληλη στιγμή δίχως να υπάρξει η πραγματική σπατάλη.

## Bandwidth -Power

Αναφερόμαστε στη σχέση μεταξύ της ισχύος μετάδοσης και στο εύρος ζώνης όπου για δεδομένο ρυθμό απόδοσης δεδομένων βάση τον τύπο του Shannon αποτυπώνεται ως εξής:

$$P = WN_0(2^{\frac{R}{N}} - 1) \quad 2.12$$

όπου βάση των ανωτέρω αύξηση του bandwidth μειώνει παράλληλα την ισχύ μετάδοσης πετυχαίνοντας καλύτερο energy efficiency. Η εξέλιξη στο χώρο των ασύρματων επικοινωνιών δείχνει ότι υπάρχει η τάση σταδιακής αύξησης του BW. Πιο συγκεκριμένα στο GSM το BW ανά φέρον είναι ίσο με 200KHz, μετέπειτα στο

UMTS είναι 5MHz και στο LTE 20MHz. Η ανάγκη, λοιπόν, για μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων οδήγησε σε τεχνικές που αποβλέπουν στην αποτελεσματική χρήση του διατιθέμενου φάσματος.

Σε συστήματα όμως όπως το LTE και LTE-Advanced παρέχεται μεγαλύτερη ευελιξία στη χρήση του κατανεμημένου φάσματος και κατά κάποιο τρόπο γίνεται δυναμική ανάθεση αυτού. Η τεχνική του Carrier Aggregation εισήχθη στο LTE με το Release 10 και αποβλέπει στην αύξηση του εύρους ζώνης. Καθώς σχεδιάζεται είναι πάντοτε σημαντικό και ο το θέμα της προσαρμοστικότητας του ως προς την ήδη υπάρχουσα υποδομή αρχιτεκτονικής και μηχανημάτων και γι' αυτό τα carriers σχεδιάστηκαν βάση του Release 8 και Release 9. Τα carriers που ενσωματώνονται στο φάσμα συχνοτήτων ονομάζονται Component Carriers και το εύρος τους κλιμακώνεται από 1.4-3-5-10-15-20 (MHz) με το μέγιστο αριθμό CC να ανέρχεται στα 5 και με μέγιστο συνολικό εύρος φάσματος στα 100MHz [11].

Η τεχνική του cognitive radio έχει αναπτυχθεί και αυτή βάση της κοινής λογικής που κρίνει επιτακτική την ανάγκη βελτίωσης του ανατιθέμενου φάσματος προς τους χρήστες. Με την εν λόγω τεχνική υπάρχει η αντίληψη της κατάστασης του φάσματος στο χώρο σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές και έπειτα διαθέτει δυναμικά τις ελεύθερες συχνότητες που εντοπίστηκαν. Για να θεωρηθεί ωστόσο ένα σύστημα γνωστικό θα πρέπει να γνωρίζει το περιβάλλον στο οποίο καλείται να ανταπεξέλθει, να γνωρίζει τις ανάγκες του χρήστη έτσι ώστε να προσαρμόζεται στο περιβάλλον αποτελεσματικά και τέλος να έχει την ικανότητα «μάθησης» πρωτόγνωρων συμπεριφορών μέσω αυτόνομων μηχανισμών μάθησης.

Κάνοντας λόγο για 'συνείδηση' εννοούμε το πλήθος των αισθητήρων που βοηθά στην συλλογή πληροφοριών. Αυτό αποσκοπεί το σύστημα μας να κατανοεί το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται και να βελτιστοποιεί στο μέγιστο τις παρεχόμενες υπηρεσίες ως προς τον χρήστη. Στο τομέα όπου εξετάζεται η εν λόγω φιλοσοφία είναι εξίσου σημαντικό και η προσαρμοστικότητα που παρουσιάζει το σύστημα. Στοιχεία όπως η φέρουσα συχνότητα, ο κώδικας διόρθωσης σφαλμάτων, ο χρονισμός του συστήματος (TDMA), ο ρυθμός δεδομένων, η ισχύς εκπομπής κ.α θεωρούνται βασικά στοιχεία που πλαισιώνουν την προσαρμοστική συμπεριφορά του συστήματος. Τέλος, για τα γνωστικά συστήματα ο ορισμός της 'μάθησης' έχει να κάνει με την ικανότητα αφού περισυλλεχθούν τα δεδομένα από τους αισθητήρες και αφού

προηγηθεί ανάλυση αυτών να έχει την ικανότητα να αναγνωρίζει συμπεριφορές και να τροποποιείται δίχως επίβλεψη σε τυχόν νέες καταστάσεις.

## Delay-Power

Η καθυστέρηση σ' ένα κυψελωτό σύστημα είναι ο βασικός παράγοντας καθορισμού του Quality of Service που παρέχεται στο χρήστη του κινητού τερματικού. Είναι αρκετά όμως σύνθετο διότι στη GSM αρχιτεκτονική, για παράδειγμα, πιο σημαντικό ήταν η μετάδοση voice ενώ πλέον επικρατεί συνεχής μετάδοσης voice-data αυξάνοντας τον πήχη των απαιτήσεων στο κατακόρυφο διότι είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πότε θα παρέχεται ελάχιστη ισχύς κατά την καθυστέρηση.

Από τον τύπο του Shannon ισχύει ότι :

$$R = W \log_2 \left( 1 + \frac{P}{WN_0} \right) \quad 2.13$$

Ο χρόνος μετάδοσης ενός bit πληροφορίας ορίζεται ως:

$$t_b = \frac{1}{R} \quad 2.14$$

Από τις ανωτέρω σχέσεις προκύπτει ότι :

$$P_b = WN_0 t_b \left( 2^{\frac{1}{t_b W}} - 1 \right) \quad 2.15$$

Από την θεωρητική λοιπόν προσέγγιση η σχέση του DL-PW παρουσιάζεται ως μια απλή μονοτονική καμπύλη παρ' όλα αυτά μεταβαίνοντας σε πρακτικές εφαρμογές που εμπεριέχουν και άλλους περιορισμούς και μέρη που δεν περιλαμβάνονται στις θεωρητικές προσεγγίσεις όπως συμπεριφορά ηλεκτρικών κυκλωμάτων υπάρχει μια σχετική απόκλιση. Το DL είναι αρκετά σύνθετο καθότι δεν μιλάμε για προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα μετάδοσης δεδομένων όπου θα μπορούσε να λειτουργήσει ένας αλγόριθμος μείωσης της ισχύος κατά το βέλτιστο τρόπο αποστολής πακέτων.

Στη προκείμενη περίπτωση σαν χρόνος DL υπολογίζεται ο χρόνος παραμονής του πακέτου στην ουρά μέχρι και που θα αποσταλεί. Για να αντιμετωπιστεί κατά τον

καλύτερο τρόπο η αποστολή των πακέτων σε κανάλι με μη προβλέψιμους ρυθμούς μετάδοσης έχει προταθεί ένα “lazyschedule” μοντέλο το οποίο ελαχιστοποιεί την συνολική ισχύ μετάδοσης και εγγυάται την μεταβίβαση όλων των πακέτων σε προκαθορισμένο χρόνο λαμβάνοντας υπόψη την αβεβαιότητα του καναλιού και την τυχαία κίνηση [12].

## Προτεινόμενες Τεχνικές

Είναι γεγονός και καθίσταται πλέον επιτακτική η αλλαγή της υπάρχουσας αρχιτεκτονικής κατά τρόπο τέτοιο ώστε τα αποτελέσματα να είναι εξίσου αποδοτικά και κυρίως να βασίζονται σε μια greentaκτική. Είναι αρκετά δύσκολο να υπάρχει συνεχή και ταυτόχρονη τήρηση των ανωτέρω tradeoff αλλά είναι αυτά που θέτουν τις βάσεις της νέας λογικής. Γύρω από αυτή την τάση έχουν αναδειχθεί σημαντικές ιδέες που προτείνουν ριζικές αλλαγές σε πολλά επίπεδα και τα αποτελέσματα τους είναι άκρως ενδιαφέροντα.

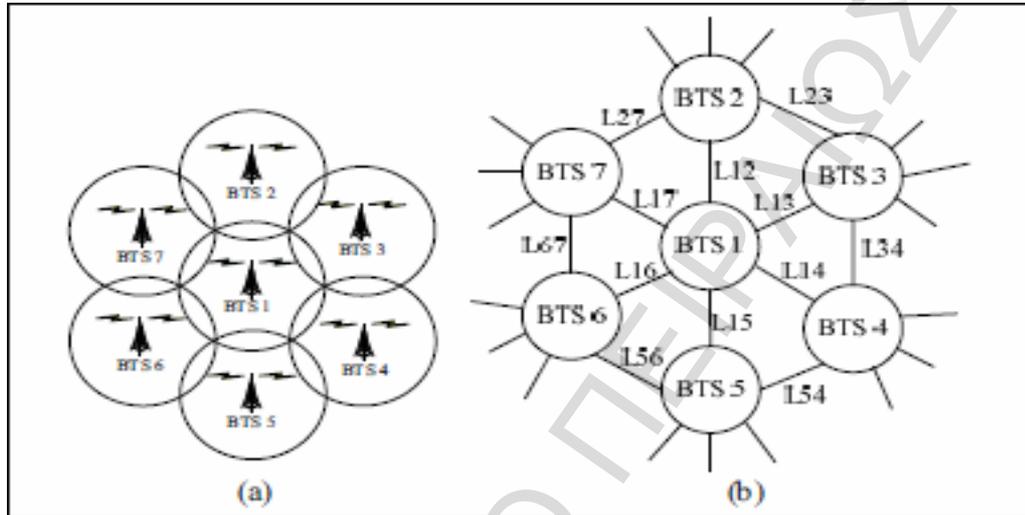
### A proto cooperation-based sleep-wake architecture

Σ’ αυτή την τεχνική υπάρχει η κατεύθυνση αδρανοποίησης του σταθμού βάσης αφού πρώτα αξιολογηθεί η κίνηση που υπάρχει εντός της κυψέλης. Υπάρχουν τρεις καταστάσεις που μπορεί να περιέλθει ο σταθμός βάσης[13]:

- i. Activemode: Πλήρης ρυθμός λειτουργίας σταθμού βάσης.
- ii. Sleepmode: Ο σταθμός βάσης δεν λαμβάνει ούτε δέχεται κάποιο σήμα εκτός από το τμήμα του wake-upmodule το οποίο είναι πάντα ενεργοποιημένο και δέχεται από τους γειτονικούς σταθμούς σήμα για την αναγκαιότητα της αφύπνισης [14,15].
- iii. Offmode: Υπάρχει πλήρη απενεργοποίηση του σταθμού βάσης αλλά σε καμία περίπτωση δεν συνίσταται καθότι η ισχύς που απαιτείται για την επανεκκίνηση του είναι αρκετά υψηλή και δεν τηρεί τα όρια που θέτει η greenλογική

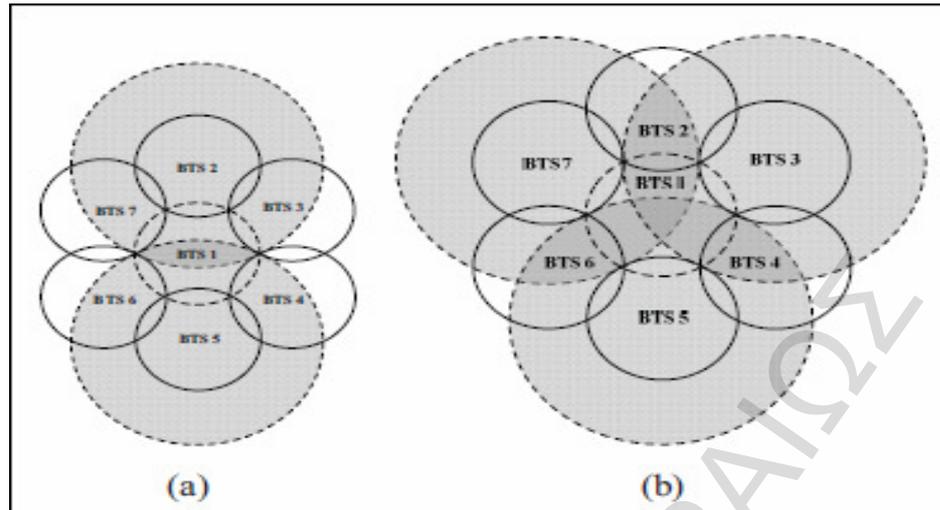
Στόχος είναι η συνεργασία των basestations με κριτήρια όπως η κατανομή της κίνησης, του εύρους ζώνης και «έξυπνα handovers» όπου θα χαρακτηρίζουν το σύστημα πλέον ευφυή και ευέλικτο. Κάθε σταθμός βάσης θα διαθέτει ένα τμήμα το

οποίο θα ονομάζεται «sleep/wake-upmodule» το οποίο θα έχει δύο segments. Το πρώτο θα είναι το decisionmakerόπου θα είναι υπεύθυνο σε ποια κατάσταση θα μεταβεί ο BS και το δεύτερο θα είναι το wake-upmoduleτο οποίο σύμφωνα με την δρομολόγηση πληροφοριών θα είναι υπεύθυνο για την αφύπνιση των σταθμών βάσης που πρέπει άμεσα να μεταβούν σε activemode.



Εικόνα 5:(α) κυψελωτό δίκτυο 7BS's- (b) πιθανοί συνδυασμοί συνεργασίας γειτονικών BS[13]

Στην ανωτέρω εικόνα απεικονίζεται ένα δίκτυο επτά κυψελών και οι αλληλεπιδράσεις που είναι εφικτό να επιτευχθούν στους μεταξύ γειτονικούς σταθμούς βάσης. Για παράδειγμα έστω ότι BS1 κρίνεται εφικτό να μεταβεί σε sleepmode καθίσταται υποχρεωτικός ο συνδυασμός των BS που θα αναλάβουν την κίνηση του BS1 όπως για παράδειγμα ο BS2-5, BS3-6, BS4-7.Στην παρακάτω εικόνα διαφαίνεται η η ανάληψη του φορτίου της κίνησης του BS1 από τους BS2-5 στην εικόνα α και στην β από τους BS3-5-7.



Εικόνα 6:(α)ΣυνεργασίαBS2-5- (b) Συνεργασία BS3-5-7 [13]

Για να μπορέσει να κριθεί επιτυχής η προσπάθεια αυτή υπάρχουν τέσσερα βασικά κριτήρια τα οποία κρίνουν κατά πόσο είναι ο σταθμός σε θέση να τεθεί σε sleepmode:

- Traffic sharing
- Bandwidth sharing
- Intelligent handovers
- Exchange of Information

Είναι κρίσιμες οι μεταβάσεις από activemodese σε sleepmodeκαι το αντίθετο και για να κριθούν επιτυχής πρέπει να υποστηρίζονται από τον κατάλληλο αλγόριθμο ο οποίος βάση των ανωτέρω θα αξιολογεί τις υπάρχουσες συνθήκες, έχοντας δύο threshold:

- i. Lowtraffic: Στο ποίοobasestationαναζητά τον καλύτερο συνδυασμό γειτονικών σταθμών βάσης έτσι ώστε να τεθεί ο ίδιος σε κατάσταση αδρανοποίησης. Τα τερματικά που βρίσκονται εντός της κυψέλης ανατίθενται στους γειτονικούς σταθμούς που είναι σε activemode.
- ii. Hightraffic: Στη περίπτωση αυτή υπάρχει υπέρβαση της κίνησης που μπορεί να εξυπηρετήσει ο σταθμός και γίνεται προσπάθεια κατανομής της κίνησης και στους γειτονικούς σταθμούς βάσης.

