



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ

ΧΑΝΙΩΝ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

**ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ
ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ
ΡΑΔΙΟΔΙΚΤΥΟΥ 3G**

ΜΑΝΟΣ ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Β. ΚΟΚΚΙΝΟΣ

ΧΑΝΙΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ, 2005

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
1.1 Συνοπτική παρουσίαση στη Κυψελωτή Ιστορία	16
1.2 Εισαγωγή στο σχεδιασμό στη βελτιστοποίηση ραδιοδικτύου για το UMTS	18
1.3 Μελλοντικές τάσεις	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	27
Εισαγωγή στο WCDMA για το UMTS	
2.1 Μαθηματική ανασκόπηση στα συστήματα CDMA διευρυμένου φάσματος	27
2.1.1 Πολλαπλή Πρόσβαση (Multiple Access)	27
2.1.2 Διαμόρφωση Διευρυμένου Φάσματος	28
2.1.3 Ανοχή στην Παρεμβολή Στενής Ζώνης	29
2.2 Σύστημα της Μεθόδου Διασποράς του Φάσματος Συνεχούς Ακολουθίας	31
2.2.1 Παράδειγμα Διαμόρφωσης	32
2.2.2 Ανοχή στην Παρεμβολή Ευρείας Ζώνης	34
2.2.3 Λειτουργία σε Πολυοδικούς Χώρους	36
2.3 CDMA σε Κυψελωτά Ραδιοδίκτυα	37
2.3.1 Η Γενική Επαναχρησιμοποίηση Συχνότητας	37
2.3.2 Soft Handover-Ομαλή εναλλαγή	37
2.3.3 Έλεγχος Ισχύος	38
2.4 Λογικά, Φυσικά και Κανάλια Μεταφοράς WCDMA	39
2.4.1 Μοντέλο αρχιτεκτονικής UMTS υψηλού - επιπέδου	39
2.4.2 Αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου Radio interface (Ραδιοεπιφάνειας) και τα Λογικά κανάλια.	42
2.4.3 Κανάλια μεταφοράς - Transport Channels	51
2.4.4 Φυσικά Κανάλια και Αντιστοίχιση των Καναλιών Μεταφοράς (FDD).	62
2.4.5 Χρονισμός και Συγχρονισμός στο UTRAN (FDD)	81
2.4.6 Οι γενικές έννοιες της Διεύρυνσης, Scrambling και του channelisation	86
2.5 Δείκτες Απόδοσης Ραδιοζεύξεως στο WCDMA	94

2.5.1 Ορισμοί	95
2.5.2 Ταξινόμηση σχετικά με τις Συνθήκες και τις Υπηρεσίες Πολυοδικού καναλιού	101
2.5.3 Αρχές Προσομοίωσης στο Επίπεδο Ζεύξεως.	104
2.5.4 Μετρήσεις στο Φυσικό Επίπεδο Παρέχοντας τις Μετρήσεις που αφορούν την Επίδοση της Ζεύξεως σε Πραγματικό Δίκτυο	113
Αναφορές	116

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 **118**

Σχεδίαση Ραδιοδικτύου WCDMA

Achim Waker, Joana Laiho και Kimmo Terävä

3.1 Διαστασιοποίηση	120
3.1.1 Συγκεκριμένα Ζητήματα - WCDMA στους Υπολογισμούς της Ραδιοζεύξεως	120
3.1.2 Υπολογισμός της Ευαισθησίας στο Δέκτη	126
3.1.3 Περιθώριο σκίασης και υπολογισμός του κέρδους SHO	126
3.1.4 Υπολογισμός της εμβέλειας κυψέλης και του εμβαδού κάλυψης της κυψέλης	128
3.1.5 Ανάλυση της Χωρητικότητας και της Κάλυψης στη φάση της Αρχικής Σχεδίασης	131
3.1.6 Διαστασιοποίηση RNC	131
3.2 Αναλυτική Σχεδίαση	136
3.2.1 Γενικές απαιτήσεις για ένα εργαλείο RNP	138
3.2.2 Αρχικοποίηση: Ορίζοντας το Σχέδιο του Ραδιοδικτύου	159
3.2.3 Αναλυτικές Επαναλαμβανόμενες Λειτουργίες στο UL και στο DL	166
3.2.4 Υπολογισμοί της Παρεμβολής Γειτονικού Καναλιού	179
3.2.5 Μετ-επεξεργασία (Post-Processing): Πρόβλεψη της Κάλυψης Δικτύου και Ανάλυση του κοινού καναλιού	181
3.3 Επαλήθευση της Διαστασιοποίησης με Στατικές Προσομοιώσεις	185
3.3.1 Σχέδιο Δικτύου με Macrocells	186
3.3.2 Εισαγωγή στον Προσομοιωτή και τις Παραμέτρους Προσομοίωσης	187
3.4 Επαλήθευση του Στατικού Προσομοιωτή με Δυναμικές Προσομοιώσεις	192
3.4.1 Εισαγωγή στο Δυναμικό Προσομοιωτή	194
3.4.2 Αποτελέσματα Σύγκρισης	197

3.5 Βελτιστοποίηση στο Σχέδιο Ραδιοδικτύου	201
3.5.1 Ιδανική Περίπτωση	202
3.5.2 Περίπτωση Shinjuku	207
3.6 Interference in WCDMA Multioperator Environments	213
3.6.1 Εισαγωγή	213
3.6.2. Προσομοιώσεις Περιπτώσεων ACI	220
3.6.3 Οδηγίες για τη Σχεδίαση Ραδιοδικτύου για να Αποφύγουμε την Παρεμβολή ACI.	230
Αναφορές	232

2G	2 nd Generation
3G	3 rd Generation Partnership Project
3GPP	
4G	4 th Generation
8-PSK	8-Phase Shift Keying
A	
AAL2	ATM Adaptation Layer type 2
Abis	GSM Interface BTS-BSC
AC	Admission Control
ACIR	Adjacent Channel Interference
ACK	Adjacent Channel Interference power Ratio
ACLR	ACKnowledgement
ACP	Adjacent Channel Protection
ACS	Adjacent Channel Selectivity
AGCH	Access Grant CHannel
AI	Acquisition Indicator
AICH	Acquisition Indicator Channel
AM	Acknowledged Mode
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
AMR	Adaptive Multi Rate
AP	Access Preamble
AP-AICH	Access Preamble Acquisition Indicator Channel
API	Application Programming Interface
APP	Application Specific functions
ARQ	Automatic Repeat reQuest
AS	Access Slot,Active Set,Access Stratum
ASC	Access Service Class
ASU	AS Update
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AVI	Actual Value Interface
AWGN	Additive White Gaussian Noise
AXC	ATM Cross Connect
B	
B(T)S	Base (Tranceiver) Station
BA	BCCH Allocation
BB	BaseBand
BCC	Base station Colour Code
BCCH	Broadcast Control CHannel
BCH	Broadcast CHannel
BCS	Binary Coded Signalling
BEP	Bit Error Propabilty
BER	Bit Error Rate
BFN	Node B Frame Number
BLER	Block Error Rate
BMC	Broadcast/Multicast Control
BMU	Best-Matching Unit
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BSC	Base Station Controller
BSIC	Base Station Identity Code
BSS	Base Station Subsystem
BTFD	Blind Transport Format Detection
BYE	Session termination

C

C_ID	Cell IDentification
CAPEX	CAPital Expenditure
CC	Call Control,Convolutional Coding
CCCH	Common Control CHannel
CCH	Control CHannel
CCPCH	Common Control Physical CHannel
CCTrCH	Coded Composite Transport CHannel
CD	Collision Detection
CD/CA-ICH	Collision Detection/CHannel Assignment Indicator CHannel
CD-DSMA	Collision Detection-Digital Sence Multiple Access
CDF	Cumulative Distribution/Density Function
CDMA	Code Division Multiple Access
CFN	Connection Frame Number
CGI	Cell Global Identification
CI	Cell Identify
C/I	Carrier-to Interference ratio
CM	Compressed Mode,Configuration Management
CN	Core Network
CNAME	Canonical NAME
COST	European Cooperation in the field of Scientific and Technical research
CP	Control Plane
CPCH	Common Packet CHannel
CPICH	Common Pilot CHannel
CRC	Cyclic Redudancy Check
CRMS	Common Resource Management Server
CRNC	Controllig RNC
CRS	Cell Resource Server
CS	Coding Scheme,Circuit Switched
CSISH	CPCH Status Indicator CHannel
CSW	Circuit SWitched (GPRS terminology)
CTCH	Common Traffic CHannel
CWND	Congestion Window

D

DCA	Dynamic Channel Allocation
DCCH	Dedicated Control CHannel
DCH	Dedicated CHannel
DCN	Dedicated Communication Network
DCR	Drop Call Ratio
DGPS	Different GPS
DHCP	Dynamic Host Client Protocol
DHO	Diversity Handover
DiffServ	Differentiated Services
DL	Downlink
DNS	Domain Name Server
DoA	Direction of Arrival
DOFF	Default OFFset
DPCCH	Dedicated Physical Cotrol CHannel
DPCH	Dedicated Physical CHannel
DPDCH	Dedicated Physical Data CHannel
DQPSK	Differential QPSK
DRNC	Drifting RNC

DRX	Discontinuous Reception
DS	Direct Sequence
DSCH	Downlink Shared CHannel
DSMA-CD	Digital Sence Multiple Access- Collision Detection
DTCH	Dedicated Traffic CHannel
DTX	Discontinuous Transmission
E	
EI	Standard 2Mbps Tranmission Line
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EFR	Enhanced Full Rate
EGPRS	Enhanced GPRS
EIA	Electronic Industry Alliance
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
F	
FACH	Forward Access CHannel
FAUSCH	Fast Uplink Signalling CHannel
FBI	FeedBack Information
FCC	Federal Communications Commission
FCS	Frame Check Sequence
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Connection
FER	Frame Erasure Rate,Frame Error Rate
FH	Frequency Hopping
FIFO	First In First Out
FN	Frame Number
FTP	File Transfer Protocol
G	
G	Geometry factor
GERAN	GSM EDGE RAN
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GIS	Geographical Information System
GMM	GPRS MM
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GoS	Grade of Service
GP	Guard Period
GPiB	General Purpose Interface Bus
GPRS	General Packet Radio System
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communication
GUI	Graphical User Interface
GW	GateWay
H	
HC	Handover Control
HCS	Hierarchical Cell Structure
HD	Harmonic Dirstortion
HHO	Hard HO
HO	Handover
HSCSD	High Speed Cicuit Switched Data
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	HyperText Transfer Protocol

HW	HardWare
I	
ID	IDentifier
IE	Information Element
IEE	The Institution of Electrical Engineers
IEEE	The Institute Of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
IETF	Internet Engineering Task Force
IF-HO	InterFrequency HO
IIP	Input Intercept Point
IMAP	Internet Message Access Protocol
IMD	Intermodulation Dirstortion
IMEI	International Mobile station Equipment Identity
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT	International Mobile Telecommunications
IntServ	Intergrated Services
IP	Internet Protocol
IPv4	IP version 4
IPv6	IP version 6
IR	Incremental Redudancy
IRP	Interface Reference Point
IS	Interim Standard (US)
IS-136	North American TDMA
IS-54	North American TDMA Digital Cellular
IS-95	North American Version of the CDMA Standard
ISCP	Interference Signal Code Power
ISDN	Intergrated Services Digital Network
IS-HO	InterSystem HO
ISP	Intergrated Service Provider
ITU	International Telecommunication Union
Iu	Interconnection point between an RNC and a core network
Iub	Interface between an RNC and a Node B
Iur	Logical interface between two RNCs
J	
JTACS	Japan TACS
K	
Kbps	Kilo bits per second
KPI	Key Perfomance Indicator
Ksps	Kilo symbols per second
L	
L1	OSI Layer 1:Physical Layer
L2	OSI Layer 2:Radio Data Link Layer
L3	OSI Layer 3:Radio Network Layer
LA	Link Adaptation
LAC	Location Area Code
LAN	Location Area Network
LC	Load Conrol
LCS	LoCation-based Services
LDAP	Lightweight Directory Access Protocol
LF	Load Factor
LLC	Logical Link Control
LLOS	Link LOSs
LNA	Low Noise Ampilfier

LoCH	Logical CHannel
LOS	Line Of Sight
LSA	Localised Service Area
M	
MAC	Medium Access Control
MCC	Mobile Country Code
MCL	Minimum Coupling Loss
Mcps	Mega chips per second
MCS	Modulation and Coding Scheme
MDC	Macro Diversity Combining
MEHO	Mobile Evaluated HO
MHA	Mast Head Amplifier
MM	Mobility Management
MMUSIC	Multiparty Multimedia Sesslon Control
MNC	Mobile Network Code
MPLS	Multi-Protocol Label Switching
MRC	Maximal Ratio Combining
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Centre
MT	Mobile Terminal
MTU	Maximum Transfer Unit
N	
N/A	Not Available,Not Applicable
N_PDU	Network level PDU
NAS	Non-Access Stratum
NB	NarrowBand
NBAP	Node B Application Part
NCC	Network Colour Code
NCx	Network Control (NC0,NC1,NC2)
NE	Network Element
NEHO	Network Evaluated HO
NF	Noise Fig.
NLOS	Non-LOS
NM	Network Management
NMS	Network Management System
NMT	Nordic Mobile Telephone
Node B	WCDMA BS
NP	Network Performance
NR	Noise Rise
NRT	Non-Real-Time
NSS	Networking Subsystem
NW	NetWork
O	
OCNS	Other Cell Noise Source
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OH	Okumura-Hata
OPEX	Operating Expenditure
OSF	Operations Systm Functons
OSI	Open Systems Intercnnection
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor

P

PACCH	Packet Associate Control CHannel
PAGCH	Packet Access Grant CHannel
PBCCH	Packet Broadcast Control CHannel
PC	Power Control
PCCCH	Packet Common Control CHannel
PCCH	Paging Control CHannel
P-CCPCH	Primary CCPCH
PCH	Paging CHannel
PCPCH	Physical CPCH
P-CPICH	Primary CPICH
PCS	Personal Communications System
PCU	Packet Control Unit
PDC	Pacific Digital Cellular
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDP	Packet Data Protocol
PDSCH	Physical DSCH
PDTCH	Packet Data Traffic CHannel
PDU	Packet Data Unit
PG	Procesing Gain
PI	Paging Indicator,Performance Indicator
PICH	Paging Indicator CHannel
PLMN	Public Land Mobile Network
PM	Perfomance Management
PN	PseudoNoise
PO	Power Offset
PPCH	Packet Paging CHannel
PPP	Point-to-Point Protocol
PQ	Packet Queuing
PRACH	Physical RACH
PS	Packet Switched,Packet Scheduler,Perfomance Spectrum
PSC	Primary Synchronisation Code
P-SCH	Primary Synchronisation CHannel
PSK	Phase Shift Keying
PSTN	Public Switched Telephone Network
PU	Payload Units

Q

QM	Quality Manager,Quality Management
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature/Quaternary Phase Shift Keying

R

R	Refresh timer
R99	Release 1999
R00	Release 2000
RA	Routing Area,Radio Access
RAB	Radio Access Bearer
RAC	Routing Area Code
RACH	Random Access CHannel
RAKE	special receiver type used in CDMA
RAM	Radio Access Mode
RAN	Radio Access Network
RANAP	Radio Access Network Application Part

RAT	Radio Access Technique
RB	Radio Bearer
RF	Radio Frequency
RFC	(IETF)Request For Comments
RFN	RNC Frame Number
RL	Radio Link
RLB	Radio Link Budget
RLC	Radio Link Control
RLCP	Radio Link Control Protocol
RM	Resource Manager
RMSS	Receiver Maximum Segment Size
RNAS	RAN Access Server
RNC	Radio Network Controller
RNP	Radio Network Planning
RNS	Radio Network Subsystem
RNSAP	Radio Network Subsystem Application Part
RNTI	Radio Network Temporary Identity
ROC	Roll-out Optimised Configuration
RR	Radio Resource,Receiver Report
RRC	Radio Resource Control,Route Raised Cosine
RRM	Radio Resource Management
RRU	Radio Resource Utilisation
RSCP	Receiver Signal Code Power
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RSVP	Received reSerVation Prorocol
RT	Real-Time
RTCP	RTP Control Protocol
RTO	Round-Trip Time Out
RTP	Real-time Transport Protocol
RTT	Round-Trip Time
RTTVAR	Round-Trip Time VARiation
RU	Resource Unit
RWND	Receiver WiNDow
Rx	Receive
RxD	Receive Diversity
S	
SA	Specrum Analyser
SACK	Selective ACK
SAP	Service Access Point
S-CCPCH	Secondary CCPCH
SCH	Synchronnisation CHannel
S-CPICH	Secondary CPICH
SCTP	Stream Control Transmission Protocol
SDCCH	Standalone Dedicated Control CHannel
SDES	Sender DESscription items
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDP	Session Description Protocol
SDU	Service Data Unit
SF	Spreading Factor
SFN	System Frame Number
SGSN	Serving GPRS Support Node
SHO	Soft HO

SIGTRAN	SIGNalling TRANsport
SIM	Subscriber Identity Module
SIP	Session Initiation Protocol
SIR	Signal-TO-Interference Ratio
SLA	Service Level Agreement
SLP	Service Logic Program
SM	Session Management, Service Management
SMG	Special Mobile Group
SMS	Short Message Services
SMSS	Sender Maximum Segment Size
SMTP	Simple Message Transfer Protocol
SNDCP	SubNetwork Dependent Convergence Protocol
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SOM	Self-Organising Maps
SQM	Service Quality Manager
SR	Sender Report
SRB	Signalling RB
SRNC	Serving RNC
SRTT	Smoothed Round-Trip Time
SS	Supplementary Services
SSC	Secondary Synchronisation Code
S-SCH	Secondary SCH
SSDT	Site Selection Diversity Technique
SSRC	Synchronisation Source (identifier)
SSThresh	Slow Start Threshold
STM-1	Synchronous Transport Module-1: an ITU-T-defined SDH physical interface
STTD	For digital transmission in ATM at the rate of 155.22 Mbps Space-Time Transmit Diversity
T	
TI	1.544 Mbps Transmission Link
TACS	Total Access Communication System
TB	Transport Block
TBF	Temporary Block Flow
TBS	Transport Block Set
TC	Transmission Convergence
TCH	Traffic Channel
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TDM	Time Division Multiplex
TDMA	Time Division Multiplex Access
TE	Terminal Equipment
TF	Transport Format
TFC	Transport Format Combination
TFCI	Transport Format Combination Indicator
TFCS	Transport Format Combination Set
TFI	Transport Format Indicator
TFS	Transport Format Set
TIA	Telecommunications Industry Association
TM	Transparent Mode
TMF	TeleManagement Forum
TMN	Telecommunications Management Network
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity

TN	Termination Node
TOM	Telecom Operations Map
TPC	Transmit Power Control
TR	Technical Recommendation
TrCH	Transport CHannel
TRHO	Traffic Reason HO
TRX	Transmit and Receive Unit
TS	Technical Specification
TSG	Technical Specification Group
TSL	TimeSlot
TSTD	Time Switched Transmit Diversity
TTI	Transmission Timing Interval
TU3	Typical Urban 3km/h (standard channel type specified in GSM)
Tx	Transmit
TxIMD	Transmission Intermodulation Distortion
U	
UARF(C)N	UTRA Absolute Radio Frequency (Channel)Number
UDP	User Datagram Protocol
UE	User Equipment
UEP	User Error Protection
UL	UpLink
UM	Unacknowledged Mode
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UP	User Plane
URA	UTRAN Registration Area
USF	Uplink State Flag(s)
UTRA(N)	Universal Terrestrial Radio Access (Network)
Uu	Radio interface between UTRAN and UE
V	
V	Vertical polarisation
VA	Voice Activity (factor)
VBR	Variable Bit Rate
VV	Space diversity with vertical polarised antennas
W	
WAP	Wireless Application Protocol
WB	WideBand
WCDMA	WideBand Code Division Multiple Access
WDP	Wireless Data Protocol
WGS-84	World Geodetic System 84
WI	Walfisch-Ikegami
WLAN	Wireless Local Area Network
WWW	World Wide Web

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Jaana Laiho, Achim Wacker, Thomas Novosad, Peter Muzynski και Wolfgang Steffens.
Από την αναφορά Radio Network Planning and Optimisation for UMTS

1.1 Συνοπτική παρουσίαση στη Κυβελωτή Ιστορία.

Το πρώτο κυβελωτό σύστημα στον κόσμο λειτουργεί στο Τόκιο, Ιαπωνίας, το 1979. Το δίκτυο ήταν έτοιμο προς χρήση από την NTT, γνωστό επίσης ως ένας δυνατός οδηγός για κυβελωτά συστήματα που βασίζονται στο Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA). Το σύστημα χρησιμοποίησε 600 κανάλια διπλής κατεύθυνσης συχνοτήτων 800MHz με διαχωρισμό καναλιών των 25KHz. Ένα άλλο αναλογικό σύστημα στην Ιαπωνία ήταν το JTACS. Κατά τη διάρκεια του 1980 ήταν συνειδητοποιημένο από την άποψη των χρηστών ότι χρειαζόταν ένα απλό air interface για να εξασφαλιστούν οι δυνατότητες περιαγωγής. Η ανάπτυξη μελέτης εγκαινιάστηκε από την Ιαπωνική Κυβέρνηση, και παρουσιάστηκε ένα νέο ψηφιακό σύστημα το Pacific Digital Cellular (PDC) το 1991.

Στο 1981, δύο χρόνια αργότερα από την Ιαπωνία, η κυβελωτή εποχή απλώνεται και στην Ευρώπη. Η βόρεια (Σκανδιναβική) Κινητή Τηλεφωνία άρχισε τις εφαρμογές στη ζώνη συχνοτήτων των 450MHz (το σύστημα NMT-450) στην Σκανδιναβία. Το Σύστημα Επικοινωνίας Πλήρης Πρόσβασης - Total Access Communication System (TACS) ξεκίνησε το 1982 στο Ηνωμένο Βασίλειο, και το επεκταμένο TACS αναπτύχθηκε το 1985. Μεταγενέστερα στη Γερμανία το κυβελωτό σύστημα C-450 παρουσιάστηκε το Σεπτέμβριο του 1985. Έτσι, στο τέλος της δεκαετίας του 1980 η Ευρώπη ήταν εξοπλισμένη με πολλά διαφορετικά κυβελωτά συστήματα που ήταν αδύνατο να λειτουργήσουν. Από τότε ήταν ξεκάθαρο ότι γίνονταν απαρχαιωμένα τα κυβελωτά συστήματα πρώτης γενιάς, αφού η τεχνολογία του ολοκληρωμένου κυκλώματος έχει κάνει τις ψηφιακές συνδέσεις όχι μόνο πρακτικές αλλά επίσης πιο οικονομικές από την αναλογική τεχνολογία. Στις αρχές του 1990 τα ψηφιακά κυβελωτά συστήματα δεύτερης-γενιάς άρχισαν να αναπτύσσονται σε ολόκληρο τον κόσμο. Η Ευρώπη ξεκίνησε πρώτη παρουσιάζοντας το Παγκόσμιο Σύστημα για τις Κινητές Επικοινωνίες - Global System for Mobile communications (GSM). Οι σκοποί του GSM ήταν να εξασφαλίσει ένα απλό ενοποιημένο πρότυπο στην Ευρώπη. Αυτό θα επέτρεπε υπηρεσίες ομιλίας σε ολόκληρη την Ευρώπη μέσω της διεθνούς σύνδεσης επικοινωνίας.

Η κατάσταση στις Ηνωμένες Πολιτείες ήταν κάπως διαφορετική. Τα αναλογικά συστήματα πρώτης-γενιάς υποστηρίχθηκαν μόνο από το πρότυπο του AMPS (Advanced

Mobile Phone System). Εκεί υπήρχαν τρεις τηλεφωνικές γραμμές ανάπτυξης των ψηφιακών κυψελωτών συστημάτων στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το πρώτο ψηφιακό σύστημα, παρουσιάστηκε το 1991, και ήταν το IS-54 (Βορειοαμερικανικό ψηφιακό κυψελωτό TDMA), στο οποίο μια καινούργια έκδοση που υποστήριζε επιπλέον υπηρεσίες (IS-136), παρουσιάστηκε το 1993. Ωστόσο, το IS-95 (cdma One) παρουσιάστηκε το 1993. Και τα δύο από αυτά τα πρότυπα λειτούργησαν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων ως AMPS. Την ίδια εποχή η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών των Ηνωμένων Πολιτειών - Federal Communication Commission (FCC) πούλησε ένα νέο μέρος του φάσματος στη ζώνη των 1.900MHz (PCS). Αυτό επέτρεψε να μπει στην αγορά των Ηνωμένων Πολιτειών.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1990 ο κόσμος των τηλεπικοινωνιών άλλαξε δραματικά για πολλούς τεχνικούς και πολιτικούς λόγους. Η ευρύτατη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας προκάλεσε ριζικές αλλαγές στις υπηρεσίες και στα δίκτυα. Επιπλέον, όσο περνούσε ο χρόνος, ο κόσμος γινόταν μικρότερος, η περιαγωγή στην Ιαπωνία, στην Ευρώπη ή στις Ηνωμένες Πολιτείες δεν είναι πλέον αρκετή, καθώς η παγκοσμιοποίηση απαιτεί παγκόσμιες δυνατότητες στην κυψελωτή τεχνολογία. Επιπλέον ο τρέχων δυνατός οδηγός προς την ασύρματη πρόσβαση στο Internet μέσω κινητών τερματικών προκάλεσε την ανάγκη για ένα διεθνή πρότυπο. Αυτό έγινε γνωστό ως το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών - (Universal Mobile Telecommunications System), ή UMTS.

Αυτά τα δίκτυα τρίτης-γενιάς (3G) αναπτύσσονται ολοκληρώνοντας τα χαρακτηριστικά των τηλεπικοινωνιών και των δικτύων βάση του IP. Τα δίκτυα που στηρίζονται στο Internet Protocol (IP), αρχικώς σχεδιάζονται για να παρέχουν επικοινωνία δεδομένων, φέρουν ρέοντα σήματα τέτοια όπως είναι η φωνή / κίνηση ήχου, θεωρώντας μαζί την περιορισμένη ποιότητα φωνής και μαζί με τις καθυστερήσεις ότι είναι δύσκολο να ελεγχθούν. Τα ερμηνευτικά σχόλια και οι προβλέψεις σχετικά με τις ασύρματες επικοινωνίες ευρείας ζώνης και η ασύρματη πρόσβαση στο Διαδίκτυο καλλιεργούν οράματα των απεριόριστων υπηρεσιών και εφαρμογών που θα είναι διαθέσιμες στον πελάτη, οποτεδήποτε και οπουδήποτε. Οι πελάτες προσδοκούν να μπουν στο Web, να ελέγχουν τα ηλεκτρονικά μηνύματά τους (emails), να διαβιβάσουν (download) αρχεία, να κάνουν κλίσης βιντεοσύσκεψης πραγματικού χρόνου και να εκτελούν μία ποικιλία άλλων εργασιών μέσω ζεύξεων ασύρματης επικοινωνίας. Περιμένουν ένα κοινό interface χρήστη, που θα εξασφαλίσει την πρόσβαση στις ασύρματες ζεύξεις ενώ ψωνίζουν κάποια στιγμή, περιμένουν στο αεροδρόμιο, περπατούν στο κέντρο, δουλεύουν στο γραφείο ή ακόμα κι ενώ οδηγούν στην εθνική οδό.

Η νέα γενιά των κινητών επικοινωνιών είναι επαναστατική όχι μόνο από την άποψη της τεχνολογίας της ραδιοπρόσβασης, και εξίσου ο οδηγός για τις νέες τεχνικές λύσεις δεν είναι

το μόνο κίνητρο για το UMTS. Οι απαιτήσεις προέρχονται από τις καλοδιάθετες απαιτήσεις του πελάτη, τα νέα επιχειρηματικά οράματα, και τις νέες προτεραιότητες στη ζωή.

1.2 Εισαγωγή στη σχεδίαση και στη βελτιστοποίηση ραδιοδικτύου για το UMTS.

Η βιομηχανία των κινητών τηλεπικοινωνιών σε ολόκληρο τον κόσμο αλλάζει γενικώς την προσοχή της από την τεχνολογία δεύτερης-γενιάς ('2G') στην τρίτη-γενιά ('3G') UMTS, αυτό δείχνει ότι, επενδύει στο σχέδιο και τις επινοήσεις δυνατών ασυρμάτων κινητών και δικτύων Internet / Multimedia που στηρίζονται στη μέθοδο ραδιοπρόσβασης WideBand Code Division Multiple Access (WCDMA). Ενώ τα εν χρήση ασύρματα δίκτυα 2G, είναι ιδιαίτερα πάρα πολύ πετυχημένα και τα ευρύτατα εξαπλωμένα παγκοσμίως κυψελωτά σύστημα που βασίζονται στο GSM, θα συνεχίσουν να εξελίσσονται και να φέρνουν τέτοιες ευκολίες όπως είναι οι νέες υπηρεσίες Διαδικτύου πακέτου δεδομένων στην αγορά, και οι σχεδιαστές δικτύου και οι επαγγελματίες των άλλων ασύρματων επικοινωνιών εξοικειώνονται όλο και πιο πολύ με τη ραδιοτεχνολογία του WCDMA και προετοιμάζονται να φτιάξουν και να λανσάρουν δίκτυα 3G υψηλής-ποιότητας. Αυτό το βιβλίο έχει γραφτεί ειδικά γι' αυτούς τους επαγγελματίες μηχανικής RF οι οποίοι χρειάζονται να κατανοήσουν ολοκληρωτικά τις κύριες αρχές στη σχεδίαση και στη βελτιστοποίηση των ραδιοδικτύων WCDMA, αν και αυτό θα αποδειχθεί χρήσιμο για τους υπόλοιπους στη βιομηχανία.

Οι σχεδιαστές ραδιοδικτύου αντιμετωπίζουν συγκεκριμένα ένα πλήθος νέων προκλήσεων, κινούνται από τα γνωστά δίκτυα 2G στα νέα δίκτυα 3G, πολλά από αυτά έχουν σχέση με το πλάνο και σχεδιασμό των πραγματικών ραδιοδικτύων πολλαπλής-υπηρεσίας και πολλά από συγκεκριμένη άποψη την βάση για τη μέθοδο ραδιοπρόσβασης WCDMA.

Σ' αυτό το εισαγωγικό κεφάλαιο εξασφαλίζουμε μία σύντομη περίληψη σε γενικές γραμμές αυτών των προκλήσεων των οποίων θα συζητηθούν κατά πολύ περισσότερο στα ακόλουθα κεφάλαια του βιβλίου.

Προτού εξετάσουμε λεπτομερώς το τι θα είναι πραγματικά καινούργιο (και διαφορετικό) στο WCDMA σε σχέση με το GSM, για παράδειγμα, συνοψίζουμε εδώ μερικά από τα καθορισμένα χαρακτηριστικά των ραδιοδικτύων 3G πολλαπλής - υπηρεσίας θεωρητικής τιμής - ρύθμισης, αδιαφορώντας για την προσωποποίηση του κατά βάση 3G πρωτοκόλλου ραδιοπρόσβασης, τέτοιο όπως είναι το WCDMA ή το EDGE. Από εδώ μπορεί κάποιος να χαρακτηρίσει τις ακόλουθες ιδιότητες της 3G ραδιοπρόσβασης.

- Το υψηλής περιπλοκότητας radio-interface (ραδιοζεύξη - ραδιοεπιφάνεια), χρησιμοποιείται σε μεγάλη ευελιξία κρατώντας και πολυπλέκοντας ένα μεγάλο σύνολο

φωνής, και σε ειδικά δεδομένα, υπηρεσίες, με σταθερό καθώς και μεταβλητό **throughput** (επίδοση μετάδοσης) με διακύμανση από χαμηλούς έως πολύ υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, βασικά μέχρι 2Mbps. Αποδοτική υποστήριξη μεταφοράς κίνησης με IP.

- Κάλυψη κυψέλης και σχεδίαση υπηρεσίας για πολλαπλές υπηρεσίες με μεγάλες διαφορετικές απαιτήσεις bit rate και Qos. Εξαιτίας των μεγάλων διαφορών στο αποτέλεσμα προϋπολογισμού των ραδιοζεύξεων (radiolink), οι σχεδιάσεις της ομοιόμορφης κάλυψης και της χωρητικότητας όπως εφαρμόζονται στα σημερινά αποκλειστικά ραδιοδύκτια - ομιλίας δεν θα μπορούν να επικρατήσουν οικονομικά για υπηρεσίες υψηλών bit rate. Συνεπώς, οι απαιτήσεις κίνησης και οι επιθυμητές τιμές (targets) Qos θα πρέπει να ξεχωρίζουν μεταξύ των διαφόρων υπηρεσιών.
- Ένα μεγάλο κομμάτι εξεζητημένων χαρακτηριστικών και ένα καλό επίπεδο «λειτουργιών» ραδιοσυνδέσεων θα εγγυηθούν μία πολύ μεγάλη φασματική αποδοτικότητα (spectral efficiency) σε ευρεία περιοχή λειτουργικών περιβαλλόντων, από μεγάλες μακροκυψέλες σε μικρά picocells ή κυψέλες εσωτερικού χώρου. Παραδείγματα τέτοιων χαρακτηριστικών είναι ποικίλες μορφές προσαρμογής κωδίκευσης της ραδιοζεύξης ή του throughput, υποστήριξη για προχωρημένη επίδοση βελτιώνοντας τις έννοιες των κεραιών όπως την πολλαπλή εκπομπή (transmission diversity) του Σταθμού Βάσης (BS) για το downlink, και η ικανότητα για μελέτες απόσβεσης της παρεμβολής.
- **Οι αποδοτικοί μέσοι μηχανισμοί παρεμβολής** εύρωστα μπορούν να επιτρέψουν τη λειτουργία σε περιορισμένο περιβάλλον υψηλής-παρεμβολής για να υποστηρίξουν πολύ χαμηλή επαναχρησιμοποίηση συχνότητας, με σκοπό την επίτευξη της υψηλής φασματικής αποδοτικότητας. Αυτό θα απαιτήσει καλή υπεροχή και ανταγωνιστικότητα για μέγιστη απομόνωση μεταξύ των κυψελών με τη βοήθεια της κατάλληλης επιλογής θέσης των BSs, των ανοιγμάτων γωνίας εκπομπής των κεραιών, τις κλίσεις, το προσανατολισμό, κλπ. Η δύσκολη επαναχρησιμοποίηση συχνότητας σε σύζευξη απ' την άλλη μεριά με λειτουργία περιορισμένης παρεμβολής σημαίνει ότι θα παρουσιαστούν αργές επιδράσεις κυψελών.
- Η εκτεταμένη χρήση καλής πρόβλεψης της χωρητικότητας του πακέτου δεδομένων. Οι προσωρινά αχρησιμοποίητοι πόροι θα είναι διαθέσιμοι στις συνδέσεις των πακέτων δεδομένων με έναν ευέλικτο και σωστό τρόπο, ούτως ώστε να βελτιωθεί το συνήθως διακρινόμενο Qos. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τα δίκτυα να λειτουργούν σε μεγαλύτερο **φασματικό φορτίο** συγκρινόμενο με τα σημερινά δίκτυα φωνής. Αυτό το υψηλότερο φορτίο θα έχει ως αποτέλεσμα στο RF φάσμα μεγαλύτερες στάθμες παρεμβολής, απαιτώντας έτσι διαρκώς καλύτερη σχεδίαση RF για να επιτύχουμε μεγαλύτερο αποτέλεσμα. Η τάση αυτή ενισχύεται από σημαντικά έξοδα για την χορήγηση φάσματος,

από τους οποίους μερικοί προμηθευτές ειδικά στην Ευρώπη, πρέπει να αντέξουν οικονομικά για να παρέχουν τις δικές τους 3G υπηρεσίες.

- Τα IP πακέτα υπηρεσιών, με την απεριόριστη δυνατή ζήτησή τους για ραδιοχωρητικότητα μαζί με μία κατανομή ενός πακέτου δεδομένων που είναι βασισμένο στο δίκτυο, και το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα περιορισμού παρεμβολής, θα θέσουν μεγαλύτερη βαρύτητα από ποτέ στην παράταξη των θέσεων των κυψελών πριν και μετά την βελτιστοποίηση, εάν αντιμετωπιστούν τα ικανοποιητικά throughputs των κυψελών και οι επιθυμητές τιμές Qos. Συνεπώς, η προσπάθεια, και το κόστος της φάσης βελτιστοποίησης του ραδιοδικτύου θα επηρεάσουν τα σημερινά δίκτυα 2G στα οποία το βασικό βάρος είναι στο αρχικό σχεδιασμό συχνότητας. Επιπλέον η σύγχρονη πρακτική χρησιμοποίησης του αρκετά διαθέσιμου φάσματος 2G για εξάλειψη των προβλημάτων παρεμβολής από ένα κατάλληλο σχεδιασμό συχνότητας, δεν θα είναι πολύ εφικτό για τις υπηρεσίες υψηλού - επιπέδου, βασιζόμενες σε υψηλή φασματική αποδοτικότητα ή δύσκολη επαναχρησιμοποίηση στο διαθέσιμο φάσμα.
- Για να παρέχουμε τελικά μεγάλη ραδιοχωρητικότητα στα δίκτυα, πρέπει να προσφέρουν αποδοτικά μέσα για λειτουργία δικτύου πολλαπλών 3G υπηρεσιών τα οποία υποστηρίζουν, για παράδειγμα, τα microcells επίπεδα και τρόπους ώστε να διευκολύνεται η κυκλοφορία αποτελεσματικά ανάμεσα σε αυτά τα στρώματα ως κατάλληλα. Αυτό θα απαιτήσει αποτελεσματικούς μηχανισμούς interlayer handover μαζί με την απαιτούμενη διαστασιοποίηση και σχεδιασμό RF των κυψελωτών στρωμάτων.
- Η παρουσίαση και η προώθηση των δικτύων 3G θα είναι πολυδάπανες και θα λάβουν χώρα σε ένα πολύ ανταγωνιστικό χώρο με ώριμα δίκτυα 2G (π.χ. το GSM) τα οποία καθοδηγούν τις προσδοκίες των τελευταίων χρηστών για την διαθεσιμότητα και την ποιότητα των υπηρεσιών. Έτσι οι προμηθευτές υπηρεσιών θα χρησιμοποιήσουν τα υπάρχοντα δίκτυα GSM όσο το δυνατόν περισσότερο. Ο πιο προφανής τρόπος για να το κάνουν αυτό είναι να χρησιμοποιήσουν το αποδεκτό σίγμα του GSM σαν επέκταση κάλυψης του 3G παρέχοντας αρχικά υπηρεσίες 3G μόνο σε περιορισμένες τυπικές αστικές περιοχές, και έτσι βασιζόμενοι σε intersystem handover 3G και GSM για να παρέχουν συνεχόμενη κάλυψη βασικών υπηρεσιών. Έτσι θα είναι σημαντικό για τους προμηθευτές υπηρεσιών 3G να εφαρμόσουν το handover 3G στις κυψέλες GSM για να επιταχύνουν την προώθηση 3G και να ελαχιστοποιήσουν τα έξοδα τοποθέτησης του δικτύου. Αυτό θα απαιτήσει μεθόδους σχεδίασης RF οι οποίες επιτρέπουν την άρθρωση κάλυψης 2G-3G και την χωρητικότητα κάλυψης, δηλαδή κάποιο βαθμό ενσωμάτωσης εργαλείων και των μεθόδων που χρησιμοποιούνται.

- Μια άλλη πολύ σημαντική πτυχή είναι η πιθανότητα των θέσεων 3G με τις υπάρχουσες θέσεις 2G, οι οποίες μειώνουν τα γενικά έξοδα κατά τη διάρκεια απόκτησης και διατήρησης της θέσης του σταθμού βάσης. Παρόλα αυτά μία τέτοια συνύπαρξη θέτει έναν αριθμό θεμάτων τα οποία πρέπει να μελετήσει ο σχεδιαστής ραδιοδικτύων. Θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές λύσεις κεραιών; Θα μπορούσε η ποιότητα RF του δικτύου 2G να συναντήσει αποδεκτά επίπεδα για τις επιθυμητές τιμές (targets) της ποιότητας 3G ή θα πρέπει να υπάρχει μία προηγούμενη φάση βελτίωσης για τις τοποθεσίες 2G; Θα πρέπει να υπάρχουν άλλοι περιορισμοί στην επαναχρησιμοποίηση τοποθεσίας (δικτύου) όπως ο χώρος προστασίας (κυψελών); Υπάρχουν πιθανά προβλήματα σχετικά με την παρεμβολή στην συνύπαρξη; κ.ο.κ. Πάλι θα καταστεί αναγκαία μία ολοκληρωμένη προσέγγιση η οποία αναγνωρίζει την από κοινού λειτουργία του 3G με το 2G από μία πολύπλευρη προοπτική, με στόχο να πετύχει ένα ικανοποιητικό ποσοστό κόστους / επίδοσης και για τα δύο συστήματα τα οποία λειτουργούν ταυτόχρονα.

Μια οποιαδήποτε γενική μέθοδος ραδιοπρόσβασης (TDMA, FDMA, OFDM, κλπ) η οποία είναι σχεδιασμένη για λειτουργία υψηλής φασματικής αποδοτικότητας για να αντιμετωπίσει τις παραπάνω ανάγκες των υπηρεσιών 3G θα αντιμετώπιζε τα παραπάνω θέματα τα οποία δείχνουν ότι οι περισσότερες από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζονται από τους σχεδιαστές δικτύων στο να κινηθούν προς την τρίτη γενιά (3G) προέρχονται από τον χειρισμό ολοκληρωμένων πολλαπλών υπηρεσιών, ένα σύστημα πολλαπλών δεδομένων τα οποίο παρέχει στους χρήστες σε ζήτηση την χωρητικότητα bit rate, αντί για την κυριαρχία του ραδιοπρωτοκόλλου, WCDMA.

Ποιες είναι λοιπόν οι προκλήσεις της σχεδίασης ραδιοδικτύου, ειδικά για το WCDMA; Προφανώς υπάρχουν πολλές λεπτομερείς διαφορές ανάμεσα στο WCDMA και στο GSM όσον αφορά, για παράδειγμα, τις παραμέτρους των ραδιοδικτύων, ας κοιτάξουμε όμως τις πιο θεμελιώδεις διαφορές.

- **Σχεδίαση του soft(er) handover overhead***. Το soft handover είναι ένα χαρακτηριστικό ειδικά στα συστήματα WCDMA όπως, τα συστήματα βασισμένα στο IS-95 ή όπως στην περίπτωση του WCDMA. Παρόλα αυτά μια πιο προσεκτική μελέτη αποκαλύπτει ότι η ελαχιστοποίηση των εξόδων του soft-handover σχετίζεται έντονα με την εγκατάσταση κυριαρχίας κυψελών την οποία έχουμε ήδη εντοπίσει γενικά ως επιθυμητή για τη σωστή ωρίμανση των συστημάτων 2G. Συνεπώς ο σχεδιασμός του soft-handover overhead δεν απαιτεί καμία καινούργια ικανότητα ή εργαλεία, αλλά προσκόλληση στις πρακτικές

* (ομαλή (-ότερη) εναλλαγή)

σχεδίασης ενός καλού ραδιοδικτύου οι οποίες είναι ήδη γνωστές από τα σημερινά συστήματα.

- **Κυριαρχία και απομόνωση κυψελών.** Αυτές θα γίνουν σχετικά πιο σημαντικές στο WCDMA παρά στη δεύτερη γενιά (2G) εξαιτίας της επαναχρησιμοποίησης συχνότητας being 1 στο WCDMA (σε άλλα συστήματα είναι μεγαλύτερη) και της κοντινής σύζευξης των αμοιβαία παρεμβαλλόμενων κοντινών κυψελών.

Το WCDMA είναι διαφορετικό, και φυσικά με πιο πολλές κυψέλες / μέρη απ' ότι το GSM. Αυτό συγκεκριμένα είναι σχετικό όταν επιχειρείται ο συσχετισμός 2G - 3G και ο διαχωρισμός των κεραιών.

- **Ευπάθεια στην εξωτερική παρεμβολή,** παράδειγμα, διαρροή παρεμβολής από γειτονικά φέροντα (σήματα) που χρησιμοποιούνται σε άλλα συστήματα ή παρόμοια παρεμβολή μεταξύ διαφορετικών επιπέδων κυψελών WCDMA. Πάλι, αυτό το ζήτημα δεν είναι τόσο σαφές στο WCDMA, αλλά έχει αυξηθεί η σημασία του δραματικά: με λειτουργία εύρους στα 5MHz, ένα μόνο φέρον WCDMA μπορεί να καταναλώσει τόσο όσο με 20%-50% του διαθέσιμου φάσματος ενός προμηθευτή υπηρεσίας. Οποιαδήποτε συνεχόμενη διαρροή παρεμβολής σε WCDMA φέρον και απενεργοποίηση των δεκτών θα έχει κατά πολύ περισσότερο δραματικό αποτέλεσμα στην ποιότητα των υπηρεσιών από τα σημερινά συστήματα 2G στενής ζώνης (narrowband).

Σε αυτή την εισαγωγή έχουμε πάρει μία γενική άποψη για το WCDMA. Συνοψίζοντας μπορούμε να δούμε νέες προκλήσεις και σίγουρα περισσότερες νέες λεπτομέρειες που πρέπει να μελετήσει ο σχεδιαστής όταν σχεδιάζει δίκτυα WCDMA. Παρόλα αυτά δεν ξέρουμε πολλά για τη σχεδίαση WCDMA: απλά απαιτεί καλές μεθόδους σχεδίασης από τα σημερινά σύγχρονα ασύρματα συστήματα που αναγνωρίζονται και εφαρμόζονται σε επακόλουθο και πειθαρχημένο τρόπο.

Αλλά που ακριβώς ταιριάζει η σχεδίαση και η βελτιστοποίηση ραδιοδικτύου σε όλη την επιχειρηματική ιδέα του κινητού δικτύου UMTS; Από την άποψη της τεχνολογικής πείρας, τα κινητά δίκτυα αντιπροσωπεύουν μία μεγάλη επένδυση στους ανθρώπινους πόρους. Αυτό θα αληθέψει πιο πολύ για τα δίκτυα 3G. Ωστόσο τα κινητά δίκτυα δεν είναι μόνο τεχνολογικά αναπτυγμένα, αλλά η τεχνολογία πρέπει να είναι καλά οργανωμένη να αντιμετωπίσει απαιτητική κάλυψη, ποιότητα, κίνηση και οικονομικές ανάγκες. Οι χειριστές φυσικά προσδοκούν να μεγιστοποιήσουν τις οικονομικές αποδόσεις από τις επενδύσεις τους στην υποδομή του δικτύου, με άλλα λόγια, από κεφαλαιουχικά έξοδα (CAPEX). Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε δύο σημαντικές πλευρές της επίδοσης δικτύου – σχεδίαση και βελτιστοποίηση.

Οποιοδήποτε δίκτυο πρέπει να είναι σχεδιασμένο και βελτιστοποιημένο. Σε τι βαθμό εξαρτάται συνολικά η οικονομική κλίμακα, η βελτιστοποίηση δικτύου είναι πολύ ευκολότερη και πιο αποδοτική εάν το δίκτυο είναι ήδη αρχικώς καλά σχεδιασμένο. Ένα φτωχό πλάνο δικτύου θα μπορέσει δύσκολα να βελτιστοποιήσει ή να αντιμετωπίσει μακροπρόθεσμες επιχειρηματικές ή τεχνικές προσδοκίες. Η βελτιστοποίηση είναι μία συνεχόμενη διαδικασία που είναι μέρος των διαχειριζόμενων δαπανών ενός δικτύου, με άλλα λόγια οι δαπάνες χειρισμού Operational Expenditure (OPEX). Ωστόσο η ιδέα του ιδιοσυντονισμού (βλ. Κεφάλαιο 10) προσφέρει νέες ευκαιρίες για επίδοση της διαδικασίας βελτιστοποίησης γρήγορα και αποτελεσματική συμβολή από την OPEX, θέλοντας να μεγιστοποιήσει τα έσοδα δικτύων.

Οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας αντιμετωπίζουν τις παρακάτω προκλήσεις στο σχεδιασμό δικτύων 3G:

- Σχεδίαση δε σημαίνει αντιμετώπιση μόνο των ισχυόντων μέτρων και απαιτήσεων, αλλά και συμμόρφωση με τις μελλοντικές ανάγκες εννοώντας μια αποδεκτή πορεία ανάπτυξης.
- Υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα για μελλοντική αύξηση κίνησης και τα αναμενόμενα ποσοστά των διαφορετικών ειδών κινήσεις και ρυθμούς δεδομένων.
- Η σχεδίαση του δικτύου αντιμετωπίζει πραγματικούς περιορισμούς. Οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας των υπαρχόντων σχεδίων ίσως πρέπει να συνδυάσουν μελλοντικές θέσεις των σταθμών βάσης για οικονομικούς, τεχνικούς ή σχεδιαστικούς λόγους. Οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας green-field υπόκειται σε όλο και περισσότερες περιβαλλοντικές μελέτες και γεωλογικές μελέτες στην απόκτηση καινούργιων θέσεων των BSs.
- Γενικά όλα τα συστήματα 3G δείχνουν μία ειδική σχέση ανάμεσα στην χωρητικότητα και την κάλυψη, έτσι η ίδια η διαδικασία σχεδίασης εξαρτάται όχι μόνο στην διάδοση αλλά και στο φορτίο κυψελών. Συνεπώς τα αποτελέσματα της σχεδίασης δικτύου είναι ευπαθή στις απαιτήσεις χωρητικότητας, τα οποία κάνουν την διαδικασία πιο δύσκολη. Έτσι, οι θέσεις των BSs θα έπρεπε να εκλέγονται βάσει ανάλυσης δικτύου με το σχεδιασμένο φορτίο και τη βοήθεια κίνησης / υπηρεσιών.

Αυτό απαιτεί περισσότερη ανάλυση με τα βοηθήματα σχεδιασμού και άμεσες πληροφορίες από το δίκτυο χειρισμού. Η επανάσταση 3G αναγκάζει τους χρήστες να εγκαταλείψουν τη φιλοσοφία σύμφωνα με την οποία πρώτα έρχεται η κάλυψη και μετά η χωρητικότητα. Επιπλέον εξαιτίας των πιθανοτήτων της αμοιβαίας παρεμβολής οι θέσεις των BSs πρέπει να επιλέγονται ανά τμήματα. Αυτό το γεγονός θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στη σχεδίαση και στη βελτιστοποίηση.

1.3 Μελλοντικές τάσεις

Αν και τα συστήματα τηλεπικοινωνιών 3G είναι ακόμα υπό ανάπτυξη και όχι ακόμα σε διαδεδομένη λειτουργία στον κόσμο, δεν είναι δυνατόν να μένουν στάσιμα. Στη σύγχρονη ταχύρυθμη κοινωνία πληροφοριών απαιτείται η συνεχής βελτίωση. Αυτή απευθύνεται και στα ίδια τα συστήματα 3G τα οποία έχουν ήδη εξελιχθεί πολύ περισσότερο από τα πρώτα συστήματα τέτοιου είδους, όσον αφορά τις υπηρεσίες και τις χωρητικότητες. Αν και τα αναλυτικά βήματα στην εξέλιξή τους είναι ακόμα ασαφή, αφού στην 3GPP R99 είναι ακόμα ορατές κάποιες μακροπρόθεσμες τάσεις. Μια βασική αλλαγή θα διαχωρίζει τελείως λιγότερο ή περισσότερο το user plane (επίπεδο χρήστη) από το control plane (επίπεδο ελέγχου) αλλάζοντας όλο και περισσότερο από circuit switched (μεταγωγή κυκλώματος) στο packet switched (μεταγωγή πακέτου). Ως αποτέλεσμα όλο το δίκτυο καθίσταται έτοιμο να βασιστεί τελείως σε τεχνολογία IP (Internet Protocol). Η τεχνολογία πρόσβασης ενός δικτύου και μεταφοράς πληροφοριών θα γίνει λιγότερο σημαντική αλλά θα δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στις υπηρεσίες και την ποιότητά τους. Οι χρήστες δεν θα γνωρίζουν πλέον ποια τεχνολογία πρόσβασης χρησιμοποιούν - θα ζητούν μόνο μία υπηρεσία και το δίκτυο θα αποφασίζει κάθε φορά ποια τεχνολογία να παρέχει (GSM / EDGE, CDMA 2000, WCDMA, WLAN, DVB, κλπ).

Και τι ακολουθεί μετά την 3G; Προφανώς η τέταρτη γενιά 4G - αλλά κανένας ακόμη δεν ξέρει τι θα περιλαμβάνει! Ευτυχώς φαίνεται να υπάρχει ακόμα κάποια ομοφωνία στα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου συστήματος. Ακόμα μεγαλύτερα bit rates θα υποστηρίζονται, κατά μέσο όρο από 2Mbps έως 20Mbps και σε υπερβολικές περιπτώσεις μέχρι τα 200Mbps. Αλλά ίσως πιο σημαντικό από το bit rate θα είναι οι δυνατότητες πέρα από τα τωρινά συστήματα, τα οποία θεωρητικά περιλαμβάνουν ακόμα μικρότερες κυψέλες, δυναμικές τεχνολογίες αυτοσχεδίασης, πλήρη ενσωμάτωση του IP, πιο ευέλικτη χρήση του φάσματος και άλλων πόρων, και χρησιμοποίηση της ακριβής χρήσης του χρήστη. Ίσως πιο πιθανό από ένα τελείως καινούργιο air interface (αν και το OFDM φαίνεται να είναι ακόμα πιο ευέλικτο στρώμα με μεγαλύτερο εύρος ζώνης) (π.χ. 20-100MHz). Η ποιότητα των υπηρεσιών για τους τελικούς χρήστες θα παίζει έναν πιο σημαντικό ρόλο έτσι ώστε ακόμα και η διαχείριση των ραδιοπόρων, για παράδειγμα, τα intersystem handovers μπορεί να βασίζονται π.χ. στην αλλαγή των αναγκών ποιότητας ή στην ανταλλαγή υπηρεσιών κατά τη διάρκεια μιας επικοινωνίας.

Όσο για τις τάσεις στις υπηρεσίες, θα γίνει όλο και πιο σημαντικό να παραδίδονται οι σωστές πληροφορίες στο σωστό τόπο και χρόνο. Το περιεχόμενο και οι εφαρμογές γίνονται πολύ σημαντικές.

Οι υπηρεσίες LCS (LoCation-based Services) καθιστούν δυνατό ένα σύνολο καινούργιων εφαρμογών και συμπληρώνουν πολλές υπάρχουσες εφαρμογές σε μία καινούργια διάσταση. Πιστεύεται ότι πολλές υπηρεσίες θα υπάρχουν ταυτόχρονα σε διαφορετικούς χώρους και με διαφορετικές προτάσεις.

Ο κινητός κόσμος είναι μεγάλος και έχει πολλά πρόσωπα, το καθένα με τις δικές του απαιτήσεις. Κατά συνέπεια, υπάρχει ανάγκη για το σωστό καταμερισμό αγοράς για να ταιριάζει τις υπηρεσίες, τα έξοδα και τις ταυτότητες του χρήστη. Οι υπηρεσίες LCS προσθέτουν αξία στους χρήστες αλλά επίσης και σε πολλούς τρίτους. Κάποιος θα μπορούσε να κατηγοριοποιήσει τους χρήστες σε εμπορικούς χρήστες, ιδιωτικούς χρήστες, ιδιωτικούς με αυξημένες ανάγκες και στις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας.

Οι εμπορικοί χρήστες, όπως οι εταιρείες μεταφορών και τα ΤΑΞΙ θα βρουν ιδιαίτερα ωφέλιμες τις καινούργιες υπηρεσίες. Η διαχείριση ενός Στόλου θα μπορούσε να θεωρηθεί ως πρωταρχική εφαρμογή, ενώ η εύρεση δρομολογίου θα απαιτούσε ένα υψηλότερο επίπεδο ποιότητας. Η επιπλέον επένδυση σε κινητά τηλέφωνα τελευταίας - τεχνολογίας θα μπορούσε να δικαιολογηθεί για την βελτίωση αποδοτικότητας χειρισμού. Για τους περισσότερους ιδιωτικούς χρήστες οι προσωπικές εφαρμογές είναι πιο σημαντικές, όπως *fried finder* κλήσης σε διακοπτικό τηλεφωνικό σύστημα) και ο κίτρινος Τύπος. Οι υπηρεσίες LoCation-based Services βοηθούν τους χρήστες να λάβουν τις απαντήσεις στις ερωτήσεις τους γρήγορα και άμεσα με τις ακριβείς σωστές πληροφορίες τοποθεσίας. Οι χρήστες είναι γενικά επιρρεπείς σε έξοδα κινητών τηλεφώνων και θα επωφεληθούν από πιο αποτελεσματικές υπηρεσίες.

Υπάρχουν επίσης ιδιωτικοί χρήστες που έχουν πιο ειδικές ανάγκες και απαιτούν πληρέστερες και πιο ακριβείς πληροφορίες τοποθεσίας μαζί με βασικές υπηρεσίες. Απαιτούν υψηλότερη ποιότητα υπηρεσιών παρόμοια με αυτή που ένας εμπορικός χρήστης θα απαιτούσε, οι υπηρεσίες LoCation-based Services θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν πλοήγηση για ανθρώπους εν κινήσει, οι οποίοι απαιτούν άμεση και γρήγορη άντληση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων, όπως χάρτες και σχέδια οδών.

Οι διαφορετικές τοποθεσίες έχουν διαφορετικά όρια. Για παράδειγμα, σε ένα αστικό περιβάλλον οι αστικές μέθοδοι τοποθεσίας είναι αρκετά ακριβείς εξαιτίας του μικρού μεγέθους των κυψελών. Ο κινητός χρήστης θα μπορούσε να βρεθεί με προβλέψιμη ακρίβεια, η οποία θα μπορούσε να θεωρηθεί δεδομένη λαμβάνοντας υπ' όψιν την απόσταση κίνησης ενός ατόμου. Εδώ η ποιότητα του περιεχομένου φαίνεται να είναι πιο σημαντική. Τέτοια υψηλή ακρίβεια ίσως να μην θεωρείται τόσο απαραίτητη από τους χρήστες σε αγροτικές περιοχές. Από την άλλη πλευρά υπάρχουν εφαρμογές, όπως η ναυσιπλοΐα και οι υπηρεσίες διάσωσης που απαιτούν ακριβώς την ίδια ακρίβεια τοποθεσίας, ανεξαρτήτου γεωγραφικής περιοχής.

