



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης



Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ WCDMA

Πτυχιακή εργασία του σπουδαστή Καρόπουλου Διονύσιου

Εισηγητής: Στρατάκης Δημήτριος

Ηράκλειο, Μάιος 2007



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής ήταν η περιγραφή των διαδικασιών βελτιστοποίησης WCDMA δικτύων και η εφαρμογή των μεθόδων αυτών στο πρόγραμμα προσομοίωσης ασυρμάτων δικτύων ICS-Telecom της ATDI που διαθέτει το Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων του Τ.Ε.Ι. Κρήτης για την διδασκαλία μαθημάτων ανάλογου περιεχομένου. Λόγω της έλλειψης συγκεκριμένης μεθοδολογίας πάνω στο αντίστοιχο ζήτημα η παρούσα η πτυχιακή εργασία κατά το θεωρητικό της μέρος βασίστηκε κατά ένα μεγάλο ποσοστό στη διατριβή της Jaana Laiho από το Helsinki University of Technology της Φιλανδίας η οποία και σχολιάζεται σε πάρα πολλά σημεία του κειμένου που ακολουθεί. Με βάση την παραπάνω αναφερόμενη διατριβή έγιναν και οι αντίστοιχες προσομοιώσεις στο ICS-Telecom.

Θα ήθελα να εκφράσω την αμέριστη ευγνωμοσύνη μου στον εισηγητή της παρούσας εργασίας, Καθηγητή Εφαρμογών του Τμήματος Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων του Τ.Ε.Ι. Κρήτης Κο.Στρατάκη Δημήτριο για τη διακριτική του βοήθεια και υπομονή που οδήγησαν στην ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς το Τεχνολογικό Ίδρυμα Κρήτης το οποίο με εξόπλισε με τις απαραίτητες γνώσεις και τα εργαλεία που χρειάστηκαν για την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς και την αδερφή μου, Καρόπουλο Σταύρο, Καροπούλου Αθανασία και Καροπούλου Κωνσταντίνα, για τη συμπαράσταση και την κατανόησή τους κατά την διάρκεια διεκπεραίωσης της παρούσας πτυχιακής εργασίας και για την βοήθεια τους καθ' όλη της διάρκεια των σπουδών μου.

Μάιος 2007

Καρόπουλος Διονύσιος



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΛΙΣΤΑ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	11
1.1. Εισαγωγή στο σχεδιασμό και στην βελτιστοποίηση δικτύου WCDMA.....	11
1.2. Μια συνοπτική ματιά στην ιστορία των κυψελοειδών δικτύων.....	13
1.3. Η εξέλιξη του σχεδιασμού των ασύρματων δικτύων.....	16
1.4. Οι κύριες συνεισφορές της εργασίας της Jaana Laiho.....	21
2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ WCDMA24	
2.1. Εισαγωγή.....	24
2.2. Οι βρόγχοι ελέγχου του δικτύου.....	26
2.3. Η διαδικασία σχεδιασμού του δικτύου.....	29
2.3.1 Διαστασιολόγηση.....	32
2.3.2. Ζητήματα στη διαστασιολόγηση του WCDMA.....	32
2.3.2.1. Ζητήματα στον προϋπολογισμό των uplink συνδέσεων.....	32
2.3.2.2. Ζητήματα στον προϋπολογισμό των downlink συνδέσεων.....	37
2.3.3 Λεπτομερής σχεδιασμός.....	41
2.3.3.1. Επαναλήψεις Uplink και Downlink.....	42
2.3.3.2. Μοντελοποίηση της απόδοσης σε επίπεδο σύνδεσης.....	44
2.3.4. Ο αντίκτυπος της μοντελοποίησης της απόδοσης, σε επίπεδο σύνδεσης, στο αποτέλεσμα σχεδιασμού.....	46
2.3.5. Ο αντίκτυπος της μοντελοποίησης περιοχών στην απόδοση του ασύρματου δικτύου.....	54
2.3.5.1. Εισαγωγή.....	54
2.3.5.2. Παράδειγμα μελέτης του Sectorisation, της κλίσης κεραιών και των MHA.....	55
2.3.5.3. Ο αντίκτυπος του diversity στην απόδοση του WCDMA.....	63
2.4. Η Βελτιστοποίηση του WCDMA.....	64
2.4.1 Ο ποιοτικός κύκλος δικτύου.....	64
2.4.2 Εναλλαγή χωρητικότητας - ποιότητας και η συνάρτηση κόστους.....	67



2.4.3. Παράδειγμα αποτελέσματος ανάλυσης SOM [P8].....	71
2.4.4. Η δυνατότητα εφαρμογής των προηγμένων μεθόδων στη βελτιστοποίηση.....	79
2.4.4.1. Εισαγωγή.....	79
2.4.4.2. Παραδοσιακή ανάλυση για τη <i>microcellular</i> περίπτωση.....	79
2.4.4.3. Προσέγγιση συνάρτησης κόστους.....	83
2.4.5. Η ομαδοποίηση των κυττάρων στη βελτιστοποίηση.....	85
3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΘΕΩΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΚΟΠΟ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	91
3.1. Εισαγωγή.....	91
3.2. Τα αποτελέσματα της εξομοίωσης.....	92
3.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	99
4. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	100
5. ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΧΟΛΙΑ.....	107
5.1. Εισαγωγή.....	107
5.2. Μοντελοποίηση και εργαλεία.....	107
5.3. Διαδικασία σχεδιασμού του δικτύου.....	108
5.4. Βελτιστοποίηση για το λειτουργικό δίκτυο.....	111
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	115
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	117



ΛΙΣΤΑ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ

0-9

2D	Two dimensional
2G	2nd Generation
3D	Three dimensional
3G	3rd Generation
3GPP	3G Partnership Project

A

AMPS	Advanced Mobile Phone System
------	------------------------------

B

BCCH	Broadcast Control CHannel
BER	Bit Error Rate
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BSS	Basestation SubSystem

C

CAPEX	CAPital EXpenditure
CDMA	Code Division Multiple Access
CF	Cost Function
CM	Configuration Management

European COoperation in the field of Scientific & Technical research

Common Resource Management Server

D

D-AMPS	Digital AMPS
DL	DownLink

E

Enhanced Data Rate for GSM Evolution

F

Federal Communications Commission

FDD	Frequency Division Duplex
-----	---------------------------



Frequency Division Multiple Access

G

GPRS General Packet Radio Service

Global System for Mobile communication

H

HO HandOver

HV Horizontal-Vertical

I

ID IDentification

IP Internet Protocol

IPBTS IP Base Transceiver Station

ITRM IP Transport Resource Manager

ITU International Telecom Union

J

JTACS Japan TACS

K

KPI Key Performance Indicator

M

MHA Mast Head Amplifier

MS Mobile Station

N

NE Network Element

NMS Network Management System

NMT Nordic Mobile Telephone

NRT Non Real Time

NTT Nippon Telegraph and Telephone

NW NetWork

O

OPEX OPerating EXpenditure

P

P-CPICH Primary Common PIlot CHannel

Personal Communications System



PDC	Pacific Digital Cellular
PI	Performance Indicator
PS	Performance Spectrum
Q	
QoS	Quality of Service
R	
RAN	Radio Access Network
RLB	Radio Link Budget
RNC	Radio Network Controller
RRM	Radio Resource Management
RT	Real Time
S	
Standalone Dedicated Control CHannel	
SHO	Soft HandOver
SIR	Signal to Interference Ratio
SOM	Self Organising Map
T	
TACS	Total Access Com System
TCH	Traffic CHannel
TDMA	Time Division Multiple Access
TPC	Transmit Power Control
U	
UL	UpLink
Universal Mobile Telecommunications System	
Wideband Code Division Multiple Access	
WLAN	Wireless Local Area Network



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζεται η διαδικασία σχεδιασμού και βελτιστοποίησης ασύρματου δικτύου WCDMA (FDD mode), όπως καθορίζεται από το πρότυπο 3GPP.

Η εργασία αποτελείται από τρία μέρη: *μοντελοποίηση* και τα *εργαλεία* για το σχεδιασμό του ασύρματου δικτύου, τη διαδικασία για τον *προλειτουργικό έλεγχο* και τη *βελτιστοποίηση* για το λειτουργικό δίκτυο. Οι γενικές προκλήσεις που συναντώνται στον έλεγχο 3G δικτύων, είναι βασισμένες στο γεγονός ότι πολλά ζητήματα διασυνδέονται και πρέπει να εξεταστούν ταυτόχρονα, όπως:

- Σχεδιασμός σημαίνει όχι μόνο η ικανοποίηση της παρούσας κατάστασης και απαιτήσεων, αλλά μια λύση που θα συμμορφώνεται και σε μελλοντικές απαιτήσεις με την παροχή μιας αποδεκτής πορείας ανάπτυξης.
- Η μοντελοποίηση της κυκλοφορίας (traffic) του δικτύου δεν είναι μόνο το ερώτημα για το συνολικό ποσό αύξησης της κυκλοφορίας, αλλά και το ερώτημα για τις μελλοντικές απαιτήσεις διανομής και απόδοσης των υπηρεσιών.
- Όλα τα συστήματα CDMA έχουν μια σχέση μεταξύ χωρητικότητας και κάλυψης. Συνεπώς, ο σχεδιασμός δε βασίζεται μόνο στην εκτίμηση διάδοσης αλλά και στις παρεμβολές στο δίκτυο. Ιδανικά, η εκτίμηση επιλογής περιοχών θα γίνει βάσει της ανάλυσης του δικτύου με προγραμματισμένο φορτίο και προφίλ κυκλοφορίας/υπηρεσιών, λαμβάνοντας υπόψιν πιθανούς περιορισμούς που συνυπάρχουν.
- Η πρόβλεψη παροχής πολλαπλών υπηρεσιών και η αδιάλειπτη διαχείριση τουλάχιστον δύο συστημάτων πολλαπλής πρόσβασης απαιτούν τη γρήγορη εξέλιξη των διαχειριστικών εργαλείων και διαδικασιών. Η απόδοση του δικτύου από άποψη χωρητικότητας και ποιότητας, συνυπολογίζοντας την υλοποίηση και τα λειτουργικά έξοδα, διαμορφώνει ένα πολυδιάστατο ζήτημα. Ο στόχος των χειριστών θα είναι να μετατρέψουν την επιχειρησιακή στρατηγική σε μια



λειτουργική οντότητα στον θεωρητικό άξονα της απόδοσης, κατά έναν οικονομικά αποδοτικό τρόπο.

Η συμβολή της εργασίας της Jaana Laiho από άποψη μοντελοποίησης και εργαλείων είναι η ακόλουθη:

- Βελτίωση της ακρίβειας του προϋπολογισμού ασύρματων ζεύξεων με την εισαγωγή του περιθωρίου ελέγχου ισχύος (power control headroom) αποκαλούμενου επίσης ως fast fading margin.
- Βελτίωση της εξίσωσης φόρτωσης με την εισαγωγή του όρου αύξησης ισχύος εκπομπής (transmit power increase).
- Ανάπτυξη της θεωρίας και της μοντελοποίησης ενός σχεδιαστικού εργαλείου, ικανού για ανάλυση των παρεμβολών της χωρητικότητας και της κάλυψης ενός multi-service και multi-carrier δικτύου.
- Ανάπτυξη και υλοποίηση μιας διεπαφής, λαμβάνοντας υπόψη την πραγματική διανομή κυκλοφορίας (ανομοιόμορφη) και την ταχύτητα των τερματικών.

Στον τομέα της προλειτουργικής διαδικασίας σχεδιασμού, η συμβολή της εργασίας της Jaana Laiho είναι η ακόλουθη:

- Ανάπτυξη μιας διαστασιολογικής μεθοδολογίας για την εκτίμηση της πυκνότητας περιοχών στο multi-service δίκτυο, κάνοντας χρήση της μοντελοποίησης του fast fading margin, του power control headroom, του soft handover και του E_b/N_0 .
- Ανάπτυξη της διαδικασίας σχεδιασμού ασύρματου δικτύου για multi-service περιβάλλον συμπεριλαμβανομένης της αξιολόγησης χωρητικότητας και κάλυψης για δεδομένο συνδυασμό κυκλοφορίας, ποιότητας και απαιτήσεων περιοχής.
- Ανάλυση των μέσων ώστε να βελτιωθεί η απόδοση του ασύρματου δικτύου με επικεφαλή ενισχυτή ιστού (MHA), την ποικιλομορφία λήψης (diversity), την τομεοποίηση (sectorisation) και την κατάλληλη επιλογή κεραιών.

Στον τομέα της βελτιστοποίησης του λειτουργικού δικτύου η συμβολή της εργασίας της Jaana Laiho είναι η ακόλουθη:



- Καθορισμός του στόχου βελτιστοποίησης στην περίπτωση του 3G. Η βελτιστοποίηση θα είναι στη διαχείριση χωρητικής - ποιοτικής ανταλλαγής αντί της απλής διαδικασίας βελτίωσης της ποιότητας
- Εισαγωγή του χάρτη αυτο-οργάνωσης (SOM) στην ανάλυση του κυψελοειδούς δικτύου.
- Ανάλυση της δυνατότητας εφαρμογής του SOM στην βελτιστοποίηση του κυψελοειδούς δικτύου WCDMA.
- Εισαγωγή εφαρμογών βασισμένων στο SOM που θα υποστηρίζουν τη διαχείριση εναλλαγής χωρητικότητας - ποιότητας στο δίκτυο.

Αξίζει να αναφερθεί ότι η διαδικασία και οι μέθοδοι που περιγράφονται στην εργασία της Jaana Laiho δεν περιορίζονται μόνο στα 3G συστήματα με τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης WCDMA, αλλά και σε άλλα πρότυπα CDMA.



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

1.1. Εισαγωγή στο σχεδιασμό και στην βελτιστοποίηση δικτύου WCDMA.

Η τηλεπικοινωνιακή βιομηχανία μετατοπίζει αυτήν την περίοδο την εστίασή της από τη δεύτερη (2G) γενιά προς την τρίτη. Η μετατόπιση σχετίζεται όχι μόνο με την εξέλιξη της τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης, αλλά και με το όραμα ανάπτυξης της πρόβλεψης και των απαιτήσεων των υπηρεσιών, τις προσδοκίες και τη διαφοροποίηση των πελατών. Επιπλέον, ο ρόλος των χειριστών αλλάζει: κάποιος μπορεί να διακρίνει μεταξύ του φορέα παροχής υπηρεσιών (εικονικός χειριστής) και του χειριστή δικτύων, που φέρνει την ευθύνη της υποδομής και μισθώνει airtime για τους φορείς παροχής υπηρεσιών.

Ενώ τα υπάρχοντα 2G δίκτυα θα εξελίσσονται και θα φέρουν νέες υπηρεσίες δεδομένων πακέτων (packet data) διαδικτύου στις αγορές, ένας όλο και αυξανόμενος αριθμός χειριστών και άλλων επαγγελματιών ασύρματης επικοινωνίας θα εξοικειώνεται με την τεχνολογία WCDMA και θα προετοιμάζεται για τα 3G δίκτυα. Θα υπάρξουν διάφορες νέες προκλήσεις κατά την μετάβαση από 2G στα νέα 3G δίκτυα, πολλές από τις οποίες σχετίζονται με το μοντέλο και το σχεδιασμό πραγματικών multi-service ασύρματων δικτύων, και μερικές από αυτές σε ιδιαίτερες πτυχές της τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης WCDMA.

Πριν εξετάσουμε με περισσότερη λεπτομέρεια τι πραγματικά θα είναι νέο (και διαφορετικό) στο σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση ασύρματων δικτύων WCDMA, είναι χρήσιμο να συνοψίσουμε μερικά από τα καθοριστικά χαρακτηριστικά των πολυ-χρηστικών δικτύων 3G.

Η ασύρματη 3G πρόσβαση μπορεί να χαρακτηριστεί με τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Ιδιαίτερα προηγμένη ασύρματη διεπαφή, που στοχεύει σε μεγάλη ευελιξία στη μεταφορά και πολυπλεξία μεγάλου συνόλου φωνών και σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, υπηρεσιών δεδομένων. Επιπλέον το throughput θα κυμαίνεται από χαμηλά ως πολύ υψηλά data rates, ιδανικά μέχρι 2Mbps.
- Κάλυψη κυττάρων και μοντέλο υπηρεσιών για πολλαπλές υπηρεσίες με μεγάλες διαφοροποιήσεις σε απαιτήσεις QoS. Λόγω των μεγάλων διαφορών στους προκύπτοντες προϋπολογισμούς ασύρματων συνδέσεων, τα ομοιόμορφα σχέδια



κάλυψης και χωρητικότητας όπως εφαρμόζονται στα σημερινά voice-only ασύρματα δίκτυα, δεν μπορούν πλέον να ληφθούν υπόψη. Οι απαιτήσεις κυκλοφορίας και οι στόχοι για QoS θα πρέπει να διακριθούν μεταξύ των διαφορετικών υπηρεσιών.

- Ένα μεγάλο σύνολο περίπλοκων χαρακτηριστικών και καλά σχεδιασμένου στρώματος ασύρματων συνδέσεων. Παράδειγμα: ποικίλα σχέδια προσαρμογής κωδικοποίησης/throughput ασύρματων συνδέσεων. Υποστήριξη για προηγμένα σενάρια ενίσχυσης της απόδοσης των κεραιών, όπως η ποικιλομορφία εκπομπής των BS, ή η ενεργοποίηση 'σχημάτων' ακύρωσης παρεμβολών.
- Αποδοτικοί μηχανισμοί που θα μετριάζουν τις παρεμβολές και θα μπορούν να λειτουργούν με σταθερότητα σε ένα έντονα περιορισμένο περιβάλλον παρεμβολών. Η υψηλή αποδοτικότητα φασματικής λειτουργίας θα απαιτεί καλή κυριαρχία των κυττάρων με κατάλληλες επιλογές στις θέσεις περιοχών, στο εύρος δέσμης κεραιών, τις κλίσεις, τον προσανατολισμό, κ.λπ.
- Η εκτενής χρήση "best effort" στην πρόβλεψη της χωρητικότητας των πακέτων δεδομένων, π.χ. προσωρινά αχρησιμοποίητη χωρητικότητα ασύρματων πόρων θα μπορεί να τεθεί στην διάθεση των συνδέσεων πακέτων δεδομένων που λειτουργούν εκείνη τη στιγμή κατά τρόπο εύκαμπτο και δίκαιο.
- Η σημασία της φάσης βελτιστοποίησης ασύρματων δικτύων θα αυξηθεί συγκρινόμενη με τα σημερινά 2G δίκτυα, όπου το αρχικό φορτίο είναι στον αρχικό προγραμματισμό συχνότητας. Ο λόγος για αυτό είναι η περιορισμένης χωρητικότητας φύση των δικτύων.
- Προκειμένου να είναι σε θέση να παρέχουν υψηλή χωρητικότητα, τα 3G δίκτυα πρέπει να προσφέρουν αποδοτικά μέσα για πολυστρωματική λειτουργία. Επιπλέον, απαιτείται η απρόσκοπτη συνλειτουργία των 2G και 3G.
- Μια άλλη πολύ σημαντική πτυχή είναι η δυνατότητα της συντοποθέτησης των 3G κυττάρων στις υπάρχουσες 2G περιοχές, μειώνοντας το κόστος και τα γενικά κόστη κατά τη διάρκεια της απόκτησης και συντήρησης των περιοχών. Εντούτοις, η συντοποθέτηση 2G-3G δημιουργεί διάφορα ζητήματα, τα οποία ο αρμόδιος για το σχεδιασμό του δικτύου (και εκπομπής) πρέπει να εξετάσει.



Σε αυτήν την εισαγωγή το WCDMA εξετάστηκε εν' συντομία. Συνοψίζοντας τα απεριθμημένα ζητήματα, κάποιος μπορεί να δει ότι θα υπάρξουν μερικά νέα στοιχεία και βεβαίως νέες λεπτομέρειες που ο προμηθευτής του δικτύου θα έχει να εξετάσει και να αντιμετωπίσει κατά το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση του δικτύου WCDMA. Και όμως, υπάρχουν υπό κάποια έννοια πολύ λίγα νέα (ζητήματα) στο σχεδιασμό του WCDMA: απαιτεί μόνο τις ορθές πρακτικές σχεδιασμού των σημερινών ασύρματων συστημάτων για να αναγνωριστεί και να εφαρμοστεί με ένα σωστό και πειθαρχημένο τρόπο.

Οι γενικές προκλήσεις που συναντώνται στο σχεδιασμό 3G δικτύων είναι βασισμένες στο γεγονός ότι πολλά ζητήματα διασυνδέονται και πρέπει να εξεταστούν ταυτόχρονα. Τα ζητήματα αυτά (π.χ. σχεδιασμός, μοντελοποίηση, χωρητικότητα, κάλυψη, διαχείριση, απόδοση κ.λ.π. αναπτύχθηκαν στην περίληψη της παρούσας εργασίας.

1.2. Μια συνοπτική ματιά στην ιστορία των κυψελοειδών δικτύων.

Η ιστορία των κινητών τηλεπικοινωνιών άρχισε με τα πειράματα των πρώτων πρωτοπόρων στο αντικείμενο. Οι μελέτες του Hertz στα τέλη του 18^{ου} αιώνα ενέπνευσαν τον Marconi στην αναζήτηση αγοράς για τα νέα προϊόντα. Οι ανάγκες επικοινωνίας κατά τον πρώτο και δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο βοήθησαν επίσης την έναρξη των κυψελοειδών ασύρματων δικτύων, ειδικά από άποψη χρήσης υψηλότερων συχνοτήτων. Τα πρώτα εμπορικά συστήματα ήταν μονοκατευθυντικά, και ο χειριστής έπρεπε να κάνει την κλήση. Στην περίπτωση δημιουργίας μιας κλήσης εν κινήσει ο πελάτης έπρεπε να ψάξει για ένα μη απασχολημένο κανάλι χειροκίνητα [1]. Τα Bell Laboratories εισήγαγαν αρχικά την κυψελοειδή έννοια όπως είναι γνωστή σήμερα. Τον Δεκέμβριο του 1971 κατέδειξαν πώς θα μπορούσε να σχεδιαστεί το κυψελοειδές σύστημα [2].

Το πρώτο λειτουργικό κυψελοειδές σύστημα στον κόσμο ήταν στο Τόκιο, Ιαπωνία το 1979. Το δίκτυο χειριζόταν από το NTT, γνωστό επίσης και ως ισχυρός οδηγός για κυψελοειδή συστήματα βασισμένα στο WCDMA. Το σύστημα χρησιμοποιούσε 600 duplex κανάλια στη ζώνη των 800 MHz, με διαχωρισμό καναλιών της τάξης των 25 kHz. Ένα άλλο αναλογικό σύστημα στην Ιαπωνία ήταν το JTACS. Στην Ιαπωνία επίσης ήταν που συνειδητοποιήθηκε ότι από άποψη χρηστών μια ενιαία διεπαφή απαιτείται για



δυνατότητες roaming. Η μελέτη ανάπτυξης άρχισε το 1989 για το νέο ψηφιακό σύστημα που αναπτύχθηκε το 1991 και παρουσιάστηκε ως Pacific Digital Cellular (PDC).

Το 1981, δύο έτη αργότερα απ' ότι στην Ιαπωνία, η κυψελοειδής εποχή έφτασε και για την Ευρώπη. Το πρώτο κινητό τηλέφωνο στη ζώνη των 450MHz (σύστημα NMT-450) άρχισε να λειτουργεί στη Σκανδιναβία. Το ολικής πρόσβασης σύστημα επικοινωνιών (TACS) προωθήθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1982 και το *extended* TACS το 1985. Στη συνέχεια, το Σεπτέμβρη του 1985, εισήχθη στη Γερμανία το κυψελοειδές σύστημα C-450. Κατά συνέπεια, στο τέλος της δεκαετίας του '80 η Ευρώπη ήταν εξοπλισμένη με πολλά διαφορετικά κυψελοειδή συστήματα, τα οποία δεν ήταν ικανά να επικοινωνήσουν. Μέχρι την πρόσφατη δεκαετία του '80 ήταν σαφές ότι τα κυψελοειδή συστήματα πρώτης γενεάς γίνονταν ξεπερασμένα. Η τεχνολογία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων είχε καταστήσει τις ψηφιακές επικοινωνίες όχι μόνο πρακτικές αλλά και πιο οικονομικές από την αναλογική τεχνολογία.

Στην πρόωρη δεκαετία του '90 τα δεύτερης γενιάς (ψηφιακά) κυψελοειδή συστήματα παραγωγής άρχισαν να επεκτείνονται σε όλο τον κόσμο. Η Ευρώπη άνοιξε το δρόμο με την εισαγωγή του GSM (Παγκόσμιο σύστημα για την κινητή επικοινωνία). Ο σκοπός του GSM ήταν να παράσχει ένα ενιαία ενοποιημένο πρότυπο στην Ευρώπη. Αυτό θα επέτρεπε αδιάλειπτες υπηρεσίες φωνής σε όλη την Ευρώπη από την άποψη της διεθνούς περιπλάνησης (roaming).

Η κατάσταση στις Ηνωμένες Πολιτείες ήταν λίγο διαφορετική απ' ότι στην Ευρώπη. Τα αναλογικά συστήματα πρώτης γενιάς υποστηρίχθηκαν με το προηγμένο πρότυπο σύστημα κινητής τηλεφωνίας (AMPS), διαθέσιμο για το κοινό από το 1983. Κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της κυψελοειδούς τεχνολογίας στις Ηνωμένες Πολιτείες, ο ψηφιακός κόσμος χωρίστηκε στα τρία. Το πρώτο ψηφιακό σύστημα παρουσιάστηκε το 1991 και ήταν το IS-54 (Βορειοαμερικανικός ψηφιακός κυψελοειδής TDMA) ενώ μια νέα έκδοση που υποστήριζε πρόσθετες υπηρεσίες (IS-136) εισήχθη το 1996. Το IS-95 (cdmaOne) εισήχθη το 1993. Και τα δύο πρότυπα λειτουργούσαν στην ίδια ζώνη (band) με το AMPS. Συγχρόνως η FCC δημοπράτησε μια νέα ζώνη του φάσματος στη στα 1900MHz. Αυτό άνοιξε την είσοδο στο GSM1900 (PCS) για την Αμερικανική αγορά.

Μια ενδιαφέρουσα επισκόπηση του GSM και της εξέλιξης προς το 3G βρίσκεται στην αναφορά [3].



Κατά την τελευταία δεκαετία, ο κόσμος των τηλεπικοινωνιών έχει αλλάξει δραστικά για διάφορους τεχνικούς και πολιτικούς λόγους. Η ευρεία χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας στις τηλεπικοινωνίες επέφερε ριζικές αλλαγές στις υπηρεσίες και τα δίκτυα. Επιπλέον, κατά την πάροδο του χρόνου, ο κόσμος γινόταν ολοένα και «μικρότερος». Roaming στην Ιαπωνία, στην Ευρώπη ή στις Ηνωμένες Πολιτείες ανεξάρτητα, δεν είναι πλέον αρκετό. Η παγκοσμιοποίηση ασκεί επίσης τη δική της επίδραση στον κυψελοειδή κόσμο.

Επιπροσθέτως το παρόν ισχυρό ρεύμα προς την ασύρματη πρόσβαση διαδικτύου μέσω κινητών τερματικών, παρήγαγε ανάγκες για ένα καθολικό πρότυπο, το Universal Mobile Telecommunication Standard (UMTS) ή αλλιώς 3G [4-6].

Τα δίκτυα τρίτης γενεάς αναπτύσσονται με την ενσωμάτωση των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων των τηλεπικοινωνιών και των βασισμένων στο IP πρωτόκολλο δικτύων. Τα δίκτυα βασισμένα στο IP, που αρχικά σχεδιάστηκαν για να υποστηρίξουν μετάδοση δεδομένων, έχουν αρχίσει να μεταφέρουν σήματα ροής (streaming signals) όπως ήχο/φωνή με περιορισμένη ποιότητα και καθυστερήσεις, τα οποία ήταν δύσκολο να ελεγχθούν. Τα σχόλια και οι προβλέψεις σχετικά με τις ασύρματες ευρυζωνικές επικοινωνίες και τις ασύρματες υπηρεσίες διαδικτύου καλλιεργούν οράματα απεριόριστων υπηρεσιών και εφαρμογών που θα είναι διαθέσιμες στον καταναλωτή "οπουδήποτε και οποτεδήποτε". Οι καταναλωτές αναμένουν να κάνουν 'σερφ' στον παγκόσμιο ιστό, να ελέγχουν το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, να μετακινούν αρχεία, να έχουν κλήσεις τηλεδιάσκεψης πραγματικού χρόνου και να εκτελούν ποικιλία άλλων εργασιών μέσω ασύρματης σύνδεσης. Ο καταναλωτής αναμένει μια ομοιόμορφη διεπαφή που θα του παρέχει πρόσβαση μέσω ασύρματης σύνδεσης είτε ψωνίζοντας στο εμπορικό κέντρο, είτε περιμένοντας στον αερολιμένα, είτε περπατώντας γύρω από την πόλη, είτε εργαζόμενος στο γραφείο, είτε οδηγώντας στην εθνική οδό.

Η νέα γενεά δεν είναι επαναστατική μόνο από άποψη τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης, και κάποιος μπορεί να αντιληφθεί ότι η προώθηση νέων τεχνικών λύσεων δεν είναι το μόνο κίνητρο για το 3G. Οι απαιτήσεις προέρχονται επίσης από τις αυξανόμενες απαιτήσεις των πελατών, τα νέα επιχειρησιακά οράματα, και τις νέες προτεραιότητες στη ζωή.



1.3. Η εξέλιξη του σχεδιασμού των ασύρματων δικτύων.

Ελάχιστα έχουν δημοσιευτεί σχετικά με τη διαδικασία σχεδιασμού ασύρματων δικτύων 3G. Ο σχεδιασμός βασίστηκε στην εξαγωνική προσέγγιση και οι αδυναμίες που εντοπίστηκαν είναι κυρίως οι παρακάτω:

- Η πυκνότητα κυκλοφορίας στο δίκτυο δεν μπορεί να θεωρείται ομοιόμορφη,
- Η διάδοση σήματος δεν μπορεί να θεωρείται ομοιόμορφη,
- Οι θέσεις των σταθμών βάσης δεν μπορούν να επιλέγονται αυθαίρετα,
- Το εύρος κυκλοφορίας του δικτύου έχει συνήθως ένα όριο, το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Στην αναφορά [7] προτείνεται ένα ολοκληρωμένο εργαλείο που χειρίζεται το σχεδιασμό σταθμών βάσης (θέματα κεραιών, θέση), την πρόβλεψη διάδοσης και την κατανομή συχνότητας. Επιπλέον, σχολιάζονται ζητήματα πυκνότητας κυκλοφορίας στο δίκτυο.

Οι μέθοδοι σχεδιασμού αναπτύσσονται αναλυτικότερα στην αναφορά [8], όπου εισάγονται οι επιρροές των ποιοτικών απαιτήσεων στο σχεδιασμό ασύρματων δικτύων.

Μπορεί να σημειωθεί ότι ο σχεδιασμός ασύρματων δικτύων και η ανάπτυξή τους στο χρόνο χαρτογραφείται εύκολα στην πορεία της ανάπτυξης των τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης και των απαιτήσεων που τίθενται από αυτές. Τα πρώτα αναλογικά δίκτυα σχεδιάστηκαν βασισμένα σε χαμηλές απαιτήσεις χωρητικότητας.

Ο σχεδιασμός ασύρματων δικτύων βασίστηκε καθαρά στην κάλυψη. Οι αριθμός των περιοχών-κυττάρων ήταν υψηλός για να κρατήσει την κατανομή συχνοτήτων χαμηλή και χρησιμοποιήθηκαν πανκατευθυντικές κεραιές. Το πρότυπο διάδοσης Okumura-Hata ήταν και είναι ευρέως χρησιμοποιούμενο στον υπολογισμό κάλυψης κατά τον σχεδιασμό macrocellular δικτύων. Οι μετρήσεις που έγιναν από τον Y. Okumura [9] στο Τόκιο στις συχνότητες μέχρι τα 1920 MHz, προσαρμόστηκαν σε ένα μαθηματικό πρότυπο από τον M.Hata [10]. Στο αρχικό πρότυπο οι «απώλειες μονοπατιού» υπολογίστηκαν με την εκτίμηση του εμπειρικού παράγοντα διόρθωσης εξασθένησης για αστικές περιοχές ως συνάρτηση της απόστασης μεταξύ σταθμού βάσης, κινητού σταθμού και συχνότητας. Ο παράγοντας αυτός προστέθηκε στις απώλειες «ανοικτού» χώρου. Το αποτέλεσμα διορθώθηκε από τους παράγοντες κεραιών για τους σταθμούς βάσης και το ύψος κεραιών



για τους κινητούς σταθμούς. Περαιτέρω διορθωτικοί παράγοντες παρασχέθηκαν για τον προσανατολισμό οδών, προαστιακές και ανοικτές περιοχές, και για ανώμαλες εκτάσεις.

Οι τύποι του Hata ισχύουν όταν η συχνότητα μεταφοράς είναι μεταξύ 150 και 1000MHz, το ύψος σταθμών βάσης είναι μεταξύ 30 και 200m, το ύψος κινητών σταθμών είναι μεταξύ 1 και 10m ενώ η απόσταση είναι από 1 έως 20 χλμ. Το ύψος κεραιών σταθμών βάσης πρέπει να είναι επάνω από το επίπεδο των στεγών των παρακείμενων στο σταθμό βάσης κτιρίων. Κατά συνέπεια, το πρότυπο προτείνεται για χρήση στις μελέτες διασποράς των macrocells. Τα αρχικά δεδομένα στα οποία στηρίχθηκε η ανάπτυξη του μοντέλου υπολογίστηκαν κατά μέσο όρο από ένα διάστημα 20m που υπήρξε μια ελάχιστη χωρική ανάλυση του προτύπου. Λόγω του περιορισμού ζώνης συχνότητας, το αρχικό πρότυπο προσαρμόστηκε κατά COST-231 με συνέπεια ένα πρότυπο COST-231-Hata έχοντας έκταση από 1.5 έως 2.0GHz, το οποίο βρίσκει επίσης εφαρμογή στα ασύρματα δίκτυα τρίτης γενεάς [11]. Οι πιο πρόσφατες εξελίξεις γύρω από το COST μπορούν να βρεθούν στην [12].

Από τα διαθέσιμα πρότυπα διάδοσης, το πρότυπο Okumura-Hata είναι αυτό το οποίο αναφέρεται πιο συχνά. Επομένως έγινε το σημείο αναφοράς και σύγκρισης για όλα τα υπόλοιπα πρότυπα. Η ποικιλία της δυνατότητας χρήσης με διάφορους τύπους εκτάσεων εδάφους και διαφορετικών παραμέτρων για τα δίκτυα, έχει καταστήσει το πρότυπο Okumura- Hata πολύ χρήσιμο σε πολλές μελέτες διάδοσης.

Κατά τη διάρκεια του χρόνου, μαζί με την εξέλιξη των 2G συστημάτων, η κατανομή συχνοτήτων ανά περιοχή γινόταν υψηλότερη λόγω των αυξανόμενων απαιτήσεων χωρητικότητας. Επιπλέον, η αρχική υπόθεση ότι οι πελάτες κυψελοειδών υπηρεσιών θα ήταν συνήθως κινούμενοι σε οχήματα αποδείχθηκε ανακριβής. Κατά συνέπεια τα μέγιστα επίπεδα εκπομπής T_x του εξοπλισμού των χρηστών μειώθηκαν τουλάχιστον 10dB, προκαλώντας την ανάγκη επανισορρόπησης του προϋπολογισμού των ασύρματων συνδέσεων. Αυτό ανάγκασε τα κυψελοειδή δίκτυα να αποφύγουν την πανκατευθυντική δομή περιοχών και οδήγησε στην εισαγωγή του διαχωρισμού σε κύτταρα, π.χ. μια περιοχή να αποτελείται από τρεις τομείς αντί ενός μοναδικού [8,13].

Εξαιτίας των αυξανόμενων απαιτήσεων φασματικής αποδοτικότητας ο μηχανισμός ελέγχου των παρεμβολών έγινε σημαντικότερος. Εκτός από το sectorisation, η κλίση κεραιών εισήχθη ως μηχανισμός μείωσης των διακαναλικών παρεμβολών [14].



Επιπλέον, το macrocellular πρότυπο διασποράς δεν ήταν πλέον αρκετά ακριβές και τα νέα πρότυπα απαιτούνταν για την υποστήριξη σχεδιασμού microcellular δικτύων.

Το Walfisch-Ikegami είναι ένα άλλο πρότυπο που αναφέρεται συχνά. Αυτό το πρότυπο είναι βασισμένο στην υπόθεση ότι το εκπεμπόμενο κύμα διασπείρεται από τις στέγες με μια διαδικασία πολλαπλής διάθλασης. Τα κτίρια στην ευθεία μεταξύ του πομπού και του δέκτη χαρακτηρίζονται ως μισά περιθλαστικά προπετάσματα με ίσο διαχωρισμό ύψους και κλίμακας [15,16]. Αν και το πρότυπο Walfisch-Ikegami θεωρείται ως ένα microcell πρότυπο, πρέπει να χρησιμοποιείται πολύ προσεκτικά όταν η κεραία του πομπού είναι κάτω από τις στέγες των παρακείμενων κτηρίων.

Η δυνατότητα εφαρμογής των προαναφερθέντων προτύπων διάδοσης στα 3G δίκτυα έχει μελετηθεί, και τα συμπεράσματα για τις μελέτες μπορούν να βρεθούν στα [17] και [18]. Η μοντελοποίηση διάδοσης είναι ένα σημαντικό ζήτημα για το σχέδιο απόδοσης συχνότητας. Η διανομή συχνότητας, ανεξάρτητη από την πραγματική μέθοδο κατανομής, είναι βασισμένη σε προβλεφθέντα στοιχεία διάδοσης, και επομένως έχει προκύψει η ανάγκη για όλο και πιο ακριβή μοντελοποίηση της διάδοσης. Παραδείγματα ακριβέστερων προτύπων είναι αυτά που βασίζονται στην ακτινική ανίχνευση. Μερικά πρότυπα ακτινικής ανίχνευσης μπορούν να βρεθούν, παραδείγματος χάριν, στα [19-23].

Με την εφαρμογή ακτινικής ανίχνευσης 2D και την τρισδιάστατη μοντελοποίηση, η μοντελοποίηση διάδοσης στο εσωτερικό χώρων είναι ένα στοιχείο που έχει μελετηθεί πολύ. Στη [19] η χρήση της ακτινικής ανίχνευσης στην πρόβλεψη της διάδοσης, εισάγεται σε ένα μάλλον γενικό επίπεδο. Οι πρακτικοί περιορισμοί (όπως η γεωμετρική ακρίβεια του προτύπου) συζητούνται. Το [20] περιέχει ένα νέο 2D πρότυπο ακτινικής ανίχνευσης. Η μοντελοποίηση της διάθλασης έχει βελτιστοποιηθεί για να παρέχει ακριβέστερες προβλέψεις σε περιπτώσεις ανομοιόμορφων υψών και κενών μεταξύ κτιρίων, και σε επίπεδες εκτάσεις. Στο [21] εισάγεται ένα προσαρμοστικό τρισδιάστατο πρότυπο. Το κύριο κίνητρο σε αυτό το έγγραφο είναι να αποφευχθεί η υπολογιστική πολυπλοκότητα, αλλά να παρέχει ακριβείς προβλέψεις για microcellular περιβάλλοντα. Το τρισδιάστατο πρότυπο χρησιμοποιείται μόνο εκεί όπου απαιτείται και ωθήσεις για μετάβαση από το τρισδιάστατο πρότυπο στο απλούστερο 2D, κατά τη διάρκεια της εκτίμησης της ισχύος εκπομπής στους τομείς μελετώνται με τη βοήθεια πραγματικών μετρήσεων. Στα [22] και [23] παρέχονται μέθοδοι για την εκτίμηση διάδοσης στο εσωτερικό χώρων. Η προσέγγιση σε αυτά τα δύο έγγραφα είναι πολύ διαφορετική. Το [22] εισάγει την ακριβέστατη



μοντελοποίηση τοίχων (patched wall model) και το συνδυασμό 2D και τρισδιάστατης ακτινικής ανίχνευσης. Στο [23] η προσέγγιση είναι μάλλον απλή: η ισχύς του τομέα έξω από το κτίριο υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το υπαίθριο τρισδιάστατο πρότυπο. Η ισχύς του τομέα στο εσωτερικό των κτιρίων υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μια απώλεια τοίχων (dB) και μια εσωτερική απώλεια (dB/m). Καμία πρόσθετη πληροφορία για την εσωτερική δομή των κτιρίων δεν απαιτείται. Η μοντελοποίηση έχει συγκριθεί με καταγεγραμμένα δεδομένα και η απόδοση είναι αρκετά ακριβής.

Πρόσφατα, παρουσιάστηκαν και εφαρμόστηκαν μέθοδοι για τον σχεδιασμό συχνοτήτων για το GSM βασισμένες σε εκθέσεις μετρήσεων κινητών σταθμών, δείτε [24] και [25]. Οι δυνατότητες που προσφέρονται από τις εκθέσεις των κινητών στο GSM και το WCDMA πρέπει να χρησιμοποιηθούν περισσότερο στη διαδικασία ελέγχου των δικτύων (σχεδιασμό, βελτιστοποίηση και ολοκλήρωση αυτών των δύο).

Επιπρόσθετα στην ανάπτυξη του μοντέλου διάδοσης παρατηρήθηκε ότι οι αυξημένες απαιτήσεις χωρητικότητας θα μπορούσαν να ικανοποιηθούν μόνο με ακριβέστερο σχεδιασμό συχνοτήτων. Η ανάθεση συχνότητας μαζί με τον υπολογισμό των ορίων για τα γειτονικά κύτταρα (για λόγους μετάβασης) και της βελτιστοποίησης αυτών ήταν τα κύρια ζητήματα στο σχεδιασμό GSM δικτύων. Στην περίπτωση του GSM, η μεταπήδηση συχνότητας εισήχθη για την περαιτέρω βελτίωση της φασματικής απόδοσης. Προηγμένες μέθοδοι κατανομής συχνότητας μπορούν να βρεθούν στη λογοτεχνία, ενώ ένα παράδειγμα βασισμένο στη εξομοιωμένη ισχυροποίηση είναι μέσα στο [26]. Στο [27] μελετάται μια μέθοδος για αυτόματο σχεδιασμό συχνότητας για D-AMPS. Στο [28] εισάγονται προηγμένα χαρακτηριστικά για τα συστήματα FDMA/TDMA.

Αυτά τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν τη βελτίωση της επαναχρησιμοποίησης συχνότητας με:

- Αναπήδηση συχνότητας,
- Προσαρμοστικές κεραιές,
- Κλασματική φόρτωση,
- Ιεραρχικές δομές κυττάρων.

Ολοκληρώνοντας, μπορούμε να αντιληφθούμε βάσει διάφορων εγγράφων (παραδείγματος χάριν [29], [30], [32]) ότι η πρόβλεψη της διάδοσης είναι περιορισμένης ακρίβειας λόγω του ότι το περιβάλλον διάδοσης είναι πολύ δύσκολο να εξομοιωθεί και



έτσι η παραγωγή ενός γενικού μοντέλου, που να ισχύει για πολλαπλά κύτταρα είναι από την φύση του περιορισμένο σε ακρίβεια. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα όταν πρέπει να ληφθούν υπόψιν και τα χαρακτηριστικά εξασθένησης (γρήγορης ή και αργής).

Οι πρόσφατες δραστηριότητες ελέγχου ασύρματων δικτύων επικεντρώνονται στην βελτιστοποίηση κλειστού βρόγχου του σχεδίου. Η αρχική προγραμματισμένη μοντελοποίηση είναι ημιαυτόματα συντονισμένη βάσει των στατιστικών που συλλέχθηκαν από το ενεργό δίκτυο. Προτάσεις για τη βελτίωση της απόδοσης παράδοσης από άποψη σωστά γειτονευόντων λιστών κυττάρων μπορούν να βρεθούν στα [29], [30]. Η σημαντική πτυχή με αυτήν την μέθοδο είναι ότι οι κοντινές σχέσεις που είναι αρχικά βασισμένες στην πρόβλεψη διάδοσης είναι αυτοσυντονιζόμενες βάσει πραγματικών μετρήσεων. Κατά συνέπεια οι ανακρίβειες μπορούν να αντισταθμιστούν στη φάση βελτιστοποίησης. Παρόμοιο σενάριο βασισμένο σε μετρήσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στο WCDMA για τις γειτονικές σχέσεις κυττάρων στο σύστημα [31].

Μια νέα τάση στην έρευνα σχεδιασμού ασύρματων δικτύων είναι η σύνθεση σχεδίων, που σημαίνει την αυτόματη παραγωγή των θέσεων περιοχών σταθμών βάσης ανάλογα με το αποτέλεσμα μιας συνάρτησης κόστους. Στο [33] ο στόχος είναι η χρήση μιας συνάρτησης κόστους που να ελαχιστοποιεί τις δαπάνες εφαρμογής, να μεγιστοποιεί την κάλυψη, να μεγιστοποιεί την προσφερθείσα κυκλοφορία και να μεγιστοποιεί το SIR στο δίκτυο. Η πρόσθετη πρόκληση για αυτόν τον τύπο προσέγγισης είναι να ληφθούν υπόψιν στον υπολογισμό οι κατευθύνσεις κεραιών, ο αριθμός τομέων και η κλίση.