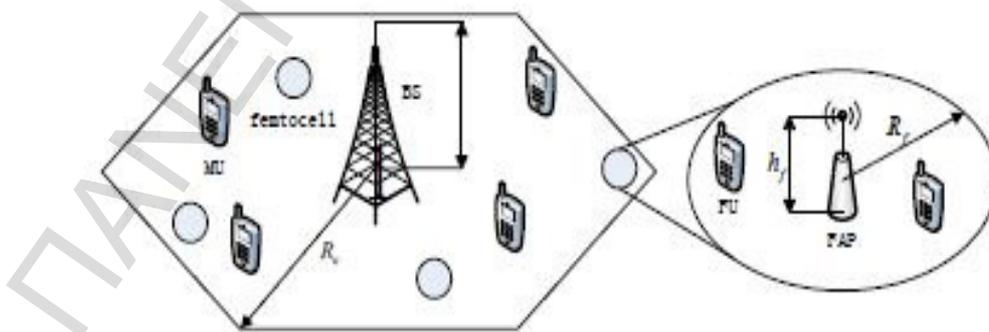
## CellZooming

Στην τεχνική αυτή υπάρχει μια προσαρμοστική ρύθμιση του χώρου της κυψέλης δεδομένου της κίνησης που παρουσιάζεται. Και εδώ υποστηρίζεται από κατάλληλους αλγορίθμους οι οποίοι κρίνοντας τα ποσοστά κίνησης που υπάρχουν εστιάζουν την εμβέλεια του σταθμού βάσης της κυψέλης είτε προς τα μέσα είτε προς τα έξω. Είναι από τις πιο δύσκολες τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί στο χώρο των πράσινων δικτύων καθότι πρέπει να ανταπεξέλθει σε οποιεσδήποτε μεταβολές κίνησης των κινητών τερματικών ώστε να παραμένει σε υψηλά επίπεδα το QualityofService.

## Two-Tier Cellular Network

Υπάρχει η κατεύθυνση δημιουργίας ενός δικτύου δυο ταχυτήτων αποβλέποντας στην καλύτερη κάλυψη των κινητών τερματικών και μειώνοντας την καταναλωμένη ισχύ καθότι μειώνεται η απόσταση πομπού-δέκτη κατ'επέκταση έχει ως αποτέλεσμα:

- i. Υψηλή ποιότητα ζεύξης μεταξύ πομπού-δέκτη (Υψηλό QoS)
- ii. Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων
- iii. Υψηλότερη ενεργειακή απόδοση



Εικόνα3:ΑρχιτεκτονικήTwo-Tier cellular network [16]

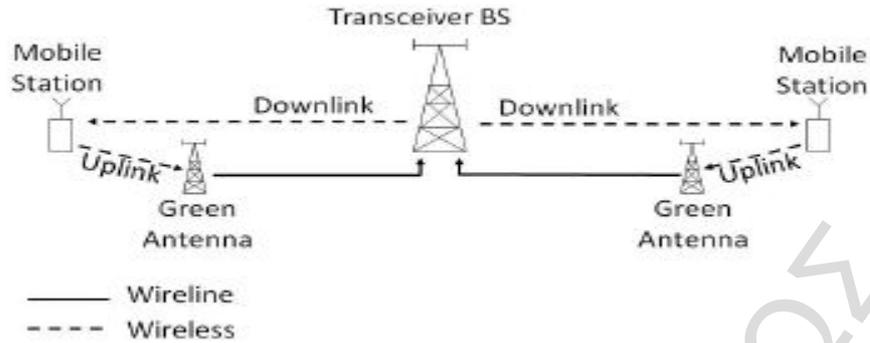
Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα εντός του macro-cell (first-tier) αναπτύσσονται αρκετά femto-cells (FAP'S) τα οποία καλούνται να βελτιστοποιήσουν την κάλυψη του δικτύου ακόμα και στα όρια της κυψέλης. Η πρόσβαση των χρηστών στα femtocells μπορεί να είναι είτε δημόσια όπου παρέχεται πλήρης πρόσβαση είτε ιδιωτική όπου παρέχεται ελεγχόμενη πρόσβαση στα femtocells και κυρίως από μεγάλες εταιρίες που θέλουν να έχουν την αποκλειστική διαχείριση των πόρων του συστήματος.

Μεταξύ femtocells και macrocells το ιδανικό θα ήταν να χρησιμοποιούσαν διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων κατά τρόπο που δεν θα επηρέαζε αρνητικά την απόδοση του συστήματος. Κάτι τέτοιο όμως σημαίνει περαιτέρω χρήση συχνοτήτων από την μία, από την άλλη όμως επιτυγχάνεται αποφυγή παρεμβολών μεταξύ femto και macrocells. Σε πραγματικές συνθήκες και για δημόσια πρόσβαση γίνεται κοινή χρήση της ζώνης συχνοτήτων κατά τρόπο που υπάρχει βέλτιστη αξιοποίηση του φάσματος με κίνδυνο πάντα φαινόμενα παρεμβολών να υποβαθμίσουν το QoS προς τους χρήστες.

Είναι μια αρκετά υποσχόμενη τεχνική που βασίζεται πολύ στην μείωση της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη και αποβλέποντας παράλληλα στην βέλτιστη ενεργειακή απόδοση του συστήματος.

## Green Antennas

Στην τεχνική αυτή υπάρχει η θέληση σημαντικής μείωσης της ισχύος του πομπού (Tx) τοποθετώντας στο εσωτερικό της κυψέλης μια green antenna η οποία θα επικοινωνεί με τον σταθμό βάσης είτε ενσύρματα είτε με ασύρματα ζεύξη point to point. Η αρχιτεκτονική ενός τέτοιου δικτύου παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 4: Αρχιτεκτονική δικτύου με greenantennas[17]

Βασικό σε όλες τις ανωτέρω τεχνικές είναι να υποστηρίζεται και η συνεργασία από πλευράς κινητού τερματικού καθότι αλγόριθμοι προσαρμοστικοί σε απότομες μεταβολές αυξάνουν τον πήχη δυσκολίας της greenαρχιτεκτονικής. Σε όλη αυτή την προσπάθεια σημαντικό ρόλο έχει η εκμετάλλευση του contextinformation από πλευράς τερματικού μέσω του οποίου ανταλλάσσονται σημαντικές πληροφορίες έτσι ώστε να τερματικά να μπορούν να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις του εκάστοτε αλγορίθμου. Στη περίπτωση συνύπαρξης διαφορετικών τεχνολογιών (RAT: RadioAccessTechnologies) το τερματικό παρέχει μέσω του contextinformation βασικές πληροφορίες σε realtime όπως userlocation-cellplacing κ.α. μπορώντας να ανταποκριθεί σε ένα δυναμικό handover μεταξύ macro-cell και femto-cells.

## **Κεφάλαιο 3 : Περιγραφή CellZooming και συνθήκες υλοποίησης**

### **Εισαγωγή**

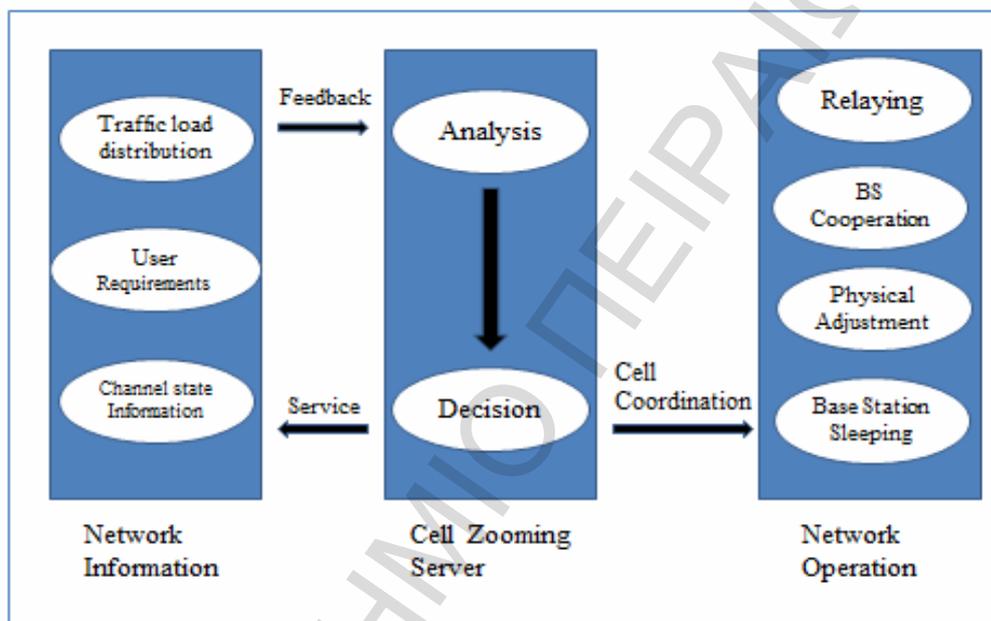
Η ανάγκη λοιπόν αυτή έχει οδηγήσει στην εξεύρεση τεχνικών με τις οποίες θα επιτυγχάνεται λιγότερη κατανάλωση ισχύος και παράλληλα θα διατηρείται το QoS στα ίδια υψηλά επίπεδα. Σ' αυτή την περίπτωση υπάρχει ένα όφελος που έχει δυο όψεις. Σαφέστατα το κέρδος έχει περιβαλλοντολογικό χαρακτήρα αφού λιγότερη κατανάλωση ισχύος από τον σταθμό βάσης συνεπάγεται με μειωμένη εκπομπή CO<sub>2</sub> και από την άλλη πλευρά η εξοικονόμηση ρεύματος είναι προς όφελος, οικονομικό, των παρόχων κινητής τηλεφωνίας.

Υπάρχει πληθώρα τεχνικών που έχουν προταθεί για την εξοικονόμηση ενέργειας, όπως προαναφέρθηκαν, παρ' όλα αυτά πρέπει να γίνει επιλογή αυτών που μπορούν να προσαρμοστούν στην ήδη υπάρχουσα δομή των τηλεπικοινωνιακών δικτύων και θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα συνεργασίας από την πλευρά των κινητών τερματικών. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η τεχνική του CellZooming όπου θα μπορούσαμε να την χαρακτηρίσουμε ως μια προσαρμοστική ρύθμιση του χώρου της κυψέλης βάση κάποιων κριτηρίων. Η συγκεκριμένη τεχνική ενεργοποιείται τη στιγμή που οι απαιτήσεις των τερματικών κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα και δεν είναι αναγκαία η λειτουργία κάποιων σταθμών βάσης.

Βάση των ανωτέρω διακρίνεται η ανάγκη προσαρμοστικών αλγορίθμων που θα μπορούν να ενσωματωθούν στις ευέλικτες απαιτήσεις της εν λόγω τεχνικής. Γίνεται λόγος για προσαρμοστικούς αλγορίθμους και είναι απολύτως λογικό καθότι γίνεται προσπάθεια βελτιστοποίησης ενός συστήματος που είναι μεταβαλλόμενο στο χώρο και στο χρόνο, αυτό έχει συνέπεια οι απαιτήσεις να μην είναι σταθερές και να υπάρχουν διακυμάνσεις. Με τους συγκεκριμένους αλγορίθμους αποσκοπούμε στην διατήρηση του QoS σε υψηλά επίπεδα ακόμα και σε απότομες μεταβολές των απαιτήσεων των κινητών τερματικών εντός της κυψέλης.

## Συνθήκες Υλοποίησης

Ζητούμενο είναι η προσαρμοστικότητα του χώρου της κυψέλης βάση των αναγκών που προκύπτουν από τους χρήστες, για να επιτευχθεί όμως αυτό κρίνεται αναγκαία η προσθήκη μιας «οντότητας» στην υπάρχουσα δομή η οποία θα είναι υπεύθυνη των αποφάσεων που θα λαμβάνονται για την μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση της κυψέλης.



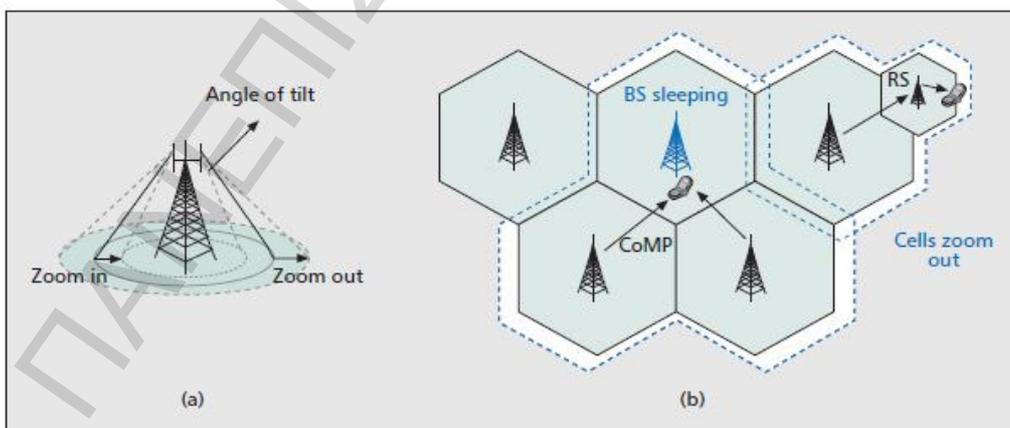
Σχήμα 5: Διαμόρφωση Αρχιτεκτονικής

Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζεται η προστιθέμενη οντότητα η οποία είναι ο cellzoomingserver και είναι αυτός ο οποίος συλλέγει πληροφορίες για τα εξής:

- i. Κίνηση εντός της κυψέλης
- ii. Απαιτήσεις που προκύπτουν από την πλευρά των τερματικών
- iii. Συνθήκες που επικρατούν

Συνδυαστικά λοιπόν από τα ανωτέρω ο cellserverείναι αυτός που θα αποφασίσει το «zoomin» ή «zoomout»της κυψέλης και μετά ακολουθεί η τεχνική η οποία θα χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη του στόχου μας. Υπάρχουν οι εξής δυνατότητες:

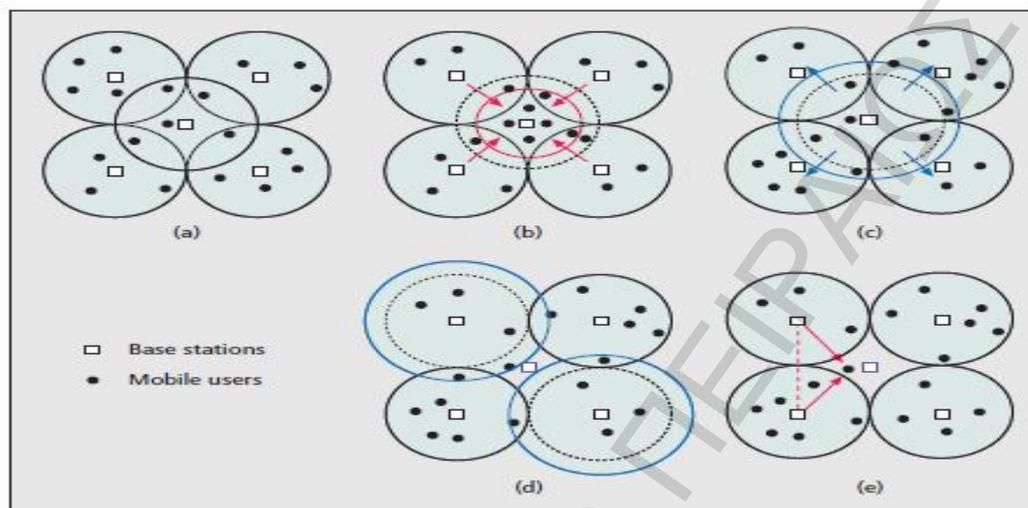
- i. *PhysicalAdjustment*: Αναφερόμαστε σε φυσικές παραμέτρους όπως είναι η ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης. Παρεμβαίνοντας στην συγκεκριμένη παράμετρο μπορεί να προκληθεί zoomout ή zoomin της κυψέλης. Αυτό όμως απαιτεί αλλαγές και στην αρχιτεκτονική δικτύου καθότι απαιτείται προσθήκη μηχανισμού που θα μεταβάλλει το ύψος της κεραίας.
- ii. *BaseStationCooperation*: Αυτή η περίπτωση έχει να κάνει με μια επιθυμητή συνεργασία μεταξύ των σταθμών βάσης δημιουργώντας νοητά μια αρκετά μεγαλύτερη κυψέλη (zoomout) και βελτιστοποιώντας την κάλυψη δικτύου ως προς τα τερματικά.
- iii. *Relaying*: Τοποθέτηση αναμεταδοτών για την βελτιστοποίηση της κάλυψης του σταθμού βάσης στα όρια της κυψέλης. Είναι πολύ σημαντικό η διατήρηση του QoS για τα τερματικά όπου κινούνται στα όρια της κυψέλης και όπου οι συνθήκες που επικρατούν δεν είναι ευνοϊκές.
- iv. *BaseStationSleeping*: Προτείνεται η αδρανοποίηση κάποιων σταθμών βάσης στους οποίους δεν υπάρχουν απαιτήσεις από τα τερματικά παράλληλα όμως για να πραγματοποιηθεί αυτή η μετάβαση θα πρέπει να τηρούνται κάποιες προϋποθέσεις που θα αναλυθούν παρακάτω.