Πολλές υπηρεσίες βασισμένες στην τοποθεσία είναι ήδη εφικτές σήμερα με την προϋπόθεση ότι η τοποθεσία εισάγεται χειροκίνητα. Η βελτίωση τέτοιων υπηρεσιών με αυτόματη τοποθεσία από το δίκτυο θα προσθέσει αξία για πολλούς ενδιαφερόμενους. Στο τέλος η αγορά θα αποφασίσει για την κερδοφορία των υπηρεσιών και για το ποιες μέθοδοι τοποθεσίας θα επιτύχουν. Υπηρεσίες Location-based Services βρίσκονται καθοδόν, όπως και πολλές άλλες εφαρμογές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Εισαγωγή στο WCDMA για το UMTS.

Tomas Novosad, David Soldani, Kari Sipilä και Tero Kola. Από την αναφορά Radio Network Planning and Optimisation for UMTS

2.1 Μαθηματική ανασκόπηση στα συστήματα CDMA διευρυμένου φάσματος.

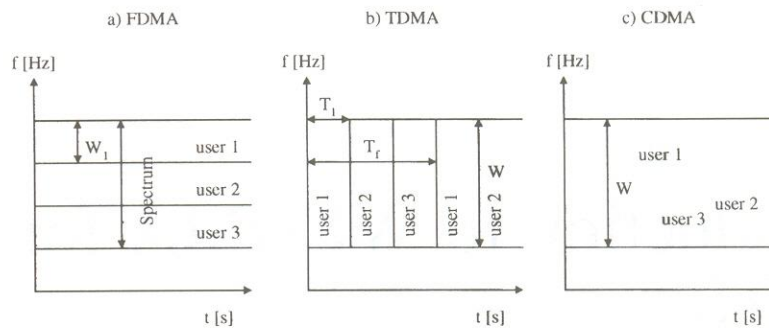
Αυτή η παράγραφος περιγράφει τις γενικές ιδιότητες της Μεθόδου της Κωδικομεριστικής Πολυπλεξίας Συνεχούς Ακολουθίας (Ευθείας), Direct Sequence Code Division Multiple Access (DS-CDMA), μαζί με τις φυσικές αρχές. Από τότε που το θέμα αυτό ήταν υπό μελέτη και εξέταση για περίπου 70 χρόνια, έχει γίνει ένα από τα πιο κλασσικά θέματα στη θεωρία των επικοινωνιών, η οποία καλύπτεται από πολλά βιβλία. Ίσως υπάρχουν μερικές λεπτομέρειες στην αναφορά [27] ή [30]. Μια κλασσική αναφορά για τα συστήματα διευρυμένου φάσματος είναι στην αναφορά [31], η οποία περιέχει ένα τμήμα στην εξέλιξη από το 1930.

2.1.1 Πολλαπλή Πρόσβαση (Multiple Access).

Μία κυψέλη σε ένα κυψελωτό ραδιοδίκτυο μπορεί να φανεί σαν ένα σύστημα επικοινωνίας πολλαπλού - χρήστη, στο οποίο ένας μεγάλος αριθμός χρηστών μοιράζουν έναν κοινό φυσικό πόρο για να εκπέμψουν και να λάβουν πληροφορία. Ο πόρος στην κυψέλη είναι μία ζώνη συχνοτήτων στο ραδιοφάσμα. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές τεχνικές στις οποίες οι πολλαπλοί χρήστες θα μπορούσαν να στείλουν την πληροφορία μέσω ενός κοινού καναλιού στο δέκτη, βλ. Σχήμα 2.1. Οι χρήστες ίσως υποδιαιρέσουν το διαθέσιμο φάσμα σε έναν αριθμό, N , non-overlapping (μη επικάλυψης - η χρονική διάρκεια που γίνονται δύο λειτουργίες ταυτόχρονα) ή ελαφριάς επικάλυψης, υποκαναλιών. Αυτή η μέθοδος καλείται FDMA (Frequency Division Multiple Access). Άλλη μέθοδος για να δημιουργήσουμε πολλαπλά υποκανάλια είναι να διαιρέσουμε την διάρκεια της περιόδου χρόνου σε έναν αριθμό μη επικαλυπτόμενων υποδιαστημάτων, το καθένα διάρκειας T_f/N . Αυτή η μέθοδος καλείται TDMA (Πολυπλεξία στο χρόνο - Time Division Multiple Access).

Στο FDMA και στο TDMA το κοινό κανάλι χωρίζεται σε ορθογωνικά υποκανάλια ενός χρήστη. Προκύπτει ένα πρόβλημα εάν το δεδομένο από την πρόσβαση χρηστών στο δίκτυο είναι εκ φύσεως αυξημένου πλάτους (burst) του σήματος. Ένας απλός χρήστης που έχει δεσμεύσει ένα κανάλι ίσως εκπέμψει ακανόνιστα μία πληροφορία, έτσι οι περίοδοι του

μέγιστου προκαθορισμένου πλάτους του σήματος είναι πιο μεγάλες από τις περιόδους εκπομπής. Για παράδειγμα, ένα σήμα ομιλίας μπορεί περιέχει πολλές παύσεις. Σε τέτοιες περιπτώσεις το TDMA ή το FDMA τείνουν να είναι αποτελεσματικά εξαιτίας ενός σημαντικού ποσοστού της συχνότητας - ή της κατανομής των timeslots στον χρήστη - που δεν κρατούν πληροφορία.



Σχήμα 2.1 Σχήματα πολλαπλής πρόσβασης.

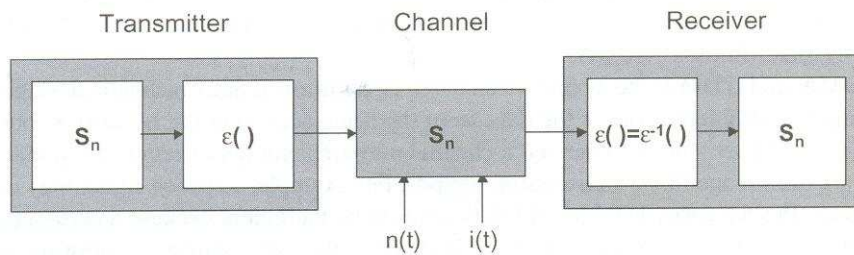
Ένα μη αποδοτικό σχεδιασμένο σύστημα πολλαπλής πρόσβασης περιορίζει τον αριθμό των ταυτόχρονων χρηστών στο κοινό κανάλι επικοινωνίας.

Ένας τρόπος του επερχόμενου προβλήματος είναι να επιτραπεί σε παραπάνω από έναν χρήστη να μοιραστούν το κανάλι ή το υποκανάλι με την χρήση σημάτων διευρυμένου φάσματος. Σε αυτήν την μέθοδο κάθε χρήστης ορίζεται με μία μοναδική κωδική ακολουθία ή ακολουθία ταυτοποίησης (signature sequence) που επιτρέπει να διευρυνθούν τα σήματα του χρήστη σε ένα κοινό κανάλι. Με την παραδοχή ότι τα σήματα των διαφόρων χρηστών διαχωρίζονται από μία διασταυρωμένη συσχέτιση κάθε λαμβανομένου σήματος με κάθε από τις δυνατές ακολουθίες ταυτοποίησης του χρήστη. Σχεδιάζοντας αυτές τις ακολουθίες κώδικα με σχετικά μικρό συσχετισμό, το έμφυτο crosstalk ελαχιστοποιείται στην αποδιαμόρφωση των σημάτων που λαμβάνονται από πολλαπλούς πομπούς. Η μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης ορίζεται Κωδίκευση Πολυπλεξίας - Code Division Multiple Access (CDMA) αναφορά [27].

2.1.2 Διαμόρφωση Διευρυμένου Φάσματος

Η γενική ιδέα της διαμόρφωσης διευρυμένου φάσματος αναπαρίσται στο Σχήμα 2.2. Τυπικά η λειτουργία του πομπού και του δέκτη μπορεί να χωριστεί σε δύο στάδια. Στο μέρος του πομπού, το πρώτο στάδιο είναι η διαμόρφωση, στην οποία το σήμα στενής ζώνης (narrowband) S_n , κατέχει μία ζώνη συχνοτήτων που διαμορφώνεται. Στη διαδικασία της

διαμόρφωσης καθορίζονται οι ακολουθίες bit μήκους n , σε 2^n διαφορετικά σύμβολα στενής ζώνης αποτελώντας το σήμα στενής ζώνης S_n . Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται η διεύρυνση του σήματος, στο οποίο το σήμα στενής ζώνης S_n διευρύνεται σε μία μεγάλη ζώνη συχνοτήτων W_c . Το διευρυμένο σήμα ορίζεται ως S_w και η λειτουργία spreading (διεύρυνση) εκφράζεται ως $\varepsilon(\cdot)$.



Σχήμα 2.2 Μορφή συστήματος διευρυμένου φάσματος

Στο μέρος του δέκτη το πρώτο βήμα είναι η αποδιεύρυνση (despreading), η οποία μπορεί τυπικά να εκφραστεί από την αντιστροφή της λειτουργίας $\varepsilon^{-1}(\cdot) = \varepsilon(\cdot)$. Στην αποδιεύρυνση, το σήμα ευρείας ζώνης S_w μετατρέπεται πάλι σε ένα σήμα στενής ζώνης το οποίο μπορεί μετά να αποδιαμορφωθεί χρησιμοποιώντας ένα βαθμό συνδυασμών ψηφιακής αποδιαμόρφωσης.

Ο αρχικός λόγος για να πάμε στην διαδικασία της διεύρυνσης (spreading) και αποδιεύρυνσης (despreading) είναι να επιτρέψουμε την μέθοδο πολλαπλής πρόσβασης αλλά λόγω του διευρυμένου σήματος και του αποτελεσματικά μεγάλου εύρους ζώνης (BW), τα σήματα διευρυμένου φάσματος έχουν πολλές άλλες ενδιαφέρουσες ιδιότητες που διαφέρουν από εκείνα τα σήματα της στενής ζώνης. Στις ακόλουθες παραγράφους σχολιάζονται τα πιο σημαντικά.

2.1.3 Ανοχή στην Παρεμβολή Στενής Ζώνης

Ένα σύστημα διευρυμένου φάσματος είναι ανεκτικό στην παρεμβολή στενής ζώνης όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3.

Ας υποθέσουμε ότι λαμβάνεται ένα σήμα S_w με την παρουσία παρεμβολής στενής ζώνης i_n : βλ. Σχήμα 2.3 (α) και (β). Η διαδικασία αποδιεύρυνσης μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\varepsilon^{-1}(S_w + i_n) = \varepsilon^{-1}[\varepsilon(S_n)] + \varepsilon^{-1}(i_n) = S_n + i_w \quad (2.1)$$

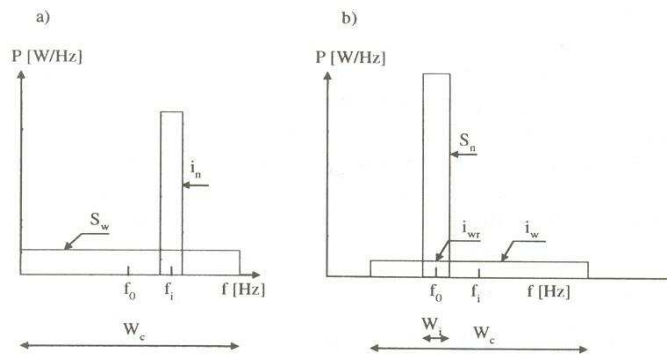
Η λειτουργία αποδιεύρυνσης μετατρέπει το σήμα εισόδου σε ένα άθροισμα ωφέλιμου σήματος και ένα παρεμβαλλόμενο σήμα ευρείας ζώνης. Μετά τη λειτουργία αποδιεύρυνσης εφαρμόζεται ένα φιλτράρισμα στενής ζώνης (συνάρτησης F), με ένα βαθυπερατό φίλτρο με εύρος ζώνης B_n ίσο με το εύρος ζώνης W_i του S_n . Αυτό συνεπάγεται σε:

$$F(S_n + i_w) = S_n + F(i_w) = S_n + i_{wr} \quad (2.2)$$

Από το φίλτρο περνά μόνο μία μικρή αναλογία παρεμβαλλόμενης ενέργειας του σήματος και απομένει σαν συνεχόμενη παρεμβολή, γιατί το εύρος ζώνης W_c της i_w είναι πολύ μεγαλύτερο από το W_i - βλ. Σχήμα 2.3 (β). Ο λόγος μεταξύ του εκπεμπόμενου εύρους ζώνης διαμόρφωσης προς το εύρος ζώνης του σήματος πληροφορίας ονομάζεται κέρδος επεξεργασίας (processing gain), G_p :

$$G_p = \frac{W_c}{W_i} \quad (2.3)$$

Για να εμποδίσουμε τις οποιεσδήποτε ιδιότητες φίλτρου ή τις ιδιότητες ειδικής διαμόρφωσης από αυτό το σημείο εξισώνουμε το W_c και το W_i σε chiprate (ρυθμός τεμαχισμού) και user data (δεδομένα χρήστη) αντίστοιχα.



Σχήμα 2.3 Διαδικασία αποδιεύρυνσης με την παρουσία παρεμβολής .

Θεωρήστε ένα σύστημα χωρίς ρουτίνα κωδίκευσης διόρθωσης σφάλματος, κλπ. Στην περίπτωση αυτή το κέρδος ορίζεται από την εξίσωση (2.3) που δίνεται μόνο από την λειτουργία της διεύρυνσης φάσματος (με άλλα λόγια είναι σε γραμμική αναλογία κατά το πόσες φορές έχει διευρυνθεί το φάσμα). Ένα τέτοιο κέρδος έχει δυνατές ιδιότητες περιορισμού της παρεμβολής στενής ζώνης, όπως φαίνεται πιο κάτω. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο όρος «Processing gain» (κέρδος επεξεργασίας) καθώς χρησιμοποιείται από

τον Συνεταιρισμό Έρευνας Τρίτης Γενιάς (3GPP) θα μπορούσε να οριστεί επίσης σύμφωνα με την εξίσωση (2.3), αλλά εξαιτίας του συνυπολογισμού της διαδικασίας εκμετάλλευσης του προσθετικού σήματος (έλεγχος σφάλματος κωδίκευσης, overhead, κλπ) το κέρδος επεξεργασίας που προκύπτει αποτελείται από το τμήμα διεύρυνσης και από το τμήμα κωδίκευσης.

Στο Σχήμα 2.3 μπορούμε να δούμε καθαρά το αποτέλεσμα του κέρδους επεξεργασίας αφού, όσο περισσότερο κέρδος επεξεργασίας έχει το σύστημα τόσο πιο πολύ περιορίζεται η ισχύς των μη συσχετιζόμενων σημάτων παρεμβολής στην διαδικασία τη αποδιεύρυνσης. Συνεπώς το κέρδος επεξεργασίας μπορεί να θεωρηθεί ως ένας παράγοντας βελτίωσης στο SIR (Signal to Interference Ratio) του σήματος μετά από την αποδιεύρυνση.

Υπάρχει μία συγκεκριμένη τιμή της εκπομπής εύρους ζώνης W_c . Ένα μεγάλο κέρδος επεξεργασίας για να δώσει μεγαλύτερη κατάπνιξη της παρεμβολής χρειάζεται ένα μεγάλο εύρος ζώνης εκπομπής. Στα συστήματα WCDMA η τιμή του W_c είναι 3,84Mcps η οποία λόγω των πλευρικών λοβών του φάσματος, συνεπάγεται σε περιοχή φέροντος των 5MHz.

2.2 Σύστημα της Μεθόδου Διασποράς του Φάσματος Συνεχούς Ακολουθίας. (Direct Sequence Spread Spectrum System)

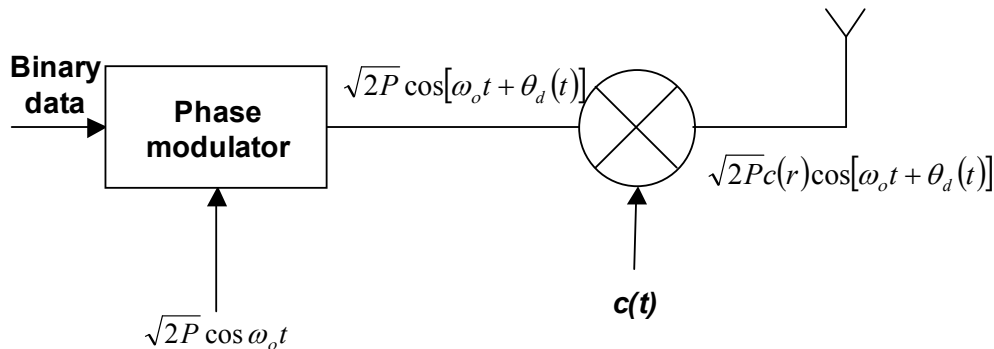
Υπάρχει πλήθος τεχνικών για να διευκολύνουμε το πληροφοριακό - φέρον σήμα χρησιμοποιώντας κωδικά σήματα. Παραδείγματα είναι οι τεχνικές συνεχούς ακολουθίας, μεταπήδησης συχνότητας και μεταπήδησης χρόνου, διευρυμένου φάσματος. Επίσης δυνατό είναι να συνδυάσουμε αυτές τις τεχνικές ως υβριδικές μεθόδους. Η πιο κοινή τεχνική που χρησιμοποιείται στα κυψελωτά ραδιοδίκτυα είναι αυτή της Συνεχούς Ακολουθίας (Direct Sequence). Αυτή, για παράδειγμα, χρησιμοποιείται στην τεχνολογία WCDMA και στο πρότυπο IS-95.

Στα συστήματα Άμεσης Ακολουθίας, το διευρυμένο σήμα επιτυγχάνεται διαμορφώνοντας το διαμορφωμένο σήμα δεδομένων για δεύτερη φορά από την διεύρυνση ενός σήματος ευρείας ζώνης. Το σήμα πρέπει να προσεγγιστεί κατά πολύ για ένα τυχαίο σήμα με ομοιόμορφη κατανομή συμβόλων. Τυπικές εκφράσεις τέτοιων σημάτων ψηφιακής μορφής είναι οι ακολουθίες ψευδοθορύβου (PN) σε πεπερασμένη αλφάβητο. Αφού το σύστημα WCDMA πρέπει να αυξήσει την χωρητικότητά του κατά τη διάρκεια της διεύρυνσης, η λειτουργία γίνεται σε δύο φάσεις - βλ. Παράγραφο 2.4.6.1. Πρώτα διευρύνεται το σήμα του χρήστη με τον κώδικα καναλοποίησης (channelisation code). Αυτός ο κώδικας είναι ο κώδικας του Ορθογωνικού Μεταβλητού Συντελεστή Διεύρυνσης - Orthogonal Variable

Spreading Factor (OVSF), η δομή του βασίζεται σε matrix Hadamard. Ο κώδικας έχει την ιδιότητα ότι δύο διαφορετικοί κώδικες από την οικογένεια (κωδίκων) είναι τέλεια ορθογωνικοί εάν είναι σε φάση. Έτσι η χρήση του εγγυάται τη μέγιστη χωρητικότητα που μετρείται από τον αριθμό των ενεργών χρηστών. Τώρα όλα τα διευρυμένα σήματα των χρηστών ανακατεύονται με μία ακολουθία ειδικών στοιχείων, η οποία έχει τις στατιστικές ιδιότητες μιας τυχαίας ακολουθίας. Έτσι το σύστημα μπορεί να εξυπηρετήσει μεγαλύτερο αριθμό χρηστών, και το σήμα εξόδου έχει ένα αρκετά επίπεδο φάσμα χωρίς κύριες φασματικές κορυφές, κλπ. Οι αναγνώστες που ενδιαφέρονται για βαθύτερη γνώση τεχνικών διεύρυνσης DS μπορούν να ανατρέξουν στην αναφορά [31], ενώ για παραπάνω πληροφορίες στα συστήματα WCDMA μπορούν να ανατρέξουν στις αναφορές [13] και [19].

2.2.1 Παράδειγμα Διαμόρφωσης

Η πιο απλή μορφή της DS διευρυμένου φάσματος χρησιμοποιεί την μέθοδο Binary Phase Shift Keying (BPSK) ως διαμόρφωση διεύρυνσης. Μαθηματικά αυτό μπορεί να παρουσιαστεί ως τον πολλαπλασιασμό του φέροντος από μία συνάρτηση η οποία παίρνει την τιμή 1 ή -1.



Σχήμα 2.4 Πομπός BPSK DS διευρυμένου φάσματος.

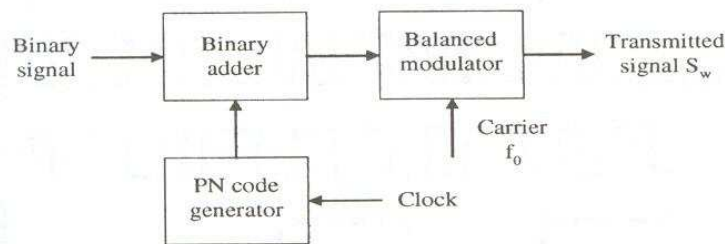
Ας θεωρήσουμε ένα διαμορφωμένο σήμα πληροφορίας με ισχύ P , συχνότητας ω_0 , και διαμόρφωση φάσης της πληροφορίας $\theta_d(t)$ που εμφανίζεται στην εξίσωση (2.4):

$$S_n(t) = \sqrt{2P} \cos[\omega_0 t + \theta_d(t)] \quad (2.4)$$

Η BPSK διεύρυνση πραγματοποιείται πολλαπλασιάζοντας το $S_n(t)$ με το $c(t)$, εκφράζοντας το σήμα διεύρυνσης Σχήμα 2.4. Το αποτέλεσμα πολλαπλασιασμού στο σήμα ευρείας ζώνης είναι:

$$S_w(t) = \sqrt{2P}c(t) \cos[\omega_0 t + \theta_d(t)] \quad (2.5)$$

Η διαμόρφωση της πληροφορίας δεν χρειάζεται να είναι BPSK, δεν υπάρχουν περιορισμοί στη μορφή της $\theta_d(t)$, αλλά είναι κοινό να χρησιμοποιήσουμε τον ίδιο τύπο ψηφιακής διαμόρφωσης φάσης για τον κώδικα δεδομένων και τον κώδικα διεύρυνσης. Όταν εφαρμόζεται η διαμόρφωση BPSK και για τα δύο, η διπλή διαδικασία διαμόρφωσης αντικαθίσταται από μία απλή διαμόρφωση δεδομένων αθροίσματος modulo-2 και κώδικα διεύρυνσης, όπως εξηγείται στο Σχήμα 2.5.



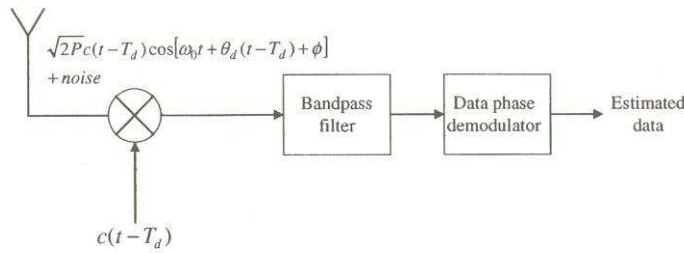
Σχήμα 2.5 Πομπός συνεχούς ακολουθίας με δεδομένα BPSK και λειτουργία διεύρυνσης.

Το σήμα ευρείας ζώνης εκπέμπεται μέσω ενός καναλιού που έχει μία καθυστέρηση T_d . Το σήμα λαμβάνεται μαζί με την παρεμβολή του Λευκού Θορύβου κατανομής Gauss (AWGN). Η διεύρυνση πραγματοποιείται από την εφαρμογή συσχετισμού του σήματος ευρείας ζώνης με κατάλληλα καθυστερημένο κώδικα διεύρυνσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6.

Αυτή η αποδιαμόρφωση ή η συσχέτιση (+1, -1) με το καθυστερημένο κώδικα διεύρυνσης είναι μία κρίσιμη συνάρτηση για όλα τα συστήματα διευρυμένου φάσματος. Ο όρος του σήματος στην έξοδο του μίκτη αποδιεύρυνσης περιγράφεται ως:

$$S'_n(t) = \sqrt{2P}c(t - T_d)c(t - T'_d)\cos[\omega_0 t + \theta_d(t - T_d) + \phi] \quad (2.6)$$

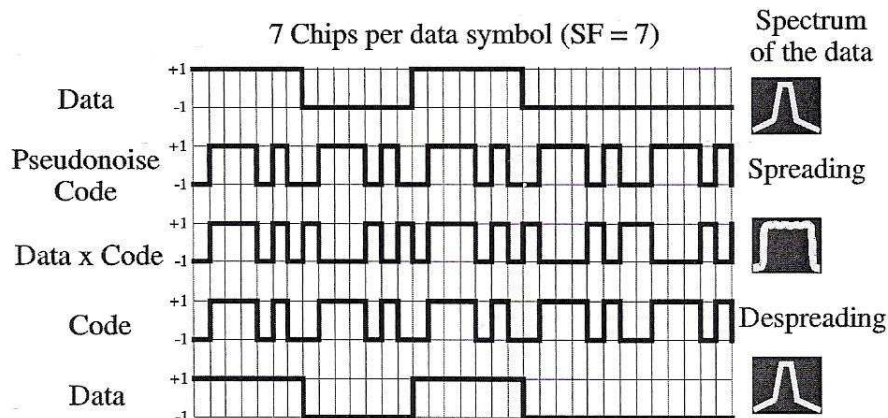
T'_d είναι η καλύτερη εκτίμηση στην καθυστέρηση μετάδοσης. Αφού το $c(t)$ ισούται με +1 ή -1, ο παράγοντας $c(t - T_d)c(t - T'_d)$ θα είναι μονάδα εάν $T_d = T'_d$, αυτό είναι, εάν συγχρονιστεί ο κώδικας διεύρυνσης στον δέκτη με τον κώδικα διεύρυνσης στον πομπό.



Σχήμα 2.6 BPSK Δέκτης συνεχούς ακολουθίας

Όταν συγχρονιστούν σωστά, αποδιευρύνεται ο όρος του σήματος και το S_n μπορεί να αποδιαμορφωθεί χρησιμοποιώντας τη συνήθη σύμφωνη διαμόρφωση φάσης [28].

Το Σχήμα 2.7 απεικονίζει τα δεδομένα και τις λειτουργίες διεύρυνση - αποδιεύρυνση που εφαρμόζονται σε αυτό. Το κέρδος επεξεργασίας δίνεται απευθείας από το λόγο του chip rate (ρυθμός τεμαχισμού) προς τα δεδομένα του χρήστη από την εξίσωση (2.3).

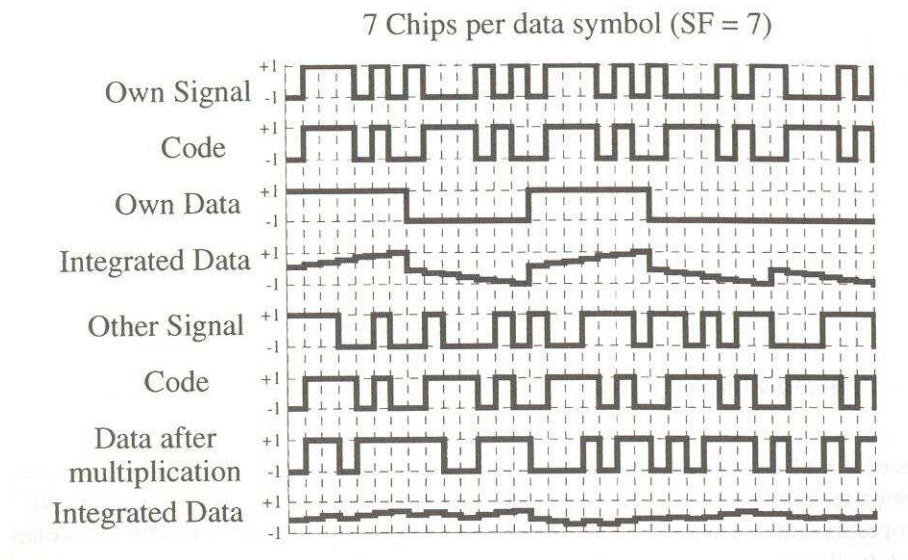


Σχήμα 2.7 Συνδυάζοντας τα δεδομένα και τις ακολουθίες διεύρυνσης.

2.2.2 Ανοχή στην Παρεμβολή Ευρείας Ζώνης.

Η ανοχή στην παρεμβολή ευρείας ζώνης είναι λιγότερη στην εκπομπή δεδομένων προς μία κατεύθυνση (straight forward) από την παρεμβολή στενής ζώνης όπως προέρχεται από την Παράγραφο 2.1.3, αλλά η αρχή είναι η ίδια - χρησιμοποιώντας τον δέκτη συσχετισμού. Αυτό στηρίζεται στο γεγονός ότι η ανοχή εξαρτάται από τη δομή του σήματος, αυτό μπορεί να φανεί στο Σχήμα 2.8. Η βασική ιδέα είναι ότι ο δέκτης λειτουργεί σαν δέκτης συσχετισμού (correlation receiver) το οποίο σημαίνει ότι συσχετίζει ένα γνωστό σήμα (αναφοράς) με ένα επερχόμενο σήμα, το οποίο αποτελείται από πολλά διαφορετικά CDMA (από διαφορετικούς

χρήστες ή κανάλια), με γενική παρεμβολή (από άλλα συστήματα RF) και με θόρυβο (θερμικής φύσεως).



Σχήμα 2.8 Αρχή λειτουργίας CDMA στο πεδίο του χρόνου

Η έξοδος από το δέκτη είναι στη μορφή συνάρτησης αυτοσυσχέτισης (μία μέτρηση μεταξύ καθυστέρησης και μη καθυστέρησης ενός σήματος, εκφρασμένη σαν συνάρτηση καθυστέρησης) του επιθυμητού σήματος. Καθώς εξετάζονται ο θόρυβος και η παρεμβολή υπάρχει συσχέτιση (crosscorrelation) με όλα τα άλλα σήματα. Συνεπώς η ακολουθία διεύρυνσης, θα πρέπει να έχει καλές ιδιότητες συσχετισμού για να διευκολύνει το διαχωρισμό του επιθυμητού σήματος από τα υπόλοιπα σήματα δηλ :

- Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης να παίρνει την μέγιστη τιμή 1 με μηδενική ολισθήση φάσης όταν ένα bit πολλαπλασιαστεί με τον εαυτό του.
- Όσο πιο μικρές πιθανές τιμές της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης και για όλες τις ολισθήσεις εκτός φάσης.
- Η συνάρτηση crosscorrelation να είναι κατά το δυνατό μικρότερη(ιδανικά να τείνει στο 0) για όλες τις ολισθήσεις εκτός φάσης.

Το σύστημα WCDMA δουλεύει με σύνθετους κώδικες διεύρυνσης που προκύπτουν από το συνδυασμό ενός διευρυμένου κώδικα (spreading code) και ενός scrambling code (κώδικα περίπλεξης): βλ. Σχήμα 4.20. Αυτό καταλήγει στο να έχει το σήμα τη φύση τυχαίων σημάτων

τα οποία έχουν τις παραπάνω ιδιότητες. Στο Σχήμα 2.8 απεικονίζεται η διαδικασία διεύρυνσης για ένα επιθυμητό σήμα και μία διεύρυνση σήματος με διαφορετικό κώδικα.

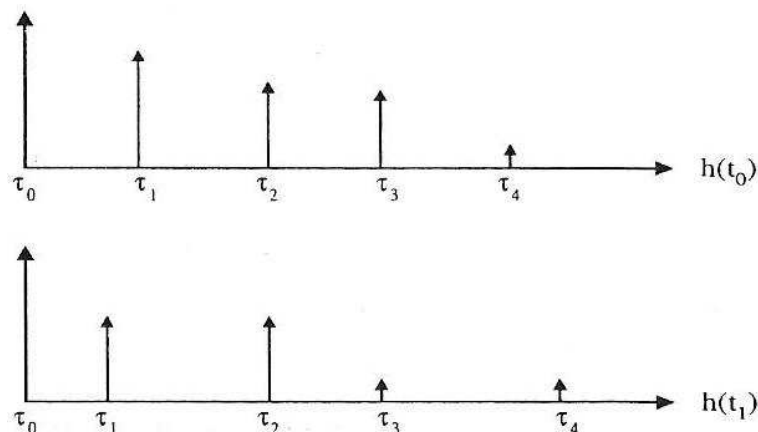
Συνήθως, ο WCDMA δέκτης δεν είναι μόνο ένας δέκτης συσχετισμού, αλλά μία μονάδα ένωσης πολλών δεκτών συσχετισμού υπό κοινό έλεγχο. Ο σκοπός του είναι να λαμβάνει σήματα από πορείες διαφορετικών καθυστερήσεων και των χαρακτηριστικών ανάκλασης και να ενώνει μαζί τα τελικά σήματα. Αυτός ο δέκτης είναι γνωστός σαν RAKE δέκτης.

2.2.3 Λειτουργία σε Πολυοδικούς Χώρους.

Operation in Multipath Environments

Ένα ραδιοκάνάλι μπορεί να χαρακτηριστεί πλήρως από την μεταβλητή χρονική απόκλιση παλμού $h(t)$. Σε ένα κινητό ραδιοκάνάλι, ο παλμός ριπής αποτελείται από πολλούς όρους χρονοκαθυστέρησης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9. Αυτό το είδος καναλιού αναφέρεται ως πολυοδικό κανάλι (multipath channel). Οι κορυφές καθυστέρησης οφείλονται στις ανακλάσεις από τα περιβάλλοντα αντικείμενα, και η εξάρτηση χρόνου προκαλείται από την κίνηση κινητού σταθμού και άλλων αντικειμένων στον χώρο.

Ένα σήμα που εκπέμπεται σε ένα πολυοδικό κανάλι (multipath channel) θα ληφθεί ως πολλά αντίγραφα του εκπεμπόμενου σήματος με διαφορετικά πλάτη και καθυστερήσεις.



Σχήμα 2.9 Απόκριση παλμού ενός κινητού ραδιοκαναλιού στις συγκεκριμένες χρονικές στιγμές t_0 και t_1 .

Η λήψη του σήματος συνεχούς ακολουθίας διευρυμένου φάσματος επιτρέπει τη χρήση μιας πιο αποδοτικής τεχνικής λήψεως, δηλαδή στην λήψη χρησιμοποιείται ένας RAKE δέκτης [29], όπως περιγράφηκε παραπάνω. Αυτός ο τύπος δέκτη μπορεί να εκμεταλλευτεί την ενέργεια από το πολυοδικό κανάλι με διαχωρητικότητα περιόδου ενός τεμαχίου (chip).

Εκχωρεί ένα **correlator finger** για κάθε πολυοδικό (multipath) στοιχείο και εκτελείται Μέγιστος Λόγος Ένωσης - Maximal Ratio Combining (MRC) των αποσυσχετιζόμενων σημάτων στενής ζώνης πριν οριστεί η απόφαση συμβόλου στον αποδιαμορφωτή.

Ο RAKE δέκτης μπορεί να αναλύσει όλα τα multipath στοιχεία των οποίων η διαφορά καθυστέρησης από άλλα multipath στοιχεία είναι παραπάνω από μία περίοδο τεμαχίου (chip). Όσο πιο μικρή είναι η διάρκεια της περιόδου ενός τεμαχίου, τόσο καλύτερα ο RAKE δέκτης θα αντιμετωπίσει την παρεμβολή που προκαλείται από την πολυοδική διάδοση. Ο στόχος είναι ότι αν μειωθεί η διάρκεια περιόδου ενός τεμαχίου (chip) τότε αυξάνεται ο ρυθμός τεμαχισμού (chip rate) του κωδικού σήματος, ο οποίος αυξάνει το εύρος ζώνης - εκπομπής. Ο αριθμός των fingers στον RAKE δέκτη ορίζει ένα μέγιστο στον αριθμό των εκμεταλλευόμενων πολυδιαδρομών, ως τεχνολογικό ή επεξεργαστικό περιορισμό.

2.3 CDMA σε Κυψελωτά Ραδιοδίκτυα

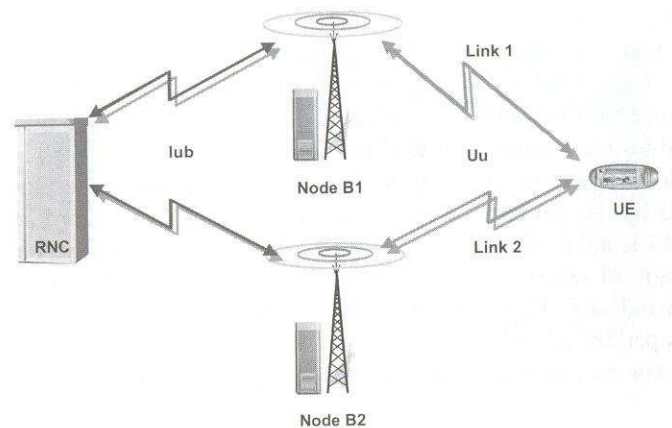
2.3.1 Η Γενική Επαναχρησιμοποίηση Συχνότητας

Στο CDMA όλοι οι χρήστες στην ίδια κυψέλη μοιράζονται ταυτόχρονα το ίδιο φάσμα συχνοτήτων. Σε ένα κυψελωτό δίκτυο που στηρίζεται στην τεχνολογία CDMA είναι επίσης το ίδιο και για τους χρήστες σε διαφορετικές κυψέλες. Στην εκπομπή διευρυμένου φάσματος η ανοχή της παρεμβολής επιτρέπει την γενική επαναχρησιμοποίηση συχνότητας. Αυτό αποτελεί τη βάση για όλες τις άλλες λειτουργίες σε επίπεδο δικτύου. Για παράδειγμα, επιτρέπει νέες λειτουργίες όπως το soft handover (ομαλή εναλλαγή), αλλά προκαλεί επίσης αυστηρές απαιτήσεις στον έλεγχο ισχύος (Power Control).

2.3.2 Ομαλή εναλλαγή - Soft Handover

Λόγω της γενικής επαναχρησιμοποίησης συχνότητας η σύνδεση ενός κινητού σταθμού (Κ.Σ.) μπορεί να περιλαμβάνει πολλές ραδιοζεύξεις στο κυψελωτό δίκτυο. Όταν ο Κ.Σ. συνδέεται μέσω περισσότερων από μία ραδιοζεύξη, τότε λέγεται ότι είναι σε soft handover. Εάν ειδικά ο κινητός σταθμός έχει παραπάνω από μία ραδιοζεύξη σε δύο κυψέλες της ίδιας περιοχής, τότε είναι σε softer handover (ομαλότερη εναλλαγή). Το softer handover είναι μία μορφή πολλαπλής λήψης που αυξάνει το λόγο σήματος - προς - θόρυβο όταν είναι σταθερή η ισχύς εκπομπής. Σε επίπεδο δικτύου, το soft handover εξομαλύνει την κίνηση ενός Κ.Σ. από την μία κυψέλη στην άλλη. Αυτό βοηθάει στο να ελαχιστοποιήσει την ισχύ εκπομπής που χρειάζεται στο uplink (ζεύγη από Κ.Σ. προς το Σ.Β.) και στο downlink (ζεύξη Κ.Σ. προς το Σ.Β.). Έχει δύο βασικά χαρακτηριστικά:

- Το κέρδος soft handover (θεωρείται 1 έως 2dB στον υπολογισμό ισχύος - βλ. Παράγραφο 2.5.3.3υς) που οφείλεται στη σωστή ένωση δύο ή περισσότερων διακλαδώσεων σημάτων.
- Το soft handover overhead οφείλεται στο γεγονός ότι οι κινητοί σταθμοί που είναι στην περιοχή handover συνδέονται με παραπάνω από μία κυψέλη. Η συνολική υπόθεση είναι ολοφάνερη στο Σχήμα 2.10. Αυτό το overhead θα κρατηθεί σε λογικά όρια για να εξασφαλίσει στην κυψέλη την DL χωρητικότητα κίνησης. Η συνηθισμένη λογική ή μέγιστη αποδεκτή τιμή στα δίκτυα CDMA (ήδη εφαρμόζεται στο IS-95 και αναμένεται και για το WCDMA) είναι 30-40%, δηλαδή 1,3 ή 1,4 ραδιοζεύξεις ανά σύνδεση χρήστη.



Σχήμα 2.10 Ο Κ.Σ. σε ομαλή εναλλαγή (Soft handover)

2.3.3 Έλεγχος Ισχύος

Ο έλεγχος ισχύος εξασφαλίζει ότι κάθε χρήστης στο δίκτυο λαμβάνει και εκπέμπει κυριολεκτικά αρκετή ενέργεια για να δώσει πληροφορία ενώ προκαλεί ελάχιστη παρεμβολή στους άλλους χρήστες. Αυτό είναι κρίσιμο για την χωρητικότητα του δικτύου. Ένας δεύτερος λόγος για τον έλεγχο ισχύος είναι να ελαχιστοποιήσουμε την κατανάλωση μπαταρίας. Για το πρότυπο του WCDMA, εφαρμόζεται ο έλεγχος ισχύος και σε UL και σε DL.

Όταν ο Κ.Σ. ξεκινάει μία κλήση, προσαρμόζει την εκπομπή ισχύος στην κοινή πιλοτική ισχύ σήματος. Το κοινό πιλοτικό σήμα είναι μία μετάδοση σήματος συγκεκριμένης - κυψέλης σε οποιαδήποτε κυψέλη με σταθερή ισχύ. Αυτό εξασφαλίζει μία πρόχειρη μέτρηση στο path loss (απώλεια διάδοσης) μεταξύ του M.S. και του BTS. Όσο δυνατότερη είναι η κοινή πιλοτική ισχύς του σήματος, τόσο λιγότερη αρχική ισχύς εκπομπής θα χρειαστεί. Αυτός ο τύπος της ρύθμισης της αρχικής ισχύος κανονίζεται από τον UL έλεγχο ισχύος ανοικτού - βρόχου (Open - loop Power Control). Η διαδικασία πρέπει να στηριχτεί σε μία πληροφορία την οποία

λαμβάνει ο M.S. λαμβάνει το κανάλι μετάδοσης της κυψέλης (Broadcast Channel - BCH). Για να θέσουμε μία σύνδεση, χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν περισσότερα κανάλια ελέγχου. Στο DL χρησιμοποιείται μια ανάλογη διαδικασία για τον υπολογισμό της αρχικής ισχύος της ραδιοσύνδεσης που στηρίζεται στο E_c/N_0 που μετρείται σε κοινά πιλοτικά σύμβολα και αναφέρεται από το τερματικό του δικτύου.

Οι μεταβολές στο πολυοδικό κανάλι μπορούν να σημαίνουν ότι μία σταθερή επιθυμητή τιμή (target value) του λόγου σήματος - προς - θόρυβο (SIR) δεν μπορεί να εγγυηθεί πάντοτε μία ικανοποιητική τιμή ποιότητας. Επομένως το SIR_{target} πρέπει να ελέγχεται βάσει του επιτευχτού Bit Error Rate ή του Block Error Rate (BER). Εάν είναι μεγάλος ο ρυθμός σφαλμάτων αυξάνεται το SIR_{target} μέχρι να αντιμετωπίσει τον επιθυμητό ρυθμό σφαλμάτων. Αυξάνοντας το SIR_{target} στην άκρη του δέκτη προκαλούμε τον έλεγχο ισχύος κλειστού βρόχου (Closed - loop Power Control) να αυξάνει το λόγο SIR_{target} , αυτό ορίζεται ως Έλεγχος Ισχύος Εξωτερικού Βρόχου (Outer - loop Power Control).

Η λειτουργία του ελέγχου ισχύος κλειστού - βρόχου χρησιμοποιείται επίσης για να αντισταθμίσει την ταχεία εξασθένηση η οποία προκαλείται από το πολυοδικό κανάλι. Στον έλεγχο ισχύος κλειστού - βρόχου ρυθμίζεται η ισχύς εκπομπής του M.S. βάσει της λαμβανόμενης ισχύος που μετρείται στο BTS. Το BTS συγκρίνει το λόγο της λαμβανομένης ενέργειας ανά σύμβολο προς την ενέργεια παρεμβολής, SIR, σε μία επιθυμητή τιμή και ελέγχει τον Κ.Σ. στο να αυξήσει ή να μειώσει ανάλογα την ισχύ εκπομπής. Η ίδια διαδικασία εφαρμόζεται και στο DL.

Ο έλεγχος ισχύος στο WCDMA περιγράφεται με παραπάνω λεπτομέρεια στην Παράγραφο 4.2.

2.4 Λογικά, Φυσικά και Κανάλια Μεταφοράς WCDMA

Το περιεχόμενο αυτής της παραγράφου γενικά εκφράζει τις προδιαγραφές του Συνεταιρισμού Έρευνας Τρίτης Γενιάς (3GPP). Αποβλέπεται να δοθεί μια πανοραμική άποψη για την αρχιτεκτονική του UMTS, τις λειτουργίες και τις κοινές επιφάνειες διασύνδεσης (interfaces) και θα έχουν άμεση επιρροή στη διαδικασία του σχεδιασμού ραδιοδικτύου.

2.4.1 Μοντέλο αρχιτεκτονικής UMTS υψηλού - επιπέδου

Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών (UMTS) έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει εφαρμογές μεγάλης κλίμακας με διαφορετικά προφίλ του Quality of Service

(Ποιότητα Υπηρεσίας-Qos). Το σύστημα διατίθεται για μακροπρόθεσμη διάρκεια, και ο κανόνας προσέγγισης υιοθετείται στη 3GPP - εξασφαλίζοντας την απαραίτητη ευελιξία για την εξέλιξή του [1].

Στην 3GPP η αρχιτεκτονική του UMTS περιγράφεται από την άποψη των οντοτήτων του - User Equipment (UE) - Εξοπλισμός Χρήστη, το UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) και η ραδιοεπιφάνεια / ραδιοσύνδεση (radio interface) (Uu) και η διασύνδεση CN - UTRAN (Iu) είναι τα σημεία αναφοράς μεταξύ των υποσυστημάτων. Τα πρωτόκολλα πάνω από τις επιφάνειες Uu και Iu χωρίζονται σε δύο δομές: Τα πρωτόκολλα User Plane (επίπεδο χρήστη) με άλλα λόγια είναι τα πρωτόκολλα που εφαρμόζουν την πραγματική υπηρεσία RAB (Radio Access Bearer), και τα πρωτόκολλα Control Plane (επίπεδο ελέγχου), δηλαδή τα πρωτόκολλα για να ελέγχεται το RAB και η σύνδεση μεταξύ του UE και του CN. Και τα δύο πρωτόκολλα Uu και Iu εξασφαλίζουν διαυγή μεταφορά μηνυμάτων μη - προσβάσιμου Στρώματος (Non Access Stratum) [3].

2.4.1.1 Προσβάσιμο και μη προσβάσιμο Στρώμα.

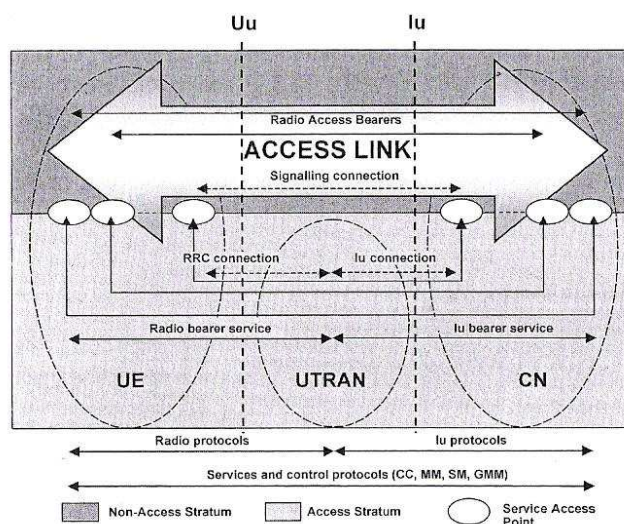
(Access Stratum and Non - Access Stratum)

Η λειτουργική ομαδοποίηση υψηλού - επιπέδου σε Προσβάσιμο Στρώμα - Access Stratum (AS) και Μη Προσβάσιμο Στρώμα - Non Access Stratum (NAS) προσδιορίζεται στην αναφορά [2] και απεικονίζεται στο Σχήμα 2.11. Το AS είναι η λειτουργική ομαδοποίηση των πρωτοκόλλων για την παροχή μεταφοράς της ραδιοσυσχετιζόμενης πληροφορίας, συντονίζοντας την χρήση των ραδιοπόρων μεταξύ του UE (εξοπλισμού χρήστη) και του Δικτύου Πρόσβασης (Access Network), και υποστηρίζοντας την πρόσβαση από το παρεχόμενο δίκτυο στους πόρους που εξασφαλίζονται από το Δίκτυο Πρόσβασης. Το AS προσφέρει υπηρεσίες μέσω της υπηρεσίας σημείων πρόσβασης - Service Access Points (SAP) στο μη προσβάσιμο στρώμα NAS (σηματοδοσίες και υπηρεσίες σχετικά με το CN), δηλαδή εξασφαλίζει την Πρόσβαση Ζεύξεως (Access Link) μεταξύ του UE και του CN, η οποία αποτελείται από μία ή παραπάνω ανεξάρτητες και ταυτόχρονες υπηρεσίες RAB μεταξύ UE και του CN, και από μία μόνο σηματοδοσία σύνδεσης μεταξύ των ανωτέρω επιπέδων των οντοτήτων UE και CN. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.11 η σηματοδοσία σύνδεσης αποτελείται από δύο μέρη: την σύνδεση ελέγχου ραδιοπόρων - Radio Resource Control (RRC) και την σύνδεση Iu η οποία επεκτείνει την σηματοδοσία σύνδεσης RRC προς το CN.

Το μη προσβάσιμο στρώμα NAS είναι μία λειτουργική ομαδοποίηση πρωτοκόλλων που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο κλήσης (Call Control) για φωνή και δεδομένα μεταγωγής κυκλώματος, στο Session Management (Χωρος Διαχείρισης) και για δεδομένα (μεταγωγής

πακέτου), στη διαχείριση κινητικότητας - Mobility Management (MM, GMM) και στις υπηρεσίες σύντομων μηνυμάτων SMS για αρμοδιότητες μεταγωγής πακέτου και κυκλώματος στις συμπληρωματικές υπηρεσίες (Supplementary Services) και στη διαχείριση RAB για την επανεγκατάσταση των RABs τα οποία έχουν ακόμη ενεργά contexts (περιβάλλοντα) τύπου PDP (Packet Data Protocol).

Το φέρον ραδιοπρόσβασης RAB είναι μια υπηρεσία που παρέχεται από το προσβάσιμο στρώμα AS στο μη προσβάσιμο στρώμα NAS για να μεταφέρει τα δεδομένα του χρήστη μεταξύ του UE και του CN (πυρήνας δικτύου). Ένα φέρον (bearer) περιγράφεται από ένα πλήθος παραμέτρων (χαρακτηριστικών), οι οποίες ορίζουν τη συγκεκριμένη όψη της κίνησης ή από την ποιότητα υπηρεσίας (Qos) αυτής της συγκεκριμένης υπηρεσίας ή εφαρμογής. Η γενική ιδέα και η αρχιτεκτονική Qos χρησιμοποιείται στο UMTS, δηλαδή εφαρμόζεται η λίστα των χαρακτηριστικών στην υπηρεσία UMTS Bearer Service και στην υπηρεσία Radio Access Bearer Service.



Σχήμα 2.11 Λειτουργική ομαδοποίηση υψηλού - επιπέδου στο προσβάσιμο (AS) και μη προσβάσιμο στρώμα (NAS).

Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.11 μία υπηρεσία RAB σπάει σε μία Υπηρεσία Radio Bearer (RB) και σε μία Υπηρεσία Iu-Bearer στις διασυνδέσεις (interface) των Uu και Iu αντίστοιχα. Η υπηρεσία RB καλύπτει όλες τις πλευρές της ραδιοεπιφάνειας μεταφοράς, αυτή η υπηρεσία φέροντος χρησιμοποιεί το UTRA FDD και επιτυγχάνεται από το επίπεδο RLC-U (Radio Link Control Protocol, User Plane) μεταξύ του RNC και του UE. Η υπηρεσία Iu-Bearer μαζί με την υπηρεσία Φυσικού Φέροντος (Physical Bearer Service) PBS, εξασφαλίζει τη

μεταφορά μεταξύ του UTRAN και του CN. Στον χώρο των δεδομένων υπάρχει μία σχέση ένα - προς - ένα μεταξύ του PDP context και του RAB καθώς και μεταξύ του RAB και του RB.

2.4.2 Αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου Radio interface (Ραδιοεπιφάνειας) και τα Λογικά κανάλια.

Τα πρωτόκολλα ραδιοεπιφανείας / ραδιοσύνδεσης χρειάζονται για να επανασυνθέσουν και να αποδεσμεύσουν τις υπηρεσίες RB. Το radio interface αποτελείται από τρία επίπεδα πρωτοκόλλων - το φυσικό επίπεδο (L1), το επίπεδο συμπίεσης δεδομένων (L2) και το επίπεδο δικτύου (L3). Το L2 περιλαμβάνει τα ακόλουθα υπο-επίπεδα: το MAC (Medium Access Control), το RLC (Radio Link Control), το PDCP (Packet Data Convergence Protocol) και το BMC (Broadcast / Management Control). Το RLC χωρίζεται σε επίπεδα (planes) Ελέγχου (C) και χρήστη (U), ενώ το PDCP και το BMC υπάρχουν μόνο στο επίπεδο - U (User-plane). Το επίπεδο 3 (L3) αποτελείται από ένα πρωτόκολλο, που δηλώνεται από το RRC (έλεγχος ραδιοπύργων), το οποίο ανήκει στο επίπεδο C (C-plane) [2].

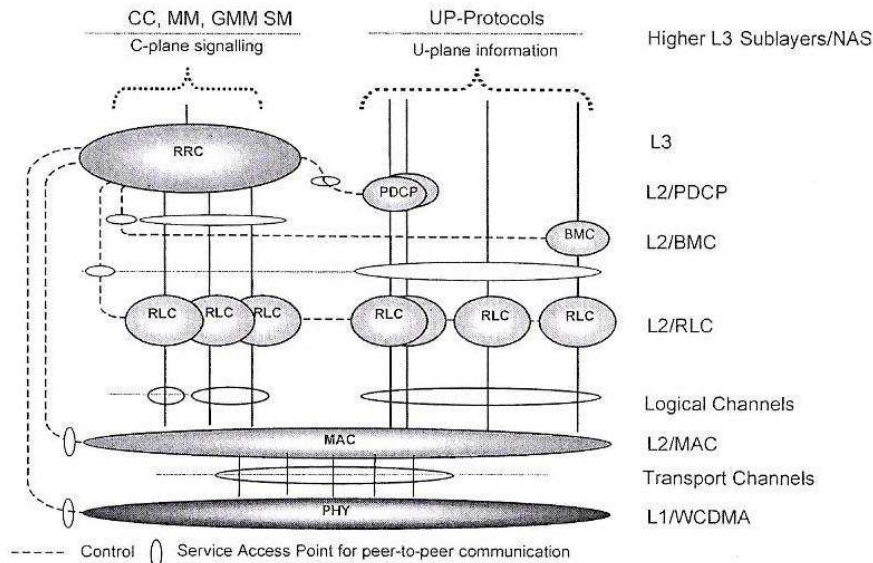
Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζεται η γενική αρχιτεκτονική για τα πρωτόκολλα ραδιοεπιφανείας / ραδιοσύνδεσης και επισημαίνεται η λογική αρχιτεκτονική και η λειτουργικότητα για κάθε πρωτόκολλο.

2.4.2.1 Πρωτόκολλα ραδιοεπιφάνειας (Radio interface).

Η αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου radio interface και οι συνδέσεις μεταξύ των πρωτοκόλλων φαίνονται στο Σχήμα 2.12. Κάθε μέρος αντιπροσωπεύει ένα παράδειγμα του αντίστοιχου πρωτοκόλλου. Οι διακεκομμένες γραμμές παριστάνουν τις διασυνδέσεις ελέγχου μέσω των οποίων το πρωτόκολλο RRC ελέγχει και ρυθμίζει τα κατώτερα επίπεδα. Η υπηρεσία σημείων πρόσβασης μεταξύ του MAC και των φυσικών επιπέδων και μεταξύ του RLC και των υπο-επιπέδων MAC παρέχει τα κανάλια μεταφοράς (TrCHs) και τα λογικά κανάλια (LoCHs), αντίστοιχα. Τα κανάλια μεταφοράς είναι ειδικά για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ του φυσικού επιπέδου και του επιπέδου L2 ισάξιων οντοτήτων, δεδομένου ότι τα λογικά κανάλια καθορίζουν τη μεταφορά ενός ειδικού τύπου πληροφορίας πάνω από το radio interface[2].

Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.12 τα μηνύματα σηματοδότησης μεταβιβάζονται πάνω από το radio interface και αποτελούνται από παραγόμενο μήνυμα σηματοδότησης RRC και τα μηνύματα NAS, που παράγονται από τα υψηλότερα επίπεδα και αντιστοιχούνται στα μηνύματα RRC [2].

Στο Σχήμα 2.13 φαίνονται παραδείγματα αυτής της κατάληξης των πρωτοκόλλων αεροδιασύνδεσης (air interface). Στις στήλες αυτού του πρωτοκόλλου περιλαμβάνονται άλλα πρωτόκολλα του επιπέδου ραδιοδικτύου, τα οποία περνούν την κορυφή του επιπέδου δικτύου μεταφοράς. Είναι το πρωτόκολλο **FP** - Frame Protocol και το πρωτόκολλο **RANAP** (Radio Access Network Application Part). Το RANAP ανήκει στο Control-Plane Iu και σε αυτό το ειδικό πλαίσιο επεκτείνει την σηματοδότηση σύνδεσης RRC προς το CN [3].