Περιορισμοί στους εν' λόγω τύπους προσεγγίσεων προκύπτουν από το γεγονός ότι οι θέσεις περιοχών, πρακτικά, είναι περιορισμένες και η επαναχρησιμοποίηση και ο μοιρασμός περιοχών μεταξύ χειριστών είναι όλο ένα και πιο κοινός. Κατά συνέπεια, η "κοινοπραξία περιοχών" από την οποία ο αλγόριθμος μπορεί να επιλέξει τις βέλτιστες θέσεις είναι μάλλον μικρή. Σαν ακαδημαϊκή άσκηση, όταν δεν υπάρχει κανένας πρακτικός περιορισμός, αυτή η προσέγγιση είναι ενδιαφέρουσα. Τα αποτελέσματα της σύνθεσης σχεδίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να φέρουν περισσότερη ακρίβεια στη διαστασιολογική φάση (ή tendering), αλλά κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού στον πραγματικό κόσμο οι περιορισμοί πρέπει να εξετάζονται.

Στα κυψελοειδή δίκτυα ο έλεγχος χρήσης του δικτύου απαιτεί τέτοια λειτουργία που να μπορεί να χρησιμοποιήσει τις μετρημένες πληροφορίες ανατροφοδότησης και να αντιδράσει σωστά βασισμένος σε αυτή. Επομένως, είναι κρίσιμο η φάση σχεδιασμού να



είναι στενά ενσωματωμένη σε άλλες λειτουργίες ελέγχου και στο σύστημα διαχείρισης του δικτύου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση του WCDMA, εξ αιτίας του γεγονότος ότι θα υπάρξει ένα πλήθος υπηρεσιών, δηλαδή διαφοροποίηση πελατών που θέτει μια πολυδιάστατη μήτρα απαιτήσεων QoS. Ο ακριβής σχεδιασμός ενός τέτοιου δικτύου δεν είναι εφικτός λόγω της περιορισμένης ακρίβειας των δεδομένων εισόδου (διάδοση, ποσό κυκλοφορίας, διανομή κυκλοφορίας κ.λπ.). Ένα παράδειγμα ολοκλήρωσης ενός συστήματος διαχείρισης δικτύου και σχεδιασμού για συστήματα 2G μπορεί να βρεθεί στο [33].

1.4. Οι κύριες συνεισφορές της εργασίας της Jaana Laiho.

Αυτή η εργασία αποτελείται από τρία μέρη: τη μοντελοποίηση και τα εργαλεία για το σχεδιασμό του ασύρματου δικτύου, τη διαδικασία για τον προλειτουργικό έλεγχο του δικτύου και τη μέθοδο βελτιστοποίησης για το λειτουργικό δίκτυο.

Η σημαντική διαφορά της εργασίας αυτής και παλαιότερα δημοσιευμένων αποτελεσμάτων, σχετίζεται με τον γρήγορο έλεγχο ισχύος (fast power control). Το 3GPP έχει ορίσει την TPC κλάση των 1600 kHz η οποία στο cdmaOne είναι η μισή. Επιπλέον, στην αρχή της δεκαετίας του '90 το περιβάλλον χρήσης της κυψελοειδούς τεχνολογίας ήταν ακόμα κατά ένα μεγάλο ποσοστό τυχαία κινούμενο.

Αυτές οι διαφορές στις υποθέσεις εξηγούν το γεγονός ότι συγκεκριμένα ζητήματα στον σχεδιασμό ασύρματου δικτύου WCDMA, δηλαδή η αύξηση της ισχύος εκπομπής και εύρος TPC, που εισάγονται στα [P1] και [P3], δεν αναφέρονται πουθενά αλλού στην σχετική, με το CDMA, βιβλιογραφία. Επαλήθευση του αντίκτυπου του εύρους και τις αύξησης ισχύος στο QoS κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του ασύρματου δικτύου μελετάται, μεταξύ άλλων, στο [P4]. Το εργαλείο που χρησιμοποιείται στη μελέτη και στο οποίο εφαρμόζεται η μέση αξία διεπαφών παρουσιάζεται στα [P2] και [P3]. Η μοντελοποίηση του εργαλείου είναι νέα και δεν υπάρχει σε κάποια από τις διαθέσιμες βιβλιογραφίες.

Κατά τη διάρκεια της έρευνας παρήχθη μια διαδικασία σχεδιασμού για multi-service δίκτυα WCDMA η οποία αναφέρεται στο [P3]. Τα ζητήματα που παρουσιάζονται στα [45] και [63] αφορούν συστήματα cdmaOne. Επιπλέον αυτές οι αναφορές



περιγράφουν την περίπτωση που έχουμε μόνο μια υπηρεσία. Ο αντίκτυπος των υπηρεσιών δεδομένων στην απόδοση του δικτύου ή στη διαδικασία σχεδιασμού δεν έχει ακόμα συζητηθεί.

Σε αυτήν την εργασία μελετάται περαιτέρω και διευκρινίζεται η αλληλεξάρτηση κάλυψης και χωρητικότητας των συστημάτων CDMA. Στο [45], στη σελίδα 227, δηλώνεται ότι τυπικά τα συστήματα cdmaOne περιορίζονται από το uplink. Το γεγονός αυτό απλοποιεί τη διαδικασία σχεδιασμού, καθώς είναι αρκετό να εξετάσουμε μόνο την απόδοση του uplink. Η περίπτωση του WCDMA είναι διαφορετική εξ' αιτίας του γεγονότος ότι η πολυκατευθυντική διάδοση στο macro-cellular περιβάλλον υποβιβάζει την ορθογωνικότητα και έτσι το σύστημα περιορίζεται από το downlink. Τα ζητήματα της διαστασιολόγησης του downlink που εισάγονται στο [P3], [41] είναι νέα. στη βιβλιογραφία. Στο [61] επίσης αναφέρονται ζητήματα σχετικά με το downlink. Έχει όμως σημαντικές διαφορές έναντι της εργασίας της Jaana Laiho: το multi-service περιβάλλον έχει απλοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό, ο στόχος SIR είναι σταθερός ανά τύπο κυκλοφορίας, δεν έχουμε καμία επίδραση ταχύτητας ούτε περιλαμβάνονται οι επιδράσεις του TPC. Επιπλέον, το orthogonality δεν εξετάζεται καθόλου ακόμα και αν το περιβάλλον προσομοίωσης είναι macrocellular και έτσι η πιθανότητα για multipath διάδοση είναι πολύ υψηλή.

Λόγω του ότι το WCDMA είναι χωρητικά περιορισμένο, η βελτιστοποίηση από άποψη ελέγχου παρεμβολών, ήδη, στη φάση του σχεδιασμού είναι ουσιαστική. Επίσης, σημαντικά είναι τα μέσα που θα υποστηρίζουν τη γρήγορη ανάπτυξη του δικτύου. Η μελέτη στο [P5] καταδεικνύει τη χρησιμότητα των ΜΗΑ. Επιπλέον, βεβαιώνεται η επίδραση της επιλογής κεραιών, της κλίσης και του sectorisation στις παρεμβολές και κατά συνέπεια στη χωρητικότητα.

Επιπρόσθετα στην μοντελοποίηση του TPC, ο αντίκτυπος του αριθμού των sectors και της επιλογής των κεραιών έχει συμπεριληφθεί στην εξίσωση φόρτωσης του CDMA. Η νέα εκτίμηση φόρτωσης ασκεί επίσης επίδραση στην εκτίμηση κάλυψης, εξ αιτίας του γεγονότος ότι το περιθώριο παρεμβολών είναι άμεσα ανάλογο προς τον αριθμό φόρτωσης. Επιπλέον, παρέχονται σωστές τιμές (ανάλογα με την υπηρεσία και τη μοντελοποίηση περιοχών) για τις μεταβλητές στην εξίσωση.

Στα [P7], [P8] και [P9] εισάγεται μια νέα έννοια για την εργασία βελτιστοποίησης κυψελοειδούς δικτύου. Η μέθοδος ισχύει ιδιαιτέρως στα multi-service 3G δίκτυα.



Η ανάγκη για προηγμένες μεθόδους ανάλυσης προκύπτει από το γεγονός ότι η πρακτική εφαρμογή ενός δικτύου CDMA φέρει περιορισμούς, οι οποίοι δεν υποστηρίζονται με την προηγούμενα δημοσιευμένη θεωρία πάνω στο CDMA. Η βελτιστοποιημένη θεωρία και ωφελιμότητα της διαδικασίας σχεδιασμού που παρουσιάζεται στην εργασία της Jaana Laiho παρέχει την πρώτη εκτίμηση της συμπεριφοράς και απόδοσης του δικτύου. Μετά την πρόβλεψη των παραμέτρων μοντελοποίησης που ελέγχουν τα στοιχεία του δικτύου, είναι απαραίτητο να συλλέξουμε πληροφορίες (μέτρηση) από τα στοιχεία του δικτύου προκειμένου να ρυθμίσουμε την απόδοση του δικτύου. Ο αριθμός μεμονωμένων μετρητών ήδη σήμερα είναι χιλιάδες. Όταν το multi-service 3G περιβάλλον ελέγχεται, ο αριθμός μετρήσεων αυξάνεται και απαιτούνται αποτελεσματικές στατιστικές μέθοδοι. Η εργασία στα [P7] [P9] ως κυψελοειδής εφαρμογή είναι νέα, και δεν αναφέρεται στην παλαιότερη βιβλιογραφία.

Το [P7] αναφέρεται από οπτικής πλευράς του SOM. Το έγγραφο είναι η πρώτη επίδειξη του SOM στην ανάλυση δικτύου WCDMA. Το [P8] παρέχει ανάλυση αποτελεσμάτων για ένα κυψελοειδές δίκτυο WCDMA που αποκτήθηκαν από παραδοσιακά και προηγμένα μέσα. Τα αποτελέσματα του SOM εξηγούνται με το συνδυασμό της προσέγγισης συνάρτησης κόστους χρησιμοποιώντας παραδοσιακά αποτελέσματα ανάλυσης ως δεδομένα, και τις γνώσεις των ειδικών. Η προηγμένη ανάλυση που βασίζεται στο SOM και η παραδοσιακή ανάλυση (που συνδυάζεται με τις γνώσεις των ειδικών) παρουσιάζουν καλή συμφωνία και η βασισμένη στο SOM ανάλυση συστήνεται για μελλοντικά κυψελοειδή δίκτυα για να βοηθήσει την αποτελεσματική διαχείριση των δικτύων. Το [P9] παρουσιάζει παραδείγματα, το πώς τα βασισμένα στο SOM εργαλεία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε πραγματικά συστήματα διαχείρισης δικτύων.

Το πεδίο για την εργασία της Jaana Laiho έχει επιλεγεί για να καλύπτει το σχεδιασμό ασύρματου δικτύου και τη βελτιστοποίηση του. Επιπλέον έχει καταδειχθεί ότι η απόδοση του δικτύου (και προλειτουργική και λειτουργική) εξαρτάται έντονα από τις καταστάσεις μέσα στο κύτταρο (περιβάλλον διάδοσης, διανομή ταχύτητας των χρηστών, υπηρεσίες) και την πραγματική εφαρμογή, δηλ. αλγόριθμοι που ελέγχουν τα στοιχεία του δικτύου, τον εξοπλισμό και τις κεραιές του δικτύου στο χώρο του BS. Η πραγματική εφαρμογή, τα αποτελέσματα και οι περιορισμοί αυτής, πρέπει να ληφθούν υπόψη σε όλες τις φάσεις ανάπτυξης του δικτύου.



2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ WCDMA

2.1. Εισαγωγή

Καθώς πλησιάζει το λανσάρισμα της τεχνολογίας τρίτης γενεάς, οι χειριστές διαμορφώνουν τις στρατηγικές για την ανάπτυξη των δικτύων τους. Αυτές οι στρατηγικές πρέπει να υποστηρίζονται τόσο από ρεαλιστικά επιχειρησιακά σχέδια όσο και από άποψη εκτίμησης μελλοντικών απαιτήσεων για υπηρεσίες, αλλά και της απαίτησης για επένδυση σε υποδομές για το δίκτυο. Η απαίτηση για την υποδομή δικτύου μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση διαστασιολογικών εργαλείων ικανών να έχουν πρόσβαση ταυτόχρονα στα μέρη ασύρματης πρόσβασης αλλά και στα μέρη του πυρήνα του δικτύου. Έχοντας βρεί ένα ελκυστικό επιχειρησιακό πλάνο, η επέκταση του συστήματος πρέπει να προχωρήσει με προσεκτικό σχεδιασμό του δικτύου.

Οι τεχνικές πτυχές σχετικά με τη διαδικασία και τα εργαλεία μπορούν να βρεθούν μέσα στο [P3]. Το εργαλείο σχεδίασης του δικτύου πρέπει να είναι ικανό να μοντελοποιεί με ακρίβεια τη συμπεριφορά του συστήματος όταν φορτώνεται με το αναμενόμενο προφίλ κυκλοφορίας. Στη φάση λειτουργίας τα αποτελεσματικά measurement based feedback loops είναι ο πυρήνας της αποτελεσματικής λειτουργίας του δικτύου. Περισσότερα για τη μοντελοποίηση στα εργαλεία μπορούν να βρεθούν στα [P1] και [P2], μέθοδοι προηγμένης ανάλυσης για την υποστήριξη της βελτιστοποίησης, παρουσιάζονται στο [P9]. Η δυνατότητα εφαρμογής αυτών των μεθόδων αναλύεται στα [P7] και [P8].

Οι κλάσεις κυκλοφορίας (traffic classes) στο 3G και οι προτεραιότητες των χρηστών, καθώς επίσης και η ίδια η τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης διαμορφώνουν τις δύο σημαντικότερες προκλήσεις κατά την ανάπτυξη ενός, βασισμένου στο WCDMA, συστήματος τρίτης γενεάς. Στην περίπτωση των 3G δικτύων ο στόχος των χειριστών είναι να βρουν την οικονομικά χρυσή τομή μεταξύ χωρητικότητας και κάλυψης, και ταυτόχρονα να παρέχουν ανταγωνιστικές υπηρεσίες. Επιπλέον, το σύστημα διαχείρισης του δικτύου θα πρέπει όχι μόνο να αναγνωρίζει την έλλειψη χωρητικότητας στο τρέχον δίκτυο αλλά και να το που υπάρχει δυνατότητα να εισαχθούν υπηρεσίες δεδομένων που μέχρι τώρα δεν υπήρχαν.

Στο [18], παρατίθενται μερικά από τα ζητήματα σχετικά με το σχεδιασμό στο 3G:

- Εισαγωγή πολλαπλών υπηρεσιών,



- Απαιτήσεις για QoS,
- Μοντελοποίηση της διανομής κυκλοφορίας (π.χ traffic hot spots),
- Ο αντίκτυπος της κινητικότητας στο σχεδιασμό,
- Ιεραρχικές δομές κυττάρων και άλλοι ειδικοί τύποι κυττάρων,
- Σύνθεση περιοχών,
- Ο όλο και πιο σημαντικός ρόλος του συστήματος διαχείρισης δικτύου.

Αυτό το κεφάλαιο οργανώνεται ως εξής:

Πρώτα παρουσιάζονται οι βρόγχοι ελέγχου του ασύρματου δικτύου. Στην προλειτουργική φάση, υπολογίζεται η απόδοση του δικτύου. Τα έγγραφα [P3], [P4], [P5] και [P6] σχετίζονται με αυτό το μέρος του βρόχου ελέγχου. Όσο καλύτερη η μοντελοποίηση τόσο ακριβέστερη θα είναι η αρχική εκτίμηση της απόδοσης του δικτύου. Τα ζητήματα μοντελοποίησης αντιμετωπίζονται μέσα [P1], [P4] και [P3]. Τα έγγραφα [P7] και [P9] προτείνουν τη νέα ανάλυση για να βοηθήσουν τις αποφάσεις κατά τη διάρκεια της στατιστικής μη βελτιστοποίησης πραγματικού χρόνου.

Στην παράγραφο 2.3. περιγράφεται η διαδικασία σχεδιασμού σύμφωνα με το [P3]. Πρώτα συζητείται η διαστασιολόγηση και επίσης παρουσιάζονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τα ζητήματα μοντελοποίησης στο WCDMA ([P1], [P3]). Έπειτα παρουσιάζεται ο λεπτομερής σχεδιασμός, συγκεκριμένα για το WCDMA και περιγράφεται η μοντελοποίηση στο σχεδιαστικό εργαλείο ([P1], [P2], [P3]).

Μετά την παρουσίαση της διαδικασίας και της μοντελοποίησης σε διαφορετικές φάσεις της διαδικασίας, αναλύεται ο αντίκτυπος της μοντελοποίησης και ερευνώνται τα μέσα που θα βελτιώσουν την απόδοση του σχεδίου του δικτύου ([P4], [P5] και [P6]).

Η παράγραφος 2.3 ερευνά τα ζητήματα βελτιστοποίησης του WCDMA. Παρουσιάζεται η τάση προς τη διαχείριση της εναλλαγής μεταξύ χωρητικότητας-ποιότητας στα 3G δίκτυα και εξετάζονται νέες μέθοδοι ανάλυσης που βοηθούν στη στατιστική, μη πραγματικού χρόνου, βελτιστοποίηση ([P7], [P8] και [P9]).



2.2. Οι βρόγχοι ελέγχου του δικτύου.

Όταν προβλέπουμε 3G υπηρεσίες ο έλεγχος για το κομμάτι της πρόσβασης μπορεί να διαιρεθεί σε τρία επίπεδα. Αυτά τα επίπεδα ελέγχου απεικονίζονται στο σχήμα 2.1. Επιπλέον, μπορεί να μοντελοποιηθεί ένα επίπεδο για το προλειτουργικό μέρος. Ο βρόγχος αυτός μπορεί να τοποθετηθεί στο ίδιο επίπεδο με το εκείνο του βρόχου στατιστικής βελτιστοποίησης του δικτύου. Το προλειτουργικό μέρος περιλαμβάνει τις ενέργειες που εκτελούνται με ένα offline σχεδιαστικό εργαλείο/προσομοιωτή.

Σχεδιάζονται σημαντικές βελτιστοποιήσεις ή νέες υπηρεσίες με τη χρήση των δεδομένων μακροπρόθεσμων μετρήσεων απόδοσης από το υπάρχον δίκτυο. Ο προλειτουργικός σχεδιασμός παρέχει τις πρώτες τιμές για την επανάληψη απόδοσης που γίνεται με το στατιστικό βρόχο βελτιστοποίησης. Το υψηλότερο στρώμα ελέγχου στο σχήμα 2.1 είναι για τη στατιστική βελτιστοποίηση μη πραγματικού χρόνου και τη ρύθμιση απόδοσης του δικτύου με βάσει τα στατιστικά στοιχεία. Αυτό γίνεται μέσα στο σύστημα διαχείρισης δικτύου, κοντά στο configuration management και το performance management (δηλ. μετρήσεις από το δίκτυο). Αυτός ο βρόχος ελέγχει στατιστικά τη συμπεριφορά των άλλων βρόχων ελέγχου που βρίσκονται πιο κοντά στα στοιχεία δικτύων (NEs). Ο βρόχος επιτρέπει επίσης μια διαδικασία αυτοματοποιημένης επίλυσης προβλημάτων όταν παρουσιάζονται ελαττώματα απόδοσης. Μπορούν να διορθωθούν γρήγορα με την παράδοση πληροφοριών των συναγεμίων ή των εκθέσεων στη μηχανή βελτιστοποίησης και της διαχείρισης μοντελοποίησης μεταξύ των NMS modules.

Ο σχεδιασμός (προλειτουργικός) και η διαδικασία στατιστικής βελτιστοποίησης δεν μπορούν να απομονωθούν σε ένα εργαλείο αλλά εμπλέκεται η αδιάλειπτη συνεργασία μεταξύ των διάφορων εφαρμογών. Τα ελαττώματα και τα ελεγχόμενα δεδομένα απόδοσης μπορούν να περάσουν εύκολα στον "optimizer" για περαιτέρω ανάλυση, επαλήθευση και επίλυση προβλημάτων. Τα δεδομένα μοντελοποίησης (Configuration data) είναι διαθέσιμα από τον "Configurator" ο οποίος επίσης παρέχει τα μέσα αλλαγής της υλοποίησης και της πρόβλεψης (βλέπε σχήμα 2.12). Με την προσθήκη συγκεντρωτικής διαχείρισης καθκόντων, ολόκληρη η διαδικασία μπορεί να αυτοματοποιηθεί. Εντούτοις, ο χρήστης κρατά τον έλεγχο, καθορίζει τους στόχους, εγκρίνει τα αποτελέσματα και σχεδιάζει την υλοποίηση.



Το προλειτουργικό μέρος μπορεί να διαιρεθεί περαιτέρω σε δύο φάσεις: αρχικός σχεδιασμός (διαστασιολογία-dimensioning) και λεπτομερής σχεδιασμός του ασύρματου δικτύου. Περισσότερα για αυτό στην παράγραφο 2.3. Ο στατιστικός βρόχος βελτιστοποίησης μη πραγματικού χρόνου είναι βασισμένος σε μια συλλογή μακροπρόθεσμων μετρήσεων από το δίκτυο. Οι μετρήσεις συνδυάζονται με μια συνάρτηση κόστους και το αποτέλεσμα της συνάρτησης κόστους βελτιστοποιείται περαιτέρω. Η βελτιστοποίηση πραγματοποιείται με τη ρύθμιση των παραμέτρων μοντελοποίησης. Η αυτοματοποιημένη υποστήριξη χρειάζεται για τη διαδικασία βελτιστοποίησης της συνάρτησης κόστους (βλέπε παράγραφο 2.4).

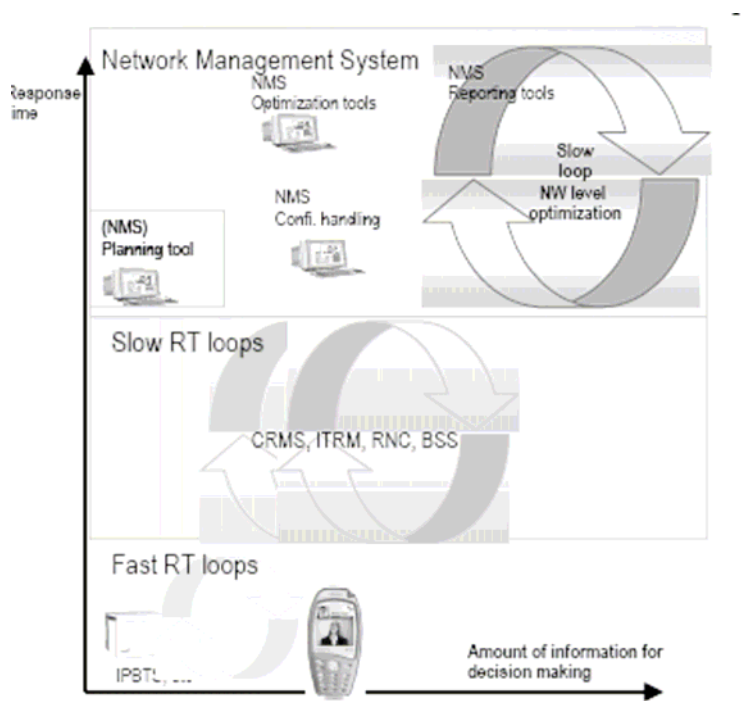
Τα δύο χαμηλότερα στρώματα στο σχήμα 2.1 αποτελούνται από τα πραγματικού χρόνου συστήματα ανατροφοδότησης πληροφοριών στους σταθμούς βάσης, τον Radio Network Controller (RNC) και τον Base Station Controller (BSC) ή Common Resource Management Server (CRMS). Ο κύρια διαφορά σε αυτούς τους δύο βρόχους πραγματικού χρόνου είναι ο χρόνος που απαιτείται για τη λήψη απόφασης:

- Ο αργός βρόχος βελτιστοποίησης πραγματικού χρόνου χειρίζεται το δυναμικό έλεγχο της αλληλεπίδρασης των συστημάτων, την αυτορύθμιση των παραμέτρων του δικτύου (όπως τα load thresholds), κ.λπ. Ανάλογα με τη λειτουργική διάσπαση των λειτουργιών ελέγχου του δικτύου αυτός ο βρόχος μπορεί να τοποθετηθεί στα πραγματικά στοιχεία δικτύου ή μπορεί να τοποθετηθεί στο σύστημα διαχείρισης του δικτύου. Το κύριο όφελος της χρήσης του NMS είναι η δυνατότητα χρήσης των στατιστικών στοιχείων που καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή του δικτύου
- Οι γρήγοροι βρόχοι ελέγχου πραγματικού χρόνου συσχετίζονται με το fast power control, το γρήγορο έλεγχο συμφόρησης, την προσαρμογή συνδέσεων και την κατανομή καναλιών. Είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι αυτός ο βρόχος ασκεί επίδραση στη διαδικασία σχεδιασμού του δικτύου από άποψη μοντελοποίησης του power control και της συμπεριφοράς του handover.

Οι βρόχοι πραγματικού χρόνου καλούνται επίσης και ως αλγόριθμοι Radio Resource Management (RRM). Το RRM αποτελείται από το σύνολο των αλγορίθμων admission control, power control, handover control κ.λπ και είναι αρμόδιο για την παροχή λογικής λειτουργίας του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται με την παροχή αρχικού σετ παραμέτρων για τον έλεγχο του λειτουργικού σημείου του δικτύου από άποψη εναλλαγής

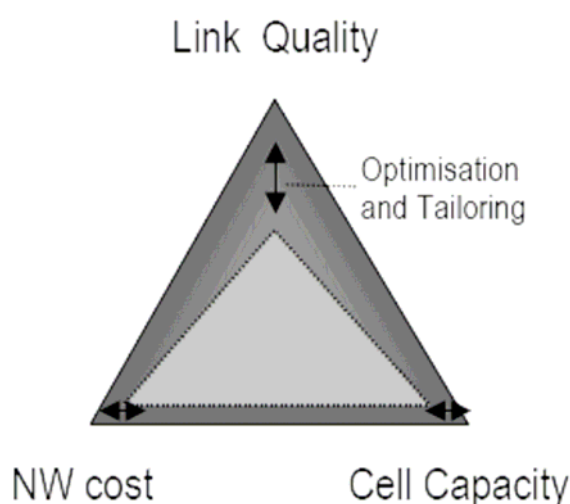


χωρητικότητας-κόστους κάλυψης - (CAPEX, OPEX). Εν' ολίγοις, αυτό σημαίνει ότι ο χειριστής πρέπει να λάβει τις επιχειρησιακές αποφάσεις σχετικά με την ποιότητα υπηρεσίας - QoS, όπως το να προσφέρει κανείς υψηλή ποιότητα με μειωμένη χωρητικότητα, ή στοχεύει για ακριβή υποδομή αλλά υψηλή κάλυψη και για high bit rate χρήστες, κ.λπ. Τα fast feedback loops στα στοιχεία πρόσβασης του δικτύου μπορούν να θεωρηθούν ως προσαρμοστικό RRM.



Σχήμα 2.1. Η ιεραρχία των βρόχων βελτιστοποίησης σε ένα κυψελοειδές δίκτυο. ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Πρέπει να συμβεί όσο το δυνατόν περισσότερη αυτοματοποίηση/βελτιστοποίηση στα χαμηλά στρώματα της ιεραρχίας. Σε αυτό το σχήμα ο προλειτουργικός βρόχος συνδυάζεται με το στατιστικό βρόχο βελτιστοποίησης του NMS.

Ο στατιστικός βρόχος βελτιστοποίησης απαιτείται για να αλλάξει τα όρια που ελέγχουν του RRM έτσι ώστε το λειτουργικό σημείο του δικτύου να είναι στο βέλτιστο από άποψη χωρητικότητας και ποιότητας. Η εναλλαγή χωρητικότητας - ποιότητας και η αλληλεπίδραση της βελτιστοποίησης και του RRM απεικονίζονται στο σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2. Η διαχείριση χωρητικότητας – ποιότητας. Ο στόχος του χειριστή είναι να υποστηρίξει την επιχειρησιακή στρατηγική με τη σωστή στάθμιση του περιθωρίου απόδοσης. Το RRM παρέχει τα ανώτερα όρια για το εξωτερικό τρίγωνο ενώ η βελτιστοποίηση αλλάζει τη μορφή του εσωτερικού τριγώνου για να υποστηρίξει τη στρατηγική των χειριστών.

2.3. Η διαδικασία σχεδιασμού του δικτύου.

Οι αναφορές σχεδιασμού για το cdmaOne, παραδείγματος χάριν στα [45] και [63], εστιάζονται στην περίπτωση μιας μόνο υπηρεσίας, η εναλλαγή χωρητικότητας - κάλυψης δεν παρουσιάζεται καθαρά. Η διαδικασία σχεδιασμού για multi-service δίκτυα CDMA όπως στο [P3] δεν βρίσκεται αλλού στη βιβλιογραφία ως μια πλήρης περιγραφή διαδικασίας που συνδυάζει τις πτυχές χωρητικότητας, ποιότητας και κάλυψης. Στο [P3] παρέχεται η διαδικασία που καθορίζει τη μετάφραση της κυκλοφορίας, τις απαιτήσεις QoS και τις απαιτήσεις έκτασης στην πυκνότητα περιοχών (site density). Επιπλέον, αναλύεται ο αντίκτυπος του fast power control (στην περίπτωση των αργά κινούμενων σταθμών κινητής) στη διαστασιολογία και το σχεδιασμό.

Η διαδικασία της φάση σχεδιασμού του δικτύου απεικονίζεται στο σχήμα 2.3. Η ίδια η διαδικασία είναι από την κορυφή προς τα κάτω. Οι εισαγωγές και τα αποτελέσματα για κάθε μια από τις φάσεις βρίσκονται στην αριστερή και δεξιά πλευρά του σχεδίου. Τα «ερεθίσματα» για την επαναλαμβανόμενη διαδικασία μπορεί να είναι:

- Απόδοση κάτω από τους καθορισμένους στόχους,

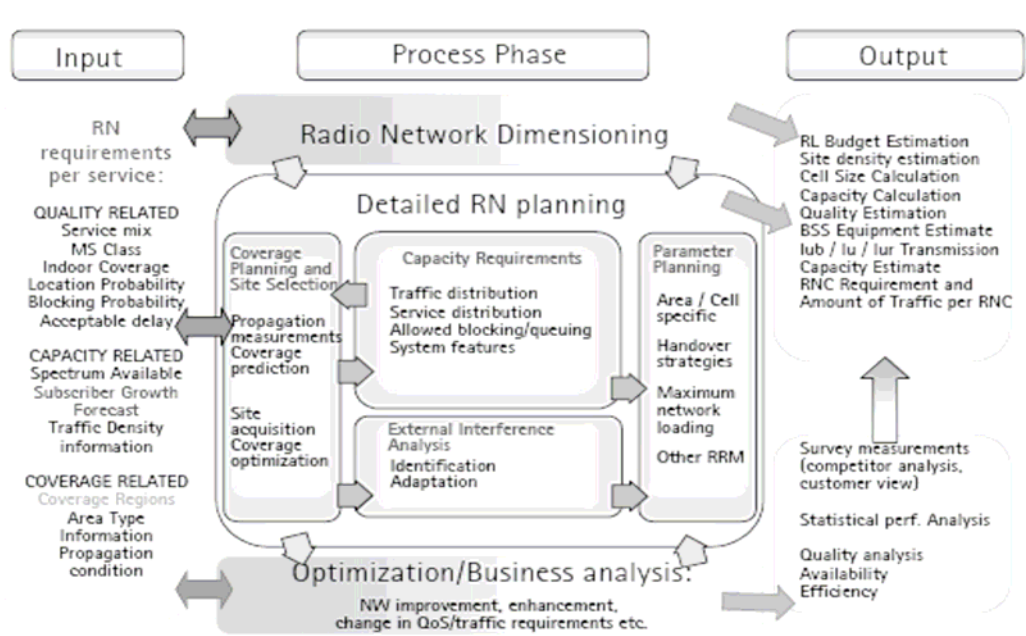


- Αλλαγή στην επιχειρησιακή στρατηγική,
- Νέες υπηρεσίες,
- Αλλαγή στις προτεραιότητες υπηρεσιών,
- Αλλαγή στις προτεραιότητες πελατών κ.λπ....

Οι σχετικές, με την επιχειρησιακή στρατηγική, αλλαγές αντικατοπτρίζουν τις παραμέτρους εισαγωγής. Στην περίπτωση προβλημάτων απόδοσης η κατάσταση μπορεί να τροποποιηθεί με αλλαγές στις παραμέτρους του RRM, με αλλαγές υλικού κ.λπ....

Η ανάλυση εξωτερικών παρεμβολών αναφέρεται στις δραστηριότητες που απαιτούνται για να καθορίσουν το πραγματικό επίπεδο θορύβου (noise floor) στο δέκτη (συμπεριλαμβανομένου του περιβαλλοντικού θορύβου). Αυτό είναι εκτός του πεδίου της εργασίας της Jaana Laiho, ακόμα κι αν θεωρείται σημαντικό μέρος της διαδικασίας και της αξιολόγησης απόδοσης. Περισσότερα για το ζήτημα μπορούν να βρεθούν στο [37].

Ο αρχικός σχεδιασμός (δηλαδή η διαστασιολόγηση του συστήματος) παρέχει την πρώτη και γρηγορότερη αξιολόγηση του μεγέθους του δικτύου καθώς επίσης και τη σχετική χωρητικότητα των εμπλεκόμενων στοιχείων. Αυτό περιλαμβάνει και το δίκτυο πρόσβασης καθώς επίσης και το κεντρικό δίκτυο. Η διαστασιολόγηση μπορεί να βρεθεί λεπτομερέστερα στην παράγραφο 2.3.1.



Σχήμα 2.3. Η διαδικασία σχεδιασμού και βελτιστοποίησης του δικτύου, όπως δανείζεται από το [P4]. Στην πλευρά εξόδου οι μετρήσεις από το ενεργό δίκτυο μπορούν να αντικαταστήσουν τις εκτιμήσεις που χρησιμοποιούνται στη φάση σχεδιασμού/διαστασιολόγησης. Καλά παραδείγματα επ' αυτού είναι η πρότυπη ρύθμιση διάδοσης.



Στη φάση λεπτομερούς σχεδιασμού η διαστασιολογημένη πυκνότητα περιοχών μεταφέρεται σε έναν ψηφιακό χάρτη που λαμβάνει υπόψη τους φυσικούς περιορισμούς που προέρχονται, παραδείγματος χάριν, από την πρόσκτηση περιοχών.

Η ίδια η ανάλυση για το WCDMA είναι μια επαναληπτική διαδικασία, οι απαιτήσεις χωρητικότητας λαμβάνονται υπόψη ως ξεχωριστοί MSs στην προσομοίωση WCDMA. Στη φάση λεπτομερούς σχεδιασμού, εκτελείται πολλαπλή ανάλυση για να ελεγχθεί εάν καλύπτονται πραγματικά οι καθορισμένες απαιτήσεις. Στη φάση σχεδιασμού τα μέσα βελτιστοποίησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τον έλεγχο παρεμβολών από άποψη κατάλληλης μοντελοποίησης κεραιών και περιοχών, επιλογής θέσεων των σταθμών, ή την κλίση των κεραιών. Επιπλέον, η απόδοση του δικτύου μπορεί να έρθει πιο κοντά στους απαραίτητους στόχους με τη χρήση, παραδείγματος χάριν, Mast Head Amplifiers (MHA) ή diversity schemes.

Σε περίπτωση που η επιχειρησιακή στρατηγική του χειριστή αλλάξει, η διαστασιολόγηση και ο λεπτομερής σχεδιασμός μπορούν να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες που αφορούν την επέκταση του δικτύου. Οι πληροφορίες της μετρημένης κυκλοφορίας μπορούν να εισαχθούν στο εργαλείο σχεδιασμού και αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω κατά την επαλήθευση των ικανοτήτων χωρητικότητας και κάλυψης του σχεδιασμένου δικτύου.

Η μοντελοποίηση και η μεθοδολογία στο εργαλείο σχεδιασμού (μη ορατό στο χρήστη) περιγράφεται στην παράγραφο 2.3.2. Στην παράγραφο 2.3.3, παρουσιάζεται ο αντίκτυπος της μοντελοποίησης του RRM στο αποτέλεσμα σχεδιασμού. Επιπλέον η παράγραφος 2.3.4 παρέχει τα πρακτικά παραδείγματα σχετικά με τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού, π.χ από άποψη κατάλληλης επιλογής κεραιών.

Στα επόμενα τμήματα η διαδικασία σχεδιασμού του ασύρματου δικτύου συζητείται λεπτομερέστερα. Μια λεπτομερής περιγραφή της διαδικασίας μπορεί επίσης να βρεθεί στο [P4].



2.3.1 Διαστασιολόγηση.

Ο στόχος της διαστασιολογικής φάσης είναι να υπολογίσει την απαραίτητη πυκνότητα περιοχών και τη μοντελοποίηση περιοχών για τον τομέα ενδιαφέροντος. Ο αρχικός σχεδιασμός RAN περιλαμβάνει το προϋπολογισμό ασύρματων συνδέσεων (RLB) και την ανάλυση κάλυψης, την εκτίμηση χωρητικότητας, και τελικά, την εκτίμηση για το ποσό του υλικού σταθμών βάσης, τις περιοχές, τους ελεγκτές του δικτύου (RNC), τον εξοπλισμό σε διαφορετικές διεπαφές, και τα στοιχεία του κεντρικού δικτύου.

Η διαστασιολόγηση του συστήματος παρέχει την πρώτη, γρήγορη αξιολόγηση της πιθανής μοντελοποίησης του δικτύου. Αυτό περιλαμβάνει και το δίκτυο πρόσβασης καθώς επίσης και το κεντρικό δίκτυο. Η διαστασιολόγηση είναι βασισμένη σε ένα σύνολο παραμέτρων εισαγωγής και το παρεχόμενο αποτέλεσμα είναι σχετικό με τις συγκεκριμένες παραμέτρους εισαγωγής μόνο. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν την περιοχή, την κυκλοφορία και τις σχετικές με QoS πληροφορίες. Η ποιότητα λαμβάνεται υπόψη από άποψη πιθανότητας φραγής και κάλυψης.

Ο υπολογισμός του RLB γίνεται για κάθε υπηρεσία, και η αυστηρότερη απαίτηση καθορίζει τη μέγιστη επιτρεπτή ιστροπική απώλεια μονοπατιού. Αυτό το τμήμα εστιάζει στο μέρος πρόσβασης μόνο.

2.3.2. Ζητήματα στη διαστασιολόγηση του WCDMA.

Αυτό το τμήμα συγκεντρώνεται μερικώς στα συγκεκριμένα ζητήματα του WCDMA, ενώ για την πλήρη διαστασιολογική διαδικασία δείτε τα [P4], [P3].

2.3.2.1. Ζητήματα στον προϋπολογισμό των uplink συνδέσεων.

Η θεωρητική φασματική απόδοση ενός WCDMA προέρχεται από την εξίσωση φόρτου της οποίας η παραγωγή αρχίζει από την εξίσωση (2.1), αποτελούμενη από το σύνολο φόρτου κάθε χρήστη. Ο παράγοντας των uplink φορτίων η_{UL} , μπορεί να υπολογιστεί ως ένα σύνολο παραγόντων φορτίων L_k όλων των συνδέσεων uplink ΚΝ σε ένα κύτταρο:



$$\eta_{UL} = \sum_{k=1}^{K_N} L_k \quad (2.1)$$

Το περιθώριο παρεμβολής - *interference margin* είναι η συνάρτηση της συνολικής φόρτωσης των κυττάρων (δείτε εξίσωση 2.2). Όσο περισσότερη φόρτωση επιτρέπεται στο σύστημα, τόσο μεγαλύτερο *interference margin* απαιτείται για το uplink, και τόσο μικρότερη είναι η περιοχή κάλυψης. Η συνολική τιμή φόρτωσης ασκεί άμεση επίδραση στην κάλυψη των κυττάρων και εμμέσως στην ποιότητα των προσφερθεισών υπηρεσιών.

Η υποβάθμιση του προϋπολογισμού συνδέσεων (RLB) λόγω του συνολικού φόρτου είναι:

$$L = 10 \cdot \log_{10}(1 - \eta_{UL}) \quad (2.2)$$

Ανάλογα με τη μέγιστη φόρτωση σε ένα κύτταρο, ο αριθμός χρηστών μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση φόρτου, υπό τον όρο ότι μπορούμε να υπολογίσουμε το φορτίο κάθε μεμονωμένου χρήστη. Ο φόρτος του uplink για κάθε σύνδεση μπορεί να παραχθεί ως εξής. Χάριν της απλότητας η παραγωγή εκτελείται με δραστηριότητα υπηρεσίας $n = 1$.

Για να ανακαλύψουμε την ισχύ που απαιτείται για το uplink ενός εκπεμπόμενου και ή λαμβανόμενου σήματος για έναν κινητό σταθμό MS_k που συνδέεται με ένα συγκεκριμένο σταθμό βάσης BS_n, χρησιμοποιούμε η βασική εξίσωση CDMA (2.3). Η συνήθης, ελαφρώς ιδεαλιστική, υπόθεση είναι ότι η I_{oth} , η ισχύς που λαμβάνεται από το MSs που συνδέεται με τα άλλα κύτταρα είναι άμεσα ανάλογη (αναλογικά σταθερό i) με την I_{own} , την ισχύ που παραλαμβάνεται από το MSs που συνδέεται με τον ίδιο BS_n όπως το επιθυμητό MS.

Ας υποθέσουμε ότι ο MS_k χρησιμοποιεί bit rate R_k , η απαίτηση σε **Eb/N0** είναι ρ_k και το WCDMA chip rate είναι (3,84 Mchip/s). Τότε η λαμβανόμενη ισχύς του k -οστού κινητού σταθμού, ρ_k , στο σταθμό βάσης που συνδέεται, πρέπει να είναι τουλάχιστον τέτοια ώστε

$$\frac{W}{R_k} \cdot \left(\frac{p_k}{I_{own} - p_k + I_{oth} + N} \right) = \frac{W}{R_k} \cdot \left(\frac{p_k}{I_{own} - p_k + i \cdot I_{own} + N} \right) \geq \rho_k, \quad k = 1, \dots, K_N \quad (2.3)$$



όπου K_N είναι ο αριθμός των συνδεδεμένων, στον BSn, MSs και

$$N = N_0 \cdot W = N_f \cdot k \cdot T_0 \cdot W \quad (2.4)$$

είναι η ισχύς του θορύβου στην περίπτωση ενός κενού (από χρήστες) κυττάρου, N_f είναι ο συντελεστής θορύβου του δέκτη, k είναι η σταθερά Boltzmann ($1.381 \cdot 10^{-23}$ Ws/K) και T_0 είναι η απόλυτη θερμοκρασία. Για $T_0 = 293$ K (20 °C) έχουμε $N_0 = -174.0$ dBm/Hz και $N = -108.1$ dBm. Σημειώνουμε ότι στην εξίσωση (2.3) ο αντίκτυπος του επιθυμητού σήματος προέρχεται από τον όρο $I_{own} - p_k + i \cdot I_{own}$.

Οι ανισότητες στην εξίσωση (2.3) είναι ελαφρώς αισιόδοξες επειδή υποτίθεται ότι δεν υπάρχει καμία παρεμβολή από ίδιο το σήμα, το οποίο δεν είναι ακριβώς αληθές σε συνθήκες πραγματικού multipath.

Επιλύοντας τις ανισότητες ως ισότητες σημαίνει ότι επιλύουμε για την ελάχιστη αναγκαία λαμβανόμενη ισχύ (ευαισθησία), p_k

$$p_k \cdot \left(1 + \frac{\rho_k \cdot R_k}{W}\right) = \left(\frac{\rho_k \cdot R_k}{W}\right) \cdot (1+i) \cdot I_{own} + \frac{\rho_k \cdot R_k}{W} \cdot N \Rightarrow$$
$$p_k = \frac{1}{1 + \frac{\rho_k \cdot R_k}{W}} \cdot (1+i) \cdot I_{own} + \frac{1}{1 + \frac{\rho_k \cdot R_k}{W}} \cdot N, \quad k = 1, \dots, K_N \quad (2.5)$$

Αφού $p_k = L_k \cdot [(1+i) \cdot I_{own} + N]$, εξασφαλίζουμε τον παράγοντα φόρτου μιας σύνδεσης:

$$L_k = \frac{1}{1 + \frac{\rho_k \cdot R_k}{W}} \quad (2.6)$$

Εάν οι εξισώσεις (2.5) αθροιστούν γύρω από τους κινητούς σταθμούς που συνδέονται με τον BSn προκειμένου να παραχθεί η συνολική ισχύς που λαμβάνεται από το σταθμό βάσης, δηλ. η συνολική φόρτωση, τότε έχουμε



$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{K_N} p_k &= \left[\sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k}} \cdot (1+i) \right] \cdot \sum_{k=1}^{K_N} p_k + \left[\sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k}} \right] \cdot N \Rightarrow \\ \sum_{k=1}^{K_N} p_k \cdot (1+i) &= \frac{N \cdot \left[\sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k}} \cdot (1+i) \right]}{1 - \left[\sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k}} \cdot (1+i) \right]} = \frac{N \cdot \eta_{UL}}{1 - \eta_{UL}} \end{aligned} \quad (2.7)$$

για όσο ισχύει ότι $I_{own} = \sum_{k=1}^{K_N} p_k$ και ο ορισμός της συνολικής φόρτωσης του uplink είναι το ποσό των μεμονωμένων φόρτων (δείτε (2.6)) πολλαπλασιασμένο με την επίδραση του περιβάλλοντος multicell, δηλ. με τον όρο $(1+i)$.

$$\eta_{UL} = \sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k}} \cdot (1+i) \quad (2.8)$$

Η φόρτωση καθορίζει το ποσό της ισχύς που ο σταθμός βάσης λαμβάνει σε ένα κύτταρο εκτός από το βασικό noise floor. Συνέχεια της παραγωγή της εξίσωσης (2.7), η συνολική φόρτωση παίρνει τη μορφή:

$$\eta_{UL} = \frac{I_{own} + I_{oth}}{N + I_{own} + I_{oth}} = \frac{I_{total}}{N + I_{total}} \quad (2.9)$$

Με άλλα λόγια, η συνολική φόρτωση προσδιορίζει το πόσο η ευαισθησία ενός σταθμού βάσης έχει υποβιβαστεί λόγω του γεγονότος ότι όλοι οι χρήστες σε έναν carrier λειτουργούν με την ίδια συχνότητα. Αυτή η πρόσθετη ισχύς αποτελείται από τα σήματα που εκπέμπονται από τον MSs στο κύτταρο και στα άλλα κύτταρα.