Σχήμα 6: Τεχνικές CellZooming [18]

## Συνθήκες Λειτουργίας CellZooming

Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζονται οι λειτουργίες στις οποίες θα μεταβαίνει ο σταθμός βάσης με κριτήριο την κίνηση των τερματικών και τις απαιτήσεις που θα έχουν:



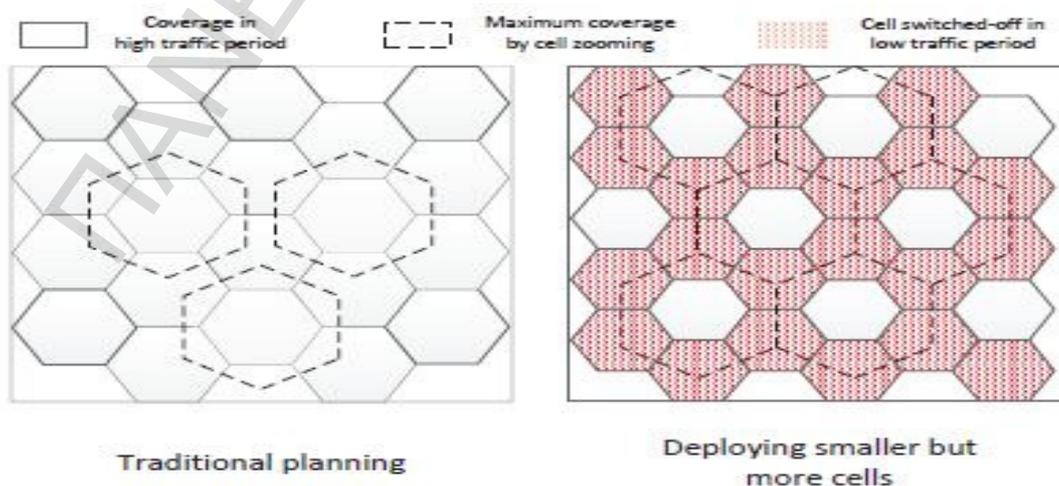
Σχήμα 7: Επιλογές Λειτουργίας CellZooming[18]

Θεωρούμε ότι πραγματοποιείται τυχαία κατανομή των κινητών τερματικών στον χώρο της κυψέλης και μας δίνονται οι παρακάτω επιλογές βάσης του σχήματος:

- Παρουσιάζεται ένα σύνολο 5 κυψελών όπου είναι συγκροτημένες κατά την παραδοσιακή δομή δικτύου έχοντας σταθερό μέγεθος
- Αν παρατηρηθεί στο δίκτυο η πρόθεση τα τερματικά να κινηθούν προς την κεντρική κυψέλη, προς αποφυγή συμφόρησης, η κυψέλη πραγματοποιεί zoomin. Κατ' αυτό τον τρόπο μειώνεται το μέγεθος της κυψέλης και είναι σε θέση να εξυπηρετηθούν καλύτερα οι απαιτήσεις των τερματικών.
- Εδώ παρατηρείται το αντίθετο, τάση συμφόρησης στα ακραία cells. Ο κεντρικός σταθμός στον οποίο παρατηρείται χαμηλές απαιτήσεις κάνει zoomout και τα ακραία cellzoomin για να εξυπηρετηθούν επαρκώς τα τερματικά.

- d) Στη περίπτωση αυτή επιτυγχάνεται πλήρη αδρανοποίηση της κεντρικής κυψέλης και μετάβαση σε sleepmode. Για να επιτευχθεί όμως αυτό προϋποθέτει τις γειτονικές κυψέλες να είναι σε activemode και να πραγματοποιήσουν zoomout έτσι ώστε να μπορούν να εξυπηρετήσουν τερματικά που θα βρεθούν στο χώρο κάλυψης της κεντρικής κυψέλης.
- e) Ακριβώς ίδια φιλοσοφία, τίθεται, δηλαδή, η κεντρική κυψέλη σε sleepmode αλλά η κάλυψη στον τερματικών επιτυγχάνεται με συνεργασία μεταξύ των δύο σταθμών βάσεων που βρίσκονται πιο κοντά.

Αυτό που εξετάζεται είναι με ποιόν τρόπο μπορούν να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα ως προς την ενεργειακό όφελος και παράλληλα να μην υπάρχουν σημαντικές αλλαγές και προσθήκες στην υπάρχουσα αρχιτεκτονική του κυψελωτού δικτύου. Η τάση λοιπόν είναι η ανάπτυξη όλο και περισσότερο μικρότερων κυψελών που θα είναι σε θέση να λειτουργήσουν όταν το σύστημα θα μεταβαίνει σε ώρα αιχμής όπου η πιθανότητα πρόκλησης μπλοκαρίσματος είναι αρκετά αυξημένη. Και κατά περιόδους όπου το κυκλοφοριακό φορτίο είναι πολύ χαμηλό θα μπορούν να αδρανοποιούνται δίχως να ωθούν σε σπατάλη εκπεμπόμενης ισχύος τον σταθμό βάσης.



## Συνθήκες και αλγόριθμοι υλοποίησης

Για να γίνει κατανοητή η μελέτη του συστήματος θα αναφερθούμε πρώτα σε κάποιες προϋποθέσεις που έχουν τεθεί ως προς το δίκτυο και τα τερματικά εντός των κυψελών για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Για να επιτευχθεί η φιλοσοφία του cellzooming οι προκλήσεις είναι πολύ μεγάλες σε βαθμό που θα πρέπει τα συστήματα να είναι εξαιρετικά ευέλικτα και οι όποιες διακυμάνσεις φορτίου εντοπίζονται να λαμβάνονται και οι κατάλληλες αποφάσεις. Συνεπώς υπάρχει η ανάγκη πρόβλεψης για χωρικές και χρονικές μεταβολές του συστήματος.

Αυτές οι προβλέψεις μπορούν να προκύψουν υπολογίζοντας τον λόγο μεταξύ της διακύμανσης που προκύπτει σε μακροπρόθεσμη περίοδο (ώρα ή μέρα) και βραχυπρόθεσμης περιόδου (λεπτά ή δευτερόλεπτα) στην οποία έχουμε τυχαίο ρυθμό άφιξης των χρηστών. Ωστόσο κρίνεται και απαραίτητη η προσθήκη ειδικών καναλιών που θα έχουν αποκλειστικό ρόλο την τροφοδότηση πληροφοριών προς τον cellserver.

Για να μελετηθούν οι αλγόριθμοι που θα αναφερθούν στη συνέχεια έχει θεωρηθεί σύστημα το οποίο έχει μεταβαλλόμενο φορτίο ως προς τον χρόνο και ως προς το χώρο και παράλληλα όλοι οι σταθμοί βάσης έχουν την ίδια κατανάλωση ενέργειας. Οι σταθμοί βάσης μπορεί να τεθούν σε δύο καταστάσεις λειτουργίας:

a) Active Mode με καταναλωμένη ισχύ  $P_a$

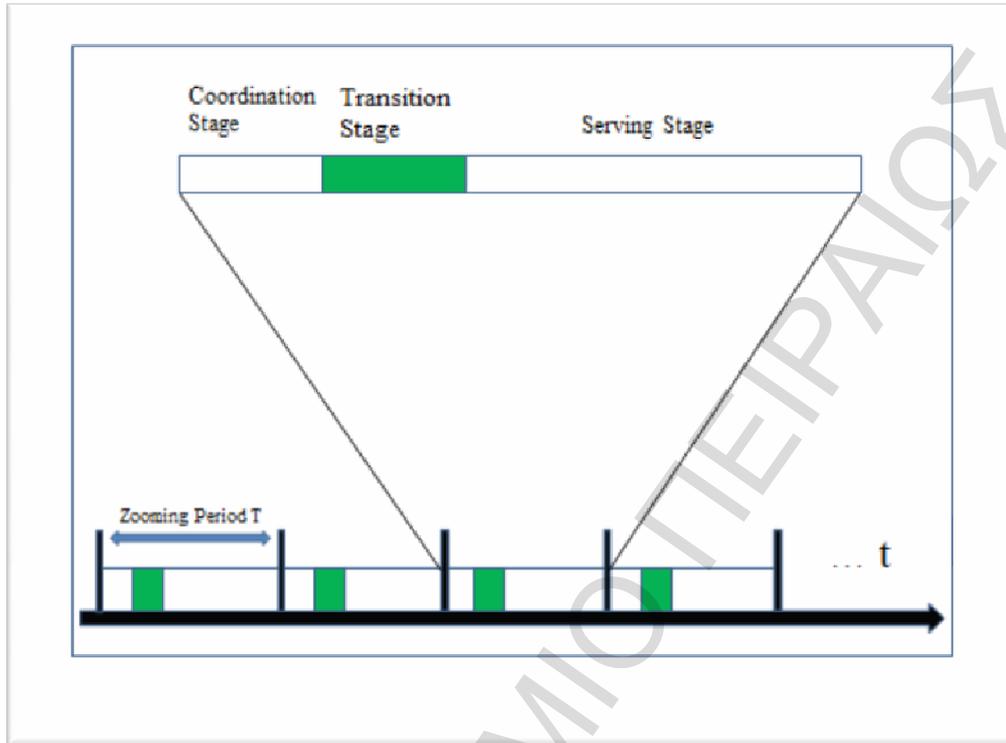
b) Sleep Mode με καταναλωμένη ισχύ  $P_s$

Τα κινητά τερματικά καταφθάνουν εντός της κυψέλης κατά κατανομή Poisson και συνδέονται με τον σταθμό βάσης και ο χρόνος παραμονής ακολουθεί εκθετική κατανομή με ρυθμό  $\lambda_i$  όπου  $\lambda_i$  ισυμβολίζονται τα κινητά τερματικά και  $j$  οι σταθμοί

βάσης. Το απαιτούμενο bandwidth μας δίνεται από τον λόγο:  $b_{ij} = \frac{\lambda_i}{w_{ij}}$ . Σε όλα τα

ανωτέρω υπάρχει ένα γενικός κανόνας που είναι αναγκαίος να τηρηθεί, οποιαδήποτε απόφαση παρθεί από τον σταθμό βάσης θα πρέπει να υπολογίζεται ένα trade-off μεταξύ καταναλωμένης ενέργειας και πιθανότητα μπλοκαρίσματος. Σαφέστατα όσοι περισσότεροι σταθμοί βάσης μεταβούν σε sleep mode υπάρχει μεγαλύτερη

εξοικονόμηση ενέργειας αλλά παράλληλα αυξάνεται η πιθανότητα μπλοκαρίσματος (αυτόξείναι ο παράγοντας που μας καθορίζει το QoS).



Σχήμα8

:Στάδια χρονοθυρίδας

Στο ανωτέρω σχήμα διακρίνεται ο διαχωρισμός των χρονοθυρίδων περιόδου Τόπου η κάθε περίοδος χωρίζεται κατά τρόπο:

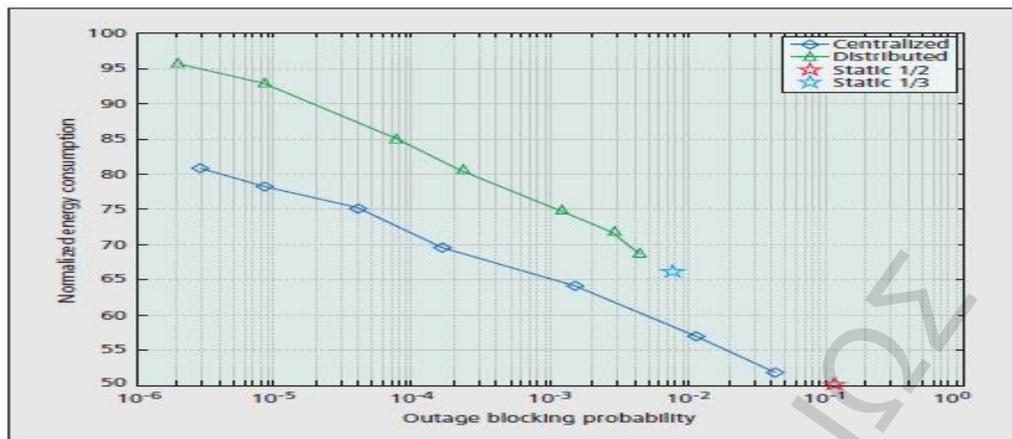
- i) CoordinationStage όπου ο cellserver συλλέγει τις απαραίτητες πληροφορίες για της συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο.
- ii) TransitionStage όπου πραγματοποιείται η μετάβαση λειτουργίας του σταθμού βάσης η ολοκλήρωση του handoff
- iii) ServingStage το οποίο είναι και το πιο καθοριστικό για την κατανάλωση ενέργειας και είναι το διάστημα το οποίο πραγματοποιείται η παροχή υπηρεσιών προς το τερματικό

Έχουν προταθεί δύο ειδών αλγόριθμοι με κοινό σκοπό παρόλα αυτά εντελώς διαφορετικής φιλοσοφία και τρόπου υλοποίησης του στόχου. Εξετάζοντας τον πρώτο αλγόριθμο (CentralizedAlgorithm) οι συνθήκες που επικρατούν στον διάλογο επικοινωνίας και οι απαιτήσεις των χρηστών συλλέγονται στον cellserver και λαμβάνονται αποφάσεις κατά τρόπο συγκεντρωτικό. Ενώ στην δεύτερη περίπτωση (DistributedAlgorithm) το τερματικό θα είναι αυτό που θα αποφασίσει από ποιον σταθμό βάσης θα εξυπηρετηθεί παρόλα αυτά στην περίπτωση αυτή κρίνεται ιδιαίτερα απαιτητική σε επίπεδο σηματοδοσίας.

Πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση του centralizedalgorithm έχουμε ένα feedbackchannel που μας παρέχει τις συνθήκες που επικρατούν και το απαιτούμενο bandwidth για τον σταθμό βάσης στο coordinationstage. Στη συνέχεια ο cellserver πραγματοποιεί μια σύγκριση μεταξύ των συνθηκών που επικρατούν και του περιορισμού του εύρους ζώνης που έχει θέσει ο σταθμός βάσης. Δημιουργώντας έτσι έναν πίνακα  $X = [x_{ij}]$  όπου ένα προκύψει  $x_{ij} = 1$  γίνεται σύνδεση με τον σταθμό βάσης εάν όμως  $x_{ij} = 0$  τότε δεν πραγματοποιείται σύνδεση.

Με λίγα λόγια, αυτό που θέλει να πετύχει ο συγκεκριμένος αλγόριθμος είναι η απενεργοποίηση των σταθμών βάσης οι οποίοι έχουν χαμηλό φόρτο. Κατά το ServingPeriod δεδομένου ότι καταφθάνουν και άλλα τερματικά εντός της κυψέλης ο σταθμός βάσης θα πρέπει να διατηρεί ένα όριο στο εύρος ζώνης για τις νέες αφίξεις και έτσι θα αποφασίζεται εάν είναι σε θέση να εξυπηρετήσει το αφιχθέν τερματικό.

Στον distributedalgorithm το τερματικό είναι αυτό που θα αποφασίζει από ποιόν σταθμό βάσης θα εξυπηρετηθεί και αυτό θα επιτυγχάνεται μέσω των πληροφοριών που θα στέλνονται μεταξύ τους ανεβάζοντας όμως κατά πολύ τις απαιτήσεις σε επίπεδο σηματοδοσίας (ανταλλαγή πληροφοριών).



Σχήμα9: Σύγκριση αλγορίθμων βάση trade-off[18]

Πράγματι, όπως διαφαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, ο centralized algorithm βάση του trade-offπου έχει τεθεί (ενεργειακή αποδοτικότητα-πιθανότητα συμφόρησης)διαφαίνεται πολύ πιο αποδοτικός σε σχέση με τον distributed algorithm.