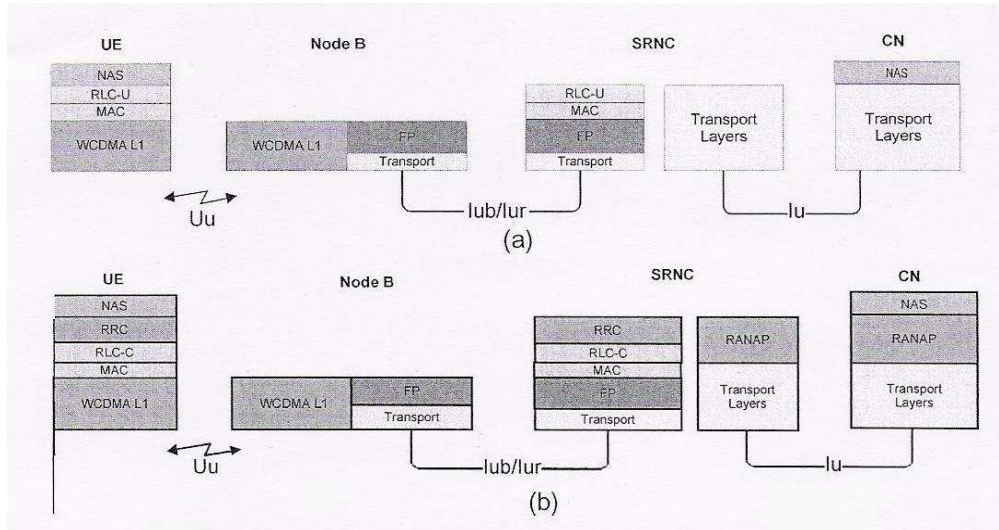


Σχήμα 2.12 Αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου ραδιοδιασύνδεσης UTRA FDD.

Το επίπεδο πρωτοκόλλου FP είναι ένα πρωτόκολλο User-Plane Iub (διασύνδεση μεταξύ ενός RNC ενός Node B)¹ και Iur (λογική διασύνδεση μεταξύ δύο RNC) στην κορυφή του επιπέδου προσαρμογής (Adaptation Layer) ATM τύπου 2 (AAL2), το οποίο χρησιμοποιείται για να μεταφέρει τα δεδομένα του χρήστη, και επιπλέον τον σχετικό έλεγχο πληροφορίας, μεταξύ του SRNC (Service Radio Network Controller) και του Node B. Η αρχιτεκτονική του UTRAN προσδιορίζεται στην αναφορά [3]. Το πρωτόκολλο FP χρησιμοποιείται πολύ για να παρέχει

¹ Ο όρος «Node B» χρησιμοποιείται από τις προδιαγραφές 3GPP για να υποδείξει ένα λογικό node που είναι υπεύθυνο για την ραδιολήψη / ραδιοεκπομπή σε μία ή περισσότερες κυψέλες σε ή από το UE. Ο πιο γενικός όρος που χρησιμοποιείται οπουδήποτε αλλού σε αυτό το βιβλίο σημαίνει ακριβώς το ίδιο πράγμα. Σ' ένα Node B (τερματική βάση) μπορούν να τοποθετηθούν περισσότερες κυψέλες, μία «κυψέλη» ορίζεται από μία αναγνώριση κυψέλης (C-ID), από την παραγωγή τροποποίησης ID, την καθυστέρηση χρονισμού (T-Cell), από το UARFCN (ULTRA Absolute Radio Frequency Channel Numbers), την μέγιστη ισχύ εκπομπής, την Προσαρμογή Χρονισμού Κλειστού Βρόγχου και του βασικού scrambling code [17].

μερικές απλές διαδικασίες (ρουτίνες) τύπου Iub / Iur όπως, για παράδειγμα, προσαρμογή χρονισμού του συγχρονισμού του UTRAN και ο έλεγχος ισχύος εξωτερικού - βρόγχου.



Σχήμα 2.13 Πληροφορικά παραδείγματα που βασίζονται στην αναφορά [3]: (α) η κατάληξη των πρωτοκόλλων αεροδιασύνδεσης επιπέδου - χρήστη, (user plane) (β) κατάληξη των πρωτοκόλλων air interface επιπέδου - ελέγχου (control plane).

2.4.2.2 Πρωτόκολλο MAC (Medium Access Control).

Το MAC είναι υπεύθυνο για την αντιστοίχιση των λογικών καναλιών (LoCH) σε κατάλληλα κανάλια μεταφοράς (TrCHs). Το MAC εξασφαλίζει μία αποδοτική χρήση των καναλιών μεταφοράς, βασίζεται στο στιγμιαίο ρυθμό ή ρυθμούς του σήματος και επιλέγει την κατάλληλη μορφή μεταφοράς - Transport Format (TF) μέσα σε ένα καθορισμένο τμήμα μεταφοράς (TFS), για κάθε ενεργό TrCH. Η μορφή μεταφοράς επιλέγεται βάσει του τμήματος ένωσης της μορφής μεταφοράς - Transport Format Combination Set (TFCS), η οποία καθορίζεται από το πρωτόκολλο RRC και παράγεται από το admission control στο RNC όταν διαμορφώνεται ή τροποποιείται ένα RAB (φέρων ραδιοπρόσβασης) [5].

Η λειτουργικότητα του επιπέδου MAC περιλαμβάνει την προτεραιότητα μεταβίβασης μεταξύ των ροών δεδομένων μιας σύνδεσης (επιλογή ενός TFC για το οποίο τα δεδομένα υψηλής προτεραιότητας αντιστοιχούν στο L1 με ένα TF «υψηλού bit rate»), την προτεραιότητα μεταβίβασης μεταξύ των UEs με τη δυνατότητα του χρονικού προγραμματισμού πακέτων (προτεραιότητα στην εκτέλεση των πιο βασικών λειτουργιών) και την αναγνώριση των UEs σε κοινά κανάλια μεταφοράς (σε αναγνώριση ζώνης).

Το MAC παρέχει λειτουργίες πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας των RLC PDUs προς και από τα TBs που μεταβιβάζονται προς και από το φυσικό επίπεδο στα κοινά κανάλια (οι υπηρεσίες ή τα καλύτερα LoCHs πολυπλέκονται για τα CCHs), και τις λειτουργίες πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας των RLC PDUs, προς και από τα TBS που μεταβιβάζονται προς και από το φυσικό επίπεδο στα αποκλειστικά κανάλια (υπηρεσίες ή καλύτερα LoCHs που πολυπλέκονται για τα DCHs).

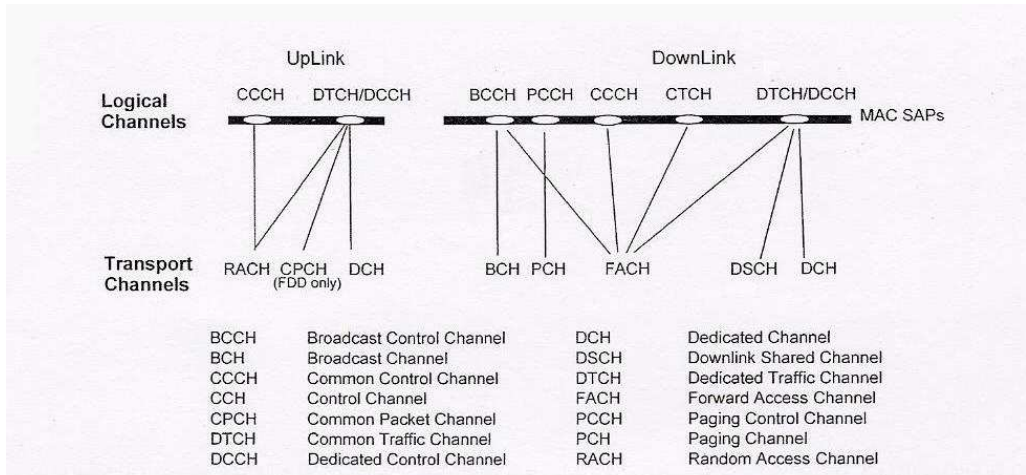
Το MAC είναι επίσης υπεύθυνο για την μέτρηση της έντασης κίνησης στα λογικά κανάλια και αναφέρεται στο RRC, βάσει του οποίου το RRC εκτελεί: διακοπτικές αποφάσεις δρομολόγησης των TrCH, δυναμικό TrCH τύπου μεταγωγής (εκτέλεση μεταγωγής μεταξύ κοινών και αποκλειστικών καναλιών), κρυπτογράφηση (για αποδοτικό τρόπο / μέθοδο συντονισμού του RLC, και επιλογή της ASC (Access Service Class) για την εκπομπή των UL κοινών καναλιών.

Οι υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων στο επίπεδο MAC παρέχονται στα λογικά κανάλια. Ο τύπος πληροφορίας που μεταβιβάζεται προσδιορίζει κάθε τύπο λογικού καναλιού. Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται μία γενική κατάταξη των λογικών καναλιών, η οποία χωρίζεται σε δύο ομάδες: τα **κανάλια ελέγχου** και τα **κανάλια κίνησης**. Τα κανάλια ελέγχου χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν την πληροφορία ελέγχου από το control plane και τα κανάλια κίνησης χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν μόνο την πληροφορία από το user plane.

Η σημασία των καναλιών ελέγχου και κίνησης μπορεί να αποδοθεί όπως ακολουθεί συνοπτικά.

- **Broadcast Control Channel (BCCH)**, για μετάδοση της πληροφορίας ελέγχου του συστήματος στο DL.
- **Paging Control Channel (PCCH)**, για την μεταφορά της πληροφορίας ειδοποίησης στο DL (χρησιμοποιείται όταν δεν ξέρει το δίκτυο την τοποθεσία κυψέλης του UE, ή όταν το UE είναι σε κατάσταση σύνδεσης κυψέλης).
- **Common Control Channel (CCCH)**, για τη μετάδοση της πληροφορίας ελέγχου μεταξύ δικτύων και των UE και στις δύο κατευθύνσεις (χρησιμοποιείται συνήθως όταν δεν υπάρχει σύνδεση RRC μαζί με το δίκτυο και τους UEs, χρησιμοποιώντας κοινά κανάλια μεταφοράς όταν κάνει πρόσβαση σε μία νέα κυψέλη μετά από το reselection cell).
- **Dedicated Control Channel (DCCH)**, ένα αμφίδρομο κανάλι από σημείο - σε - σημείο για την εκπομπή της πληροφορίας αποκλειστικού ελέγχου μεταξύ δικτύου και ενός UE (καθίσταται μέσω της διαδικασίας ρύθμισης της σύνδεσης RRC).

- **Dedicated Traffic Channel (DTCH)**, ένα κανάλι από - σημείο - σε - σημείο αποκλειστικό σε ένα UE για να μεταβιβάσει την πληροφορία του χρήστη (μπορεί να υπάρχει ένα DTCH και για UL και για DL κατεύθυνση).



Σχήμα 2.14 Αντιστοίχιση μεταξύ των λογικών καναλιών και των καναλιών μεταφοράς, στις uplink και downlink κατευθύνσεις (μόνο για το UTRAN FDD, δηλαδή χωρίς Uplink Shared Channel).

- **Common Traffic Channel (CTCH)**, ένα μονοκατευθυντικό κανάλι από - ένα - σημείο - σε - άλλο - πολλαπλό - σημείο για να μεταφέρει την πληροφορία αποκλειστικού χρήστη για όλους τους ή μία ομάδα συγκεκριμένων UE.

Στο Σχήμα 2.14 απεικονίζεται η αντιστοιχία μεταξύ των λογικών καναλιών και των καναλιών μεταφοράς.

2.4.2.3 Πρωτόκολλο RLC (Radio Link Control)

Το πρωτόκολλο ελέγχου ραδιοζεύξης παρέχει υπηρεσίες διαχωρισμού / επανένωσης (payload units, PU) και υπηρεσίες επανεκπομπής για τα δεδομένα χρήστη (Radio Bearer) και για τα δεδομένα ελέγχου (Signaling Radio Bearer - σηματοδosis ραδιοφέροντος) [6].

Κάθε παράδειγμα του RLC διαμορφώνεται από το RRC για να λειτουργήσει σε έναν από τους τρεις τρόπους (modes). Είναι ο Transparent Mode (TM), όπου δεν προστίθεται υπερκείμενο πρωτόκολλο σε δεδομένα υψηλότερου επιπέδου· ο Unacknowledged Mode (UM), όπου κανένα πρωτόκολλο δεν είναι εν χρήση και δεν εγγυάται την διανομή δεδομένων, και ο Acknowledged Mode (AM), όπου ο μηχανισμός ARQ (Automatic Repeat Request)

χρησιμοποιείται για την διόρθωση σφάλματος. Για όλα τα modes του RLC, η ανίχνευση σφάλματος CRC εκτελείται στο φυσικό επίπεδο και το αποτέλεσμα του CRC διανέμεται στο RLC μαζί με τα πραγματικά δεδομένα.

Μερικές από τις πιο σημαντικές λειτουργίες του πρωτοκόλλου RLC είναι ο διαχωρισμός και η επανένωση των PDUs μεταβλητού - μήκους ανωτέρου επιπέδου, από και προς μικρότερα RLC Payload Units (Pus), η διόρθωση σφάλματος, με τη βοήθεια της επανεκπομπής στο UM τρόπο μεταφοράς δεδομένων, η διανομή εν-ακολουθίας των PDUs ανωτέρου επιπέδου, έλεγχος ροής, δηλαδή ο έλεγχος ρυθμού στον οποίο ίσως στείλει πληροφορία η αντίστοιχη οντότητα RLC εκπομπής, η ανίχνευση σφαλμάτων και η ανάκτηση του πρωτοκόλλου SDU, η τεχνική ρύθισης του καναλιού με περισσότερα από ένα τερματικά και ο έλεγχος στην ανεύρεση ενός (καναλιού) με το οποίο εισέρχονται τα δεδομένα ή εξακριβώνει ποιο είναι ελεύθερο για εκπομπή (polling), αποκρυπτογράφηση, και τήρηση του QoS όπως ορίζεται από τα ανώτερα επίπεδα.

Πίνακας 2.1 Οι τρόποι μεταφοράς του RLC για τις τάξεις QoS του UMTS

UMTS QoS Class ^a	Domain	Source statistics descriptor	Service type	RLC transfer mode
Conversational	CS	Speech	CS speech	TM
		Unknown	CS T data	TM
	PS	Speech	PS speech	UM
Streaming	CS	Unknown	PS RT data	UM
		Speech	CS speech	N/A
	PS	Unknown	CS NT data	TM
		Speech	PS speech	N/A
Interactive	CS	Unknown	PS RT data	AM or UM ^b
		N/A	-	N/A
	PS	N/A	PS NRT data	AM
Background	CS	N/A	-	N/A
	PS	N/A	PS NRT data	AM

^a Τύπος εφαρμογής για τον οποίο βελτιώνεται η υπηρεσία φέροντος UMTS.

^b Ο τρόπος μεταφοράς εξαρτάται από την τιμή του χαρακτηριστικού καθυστέρησης μεταφοράς του RAB.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.1, ο RLC τρόπος μεταφοράς υποδεικνύει τον τρόπο μεταφοράς Δεδομένων που παρέχεται από την οντότητα RLC που μορφοποιείται γι' αυτό το συγκεκριμένο ραδιοφέρων RB. Ο τρόπος μεταφοράς για ένα RB είναι ο ίδιος και για UL και για DL κατεύθυνση, και προσδιορίζεται από το admission control στο SNRC από τα χαρακτηριστικά του RAB και του πεδίου πληροφορίας του CN.

Ο RLC τρόπος μεταφοράς επηρεάζει την τροποποίηση παραμέτρων του ελέγχου ισχύος εξωτερικού βρόχου στο RNC και στο bit rate του χρήστη. Η ποιότητα της επιθυμητής τιμής (target) δεν επηρεάζεται εάν χρησιμοποιηθεί ο TM ή ο UM τρόπος του RLC, ενώ ο

αριθμός των επανεκπομπών θα ληφθεί υπόψη από το RNP εάν είναι σε λειτουργία ο AM RLC. Το bit rate του χρήστη επηρεάζεται από τον τρόπο μεταφοράς του πρωτοκόλλου RLC, αφού το μήκος των επικεφαλίδων (αναγνώριση της ομάδας δεδομένων) L2 είναι στα 16bits για AM, 8bits για UM και 0bits για TM. Για το λόγο αυτό, το bit rate του χρήστη για την διαστασιοποίηση δικτύου δίνεται από το bit rate επιπέδου 1 (L1) μειωμένο από το bit rate της επικεφαλίδας L2.

2.4.2.4 Packet Data Convergence Protocol (PDCP)

Πρωτόκολλο Σύγκλισης / Συγκέντρωσης των δεδομένων πακέτου.

Αυτό το πρωτόκολλο υπάρχει μόνο στο U-plane και μόνο για υπηρεσίες από το πεδίο PS (Packet Switched). Οι κύριες λειτουργίες του PDCP είναι μια συμπίεση της πλεονάζουσας πληροφορίας ελέγχου του πρωτοκόλλου (π.χ. οι επικεφαλίδες τύπου TCP/IP και RTP/UDP/IP) στην οντότητα εκπομπής και αποσυμπίεση στην οντότητα λήψης, μεταφορά των δεδομένων χρήστη, π.χ. λαμβάνοντας ένα PDCP SDU τύπου NAS και προωθώντας το στη κατάλληλη οντότητα RLC και αντιθέτως, πολυπλεξία ραδιοφέροντων σε μία οντότητα RLC.

2.4.2.5 Broadcast Multicast Control (BMC) Protocol

Όπως το PDCP, το πρωτόκολλο BMC υπάρχει μόνο στο user plane. Αυτό το πρωτόκολλο εξασφαλίζει μία υπηρεσία πολλαπλής εκπομπής (broadcast / multicast transmission) στο radio interface για τα κοινά δεδομένα του χρήστη στη λειτουργία TM ή UM, εκμεταλλεύεται το UM RLC χρησιμοποιώντας τα λογικά κανάλια CTCH που αντιστοιχούνται (αλλάζουν) σε FACH. Το CTCH πρέπει να είναι μορφοποιημένο και το TrCH που χρησιμοποιείται από το δίκτυο πρέπει να υποδεικνύεται σε όλα τα UE, μέσω του συστήματος RRC για την μετάδοση πληροφορίας στο BMC [8].

2.4.2.6 Radio Resource Control (RRC) Protocol

Πρωτόκολλο ελέγχου των ραδιοπόρων

Η σηματοδότηση RRC χρησιμοποιείται για να ελέγχει την κινητικότητα του UE στον τρόπο σύνδεσης, για να εκπέμψει την πληροφορία και για να συνδέεται στο NAS και στο AS στρώμα, και για να στηρίξει, να αποδιαμορφώσει και να αποδεδμεύσει τους ραδιοφορείς RB. Το πρωτόκολλο RRC χρησιμοποιείται περισσότερο για να ρυθμίσει και να ελέγξει το κριτήριο αναφοράς της μέτρησης του UE και τον έλεγχο ισχύος εξωτερικού βρόγχου στο DL. Η ειδοποίηση, ο έλεγχος κρυπτογράφησης, η αρχική επιλογή κυψέλης και το reselection cell

είναι επίσης μέρη των διαδικασιών διαχείρισης της σύνδεσης RRC. Τα μηνύματα RRC μεταφέρουν όλες τις παραμέτρους που απαιτούνται για να ρυθμίσει, να τροποποιήσει και να αποδεσμεύσει τις οντότητες των πρωτοκόλλων L2 και L1 [9].

Μετά την ενεργοποίηση, τα τερματικά παραμένουν σε Idle Mode μέχρι να στηρίξει η αναφορά μία σύνδεση RRC που να εκπέμπεται στο δίκτυο. Στο Idle Mode η σύνδεση του UE είναι σχεδόν σε όλα τα επίπεδα του AS (Access Stratum). Στο Idle Mode αναγνωρίζεται ο UE από τις ταυτότητες NAS όπως είναι η Διεθνή Ταυτότητα Κινητού Συνδρομητή - International Mobile Subscriber Identify (IMSI), το TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identify) και το packet - TMSI. Το RNC δεν έχει πληροφορία όσον αφορά έναν οποιονδήποτε ιδιαίτερο UE, και μπορεί να γίνει διευθυνσιοδότηση, για παράδειγμα, όλους τους UEs σε μία κυψέλη ή να ελέγχει όλους τους UEs σε μια περίπτωση ειδοποίησης [9].

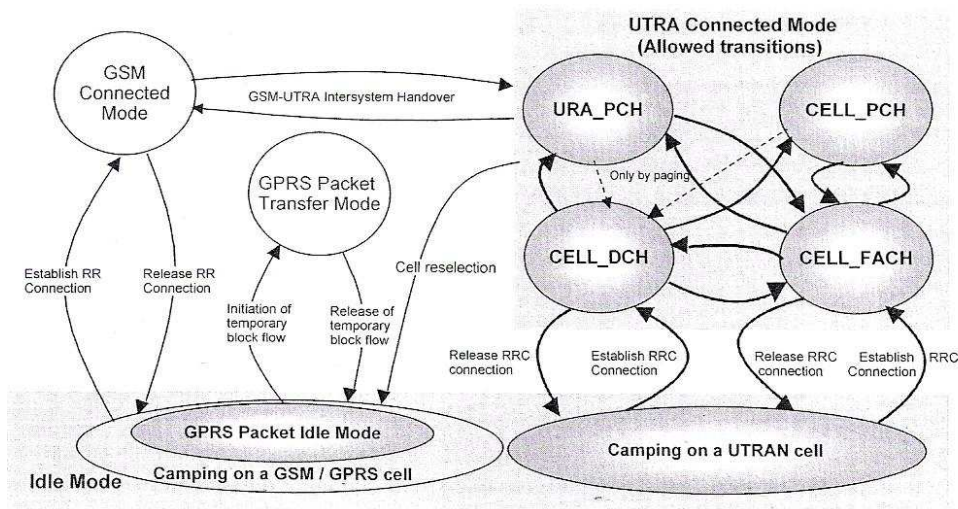
Στο Σχήμα 2.15 απεικονίζονται οι μεταβάσεις μεταξύ του Idle Mode και του UTRAN Connected Mode. Το UTRAN Connected Mode εισάγεται όταν εγκαθίσταται μια σύνδεση RRC. Η σύνδεση RRC ορίζεται ως μία αμφίδρομη σύνδεση από σημείο - σε - σημείο μεταξύ αντίστοιχων οντοτήτων RRC στο UE και στο UTRAN. Ένα UE έχει ή μία ή καμία σύνδεση RRC. Η διαδικασία εγκατάστασης μιας σύνδεσης RRC μπορεί να εισαχθεί μόνο από την αποστολή ενός μηνύματος από το UE για αίτηση σύνδεσης RRC για την ραδιοπρόσβαση δικτύου. Αυτό το γεγονός προκύπτει είτε από την ειδοποίηση της αίτησης από το δίκτυο είτε από μία αίτηση από τα ανώτερα επίπεδα στο UE. Όταν εγκαθίσταται μία σύνδεση RRC, ο UE προσδιορίζεται προσωρινά από μία Προσωρινή Ταυτότητα Ραδιοδικτύου - Radio Network Temporary Identify (RNTI) για να χρησιμοποιηθεί ως δική του ταυτότητα στα κοινά κανάλια μεταφοράς. Όταν το δίκτυο αποδεσμεύει την σύνδεση RRC αποδεσμεύονται η σηματοδότηση ζεύξεως και όλα τα RB μεταξύ του UE και του UTRAN [9].

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.15, οι καταστάσεις RRC είναι όπως ακολουθούν.

- **Cell-DCH** (κυψέλη αποκλειστικού καναλιού). Σε αυτή την κατάσταση το αποκλειστικό φυσικό κανάλι (DPCH), προσθέτει τελικά το Physical Downlink Shared Channel (PDSCH), που εκχωρείται στο UE. Εισάγεται από το Idle Mode ή από την εγκατάσταση ενός αποκλειστικού καναλιού μεταφοράς (DCH) από την κατάσταση Cell-FACH. Σε αυτή την κατάσταση το τερματικό πραγματοποιεί μετρήσεις σύμφωνα με το μήνυμα Ελέγχου Μέτρησης RRC (RRC MEASUREMENT CONTROL-message). Αντιθέτως η μετάβαση από την κατάσταση Cell-DCH στην Cell-FACH μπορεί να συμβεί, για παράδειγμα, μέσω της λήξης του χρονιστή αδράνειας (απάθειας).
- **Cell-FACH**. Σε αυτή την κατάσταση δεν εκχωρείται κανένα DPCH κανάλι στο UE, το κανάλι μεταφοράς τυχαίας πρόσβασης (RACH) και το κανάλι μεταφοράς Forward Access Channel (FACH) χρησιμοποιούνται για την εκπομπή της σηματοδότησης και την θέση μιας

μικρής ποσότητας δεδομένων του χρήστη. Το UE ακούει στην πληροφορία του συστήματος BCH και κινείται σε μία υποκατάσταση του Cell-PCH μέσω της σαφής σηματοδότησης όταν ο χρονιστής απάθειας τελειώνει στο FACH.

- **Cell-PCH.** Σε αυτή την κατάσταση αναγνωρίζεται η τοποθεσία του UE από το SNRC σε επίπεδο κυψέλης, μπορεί όμως να φθάσει μόνο μέσω ενός μηνύματος ειδοποίησης.



Σχήμα 2.15 Οι καταστάσεις και οι μεταβάσεις των καταστάσεων RRC, περιλαμβάνοντας το συνδεδεμένο τρόπο GSM για τις υπηρεσίες κυριαρχίας PSTN / ISDN και για τους τρόπους πακέτων GSM / GPRS για τις υπηρεσίες κυριαρχίας IP.

Αυτή η κατάσταση επιτρέπει την χαμηλή κατανάλωση μπαταρίας. Το UE μπορεί να χρησιμοποιήσει την Ασυνεχή Λήψη - (DRX), δείχνοντας το BCH να αποκτά την έγκυρη πληροφορία του συστήματος και κινείται στη κατάσταση Cell-FACH εάν ειδοποιείται από το δίκτυο ή μέσω μιας οποιασδήποτε πρόσβασης στο uplink, π.χ. να εισάγεται από το τερματικό για reselection cell (διαδικασία ενημέρωσης κυψέλης).

- **URA-PCH.** Αυτή η κατάσταση είναι παρόμοια της Cell-PCH, εκτός από το ότι το UE εκτελεί την διαδικασία ενημέρωσης κυψέλης μόνον εάν αλλάξει η UTRAN Registration Area (URA). Μία κυψέλη μπορεί να ανήκει σε μία ή πολλές URA περιοχές, για να αποφύγει τις επιδράσεις του ring-rong. Όταν ο αριθμός των ενημερώσεων κυψέλης ξεπερνά ένα βασικό όριο, το UE ίσως μεταβεί σε κατάσταση URA-PCH μέσω της ευκρινής σηματοδότησης. Το DCCH δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτή την περίπτωση, και μπορεί να αρχίσει από το δίκτυο η οποιαδήποτε δραστηριότητα μέσω της αναφοράς

ειδοποίησης στο PCCH ή δια μέσω μιας πρόσβασης uplink από το τερματικό χρησιμοποιώντας το RACH.

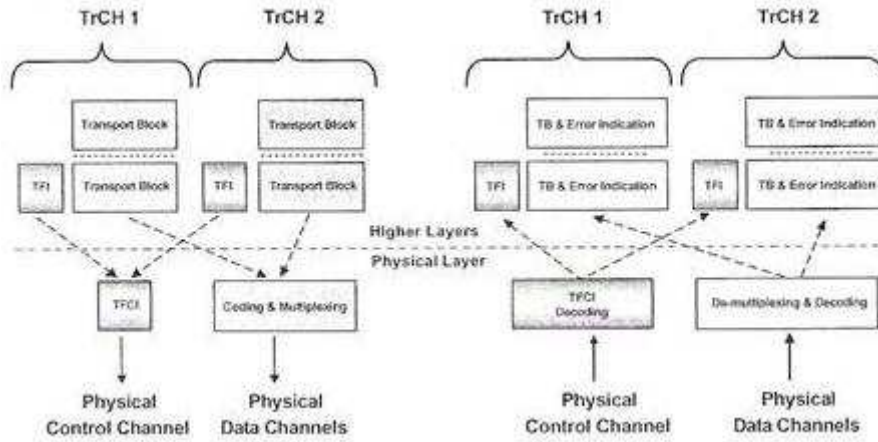
Η κατανόηση των λειτουργιών RRC και των διαδικασιών σηματοδότησης είναι απαραίτητη για το συντονισμό και την βελτιστοποίηση του δικτύου. Μέσω της ανάλυσης του πρωτοκόλλου RRC, είναι πιθανό να παρακολουθεί (ελέγχει) την εκπομπή πληροφορίας του συστήματος σε μία κυψέλη, τα μηνύματα ειδοποίησης, την επιλογή κυψέλης και τις διαδικασίες επανεπιλογής αυτής, την εγκατάσταση, την τήρηση και την αποδέσμευση της σύνδεσης RRC μεταξύ UE και UTRAN, το κριτήριο αναφοράς μέτρησης UE και ο έλεγχός τους, και για τον έλεγχο ισχύος ανοικτού και εξωτερικού βρόγχου.

2.4.3 Κανάλια μεταφοράς - Transport Channels

Στο UTRAN τα δεδομένα παράγονται στα υψηλότερα επίπεδα και μεταφέρονται πάνω από το air interface (αεροζεύξη - αεροδιασύνδεση) χρησιμοποιώντας τα κανάλια μεταφοράς που αντιστοιχούνται σε διαφορετικά φυσικά κανάλια. Το φυσικό επίπεδο έχει σχεδιαστεί για να παρέχει μεταβλητό bit rate των καναλιών μεταφοράς, να προσφέρει σε πρώτη ζήτηση υπηρεσίες εύρους ζώνης, να είναι ικανό να πολυπλέξει πολλές υπηρεσίες μέσα στην ίδια σύνδεση RRC σε ένα Σύνθετο Κωδικοποιημένο Κανάλι Μεταφοράς (Coded Composite Transport Channel - CCTrCH). Ένα CCTrCH μεταφέρεται από ένα φυσικό κανάλι ελέγχου και από ένα ή περισσότερα φυσικά κανάλια δεδομένων. Μπορούν να υπάρξουν παραπάνω από ένα CCTrCH στο downlink, αλλά εκπέμπεται μόνο ένα φυσικό κανάλι ελέγχου στη διαθέσιμη σύνδεση.

Στη 3GPP όλα τα TrCHs ορίζονται ως μονοκατευθυντικά με άλλα λόγια, uplink, downlink ή relay-link. Αναλογα με τις υπηρεσίες και την κατάσταση, το UE μπορεί να έχει ταυτόχρονα ένα ή πολλά TrCHs στο downlink, και ένα ή περισσότερα κανάλια στο uplink. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.16, για κάθε κανάλι μεταφοράς (TrCHs) σε οποιοδήποτε Χρονικό Διάστημα Εκπομπής (Transmission Time Interval - TTI) το φυσικό επίπεδο λαμβάνει ένα σύνολο από τμήματα μεταφοράς (TBs) και το αντίστοιχο Transport Format Indicator - TFI. Μετά το L1 συνδυάζει την πληροφορία TFI που λαμβάνεται από διαφορετικά TrCHs σε ένα Transport Format Combination Indicator (TFCI). Το TFCI εκπέμπεται στο φυσικό κανάλι ελέγχου για να ενημερώσει τον δέκτη για το ποια TrCHs είναι ταυτόχρονα ενεργά στο εν χρήση radio frame. Στο downlink, στην περίπτωση των περιορισμένων TFCs, μπορεί να παραληφθεί η σηματοδότηση TFCI και να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί η Τυφλή Ανίχνευση της Μορφής Δεδομένων (Blind Transport Format Detection - BTDF), όπου η αποκωδικοποίηση των TrCHs μπορεί να γίνει τόσο όσο μπορεί για να επιβεβαιώσει ποια θέση των αποθηκευμένων

πληροφοριών που θα δοθούν στην έξοδο (out block) ταιριάζει μαζί με τα αποτελέσματα CRC [4].



Σχήμα 2.16 Διεπαφή (interface) μεταξύ των υψηλότερων επιπέδων και του φυσικού επιπέδου. [19]

<u>Transport Channels</u>	<u>Physical Channels</u>
DCH	Dedicated Physical Data Channel (DPDCH)
	Dedicated Physical Control Channel (DPCCH)
RACH	Physical Random Access Channel (PRACH)
CPCCH	Physical Common Packet Channel (PCPCH)
	Common Pilot Channel (CPICH)
BCH	Primary Common Control Physical Channel (P-CCPCH)
FACH	Secondary Common Control Physical Channel (S-CCPCH)
PCH	
	Synchronisation Channel (SCH)
DSCH	Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)
	Acquisition Indicator Channel (AICH)
	Access Preamble Acquisition Indicator Channel (AP-AICH)
	Paging Indicator Channel (PICH)
	CPCH Status Indicator Channel (CSICH)
	Collision-Detection/Channel-Assignment Indicator Channel (CD/CA-ICH)

Σχήμα 2.17 Αντιστοίχιση των καναλιών μεταφοράς σε φυσικά κανάλια

Υπάρχουν δύο τύποι καναλιών μεταφοράς: τα αποκλειστικά κανάλια και τα κοινά κανάλια. Ένα κοινό κανάλι είναι ένας πόρος που μοιράζεται μεταξύ όλων των χρηστών ή σε ένα σύνολο χρηστών σε μία κυψέλη, ενώ αντίθετα ένα αποκλειστικό κανάλι είναι δεσμευμένο εξ ορισμού για έναν μόνο χρήστη. Οι συνδέσεις και η αντιστοίχιση μεταξύ των καναλιών μεταφοράς και των φυσικών καναλιών απεικονίζονται στο Σχήμα 2.17.

2.4.3.1 Αποκλειστικά Κανάλια Μεταφοράς - Dedicated transport Channels

Το μόνο αποκλειστικό κανάλι μεταφοράς που καθορίζεται στην 3GPP είναι το αποκλειστικό κανάλι (DCH) το οποίο υποστηρίζει μεταβλητό bit rate και υπηρεσίες πολυπλεξίας. Μεταφέρει όλες τις πληροφορίες του χρήστη που έρχεται από τα υψηλότερα επίπεδα, περιλαμβάνοντας πληροφορίες για πραγματικές υπηρεσίες (speech frames, data, κλπ) και έλεγχο πληροφορίας (εντολές ελέγχου μέτρησης, αναφορές μέτρησης UE κλπ). Αντιστοιχείται σε ένα Αποκλειστικό Φυσικό Κανάλι Δεδομένων (Dedicated Physical Data Channel - DPDCH). Το DPCH χαρακτηρίζεται από τον έλεγχο ισχύος κλειστού βρόγχου και το γρήγορο ρυθμό δεδομένων που αλλάζει βάση από frame - σε - frame, και μπορεί να διαδοθεί σε τμήμα της κυψέλης και να παρέχει το soft / softer handover [4].

2.4.3.2 Κοινά Κανάλια Μεταφοράς.

Τα κοινά κανάλια μεταφοράς είναι ένας πόρος που μοιράζεται μεταξύ όλων των χρηστών ή σε μία ομάδα χρηστών σε μία κυψέλη (χρειάζεται ένας αναγνωριστής In-Band). Δεν υποστηρίζουν soft / softer handover αλλά μερικά από αυτά μπορούν να έχουν γρήγορο έλεγχο ισχύος (power control), για παράδειγμα, το Common Packet Channel (CPCH) και το Downlink Shared Channel (DSCH). Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.14 και στο Σχήμα 2.17 τα κοινά κανάλια μεταφοράς είναι όπως ακολουθούν [4].

- **Broadcast Channel (BCH)** αυτό χρησιμοποιείται για να εκπέμψει πληροφορία (π.χ. κώδικες τυχαίας πρόσβασης, θυρίδες πρόσβασης κυψέλης, τύπος κυψέλης με μεθόδους πολλαπλής εκπομπής, κλπ) ειδικά στο UTRA δίκτυο ή σε μια ορισμένη κυψέλη· αντιστοιχείται σε Πρωτεύον Φυσικό Κοινό Κανάλι Ελέγχου - Primary Common Control Physical Channel (PCCPCH), το οποίο είναι μόνο ένα downlink κανάλι δεδομένων.
- **Forward Access Channel (FACH)**. Αυτό μεταφέρει την πληροφορία ελέγχου downlink στα τερματικά ξέροντας ότι θα βρεθεί στη δεδομένη κυψέλη. Χρησιμοποιείται πιο πολύ για να εκπέμψει μία μικρή ποσότητα δεδομένων πακέτου στο downlink. Μπορούν να είναι παραπάνω από ένα FACH σε μία κυψέλη, ακόμα και πολυπλεγμένα στο ίδιο Secondary Common Control Physical Channel (S-CCPCH). Το S-CCPCH μπορεί να χρησιμοποιήσει διαφορετικές αποκλίσεις (offsets) μεταξύ του πεδίου ελέγχου και δεδομένων σε διαφορετικούς ρυθμούς συμβόλου (symbol rate) και μπορεί να υποστηρίζει slow power control.
- **Paging Channel (PCH)**. Κανάλι ειδοποίησης. Αυτό μεταφέρει δεδομένα σχετικά με την διαδικασία ειδοποίησης. Το μήνυμα ειδοποίησης μπορεί να διαδοθεί σε μία κυψέλη ή σε

πολλές κυψέλες σύμφωνα με το σύστημα τροποποίησης. Αυτό το κανάλι αντιστοιχεί με το S-CCPCH.

- **Random Access Channel (RACH).** Αυτό έχει την πληροφορία ελέγχου uplink, όπως μία αναφορά για να ρυθμίσει μία σύνδεση RRC. Χρησιμοποιείται πιο πολύ για να στείλει μικρές ποσότητες δεδομένων πακέτου στο uplink. Το κανάλι αυτό αντιστοιχείται με το Physical Random Access Channel (PRACH).
- **Uplink Common Packet Channel (CPCH).** Αυτό μεταφέρει τα δεδομένα του χρήστη βάση πακέτου, Υποστηρίζει uplink inner loop PC, με τη βοήθεια ενός downlink Dedicated Physical Control Channel (DPCCH). Μπορεί να καλύψει το διάστημα μερικών radioframes και αντιστοιχείται με το Physical Common Packet Channel.
- **Downlink Shared Channel (DSCH).** Αυτό μεταφέρει αποκλειστικά δεδομένα χρήστη και / ή την πληροφορία ελέγχου για να είναι διαιρεμένη στο χρόνο μεταξύ πολλών χρηστών. Σαν καθαρό κανάλι δεδομένων, είναι πάντα συνδεδεμένο με ένα downlink. Υποστηρίζει την χρήση του downlink inner-loop PC, και στηρίζεται στο uplink DPCCH. Αντιστοιχείται με το Physical Downlink Shared Channel (PDSCH).

Τα κοινά κανάλια μεταφοράς που χρειάζονται για τη βασική λειτουργία της κυψέλης είναι τα RACH, FACH και PCH, ενώ τα DSCH και CPCH μπορούν να είναι ή να μην είναι χρησιμοποιούμενα από την εταιρεία κινητής τηλεφωνίας.

2.4.3.3 Μορφές και Σχηματισμός / Σύνθεση

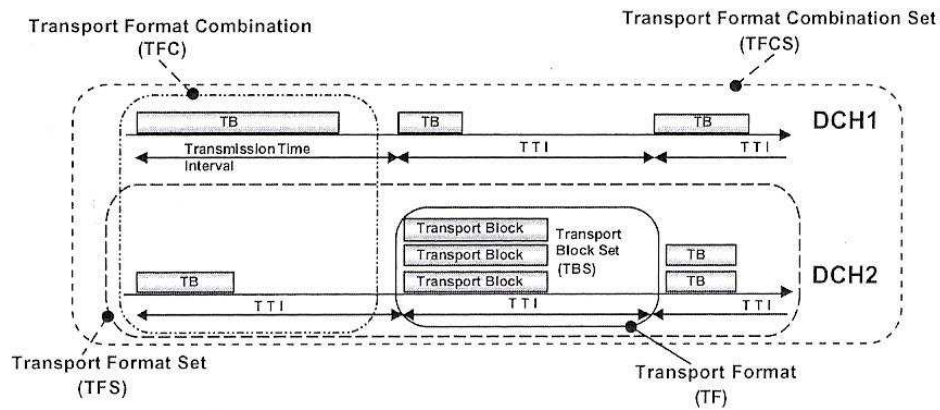
Για να περιγράψουμε πως εκτελείται και ελέγχεται η αντιστοίχιση των καναλιών μεταφοράς (TrCHs) από το L1, παρουσιάζονται σε αυτή την παράγραφο μερικοί γενικοί ορισμοί και τρόποι που ισχύουν για όλους τους τύπους καναλιών μεταφοράς. Περισσότερες πληροφορίες μπορούν να βρεθούν στην αναφορά [4].

- **Transport Block (TB):** είναι η βασική μονάδα που εναλλάσσεται μεταξύ του L1 και του MAC για την επεξεργασία του L1, τυπικά ένα TB αντιστοιχεί σε ένα RLC PDU ή σε μία αντίστοιχη μονάδα. Το L1 προσθέτει ένα CRC σε κάθε TB.
- **Transport Block Set (TBS):** ορίζεται σαν ένα σύνολο από TBs που εναλλάσσονται μεταξύ του L1 και MAC στην ίδια χρονική στιγμή χρησιμοποιώντας το ίδιο κανάλι μεταφοράς.
- **Transport Block Size:** ορίζεται ως τον αριθμό των bits σε ένα TB που είναι πάντα σταθερός σε ένα TBS, όλα τα TBs μέσα σε ένα TBS έχουν ίδιο μέγεθος.

- **Transport Block Set Size** ορίζεται ως αριθμός των bit σε ένα TBS.
- **Transmission Time Interval (TTI)** ορίζεται ως ο χρόνος μεταξύ δυο διαδοχικών αφίξεων των TBSs, και είναι ίσος με την περιοδικότητα στην οποία ένα TBS μεταφέρεται από το φυσικό επίπεδο στο radio interface. Είναι πάντα πολλαπλάσιο της ελάχιστης περιόδου interleaving (δηλαδή 10ms, το μήκος ενός Radio Frame). Το MAC διανέμει ένα TBS στο φυσικό επίπεδο σε κάθε χρονικό διάστημα εκπομπής (TTI).
- **Transport Format (TF)** είναι η μορφή μεταφοράς που δίνεται από το L1 στο MAC (και το αντίθετο) για τη διανομή ενός TBS κατά την διάρκεια ενός TTI στο δεδομένο TrCH. Αποτελείται από ένα δυναμικό μέρος (Transport Block Size, Transport Block Set Size) και από ένα ημιστατικό μέρος (TTI, τύπος προστασίας σφαλμάτων [turbo code, convolutional code, ή μη κωδικοποίηση καναλιού], ρυθμός κωδικοποίησης, στατική παράμετρος RM, μέγεθος CRC). Ένα άδειο TF ορίζεται σαν ένα TF που έχει ένα Block Set Size ίσο με το μηδέν.
- **Transport Format Set (TFS)** είναι ένα σύνολο από TFs που συνδέεται με ένα TrCH. Τα ημιστατικά μέρη όλων των TFs είναι τα ίδια μέσα σε ένα TFS. Τα μεγέθη των TB, TBS και TTI ορίζουν το bit rate του καναλιού μεταφοράς πριν την επεξεργασία του L1. Για παράδειγμα, για ένα αποκλειστικό κανάλι (DCH), θεωρώντας ένα μέγεθος TB των 336bits (320-bit payload+16bit η RLC επικεφαλίδα), ένα μέγεθος TBS των 2TBs ανά TTI, και με TTI των 10 ms, το bit rate του αποκλειστικού καναλιού δίνεται από το $336 \cdot 2 / 10 = 67,2 \text{Kbps}$, ενώ το bit rate του χρήστη αποκλειστικού καναλιού (DCH), το οποίο ορίζεται σαν bit rate DCH μειώνεται από τις επικεφαλίδες RLC, και δίνεται από το $320 \cdot 2 / 10 = 64 \text{Kbps}$.
Εξαρτωμενοι από τον τύπο υπηρεσίας που μεταφέρεται από το κανάλι μεταφοράς, μπορεί να επιτευχθεί μεταβλητό bit rate με αλλαγή μεταξύ του TTI ή TBS Size, ή και των δύο.
- **Transport Format Combination (TFC)** είναι ο συνδυασμός των ισχυόντων TFs που μπορεί να υποβληθεί ταυτόχρονα στο L1 σε ένα CCTrCH ενός UE, δηλαδή περιέχει ένα TF από κάθε TrCH που είναι μέρος της ένωσης. Ένα άδειο TFC ορίζεται ως ένα TFC το οποίο δημιουργείται μόνο για άδεια TFs.
- **Transport Format Combination Set (TFCS)** ορίζεται σαν ένα σύνολο από TFCs σε ένα CCTrCH και παράγεται από ένα αλγόριθμο στο RNC. Το TFCS είναι το τι δίνεται στο MAC για έλεγχο από το L3. Όταν καταφθάνουν τα δεδομένα αντιστοιχούνται στο L1, το MAC επιλέγει μεταξύ των διαφορετικών TFCs που καθορίζονται στο TFCS. Το MAC έχει έλεγχο μόνο πάνω από το δυναμικό μέρος του TFC, αφού το ημιστατικό μέρος ανταποκρίνεται στα χαρακτηριστικά υπηρεσίας (ποιότητα, καθυστέρηση μεταφοράς) και ρυθμίζεται από το

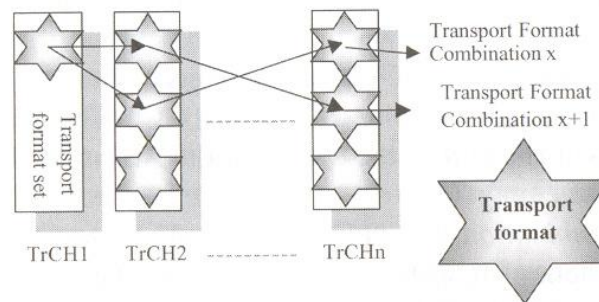
admission control στο RNC. Η επιλογή των TFCs μπορεί να φανεί ως ένα γρήγορο μέρος του ελέγχου ραδιοπύρου που είναι αποκλειστικό στο MAC, κοντά στο L1. Ως εκ τούτου το bit rate μπορεί να αλλάξει πολύ γρήγορα χωρίς την ανάγκη της σηματοδότησης για το L3. Στο Σχήμα 2.18 απεικονίζεται ένα παράδειγμα ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ του MAC και του φυσικού επιπέδου όταν πολυπλέκονται στη σύνδεση δύο DCHs.

- **Transport Format Indicator (TFI)**, όπως επισημάναμε στην εισαγωγή, είναι μία ετικέτα για το συγκεκριμένο TF μέσα σε ένα TFS. Χρησιμοποιείται στο Inter-Layer επικοινωνίας μεταξύ του MAC και του L1, κάθε φορά που ανταλλάσσεται ένα TBS μεταξύ των δύο επιπέδων μέσω ενός καναλιού μεταφοράς.
- **Transport Format Combination Indicator (TFCI)**, χρησιμοποιείται για να είναι ομοιόμορφο το λαμβανόμενο μέρος του βασικού TFC, και γι' αυτό το λόγο να αποκωδικοποιηθούν, να αποπολυπλεχθούν και να μεταφερθούν τα λαμβανόμενα δεδομένα στο MAC σε κατάλληλα TrCHs. Το MAC υποδεικνύει τα TFIs στο L1 σε κάθε αποστολή των TBSs σε κάθε TrCH. Μετά το L1 οργανώνει το TFC από τα TFIs όλων των παράλληλων TrCHs του UE, επεξεργάζοντας τα TB και προσαρτίζοντας κατάλληλα το TFCI στο φυσικό έλεγχο σηματοδότησης (DPCCH). Διαμέσου της ανίχνευσης του TFCI το λαμβανόμενο μέρος είναι ικανό να αναγνωρίσει το TFC.



Σχήμα 2.18 Παράδειγμα εναλλαγής των δεδομένων μεταξύ του MAC και του φυσικού επιπέδου όταν εφαρμόζονται δύο κανάλια DCH.

Τα TFCsSs μπορούν να παραχθούν όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.19 π.χ. ως ένα καρτεσιανό γινόμενο μεταξύ των TFSs και των TrCHs που πολυπλέκονται σε ένα CCTrCH, το καθένα θεωρείται σαν ένα διάνυσμα. Θεωρητικά κάθε κανάλι μεταφοράς μπορεί να έχει οποιοδήποτε TF στο TFC, αλλά στην πράξη επιλέγεται μόνο ένας περιορισμένος αριθμός πιθανών ενώσεων.



Σχήμα 2.19 Οι Σχέσεις των μορφών μεταφοράς (TF), του TFS και του TFC

2.4.3.4 Οι λειτουργίες του Φυσικού Επιπέδου.

Το UE μπορεί να εκπέμψει αμέσως μόνο ένα CCTrCH, ενώ τα πολλαπλά κανάλια μπορούν να ληφθούν ταυτόχρονα στην downlink κατεύθυνση. Στο uplink ένα TFCI αντιπροσωπεύει τα κύρια TFs για όλα τα DCHs του CCTrCH. Τα RACHs είναι πάντα αντιστοιχούμενα ένα προς ένα στα φυσικά κανάλια (PRACHs) δηλαδή δεν υπάρχει πολυπλεξία των RACHs στο φυσικό επίπεδο. Συνήθως, μόνο ένα CPCH ενός συνόλου CPCH αντιστοιχείται πάνω στο PCPCH, το οποίο χρησιμοποιεί ένα υποσύνολο των TFCs που προέρχονται από το TFS του συνόλου CPCH. Ένα σύνολο CPCH χαρακτηρίζεται από ένα ειδικό σύνολο scrambling code για τον παλμό πρόσβασης ελάχιστης ισχύος (preamble) και για τη ανίχνευση σύγκρουσης πακέτων (collision detection) που δίνεται στο τερματικό όταν τροποποιείται μια υπηρεσία για εκπομπή του CPCH [4].

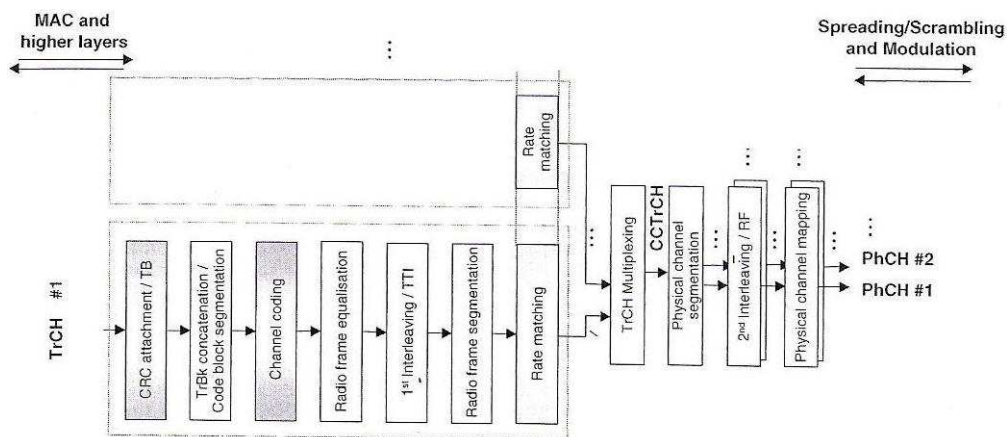
Στο downlink η αντιστοίχιση αυτή μεταξύ των DCHs και τα τμήματα δεδομένων του φυσικού καναλιού λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο όπως και στην αντίθετη κατεύθυνση. Η κύρια τροποποίηση της μονάδας κωδικοποίησης και πολυπλεξίας (TFCI) επισημαίνεται στο τερματικό ή ανιχνεύεται προαιρετικά με BTFD. Κάθε CCTrCH έχει μόνο ένα (ή κανένα) αντίστοιχο TFCI που αντιστοιχεί (κάθε 10ms radioframe) στο ίδιο DPCCCH που χρησιμοποιείται στην σύνδεση. Ένα PCH και ένα ή πολλά FACH μπορούν να κωδικοποιηθούν και να πολυπλεχθούν μαζί σχηματίζοντας ένα CCTrCH. Το PCH συνδέεται πάντα μαζί με το Paging Indicator Channel (PICH), το οποίο χρησιμοποιείται για να ξεκινήσει

την λήψη το UE του S-CCPCH όπου αντιστοιχείται το PCH. Ένα FACH ή ένα PCH μπορεί επίσης να αντιστοιχηθεί σε ένα χωριστό φυσικό κανάλι. Το BCH αντιστοιχείται πάντα στο P-CCPCH, χωρίς την πολυπλεξία άλλων καναλιών μεταφοράς [4].

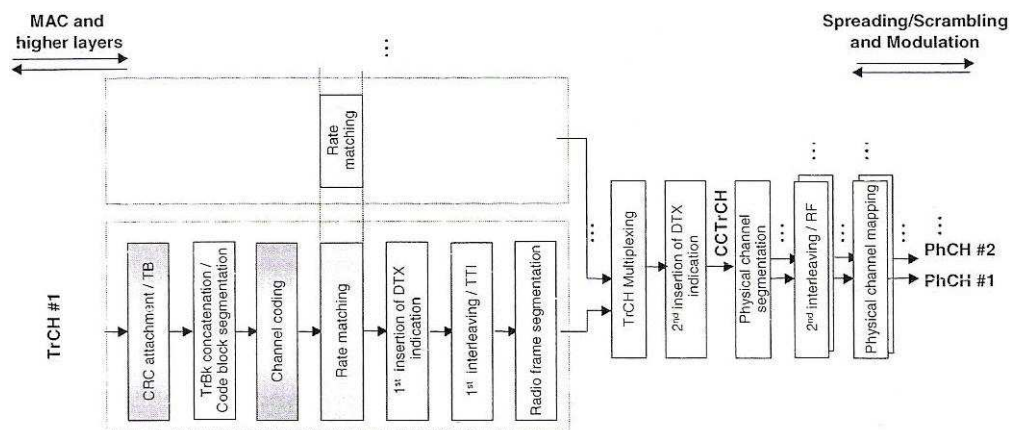
Οι κύριες λειτουργίες του φυσικού επιπέδου είναι το Forward Error Coding (FEC) κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση των καναλιών μεταφοράς, μετρήσεις των δεικτών επίδοσης στα υψηλότερα επίπεδα, (π.χ. BER, SIR, ισχύς παρεμβολής, ισχύς εκπομπής κλπ), diversity distribution/combination και εκτέλεση του soft handover, ανίχνευση σφάλματος στα κανάλια μεταφοράς (Κυκλικός Έλεγχος Πλεονασμού «για την ακεραιότητα των ψηφιακών δεδομένων», CRC), πολυπλεξία των καναλιών μεταφοράς και αποπολυπλεξία των CCTrCHs, προσαρμογή ρυθμού, αντιστοίχιση των CCTrCHs σε φυσικά κανάλια, διαμόρφωση / αποδιαμόρφωση και διεύρυνση / αποδιεύρυνση των φυσικών καναλιών, συγχρονισμός της συχνότητας και χρόνου (chip, bit, slot frame), τον έλεγχο ισχύος κλειστού βρόγχου (έλεγχος ισχύος εσωτερικού βρόγχου), τι ποσοστό της συνολικής ισχύος θα δωθεί σε κάθε φυσικό κανάλι, συνδιασμός των φυσικών καναλιών και επεξεργασία RF.

Η αλυσίδα πολυπλεξίας και κωδικοποίησης καναλιού απεικονίζεται στα Σχήματα 2.20 και 2.21 για τις κατευθύνσεις uplink και downlink, αντίστοιχα. Όπως φαίνεται σε αυτά τα 2 Σχήματα, τα δεδομένα φτάνουν στη μονάδα κωδικοποίησης / πολυπλεξίας στη μορφή συνόλων TBs αμέσως σε κάθε TTI. Το TTI είναι συγκεκριμένη μονάδα χρόνου του TBS και παίρνει τιμές : (10 ms, 20 ms, 40 ms, 80 ms) [12].

Η ανίχνευση σφάλματος παρέχεται στα TB μέσω του Κυκλικού Ελέγχου Πλεονασμού (CRC).



Σχήμα 2.20 Αλυσίδα πολυπλεξίας και κωδικοποίησης καναλιού στο uplink.



Σχήμα 2.21 Αλυσίδα πολυπλεξίας και κωδικοποίησης καναλιού στο downlink.

Πίνακας 2.2 Συνδυασμοί / Τάξεις των καναλιών κωδικοποίησης.

Type of TrCH	Coding scheme	Coding rate
BCH	Convolutional coding	1/2
PCH		
RACH		
CPCH, DCH, DSCH, FACH	Convolutional coding	1/3, 1/2
	Turbo coding	1/3
	No coding	

Το μήκος του CRC καθορίζεται από το admission control στο RNC και μπορεί να είναι 24, 16, 12, 8 ή 0 bits [12]. Ανεξάρτητα από το αποτέλεσμα του ελέγχου CRC, όλα τα TBs διανέμονται κατά μήκος στο L2 μαζί με τις σχετικές ενδείξεις σφαλμάτων. Έπειτα αυτή η εκτίμηση χρησιμοποιείται σαν πληροφορία ποιότητας για το macro diversity selection/combination στη UL ζεύξη στο RNC, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης απευθείας ως ένδειξη σφάλματος στο L2 για κάθε εσφαλμένο TB στο TM, στο UM και στο AM RLC, δεδομένου ότι όλα τα RLC PDUs αντιστοιχούνται ένα προς ένα στα TBs.

Εξαρτώμενο από το εάν ταιριάζει το TB στο κατάλληλο μέγεθος του κωδικού τμήματος (μέθοδος κωδικοποίησης καναλιού), τα τμήματα μεταφοράς (TBs) είναι σε αλληλουχία ή σε κατάτμηση στα κωδικοποιημένα μπλοκ του κατάλληλου μεγέθους. Η ισοστάθμιση του καναλιού κωδικοποίησης και του radio frame εκτελείται στα κωδικοποιημένα τμήματα μετά την λειτουργία αλληλουχίας, ή κατάτμησης (μερισμού). Αναφέρονται μόνο τα σχήματα κωδικοποίησης του καναλιού στον Πίνακα 2.2 και μπορεί να εφαρμοστεί στα TrCHs, δηλαδή είτε συνελεικτική κωδικοποίηση (convolutional coding) (CC), turbo κωδικοποίηση ή μη κωδικοποίηση (χωρίς περιορισμό στο μέγεθος του κωδικοποιημένου τμήματος).