Η συνάφεια της εκτίμησης φόρτωσης ενός μεμονωμένου χρήστη (δηλ. εξίσωση (2.6)) είναι ορατή παραδείγματος χάριν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποδοχής κλήσης. Το σύστημα πρέπει να γνωρίζει την τρέχουσα συνολική φόρτωση, την επιτρεπόμενη συνολική φόρτωση και την αύξηση φόρτωσης που προκαλείται από το νέο,



ενδεχομένως, αναγνωρισμένο χρήστη προκειμένου να ληφθεί μια απόφαση αν θα δεχθεί τη νέα κλήση ή όχι.

Κατά παρόμοιο τρόπο κατά τη διάρκεια διαστασιολόγησης, ένα κύτταρο μπορεί να γεμίσει με χρήστες εφόσον η συνολική φόρτωση (σύμφωνα με την εξίσωση (2.8)) μένει συνολικά κάτω από το καθορισμένο threshold . Κατά τη διάρκεια διαστασιολόγησης φόρτωσης η εξίσωση της μορφής του σχήματος 2.8 χρησιμοποιείται αντί του 2.9 επειδή είναι απαραίτητο, από άποψη χωρητικότητας, να είναι γνωστό το ακριβές ποσό κυκλοφορίας (χρήστες με αιτήματα διαφορετικού είδους υπηρεσιών) παρά μοναχά το συνολικό ποσό παρεμβολών. Τα τελευταία θα ήταν επαρκή σε περιπτώσεις περιορισμένης κάλυψης.

Ο ορισμός φόρτωσης της εξίσωσης (2.11) μπορεί να τροποποιηθεί για να περιλάβει την επίδραση του sectorisation (sectorisation gain ζ , αριθμός τομέων, NS) και της δραστηριότητας υπηρεσίας, v . Τιμές για τα sectorisation gains μπορούν να βρεθούν μέσα στα [39] και [40]. Αυτή η έκφραση είναι διαφορετική από αυτή που αναφέρεται στο [P3], επειδή κατά ένα τρόπο, οι τιμές του sectorisation gain που αναφέρονται στα [39] και [40], δεν υποστηρίζουν τη σημείωση του [P3]. Το κύριο ζήτημα με το sectorisation gain είναι ότι το sectorisation αυξάνει την χωρητικότητα που μια περιοχή μπορεί να προσφέρει.

Λόγω όμως του γεγονότος ότι το sectorisation δεν είναι ιδανικό, το κέρδος δεν είναι γραμμική συνάρτηση του αριθμού των τομέων. Το κέρδος στη χωρητικότητα εξαρτάται από την επιλογή του είδους των κεραιών και της επικάλυψης των τομέων, η οποία δεν μπορεί να αποφευχθεί. Αυτή η επικάλυψη αυξάνει το λόγο παρεμβολής (i) μεταξύ των κυττάρων. Τα αναφερόμενα κέρδη στα [39] και [40] δεν είναι ομαλοποιημένα με τον αριθμό των τομέων, και έτσι η εξίσωση του [P3] έχει λάθος. Επιπλέον, λείπει η αντιστροφή της εξίσωσης του [P3]. Δείτε επίσης τη λίστα των διορθώσεων.

Το Sectorisation gain συζητείται επίσης στο [45], στη σελίδα 228. Η κύρια προσθήκη της εργασίας της Jaana Laiho έναντι στη θεωρία του [45] είναι το γεγονός ότι sectorisation επιδρά στην τιμή του i . Το [45] αναφέρει μόνο τα αποτελέσματα αύξησης χωρητικότητας του sectorisation, αλλά δεν επισημαίνει τη σημασία της επιλογής κεραιών. Αυτές οι πληροφορίες είναι πολύ σημαντικές στην κοινωνία της εφαρμοσμένης μηχανικής για την υλοποίηση των δικτύων WCDMA.



Κατά τη σύγκριση της εξίσωσης (2.10) με την εξίσωση (8.9) του [P4], ο ορισμός του i είναι διαφορετικός. Στο [P4] το i περιλαμβάνει ήδη τα αποτελέσματα του sectorisation

$$\eta_{UL} = \sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k}} \cdot \nu_k \cdot \left(1 + i \cdot \frac{N_s}{\zeta} \right) \quad (2.10)$$

Στο [42] ο φόρτος του uplink υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2.11):

$$\eta_{UL} = \frac{1}{W} \cdot \sum_{j=1}^m R_j \cdot \nu_j \cdot \rho_j \cdot (1 + i) \quad (2.11)$$

όπου το m είναι ο αριθμός των υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται και κάθε ξεχωριστός χρήστης υπολογίζεται ως ξεχωρή υπηρεσία.

Οι διαφορές μεταξύ των εξισώσεων (2.10) και (2.11) οφείλονται στο γεγονός ότι η εξίσωση (2.11) δεν περιλαμβάνει το sectorisation gain και ότι στην παραγωγή που αρχίζει από την εξίσωση (2.3) ο παρονομαστής είναι $I_{own} - \rho_k + i \cdot I_{own} + \nu$ (δηλ. το επιθυμητό σήμα δεν περιλαμβάνεται) αντί $I_{own} + i \cdot I_{own} + N$, το οποίο συμβαίνει όταν $\rho_k \ll I_{own}$ και $\ll N$.

2.3.2.2. Ζητήματα στον προϋπολογισμό των downlink συνδέσεων .

Στις σχετικές με το cdmaOne εργασίες (π. χ οι κύριες αναφορές στο πεδίο δηλ. στα [45] και [63]) το downlink έχει αντιμετωπιστεί μάλλον ελαφρά από άποψη διαστασιολόγησης και σχεδιασμού του ασύρματου δικτύου, εξαιτίας του γεγονότος ότι το cdmaOne θεωρείται περιορισμένο από το uplink.

Η διαστασιολόγηση των downlink συνδέσεων ακολουθεί την ίδια λογική με αυτή του uplink. Για μια επιλεγμένη σειρά κυττάρων οφείλει να υπολογιστεί ο η συνολική ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσης. Το σύνολο της ισχύος εκπομπής είναι το άθροισμα της ισχύς μεμονωμένων συνδέσεων (χρήστη) σε ένα κύτταρο. Σε αυτή την εκτίμηση πρέπει να συμπεριληφθούν και οι soft handover συνδέσεις. Εάν η ισχύς ξεπεραστεί, είτε



πρέπει να περιοριστεί το εύρος των κυττάρων, είτε πρέπει να μειωθεί ο αριθμός χρηστών ανά κύτταρο. Στην περίπτωση του downlink, πρέπει να εξεταστεί η ορθογωνικότητα - orthogonality των κωδίκων. Αυτό γίνεται με την εισαγωγή ενός παράγοντα orthogonality α . Οι τιμές για το α έχουν εύρος από 0 έως 1 ανάλογα με τις συνθήκες multipath ($\alpha = 1$: πλήρως ορθογώνιος, $\alpha = 1/2$: δύο εξίσου ισχυρές κορυφές). Περισσότερα για το orthogonality μπορούμε να βρούμε στο [43]. Για τις downlink συνδέσεις η φόρτωση (η_{DL}) υπολογίζεται στο [41] από την:

$$\eta_{DL} = \sum_{i=1}^I \left[\frac{\rho_i \cdot R_i \cdot \nu_i}{W} \cdot \left((1 - a_i) + \sum_{n=1, n \neq m}^{N_{BS}} \frac{Lp_{mi}}{Lp_{ni}} \right) \right] \quad (2.12)$$

όπου Lp_{mi} είναι η απώλεια συνδέσεων από την εξυπηρέτηση του BS m σε έναν MS i , Lp_{ni} είναι η απώλεια συνδέσεων από ένα άλλο BS n , σε MS i , ρ_i είναι η E_b/N_0 απαίτηση εκπομπής για το MS i , συμπεριλαμβανομένου και του SHO συνδυάζοντας το κέρδος και τη μέση άνοδο ισχύος που προκαλείται από το fast power control, N_{BS} είναι ο αριθμός σταθμών βάσεων, I είναι ο αριθμός των συνδέσεων (συμπεριλαμβανομένων των soft handover συνδέσεων, το I γενικά είναι μεγαλύτερο από το KN) σε έναν τομέα και a_i είναι

ο παράγοντας orthogonality. Ο όρος $i_{DL} = \sum_{n=1, n \neq m}^{N_{BS}} \frac{Lp_{mi}}{Lp_{ni}}$ καθορίζει την παρεμβολή των

υπόλοιπων κυττάρων στο DL. Κατά συνέπεια η (2.12) παίρνει τη μορφή:

$$\eta_{DL} = \sum_{i=1}^I \left[\frac{\rho_i \cdot R_i \cdot \nu_i}{W} \cdot \left((1 - a_i) + i_{DL} \right) \right] \quad (2.13)$$

Η άμεση παραγωγή του downlink RLB είναι η μοναδική ισχύς μιας σύνδεσης που απαιτείται από έναν χρήστη στην άκρη του κυττάρου. Η συνολική εκτίμηση ισχύος T_x ενός σταθμού βάσης πρέπει να λαμβάνει υπόψιν τους πολλαπλούς συνδέσμους

επικοινωνίας με μέση απόσταση ($\bar{L}p_{mi}$) από τον εξυπηρετούμενο σταθμό βάσης. Επιπλέον, στη μοντελοποίηση πρέπει να συμπεριληφθεί το multicell περιβάλλον με orthogonalities a_i . Περισσότερα για το φόρτο των downlink συνδέσεων και τις εκτιμήσεις ισχύος εκπομπής μπορούμε να βρούμε στο [41].



Στον υπολογισμό RLB του uplink ο περιοριστικός παράγοντας είναι η ισχύς εκπομπής του κινητού σταθμού, ενώ στην περίπτωση του downlink το όριο είναι η συνολική ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης. Κατά την εξισορρόπηση των περιοχών εξυπηρέτησης του uplink και του downlink πρέπει να εξεταστούν και οι δύο σύνδεσμοι.

Το *interference margin* [P2] που πρέπει να ληφθεί υπόψιν στον προϋπολογισμό συνδέσεων λόγω ενός ορισμένου φορτίου (είτε uplink είτε downlink) είναι σύμφωνα με την εξίσωση (2,2).

Το *power control headroom* είναι άλλο ένα συγκεκριμένο στοιχείο του WCDMA στο RLB που δεν αναφέρεται στη μέχρι τώρα βιβλιογραφία. Απαιτείται ορισμένο περιθώριο στην ισχύ εκπομπής των κινητών σταθμών για τη διατήρηση επαρκούς κλειστού βρόγχου για fast power control σε δυσμενείς συνθήκες διάδοσης όπως στην άκρη των κυττάρων. Αυτό ισχύει ειδικά για τους για τους πεζούς χρήστες όπου το E_b/N_0 , για να διατηρηθεί, είναι πιο ευαίσθητο στον βρόγχο fast power control. Το power control headroom μελετείται λεπτομερέστερα στα [P1] και [44].

Άλλος ένας αντίκτυπος του fast power control είναι η αύξηση της μέσης τιμής της ισχύος που απαιτείται (*transmit power rise*). Αυτό βρίσκεται στα [P1] και [P2] και πουθενά αλλού στη βιβλιογραφία. Στην περίπτωση ενός αργά κινούμενου κινητού σταθμού ο έλεγχος ισχύος είναι σε θέση να ακολουθήσει το εξασθενίζων κανάλι και η μέση ισχύς εκπομπής αυξάνεται. Στο κύτταρο που συνδέεται ο κινητός αυτός σταθμός, αυτό είναι απαραίτητο για να παρέχει επαρκή ποιότητα στη σύνδεση και δεν προκαλεί οποιαδήποτε ζημιά, δεδομένου ότι η αυξημένη ισχύς εκπομπής αντισταθμίζεται από το εξασθενίζων κανάλι. Για τα γειτονικά κύτταρα εντούτοις αυτό σημαίνει την πρόσθετες παρεμβολές επειδή το fast fading στα κανάλια είναι άσχετη.

Η αύξηση της ισχύος εκπομπής (*TxPowerInc*) χρησιμοποιείται για να μειώσει την ικανότητα επαναχρησιμοποίησης σύμφωνα με την εξίσωση (2.14). Κατά τη σύγκριση με άλλες εργασίες στον τομέα (π.χ στα [42], [46]) το νέο ζήτημα είναι ο πολλαπλασιασμός με τον όρο *TxPowerInc* στην εξίσωση frequency reuse efficiency. Αυτή η εξίσωση που παρουσιάζεται στο [P2] δεν αναφέρεται αλλού στη βιβλιογραφία, είναι μια από τις σημαντικές εκβάσεις της εργασίας της Jaana Laiho.

$$F_r = \frac{1}{1 + TxPowerInc \cdot i} \quad (2.14)$$



Επίσης στην εξίσωση (2.8), το i πρέπει να αντικατασταθεί με τον όρο $TxPowerInc * i$ σε περίπτωση που η αύξηση της ισχύος εκπομπής του κινητού σταθμού είναι σημαντική, δηλ. στην περίπτωση ενός αργά κινούμενου σταθμού.

Το *soft handover gain* αναφέρεται ήδη μέσα στο [45]. Τα handovers – soft ή hard παρέχουν κέρδος ενάντια του shadow fading με τη μείωση του απαραίτητου fading margin. Λόγω του γεγονότος ότι το slow fading είναι εν μέρει ασύνδετο μεταξύ των κυττάρων, και με τη δημιουργία handovers, το κινητό μπορεί να επιλέξει μια καλύτερη σύνδεση επικοινωνίας. Επιπλέον, το soft handover (macro diversity) δίνει ένα πρόσθετο κέρδος ενάντια στο fast fading με τη μείωση του απαραίτητου E_b/N_0 σχετικά με μία σύνδεση. Το ποσό κέρδους είναι μια συνάρτηση ταχύτητας κίνησης του κινητού σταθμού και του συνδυαστικού αλγορίθμου diversity που χρησιμοποιείται στο δέκτη και το προφίλ καθυστέρησης καναλιών. Περισσότερα για το κέρδος του SHO μπορούν να βρεθούν μέσα στο [44].

Η μεθοδολογία διαστασιολόγησης έχει συγκριθεί με τις στατικές προσομοιώσεις (δείτε επόμενο τμήμα) του [P3]. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ακρίβεια της διαστασιολόγησης είναι επαρκής για την αρχική εκτίμηση της απαραίτητης μοντελοποίησης του δικτύου.

Οι προηγούμενες εργασίες σχετικά με την εκτίμηση χωρητικότητας του CDMA είναι οι "κλασσικές" αναφορές στο CDMA των [45] – [49], [63]. Καμία από αυτές τις αναφορές δεν αναφέρει τη διαστασιολόγηση για multi-service περιβάλλον. Παρουσιάζεται η κλασσική εξίσωση φόρτου, αλλά δε συζητείται επαρκώς ο αντίκτυπος του ελέγχου ισχύος στον καθορισμό του φόρτου, ή ο αντίκτυπος του στον προϋπολογισμό του RLB των συνδέσεων. Η διαδικασία, όπως του [P2], που περιγράφει πώς να γίνεται χρήση των αναλυτικών μεθόδων για τον καθορισμό της αρχικής πυκνότητας περιοχών που ικανοποιεί τις δεδομένες απαιτήσεις χωρητικότητας και ποιότητας, δεν εξετάζεται.



2.3.3 Λεπτομερής σχεδιασμός

Η μεθοδολογία σχεδιασμού που παρουσιάζεται εδώ υποστηρίζει το multi-service περιβάλλον. Οι προϋπολογισμοί συνδέσεων (Link budgets) και οι εξισώσεις φορτίων είναι αποτελεσματικοί στην επίδειξη των θεμελιωδών τάσεων και των αρχών πριν από την έναρξη του λεπτομερούς σχεδιασμού. Οι προϋπολογισμοί συνδέσεων συνδέονται με τη μελέτη κάλυψης των υπηρεσιών.

Η ανάλυση χωρητικότητας απαιτεί συνδυασμό των προϋπολογισμών των συνδέσεων και των εξισώσεων των φορτίων. Τα περίπλοκα εργαλεία σχεδιασμού δικτύων WCDMA είναι βασισμένα στον ίδιο τύπο προϋπολογισμού συνδέσεων και εξισώσεων φορτίων με εκείνους που χρησιμοποιούνται στο προηγούμενο τμήμα. Το εργαλείο(α) ελέγχου του δικτύου πρέπει να βοηθήσει τον αρμόδιο για το σχεδιασμό του δικτύου σε ολόκληρη τη διαδικασία σχεδιασμού όπως στη μοντελοποίηση κάλυψης, στο λεπτομερή σχεδιασμό και τελικά στη βελτιστοποίηση του δικτύου μετά την κατασκευή.

Η μεθοδολογία σχεδιασμού που περιγράφεται εδώ θεωρείται στατική. Στατική με το νόημα του ότι η κυκλοφορία παράγεται από διακριτούς κινητούς σταθμούς και κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων είναι στάσιμοι ενώ η κινητικότητα είναι ορατή μόνο μέσω των τιμών του E_b/N_0 που έχουν δεσμευθεί για τους μοντελοποιημένους κινητούς σταθμούς, δηλ. ανάλογα με ταχύτητα των σταθμών, το E_b/N_0 για την ίδια υπηρεσία είναι διαφορετικό. Οι παραγόμενες τιμές για το E_b/N_0 είναι βασισμένες σε επίπεδο προσομοίωσης συνδέσεων, βλέπε [P1], [P4], [P3] και [44].

Στην περίπτωση των δικτύων WCDMA, ο λεπτομερής σχεδιασμός είναι από μόνος του και μια διαδικασία βελτιστοποίησης. Στην περίπτωση του 2G, ο λεπτομερής σχεδιασμός συγκεντρώνεται βασικά στη βελτιστοποίηση της κάλυψης. Ο σχεδιασμός για το 3G είναι περισσότερο ανάλυση παρεμβολών και χωρητικότητας αντί για σκέτη εκτίμηση της περιοχής κάλυψης.

Κατά τη διάρκεια της μοντελοποίησης των σταθμών βάσης για το δίκτυο, οι διαμορφώσεις (configurations) πρέπει να βελτιστοποιηθούν, οι κατευθύνσεις και το είδος των κεραιών, ακόμη και οι θέσεις περιοχών πρέπει να βελτιστοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις QoS, χωρητικότητας και υπηρεσιών με το ελάχιστο δυνατόν κόστος. Για να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα, το εργαλείο πρέπει να έχει γνώση των αλγορίθμων των πόρων του δικτύου προκειμένου να



εκτελεσθούν οι διαδικασίες και να ληφθούν οι αποφάσεις όπως στο πραγματικό δίκτυο. Η ανάλυση πιθανότητας κάλυψης οφείλει να εκτελεσθεί σε uplink και downlink συνδέσεις για διάφορες υπηρεσίες αλλά και για τα κοινά κανάλια έτσι ώστε να εγγυηθεί την κατάλληλη απόδοση του δικτύου. Μια λεπτομερής περιγραφή ενός εργαλείου σχεδιασμού μπορεί να βρεθεί μέσα στα [P2], [P3] και [38].

Κατά σύγκριση του σχεδιασμού των χωρητικά περιορισμένων GSM δικτύων και των δικτύων WCDMA, η ουσιαστική διαδικασία δεν διαφέρει πάρα πολύ. Οι περιοχές και οι τομείς τοποθετούνται στο εργαλείο και η πληροφορία κυκλοφορίας είτε εισάγεται, είτε παράγεται για λόγους σχεδιασμού. Το στρώμα κυκλοφοριακής κίνησης είναι ο κύριος διαφοροποιητικός παράγοντας στη διαδικασία.

Στην περίπτωση του WCDMA οι διαφορετικές υπηρεσίες πρέπει να εξεταστούν, όπως επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο αντίκτυπος της ταχύτητας κίνησης του κινητού. Στην επαναληπτική μέθοδο ανάλυσης η κυκλοφορία παρουσιάζεται ως διακριτοί κινητοί σταθμοί, με το χρησιμοποιούμενο bit rate και την ταχύτητα των κινητών ως χαρακτηριστικά του MS. Κάθε υπηρεσία έχει μια απαίτηση απόδοσης ενός προφίλ E_b/N_0 το οποίο εξαρτάται από την ταχύτητα και το multipath και ο αντίκτυπος της απόδοσης συνδέσεων λαμβάνεται υπόψη όπως περιγράφεται κατωτέρω. Μια πηγή πληροφόρησης για την κυκλοφορία μπορεί να εξαχθεί από ένα 2G δίκτυο (υπό τον όρο ότι ο χειριστής έχει ένα). Οι εκτιμήσεις μελλοντικών απαιτήσεων μπορούν να βασιστούν στην ανάλυση των τάσεων που βασίζονται στα 2G στοιχεία κινήσεως.

2.3.3.1. Επαναλήψεις Uplink και Downlink.

Ο στόχος στην επαναληπτική διαδικασία του uplink είναι να προσδιορισθεί η ισχύς εκπομπής των κινητών σταθμών έτσι ώστε τα επίπεδα παρεμβολών και έτσι οι τιμές ευαισθησίας των σταθμών βάσης να συγκλίνουν. Στις παραδοσιακές διαδικασίες σχεδιασμού κάλυψης, η τιμή ευαισθησίας των σταθμών βάσης είναι η ίδια για κάθε σταθμό. Στην περίπτωση του CDMA, το επίπεδο ευαισθησίας των σταθμών βάσης διορθώνεται με το κατ' εκτίμηση επίπεδο παρεμβολής (noise rise) του uplink, και επομένως το επίπεδο ευαισθησίας των σταθμών βάσης είναι συγκεκριμένο για κάθε



κύτταρο. Ο αντίκτυπος του φόρτου του uplink στην ευαισθησία λαμβάνεται υπόψη με τον όρο $(1-\eta)$ όπου η είναι σύμφωνα με την (2,15).

$$\eta = \frac{I}{I + N} = \frac{I_{own} + I_{oth}}{N + I_{own} + I_{oth}} \quad (2.15)$$

όπου I_{own} και I_{oth} είναι οι παρεμβολές του κυττάρου που συνδέεται ο χρήστης και των υπολοίπων κυττάρων αντίστοιχα, ενώ το N είναι το υπόβαθρο και ο θόρυβος δεκτών. Στη uplink επαναληπτική διαδικασία η ισχύς εκπομπής των κινητών σταθμών υπολογίζονται με βάση το επίπεδο ευαισθησίας των καλύτερων servers, υπηρεσιών, ταχύτητας και απωλειών σύνδεσης.

Έπειτα, η ισχύς εκπομπής συγκρίνονται με τη μέγιστη επιτρεπτή ισχύ εκπομπής των κινητών σταθμών και αυτοί που υπερβαίνουν το όριο τίθενται εκτός υπηρεσίας. Μετά από αυτό, οι παρεμβολές μπορούν να επαναυπολογιστούν και ορίζονται νέες τιμές φόρτου και ευαισθησίας για τον κάθε σταθμό βάσης. Εάν η uplink φόρτωση είναι υψηλότερη από το καθορισμένο όριο, οι κινητοί σταθμοί μετατίθενται τυχαία από το φορτωμένο κύτταρο σε έναν άλλο μεταφορέα (εάν το φάσμα επιτρέπει) ή εκτός υπηρεσίας.

Όπως παρουσιάζεται στο [P3] ο στόχος της downlink επαναληπτικής διαδικασίας είναι να διαθέσει τις σωστές ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης προς κάθε κινητό σταθμό έως ότου κάθε κινητός σταθμός λάβει το σήμα με το προκαθορισμένο carrier-to-interference ratio. Το carrier-to-interference ratio μιας σύνδεσης n , $\left(\frac{C}{I}\right)_n$ ενός κινητού σταθμού, είναι:

$$\left(\frac{C}{I}\right)_n = \frac{p_n / L_n}{(1-a)(P - v_n p_n) / L_n + I_{oth} + N} \quad (2.16)$$

όπου a είναι ο ειδικός παράγοντας orthogonality του κυττάρου, το P είναι το σύνολο της ισχύος εκπομπής του σταθμού βάσης, L_n είναι το path loss από το κύτταρο στον κινητό σταθμό n , το v_n είναι ο παράγοντας δραστηριότητας φωνής, το P_n είναι η ισχύς που



διατίθεται στη σύνδεση η ενός κινητού σταθμού, I_{oth} είναι οι παρεμβολές των άλλων κυττάρων και το N είναι ο θόρυβος υποβάθρου και ο θόρυβος δέκτη.

Η εκτίμηση της σωστής ισχύος εκπομπής απαιτεί επανάληψη, δεδομένου ότι το C/I σε κάθε κινητό σταθμό εξαρτάται από την ισχύς που διατίθενται στους άλλους κινητούς σταθμούς. Όλες οι soft handover συνδέσεις ενός κινητού σταθμού είναι συνδυασμός μέγιστου ratio. Παρόμοια επαναληπτική προσέγγιση για single service έχει παρουσιαστεί στα [50] και [51]. Για περισσότερες λεπτομέρειες για τις επαναληπτικές διαδικασίες uplink και downlink δείτε τις [P2] και [P3].

2.3.3.2. Μοντελοποίηση της απόδοσης σε επίπεδο σύνδεσης.

Τα ζητήματα που παρουσιάζονται σε αυτήν την υποενότητα συσχετίζονται με τη μοντελοποίηση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης σε επίπεδο σύνδεσης σε ένα εργαλείο σχεδιασμού. Η σημασία τέτοιας μοντελοποίησης είναι εύκολο να καταδειχθεί (παραδείγματος χάριν μέσα στο [P4]).

Σε ένα κυψελοειδές ασύρματο δίκτυο κατά την διαστασιολόγηση και το σχεδιασμό είναι απαραίτητο να κάνουμε απλουστευμένες υποθέσεις σχετικά με το multipath propagation channel, τον πομπό και τον δέκτη.

Ένα παραδοσιακό πρότυπο είναι η χρήση του μέσου E_b/N_0 λήψης που εξασφαλίζει την απαραίτητη ποιότητα της υπηρεσίας, η οποία περιλαμβάνει την επίδραση του power delay profile. Στα συστήματα που χρησιμοποιούν fast power control, π.χ. σε WCDMA, ο μέσος όρος E_b/N_0 λήψης δεν είναι αρκετός να χαρακτηρίσει την επιρροή του καναλιού μετάδοσης στην απόδοση του δικτύου. Επίσης η διανομή της ισχύος εκπομπής πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη μοντελοποίηση της απόδοσης σε επίπεδο σύνδεσης στους υπολογισμούς σε επίπεδο δικτύου. Μια κατάλληλη προσέγγιση παρουσιάζεται μέσα στα [P1], [P3] και [44] για το uplink σε WCDMA. Έχει καταδειχθεί, ότι λόγω του fast power control που λειτουργεί σε περιβάλλον multipath fading, εκτός από το μέσο όρο E_b/N_0 λήψης, ένας μέσος όρος αύξησης ισχύος εκπομπής (power raise) απαιτείται στους υπολογισμούς παρεμβολής. Επιπλέον το TPC headroom πρέπει να συμπεριληφθεί στην εκτίμηση προϋπολογισμού συνδέσεων ώστε να επιτρέψει στο power control να ακολουθήσει τη γρήγορη εξασθένιση στην άκρη των κυττάρων.



Η μοντελοποίηση στον προσομοιωτή λαμβάνει υπόψιν πολλαπλές συνδέσεις κατά τον υπολογισμό των κερδών (gains) στο μέσο όρο ισχύος λήψης και εκπομπής όπως επίσης και στο απαραίτητο power control headroom λόγω των soft handover (SHO). Τα κέρδη στο SHO επιτυγχάνονται, αρχικά, λόγω του ότι από όλους τους σταθμούς βάσης στο ενεργό σύνολο, το καλύτερα ληφθέν πακέτο (Frame) μπορεί να επιλεγεί/συνδυαστεί βάσει μιας frame-by-frame μεθόδου και αφετέρου επειδή το fast power control δεν είναι απαραίτητο να αντισταθμίζει και τις βαθύτερες εξασθενίσεις. Κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων οι ισχύς εκπομπής των κινητών σταθμών διορθώνονται για κάθε κινητό σταθμό με ένα παράγοντα δραστηριότητας φωνής, ένα κέρδος SHO και μια μέση αύξηση ισχύος (power rise) λόγω του fast power control.

Γενικά, μπορεί να διαπιστωθεί ότι η εισαγωγή ή ο συνδυασμός της προσομοίωσης επιπέδου συστήματος και της προσομοίωση επιπέδου συνδέσεων είναι η τάση που επικρατεί όταν το ζητούμενο είναι να εκτελεσθεί ακριβής ανάλυση για νέα χαρακτηριστικά ενός συστήματος. Παραδείγματα τέτοιων προσομοιωτών για GSM μπορούν να βρεθούν μέσα στα [52] και [53]. Ένας νέος δυναμικός προσομοιωτής για WCDMA εισάγεται στα [54] και [55]. Οι προσομοιωτές με αυτό το επίπεδο λεπτομέρειας μοντελοποίησης, είναι αναγκασμένοι να αποδίδουν σχετικά αργά με αποτέλεσμα ένας κύκλος προσομοίωσης να διαρκεί αρκετές ημέρες.

Η ακρίβεια της στατικής μεθόδου πρόβλεψης με ενισχυμένο fast power control και soft handover modeling έχει εξεταστεί από τους χειριστές. Επομένως διεξήχθη μια εκστρατεία προσομοίωσης με ένα στατικό ([P2], [P3]) και ένα δυναμικό προσομοιωτή που περιγράφονται στα [54] και [55]. Στην περίπτωση του δυναμικού προσομοιωτή οι κινητοί σταθμοί κινούνται φυσικά κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων, ενώ ο έλεγχος ισχύος και άλλες λειτουργίες του RRM μοντελοποιούνται όσο το δυνατόν ακριβέστερα.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο [P3] δείχνουν ότι το οι στατικές προβλέψεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν με λογική ακρίβεια ειδικά εάν το bit rate είναι σχετικά μικρό. Η εργασία στο [P3] έγινε μέχρι 64 kbps. Επιπλέον, μπορεί να δηλωθεί ότι τα στατικά αποτελέσματα μιας προσομοίωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες εκτιμήσεις QoS για το κυψελοειδές δίκτυο WCDMA.



2.3.4. Ο αντίκτυπος της μοντελοποίησης της απόδοσης, σε επίπεδο σύνδεσης, στο αποτέλεσμα σχεδιασμού.

Σε αυτό το τμήμα, παρουσιάζεται ο αντίκτυπος της προηγμένης μοντελοποίησης στο εργαλείο σχεδιασμού. Επίσης, έχει σχεδιαστεί και αναλυθεί μια περίπτωση (παράδειγμα) multi-service, ενώ παρουσιάζεται ο αντίκτυπος της ταχύτητας των κινητών σταθμών. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται αυστηρή προσέγγιση εφαρμοσμένης μηχανικής, αλλά η σχετικότητά της είναι στη δυνατότητα εφαρμογής των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, αυτή η περίπτωση παρουσιάζει ότι μοντελοποίηση υποστηρίζει ακριβέστερο σχεδιασμό για δίκτυα WCDMA. Τα αποτελέσματα είναι βασισμένα σε εργασία που τεκμηριώνεται στο [P4].

Σε αυτήν την περίπτωση μελέτης, μια περιοχή στο Espoo, Φινλανδία σχεδιάστηκε, (κατά προσέγγιση είναι 12x12 km²), όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.4. Στη φάση σχεδιασμού, οι απαιτήσεις για πιθανότητα κάλυψης για υπηρεσίες 8 kbps, 64 kbps και 384 kbps τέθηκαν στα 95%, 80% και 50% ή καλύτερες, αντίστοιχα. Η φάση σχεδιασμού άρχισε με την εκτίμηση του RLB, της απόστασης περιοχής και της επιλογής θέσης περιοχής. Στο επόμενο βήμα σχεδιασμού, βελτιστοποιήθηκαν οι κυρίαρχες περιοχές για το κάθε κύτταρο. Σε αυτό το πλαίσιο η κυριαρχία σχετίζεται μόνο με την κατάσταση διάδοσης του σήματος. Η κλίση των κεραιών, η κατεύθυνση και οι θέσεις περιοχών, μπορούν να συντονιστούν για να ληφθούν σαφείς κυρίαρχες περιοχές για τα κύτταρα.

Η βελτιστοποίηση των κυρίαρχων περιοχών είναι κρίσιμη για τις παρεμβολές, την περιοχή και την πιθανότητα ελέγχου για το soft handover. Η βελτιωμένη απόδοση του soft/softer handover και των παρεμβολών φαίνεται αυτομάτως στη βελτιωμένη χωρητικότητα του δικτύου. Το τελικό σχέδιο αποτελείται από 19, τριών τομέων, μακρο-περιοχές. Στην περιοχή πόλης, το όριο φόρτου στο uplink τέθηκε στο 75%. Σε περίπτωση που ο φόρτος ξεπεράσει το προκαθορισμένο όριο, ένα απαραίτητο ποσό κινητών σταθμών τίθεται τυχαία εκτός λειτουργίας από τα υψηλά φορτωμένα κύτταρα. Η διανομή των χρηστών που χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις φαίνεται στον πίνακα 2.1.



Πίνακας 2.1. Η διανομή χρηστών [P4].

Service in kbps	Users per Service
8 kbps	1735
64 kbps	250
384 kbps	15

Εξομοιώθηκαν τρεις περιπτώσεις ταχύτητας κίνησης των σταθμών: 3 km/h, 50 km/h και μια μικτή περίπτωση. Στη μικτή περίπτωση οι μισοί από τους χρήστες ήταν πεζοί (3km/h) και οι άλλοι μισοί κινούνταν με την ταχύτητα των 50 km/h. Οι υπόλοιπες παράμετροι προσομοίωσης παρατίθενται στον πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2. Παράμετροι που χρησιμοποιούνται στον προσομοιωτή [P4].

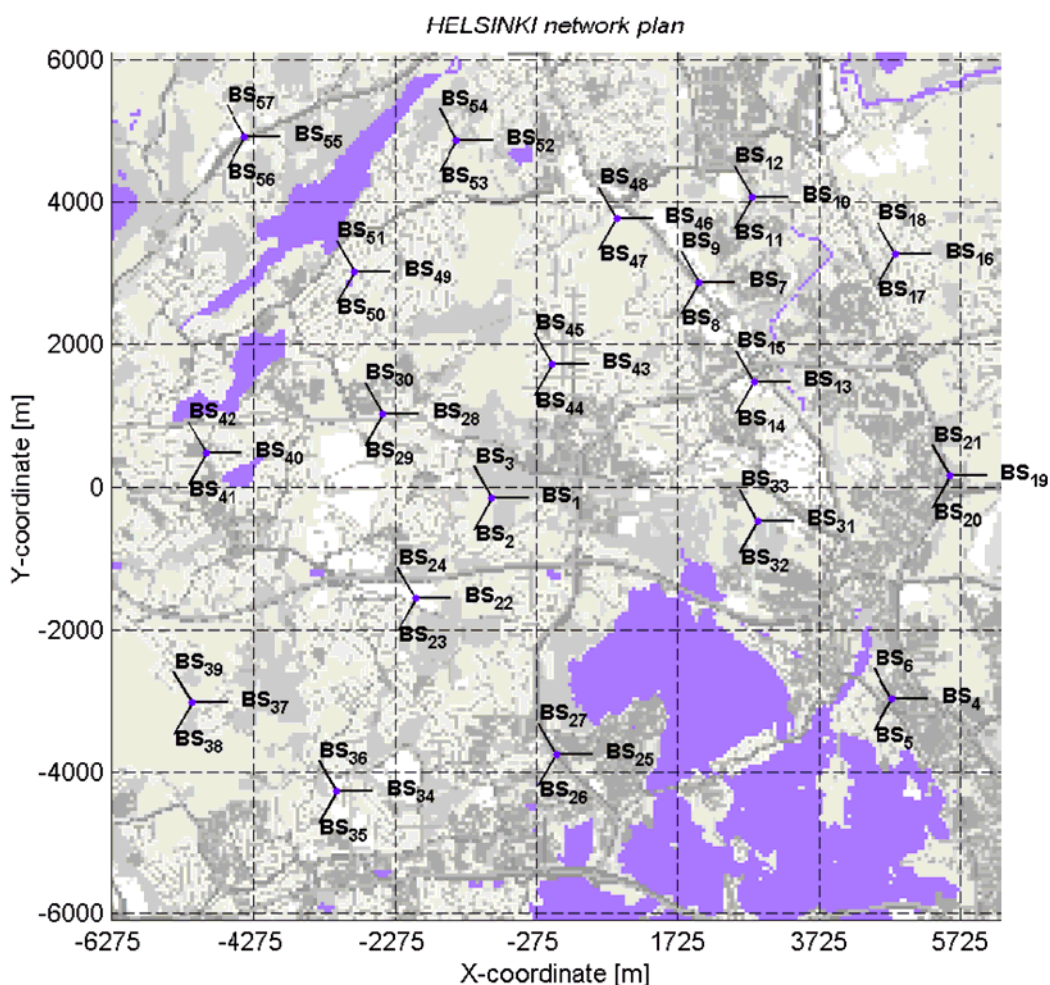
Parameter	Value
Uplink loading limit	75%
Base station maximum transmit power	20 W
Mobile station maximum transmit power	300 mW
Mobile station dynamic range	70 dB
Shadow fading correlation between base stations	50%
Standard deviation for the shadow fading	6 dB
Channel profile	ITU vehicular
Mobile station speeds	3 km/h and 50 km/h
MS/BS noise figures	7 dB/5 dB
Soft handover window	- 6 dB
CPICH power	30 dBm
Combined power for other control channels	30 dBm
Orthogonality	50%
Activity factor speech/data	50%/100%
BS antennas	65° / 17 dBi
MS antennas	Omni / 1.5 dBi



Η διανομή υπηρεσιών του πίνακα 2.1 χρησιμοποιήθηκε για να παράγει τη βασική κατάσταση φόρτωσης στο δίκτυο. Συνολικά 2000 κινητοί σταθμοί παρήχθησαν για την προσομοίωση.

Και στις τρεις περιπτώσεις προσομοίωσης, το ενδιαφέρον ήταν στο throughput των κυττάρων σε kbps και στην πιθανότητα κάλυψης για κάθε υπηρεσία. Επιπλέον, συλλέχθηκαν αποτελέσματα της πιθανότητας για soft handover και φόρτωσης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του throughput των κυττάρων και της πιθανότητες κάλυψης συλλέγονται στον πίνακα 2.3.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ταχύτητα των κινητών σταθμών ασκεί επίδραση και στο throughput και στην πιθανότητα κάλυψης. Είναι εμφανές ότι στην περίπτωση των σταθμών που κινούνται με 50 km/h, λιγότεροι κινητοί σταθμοί μπορούν να εξυπηρετηθούν, το throughput είναι χαμηλότερο και η προκύπτουσα φόρτωση είναι υψηλότερη από ότι στην περίπτωση όπου οι κινητοί σταθμοί κινούνται με την ταχύτητα των 3 km/h. Εάν οι τιμές του throughput ομαλοποιηθούν για να αντιστοιχούν στην ίδια τιμή φόρτωσης, η διαφορά είναι περισσότερο από 20% κατά τη σύγκριση των περιπτώσεων μεταξύ 3 km/h και 50 km/h. Η καλύτερη χωρητικότητα, με τους χαμηλότερης ταχύτητας κινητούς σταθμούς, μπορεί να εξηγηθεί με την καλύτερη απόδοση E_b/N_0 . Το fast power control είναι σε θέση να ακολουθήσει το εξασθενίζων σήμα και ο αναγκαίος στόχος E_b/N_0 μειώνεται. Η χαμηλότερη τιμή που τίθεται ως στόχος, μειώνει το γενικό επίπεδο παρεμβολών και περισσότεροι χρήστες μπορούν να εξυπηρετηθούν στο δίκτυο.



Σχήμα 2.4. Το σενάριο δικτύου. Η περιοχή είναι 12x12 km² και καλύπτεται από 57 κώτταρα [P4]

Κατά σύγκριση των αποτελεσμάτων της πιθανότητας κάλυψης, οι γρηγορότερα κινούμενοι κινητοί σταθμοί αντιμετωπίζουν καλύτερη ποιότητα από τους αργά κινούμενους κινητούς σταθμούς. Όπως εξηγείται στο [P4], το fast fading margin για τους υψηλότερης ταχύτητας κινητούς σταθμούς μειώνεται και έτσι πιθανότητα κάλυψης βελτιώνεται.

Ο αντίκτυπος της ταχύτητας γίνεται ακόμα πιο εμφανής όταν τα χρησιμοποιούμενα bit rate είναι υψηλά, επειδή για τα χαμηλά bit rate η κάλυψη είναι καλύτερη λόγω του μεγαλύτερου κέρδους επεξεργασίας. Η κάλυψη εξετάζεται με έναν κινητό σταθμό, αφότου οι επαναλήψεις έχουν φτάσει σε σύγκλιση. Ένας παρόμοιος τύπος προσέγγισης, εισάγεται στο [56]. Στην εργασία της Jaana Laiho έχει υποτεθεί ότι ο



δοκιμαστικός κινητός σταθμός δεν αλλάζει το φόρτο του δικτύου. Το overhead του soft handover δίνει μια ένδειξη του ποσού των soft handover συνδέσεων στο δίκτυο.

Ο συνολικός αριθμός συνδέσεων, I , σε ένα κύτταρο μπορεί να υπολογιστεί με την:

$$I = (1 + SHO) \cdot K_N \quad (2.17)$$

όπου K_N είναι ο αριθμός των κινητών σταθμών σε ένα κύτταρο, και SHO είναι η τιμή του soft handover overhead στο εν λόγω κύτταρο.

Η ανάλυση της πιθανότητας κάλυψης για το downlink κανάλι κυκλοφορίας, είναι διαφορετική από αυτή του uplink. Στην περίπτωση του uplink ο περιοριστικός παράγοντας είναι η μέγιστη ισχύς εκπομπής του κινητού σταθμού. Στην περίπτωση των downlink συνδέσεων οι περιορισμοί εξαρτώνται από τους χρησιμοποιούμενους αλγόριθμους στο **RRM**. Ένας περιορισμός στην κατεύθυνση των downlink συνδέσεων είναι φυσικά η συνολική ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης και, επιπλέον σε αυτόν, ακόμη ένας περιορισμός μπορεί να ληφθεί υπόψιν: το όριο ισχύος ανά ασύρματη σύνδεση.

Στο σχήμα 2.5 υπάρχει ένα παράδειγμα ανάλυσης κάλυψης για το downlink σε υπηρεσία φωνής. Είναι εμφανές ότι εάν ο περιορισμός της ισχύος ανά σύνδεση επιλεγεί σωστά, η πιθανότητα κάλυψης για τις downlink συνδέσεις μπορεί να οριστεί στην ίδια τιμή με την πιθανότητα κάλυψης για τις uplink. Κατά συνέπεια, οι περιοχές εξυπηρέτησης των uplink και downlink συνδέσεων μπορούν να εξισορροπηθούν. Οι απαραίτητες ισχύεις ανά σύνδεση του σχήματος 2.5 είναι οι μέσες ισχύεις και δεν περιλαμβάνουν το fast fading margin.



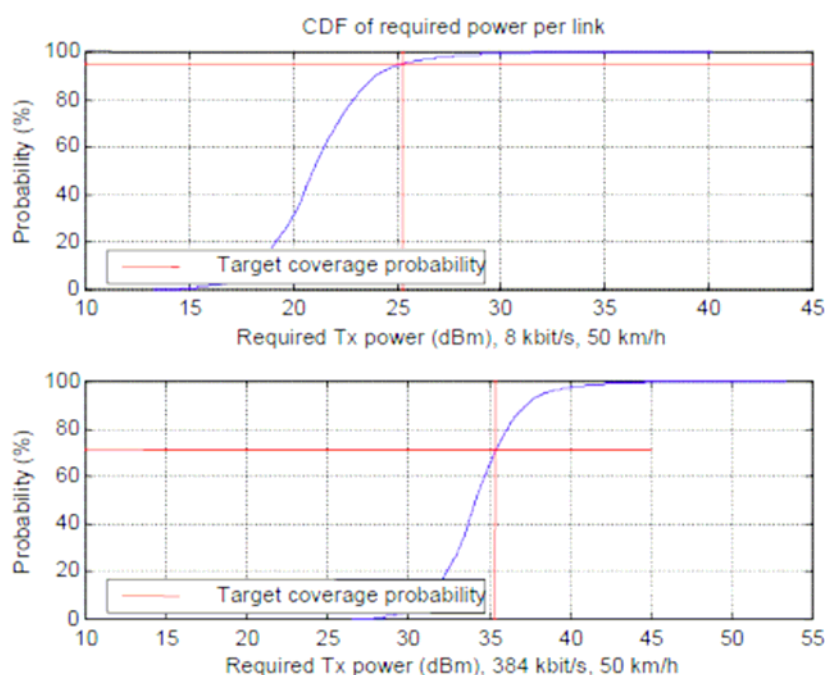
Πίνακας 2.3 α. Το throughput των κυττάρων, ο φόρτος και το soft handover (SHO) overhead. UL = UpLink, DL = Downlink [P4].