Βάση του προηγούμενου κεφαλαίου έχει γίνει, αρχικά, μια υλοποίηση του Centralized Algorithm κατά τον τρόπο που έχει αναλυθεί. Πιο συγκεκριμένα γίνεται μια αρχικοποίηση των παραμέτρων που έχουν χρησιμοποιηθεί στον κώδικα. Έπειτα πραγματοποιείται σε, αρχικό στάδιο, ο γραφικός σχεδιασμός των κυψελών και θέτοντας μια τυχαία κατανομή τοποθετούνται οι χρήστες εντός των κυψελών.

Στη συνέχεια, γίνεται ανάθεση των χρηστών στους σταθμούς βάσης έχοντας κριτήριο το spectral efficiency του κάθε χρήστη όπου υπολογίζεται έχοντας προηγηθεί υπολογισμός του pathloss-SNR και ακολουθεί υπολογισμός του cell usage όπου εδώ γίνεται μια πρώτη εκτίμηση του φάσματος όπου χρησιμοποιείται χωρίς να έχουμε προβεί σε καμία απολύτως green ενέργεια. Και αυτό το σημείο είναι και το πιο σημαντικό διότι από εδώ και στο εξής είναι που στοχεύετε η εξοικονόμηση ενέργειας.

Στους υπάρχοντες σταθμούς βάσης γίνεται μια αναζήτηση για το cell usage που έχει ο καθένας και γίνεται ένα σορτάρισμα κατά αύξουσα σειρά έτσι ώστε να βρεθεί αυτό με το μικρότερο ποσοστό και να τεθεί προς αδρανοποίηση και εν συνεχεία νέα ανάθεση των χρηστών στους ενεργούς σταθμούς βάσης αφού πρώτα επανεκτιμηθεί το spectral efficiency του κάθε χρήστη που είναι προς μεταφορά και τέλος μια ανανέωση της νέας κατάστασης και των νέων δεδομένων που έχουν διαμορφωθεί έπειτα από την απενεργοποίηση των σταθμών βάσης.

Πραγματοποιώντας τον αλγόριθμο σε κώδικα matlab πραγματικά τα αποτελέσματα είναι θεαματικά και ενώ στην αρχή με μια πρώτη ανάθεση είναι σε activemode και οι 5 σταθμοί βάσης έπειτα από τα κριτήρια που έχουν εισαχθεί και το reallocation των χρηστών στο τέλος είναι σε activemode οι δύο από τους συνολικά 5 σταθμούς.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

## **Κεφάλαιο 5-Υλοποίηση αλγορίθμου σε λογισμικό Matlab**

### **Εισαγωγή-δεδομένα**

Ο ασύρματος ραδιοδιάυλος καθώς και οι περιορισμοί που θέτονται από το hardware των κινητών τερματικών ορίζουν μια σειρά από παραμέτρους που επηρεάζουν την ασύρματη διάδοση εξασθενώντας το τελικό λαμβανόμενο σήμα.

Τα βασικά προβλήματα που επικρατούν κατά την ασύρματη διάδοση είναι:

- Θόρυβος
- Παρεμβολές (ομοδιαυλικές και γειτονικών διαύλων)
- Παρεμπόδιση και εξασθένιση από ανθρώπινες και φυσικές καταστροφές
- Πολυδιαδρομική διάδοση

Τα ανωτέρω είναι παράγοντες αρνητικής επίδρασης σχετικά με την έκταση της κυψέλης, τον ρυθμό μετάδοσης καθώς και το παρεχόμενο QoS ως προς τον χρήστη του κινητού τερματικού. Στην προσπάθεια που έχει γίνει για προσομοίωση ενός κυψελωτού συστήματος με την βοήθεια του λογισμικού Matlab, έχουν θεωρηθεί δεδομένα μια σειρά από παραμέτρους οι οποίες έχουν επιλεγεί προσεκτικά βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας. Αρχικά η ευαισθησία του δέκτη έχει οριστεί στα -110dBm, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ρεαλιστική τιμή για συστήματα 2G/3G/4G αλλά θα πρέπει να τονιστεί ότι η ευαισθησία του δέκτη εξαρτάται από το εκάστοτε σύστημα καθώς και από το hardware του εκάστοτε κινητού τερματικού.

### **Ροή και επεξήγηση κώδικα**

Όσον αφορά τις προσομοιώσεις που διεξήχθησαν, έχουν εξετασθεί διαφορετικά σενάρια για τις απαιτήσεις των χρηστών, όπου στο πρώτο σενάριο υπάρχει απαίτηση σταθερού ρυθμού δεδομένων ίσο με 122kbps και στο δεύτερο

σενάριο με χρήση τυχαίας γεννήτριας οι απαιτήσεις ανά χρήστη κυμαίνονται από 100kbps έως και 500kbps όπου συμπεριλαμβάνονται και οι περιπτώσεις στις οποίες οι χρήστες θα κάνουν και χρήση δεδομένων εκτός από τις απλές υπηρεσίες φωνής. Ως συχνότητα λειτουργίας του συστήματος έχει επιλεγεί να χρησιμοποιηθεί η  $f = 1800\text{MHz}$  ως μια ρεαλιστική συχνότητα λειτουργίας των συστημάτων τρίτης γενιάς.

Ο αλγόριθμος εξοικονόμησης ενέργειας ορίζει δυο διακριτές καταστάσεις για τους σταθμούς βάσης του κυψελωτού συστήματος των οποίων η μία ορίζεται ως *activemode* με κατανάλωση  $P_{active\_mode} = 400\text{W}$  και η δεύτερη κατάσταση ως *sleepmode* με σαφέστατα χαμηλότερο επίπεδο κατανάλωση ισχύος το οποίο ορίζεται ως  $P_{sleep\_mode} = 10\text{W}$ . Στη συνέχεια υπολογίζεται η ισχύς θορύβου ως εξής:

$$P_{noise} = 10\log_{10}(k) + 10\log_{10}(T) + 10\log_{10}(B \cdot 10^6) - 30 \text{ (dB)}$$

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ (Watt/ Hz/ k)}$$

$$T = 290\text{K}$$

B: Συνολικό BW λειτουργίας του συστήματος

Αφού λοιπόν έχει προηγηθεί η αρχικοποίηση και ο ορισμός όλων των βασικών μεταβλητών της προσομοίωσης, στη συνέχεια πραγματοποιείται ο σχεδιασμός και η γραφική απεικόνιση των κυψελών με τους σταθμούς βάσης. Εν συνεχεία γίνεται η ανάθεση των χρηστών κατά τρόπο τυχαίο και εξασφαλίζοντας παράλληλα ότι οι χρήστες μας θα κινηθούν εντός των κυψελών και των ορίων αυτών. Σκοπός είναι να γίνει ανάθεση των χρηστών στους σταθμούς βάσης που θα παρέχουν το βέλτιστο *spectralefficiency*. Σε πρώτη φάση υπολογίζεται η απόσταση του κάθε χρήστη από όλους τους σταθμούς βάσης το οποίο γίνεται εύκολα από τη στιγμή που γνωρίζουμε τις συντεταγμένες των χρηστών και των σταθμών βάσης. Ακολούθως εφαρμόζοντας τον τύπο  $D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$  και αφού ικανοποιείται το κριτήριο της μέγιστης απόστασης από τον σταθμό βάσης (το οποίο έχει τεθεί στην αρχή της προσομοίωσης και μέσω αυτού του κριτηρίου ορίζεται και η μέγιστη εκπεμπόμενη ισχύς των σταθμών βάσης) τότε γίνεται ο υπολογισμός του *pathloss* (απώλειες που προκύπτουν κατά την διάδοση στο χώρο).

Βασική παράμετρος του αλγορίθμου είναι το  $\text{spectralefficiency}$  που υπολογίζεται ως  $w = \log_2(1 + \text{SNR})$  από το οποίο μπορεί εν συνεχεία να υπολογιστεί

το απαιτούμενο bandwidth του κάθε χρήστη ως εξής  $b = \frac{\text{rate} \cdot 10^3}{w}$ . Έχοντας

υπολογίσει τις απαιτήσεις του χρήστη σε εύρος ζώνης, τότε εξετάζουμε ποιοι από τους σταθμούς βάσης που μπορούν να τον εξυπηρετήσουν όσον αφορά την γεωγραφική του θέση, διαθέτουν και τους πόρους για να το κάνουν. Δηλαδή, ελέγχεται το εύρος ζώνης του εκάστοτε σταθμού βάσης και αν αυτό αρκεί για τον χρήστη τότε θεωρούμε ότι μπορεί να τον εξυπηρετήσει. Παρόλα αυτά, η τελική ανάθεση του χρήστη σε σταθμό βάσης γίνεται βάσει του μεγαλύτερου  $\text{spectralefficiency}$ . Επομένως, αν θεωρήσουμε ένα δυσδιάστατο πίνακα όπου οι γραμμές αναπαριστούν τους χρήστες και οι στήλες τους σταθμούς βάσης, τότε σημειώνεται ένας άσπος για το κάθε χρήστη ο οποίος και θα υποδηλώνει τον σταθμό βάσης από τον οποίο θα εξυπηρετείται. Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία θα πρέπει η κάθε γραμμή να έχει μόνο έναν άσσο, καθώς στα πλαίσια της συγκεκριμένης υλοποίησης έχει θεωρηθεί ότι ο χρήστης μπορεί να σερβίρεται μόνο από έναν σταθμό βάσης.

Στη συνέχεια, πρέπει να υπολογιστεί το  $\text{cellusage}$  του κάθε σταθμού βάσης το οποίο και τελικά θα μας υποδείξει ποιοι σταθμοί βάσης θα οδηγηθούν πρώτοι προς εξέταση για πιθανή αδρανοποίηση. Θα πρέπει σ' αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι από το συνολικό διαθέσιμο εύρος ζώνης του κάθε σταθμού βάσης, δεσμεύεται ένα μικρό του μέρος, το οποίο και δεν διατίθενται στους χρήστες αλλά παραμένει διαθέσιμο για λόγους σηματοδότησης. Στο τέλος, της αρχικής ανάθεσης γίνεται και ο υπολογισμός του  $\text{utilization}$  για να υπάρχει μια γενικότερη εικόνα της αξιοποίησης των πόρων ολόκληρου του συστήματος.

Ο αλγόριθμος συνεχίζεται με μια επαναληπτική διαδικασία για μια εκ νέου ανάθεση χρηστών στους σταθμούς βάσης. Ο τρόπος που εξετάζονται οι σταθμοί βάσης είναι κατά αύξοντα σειρά της χρησιμοποίησης της κάθε κυψέλης. Αρχικά ελέγχεται ο σταθμός βάσης με την μικρότερη χρησιμοποίηση και γίνεται προσπάθεια για ανάθεση των χρηστών του σε γειτονικούς σταθμούς βάσης. Όταν κάποιος σταθμός δεν είναι εφικτό να τεθεί προς αδρανοποίηση τότε η διαδικασία ολοκληρώνεται.

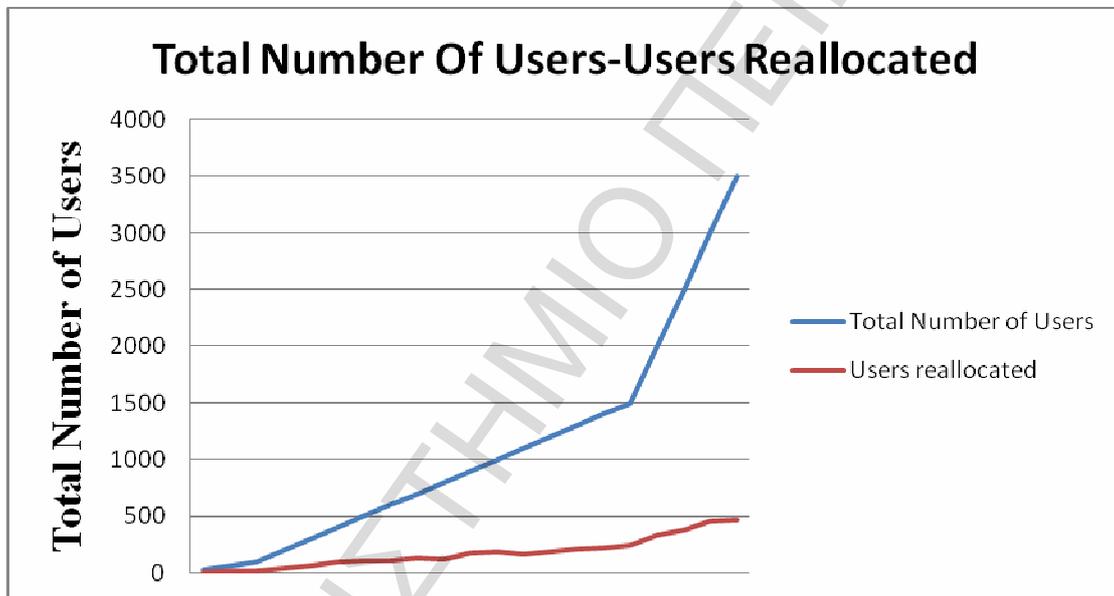
## Results

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για την εφαρμογή και την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου είναι αρκετά ενδιαφέροντα καθώς μπορούν να διεξαχθούν βασικά συμπεράσματα για ενδεχόμενη εφαρμογή του αλγορίθμου σε πραγματικά συστήματα κινητών επικοινωνιών. Στη συνέχεια, ακολουθούν κάποιοι πίνακες οι οποίοι παρουσιάζουν αναλυτικά αποτελέσματα και στατιστικά από πολλαπλές προσομοιώσεις που έλαβαν μέρος.

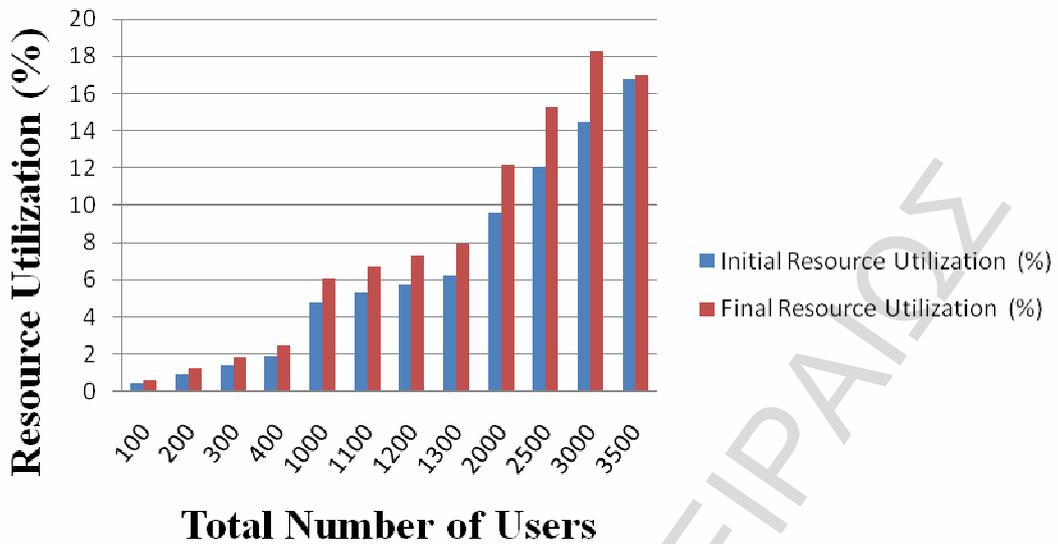
- Σταθερός ρυθμός δεδομένων 122kbps και μέγιστη ακτίνα κάλυψης 2R

Users	Users reallocated	Number of active BSs	Number of sleep BSs	Initial Resource Utilization(%)	Final Resource Utilization(%)	Final Total Power Consumption(Watt)	Average Loss of SE from all Users(%)	Average from
	11	4	1	0.14	0.19	1610	3.94	
	20	4	1	0.29	0.37	1610	1.93	
	22	4	1	0.48	0.61	1610	1.37	
	42	4	1	0.96	1.23	1610	1.84	
	62	4	1	1.44	1.84	1610	1.85	
	98	4	1	1.92	2.46	1610	1.97	
	117	4	1	2.40	3.06	1610	1.96	
	111	4	1	2.89	3.67	1610	1.44	
	139	4	1	3.35	4.27	1610	1.82	
	120	4	1	3.86	4.89	1610	1.24	
	179	4	1	4.34	5.53	1610	1.62	
	188	4	1	4.81	6.10	1610	1.43	
	173	4	1	5.31	6.73	1610	1.23	
	187	4	1	5.78	7.32	1610	1.27	