Η συνελεικτική κωδικοποίηση χρησιμοποιείται τυπικά με σχετικά χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων, δηλαδή το BTFD χρησιμοποιώντας τον αποκωδικοποιητή Viterbi είναι πολύ πιο γρήγορο από το turbo coding, ενώ η turbo κωδικοποίηση εφαρμόζεται για υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και φέρνει πλεονεκτήματα επίδοσης όταν επιτυγχάνεται ένας αρκετά μεγάλος αριθμός από bits στο TB για μια σημαντική επίδραση του interleaving [19]. Για παράδειγμα, η υπηρεσία ομιλίας AMR (συντονισμένα κανάλια μεταφοράς, πολυπλεγμένα στο FP) χρησιμοποιεί την UEP (Unequal Error Protection): Τάξη A bits· δυνατή προστασία (1/3 CC και 12-bit CRC), Τάξη B bits· λιγότερη προστασία (1/3 CC), και Τάξη C bits· ελάχιστη προστασία (1/2 CC).

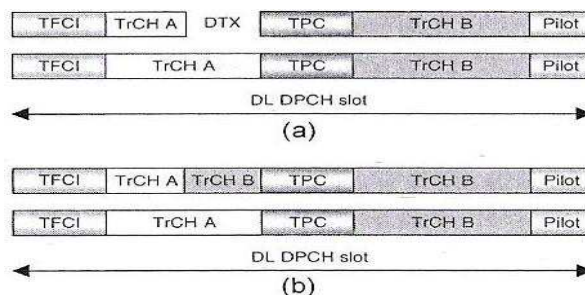
Η λειτουργία της ισοστάθμισης (radioframe equalisation-padding) είναι για να εξασφαλίσει ότι τα δεδομένα που φτάνουν μετά από την κωδικοποίηση καναλιού μπορούν να διαχωριστούν σε ίσα blocks, όταν η διάρκειά εκπομπής είναι μεγαλύτερη από ένα radio frame των 10ms. Τέτοια ισοστάθμιση (padding) του radioframe εκτελείται μόνο στο UL, γιατί στο DL, λόγω της προσαρμογής ρυθμού τα blocks που παράγονται είναι ίσου μεγέθους ανά frame.

Το πρώτο interleaving (ή το πρώτο radio frame interleaving) χρησιμοποιείται όταν ο προϋπολογισμός καθυστέρησης επιτρέπει περίοδο interleaving μεγαλύτερη των 10ms. Η πρώτη περίοδος interleaving σχετίζεται με το TTI.

Η διαδικασία προσαρμογής ρυθμού χρησιμοποιείται για να προσαρμόσει τον αριθμό των bits να εκπεμφθούν στο διαθέσιμο αριθμό ενός απλού frame (DPCH), με puncturing (που είναι αφαίρεση των bits) είτε με επανάληψη. Η ποσότητα puncturing ή επανάληψης εξαρτάται από την συγκεκριμένη υπηρεσία και τις απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Η προσαρμογή ρυθμού λαμβάνει υπόψη τον αριθμό των bits όλων των TrCHs που είναι ενεργά σε αυτό το frame. Το admission control (έλεγχος πρόσβασης) του RNC παρέχει μία ημιστατική παράμετρο, το *“χαρακτηριστικό προσαρμογής ρυθμού”*, για να ελέγχει τη σχετική προσαρμογή ρυθμού μεταξύ των διαφορετικών TrCHs. Το *χαρακτηριστικό προσαρμογής ρυθμού* χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την τιμή προσαρμογής ρυθμού όταν πολυπλέκονται πολλά TrCHs για το ίδιο frame. Με τη βοήθεια του *χαρακτηριστικού προσαρμογής ρυθμού*, και του TFCI, ο δέκτης μπορεί να επανυπολογίσει τις παραμέτρους προσαρμογής ρυθμού που χρησιμοποιούνται και να εκτελέσει την ανάστροφη λειτουργία. Ρυθμίζοντας το *χαρακτηριστικό προσαρμογής ρυθμού*, το admission control του RNC ρυθμίζει αναλυτικά την ποιότητα των διαφορετικών υπηρεσιών για να έχει μία ίση ή σχεδόν ίση απαίτηση στάθμης ισχύος συμβόλου για όλες τις υπηρεσίες. Ο χειρισμός μεταβλητού ρυθμού εκτελείται μετά την πολυπλεξία των TrCHs για προσαρμογή του συνολικού στιγμιαίου ρυθμού των πολυπλεγμένων TrCHs στο bit rate του καναλιού DPDCH (όταν οι ομάδες των blocks

μεταφοράς δεν περιέχουν τον μέγιστο αριθμό των bits του DPDCH). Ο αριθμός των bits σε ένα TrCH μπορεί να διαφέρει μεταξύ των διαφορετικών TTIs.

Στο downlink, η εκπομπή διακόπτεται εάν ο αριθμός των bits είναι λιγότερος από το μέγιστο επιτρεπτό από το κανάλι DPDCH. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.22 (α) ένα σταθερό μέρος του TrCH χρησιμοποιεί πάντα τα ίδια σύμβολα σε ένα DPCH. Εάν ο ρυθμός εκπομπής είναι κάτω του μεγίστου, χρησιμοποιείται μετά η ένδειξη DTX για εκείνα τα σύμβολα. Τα διαφορετικά TrCHs δεν έχουν δυναμική επίδραση στις τιμές προσαρμογής ρυθμού που εφαρμόζονται σε άλλο κανάλι, και όλα τα TrCH μπορούν να χρησιμοποιήσουν το μέγιστο bit rate ταυτόχρονα (το διάστημα είναι πάντα εξαρτώμενο από το μέγιστο TF του TFS). Ένα TrCH σταθερής σειράς (θέσης) επιτρέπει ευκολότερα το blind detection. Εάν οι θέσεις των TrCH ήταν ευπροσάρμοστες όταν αντιστοιχούνται στο φυσικό κανάλι, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.22(b), τα bits του καναλιού δεν χρησιμοποιούνται από μία υπηρεσία και μπορούν να χρησιμοποιούνται από κάποια άλλη. Η τυφλή ανίχνευση (blind detection) είναι επιτευκτική (για χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων και για λίγο υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων) αλλά δεν απαιτείται από τις προδιαγραφές [19].



Σχήμα 2.22 Παραδείγματα των TrCHs (α) σταθερού μέρους και (β) ευπροσάρμοστου μέρους.

Στο uplink, τα bits επαναλαμβάνονται ή αφαιρούνται (puncturing), ώστε το συνολικό bit rate μετά την πολυπλεξία του TrCH να είναι ακριβώς το ίδιο με το ολικό bit rate του καναλιού των εκχωρημένων καναλιών DPCHs. Η προσαρμογή ρυθμού εκτελείται σε ένα πιο δυναμικό τρόπο και μπορεί να διαφέρει από frame - σε - frame.

Η εκπομπή του πολλαπλού κώδικα εκτελείται όταν το ολικό bit rate είναι εκπεμπόμενο σε ένα CCTrCH και υπερβαίνει το μέγιστο bit rate του DPCH. Η εκπομπή του πολλαπλού κώδικα εξαρτάται από τις δυνατότητες του πολλαπλού κώδικα του UE και του Node B και αποτελείται από μερικά παράλληλα DPDCHs που εκπέμπονται για ένα CCTrCH που χρησιμοποιεί τον ίδιο συντελεστή διεύρυνσης (spreading factor).

- Εάν χρησιμοποιούνται πολλά CCTrCHs στο downlink για ένα UE, κάθε CCTrCH μπορεί να έχει διαφορετικό spreading factor, αλλά χρησιμοποιείται μόνο ένα DPCH γι' αυτά στη σύνδεση.
- Στο uplink, το UE μπορεί να χρησιμοποιήσει μόνο ένα CCTrCH ταυτόχρονα. Η λειτουργία του πολλαπλού κώδικα είναι δυνατή εάν η μέγιστη επιτρεπτή ποσότητα puncturing έχει ήδη εφαρμοστεί. Για τους διαφορετικούς κώδικες είναι υποχρεωτικό για το τερματικό να χρησιμοποιήσει Spreading Factor (SF) 4. Μπορούν και να εκπεμφθούν έως 6 παράλληλα DPCHs και μόνο ένα DPCH ανά σύνδεση.

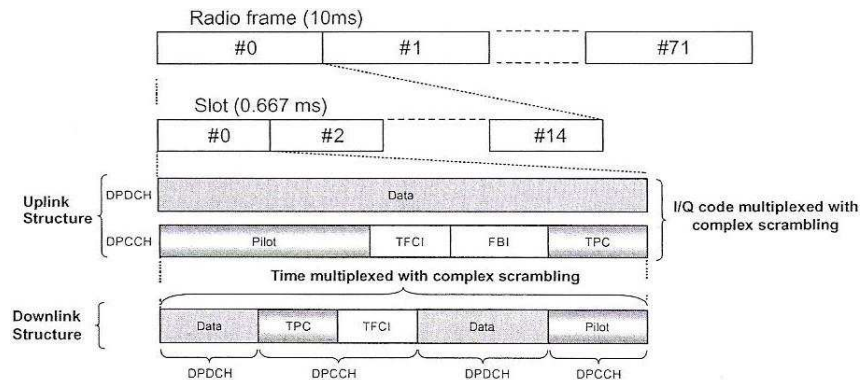
Το δεύτερο interleaving καλείται επίσης και intra-frame interleaving (10 ms radio frame interleaving). Αποτελείται από ένα block μεταθέσεων των στηλών, και εφαρμόζεται ξεχωριστά για κάθε φυσικό κανάλι (εάν εκπέμπεται παραπάνω από ένα κανάλι μονού κώδικα).

2.4.4 Φυσικά Κανάλια και Αντιστοίχιση των Καναλιών Μεταφοράς (FDD).

Σε αυτή την παράγραφο περιγράφεται η δομή του αποκλειστικού φυσικού καναλιού (DPCH). Περισσότερες επεξηγήσεις μπορούν να βρεθούν στην αναφορά [11]. Ένα φυσικό κανάλι αναγνωρίζεται από μία συγκεκριμένη συχνότητα φέροντος, από το scrambling code, τον channelisation code [(προαιρετικός), (κώδικα καναλοποίησης)], από τη διάρκεια και, στο uplink, τη σχετική φάση (0 ή $\pi/2$). Στο UMTS η εκπομπή ενός φυσικού καναλιού είναι συνεχόμενη σε κανονική λειτουργία, αλλά σε λειτουργία συμπίεσης είναι διακοπτόμενη για να επιτρέψει στο UE να ελέγχει τις κυψέλες σε άλλες συχνότητες FDD και από άλλες τεχνολογίες ραδιοπρόσβασης όπως είναι το GSM.

2.4.4.1 Δομή του Αποκλειστικού Φυσικού Καναλιού (DPCH).

Η δομή του αποκλειστικού φυσικού καναλιού απεικονίζεται στο Σχήμα 2.23. Σε αυτό το μοντέλο κάθε ζεύγος των 2 bits αντιπροσωπεύει ένα ζεύγος I/O της διαμόρφωσης (συμβόλου) QPSK. Όπως φαίνεται στο σχήμα η δομή του frame αποτελείται από 15 slots διάρκειας 10ms ή 38.400 chips και το κάθε slot αντιστοιχεί σε 2.560 chips (0,677 ms), το οποίο ισοδυναμεί με μία περίοδο του ελέγχου ισχύος.

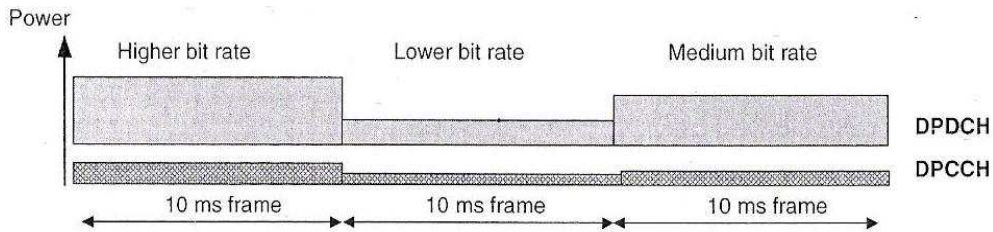


Σχήμα 2.23 Δομή των αποκλειστικών φυσικών καναλιών για διευθύνσεις uplink και downlink.

2.4.4.2 Dedicated Uplink Physical Channel

Η δομή του αποκλειστικού φυσικού uplink καναλιού για μία περίοδο του P.C φαίνεται στο Σχήμα 2.23. Η αποκλειστική πληροφορία του υψηλότερου επιπέδου, περιέχοντας τα δεδομένα του χρήστη και τη σηματοδότηση, μεταφέρεται από το uplink αποκλειστικό φυσικό κανάλι δεδομένων [uplink (DPDCH)], και η πληροφορία ελέγχου παράγεται στο L1 και αντιστοιχείται στο uplink Αποκλειστικό Φυσικό Κανάλι Ελέγχου (uplink DPCCH). Το DPCCH περιλαμβάνει προκαθορισμένα πιλοτικά σύμβολα (χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του καναλιού για τη σύμφωνη ανίχνευση –μέση τιμή του σήματος), εντολές εκπομπής του ελέγχου ισχύος (TPC), πληροφορία ανάδρασης (FBI) για τη λειτουργία κλειστού βρόγχου με Δυνατότητα Πολλαπλής Εκπομπής (Transmit Diversity) και του Site Selection Diversity Technique - SSdT, και προαιρετικά ένα Transport Format Combination Indicator (TFCI). Μπορεί να υπάρχει ένα ή κανένα ή πολλά uplink DPDCH, σε κάθε ραδιοζεύξη, αλλά μπορεί να εκπνευθεί μόνο ένα DPCCH. Το-α DPDCH(s) είναι πολυπλεγμένο-α σε κώδικα I/Q με μιγαδικό scrambling.

Επιπλέον όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.3, το uplink DPDCH μπορεί να έχει ένα συντελεστή διεύρυνσης (SF) από 256 (15 Ksps) και έως 4 (960 Ksps), ενώ το uplink DPCCH εκπνευθεί πάντα με συντελεστή διεύρυνσης (spreading factor) 256 (15 Ksps). Επίσης ο Πίνακας 2.3 δείχνει τις παραμέτρους του uplink φυσικού καναλιού για πολυπλεξία δεδομένων, ομιλίας και σηματοδότησης ραδιοφέροντος (SRB) [11].



Σχήμα 2.24. Παραλληλη εκπομπή του DPDCH και του DPCCH.

Πίνακας 2.3 Ρυθμοί συμβόλων των uplink DPDCH και παραδείγματα υπηρεσιών πολυπλεξίας.

SF	Channel symbol rate (ksps) ^a	User bit-rate (kbps)	Example of services multiplexing	Transport format (semi-static part)
256	15	3.4	Stand-alone mapping of DCCH 3.4 kbps	SRB (TTI 40 ms, CC coding rate 1/3)
128	30	–	–	–
64	60	12.2 + 3.4	AMR speech 12.2 kbps, DCCH 3.4 kbps	AMR (TTI 20 ms, CC 1/3 for TrCH#A and B, CC 1/2 for TrCH#C) and SRB (as above)
32	120	28.8 + 3.4	Modem 28.8 kbps, DCCH 3.4 kbps	CS data (TTI 40 ms, turbo coding 1/3) and SRB (as above)
16	240	(12.2) ^b + 64 + 3.4	(AMR speech 12.2 kbps), packet data 64 kbps, DCCH 3.4 kbps	64 kbps packet data (TTI 20 ms, turbo coding 1/3), AMR and SRB (as above)
16	240	64 + 3.4	ISDN 64 kbps, DCCH 3.4 kbps	CS data (TTI 40 ms, turbo coding 1/3) and SRB (as above)
16	240	57.6 + 3.4	Fax 57.6 kbps, DCCH 3.4 kbps	CS data (TTI 40 ms, turbo coding 1/3) and SRB (as above)
8	480	(12.2) + 128 + 3.4	(AMR speech 12.2 kbps), packet data 128 kbps, DCCH 3.4 kbps	128 kbps packet data (TTI 20 ms, turbo coding 1/3), AMR and SRB (as above)
8	480	(12.2) + 144 + 3.4	(AMR speech 12.2 kbps), packet data 144 kbps, DCCH 3.4 kbps	144 kbps packet data (TTI 20 ms, turbo coding 1/3), AMR and SRB (as above)
4	960	(12.2) + 384 + 3.4	(AMR speech 12.2 kbps), packet data 384 kbps, DCCH 3.4 kbps	384 kbps packet data (TTI 20 ms, turbo coding 1/3), AMR and SRB (as above)

a Στο uplink ένα σύμβολο = 1bit.

b Το AMR ομιλίας όταν φαίνεται σε παρενθέσεις δεν επηρεάζει το SF.

Το admission control στο RNC δημιουργεί το TFCS και υπολογίζει το ελάχιστο επιτρεπτό SF. Όπως ήδη επισημάνθηκε, στο uplink για τον μεταβλητό ρυθμό χρησιμοποιώντας το bit rate (SF) του DPDCH μπορεί να διαφέρει από frame σε frame. Η παράλληλη εκπομπή του DPDCH και του DPCCH, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.24, επιτρέπει συνεχή εκπομπή ανεξάρτητα από το bit rate και την εκπομπή δεδομένων (DTX). Έπειτα η ακουστική παρεμβολή σε άλλο εξοπλισμό μειώνεται χωρίς να επηρεάζει τη φασματική αποδοτικότητα.

2.4.4.3 Dedicated Downlink Physical Channel

Στο downlink το αποκλειστικό φυσικό κανάλι (downlink DPCH) αποτελείται από ένα downlink DPDCH και από ένα DPCCH πολυπλεγμένα στο χρόνο με μιγαδικό scrambling. Ωστόσο τα αποκλειστικά δεδομένα παράγονται στα υψηλότερα επίπεδα και μεταφέρονται στο DPDCH που είναι πολυπλεγμένο στο χρόνο με πιλοτικά bits (pilot bits), με εντολές TPC και με TFCI bits (προαιρετικά) που παράγονται από το φυσικό επίπεδο.

Όπως επισημάνθηκε στην Παράγραφο 2.4.3.4, το DPCH μπορεί να περιέχει ή και να μην περιέχει το TFCI εάν δεν εκπέμπονται τα TFCI bits, το DTX χρησιμοποιείται στο αντίστοιχο πεδίο. Η δομή του φυσικού καναλιού σε μία περίοδο ελέγχου - ισχύος φαίνεται στο Σχήμα 2.23. Οι κλάδοι I/Q έχουν ίση ισχύ και το εύρος των συντελεστών διεύρυνσης είναι από 512 (7,5 ksps) έως 4 (960 ksps). [11]. Στον Πίνακα 2.4 φαίνονται παραδείγματα των υπηρεσιών πολυπλεξίας.

Όπως παρουσιάστηκε στην Παράγραφο 2.4.3.4 όταν το συνολικό bit rate εκπέμπεται σε ένα downlink CCTrCH και υπερβαίνει το μέγιστο bit rate του downlink φυσικού καναλιού, χρησιμοποιείται η εκπομπή του πολλαπλού κώδικα και εκπέμπονται πολλά παράλληλα κανάλια κώδικα για ένα CCTrCH χρησιμοποιώντας το ίδιο SF. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά SFs όταν αντιστοιχούνται πολλά CCTrCHs σε διαφορετικά DPCHs που εκπέμπονται στο ίδιο UE. Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.25 η πληροφορία ελέγχου L1 εκπέμπεται μόνο στο πρώτο DPCH και η εκπομπή διακόπτεται κατά την διάρκεια της αντίστοιχης χρονικής περιόδου των πρόσθετων DPCHs [11].

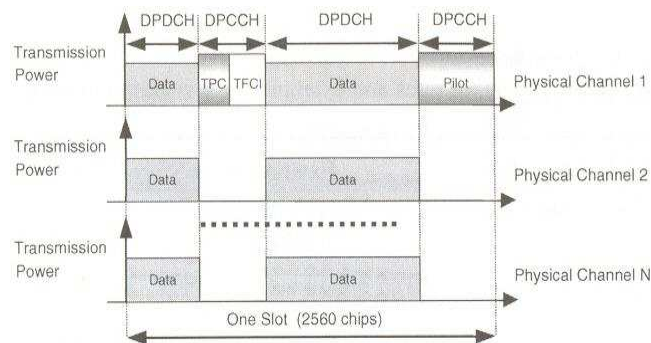
Πίνακας 2.4 Ρυθμοί συμβόλων downlink DPDCH και παραδείγματα υπηρεσιών πολυπλεξίας.

SF	Channel symbol rate (ksps) ^a	User bit-rate (kbps)	Example of services multiplexing (RBs and SRB)	Transport format (semi-static part)
512	7.5	–	–	–
256	15	3.4	Stand-alone mapping of DCCH 3.4 kbps	SRB (TTI 40 ms, CC coding rate 1/3)
128	30	12.2 + 3.4	AMR speech 12.2 kbps, DCCH 3.4 kbps	AMR (TTI 20 ms, CC 1/3 for TrCH#A and B; CC 1/2 for TrCH#C) and SRB (as above)
64	60	28.8 + 3.4	Modem 28.8 kbps, DCCH 3.4 kbps	CS data (TTI 40 ms, turbo coding 1/3) and SRB (as above)
32	120	57.6 + 3.4	Fax 57.6 kbps, DCCH 3.4 kbps	CS data (TTI 40 ms, turbo coding 1/3) and SRB (as above)
32	120	(12.2) ^b + 64 + 3.4	(AMR speech 12.2 kbps), packet data 64 kbps, DCCH 3.4 kbps	64 kbps packet data (TTI 20 ms, turbo coding 1/3), AMR and SRB (as above)
32	120	64 + 3.4	ISDN 64 kbps, DCCH 3.4 kbps	CS data (TTI 40 ms, turbo coding 1/3), SRB as above
16	240	(12.2) + 128 + 3.4	(AMR speech 12.2 kbps), packet data 128 kbps, DCCH 3.4 kbps	128 kbps packet data (TTI 20 ms, turbo coding 1/3), AMR and SRB (as above)
16	240	(12.2) + 144 + 3.4	(AMR speech 12.2 kbps), packet data 144 kbps, DCCH 3.4 kbps	144 kbps packet data (TTI 20 ms, turbo coding 1/3), AMR and SRB (as above)
8	480 ^c	(12.2) + 384 + 3.4	(AMR speech 12.2 kbps), packet data 384 kbps, DCCH 3.4 kbps	384 kbps packet data (TTI 20 ms, turbo coding 1/3), AMR and SRB (as above)
4	960	–	–	–

^a Στο downlink 1 σύμβολο = 2bits

^b Το AMR ομιλίας όταν φαίνεται σε παρενθέσεις δεν επηρεάζει το SF.

^c Η ο πολυκώδικας 3*240ksps.



Σχήμα 2.25 Η downlink μορφή του slot στην περίπτωση της εκπομπής πολλαπλού κώδικα, δείχνοντας N παράλληλα φυσικά κανάλια.

2.4.4.4 Common Uplink Physical Channels

Κοινά Φυσικά Κανάλια Uplink

Τα κοινά φυσικά κανάλια uplink είναι το Physical Random Access Channel (PRACH) και το Physical Common Packet Channel (PCPCH), τα οποία χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν το RACH και το CPCH αντίστοιχα. Το RACH εκπέμπεται χρησιμοποιώντας τον έλεγχο ισχύος ανοικτού βρόγχου (open-loop power control). Το CPCH εκπέμπεται χρησιμοποιώντας έλεγχο ισχύος εσωτερικού βρόγχου (inner-loop PC) και συνδέεται πάντα με ένα downlink DPCCCH που μεταφέρει εντολές TPC [11].

Physical Random Access Channel (PRACH)

Φυσικό Κανάλι Τυχαίας Πρόσβασης

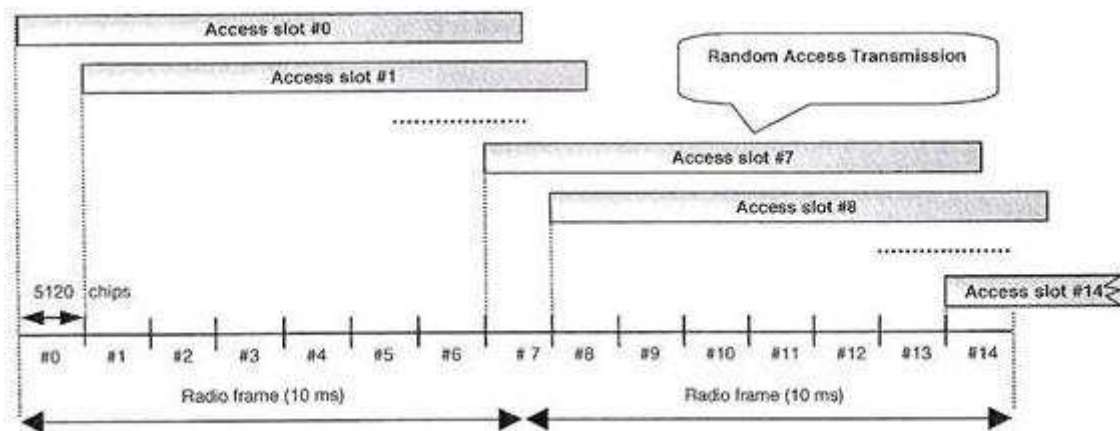
Η εκπομπή τυχαίας πρόσβασης βασίζεται στο Slotted ALOHA προσεγγίζοντας με γρήγορη επιβεβαίωση (acquisition indication). Υπάρχουν 15 access slots ανά δύο frame χωρισμένα σε 5.120 chips χωριστά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.26. Η πληροφορία για την οποία είναι διαθέσιμα τα access slots σε μία κυψέλη ,για εκπομπή τυχαίας-πρόσβασης, μεταδίδεται στο BCH [11].

Η εκπομπή τυχαίας πρόσβασης αποτελείται από ένα ή περισσότερα preambles κι από ένα μέρος μηνύματος. Η δομή της εκπομπής RACH απεικονίζεται στο Σχήμα 2.28. Το preamble περιλαμβάνει 4096 chips (τεμάχια), αποτελείται από 256 επαναλήψεις μιας ταυτοποίησης - υπογραφής μήκους των 16 chips ($256 \cdot 16 = 4096$) [14].

Στο Σχήμα 2.27 απεικονίζεται η μορφή του slot του PRACH μηνύματος. Αποτελείται από τμήματα, ένα τμήμα δεδομένων όπου αντιστοιχείται το κανάλι μεταφοράς RACH και ένα

τμήμα ελέγχου που μεταφέρεται η πληροφορία ελέγχου L1. Τα τμήματα δεδομένων και ελέγχου εκπέμπονται παράλληλα. Οι συντελεστές διεύρυνσης (SF) του τμήματος δεδομένων είναι 256, 128, 64 και 32. Το τμήμα ελέγχου αποτελείται από πιλοτικά και TFCI bits, και έχει συντελεστή διεύρυνσης 256. Το πεδίο TFCI υποδεικνύει το TF του RACH, που αντιστοιχείται στο τμήμα δεδομένων του radioframe και επαναλαμβάνεται στο δεύτερο radioframe εάν το τμήμα μηνύματος διαρκεί για 20 ms [11].

Το υποκανάλι RACH ορίζεται σαν ένα υποσύνολο του ολικού συνόλου των uplink access slots. Τα 12 υποκανάλια RACH διαθέσιμα για κάθε κυψέλη μπορούν να βρεθούν στην 3GPP [14].

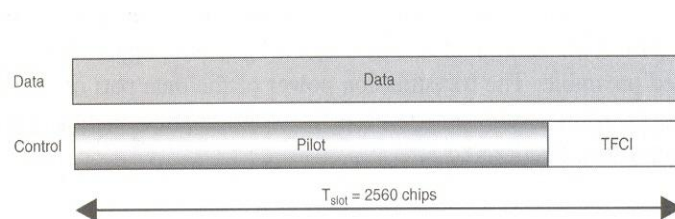


Σχήμα 2.26 Οι αριθμοί των RACH access slots και το διάστημα μεταξύ των access slots.

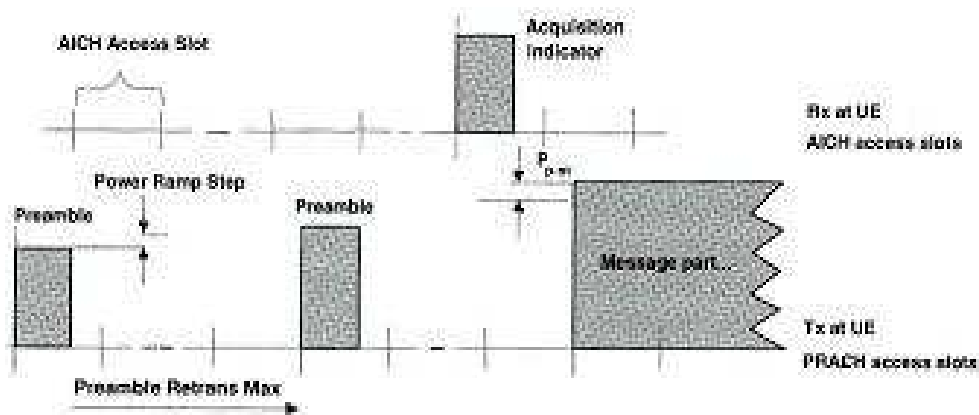
Κάθε κυψέλη διαμορφώνεται από μία ρύθμιση του RNP, το preamble scrambling code, το μήκος μηνύματος σε διάρκεια (10 ή 20ms), την παράμετρο Χρόνου Εκπομπής AICH (0 ή 1 για να καθοριστεί το Preamble - προς - Acquisition Indicator), το σύνολο των διαθέσιμων υπογραφών και το σύνολο των διαθέσιμων υποκαναλιών RACH για κάθε Access Service Class² (ASC). Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.28, οι άλλες απαραίτητες παράμετροι που χρειάζονται να τεθούν από το RNP είναι ο συντελεστής ισχύος βαθμωτής κλίμακας (Power Ramp Step), ο μέγιστος αριθμός των επανεκπομπών preamble (Preambles Retrans Max'),

² Για να παρέχονται διαφορετικές προτεραιότητες της χρήσεως RACH όταν τίθεται μία σύνδεση RRC, οι πόροι PRACH (θυρίδες πρόσβασης και υπογραφές παλμών ελάχιστης ισχύος «preamble signatures») μπορούν να χωριστούν μεταξύ οκτώ διαφορετικών ASCs που αριθμούνται από 0 (υψηλότερη προτεραιότητα, χρησιμοποιείται στην περίπτωση της κλήσης Έκτακτης Ανάγκης ή για λόγους με αντίστοιχη προτεραιότητα) έως 7 (χαμηλότερη προτεραιότητα). Ο διαμελισμός PRACH και η αντιστοιχία ένα - προς - ένα (αντιστοίχιση) μεταξύ του τερματικού Access Class (AC) και ASC προσδιορίζονται στην αναφορά [9]. Εάν το UE είναι μέλος πολλών ACs, τότε επιλεγεί το ASC για το υψηλότερο αριθμό AC. Μία ASC ορίζει μια ορισμένη διαίρεση από το RNP των πόρων PRACH και είναι πάντα συνδεδεμένο με μία συνέχεια τιμής που υπολογίζεται από το τερματικό ως μία συνάρτηση ενός δυναμικού επιπέδου συνέχειας (1-8) και ένα βαθμωτό - συντελεστή συνέχειας (επτά τιμές, από 0 έως 1 για ASC 2-7) ορίζεται από το RNP.

και η απόκλιση ισχύος μεταξύ της ισχύος του τελευταίου εκπεμπόμενου preamble και του τμήματος ελέγχου του PRACH μηνύματος (απόκλιση ισχύος $P_{m-p} = P_{message-control} - P_{preamble}$). Το UE λαμβάνει αυτά τα δεδομένα από την εκπομπή πληροφορίας του συστήματος στο BCH, το οποίο μπορεί να ενημερώνεται από το RNC πριν αρχίσει οποιαδήποτε φυσική διαδικασία τυχαίας πρόσβασης.



Σχήμα 2.27 Δομή του τμήματος μηνύματος του radioframe τυχαίας πρόσβασης.



Σχήμα 2.28 Βαθμωτό RACH και εκπομπή μηνύματος.

Η φυσική διαδικασία τυχαίας πρόσβασης απεικονίζεται στο Σχήμα 2.28 και μπορεί να συνοψιστεί όπως ακολουθεί (περισσότερες πληροφορίες βλ. αναφορά [14]):

- Το UE παίρνει τα διαθέσιμα uplink access slots (στο επόμενο πλήρη σύνολο access slots) από το σύνολο των διαθέσιμων υποκαναλιών RACH μέσα στα δεδομένα ASC.
- Το UE επιλέγει τυχαία ένα access slot μεταξύ των προηγούμενων που καθορίστηκαν, και τυχαία επιλέγει μία υπογραφή από το σύνολο των διαθέσιμων υπογραφών μέσα στη δεδομένη ASC.
- Το UE εκπέμπει πρώτα το preamble χρησιμοποιώντας το επιλεγμένο uplink access slot, η υπογραφή και η ισχύς εκπομπής preamble υπολογίζονται όπως εξηγούνται στην Παράγραφο 4.2.1.1.

- Εάν δεν αντιστοιχεί καμία θετική ή αρνητική επιβεβαίωση ($AI \neq +1$ ή -1) στην επιλεγμένη υπογραφή που ανιχνεύεται στο downlink access slots αντιστοιχείται το επιλεγμένο uplink access slot, έπειτα το τερματικό επιλέγει το επομένο access slot στο σύνολο των διαθέσιμων υποκαναλιών RACH μαζί με τη δεδομένη ASC και αυξάνει την ισχύ preamble κατά $\Delta P_0 = \text{Power Ramp Step (dB)}$.
- Εάν ο αριθμός των επανεκπομπών ξεπερνά την τιμή «Preamble Retrans Max» ή εάν έχει ανιχνευθεί ένα αρνητικό AI που αντιστοιχεί στην επιλεγμένη υπογραφή τότε το UE βγαίνει εκτός της φυσικής διαδικασίας τυχαίας πρόσβασης. Διαφορετικά το UE εκπέμπει το μήνυμα τυχαίας πρόσβασης τρία ή τέσσερα uplink access slots μετά το uplink access slot του τελευταίου εκπεμπόμενου preamble, εξαρτάται από την παράμετρο χρονισμού εκπομπής AICH. Η ισχύς εκπομπής του τμήματος ελέγχου του μηνύματος τυχαίας πρόσβασης είναι P_{p-m} (dB) μεγαλύτερη από την ισχύ του τελευταίου εκπεμπόμενου preamble. Η ισχύς εκπομπής του τμήματος δεδομένων του μηνύματος τυχαίας πρόσβασης ορίζεται σύμφωνα με το αντίστοιχο συντελεστή κέρδους. Η σημασία των συντελεστών κέρδους εξηγείται περισσότερο στην Παράγραφο. 2.4.6

Physical Common Packet Channel (PCPCH)

Το PCPCH χρησιμοποιείται για να μεταφέρει το κανάλι μεταφοράς CPCH. Εν συντομία, το CPCH είναι σαν το RACH με γρήγορο έλεγχο ισχύος και με μεγαλύτερη χρονική διάρκεια, και με τη δυνατότητα χρησιμοποίησης υψηλότερων bit rate για να μεταφέρουν μεγαλύτερες ποσότητες δεδομένων με περισσότερο ελεγχόμενη μέθοδο πρόσβασης.

Το CPCH προορίζεται για να μεταφέρει δεδομένα χρήστη μεταγωγής πακέτου στην κατεύθυνση uplink. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματά του είναι μία μικρή καθυστέρηση πρόσβασης (access delay) με μεγάλο bit rate το οποίο το κάνει ιδιαίτερα κατάλληλο για καταιγιστικά δεδομένα (bursty data). Συγκρινόμενο με το DCH, το CPCH είναι εναλλακτικά κατάλληλο, γιατί μπορεί να πολυπλεχθεί καλύτερα στο πεδίο του χρόνου και είναι επίσης κατάλληλο να προσαρμόζει τις αλλαγές των ρυθμών δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, το CPCH μπορεί να υποβιβάσει την χωρητικότητα, εξαιτίας της έλλειψης του soft handover. Για μεγαλύτερη εκπομπή δεδομένων πακέτου στο uplink είναι καλύτερα να χρησιμοποιείται το DCH. Η έλλειψη του soft handover δημιουργεί την κατώτερη κάλυψη CPCH όταν συγκρίνεται με το DCH. Αφού το CPCH χρησιμοποιεί γρήγορο PC, δίνει καλύτερη φασματική αποδοτικότητα και έτσι καλύτερη χωρητικότητα από το RACH, το οποίο δεν είναι ελεγχόμενης

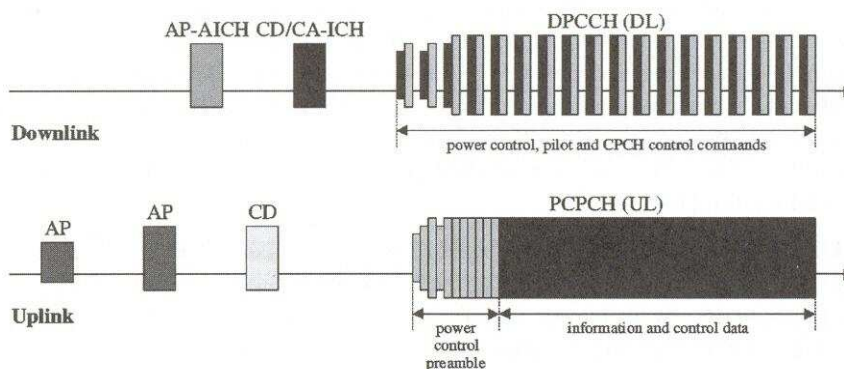
ισχύος. Το αποτέλεσμα αυτού του πλεονεκτήματος σε ολόκληρη την χωρητικότητα εξαρτάται από το βαθμό στον οποίο αυτά τα κανάλια χρησιμοποιούνται για εκπομπή δεδομένων.

Εάν χρησιμοποιηθεί το CPCH, θα είναι δυνατό να χρησιμοποιεί υψηλά bit rate. Αυτό σημαίνει ότι το CPCH μπορεί να συμβάλει στην αύξηση του θορύβου στο uplink. Σε αυτή την περίπτωση, το CPCH φορτίο θα ληφθεί υπ' όψιν στη σχεδίαση ραδιοδικτύου.

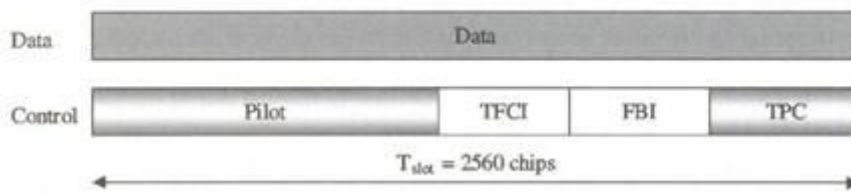
Η εκπομπή CPCH βασίζεται στην προσέγγιση του CD-DSMA με γρήγορη απόκτηση επιβεβαίωσης. Το UE μπορεί να ξεκινήσει την εκπομπή από την αρχή ενός αριθμού από κατάλληλα καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Ο χρονισμός του access slots και η δομή είναι ίδια με αυτά του RACH.

Η δομή της εκπομπής πρόσβασης του CPCH φαίνεται στο Σχήμα 2.29. Αποτελείται από ένα ή περισσότερα access preambles (AP), ένα Collision detection preamble (CD), ένα preamble ελέγχου ισχύος του PCPCH κι ένα μήνυμα μεταβλητού μήκους.

Στο Σχήμα 2.30 φαίνεται η δομή του τμήματος δεδομένων του PCPCH. Για το τμήμα δεδομένων του PCPCH μηνύματος, οι επιτρεπτοί συντελεστές διεύρυνσης (SF) μπορούν να κυμαίνονται από 4 έως 256, ενώ το τμήμα ελέγχου του μηνύματος του PCPCH έχει σταθερό SF 256. Το Spreading Factor στο DL DPCCH είναι σταθερό στο 512. Το μέγιστο μήκος του τμήματος μηνύματος, με άλλα λόγια η μέγιστη κατανομή χρόνου του CPCH μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 20 και 640 ms.



Σχήμα 2.29 Δομή της εκπομπής πρόσβασης του CPCH.



Σχήμα 2.30 Δομή του τμήματος μηνύματος του PCPCH.

Είναι μία παράμετρος υψηλότερου επιπέδου και μπορεί να οριστεί από τη σχεδίαση ραδιοδικτύου καθώς και από ρυθμίσεις καναλιών περιλαμβάνοντας τα επιτρεπτά SFs και bit rates.

Το τμήμα πρόσβασης preamble PCPCH, και το collision detection / εκχώρηση καναλιού του τμήματος preamble και του τμήματος preamble ελέγχου ισχύος PCPCH είναι φυσικά σήματα uplink συνδεδεμένα με το PCPCH, τα οποία μεταφέρουν επίσης δεδομένα του καναλιού μεταφοράς CPCH. Για τη διαδικασία πρόσβασης CPCH χρειάζεται ένα σύνολο των downlink φυσικών καναλιών:

- Το CPCH Status Indicator Channel (CSICH)
- Το Access Preamble Acquisition Indicator Channel (AP-AICH)
- Το Collision Detection / Channel Assignment Indicator Channel (CD/CA-ICH)

Βάση της διαθεσιμότητας της πληροφορίας για κάθε PCPCH κανάλι που υποδεικνύει το CSICH, το UE αρχίζει την διαδικασία πρόσβασης CPCH σε ένα χρησιμοποιημένο κανάλι. Ένα CSICH συνδέεται πάντα με ένα AP-AICH και χρησιμοποιεί τον ίδιο channelisation code. Το AP-AICH χρησιμοποιείται για να κρατά τους δείκτες επιβεβαίωσης (AI) των παλμών πρόσβασης ελάχιστης ισχύος (access preambles) για το CPCH στο UE. Το AP-AICH και το AICH είναι ακριβώς ίδια και μπορούν να χρησιμοποιήσουν τον ίδιο channelisation code. Το CD/CA-ICH χρησιμοποιείται για να κρατά τη ανίχνευση σύγκρουση πακέτων και τους δείκτες προσδιορισμού του καναλιού στο UE.

Η διαδικασία πρόσβασης CPCH είναι εντελώς ίδια με την διαδικασία πρόσβασης RACH. Η βασική διαφορά είναι η επιπρόσθετη διαδικασία της ανίχνευση σύγκρουση πακέτων. Το επιπλέον βήμα περιέχει τις εκπομπές preambles των ανιχνεύσεων συγκρούσεων πακέτων στο PCPCH για uplink, και εκπομπή της ανίχνευσης σύγκρουσης πακέτων (collision detection) και προσδιορισμό καναλιού στο CD/CA-ICH για downlink.

Κάθε κυψέλη τροποποιείται από την ρύθμιση του RNP και τους scrambling codes παλμού ελάχιστης ισχύος (preamble) AP και CD, από τις ρυθμίσεις υπογραφών και από τον προσδιορισμό των διαθέσιμων access slots, από τους preamble channelisation codes AP-AICH και CD/CAICH, από τον scrambling code CPCH και τον downlink DPCC channelisation code. Οι άλλες παράμετροι που πρέπει να τεθούν από το RNP είναι η ισχύς ramp-up και οι παράμετροι χρονισμού και πρόσβασης. Το UE λαμβάνει αυτά τα δεδομένα από το σύστημα μετάδοσης πληροφορίας στο BCH. Η διαδικασία πρόσβασης του CPCH συνοψίζεται περίπου όπως ακολουθεί (περισσότερες πληροφορίες βλ. αναφορά [14]).

- Το UE επιλέγει ένα κανάλι μεταφοράς CPCH από το διαθέσιμο σύνολο του CPCH στο CSICH κανάλι και φτιάχνει ένα TB για το επόμενο χρονικό διάστημα εκπομπής (TTI). Το τμήμα μεταφοράς (TB) στέλνεται στο φυσικό επίπεδο, και ορίζεται η αρχική τιμή ισχύος. Ο μετρητής της επανεκπομπής AP τίθεται στη μέγιστη τιμή του.
- Το UE επιλέγει τυχαία μία υπογραφή CPCH AP από το σύνολο υπογραφών του CPCH καναλιού και ένα διαθέσιμο access slot.
- Το UE εκπέμπει το access preamble (AP).
- Εάν το UE δεν ανιχνεύσει οποιαδήποτε επιβεβαίωση (AI) στην μορφή της επιλεγμένης υπογραφής στο αντίστοιχο downlink access slot το UE επιλέγει το επόμενο access slot και επανεκπέμπει το access preamble.
- Εάν το UE ανιχνεύσει μία αρνητική επιβεβαίωση στο AP-AICH στο αντίστοιχο slot με την επιλεγμένη υπογραφή, απορρίπτει την πρόσβαση.
- Όταν το UE ανιχνεύσει μία θετική επιβεβαίωση στο AP-AICH, τότε το UE επιλέγει τυχαία μία υπογραφή CD και ένα access slot CD υποκαναλιού, και έπειτα εκπέμπει το CD preamble.
- Εάν το UE δεν λάβει το CD-AICH στο επιλεγμένο slot με την αντίστοιχη υπογραφή, απορρίπτει την πρόσβαση.
- Εάν το UE λαμβάνει το CD-AICH στο σωστό timeslot με την υπογραφή προσαρμογής, εκπέμπει το preamble ελέγχου ισχύος. Αμέσως μετά αρχίζει η εκπομπή των δεδομένων.

Η σύγκρουση του CPCH σημαίνει ότι δύο UE έχουν επιλεγθεί στο ίδιο κανάλι πρόσβασης και με το ίδιο preamble στην ίδια χρονική στιγμή. Μετά από αυτό είναι απίθανο, αλλά και δυνατό, να επιλέξουν ξανά το ίδιο preamble CD. Ο σταθμός βάσης απαντά μόνο σε ένα preamble δηλαδή στο πιο δυνατό.

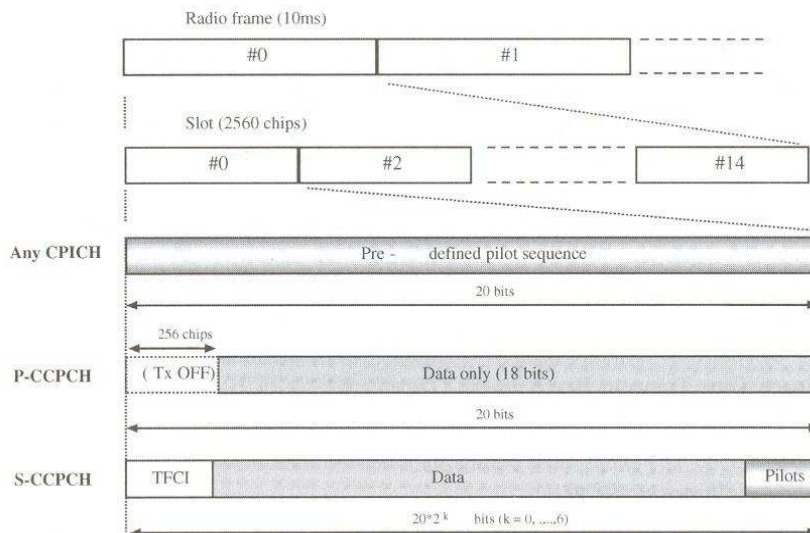
2.4.4.5 Common Downlink Physical Channels

Τα περισσότερα από τα downlink κοινά φυσικά κανάλια χρησιμοποιούνται για την εκπομπή των μηνυμάτων σηματοδότησης που παράγονται από την οντότητα του φυσικού επιπέδου. Τα άλλα κοινά φυσικά κανάλια απαιτούνται για τη λειτουργία του συστήματος και είναι τα κανάλια ελέγχου φυσικού επιπέδου (Physical Layer Control Channels) και το Physical Downlink Shared Channel-PDSCH, τα οποία χρησιμοποιούνται για να εκπέμψουν υψηλό ρυθμό δεδομένων με χαμηλό κύκλο δραστηριότητας (activity cycle) στο downlink.

Κοινό Πιλοτικό Κανάλι (Common Pilot Channel - CPICH)

Υπάρχουν δύο τύποι κοινών πιλοτικών καναλιών, το πρωτεύον (Primary) και το δευτερεύον (Secondary) CPICH. Εκπέμπονται με σταθερό ρυθμό (15kbps, spreading factor 256) και μεταφέρουν μία προκαθορισμένη ακολουθία συμβόλου. Η δομή του slot (θυρίδα) για τα κοινά πιλοτικά κανάλια επεξηγείται στο Σχήμα 2.31.

Το Πρωτεύον Κοινό Πιλοτικό Κανάλι (P-CPICH) χαρακτηρίζεται από το σταθερό channelisation code ($C_{ch,256,0}$) και είναι πάντα ανακατεμένο χρησιμοποιώντας ένα πρωτεύων scrambling code (κώδικα περίπλεξης). (βλ. Παράγραφο 2.4.6 για επιπλέον επεξήγηση).



Σχήμα 2.31 Δομή slot του κοινού πιλοτικού καναλιού CPICH, του Πρωτεύοντος Φυσικού Καναλιού Κοινού Ελέγχου (PCCPCH) και του Δευτερεύοντος Φυσικού Καναλιού Κοινού Ελέγχου (SCCPCH).

Υπάρχει ένα P-CPICH ανά κυψέλη και μεταδίδεται σε όλη την κυψέλη. Το P-CPICH είναι η αναφορά φάσης για το SCH, P-CCPCH, AICH, PICH, DL-DPCCH, για το CPCH, το S-CCPCH και εξ ορισμού για το downlink DPCH [11].

Το δευτερεύον Κοινό Πιλοτικό κανάλι (S-CPICH) χαρακτηρίζεται από έναν αυθαίρετο channelisation code με κώδικα διεύρυνσης (SF) των 256 και ανακατεύεται από τον πρωτεύον ή από το δευτερεύον scrambling code. Σε μία κυψέλη μπορεί να υπάρχουν κανένα ή ένα ή περισσότερα S-CPICH. Κάθε S-CPICH μπορεί να εκπεμφθεί σε όλη την κυψέλη ή μόνο σε ένα μέρος της κυψέλης [11].

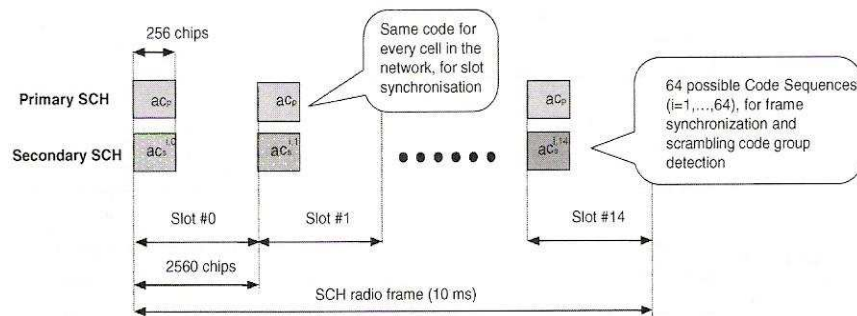
Εάν το P-CPICH δεν χρησιμοποιείται σαν αναφορά φάσης για το downlink DPCH, ενημερώνεται το UE εκ των προτέρων από το δίκτυο. Σε αυτή την περίπτωση για κάθε υπολογισμό του καναλιού μπορεί να χρησιμοποιήσει το S-CPICH ή τα πιλοτικά bits στο downlink DPCCH [9].

Πρωτεύον Φυσικό Κανάλι Κοινού Ελέγχου (Primary Common Control Physical Channel-P-CCPCH)

Το P-CCPCH είναι ένα downlink φυσικό κανάλι σταθερού ρυθμού (15ksps, SF=256) και χρησιμοποιείται για να μεταφέρει το BCH. Ένα απόλυτο κανάλι δεδομένων χαρακτηρίζεται από ένα σταθερό channelisation code ($C_{ch,256,1}$). Το P-CCPCH μεταδίδεται σε όλη την κυψέλη και δεν επανεκπέμπεται κατά τη διάρκεια των πρώτων 256 chips του κάθε slot, όταν το Πρωτεύον SCH ή το Δευτερεύον SCH (Synchronization Channel) εκπέμπονται αντί αυτού (Βλ. Σχήμα 2.31) [11].

Δευτερεύον Φυσικό Κανάλι Φυσικού Ελέγχου (Secondary Common Control Physical Channel-S-CCPCH)

Το S-CCPCH χρησιμοποιείται για να μεταφέρει το FACH και το PCH, τα οποία μπορούν να αντιστοιχηθούν στο ίδιο CCPCH (του ίδιου frame) ή σε χωριστά S-CCPCH κανάλια. Στο Σχήμα 2.31 απεικονίζεται η δομή του slot για το S-CCPCH. Το SF του S-CCPCH καναλιού κυμαίνεται από 256 (15 ksps) έως 4 (960 ksps). Δεν επιτρέπεται ο γρήγορος έλεγχος ισχύος, αλλά η ισχύς του S-CCPCH καναλιού (που μεταφέρει το FACH κανάλι), μόνο εάν είναι αργά ελεγχόμενος από το RNC. Το S-CCPCH κανάλι υποστηρίζει πολλαπλούς συνδυασμούς TF (μεταβλητός ρυθμός) χρησιμοποιώντας το TFCI και είναι στον αέρα μόνο όταν υπάρχει (διαθέσιμη) πληροφορία να εκπεμφθεί [11].



Σχήμα 2.32 Δομή του Καναλιού Συγχρονισμού (SCH), το σύμβολο α υποδηλώνει την παρουσία ή την απουσία της Δυνατότητας Πολλαπλής Εκπομπής στον Χώρο (Space Time Transmit Diversity “STTD”) στο P-CCPCH, C_p και $C_s^{i,k}$ είναι ο Πρωτεύων και ο Δευτερεύων Κώδικας Συγχρονισμού αντίστοιχα.

Κανάλι Συγχρονισμού (SCH).

Το Κανάλι Συγχρονισμού (SCH) είναι ένα απόλυτο φυσικό κανάλι που χρησιμοποιείται στη διαδικασία εύρεσης κυψέλης. Αποτελείται από δύο υποκανάλια που εκπέμπονται παράλληλα, το Πρωτεύον SCH και το Δευτερεύον SCH. [11]

Το Πρωτεύον SCH αποτελείται από το διαμορφωμένο κώδικα μήκους 256chips, ο Πρωτεύων Κώδικας Συγχρονισμού (Primary Synchronization Code-PSC), δηλώνεται ως C_p στο Σχήμα 2.32. Το PSC εκπέμπεται αμέσως σε κάθε slot, επιτρέπει τον συγχρονισμό του downlink slot στην κυψέλη και είναι το ίδιο ακριβώς σε κάθε κυψέλη του συστήματος.

Το S-SCH αποτελείται από μία επαναλαμβανόμενη εκπεμπόμενη ακολουθία μήκους των 256chips, τους Δευτερεύοντες Κώδικες Συγχρονισμού (SSC), δηλώνοντας ως $C_s^{i,k}$ στο Σχήμα 2.32, όπου $i = 0,1,\dots,63$ ο αριθμός ομάδας του scrambling code και $k = 0,1,\dots,14$ είναι ο αριθμός των slots. Αυτή η ακολουθία επιτρέπει τον συγχρονισμό των frames και υποδεικνύει σε ποια κωδική ομάδα ανήκουν ο πρωτεύων downlink scrambling code.

Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)

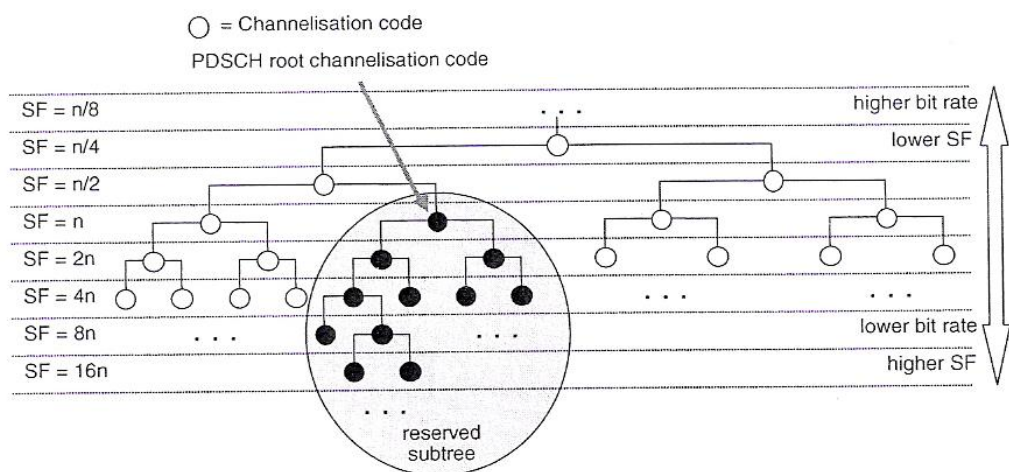
Το PDSCH κανάλι χρησιμοποιείται για να μεταφέρει το κανάλι μεταφοράς DSCH. Το DSCH προσφέρει γρήγορο PC και αποτελεσματικότερες δυνατότητες χρονικού προγραμματισμού, όχι όμως soft handover.

Το DSCH χρησιμοποιείται για να μεταφέρει καταγιστικά δεδομένα μεταγωγής πακέτου πραγματικού χρόνου. Αυτή η βασική ιδέα του DSCH είναι για να μοιράσει ένα απλό downlink φυσικό κανάλι, δηλαδή έναν ορθογωνικό downlink channelisation code, μεταξύ πολλών

χρηστών. Ο χρονικός προγραμματισμός του DSCH μπορεί να θεωρηθεί ως την πολυπλεξία πολλών λογικών καναλιών DTCH των ίδιων ή διαφορετικών UEs στο κανάλι μεταφοράς DSCH στο πεδίο του χρόνου.

Η γρηγορότερη εκχώρηση του PDSCCH θα χρησιμοποιήσει δυνατή χωρητικότητα που είναι καλύτερη από την βραδεία εκχώρηση του DCH καναλιού. Ως αποτέλεσμα, το διαφορετικό προφίλ του QoS και η προτεραιότητα μπορούν να αξιοποιηθούν αποτελεσματικά. Από την πλευρά της κάλυψης, το DSCH δεν είναι χρήσιμο εξαιτίας της έλλειψης του soft handover. Το DSCH μπορεί να σχεδιαστεί να χρησιμοποιείται σε όλη την κυψέλη, όταν το hard handover είναι αποδεκτό, ή μπορεί να σχεδιαστεί για να μην καλύψει μια ολόκληρη κυψέλη, στην οποία περίπτωση απαιτείται η αλλαγή τύπου καναλιού από το DSCH στο DCH όταν τελειώνει η κάλυψη του DSCH καναλιού.