Basic loading: MS speed 3 km/h, served users: 1805.				
cell ID	ThroughputUL kbps	ThroughputDL kbps	UL loading	SHO overhead
cell 1	728.00	720.00	0.50	0.34
cell 2	208.70	216.00	0.26	0.50
cell 3	231.20	192.00	0.24	0.35
cell 4	721.60	760.00	0.43	0.17
cell 5	1508.80	1132.52	0.75	0.22
cell 6	762.67	800.00	0.53	0.30
MEAN (all cells)	519.20	508.85	0.37	0.39
Basic loading: MS speed 50 km/h, served users: 1777.				
cell ID	ThroughputU L kbps	ThroughputDL kbps	UL loading	SHO overhead
cell 1	672.00	710.67	0.58	0.29
cell 2	208.70	216.00	0.33	0.50
cell 3	226.67	192.00	0.29	0.35
cell 4	721.60	760.00	0.50	0.12
cell 5	1101.60	629.14	0.74	0.29
cell 6	772.68	800.00	0.60	0.27
MEAN	531.04	506.62	0.45	0.39
Basic loading: MS speed 50 km/h and 3 km/h, served users: 1802.				
cell ID	ThroughputU L kbps	ThroughputDL kbps	UL loading	SHO overhead
cell 1	728.00	720.00	0.51	0.34
cell 2	208.70	216.00	0.29	0.50
cell 3	240.00	200.00	0.25	0.33
cell 4	730.55	760.00	0.44	0.20
cell 5	1162.52	780.92	0.67	0.33
cell 6	772.68	800.00	0.55	0.32
MEAN	525.04	513.63	0.40	0.39



Πίνακας 2.3 β. Τα αποτελέσματα πιθανότητας κάλυψης [P4].

Basic loading:	Test MS speed:	
MSs 3 km/h	3 km/h	50 km/h
8 kbps	96.6%	97.7%
64 kbps	84.6%	88.9%
384 kbps	66.9%	71.4%
Basic loading:	Test MS speed:	
MSs 50 km/h	3 km/h	50 km/h
8 kbps	95.5%	97.1%
64 kbps	82.4%	87.2%
384 kbps	63.0%	67.2%
Basic loading:	Test MS speed:	
MSs 3 and 50 km/h	3 km/h	50 km/h
8 kbps	96.0%	97.5%
64 kbps	83.9%	88.3%
384 kbps	65.7%	70.2%



Σχήμα 2.5. Ένα παράδειγμα ανάλυσης κάλυψης για το downlink. Για την υπηρεσία φωνής (8 kbps, 50km/h) το όριο για την ασύρματη σύνδεση τέθηκε στα 25dBm, για την επίτευξη πιθανότητας κάλυψης 95%. Στην περίπτωση των 384 kbps με απαίτηση πιθανότητας κάλυψης 71%, το όριο ανά σύνδεση ήταν 35dBm [P4].



Τα αποτελέσματα αυτού του τμήματος καταδεικνύουν δύο ζητήματα.

- Αποδεικνύεται ότι η ταχύτητα των κινητών σταθμών ως μια ιδιότητα στη διαδικασία σχεδιασμού έχει έναν αντίκτυπο στα αποτελέσματα χωρητικότητας και ποιότητας για το σχέδιο του ασύρματου δικτύου. Από άποψη χωρητικότητας, είναι εμφανές ότι η χαμηλότερη ταχύτητα των κινητών σταθμών παρέχει καλύτερο throughput. Όταν συγκρίνονται τα αποτελέσματα της πιθανότητας κάλυψης (ποιότητα), ο αντίκτυπος της ταχύτητας του κινητού σταθμού είναι αντίστροφος. Η υψηλότερη ταχύτητα μειώνει το απαραίτητο fast fading margin και έτσι η πιθανότητα κάλυψης βελτιώνεται όταν αυξάνεται η ταχύτητα των κινητών σταθμών.
- Η ακριβής μοντελοποίηση της κίνησης είναι μια νέα πρόκληση στη φάση σχεδιασμού του ασύρματου δικτύου. Εκτός από τη διανομή κυκλοφορίας και υπηρεσιών, οποιοσδήποτε πρέπει να είναι σε θέση να υπολογίσει τη διανομή της κινητικότητας των χρηστών στο δίκτυο. Είναι σαφές ότι μια τέτοια απαίτηση δεν είναι εφικτή. Επομένως, τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε αυτό το τμήμα υποστηρίζουν ότι ο statistical feedback loop που σχηματίζει το δίκτυο, απαιτείται για την υποστήριξη του προλειτουργικού σχεδιασμού.

Είναι σαφές ότι για μια λεπτομερή ανάλυση ενός δικτύου ένας γύρος προσομοίωσης δεν είναι αρκετός, αλλά πρέπει να εξεταστούν πολλαπλές διανομές κινητών σταθμών και διαφορετικά σενάρια κίνησης. Εντούτοις, τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται εδώ δείχνουν, ότι για ένα χειριστή η χωρητικότητα και η ποιοτική βελτιστοποίηση του δικτύου είναι επιτυχέστερη εάν, εκτός από τη χρησιμοποιούμενη υπηρεσία φορέα, ο αντίκτυπος της ταχύτητας των κινητών σταθμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δεδομένο.



2.3.5. Ο αντίκτυπος της μοντελοποίησης περιοχών στην απόδοση του ασύρματου δικτύου.

2.3.5.1. Εισαγωγή

Εξαιτίας του γεγονότος ότι το WCDMA είναι χωρητικά περιορισμένο, η βελτιστοποίηση από άποψη ελέγχου των παρεμβολών, είναι ουσιώδης, ήδη, από τη φάση σχεδιασμού. Επίσης σημαντικά, είναι μέσα που να υποστηρίζουν τη γρήγορη ανάπτυξη του δικτύου. Η μελέτη στο [P5], ακόμα κι αν εφαρμόζει μια ισχυρή προσέγγιση εφαρμοσμένης μηχανικής, καταδεικνύει τη δυνατότητα χρήσης ΜΗΑ. Επιπλέον επαληθεύεται η επίδραση της επιλογής των κεραιών στην κατάσταση παρεμβολών και κατ' επέκταση η χωρητικότητα. Εκτός από τη μοντελοποίηση του TPC, τα συμπεράσματα της μελέτης του sectorisation, έχουν υλοποιηθεί στην εξίσωση φόρτωσης του CDMA.

Στα δίκτυα WCDMA, η κάλυψη είναι γενικά περιορισμένη από το uplink, παρόλο που ένας σταθμός βάσης με περιορισμένη ικανότητα εκπομπής ισχύος σε συνδυασμό με ασυμμετρικές υπηρεσίες δεδομένων, μπορεί να οδηγήσει σε σενάριο περιορισμένης κάλυψης στο downlink. Η χωρητικότητα μπορεί να είναι περιορισμένη είτε λόγω uplink είτε downlink ανάλογα με το σχεδιασμένο επίπεδο φόρτου του uplink, την ικανότητα εκπομπής ισχύος του σταθμού βάσης, την κυκλοφορία που φορτώνει το δίκτυο, και την απόδοση των σταθμών βάσης και των κινητών τερματικών. Υπάρχουν διάφορα μέσα ώστε να βελτιωθεί η χωρητικότητα ή η απόδοση κάλυψης ενός δικτύου WCDMA. Αυτά περιλαμβάνουν:

- Το Sectorisation,
- Λήψη με τη βοήθεια Diversity,
- Χρήση των επικεφαλής ενισχυτών ιστών (ΜΗΑ),
- Χρήση των επαναληπτών (repeaters),
- Χρήση ιεραρχικών δομών κυττάρων,
- Χρήση βελτιστοποιημένων διαμορφώσεων ανάπτυξης [40],
- Χρήση Diversity κατά την εκπομπή,
- Χρήση της μοντελοποίησης ακτίνας,

Με τη βοήθεια των ακόλουθων παραδειγμάτων, καταδεικνύεται η επιρροή τους στη χωρητικότητα και την κάλυψη των δικτύων.



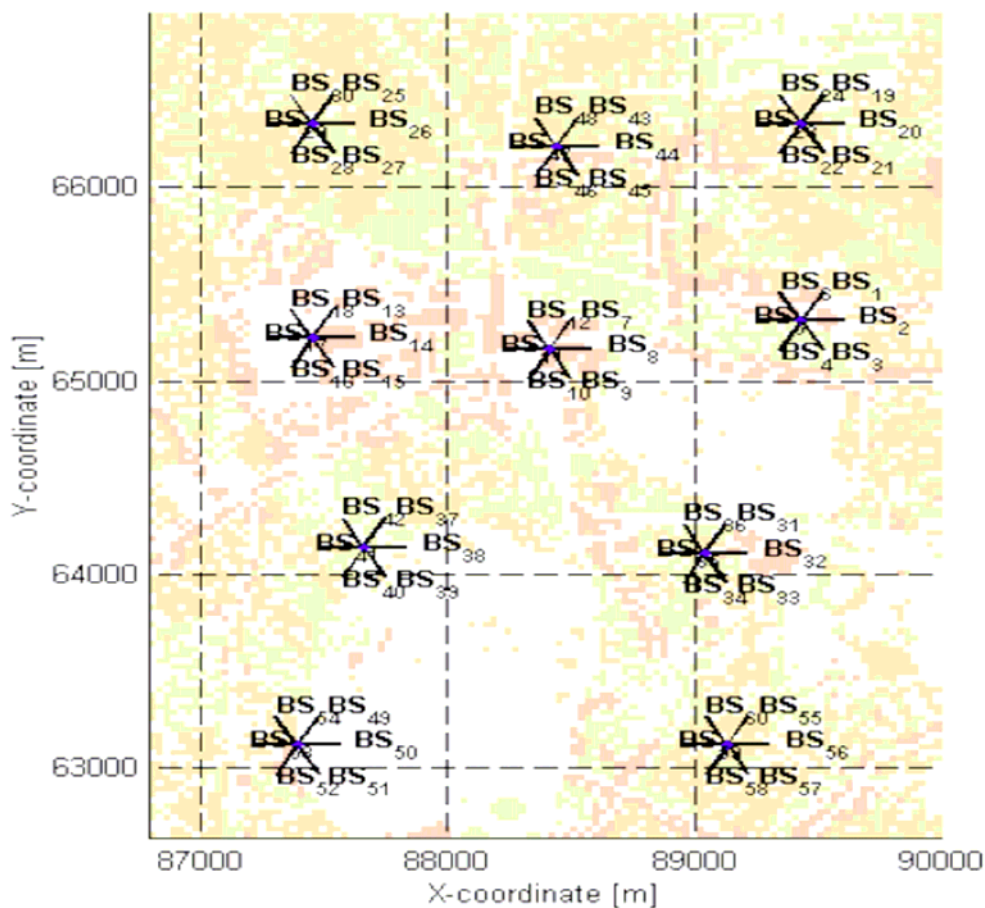
2.3.5.2. Παράδειγμα μελέτης του Sectorisation, της κλίσης κεραιών και των ΜΗΑ.

Σε αυτήν την μελέτη το σενάριο τοποθετήθηκε στην περιοχή του Shinjuku στο Τόκιο, υποθέτοντας ότι όλοι οι χρήστες ήταν στο εσωτερικό των κτιρίων (αυτό προκαλεί πρόσθετη απώλεια 12dB στον προϋπολογισμό συνδέσεων). Για το προφίλ multipath καναλιών, χρησιμοποιήθηκε το κανάλι *ITU vehicular A*. Τα 13.5km² της έκτασης καλύφθηκαν με 10 περιοχές. Το ύψος εγκατάστασης των κεραιών που επιλέχθηκε ήταν τα 50m, η απώλεια διάδοσης υπολογίστηκε με το πρότυπο **okumura-Hata**, με μέσο παράγοντα διόρθωσης τύπου περιοχής, τα - 4.1dB. Στις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν, omni, τριών, τεσσάρων και έξι τομέων διαμορφώσεις, ενώ οι θέσεις περιοχών κρατήθηκαν σταθερές. Το σενάριο του δικτύου με εφαρμογή έξι τομέων (six-sector) μπορεί βρεθεί στο σχήμα 2.6.

Πέντε διαφορετικές κεραιές χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις με 3dB πλάτη ακτινών των 120°, 90°, 65°, 33° και επιπρόσθετα μια κεραία omni. Τα κέρδη όλων των κεραιών τέθηκαν στα 15dBi και για το περιθώριο του SHO η τιμή των - 4dB., Όλοι οι τομείς των οποίων το P-CPICH λαμβάνεται μέσα σε -4dB του ισχυρότερου P-CPICH συμπεριλαμβάνονται στο ενεργό σύνολο. Λήφθηκε, επίσης, υπόψιν ένα μίγμα υπηρεσιών χρηστών φωνής (8 kbps), χρηστών δεδομένων circuit switched (64 kbps) και χρηστών δεδομένων πακέτων (144 kbps). Οι ακριβείς πληροφορίες κυκλοφορίας που χρησιμοποιούνται στην εργασία της Jaana Laiho μπορούν να είναι βρεθούν στο [P5].

Αυτή η μελέτη αποτελείται από τρεις περιπτώσεις.

- Στην πρώτη περίπτωση ανάλυσης, το ενδιαφέρον ήταν στον αντίκτυπο της κλίσης των κεραιών. Διάφορες κλίσεις κεραιών προσομοιώθηκαν για να βρεί η βέλτιστη.
- Στο δεύτερο μέρος η επιρροή της χρήσης των ΜΗΑ στο uplink μελετήθηκε. Για κάθε sectorisation, συγκρίνονται οι προσομοιώσεις με και χωρίς τους ΜΗΑ.
- Στο τρίτο μέρος διευκρινίζεται η βελτίωση της χωρητικότητας ως συνάρτηση του sectorisation και της επιλογής της κεραιάς.



Σχήμα 2.6. Παράδειγμα ενός σεναρίου δικτύου με τους six-sectored σταθμούς βάσης, για την περίπτωση του Shinjuku [P5].

Στη μελέτη της κλίσης των κεραιών, εφαρμόστηκε ηλεκτρική κλίση και με τη βοήθεια των αποτελεσμάτων γίνεται εμφανές ότι μπορεί να βρεθεί μια βέλτιστη γωνία κλίσης. Επίσης σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι πρέπει να ληφθούν υπόψιν και η χωρητικότητα και η πιθανότητα κάλυψης. Τα αποτελέσματα της μελέτης συλλέγονται στον πίνακα 2.4.

Σε αυτές τις προσομοιώσεις η βέλτιστη γωνία κλίσης είναι από 7° σε 10° . Η σχετικά υψηλή βέλτιστη γωνία κλίσης μπορεί να εξηγηθεί από το μεγάλο ύψος εγκατάστασης των κεραιών (50m). Από τον πίνακα 2.4 είναι έκδηλη η τάση του με το να μειώνουμε την ανύψωση των κεραιών, η αναλογία παρεμβολών μεταξύ των κυττάρων, i , μειώνεται καθώς η κλίση αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει επειδή η κύρια δέσμη της κεραίας δεν εκπέμπει τόση πολλή ισχύ προς τους άλλους σταθμούς βάσης και επομένως το μεγαλύτερο μέρος της εκπεμπόμενης ισχύος πηγαίνει στην περιοχή που προορίζεται για να εξυπηρετηθεί από αυτόν το συγκεκριμένο σταθμό βάσης.



Συγχρόνως το δίκτυο θα μπορούσε επίσης να εξυπηρετήσει περισσότερους χρήστες από ότι χωρίς κλίση των κεραιών. Υπάρχει πάντα κάποια βέλτιστη τιμή για την κλίση, η οποία εξαρτάται από το περιβάλλον, τις περιοχές, τις θέσεις των χρηστών και τη μορφή ακτινοβολίας των κεραιών. Εάν η γωνία κλίσης είναι πάρα πολύ μεγάλη, η περιοχή εξυπηρέτησης θα μπορούσε να μειωθεί και ο σταθμός βάσης δεν είναι ικανός να εξυπηρετήσει τόσο καλά μια μεγάλη περιοχή όπως χωρίς την υπερβολική κλίση. Αυτό φαίνεται από τους αριθμούς της πιθανότητα κάλυψης του uplink που έχει επίσης κάποια βέλτιστη τιμή. Λόγω της μορφής ακτινοβολίας της κεραίας, οι δευτερεύοντες λοβοί και τα κενά θα μπορούσαν να είναι μερικές μεταβολές του i και της πιθανότητας κάλυψης ως συνάρτηση της γωνίας κλίσης.

Πίνακας 2.4. Παραδείγματα του αντίκτυπου της κλίσης των κεραιών στην χωρητικότητα του δικτύου. ΜΗΑ σε χρήση. Μέγιστη ισχύς εκπομπής των MS, 24dBm. Στην DL περίπτωση που η μέγιστη ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσης υπερβεί το όριο, συνδέσεις τίθενται τυχαία σε διακοπή λειτουργίας [P5].

Antenna tilt	Other to own cell interference ratio, i	Served users	Soft handover overhead	UL coverage probability (outdoor to indoor) for 8/64/144 kbps
OMNI CASE				
0°	0.79	239	28%	70 / 32 / 40%
THREE SECTORED CASE, 65° antenna				
0°	0.88	575	40%	86 / 59 / 62%
4°	0.75	624	39%	91 / 71 / 72%
7°	0.59	697	36%	92 / 76 / 76%
10°	0.37	856	30%	90 / 75 / 74%
14°	0.38	787	32%	81 / 62 / 61%
FOUR SECTORED CASE, 65° antenna				
0°	1.09	604	41%	92 / 70 / 71%
4°	0.94	707	30%	95 / 81 / 81%
7°	0.72	833	26%	96 / 84 / 83%
10°	0.47	959	21%	94 / 82 / 81%
14°	0.50	886	26%	86 / 69 / 68%
SIX SECTORED CASE, 33° antenna				
0°	1.15	880	48%	93 / 76 / 76%
4°	1.03	946	49%	96 / 83 / 83%
7°	0.88	1037	45%	96 / 85 / 84%
10°	0.73	1054	41%	95 / 83 / 82%
14°	0.58	930	33%	86 / 70 / 69%



Στο δεύτερο μέρος της μελέτης παρουσιάζεται η δυνατότητα χρήσης ενός ενισχυτή masthead (MHA) χαμηλού θορύβου. Ο MHA χρησιμοποιείται στην uplink κατεύθυνση για να αντισταθμίσει τις απώλειες των καλωδίων και κατ' επέκταση να μειώσει την απαραίτητη ισχύ εκπομπής των κινητών σταθμών. Τα τριών και τεσσάρων τομέων σενάρια, έχουν προσομοιωθεί με κεραιές των 65° και στην περίπτωση των έξι τομέων, κεραιά 33°. Σε όλες τις περιπτώσεις η κλίση κεραιών που χρησιμοποιήθηκε ήταν 7° και η μέγιστη ισχύς των MS ήταν 27dBm. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης των MHA συγκεντρώνονται στον πίνακα 2.5.

Πίνακας 2.5. Ο αντίκτυπος του MHA. Μέγιστη ισχύς MS, 27dBm. Κλίση κεραιών 7°. Στην DL περίπτωση που η μέγιστη ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσης υπερβεί το όριο, συνδέσεις τίθενται τυχαία σε διακοπή λειτουργίας [P5]

	Other to own cell interference ratio, i	Served users in UL	Served users in DL	UL coverage probability (outdoor to indoor) for 8/64/144 kbps
THREE SECTORED CASE, 65° antenna				
no MHA	0.60	1038	807	93 / 78 / 78%
with MHA	0.61	1064	746	95 / 82 / 82%
FOUR SECTORED CASE, 65° antenna				
no MHA	0.73	1089	884	96 / 86 / 85%
with MHA	0.73	1107	846	98 / 89 / 89%
SIX SECTORED CASE, 33° antenna				
no MHA	0.88	1124	1052	97 / 87 / 86%
with MHA	0.90	1132	1021	98 / 90 / 90%
no MHA, 4 dB cable losses	0.88	1109	1057	95 / 83 / 82%
with MHA, 4 dB cable losses	0.90	1132	1016	98 / 90 / 90%

Τα αποτελέσματα του πίνακα 2.5 δείχνουν ότι με τη χρήση ενός MHA, η απόδοση του uplink μπορεί επίσης να βελτιωθεί και στα συστήματα WCDMA. Σε όλες τις περιπτώσεις ο αριθμός των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετηθεί στο uplink έχει αυξηθεί λόγω της αυξημένης ευαισθησίας. Επίσης, μεγαλώνει η πιθανότητα κάλυψης κατά τη χρήση ενός MHA. Στην περίπτωση των έξι τομέων, η επιρροή του MHA είναι επίσης μεγάλη κατά την υπόθεση μεγαλύτερων λόγω καλωδίων στο UL (4dB αντί για 2dB).



Εντούτοις, ο πίνακας 2.5 επίσης δείχνει ότι τα σενάρια είναι περιορισμένα στο downlink και έχοντας περισσότερους MSs στο uplink, στην πραγματικότητα μειώνεται η απόδοση του DL. Σε όλες τις περιπτώσεις η χωρητικότητα στο DL ήταν μικρότερη κατά τη χρήση ενός MHA στο UL. Ο λόγος θα μπορούσε να είναι ότι εάν περισσότεροι χρήστες μπορούν να εξυπηρετηθούν από το UL, οι ισχύς εκπομπής στο DL αυξάνονται λόγω των περισσότερων SHO συνδέσεων και έτσι μειώνεται η χωρητικότητα του DL.

Στην τρίτη περίπτωση ανάλυσης, η οποία επεξηγεί τη βελτίωση χωρητικότητας ως συνάρτηση του sectorisation, κάθε σταθμός βάσης έχει προσομοιωθεί ως πανκατευθυντικός και ως περιοχή με τρεις, τέσσερις ή έξι τομείς. Επιπλέον, με την προσομοίωση των σεναρίων με κεραιές που έχουν τα διαφορετικά πλάτη ακτινών, υπογραμμίζεται η σημασία μιας σωστής επιλογής κεραιών για μια τομεοποιημένη μοντελοποίηση με τη βοήθεια μερικών παραδειγμάτων. Για όλα τα σενάρια οι MHA ήταν σε λειτουργία, η μέγιστη ισχύς εκπομπής των κινητών σταθμών(MS) ήταν στα 24dBm και οι κεραιές δεν ήταν ανυψωμένες. Τα αποτελέσματα σχετικά με τη μελέτη του sectorisation βρίσκονται στον πίνακα 2.6.

Πίνακας 2.6. Ο αντίκτυπος της επιλογής κεραιών στη sectorisation περίπτωση. Μέγιστη ισχύς MS, 27dBm, MHA σε λειτουργία. Καμία κλίση κεραιών [P5].

Antenna 3 dB beam width	Other to own cell interference ratio, i	Served users	Soft handover overhead	UL coverage probability (outdoor to indoor) for 8/64/144 kbps
OMNI CASE				
omni	0.79	240	28%	70 / 32 / 40%
THREE SECTOR CASE				
120°	1.33	441	39%	85 / 50 / 59%
90°	1.19	461	35%	87 / 55 / 62%
65°	0.88	575	34%	86 / 59 / 62%
FOUR SECTOR CASE				
120°	1.72	489	54%	90 / 62 / 68%
90°	1.49	510	51%	92 / 67 / 72%
65°	1.09	604	41%	92 / 70 / 71%
33°	0.92	691	40%	88 / 65 / 64%
SIX SECTOR CASE				
120°	2.18	593	64%	95 / 75 / 79%
90°	1.97	627	59%	96 / 80 / 82%
65°	1.43	758	55%	96 / 80 / 81%
33°	1.15	880	48%	93 / 76 / 76%

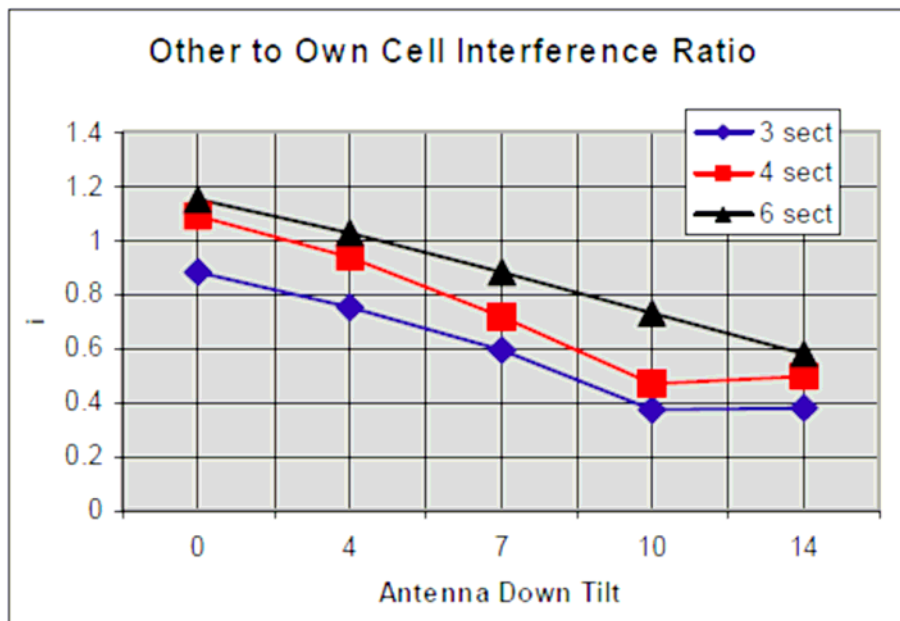


Στην περίπτωση με τις omni περιοχές, η κάλυψη είναι πολύ φτωχή και μόνο 240 χρήστες θα μπορούσαν να εξυπηρετηθούν. Ήδη στο uplink το δίκτυο είναι υπερφορτωμένο. Υπάρχει σχεδόν ένα σταθερό ποσό MSs που αναγκάζονται σε διακοπή λειτουργίας λόγω του πολύ υψηλού φόρτου και λόγω της εξάντλησης ορίου των MSs από ισχύ. Σε όλες τις περιπτώσεις στο uplink, ο λόγος διακοπής λειτουργίας είναι ότι ο MS δεν έχει αρκετή ισχύ. Εντούτοις το downlink είναι ακόμα πιο περιοριστικό και περισσότερα κινητά αναγκάζονται σε διακοπή λειτουργίας.

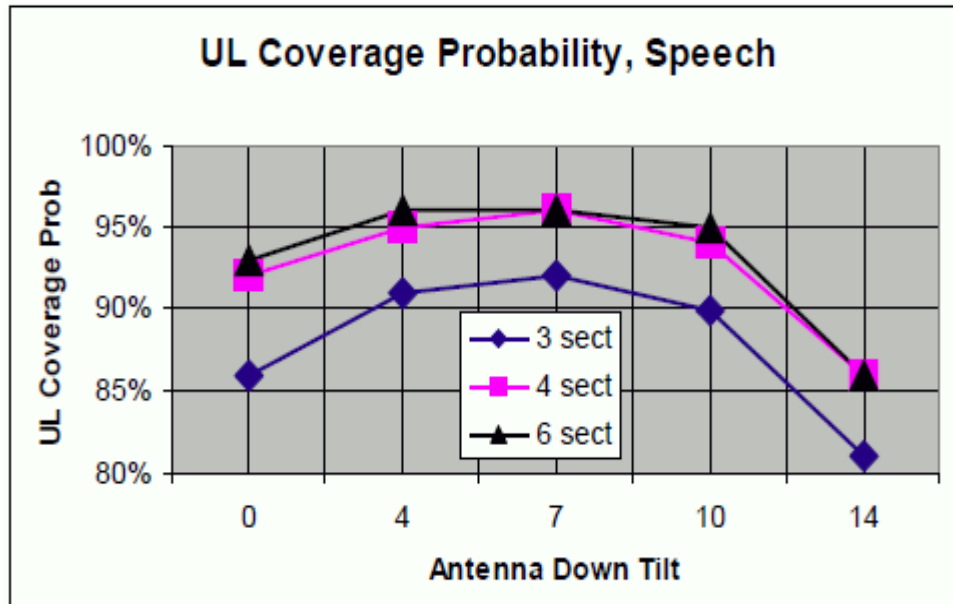
Ο Πίνακας 2.6 δείχνει σαφώς ότι με υψηλότερο sectorisation, περισσότερα κινητά μπορούν να εξυπηρετηθούν. Μια άλλη παρατήρηση που μπορεί να γίνει από τα αποτελέσματα, είναι ότι για κάθε μια περίπτωση sectorisation η επιλογή του πλάτους των ακτινών των κεραιών είναι σημαντική. Για να επιτευχθεί υψηλότερος αριθμός εξυπηρετούμενων χρηστών, είναι πολύ κρίσιμο να ελεγχθούν αποτελεσματικά οι παρεμβολές και το soft handover overhead. Εάν η επικάλυψη των τομέων είναι πολύ μεγάλη, η παρεμβολές διαρρέουν στους άλλους τομείς, πράγμα που μειώνει άμεσα τη χωρητικότητά τους. Μια άλλη επίδραση της ακτίνας των κεραιών, εάν είναι πάρα πολύ διευρυμένη, είναι η απώλεια των πόρων υλικού και την αυξημένη ισχύ εκπομπής στο downlink που οφείλονται στο μεγάλο soft handover overhead.

Στις προσομοιώσεις, η 65°-κεραία ήταν η βέλτιστη για την τριών-τομέων περίπτωση και η 33°-κεραία ήταν καλύτερη για το σενάριο των τεσσάρων και έξι τομέων. Μπορεί να δηλωθεί ότι με σχετικά απλά μέσα σχεδιασμού ασύρματων δικτύων (κλίση κεραιών και σωστή επιλογή κεραιών για κάθε σενάριο) οι παρεμβολές μπορούν να ελεγχθούν και η χωρητικότητα του δικτύου να βελτιωθεί. Στη μελέτη κλίσης των κεραιών, η ηλεκτρική κλίση εφαρμόστηκε και με τη βοήθεια των αποτελεσμάτων αποδείχθηκε ότι μπορεί να βρεθεί μια βέλτιστη γωνία κλίσης. Στο σχήμα 2.7 απεικονίζεται η επίδραση της κλίσης στο λόγο παρεμβολής (i) μεταξύ των κυττάρων. Το σχήμα 2.8 καταδεικνύει τον αντίκτυπο της κλίσης στην κάλυψη της υπηρεσίας φωνής.

Στις προσομοιώσεις που παρουσιάζονται στη μελέτη κάθε ένας από τους σταθμούς βάσης βελτιστοποιήθηκε κατά παρόμοιο τρόπο. Στην πραγματικότητα οι κεραιές σταθμών βάσης δεν εγκαθίστανται στο ίδιο ύψος και κατά συνέπεια η βελτιστοποίηση των σταθμών βάσης πρέπει να διενεργηθεί από περιοχή σε περιοχή ξεχωριστά.



Σχήμα 2.7. Ο αντίκτυπος της κλίσης των κεραιών στην κατάσταση παρεμβολών. Από πλευράς παρεμβολών, όλες οι διαμορφώσεις έχουν το βέλτιστο εύρος δέσμης κεραιών.



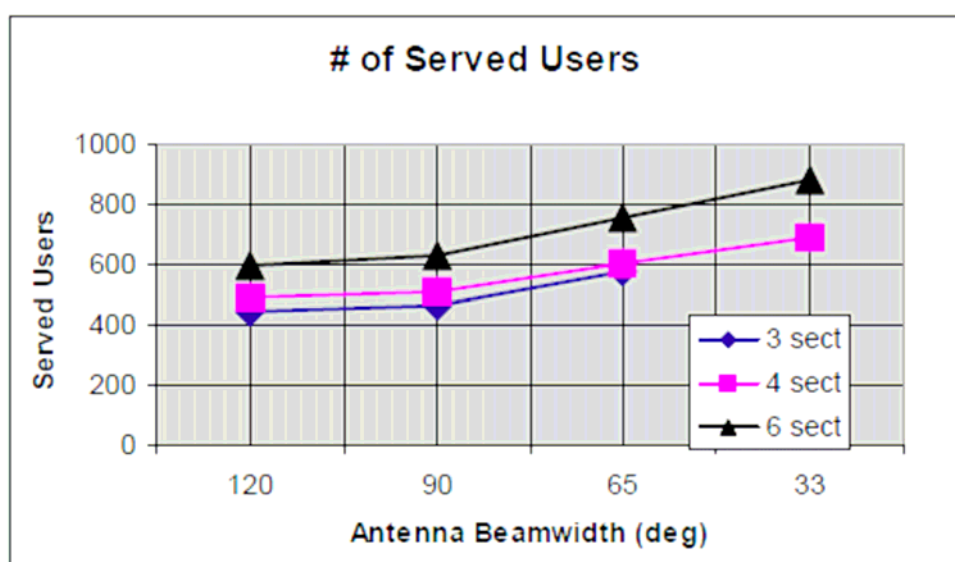
Σχήμα 2.8. Αντίκτυπος της κλίσης κεραιών στην πιθανότητα κάλυψης του uplink (υπηρεσία φωνής). Από πλευράς παρεμβολών, όλες οι διαμορφώσεις έχουν το βέλτιστο εύρος δέσμης κεραιών.



Σε αυτήν την μελέτη έχει επίσης καταδειχθεί ότι η χρήση ΜΗΑ είναι εφικτή σε δίκτυα WCDMA. Εντούτοις το όφελος είναι μάλλον μικρό όταν τα συστήματα περιορίζονται στο downlink και έτσι η βελτίωση της ευαισθησίας του uplink δεν είναι τόσο ευεργετική. Επιπλέον, στην περίπτωση υψηλού σημείου λειτουργίας του uplink (πχ. το επίπεδο παρεμβολών είναι υψηλό έναντι του επιπέδου βασικού θορύβου) ο ΜΗΑ δεν αποφέρει οποιαδήποτε κέρδη.

Τα αποτελέσματα στον πίνακα 2.5 δείχνουν ότι το QoS μπορεί να βελτιωθεί στην uplink κατεύθυνση σε ελαφρά φορτωμένα δίκτυα με τη χρήση ΜΗΑ. Σε όλες τις περιπτώσεις προσομοίωσης, η πιθανότητα κάλυψης αυξήθηκε όταν ο ΜΗΑ ήταν σε λειτουργία. Το πόσο η βελτιωμένη χωρητικότητα του uplink μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην downlink κατεύθυνση στην περίπτωση χρήσης ΜΗΑ, εξαρτάται φυσικά από την τρέχουσα κατάσταση φόρτωσης του downlink και τις στρατηγικές ελέγχου αποδοχής και φορτίων που εφαρμόζονται μέσα το δίκτυο.

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δείχνουν σαφώς ότι το υψηλότερο sectorisation προσφέρει περισσότερη χωρητικότητα στο δίκτυο αλλά για να επιτύχει αυτό η επιλογή κεραιών είναι πολύ κρίσιμη για τον αποτελεσματικό έλεγχο των παρεμβολών και των soft handover overhead. Για κάθε περίπτωση sectorisation υπάρχει ένα βέλτιστο εύρος δέσμης κεραίας (βλέπε σχήμα 2.9).



Σχήμα 2.9. Αντίκτυπος του εύρους δέσμης των κεραιών στη χωρητικότητα (από άποψη χρηστών).



2.3.5.3. Ο αντίκτυπος του diversity στην απόδοση του WCDMA.

Η λήψη με χρήση diversity παρέχει μια αποτελεσματική τεχνική για την από κοινού αντιμετώπιση του αντίκτυπου της εξασθένησης στο ασύρματο κανάλι και της αύξησης του λαμβανόμενου σήματος προς αναλογία παρεμβολής (SNR). Το πρώτο επιτυγχάνεται με την εξασφάλιση ασυναφούς (πχ. αρκετά χαμηλή συσχέτιση) εξασθένησης μεταξύ των κλάδων των κεραιών πχ. δεν αντιμετωπίζουν εξασθενίσεις όλες οι κεραιές συγχρόνως. Το τελευταίο επιτυγχάνεται με την εξασφάλιση ασυναφών παρεμβολών πχ. με τον συναφή συνδυασμό δύο κλάδων επιθυμητών σημάτων, έχουμε ως αποτέλεσμα μια αύξηση 6dB στην ισχύ, ενώ συνδυάζοντας δύο κλάδους ασυναφών αποτελεσμάτων παρεμβολών έχουμε ως αποτέλεσμα μια αύξηση 3dB στην ισχύ.

Γενικά, η τυποποιημένη μοντελοποίηση για ένα σταθμό βάσης WCDMA περιλαμβάνει μια δι-κλαδική diversity λήψη που πραγματοποιείται με μια κεραία single cross πόλωσης (diversity πόλωσης) ή δύο κάθετα πολωμένες κεραιές (χωρική diversity). Στο [P6], η αξιολόγηση απόδοσης του diversity γίνεται για σύστημα TDMA. Κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα προσομοιωμένα αποτελέσματα του [57] φαίνεται και στις δύο περιπτώσεις ότι το κέρδος από το diversity είναι του ίδιου επιπέδου.

Στην περίπτωση λήψης με τη χρήση diversity στο WCDMA, ο βέλτιστος αριθμός κλάδων λήψης εξαρτάται από το εκάστοτε ασύρματο περιβάλλον. Επιπλέον, τα αποτελέσματα σημάτων ευρείας ζώνης στο WCDMA, οδηγούν σε μια υψηλή καθυστέρηση ανάλυσης διάδοσης που επιτρέπει, ενδεχομένως, μεγάλα κέρδη από multipath diversity. Από άποψη κέρδους στο uplink, από τη χρήση diversity, το multipath diversity ασκεί μια σημαντική επίδραση στο κέρδος που μπορεί να επιτευχθεί από υψηλότερη τάξη diversity λήψης. Τα αποτελέσματα του [P6] είναι επιπλέον σχετικά στην περίπτωση του WCDMA, που ο αριθμός των κεραιών, που είναι ενεργές, στις περιοχές πρέπει να περιοριστεί. Με βάση τα αποτελέσματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι κεραιές χωρικού diversity (space diversity) μπορούν να αντικατασταθούν με κεραιές diversity πόλωσης και έτσι ο φυσικός αριθμός των κεραιών που λειτουργούν στις περιοχές να μειωθεί.

Κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του [P1] (περίπτωση ενός κυττάρου) και του [44] (περίπτωση πολλών κυττάρων), μπορεί να ληφθεί ως συμπέρασμα το ότι η λήψη με τη χρήση diversity βελτιώνει και το uplink fast fading margin και την απαίτηση E_b/N_0



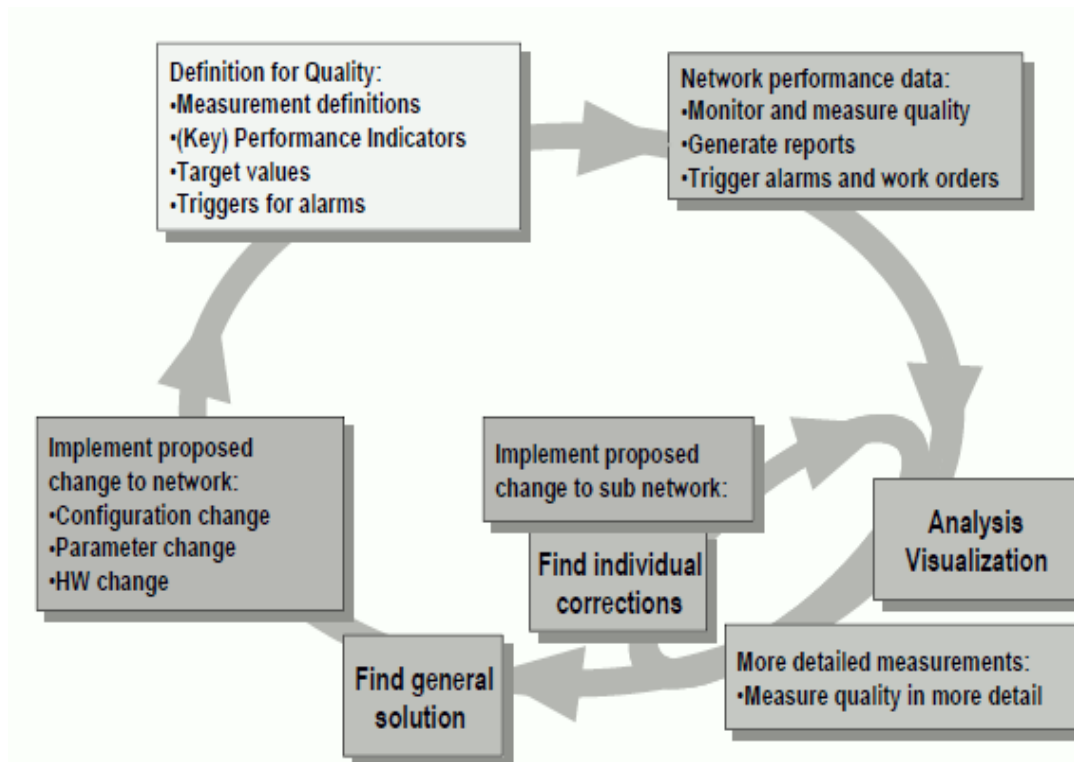
στο uplink. Η βελτίωση των αποτελεσμάτων απαίτησης E_b/N_0 , οδηγεί σε μία ταυτόχρονη βελτίωση της κάλυψης των υπηρεσιών και της χωρητικότητας στο uplink του συστήματος. Η απαίτηση E_b/N_0 εμφανίζεται και κατά τον προϋπολογισμό συνδέσεων (RLB), και κατά την εξίσωση φορτίων που σημαίνει ότι η κάλυψη στο uplink και η χωρητικότητα βελτιώνονται ταυτόχρονα.

2.4. Η Βελτιστοποίηση του WCDMA.

Το πεδίο αυτού του τμήματος είναι η εισαγωγή του ποιοτικού κύκλου δικτύου και της προσέγγισης συνάρτησης κόστους στη βελτιστοποίηση των μελλοντικών δικτύων. Στην παράγραφο 2.4.3 εισάγονται οι προηγμένοι μέθοδοι ανάλυσης που υποστηρίζουν τον ποιοτικό κύκλο.

2.4.1 Ο ποιοτικός κύκλος δικτύου.

Η εισαγωγή των κυψελοειδών συστημάτων τρίτης γενεάς θα προσφέρει πολυάριθμες δυνατότητες στους χειριστές. Ήδη η εισαγωγή του GPRS στα δίκτυα GSM αλλάζει το περιβάλλον λειτουργίας από circuit switched σε συνδυασμό υπηρεσιών πραγματικού και μη πραγματικού χρόνου. Οι 3G κατηγορίες κυκλοφορίας (συνομιλητική, διαδραστική, ροής, υποβάθρου), οι μηχανισμοί πρόβλεψης QoS και η πιθανότητα διαφοροποίησης των πελατών, μαζί με την κοινή διαχείριση και τον μοιρασμό της κυκλοφορίας μεταξύ 2G και 3G δικτύων παρέχουν ένα πεδίο γεμάτο προκλήσεις, από τη μια πλευρά για τους πωλητές και από την άλλη για τους προμηθευτές των υπηρεσιών και τους χειριστές των δικτύων. Για να είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν πλήρως τους πόρους του δικτύου και για να εστιάσουν στην πρόβλεψη υπηρεσιών παρά στην επίλυση προβλημάτων, απαιτούνται προηγμένες μέθοδοι ανάλυσης για τη διαδικασία βελτιστοποίησης. Η περιγραφή του υψηλού επιπέδου κύκλου βελτιστοποίησης απεικονίζεται στο σχήμα 2.10.



Σχήμα 2.10. Η διαδικασία βελτιστοποίησης με τον ποιοτικό κύκλο δικτύου [P8].

Η διαδικασία αρχίζει με τον ποιοτικό καθορισμό. Καθορίζεται ο γενικός, απ' άκρη σε άκρη, ποιοτικός στόχος και αποφασίζονται τα ποιοτικά κριτήρια για κάθε τύπο υπηρεσίας. Τότε καθορίζονται και τα κατώτατα όρια για κάθε εμπλεκόμενο βασικό δείκτη απόδοσης (Key Performance Indicator). Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως κατά τον ορισμό στόχων των KPI, ο χειριστής παρέχει τα εργαλεία για τη διαχείριση της χωρητικής-ποιοτικής εναλλαγής. Τα δεδομένα απόδοσης του δικτύου μπορούν να συγκεντρωθούν από τα συστήματα διαχείρισης του δικτύου (NMS), τις δοκιμές κυκλοφορίας, τους αναλυτές πρωτοκόλλων ή/και από τα παράπονα των πελατών. Τα εργαλεία αναφοράς του δικτύου παρέχουν στατιστικές και προ-αναλυμένες πληροφορίες για την ποιότητα.

Με βάση τη μοντελοποίηση και τη θέση του δικτύου, η ποιότητα αναλύεται λεπτομερώς και μεμονωμένες διορθώσεις γίνονται επαναληπτικά με την επίλυση των μεμονωμένων παραμέτρων που επηρεάζουν την αναφερόμενη ποιότητα. Ο συντονισμός των μεμονωμένων παραμέτρων ή του συνόλων των παραμέτρων πραγματοποιείται με έναν επαναληπτικό βρόχο μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα. Τέλος, επιπρόσθετα



με το συντονισμό των μεμονωμένων παραμέτρων πρέπει να βρεθεί η γενική λύση. Αφότου οι διορθώσεις έχουν εφαρμοστεί στο δίκτυο, ο ποιοτικός κύκλος ξεκινά από την αρχή.

Η επιλογή των δεδομένων για ανάλυση της απόδοσης αποτελείται από δύο πτυχές. Αρχικά τα δεδομένα επιλέγονται βάσει της περιοχής λειτουργίας (ή ένα υποσύνολο αυτής) όπως δυνατότητα πρόσβασης, αξιοπιστία, απόδοση και διανομή κυκλοφορίας, προς αναφορά μερικών παραδειγμάτων. Όλες αυτές οι περιοχές λειτουργίας στοχεύουν στο να προσφέρουν μια εικόνα της ποιότητας από τη σκοπιά του τελικού χρήστη. Ένα καλό πλαίσιο εργασίας, για τα παραπάνω, παρέχεται στο [62].

Η άλλη πτυχή είναι ο σκοπός της ανάλυσης. Για τη λήψη μιας γενικής αξιολόγησης της απόδοσης του δικτύου, η επιλογή των μετρητών και των άλλων δεικτών απόδοσης είναι διαφορετική από εκείνους που θα επιλέγονταν για τη βελτιστοποίηση ή για περιπτώσεις επίλυσης βλαβών. Η περίπτωση βελτιστοποίησης είναι περισσότερο εστιασμένη και κατά συνέπεια απαιτούνται δείκτες πιο συγκεκριμένοι στα προβλήματα. Επιπλέον, το uplink και το downlink συχνά αναλύονται χωριστά.