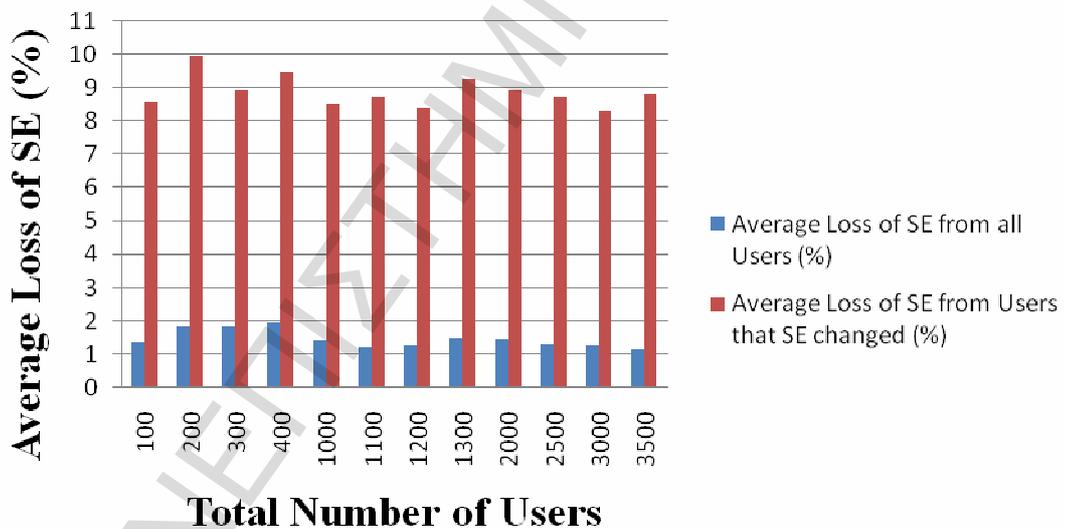
	214	4	1	6.24	7.92	1610	1.49	
	226	4	1	6.75	8.56	1610	1.27	
	246	4	1	7.20	9.13	1610	1.29	
	335	4	1	9.61	12.20	1610	1.44	
	376	4	1	12.03	15.25	1610	1.29	
	459	4	1	14.42	18.27	1610	1.26	
	470	5	0	16.80	17.01	2000	1.14	

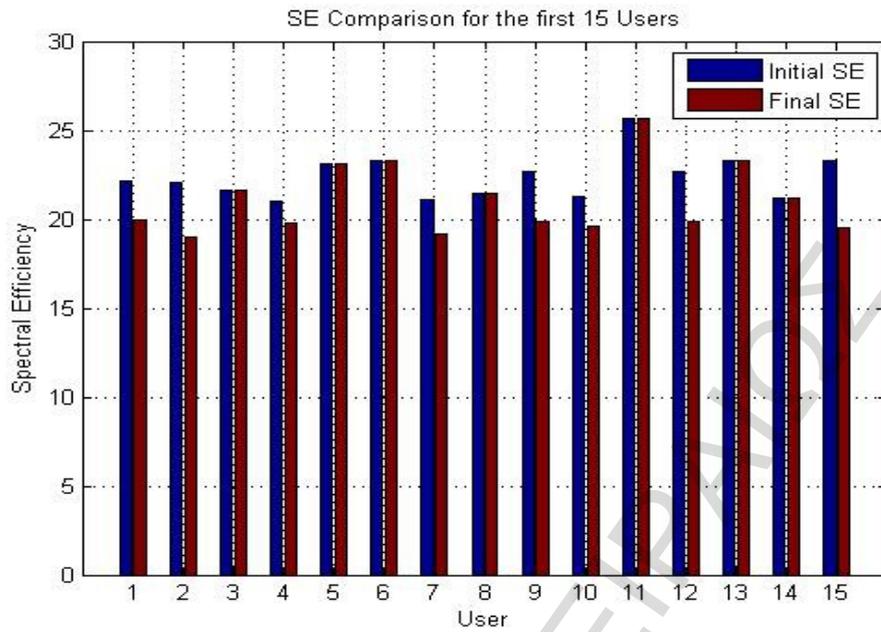


### Resource Utilization-Number of Users



### Average Loss of SE-Number of Users

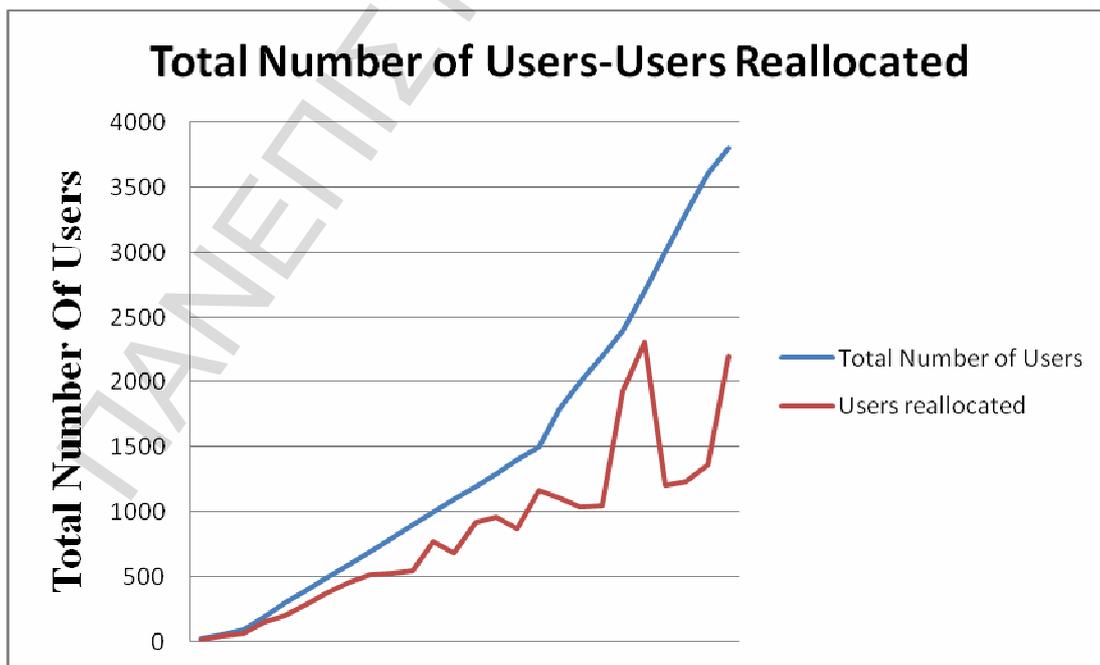




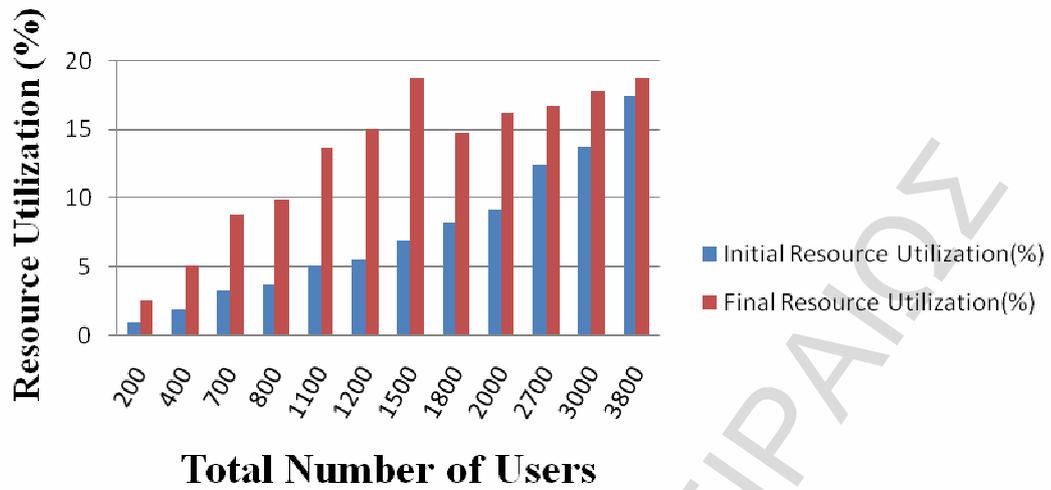
- Σταθερός ρυθμός δεδομένων 122kbps και μέγιστη ακτίνα κάλυψης 3R

Users	Users reallocated	Number of active BSs	Number of sleep BSs	Initial Resource Utilization(%)	Final Resource Utilization(%)	Final Total Power Consumption(Watt)	Average Loss of SE from all Users(%)	A	S
	16	2	3	0.14	0.36	830	5.46		
	44	2	3	0.27	0.75	830	8.87		
	67	2	3	0.46	1.23	830	6.49		
	155	2	3	0.91	2.48	830	7.21		
	200	2	3	1.37	3.68	830	6.57		
	292	2	3	1.83	4.99	830	7.75		
	380	2	3	2.29	6.23	830	7.66		
	461	2	3	2.75	7.45	830	7.13		
	517	2	3	3.21	8.75	830	7.73		
	531	2	3	3.66	9.90	830	7.11		

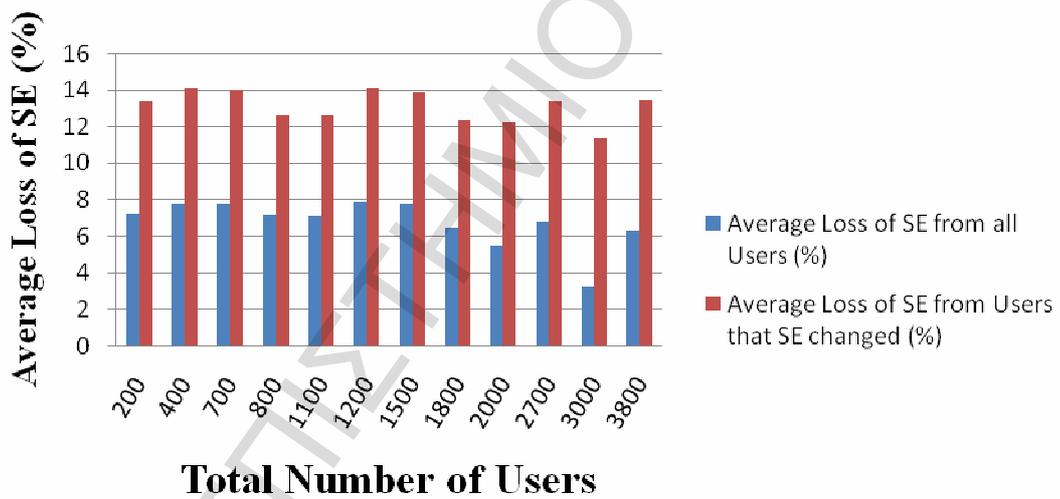
552	2	3	4.12	11.08	830	6.53
773	2	3	4.57	12.46	830	7.75
690	2	3	5.04	13.61	830	7.04
924	2	3	5.49	14.99	830	7.86
965	2	3	5.96	16.25	830	7.77
870	2	3	6.40	17.26	830	6.80
1167	2	3	6.86	18.70	830	7.75
1108	3	2	8.22	14.72	1220	6.43
1041	3	2	9.13	16.16	1220	5.42
1053	3	2	10.07	17.66	1220	4.53
1936	3	2	10.96	19.54	1220	6.06
2309	4	1	12.36	16.67	1610	6.81
1209	4	1	13.72	17.77	1610	3.18
1233	4	1	15.09	19.48	1610	2.88
1369	4	1	16.45	20.89	1610	1.40
2198	5	0	17.38	18.66	2000	6.30