Όταν τα δεδομένα εκπέμπονται με χαμηλή δραστηριότητα στο DCH και προκύπτουν ανενεργές περιόδους, ένας αποκλειστικός downlink channelisation code θα είναι ακόμη δεσμευμένος, ο οποίος μπορεί να θέσει τους κώδικες ως περιορισμένους (να έχουν τελειώσει τα hardware resources). Από τη στιγμή που ένας κώδικας μοιράζεται μεταξύ πολλών χρηστών στην περίπτωση του DSCH, οι υπόλοιποι χρήστες έχουν το πλεονέκτημα των ανενεργών περιόδων των χρηστών. Έτσι η χρήση του downlink channelisation code είναι πιο αποδοτική με το DSCH κανάλι παρά με το DCH. Το μπλοκάρισμα του κώδικα είναι λιγότερο πιθανό όταν χρησιμοποιείται το DSCH κανάλι και η χωρητικότητα μπορεί να είναι μεγαλύτερη.

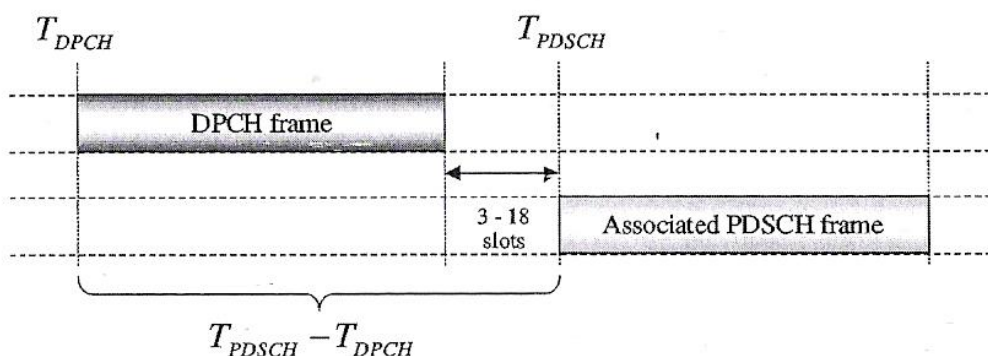


Σχήμα 2.33 Εκχώρηση των πόρων PDSCH κώδικα από το OVSF του κωδικού δέντρου.

Ένα PDSCH κανάλι, το οποίο χρησιμοποιείται για να μεταφέρει το DSCH, αντιστοιχεί σε έναν channelisation code κάτω από ή σε ένα κλάδο του PDSCH channelisation code. Το Σχήμα 2.33 δείχνει την εκχώρηση/κατανομή των πόρων PDSCH κώδικα από το δέντρο του OVSF κώδικα. Ένα PDSCH κανάλι εκχωρείται βάση radio frame σε ένα UE. Μέσα σε ένα radioframe, το RAN μπορεί να εκχωρήσει διαφορετικά PDSCH κάτω από τον ίδιο κλάδο PDSCH του channelisation code σε διαφορετικούς UE που βασίζονται στην πολυπλεξία του κώδικα. Μέσα στο ίδιο radioframe μπορούν να εκχωρηθούν πολλαπλά παράλληλα PDSCH κανάλια σε ένα UE. Για τα PDSCH κανάλια, το επιτρεπτό SF μπορεί να κυμαίνεται από 4 έως 256.

Για κάθε radioframe, το κάθε PDSCH κανάλι είναι συνδεδεμένο με ένα downlink DPCH κανάλι για να υποστηρίξει γρήγορο έλεγχο ισχύος και για να ενημερώσει το UE για την άφιξη των δεδομένων στο DSCH κανάλι. Το PDSCH και το συνδεδεμένο DPCH δεν έχουν απαραίτητα το ίδιο SF και δεν είναι απαραίτητης διάταξης σε frame. Όλος ο σχετικός έλεγχος του φυσικού επιπέδου εκπέμπεται στο τμήμα του DPCH καναλιού του συνεργαζόμενου DPCH. Το PDSCH από μόνο του δεν κρατά καμία πληροφορία ελέγχου φυσικού επιπέδου παρά μόνο τα δεδομένα του κωδικοποιημένου καναλιού DSCH, για να υποδείξει στο UE ότι υπάρχουν δεδομένα για να αποκωδικοποιηθούν στο DSCH. Η μέθοδος σηματοδότησης χρησιμοποιεί το πεδίο TFCI του συνεργαζόμενου DSCH. Το TFCI ενημερώνει το UE για το στιγμιαίο bit rate καθώς και τον channelisation code του PDSCH.

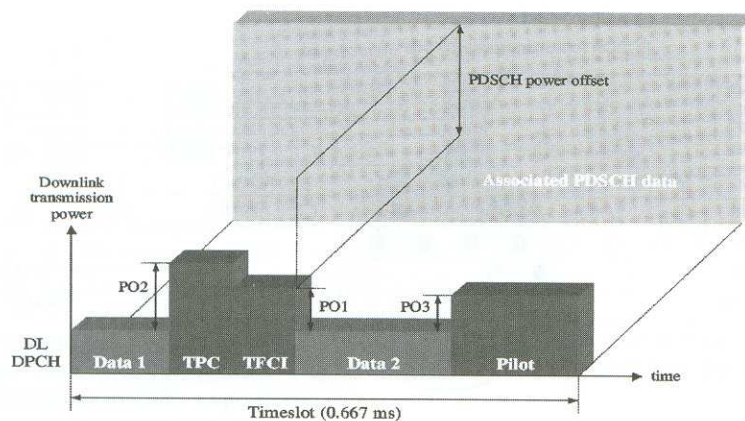
Εξαιτίας της επεξεργασίας UE, υπάρχει ένα χρονικό κενό μεταξύ του DPCH και του συνδεδεμένου PDSCH όπως επεξηγείται στο Σχήμα 2.34.



Σχήμα 2.34 Η χρονική σχέση του DPCH και του συνδεδεμένου PDSCH.

Το συνδεδεμένο PDSCH frame μπορεί να ξεκινήσει από 3 έως 18 slots μετά το τέλος του DPCH frame.

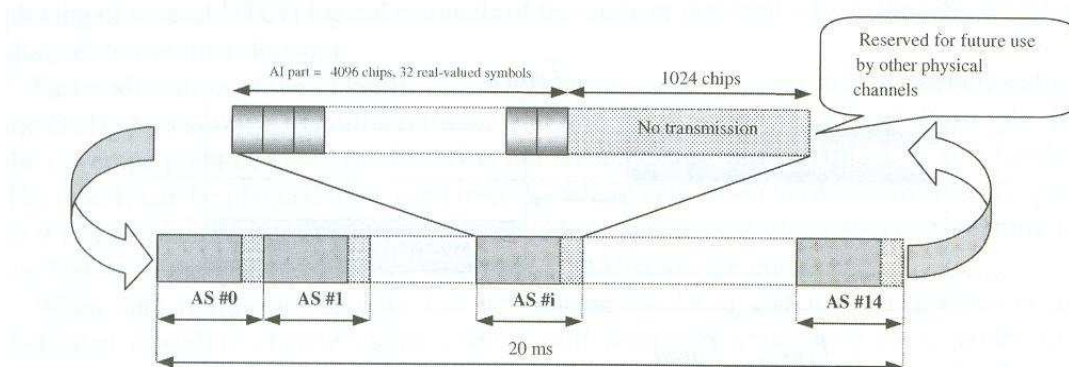
Η εκπομπή ισχύος του PDSCH ελέγχεται χρησιμοποιώντας την απόκλιση ισχύος μεταξύ του PDSCH και του downlink DPCH. Το Σχήμα 2.35 δείχνει την τοποθέτηση της απόκλισης ισχύος στο downlink DPCH και στο συνδεδεμένο PDSCH. Οι αποκλίσεις των ισχύων μεταξύ των πεδίων DPCCH και DPDCH σημειώνονται ως PO1, PO2 και PO3, αναφερόμενες στα πεδία TFCI, TPC και Pilot αντίστοιχα του DPCCH. Η απόκλιση ισχύος μεταξύ του PDSCH και του downlink DPCCH καναλιού ορίζεται ως η σχετική απόκλιση στην ισχύ των TFCI bits του downlink DPCCH καναλιού που κατευθύνονται από το ίδιο UE όπως το PDSCH. Το RNC υπολογίζει την απόκλιση ισχύος και ενημερώνει το BTS, το οποίο ρυθμίζει ανάλογα την ισχύ εκπομπής του PDSCH.



Σχήμα 2.35 Η δομή και η ρύθμιση ισχύος του Downlink DPCH και του συνδεδεμένου PDSCH.

Acquisition Indicator Channel (AICH)

Το AICH είναι ένα φυσικό κανάλι σταθερού ρυθμού (SF 256) που χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει σε μία κυψέλη την λήψη των παλμών PRACH preambles (υπογραφές) από το σταθμό βάσης. Αφού ο σταθμός βάσης έχει λάβει ένα παλμό preamble, η ίδια



Σχήμα 2.36 Η δομή του AICH access slot (AS).

υπογραφή (ταυτοποίηση) που είχε ανιχνευθεί στο PRACH preamble στέλνεται έπειτα πίσω στο UE χρησιμοποιώντας αυτό το κανάλι. Τα υψηλότερα επίπεδα δεν μπλέκονται σε αυτήν την διαδικασία: μία απάντηση από το RNC θα είναι πάρα πολύ αργή για να αναγνωρίσει ένα PRACH preamble. Το AICH αποτελείται από μία ακολουθία των 15 διαδοχικών access slots (AS) μήκους 5.120 chips.

Κάθε AS περιέχει ένα τμήμα AI (Acquisition Indicator) των 32 συμβόλων πραγματικής τιμής όπως επεξηγείται στο Σχήμα 2.36.

Καθώς ανιχνεύεται η λειτουργία των υπογραφών στο PRACH preamble, ο σταθμός βάσης παίρνει τα σύμβολα από το τμήμα AI. Η απάντηση μπορεί να είναι θετική αναγνώριση, αρνητική αναγνώριση ή καμία αναγνώριση εάν η εντοπισμένη υπογραφή δεν είναι μέρος του συνόλου των διαθέσιμων υπογραφών για όλες τις Τάξεις Υπηρεσιών Πρόσβασης (ASC) για το αντίστοιχο PRACH. Μπορούν να αναγνωριστούν έως 16 υπογραφές την ίδια χρονική στιγμή στο AICH. [11]

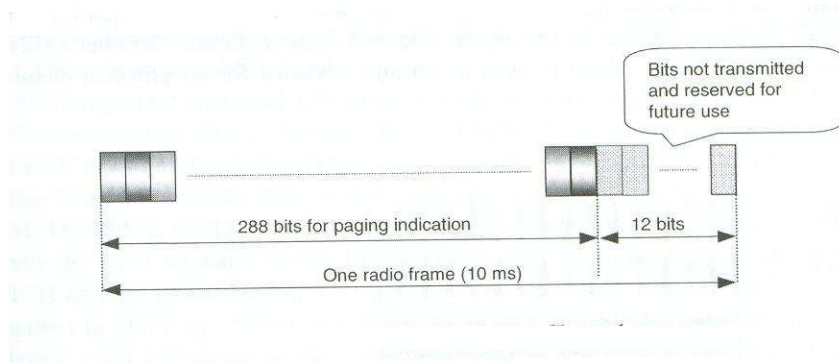
Το UE λαμβάνει την πληροφορία AICH (channelisation code, δείκτης STTD και τον χρονισμό εκπομπής AICH) από το σύστημα μετάδοσης πληροφορίας στο BCH και αναλόγως ξεκινά την λήψη του AICH όταν χρησιμοποιείται το εκχωρημένο PRACH. Εάν δεν παρουσιαστεί η πληροφορία AICH ή η πληροφορία PICH, το τερματικό θεωρεί απαγορευμένη την κυψέλη και μεταβαίνει στο reselection cell, όπως αναφέρεται αναλυτικά στην αναφορά [9].

Paging Indicator Channel (PICH)

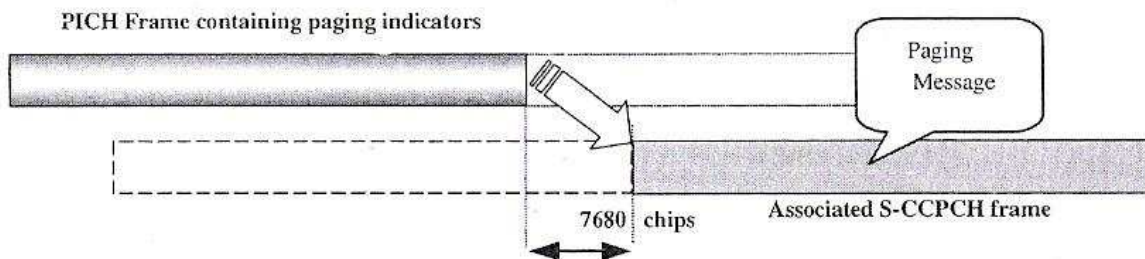
Το PICH είναι ένα φυσικό κανάλι που χρησιμοποιείται για να μεταφέρει τους δείκτες ειδοποίησης-PI (Paging Indicators). Το κανάλι αυτό εκπέμπεται σε σταθερό ρυθμό (SF=256) και συνδέεται πάντα με ένα S-CCPCH, όπου αντιστοιχείται το PCH. Όπως επεξηγείται στο Σχήμα 2.37 ένα PICH radioframe αποτελείται από δύο μέρη, το ένα μέρος (288 bits) χρησιμοποιείται για να μεταφέρει τους ενδείκτες ειδοποίησης και το άλλο μέρος (12 bits) χωρίς εκπομπή το οποίο επιφυλάσσεται για μελλοντική χρήση. Σε PICH frame εκπέμπονται N_p ενδείκτες ειδοποίησης (PI), όπου N_p είναι μία παράμετρος cell-based που μπορεί να τεθεί από το RNP σε 18 (με 16 bits επαναλαμβανόμενα), 36 (8 bits επαναλαμβανόμενα), 72 (4 bits επαναλαμβανόμενα) ή 144 (μόνο 2 bits επαναλαμβανόμενα).

Εάν τεθεί σε «1» ένας δείκτης ειδοποίησης σε ένα συγκεκριμένο frame είναι ένδειξη ότι τα UEs που σχετίζονται με αυτό το PI πρέπει να διαβάσουν το αντίστοιχο frame του συνδεδεμένου S-CCPCH. Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.38, αφού έχει ανιχνευθεί ένας δείκτης ειδοποίησης, το UE αποκωδικοποιεί το S-CCPCH frame για να δει εάν το μήνυμα ειδοποίησης στο PCH αφορά αυτό.

Όσο λιγότερο συχνά εμφανίζεται ένας δείκτης ειδοποίησης στο frame, τόσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια ζωής μπαταρίας του UE.



Σχήμα 2.37 Δομή καναλιού δεικτών ειδοποίησης.



Σχήμα 2.38 Σχέση μεταξύ του PICH και του S-CCPCH μεταφέροντας ένα PCH.

2.4.5 Χρονισμός και Συγχρονισμός στο UTRAN (FDD)

Στο UMTS, ο Συγχρονισμός Δικτύου σχετίζεται με την κατανομή των αναφορών συγχρονισμού στους σταθμούς (nodes) του UTRAN και την σταθερότητα των ρολογιών στο UTRAN, ενώ ο Συγχρονισμός Σταθμού (Node Synchronization) αφορά την εκτίμηση και την αναπλήρωση των διαφορών συγχρονισμού μεταξύ των σταθμών (nodes) UTRAN. Για λεπτομέρειες των δύο μηχανισμών συγχρονισμού, βλέπε αναφορά [18].

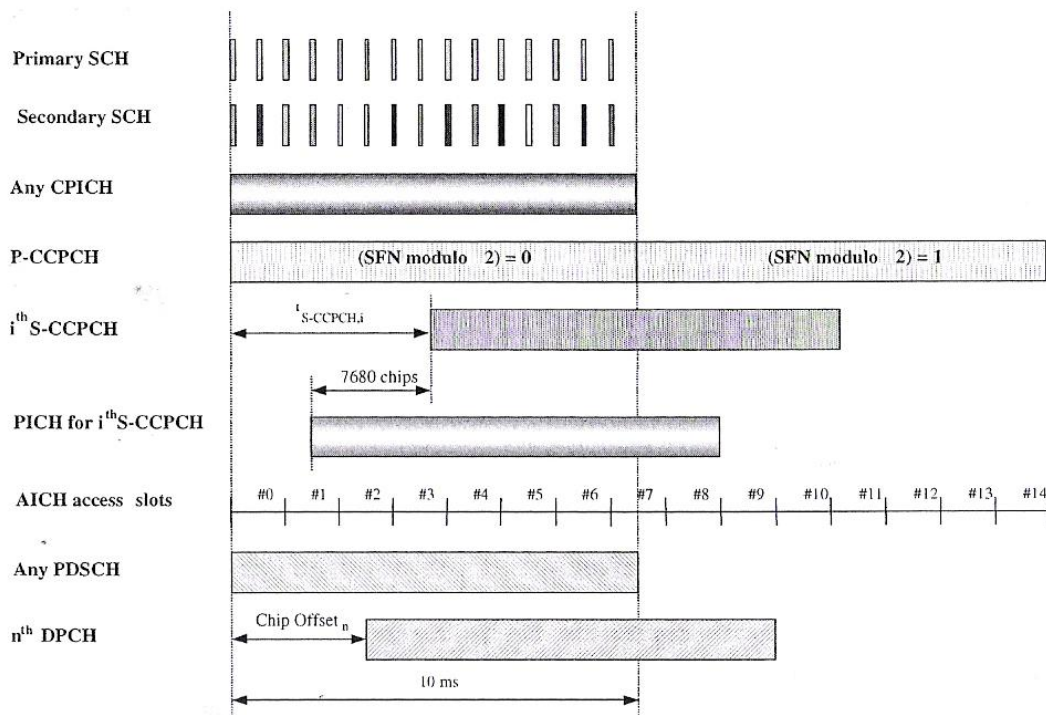
Ο μηχανισμός Συγχρονισμού του Καναλιού Μεταφοράς (TCS) καθορίζει το συγχρονισμό της μεταφοράς frame μεταξύ του RNC και των σταθμών βάσης, βάση του χρονισμού μετάδοσης του radio interface. Ο Συγχρονισμός Ραδιοδιασύνδεσης (Radio

Interface Synchronization) σχετίζεται με τη διάρκεια της εκπομπής radioframe στην downlink διεύθυνση.

Στη σχεδίαση ραδιοδικτύου, η κατανόηση του χρονισμού μετάδοσης και του συγχρονισμού στο UTRAN είναι απαραίτητη για το συγχρονισμό των αποκλειστικών και των κοινών μετρήσεων, π.χ. ο υπολογισμός της επίδοσης επιπέδου ζεύξεως για το δίκτυο UMTS.

2.4.5.1 Η Σχέση Χρονισμού μεταξύ των Φυσικών Καναλιών

Η δομή χρονισμού του radioframe και των access slots των downlink φυσικών καναλιών εξηγείται στο Σχήμα 2.39. Όπως φαίνεται στο Σχήμα, το System Frame Number (SFN) εκπέμπεται στο P-CCPCH κανάλι, το οποίο χρησιμοποιείται σαν αναφορά χρονισμού για όλα τα φυσικά κανάλια, αφού ο χρονισμός εκπομπής στο uplink προέρχεται από τον χρονισμό των downlink φυσικών καναλιών. [11]



Σχήμα 2.39 Διάρκεια radio frame και διάρκεια των access slots των downlink φυσικών καναλιών.

Το SCH κανάλι (πρωτεύον και δευτερεύον), το CPICH (πρωτεύον και δευτερεύον), το P-CCPCH και το PDSPCH έχουν ακριβώς τον ίδιο χρονισμό και διάρκεια στο frame. Ο χρονισμός του S-CCPCH μπορεί να είναι διαφορετικός για διαφορετικό S-CCPCH, αλλά η απόκλιση από τον χρονισμό του P-CCPCH frame είναι πολλαπλάσια των 256chips. Ο

χρονισμός του PICH είναι 7.680chips πριν από τον αντίστοιχο χρονισμό του S-CCPH frame, δηλαδή ο χρονισμός του S-CCPH μεταφέρει το PCH κανάλι μεταφοράς μαζί με την αντίστοιχη πληροφορία ειδοποίησης. Τα access slots AICH $\neq 0$ ξεκινούν την ίδια στιγμή όπως τα P-CCPCH frames με SFN (modulo 2)=0. Ο χρονισμός DPCH μπορεί να είναι διαφορετικός για διαφορετικά DPCH κανάλια, αλλά η απόκλιση από το χρονισμό του P-CCPCH frame είναι πάντα πολλαπλάσια των 256 chips.

2.4.5.2 Συγχρονισμός του Καναλιού Μεταφοράς (TCS)

Ο συγχρονισμός του καναλιού μεταφοράς εξασφαλίζει μία αρίθμηση κοινών frames μεταξύ του UTRAN και του UE.

Η αναφορά κοινών frames στο L_2 ορίζεται ως ο αριθμός CFN (Connection Frame Number). Ο CFN είναι ένας μοναδικός αριθμός για κάθε σύνδεση RRC, και καθορίζεται ως ο μετρητής των frames που χρησιμοποιούνται για το συγχρονισμό του καναλιού μεταφοράς μεταξύ του UE και του UTRAN. Μία τιμή του CFN σχετίζεται με κάθε TBS και διέρχεται μαζί με το TBS μέσω της υπηρεσίας σημείου πρόσβασης MAC-L1. Η διάρκεια ενός κύκλου CFN (0-255 frames) υποτίθεται ότι είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη επιτρεπτή καθυστέρηση μεταφοράς μεταξύ του MAC και του L_1 ³. Όταν χρησιμοποιείται για το PCH το εύρος του CFN είναι από 0 έως 4.095 frames.

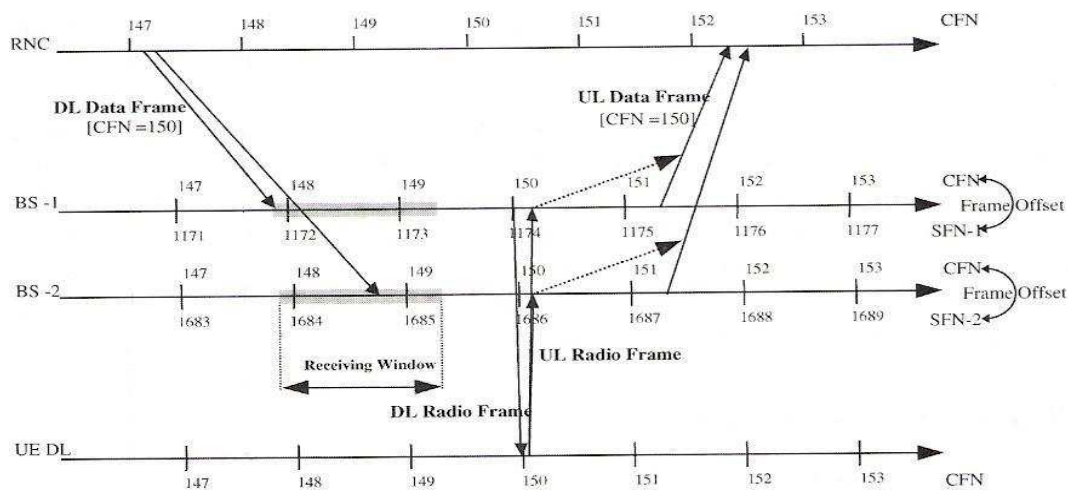
Άλλοι σημαντικοί μετρητές (προαιρετικά κλειδωμένης - συχνότητας) είναι ο BFN (Node B Frame Number) και ο RFN (RNC Frame Number). Ο BFN και ο RFN είναι αντίστοιχα οι μετρητές αριθμού κοινών frames Node B και RNC αντίστοιχα, οι οποίοι κυμαίνονται από 0 μέχρι 4.095 frames.

Το SFN (System Frame Number) κυμαίνεται από 0 έως 4.095 frames και προωθείται στο BCH. Το SFN χρησιμοποιείται για τον χρονικό προγραμματισμό της πληροφορίας που εκπέμπεται στην κυψέλη. Στο FDD το SFN ισοδυναμεί με το BFN που ρυθμίζεται από την καθυστέρηση του χρονισμού που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό εκκίνησης του SCH, του CPICH και των downlink scrambling codes σε μια κυψέλη (Τύπου T στην 3GPP). Η κυψέλη (Τύπου) T έχει καθοριστεί από την 3GPP για να αποφύγει την επικάλυψη των SCH καναλιών (σύγκρουση των ριπών SCH) σε διαφορετικές κυψέλες που ανήκουν στον ίδιο σταθμό βάσης. Με άλλα λόγια το SFN μπορεί να είναι καθυστερημένο σε μία κυψέλη από τα chips (τεμάχια) της κυψέλης T σε σχέση με το BFN. Η κυψέλη T έχει βηματικό μέγεθος των 256chips και κυμαίνεται από 0 έως 9.

³ Ισχύει μόνο για την μεριά του UTRAN (μεταξύ SRNC και Node B), όπου οι λειτουργίες L_1 που χειρίζονται το χρονισμό του TrCH είναι στο Node B.

Το CFN δεν εκπέμπεται στο air-interface, αλλά αντιστοιχείται από το L_1 στο SFN του πρώτου radioframe που χρησιμοποιείται για την εκπομπή του υπό συζήτηση TBS. Όπως ήδη αναφέρθηκε σε αυτή την παράγραφο, το SFN εκπέμπεται στο L_1 στο BCH και η αντιστοίχιση μεταξύ του CFN και του SFN εκτελείται ως συνάρτηση ειδικής παραμέτρου ραδιοζεύξης και ορίζεται ως (Frame Offset) από την 3GPP. Το Frame Offset υπολογίζεται από το SRNC και παρέχεται στο σταθμό βάσης όταν προκύπτει μία ραδιοζεύξη, όπου εκτελείται η αντιστοίχιση του L_2 και του L_1 όπως ακολουθεί: $SFN \bmod 256 = (CFN + \text{Frame Offset}) \bmod 256$ (από το L_2 στο L_1), και $CFN = (SFN - \text{Frame Offset}) \bmod 256$ (από το L_1 στο L_2).

Ο μηχανισμός συγχρονισμού του καναλιού μεταφοράς είναι απαραίτητος για όλα τα downlink κανάλια μεταφοράς. Δηλαδή, στην περίπτωση του soft handover μόνο για τα κανάλια DCH που ανήκουν σε ραδιοζεύξεις διαφορετικών ομάδων ραδιοζεύξεων,



Σχήμα 2.40 Συγχρονισμός του καναλιού μεταφοράς κατά τη διάρκεια του soft handover.

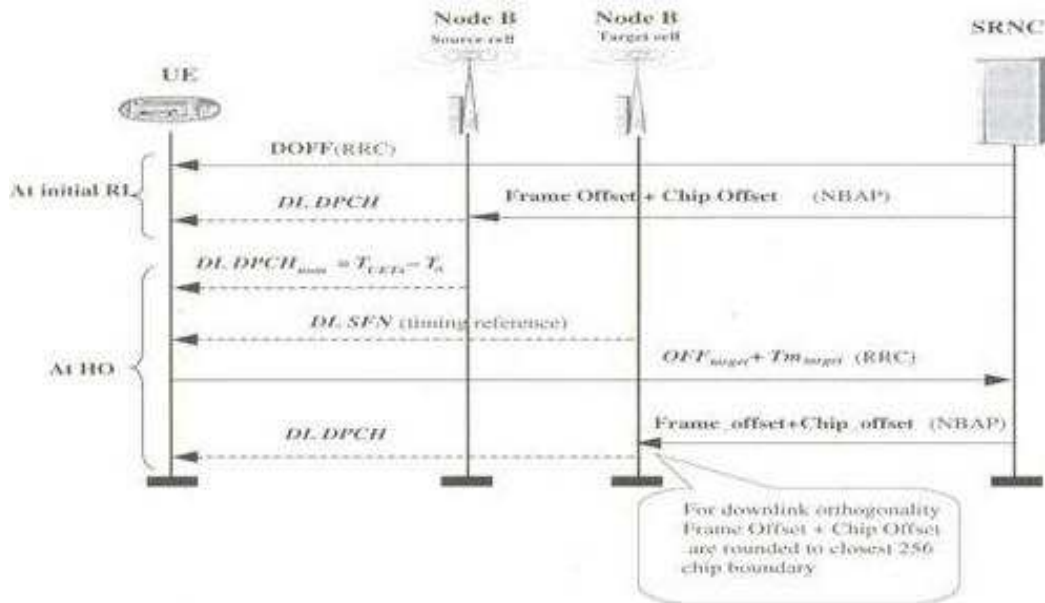
τα Frames Offsets διαφορετικών ραδιοζεύξεων επιλέγονται από το SRNC για να έχουν μία κανονισμένη (χρονικά) εκπομπή των διακλαδώσεων πολλαπλής λήψεως στο air-interface. Κατά τη διάρκεια του soft handover το CFN επιτρέπει την επιλογή ένωσης των frames στο L_2 για uplink και διαίρεση των frames για downlink.

Ο συγχρονισμός του TrCH κατά τη διάρκεια του soft handover επεξηγείται στο Σχήμα 2.40, όπου τα βέλη των frames αναπαριστούν το πρώτο chip η το πρώτο bit στα frames. Το TTI και η μετατόπιση του chip είναι 10ms και 0chips αντίστοιχα.

2.4.5.3 Συγχρονισμός Ραδιοεπαφής (Radio Interface Synchronization)

Ο συγχρονισμός της ραδιοεπαφής εξασφαλίζει ότι το UE αποκτά τα σωστά frames ενώ κάνει λήψη από πολλές κυψέλες. Το Σχήμα 2.41 επεξηγεί πως σηματοδοτούνται τα offsets και χρησιμοποιούνται σε διαφορετικά nodes όταν τίθεται η (αρχική) ραδιοζεύξη και διαρκεί με μια εναλλαγή πολλαπλής εκπομπής (diversity handover) [18]. Όταν προκύπτει η πρώτη ραδιοζεύξη το SRNC επιλέγει μία προκαθορισμένη απόκλιση τιμής για το αποκλειστικό φυσικό κανάλι, που δηλώνεται από το DOFF (default offset) στο Σχήμα 2.41, το οποίο χρησιμοποιείται έπειτα για να αρχικοποιήσει το frame offset και το chip offset στο σταθμό βάσης, και για να ενημερώνει το UE όταν αναμένονται τα frames στο downlink. Για να εξάγουμε τον μέσο όρο της κίνησης Iub και το φορτίο επεξεργασίας στο Node B, προγραμματίζονται χρονικά όλες οι υπηρεσίες με τη βοήθεια του DOFF. Επιπλέον το DOFF χρησιμοποιείται για να διευρύνει τη θέση των πιλοτικών συμβόλων στο downlink και για να μειώσει την μέγιστη ισχύ του σταθμού βάσης, αφού εκπέμπονται πάντα τα πιλοτικά σύμβολα σε σταθερή θέση μέσα σε ένα slot. Πριν από το οποιοδήποτε intra-frequency diversity handover το UE είναι υποχρεωμένο να μετρήσει την χρονική διαφορά μεταξύ του uplink DPCH και το επιθυμητό SFN_{target} κυψέλης και να το αναφέρει στο SRNC. Το SRNC σπάει αυτή τη χρονική διαφορά σε δύο παραμέτρους (Frame Offset και Chip Offset) και διαβιβάζει τις υπολογισμένες τιμές στο Node B. Το Node B (Σ.Β.) στρογγυλοποιεί το λαμβανόμενο Chip Offset στην πιο κοντινή τιμή ορίου των 256 chips για να διατηρήσει την ορθογωνικότητα στο downlink σε μία κυψέλη (ανεξάρτητα από την χρήση του SF) και μετά το χρησιμοποιεί για την εκπομπή του downlink DPCH σαν απόκλιση σχετική με τη διάρκεια του P-CCPCH, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.39.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.41 η αναφορά του handover είναι η χρονική στιγμή $T_{UEtx} - T_o$, η οποία υποδηλώνεται ως DL DPCH_{nom} στο διάγραμμα χρονισμού, όπου το T_{UEtx} αντιπροσωπεύει τον χρόνο όταν το UE εκπέμπει το uplink DPCH, και T_o (σταθερά των 1.024 chips) είναι η ονομαστική διαφορά μεταξύ του πρώτου λαμβανομένου DPCH finger (DL DPCH_{nom}) και του T_{UEtx} στο UE. Το OFF και το T_m υπολογίζονται από το UE σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση: $OFF + T_m = (SFN_{target} - DL DPCH_{nom}) \bmod 256$ frames (chips), όπου OFF και T_m εκφράζεται σε frames και chips αντίστοιχα.



Σχήμα 2.41 Χρήση των τιμών αποκλίσεων στην αρχική εγκατάσταση ραδιοσύνδεσης και κατά την διάρκεια του soft handover.

2.4.6 Οι γενικές έννοιες της Διεύρυνσης, του Scrambling και του Channelisation

Στην Παράγραφο 2.1 έχει παρουσιαστεί μία περιγραφή της αρχής του CDMA air-interface και η έννοια της διεύρυνσης πληροφορίας στο Σύστημα Διεύρυνσης Φάσματος Συνεχούς Ακολουθίας.

2.4.6.1 Scrambling codes και channelisation codes

Η έννοια της διεύρυνσης εφαρμόζεται στα φυσικά κανάλια και αποτελείται από δύο λειτουργίες. Η πρώτη είναι η λειτουργία channelisation (καναλοποίησης), η οποία μετατρέπει κάθε σύμβολο δεδομένου σε αριθμό από chips, έτσι αυξάνει το εύρος ζώνης του σήματος. Το πλήθος των chips ανά σύμβολο δεδομένου καλείται Spreading Factor (SF). Η δεύτερη λειτουργία είναι η λειτουργία scrambling (αποδιοργάνωσης), όπου εφαρμόζεται επιπλέον ο scrambling code στο διευρυμένο σήμα. [13]

Στην διαδικασία channelisation, τα σύμβολα δεδομένων στους κλάδους I και Q είναι ανεξαρτήτως πολλαπλασιασμένα από έναν OVFSF κώδικα, ο οποίος παρατάσσεται στο χρόνο με το όριο συμβόλου. Στην 3GPP οι OVFSF κώδικες χρησιμοποιούνται για διαφορετικούς

ρυθμούς συμβόλου και περιγράφονται μοναδικά ως $C_{ch,SF,k}$, όπου SF είναι ο συντελεστής διεύρυνσης του κώδικα και k είναι ο αριθμός κώδικα ($0 \leq k \leq SF - 1$).

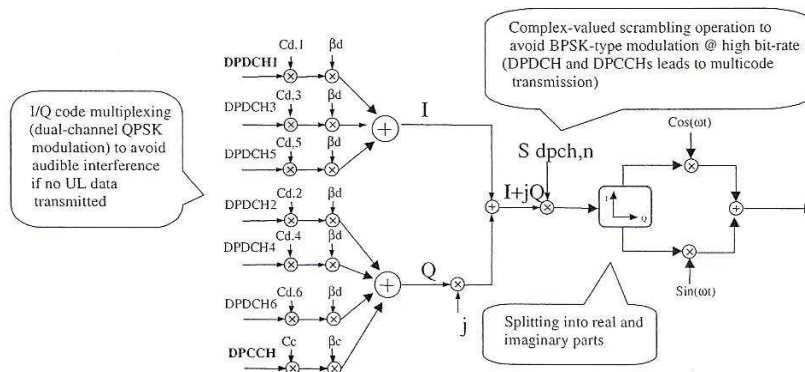
Κάθε επίπεδο του κωδικού δέντρου ορίζει τους channelisation codes μήκους SF, όπου SF είναι ο συντελεστής διεύρυνσης των κωδικών. Οι channelisation codes (κώδικες καναλοποίησης) έχουν διαφορετικές ιδιότητες και χρησιμοποιούνται για να διαχωρίσουν την εκπεμπόμενη πληροφορία από μία άλλη πηγή, δηλαδή από διαφορετικές συνδέσεις μέσα σε μία κυψέλη στο downlink, όπου η κύρια (own) παρεμβολή είναι επίσης μειωμένη, και από τα αποκλειστικά φυσικά κανάλια δεδομένων από ένα UE στην αντίθετη κατεύθυνση. Στο downlink οι OVFSF κώδικες είναι περιορισμένων πόρων και πρέπει να διαχειρίζονται από έναν ελεγκτή ραδιοδικτύου όπως εξηγείται στην Παράγραφο 4.5, ωστόσο στην αντίθετη κατεύθυνση δεν υπάρχει τέτοιο πρόβλημα.

Οι OVFSF κώδικες είναι αποτελεσματικοί μόνο όταν τα κανάλια είναι τέλεια συγχρονισμένα σε επίπεδο συμβόλου. Επειδή έχουμε απώλεια στη διασυσχέτιση (cross correlation) μεταξύ των OVFSF κωδικών δηλαδή εξαιτίας του φαινομένου multipath, αναπληρώνεται από την πρόσθετη λειτουργία scrambling. Με την λειτουργία scrambling το πραγματικό μέρος (I) και το φανταστικό μέρος (Q) του διευρυμένου σήματος πολλαπλασιάζονται επιπλέον από έναν scrambling code μιγαδικής τιμής. Όπως ήδη επισημάνθηκε, οι scrambling codes χρησιμοποιούνται για να ξεχωρίσουν τις διαφορετικές κυψέλες στο downlink και τα διαφορετικά τερματικά στην uplink κατεύθυνση. Έχουν καλές ιδιότητες συσχέτισης (μέση τιμή παρεμβολής) και χρησιμοποιούνται πάντα επιπλέον στους κώδικες διεύρυνσης (SF), και έτσι δεν επηρεάζουν το εύρος ζώνης εκπομπής.

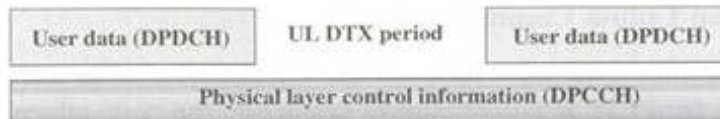
2.4.6.2 Διεύρυνση στα Uplink Αποκλειστικά Κανάλια

Η διεύρυνση uplink και η αρχή διαμόρφωσης για το DPCCH και το DPDCH εξηγείται στο Σχήμα 2.42. Μπορούν να διευρυνθούν και να εκπεμφθούν ταυτόχρονα ένα DPCCH και μέχρι έξι παράλληλα DPDCH κανάλια πραγματικής τιμής. Το DPCCH διευρύνεται πάντα χρησιμοποιώντας τον κώδικα $C_c = C_{ch,256,0}$, όπου $k=0$. Μόνο όταν εκπέμπεται ένα DPDCH στο uplink, το $DPDCH_1$ διευρύνεται χρησιμοποιώντας τον κώδικα $C_{d1} = C_{ch,SF,k}$, όπου SF είναι ο συντελεστής διεύρυνσης του DPDCH και $k=SF/4$ είναι ο αριθμός του OVFSF κώδικα. Όταν χρειάζεται να εκπεμφθούν παραπάνω από ένα DPDCH, όλα τα DPDCH έχουν συντελεστές διεύρυνσης ίσους με 4, δηλαδή, το ν-οστό DPDCH διευρύνεται από τον κώδικα $C_{d,n} = C_{ch,4,k}$, όπου $k=1$ εάν $n \in \{1,2\}$, $k=3$ εάν $n \in \{3,4\}$, και $k=2$ εάν $n \in \{5,6\}$. Για να αντισταθμιστεί η διαφορά μεταξύ των SF δεδομένων και των τμημάτων σηματοδότησης, τα

διευρυμένα σήματα είναι έπειτα αντισταθμισμένα από τους συντελεστές κέρδους, δηλώνεται ως B_c για το DPCCCH και B_d για όλα τα DPDCHs στο Σχήμα 2.42. Οι συντελεστές κέρδους υπολογίζονται από το SRNC και προωθούνται στο τερματικό, δηλαδή όταν καθίσταται ή επαναρυθμίζεται μία ραδιοζεύξη [9]. Οι συντελεστές κέρδους (gain factors) κυμαίνονται από 0 έως 1, και τουλάχιστον μία από τις τιμές B_c και B_d έχει πάντα πλάτος 1.



Σχήμα 2.42 Διεύρυνση και Scrambling για το uplink DPCCCH και τα DPDCH.



Σχήμα 2.43 Εκπομπή uplink DPCCCH και DPDCH όταν τα δεδομένα είναι παρόντα ή απόντα (DTX).

Η ροή των chips στους κλάδους I και Q αθροίζονται και ανακατεύονται χρησιμοποιώντας έναν scrambling code μιγαδικής - τιμής, που σημειώνεται από το $S_{dpch,n}$ στο Σχήμα 2.42. Ο scrambling code εφαρμόζεται παραταγμένος μαζί με τα radio frames δηλαδή, το πρώτο ανακατεμένο chip αντιστοιχεί στην αρχή του radio frame.

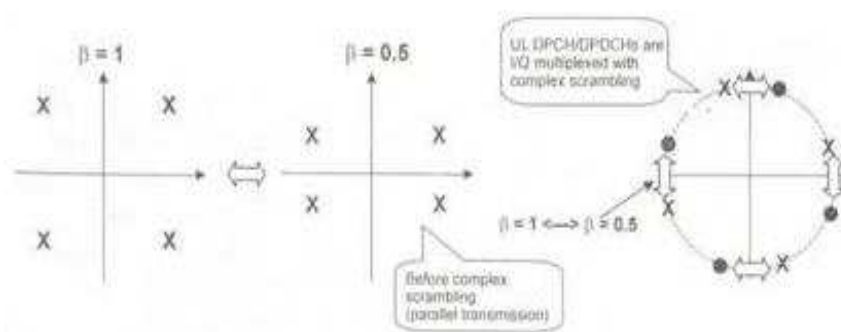
Όπως εξηγείται στην αναφορά [19] η οποιαδήποτε διακοπή στην uplink εκπομπή μπορεί να προκαλέσει ακουστική παρεμβολή στον ακουστικό εξοπλισμό που είναι κοντά στο τερματικό. Ένα τυπικό παράδειγμα είναι η παρεμβολή της συχνότητας πλαισίου

($217\text{Hz}=1/4,615\text{ms}$) που προκαλείται από τα τερματικά του GSM. Για να αποφύγουμε αυτή την ενοχλητική επίδραση, το DPCCH και τα DPDCH κανάλια δεν πολυπλέκονται στο χρόνο αλλά πολυπλέκεται ο κώδικας I/Q (διαμόρφωση QPSK διπλού καναλιού) με μιγαδικό scrambling. Όπως εξηγείται στο Σχήμα 2.43 αυτός ο συνδυασμός διαμόρφωσης επιτρέπει την συνεχή εκπομπή ακόμη και στην διάρκεια της περιόδου που δεν μιλάει ο χρήστης (silent period) όπου εκπέμπεται μόνο η πληροφορία σηματοδότησης επιπέδου 1 για τους σκοπούς διατήρησης της ζεύξεως (DPCCH).

Όπως εξηγείται στο Σχήμα 2.44, οι μιγαδικοί scrambling codes προκύπτουν κατά τέτοιο τρόπο όπου η εναλλαγή μεταξύ των διαδοχικών chips μέσα σε μία περίοδο συμβόλου να περιορίζεται στις $\pm 90^\circ$. Με τη λειτουργία αυτή παραμένει σταθερή η αποδοτικότητα του ενισχυτή ισχύος στο τερματικό, ανεξάρτητα από το λόγο ισχύος B μεταξύ του DPDCH και του DPCCH, έτσι εξασφαλίζεται η λειτουργία στην γραμμική περιοχή του ενισχυτή [19].

Το DPCCH και το DPDCH μπορούν να ανακατευτούν είτε από μεγάλους είτε από μικρούς scrambling codes. Οι μικρές και οι μεγάλες ακολουθίες scrambling μιγαδικής τιμής προσδιορίζονται στην αναφορά [13].

Υπάρχουν 2^{24} μικροί και 2^{24} μεγάλοι scrambling codes. Αφού είναι διαθέσιμοι εκατομμύρια κώδικες, δεν χρειάζεται σχεδίαση του uplink κώδικα. Ο τύπος (μικρός ή μεγάλος) του scrambling code του uplink αποκλειστικού φυσικού καναλιού και ο αριθμός (0,.....,16777215), μαζί με το ελάχιστο επιτρεπτό SF (4, 8, 16, 32, 64, 128 ή 256) του channelisation code για το τμήμα δεδομένων καθορίζονται από τα ανώτερα επίπεδα δηλαδή, όταν, προκύπτει μια σύνδεση RRC ή ένα handover στο UTRAN [9].



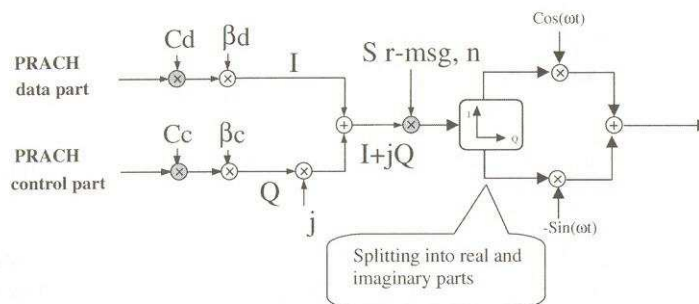
Σχήμα 2.44: Αστερισμός του σήματος για τους κώδικες I/Q που πολυπλέκονται με μιγαδικό scrambling, το β δηλώνει το λόγο ισχύος μεταξύ του DPDCH και του DPCCH.

2.4.6.3 Διεύρυνση στα Uplink Κοινά Κανάλια

Αυτή η Παράγραφος περιγράφει την κατανομή του κώδικα για το PRACH preamble και για τα τμήματα μηνύματος, τον channelisation code για το PCPCH power control preamble, την κατανομή κώδικα για το CPCH preamble για το τμήμα μηνύματος, και τον παλμό (preamble) του ελέγχου ισχύος.

Scrambling στο PRACH Τμήμα Μηνύματος και οι (PRACH) Κώδικες παλμού

Η διεύρυνση και η περίπλεξη (scrambling) του μηνύματος επεξηγείται στο Σχήμα 2.45. Το τμήμα ελέγχου του τμήματος ελέγχου του PRACH μηνύματος μεταδίδεται με channelisation code $C_c = C_{ch,256,m}$, όπου $m=16*5+15$ και $s(0 \leq S \leq 15)$ είναι ταυτοποίηση του preamble, και το τμήμα δεδομένων μεταδίδεται χρησιμοποιώντας channelisation code $C_d = C_{ch,SF,m}$, όπου SF είναι ο συντελεστής διεύρυνσης που χρησιμοποιείται για το τμήμα δεδομένων και $m=SF*s/16$ [13].



Σχήμα 2.45 Διεύρυνση (μετάδοση) και ανακατεμα στο τμήμα μηνύματος του PRACH καναλιού.

Το τμήμα του PRACH μηνύματος είναι πάντα ανακατεμένο με έναν μεγάλο scrambling code. Το μήκος του scrambling code που χρησιμοποιείται για το τμήμα του PRACH μηνύματος είναι 10ms. Υπάρχουν 8.192 scrambling codes που δίνονται στην αναφορά [13].

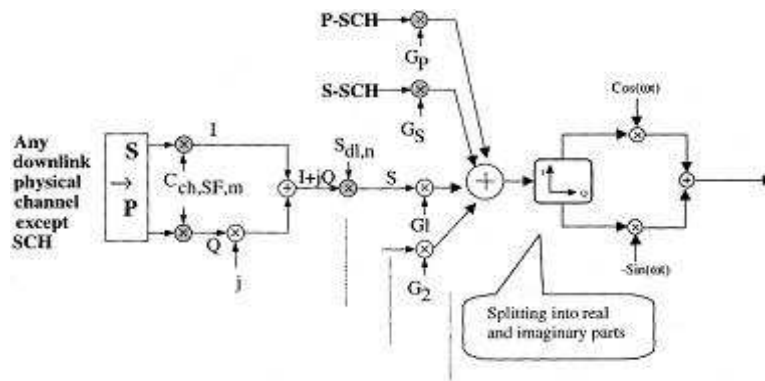
Scrambling στο Τμήμα Μηνύματος του PCPCH και οι κώδικες Παλμού (preamble)

Η διεύρυνση και το scrambling στο τμήμα μηνύματος του PCPCH είναι όμοιο με αυτό που επεξηγήθηκε στην προηγούμενη Παράγραφο για το PRACH. Μία ευρύτερη και πιο αναλυτική περιγραφή μπορεί να βρεθεί στην αναφορά [13].

Διαμόρφωση και Διεύρυνση στο downlink

Η έννοια της διεύρυνσης και του scrambling για όλα τα downlink φυσικά κανάλια επεξηγείται στο Σχήμα 2.46. Εκτός από τα κανάλια SCH, κάθε ζεύγος των δύο συνεχών συμβόλων είναι πρώτα μετατρέπόμενο από σειριακό - σε - παράλληλο και αντιστοιχισμένο στους κλάδους I και Q. Έπειτα οι κλάδοι I και Q διευρύνονται στο chip rate από τον ίδιο channelisation code $C_{ch,SF,m}$. Έπειτα ανακατεύονται οι ακολουθίες των chips πραγματικής - τιμής στους κλάδους I και Q χρησιμοποιώντας έναν scrambling code μιγαδικής τιμής, και ορίζεται ως $S_{dl,n}$ στο Σχήμα 2.46. Ο scrambling code εφαρμόζεται παραταγμένος με τον scrambling code που εφαρμόζεται στο P-CCPCH, όπου πολλαπλασιάζεται το πρώτο μιγαδικό chip του μεταδιδόμενου P-CCPCH frame από τον αριθμό του chip μηδέν του scrambling code [13].

Μετά την διεύρυνση, κάθε φυσικού καναλιού downlink (εκτός των SCH) δίδεται το ποσοστό ισχύος ξεχωριστά από ένα συντελεστή βαρύτητας, που δηλώνεται ως G_i στο Σχήμα 2.46. Τα P-SCH και S-SCH μιγαδικής τιμής σταθμίζονται ξεχωριστά από τους συντελεστές βαρύτητας G_p και G_s . Όλα τα downlink φυσικά κανάλια ενώνονται χρησιμοποιώντας μία μιγαδική πρόσθεση και η τελική ακολουθία προκύπτει από τις διαδικασίες διεύρυνσης και του scrambling και έπειτα διαμορφώνεται κατά QPSK [13].



Σχήμα 2.46 Διάταξη μετάδοσης και scrambling για όλα τα φυσικά κανάλια downlink.

Downlink Κώδικες Διεύρυνσης.

Στο downlink χρησιμοποιούνται οι ίδιοι channelisation codes όπως στο uplink (οι κώδικες OVSF). Τυπικά χρησιμοποιείται μόνο ένα δέντρο κωδίκων ανά κυψέλη κάτω από έναν scrambling code που μοιράζεται έπειτα μεταξύ πολλών χρηστών. Εξ ορισμού, οι channelisation codes που χρησιμοποιούνται για το P-CPICH και το P-CCPCH είναι ο $C_{ch,256,0}$

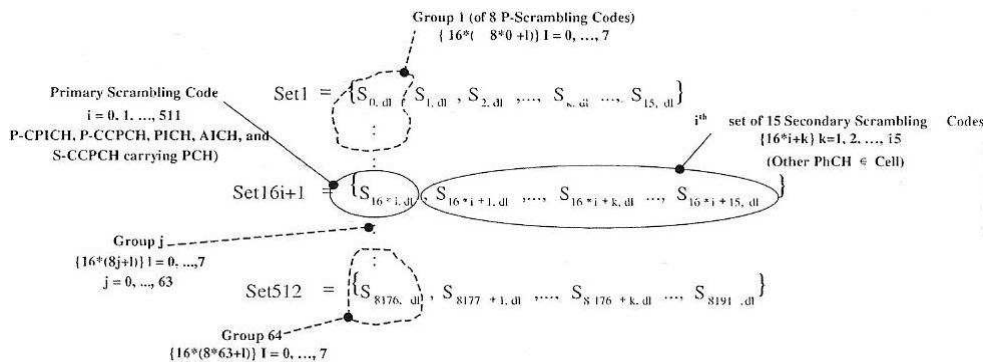
και $C_{ch,256,1}$ αντίστοιχα. Ο διαχειριστής ραδιοπύργων στο RNC προσδιορίζει τους channelisation codes για όλα τα άλλα κανάλια, με κάποιους περιορισμούς στην χρήση του SF=512 στην περίπτωση του diversity handover [13].

Στην συμπιεσμένη λειτουργία (compressed mode⁴) υπάρχουν τρεις μέθοδοι για την δημιουργία κενών: η προσαρμογή ρυθμού, η μείωση του SF κατά έναν συντελεστή ίσο με 2 και ο χρονικός προγραμματισμός υψηλότερου επιπέδου. Όταν ο μηχανισμός για το άνοιγμα του κενού είναι να μειώσει το SF κατά έναν συντελεστή ίσο με 2, ο OVSF κώδικας που χρησιμοποιείται για τα συμπιεσμένα frames είναι $C_{ch,SF/2,[n/2]}$ εάν χρησιμοποιείται ένας κανονικός scrambling code, και $C_{ch,SF/2,[n/2]_{\text{mod } SF/2}}$ εάν χρησιμοποιείται ένας εναλλακτικός scrambling code (βλέπε επόμενη Παράγραφο), όπου $C_{ch,SF,n}$ είναι ο channelisation code που χρησιμοποιείται για τα μη - συμπιεσμένα frames.

Στο downlink το SF του αποκλειστικού φυσικού καναλιού δεν διαφέρει κατά βάση από frame σε frame. Όπως επεξηγείται στο Σχήμα 2.22 η απόκλιση του ρυθμού δεδομένων στο DPCH διαχειρίζεται είτε από μία λειτουργία προσαρμογής ρυθμού είτε από τη ασυνεχή εκπομπή (DTX) του L_1 , όπου η εκπομπή διακόπτεται κατά τη διάρκεια ενός τμήματος του DPDCH slot. Στην περίπτωση του πολλαπλού κώδικα εκπομπής, τα παράλληλα κωδικά κανάλια έχουν διαφορετικούς channelisation codes αλλά ίδιο SF υπό τον ίδιο scrambling code. Οι διαφορετικοί SF μπορούν να εφαρμοστούν στην περίπτωση πολλών CCTrCHs που λαμβάνονται από το ίδιο UE.

Ο OVSF κώδικας μπορεί να διαφέρει από frame σε frame στο PDSCH. Ο κανόνας είναι ότι οι κώδικες που ανήκουν σε μικρότερο SF είναι από τον κλάδο του κώδικα δέντρου που σημαίνεται από τον κώδικα με το μικρότερο SF που χρησιμοποιείται στη σύνδεση. Εάν το DSCH αντιστοιχείται σε πολλαπλά παράλληλα PDSCH κανάλια, εφαρμόζεται ο ίδιος κανόνας, αλλά όλοι οι κλάδοι (του κωδικού δέντρου) αναγνωρίζονται από τους πολλαπλούς κώδικες, που αντιστοιχούν στο μικρότερο SF, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκχώρηση μεγαλύτερου SF.

⁴ Κατάσταση όπου είναι ενεργό τουλάχιστον ένα κενό μέρος εκπομπής της ακολουθίας (παραμετρική μονάδα επιπέδου 1 η οποία περιέχει ένα ή δύο κενά εκπομπής μέσα σε ένα σύνολο από radio frames). Ο σκοπός της συμπιεσμένης λειτουργίας uplink και downlink είναι να αφήσει το UE να ελέγξει τις κυψέλες σε άλλες συχνότητες FDD και για άλλες λειτουργίες και τεχνολογίες ραδιοπρόσβασης που υποστηρίζεται από το UE π.χ. TDD και GSM.



Σχήμα 2.47 Πρωτεύοντες και Δευτερεύοντες Scrambling codes.

Downlink Scrambling Codes.

Στο downlink χρησιμοποιούνται μόνο οι μεγάλοι scrambling codes. Υπάρχουν $2^{18}-1 (=262.143)$ scrambling codes, και αριθμούνται από το 0 έως το 262.142. Οι ακολουθίες των scrambling codes δηλώνονται ως $S_{dl,n}$ στο Σχήμα 2.47 δομούνται ως τμήματα της Χρυσής Ακολουθίας (Gold Sequence), όπως αναφέρεται αναλυτικά στην αναφορά [13].

Για να συντομεύσουμε τη διαδικασία εύρεσης κυψέλης, στην πράξη χρησιμοποιούνται μόνο 8.192 κώδικες από τους 262.143 κώδικες και το τμήμα φάσεως εναλλάσσεται γρήγορα από 0 έως 38.399 καταλήγοντας έτσι σε ένα περιοδικό scrambling code με περίοδο 10ms, η οποία διευκολύνει το UE στην εύρεση της σωστής φάσης κώδικα.

Όπως επεξηγείται στο Σχήμα 2.47 οι scrambling codes μπορούν να εφαρμοστούν μόνο με $k = 0, 1, \dots, 8.191$. Αυτοί οι κώδικες διαιρούνται σε 512 μέρη. Κάθε μέρος αποτελείται από έναν scrambling code και 15 δευτερεύοντες scrambling codes, που σχετίζονται σαφέστατα σε αντιστοίχιση ένα - προς - ένα, δηλαδή, ο i -οστός πρωτεύων scrambling code αντιστοιχεί στο i -οστό μέρος των δευτερευόντων scrambling codes. Το σύνολο των πρωτευόντων scrambling codes διαιρείται επιπλέον σε 64 ομάδες των 8 πρωτευόντων scrambling codes. Ακόμα κάθε πρωτεύον scrambling code k σαφέστατα συνδέεται με ένα αριστερό (δηλώνεται ως $k + 8.192$) και έναν δεξιό εναλλακτικό scrambling code (δηλώνεται ως $k + 16.384$), ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα συμπιεσμένα ανακατεμένα frames, κατά τη διάρκεια της συμπιεσμένης λειτουργίας.