Μετά την εκτέλεση της βελτιστοποίησης και αφού οι αλλαγές εφαρμοστούν στο δίκτυο, είναι βασικό να ελεγχθεί η συνάρτηση του στόχου βελτιστοποίησης, αλλά εξίσου σημαντικό είναι το αποτέλεσμα της γενικής διανομής απόδοσης και η σύγκρισή του με την περίπτωση προ-βελτιστοποίησης. Αυτό γίνεται για την αποφυγή του φαινομένου, όπου η βελτιστοποίηση βελτιώνει ένα υποσύνολο μιας λειτουργικής περιοχής, αλλά μειώνει δραστικά την απόδοση σε κάποια από τα υπόλοιπα. Εάν αντιστρέψουμε την περίπτωση: γενικές πληροφορίες απόδοσης δίνουν μια ένδειξη ότι υπάρχει υποβιβασμένη λειτουργία σε μια λειτουργική περιοχή. Για βρεθεί η προέλευση του πραγματικού προβλήματος και να βρεθεί μια λύση για αυτό, είναι υποχρεωτικό να γίνει αλλαγή των γενικών δεδομένων από κάποια πιο συγκεκριμένα.

Τα ζητήματα που εισάγονται σε αυτό το τμήμα και στα [P7], [P8] και [P9] επικεντρώνονται στο μέρος της ανάλυσης και απεικόνισης του ποιοτικού κύκλου. Εξαιτίας του γεγονότος ότι στο μέλλον η λειτουργία των κυψελοειδών δικτύων θα είναι έντονα κατευθυνόμενη από τις υπηρεσίες, απαιτούνται προηγμένες μέθοδοι για την ανάλυση των δικτύων αυτών. Σε σύγκριση με την τρέχουσα κατάσταση πρόβλεψης φωνής και απλών best-effort υπηρεσιών δεδομένων, μόνο, η αλλαγή στα καθήκοντα των χειριστών είναι τεράστια.



Η αποτελεσματική ανάλυση της υπηρεσίας φωνής των 2G δικτύων, είναι αρκετά προκλητική, εξαιτίας του γεγονότος ότι το ποσό δεδομένων τα οποία παράγουν τα στοιχεία των δικτύων (συμπεριλαμβανομένου του ίδιου του κινητού σταθμού) είναι πολύ υψηλό. Στόχος των χειριστών είναι να φιλτράρουν τις σχετικές πληροφορίες σε ένα επίπεδο που να μπορούν να διαχειριστούν εύκολα. Επιπλέον, τα δεδομένα πρέπει να περιλαμβάνουν όλα τα βασικά μέρη που χρειάζονται για την λήψη μιας απόφασης για την ποιότητα των υπηρεσιών. Ολόκληρη η διαδικασία από την εγκατάσταση έως την απελευθέρωση της κλήσης, πρέπει να συμπεριληφθεί. Η απόδοση του handover και του power control έχει επίσης επίδραση στην ποιότητα που λαμβάνουν οι τελικοί χρήστες και έτσι τα στοιχεία που είναι σχετικά με αυτά (handover, power control) πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση των φωνητικών υπηρεσιών.

Είναι εύκολο να φανταστεί κανείς πως το ποσό των δεδομένων αυξάνεται υπερβολικά όταν χρησιμοποιηθούν οι δυνατότητες που προσφέρουν τα 3G συστήματα. Οι χειριστές ήδη μπορούν να ωφεληθούν από τις νωτιαίες μεθόδους που εισάγονται. Το πλήρες κέρδος και οι δυνατότητες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν παρέχονται πολλαπλές υπηρεσίες τελικών χρηστών και η ποιότητα που γίνεται αντιληπτή από τους πελάτες πρέπει να ελεγχθεί και να βελτιστοποιηθεί.

2.4.2 Εναλλαγή χωρητικότητας - ποιότητας και η συνάρτηση κόστους

Ο ρόλος της βελτιστοποίησης είναι να παρέχει αυτοματοποιημένα ή χειροκίνητα μέσα για τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου. Επιπλέον, στόχος της βελτιστοποίησης είναι να κατανοεί και μεταφράζει τη σχέση μεταξύ της μετρούμενης απόδοσης του δικτύου και των καθορισμένων στόχων QoS. Ο καθορισμός της απόδοσης στην περίπτωση του 3G αλλάζει. Θα είναι διαχείριση εναλλαγής χωρητικότητας-ποιότητας παρά παραδοσιακή βελτίωση απόδοσης. Περισσότερα για το ζήτημα στο [64].

Με το στατιστικό βρόγχο και την προσέγγιση συνάρτησης κόστους (CF) είναι δυνατή η προσφορά αυτόματης εναλλαγής μεταξύ κάλυψης και χωρητικότητας βασισμένη στη διαχείριση του δικτύου. Με αυτή την έννοια, ο χειριστής πρέπει μόνο να θέσει τους στόχους ποιότητας και χωρητικότητας και τα σχετικά κόστη που ρυθμίζουν την εναλλαγή ποιότητας-χωρητικότητας. Μια νέα πτυχή σε αυτήν την περιοχή είναι το γεγονός ότι ο



στόχος της αυτορύθμισης δεν είναι η καλύτερη ποιότητα όπως παραδοσιακά ορίζεται. Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να είναι αυτή η ελαφρώς υποβιβασμένη ποιότητα και η δυνατότητα προσφοράς περισσότερης κυκλοφορίας που είναι ευεργετικότερες για την επιχειρησιακή περίπτωση των χειριστών από την προσανατολισμένη προς την ποιότητα βελτιστοποίηση. Ένας στόχος υψηλού επιπέδου είναι επίσης απαραίτητος για να ολοκληρώσει την αυτοματοποίηση του WCDMA με άλλα συστήματα όπως το EDGE και το WLAN.

Το σύνθετο περιβάλλον λειτουργίας και η εναλλαγή ποιότητας-χωρητικότητας σε επίπεδο διαχείρισης υπηρεσίας, έθεσε συγκεκριμένες απαιτήσεις για το σύστημα στα χαρακτηριστικά παροχής autotuning. Το σχήμα 2.1 εισήγαγε την ιεραρχική λύση με ένα στατιστικό αναδραστικό βρόχο που βελτιστοποιεί την απόδοση των δύο γρήγορων βρόχων του RRM. Το κύριο πεδίο αυτού του τμήματος είναι η παρουσίαση ενός σεναρίου και των εργαλείων που θα βοηθήσουν την βελτιστοποίηση στο ανώτατο στρώμα.

Για ένα χειριστή είναι βασικό να χρησιμοποιεί όλους τους διαθέσιμους πόρους για να βελτιώσει τη χωρητικότητα και το QoS του ασύρματου δικτύου και γι' αυτό απαιτείται μια συνολική συνάρτηση ελέγχου. Αυτή η συνάρτηση παρέχει συγκεντρωτικό ποιοτικό έλεγχο, ο οποίος ελέγχει τη βελτιστοποίηση και τα υποσυστήματα της αυτοματοποίησης. Επιπλέον, απαιτείται ένας μηχανισμός για την ελαχιστοποίηση της συνάρτησης κόστους για βέλτιστη χωρητικότητα, απόδοση και εισόδημα του χειριστή. Μόλις η συνάρτηση κόστους ελαχιστοποιηθεί, ο στόχος του συστήματος διαχείρισης του δικτύου είναι η πρόβλεψη των βέλτιστων παραμέτρων μοντελοποίησης στο επίπεδο δικτύου. Για να εγγυηθεί τη βέλτιστη απόδοση ενός κυψελοειδούς δικτύου, ο χειριστής οφείλει να έχει ευέλικτα μέσα που θέτουν τους στόχους για το QoS με βάση το σύστημα των **KPIs** ή και μια συνάρτηση κόστους που προέρχεται από αυτούς. Σε multi-radio περιβάλλοντα (GSM-WCDMA, WLAN), είναι σημαντικό να υπάρχει η δυνατότητα της συγκέντρωσης των πόρων του δικτύου για τη βελτιστοποίηση της χωρητικότητας και της ποιότητας (συμπεριλαμβανομένων των πτυχών της κάλυψης). Αυτό επίσης απαιτεί μια συνολική λειτουργία ελέγχου στο υψηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας.

Αυτήν την περίοδο οι κατασκευαστές προτείνουν προκαθορισμένες τιμές για όλες τις παραμέτρους. Αυτές δεν είναι οι βέλτιστες για όλες τις συνθήκες. Ο στόχος του χειριστή είναι να βελτιστοποιήσει τη συστάδα των κυττάρων του δικτύου, ανά συστάδα κυττάρου.



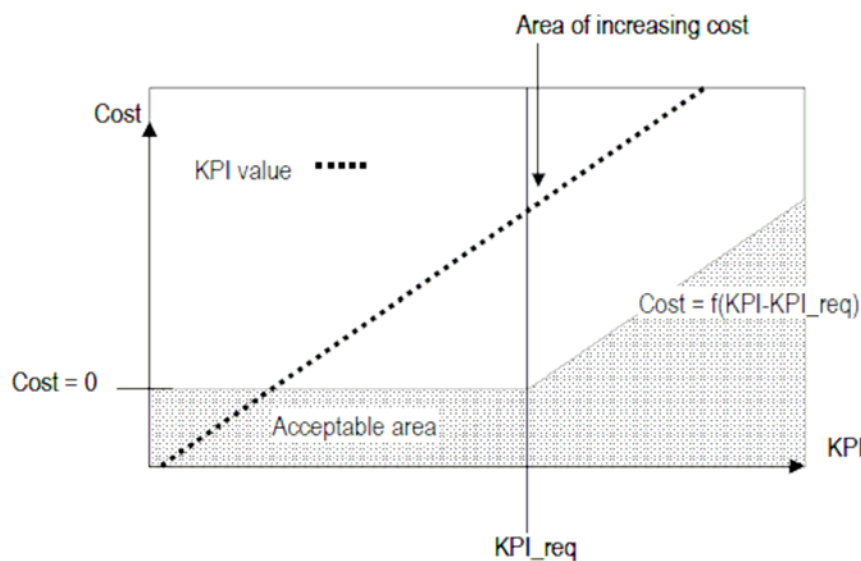
Για παράδειγμα στην αρχή της λειτουργίας του δικτύου ο έλεγχος αποδοχής και handover μπορούσε να λειτουργήσει με πολύ «χαλαρά» όρια, αναγνωρίζοντας όλους τους χρήστες στο δίκτυο. Βάσει της τρέχουσας κατάστασης QoS (**KPIs** στο σύστημα διαχείρισης του δικτύου (NMS)) και με τη χρήση των καθορισμένων στόχων για QoS, οι σχετικές παράμετροι μπορούν να αυτο-ρυθμιστούν. Μετά την αλλαγή των παραμέτρων η νέα κατάσταση συγκρίνεται με τα ιστορικά στοιχεία των **KPI** και οι «δοκιμαστικοί» παράμετροι γίνονται αποδεκτοί εάν η αλλαγή της απόδοσης του QoS (ή το CF των απαιτήσεων για QoS) έχει βελτιωθεί.

Για την μαθηματική διατύπωση κατά την εύρεση ενός τέτοιου συνδυασμού παραμέτρων μοντελοποίησης των ασύρματων διεπαφών που βασίζονται στο πότε οι **KPIs** βρίσκονται κοντά στην επιθυμητή περιοχή, δείτε το [64]. Αρχικά ο χειριστής θέτει τις απαιτήσεις χωρητικότητας για ορισμένης χωρητικότητας **KPIs** που αναφέρονται ως **KPI_C**. Οι απαιτήσεις έχουν «req» μέσα το subindex. Αντίστοιχα ο χειριστής θέτει τις ποιοτικές απαιτήσεις για ορισμένο **KPI_Qs**. Οι δαπάνες ποιότητας και ικανότητας μπορούν να υπολογιστούν με την εξίσωση (2.18):

$$\begin{aligned} \text{QualityCost} &= \sum_{\text{cells} \in \text{CLUSTER}} \sum_i \alpha_i * f(\text{KPI_}Q_i - \text{KPI_}Q_{i,\text{req}}) \\ \text{CapacityCost} &= \sum_{\text{cells} \in \text{CLUSTER}} \sum_i \beta_i * f(\text{KPI_}C_i - \text{KPI_}C_{i,\text{req}}) \end{aligned} \quad (2.18)$$

Το σχήμα 2.11 παρουσιάζει ένα παράδειγμα μιας **KPI** συνάρτησης κόστους, f . Σε αυτό το παράδειγμα το κόστος **KPI** τιμάται υψηλότερα από ότι το **KPI_req** αυξάνεται γραμμικά. Οι συναρτήσεις κόστους μπορούν επίσης να πάρουν άλλες μορφές.

Η ελαχιστοποίηση της συνάρτησης συνολικού κόστους παρουσιάζεται στο (2.19). Η εναλλαγή χωρητικότητας και ποιότητας μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας την παράμετρο W . Η ελαχιστοποίηση γίνεται με τη ρύθμιση των παραμέτρων μοντελοποίησης, δείτε την εξίσωση (2.20). Οι τιμές των **KPI** εξαρτώνται επίσης από την διανομή των υπηρεσιών, π.χ. επιτυγχάνονται διαφορετικά κόστη και τιμές παραμέτρων ανάλογα με διανομή των υπηρεσιών.

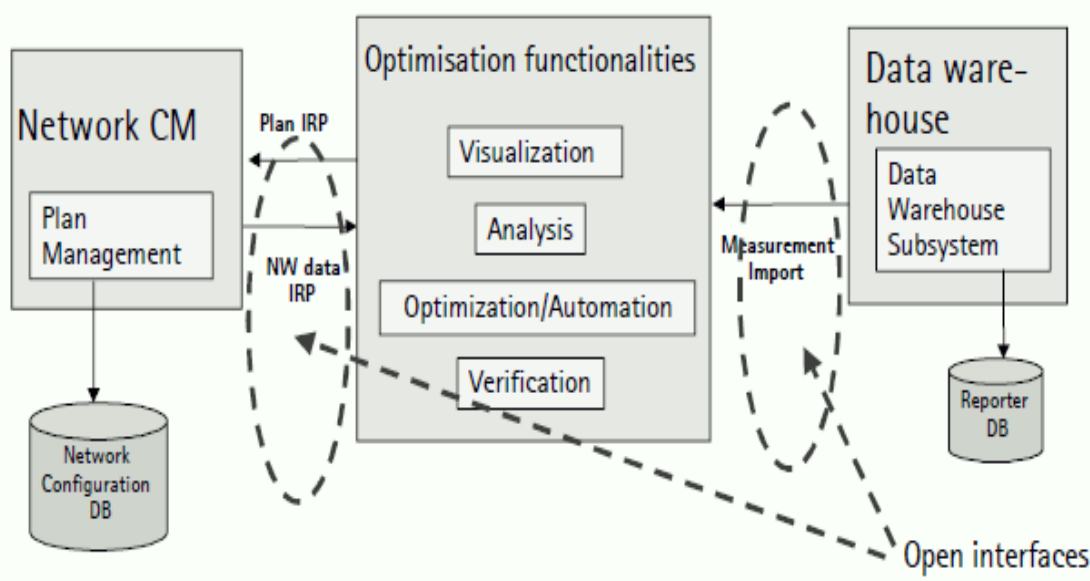


Σχήμα 2.11. Παράδειγμα μιας συνάρτησης κόστους KPI.

$$\begin{aligned} KPI_C_i &= f(\text{Configuration parameters}, \text{Service Distribution}) \\ KPI_Q_i &= f(\text{Configuration parameters}, \text{Service Distribution}) \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\text{Total COST} = W * \text{QualityCost} + (1 - W) * \text{CapacityCost} \quad (2.20)$$

Αυτός ο βρόχος βελτιστοποίησης NMS, πρέπει να αλληλεπιδράσει στη μοντελοποίηση του δικτύου και στα μετρητικά στοιχεία όπως φαίνεται στο σχήμα 2.12. Η αποθήκη δεδομένων αντιπροσωπεύει τη διεπαφή σε οποιαδήποτε μέτρηση εκτελείται στο δίκτυο σε οποιοδήποτε στοιχείο του δικτύου. Το Configuration Management (CM) αντιπροσωπεύει τη βάση δεδομένων στην οποία συλλέγονται όλες οι παράμετροι μοντελοποίησης που ελέγχουν το δίκτυο.



Σχήμα 2.12. Οι διεπαφές που απαιτούνται στην ευρεία βελτιστοποίηση του δικτύου (ή της αυτοματοποίησης) βάσει των στατιστικών του δικτύου. Το CM σημαίνει Configuration Management.

2.4.3. Παράδειγμα αποτελέσματος ανάλυσης SOM [P8].

Σε αυτό το τμήμα παρουσιάζεται η χρήση των προηγμένων νωτιαίων μεθόδων στην ανάλυση του κυψελοειδούς δικτύου WCDMA. Το κίνητρο για την εισαγωγή νωτιαίας ανάλυσης στα δεδομένα απόδοσης του δικτύου είναι η παροχή αποτελεσματικών μέσων για το χειρισμό πολλαπλών **KPIs** ταυτόχρονα. Επιπλέον, αποτελεσματικές μέθοδοι ανάλυσης μειώνουν την προσπάθεια για την επίλυση βλαβών από τους χειριστές, επιταχύνουν τον κύκλο και έτσι αυξάνουν το ποσοστό χρήσης του δικτύου.

Στις παραγράφους 2.4.3 και 2.4.4 μελετάται μια περίπτωση ενός microcellular παραδείγματος. Ο λόγος για αυτή την επιλογή είναι οι πιο ενδιαφέρουσες συνθήκες διάδοσης απ' ό,τι στη macrocellular περίπτωση (που παρουσιάζεται επίσης στο [P8]) και επιπλέον, η περίπτωση που αποτελείται από δεδομένα uplink και downlink είναι πιο δύσκολη στην ανάλυση με παραδοσιακά μέσα. Είναι σχετικό να εκτελείται αυτός ο τύπος συνδυαστικής ανάλυσης όταν γίνεται γενική ανάλυση της απόδοσης του δικτύου. Όταν η περίπτωση είναι πιο σχετική με την επίλυση προβλημάτων, δεν πρέπει πάντα να



συνδυάζονται οι μετρήσεις από τα uplink και downlink . Για πιο πολλές λεπτομέρειες και περιπτώσεις δείτε στο [P8].

Ο Self-Organizing χάρτης (SOM) είναι ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος νωτιαίος αλγόριθμος δικτύων [65]. Χαρτογραφεί πολυσύνθετα high-dimensional δεδομένα σε ένα low-dimensional, συνήθως σε two-dimensional, πλέγμα ή προβολή. Ο SOM έχει διάφορα ευεργετικά χαρακτηριστικά τα οποία συνθέτουν ένα χρήσιμο εργαλείο στην ανάσυρση και εξερεύνηση δεδομένων. Ο SOM ακολουθεί τη συνάρτηση πιθανότητας πυκνότητας των δεδομένων και είναι έτσι ένας αποδοτικός αλγόριθμος για ομαδοποίηση και κβαντοποίηση. Εντούτοις, το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του SOM στην ανάσυρση δεδομένων είναι η ιδιότητα απεικόνισης. Η ιδιότητα διατήρησης τοπολογίας της χαρτογράφησης του SOM οδηγεί σε μια προβολή η οποία εγγενώς απεικονίζει τις συστάδες στα δεδομένα. Οι βασισμένες στο SOM μέθοδοι έχουν εφαρμοστεί στην ανάλυση των δεδομένων εξέλιξης, π.χ, στην χαλυβουργία και τη δασική βιομηχανία [66] - [69].

Η μέθοδος που περιγράφεται στο [P8] έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση του uplink και του downlink σε microcellular και macrocellular σενάρια δικτύων. Η μέθοδος που παρουσιάζεται αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα [P8]:

- Επιλογή στόχων,
- Προεπεξεργασία στοιχείων,
- Ανάλυση συστάδων,
- Ερμηνεία αποτελέσματος, για περισσότερες λεπτομέρειες.

Τα διανύσματα δεδομένων (data clusters) όλων των κυττάρων ομαδοποιούνται χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο συγκέντρωσης δύο φάσεων. Πρώτα σχηματίζεται ο SOM χρησιμοποιώντας τα διανύσματα δεδομένων. Έπειτα, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος συγκέντρωσης για τα διανύσματα βιβλίου κωδικών του SOM έτσι ώστε να μπορούν να καθοριστούν οι ακριβείς συστάδες. Όταν διαμορφώνονται οι συστάδες δεδομένων των κυττάρων, ο δυναμικός προσομοιωτής παρέχει τα δεδομένα εισόδου για το SOM. Στην εργασία της Jaana Laiho οι συστάδες δεδομένων αναλύονται περαιτέρω από αυτόματα παραγόμενους κανόνες προκειμένου να βρεθεί η πιο ποιοτική περιγραφή για τα κύτταρα μέσα σε μια συστάδα. Παράδειγμα παρουσίασης αυτού του τύπου δεδομένων φαίνεται στο σχήμα 2.13.



Προκειμένου να αναλυθεί η ακολουθία των δειγμάτων δεδομένων αντί ενός ενιαίου σημείου δεδομένων, υπολογίζεται ένας χάρτης-ιστόγραμμα. Το ιστόγραμμα αποτελείται από αναλογίες των δειγμάτων δεδομένων που εμπίπτουν σε κάθε μιά από τις συστάδες δεδομένων. Αυτά τα ιστογράμματα περιγράφουν τη μακροπρόθεσμη συμπεριφορά των ακολουθιών των δεδομένων και χρησιμοποιούνται στην ταξινόμηση των κυττάρων. Ένας νέος SOM παράγεται χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες του ιστογράμματος σαν σέτ κατάρτισης. Με τη χρήση αλγορίθμου συγκέντρωσης, μπορούν να παραχθούν ακριβείς συμπεριφοριστικές συστάδες. Παράδειγμα αυτού βρίσκεται στο σχήμα 2.14.

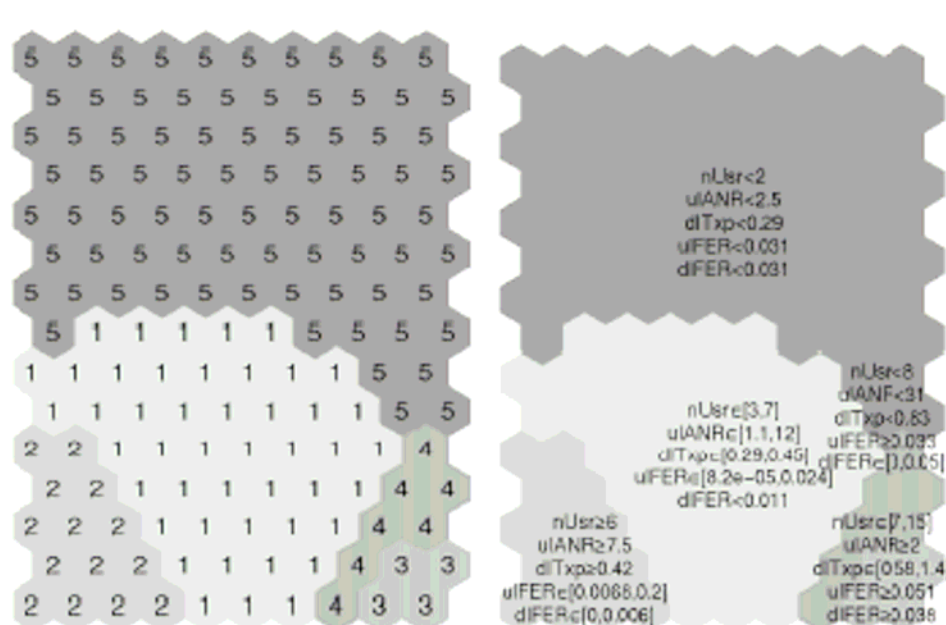
Σε αυτό το τμήμα παρουσιάζεται ένα υποσύνολο των microcellular αποτελεσμάτων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται εδώ έχουν παραχθεί χρησιμοποιώντας έναν προσομοιωτή ασύρματου δικτύου WCDMA [54]. Λόγω της έλλειψης δεδομένων μετρήσεων από ενεργό δίκτυο, στις περιπτώσεις προηγμένης ανάλυσης χρησιμοποιούνται δεδομένα εξομοιώσεων. Στην περίπτωση πραγματικών δεδομένων, θα υπήρχε η δυνατότητα να αναλυθούν ταυτόχρονα περισσότερα **KPIs**. Οι χρήστες στο δίκτυο χρησιμοποίησαν μια υπηρεσία των 64kbps και ο έλεγχος αποδοχής (admission control) παραμετροποιήθηκε έτσι ώστε το επίπεδο παρεμβολών του uplink να μην περιορίζει την απόφαση αποδοχής. Το σενάριο αποτελείται από 46 microcells. Σε αυτό το σενάριο χρησιμοποιήθηκε το multipath προφίλ καναλιών «ITU Outdoor to indoor A channel». Στο δοκιμαστικό σενάριο χρησιμοποιήθηκε η περιοχή του Ελσίνκι. Η απώλεια διάδοσης υπολογίστηκε με ανίχνευση ακτίνων, και μια πρόσθετη εσωτερική απώλεια 12dB εφαρμόστηκε στις περιοχές μέσα σε κτίρια. Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις παραμέτρους προσομοίωσης και το σενάριο δικτύου δείτε το [P8].

Για την ανάλυση του συνδυασμού uplink και downlink στο microcellular σενάριο, έχουν επιλεγεί πέντε μεταβλητές (**KPIs** σε αυτήν την περίπτωση) που είναι: ο αριθμός χρηστών (nU_{sr}), η μέση αύξηση του θορύβου του uplink σε σχέση με το βασικό επίπεδο θορύβου (ulANR), το ποσοστό λανθασμένων πακέτων στο uplink (ulFER), η μέση ισχύς εκπομπής στο downlink (dlTxp) και το ποσοστό λανθασμένων πακέτων στο downlink (dlFER). Οι τιμές του ποσοστού των λανθασμένων πακέτων προ-επεξεργάζονται χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση tanh για είναι δυνατή η παρατήρηση των αλλαγών και σε



χαμηλότερα επίπεδα ποσοστών λάθους. Επίσης, όλες οι παράμετροι είναι ομαλοποιημένες στο μηδέν και στην απόκλιση μονάδων.

Το σχήμα 2.13 παρουσιάζει τον ομαδοποιημένο SOM. Τα δείγματα δεδομένων διαιρούνται σε 5 συστάδες δεδομένων, από τις οποίες η συστάδα #3 στη κάτω δεξιά γωνία αντιπροσωπεύει τα δείγματα δεδομένων με υψηλό **dIFER** (ποιοτικά προβλήματα στο downlink) και η συστάδα δειγμάτων δεδομένων #4 με αποδεκτό **dIFER** αλλά υψηλό **uIFER** (ποιοτικά προβλήματα στο uplink).



Σχήμα 2.13. Ομαδοποιημένος SOM για περιπτώσεις συνδυασμένων uplink και downlink και οι κανόνες για τις συστάδες στο microcellular σενάριο [P8]. Συστάδα δεδομένων(Data cluster). Οι αποχρώσεις στην εικόνα έχουν ως σκοπό να παρουσιάσουν τους τομείς των συστάδων.

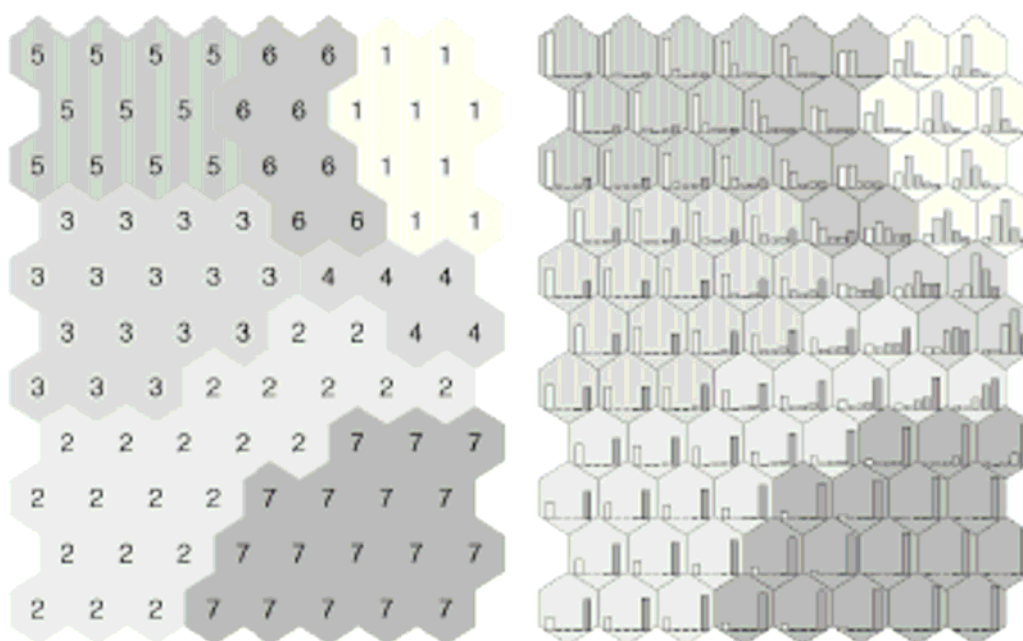
Στο σχήμα 2.14 παρουσιάζεται ο αντίστοιχος χάρτης ιστογράμματος και οι συμπεριφοριστικές συστάδες για τα συνδυασμένα uplink και downlink δεδομένα στο microcellular σενάριο. Οι ράβδοι στα ιστογράμματα δείχνουν το ποσό των δειγμάτων στις συστάδες δεδομένων του σχήματος 2.13. Η πρώτη ράβδος στο ιστόγραμμα χαρακτηρίζεται από τους κανόνες της συστάδας δεδομένων #1 στο σχήμα 2.13.

Το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων που εμπίπτουν στις συστάδες δεδομένων #3 και #4 στο σχήμα 2.13 βρίσκονται στη συμπεριφοριστική συστάδα #4 του χάρτη



ιστογράμματος, σχήμα 2.14. Αυτό μπορεί να βρεθεί αναζητώντας τους κόμβους του χάρτη (δηλαδή τα εξάγωνα) στους οποίους η 3η και 4η ράβδος είναι οι υψηλότερες. Επίσης, δύο κόμβοι του χάρτη στη συμπεριφοριστική συστάδα #1, δείχνουν υψηλό ποσό δειγμάτων στη συστάδα #3 (στην τρίτη ράβδο στο ιστόγραμμα), δηλαδή δείγματα με υψηλότερη τιμή **dIFER** στο σχήμα 2.13. Άλλα χαρακτηριστικά για τη συστάδα δεδομένων #3 μπορούν να βρεθούν στην κάτω δεξιά γωνία του σχήματος 2.13.

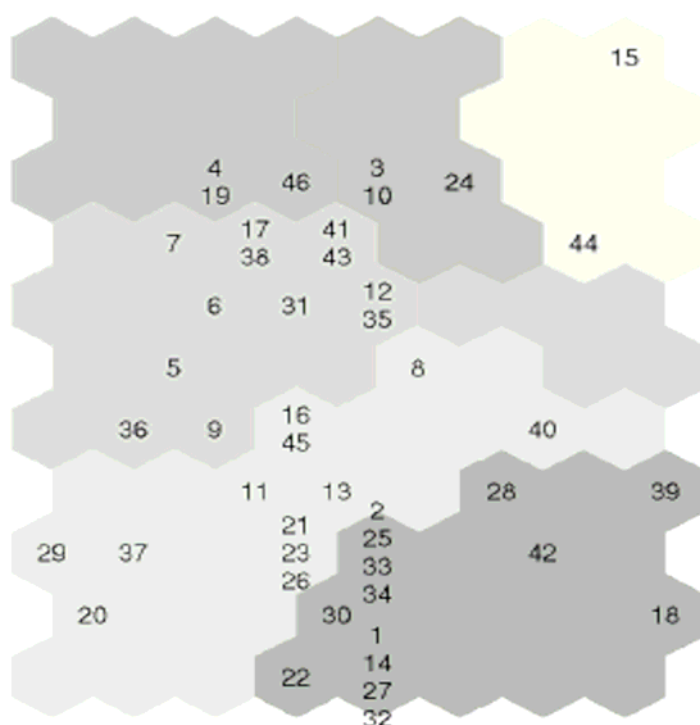
Στη συνδυασμένη περίπτωση uplink-downlink οι κυρίαρχες συμπεριφοριστικές συστάδες είναι οι 2, 3 και 7. Χαρακτηριστικός, για αυτές τις συστάδες, είναι ο αριθμός χρηστών που κυμαίνεται από χαμηλός ως μέσος, ο υψηλός συσχετισμός του αριθμού των χρηστών και των χρησιμοποιούμενων πόρων (καλή αντιμετώπιση εξωτερικών παρεμβολών) και η καλή απόδοση του **FER**. Κάθε ένα από τα κύτταρα σε αυτήν την περιοχή είναι ικανό εξυπηρετεί χρήστες με υψηλή πιθανότητα και καλή ποιότητα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.13 αυτά τα κύτταρα ορίζουν τους κανόνες για τις συστάδες δεδομένων #1 και #5 στο σχήμα 2.14. Οι γεωγραφικές θέσεις των ομαδοποιημένων κυττάρων απεικονίζονται στο σχήμα 2.16.



Σχήμα 2.14. Χάρτης ιστογραμμάτων για τις uplink και downlink συνδέσεις του microcellular σεναρίου [P8]. Συμπεριφοριστική συστάδα (*Behavioural cluster*).

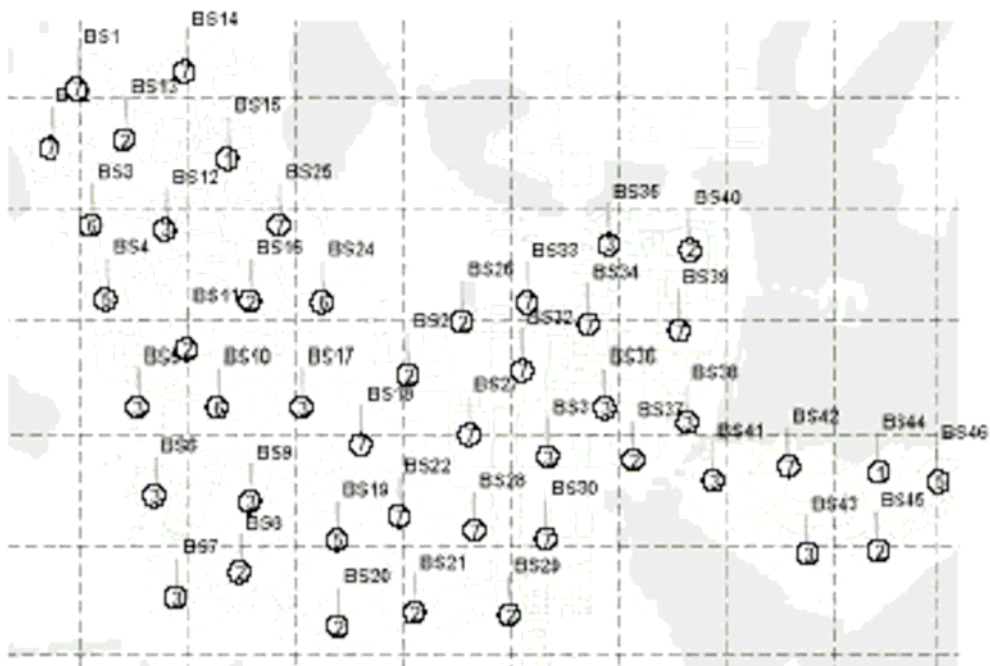


Το σχήμα 2.15 παρουσιάζει πώς τα δείγματα δεδομένων από κάθε κινητό κύτταρο έχουν διανεμηθεί στις συστάδες που παρουσιάζονται στο σχήμα 2.14. Το κινητό κύτταρο #44 βρίσκεται σε μια συμπεριφοριστική συστάδα #1 κοντά στη συστάδα #4 με μεγάλη αναλογία στοιχείων δεδομένων στη συστάδα #3, δείχνοντας πολύ υψηλές τιμές στο **dIFER**, δηλαδή προβλήματα απόδοσης.



Σχήμα 2.15. Ομαδοποίηση κινητών κυττάρων [P8].

Όταν στη διαδικασία συγκέντρωσης λαμβάνονται υπόψιν οι πληροφορίες από το downlink, φαίνεται ότι η γεωγραφική περιοχή που καλύπτεται από τα κύτταρα στις συμπεριφοριστικές συστάδες 2, 3, και 7 είναι παρόμοια με την περιοχή που καλύπτεται από τις συστάδες 1, 2 και 6 στην περίπτωση ανάλυσης του uplink στο [P8]. Αυτό δείχνει ότι η προσθήκη των πληροφοριών του downlink στην ανάλυση δεν έφερε νέα, σημαντικά συμπεράσματα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η υπηρεσία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή των δεδομένων εισόδου ήταν συμμετρική ως προς τα uplink και downlink. Επιπλέον, η απόδοση στο microcellular δίκτυο είναι καλά ισοροπημένη μεταξύ των συνδέσεων. Εάν οι υπηρεσίες είναι ασύμμετρες, τα αποτελέσματα ομαδοποίησης για τις περιπτώσεις uplink και συνδυασμού uplink και downlink είναι διαφορετικά.



Σχήμα 2.16. Οι θέσεις των ταξινομημένων κυττάρων [P8].

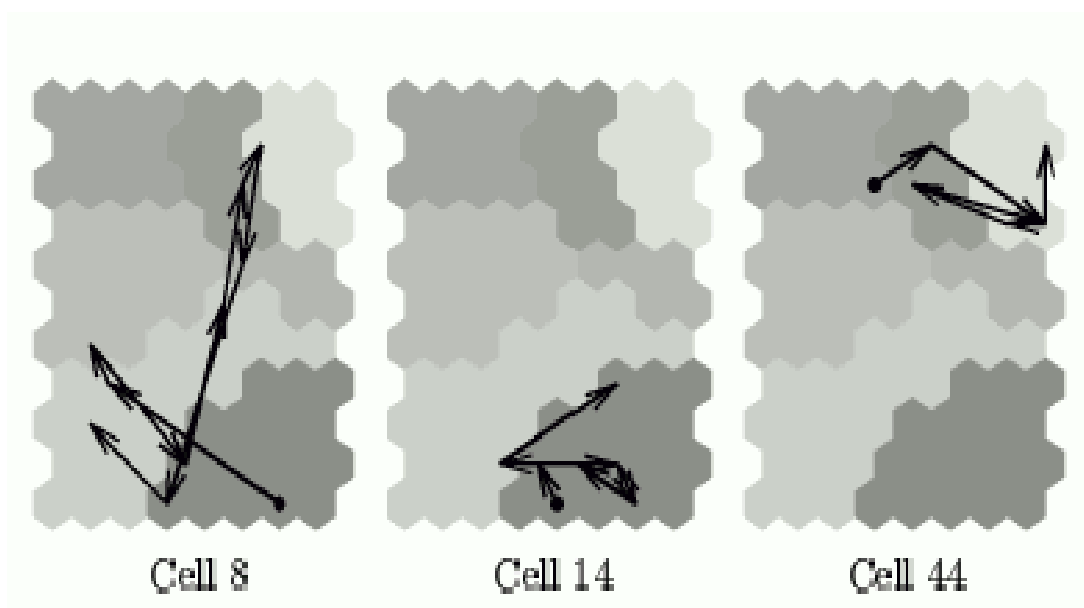
Προκειμένου να αναλυθεί περαιτέρω η συμπεριφορά μερικών κινητών κυττάρων στο microcellular σενάριο και στο uplink και στο downlink, η συμπεριφορά ως συνάρτηση του χρόνου, δηλαδή οι τροχιές, των κυττάρων μπορούν να αποκτηθούν.

Το σχήμα 2.17 παρουσιάζει τις τροχιές για τα κύτταρα 8, 14 και 44. Το κύτταρο 8 λειτουργεί αρχικά στη συμπεριφοριστική συστάδα #7, στο χάρτη ιστογράμματος, με σχεδόν όλα τα δείγματα στη συστάδα δεδομένων #5. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.13 η συστάδα δεδομένων #5 αντιπροσωπεύει τα δείγματα δεδομένων με πολύ μικρό ποσοστό χρηστών. Κατόπιν, το κύτταρο 8 «επισκέπτεται» την περιοχή στην οποία τα δείγματα δεδομένων διανέμονται σχεδόν ομοιόμορφα στις συστάδες δεδομένων #1 και #5. Αυτό εξηγείται από μια μικρή αύξηση στον αριθμό των χρηστών. Το κύτταρο 8 επίσης «επισκέπτεται» σύντομα τη συμπεριφοριστική συστάδα #1 στο ανώτερο μέρος του χάρτη ιστογραμμάτων, η οποία δείχνει μια κορυφή στον αριθμό δειγμάτων με υψηλό $uI\Delta NR$. Το κύτταρο 14 λειτουργεί στη συμπεριφοριστική συστάδα #7 με πολύ χαμηλό φόρτο καθ' όλη τη σύνοδο ανάλυσης, δεδομένου ότι σχεδόν όλα τα δείγματα δεδομένων βρίσκονται στη συστάδα δεδομένων #5. Στο σχήμα 2.17 συμπεριλαμβάνεται επίσης η απόδοση downlink συνδέσεων στην τάση ανάλυσης. Ένας μικρός αριθμός χρηστών είναι ένας ισχυρός χαρακτήρας αυτού του κυττάρου. Το κύτταρο 44 λειτουργεί πολύ κοντά στην



προβληματική περιοχή, δηλαδή στην συμπεριφοριστική συστάδα #4 και στο χαμηλότερο μέρος της συστάδας #1 στο χάρτη ιστογραμμάτων. Σε αυτές τις συστάδες, το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων διανέμεται στη συστάδα δεδομένων #3 με υψηλότερο **dIFER**.

Η δύναμη του SOM γίνεται εμφανής μόλις μάθει ο χρήστης την έννοια και το περιεχόμενο των συμπεριφοριστικών συστάδων. Είναι εύκολο να διακριθούν οι καλής και κακής απόδοσης συστάδες στο SOM και να εστιάσει στα κύτταρα, στην κακής απόδοσης περιοχή. Παραδείγματος χάριν στο σχήμα 2.14 η περιοχή της συστάδας #4 και η χαμηλότερη άκρη της συστάδας #1 είναι τομείς απαράδεκτης απόδοσης. Όλα τα κύτταρα σε αυτές τις περιοχές απόδοσης είναι στόχοι βελτιστοποίησης. Στο σχήμα 2.17 το κύτταρο 44 κάνει μια «επίσκεψη» στην περιοχή κακής απόδοσης. Εάν αυτό είναι σοβαρό, είναι για το χειριστή να το αποφασίσει. Επιπλέον είναι δυνατό να καθοριστούν προσωπικά σέτ από μετρήσεις απόδοσης και να χρησιμοποιηθούν αυτά στη δημιουργία του SOM. Κατά συνέπεια η συμπεριφοριστική ομαδοποίηση είναι πιά προσαρμοσμένη και ταιριάζει καλύτερα στους επιθυμητούς στόχους απόδοσης απ' ό τι στην περίπτωση που παρουσιάζεται εδώ.



Σχήμα 2.17. Οι τροχιές των κυττάρων [P8].



2.4.4. Η δυνατότητα εφαρμογής των προηγμένων μεθόδων στη βελτιστοποίηση.

2.4.4.1. Εισαγωγή.

Το πεδίο αυτού του τμήματος είναι να παρουσιάσει, πως τα αποτελέσματα της ανάλυσης απόδοσης που επιτυγχάνονται με τον SOM μπορούν να εξηγηθούν με το συνδυασμό παραδοσιακών μέσων ανάλυσης και γνώσεων των ειδικών. Σε αυτό το τμήμα εξετάζεται μόνο μια περίπτωση, δηλαδή η *microcellular*. Για περισσότερες περιπτώσεις και λεπτομέρειες δείτε επίσης το [P8]. Επίσης, στο [P9] παρουσιάζονται παραδείγματα πραγματικών εφαρμογών για το πώς να αξιοποιηθεί ο SOM με τα δεδομένα απόδοσης του δικτύου. Αυτό το τμήμα παρέχει μερικώς ένα παράδειγμα της αξιοπιστίας του αποτελέσματος ανάλυσης του SOM.

Στην αναλυτική προσέγγιση, τα ανώτερα όρια για την απόδοση του δικτύου έχουν βρεθεί χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις της παραγράφου 2.3.1.

2.4.4.2. Παραδοσιακή ανάλυση για τη *microcellular* περίπτωση.

Η δύναμη της βασισμένης στο SOM ανάλυσης, είναι η δυνατότητά της να συνδυάζει πολλαπλές μετρήσεις και να παρέχει το αποτέλεσμα σε ένα απλό σχήμα, παρόλο που ο όγκος δεδομένων εισαγωγής είναι πολυσύνθετος. Το κίνητρο αυτού του τμήματος είναι η εκτέλεση αναλυτικής ανάλυσης στα αποτελέσματα προσομοίωσης που χρησιμοποιούν τις εξισώσεις που παρουσιάζονται στην παράγραφο 2.3.1., και η προσέγγιση κόστους λειτουργίας.