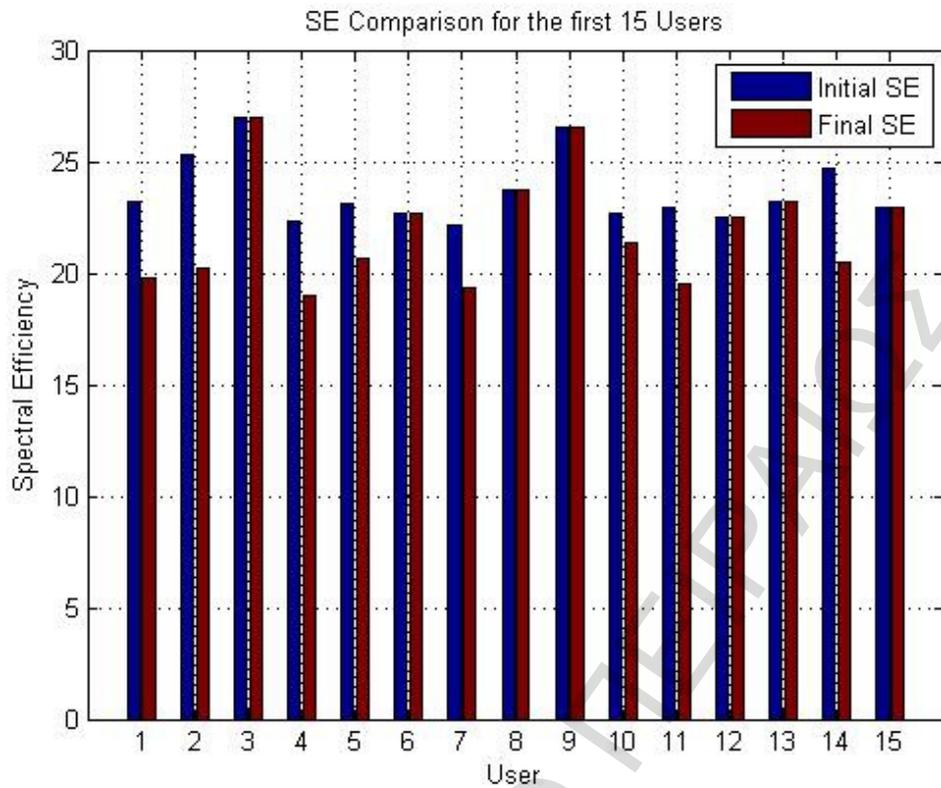


### Resource Utilization-Number of Users



### Average Loss of SE-Number of Users

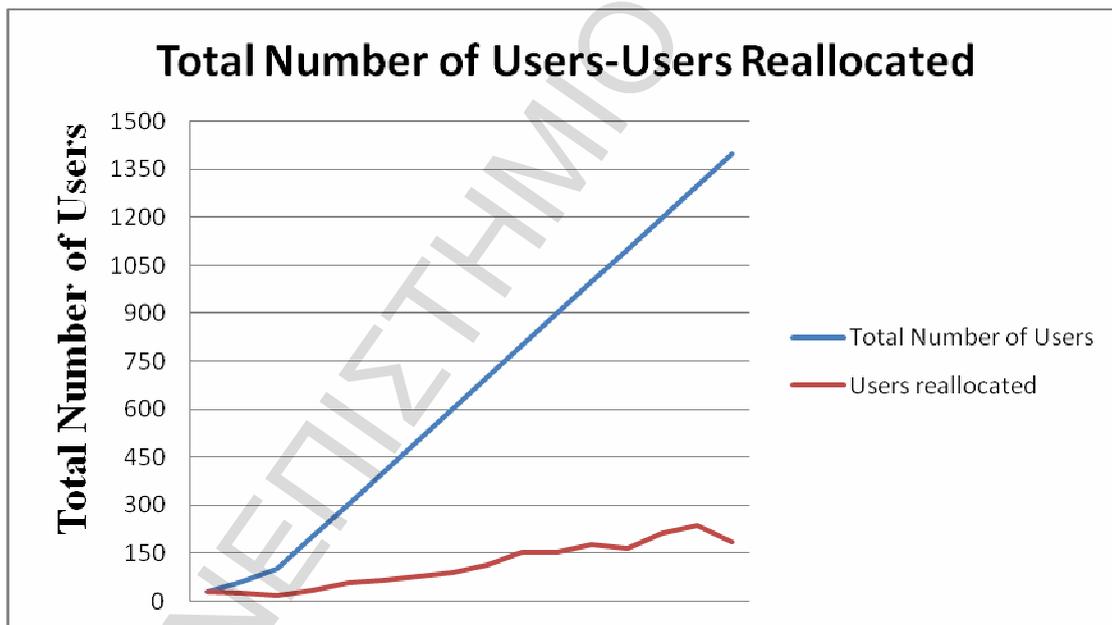


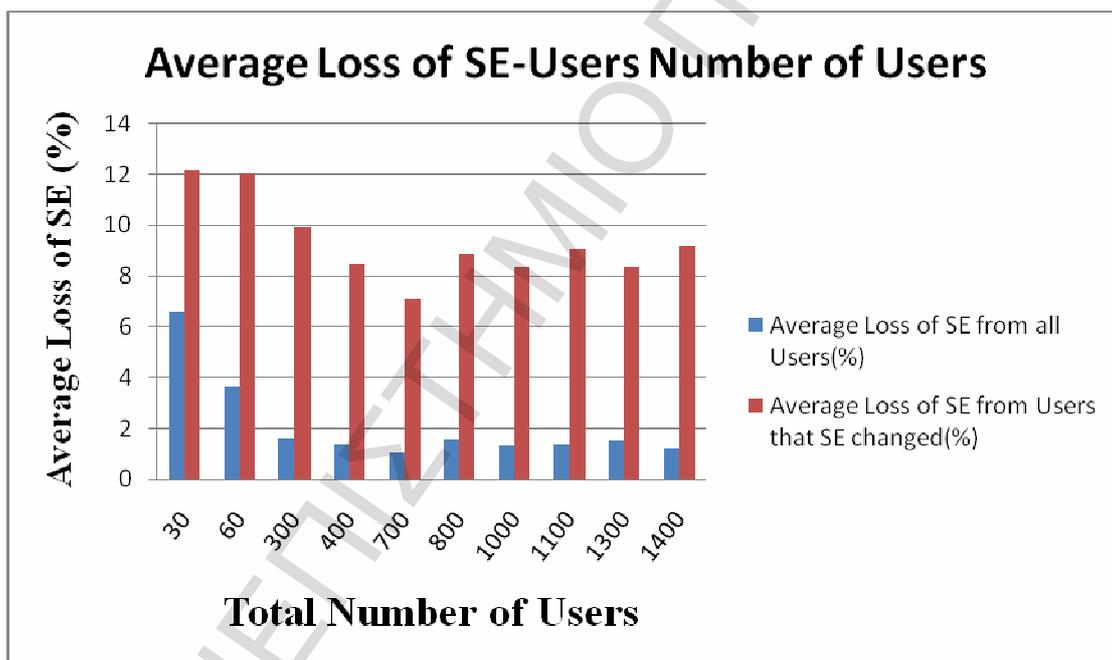
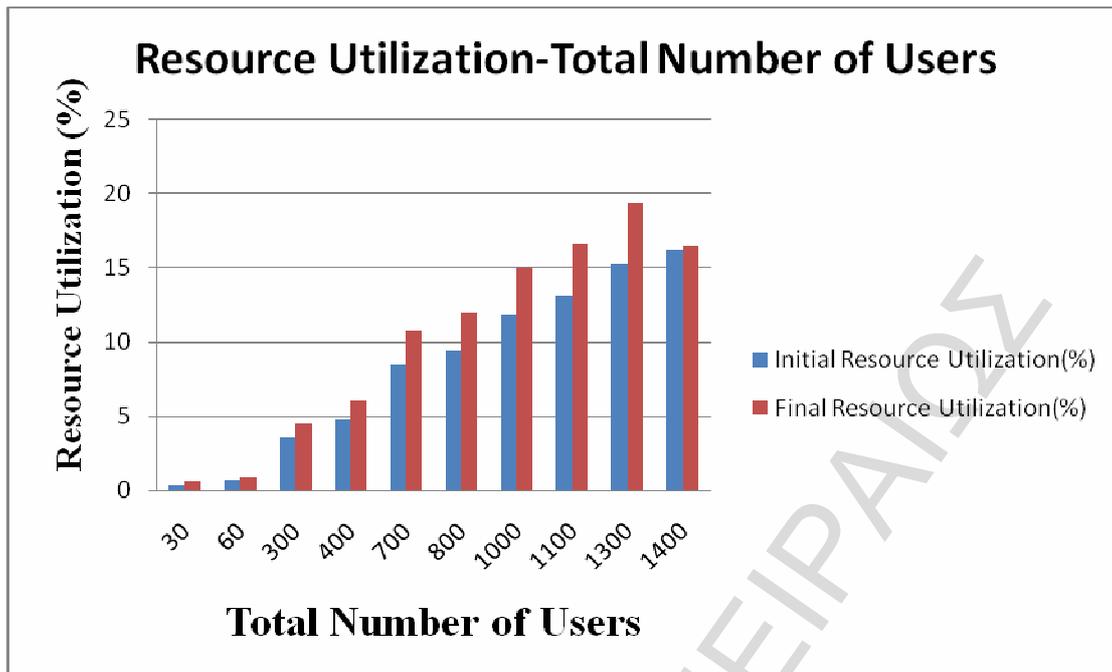


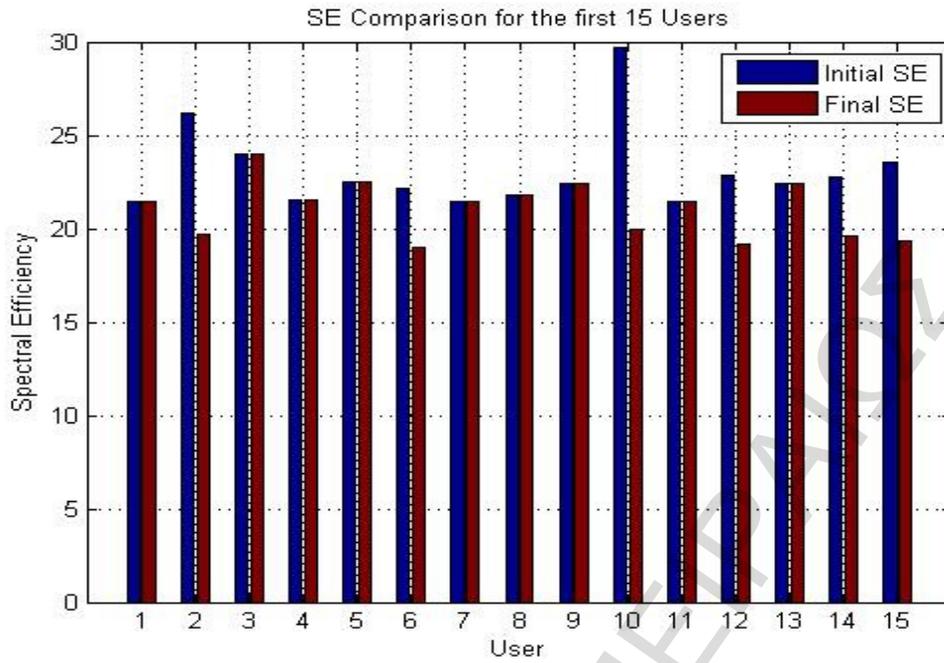
- Τυχαίος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (100kbps έως 500kbps) και ακτίνα κάλυψης 2R

<i>Number of Users</i>	<i>Users reallocated</i>	<i>Number of active BSs</i>	<i>Number of sleep BSs</i>	<i>Initial Resource Utilization(%)</i>	<i>Final Resource Utilization(%)</i>	<i>Final Total Power Consumption(Watt)</i>	<i>Average Loss of SE from all Users(%)</i>	<i>Average SE Loss per User(%)</i>
28	3	2	0.36	0.64	1220	6.50		
24	4	1	0.67	0.87	1610	3.61		
17	4	1	1.16	1.48	1610	1.46		
35	4	1	2.34	2.96	1610	1.34		
56	4	1	3.52	4.48	1610	1.59		

	66	4	1	4.76	6.04	1610	1.37	
	79	4	1	6.06	7.66	1610	1.29	
	88	4	1	7.09	8.98	1610	1.24	
	114	4	1	8.49	10.74	1610	1.08	
	153	4	1	9.43	11.98	1610	1.58	
	155	4	1	10.49	13.30	1610	1.32	
	177	4	1	11.81	14.98	1610	1.32	
	165	4	1	13.09	16.61	1610	1.35	
	213	4	1	14.43	18.33	1610	1.51	
	238	4	1	15.29	19.43	1610	1.49	
	185	5	0	16.24	16.45	2000	1.20	



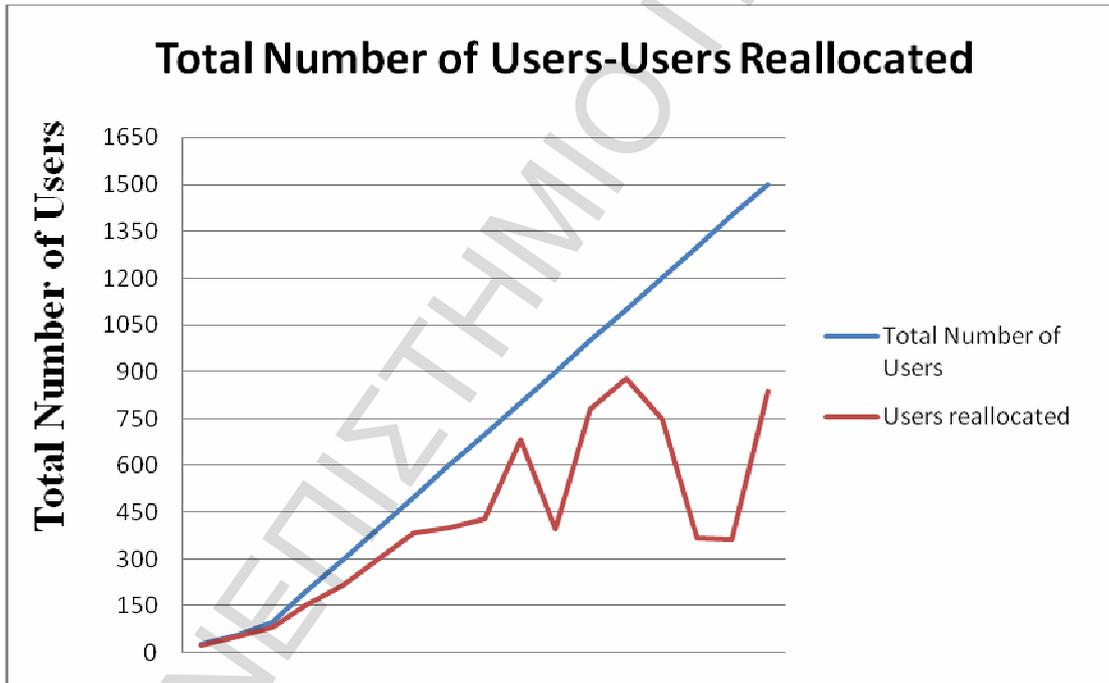


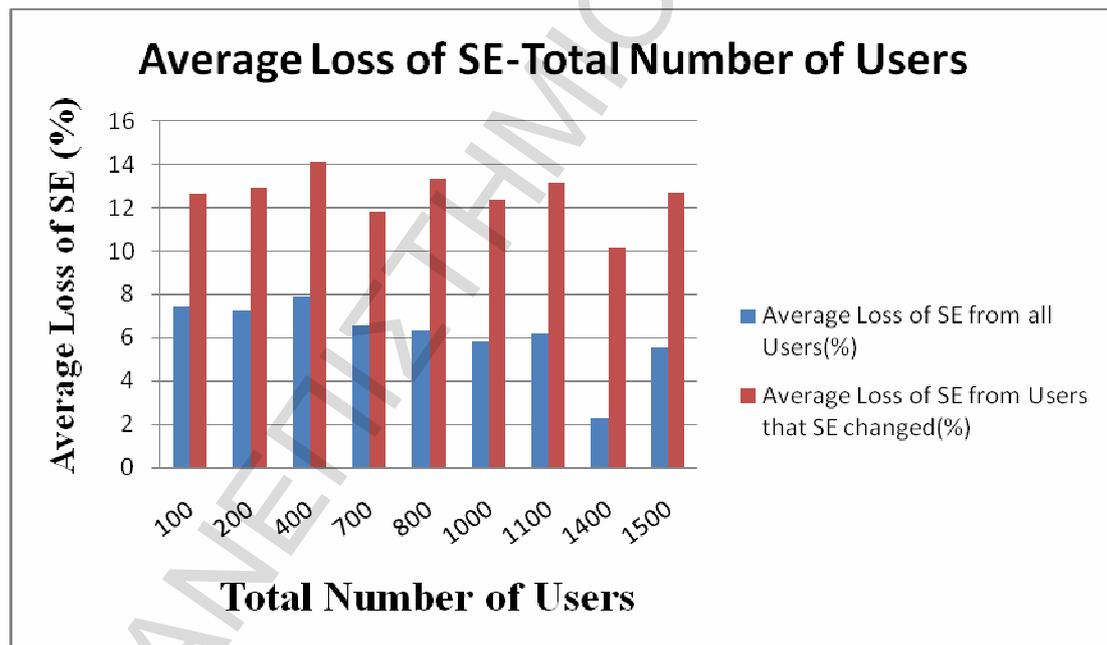
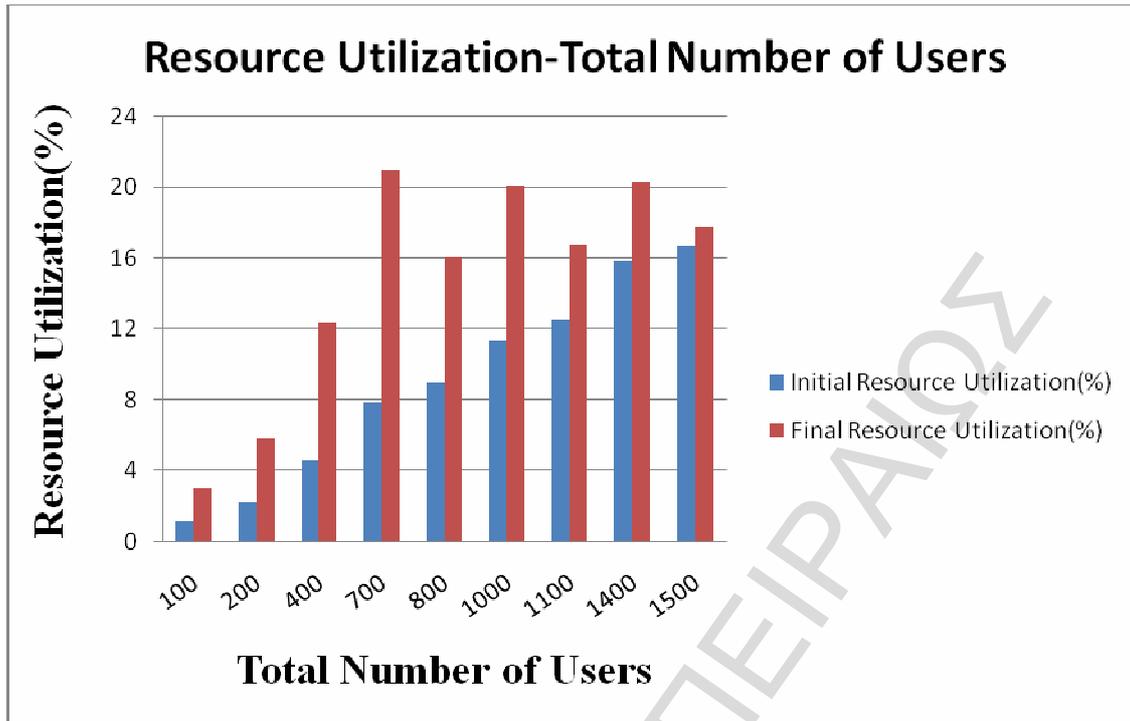