Κάθε κυψέλη εκχωρείται σε έναν και μόνο έναν πρωτεύων scrambling code. Το πρωτεύον CCPCH, το πρωτεύον CPICH, το PICH, το AICH και το S-CCPCH μεταφέρουν το PCH, μεταδίδονται πάντα χρησιμοποιώντας τον πρωτεύων scrambling code. Η εκχώρηση των πρωτευόντων scrambling codes είναι μία τετριμμένη εργασία και μπορεί να γίνει με τη

βοήθεια οποιουδήποτε εργαλείου σχεδίασης. Τα άλλα downlink φυσικά κανάλια μπορούν να εκπεμφθούν είτε με τον πρωτεύων scrambling code είτε με τον δευτερεύων scrambling code που λαμβάνεται από το σύνολο των κωδικών που σχετίζονται με αυτό. Για ένα CCTrCH επιτρέπεται η μίξη των πρωτευόντων και των δευτερευόντων scrambling codes. Ωστόσο, εάν το CCTrCHs είναι τύπου DSCH, τότε όλοι οι channelisation codes του PDSCH καναλιού λαμβάνονται από ένα απλό UE και πρέπει να είναι υπό ένα απλό scrambling code [13].

2.5 Δείκτες Επίδοσης Ραδιοζεύξεως στο WCDMA

Αυτή η Παράγραφος έχει σχέση με τους δείκτες αποδόσεως ζεύξεως WCDMA που χρησιμοποιούνται στη σχεδίαση και στην διαστασιοποίηση ραδιοδικτύου. Τυπικά οι δείκτες επίδοσης ζεύξεως προκύπτουν από έναν εξομοιωτή επιπέδου - ζεύξεως ή από μετρήσεις εργαστηρίου με ένα πραγματικό BTS ένα MS και έναν εξομοιωτή καναλιού. Οπτικά, η ζεύξη και η επίδοση δικτύου μετριοούνται σε ένα ενεργό δίκτυο.

Οι δείκτες επίδοσης ζεύξεως χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στη διαστασιοποίηση και στη σχεδίαση ραδιοδικτύου. Αυτός είναι ο λόγος που πρέπει να χρησιμοποιηθούν πιο πραγματικά και πιο σταθερά ψηφία για να καλύψουν όλες τις πιθανές περιπτώσεις. Οι αλγόριθμοι πομπού και δέκτη των μοντέλων προσομοίωσης πρέπει να είναι πραγματικοί όσο το δυνατόν περισσότερο. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι να απαιτηθεί τουλάχιστον μία ανοχή με τις καθιερωμένες μετρήσεις επίδοσης ζεύξεως.

Οι απαιτήσεις επίδοσης ζεύξεως είναι διαφορετικές για διαφορετικές υπηρεσίες, για παράδειγμα, λόγω των διαφορετικών μορφών κωδικοποίησης καναλιού και του μήκους interleaving. Οι προϋποθέσεις πρέπει να επιλεγθούν προσεκτικά όσον αφορά την ραδιομετάδοση του καναλιού, καθώς η μετάδοση του καναλιού έχει σημαντική επίδραση στους δείκτες επίδοσης ζεύξεως. Επίσης πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η ταχύτητα του κινητού σταθμού (MS).

Στην πραγματικότητα οι συνθήκες του καναλιού διαφέρουν από κυψέλη σε κυψέλη ακόμη και μέσα στις κυψέλες. Έτσι εκλέγοντας ένα συγκεκριμένο μοντέλο πολυοδικού (multipath) καναλιού, δεν είναι ιδανικό όπως γίνεται συνήθως στις προσομοιώσεις. Ωστόσο, είναι ο μόνος τρόπος για να εγγυηθούμε σταθερότητα όταν συγκρίνουμε θέματα στην εμφάνιση φάσεως, όπως είναι η λειτουργία πολλών διαφορετικών αλγορίθμων του δέκτη ή των διαφορετικών αλγορίθμων διαχείρισης ραδιοπόρων επιπέδου - δικτύου, ή ακόμα από τις διαφορετικές προσεγγίσεις στο μέγεθος της κυψέλης.

Οι μορφές της επίδοσης ζεύξεως μπορούν να ταξινομηθούν, για παράδειγμα, σύμφωνα με:

- Την κατεύθυνση εκπομπής (uplink, downlink).
- Την ταχύτητα του Κινητού Σταθμού.
- Την υπηρεσία, bit rate (ομιλία 8kbps, 12,2 kbps, δεδομένα πακέτου, δεδομένα μεταγωγής κυκλώματος).
- Το περιβάλλον (πυκνή αστική περιοχή, αστική, υπεραστική, αγροτικές περιοχές).
- Το μέγεθος κυψέλης (macro, micro, pico).
- Δυνατότητα (Πολλαπλής) Μετάδοσης (1Rx, 2Rx, 4Rx, χωρίς τη δυνατότητα Tx, ή με δυνατότητα Tx).

Ένα επιλεγμένο σύνολο των δεικτών επίδοσης ζεύξεως προσδιορίζεται στην Παράγραφο 2.5.1 και στην Παράγραφο 2.5.2 και δείχνουν τα καθιερωμένα (πρότυπα) μοντέλα πολυοδικού καναλιού, για τα οποία προσδιορίζονται τα νούμερα από την προσομοίωση. Επιπλέον σχολιάζεται εν συντομία η κατηγοριοποίηση σύμφωνα με τις υπηρεσίες. Οι βασικές αρχές της προσομοίωσης δίνεται στην Παράγραφο 2.5.3. Στην Παράγραφο 2.5.4 υπάρχει μία λίστα μετρήσεων Φυσικού Επιπέδου από το πρότυπο 3GPP, η οποία υποστηρίζει την μέτρηση φορτίου της επίδοσης ζεύξεως από ένα πραγματικό δίκτυο. Οι αριθμοί της επίδοσης ζεύξεως WCDMA και η χρησιμότητά τους στην διαστασιοποίηση ραδιοδικτύου περιγράφονται στην Παράγραφο 3.1 και στην αναφορά [19].

2.5.1 Ορισμοί

Σε αυτή την Παράγραφο παρουσιάζονται οι πιο σημαντικοί δείκτες επίδοσης ζεύξεως ή οι σχετικές ποσότητες (παράμετροι). Η επιλογή δεν είναι η μόνη δυνατή, αλλά δίνει ένα ξεκάθαρο σύνολο μεταβλητών για την μοντελοποίηση της επίδοσης ζεύξεως στη σχεδίαση και διαστασιοποίηση ραδιοδικτύου.

2.5.1.1 BLER (Block Error Rate)

Το BLER είναι ένα μακροπρόθεσμο μέσο block error rate που υπολογίζεται για τα τμήματα μεταφοράς. Το τμήμα μεταφοράς θεωρείται εσφαλμένο, εάν έχει τουλάχιστον ένα εσφαλμένο bit. Το σύστημα ξέρει την ορθότητα των blocks με πολύ υψηλή αξιοπιστία μέσω του CRC.

2.5.1.2 BER (Bit Error Rate)

Εδώ το BER αναφέρεται στην πληροφορία bit error rate π.χ. για τα bits του χρήστη μετά την αποκωδικοποίηση. Το BER είναι πάντα υψηλότερο για τα bits του κωδικοποιημένου καναλιού. Σημείωση [15] ότι το BER του Καναλιού Μεταφοράς και το BER του Φυσικού Καναλιού καθορίζονται ως μετρήσεις του σταθμού βάσης.

2.5.1.3 Bit Rate, R

Το bit rate, R, χρησιμοποιείται σε προσομοιώσεις επιπέδου - ζεύξεως και αναφέρεται στα bit πληροφορίας του χρήστη. Αυτό σημαίνει ότι το overhead από το L1, όπως τα bit CRC, η κωδικοποίηση και τα bits ελέγχου του DPCCH καναλιού προστίθενται στις προσομοιώσεις, όμως αυτό αυξάνει μόνο την ενέργεια που απαιτείται για να μεταφέρει τα πληροφοριακά bits στον αέρα με την απαιτούμενη ποιότητα (BER, BLER) για τα πληροφοριακά bits. Οι επανεκπομπές δεν είναι μοντελοποιημένες τυπικά σε προσομοιώσεις επιπέδου - ζεύξεως, εκτός κι αν είναι υπό εξέταση συγκεκριμένα μερικές τάξεις ARQ.

2.5.1.4 Το E_b/N_0 και η Ορθογωνικότητα, α .

Αρχικά, το E_b/N_0 σημαίνει απλά την ενέργεια που διαιρείται από την φασματική πυκνότητα θορύβου. Ωστόσο, εξαρχής η έκφραση E_b/N_0 αποκτά ένα επιπλέον νόημα. Ένας λόγος είναι το γεγονός ότι στο WCDMA η φασματική πυκνότητα παρεμβολής προστίθεται στη φασματική πυκνότητα θορύβου, αφού η παρεμβολή είναι θόρυβος οφείλεται, για παράδειγμα, στη διεύρυνση. Έτσι το N_0 μπορεί να αντικατασταθεί από το I_0 , παρεμβολής, προσθέτοντας την πυκνότητα του θορύβου. Ο δείκτης επίδοσης E_b/N_0 σχετίζεται πάντα με την επιθυμητή ποιότητα (target) BLER.

Η εξίσωση (2.7) είναι το βασικό παράδειγμα για το πως υπολογίζεται το E_b/N_0 στο uplink. Υποθέτουμε ότι το σήμα λαμβάνεται με μία σταθερά ισχύος p_{rx} και η λαμβανομένη ισχύς παρεμβολής είναι I. Θεωρούμε ότι το bit rate είναι R και το εύρος ζώνης είναι W. Τώρα η παρεμβολή απλώνεται ομοιόμορφα στο εύρος ζώνης W(Hz) (ίσο με το chip rate) και η ενέργεια του bit είναι $p_{rx} \cdot (1/R)$ [Ws], έτσι:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{p_{rx} / R}{I / W} = \frac{W}{R} \frac{p_{rx}}{I} \quad (2.7)$$

Ο στόχος του γρήγορου ελέγχου ισχύος στο WCDMA είναι να κρατήσει την λαμβανόμενη σταθερά E_b/N_0 . Επιτυγχάνεται απόλυτα λόγω της γρήγορης ανανέωσης «feedback loop» (1.500 Hz). Αυτό σημαίνει ότι για μία επιλεγμένη υπηρεσία, για επιλεγμένες συνθήκες καναλιού και για απαιτούμενο BLER, η λαμβανομένη ισχύς στην κίνηση καναλιού διαιρείται από την ισχύ παρεμβολής που είναι περίπου σταθερή.

Στο downlink το E_b/N_0 ορίζεται με άλλο τρόπο, γιατί οι συγχρονισμένοι ορθογωνικοί κώδικες μειώνουν την παρεμβολή από την κυψέλη που εξυπηρετεί (ή τις κυψέλες, σε soft handover). Στο downlink το E_b/N_0 υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{W}{R} \cdot \frac{P_{rx}}{I_{own} \cdot (1 - \alpha) + I_{oth} + P_N} \quad (2.8)$$

όπου I_{own} είναι η συνολική ισχύς που λαμβάνεται από την κυψέλη που εξυπηρετεί, I_{oth} είναι η συνολική ισχύς που λαμβάνεται από τις περιβάλλοντες κυψέλες, και P_N είναι η ισχύς θορύβου (θερμικός θόρυβος και θόρυβος εξοπλισμού). Ο συντελεστής α είναι ο επονομαζόμενος συντελεστής ορθογωνικότητας, ο οποίος εξαρτάται από τις συνθήκες του φαινομένου multipath. Οι κώδικες είναι πλήρως ορθογωνικοί, έτσι στην περίπτωση που δεν έχουμε multipath, η παρεμβολή εξαλείφεται από την κυψέλη εξυπηρέτησης και το $\alpha = 1$. Εάν υπάρχουν συγχρόνως δύο εξίσου ισχυρές διαδρομές multipath, τότε εξαλείφεται μόνο η μισή παρεμβολή από την πλευρά του δέκτη και το $\alpha = 0,5$ σε αυτή τη στιγμή. Σημειώνεται ότι το E_b/N_0 και το α θα πρέπει να κρατηθούν μαζί, στον υπολογισμό της DL χωρητικότητας ή της φασματικής αποδοτικότητας και είναι μαζί οι είσοδοι που μοντελοποιούν την επίδοση επιπέδου - ζεύξεως. Χρησιμοποιώντας πολλούς scrambling codes σε μία κυψέλη φυσιολογικά καταστρέφουν την ορθογωνικότητα.

Η εφαρμογή του μοντέλου της εξίσωσης (2.8) αναλύεται περισσότερο στην Παράγραφο 2.5.3.2.

2.5.1.5 E_c/I_0

Το E_c/I_0 είναι η λαμβανόμενη ενέργεια του chip που είναι σχετική με την ολική φασματική πυκνότητα ισχύος. Στο uplink είναι το ίδιο όπως το E_b/N_0 δια το κέρδος επεξεργασίας (processing gain), δηλαδή από το W/R . Στο downlink το I_0 είναι η ολική λαμβανόμενη φασματική πυκνότητα ισχύος, έτσι δεν λαμβάνονται υπ' όψιν οι επιδράσεις της ορθογωνικότητας. Να σημειωθεί ότι η σημειογραφία του CPICH E_c/N_0 στην αναφορά [15] είναι πραγματικά το E_c/I_0 του CPICH καναλιού. Το E_c/I_0 χρησιμοποιείται τυπικά ως δείκτης

επίδοσης ζεύξεως για τα σήματα, τα οποία δεν έχουν πληροφοριακά bits με το συνηθισμένο τρόπο. Τέτοια σήματα, για παράδειγμα, είναι το CPICH, το AICH και το PICH.

2.5.1.6 E_c/I_{or}

Το E_c/I_{or} είναι η εκπεμπόμενη ενέργεια ανά chip στο επιλεγμένο κανάλι σχετικά με την ολική εκπεμπόμενη φασματική πυκνότητα ισχύος στο σταθμό βάσης. Σημειώνεται ότι είναι επίσης το κλάσμα της ισχύος που είναι εκχωρημένη στο κανάλι από την ολική εκπεμπόμενη ισχύ του BS που χρησιμοποιείται. Χρησιμοποιείται συχνά στις απαιτήσεις επίδοσης στο downlink: βλέπε αναφορά [20]. Είναι ή μία παράμετρος εισόδου, σε γενικό context εξόδου «για ένα βασικό E_c/I_{or} του καναλιού και το UE μπορεί να αποκωδικοποιήσει το κανάλι στο όριο κυψέλης», ή μία έξοδος, όπως ήταν στο « E_c/I_{or} » κατά μέσο όρο, X decibels για το BLER Y%. Το E_c/I_{or} χρησιμοποιείται πάντα μαζί με τον συντελεστή γεωμετρίας (βλέπε παρακάτω εξίσωση 2.10).

2.5.1.7 Μέση Αύξηση Ισχύος

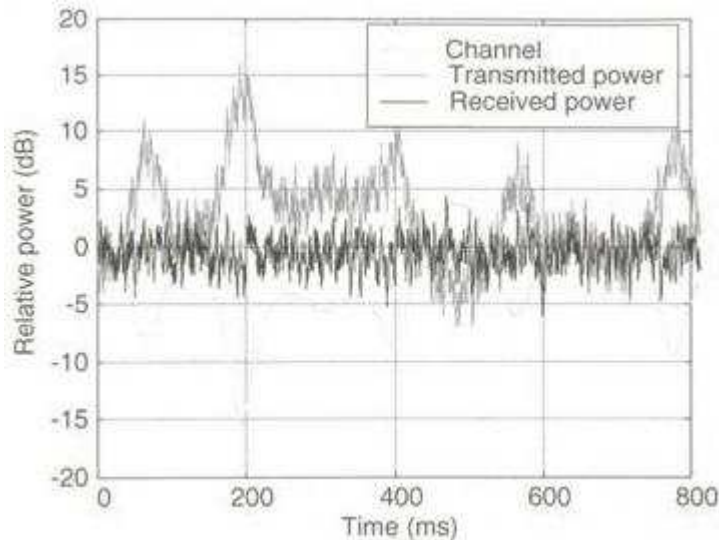
Στην περίπτωση που ο MS κινείται με χαμηλή ταχύτητα, ο γρήγορος έλεγχος ισχύος αντισταθμίζει ικανοποιητικά την ταχεία εξασθένηση (fast fading) μέσα στο εύρος ελέγχου ισχύος, έτσι το μέσο E_b/N_0 χρειάζεται να είναι χαμηλό για το απαιτούμενο BLER. Ωστόσο, λόγω των βυθισμάτων εξασθένησης, ειδικά στα κανάλια με low diversity multipath, η εκπεμπόμενη ισχύ έχει μια στιγμιαία αύξηση που μοντελοποιείται από την μέση αύξηση ισχύος, Σχήμα 2.48. Μετριέται από τους προσομοιωτές επιπέδου - ζεύξεως ως η διαφορά μεταξύ της μέσης εκπεμπόμενης ισχύος και της μέσης λαμβανομένης ισχύος, με την προϋπόθεση ότι το μέσο κέρδος του καναλιού θα είναι 1.

Στο uplink, η αύξηση ισχύος αυξάνει αποτελεσματικά την παρεμβολή που λαμβάνεται από τις περιβάλλοντες κυψέλες, και προστίθεται στην διαστασιοποίηση για τον υπολογισμό της παρεμβολής. Στο downlink, περιλαμβάνεται η μέση αύξηση ισχύος για τα βασικά νούμερα E_b/N_0 . Η μέση αύξηση ισχύος περιγράφεται με περισσότερες λεπτομέρειες στην αναφορά [22].

2.5.1.8 Περιθώριο Ελέγχου Ισχύος-Power Control Headroom

Ο υπολογισμός για την κάλυψη στο uplink ξεκινά από το απαιτούμενο E_b/N_0 . Όπως εξηγήθηκε στο προηγούμενο Κεφάλαιο, το E_b/N_0 μπορεί να είναι χαμηλό για τις χαμηλές ταχύτητες των κινητών σταθμών, αλλά το κόστος είναι στην πλευρά εκπομπής που οφείλεται στην αντιστάθμιση της εξασθένησης. Όταν ένας MS χαμηλής ταχύτητας πλησιάζει το όριο της

κυψέλης, η ισχύς του κινητού σταθμού φτάνει σποραδικά στη μέγιστη τιμή του, εξαιτίας των μεγάλων εξασθενήσεων. Έτσι απαιτείται ένα περιθώριο στον προϋπολογισμό της ζεύξης για τον Μ.Σ χαμηλής - ταχύτητας. Αυτό το περιθώριο καλείται ως την Περιοχή Ελέγχου Ισχύος (power control headroom) και εξηγείται με περισσότερες λεπτομέρειες στην αναφορά [29].



Σχήμα 2.48 Στιγμιότυπο της αποδοτικότητας ελέγχου ισχύος σε μία προσομοίωση με ένα κινητό σταθμό (MS) χαμηλής ταχύτητας.

2.5.1.9 Macro Diversity Combining gain

Το κέρδος MDC (Macro Diversity Combining gain) μοντελοποιεί την μείωση του απαιτούμενου E_b/N_0 ανά ζεύξη σε soft ή softer handover όταν συγκρίνεται σε κατάσταση μόνο μίας ραδιοζεύξης. Λόγω του ελέγχου ισχύος, το κέρδος είναι μικρότερο όταν μετριέται στο μέσο απαιτούμενο E_b/N_0 . Ωστόσο, όταν μετριέται η απαιτούμενη μέγιστη ισχύς, δηλαδή στο όριο της κυψέλης, υπάρχει ένα μεγάλο κέρδος. Στην διαστασιοποίηση, η μείωση της απαιτούμενης μέγιστη ισχύος μπορεί να μοντελοποιηθεί μειώνοντας το περιθώριο ελέγχου ισχύος (Power Control Headroom).

Τυπικά παρατηρείται ότι το κέρδος MDC είναι μεγαλύτερο στο downlink από το uplink. Αυτό δεν σημαίνει ότι το SHO έχει μεγαλύτερο καθαρό κέρδος (δικτύου) στο downlink από ότι στο uplink. Απλώς είναι θέμα ορισμού, δηλαδή ότι κάθε SHO σύνδεση στο downlink προσθέτει την συμβολή ενός επιπρόσθετου εκπεμπόμενου καναλιού στην ολική εκπεμπόμενη ισχύ στο downlink. Για παράδειγμα, εάν το κέρδος MDC ήταν 3dB για SHO δύο σημείων στο downlink, τότε το κέρδος δικτύου θα ήταν 0dB.

Το κέρδος MDC δεν πρέπει να μπερδεύεται με το κέρδος SHO πολλαπλής κυψέλης, το οποίο προκύπτει από την ικανότητα να κρατήσει πάντα την καλύτερη κυψέλη στο active set(σύνολο των ενεργών servers). Το ίδιο κέρδος μπορεί επίσης να επιτευχθεί με ένα πολύ γρήγορο hard handover.

Το κέρδος MDC για uplink εξηγείται με περισσότερες λεπτομέρειες στην αναφορά [23].

2.5.1.10 Το μικρό i

Το «μικρό i », στην πραγματικότητα δεν είναι ένας δείκτης επίδοσης επιπέδου ζεύξεως αλλά περιγράφεται εδώ σαν να είναι από τα κύρια προβλήματα που επηρεάζουν την φασματική επίδοση του ραδιοδικτύου WCDMA. Συμβολίζει το λαμβανόμενο λόγο ισχύος από άλλες - στην - κύρια - κυψέλη (other - to - own - cell) και υπολογίζεται από το άθροισμα των λαμβανομένων ισχύων από τις συνδέσεις στις περιβάλλοντες κυψέλες διαιρούμενο προς το άθροισμα αυτών από τις συνδέσεις της κυψέλης εξυπηρέτησης σύμφωνα με την εξίσωση (2.9).

$$i = \frac{I_{oth}}{I_{own}} \quad (2.9)$$

Στο uplink, το i επηρεάζει παρόμοια όλες τις συνδέσεις μιας κυψέλης, αφού υπολογίζεται για το δέκτη του σταθμού βάσης. Στο downlink υπολογίζεται για κάθε κινητό σταθμό και έτσι εξαρτάται πολύ από την τοποθεσία του κινητού σταθμού στο δίκτυο είναι το ίδιο όπως το μέσο i για όλους τους σταθμούς βάσης. Οστώσο μπορεί να δειχτεί ότι, θεωρώντας ομοιόμορφη κίνηση και ίδιους σταθμούς βάσης σε όλες τις κυψέλες, το μέσο i σε όλους τους MSs στο δίκτυο είναι το ίδιο όπως το μέσο i για όλους τους BSs.

Σύμφωνα με τις προσομοιώσεις, οι τυπικές τιμές για το μέσο i κυμαίνονται από 0,15 (για πολύ καλά απομονωμένες μικροκυψέλες) έως 1,2 (ελλιπής σχεδίαση ραδιοδικτύου). Μερικές προσομοιώσεις στο i μπορούν να βρεθούν στις αναφορές [24] και [25].

2.5.1.11 Συντελεστής Γεωμετρίας

Ο συντελεστής γεωμετρίας (G), χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στο downlink, είναι σχεδόν το ίδιο όπως η αντιστροφή του μικρού i . Το G ορίζεται ως ο λόγος της λαμβανομένης ισχύος από την κυψέλη εξυπηρέτησης προς την λαμβανόμενη ισχύ από τις περιβάλλοντες κυψέλες συν το θερμικό θόρυβο.

$$G = \frac{I_{own}}{I_{oth} + P_N} \quad (2.10)$$

Μπορεί κάποιος να δει ότι το δίκτυο είναι περιορισμένο από την παρεμβολή στο downlink, π.χ. $P_N \ll I_{oth}$ τότε το G είναι περίπου $G = 1/i$. Ο συντελεστής γεωμετρίας εκφράζει την απόσταση του M.S από την κεραία του B.S. Μία τυπική διακύμανση αυτού είναι από -3 dB έως 20 dB, όπου -3 dB είναι για το όριο της κυψέλης. Το G είναι μία παράμετρος εισόδου στις προσομοιώσεις επιπέδου ζεύξεως στο downlink.

2.5.2 Ταξινόμηση σχετικά με τις Συνθήκες και τις Υπηρεσίες Πολυοδικού καναλιού

Υπάρχουν δύο σημαντικές ομάδες πολυοδικού καναλιού σε χρήση. Η πρώτη καθορίζεται από την 3GPP και χρησιμοποιείται στις απαιτήσεις λειτουργίας του UE και του BTS. Αυτά συγκεντρώνονται εδώ στην Παράγραφο 2.5.2.1. Η δεύτερη ομάδα, που παρουσιάζεται εδώ στην Παράγραφο 2.5.2.2 προτείνεται από την ITU για τον υπολογισμό της επίδοσης ραδιοζεύξεως για διαφορετικές προτάσεις του συστήματος 3G [26].

2.5.2.1 Μοντέλα Πολυοδικών Καναλιών από την 3GPP

Στην 3GPP (βλέπε [20] και [22]) οι δοκιμές επίδοσης του UE και του BS καθορίζονται σε ένα «στατικό» περιβάλλον διάδοσης και με ορισμένες συνθήκες της πολυοδικής διάδοσης. Ο Λευκός Προσθετικός Θόρυβος Gauss (AWGN) προστίθεται στο σήμα πριν τον δέκτη. Ο Πίνακας 2.5 δείχνει τις περιπτώσεις σύμφωνα με την 3GPP. Τα μοντέλα εξασθένησης σε όλα τα σενάρια καναλιών (taps) έχουν το κλασικό φάσμα Doppler.

Πίνακας 2.5 Περιπτώσεις (συνθήκες) διάδοσης για χώρους πολυοδικών εξασθενήσεων (multipath fading) [20].

Channel taps	Case 1, speed 3 km/h		Case 2, speed 3 km/h		Case 3, speed 120 km/h		Case 4, speed 3 km/h		Case 5, speed 50 km/h	
	Relative delay (ns)	Average power (dB)	Relative delay (ns)	Average power (dB)	Relative delay (ns)	Average power (dB)	Relative delay (ns)	Average power (dB)	Relative delay (ns)	Average power (dB)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	976	-10	976	0	260	-3	976	0	976	-10
3			20000	0	521	-6				
4					781	-9				

Στην περίπτωση 1 στον Πίνακα 2.5 είναι απαραίτητη μία δυνατή η εξασθένηση στο one-tap channel, ως επί το πλείστον στο μοντέλο ITU Pedestrian A με ταχύτητα 3km/h του UE. Οι περιπτώσεις 2 και 4 είναι επίσης με χαμηλή ταχύτητα του UE, αλλά με μεγαλύτερη πολυοδική

δυνατότητα (multipath diversity) και με λιγότερη εξασθένηση. Η περίπτωση 3 έχει 4 σημαντικά ισχυρά «channel taps», αλλά η ταχύτητα του UE είναι 120km/h. Το κανάλι είναι πολύ όμοιο στο κανάλι Vehicular A στην ταχύτητα του UE. Η περίπτωση 5 είναι η ίδια η περίπτωση 1 με διαφορετική ταχύτητα του UE, στα 50km/h.

2.5.2.2 Πολυοδικά Μοντέλα από την ITU

Οι Πίνακες 2.6-2.8 δείχνουν τα μοντέλα πολυοδικής διάδοσης (multipath propagation) που προτείνονται από την ITU (Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών) στην αναφορά [26]. Τα μοντέλα καναλιών «εσωτερικού χώρου» (indoor office) έχουν ανατεθεί για τη χρήση στην μοντελοποίηση συστημάτων εσωτερικού χώρου. Τα μοντέλα τύπου «outdoor-to-indoor and pedestrian» είναι κατάλληλα για microcells σύμφωνα με την ITU, όπως επίσης και για UEs εσωτερικού χώρου που εξυπηρετούνται από ένα microcell εξωτερικού χώρου. Τα μοντέλα Vehicular μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην μοντελοποίηση των πολυοδικών περιβαλλόντων στα macrocells. Σημειώνεται ότι ανεξάρτητα από το όνομα Vehicular (=οχηματικός) αυτά τα μοντέλα δεν έχουν να κάνουν με μηχανές, δηλαδή το UE μπορεί να είναι στο αυτοκίνητο αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι το πολυοδικό κανάλι είναι κατά μέσο όρο το μοντέλο «Vehicular A». Μία παρόμοια πιθανότητα παρεξήγησης υπάρχει και με το όνομα από «εξωτερικό σε εσωτερικό και πεζό» έλεγχο περιβάλλοντος (outdoor-to-indoor and pedestrian)

Πίνακας 2.6 Περιπτώσεις διάδοσης για εξασθενήσεις εσωτερικών χώρων σύμφωνα με την ITU [26].

Tap	Channel A		Channel B		Doppler spectrum
	Rel. delay (ns)	Ave. pwr (dB)	Rel. delay (ns)	Ave. pwr (dB)	
1	0	0	0	0	Flat
2	50	-3.0	100	-3.6	Flat
3	110	-10.0	200	-7.2	Flat
4	170	-18.0	300	-10.8	Flat
5	290	-26.0	500	-18.0	Flat
6	310	-32.0	700	-25.2	Flat

Πίνακας 2.7 Περιπτώσεις διάδοσης για εξασθενήσεις στον έλεγχο περιβάλλοντος «outdoor-to-indoor and pedestrian» σύμφωνα με την ITU. [26]

Tap	Channel A		Channel B		Doppler spectrum
	Rel. delay (ns)	Ave. pwr (dB)	Rel. delay (ns)	Ave. pwr (dB)	
1	0	0	0	0	Classic
2	110	-9.7	200	-0.9	Classic
3	190	-19.2	800	-4.9	Classic
4	410	-22.8	1200	-8.0	Classic
5	-	-	2300	-7.8	Classic
6	-	-	3700	-23.9	Classic

Πίνακας 2.8 Περιπτώσεις διάδοσης για εξασθενήσεις, υψηλής κεραίας, και έλεγχος περιβάλλοντος με το «Vehicular A channel».

Tap	Channel A		Channel B		Doppler spectrum
	Rel. delay (ns)	Ave. pwr (dB)	Rel. delay (ns)	Ave. pwr (dB)	
1	0	0.0	0	-2.5	Classic
2	310	-1.0	300	0	Classic
3	710	-9.0	8900	-12.8	Classic
4	1090	-10.0	12900	-10.0	Classic
5	1730	-15.0	17100	-25.2	Classic
6	2510	-20.0	20000	-16.0	Classic

2.5.2.3 Μετρήσεις Αναφοράς σε Φυσικά Κανάλια και οι πρότυπες Απαιτήσεις της Επίδοσης Ζεύξεως

Όπως φάνηκε στην Παράγραφο 2.4 το πρότυπο προσφέρει τεράστια ευελιξία για το σύστημα για να επιλέξει πως θα αντιστοιχίσει τα πληροφοριακά bits του χρήστη στο air interface.

Ο πιο εύκολος τρόπος για να αποφύγουμε την ατελείωτη προσομοίωση και τις διαδικασίες μέτρησης είναι να επιμείνουμε στο σύνολο των πιο τυπικών περιπτώσεων και να χρησιμοποιήσουμε την παρεμβολή στη σχεδίαση και στη διαστασιοποίηση άλλων περιπτώσεων. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου υποσυνόλου έχει καθοριστεί από την 3GPP στις αναφορές [20] και [21] ως Μετρήσεις Αναφοράς των Καναλιών. Οι απαιτήσεις λειτουργίας του UE και του B.S έχουν προσδιοριστεί για αυτά τα κανάλια. Οι Μετρήσεις Αναφοράς των

Καναλιών ορίζουν τις παραμέτρους του φυσικού καναλιού και του καναλιού μεταφοράς για ομιλία (12,2kbps code rate) και για τα κανάλια δεδομένων με 64kbps, 144kbps, 384kbps και 2.048kbps. Έχουν προσδιοριστεί και οι δύο παράμετροι για uplink και downlink. Καθώς και τα πληροφοριακά bits επιπέδου χρήστη (user plane), έχει προστεθεί μία σηματοδότηση καναλιού επιπέδου L3.

Θεωρώντας τις Μετρήσεις Αναφοράς των Καναλιών μπορεί να μην είναι οι πιο σχετικές σε όλες τις περιπτώσεις, είναι όμως σημαντικές, από τη στιγμή που έχουν δοθεί οι απαιτήσεις επίδοσης ζεύξεως για το UE και το B.S για τα κανάλια αυτά από το πρότυπο. Οι πιο πολλές από τις πρότυπες απαιτήσεις δίνονται ωστόσο σε μορφή που δεν είναι απευθείας κατάλληλη για χρήση στην διαστασιοποίηση και στην σχεδίαση ραδιοδικτύου. Αυτό γίνεται γιατί στις πιο πολλές περιπτώσεις δοκιμών είναι απενεργοποιημένος ο έλεγχος ισχύος.

Στο πρότυπο 3GPP (Release '99) δίνονται οι απαιτήσεις αποδόσεως για uplink, γιατί αποκλειστικά κανάλια όπως οι μέσες απαιτούμενες μετρήσεις E_b/N_0 για σταθερά σημεία BLER χωρίς έλεγχο ισχύος. Στο downlink οι απαιτήσεις της λειτουργίας ζεύξεως ορίζονται ως η μέση απαιτούμενη τιμή του E_c/I_{or} για σταθερά σημεία του BLER σε επιλεγμένες γεωμετρίες (σε μία υποθετική απόσταση από το BS: Βλ. Παράγραφο 2.5.1). Στο downlink υπάρχει επίσης μία περίπτωση με τον έλεγχο ισχύος να είναι «ON». Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται το E_c/I_{or} να μείνει κάτω από τα δεδομένα κατώφλια για το 90% του χρόνου, θεωρώντας ότι ο B.S ρυθμίζει την εκπομπή ισχύος του σύμφωνα με τις εντολές ελέγχου που στέλνονται από το UE.

Οι απαιτήσεις επίδοσης του δέκτη για τα κοινά κανάλια δεν έχουν προσδιοριστεί από το πρότυπο Release '99.

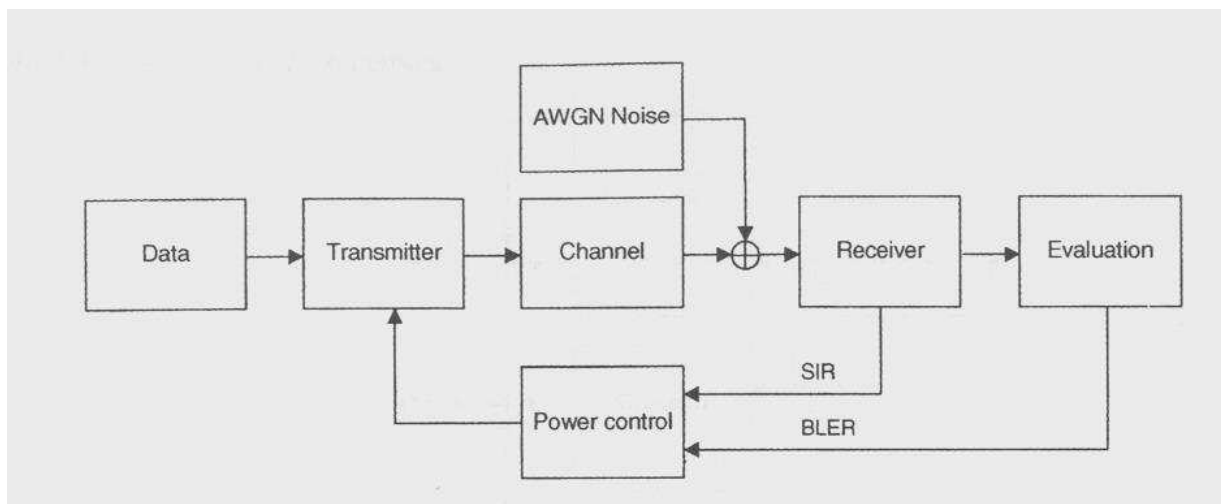
2.5.3 Αρχές Προσομοίωσης στο Επίπεδο Ζεύξεως.

2.5.3.1 Προσομοιώσεις στο Uplink

Οι προσομοιώσεις στο επίπεδο ζεύξεως μπορούν να γίνουν σύμφωνα με την αλυσίδα προσομοίωσης που απεικονίζεται σχηματικά στο Σχήμα 2.49. Το μπλοκ δεδομένων παράγει ψευδο-τυχαία πληροφοριακά bits που είναι είσοδος για τον πομπό. Ο «Πομπός» παράγει το φυσικό κανάλι σύμφωνα με τις παραμέτρους του φυσικού καναλιού και του καναλιού μεταφοράς, εκτελεί τη διεύρυνση (διάδοση) και ρυθμίζει την εκπεμπόμενη ισχύ σύμφωνα με τις εντολές ελέγχου ισχύος που λαμβάνονται από το ρυθμό ανανέωσης του ελέγχου ισχύος

(PC). Το εκπεμπόμενο σήμα είναι είσοδος για το «κάνάλι» το οποίο είναι το κανάλι διάδοσης (τυπικά περιγράφεται ένας από τους τύπους καναλιών στην Παράγραφο 2.5.2).

Τα κέρδη των εκδοχών πολυοδικών καναλιών κλιμακώνονται έτσι ώστε το μέσο κέρδος του καναλιού να είναι ίσο με 1, δηλαδή αποκλείεται η απώλεια διάδοσης μεγάλης κλίμακας. Μετά από το κανάλι, δημιουργείται ψευδο-τυχαία ο «Θόρυβος AGWN» και προστίθεται στο σήμα, αυτό παριστάνει το θερμικό θόρυβο και την παρεμβολή. Το σύνθετο σήμα είναι είσοδος, στο «Δεκτή» ο οποίος αποδιαμορφώνει το σήμα και αποκωδικοποιεί τα πληροφοριακά bits σύμφωνα με τις παραμέτρους του φυσικού καναλιού και του καναλιού μεταφοράς. Επίσης, ο δέκτης εκτελεί τον υπολογισμό του SIR ο οποίος είναι είσοδος για τον έλεγχο ισχύος (εξωτερικού βρόγχου). Ο έλεγχος ισχύος εσωτερικού βρόγχου ελέγχει τα μετρημένα SIR και SIR_{target} και στέλνει τα bits PC πίσω στον Πομπό. Συνήθως δημιουργούνται τυχαία σφάλματα στα bits του ελέγχου ισχύος, με πιθανότητα 4%. Ο πομπός αλλάζει την ισχύ εκπομπής συνήθως με $\pm 1dB$, όπου το σήμα εξαρτάται από τα bits του ελέγχου ισχύος. Ο έλεγχος ισχύος εξωτερικού βρόγχου ελέγχει το SIR_{target} σύμφωνα με το $BLER_{target}$ και την πληροφορία που λαμβάνεται από το τμήμα υπολογισμού (Evaluation block).

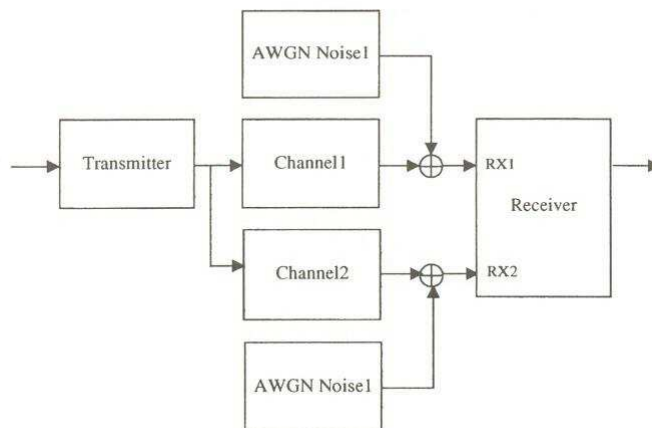


Σχήμα 2.49 Αλυσίδα Προσομοίωσης στο uplink

Όταν προσομοιώνεται η δυνατότητα λήψεως τότε διπλασιάζονται τα blocks των καναλιών και οι πηγές του θορύβου AGWN, (βλέπε Σχήμα 2.50). Χρησιμοποιούνται διαφορετικοί πόροι τυχαίων γεννητριών του καναλιού, χρησιμοποιούνται τα μπλοκ AGWN, τα οποία παριστάνουν την μη συσχετισμένη δυνατότητα κεραίας, αλλά μπορεί επίσης να ταξινομηθεί ένας συσχετισμός μεταξύ των κεραίων.

Οι πιο σημαντικές οι έξοδοι που επιλέγονται από τα blocks του Πομπού και του Δέκτη είναι:

- Η εκπεμπόμενη ισχύ σε κάθε slot.
- Η λαμβανομένη ισχύ σε κάθε slot.
- Τα στατιστικά Bit Error.
- Τα στατιστικά Block Error.



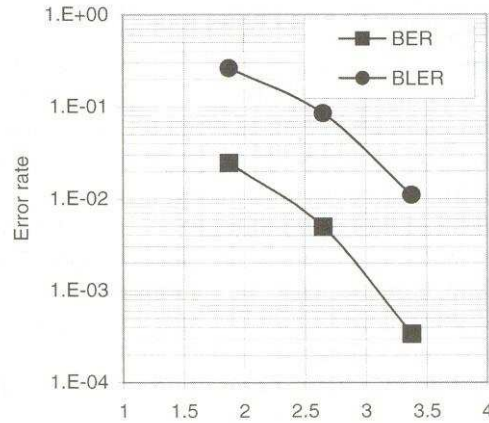
Σχήμα 2.50 Αλυσίδα προσομοίωσης για την δυνατότητα (πολλαπλής) λήψεως.

Από τα ίχνη της εκπεμπόμενης και της λαμβανόμενης ισχύος μπορεί να υπολογίσει εύκολα κάποιος τους απαιτούμενους δείκτες επίδοσης ζεύξεως, όπως είναι, για παράδειγμα, το E_b/N_0 σύμφωνα με την εξίσωση (2.7), όπου I εδώ είναι η ισχύς θορύβου AGWN η οποία είναι γνωστή. Σημειώνεται ότι η παρεμβολή από το κύριο σήμα (own-signal) δεν περιλαμβάνεται στο N_0 σ' αυτόν τον υπολογισμό αλλά φαίνεται στο απαιτούμενο E_b από τη στιγμή που τα καθυστερημένα στοιχεία του multipath παρεμβάλουν με το σήμα. Αυτό απαιτεί τουλάχιστον ανάλυση σε επίπεδο-chip στην προσομοίωση.

Τα ακόλουθα χαρακτηριστικά του προσομοιωτή είναι κρίσιμα για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων:

- Υψηλή ανάλυση χρόνου (τουλάχιστον με ανάλυση ενός chip).
- Πραγματικός υπολογισμός του καναλιού ο οποίος χρησιμοποιεί σαν είσοδο το λαμβανόμενο σήμα, και όχι τους γνωστούς συντελεστές του καναλιού.
- Έλεγχος ισχύος, συμπεριλαμβάνοντας αυτούς του κλειστού βρόγχου και του εξωτερικού βρόγχου.
- Πραγματικός υπολογισμός του SIR.

- Καθυστέρηση στο ρυθμό ανανέωσης του ελέγχου ισχύος.
- Εσφαλμένα bit του ελέγχου ισχύος.



Σχήμα 2.51 Παράδειγμα της προσομοίωσης εξόδου στο uplink, το πληροφοριακό BER και το BLER ως συνάρτηση του E_b/N_0 στο δέκτη του σταθμού βάσης BS. Ομιλία των 12kbps, Vehicular A multipath channel, ταχύτητα κινητού σταθμού MS 3km/h, και έλεγχος ισχύος στο «ON».

Πίνακας 2.9 Παράδειγμα των πινάκων E_b/N_0 .

UL E_b/N_0 (dB)	12.2 kbps voice, 20 ms interleaving			CS data 3 km/h, 40 ms interleaving		
	3 km/h	20 km/h	120 km/h	64 kbps	128 kbps	384 kbps
	4	4.5	5	2	1.5	1
DL Tx E_b/N_0 (dB)	12.2 kbps voice, 20 ms interleaving			CS data 3 km/h, 40 ms interl., BLER 1%		
	3 km/h	20 km/h	120 km/h	64 kbps	128 kbps	384 kbps
	6.5	6	6.5	5		
DL Tx E_b/N_0 (dB)	PS data 3 km/h, 10 ms interl., BLER 10%			PS data 120 km/h, 10 ms interl., BLER 10%		
	64 kbps	128 kbps	384 kbps	64 kbps	128 kbps	384 kbps
	2	1.5	1	3.3	3	2
DL Tx E_b/N_0 (dB)	PS data 3 km/h, 10 ms interl., BLER 10%			PS data 120 km/h, 10 ms interl., BLER 10%		
	64 kbps	128 kbps	384 kbps	64 kbps	128 kbps	384 kbps
	5.5	5	4.5	5	4.5	4

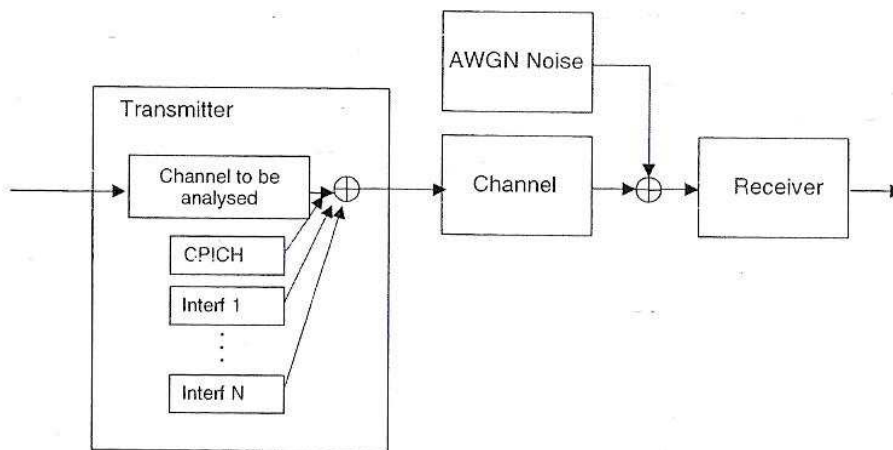
Στο Σχήμα 2.51 δείχνει ένα παράδειγμα των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης στο uplink. Οι πληροφορίες BER και BLER παρίστανται ως συναρτήσεις του λαμβανομένου E_b/N_0 στην κεραία του Σ.Β. (B.S). Αυτή η προσομοίωση είχε πραγματοποιηθεί με τον έλεγχο ισχύος σε θέση «ON». Οι προσομοιώσεις χωρίς έλεγχο ισχύος είναι επίσης αναγκαίες για να

υπολογίσουμε την περιοχή ελέγχου ισχύος που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό εύρους της κυψέλης, (αυτό εξηγείται με περισσότερες λεπτομέρειες στην αναφορά [22]). Ο Πίνακας 2.9 δείχνει μερικά από τα αποτελέσματα E_b/N_0 σε μορφή πίνακα.

2.5.3.2 Προσομοιώσεις στο downlink

Μιλώντας γενικά, οι αρχές προσομοίωσης στο uplink και το μπλοκ διάγραμμα του Σχήματος 2.49 εφαρμόζονται επίσης και στο downlink. Ωστόσο, υπάρχουν μερικές κύριες τροποποιήσεις που είναι αναγκαίες για το μοντέλο πομπού. Στο downlink, η παρεμβολή προέρχεται από την ίδια κυψέλη συμπεριλαμβάνοντας το αναλυμένο σήμα. Αυτό γίνεται γιατί η παρεμβολή της κύριας κυψέλης διαδίδεται μέσω του ίδιου καναλιού διάδοσης με το σήμα και έτσι διαφέρει πολύ η κατανομή της παρεμβολής ως συνάρτηση της απόστασης από το σταθμό βάσης B.S.

Άλλη μία διαφορά από το uplink είναι ότι το UE χρησιμοποιεί το Κοινό Πιλοτικό Κανάλι CPICH για τον υπολογισμό του καναλιού, και αυτό χρειάζεται να μοντελοποιηθεί. Στις προσομοιώσεις περίπου το 10% της συνολικής εκπεμπόμενης ισχύος του B.S εκχωρείται στο CPICH κανάλι.



Σχήμα 2.52 Αλυσίδα προσομοίωσης για downlink.

Το Σχήμα 2.52 δείχνει σχηματικά πως πολυπλέκονται το κανάλι που εξετάζεται, το CPICH και ένας επιλεγμένος αριθμός N (τυπικά $N=10, \dots, 20$) παρεμβαλλόμενων καναλιών στο εκπεμπόμενο σήμα του σταθμού βάσης B.S.

Στις προσομοιώσεις downlink χρειάζεται μία επιπλέον παράμετρος εισόδου, είναι ο λόγος του κυρίου σήματος του B.S προς αυτό της πηγής AGWN θορύβου, ο οποίος είναι στην πραγματικότητα ο συντελεστής γεωμετρίας που εξηγείται στην Παράγραφο 2.5.1.

Στην πράξη, η ισχύς των παρεμβαλλομένων καναλιών και του CPICH μένει σταθερή ενώ η ισχύς AGWN ρυθμίζετε για να επιτύχει διαφορετικούς συντελεστές γεωμετρίας ή και το αντίθετο. Από τις προσομοιώσεις καταγράφονται η ισχύς εκπομπής του αναλυόμενου καναλιού p_{tx} , η συνολική ισχύς εκπομπής I_{own} του B.S και τα στατικά του BER / BLER. Ο έλεγχος ισχύος είναι στο «ON» όπως είναι και στις προσομοιώσεις για uplink.

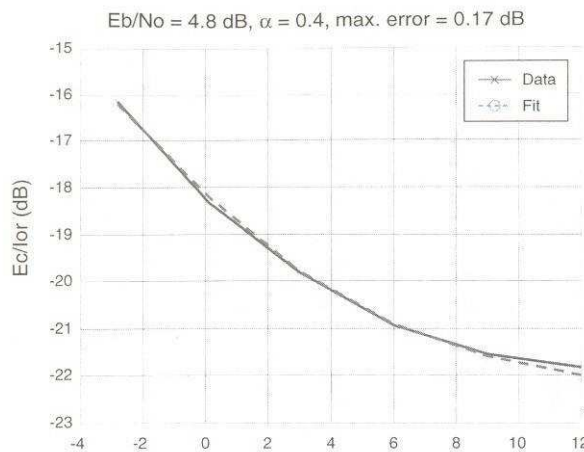
Όταν προσομοιώνουμε τη δυνατότητα εκπομπής στο downlink, το αναλυόμενο σήμα και η παρεμβολή χωρίζονται σε δύο κλάδους εκπομπής στο μπλοκ πομπού, όπου η απαιτούμενη κωδικοποίηση συγκεκριμένης κεραιάς και οι απαιτούμενες απολαβές συγκεκριμένης κεραιάς στην περίπτωση των τρόπων ανάδρασης εφαρμόζονται για κάθε κλάδο. Παρόμοια, με το uplink, τα εκπεμπόμενα σήματα από τις δύο κεραιές οδηγούνται μέσω των ανεξάρτητων καναλιών εξασθένησης, τώρα όμως προσθέτονται μαζί πριν την πηγή θορύβου AGWN. Ο βρόγχος ανάδρασης κατά τα πληροφοριακά bits της ανάδρασης θα πρέπει να εφαρμοστούν με τυχαία σφάλματα που παράγονται στα πληροφοριακά bits της ανάδρασης. Επίσης θα πρέπει να εκτελείται η πραγματική επαλήθευση τις κεραιάς από το UE.

Στο Σχήμα 2.53 υπάρχει ένα παράδειγμα της εξόδου στην περίπτωση προσομοίωσης στο downlink με δυνατότητα ανάδρασης εκπομπής τύπου 1. Το παράδειγμα που χρησιμοποιείται εδώ δείχνει πως μπορεί να υπολογιστεί το E_b/N_0 από τα προσομοιωμένα δεδομένα. Στο Σχήμα, στον άξονα y είναι το κλάσμα της ισχύος κίνησης του καναλιού από τη συνολική ισχύ του B.S η οποία απαιτείται για το μέσο όρο του 1% BLER γι' αυτήν την ειδική υπηρεσία και το πολυοδικό κανάλι. Στον άξονα x είναι ο συντελεστής γεωμετρίας. Τώρα σημειώνουμε με ρ το απαιτούμενο E_b/N_0 το οποίο πρέπει να υπολογιστεί. Χρησιμοποιώντας τον όρο του συντελεστή γεωμετρίας από την εξίσωση (2.10), ο τύπος (2.8) μπορεί να ξαναγραφτεί ως:

$$\frac{W}{R} \cdot \frac{p_{tx}}{I_{own}} \cdot \frac{1}{(1-\alpha) + \frac{1}{G}} = \rho \quad (2.11)$$

Σημειώνεται εδώ ότι η λαμβανομένη ισχύς από την κύρια κυψέλη (own-cell) στην εξίσωση (2.8) μπορεί να αντικατασταθεί από τις εκπεμπόμενες ισχύς, από τη στιγμή που το μέσο κέρδος του καναλιού είναι 1. Για κάθε σημείο προσομοίωσης ($G=G_k$) υπάρχει μία έξοδος από την προσομοίωση, δηλαδή κάποιο p_{tx}/I_{own} . Έτσι η εξίσωση (2.11) γίνεται ένα

σύστημα εξισώσεων με δύο αγνώστους, το α και το ρ , οι οποίοι μπορούν να βρεθούν χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Μία άλλη πιθανότητα είναι να υπολογιστεί ένας σταθερός συντελεστής ορθογωνικότητας που βασίζεται στην κατανομή του πολυοδικού καναλιού και να εκτιμηθεί μόνο το ρ από τις προσομοιώσεις. Η ακρίβεια της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων μπορεί να φανεί ως η διαφορά μεταξύ των καμπυλών προσαρμογής - καταλληλότητας ("Fit") και δεδομένων ("Data") στο Σχήμα 2.53. Έτσι η επίδοση επιπέδου - ζεύξεως στο downlink μπορεί να μοντελοποιηθεί ακριβέστερα με δύο παραμέτρους, το E_b/N_0 και το α , τουλάχιστον σε αυτήν την περίπτωση.



Σχήμα 2.53 Παράδειγμα εξόδου της προσομοίωσης στο downlink: η απαιτούμενη ισχύς καναλιού προς την συνολική ισχύ του B.S ως συνάρτηση του συντελεστή γεωμετρίας G. Με ομιλία 12,2kbps, BLER 1%, Vehicular A multipath channel, ταχύτητα MS 3km/h και χρησιμοποιώντας δυνατότητα ανάδρασης εκπομπής τύπου 1 χρησιμοποιώντας έλεγχο ισχύος «ON».

Επίσης, ένα γνωστό multipath, χρησιμοποιώντας τη σωστή ορθογωνικότητα εξασφαλίζει ακριβή αποτελέσματα σύμφωνα με την εμπειρία από τις προσομοιώσεις.

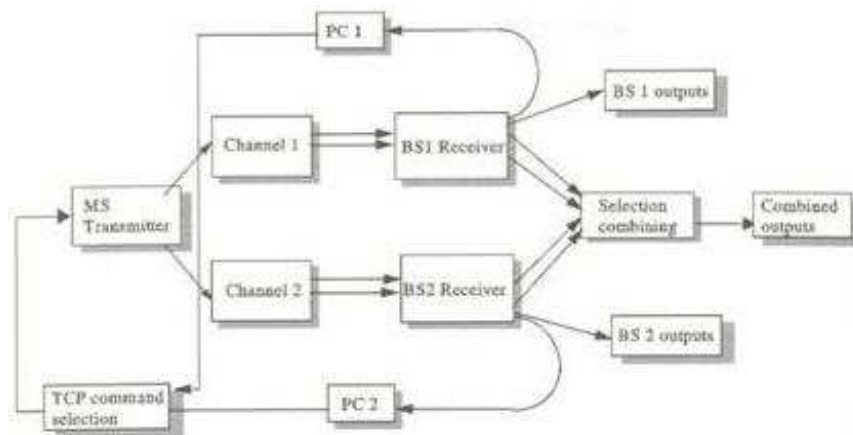
Μερικά κοινά κανάλια τύπου downlink, όπως το CPICH, το SCH και το P-CCPCH, τυπικά δεν χρησιμοποιούν έλεγχο ισχύος, χρησιμοποιούν όμως σταθερή ισχύ. Έτσι οι προσομοιώσεις είναι απλούστερες γι' αυτά τα κανάλια. Είναι αρκετό να προσομοιωθούν τα σημεία γεωμετρίας κοντά στο όριο κυψέλης ($G=-6, \dots, -3\text{dB}$) και να εκτιμηθεί το απαιτούμενο E_c/I_0 για την επιλεγμένη ποιότητα. Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας στην διαστασιοποίηση και στη σχεδίαση, ως κατώφλια κάλυψης και πιο πολύ για

να εκτιμηθεί το κλάσμα της συνολικής ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης B.S η οποία απαιτείται γι' αυτά τα κανάλια.

2.5.3.3 Προσομοιώσεις στο Soft Handover⁵.

Στις προσομοιώσεις στο UL για soft handover (SHO), πρέπει να μοντελοποιηθούν δύο κανάλια διάδοσης και δύο δέκτες σταθμού βάσης. (Βλέπε Σχήμα 2.54, από την αναφορά [23]. Χρειάζεται να εφαρμοστούν δύο ανεξάρτητοι βρόγχοι αναδράσεως PC. Η επιλογή ένωσης εκτελείται στο συνδυαστικό block (RNC) που βασίζεται στον υπολογισμό CRC ή, για τα ισοδύναμα αποτελέσματα CRC, στην ποιότητα υπολογίζει το SIR από κάθε κλάδο.

Στην προσομοίωση διαφέρουν τα σχετικά κέρδη καναλιών μεταξύ των δύο κλάδων SHO. Το Σχήμα 2.55 δείχνει ένα παράδειγμα των αποτελεσμάτων προσομοιώσεων SHO. Στον άξονα x υπάρχει η σχετική διαφορά κέρδους μεταξύ των κλάδων SHO, και στον άξονα y υπάρχει το κέρδος της μέσης εκπεμπόμενης ισχύος του UE. Στο softer handover με μέγιστο λόγο ένωσης των δύο σημάτων από δύο τομείς, το κέρδος είναι ελαφρώς μεγαλύτερο από ότι στο soft handover με επιλογή ένωσης, σύμφωνα με τη θεωρία.