Η συνάρτηση κόστους, σε αυτό το πλαίσιο, είναι μια γραμμική συνάρτηση που συνδυάζει διαφορετικές μετρήσεις απόδοσης για να ταξινομεί τα κύτταρα με παραδοσιακά μέσα. Οι συγκεκριμένες για κάθε κύτταρο, μετρήσεις που χρησιμοποιούνται στην παραδοσιακή ανάλυση είναι:

- Η συνολική ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης που χρησιμοποιείται για τα κανάλια κυκλοφορίας,
- Ο αριθμός χρηστών,



- Τη συνολική ρυθμοαπόδοση (uplink και downlink throughput),
- Η φόρτωση,
- Ο λόγος παρεμβολών μεταξύ των κυττάρων, i

Ο δείκτης απόδοσης i , χρησιμοποιείται στην ανάλυση για πρόσθετη πληροφόρηση για να βελτιώσει την κατανόηση και για να παρέχει καλύτερες ενδείξεις στην περίπτωση της SOM ανάλυσης. Στο ενεργό δίκτυο δεν είναι δυνατό να εξαχθεί αυτή η μέτρηση.

Δύο τιμές αναφοράς για την απόδοση του κυττάρου μπορούν να υπολογιστούν βάσει της εισαγωγής των δεδομένων, δηλαδή η φόρτωση που προκαλείται από ένα χρήστη και ο αριθμός των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετήσει ένα κύτταρο. Η τιμή E_b/N_0 του uplink που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη ήταν 3.5 και 4 dB για τα micro και macrocells αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων η φόρτωση τέθηκε στο 0.95. Η τιμή του i για την πανκατευθυντική (omnidirectional) περίπτωση είναι 55%. Στα [P5] και [39] παρουσιάζονται πιο ρεαλιστικές τιμές για τομεοποιημένες περιπτώσεις, κατά συνέπεια για τη macrocellular περίπτωση, χρησιμοποιείται 65% στο i . Οι μεμονωμένες θεωρητικές τιμές χωρητικότητας, παρουσιάζονται στον πίνακα 2.7.

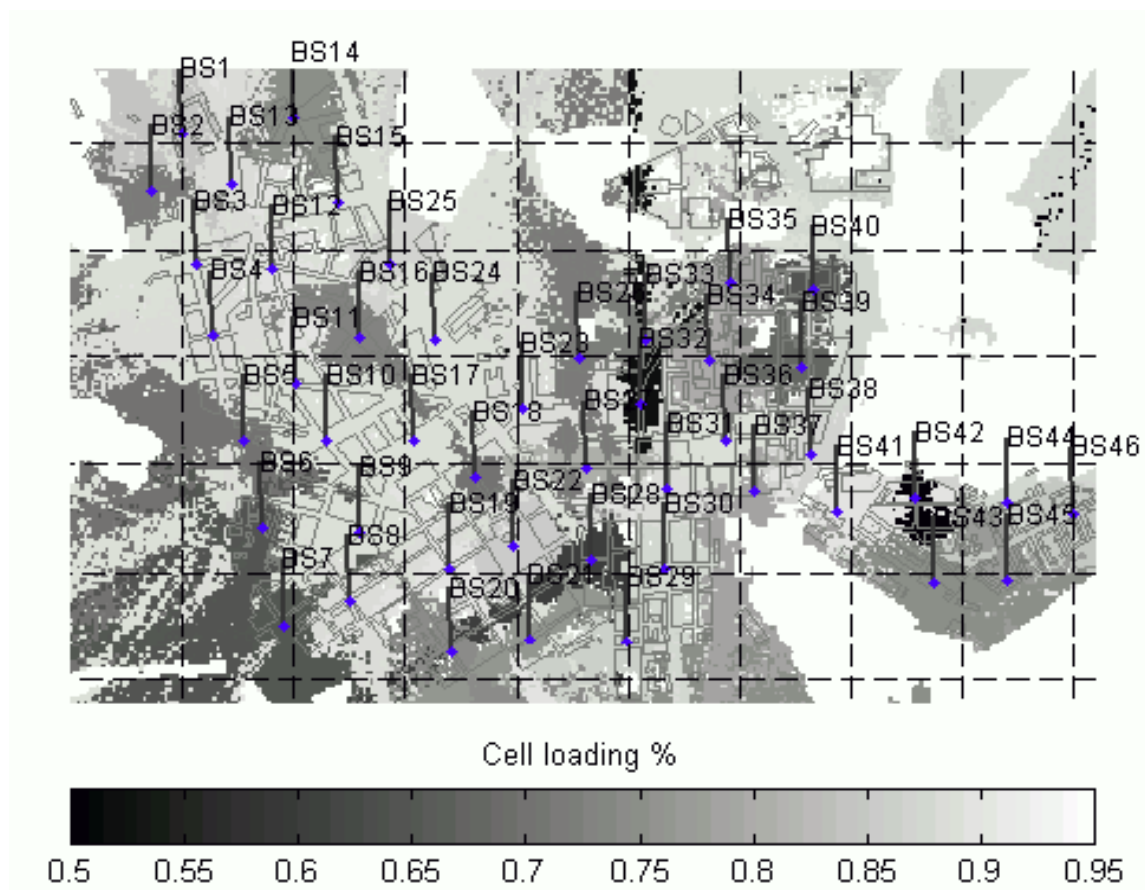
Πίνακας 2.7. Οι θεωρητικές τιμές ικανότητας για τα micro- και macrocells [P8].

	Microcell	Macrocell
Number of users, upper bound	26	23
Loading/user, upper bound	0.03621	0.04063
Number of users, i included	16	14
Loading/user, i included	0.05613	0.06704

Στο σχήμα 2.18 απεικονίζεται ο φόρτος του uplink. Όσο σκοτεινότερο το χρώμα, τόσο χαμηλότερη η φόρτωση στο κύτταρο. Στη microcellular περίπτωση η περιοχή όπου βρίσκεται νερό δεν προκαλεί προβλήματα παρεμβολών. Τα κύτταρα είναι αποτελεσματικά απομονωμένα από το νερό και επιπλέον, μεταξύ τους. Τα κτίρια στην πορεία διάδοσης παρέχουν την απομόνωση. Στο σχήμα 2.19 απεικονίζονται οι θέσεις των κινητών σταθμών που αντιμετωπίζουν έλλειψη ισχύος. Όταν συγκρίνεται η έλλειψη μεταξύ uplink και downlink, μπορεί να διαπιστωθεί ότι οι τοποθεσίες τείνουν να



σχετίζονται. Κατά συνέπεια η απόδοση του uplink και του downlink έχουν καλή ισορροπία. Κατά την οπτική εξέταση για το συσχετισμό φόρτου και κακής ποιότητας, η κατάσταση δεν είναι απλή. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο φόρτος δεν φαίνεται να είναι ο λόγος για τον υποβιβασμό της ποιότητας όπως ήταν στη macrocellular περίπτωση [P8]. Στον πίνακα 2.8 εισάγονται τα αποτελέσματα για την περίπτωση του microcellular uplink. Μόνο μερικά κύτταρα επιλέγονται σαν παράδειγμα, δηλαδή τα κύτταρα 8, 14, 44



Σχήμα 2.18. Ο φόρτος του uplink στη microcellular περίπτωση [P8].



Σχήμα 2.19. Έλλειψη ισχύος σε microcellular περίπτωση, το * δείχνει τη διακοπή λειτουργίας στο uplink και downlink.

Πίνακας 2.8. Παράδειγμα αποτελεσμάτων από παραδοσιακή ανάλυση. Microcellular περίπτωση [P8].

Cell id	Bs TxP traffic			Users UL	Users DL	Throughput UL [kbps]	Throughput DL [kbps]
	[W]	Loading	Other to own cell interf. Ratio, i				
8	0.40	0.88	0.16	22	22	1408	1408
14	0.25	0.75	0.13	18	18	1152	1152
44	0.39	0.88	0.15	22	22	1408	1408

Όλα τα επιλεγμένα κύτταρα έχουν σχετικά υψηλή φόρτωση, και σημαντικά χαμηλό i , έναντι της, συχνά χρησιμοποιούμενης, τιμής του 55%. Αυτό δείχνει πολύ καλή απομόνωση των κυττάρων στο microcellular περιβάλλον. Για όλα αυτά τα κύτταρα η φόρτωση ανά χρήστη είναι 0.04, το οποίο είναι πολύ κοντά στο ανώτατο όριο τιμής. Γενικά, όλα τα microcells έχουν καλά ελεγχόμενες παρεμβολές. Μόνο τα 7 από τα 46 κύτταρα είχαν i υψηλότερο από 55%. Αυτά τα κύτταρα είναι τα: 3, 6, 7, 18, 24, 28, 42 και 43. Κατά τον έλεγχο της θέσης αυτών των κυττάρων στο σχήμα 18 [P8], βρίσκονται κυρίως στις συστάδες #7, #4 και #2. Η συμπεριφορά των συστάδων #4 και #7 είναι παραπλήσια και χαρακτηρίζεται από μια σχετικά υψηλή άνοδο θορύβου (noise rise), αλλά



μέτριο αριθμό χρηστών. Αυτό εξηγεί την αιτία παρεμβολής των άλλων κυττάρων. Χαρακτηριστικό για τη συστάδα #2 είναι ο μικρός αριθμός χρηστών και έτσι οι παρεμβολές των άλλων κυττάρων μονοπωλούν, για ακόμα μια φορά, την εξίσωση φόρτου.

2.4.4.3. Προσέγγιση συνάρτησης κόστους.

Για μια πιο εμβριθή αξιολόγηση της απόδοσης, δημιουργήθηκε μια απλή συνάρτηση που συνδυάζει τον έλεγχο παρεμβολών και τις πτυχές ρυθμοαπόδοσης, όπως φαίνεται στην εξίσωση (2.21). Για απλότητα, η στάθμιση για το κάθε στοιχείο της συνάρτησης κόστους ήταν η ίδια. Ένας ακόμα λόγος που εξηγεί την ισοστάθμιση, είναι το γεγονός ότι ο ίδιος τύπος απόφασης λήφθηκε και στη βασισμένη στο SOM περίπτωση ανάλυσης.

$$P = f\left(\frac{\text{Throughput UL}}{\max \text{Throughput UL}}, \frac{\text{Throughput DL}}{\max \text{Throughput DL}}, i, \eta_{UL}\right) \quad (2.21)$$

Στην εξίσωση (2.21) η μέγιστη ρυθμοαπόδοση (throughput) μπορεί να είναι το θεωρητικό ανώτατο όριο ή η μέγιστη τιμή σε ένα κύτταρο του δικτύου.

Η αποκλειστική ανάλυση του uplink βρίσκεται στο [P8]. Όταν η παραδοσιακή ανάλυση **εμπλουτίζεται** για να συμπεριλάβει και τις σχετικές με το **downlink** πληροφορίες από άποψη ομαλοποιημένης ισχύος ανά συνδρομητή και ομαλοποιημένης κυκλοφορίας στο downlink, τα κύτταρα που αποδίδουν καλύτερα είναι τα 8, 9, 10, 11, 14, 17 και 29.

Τα κύτταρα σε *italics* είναι τα ίδια όπως στην περίπτωση της αποκλειστικής για το uplink ανάλυσης. Κατά την τοποθέτηση αυτών των κυττάρων στο σχήμα 2.15, το συμπέρασμα για την περίπτωση φαίνεται να είναι μάλλον διάσπαρτο. Εν τούτοις, τα σχέδια των ιστογραμμάτων δείχνουν ένα διαφορετικό συμπέρασμα. Τα ιστογράμματα των κυττάρων 8, 9, 11, 29 είναι αρκετά παρόμοια. Οι πρώτες και πέμπτες στήλες επικρατούν. Χαρακτηριστικό για αυτά τα κύτταρα, σύμφωνα με τους κανόνες του σχήματος 2.13, είναι ο καλός συσχετισμός του αριθμού των χρηστών και της τελικής χρήσης των πόρων του uplink και downlink.



Το κύτταρο 17 μπορεί επίσης να συμπεριληφθεί σε αυτό το γκρούπ. Με τη σημείωση ότι στην περίπτωση του κυττάρου 17 ο αριθμός χρηστών είναι γενικά υψηλός, οι κανόνες της συμπεριφοριστικής συστάδας #3 επικρατούν. Το κύτταρο 10 μπορεί να χαρακτηριστεί ως «μεσολαβητικό» κύτταρο. Αντιμετωπίζει, στο downlink, χειρότερες συνθήκες παρεμβολών από τα γειτονικά και έτσι η απόδοσή του είναι ελαφρώς χειρότερη απ' ό,τι των κυττάρων 8, 9, 11 και 17. Το κύτταρο 14 είναι ακραίο κύτταρο, το οποίο εξηγεί τη θέση του στο σχήμα 2.15.

Σε αυτό το τμήμα παρουσιάστηκε ότι τα αναλυτικά μέσα μαζί με τις γνώσεις των ειδικών υποστηρίζουν επαρκώς τη βασισμένη στο SOM ανάλυση. Η περίπτωση που παρουσιάζεται εδώ και στο [P8] είναι απλή, περιλαμβάνοντας μόνο μια υπηρεσία και περιορισμένο αριθμό δεικτών απόδοσης. Με τα ενεργά δίκτυα η κατάσταση είναι πίο σύνθετη και σε αυτή την περίπτωση η παραδοσιακή ανάλυση είναι εφικτή κατά τον υπολογισμό της αρχικής απόδοσης του δικτύου. Αυτές οι πληροφορίες είναι ζωτικής σημασίας πριν από την υλοποίηση του δικτύου (εγκατάσταση και διασύνδεση του δικτύου). Η παραδοσιακή ανάλυση παρέχει αναφορικά δεδομένα όσον αφορά την κάλυψη, την ποιότητα και τη χωρητικότητα του δικτύου που πρόκειται να δημιουργηθεί. Μόλις το δίκτυο είναι λειτουργικό, η αξιολόγηση της απόδοσης πρέπει να βασιστεί στην ανάλυση των πραγματικών δεδομένων απόδοσης από το ενεργό δίκτυο. Η δυσκολία αυτής της προσέγγισης είναι το τεράστιο ποσό δεδομένων που είναι διαθέσιμα. Οι προηγμένοι μέθοδοι ανάλυσης και τα προσεκτικά επιλεγμένα φίλτρα δεδομένων, απαιτούνται για να διευκολύνουν την εργασία αξιολόγησης της απόδοσης.

Σαν συμπέρασμα αυτού του τμήματος, μπορεί να τονιστεί ότι με τα παραδοσιακά μέσα είναι δυνατή η υποστήριξη της κατανόησης της ταξινόμησης των κυττάρων που εκτελείται από το SOM. Επιπλέον, η σύγκριση δείχνει ότι τα βασισμένα στο SOM αποτελέσματα, είναι εφικτά και κατ' επέκταση είναι έμπιστα. Στην εργασία της Jaana Laiho έχει δοθεί πρόσθετη προσοχή στη δυνατότητα χρήσης της προτεινόμενης μεθόδου. Μία πτυχή της, προσανατολισμένης στο προϊόν, εργασίας R&D είναι η τεχνική εφικτότητα όπου ένα άλλο μέρος παρέχει στη νέα τεχνολογία υψηλή χρησιμότητα ώστε να εγγυάται την ευρύτερη αποδοχή της νέα μεθόδου. Ο συνδυασμός αυτών των δύο πτυχών, απαιτείται για την επιτυχή ανάπτυξη του προϊόντος.



2.4.5. Η ομαδοποίηση των κυττάρων στη βελτιστοποίηση.

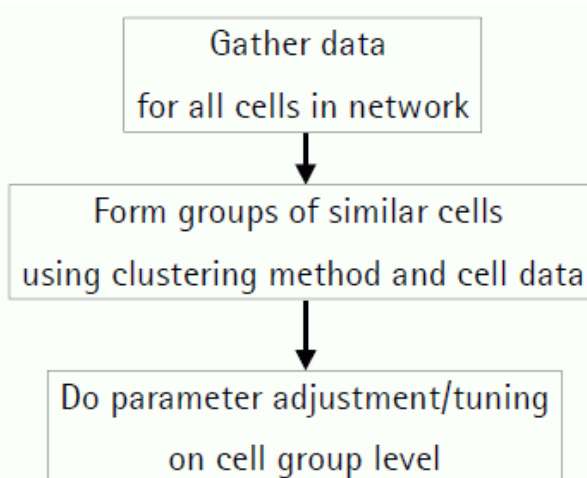
Στην παράγραφο 2.4.4 ελέγχθηκε η δυνατότητα εφαρμογής των αποτελεσμάτων της ανάλυσης του SOM. Το πεδίο αυτού του τμήματος είναι η περαιτέρω συζήτηση του πώς γίνεται χρήση των αποτελεσμάτων ομαδοποίησης που βασίζονται στο SOM. Ο SOM είναι ένα αποδοτικό εργαλείο για την απεικόνιση, τον έλεγχο και τη συγκέντρωση πολυδιάστατων δεδομένων. Μετασχηματίζει τα διανύσματα εισόδου σε ένα δυδιάστατο πλέγμα πρότυπων διανυσμάτων και τα ελέγχει. Τα διευθετημένα πρότυπα διανύσματα είναι ευκολότερο να απεικονιστούν και να εξεταστούν από τα αρχικά δεδομένα. Επιπλέον, ο SOM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διακρίνει τα πολυδιάστατα δεδομένα εισόδου και να δημιουργήσει χώρο απόδοσης (φάσμα).

Η ποσότητα των παραμέτρων που ελέγχουν το RAN είναι πολύ μεγάλη. Είναι εύκολο να κατανοήσουμε ότι η εύρεση ενός βέλτιστου συνόλου παραμέτρων για κάθε κύτταρο είναι, χειροκίνητα, ένας κουραστικός στόχος όταν ο αριθμός των κυττάρων μπορεί να είναι χιλιάδες. Επιπλέον, συχνά οι προσπάθειες των χειριστών επικεντρώνονται στην εργασία επίλυσης προβλημάτων παρά στη βελτιστοποίηση του RAN. Η πρόσθετη περιπλοκότητα στη διαδικασία βελτιστοποίησης προκύπτει από το γεγονός ότι το δίκτυο βελτιστοποιείται με βάση τις μετρήσεις που συλλέγονται από τα στοιχεία του δικτύου. Ο αριθμός αυτών των «ακατέργαστων» μετρήσεων είναι χιλιάδες. Ένας χειριστής για να παρέχει μέγιστη χωρητικότητα υποστηρίζοντας πολλαπλούς συνδυασμούς κίνησης (με την απαραίτητη ποιότητα), απαιτεί πιο προηγμένες μεθόδους ανάλυσης για την υποστήριξη των τιμών των παραμέτρων μοντελοποίησης. Επιπλέον, απαιτούνται αποτελεσματικά μέσα ελέγχου και ταξινόμησης των κυττάρων και προσδιορισμού των προβληματικών περιοχών στο δίκτυο.

Σε αυτό το τμήμα, περιγράφεται η χρήση του SOM στη διαδικασία βελτιστοποίησης (για λεπτομέρειες δείτε επίσης το [P7]). Το σχήμα 2.20 καταδεικνύει τη διαδικασία βελτιστοποίησης με χρήση του παραγόμενου από το SOM φάσματος απόδοσης. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά πιο εύκολη για το χειριστή τη βελτιστοποίηση των συγκεκριμένων, για κάθε κύτταρο, παραμέτρων. Με τη βοήθεια του SOM (ή οποιασδήποτε άλλης μεθόδου βελτιστοποίησης) τα κύτταρα μπορούν να συγκεντρωθούν (ομαδοποιηθούν) με βάση το σχεδιάγραμμα και την πυκνότητα κυκλοφορίας, τις συνθήκες διάδοσης, τον τύπο των κυττάρων κ.λπ.



Η ομαδοποίηση, που βασίζεται σε πολλά κριτήρια αντί για ένα (όπως ο τύπος του κυττάρου) είναι πιο ακριβής και η λειτουργία του δικτύου επωφελείται από αυτό. Αρχικά, το δίκτυο ξεκινά με τις προεπιλεγμένες παραμέτρους μοντελοποίησης. Αφότου το δίκτυο έχει τεθεί σε λειτουργία σε αυτή τη μη ιδανική κατάσταση, συλλέγονται μετρήσεις από τα κύτταρα. Με τη βοήθεια μιας μεθόδου ομαδοποίησης, κάθε κύτταρο ορίζεται αυτόματα σε μια συστάδα, ενώ ο αριθμός των συστάδων που είναι αρκετά μικρότερος από τον αριθμό των κυττάρων στο δίκτυο. Το πώς χρησιμοποιείται ο SOM ως μέθοδος συγκέντρωσης, καταδεικνύεται στο [P7].



Σχήμα 2.20. Το διάγραμμα ροής για τη μεθοδολογία.

Η επιλογή των δεδομένων εισόδου γίνεται βάσει μιας λειτουργικής περιοχής. Παράδειγμα μιας λειτουργικής περιοχής είναι η διαθεσιμότητα. Για την ομαδοποίηση, οι σχετικές με τη διαθεσιμότητα μετρήσεις χρησιμοποιούνται ως περιθώριο εισαγωγής για το SOM. Παράγονται συστάδες (φάσμα απόδοσης) που τονίζουν το περιθώριο απόδοσης της διαθεσιμότητας. Πλέον, η συμπεριφορά κάθε κυττάρου συγκρίνεται στο φάσμα απόδοσης και ομαδοποιείται αναλόγως. Κάθε κύτταρο σε μια ομάδα κυττάρων συμπεριφέρεται παρομοίως, έχει παρόμοια συμπτώματα και έτσι πρέπει να χρησιμοποιεί ίδιες τιμές στις παραμέτρους μοντελοποίησης. Αυτό απλοποιεί και διευκολύνει αρκετά τη διαδικασία βελτιστοποίησης. Αντί να καταφέρουμε το δίκτυο «απλά να δουλέψει», το ποσοστό χρήσης του RAN μπορεί να αυξηθεί.



Η φάση βελτιστοποίησης θα επικεντρωθεί στη βελτιστοποίηση/αυτοματοποίηση της κατοχής ενός σέτ παραμέτρων για κάθε ομάδα κυττάρων, παρά στη βελτιστοποίηση κάθε μεμονωμένου κυττάρου με δική του επιλογή σε τιμές παραμέτρων μοντελοποίησης. Επίσης, αυτή η μέθοδος μειώνει την πιθανότητα ανθρώπινου λάθους στις τιμές και στην πρόβλεψη των παραμέτρων, εξ' αιτίας του γεγονότος ότι μέρος αυτής της διαδικασίας, π.χ η επιλογή των κυττάρων-στόχων, μπορεί να αυτοματοποιηθεί. Οι συστάδες κυττάρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για να βελτιώσουν μόνο ένα υποσύνολο των παραμέτρων διαμόρφωσης. Στην περίπτωση επίλυσης προβλημάτων, τα προβληματικά κύτταρα μπορούν να βρεθούν γρήγορα με τη χρήση κάποιας μεθόδου ομαδοποίησης και της απεικόνισης των συστάδων. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας αυτές τις ιδιότητες απεικόνισης, ο χειριστής μπορεί εύκολα να αναλύσει τον τύπο του κυττάρων που έχει στο δίκτυό του όσον αφορά ορισμένους δείκτες και μεταβλητές απόδοσης και να συνδυάσει τα αποτελέσματα με γεωγραφικές σχέσεις.

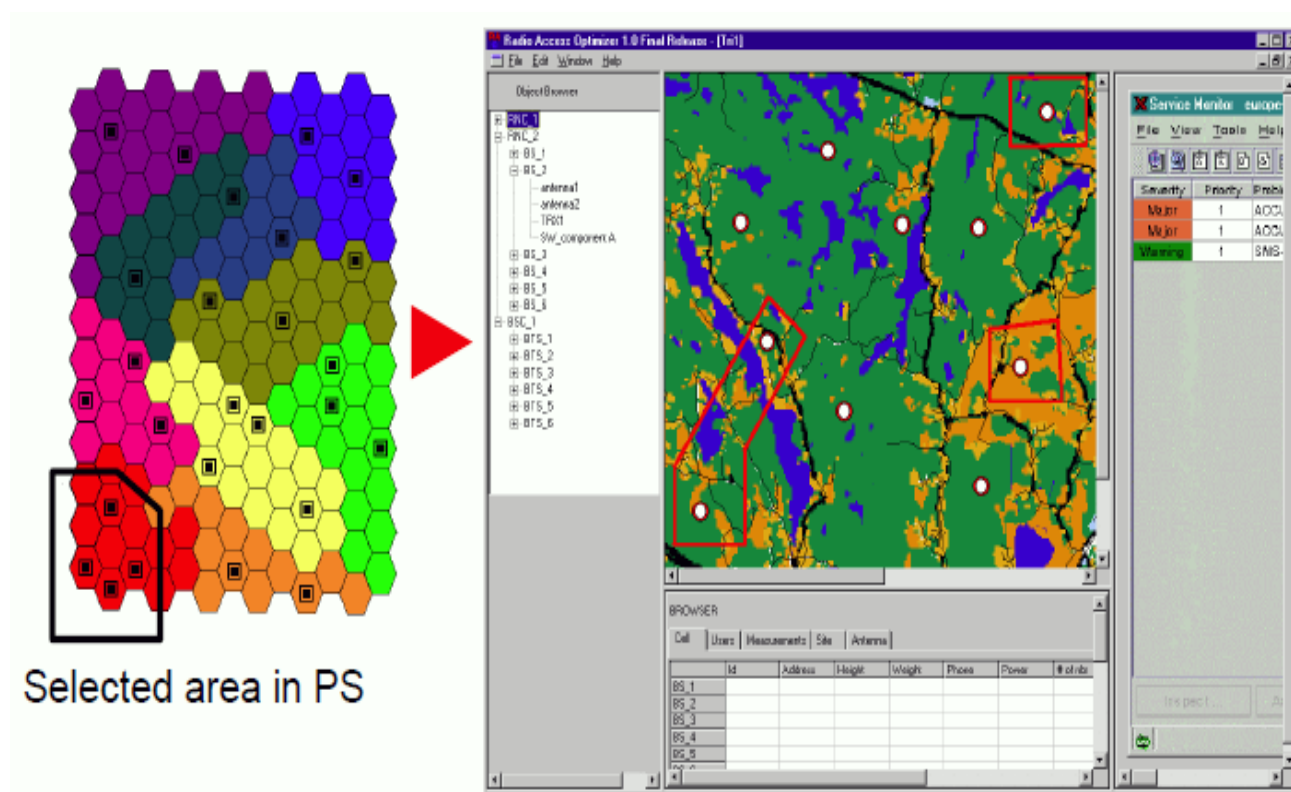
Εκτός από την ομαδοποίηση των κυττάρων για λόγους πρόβλεψης παραμέτρων, το φάσμα απόδοσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για δραστηριότητες περαιτέρω βελτιστοποίησης ή αυτόματης ρύθμισης. Το σχήμα 2.21 επεξηγεί την περίπτωση. Τα κύτταρα στην κάτω αριστερή γωνία είναι στην προβληματική περιοχή του φάσματος απόδοσης. Αυτά τα κύτταρα επιλέγονται αυτόματα σαν στόχος βελτιστοποίησης. Αυτός ο τύπος προσέγγισης απαιτεί ότι το φάσμα απόδοσης είναι συνδεδεμένο με ένα σύνολο των παραμέτρων μοντελοποίησης. Με άλλα λόγια: το φάσμα απόδοσης καταδεικνύοντας τον έλεγχο αποδοχής των κυττάρων, οφείλει να διασυνδέεται με τις παραμέτρους που ελέγχουν τη διαδικασία αποδοχής.

Το φάσμα απόδοσης προσφέρει επίσης ισχυρά μέσα για την επαλήθευση της βελτιστοποίησης ή της ανάλυσης της τάσης δικτύου. Η πολυπλοκότητα των ασύρματων δικτύων αυξάνεται καθώς επίσης και τα ίδια τα δίκτυα. Οι χειριστές θα χρειαστούν μέσα για να αναλύσουν γρήγορα τις αλλαγές στο δίκτυο λαμβάνοντας υπόψη έναν υψηλό αριθμό κυττάρων, διάφορες υπηρεσίες με διαφορετικά κριτήρια QoS και ένα τεράστιο ποσό συλλεχθέντων δεδομένων απόδοσης. Η ανάλυση τάσης μπορεί να εκτελεσθεί με τη χρήση δεδομένων, στρογγυλεμένων κατά μέσο όρο κατά τη διάρκεια των διάφορων χρονικών περιόδων, που κυμαίνονται από δέκατα δευτερολέπτων έως ημέρες.

Κάποιος θα μπορούσε για παράδειγμα, να ακολουθεί τη μετακίνηση ενός κυττάρου στο SOM κατά τη διάρκεια των ωρών μέγιστης κυκλοφορίας, υποθέτοντας ότι



τα δίκτυα είναι σε θέση να αναφέρουν την απόδοση των κυττάρων αρκετά συχνά. Μια άλλη πιθανότητα είναι η ανάλυση της συμπεριφοράς των δικτύων χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που συλλέγονται κατά τη διάρκεια ενός ολόκληρου έτους.

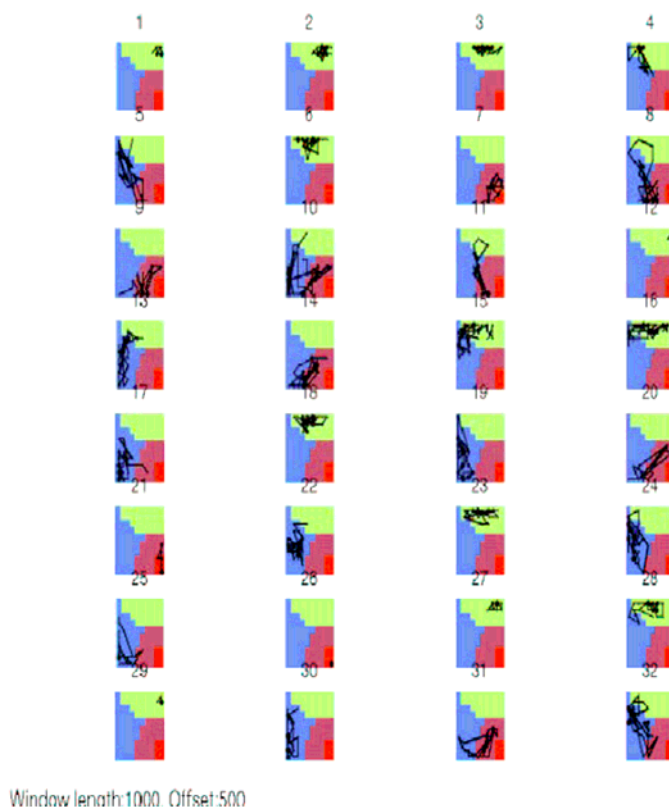


Σχήμα 2.21. Η επιλογή των κύτταρα που θα βελτιστοποιηθούν/αυτορυθμιστούν. Το PS αναφέρεται στο φάσμα απόδοσης (Performance Spectrum).

Το σχήμα 2.22 παρουσιάζει την ανάλυση τάσης για 32 κύτταρα, όλα σε χωριστές προβολές. Υπάρχουν τρεις κύριες ομάδες στο σχήμα 2.22 που χρωματίζονται με κόκκινο, πράσινο και μπλε. Για μερικά κύτταρα η ομαδική ιδιότητα μέλους ποικίλλει κατά τη διάρκεια της περιόδου ελέγχου. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι μια υψηλή οπτική αντιπροσώπευση των αλλαγών. Επιπλέον, η συμπεριφορά των κυττάρων μπορεί να απεικονιστεί ως συνάρτηση του χρόνου, π.χ για 24 ώρες. Ανάλογα με το μίγμα και την πυκνότητα της κυκλοφορίας στο δίκτυο, η απόδοση θα είναι διαφορετική. Στο φάσμα απόδοσης οι τομείς κακής απόδοσης είναι γνωστοί και μπορούν να απεικονιστούν εύκολα όποτε η ελεγχόμενη απόδοση βρίσκεται εκτός επιθυμητής περιοχής. Έναντι των παραδοσιακών μεθόδων ανάλυσης, είναι ευκολότερο και γρηγορότερο να κατανοηθούν τα



χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς των κυττάρων εάν αυτό το είδος λειτουργίας χρησιμοποιείται.



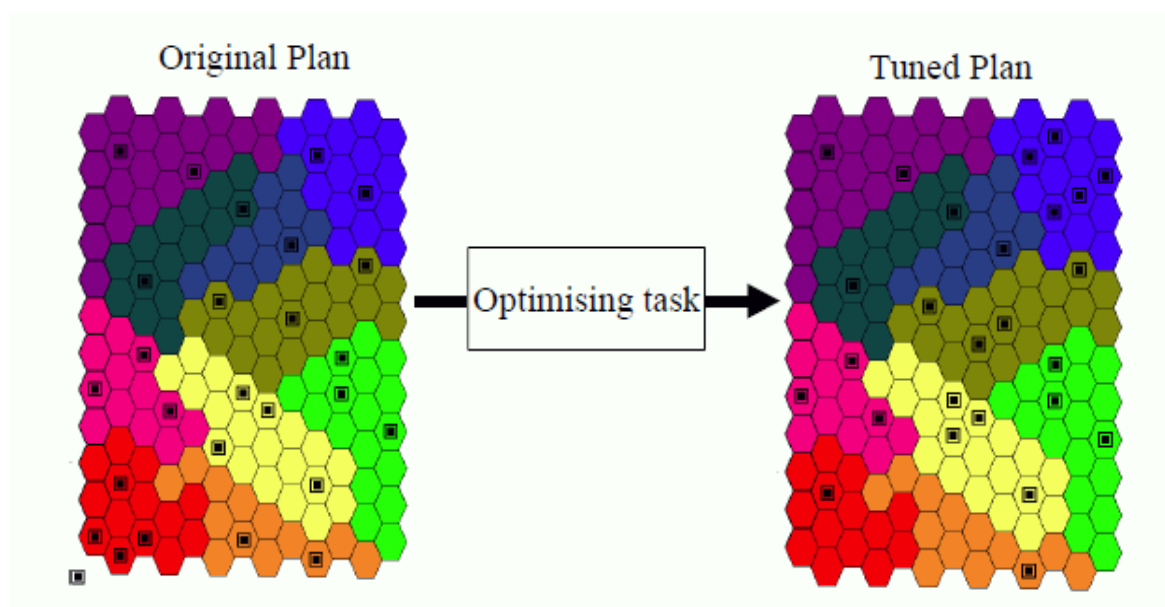
Σχήμα 2.22. Η ανάλυση τάσης για τα 32 κύτταρα, όλα σε χωριστές προβολές [P9].

Μια άλλη εφαρμογή για την ανάλυση τάσης συσχετίζεται με τη φάση βελτιστοποίησης του δικτύου. Όταν η μοντελοποίηση των στοιχείων του δικτύου αλλάζει, ο χειριστής φυσικά επιθυμεί να δει την επίδραση της αλλαγής στην απόδοση. Η διαδικασία για τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου με το SOM είναι:

1. Συλλογή των δεδομένων απόδοσης,
2. Ρύθμιση του SOM με τα δεδομένα,
3. Ανάλυση (αυτό το βήμα μπορεί να γίνει αρκετές φορές με διαφορετικές χρονικές περιόδους),
4. Ρύθμιση των παραμέτρων εάν αυτό είναι απαραίτητο ώστε να διορθωθεί πιθανό πρόβλημα,
5. Έλεγχος της επίδρασης της ρύθμισης στην απόδοση χρησιμοποιώντας το SOM.



Εάν για ακόμα μια φορά η κάτω αριστερή γωνία υποτίθεται ότι έδειξε κύτταρα που δυσλειτουργούν, η αλλαγή στη θέση των κυττάρων στο φάσμα απόδοσης μπορεί να ανιχνευθεί μετά τη βελτιστοποίηση, υπό τον όρο ότι η βελτιστοποίηση είναι επιτυχής. Το σχήμα 2.23 επεξηγεί το παράδειγμα.



Σχήμα 2.23. Μετακίνηση των κυττάρων ως συνέπεια της βελτιστοποίησης του φάσματος απόδοσης

Είναι προφανές ότι η χρήση του SOM στη διαδικασία βελτιστοποίησης καλύπτει μόνο ένα μικρό μέρος της όλης διαδικασίας και της καθημερινής εργασίας του χειριστή. Ο χειρισμός της διαδικασίας βελτιστοποίησης σαν σύνολο, θα ήταν ένα πολύ ευρύ πεδίο για την εργασία της Jaana Laiho. Η ανάλυση και η βελτιστοποίηση με βάση το SOM υποστηρίζουν την τάση που απαιτείται για αποτελεσματική χρήση της χωρητικότητας ενός WCDMA. Τα προβλήματα της βελτιστοποίησης θα είναι πιο πολυδιάστατα απ' ό,τι στα τρέχοντα δίκτυα.

Στην περίπτωση του WCDMA θα υπάρξουν πολλαπλές υπηρεσίες, διαφοροποίηση πελατών (πελάτες με διαφορετικές προτεραιότητες) και πολλαπλές τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης που θα διαχειρίζονται ταυτόχρονα, ως ένα σύνολο πόρων. Αξίζει να σημειωθεί ότι ουσιαστικό μέρος στη χρήση του SOM βρίσκεται στην προεπεξεργασία των καταμετρημένων δεδομένων που χρησιμοποιούνται σαν εισαγωγή. Για αυτά τα ζητήματα μια σύντομη εισαγωγή μπορεί να βρεθεί στο [P8].

Στα [58], [59] και [62] παρέχεται ένα ενδιαφέρον πλαίσιο και καταδεικνύεται η κατεύθυνση όπου αναπτύσσεται η διαχείριση και η βελτιστοποίηση του δικτύου.

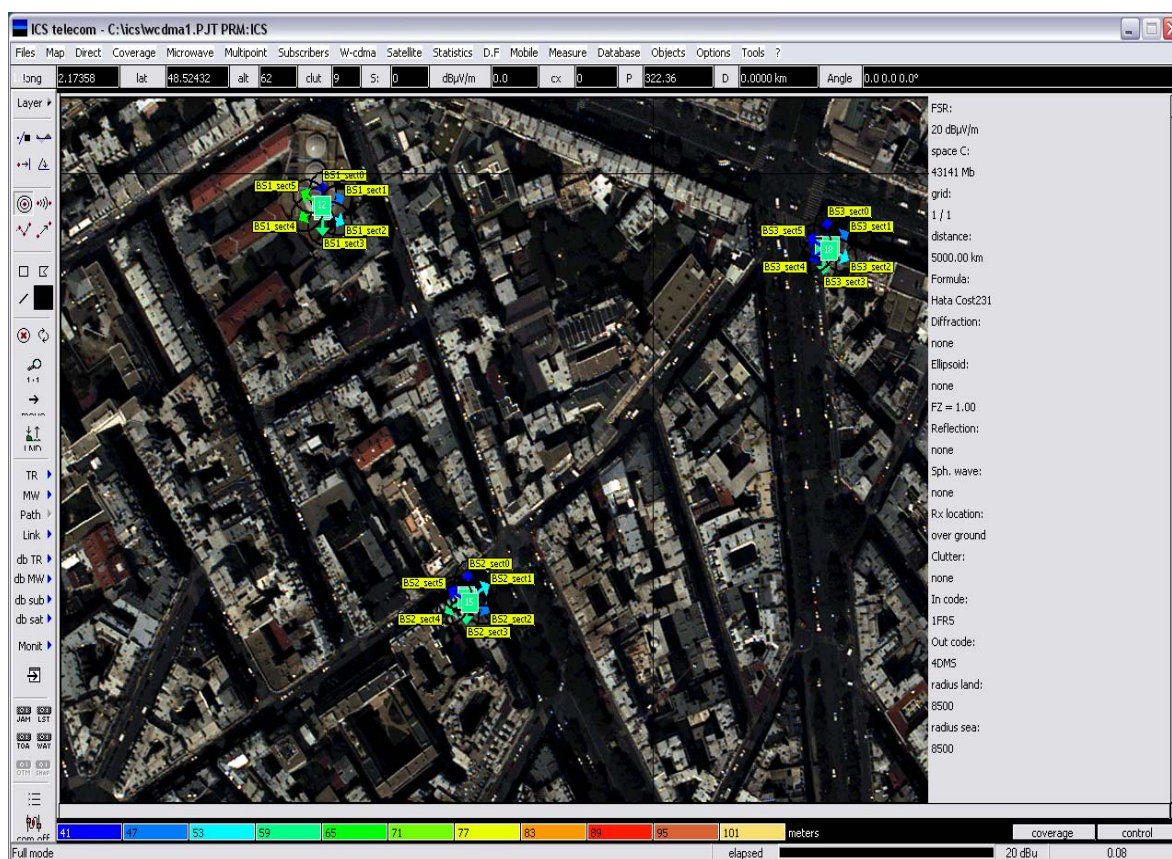


3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΘΕΩΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΚΟΠΟ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.

3.1. Εισαγωγή.

Στην περίπτωση εξομοίωσης και βελτιστοποίησης ενός δικτύου WCDMA την οποία πραγματοποιήσαμε, πρέπει να αναφέρουμε τα εξής:

Το σχεδιαστικό εργαλείο το οποίο χρησιμοποιήθηκε ήταν το **ICS Telecom** της **ATDI** (Demo version). Σε αυτό τοποθετήθηκαν οι σταθμοί βάσης, οι συνδρομητές και πραγματοποιήθηκε η κάλυψη αυτών με διάφορες παραμέτρους και είδη κεραιών.



Σχήμα 3. Εικόνα από την περίπτωση εξομοίωσης με έξι τομείς στους σταθμούς βάσης.

Αρχικά, πρέπει να αναφερθεί πως το προφίλ περιοχής που χρησιμοποιήθηκε για την εξομοίωση/βελτιστοποίηση του δικτύου ήταν το **Idf_sample_1m** αποτελώντας μια περιοχή μέσα σε πόλη.



Επιπλέον οι κατηγορίες χρηστών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τρεις: 8kbps, 64kbps και 384kbps καλύπτοντας όλες τις κατηγορίες απαιτήσεων χρηστών όπως φωνής, μετακίνησης δεδομένων και ιδιαίτερα απαιτητικούς χρήστες υπηρεσιών πακέτων. Η αναλογία χρηστών σε κάθε κλάση υπολογίστηκε σύμφωνα με το παράδειγμα της θεωρίας. Συνολικά δημιουργήθηκαν 56 συνδρομητές.

Αναλυτικά η εξομοίωση περιλάμβανε:

- 42 χρήστες στα 8 kbps,
- 12 χρήστες στα 64 kbps,
- 1 χρήστη στα 384 kbps,

Στην περίπτωση των σταθμών βάσης τώρα, η τοποθέτηση των σταθμών ήταν τυχαία. Οι τύποι κεραιών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τρεις. Χρησιμοποιήθηκαν κεραιές τριών τομέων και έξι τομέων και εξομοιώθηκε και μια περίπτωση με κεραιές omnidirectional. Επίσης στην περίπτωση των κεραιών με τρεις και έξι τομείς, έγινε εξομοίωση και με 2 διαφορετικές κλίσεις, στις 0 και στις 7 μοίρες.

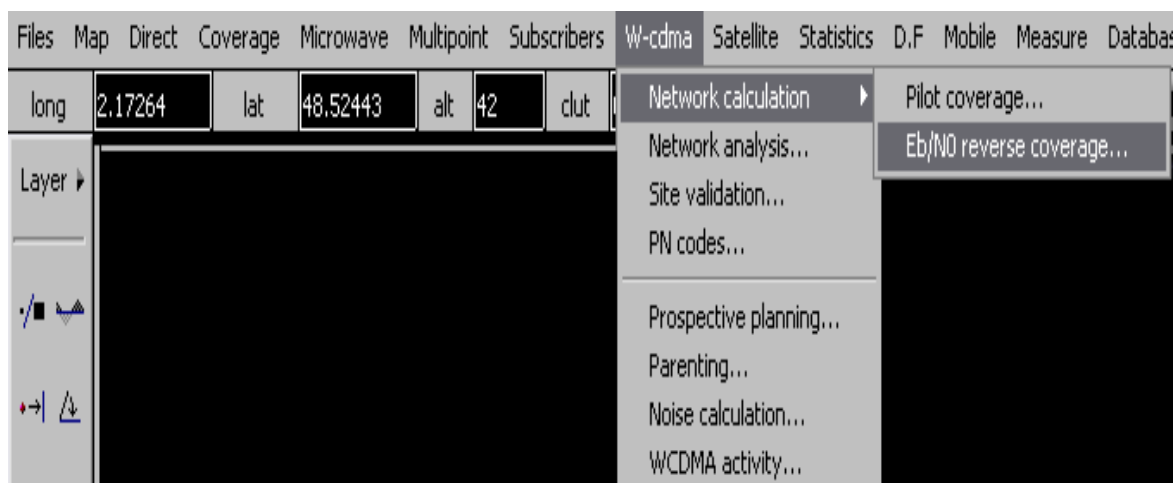
Στα τεχνικά χαρακτηριστικά των μερών του δικτύου (παράμετροι κεραιών, ισχύος εκπομπής κλπ) χρησιμοποιήθηκαν παράμετροι σύμφωνα με τη θεωρία.

Η μόνη δοκιμή που έγινε με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου ήταν η δοκιμή δύο διαφορετικών τιμών στην ισχύ του περιθωρίου ελέγχου της εκπομπής των κεραιών (power control headroom). Οι τιμές αυτές ήταν 1 και 6dB. Το Threshold που επιλέχθηκε τελικά ήταν τα 60dBμV/m.