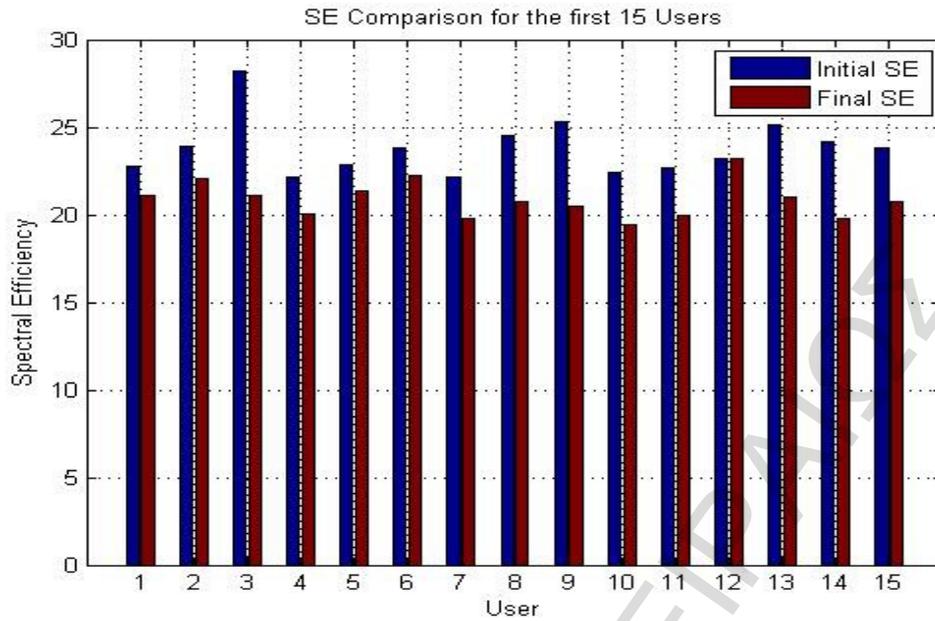
- Τυχαίος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (100kpbs έως 500kpbs) και ακτίνα κάλυψης 3R

Users	Users reallocated	Number of active BSs	Number of sleep BSs	Initial Resource Utilization(%)	Final Resource Utilization(%)	Final Total Power Consumption(Watt)	Average Loss of SE from all Users(%)	Average Loss of SE from c
	25	1	4	0.38	2.17	440	11.49	
	53	2	3	0.63	1.74	830	8.48	
	84	2	3	1.08	2.93	830	7.46	
	156	2	3	2.14	5.77	830	7.24	
	219	2	3	3.37	9.20	830	7.98	
	305	2	3	4.53	12.39	830	7.92	
	386	2	3	5.73	15.50	830	7.38	

401	2	3	6.59	17.84	830	7.23
430	2	3	7.81	21.00	830	6.53
683	3	2	8.98	16.07	1220	6.31
396	3	2	10.24	17.92	1220	4.29
783	3	2	11.32	20.11	1220	5.84
880	4	1	12.52	16.77	1610	6.17
750	4	1	13.52	17.86	1610	4.93
370	4	1	14.87	19.04	1610	2.20
365	4	1	15.85	20.32	1610	2.33
838	5	0	16.70	17.79	2000	5.56

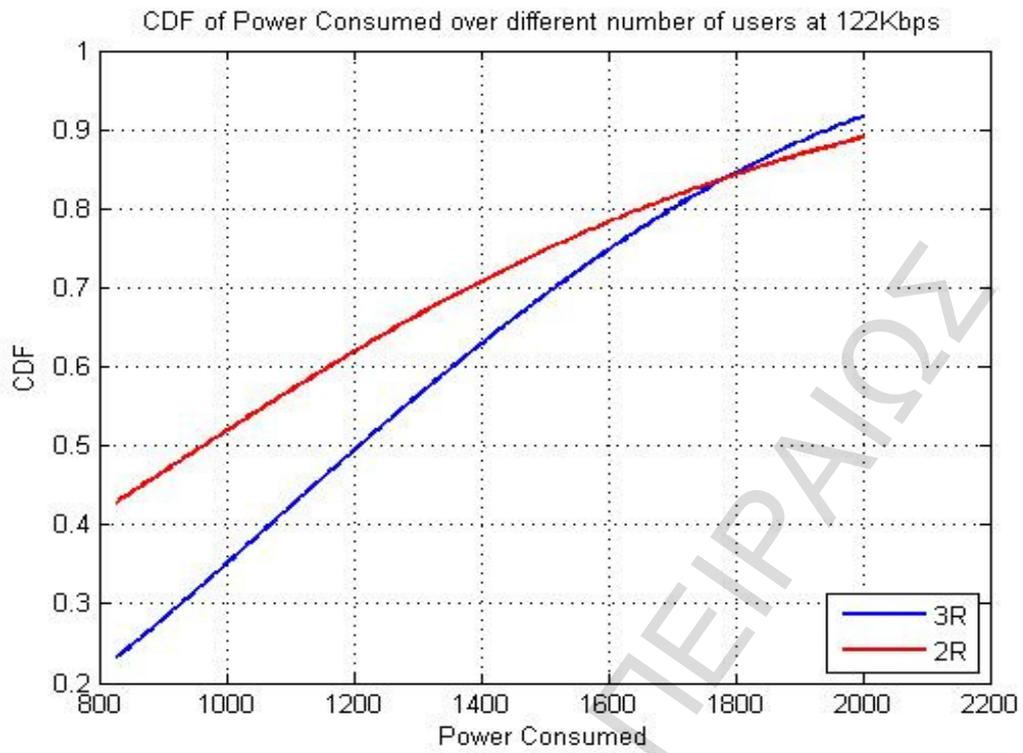




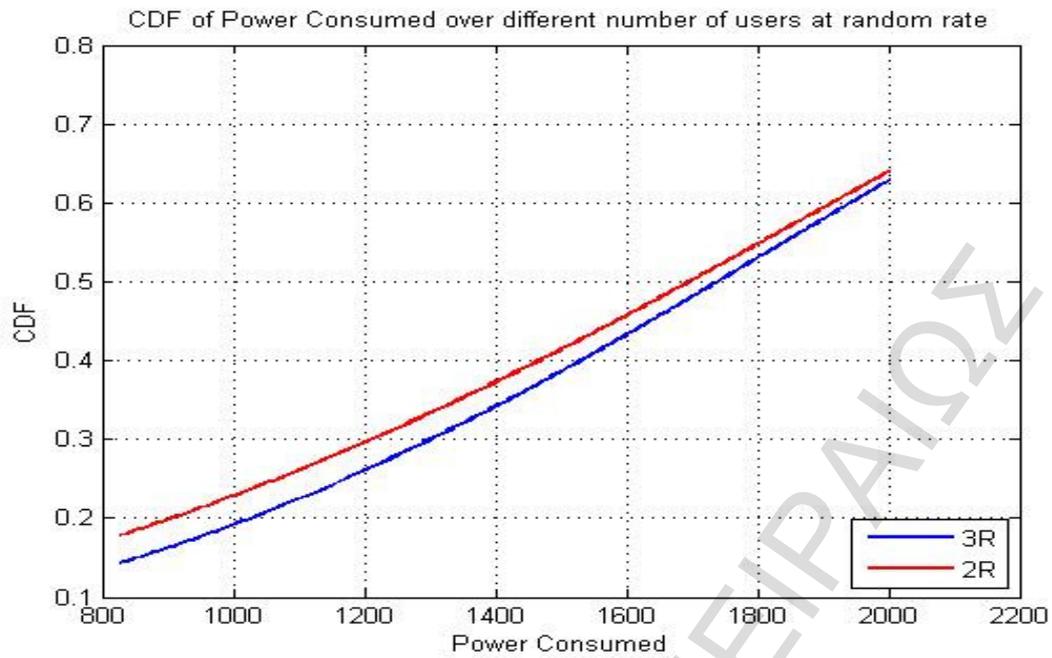


Ακολούθως πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις με διαφορετικό πλήθος χρηστών σε διαφορετικά σενάρια με σκοπό την εξαγωγή αποτελεσμάτων στατιστικής φύσεως. Συγκεκριμένα, εξάγεται η CDF (cumulative density function) της κατανάλωσης ισχύος ολόκληρου του συστήματος για όλα τα διαφορετικά σενάρια που διεξήχθησαν οι προσομοιώσεις. Στη συνέχεια παραθέτονται τα αποτελέσματα των CDFs για όλα τα διαφορετικά σενάρια.

- Μέγιστη ακτίνα κυψέλης 2R-3R και σταθερό ρυθμό δεδομένων ίσο με 122kbps για τον κάθε χρήση:



- Μέγιστη ακτίνα κυψέλης 2R-3R και τυχαίο ρυθμό δεδομένων για τον κάθε χρήστη από 100kbps/sec έως 500kbps/sec:



## Επίλογος

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τα παραπάνω αποτελέσματα των CDFs αφορούν την σύγκριση των δύο διαφορετικών τρόπων στο ρυθμό μετάδοσης (σταθερό και μεταβαλλόμενο), καθώς και την μέγιστη ακτίνα κάλυψης. Αρχικά, όσον

αφορά την ακτίνα κάλυψης είναι σαφές ότι όσο πιο μεγάλη τίθεται η ακτίνα κάλυψης τόσο καλύτερη απόδοση έχει ο αλγόριθμος καθώς είναι εφικτό χρήστες να ανατίθενται σε σταθμούς βάσης που βρίσκονται σε σχετικά μεγαλύτερη απόσταση. Πιο συγκεκριμένα, η medianvalue της CDF στη περίπτωση με σταθερό ρυθμό δεδομένων και ακτίνα κάλυψης ίση με 2R είναι 1655W, ενώ στην ίδια περίπτωση με ακτίνα κάλυψης 3R η medianvalue είναι 1200W το οποίο αν το μεταφράζουμε σε σταθμούς βάσης στη μία περίπτωση είναι 4 σταθμοί βάσης σε λειτουργία ενώ στην άλλη 3.

Τέλος όσον αφορά τη σύγκριση της περίπτωσης όπου γίνεται σταθερή χρήση ρυθμού δεδομένων και μεταβαλλόμενου ρυθμού, είναι εμφανής η καλύτερη επίδοση του αλγορίθμου σε σταθερό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε σχέση με τον μεταβαλλόμενο ρυθμό αλλά θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο μεταβαλλόμενο ρυθμό γίνεται και χρήση δεδομένων εκτός από φωνής, το οποίο μπορεί να αυξήσει το ρυθμό μετάδοσης των χρηστών. Στην περίπτωση του σταθερού ρυθμού με απόσταση κάλυψης 3R η medianvalue της CDF είναι 1200W ενώ στην αντίστοιχη περίπτωση με μεταβαλλόμενο ρυθμό, η medianvalue είναι 1750W.

Τέλος, συνοψίζοντας τα συμπεράσματα από τα παραπάνω αποτελέσματα της εφαρμογής του αλγορίθμου, είναι εμφανές ότι μια πιθανή εφαρμογή του αλγορίθμου σε πραγματικά συστήματα κινητών επικοινωνιών είναι εφικτή, καθώς όπως προκύπτει από τις παραπάνω προσομοιώσεις σε ρεαλιστικά σενάρια, ο αλγόριθμος έδειξε ότι αποδίδει ακόμα και σε δύσκολες συνθήκες, με διαφορετικές απαιτήσεις και πλήθος χρηστών όπως και συνθηκών διάδοσης, με σημαντική επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας στο κυψελωτό σύστημα του οποίου αν επεκτείνουμε την εφαρμογή του σε μεγαλύτερη κλίμακα η εξοικονόμηση πόρων που μπορεί να εξασφαλιστεί θεωρείται πολύ σημαντική.

## Κεφάλαιο 4

### References

- [1]:[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B1%CE%B3%CE%BA%CF%8C%CF%83%CE%BC%CE%B9%CE%B1\\_%CE%B8%CE%AD%CF%81%CE%BC%CE%B1%CE%BD%CF%83%CE%B7](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B1%CE%B3%CE%BA%CF%8C%CF%83%CE%BC%CE%B9%CE%B1_%CE%B8%CE%AD%CF%81%CE%BC%CE%B1%CE%BD%CF%83%CE%B7)
- [2]:<http://www.cs.wustl.edu/~jain/cse574-10/ftp/green/index.html>
- [3]: L. Chiaraviglio, D. Ciullo, E. Leonardi, M. Mellia, “How much can the Internet be greened,” in Proceedings of Workshop on Green Communications in conjunction with IEEE GLOBECOM, Hawaii, USA, pp. 1-6, December 2009.
- [4]: [http://www.ikr.uni-stuttgart.de/Content/itg/fg524/Meetings/2012-11-29-Berlin/04\\_ITG524\\_Berlin\\_Bayer.pdf](http://www.ikr.uni-stuttgart.de/Content/itg/fg524/Meetings/2012-11-29-Berlin/04_ITG524_Berlin_Bayer.pdf)
- [5]: Green Cellular Networks: A Survey, Some Research Issues and Challenges Ziaul Hasan, *Student Member, IEEE*, Hamidreza Boostanimehr, *Student Member, IEEE*, and Vijay K. Bhargava, *Fellow, IEEE*
- [6]: Yan Chen, Shunqing Zhang, Shugong Xu, Geoffrey Ye Li : *Fundamental Trade-offs on Green Wireless Networks*, IEEE Communication Magazine, June 2011
- [7]: K. Johansson, *Cost Effective Deployment Strategies for Heterogeneous Wireless Networks*, Ph.D. dissertation, KTH Info. and Commun. Tech., Stockholm, Sweden, Nov. 2007.
- [8]: B. Badicet *et al.*, “Energy Efficiency Radio Access Architectures for Green Radio: Large Versus Small Cell Size Deployment,” *Proc. IEEE VTC '09-Fall*, Anchorage, AK, Sept. 2009
- [9]: Gaoning He, Shunqing Zhang, Yan Chen, and Shugong Xu Huawei Technologies, Co. Ltd., Shanghai, China “Fundamental Tradeoffs and Evaluation Methodology for Future Green Wireless Networks” 987-1-4673-2997-2/12/2012

- [10]:G. Miao *et al.*, “Interference-Aware Energy-Efficient Power Optimization,” *Proc. IEEE ICC '09*, Dresden, Germany, June 2009
- [11]:M.F.L. Abdullah and A.Z. Yonis, “Performance of LTE Release 8 and Release 10 in Wireless Communications”
- [12]:R. A. Berry and R. Gallager, “Communication Over Fading Channels with Delay Constraints” *IEEE Trans. Info.Theory*, vol. 48, May 2002, pp. 1135–48
- [13]:Md. Farhad Hossain, Kumudu S. Munasinghe and Abbas Jamalipour  
*A Protocol-based Sleep-Wake Architecture for Next Generation Green Cellular Access Networks* 978-1-4244-7907-8/10/2010
- [14]:E. Shih, P. Bahl and M. J. Sinclair, ‘Wake on wireless: an event driven energy saving strategy for battery operated devices,’ in Proceedings of Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom), Georgia, USA, pp. 1-12, September 2002
- [15]:N. M. Pletcher, S. Gambini and J. M. Rabaey, “A 2 GHz 52  $\mu$ w wake-up receiver with -72dBm sensitivity using uncertain-IF architecture,” in Proceedings of IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), San Francisco, USA, pp. 524–525, 2008
- [16]:Wenchi Cheng, Hailin Zhang, Liqiang Zhao and Yongzhao Li *Energy Efficient Spectrum Allocation for Green Radio in Two-tier Cellular Networks* 978-1-4244-5638-3/10/2010 IEEE
- [17]:Doron Ezri, Shimi Shilo Green Cellular - Optimizing the Cellular Network for Minimal Emission from Mobile Stations
- [18]:Cell Zooming for Cost-Efficient Green Cellular Networks Zhisheng Niu, Yiqun Wu, Jie Gong and Zexi Yang- Tsinghua University 0163-6804/10/2010