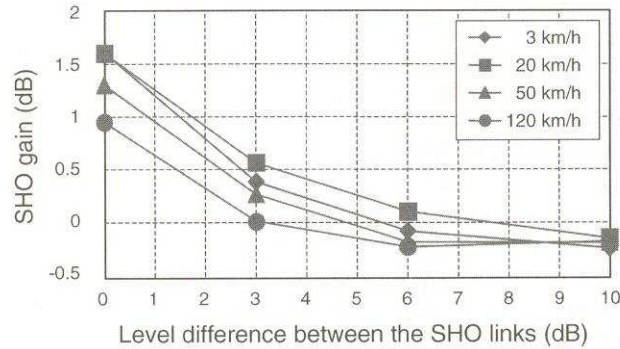


Σχήμα 2.54 Αλυσίδα προσομοίωσης για τις προσομοιώσεις UL SHO. Αποδίδεται με την άδεια της IEEE.

Τυπικά στο downlink το UE ενώνει όλα τα σήματα στο soft ή στο softer handover στη βασική ζώνη, το οποίο είναι ένα διαφορετικό μοντέλο που χρησιμοποιείται στο downlink. Στην πραγματικότητα, χρειάζεται μόνο ένα μπλοκ πομπού στο σταθμό βάσης B.S, πρέπει όμως να

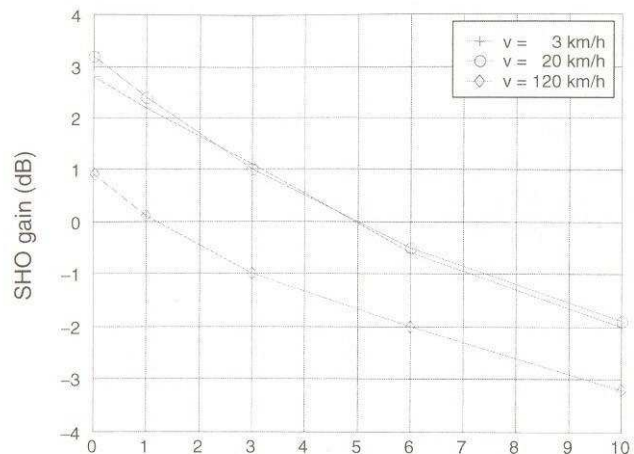
⁵ Σε αυτό το Κεφάλαιο το κέρδος SHO αναφέρεται στο κέρδος MDC (Macro Diversity Combining gain). Δεν είναι το κέρδος πολλαπλής κυψέλης το οποίο καλείται συχνά ως SHO.

αντιγραφεί μόνο ένα κανάλι διάδοσης. Παρομοίως, στο uplink διαφέρει το σχετικό κέρδος του καναλιού μεταξύ των κλάδων SHO.



Σχήμα 2.55 Παράδειγμα των αποτελεσμάτων προσομοίωσης του uplink SHO με το 3GPP Channel model 4, και δυνατότητα πολλαπλής (εκπομπής) κεραίας.

Το Σχήμα 2.56 δείχνει ένα παράδειγμα από τις προσομοιώσεις στο downlink. Στον άξονα y παριστάνεται η επαύξηση της ισχύος στο SHO από τους δύο σταθμούς βάσης που λαμβάνει ο UE την ολική εκπεμπόμενη ισχύ (προστίθεται από τους δύο σταθμούς βάσης), ενώ στον άξονα x φαίνεται η μέση διαφορά στάθμης μεταξύ των ζεύξεων SHO στην κεραία του UE. Σημείωση, ότι το κέρδος ανά ραδιοζεύξη είναι 3dB μεγαλύτερο από ότι στο Σχήμα 2.56, όμως εξαιτίας των δύο εκπομπών χρειάζονται το καθαρό κέρδος να είναι καθαρά αρνητικό όταν αυξάνει η διαφορά στάθμης μεταξύ των κλάδων SHO.



Σχήμα 2.56 Παράδειγμα αποτελεσμάτων προσομοίωσης στο downlink με μοντέλο ITU Pedestrian A channel, χωρίς δυνατότητα (πολλαπλής) εκπομπής και κέρδος SHO στην ολική εκπομπή ισχύος.

2.5.4 Μετρήσεις Φυσικού Επιπέδου που Αφορούν την Επίδοση της Ζεύξης σε Πραγματικό Δίκτυο

Το πρότυπο 3GPP ορίζει τις διάφορες μετρήσεις φυσικού επιπέδου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή να μη χρησιμοποιηθούν απευθείας ως δείκτες επίδοσης επιπέδου - ζεύξης. Οι πιο σημαντικές διακρίσεις φυσικού επιπέδου από την αναφορά [15], κατανέμονται παρακάτω οι οποίες σχετίζονται με την επίδοση της ζεύξης. Στις πιο πολλές περιπτώσεις η ανάλυση απαιτεί να χρησιμοποιείται ένα συγκεκριμένο εργαλείο μέτρησης πεδίου για να καταγραφούν τα δεδομένα, ή ότι οι κατάλληλοι δείκτες επίδοσης θα καταγράφονται από το τερματικό.

Οι πρότυπες απαιτήσεις για την ακρίβεια μέτρησης δίνονται στην αναφορά [16].

Οι μετρήσεις του UE που σχετίζονται με την επίδοση ζεύξης του προτύπου FDD είναι:

- **CPICH RSCP - Received Signal Code Power** (Λαμβανόμενη Ισχύς Κωδικού Σήματος). Αυτή είναι η λαμβανομένη ισχύς του CPICH καναλιού όπως μετρείται από το UE. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως για να υπολογίσει το path loss (απώλεια διαδρομής), από τη στιγμή που η ισχύς εκπομπής του CPICH είναι γνωστή ή μπορεί να διαβαστεί από τις πληροφορίες συστήματος.
- **UTRA carrier RSSI - Received Signal Strength Indicator**, η λαμβανομένη ευρυζωνική ισχύς στο B.W του καναλιού στο downlink.
- **CPICH E_c/N_0** - η λαμβανόμενη ενέργεια ανά chip και διαιρείται από την φασματική πυκνότητα ισχύος στη ζώνη των 5Mhz. Αυτή είναι η πιο σημαντική μέτρηση στο WCDMA για τους σκοπούς σχεδίασης δικτύου, όχι μόνο γιατί είναι τυπικά ο βασικός δείκτης κάλυψης, αλλά επίσης γιατί είναι καλή η ακρίβεια, αφού μπορεί η μέτρηση να γίνει στη βασική ζώνη. Θεωρητικά αυτό είναι ακριβώς το ίδιο στο κανάλι CPICH RSCP/RSSI.
- **Transport Channel BLER**. Ο υπολογισμός για το block error rate. Βασίζεται στην εκτίμηση CRC σε κάθε μπλοκ μεταφοράς μετά τον συνδιασμό της ραδιοζεύξης.
- **Η εκπεμπόμενη Ισχύς UE**. Είναι πολύ σημαντική και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιβεβαιώσει την λειτουργία ελέγχου ισχύος μαζί με τους υπολογισμούς SIR και BLER στο B.S.

Για το UTRAN οι μετρήσεις σχετίζονται με την επίδοση ζεύξης και υποστηρίζονται από το πρότυπο όπως ακολουθούν παρακάτω.

- **Ολική Λαμβανόμενη Ευρυζωνική Ισχύς**. Αυτή είναι απλά η ολική λαμβανόμενη ισχύς (περιλαμβάνοντας το θόρυβο που δημιουργείται στον δέκτη) μέσα στο BW που

καθορίζεται από το φίλτρο διαμόρφωσης παλμού. Είναι η πιο σημαντική για την εκτίμηση φορτίου (loading) ή κάποιας απρόβλεπτης παρεμβολής στο δίκτυο, αλλά όχι τόσο σημαντικό σχετικά με την επίδοση της ζεύξης.

- **SIR - Signal to Interference Ratio** ορίζεται ως $(RSCP / ISCP) \cdot SF$, όπου το RSCP είναι η λαμβανομένη ισχύς του κωδικού σήματος στο DPCCH, ISCP (Interference Signal Code Power), είναι η ισχύς παρεμβολής του κωδικού σήματος στο DPCCH, και SF είναι ο συντελεστής διεύρυνσης στο DPCCH, δηλαδή 256. Το σημείο αναφοράς για τη μέτρηση του SIR είναι ο antenna connector στην έξοδο του combiner (σημείο σύνδεσης καλωδίου κεραίας με combiner). Για μία υπηρεσία φέροντος το E_b/N_0 του καναλιού μεταφοράς μπορεί να υπολογιστεί από το SIR σύμφωνα με την εξίσωση η οποία περιέχει και την εκπομπή πολλαπλού κώδικα και από το γενικό υπολογισμό του DPCCH στην ενέργεια ανά bit:

$$E_b / N_{0DCH} = SIR_{Actual}^{UL,DPCCH} - 10 \cdot \log \left(\frac{R_{DCH}^{user}}{\left(N + \left(\frac{\beta_c}{\beta_d} \right)^2 \right) R_{DPDCH}} \right) - 20 \cdot \log \left(\frac{\beta_c}{\beta_d} \right) - 10 \cdot \log \left(\frac{SF_{DPCCH}}{SF_{DPDCH}} \right) \quad (2.12)$$

Όπου β_c (συντελεστής κέρδους του DPCCH), β_d (συντελεστής κέρδους του DPDCH), R_{DPDCH} (DPCCH bit rate) και το SF_{DPDCH} παράγονται από το AC στο RNC σχετικά με το μέγιστο bit rate του καναλιού μεταφοράς, και N είναι ο αριθμός των DPDCHs που εφαρμόζονται στην εκπομπή του πολλαπλού κώδικα.

- **SIR_{error}** - είναι η διαφορά μεταξύ του SIR και του SIR_{target} στον αλγόριθμο ελέγχου ισχύος κλειστού βρόγχου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση της επίδοσης του ελέγχου ισχύος στο uplink.
- **Εκπεμπόμενη Ισχύς Φέροντος.** Είναι ο λόγος μεταξύ της ολικής εκπεμπόμενης ισχύος και της μέγιστης ισχύος εκπομπής σε ένα σημείο πρόσβασης (BS) στο UTRAN. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση της επίδοσης αποκλειστικών καναλιών στο downlink, όπως υποδηλώνει την ολική ισχύ του B.S που χρησιμοποιείται.

- **Εκπεμπόμενη Ισχύς του Κώδικα** - Η εκπεμπόμενη ισχύς σε έναν channelisation code με έναν δεδομένο scrambling code και με δεδομένο φέρον. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση αποδόσεως αποκλειστικών καναλιών στο downlink.
- **Transport Channel BER** - Υπολογισμός του μέσου bit error rate στο DPDCH.
- **Physical Channel BER** - Υπολογισμός του μέσου bit error rate στο DPCCH. Καλείται συχνά ως «raw BER» (μη επεξεργασμένο) ή «uncoded BER» (μη κωδικοποιημένο).

Σημειώνεται ότι το BLER δεν είναι υποχρεωτική μέτρηση για το UTRAN.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] 3GPP, TSG RAN, General UMTS Architecture, 3g 23.101, Ver. 3.1.0.
- [2] 3GPP, TSG RAN, Radio Interface Protocol Architecture, 3G 35.301, Ver. 3.0.8.
- [3] 3GPP, TSG RAN, UTRAN Overall Description, 3G 25.401, Ver. 3.7.0.
- [4] 3GPP, TSG RAN, Services Provided by the Physical Layer, 3G 25.302, Ver.3.9.0
- [5] 3GPP, TSG RAN, Mac Protocol Specification, 3G 25.321, Ver. 3.8.0.
- [6] 3GPP, TSG RAN, RLC Protocol Specification, 3G 25.322, Ver. 3.7.0.
- [7] 3GPP, TSG RAN, PDCP Protocol Specification, 3G 25.323, Ver. 3.5.0
- [8] 3GPP, TSG RAN, BMC Protocol Specification, 3G 25.324, Ver. 3.4.0.
- [9] 3GPP, TSG RAN, RRC Protocol Specification, 3G 25.331, Ver. 3.7.0.
- [10] 3GPP, TSG RAN, Qos Concept and Architecture, 3G 23.07, Ver. 3.6.0
- [11] 3GPP, TSG RAN, Physical Channels and Mapping of Transport Channels onto Physical Channels (FDD), 3G 35.211, Ver. 3.7.0.
- [12] 3GPP, TSG RAN, Multiplexing and Channel Coding (FDD), 3G 25.212, Ver. 3.6.0.
- [13] 3GPP, TSG RAN, Spreading and Modulation (FDD), 3G 25.213, Ver. 3.6.0.
- [14] 3GPP, TSG RAN, Physical Layer Procedures (FDD), 3G 25.214, Ver. 3.7.0.
- [15] 3GPP, TSG RAN, Physical Layer Measurements, 3G 25.215, Ver. 3.7.0.
- [16] 3GPP, TSG RAN, Requirements for Support of Radio Resource Management (FDD), 3G 25.133, Ver 3.6.0.
- [17] 3GPP, TSG RAN, UTRAN Iub Interface NBAP Signalling, 3G 25.433, Ver. 3.6.0.
- [18] 3GPP, TSG RAN, Synchronisation in UTRAN, 3G 25.402, Ver 3.6.0
- [19] Holma, H. and Toskala, H. (eds), WCDMA for UMTS, revised edition, John Wiley & Sons, Chichester, 2001.
- [20] 3GPP, TSG RAN, UE Radio Transmission and Reception(FDD), TS 25.101, Ver.3.7.0.
- [21] 3GPP, TSG RAN, UTRA (BS) FDD Radio Transmission and Reception, TS 25.104, Ver. 3.7.0.
- [22] Sipila, K., Laiho-Steffens, J. Jasber M. and Wacker, A., Modelling the impact of the fast power control on the WCDMA uplink. Proc. 49th IEEE VTC Conf., Houston, Texas, May 1999, pp. 1266-1270.
- [23] Sipila,K., Jasberg, M., Laiho-Steffens, J. And Wacker, A., Soft handover gains in a fast power controlled WCDMA uplink. Proc. 49th IEEE VTC Conf., Houston, Texas, May 1999, pp. 1594-1598.
- [24] Wacker, A., Laiho-Steffens, J., Sipila, K. And Heiska, K., The impact of the base station sectorisation on WCDMA radio network performance. Proc. VTC99 Fall Conf., Amsterdam, September 1999, pp. 2611-2615.
- [25] Laiho-Steffens, J., Wacker, A. and Aiko, P., The impact of the radio network planning and site configuration on the WCDMA network capacity of service, Proc. VTC2000 Spring Conf., Tokyo, May 2000, pp. 1006-1010.

-
- [26] Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000, Recommendation ITU-R M. 1255,1997.
 - [27] Proakis, J.G., Digital Communications, 3rd edition. McGraw-Hill, New York, 1995, 927pp.
 - [28] Peterson, R.L., Ziemer, R.E and Borth, D.E., Introduction to Spread Specrum Communications. Prentice-Hall Upper Saddle River, NJ,1995,695 pp.
 - [29] Noneaker, D.L. and Pursley, M.B., RAKE reception for a CDMA mobile communication system with multipath fading. In Glisic, S.G. and Leppanen, P.A., Code Division Multile Access Communications. Kluwer Academic, Dordrecht,1995, pp. 183-201.
 - [30] Lee, J.S. and Miller, L.E CDMA Systems Engineering Handbook. Artetch House,1998.
 - [31] Simon, M.K., Okumura, J.K.,Scholtz, R.A. and Lewitt, B.K., Spread Spectrum in Communications, VOLS 1-3. Comuter Science Press, 1985.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Σχεδίαση Ραδιοδικτύου WCDMA

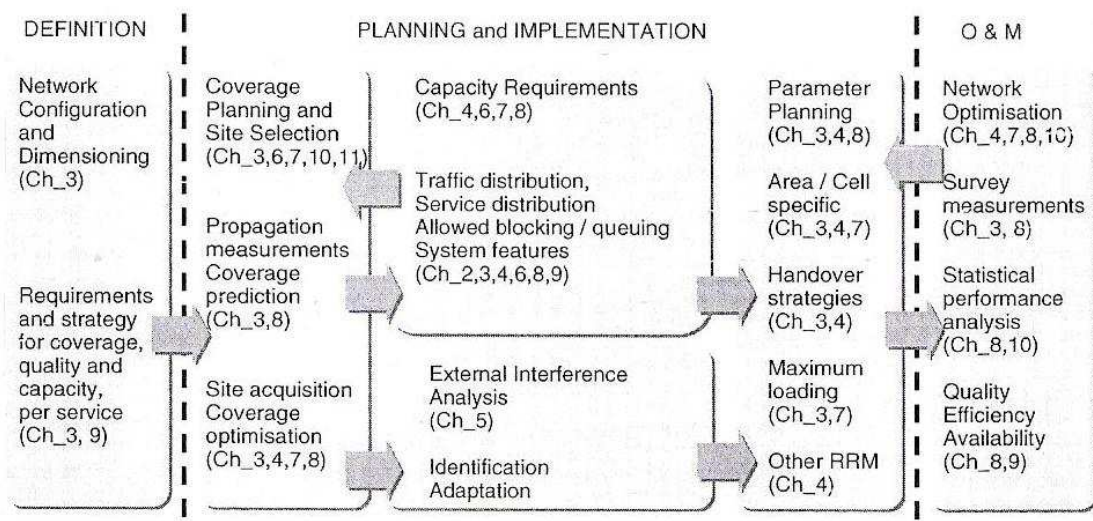
Achim Waker, Joana Laiho και Kimmo Terävä. Από την αναφορά Radio Network Planning and Optimisation for UMTS

Σε αυτό το Κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η προλειτουργική φάση της διαδικασίας σχεδίασης WCDMA όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.1. Μπορεί να χωριστεί σε τρεις φάσεις, όπως η διαδικασία σχεδίασης στα συστήματα δεύτερης - γενιάς (2G). Αυτές οι φάσεις φαίνονται στο Σχήμα 3.1 και αποτελούνται από την αρχική σχεδίαση (διαστασιοποίηση), τη αναλυτική σχεδίαση ραδιοδικτύου και τη λειτουργία δικτύου και τη βελτιστοποίηση. Κάθε φάση απαιτεί πρόσθετες βοηθητικές λειτουργίες, όπως είναι οι μετρήσεις διάδοσης, οι ορισμοί key Performance Indicators (Κύριοι Δείκτες Επίδοσης) κλπ. Ο αριθμός των ταυτόχρονων χρηστών επηρεάζει απευθείας τα κατώφλια θορύβου των δεκτών, στο κυψελωτό σύστημα όπου οι συνδέσεις στο air-interface λειτουργούν στο ίδιο φέρον. Επομένως, στην περίπτωση του UMTS οι φάσεις σχεδίασης δεν μπορούν να χωριστούν σε σχεδίαση κάλυψης και σχεδίαση χωρητικότητας. Για τα μεταγενέστερα συστήματα 2G, οι υπηρεσίες δεδομένων αρχίζουν να παίζουν ένα σημαντικό ρόλο. Το πλήθος υπηρεσιών απαιτεί ολόκληρη η διαδικασία σχεδίασης να καταβάλει ένα σύνολο τροποποιήσεων. Μία από τις τροποποιήσεις συνδέεται με τις απαιτήσεις Ποιότητας Υπηρεσίας QoS. Μέχρι τώρα ήταν κατάλληλο να καθοριστεί μόνο η κάλυψη ομιλίας και η πιθανότητα μπλοκαρίσματος, αλλά διαρκώς πιο αναγκαίο ήταν να ληφθούν υπόψη οι πιθανότητες της κάλυψης εσωτερικού χώρου και του χώρου «εντός αυτοκινήτου». Το πρόβλημα είναι πιο πολυδιάστατο στην περίπτωση του UMTS.

Επίσης πρέπει να οριστούν και να αντιμετωπιστούν για κάθε υπηρεσία οι επιθυμητές τιμές (targets) Qos. Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι η πιο αυστηρή απαίτηση θα πρέπει να προσδιορίσει την πυκνότητα της τοποθεσίας. Εκτός από την πιθανότητα κάλυψης, το κριτήριο των δεδομένων πακέτου σχετίζεται με τις αποδεκτές καθυστερήσεις και το αποδεκτό throughput. Ο υπολογισμός των καθυστερήσεων στη φάση της σχεδίασης απαιτεί καλή γνώση της συμπεριφοράς του χρήστη και κατανόηση των λειτουργιών του χρονικού προγραμματιστή πακέτου.

Υπάρχουν κοινά χαρακτηριστικά για την πρόβλεψη κάλυψης 2G και 3G. Καθώς πρέπει να αναλυθούν και στα δύο συστήματα uplink και downlink. Στα κύρια συστήματα οι ζεύξεις τείνουν να είναι σε ισορροπία, ενώ μπορεί μία ζεύξη να φορτωθεί παραπάνω από μία άλλη

στα συστήματα τρίτης γενιάς, έτσι ώστε η ζεύξη ή η κάλυψη να μπορούν να περιορίσουν την χωρητικότητα της κυψέλης. Ο υπολογισμός της διάδοσης είναι βασικά ο ίδιος για όλες τις τεχνολογίες ραδιοπρόσβασης, με την εξαίρεση ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά μοντέλα διάδοσης. Ένα άλλο κοινό χαρακτηριστικό είναι η ανάλυση της παρεμβολής. Απαιτείται στην περίπτωση του WCDMA για την ανάλυση φορτίου και για την ανάλυση της ευαισθησίας, είναι απαραίτητο στην περίπτωση TDMA / FDMA για την κατανομή της συχνότητας. Για να εκμεταλλευτούμε πλήρως τις δυνατότητες του WCDMA, χρειάζεται πλήρως κατανόηση του WCDMA air interface, από το φυσικό επίπεδο έως τη μοντελοποίηση, τη σχεδίαση και την βελτιστοποίηση επίδοσης του δικτύου.



Σχήμα 3.1 Διαδικασία σχεδίασης ραδιοδικτύου για τα δίκτυα UMTS.

Ο σκοπός της φάσεως διαστασιοποίησης είναι να εκτιμήσει το κατάλληλο αριθμό των απαιτούμενων θέσεων, τις ρυθμίσεις του σταθμού βάσης και τον αριθμό των στοιχείων του δικτύου, για να προβλέψει τα επιφέροντα έξοδα και τις σχετικές επενδύσεις. Η διαστασιοποίηση παρουσιάζεται στην Παράγραφο 3.1.

Στην Παράγραφο 3.2 παρουσιάζεται αναλυτικά η σχεδίαση κάλυψης και η σχεδίαση χωρητικότητας με τη βοήθεια ενός στατικού εργαλείου σχεδίασης ραδιοδικτύου. Η αναλυτική σχεδίαση λαμβάνει υπ' όψιν τις πραγματικές θέσεις των σταθμών βάσης, οι συνθήκες διάδοσης υπολογίζονται σε ψηφιακούς χάρτες, η πραγματική κατανομή των χρηστών βασίζεται στις προβλέψεις κίνησης του operator. Έπειτα από την αναλυτική σχεδίαση εκτελούνται, η κάλυψη ραδιοδικτύου και η χωρητικότητα, και μπορούν να αναλυθούν οι υπόλοιποι Key Performance Indicators αντιπροσωπεύοντας την επίδοση δικτύου.

Στην Παράγραφο 3.3 συγκρίνονται η διαστασιοποίηση και η αναλυτική σχεδίαση για έναν green field operator. Έχει αμφισβητηθεί πολύ η καταλληλότητα του στατικού εργαλείου

σχεδίασης ραδιοδικτύου για τη σχεδίαση συστημάτων 3G, αντί γι' αυτό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ένας πλήρης δυναμικός προσομοιωτής, ο οποίος προσομοιώνει την κίνηση των κινητών και εφαρμόζει αναλυτικούς αλγορίθμους RRM όπως είναι το power control και τα handovers. Εξαιτίας της πολυπλοκότητάς του και της ανάγκης για την υπολογίσιμη ισχύ, δεν είναι εφικτό ωστόσο για τη σχεδίαση μεγάλων δικτύων, και είναι προτιμότερο ένα εργαλείο για την αξιολόγηση των αλγορίθμων RRM. Παρόλα αυτά στην Παράγραφο 3.4 αποδεικνύουμε ότι για ένα μικρό δίκτυο, η μοντελοποίηση που παρουσιάζεται στο στατικό προσομοιωτή είναι σαφής στις εξόδους θεωρώντας την μέση επίδοση δικτύου του δυναμικού προσομοιωτή. Οι Παράγραφοι 3.5 και 3.6 δείχνουν τη σημαντικότητα του ελέγχου παρεμβολής στο δίκτυο 3G μέσα σε ένα φέρον, καθώς και την παρεμβολή από το γειτονικό κανάλι, τονίζοντας ότι θα πρέπει να ληφθούν προφυλάξεις για να παρέχουν τον έλεγχο παρεμβολής όσο πιο νωρίς γίνεται στη φάση της σχεδίασης δικτύου.

3.1 Διαστασιοποίηση

Η αρχική σχεδίαση (δηλαδή η διαστασιοποίηση του συστήματος) παρέχει την πρώτη και την πιο γρήγορη σχεδίαση για την μέτρηση των στοιχείων του δικτύου καθώς και τη σχετική χωρητικότητα αυτών των στοιχείων. Αυτό περιέχει την πρόσβαση ραδιοδικτύου καθώς και τον πυρήνα δικτύου (Core Network). Αυτή η παράγραφος εστιάζει αποκλειστικά στο τμήμα της ραδιοπρόσβασης. Ο στόχος της φάσης αρχικής σχεδίασης είναι να υπολογιστεί η απαιτούμενη πυκνότητα θέσεων και οι τροποποιήσεις της θέσεως για την ενδιαφερόμενη περιοχή. Οι δραστηριότητες της αρχικής σχεδίασης περιλαμβάνουν τον προϋπολογισμό ραδιοζεύξεως (RLB) και την ανάλυση της ραδιοκάλυψης, τον υπολογισμό της χωρητικότητας και τέλος τον υπολογισμό του αριθμού των σταθμών βάσης hardware και τον τύπο hardware για κάθε θέση, τους ελεγκτές ραδιοδικτύου (RNC), τον εξοπλισμό σε διαφορετικά interfaces και τα στοιχεία του πυρήνα δικτύου CN. Η κατανομή της υπηρεσίας, η πυκνότητα της κίνησης και ο όγκος της κίνησης υπολογίζουν τις απαιτήσεις QoS και είναι ήδη απαραίτητα στοιχεία για την φάση της αρχικής σχεδίασης. Εδώ η ποιότητα λαμβάνεται υπόψη από την άποψη της πιθανότητας μπλοκαρίσματος και της πιθανότητας κάλυψης. Ο υπολογισμός του RLB εκτελείται για κάθε υπηρεσία και η πιο αυστηρή απαίτηση προσδιορίζει το μέγιστο επιτρεπτό ισοτροπικό path loss.

3.1.1 Συγκεκριμένα Ζητήματα- WCDMA στους Υπολογισμούς της Ραδιοζεύξεως

Σε αυτή την Παράγραφο περιγράφονται οι προϋπολογισμοί για το WCDMA στο uplink και στο downlink. Για να υπολογιστεί η μέγιστη εμβέλεια μιας κυψέλης, χρειάζεται ένας

υπολογισμός RLB. Στο RLB λαμβάνονται υπ' όψιν τα κέρδη της κεραίας, οι απώλειες των καλωδίων, η απόκλιση κέρδους κεραιών (diversity gain), τα περιθώρια εξασθένισης κλπ. Η έξοδος του υπολογισμού RLB είναι η μέγιστη επιτρεπτή απώλεια της πορείας διάδοσης (propagation path loss), η οποία προσδιορίζει την εμβέλεια της κυψέλης και έτσι χρειάζεται ο αριθμός των θέσεων. Υπάρχουν μερικά συγκεκριμένα στοιχεία στο WCDMA στον προϋπολογισμό της ζεύξης, που συγκρίνονται με τα συστήματα ραδιοπρόσβασης που βασίζονται στο TDMA όπως το GSM. Αυτά περιλαμβάνουν τη μείωση του περιθωρίου παρεμβολής, περιθώριο ταχείας εξασθένισης, αύξηση της ισχύος εκπομπής και το κέρδος SHO.

3.1.1.1 Προϋπολογισμός στην Ραδιοζεύξη Uplink

Η μείωση του περιθωρίου παρεμβολής είναι μια λειτουργία για το φορτίο της κυψέλης. Όσο πιο πολύ φορτίο επιτρέπεται στο σύστημα, τόσο μεγαλύτερο γίνεται το περιθώριο παρεμβολής στο uplink με αποτέλεσμα να μειώνεται η κάλυψη της κυψέλης.

Το φορτίο για uplink μπορεί να προκύψει ως εξής, για απλότητα η παραγωγή εκτελείται με service activity $v=1$.

Για να βρεθεί η ισχύς του απαιτούμενου εκπεμπόμενου και λαμβανόμενου σήματος για τον κινητό σταθμό (MS) k συνδέεται με έναν ειδικό σταθμό βάσης (B.S) n , και χρησιμοποιείται η βασική εξίσωση CDMA E_b/N_0 (3.1). Η συνηθισμένη, ελαφρώς ιδεαλιστική, προϋπόθεση είναι το I_{oth} , η ισχύς που λαμβάνεται από τους MSs που συνδέονται με άλλες κυψέλες, είναι απευθείας ανάλογη (αναλογική σταθερά i) με το I_{own} , η ισχύς που λαμβάνεται από τους MSs που συνδέονται στο ίδιο BS n , όπως ο επιθυμητός αριθμός MS. Θεωρείται ότι ο MS k χρησιμοποιεί ένα bit rate R_k η απαίτηση προς αυτό του E_b/N_0 είναι ρ_k και το WCDMA chip rate είναι W . Τότε για τη λαμβανόμενη ισχύ του k -οστού κινητού, p_k στο σταθμό βάσης που είναι συνδεδεμένος πρέπει τουλάχιστο να ισχύει ότι:

$$\frac{W}{R_k} \cdot \left(\frac{p_k}{I_{own} - p_k + I_{oth} + N} \right) = \frac{W}{R_k} \cdot \left(\frac{p_k}{I_{own} - p_k + i \cdot I_{own} + N} \right) \geq \rho_k, \quad k = 1, \dots, K_n \quad (3.1)$$

όπου K_n είναι ο αριθμός των MS που συνδέονται στο BS n ,

$$N = N_0 \cdot W = N_f \cdot \kappa \cdot T_0 \cdot W \quad (3.2)$$

είναι η ισχύς θορύβου από μια άδεια κυψέλη, N_f είναι το βάθος θορύβου στο δέκτη, κ 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) και $N_f = 1$ σημαίνει ότι $N_0 = -174,0$ dBm/Hz και $N = -108,1$ dBm

Οι ανισότητες στην εξίσωση (3.1) είναι ελαφρώς «αισιόδοξες» γιατί υποτίθεται εδώ ότι δεν υπάρχει παρεμβολή από το κύριο (own) σήμα, το οποίο δεν είναι ακριβώς πραγματικό στις πραγματικές συνθήκες πολυοδικής διάδοσης. Ωστόσο η εξίσωση (3.1) είναι επιλεγμένη για να αποφύγουμε να λάβουμε υπόψιν δύο φορές την πολυοδική παρεμβολή, δηλ. οι απαιτήσεις E_b/N_0 προσδιορίζονται από τις προσομοιώσεις επιπέδου ζεύξεως και παρουσιάζονται έτσι ώστε το N_0 να σημαίνει μόνο θόρυβος και η πολυοδική παρεμβολή είναι ορατή σε υψηλότερες απαιτήσεις E_b/N_0 για δεδομένη επίδοση του BER. Λύνοντας τις ανισότητες ως σύστημα εξισώσεων σημαίνει ότι λύνονται για την ελάχιστη απαιτούμενη λαμβανόμενη ισχύ (ευαισθησία), ρ_k

$$p_k \cdot \left(1 + \frac{\rho_k \cdot R_k}{W}\right) = \frac{\rho_k \cdot P_k}{W} \cdot (1+i) \cdot I_{own} + \frac{\rho_k \cdot R_k}{W} \cdot N$$

$$\Rightarrow p_k = \frac{1}{1 + \frac{\rho_k \cdot R_k}{W}} \cdot (1+i) \cdot I_{own} + \frac{1}{1 + \frac{\rho_k \cdot R_k}{W}} \cdot N, \quad k = 1, \dots, K \quad (3.3)$$

Εάν οι εξισώσεις (3.3) αθροιστούν πάνω στους κινητούς σταθμούς που συνδέονται στο BS n ΤΟΤΕ

$$\sum_{k=1}^{K_N} p_k = \left[\sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{\rho_k \cdot R_k}{W}} \cdot (1+i) \right] \cdot \sum_{k=1}^N p_k + \left[\sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{\rho_k \cdot R_k}{W}} \right] \cdot N$$

$$\Rightarrow \sum_{k=1}^{K_N} p_k \cdot (1+i) = \frac{N \cdot \left[\sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{\rho_k \cdot R_k}{W}} \cdot (1+i) \right]}{1 - \left[\sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{\rho_k \cdot R_k}{W}} \cdot (1+i) \right]} \quad (3.4)$$

αφού

$$I_{own} = \sum_{k=1}^{K_N} p_k$$

Εάν ορίσουμε το φορτίο στο uplink ως

$$\eta_{UL} = \sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k}} \cdot (1+i) \quad (3.5)$$

μπορούμε να το τροποποιήσουμε περιλαμβάνοντας την επίδραση της τομεοποίησης (sectorisation gain, ζ , ο αριθμός των τομέων N_s) και δραστηριότητα υπηρεσίας (service activity) ν : Οι τιμές του κέρδους τομεοποίησης που κατανέμονται αργότερα στον Πίνακα 3.21

$$\eta_{UL} = \sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k}} \cdot \nu_k \cdot \left(1 + i \cdot \frac{N_s}{\zeta}\right) \quad (3.6)$$

Στην αναφορά [12] το φορτίο στο uplink υποστηρίζεται χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3.7)

$$\eta_{UL} = \frac{1}{W} \cdot \sum_{j=1}^m R_j \cdot \nu_j \cdot \rho_j \cdot (1+i) \quad (3.7)$$

όπου m είναι ο αριθμός των υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται για κάθε απλό χρήστη, μετριέται ως ξεχωριστή υπηρεσία.

Οι διαφορές μεταξύ των εξισώσεων (3.6) και (3.7) οφείλονται στο γεγονός ότι η (3.7) δεν περιέχει το sectorisation gain (κέρδος τομεοποίησης) και στο ξεκίνημα του διαχωρισμού από την εξίσωση (3.1), ο παρονομαστής είναι: $I_{own} - p_k + i \cdot I_{own} + N$ απ' ότι $I_{own} + i \cdot I_{own} + N$, ο οποίος είναι μόνο στην περίπτωση $p_k \ll I_{own}$.

3.1.1.2 Υπολογισμός Ραδιοζεύξεως στο Downlink

Η διαστασιοποίηση στο downlink ακολουθεί την ίδια λογική όπως στο uplink. Πρέπει να υπολογιστεί η ολική εκπομπή ισχύος του σταθμού βάσης για μια επιλεγμένη εμβέλεια κυψέλης. Οι συνδέσεις του soft handover πρέπει να συμπεριληφθούν και αυτές σε αυτόν τον υπολογισμό. Εάν η ισχύς υπερβληθεί, ο αριθμός των χρηστών σε μια κυψέλη θα μειωθεί, ή θα περιοριστεί η εμβέλεια της κυψέλης. Για το downlink, το φορτίο η_{DL} υπολογίζεται βάσει του:

$$\eta_{DL} = \sum_{i=1}^I \left[\frac{\rho_i \cdot R_i \cdot v_i}{W} \cdot \left((1 - a_i) + \sum_{n=1, n \neq m}^N \frac{Lp_{mi}}{Lp_{ni}} \right) \right] \quad (3.8)$$

όπου Lp_{mi} είναι το path loss από το BS m στο MS i , Lp_{ni} είναι το path loss από ένα άλλο BS n στο MS i , ρ_i είναι η απαίτηση εκπομπής E_b/N_0 για το MS i , συμπεριλαμβάνοντας το συνδυαστικό κέρδος soft handover και την μέση αύξηση ισχύος που προκαλείται από το γρήγορο power control, N είναι ο αριθμός των σταθμών βάσης, I είναι ο αριθμός των συνδέσεων σε ένα τομέα και a_i είναι ο συντελεστής ορθογωνικότητας, ο οποίος κυμαίνεται στο εύρος από 0 έως 1 ανάλογα με τις συνθήκες multipath ($a=1$: πλήρης ορθογωνικότητα).

Ο όρος

$$i_{DL} = \sum_{n=1, n \neq m}^N \frac{Lp_{mi}}{Lp_{ni}}$$

ορίζει την παρεμβολή other-to-own-cell στο downlink. Το απευθείας αποτέλεσμα του downlink RLB είναι μια απλή ισχύς ζεύξεως που απαιτείται από ένα χρήστη στο όριο της κυψέλης. Ο υπολογισμός της ολικής ισχύος εκπομπής του σταθμού βάσης, λαμβάνει υπόψη πολλαπλές ζεύξεις επικοινωνίας με μέση απόσταση (Lp_{mi}) από το σταθμό βάσης που εξυπηρετεί. Στη μοντελοποίηση, θα πρέπει επίσης να περιλαμβάνεται το περιβάλλον πολλών κυψελών με ορθογωνικότητες a_i . Για περισσότερους υπολογισμούς για το φορτίο στο downlink και την ισχύ εκπομπής, βλέπε [13].

Στον υπολογισμό RLB στο uplink, ο συντελεστής περιορισμού είναι η ισχύς εκπομπής του κινητού σταθμού, στο downlink το όριο είναι η ολική ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης. Θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι περιοχές υπηρεσιών uplink και downlink, όταν βρίσκονται σε ισορροπία.

Η μείωση του περιθωρίου παρεμβολής για να ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό της ζεύξεως εξαιτίας ενός βασικού φορτίου η (είτε στο uplink, είτε στο downlink) είναι

$$L = 10 \cdot \log_{10}(1 - \eta) \quad (3.9)$$

Άλλο ένα συγκεκριμένο στοιχείο WCDMA για το RLB είναι το περιθώριο ταχείας εξασθένησης (fast fading margin*) ή το περιθώριο ελέγχου ισχύος (power control headroom). Χρειάζεται ένα μικρό περιθώριο στην εκπομπή ισχύος του κινητού σταθμού για να διατηρήσει ένα κατάλληλο και γρήγορο έλεγχο ισχύος κλειστού βρόγχου σε μη ευνοϊκές συνθήκες διάδοσης, όπως είναι αυτές που είναι κοντά στο όριο της κυψέλης. Αυτό ισχύει ειδικά για τους χρήστες όταν περπατάνε, όπου για να διατηρηθεί το E_b/N_0 είναι πιο ευαίσθητο στον έλεγχο ισχύος κλειστού βρόγχου. Το power control headroom εξετάζεται πιο πολύ στις αναφορές [6] και [7] και μπορεί να βρεθεί μια περίληψη αυτού στην Παράγραφο 4.6. Μια άλλη επίδραση του γρήγορου ελέγχου ισχύος είναι η μεγαλύτερη μέση ισχύς εκπομπής που χρειάζεται. Για έναν κινητό σταθμό που είναι σε αργή κίνηση, μπορεί ο έλεγχος ισχύος να αντιληφθεί το κανάλι εξασθένησης και να αυξάνεται η μέση εκπεμπόμενη ισχύς. Αυτό χρειάζεται στην κύρια κυψέλη (own cell) για να εξασφαλίσει την κατάλληλη ποιότητα για τη σύνδεση και δεν προκαλεί βλάβη από τη στιγμή που αναπληρώνεται η αυξανόμενη ισχύς εκπομπής από το κανάλι εξασθένησης (fading channel). Ωστόσο αυτό σημαίνει για τις γειτονικές κυψέλες επιπλέον παρεμβολή γιατί είναι μη συσχετισμένη η ταχεία εξασθένηση στα κανάλια. Η αύξηση της ισχύος εκπομπής ($TxPowerInc$) αυξάνεται για να μειώσει την επαναχρησιμοποίηση αποδοτικότητας σύμφωνα με την εξίσωση (3.10). Στην εξίσωση (3.5) το i πρέπει να αντικατασταθεί από τον όρο $TxPowerInc \cdot i$ στην περίπτωση που είναι σημαντική η αύξηση της ισχύος εκπομπής του κινητού σταθμού

$$F_r = \frac{1}{1 + TxPowerInc \cdot i} \quad (3.10)$$

Το κέρδος SHO έχει συζητηθεί στην αναφορά [3]. Τα soft ή τα hard handovers παρέχουν κέρδος ενάντια στην σκίαση (shadow fading), από τη μείωση του απαιτούμενου περιθωρίου εξασθένησης. Επειδή η βραδεία εξασθένηση είναι μερικώς μη σχετιζόμενη μεταξύ των κυψελών από τη δημιουργία των handovers, ο κινητός σταθμός μπορεί να

* fast fading margin: Όταν το σήμα υποβιβάζεται λόγω του φαινομένου της πολυδοδικότητας (multipath), τότε τίθεται ένα περιθώριο επιπλέον ισχύος για να αντισταθμίσει αυτή την απώλεια ισχύος λόγω της εξασθένησης. Συνήθως η τιμή αυτή κυμαίνεται στα 3dB.

επιλέξει μια καλύτερη σύνδεση επικοινωνίας. Επιπλέον το soft handover (macro diversity) δίνει ένα επιπλέον κέρδος κατά της ταχείας εξασθένησης ελαττώνοντας το απαιτούμενο E_b/N_0 που είναι σχετικό με μια απλή ραδιοζεύξη. Η ποσότητα του κέρδους εξαρτάται από την ταχύτητα του κινητού σταθμού, τη δυνατότητα ένωσης των αλγορίθμων (diversity combining algorithms) που χρησιμοποιείται στο δέκτη και από την κατανομή καθυστέρησης του καναλιού. Το κέρδος SHO σχολιάζεται περισσότερο στις Παραγράφους 3.1.3, 2.5.3.3 και 4.6.1.2.

3.1.2 Υπολογισμός της Ευαισθησίας στο Δέκτη

Στον υπολογισμό της ζεύξεως υπολογίζεται η στάθμη θορύβου του δέκτη στο B.S σε ένα φέρον WCDMA. Ο απαιτούμενος λόγος σήματος - προς - θόρυβο (SNR) στο δέκτη περιέχει το κέρδος επεξεργασίας και την απώλεια εξαιτίας του φορτίου. Το φορτίο που χρησιμοποιείται είναι το ολικό φορτίο που οφείλεται στις διαφορετικές υπηρεσίες στην αποστολή του φέροντος. Η απαιτούμενη ισχύς του σήματος S εξαρτάται από την απαίτηση του SNR, τη μορφή θορύβου στο δέκτη και το bandwidth.

$$S = SNR \cdot N_0 \cdot W \quad (3.11)$$

όπου

$$SNR = \rho \cdot \frac{R}{W \cdot (1 - \eta)} \quad (3.12)$$

$N_0 \cdot W$ είναι το noise figure που παρουσιάζεται στην εξίσωση (3.2), R είναι το bit rate της υπηρεσίας που χρησιμοποιείται, ρ είναι η απαίτηση του E_b/N_0 , W είναι το WCDMA chip rate και η είναι το φορτίο της κυψέλης. Σε μερικές περιπτώσεις η βασική στάθμη θορύβου / παρεμβολής διορθώνεται συχνά από την εφαρμογή ενός όρου που θεωρεί για έναν άνθρωπο ότι δημιουργεί θόρυβο.

3.1.3 Περιθώριο σκίασης και υπολογισμός του κέρδους SHO

Το επόμενο βήμα είναι να υπολογιστεί η μέγιστη εμβέλεια της κυψέλης και το εμβαδόν κάλυψης της κυψέλης σε διαφορετικά περιβάλλοντα / περιοχές. Στο RLB το μέγιστο επιτρεπτό ιστροπικό path loss υπολογίζεται από αυτήν την τιμή και θα πρέπει να αφαιρεθεί ένα περιθώριο βραδείας εξασθένησης σχετικά με την πιθανότητα κάλυψης. Όταν

υπολογίζουμε την πιθανότητα κάλυψης θα πρέπει να τεθεί ο εκθέτης του μοντέλου διάδοσης και η κανονική απόκλιση της εκχωρημένης εξασθένησης (log-normal fading). Εάν ληφθεί υπόψη η περίπτωση του εσωτερικού χώρου, οι τυπικές τιμές για τις απώλειες εσωτερικού χώρου είναι από 15 έως 20dB και η κανονική απόκλιση για τον υπολογισμό της εκχωρημένης εξασθένησης κυμαίνεται από 10 έως 12 dB. Στους εξωτερικούς χώρους, η τυπική κανονική απόκλιση τιμών κυμαίνεται από 6 έως 8 dB και οι τυπικές σταθερές διάδοσης από 2.5 έως 4. Κατά παράδοση η πιθανότητα του εμβადού κάλυψης που χρησιμοποιείται στο RLB είναι για την περίπτωση απλής κυψέλης [1]. Η απαιτούμενη πιθανότητα είναι 90-95% και τυπικά αυτό οδηγεί σε περιθώριο εξασθένησης των 7 με 8dB, που εξαρτάται από τη σταθερά διάδοσης και την κανονική απόκλιση της εκχωρημένης εξασθένησης. Η εξίσωση (3.13) υπολογίζει την πιθανότητα του εμβადού κάλυψης στην περίπτωση μιας απλής κυψέλης.

$$F_u = \frac{1}{2} \cdot \left[1 - \operatorname{erf}(a) + \exp\left(\frac{1 - 2 \cdot a \cdot b}{b^2}\right) \cdot \left(1 - \operatorname{erf}\frac{1 - a \cdot b}{b}\right) \right] \quad (3.13)$$

όπου

$$a = \frac{x_0 + P_r}{\sigma \cdot \sqrt{2}}$$

και

$$b = \frac{10 \cdot n \cdot \log_{10} e}{\sigma \cdot \sqrt{2}}$$

P_r , είναι η λαμβανόμενη στάθμη στο όριο της κυψέλης, n είναι η σταθερά διάδοσης, x_0 είναι το κατώφλι της μέσης ισχύος του σήματος και σ είναι η κανονική απόκλιση ισχύος του πεδίου και erf είναι η συνάρτηση σφάλματος (error function).

Στα κυψελωτά δίκτυα WCDMA τα εμβαδά κάλυψης της επικάλυψης των κυψελών και του κινητού σταθμού μπορούν να συνδεθούν με περισσότερες κυψέλες από αυτή που ήδη εξυπηρετεί. Εάν μπορούν να ανιχνευθούν παραπάνω από μια κυψέλες, αυξάνεται η πιθανότητα θέσης και είναι μεγαλύτερη από αυτήν που προσδιορίστηκε για μια απλή απομονωμένη κυψέλη. Η ανάλυση εκτελείται στην αναφορά [2] και δείχνει ότι εάν το ποσοστό κάλυψης της περιοχής ενδιαφέροντος (area location probability-καλύτερο σήμα από κάποιο όριο) μειωθεί από 96% σε 90%, τότε μειώνεται ο αριθμός των σταθμών βάσης κατά 38%. Αυτός ο αριθμός δείχνει ότι θα πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά η έννοια της πιθανότητας

θέσεως multiserver. Στην πραγματικότητα τα σήματα δεν είναι ολοκληρωτικά μη συσχετισμένα από δυο σταθμούς βάσης, έτσι το κέρδος soft handover είναι ελαφρώς λιγότερο από αυτό που υπολογίστηκε στην αναφορά [2]. Στην αναφορά [3] η θεωρία της περίπτωσης multiserver παρουσιάζεται ως:

$$P_{out} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} \cdot \left[Q\left(\frac{\gamma_{SHO} - a \cdot \sigma \cdot x}{b \cdot \sigma} \right) \right]^2 dx \quad (3.14)$$

όπου P_{out} είναι οι απώλειες (στο λαμβανόμενο σήμα του συστήματος) στο όριο της κυψέλης, γ_{SHO} είναι το περιθώριο εξασθένησης με SHO, σ είναι η τυπική απόκλιση του πεδίου ισχύος και για συσχετισμό 50% της εκχωρημένης εξασθένησης μεταξύ των κινητών σταθμών και των δυο σταθμών βάσης, $a = b = 1/\sqrt{2}$. Μαζί με τη θεωρία παρουσιάζεται στην αναφορά [1], η πιθανότητα στο όριο κυψέλης και μπορεί να μετατραπεί σε πιθανότητα εμβαδού. Στον υπολογισμό ζεύξεως στο WCDMA, χρειάζεται το κέρδος SHO. Το κέρδος αυτό αποτελείται από δυο μέρη, το συνδυαστικό κέρδος ενάντια στη ταχεία εξασθένηση και το κέρδος ενάντια στην βραδεία εξασθένηση. Επικρατεί το τελευταίο και ορίζεται ως:

$$G = \gamma_{single} - \gamma_{SHO} \quad (3.15)$$

Εάν υποθέσουμε μια πιθανότητα κάλυψης 95%, μία σταθερά διαδοσης path loss με $n=3.5$ και μια τυπική απόκλιση για βραδεία εξασθένηση των 7dB, το κέρδος θα είναι 7,3 dB – 4dB = 3,3 dB. Εάν η τυπική απόκλιση είναι μεγαλύτερη και η απαίτηση πιθανότητας κάλυψης υψηλότερη, το κέρδος θα είναι μεγαλύτερο.

Ο Πίνακας 3.1 ταξινομεί ένα παράδειγμα ενός RLB για uplink και για downlink.

3.1.4 Υπολογισμός της εμβέλειας κυψέλης και του εμβαδού κάλυψης της κυψέλης

Από τη στιγμή που είναι γνωστή η μέγιστη επιτρεπτή απώλεια διάδοσης σε μια κυψέλη είναι εύκολο να εφαρμοστεί οποιοδήποτε γνωστό μοντέλο για τον υπολογισμό εμβέλειας της κυψέλης. Το μοντέλο διάδοσης θα πρέπει να επιλεγεί ώστε να περιγράψει καλύτερα τις συνθήκες διάδοσης στην περιοχή. Στο μοντέλο οι περιορισμοί σχετίζονται με την απόσταση

Πίνακας 3.1 Παράδειγμα ενός WCDMA RLB. Αποδίδεται με την άδεια των Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων Τηλεπικοινωνιών.

	Uplink		Downlink	
Transmitter power	125.00	a	1372.97	mW
	20.97	$b = 10 \cdot \log_{10}(a)$	31.38	dBm
Tx antenna gain	0.00	c	18.00	dB
Cable/body loss	2.00	d	2.00	dB
Transmitter EIRP (incl. Losses)	18.97	$e = b + c - d$	47.38	dBm
Thermal noise density	-174.00	f	-174.00	dBm/Hz
Receiver noise figure	5.00	g	8.00	dB
Receiver noise density	-169.00	$h = f + g$	-166.00	dBm/Hz
Receiver noise power	-103.13	$i = 10 \cdot \log_{10}(W) + h$	-100.13	dBm
Interference margin	-3.01	j	-10.09	dB
Required E_b/N_0	-17.12	$k = 10 \cdot \log_{10}[E_b/N_0/(W/R)] - j$	-7.71	dB
Required Signal power [S]	-120.26	$l = i + k$	-107.85	dBm
Rx antenna gain	18.00	m	0.00	dB
Cable/body loss	2.00	n	2.00	dB
Coverage probability outdoor (requirement)	95.00		95.00	%
Coverage probability indoor (requirement)	0.00		0.00	%
Outdoor location probability (calculated)	85.62		85.62	%
Indoor location probability (calculated)	32.33		32.33	%
Limiting environment	Outdoor		outdoor	
Slow fading constant, outdoor	7.00		7.00	dB
Slow fading constant, indoor	12.00		12.00	dB
Propagation model exponent	3.50		3.50	
Slow fading margin	-7.27	o	-7.27	dB
HO gain (incl. any macrodiversity combining gain at cell edge)	0.00	p	2.00	dB
Slow fading margin + HO gain	-7.27	$q = o + p$	-5.27	dB
Indoor loss	0.00	r	0.00	dB
TPC headroom (fast fade margin)	0.00	s	0.00	dB
Allowed propagation loss	147.96	$t = e - l + m - n + q + r - s$	147.96	dB

από το σταθμό βάσης, το ενεργό ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης, το ύψος κεραίας του κινητού σταθμού και με τη συχνότητα.

Ένα τυπικό παραστατικό για το περιβάλλον με macrocells είναι το μοντέλο του Okumura- Hata (βλέπε Παράγραφο 3.2.2.1) για το οποίο η Εξίσωση (3.16) δείχνει ένα παράδειγμα για αστικό macrocell με ύψος κεραίας του σταθμού βάσης των 25m, με ύψος κεραίας κινητού σταθμού των 1,5m και με συχνότητα φέροντος των 1.950MHz [4]:

$$L_p = 138,5 + 35,7 \cdot \log_{10}(r) \quad (3.16)$$

Μετά την επιλογή της εμβέλειας της κυψέλης μπορεί να υπολογιστεί το εμβαδόν κάλυψης. Το εμβαδόν κάλυψης για μια κυψέλη είναι εξαγωνικής μορφής και μπορεί να υπολογιστεί από το:

$$S = K \cdot r^2 \quad (3.17)$$

όπου S είναι το εμβαδόν κάλυψης, r είναι η μέγιστη εμβέλεια της κυψέλης και K είναι μια σταθερά. Πάνω από έξι τομείς είναι λογικοί για το WCDMA, αλλά με τον υπολογισμό των έξι τομέων του εμβαδού κάλυψης της κυψέλης γίνεται προβληματικός, από τη στιγμή που μια θέση έξι τομέων δεν μοιάζει απαραίτητα με εξαγωνο. Μια πρόταση για τον υπολογισμό του εμβαδού κάλυψης της κυψέλης σε αυτό το στάδιο είναι η εξίσωση για την περίπτωση «omni» (πολυκατευθυντικής κεραίας), χρησιμοποιείται επίσης και στην περίπτωση των έξι τομέων και το μεγαλύτερο εμβαδόν οφείλεται στο υψηλότερο κέρδος της κεραίας. Όσο χρησιμοποιούνται πιο πολλοί τομείς, τόσο πιο προσεκτικά θα πρέπει να αναλυθεί το soft handover overhead για να εξασφαλίσει ένα ακριβή υπολογισμό. Στον Πίνακα 3.2 κατανέμονται μερικές από τις τιμές του K .

Πίνακας 3.2 Τιμές του K για τον υπολογισμό του εμβαδού θέσεως. Αναπαράγεται με την έγκριση των Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων Τηλεπικοινωνιών.

Site configuration:	Omni	2-sectored	3-sectored	6-sectored
Value of K	2.6	1.3	1.95	2.6

3.1.5 Ανάλυση της Χωρητικότητας και της Κάλυψης στη φάση της Αρχικής Σχεδίασης

Από τη στιγμή που είναι γνωστό το εμβαδόν κάλυψης θέσεως οι μορφοποιήσεις των θέσεων από την άποψη των στοιχείων καναλιού, των τομέων, των φερόντων και της πυκνότητας της θέσεως (εμβέλεια κυψέλης) θα πρέπει να επιλεγούν έτσι ώστε η πυκνότητα κίνησης να υποστηρίζεται από μια επιλεγμένη ρύθμιση των παραμέτρων που μπορεί να εκπληρώσει τις απαιτήσεις κίνησης. Στην Παράγραφο 3.3 μπορεί να φανεί ένα παράδειγμα στην περίπτωση της διαστασιοποίησης. Το WCDMA RLB είναι ελαφρώς πιο σύνθετο από αυτό του TDMA. Η εμβέλεια της κυψέλης εξαρτάται από τον αριθμό των ταυτόχρονων χρηστών (ο αριθμός των καναλιών/χρηστών από την άποψη του περιθωρίου παρεμβολής: βλέπε Εξίσωση (3.7)). Έτσι συνδέονται η κάλυψη και η χωρητικότητα και από την αρχή ο operator του δικτύου θα πρέπει να γνωρίζει και να προβλέψει τον όγκο και την κατανομή των χρηστών όταν έχουν άμεση επιρροή στην κάλυψη. Δεν είναι ασήμαντη υπόθεση βρίσκοντας τη σωστή ρύθμιση των παραμέτρων για το δίκτυο έτσι ώστε να αντιμετωπίζονται οι απαιτήσεις κίνησης και έτσι να ελαττώνεται το κόστος του δικτύου. Στο αποτέλεσμα επιδρούν ο αριθμός των φερόντων, ο αριθμός των τομέων, το φορτίο, ο αριθμός των χρηστών και η εμβέλεια της κυψέλης.

3.1.6 Διαστασιοποίηση RNC

Τα πιο πολλά κινητά ραδιοδίκτυα είναι πολύ μεγάλα για έναν ελεγκτή ραδιοδικτύου (RNC) να χειριστεί μόνος του όλη την κίνηση, έτσι όλο το εμβαδόν του δικτύου διαιρείται σε περιοχές που η καθεμία ελέγχεται από ένα απλό RNC. Σε αυτή την Παράγραφο περιγράφεται μια πρόχειρη διαστασιοποίηση και θεωρείται κανονικά ότι οι θέσεις κατανέμονται ομοιόμορφα κατά πλάτος της περιοχής του RNC και πρόχειρα μεταφέρει την ίδια ποσότητα κίνησης. Ο σκοπός της διαστασιοποίησης RNC είναι να παρέχει τον αριθμό των RNC που χρειάζονται για να υποστηρίξουν την εκτιμήσιμη κίνηση. Υπάρχουν πολλοί περιορισμοί στην χωρητικότητα του RNC και τουλάχιστον θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι από τους οποίους πρέπει να επιλεγεί ο πιο σημαντικός από αυτούς:

- Ο μέγιστος αριθμός των κυψελών (μια κυψέλη αναγνωρίζεται από μια συχνότητα και από ένα scrambling code).
- Ο μέγιστος αριθμός των BTSs (αντίστοιχος του «Node B» στην 3GPP [10] από ένα RNC).
- Το μέγιστο lub throughput
- Την ποσότητα και τον τύπο των interfaces (π.χ. STm-1, E1.)

Ο Πίνακας 3.3 δείχνει ένα παράδειγμα για τη χωρητικότητα ενός RNC με διαφορετικές μορφοποιήσεις. Ο αριθμός των RNCs χρειάζεται για να ενώσει ένα βασικό αριθμό κυψελών και μπορεί να υπολογιστεί απλά σύμφωνα με την εξίσωση (3.18):

$$numRNCs = \frac{numCells}{cellsRNC \cdot fillrate1} \quad (3.18)$$

όπου $numCells$ είναι ο αριθμός των κυψελών στο εμβαδόν (περιοχή) που διαστασιοποιείται, $cellsRNC$ είναι ο μέγιστος αριθμός των κυψελών που μπορούν να συνδεθούν σε ένα RNC και $fillrate1$ είναι το περιθώριο που χρησιμοποιείται ως απόσταση ασφαλείας από τη μέγιστη χωρητικότητα.