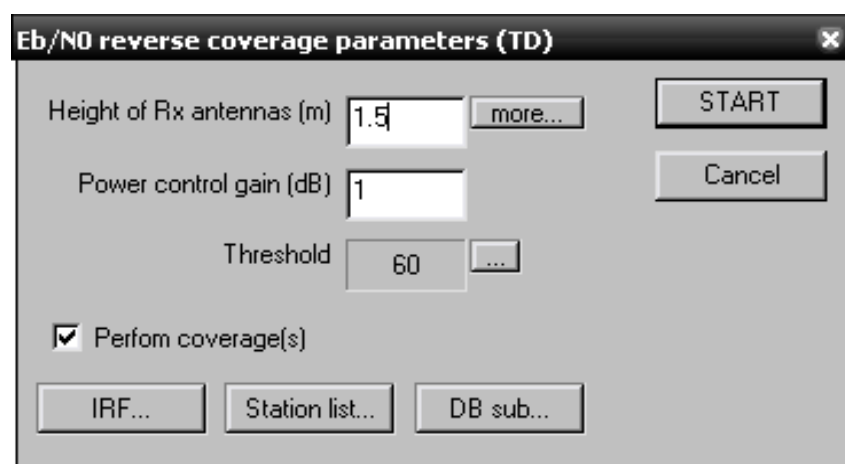
Είναι βασικό να αναφερθεί ότι οι θέσεις των συνδρομητών και των σταθμών βάσης δεν δέχθηκαν καμία αλλαγή κατά την διάρκεια εκτέλεσης των εξομοιώσεων διότι αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την απαξίωση όποιων δεδομένων είχαμε συλλέξει κατά την διάρκεια των εξομοιώσεων κάνοντάς τα μη συγκρίσιμα. Αυτό είναι εύκολο να κατανοηθεί αφού κατά την κίνηση ενός κινητού σταθμού αλλάζει το περιβάλλον διάδοσης του σήματος, ειδικά σε μια περιοχή μέσα σε πόλη όπου έχουμε πολλά κτίρια και πολύπλοκη δομή χώρου. Επιπλέον δεν ήταν δυνατή η χρήση ή εύρεση οποιονδήποτε προφίλ κίνησης.

3.2. Τα αποτελέσματα της εξομοίωσης.

Η επιλογή **Eb/N0 reverse coverage** που μας ενδιαφέρει για την πραγματοποίηση της εξομοίωσης του δικτύου βρίσκεται στο **WCDMA menu** και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 3.1. Το WCDMA menu

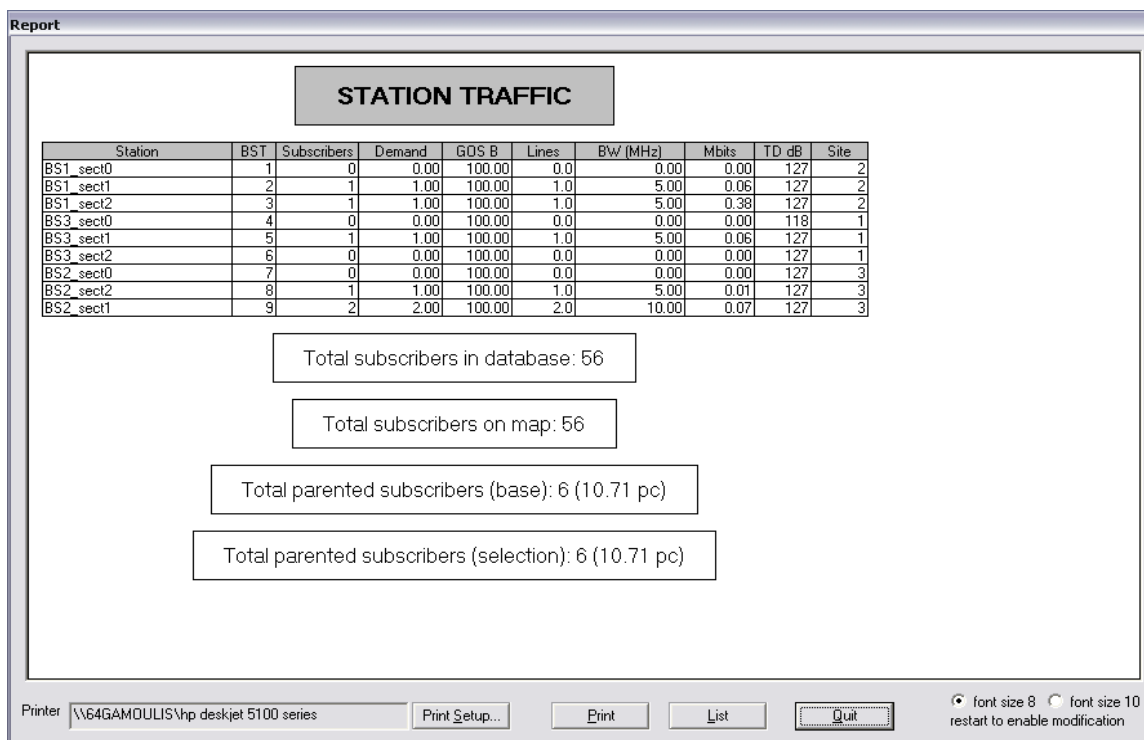


Σχήμα 3.2. Οι επιλογές του Eb/N0 reverse coverage

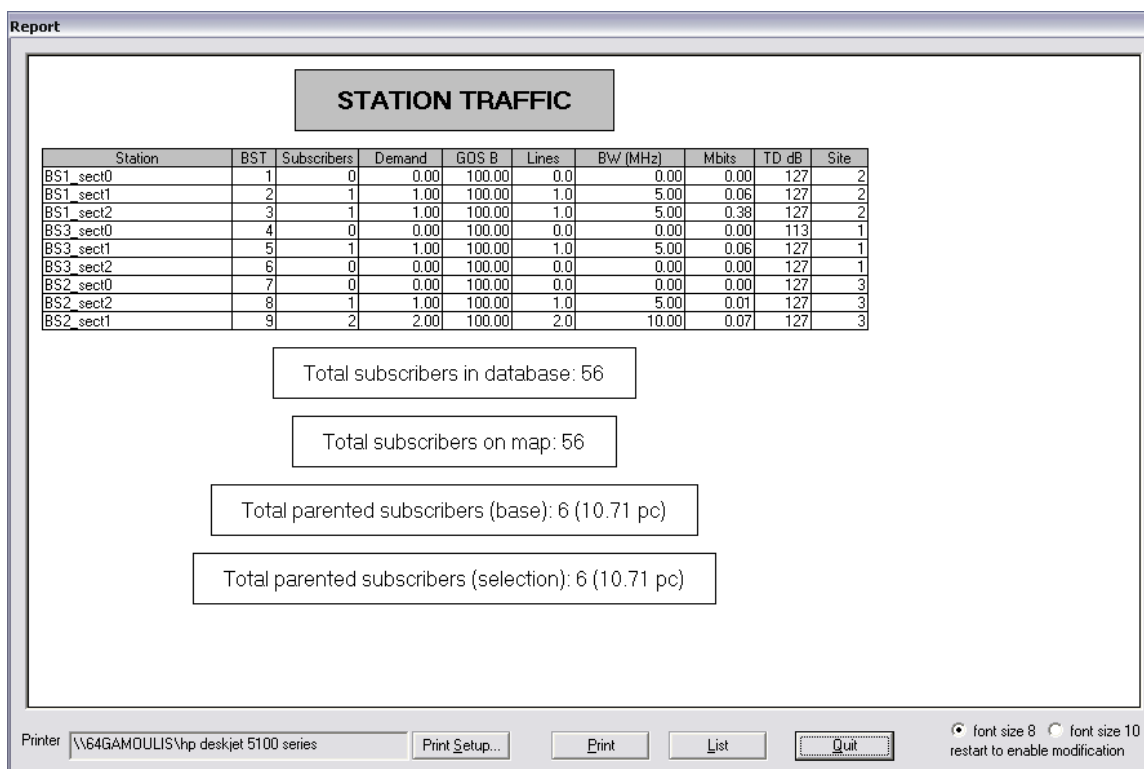
Τα αποτελέσματα όπως προκύπτουν από το ICS Telecom παρατίθενται με τη μορφή εικόνας για να είναι εμφανής η κατανομή των χρηστών ανά sector.



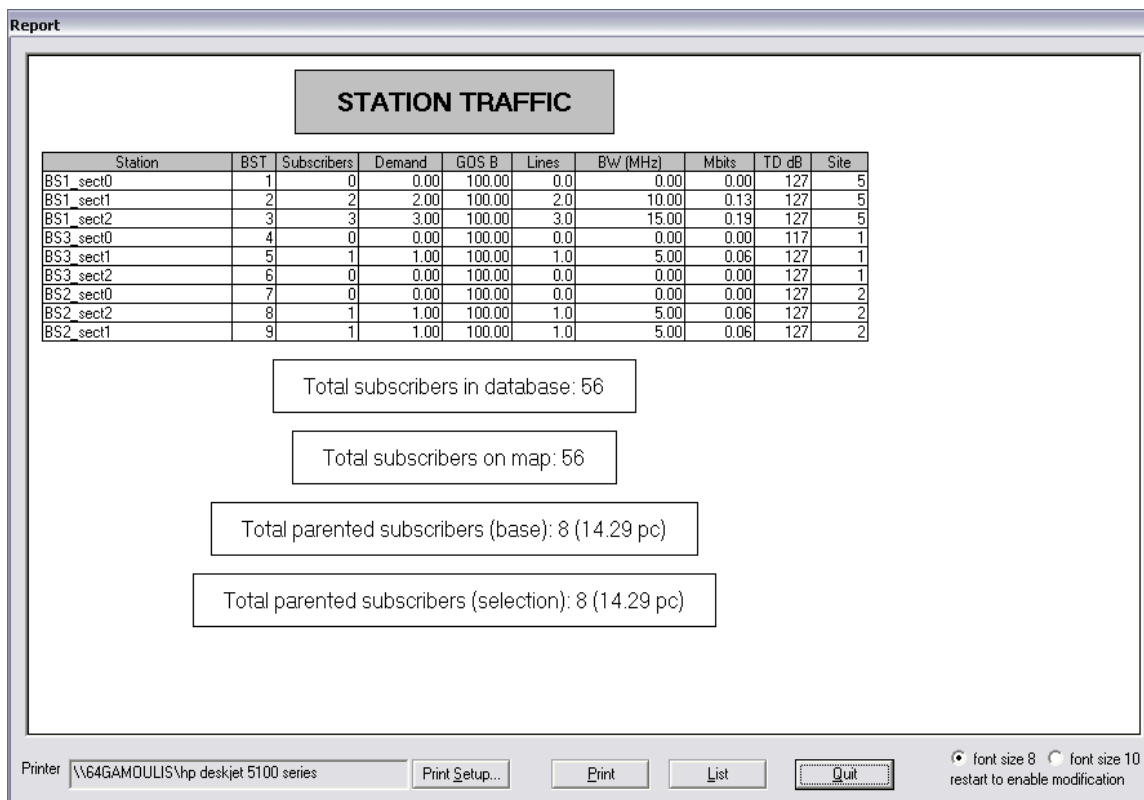
Για την περίπτωση των τριών sectors:



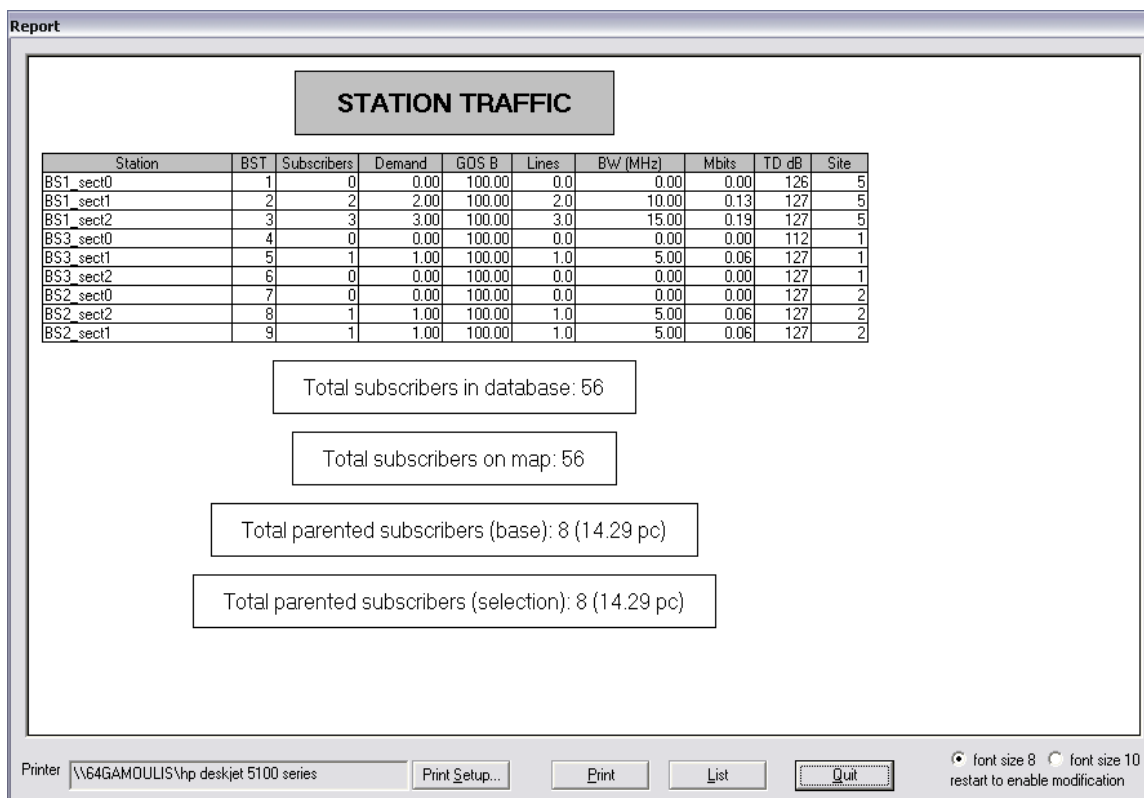
0 TILT / 1dB PCH (power control gain)



0 TILT / 6 dB PCH



7 TILT / 1dB PCH



7 TILT / 6dB PCH



Για την περίπτωση των έξι sectors:

Report

Station	BST	Subscribers	Demand	GOS B	Lines	BW (MHz)	Mbits	TD dB	Site
BS1_sect0	1	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	119	0
BS1_sect1	2	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	0
BS1_sect2	3	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	0
BS3_sect0	4	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	118	1
BS3_sect1	5	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	1
BS3_sect2	6	1	1.00	100.00	1.0	5.00	0.06	127	1
BS2_sect0	7	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	1
BS2_sect2	8	1	1.00	100.00	1.0	5.00	0.06	127	1
BS2_sect1	9	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	1
BS1_sect3	10	1	1.00	100.00	1.0	5.00	0.06	127	1
BS1_sect4	11	1	1.00	100.00	1.0	5.00	0.38	127	1
BS1_sect5	12	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	0
BS2_sect3	13	1	1.00	100.00	1.0	5.00	0.01	127	1
BS2_sect4	14	1	1.00	100.00	1.0	5.00	0.01	127	1
BS2_sect5	15	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	0
BS3_sect3	16	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	0
BS3_sect4	17	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	0
BS3_sect5	18	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	0

Total subscribers in database: 56

Total subscribers on map: 56

Total parented subscribers (base): 6 (10.71 pc)

Total parented subscribers (selection): 6 (10.71 pc)

Printer \\64GAMOU LIS\hp deskjet 5100 series Print_Setup... Print List Quit font size 8 font size 10
restart to enable modification

0 TILT / 1dB PCH

Report

Station	BST	Subscribers	Demand	GOS B	Lines	BW (MHz)	Mbits	TD dB	Site
BS1_sect0	1	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	1
BS1_sect1	2	1	1.00	100.00	1.0	5.00	0.06	127	1
BS1_sect2	3	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	1
BS3_sect0	4	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	113	1
BS3_sect1	5	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	1
BS3_sect2	6	1	1.00	100.00	1.0	5.00	0.06	127	1
BS2_sect0	7	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	1
BS2_sect2	8	1	1.00	100.00	1.0	5.00	0.06	127	1
BS2_sect1	9	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	1
BS1_sect3	10	1	1.00	100.00	1.0	5.00	0.06	127	1
BS1_sect4	11	1	1.00	100.00	1.0	5.00	0.38	127	1
BS1_sect5	12	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	0
BS2_sect3	13	1	1.00	100.00	1.0	5.00	0.01	127	1
BS2_sect4	14	1	1.00	100.00	1.0	5.00	0.01	127	1
BS2_sect5	15	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	0
BS3_sect3	16	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	0
BS3_sect4	17	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	0
BS3_sect5	18	0	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	127	0

Total subscribers in database: 56

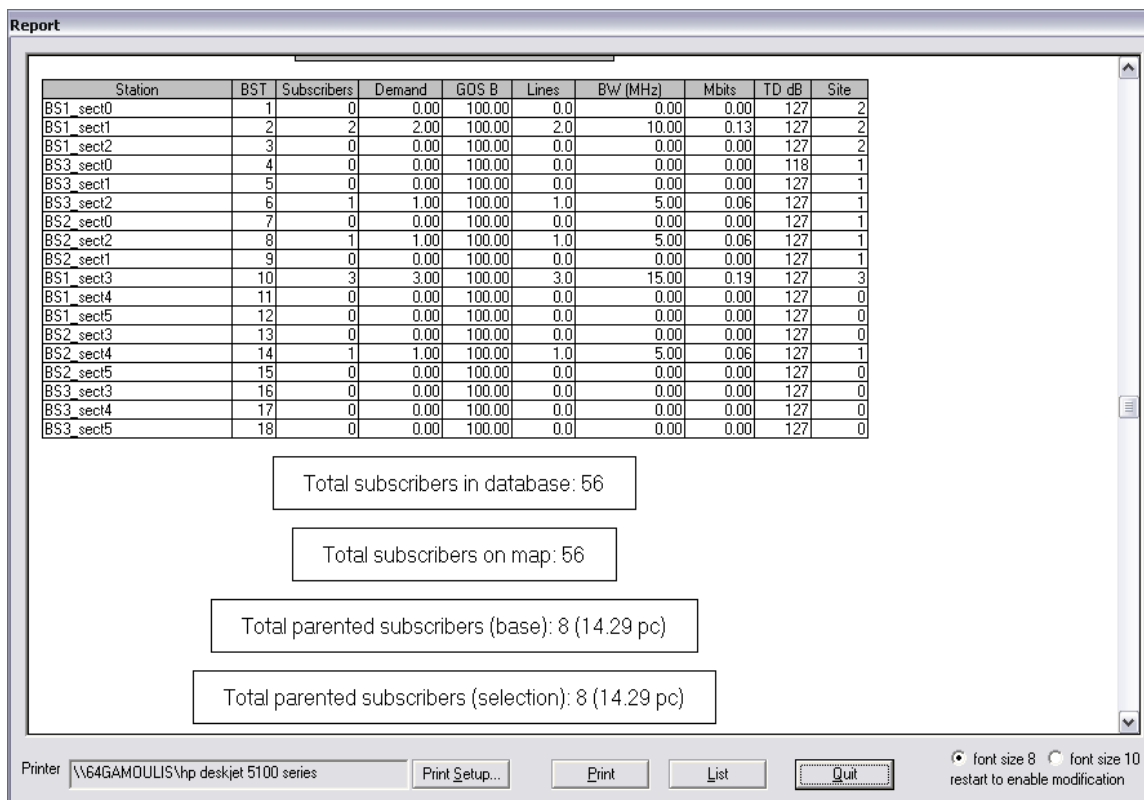
Total subscribers on map: 56

Total parented subscribers (base): 7 (12.50 pc)

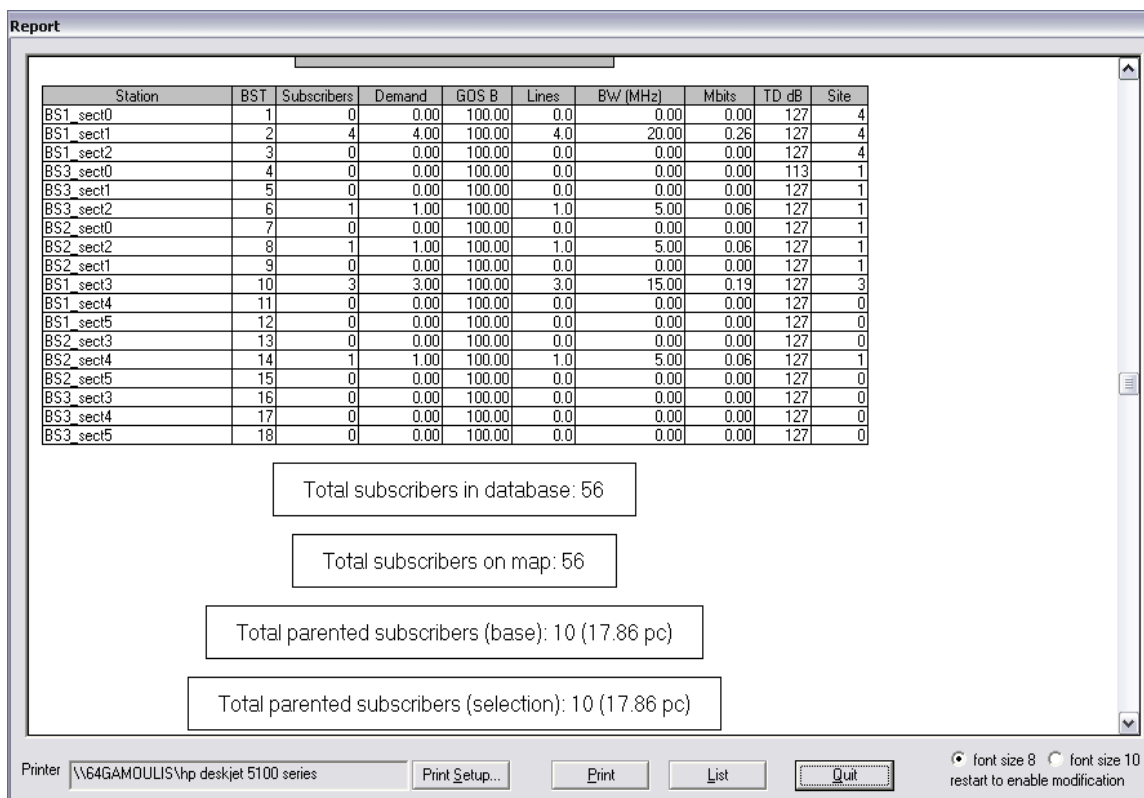
Total parented subscribers (selection): 7 (12.50 pc)

Printer \\64GAMOU LIS\hp deskjet 5100 series Print_Setup... Print List Quit font size 8 font size 10
restart to enable modification

0 TILT / 6dB PCH



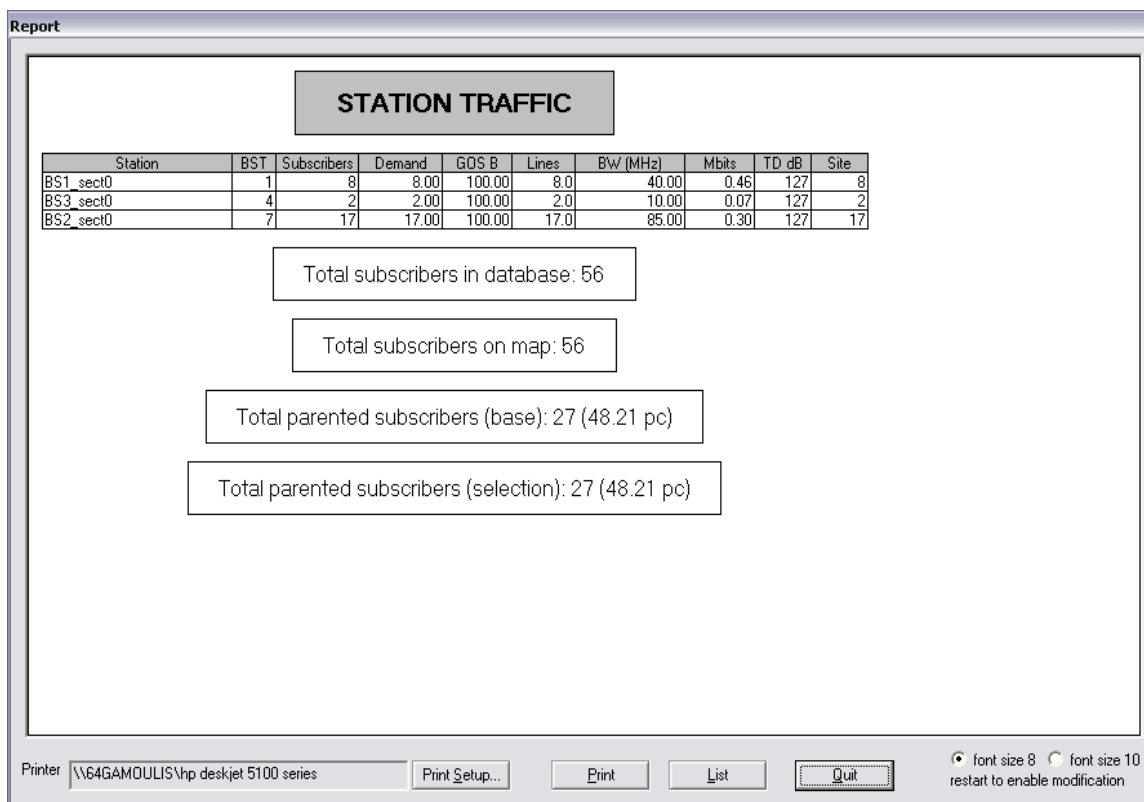
7 TILT / 1dB PCH



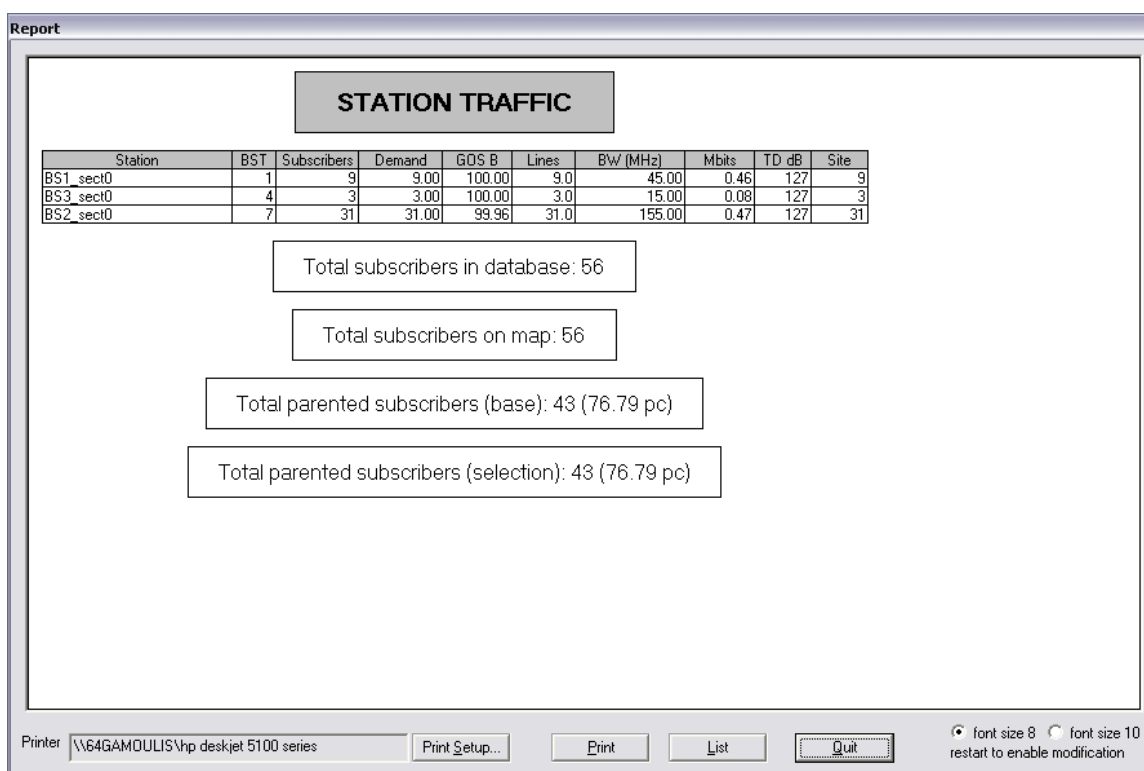
7 TILT / 6dB PCH



Για την περίπτωση των omnidirectional:



1dB PCH



6dB PCH



3.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων.

Όπως παρατηρούμε η καλύτερη κάλυψη των δεδομένων χρηστών επιτυγχάνεται με τη χρήση omnidirectional κεραιών και μάλιστα με 6dB power control gain. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτό δεν είναι ένα γενικό συμπέρασμα και απλά ισχύει για το συγκεκριμένο δίκτυο που δημιουργήθηκε.

Επιπλέον, σε γενικές γραμμές, η αύξηση των sectors καθώς και του power control gain φαίνεται να βοηθά την κάλυψη και την μείωση του φόρτου σε κάθε σταθμό.

Επίσης πρέπει να γίνει κατανοητό πως για αυτές τις εξομοιώσεις τα κύτταρα και οι θέσεις των κεραιών δεν ήταν οι καλύτερες δυνατές. Με περισσότερες δοκιμές στις τοποθεσίες των κεραιών, πάντα με την βοήθεια του σχεδιαστικού εργαλείου, θα μπορούσαμε να επιτύχουμε αρκετά καλύτερη κάλυψη και ίσως και με λιγότερη ισχύ εκπομπής.



4. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στο [P1] αναλύεται η συμπεριφορά του κλειστού βρόγχου ελέγχου (fast) ισχύος του uplink σε ένα σύστημα WCDMA με τη βοήθεια της θεωρίας και των προσομοιώσεων σε επίπεδο συνδέσεων. Σε αυτό το έγγραφο εξετάζεται ο αντίκτυπος του γρήγορου ελέγχου ισχύος (fast power control) στην απόδοση του E_b/N_0 , στο επίπεδο ισχύος εκπομπής και κατ' επέκταση στη χωρητικότητα. Αυτό το έγγραφο μαζί με το [44] (που περιλαμβάνει το soft handover) ήταν ο πυρήνας κατά τη μοντελοποίηση σε επίπεδο συνδέσεων στο στατικό προσομοιωτή του uplink. Το [P1] είναι στενά συνδεδεμένο με το [P2] και το [P3].

Το [P2] εισάγει την πρώτη έκδοση του στατικού σχεδιαστικού εργαλείου που περιγράφεται στην εργασία της Jaana Laiho. Το κίνητρο ήταν το να είναι σε θέση να εξεταστεί η αλληλεπίδραση χωρητικότητας-κάλυψης στην περίπτωση του multiservice σχεδιασμού WCDMA. Οι φάσεις προσομοίωσης είναι:

- Εκκίνηση,
- Επαναλήψεις (uplink και downlink),
- Προεπεξεργασία,
- Καταδεικνύεται η λειτουργία του προσομοιωτή με μικτό σενάριο υπηρεσιών.

Η θεωρία για multiservice WCDMA υποστηρίζεται από τον προσομοιωτή. Επιπλέον, μοντελοποιούνται οι επιδράσεις του TPC σύμφωνα με τα [P1] και [44].

Το [P3] περιέχει μια πλήρη περιγραφή της διαδικασίας σχεδιασμού ασύρματου δικτύου WCDMA για multiservice περιβάλλον. Εισάγονται οι μεμονωμένες φάσεις και η μοντελοποίηση της διαδικασίας. Επίσης, υπογραμμίζονται τα συγκεκριμένα ζητήματα του WCDMA στη διαδικασία και τη μοντελοποίηση. Επιπλέον, αντιμετωπίζονται τα σχετικά με το TPC ζητήματα και ο αντίκτυπός του στη διαστασιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Η ακρίβεια των εργαλείων, που χρησιμοποιούνται στη φάση σχεδιασμού του ασύρματου δικτύου, είναι ουσιαστικό να παρέχει στο χειριστή λογικής ακρίβειας πληροφορίες της απαραίτητης τοπολογίας του δικτύου. Κατά συνέπεια εξετάζεται η ακρίβεια που παρέχεται με τα προτεινόμενα εργαλεία και μεθόδους. Επίσης, παρέχεται η



διαστασιολόγηση της θεωρίας για το uplink και το downlink. Μια περίπτωση, για παράδειγμα, διαστασιολογείται και ελέγχεται η ακρίβεια της διαστασιολόγησης του macrocellular αποτελέσματος με τα αποτελέσματα του στατικού προσομοιωτή, και βάσει των αποτελεσμάτων του [P3] μπορεί να δηλωθεί ότι η προτεινόμενη μοντελοποίηση είναι αρκετά ακριβής για τους σκοπούς που προορίζεται.

Στην περίπτωση του στατικού προσομοιωτή η περιγραφή της μοντελοποίησης παρέχεται λεπτομερώς στο [P2]. Επιπλέον, συζητούνται νέα ζητήματα όπως η ανάλυση πολυ-μεταφορέων (multi-carrier) και ο αντίκτυπός της στη διαδικασία σχεδιασμού και τη μοντελοποίηση στον προσομοιωτή. Σε αυτό το έγγραφο εκτελείται επίσης η επαλήθευση των αποτελεσμάτων της στατικής προσομοίωσης με τον πλήρως δυναμικό προσομοιωτή στο macrocellular σενάριο. Κίνητρο για αυτή τη σύγκριση ήταν η μελέτη της ακρίβειας και η ποιότητας του σχεδίου του ασύρματου δικτύου. Μια τέτοια σύγκριση δείχνει ότι η νέα μοντελοποίηση απαιτείται στο σχεδιαστικό εργαλείο του WCDMA, εκτός από την υπάρχουσα θεωρία.

Κατά συνέπεια ότι ο στατικός προσομοιωτής παρέχει μια πραγμάτωση του δικτύου με λογικές λεπτομέρειες κατά τη σύγκριση με τα αποτελέσματα που παρέχονται από ένα πλήρως δυναμικό προσομοιωτή.

Το πεδίο του [P5] είναι να καταδείξει με τη βοήθεια των στατικών προσομοιώσεων την επίδραση της κλίσης των κεραιών, του Sectorisation, της επιλογής του είδους των κεραιών και του MHA στην ποιότητα και τη χωρητικότητα του δικτύου. Επιπλέον, το έγγραφο καταδεικνύει πώς η αλλαγή της μοντελοποίησης των περιοχών μπορεί να υποστηρίξει την εξέλιξη του δικτύου. Μελετώνται οι περιπτώσεις κεραιών omni, τριών, τεσσάρων και έξι τομέων και για κάθε περίπτωση επιλέγεται η βέλτιστη κεραία (από άποψη εύρους δέσμης). Η κλίση των κεραιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των παρεμβολών σε οποιοδήποτε κυψελοειδές σύστημα, παρουσιάζεται η επίδραση της κλίσης κεραιών στην αναλογία παρεμβολών μεταξύ των κυττάρων και επιδεικνύεται πώς μπορεί να βρεθεί μια βέλτιστη γωνία κλίσης. Επίσης, σε αυτό το έγγραφο εξετάζεται η χρήση του MHA. Τα συμπεράσματα είναι:

- Στην περίπτωση χαμηλής φόρτωσης (αγροτικές περιοχές) ο MHA μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσει τον προϋπολογισμό (RLB) συνδέσεων (uplink),



- Στην περίπτωση υψηλού επιπέδου παρεμβολών, το όφελος χρήσης ενός ΜΗΑ είναι αμελητέο,
- Η εισαγωγή του ΜΗΑ μπορεί να προκαλέσει μείωση στην χωρητικότητα του downlink. Ο λόγος είναι ότι εξυπηρετούνται χρήστες στην άκρη των κυττάρων, στο uplink (χωρίς τον ΜΗΑ είναι εκτός λειτουργίας) και έτσι απαιτούν σχετικά υψηλή ισχύ στο downlink. Από τη στιγμή που η συνολική ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης είναι περιορισμένη, ο συνολικός αριθμός των χρηστών πρέπει να μειωθεί.
- Η χρήση ΜΗΑ σε περιορισμένες καταστάσεις στο downlink, πρέπει να αποφεύγεται.

Στο [P4] εισάγονται οι γενικοί στόχοι για τη πρόβλεψη ασύρματου δικτύου και παραδείγματα προϋπολογισμών WCDMA για υπηρεσίες φωνής και δεδομένων στα 144kbps. Παρουσιάζεται η συζήτηση σχετικά με τους παράγοντες φόρτου και τη φασματική αποδοτικότητα και εισάγεται η έννοια της μαλακής χωρητικότητας. Σε αυτό έγγραφο καταδεικνύεται ο αντίκτυπος της προηγμένης μοντελοποίησης σύμφωνα με το εργαλείο σχεδιασμού. Μια multiservice περίπτωση σχεδιάστηκε και αναλύθηκε. Επιπλέον, κατάδειχθηκε ο αντίκτυπος της ταχύτητας κίνησης των κινητών σταθμών.

Η συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιεί ισχυρή προσέγγιση εφαρμοσμένης μηχανικής, αλλά η σχετικότητά της είναι στη δυνατότητα εφαρμογής των αποτελεσμάτων. Εκτός απ' αυτό, αυτή η περίπτωση καταδεικνύει ότι η νέα μοντελοποίηση, υποστηρίζει πιο ακριβή σχεδιασμό δικτύου WCDMA.. Η επαλήθευση του αντίκτυπου του headroom και του transmit power increase στο QoS κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του ασύρματου δικτύου μελετάται περαιτέρω, μεταξύ άλλων, στο [P4]. Σχετικά με αυτό, η πιο σχετική προσθήκη για αυτή τη εργασία είναι το παράδειγμα σχεδιασμού στην παράγραφο 8.3.2. Τα συμπεράσματα με βάση αυτό το τμήμα είναι:

- Αρχικά, αποδεικνύεται ότι η ταχύτητα κίνησης των κινητών σταθμών, ως ιδιότητα στη διαδικασία σχεδιασμού, ασκεί επίδραση στα αποτελέσματα χωρητικότητας και ποιότητας του σχεδίου του ασύρματου δικτύου. Από άποψη χωρητικότητας, φαίνεται ότι η μικρότερη ταχύτητα των κινητών σταθμών παρέχει καλύτερη ρυθμοαπόδοση (throughput). Κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων πιθανότητας κάλυψης (ποιότητας) ο αντίκτυπος της ταχύτητας των σταθμών είναι αντίθετος. Η



υψηλότερη ταχύτητα μειώνει το απαραίτητο fast fading margin και έτσι η πιθανότητα κάλυψης βελτιώνεται όταν αυξάνεται η ταχύτητα των σταθμών.

- Αφετέρου, η ακριβής μοντελοποίηση της κυκλοφορίας είναι μια νέα πρόκληση για τη φάση σχεδιασμού. Εκτός από τη διανομή κυκλοφορίας και υπηρεσιών πρέπει να μπορεί να υπολογιστεί η διανομή της κινητικότητας των χρηστών στο δίκτυο. Είναι σαφές πως μια τέτοια απαίτηση δεν είναι εφικτή. Επομένως, τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε αυτή τη δημοσίευση υποστηρίζουν την αξίωση ότι ο στατιστικός feedback loop από το δίκτυο, απαιτείται για να υποστηρίξει τον προλειτουργικό σχεδιασμό.

Η δυνατότητα εφαρμογής οριζόντιου - κάθετου (HV) και diversity scheme κεκλιμένης πόλωσης $\pm 45^\circ$ σε σύγκριση με το space diversity, στην λήψη των σταθμών βάσης σε ένα μικρό περιβάλλον κυττάρων, μελετήθηκε στο [P6]. Σύμφωνα με τις μετρήσεις το κεκλιμένο ± 45 polarisation diversity scheme παρέχει το ίδιο κέρδος με το space diversity, με οριζόντιο χωρισμό κεραιών στις περιοχές όπου υπάρχει αφθονία αντανακλαστικών επιφανειών κατά μήκος της πορείας διάδοσης για αλλάξει τη φάση πόλωσης. Τέτοια περιβάλλοντα είναι τα αστικά, το εσωτερικό κτιρίων και οι μικρές περιοχές κυττάρων. Η απόδοση του σχεδίου HV ήταν ελαφρώς χειρότερη από αυτή του παραδοσιακού space diversity scheme. Σε αυτήν την μελέτη μετρήθηκαν επίσης οι τιμές διάκρισης του cross polarisation. Οι αναφερόμενες τιμές κυμαίνονται από 5 έως 15dB, ανάλογα με την κατάσταση του *line of site*. Η μελέτη διεξήχθη στα 1800MHz και κατά συνέπεια τα αποτελέσματα ισχύουν και στην περίπτωση του WCDMA.

Ο κοινός παράγοντας για τα έγγραφα [P7], [P8] και [P9] είναι το γεγονός ότι εισάγονται προηγμένοι μέθοδοι ανάλυσης με βάση τον SOM στην ανάλυση των κυψελοειδών δικτύων. Η κύρια εστίαση του [P9] είναι η επαλήθευση των αποτελεσμάτων ανάλυσης του SOM με παραδοσιακά μέσα προκειμένου να κερδίσουν εμπιστοσύνη οι προηγμένες μέθοδοι.

Το [P7] σχετίζεται με τις μεθόδους που απαιτούνται στη φάση βελτιστοποίησης του δικτύου. Λόγω του υψηλού ποσού δεδομένων, απαιτούνται αποτελεσματικές μέθοδοι συγκέντρωσης δεδομένων από τα δίκτυα WCDMA για τον βέλτιστο έλεγχο τους από το



χειριστή. Σε αυτό το έγγραφο εφαρμόζεται η νωτιαία προσέγγιση. Ο αλγόριθμος SOM (Self Organising Map) είναι σε θέση να εκτελεί συγκέντρωση και απεικόνιση των δεδομένων, και τα δύο σημαντικά χαρακτηριστικά για τους χειριστές στη φάση βελτιστοποίησης.

Η μέθοδος εξετάζεται στα microcellular και macrocellular σενάρια. Από άποψη βελτιστοποίησης του δικτύου, το κύριο εύρημα ήταν στο αποτέλεσμα ομαδοποίησης. Καταδεικνύεται ότι είναι δυνατόν να βρεθούν ομοίως συμπεριφερόμενα κύτταρα (συστάδες), ή κύτταρα (κύτταρα που δυσλειτουργούν) που διαφέρουν μεταξύ τους. Μια τέτοια ομαδοποίηση είναι ευεργετική στη φάση βελτιστοποίησης. Είναι λογικό να υποθεθεί ότι οι παράμετροι μοντελοποίησης του RRM για τα κύτταρα σε μια συστάδα, σε μια βελτιστοποιημένη συνάρτηση του RRM, είναι η ίδια. Φυσικά οι χρησιμοποιούμενες μετρήσεις στη φάση ομαδοποίησης οφείλουν να έχουν σχέση με τις παραμέτρους μοντελοποίησης.

Στο [P8] περιγράφεται η διαδικασία βελτιστοποίησης υψηλού επιπέδου. Στη διαδικασία βελτιστοποίησης προσδιορίζεται μια φάση ανάλυσης. Στη φάση ανάλυσης παρουσιάστηκε μια πρόταση για τη χρήση προηγμένων νωτιαίων μεθόδων. Τα αποτελέσματα που παρήχθησαν από το SOM, ελέγχθηκαν συνδυασμό παραδοσιακών μέσων και γνώσεων ειδικών. Μπορεί να δηλωθεί ότι τα αποτελέσματα παρουσίασαν καλή συμφωνία και έτσι η προτεινόμενη μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί ακίνδυνα στην ανάλυση 3G κυψελοειδών δικτύων. Κάποιος μπορεί να πει, ότι σε αυτή, τη σχετικά απλή περίπτωση, ήταν δυνατό να παραχθεί μια χειρωνακτική εξήγηση για το αυτόματο, βασισμένο στο SOM αποτέλεσμα. Με τη δυνατότητα κατανόησης των αποτελεσμάτων του SOM με παραδοσιακά μέσα, αυξάνεται η εμπιστοσύνη στη νέα ανάλυση και στη δυνατότητα εφαρμογής της στον τομέα των κυψελοειδών δικτύων. Η επίδειξη της εφικτότητας του SOM σε μια εφαρμογή τηλεπικοινωνιών ήταν ένα από τα κύρια κίνητρα σε αυτό το έγγραφο.

Το [P8] αποτελείται από την παραδοσιακή ανάλυση δικτύου WCDMA χρησιμοποιώντας την αναλυτική προσέγγιση, που παρουσιάζεται για παράδειγμα στο [P3], και της χρήσης των στατιστικών αποτελεσμάτων του προσομοιωτή. Μια συνάρτηση κόστους παρήχθη και χρησιμοποιώντας το αποτέλεσμά της, τα καλύτερα (ή τα χειρότερα) κύτταρα ομαδοποιήθηκαν από άποψη απόδοσης. Αυτή η ομαδοποίηση συγκρίθηκε με



αυτή που προτάθηκε από το SOM και παρατηρήθηκαν ομοιότητες, αλλά επίσης δημιουργήθηκε και η ανάγκη για επεξήγηση των διαφορών με τις γνώσεις των ειδικών.

Κατά τη διάρκεια της εργασίας της Jaana Laiho παρατηρήθηκε πως η παραδοσιακή ανάλυση δεν είναι, υπό αυτήν τη μορφή, επαρκής ώστε να παρέχει βελτιστοποιημένη ένδειξη της απόδοσης του δικτύου όπως παρέχει ο SOM. Ένας λόγος για αυτό το γεγονός είναι ότι η πτυχή του χρόνου δεν είναι παρούσα στα στατικά εργαλεία σχεδιασμού. Ο άλλος περιορισμός είναι η έλλειψη πληροφοριών συσχετισμού. Με τα παραδοσιακά μέσα είναι δυνατό να αναλυθεί μια μέτρηση κάθε φορά. Ο συσχετισμός (ή η έλλειψη αυτού) καθορίζεται από τον εμπειρογνώμονα σχεδιασμού, ο οποίος έχει γνώση των αλληλεξαρτήσεων στο δίκτυο. Συσχετισμοί που δεν θεωρούνται κανονικοί βρίσκονται με το χέρι εάν ο αριθμός των μετρήσεων που πρέπει να εξεταστούν είναι μικρός. Εάν ο αριθμός μετρήσεων ήταν σημαντικά υψηλότερος, οι γνώσεις των ειδικών δεν θα μπορούσαν πλέον να βοηθήσουν στη μετάφραση των μεμονωμένων αποτελεσμάτων σε μια συνδυασμένη άποψη της κατάστασης.