## Παράρτημα 1: Κώδικας υλοποίησης αλγορίθμου

### PL.m

```
function PL = PL(f_MHz, d_km)
PL = 32.45+20*log10(f_MHz)+20*log10(d_km);
```

### Cell\_Zooming.m

```
% ArxikopoihshKonsolas

clearall;
closeall;
clc;

% ArxikopoihshVasikwnMetavlitwnProsomoiwshs

max_users=1500; % Sunolikoplithosxristwn
r=2; % Aktinathskupselhs se km
r_max=2*r; %
Megisthaktinaemveleiasxristwn
P_Watt_on=400; % Isxus se Watt otan to
BS einai se Active mode
P_Watt_sleep=10; % Isxus se Watt otan to
BS einai se Sleep mode
B=5*ones(1,5); % Sunoliko BW gia to
kathe BS
a=0.05*ones(1,5); % BW
poudehmeutaigiashmatodosiastokathe BS
rate=122*ones(max_users,1); %
Apaitoumenosrythmosmetadoshs se Kbps
% Random Rate Generation between lowrate and highrate
%lowrate = 100;
%highrate = 500;
%rate = (highrate-lowrate)*rand(max_users,1)+lowrate;
P_sensitivity=-110; % Euaisthisiatoudekth se
dbm
f_MHz=1800; %
Syxnothtaleitourgias toususthmatos se MHz

% YpologismosVoithitikwnMetavlitwnProsomoiwshs

P=P_Watt_on*ones(1,5);
P_initial=P;
P_t=P_sensitivity+PL(f_MHz,r_max); %
ApaitoumenhixusekponphsgiaikanopoihshtouP_sensitivity
P_noise=10*log10(1.38*10^(-23))+10*log10(290)+10*log10(B*10^6)-30; %
Isxusthorivouanakupseli
cell_num=0;
```

```

L=zeros(1,5);
centerx=zeros(1,5);
centery=zeros(1,5);
users=0;
user_coord_x=zeros(1,max_users);
user_coord_y=zeros(1,max_users);
X=zeros(max_users,5);

fori=1:5
B_tilde(:,i)=(1-a(:,i))*B(:,i); % Υπολογισμος Idle bandwidth
kathekupselhs (p.x. 95% tousunolikou BW)
end

%% SxediasmosKupselwn tou Systematos Kinhtwn Epikoinwniwn

for h=-r:r:r
for k=-r:r:r
if (h==k) || (h-k)==0 || (h+k)==0
cell_num=cell_num+1;
centerx(cell_num)=h;
centery(cell_num)=k;
t = linspace(0,2*pi,1000);
x = r*cos(t)+h;
y = r*sin(t)+k;

plot(x,y,'k');
axis square;
hold on
plot(h,k,'black*')
text(h+0.3,k+0.3,['BS'
num2str(cell_num)], 'FontSize',10, 'Color','black');
end
end
end

title('Cellular System with Users');
ylabel('y axis');
xlabel('x axis');

%% Eisagwgh Xristwn sto Diktyo

M=zeros(1,5);

while users<max_users
z=-2*r+(2*r+2*r)*rand(1,1);
w=-2*r+(2*r+2*r)*rand(1,1);
for j=1:cell_num
if (((z-centerx(j))^2+(w-centery(j))^2)<r^2)
plot(z,w,'red*')
M(j)=M(j)+1;
users=users+1;
user_coord_x(users)=z;
user_coord_y(users)=w;
center_coord_x(users)=centerx(j);
center_coord_y(users)=centery(j);
break;
end
end
end
end

```

```

%% AnatheshXristwn se BS baseitouapaitoumenou Spectral Efficiency

SE_initial = zeros(1,users);

fori=1:users
for j=1:cell_num
    dis_matrix=sqrt((centerx(j)-user_coord_x(i))^2+(centery(j)-
user_coord_y(i))^2);
    ifdis_matrix<=r_max
        pathloss = PL(f_MHz, dis_matrix);
        P_r = P_t - pathloss;
        SNR = P_r - P_noise(j);
        w(i,j) = log2(1+10.^(SNR/10));
        b(i,j)=(rate(i)*10^3)/w(i,j);
        if L(j)*B(j)+b(i,j)/10^6<=B_tilde(j)
            X(i,j)=1;
        end
    end
end
if (find(X(i,:)))
    [served_cell]=find(X(i,:));
    [valuecell_pos]=max(w(i,cell));
    X(i,:)=0;
    X(i,cell(cell_pos))=1;
    SE_initial(i)=value;

    L(cell(cell_pos))=L(cell(cell_pos))+b(i,cell(cell_pos))/(B(cell(cell_
pos))*10^6);
else
    disp('Blocked User: ');
    disp(i);
end
end

%% Ypologismos Cell Usage

for j=1:cell_num
    Cell_Usage(j) = L(j)*B(j)/B_tilde(j);
end

resource_utilization_initial = sum(Cell_Usage)/(5*B_tilde(1))*100;
P((find(Cell_Usage==0)))=10;

%% Euresh BS me to ligotero Usage kaineaanatheshtwnxristwntou

cell_process = [];
reallocated_Users = 0;
SE_final = SE_initial;
[Cell_Usage_SortedCell_Order] = sort(Cell_Usage);

for j=Cell_Order
    ifCell_Usage(j)~=0
        cell_users=find(X(:,j));
        fori = 1:length(cell_users)
            Xtemp=zeros(1,cell_num);
            Cell_old = find(X(cell_users(i),:));
            cell_to_search=[1:5];
            cell_to_search(cell_to_search==Cell_old)=[];

```

```

forjj=1:5
if (Cell_Usage(jj) == 0)
cell_to_search(cell_to_search==jj)=[];
end
end
for k = cell_to_search
isCurrentCell = 0;
if (k==j || Cell_Usage(j) == 0)
isCurrentCell = 1;
end
ifisCurrentCell == 0
dis_matrix=sqrt((centerx(k)-
user_coord_x(cell_users(i)))^2+(centery(k)-
user_coord_y(cell_users(i)))^2);
ifdis_matrix<=r_max
pathloss = PL(f_MHz, dis_matrix);
P_r = P_t - pathloss;
SNR = P_r - P_noise(k);
w(cell_users(i),k) = log2(1+10.^(SNR/10));

b(cell_users(i),k)=(rate(cell_users(i))*10^3)/w(cell_users(i),k);
if L(k)*B(k)+b(cell_users(i),k)/10^6<=B_tilde(k)
X(cell_users(i),k)=1;
Xtemp(k)=1;
end
end
end
end
if (find(Xtemp))
[served cell]=find(Xtemp);
[valuecell_pos]=max(w(cell_users(i),cell));
L(Cell_old)=L(Cell_old)-b(cell_users(i),Cell_old)/(B(Cell_old)*10^6);
SE_final(cell_users(i)) = value;
X(cell_users(i),:)=0;
X(cell_users(i),cell(cell_pos))=1;

L(cell(cell_pos))=L(cell(cell_pos))+b(cell_users(i),cell(cell_pos))/(
B(cell(cell_pos))*10^6);
reallocated_Users = reallocated_Users + 1;
else
break;
end
Cell_Usage(cell(cell_pos)) =
L(cell(cell_pos))*B(cell(cell_pos))/B_tilde(cell(cell_pos));
Cell_Usage(Cell_old) = L(Cell_old)*B(Cell_old)/B_tilde(Cell_old);
end
end
Cell_Usage(find(Cell_Usage<1e-14))=fix(zeros(1,1));
P((find(Cell_Usage==0)))=10;
end

%% Dimiourgia Report gia to Simulation pou dieksixthei

resource_utilization_final =
sum(Cell_Usage)/((length(find(Cell_Usage>0)))*B_tilde(1))*100;
SE_Loss = (1-SE_final./SE_initial)*100;
SE_Comparison = ([SE_initial' SE_final']);

figure(2)
bar(SE_Comparison(1:15,:));

```

```

title('SE Comparison for the first 15 Users');
legend('Initial SE','Final SE');
ylabel('Spectral Efficiency');
xlabel('User');
gridon;

P_Comparison=(P_initial' P');

figure(3)
bar(P_Comparison);
title('BS Power Consumption Comparison');
legend('Initial Consumption','Final Consumption');
ylabel('Power Consumption (Watt)');
xlabel('BS');
axis([0 6 0 500]);
gridon;

disp('Cost-Efficient Cell-Zooming Simulation Finished!');
disp('-----');
disp(' ');
disp('#####');
disp('# SIMULATION REPORT #');
disp('#####');
disp(' ');
disp(sprintf('Total number of Users: %d\n',users));
disp(sprintf('Users Reallocated: %d\n',reallocated_Users));
disp(sprintf('Total number of BSs: %d\n',cell_num));
disp(sprintf('Number of active BSs: %d\n',length(find(P==400))));
disp(sprintf('Number of BSs in Sleep Mode:
%d\n',length(find(P==10))));
disp(sprintf('Initial Resource Utilization:
%f%\n',resource_utilization_initial));
disp(sprintf('Final Resource Utilization:
%f%\n',resource_utilization_final));
disp(sprintf('Initial Total Power Consumption: %d
Watt\n',P_Watt_on*5));
disp(sprintf('Final Total Power Consumption: %d
Watt\n',P_Watt_on*length(find(P==400))+P_Watt_sleep*length(find(P==10
))));
disp(sprintf('Average Loss of Spectral Efficiency from all Users:
%f%\n',mean(SE_Loss)));
disp(sprintf('Average Loss of Spectral Efficiency from Users that SE
changed: %f%\n',mean(SE_Loss(find(SE_Loss)))));

```

## Cell\_Zooming\_Iterative.m

```
%% ArxikopoihshKonsolas

clearall;
closeall;
clc;

%% ArxikopoihshVasikwnMetavlitwnProsomoiwshs

users_for_simulation=[200:200:4000];
count_user=0;
for max_users=users_for_simulation
count_user=count_user+1;
    r=2; % Aktinathskupselhs
    se km
    r_max=2*r; %
    Megisthaktinaemveleiasxristwn
    P_Watt_on=400; % Isxus se Watt otan to
    BS einai se Active mode
    P_Watt_sleep=10; % Isxus se Watt otan to
    BS einai se Sleep mode
    B=5*ones(1,5); % Sunoliko BW gia to
    kathe BS
    a=0.05*ones(1,5); % BW
    poudesmeuetaigiashmatodosiastokathe BS
    %rate=122*ones(max_users,1); %
    Apaitoumenosrythmosmetadoshsxristwn se Kbps
    % Random Rate Generation between lowrate and highrate
    lowrate = 100;
    highrate = 500;
    rate = (highrate-lowrate)*rand(max_users,1)+lowrate;
    P_sensitivity=-110; % Euaisthisiatoudekth se
    dbm
    f_MHz=1800; %
    Syxnohtaleitourgias toususthmatos se MHz

    %% YpologismosVoithitikwnMetavlitwnProsomoiwshs

    P=P_Watt_on*ones(1,5);
    P_initial=P;
    P_t=P_sensitivity+PL(f_MHz,r_max); %
    ApaitoumenhisxusekponphsgiaikaikanopoihshtouP_sensitivity
    P_noise=10*log10(1.38*10^(-23))+10*log10(290)+10*log10(B*10^6)-
    30; % Isxusthorivouanakupseli
    cell_num=0;
    L=zeros(1,5);
    centerx=zeros(1,5);
    centery=zeros(1,5);
    users=0;
    user_coord_x=zeros(1,max_users);
    user_coord_y=zeros(1,max_users);
    X=zeros(max_users,5);

    for i=1:5
        B_tilde(:,i)=(1-a(:,i))*B(:,i); % Ypologismos Idle bandwidth
        kathekupselhs (p.x. 95% tousunolikou BW)
    end
end
```

```

    %% SxediasmosKupselwntouSystimatosKinhtwnEpikoinwniwn

for h=-r:r:r
for k=-r:r:r
if (h==k) || (h-k)==0 || (h+k)==0
cell_num=cell_num+1;
centerx(cell_num)=h;
centery(cell_num)=k;
        t = linspace(0,2*pi,1000);
        x = r*cos(t)+h;
        y = r*sin(t)+k;
end
end
end

    %% EisagwghXristwnstoDiktyo

M=zeros(1,5);

while users<max_users
        z=-2*r+(2*r+2*r)*rand(1,1);
        w=-2*r+(2*r+2*r)*rand(1,1);
for j=1:cell_num
if ((z-centerx(j))^2+(w-centery(j))^2)<r^2)
M(j)=M(j)+1;
users=users+1;
user_coord_x(users)=z;
user_coord_y(users)=w;
center_coord_x(users)=centerx(j);
center_coord_y(users)=centery(j);
break;
end
end
end

    %% AnatheshXristwn se BS baseitouapaitoumenou Spectral Efficiency

SE_initial = zeros(1,users);

fori=1:users
for j=1:cell_num
        dis_matrix=sqrt((centerx(j)-
user_coord_x(i))^2+(centery(j)-user_coord_y(i))^2);
ifdis_matrix<=r_max
pathloss = PL(f_MHz, dis_matrix);
P_r = P_t - pathloss;
        SNR = P_r - P_noise(j);
w(i,j) = log2(1+10.^(SNR/10));
b(i,j)=(rate(i)*10^3)/w(i,j);
if L(j)*B(j)+b(i,j)/10^6<=B_tilde(j)
X(i,j)=1;
end
end
end
if (find(X(i,:)))
        [served cell]=find(X(i,:));
        [valuecell_pos]=max(w(i,cell));
X(i,:)=0;

```

```

X(i, cell(cell_pos))=1;
SE_initial(i)=value;

L(cell(cell_pos))=L(cell(cell_pos))+b(i, cell(cell_pos))/(B(cell(cell_
pos))*10^6);
else
disp('Blocked User: ');
disp(i);
end
end

    %% Ypologismos Cell Usage

for j=1:cell_num
Cell_Usage(j) = L(j)*B(j)/B_tilde(j);
end

resource_utilization_initial(count_user) =
sum(Cell_Usage)/(5*B_tilde(1))*100;
P((find(Cell_Usage==0)))=10;

    %% Euresh BS me to ligotero Usage kaineaanatheshtwnxristwntou

cell_process = [];
reallocated_Users = 0;
SE_final = SE_initial;
    [Cell_Usage_SortedCell_Order] = sort(Cell_Usage);

for j=Cell_Order
if Cell_Usage(j)~=0
cell_users=find(X(:,j));
for i = 1:length(cell_users)
Xtemp=zeros(1, cell_num);
Cell_old = find(X(cell_users(i),:));
cell_to_search=[1:5];
cell_to_search(cell_to_search==Cell_old)=[];
for jj=1:5
if (Cell_Usage(jj) == 0)
cell_to_search(cell_to_search==jj)=[];
end
end
for k = cell_to_search
isCurrentCell = 0;
if (k==j || Cell_Usage(j) == 0)
isCurrentCell = 1;
end
if isCurrentCell == 0
                dis_matrix=sqrt((centerx(k)-
user_coord_x(cell_users(i)))^2+(centery(k)-
user_coord_y(cell_users(i)))^2);
if dis_matrix<=r_max
pathloss = PL(f_MHz, dis_matrix);
P_r = P_t - pathloss;
                SNR = P_r - P_noise(k);
w(cell_users(i),k) = log2(1+10.^(SNR/10));

b(cell_users(i),k)=(rate(cell_users(i))*10^3)/w(cell_users(i),k);
if L(k)*B(k)+b(cell_users(i),k)/10^6<=B_tilde(k)
X(cell_users(i),k)=1;
Xtemp(k)=1;

```

```

end
end
end
end
if (find(Xtemp))
    [served cell]=find(Xtemp);
    [valuecell_pos]=max(w(cell_users(i),cell));
L(Cell_old)=L(Cell_old)-b(cell_users(i),Cell_old)/(B(Cell_old)*10^6);
SE_final(cell_users(i)) = value;
X(cell_users(i),:)=0;
X(cell_users(i),cell(cell_pos))=1;

L(cell(cell_pos))=L(cell(cell_pos))+b(cell_users(i),cell(cell_pos))/(
B(cell(cell_pos))*10^6);
reallocated_Users = reallocated_Users + 1;
else
break;
end
Cell_Usage(cell(cell_pos)) =
L(cell(cell_pos))*B(cell(cell_pos))/B_tilde(cell(cell_pos));
Cell_Usage(Cell_old) = L(Cell_old)*B(Cell_old)/B_tilde(Cell_old);
end
end
Cell_Usage(find(Cell_Usage<1e-14))=fix(zeros(1,1));
P((find(Cell_Usage==0)))=10;
end

    %% DimiourgiaApotelesmatwn gia to Simulation pou dieksixthei
P_consumed(count_user)=sum(P);
Number_of_BS_on(count_user)=length(find(P==400));
Number_of_BS_off(count_user)=length(find(P==10));
resource_utilization_final(count_user) =
sum(Cell_Usage)/((length(find(Cell_Usage>0)))*B_tilde(1))*100;

end

%% Plot CDF of Power Consumed

y1=(Number_of_BS_on*400+Number_of_BS_off*10);
x11 = linspace(min(y1)-2,max(y1)+2,201);
f1 = ksdensity(y1,x11,'function','cdf');

figure(1)
plot(x11,f1,'b','LineWidth',2);
title('CDF of Power Consumed over different number of users');
xlabel('Power Consumed');
ylabel('CDF');
grid on

```