Η δύναμη των προηγμένων μεθόδων ανάλυσης είναι το γεγονός ότι πολλαπλά **KPIs** μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση και την ομαδοποίηση των κυττάρων τα οποία είναι εύκολα στην απεικόνιση και κατανόηση. Επιπλέον, με τις προηγμένες μεθόδους που παρουσιάστηκαν είναι δυνατό να απεικονιστεί η απόδοση του δικτύου με νέους τρόπους. Παραδείγματα αυτών ήταν η ανάλυση τάσης και η ομαδοποίηση, συμπεριλαμβανομένων των κανόνων χαρακτηρισμού κάθε συστάδας

Η παραδοσιακή ανάλυση είναι εφικτή κατά τον υπολογισμό της αρχικής απόδοσης του δικτύου. Αυτές οι πληροφορίες είναι ζωτικής σημασίας πριν από τη δημιουργία του δικτύου. Η παραδοσιακή ανάλυση παρέχει τα δεδομένα αναφοράς για την κάλυψη, την ποιότητα και την χωρητικότητα για το δίκτυο που πρόκειται να συγκροτηθεί. Μόλις το δίκτυο τεθεί σε λειτουργία, η αξιολόγηση της απόδοσης πρέπει να γίνει βάσει της ανάλυσης των πραγματικών δεδομένων απόδοσης από το λειτουργικό δίκτυο. Η δυσκολία με αυτή την προσέγγιση είναι το απέραντο ποσό δεδομένων που γίνονται διαθέσιμα. Προηγμένες μέθοδοι ανάλυσης και προσεκτικά επιλεγμένα φίλτρα δεδομένων απαιτούνται για να διευκολύνουν την εργασία αξιολόγησης της απόδοσης

Στο [P9] εισάγονται προηγμένες μέθοδοι ανάλυσης και απεικόνισης για την υποστήριξη των στόχων βελτιστοποίησης και αντιμετώπισης προβλημάτων του χειριστή.



Τα παραδείγματα περιπτώσεων ήταν βασισμένα στο SOM, αλλά μπορούν να εφαρμοστούν και άλλες μέθοδοι νωτιαίας και στατιστικής ανάλυσης. Παρουσιάστηκε ότι, με την εισαγωγή των νωτιαίων αλγορίθμων στην ανάλυση και βελτιστοποίηση του δικτύου, η παραγωγή είναι ιδιαίτερα οπτική και αυτές οι προηγμένες μέθοδοι καθιστούν δυνατό τον ταυτόχρονο χειρισμό πολύ περισσότερων βασικών δεικτών απόδοσης (KPIs) από αυτούς που θα ήταν δυνατόν με παραδοσιακά μέσα. Επιπλέον, κατά τη χρήση της βασισμένης στο SOM ομαδοποίησης, η συμπεριφορά των κυττάρων μπορεί να ταξινομηθεί και ο στόχος βελτιστοποίησης μπορεί να εκτελεσθεί ανά συστάδα, παρά βάσει κάθε κυττάρου ξεχωριστά. Επίσης παρουσιάστηκε μια μέθοδος ανάλυσης τάσης βασισμένη στο SOM που διευκολύνει τη συνέχιση της βελτιστοποίησης των παραμέτρων.



5. ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΧΟΛΙΑ

5.1. Εισαγωγή

Το αντικείμενο της παρούσας ανάλυσης και της εργασίας της Jaana Laiho ήταν η παραγωγή εργαλείων και μεθόδων για την υποστήριξη της διαστασιολόγησης και του σχεδιασμού ενός multi-service δικτύου WCDMA. Επιπλέον, ενδιαφέρουσα ήταν η κατανόηση της σχέσης μεταξύ της φάσης σχεδιασμού του δικτύου και της γενικής απόδοσής του. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η απόδοση του δικτύου εξαρτάται πολύ από την πραγματική κυκλοφορία και τη συμπεριφορά των χρηστών, είναι προφανές ότι η κατάστασή του αλλάζει γρήγορα. Αυτό προκαλεί πρόσθετη πρόκληση για τη φάση σχεδιασμού. Κατά συνέπεια είναι ουσιαστικό να υπάρξει ένας άμεσος feedback loop από το λειτουργικό δίκτυο (από άποψη μετρήσεων απόδοσης) στη συνάρτηση βελτιστοποίησης του συστήματος διαχείρισης του δικτύου. Στην εργασία της Jaana Laiho εισάγονται επίσης μερικά ζητήματα σχετικά με τις αποτελεσματικές συναρτήσεις και διαδικασίες βελτιστοποίησης.

Διακρίνουμε τρία κύριως μέρη στην ανάλυση αυτή: τη μοντελοποίηση και εργαλεία για το σχεδιασμό του ασύρματου δικτύου, τη διαδικασία για τον προλειτουργικό σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση δικτύου για το λειτουργικό δίκτυο.

5.2. Μοντελοποίηση και εργαλεία.

Νέο ζήτημα στην εργασία της Jaana Laiho είναι η μοντελοποίηση των επιδράσεων του γρήγορου ελέγχου ισχύος (*fast power control*) στο διαστασιολογικό και σχεδιαστικό εργαλείο από άποψη *transmit power increase* και *fast fading margin (power control headroom)*. Επιπλέον, μπορεί να ληφθεί υπόψιν στον υπολογισμό της απόδοσης η κατάσταση του soft handover. Η χωρητική-ποιοτική ανταλλαγή ως ένα αποτέλεσμα του soft handover, επισημαίνεται επίσης στο [61]. Αυτή η ανταλλαγή φαίνεται αποτελεσματικά στο uplink και στο downlink με τη μοντελοποίηση που παρουσιάζεται στα [P1], [P4], [P3], [41] και [44]. Η χωρητική-ποιοτική ανταλλαγή είναι ενσωματωμένο χαρακτηριστικό σε ένα συστήματα CDMA και από μια πλευρά παρέχει στους χειριστές τις δυνατότητες, αλλά από την άλλη και προκλήσεις κατά τη διαχείριση των δικτύων από αυτούς.



Η συμβολή της εργασίας της Jaana Laiho από άποψη μοντελοποίησης και εργαλείων είναι η ακόλουθη:

- Βελτίωση της ακρίβειας του προϋπολογισμού ασύρματων συνδέσεων με την εισαγωγή του *power control headroom* (γνωστό επίσης και ως *fast fading margin*)
- Βελτίωση της εξίσωσης φόρτου με την εισαγωγή ενός όρου αύξησης ισχύος εκπομπής.
- Ανάπτυξη της θεωρίας και της μοντελοποίησης ενός εργαλείου σχεδιασμού ικανό για
- Σχεδιασμό multi-service και multi-carrier
- Ενσωματωμένη ανάλυση χωρητικότητας και κάλυψης
- Εύκαμπτες διανομές κυκλοφορίας
- Αντίληψη της συμπεριφοράς των χρηστών(υπηρεσίες και ταχύτητα κινητού σταθμού) μέσω μιας διεπαφής στα εξομοιωμένα ή καταμετρημένα δεδομένα απόδοσης των συνδέσεων.

5.3. Διαδικασία σχεδιασμού του δικτύου.

Στις παρεχόμενες παραπομπές, ο σχεδιασμός του δικτύου προσεγγίζεται από άποψη σχεδιασμού και διαστασιολόγησης για μόνο μία υπηρεσία με εξαίρεση τρεις αναφορές, τις [42] και [60] - [61]. Στο [42] εισάγεται η έννοια της συνολικής εκτίμησης φόρτου με βάση τις συνεισφορές των μεμονωμένων χρηστών, αλλά η ανάλυση επικεντρώνεται μόνο στο uplink. Στο [60] εξετάζεται η αλληλεπίδραση των CDMA υπηρεσιών φωνής στα 8kbps και 13kbps, συζητούνται τα προβλήματα που προκύπτουν από τις διαφορετικές απαιτήσεις σε E_b/N_0 και τα κέρδη επεξεργασίας, αλλά δεν εισάγεται η λύση για τη φάση σχεδιασμού.

Ο προϋπολογισμός συνδέσεων για το downlink (άμεση σύνδεση) που εισάγεται στο [61] υιοθετείται από τον κόσμο του cdmaOne (IS-95) και παρουσιάζεται το πώς χρησιμοποιείται η προτεινόμενη προσέγγιση σε multi-service περιβάλλον. Για τέτοια επίδειξη η απλουστευμένη προσέγγιση χωρίς εκτιμήσεις ορθογωνιότητας και απαιτήσεις χωρητικότητας ή ποιότητας, είναι επαρκής. Για πραγματικά εφαρμοσμένη μηχανική άσκηση, μια ουσιαστική πτυχή είναι το προφίλ καθυστέρησης των καναλιών και ο



αντίκτυπός της στην απόδοση της ορθογωνικότητας. Επιπλέον, με βάση την εμπειρία που αποκτιέται κατά τη διάρκεια αυτής της μελέτης, υποστηρίζεται ότι η επιλεγμένη σειρά κυττάρων του [61] θα ήταν πολύ μεγάλη για τις υπηρεσίες δεδομένων ενός WCDMA, εάν όφειλαν να ικανοποιηθούν ορισμένα κριτήρια QoS. Εφαρμόζοντας τη διαδικασία που περιγράφεται στο [P3] θα μπορούσε να έχει βρεθεί η σωστή σειρά κυττάρων για τις προσομοιώσεις. Οι προσομοιώσεις που πραγματοποιούνται σε ένα λανθασμένα διαστασιολογημένο δίκτυο δεν έχουν καμία πρακτική σχετικότητα. Επομένως όλα τα αποτελέσματα προσομοίωσης που συλλέγονται στην εργασία της Jaana Laiho γίνονται σύμφωνα με τη διαδικασία σχεδιασμού που περιγράφεται στο [P3].

Επιπλέον, σε όλες τις περιπτώσεις που παρουσιάζονται στην εργασία της Jaana Laiho, ενθαρρύνεται το πραγματικό περιβάλλον διάδοσης και η ανομοιόμορφη διανομή κυκλοφορίας. Η ομοιόμορφη διανομή κυκλοφορίας και η ομοιόμορφη διανομή του SIR ανά υπηρεσία είναι δύο πολύ απλοϊκές υποθέσεις. Επομένως σε αυτήν την εργασία έχει γίνει μια κύρια συμβολή ώστε να επιτευχθεί ακριβής μοντελοποίηση σχετικά με τους στόχους SIR των καναλιών κυκλοφορίας και στο uplink και στο downlink. Οι ιδιότητες που ασκούν επίδραση στο SIR (E_b/N_0) είναι:

- Προφίλ καναλιών,
- Ταχύτητα κινητών σταθμών,
- Υπηρεσίες,
- Bit rate,
- Στόχος BLER.

Εκτός από αυτές διαμορφώνονται, η δραστηριότητα και το orthogonality για την υπηρεσία φωνής, οι οποίες είναι συγκεκριμένες για κάθε κινητό σταθμό. Το τελευταίο εξαρτάται από το προφίλ καναλιών που έχει επιλεγεί και τη θέση των κινητών σταθμών (θέση στο κύτταρο).

Στον τομέα της διαδικασίας προλειτουργικού σχεδιασμού η συμβολή της εργασίας της Jaana Laiho είναι η ακόλουθη:

- Ανάπτυξη της διαστασιολογικής μεθοδολογίας για την εκτίμηση της πυκνότητας περιοχής σε multi-service δίκτυα, χρησιμοποιώντας τη μοντελοποίηση του power control headroom, transmit power increase, soft handover και του E_b/N_0 .



Επιπλέον, όλα αυτά τα στοιχεία μοντελοποιούνται ως συνάρτηση της ταχύτητας των τερματικών. Επίσης τα microcells και τα macrocells εξετάζονται χωριστά, εξ' αιτίας του γεγονότος ότι τα πρότυπα διάδοσης και κατ' εκτίμηση τα προφίλ για multipath (κατά συνέπεια και του orthogonality) διαφέρουν.

- Ανάπτυξη της διαδικασίας σχεδιασμού ασύρματου δικτύου για περιβάλλον multi-service συμπεριλαμβανομένης της εκτίμησης πυκνότητας περιοχής, χωρητικότητας και αξιολόγηση κάλυψης για δεδομένες απαιτήσεις συνδυασμού κυκλοφορίας, ποιότητας και περιοχών.
- Ανάλυση των μέσων που θα βελτιώσουν το σχέδιο του δικτύου και κατ' επέκταση το πραγματικό δίκτυο με **MHA**, **diversity**, **sectorisation** και κατάλληλη επιλογή κεραιών.

Η εργασία της Jaana Laiho αποτελείται από εργαλεία και μεθόδους ανάπτυξης για να υποστηρίξει την επέκταση του δικτύου WCDMA από τους χειριστές. Λόγω έλλειψης καταμετρημένων δεδομένων από ενεργό δίκτυο, κάθε ένα από τα παραχθέντα εργαλεία και η μοντελοποίησή τους έχει ελεγχθεί με ένα άλλο εργαλείο με υψηλότερη ανάλυση και ακρίβεια. Μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η προτεινόμενη μοντελοποίηση είναι επαρκής για κάθε φάση διαδικασίας που προορίζεται.

Όποτε η επιχειρησιακή στρατηγική των χειριστών αλλάζει, π.χ εισάγονται νέες υπηρεσίες, αλλάζει η τιμολόγηση, καλύπτονται νέες περιοχές, απαιτείται η υποστήριξη από το σχεδιαστικό εργαλείο, από άποψη επιλογής θέσης περιοχών και ανάλυση αρχικής ποιότητας. Με βάση τα συμπεράσματα αυτής της εργασίας, μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής:

Η προηγμένη μοντελοποίηση που προτείνεται στην εργασία της Jaana Laiho παρέχει πρόσθετη ακρίβεια στη διαστασιολόγηση και τη φάση σχεδιασμού του δικτύου. Αναγνωρίζεται ότι το σχέδιο είναι μόνο ένα στατικό στιγμιότυπο της πιθανής απόδοσης του δικτύου, και η προσομοιωμένη απόδοση συσχετίζεται έντονα με τη μοντελοποίηση της κινητικότητας και της διάδοσης στο σχεδιαστικό εργαλείο. Εκτός από αυτό, υποστηρίζεται ότι η βελτίωση της απόδοσης από τον statistical feedback loop είναι σημαντικά καλύτερη στην περίπτωση ενός καλά σχεδιασμένου και αναλυμένου δικτύου, απ' ότι στην περίπτωση ενός δικτύου όπου το σχέδιο δεν βελτιστοποιείται καθόλου και δεν λαμβάνονται υπόψιν μηχανισμοί ελέγχου παρεμβολών, όπως η κατάλληλη επιλογή



και κλίση των κεραιών και η μοντελοποίηση των σταθμών βάσης. Στην τελευταία περίπτωση η ομαλή εξέλιξη του δικτύου για την υποστήριξη νέων υπηρεσιών είναι περίπλοκη και ο statistical feedback loop χρησιμοποιείται περισσότερο για την αντιμετώπιση προβλημάτων από τη βελτίωση της απόδοσης. Επιπλέον, οι μηχανισμοί διαστασιολόγησης και σχεδιασμού του δικτύου, παρέχουν σημαντικές πληροφορίες στο χειριστή όταν αναλύει τις επιδράσεις των νέων υπηρεσιών στη γενική απόδοση του δικτύου, την επέκταση των περιοχών που παρέχονται οι υπηρεσίες κ.λπ.

5.4. Βελτιστοποίηση για το λειτουργικό δίκτυο.

Στην περίπτωση των δικτύων WCDMA και του multi-service περιβάλλοντος, είναι σημαντικό να υπάρχει η δυνατότητα εναλλαγής μεταξύ offline σχεδιασμού και στατιστικής βελτιστοποίησης όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Η προτεινόμενη τάση είναι η κίνηση από τη βελτιστοποίηση μόνο ενός κυττάρου, στη βελτιστοποίηση συστάδων κυττάρων. Για να επιτευχθεί αυτό, είναι ουσιαστικό να αναπτυχθούν προηγμένες μέθοδοι ανάλυσης για να υποστηρίξουν τους στόχους βελτιστοποίησης των χειριστών. Στην εργασία της Jaana Laiho εισάγεται επίσης η βασισμένη στο SOM υποστήριξη για τη φάση βελτιστοποίησης. Ο πολυδιάστατος χώρος απόδοσης στα μελλοντικά κυψελοειδή δίκτυα αναγκάζει τις παραδοσιακές διαδικασίες σχεδιασμού να δεχθούν σημαντικές αλλαγές. Προκύπτουν πρόσθετες προκλήσεις από το γεγονός ότι στην περίπτωση του WCDMA θα υπάρχουν πολλαπλές υπηρεσίες, διαφοροποίηση πελατών (πελάτες με διαφορετικές προτεραιότητες) και πολλαπλές τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης που πρέπει να ελέγχονται ταυτόχρονα και βέλτιστα, ως μια συγκέντρωση πόρων. Επιπλέον, οι καταστάσεις υψηλού ανταγωνισμού αναγκάζουν τους χειριστές σε γρήγορες αλλαγές στην πρόβλεψη υπηρεσιών. Όλο αυτό θα κινήσει την εστίαση των καθημερινών στόχων των χειριστών από τον offline σχεδιασμό στη γρήγορη αξιολόγηση απόδοσης του δικτύου, στην ανάλυση τάσης και στη βελτιστοποίηση με βάση τις μετρήσεις του δικτύου.

Στον τομέα της βελτιστοποίησης του λειτουργικού δικτύου η συμβολή της εργασίας της Jaana Laiho είναι η εξής:

- Καθορισμός του στόχου βελτιστοποίησης στην περίπτωση του 3G. Εξ' αιτίας του γεγονότος ότι συνυπάρχουν υπηρεσίες πραγματικού (RT) και μη πραγματικού



(NRT) χρόνου, απαιτείται νέος καθορισμός. Στην περίπτωση των τρεχόντων δικτύων τα NRT δεδομένα παρέχονται με βάση το **best effort** και δεν έχουν στόχους για QoS. Με τις υπηρεσίες 3G, το QoS για τις NRT είναι ένα σημαντικό ζήτημα και έτσι η βελτιστοποίηση θα είναι στη μελλοντική πρόβλεψη της χωρητικής-ποιοτικής ανταλλαγής αντί της διαδικασίας βελτίωσης της ποιότητας.

- Εισαγωγή του χάρτη αυτόματης οργάνωσης (SOM) στην ανάλυση του κυψελοειδούς δικτύου.
- Ανάλυση της δυνατότητας εφαρμογής του SOM στο κυψελοειδές δίκτυο WCDMA. Τα κύτταρα στην περιοχή του δικτύου ταξινομήθηκαν βάσει μιας προσέγγισης συνάρτησης κόστους που χρησιμοποιεί αποτελέσματα παραδοσιακής ανάλυσης. Αυτή η παραδοσιακή ταξινόμηση των κυττάρων συγκρίνεται με τη ομαδοποίηση που γίνεται από το SOM. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο συσχετισμός είναι υψηλός, αλλά η παραδοσιακή ανάλυση απαιτεί επίσης τις γνώσεις των ειδικών για να είναι σε θέση να επιτύχει τόσο καλά αποτελέσματα όσο ο SOM.
- Εισαγωγή εφαρμογών βασισμένων στο SOM για την υποστήριξη της διαχείρισης της χωρητικής-ποιοτικής ανταλλαγής στο δίκτυο. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι:
- Η εισαγωγή του TPC headroom στον προϋπολογισμό ασύρματων συνδέσεων φέρνει πρόσθετη αλλαγή 0-4dB στην εκτίμηση του εύρους των κυττάρων. Με το πρότυπο okumura-Hata αυτό σημαίνει 30% αύξηση στο εύρος των κυττάρων, με βασικό path loss 150dB, 1.5m το ύψος κινητών σταθμών και 30m ύψος στους σταθμούς βάσης.
- Η εισαγωγή των επιδράσεων του sectorisation και του όρου transmit power increase στην εξίσωση φόρτου κάνει επίσης διαφορά 30% από άποψη υποστήριξης χρηστών από ένα κύτταρο κατά τη σύγκριση της omni-sectored περίπτωσης με 0dB αύξηση ισχύος εκπομπής και την περίπτωση όπου εφαρμόζονται 3-sectored περιοχές και 2dB αύξηση της ισχύος εκπομπής (μόνο ομιλία, πλήρης δραστηριότητα φωνής, στόχος φόρτου 50%).
- Το power control headroom ασκεί επίσης σημαντική επίδραση στην πιθανότητα κάλυψης. Εάν το δίκτυο έχει σχεδιαστεί για χρήστες που κινούνται με οχήματα, αλλά οι πραγματικοί πελάτες στο δίκτυο είναι συνήθως πεζοί, το slow fading margin μειώνεται 2 με 4dB. Αυτή η μείωση ασκεί άμεση επίδραση στην



πιθανότητα κάλυψης. Εάν η αναμενόμενη πιθανότητα είναι 95%, η πραγματική πιθανότητα με απλούς υπολογισμούς (βάσει του [1]) είναι 88%. Εάν η αρχική απαίτηση ήταν χαμηλότερη και η λογαριθμική σταθερά εξασθένισης μεγαλύτερη (π.χ εσωτερικό κτιρίων), η διαφορά μεταξύ αναμενόμενης και πραγματικής τιμής θα ήταν μεγαλύτερη.

- Η επιλογή του είδους των κεραιών ασκεί ισχυρή επίδραση στη χωρητικότητα του WCDMA, εξ' αιτίας του γεγονότος ότι πολύ μεγάλη επικάλυψη στους τομείς προκαλεί προβλήματα παρεμβολών.
- Εκτός από την επιλογή του είδους, η κλίση των κεραιών είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για έλεγχο των παρεμβολών, ειδικά εάν η περιοχή είναι ψηλά.
- Η κλίση των κεραιών ασκεί ισχυρή επίδραση στην πιθανότητα κάλυψης του WCDMA και καταδεικνύεται μέχρι και 10% διαφορά.
- Η εκτίμηση της πυκνότητας περιοχών βάσει της κυκλοφορίας με οχήματα που κάνει χρήση μόνο της υπηρεσίας φωνής, επιφέρει υποβιβασμό της απόδοσης κάλυψης για τους χαμηλής κινητικότητας χρήστες της υπηρεσίας φωνής και σε όλους τους χρήστες δεδομένων.
- Η πυκνότητα περιοχών οφείλει να καθοριστεί βάσει του συνδυασμού ποιότητας (από άποψη πιθανότητα κάλυψης) και απαίτησης υπηρεσιών, λαμβάνοντας υπόψη τις υποθέσεις των ταχυτήτων των χρηστών στην εν λόγω περιοχή.
- Αντίθετα από την περίπτωση του cdmaOne [45], το downlink μπορεί να είναι ο περιοριστικός κρίκος στην περίπτωση του WCDMA. Αυτό εξαρτάται από τον τύπο των κυττάρων (το προφίλ multipath και κατά συνέπεια το orthogonality), τις υπηρεσίες (Η αναζήτηση στο διαδίκτυο π.χ προκαλεί περισσότερη κυκλοφορία στο downlink) και τις πρακτικές εφαρμογές ελέγχου στο δίκτυο (μέγιστη ισχύς ανά σύνδεση στο κύτταρο). Όλα αυτά τα ζητήματα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη διάρκεια των διαδικασιών σχεδιασμού και βελτιστοποίησης.
- Δεν είναι μόνο τα πολλαπλής πρόσβασης «σχήματα» που βρίσκονται σε φάση επανάστασης όταν προχωράμε προς συστήματα επόμενης γενιάς. Η διαδικασία ελέγχου του δικτύου, αρχίζοντας από την πρώτη διαστασιολόγηση και συνεχίζοντας με την παραμετροποίηση του σχεδιασμού του δικτύου και των λειτουργιών του RRM και πάλι πίσω με το στατιστικό βρόχο συλλογής δεδομένων, είναι επίσης μέρος της επανάστασης.



- Η βελτιστοποίηση για το 3G multi-service περιβάλλον θα είναι διαχείριση της χωρητικής - ποιοτικής ανταλλαγής, με περιοριστικούς παράγοντες να είναι το κόστος της υποδομής του δικτύου και το επιχειρησιακό πλάνο του χειριστή (πολιτική τιμολόγησης).
- Το 3G multi-service περιβάλλον θα χρειαστεί αποτελεσματικά εργαλεία ανάλυσης (όπως ο SOM) για την ομαδοποίηση των κυττάρων. Η βελτιστοποίηση γίνεται ανά συστάδα κυττάρων και όχι ανά κύτταρο. Μια συστάδα κυττάρων αποτελείται από τα κύτταρα που έχουν παρόμοια συμπεριφορά (π.χ παρόμοιο προφίλ κυκλοφορίας) ή παρόμοια συμπτώματα.
- Ο SOM βρίσκει εφαρμογή στην ομαδοποίηση και την ανάλυση των κυττάρων WCDMA.
- Ο SOM παρέχει υψηλής οπτικής αποτελέσματα ανάλυσης για κυψελοειδείς εφαρμογές.
- Το αποτέλεσμα της ομαδοποίησης εξαρτάται από τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση. Θα υπάρξουν διαφορετικές συστάδες κυττάρων για διαφορετικές περιπτώσεις βελτιστοποίησης.



ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η ενοποίηση του συστήματος διαχείρισης του δικτύου και των στατικών προσομοιώσεων ή π.χ των βασισμένων στον SOM προηγμένων μεθόδων για αποτελεσματική πρόβλεψη των παραμέτρων μοντελοποίησης και την εκτίμηση της απόδοσης του δικτύου πριν την παράδοση είναι οι επόμενες προκλήσεις στις περιοχές ανάπτυξης και βελτιστοποίησης του δικτύου.

Ένα παράδειγμα της αποτελεσματικής ενσωμάτωσης των λειτουργιών των σχεδιαστικών εργαλείων στο NMS είναι για παράδειγμα η απεικόνιση των στατιστικών δεδομένων απόδοσης όσον αφορά τις περιοχές κυριαρχίας των κυττάρων. Επιπλέον, οι σχέσεις γειτνίασης μπορούν να παραχθούν απευθείας στο NMS βάσει των συντεταγμένων των σταθμών βάσης και απλών κανόνων απόστασης. Αυτοί οι αρχικοί κατάλογοι μπορούν αυτορυθμιστούν αργότερα βάσει των στατιστικών που συλλέγονται από το ενεργό δίκτυο. Επίσης η κατανομή κώδικα εμπλοκής του WCDMA μπορεί να γίνει στο NMS χωρίς διασύνδεση με εξωτερικά εργαλεία σχεδιασμού. Και τα δύο πρότυπα GSM και WCDMA απαιτούν από τους κινητούς σταθμούς να στέλνουν πίσω στο σύστημα εκθέσεις μετρήσεων. Αυτές οι εκθέσεις περιέχουν πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντισταθμίσουν τις πληροφορίες που παράγονται από το παραδοσιακό σχεδιαστικό εργαλείο, όπως η διάδοση, η πυκνότητα κυκλοφορίας κ.λπ. Κατά τον προσδιορισμό της θέσης των κινητών σταθμών, οι μέθοδοι είναι πλήρως σε λειτουργία, με νέες διαστάσεις στους στόχους βελτιστοποίησης να ανοίγουν.

Οι παραδοσιακοί ρόλοι των εκτός σύνδεσης (offline) εργαλείων σχεδιασμού και των NMS πρέπει να επανεξεταστούν. Αρχικά για να αποφύγουν την παραγωγή χαρακτηριστικών που πραγματικά δεν απαιτούνται και αφετέρου για να παρέχουν αποτελεσματικά συστήματα NMS που είναι ικανά να καλύψουν τις ανάγκες των χειριστών. Επιπλέον, μαζί με την εισαγωγή του κόσμου των κινητών «όλα σε IP», η πρόβλεψη του QoS γίνεται πιο σημαντική για τους χειριστές. Αυτό κατευθύνει τον έλεγχο του δικτύου όλο και περισσότερο από τον έλεγχο πρόσβασης στον έλεγχο υπηρεσιών. Στην πράξη αυτό σημαίνει την αυξημένο επίπεδο διαχωρισμού για το χειριστή και μια νέα εποχή για τη διαχείριση δικτύων.

Η εργασία της Jaana Laiho επικεντρώνεται στις νέες προκλήσεις των δικτύων WCDMA. Επιπλέον, ένα από τα κύρια κίνητρα αυτής της εργασίας είναι η απομάκρυνση



από τον «αναλυτικό» έλεγχο του δικτύου και η ενίσχυση της μοντελοποίησης και των εργαλείων που δίνουν όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική εικόνα της απόδοσης του δικτύου.

Οι λειτουργίες του δικτύου δεν είναι δυνατόν πλέον να θεωρούνται ως μεμονωμένες οντότητες, αλλά πρέπει να εξεταστεί η αλληλεπίδραση τους. Στον αναλυτικό, ιδανικό κόσμο αυτό δεν έχει καμία σχετικότητα, αλλά στον πραγματικό κυψελοειδή κόσμο, η κατανόηση των αλληλεπιδράσεων, των αλγορίθμων και των περιορισμών των στοιχείων του δικτύου, είναι ουσιαστική.

Μπορεί να δηλωθεί ότι η εξέλιξη της ασύρματης πρόσβασης προς την τρίτη γενιά είναι το πρώτο μεγάλο εξελικτικό βήμα μετά τη γέννηση των κυψελοειδών συστημάτων. Το μεγάλο βήμα στη ανάπτυξη της ασύρματης πρόσβασης, το μεγάλο ενδιαφέρον για τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες αναγκάζει επίσης τις διαδικασίες σχεδιασμού και βελτιστοποίησης του δικτύου να βελτιώνονται για να υποστηρίζουν πλήρως τις προσφερθείσες δυνατότητες.

Μετά την επέκταση των 3G δικτύων αναμένονται νέες προκλήσεις. Θα υποστηριχθούν ακόμα υψηλότερα bit rates, με μερικά πιθανώς στα περίπου 2mbps, μερικές αιχμές στα 20mbps και σε ακραίες περιπτώσεις μέχρι 200mbps. Αυτό θα οδηγήσει σε ακόμα μικρότερα κύτταρα, αυτο-σχεδιαστικές δυναμικές τοπολογίες, πλήρη υιοθέτηση του IP, πιο εύκαμπτη χρήση του φάσματος και των άλλων πόρων και χρήση της ακριβούς θέσης των χρηστών. Εντούτοις, εάν οι διαδικασίες ελέγχου του δικτύου σχεδιαστούν προσεκτικά για να υποστηρίξουν το 3G, το βήμα για ευρύτερη ποικιλία τύπων κυττάρων και νέο σύνολο υπηρεσιών θα είναι ομαλό και λιγότερο επαναστατικό από τι αντιμετωπίζουμε μέχρι τώρα όταν κινούμαστε από τα προσανατολισμένα στην ομιλία δίκτυα 2G στον κόσμο των 3G εφαρμογών και υπηρεσιών.



BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ICS Telecom Manual

RADIO NETWORK PLANNING AND OPTIMISATION FOR WCDMA. Thesis for the degree of Doctor of Science in Technology. Jaana Laiho

- [P1] K. Sipilä, J. Laiho-Steffens, M. Jäsberg, A. Wacker, "[Modelling the impact of the fast power control on the WCDMA uplink](#)," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference 1999 spring*, Houston, Texas, May 1999, pp. 1266-1270.
- [P2] A. Wacker, J. Laiho-Steffens, K. Sipilä, M. Jäsberg, "[Static simulator for studying WCDMA radio network planning issues](#)," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference 1999 spring*, Houston, Texas, May 1999, pp. 2436 -2440.
- [P3] J. Laiho, A. Wacker, "[Radio network planning process and methods for WCDMA](#)," *Annals of Telecommunications*, Vol. 56, No. 5-6, Mai/Juin 2001, pp. 317-331.
- [P4] H. Holma, Z. Honkasalo, S. Hämäläinen, J. Laiho, K. Sipilä, A. Wacker, "[Radio network planning](#)," Chapter 8 in H. Holma and A. Toskala (ed.), *WCDMA for UMTS*, John Wiley & Sons, 2001, Revised Edition.
- [P5] J. Laiho-Steffens, A. Wacker, P. Aikio, "[The impact of the radio network planning and site configuration on the WCDMA network capacity and Quality of Service](#)," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference 2000 spring*, Tokyo, Japan, May 2000, pp. 1006-1010.
- [P6] J. Lempiäinen, J. Laiho-Steffens, "[The performance of polarisation diversity schemes at a base station in small/microcells at 1800 MHz](#)," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 47, No. 3, August 1998, pp 1087-1092.
- [P7] K. Raivio, O. Simula, J. Laiho, "[Analysis of mobile radio access network using the selforganizing map](#)," *Proceedings of IEEE International Conference on Data Mining*, San Jose, California, November-December 2001, pp. 457-464.
- [P8] J. Laiho, K. Raivio, P. Lehtimäki, K. Hätönen, O. Simula, "[Advanced Analysis Methods for 3G Cellular Networks](#)", *Report A65, Publications in Computer and Information Science*, Helsinki University of Technology, 2002. Slightly modified version (split to Part I Methods and Part II Applicability of Methods) resubmitted to *IEEE Transactions on Wireless Communications* end 4/2002.



[P9] J. Laiho, M. Kylväjä, A. Höglund, "[Utilization of Advanced Analysis Methods in 3G Networks](#)," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference 2002 spring* Birmingham, Alabama, pp. 726-730.

Πρόσθετες πηγές αναφοράς

- [1] W.C. Jakes, *Microwave Mobile Communications*, IEEE Press, 1974, reprint 1994, p.1.
- [2] W. C. Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications System*, McGraw Hill, 1990, p.5.
- [3] F. Hillebrand, Editor, *GSM and 3G, The Creation of Global Mobile Communication*, John Wiley & Sons Ltd. 2001.
- [4] W. Mohr, R. Becher, "Mobile communications beyond third generation," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference 2000 spring*, vol. 2, May 2000 pp. 654 – 661.
- [5] N. Chandran, M.C. Valenti, "Three generations of cellular wireless systems," *IEEE Potentials*, vol. 20, Issue 1, Feb-March 2001, pp. 32 –35.
- [6] J.E Padgett, C.G Gunther, T. Hattori, "Overview of wireless personal communications"
IEEE Communications Magazine, vol. 33, Issue 1, Jan. 1995 pp. 28 -41
- [7] A. Gamst, R. Beck, R. Simon, E. G. Zinn, "An integrated approach to cellular network planning," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference*, 1985, pp. 21-24.
- [8] A. Gamst, "Remarks on radio network planning," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference*, 1987, pp. 160-165.
- [9] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, K. Fukuda, "Field strength and its variability in the VHF and UHF land mobile service". *Review Electronic Communication Lab.*, 16, No. 9-10 1968, pp. 825-873.
- [10] M. Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-29, no. 3, August 1980, pp. 317-325.



- [11] "Urban Transmission Loss Models for Mobile Radio in the 900 and 1800 MHz Bands," *COST 231, TD(91)73*, September 1991.
- [12] M. Correia (ed.) *Wireless Flexible Personalised Communications, Cost 259, European Cooperation in Mobile Radio Research*, John Wiley and Sons, 2001.
- [13] W. C. Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications System*, McGraw Hill, 1990, p.61.
- [14] W. C. Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications System*, McGraw Hill, 1990, p.194- 199.
- [15] J. Walfisch, H. L. Bertoni, "A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environment". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.36, no.12, December 1988, pp. 1788-1796.
- [16] F. Ikegami, S. Yoshida, T. Takeuchi and M. Umehira, "Propagation Factors Controlling Mean Field Strength on Urban Streets," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-32, No. 8, August 1984, pp. 822-829.
- [17] J.C.S Cheung, M.A. Beach, S.G. Chard, "Propagation measurements to support third generation mobile radio network planning," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference*, 1993, pp. 61 –64.
- [18] C. Willard, T. Rochefolle, C. C. E. Baden, J. C. S Cheung, S. G. Chard, M. A. Beach,.; P. Constantinou, L. Cupido, "Planning tools for mobile networks," *Electronics & Communication Engineering Journal*, vol. 5, Issue 5, Oct. 1993 pp. 309 –314.
- [19] Q. X. Wei, K. Gong; B. X. Gao, "Ray-tracing models and techniques for coverage prediction in urban environments," *Microwave Conference*, vol. 3, 1999, pp. 614 –617.
- [20] D. Erricolo, L. E. Uslenghi, "Two-dimensional simulator for propagation in urban environments," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 50, Issue 4, 2001, pp 1158 –1168.
- [21] P. Daniele, M. Frullone; K. Heiska, G. Riva, C. Carciofi, "Investigation of adaptive 3D microcellular prediction tools starting from real measurements," *Proceedings of IEEE International Conference on Universal Personal Communications*, vol. 1, 1996, pp. 468 – 472.



- [22] Z. Ji, Bin-H. Li, H. X. Wang, H. Y. Chen, T. K. Sarkar, "Efficient ray-tracing methods for propagation prediction for indoor wireless communications," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 43, Issue 2, 2001, pp. 41 –49.
- [23] J. Rajala, J.; K. Sipila, K.; Heiska, K., "Predicting in-building coverage for microcells and small macrocells," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference*, vol. 1, 1999, pp. 180 –184.
- [24] V. Wille, A. King, A. "Microcellular planning based on information from the radio network," *IEE Colloquium on Antennas and Propagation for Future Mobile Communications* (Ref. No. 1998/219), 1998, pp. 8/1 -8/8.
- [25] R. Barco, F.J. Cafiete, L. Diez, R. Ferrer, V. Wille, "Analysis of mobile measurementbased interference matrices in GSM networks, " *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference 2001 Fall*, 2001, pp. 1412 -1416.
- [26] M. Duque-Anton, D. Kunz., B. Ruber, "Channel assignment for cellular radio using simulated annealing". *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 42, Issue 1, Feb. 1993, pp. 14 –21.
- [27] M. Almgren, M. Frodigh, S. Magnusson, K. Wallstedt, "Slow adaptive channel allocation for automatic frequency planning," *5th IEEE International Conference on Universal Personal Communications*, vol. 1, 1996, pp. 260 –264.
- [28] M. Frullone, G. Riva, P. Grazioso, G. Falciaisecca, "Advanced planning criteria for cellular systems". *IEEE Personal Communications*, vol. 3 Issue 6, Dec. 1996, pp. 10 – 15.
- [29] S. Magnusson, H. Olofsson, "Dynamic neighbor cell list planning in a microcellular network" *Proceedings of 6th International Conference on Universal Personal Communications*, vol.1, 1997, pp. 223 –227.
- [30] H. Olofsson, S. Magnusson, M. Almgren, "A concept for dynamic neighbor cell list planning in a cellular system," *Proceedings of International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 1, 1996, pp. 138 –142.
- [31] J. Laiho, A. Wacker, T. Novosad (ed.), *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*, John Wiley & Sons Ltd. 2001, Chapter 10.
- [32] R. Walton, M. Wallace, S. Howard, "CDMA downlink performance issues, " *Proceedings of International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 1, 1998, pp. 308 –312.



- [33] W. Mende, E. Oppermann, L. Heitzer, "Mobile radio network management supported by a planning tool," *Network Operations and Management Symposium*, NOMS 98, vol. 2, 998 pp. 483 –492.
- [34] G. Riva, M. Frullone, C. Passerini, G. Falciasacca, "Impact of the multiple access scheme on optimal site positioning," *Proceedings of International Conference on Universal Personal Communications*, vol. 1, 1998, pp. 547 –551.
- [35] T. Binzer, F. M. Landstorfer, "Radio network planning with neural networks," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference*, vol.2, 2000, pp. 811 –817.
- [36] P. Calegari, F. Guidec, P. Kuonen, D. Wagner, "Genetic approach to radio network optimisation for mobile systems," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference*, vol. 2, 1997, pp. 755 –759.
- [37] J. Laiho, A. Wacker, T. Novosad (ed.), *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*, John Wiley & Sons Ltd. 2001, Chapter 5.
- [38] J. Laiho, A. Wacker, T. Novosad (ed.), *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*, John Wiley & Sons Ltd. 2001, Chapter 3.
- [39] A. Wacker, J. Laiho-Steffens, K. Sipilä, K. Heiska, "The Impact of the Base Station Sectorisation on WCDMA Radio Network Performance," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference 1999 fall*, Amsterdam, Netherlands, September 1999, pp. 2611-2615.
- [40] J. Laiho, A. Wacker, T. Novosad (ed.), *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*, John Wiley & Sons Ltd. 2001, Chapter 7.
- [41] K. Sipilä, Z. Honkasalo, J. Laiho-Steffens, A. Wacker, "Estimation of Capacity and Required Transmission Power of WCDMA Downlink Based on a Downlink Pole Equation," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference 2000 spring*, Tokyo, Japan, May 2000, pp. 1002-1005.
- [42] A. Sampath et al., "Erlang Capacity of a Power Controlled Integrated Voice and Data CDMA System," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference 1997*, May 1997, Phoenix, Arizona, pp. 1557-1561.
- [43] V. M. DaSilva, E. S. Sousa, V. Jovanovic, "Performance of the forward link of a CDMA cellular network," *Proceedings of International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications*, vol.1, 1994, pp. 213 –217.



- [44] K. Sipilä, M. Jäsberg, J. Laiho-Steffens, A. Wacker, "Soft Handover Gains in Fast Power Controlled WCDMA Uplink," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference 1999 spring*, Houston, Texas, May 1999, pp. 1594-1598.
- [45] A. J. Viterbi, *CDMA Principles of Spread Spectrum Communication*, Addison-Wesley, 1995. p. 198.
- [46] J. Shapira, R. Padovani, "Spatial topology and dynamics in CDMA cellular radio," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference*, vol.1, 1992, pp. 213 – 216.
- [47] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J Viterbi, L. A. Weaver Jr.; C. E. Wheatley III, "On the capacity of a cellular CDMA system," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 40, 1991, pp. 303 –312.
- [48] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi, E. Zehavi, "Other-cell interference in cellular powercontrolled CDMA," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 42, Issue 2, 1994, pp. 1501 –1504.
- [49] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi, K. S. Gilhousen, E. Zehavi, "Soft handoff extends CDMA cell coverage and increases reverse link capacity," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.2, 1994, pp. 1281 –1288.
- [50] M. Wallace, R. Walton, "CDMA radio network planning," *Third Annual International Conference on Universal Personal Communications*, 1994, pp. 62 –67.
- [51] H. Stellakis, A. Giordano, "CDMA radio planning and network simulation," *Proceedings of International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 3, 1996, pp. 1160 –1162.
- [52] H. Olofsson, M. Almgren, C. Johansson, M. Hook, F. Kronestedt, "Improved interface between link level and system level simulations applied to GSM," *Proceedings of IEEE 6th International Conference on Universal Personal Communications*, vol.1 1997, pp. 79 – 83.
- [53] U. Rehfuss, K. Ivanov, C. Lueders, "A novel approach of interfacing link and system level simulations with radionetwork planning," *Proceedings of Global Telecommunications Conference*, GLOBECOM 1998, vol. 3, 1503 –1508.
- [54] S. Hämäläinen, H. Holma, K. Sipilä, "Advanced WCDMA Radio Network Simulator," *Proceedings of PIMRC 1999*, Aalborg, Denmark, October 1997, pp. 509-604.



- [55] S. Hämmäläinen, P. Slanina, M. Hartman, A. Lappeteläinen, H. Holma, O. Salonaho, "A Novel Interface Between Link and System Level Simulations," *Proceedings of ACTS Summit 1997*, Aalborg, Denmark, October 1997, pp. 509-604.
- [56] G. Labeledz, R. Love, "A New Time-based Outage Criterion for the Forward and Reverse Links of DS-CDMA Cellular Systems," *IEEE VTSP Proceedings of Vehicular Technology Conference 1998*, 1998, Ottawa, Canada, pp. 2182-2186.
- [57] J. Ylitalo, E. Tiirola, "Performance Evaluation of Different Antenna Array Approaches for 3G CDMA Uplink", *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference 2000 spring*, Tokyo, Japan, May 2000, pp. 883-887.
- [58] *Telecom Operations Map*, GB910, Approved Version 2.1 March 2000, TeleManagementForum.
- [59] *Service Quality Management Business Agreement*, TMF506, Public Evaluation Version 1.5, February 2001, TeleManagementForum.
- [60] J. Ketchum, M. Wallace, R. Walton, "CDMA network deployment of 8 kbps and 13 kbps voice services". *Proceedings of International Conference on Universal Personal Communications*, 1996, pp. 179 –183.
- [61] I. Oppermann, T. Kumpumaki, M. Latva-aho, "Capacity and coverage in mixed traffic 3G CDMA systems," *Proceedings of Sixth International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Application*, 2000, vol.2, pp. 470 –475.
- [62] *SLA Management Handbook*, GB 917, Version 1.5, June 2001, TeleManagementForum.
- [63] J.S.Lee, L.E. Miller, *CDMA Systems engineering handbook*, Artech House Publishers, 1998.
- [64] J. Laiho, A. Wacker, T. Novosad (ed.), *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*, John Wiley & Sons Ltd. 2001, Chapter 9.
- [65] T. Kohonen, *Self-Organising Maps*, Springer- Verlag, Berlin 1995.
- [66] T. Kohonen, "Analysis of processes and large data sets by a self-organizing method," *Proceedings of the Second International Conference on Intelligent Processing and Manufacturing of Materials*, 1999, vol. 1, pp. 27 –36.
- [67] T. Kohonen, E. Oja, O. Simula, A. Visa, J. Kangas, "Engineering applications of the selforganizing map," *Proceedings of the IEEE*, vol. 84, Issue 10 , Oct. 1996, pp. 1358 – 384.



- [68] T. Kohonen, "New developments and applications of self-organizing maps," *Proceedings of International Workshop on Neural Networks for Identification, Control, Robotics, and Signal/Image Processing*, 1996, pp. 164 –172.
- [69] J. Ahola, E. Alhoniemi; O. Simula, "Monitoring industrial processes using the selforganizing map," *Proceedings of the IEEE Midnight-Sun Workshop on Soft Computing Methods in Industrial Applications*, 1999, pp. 22 –27.