Πίνακας 3.3 Παράδειγμα χωρητικότητας του RNC

Configuration	Iub traffic capacity	Other interfaces			
	Iub throughput	BTSs	Cells	STm-1	E1
1	48 Mbps	128	384	4*4	6*16
2	85 Mbps	192	576	4*4	8*16
3	122 Mbps	256	768	4*4	10*16
4	159 Mbps	256	960	4*4	12*16
5	196 Mbps	384	1152	4*4	14*16

Έπειτα ο αριθμός των RNCs που χρειάζεται σύμφωνα με τον αριθμό των BTSs που είναι συνδεδεμένοι μπορεί να επαληθευθεί με την εξίσωση (3.19):

$$numRNCs = \frac{numBTSs}{btsRNC \cdot fillrate2} \quad (3.19)$$

όπου $numBTSs$ είναι ο αριθμός των BTSs στο εμβαδόν (περιοχή) διαστασιοποίησης, $btsRNC$ είναι ο μέγιστος αριθμός των BTSs που μπορούν να συνδεθούν σε ένα RNC και $fillrate2$ είναι περιθώριο που χρησιμοποιείται ως απόσταση ασφαλείας από τη μέγιστη χωρητικότητα.

Τέλος, ο αριθμός των RNCs για να διατηρήσει το Iub throughput πρέπει να υπολογιστεί με την εξίσωση (3.20):

$$numRNCs = \frac{voiceTP + CSdataTP + PSdataTP}{tpRNC \cdot fillrate3} \cdot numSubs \quad (3.20)$$

όπου $tpRNC$ είναι η μέγιστη χωρητικότητα lub, $fillrate3$ είναι το κενό που χρησιμοποιείται ως περιθώριο από αυτό, $numSubs$ είναι ο αναμενόμενος αριθμός των ενεργών συνδρομητών, και τα

$$\begin{aligned} voiceTp &= voiceErl \cdot bitrate_{voice} \cdot (1 + SHO_{voice}) \\ CSdataTP &= CSdataErl \cdot bitrate_{CSdata} \cdot (1 + SHO_{CSdata}) \\ PSdataTP &= avePSdata / PSoverhead \cdot (1 + SHO_{PSdata}) \end{aligned} \quad (3.21)$$

είναι οι επιδόσεις των ρυθμών μετάδοσης (throughputs) για φωνή, δεδομένα μεταγωγής κυκλώματος (CS) και μεταγωγής πακέτου (PS) αντίστοιχα. $voiceErl$ είναι η κίνηση για ένα απλό χρήστη φωνής, $CSdataErl$ είναι η κίνηση από μια επανεκπομπή ενός χρήστη δεδομένων τύπου CS και $avePSdata$ είναι η μέση ποσότητα των δεδομένων PS ανά χρήστη. Το PS overhead λαμβάνει υπόψη το 10% της επανεκπομπής, καθώς περιλαμβάνει το 5% overhead από το Frame Protocol και το Layer 2 RL (και MAC) overhead. Τα διαφορετικά SHOs είναι το περιθώριο (overhead) ανά υπηρεσία που προκαλείται εξαιτίας του soft handover. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση του ασύμμετρου UL και DL θα πρέπει να ληφθεί το μέγιστο αυτών και όλες οι υπηρεσίες θα πρέπει να επιδοθούν εάν υπάρχουν πολλά διαφορετικά υποσύνολα υπηρεσιών. Το Erlang και τα kbps μετρώνται ως τιμές «ανά περιοχή» και ως δεδομένα εισόδου από την πρόβλεψη κίνησης του operator. Βλέπε Πίνακα 3.4.

Πίνακας 3.4 Επεξήγηση των παραμέτρων της εξίσωσης (3.21)

$voiceErl,$	$CSdataErl,$	Αναμενόμενη ποσότητα των Erlangs ανά συνδρομητή κατά τη διάρκεια της ώρας όριος στην περιοχή του RNC.
$avePSdata / PSoverhead$ (καλείται επίσης $FP_datarate$ ή $Layer\ 2$ $data\ rate$)		Το L2 data rate+overhead παρουσιάζεται από το Frame Protocol, περιλαμβάνοντας περιθώριο επανεκπομπής (10%) και το L2+FP overhead (5%) π.χ. $L2\ data\ rate=endUserData\ rate \cdot 1,1 \cdot 0,5$ (χρησιμοποιείται μόνο για δεδομένα μεταγωγής πακέτου, για CS data δεν υπάρχει επιπλέον overhead).
$SHO_{voice}, SHO_{CSdata},$ SHO_{PSdata}		Το overhead εξαιτίας του soft handover τυπικά 30-40% (π.χ. 30-40% των MS συνδέονται σε δύο ή περισσότερους BS την ίδια στιγμή και αυτό το επιπλέον 30-40% της κίνησης τερματίζεται από το RNC, ωστόσο χρειάζεται στο RNC η χωρητικότητα εκπομπής).

Παράδειγμα διαστασιοποίησης RNC

Στη βασική περιοχή υπάρχουν 800 BTS. Κάθε BTS έχει τρεις τομείς με δυο συχνότητες που χρησιμοποιούνται ανά τομέα. Εάν θεωρήσουμε μια μέγιστη χωρητικότητα του μεγέθους $cellsRNC = 1.152$ κυψέλες ανά RNC και ένα $fillrate$ του 90%, τότε ο αριθμός των RNCs που χρειάζεται δίνεται από την εξίσωση (3.18):

$$\frac{800 \cdot 3 \cdot 2}{1.152 \cdot 0,9} = 4,6 RNCs \quad (3.22)$$

Εάν υποθέσουμε ότι μπορεί ένα RNC να υποστηρίξει $btsRNC = 384$ BTS και καταλαμβάνει το 90% για $fillrate2$, η εξίσωση (3.19) οδηγεί στο ακόλουθο αποτέλεσμα για τον αριθμό των RNCs που χρειάζεται:

$$\frac{800}{384 \cdot 0,9} = 2,3 RNCs \quad (3.23)$$

Τελικά αν θεωρήσουμε την ακόλουθη μορφή κίνησης:

- Voice Service: $voiceErl = 25$ mErl/subs, $bitrate_{voice} = 16$ kbps
- CS data service 1: $CSdataErl = 10$ mErl/subs, $bitrate_{CSdata} = 32$ kbps
- CS data service 2: $CSdataErl = 5$ mErl/subs, $bitrate_{CSdata} = 64$ kbps
- PS data services: $avePSdata = 0,2$ kbps/subs, $PSoverhead = 15\%$

με ένα συντελεστή SHO για όλες τις υπηρεσίες του 40% με ένα σύνολο των 350.000 συνδρομητών και με μέγιστη χωρητικότητα lub του $tpRNC = 196$ Mbps και με $fillrate3$ του 90%, οι εξισώσεις (3.20) και (3.21) αποδίδουν:

$$\frac{(0,025 \cdot 16kbps + 0,010 \cdot 32kbps + 0,005 \cdot 64kbps + 0,2kbps / 0,87) \cdot 1,4 \cdot 350000}{196 \text{ Mbps} \cdot 0,9} = 3,5 RNCs \quad (3.24)$$

Παρατηρείται ότι για την παραπάνω υπηρεσία φωνής, θεωρούνται αποτελεσματικοί οι ρυθμοί εισόδου και εξόδου του RNC 11,7 kbps (για EFR 12,2 kbps και 50% DTX), όμως τα 16kbps χρησιμοποιούνται για το κανάλι φωνής του αριθμού των RNC που χρειάζονται βάσει των περιορισμών της επεξεργασίας του RNC. Θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα 11,7 kbps

για ένα ATM που βασίζεται στη μεταγωγή με RNC χωρίς τη λειτουργία transcoding*. Ο λόγος χρησιμοποίησης των 16kbps είναι για να εκτιμηθεί ότι ένα χαμηλότερο bit rate του καναλιού απαιτεί πιο πολύ επεξεργασία χωρητικότητας (user και control place) μέσα στο RNC, όπως ένα κανάλι των 16 kbps.

Τώρα παίρνουμε τα τρία παραπάνω αποτελέσματα από τις εξισώσεις (3.22) έως (3.24), για τον αριθμό των RNCs που χρειάζονται, ο οποίος σε αυτό το παράδειγμα είναι 4,6 RNCs. Στην πράξη αυτό σημαίνει τέσσερα RNC με μέγιστη χωρητικότητα και ένα RNC με μικρότερη (απαίτηση) ρύθμιση παραμέτρων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι είναι περιοριστικός παράγοντας χρησιμοποιώντας ένα τυπικό πλάνο BTS τριών τομέων ή τον αριθμό των κυψελών ή ακόμη τον αριθμό των αποδόσεων μετάδοσης (throughputs). Τυπικά ένα RNC μπορεί να υποστηρίξει πολλές εκατοντάδες BTSs. Ωστόσο σε ένα πρακτικό δίκτυο, αναμένεται να είναι σημαντικά λιγότερος ο αριθμός των BTSs.

Βάση της υποστηριζόμενης κίνησης ή της πραγματικής αναμενόμενης κίνησης υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι στη διαστασιοποίηση του RNC, όπως ακολουθεί (Σημείωση ότι σε οποιαδήποτε μέθοδο πρέπει να περιλαμβάνονται το overhead, το πρωτόκολλο air interface και το πρώτο SHO overhead).

- **Υποστηριζόμενη κίνηση (το ανώτερο όριο της επεξεργασίας του RNC).**

Αυτό παριστάνει τη σχεδιασμένη χωρητικότητα εξοπλισμού (και ασύρματου) του δικτύου. Είναι το ανώτερο όριο για το τι χρειάζεται να υποστηρίξει η επεξεργασία του RNC. Κανονικά η χωρητικότητα σχεδιάζεται έτσι ώστε να είναι παραπάνω από την απαιτούμενη κίνηση. Ωστόσο στην περίπτωση των υπηρεσιών δεδομένων, εάν ο operator απαιτεί υπηρεσία των 384 kbps, τότε θα χρειαστεί να σχεδιαστεί κάθε κυψέλη για μετάδοση (throughput) των 384 kbps. Αυτό συνήθως δίνει πάρα πολύ χωρητικότητα δεδομένων, εάν αναλογεί σε ολόκληρο το δίκτυο. Ένα RNC διαστασιοποιείται βάση της υποστηριζόμενης κίνησης που είναι ικανό να προσφέρει ένα throughput των 384 kbps σε κάθε κυψέλη του δικτύου στην ίδια χρονική στιγμή.

- **Απαιτούμενη κίνηση (το κατώτερο όριο της επεξεργασίας του RNC)**

Αυτό παριστάνει την πραγματική κίνηση που πρέπει να μεταφέρεται κατά τη διάρκεια της ώρας όριος (busy hour), βάση της πρόβλεψης του operator για το δίκτυο και είναι μια μέση τιμή κατά πλάτος του δικτύου. Ένα RNC που διαστασιοποιείται βάση της απαιτούμενης κίνησης μπορεί να πραγματοποιήσει τη μέση κίνηση, όπως προβλέπεται από τον operator, δε

* transcoding: λειτουργία πριν από το RNC μαζεύει τις γραμμές των BSs σε ομάδες (ανάλογα με το bit rate) και έπειτα τις πολυπλέκει.

δίνει όμως περιθώριο για δυναμική μεταβολή στην κίνηση των δεδομένων (με εξαίρεση τη σταθεροποίηση και την αύξηση καθυστέρησης της υπηρεσίας). Ωστόσο θα θεωρείται ως το κατώτερο όριο της απαίτησης επεξεργασίας. Σημειώνεται ότι:

- η επεξεργασία στο RNC χρειάζεται να περιλαμβάνει το soft handover overhead,
- η κίνηση φωνής μπορεί να μετατραπεί σε kbps (1 κανάλι φωνής=16kbps), για την επιδίωξη του υπολογισμού φορτίου του Iu interface.

- **RNC transmission interface to Iub**

Εάν ένα RNC διαστασιοποιηθεί για να υποστηρίξει N σταθμούς βάσης ,η ολική χωρητικότητα για το Iub interface θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από N φορές της χωρητικότητας εκπομπής ανά θέση, ανεξάρτητα από το πραγματικό φορτίο στο Iub interface.

- **Αρχή μπλοκαρίσματος του RNC.**

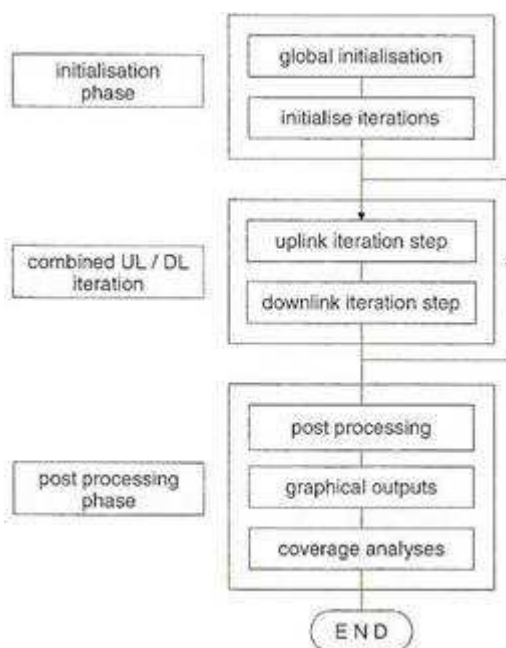
Κανονικά το RNC διαστασιοποιείται σύμφωνα με τον υποτιθέμενο μπλοκάρισμα στον κάθε BS, (από το admission control του Iub ή του admission control του air interface). Εξαιτίας του επιτρεπτού ελέγχου στο BS, η κύρια αναλογία της μέγιστης κίνησης του συνδρομητή δε φαίνεται από το RNC. Συνεπώς μπορούμε να μετατρέψουμε το Erlang ανά BS σε φυσικά κανάλια ανά BS και να χρησιμοποιήσουμε το αποτέλεσμα για να υπολογίσουμε τον αριθμό των RNCs που χρειάζεται. Ομοίως, για την κίνηση NRT, μπορούμε να διαιρέσουμε τη μέση παρεχόμενη κίνηση με (1-το περιθώριο από το _μέγιστο throughput_ δεδομένων). Το RNC δεν παρουσιάζει επιπλέον μπλοκάρισμα στην παρεχόμενη κίνηση με αυτόν τον τρόπο.

- Ένα RNC μπορεί να διαστασιοποιηθεί απευθείας σύμφωνα με την πραγματική κίνηση του συνδρομητή στην περιοχή, για παράδειγμα, μπορεί να επιτρέψει μια ίδια ποσότητα μπλοκαρίσματος, όπως καθορίζεται για το Iu Interface. Σε αυτήν την περίπτωση, εξαιτίας του μεγάλου αριθμού των Erlangs ανά περιοχή RNC, η τιμή του Erlang μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για τον υπολογισμό των RNCs που χρειάζονται.

3.2 Αναλυτική Σχεδίαση

Σε αυτή την Παράγραφο παρουσιάζεται η αναλυτική σχεδίαση ραδιοδικτύου με τη βοήθεια ενός στατικού προσομοιωτή ραδιοδικτύου (εργαλείο RNP). Άλλοι στατικοί προσομοιωτές περιγράφονται, ως παράδειγμα στις αναφορές [18] και [19]. Ο προσομοιωτής που αποδίδεται σε αυτό το βιβλίο, χρησιμοποιήθηκε στις πιο πολλές μελέτες που παρουσιάζονται στο βιβλίο αυτό. Ως είσοδος χρειάζεται ένας ψηφιακός χάρτης, το σχέδιο του δικτύου και η κατανομή της κίνησης σε μορφή διακριτικού χάρτη του χρήστη. Στο στατικό

προσομοιωτή κάθε ένας από τους χρήστες μπορούν να έχουν διαφορετική ταχύτητα ακόμη και όταν ο χρήστης δεν κινείται πραγματικά. Αυτή η ταχύτητα και η υπηρεσία (bit rate και συντελεστής δραστηριότητας-activity factor, οι οποίοι μπορούν να είναι διαφορετικοί για uplink και downlink) χρησιμοποιούνται μαζί ορίζοντας τις ιδιαίτερες απαιτήσεις E_b/N_0 τα περιθώρια και τα κέρδη που δηλώνονται από τις προσομοιώσεις επιπέδου-ζεύξεως.



Σχήμα 3.2 Συνολική εικόνα του στατικού προσομοιωτή

Από μόνος του ο προσομοιωτής αποτελείται από τρία βασικά μέρη-την αρχικοποίηση, τη σύνθετη ανάλυση uplink και downlink και τη φάση μετεπεξεργασίας (βλέπε Σχήμα 3.2). Η ακόλουθη αρχικοποίηση αναλύει όλους τους κινητούς σταθμούς επαναλαμβανόμενα και για uplink και για downlink στο κύριο μέρος αυτού του εργαλείου. Στο τελευταίο στάδιο αφού έχει εκπληρωθεί το κριτήριο σύγκλισης μετά τις επαναλαμβανόμενες λειτουργίες (πράξεων), μετεπεξεργάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων uplink και downlink για διάφορες γραφικές και αριθμητικές εξόδους. Στην κορυφή αυτών των αποτελεσμάτων για επιλεγμένες περιοχές (οι οποίες μπορούν να αποτελούν ολόκληρο το δίκτυο) μπορούν να εκτελεστούν οι αναλύσεις κάλυψης περιοχής για τα αποκλειστικά κανάλια uplink και downlink, καθώς και για τα κοινά κανάλια (κοινό πιλοτικό κανάλι CPICH, κανάλι ελέγχου μετάδοσης BCCH, κανάλια FACH και κανάλια ειδοποίησης FACH και PCH στο P-CCPCH και /ή στο S-CCPCH). Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η παρεμβολή του γειτονικού καναλιού (ACI) στην περίπτωση που παρουσιάζεται ένα δεύτερο φέρον στην περιοχή δικτύου, από τον ίδιο operator, είτε από έναν διαφορετικό operator. Μόνο εάν δίνεται το δεύτερο φέρον στον ίδιο operator φορτίου μπορεί

να διαμοιραστεί σύμφωνα με τις διαφορετικές στρατηγικές μεταξύ των φερόντων εκτελώντας το handover ενδιάμεσης συχνότητας (IF-HO).

Η ανάλυση γίνεται ως ακολούθως: Η Παράγραφος 3.2.1 κατανέμει τις γενικές απαιτήσεις για ένα εργαλείο RNP.

Στις Παραγράφους 3.2.2 - 3.2.5 παρουσιάζονται οι αναλυτικές διαδικασίες και οι υπολογισμοί στις τρεις διαφορετικές φάσεις της ανάλυσης. Η Παράγραφος 3.2.2 περιγράφει τη φάση αρχικοποίησης, η Παράγραφος 3.2.4 δείχνει πως μπορεί να μοντελοποιηθεί η παρεμβολή ενός γειτονικού καναλιού (ACI). Τέλος η Παράγραφος 3.2.5 ασχολείται με τη φάση της μετεπεξεργασίας.

3.2.1 Γενικές απαιτήσεις για ένα εργαλείο RNP

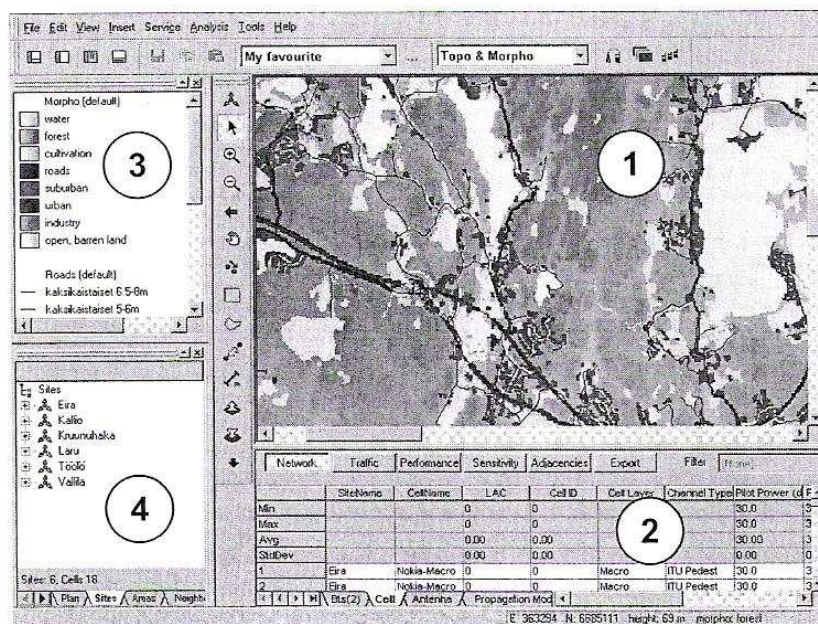
Τα εργαλεία σχεδίασης ραδιοδικτύου (RNP) παίζουν πάντα σημαντικό σκοπό στην καθημερινή εργασία των χειριστών δικτύου. Όταν καθορίζονται οι απαιτήσεις των επιχειρήσεων για τα ζητήματα των υπηρεσιών που βασίζονται στα επιχειρηματικά σχέδια, το έργο των σχεδιαστών δικτύου είναι να εκπληρώσουν τα δεδομένα κριτήρια με την ελάχιστη κεφαλαιουχική επένδυση. Τυπικά, οι παράμετροι εισόδου περιλαμβάνουν απαιτήσεις σχετικά με την ποιότητα, τη χωρητικότητα και την κάλυψη για κάθε υπηρεσία. Τα πιο πολλά δίκτυα δεύτερης-γενιάς έχουν προσφέρει μόνο υπηρεσίες φωνής. Στα δίκτυα τρίτης-γενιάς, υπάρχουν πολλοί και διάφοροι τύποι υπηρεσιών (φωνής και δεδομένων) και ένα μεγάλο πλήθος διαφορετικών υπηρεσιών, οι οποίες μπορούν να έχουν όλες διαφορετικές απαιτήσεις. Έτσι παίζουν ένα ακόμη μεγαλύτερο ρόλο τα εργαλεία σχεδίασης τρίτης γενιάς στη φάση της αναλυτικής σχεδίασης δικτύου από την περίπτωση των δικτύων δεύτερης γενιάς. Είναι απαραίτητο να βρεθεί μια βέλτιστη παροχή μεταξύ των κριτηρίων ποιότητας, χωρητικότητας και κάλυψης για όλες τις υπηρεσίες σε ένα εγχειρίδιο υπηρεσίας του operator. Ένας τρόπος βοήθειας για τους σχεδιαστές δικτύου στην εύρεση της αποδεκτής παροχής είναι ακόμη και τώρα τα εργαλεία σχεδίασης ραδιοδικτύου (RNP).

Ένα ή περισσότερα εργαλεία σχεδίασης ραδιοδικτύου θα βοηθήσουν το σχεδιαστή δικτύου σε ολόκληρη τη διαδικασία σχεδίασης, στη διαστασιοποίηση κάλυψης, στην αναλυτική σχεδίαση και τέλος στη βελτιστοποίηση δικτύου όταν διατηρείται μετά την εφαρμογή.

Τυπικά ένα απλό εργαλείο δεν μπορεί να υποστηρίξει όλες τις φάσεις της διαδικασίας σχεδίασης. Αντίθετα ένα εργαλείο είναι αποκλειστικό στη διαστασιοποίηση, ένα άλλο στη σχεδίαση δικτύου, ένα τρίτο στη βελτιστοποίηση κ.ο.κ. Σε σύγχρονες εφαρμογές όλα τα εργαλεία που απαιτούνται είναι κανονικώς ολοκληρωμένα, πανομοιότυπα σε ένα πακέτο, η

οποία αποτελείται από μια συνοδεία εργαλείων. Εάν εκτελεστεί σωστά αυτή η ολοκλήρωση, τότε ο τελευταίος χρήστης, εδώ ο σχεδιαστής δικτύου δε θα γνωρίζει ότι αυτός ή αυτή χρησιμοποιεί πραγματικά πολλά εργαλεία όταν εκτελούνται οι ενέργειες της σχεδίασης.

Αυτή η Παράγραφος δίνει τις απαιτήσεις για ένα εργαλείο σχεδίασης της ραδιοπρόσβασης δικτύου που θα υποστηρίζει τις απεικονιζόμενες φάσεις της διαδικασίας σχεδίασης.



Σχήμα 3.3 Βασική επιφάνεια εργασίας του χρήστη σε ένα εργαλείο RNP

Το εργαλείο που περιγράφεται είναι εκ φυσικού στατικό, δηλ. αυτό σημαίνει ότι ο προσομοιωτής μοντελοποιεί ένα στιγμιότυπο τη φορά αντίθετα με τη δυναμική μοντελοποίηση των ενεργών κλήσεων.

Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται ένα παράδειγμα ενός σύγχρονου εργαλείου RNP επιφάνεια εργασίας (interface) του χρήστη. Αποτελείται από:

1. Το χάρτη
2. Τον πλοηγό (browser)
3. Ένα υπόμνημα χάρτου και,
4. Το δέντρο στοιχείων του δικτύου.

Στο Σχήμα 3.4 παρουσιάζεται η ροή εκτέλεσης που υποστηρίζεται από ένα τυπικό εργαλείο RNP. Στο Σχήμα 3.1 ξεκινά η δοσμένη διαδικασία που είναι φυσικά μέρος

ολόκληρης της διαδικασίας σχεδίασης δικτύου. Αυτή η Παράγραφος καλύπτει τη ροή εργασίας όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.4

3.2.1.1 Προετοιμασίες για τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου

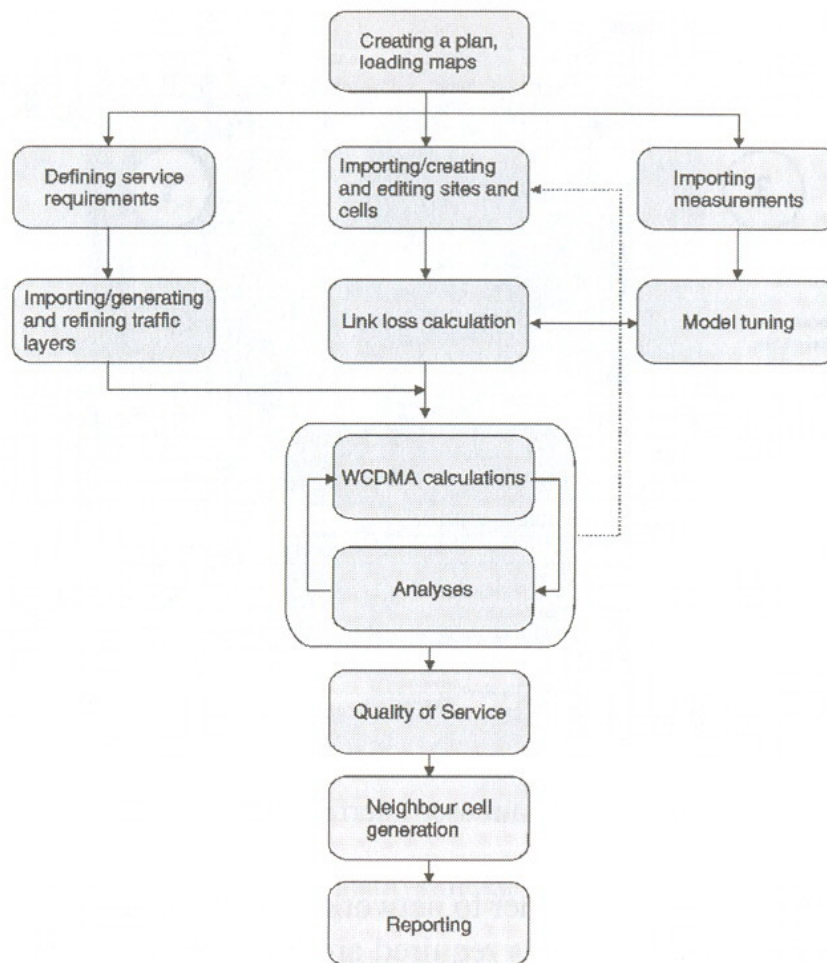
Ψηφιακός χάρτης

Η πιο σημαντική, βασική και προκαταρκτική απαίτηση για οποιοδήποτε εργαλείο RNP είναι ο γεωγραφικός χάρτης της περιοχής σχεδίασης. Ο χάρτης χρειάζεται για τις προβλέψεις κάλυψης (απώλειες ζεύξεως) και συνεπώς, τα δεδομένα απωλειών ζεύξεως χρησιμοποιούνται για τη φάση του αναλυτικού υπολογισμού και για τους σκοπούς της ανάλυσης. Ένας ψηφιακός χάρτης, για τους σκοπούς της σχεδίασης δικτύου, θα πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον τα τοπογραφικά στοιχεία (ύψος εδάφους), τα μορφολογικά στοιχεία (τύπος εδάφους, τύπος μορφολογίας εδάφους) και τα δεδομένα τοποθεσίας και ύψους των κτιρίων στη μορφή των χαρτών καθοδήγησης.

Στους ψηφιακούς χάρτες είναι επιπλέον σημαντικό να περιλαμβάνονται τα διανυσματικά δεδομένα των κτιρίων για τις θέσεις αυτών. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί, εφόσον είναι διαθέσιμη η (γραφική raster ή η διανυσματική) πληροφορία του δρόμου στις βασικές λειτουργίες, όπως είναι η μοντελοποίηση κίνησης και οι προβλέψεις κάλυψης.

Μια γραφική μονάδα raster (γνωστή ως «ανάλυση») είναι συνήθως στην περιοχή του 1 έως 200m. Τυπικά σε αστικές περιοχές η ελάχιστη αποδεκτή ανάλυση είναι 12,5m, ενώ στις αγροτικές περιοχές είναι συνήθως από 50-100m. Ωστόσο, σαν εμπειρική μέθοδο, όσο πιο πολύ ακριβής είναι ο χάρτης (καλύτερη ανάλυση), τόσο θα μπορούν να επιτυγχάνονται πιο ακριβή αποτελέσματα υπολογισμού. Επίσης θα χρειαστεί μια ανάλυση υψηλή π.χ των 5m για τις πυκνές αστικές περιοχές, όταν σχεδιάζονται δίκτυα τρίτης-γενιάς, αφού θα είναι μικρά τα γεωγραφικά μεγέθη των κυψελών.

Η δυνατότητα υποστήριξης διαφόρων συστημάτων προβολών, ελλειψοειδών συστημάτων και συστημάτων συντεταγμένων, είναι και άλλες γενικές απαιτήσεις για τους ψηφιακούς χάρτες του εργαλείου σχεδίασης ραδιοδικτύου. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν την προβολή Universal Transverse Mercator και τον ελλειψοειδή WGS-84. Τα απαραίτητα συστήματα συντεταγμένων δεν εξαρτώνται μόνο από τις εσωτερικές ανάγκες του εργαλείου RNP, αλλά επίσης συνδέεται με το εξωτερικό software του εργαλείου RNP.



Σχήμα 3.4 Παράδειγμα της ροής εκτέλεσης που παρέχεται από τα εργαλεία RNP

Σχέδιο

Ένα σχέδιο είναι μια λογική ιδέα για την ένωση των διαφόρων στοιχείων των δεδομένων σε ένα «πακέτο», το οποίο θα είναι κατανοητό στο σχεδιαστή δικτύου. Τυπικά προσδιορίζονται τα ακόλουθα στοιχεία:

- Ο Ψηφιακός χάρτης
- Οι ιδιότητες του χάρτη, όπως η προβολή και η έλλειψη
- Η επιθυμητή περιοχή σχεδίασης
- Η επιλεγμένη τεχνολογία ραδιοπρόσβασης
- Οι παράμετροι εισόδου για τους υπολογισμούς
- Τα μοντέλα κεραιών

Προτού ξεκινήσουν οι πραγματικές ενέργειες της σχεδίασης ραδιοδικτύου δημιουργείται και προσδιορίζεται ένα σχέδιο. Θα περιέχει πάντα όλες τις μορφοποιήσεις των ρυθμίσεων και τις τιμές της παραμέτρου για τα σχεδιασμένα στοιχεία του δικτύου. Στην πράξη, το σχέδιο περιέχει όλους τους BTS και τελικά τα δεδομένα της κυψέλης αναπτύσσονται στο πραγματικό δίκτυο. Στα σύγχρονα εργαλεία υποστηρίζονται πολλές τεχνολογίες ραδιοπρόσβασης σε ένα σχέδιο, εξασφαλίζοντας έτσι έναν τρόπο σχεδίασης συστημάτων δεύτερης γενιάς και τρίτης-γενιάς ταυτόχρονα.

Ένα εργαλείο RNP θα πρέπει να δημιουργεί, να ορίζει και να αποθηκεύει και να αποκαθιστά πολλά κριτήρια, έτσι ώστε να μπορούν να συγκριθούν πολλές εκδοχές της ίδιας επιθυμητής περιοχής από την άποψη του ποια εκδοχή είναι καλύτερη να εκπληρώσει τα δεδομένα κριτήρια ποιότητας, χωρητικότητας και κάλυψης. Φυσιολογικά, ένα εργαλείο RNP θα παρέχει επίσης το μέσον πρόσβασης των διαφορών μεταξύ των πολλαπλών σχεδίων, για παράδειγμα οι αναφορές «Δέλτα» των επιλεγμένων χαρακτηριστικών, όπως είναι η κάλυψη ή τα σχεδιασμένα στοιχεία του δικτύου.

Antenna Editor (Επεξεργαστής των παραμέτρων κεραίας)

Στα εργαλεία RNP, η «κεραία» είναι μια λογική έννοια που περιέχει το σχήμα ακτινοβολίας της κεραίας και τις παραμέτρους, όπως είναι το κέρδος της κεραίας και η ζώνη συχνότητας. Αφού προσδιοριστεί η κεραία, μπορεί έπειτα να δοθεί και να χρησιμοποιηθεί για τις επιλεγμένες προβλέψεις κάλυψης και προβλέψεις της κυψέλης.

Τυπικά, ο ορισμός της κεραίας αρχίζει από την εισαγωγή των σχημάτων ακτινοβολίας στο εργαλείο RNP. Οι πωλητές κεραίων προμηθεύουν τους χειριστές με εγχειρίδια (data sheets) που περιέχουν την απαραίτητη πληροφορία (κατευθυντικότητα και κέρδος) του σχήματος ακτινοβολίας. Τα δεδομένα κεραίας του ειδικού πωλητή μετατρέπονται και εισάγονται στο εργαλείο RNP και έπειτα μπορούν να προσδιοριστούν οι λογικές κεραίες και να αποθηκευτούν τα μοντέλα κεραίων στη βάση δεδομένων του εργαλείου RNP.

Τα σύγχρονα εργαλεία RNP παρέχουν υποστήριξη για την εικονογράφηση των σχημάτων ακτινοβολίας και επίσης για τη χειροκίνητη διόρθωση των σχημάτων. Τυπικά υποστηρίζονται δυο τύποι μοντέλων κεραίας στα εργαλεία RNP: το γενικό μοντέλο και το μοντέλο ειδικού σχεδίου. Τα γενικά μοντέλα κεραίων διατίθενται για όλα τα σχέδια. Εάν τροποποιηθούν τέτοια μοντέλα είναι διαθέσιμα σε όλα τα νέα σχέδια που δημιουργήθηκαν μετά από αυτά. Τα μοντέλα κεραίων συγκεκριμένου σχεδίου ανήκουν στις ιδιαίτερες αλλαγές και στα ιδιαίτερα σχέδια σε αυτά που δεν επηρεάζουν τα γενικά μοντέλα.

Propagation Model Editor (Επεξεργαστής μοντέλου διάδοσης)

Συνήθως οι χειριστές θα πρέπει να ξεχωρίζουν τα περιφερειακά και τα κεντρικά τμήματα σχεδίασης. Ένα καθήκον του κεντρικού τμήματος σχεδίασης είναι να παρέχει τα περιγράμματα (λίστες διαλόγου και τις προεπιλογές για τα περιφερειακά τμήματα σχεδίασης. Ένα συγκεκριμένο παράδειγμα είναι έχοντας ένα προεπιλεγμένο μοντέλο πρόβλεψης της κάλυψης. Τυπικά προπαρασκευάζονται λίγα μοντέλα διάδοσης για τον κάθε τύπο περιοχής για τα περιφερειακά τμήματα σχεδίασης. Το προκαθορισμένο μοντέλο μπορεί να φτιαχτεί ειδικά σε επίπεδο περιφερειακό σύμφωνα με τις τοπικές συνθήκες.

Ένα εργαλείο RNP θα πρέπει να εξασφαλίζει αυτήν την ευκολία και συνήθως τα σύγχρονα μοντέλα περιλαμβάνουν τον επονομαζόμενο συντονισμό του μοντέλου διάδοσης ή τα εργαλεία επεξεργασίας. Ο συντονισμός βασίζεται από μόνος του στις μετρήσεις πεδίου που παρέχουν τις συντεταγμένες με τη βασική ισχύ του σήματος δεδομένων. Αργότερα περιγράφεται ο συντονισμός του μοντέλου σε αυτή την Παράγραφο.

Όπως με τα μοντέλα κεραιών, έτσι και με τα σύγχρονα εργαλεία RNP διατίθενται δυο μοντέλα διάδοσης: το γενικό μοντέλο και το μοντέλο συγκεκριμένου σχεδίου. Εφαρμόζονται παρόμοιοι κανόνες: εάν τροποποιηθεί ένα γενικό μοντέλο διάδοσης, τότε θα είναι διαθέσιμες οι αλλαγές σε όλα τα επακόλουθα παραγόμενα σχέδια.

Τα εργαλεία RNP θα υποστηρίξουν επίσης διαφορετικά χαρακτηριστικά σχεδίασης της περιοχής και διαφορετικά περιβάλλοντα διάδοσης. Ωστόσο θα πρέπει να υποστηρίζονται τα διάφορα μοντέλα: Τα μοντέλα Okumura-Hata, Walfish-Ikegami και η απεικόνιση ray-tracing (βλέπε παρακάτω) παρέχονται τυπικά από τα εργαλεία RNP. Το μοντέλο Okumura-Hata είναι το πιο εξυπηρετικό για τα macrocells στα οποία η κεραία τοποθετείται πάνω από το επίπεδο του ύψους κορυφής των κτιρίων. Το μοντέλο Walfish-Ikegami προορίζεται για σχεδίαση μικρών κυψελών, όπου η μέγιστη ακτίνα της κυψέλης θα είναι 3-5km.

Οι τεχνικές εικονογράφησης ανυσμάτων (ray-tracing) εφαρμόζονται μόνο στα περιβάλλοντα με microcells σε πυκνές αστικές περιοχές, όταν είναι κανονικά διαθέσιμα τα δεδομένα του ακριβή χάρτη μόνο για τέτοιες αστικές περιοχές και συνήθως είναι μεγάλοι οι χρόνοι υπολογισμού για τη σχεδίαση του δικτύου.

Στην Παράγραφο 3.2.2.1 μπορούν να βρεθούν περισσότερες πληροφορίες για τα μοντέλα διάδοσης.

Τύποι BTS και Περιγράμματα (πρότυπα) Θέσεων/ Κυψελών

Οι προεπιλογές παραμέτρων των στοιχείων δικτύου και οι τυπικές μορφοποιήσεις των θέσεων είναι επιπλέον παραδείγματα των περιγραμμάτων και των προεπιλογών που θα πρέπει να παρέχονται από το κεντρικό τμήμα σχεδίασης του operator. Ένα εργαλείο RNP θα πρέπει να παρέχει λειτουργικότητα για τον καθορισμό και το χειρισμό των γενικών ρυθμίσεων hardware, την προεπιλεγμένη ρύθμιση και τις ρυθμίσεις παραμέτρου για τα στοιχεία του δικτύου, όπως είναι οι θέσεις και οι κυψέλες. Ο προσδιορισμός των HW BTS είναι ένα τυπικό παράδειγμα μιας προεπιλεγμένης διαμόρφωσης HW. Οι πωλητές δικτύου hardware αναβαθμίζουν τακτικά τα ηλεκτρονικά τους μέρη στα συστήματα 2G και 3G, προσθέτοντας στις μετέπειτα παραγωγές περισσότερη λειτουργικότητα και χωρητικότητα. Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι το πιο φυσικό hardware μπορεί να εγκατασταθεί στις μετέπειτα γενιές hardware. Φυσικά αυτό σχετίζεται πολύ με τον πραγματικό αριθμό των BTS που χρειάζονται και τις θέσεις στο σχεδιασμένο δίκτυο και θα ληφθεί υπόψη στο εργαλείο RNP, όταν εκτελούνται οι υπολογισμοί:

Το περίγραμμα του BTS hardware για το WCDMA μπορεί να περιλαμβάνει:

- Το μέγιστο αριθμό των επεξεργαστών ευρυζωνικού σήματος
- Το μέγιστο αριθμό των μονάδων καναλιού
- Τη μορφή θορύβου
- Και τους διαθέσιμους τύπους δυνατότητας Tx/Rx

Στα πλαίσια διαλόγου (templates) των θέσεων μπορούν να περιλαμβάνουν τις προκαθορισμένες τιμές για τη ρύθμιση των παραμέτρων της κυψέλης, τις διευθύνσεις της κεραίας, η χωρητικότητα του BTS hardware και τα μοντέλα διάδοσης που χρησιμοποιούνται π.χ. στις κυψέλες. Επίσης οι λίστες διαλόγων των θέσεων καθορίζονται από το κεντρικό τμήμα σχεδίασης.

Όταν έχει καθοριστεί η θέση των BSs στο χάρτη, οι τιμές προεπιλογής προέρχονται αυτομάτως από τις προεπιλογές θέσεως όταν σχεδιάζεται η παράταξη των θέσεων. Αυτό μπορεί να μειώσει σημαντικά το χρόνο που χρειάζεται εισάγοντας χειροκίνητα αυτές τις παραμέτρους, αν και στις πιο πολλές περιπτώσεις η χειροκίνητη εισαγωγή των παραμέτρων θα παραμένει αναγκαία, όταν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι προεπιλογές σε όλες τις περιπτώσεις.

Μία λίστα διαλόγου θέσεως (BS) μπορεί να περιλαμβάνει τις γενικές πληροφορίες θέσεως, την πληροφορία BTS και την πληροφορία διαλόγου της κυψέλης για τη θέση, όπου μία λίστα κυψέλης WCDMA μπορεί να περιλαμβάνει τον τύπο layer της κυψέλης, το μοντέλο καναλιού, τις επιλογές δυνατότητας T_x/R_x τις ρυθμίσεις ισχύος, το μέγιστο επιτρεπτό φορτίο,

το μοντέλο διάδοσης που χρησιμοποιείται, την πληροφορία της κεραίας και τις απώλειες καλωδίων.

3.2.1.2 Σχεδίαση

Εισαγωγή θέσεων των BSs

Όταν σχεδιάζονται δίκτυα τρίτης γενιάς, ένα τυπικό σενάριο είναι ότι ένας operator μπορεί να ελπίζει όσο το δυνατό περισσότερο στην εκμετάλλευση των δικτύων δεύτερης γενιάς. Ωστόσο, για ένα εργαλείο RNP, είναι σημαντικό να παρέχει υποστήριξη για την εισαγωγή των θέσεων 2G και τα βασικά δεδομένα της κεραίας σε ένα νέο σχέδιο, όταν δημιουργείται ένα σχέδιο δικτύου για δίκτυα 2G και 3G. Η λειτουργικότητα εισαγωγής της θέσεως φέρνει αυτομάτως σε ένα σχέδιο του εργαλείου RNP, τις πληροφορίες θέσεως και τις πληροφορίες κεραίας. Φυσικά μια τέτοια αυτόματη εισαγωγή των δεδομένων εξοικονομεί το χρόνο των σχεδιαστών δικτύου. Η εισαγόμενη πληροφορία μπορεί να περιλαμβάνει την θέση, το ύψος εδάφους της θέσεως, τον αριθμό των κυψελών και τις διευθύνσεις της κεραίας.

Επεξεργασία θέσεων των BSs και των Κυψελών

Αφού έχουν εισαχθεί τα δεδομένα της υπάρχουσας θέσης μπορεί να εξακολουθεί να είναι απαραίτητο να προστεθούν χειροκίνητα οι θέσεις ή οι κυψέλες. Επίσης χρειάζεται τυπικά η τροποποίηση των παραμέτρων και των πληροφοριών της κεραίας κατά τη διάρκεια των «παραδοσιακών» λειτουργιών σχεδίασης δικτύου.

Τα εργαλεία RNP θα πρέπει να παρέχουν μέσα που να προσθέτουν και να διορθώνουν τα στοιχεία δικτύου χειροκίνητα, το πιο σημαντικό είναι η χειροκίνητη πρόσθεση των απλών στοιχείων και η πρόσθεση των στοιχείων από τις λίστες διαλόγου.

Όταν τοποθετηθούν τα στοιχεία δικτύου στις σχεδιασμένες τοπογραφικές θέσεις, θα πρέπει να ελεγχθούν οι παράμετροί τους, πριν ξεκινήσουν οι υπολογισμοί του καταναλισκόμενου χρόνου. Οι παράμετροι ελέγχονται επικαλούμενες τις παρουσιάσεις του στοιχείου δικτύου ή από τους ειδικούς πλοηγούς που συνήθως κατανέμουν όλα τα στοιχεία του δικτύου από το ισχύον σχέδιο (ή από την περιοχή σχεδίασης). Από αυτούς τους πλοηγούς φαίνεται αμέσως η κάλυψη των δεδομένων ολόκληρου του δικτύου και οι οποιοσδήποτε μεταβολές στις ρυθμίσεις των παραμέτρων.

Προσδιορίζοντας των Απαιτήσεων Υπηρεσίας και Μοντελοποίηση της Κίνησης

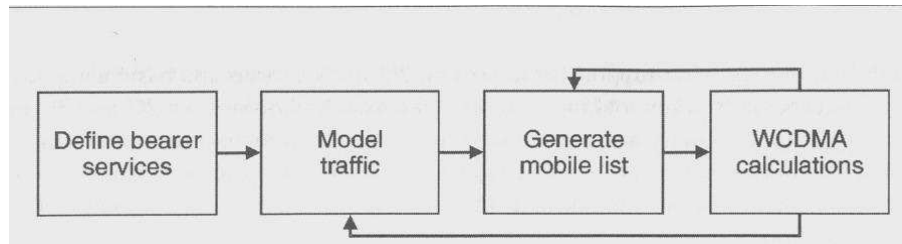
Οι απαιτήσεις υπηρεσίας και οι απαιτήσεις μοντελοποίησης κινήσεως σχηματίζουν μια βάση για την εξελιγμένη σχεδίαση δικτύου και για τον υπολογισμό της αλληλεπίδρασης της κάλυψης και της χωρητικότητας. Επίσης τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας φέροντος και της μοντελοποίησης κινήσεως θα επιτρέπουν κατάλληλους προσδιορισμούς για την πρόβλεψη της κίνησης. Όσο πιο ακριβής υπολογίζεται η κίνηση, τόσο θα επιτυγχάνονται πιο πραγματικά αποτελέσματα.

Στη φάση προσδιορισμού της υπηρεσίας θα δίνονται οι τύποι των υπηρεσιών του φέροντος και του bit rate για κάθε υπηρεσία φέροντος. Επίσης για κίνηση μη-πραγματικού χρόνου θα πρέπει να είναι δυνατό να προσδιοριστεί το μέσο μέγεθος του πακέτου κλήσεως και ο ρυθμός επανεκμπομπής, δηλαδή για να μοντελοποιηθούν οι υπηρεσίες δεδομένων πακέτου θα πρέπει να είναι δυνατός ο υπολογισμός του μέσου throughput για καθυστερήσεις στο UL και στο DL.

Στη φάση μοντελοποίησης της κίνησης, θα πρέπει να είναι δυνατόν να δημιουργηθούν προβλέψεις κίνησης με διαφορετικούς τρόπους. Η κίνηση στην «ώρα αιχμής» (busy hour), μπορεί να δοθεί ως αριθμός εισόδου ή μπορούν να αξιοποιηθούν τα μετρούμενα δεδομένα κίνησης από τα εργαλεία μέτρησης. Για παράδειγμα, είναι χρήσιμη η γνώση των τοποθεσιών (που η λήψη είναι πολύ καλύτερη από τα γειτονικά μέρη ή στις οποίες το εκπεμπόμενο σήμα εμφανίζεται ισχυρότερο) hot spot στο ισχύον δίκτυο και των μετρήσεων κίνησης από αυτές τις τοποθεσίες. Ωστόσο ένα εργαλείο RNP θα πρέπει να εισάγει την κίνηση από τις μετρήσεις δικτύου δεύτερης-γενιάς, αφού τα κύρια σημεία (hot spots) κίνησης τοποθετούνται συχνά στην ίδια περιοχή ανεξάρτητα της τεχνολογίας ή της μεθόδου ραδιοπρόσβασης.

Όταν προσδιορίζονται οι ποσότητες κίνησης στις περιοχές, μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικές μέθοδοι βαρύτητας. Π.χ. μπορούν να χρησιμοποιηθούν η ισοδύναμη κατανομή ή η βαρύτητα που βασίζεται στους τύπους δρόμου ή στους τύπους εδάφους.

Η πυκνότητα της κίνησης διαφέρει μεταξύ των υπηρεσιών και ωστόσο πρέπει να μοντελοποιηθεί ξεχωριστά για κάθε υπηρεσία. Επιπλέον, θα πρέπει να ενωθούν και να ολοκληρωθούν συγχρόνως οι πυκνότητες κίνησης των διαφορετικών υπηρεσιών. Σε ένα εξελιγμένο εργαλείο RNP 2G/3G θα πρέπει να είναι δυνατόν να μοντελοποιηθεί μια κατάσταση μικτής υπηρεσίας φέροντος, όπου θα υπάρχει σε κίνηση πραγματικού και μη-πραγματικού χρόνου. Οι προβλέψεις κίνησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να πραγματοποιήσουν ένα στιγμιότυπο των κινητών σταθμών που είναι ενεργοί συγχρόνως στο δίκτυο. Στο ίδιο πλαίσιο βασίζεται η επιθυμητή ταχύτητα στην υπηρεσία και μπορεί να δοθεί η πληροφορία του τύπου εδάφους σε κάθε κινητό σταθμό.



Σχήμα 3.5 Επαναλαμβανόμενη διαδικασία σχεδίασης της κίνησης για τα δίκτυα WCDMA

Επίσης πρέπει να μοντελοποιηθούν οι παράμετροι των κινητών σταθμών, π.χ. οι ελάχιστες και οι μέγιστες ισχύς και ταχύτητες.

Οι λίστες κατανομής των κινητών σταθμών περιλαμβάνουν την τοποθεσία του κινητού, την υπηρεσία φέροντος και άλλες παραμέτρους κινητών που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς του WCDMA, ειδικά στον καθορισμό τη ισχύος εκπομπής. Εάν εργαλείο RNP μπορεί να δημιουργήσει πολλές λίστες κατανομών των κινητών σταθμών, είναι επίσης δυνατό να αναλύσει την επιρροή των διαφόρων λίστες κατανομής των κινητών σταθμών στην επίδοση του δικτύου κάτω από αμετάβλητες συνθήκες κίνησης, π.χ. αναλύοντας πολλά στιγμιότυπα και συνδέοντας στατιστικά τα αποτελέσματα. Αυτή η μέθοδος είναι μια μορφή της επονομαζόμενης ανάλυσης Monte Carlo.

Ένα εργαλείο RNP θα πρέπει να απεικονίζει τα δεδομένα της κίνησης τουλάχιστον σε μορφή χάρτη 2D και επίσης προτιμότερο σε απεικονιστή 3D, να αποθηκεύονται τα διαφορετικά σενάρια κίνησης και να ξαναβρίσκουμε για τη μετέπειτα χρήση.

Η βασική διαδικασία σχεδίασης της κίνησης φαίνεται στο Σχήμα 3.5. Η πρώτη εργασία είναι να οριστούν οι υπηρεσίες φέροντος και δεύτερον να μοντελοποιηθεί η κίνηση. Έπειτα, παράγονται οι λίστες κατανομής των κινητών σταθμών και τελικώς διεξάγονται οι υπολογισμοί WCDMA. Για να εκτελεστεί μια ανάλυση WCDMA με διαφορετικά φορτία κίνησης, χρειάζονται πολλές λίστες κατανομής των κινητών σταθμών με διαφόρους αριθμούς των κινητών. Για κάθε λίστα κατανομής κινητών σταθμών πραγματοποιούνται η ανάλυση WCDMA και οι επαναλαμβανόμενες λειτουργίες. Συνήθως είναι αρκετή μία λίστα κατανομής κινητών σταθμών και πρέπει να γίνονται μόνο μια φορά οι υπολογισμοί WCDMA. Π.χ. όταν γίνονται σε ένα δίκτυο, πολλές αλλαγές για παράδειγμα όταν επανατοποθετείται μια θέση ή αλλάζει η ρύθμιση των παραμέτρων της κυψέλης του, είναι έπειτα λογικό να γίνει μια ανάλυση WCDMA μόνο μια φορά με μία αντιπροσωπευτική εκχώρηση κινητών σταθμών. Αυτό είναι το πώς «κι αν» μπορούν να υπολογιστούν αμέσως αυτοί οι υπολογισμοί.

Συντονισμός του Μοντέλου Διάδοσης

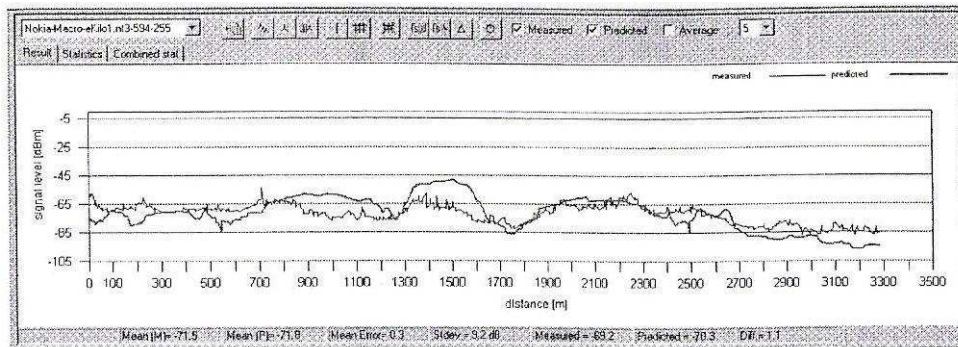
Στη φάση του συντονισμού του μοντέλου, συντονίζονται τα μοντέλα διάδοσης για να ενώσουν τα περιβάλλοντα διάδοσης όσο πιο κοντά γίνεται. Ωστόσο πολλές τοποθεσίες θέσεων-τυπικά τουλάχιστον 10 -θα πρέπει να επιλεγθούν για τη μέτρηση. Οι επιλεγμένες θέσεις θα αντιπροσωπεύουν ολόκληρη την περιοχή σχεδίασης και τις διαφορετικές συνθήκες διάδοσης μέσα στην περιοχή. Με άλλα λόγια, οι θέσεις πρέπει να είναι ίσες από όλους τους διάφορους τύπους περιοχών, περιλαμβάνοντας τις αγροτικές, τις υπεραστικές, τις αστικές και πιο πολύ από όλες τις πυκνές αστικές περιοχές. Εάν χρειάζεται για ακρίβεια, θα πρέπει να εκτελεστεί ξεχωριστή διαδικασία ρύθμισης για κάθε τύπο περιοχής. Εάν δεν είναι ήδη γνωστές όλες οι θέσεις θα πρέπει να μείνουν και να συγκεντρωθούν οι ακριβείς τοποθεσίες και τα δεδομένα hardware. Οι τοποθεσίες θέσεων και οι κατευθύνσεις των τομών (εκφρασμένες σε μοίρες) θα πρέπει να έχουν επίκεντρο τον χάρτη, ή να εκτυπωθούν από ένα εργαλείο RNP.

Οι πορείες των μετρήσεων σχεδιάστηκαν έτσι ώστε η πλειοψηφία να είναι μέσα στις περιοχές που καλύπτονται από τους κύριους λοβούς της κεραίας. Φυσιολογικά οι πορείες είναι σχεδιασμένες στο χάρτη, έτσι ώστε να μπορεί το προσωπικό οδηγώντας (ή περπατώντας) να κάνει τις μετρήσεις όπως σχεδιάστηκαν. Ο εξοπλισμός μέτρησης πρέπει να είναι ελεγμένος και ρυθμισμένος πριν τη χρήση. Ενώ γίνονται οι μετρήσεις κρατείται η καταγεγραμμένη πληροφορία, έτσι ώστε μετά τις μετρήσεις που έχουν γίνει να αναλυθούν οι γνωστές ανωμαλίες και τα προβλήματα.

Έχοντας κάνει όλες τις απαραίτητες μετρήσεις, ο πραγματικός συντονισμός μοντέλου μπορεί να ξεκινήσει με ένα εργαλείο RNP. Τα προκαθορισμένα μοντέλα διάδοσης συντονίζονται για να ταιριάξουν τις πραγματικές τιμές της ισχύος του σώματος από τη δρομολόγηση.

Το εργαλείο RNP πρέπει να παρέχει υποστήριξη για τη σύγκριση των προβλεπόμενων τιμών και να δείχνει τις διαφορές στις γραφικές απεικονίσεις. Βάση των διαφορών μεταξύ των τιμών σε συγκεκριμένα σημεία κατά των μετρούμενων τιμών, ο σχεδιαστής δικτύου μπορεί π.χ. να καθορίσει τους κατάλληλους συντελεστές διόρθωσης για διαφορετικούς τύπους εδάφους. Φυσικά το εργαλείο RNP πρέπει να ελέγχει τις παραμέτρους της κεραίας και τις παραμέτρους T_x όπως είναι η κλίση και η ισοδύναμη ιστροπική ακτινοβολούμενη ισχύς EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power).

Έπειτα βρίσκονται και αντιγράφονται τα κατάλληλα μοντέλα διάδοσης στις σχετικές κυψέλες, και μπορούν να ξεκινήσουν κατευθείαν οι υπολογισμοί των απωλειών ζεύξεων για την περιοχή σχεδίασης.



Σχήμα 3.6 Παράδειγμα της εφαρμογής συντονισμού του μοντέλου διάδοσης

Το εργαλείο RNP θα πρέπει να παρέχει υποστήριξη για τον συντονισμό των διαφορετικών μοντέλων διάδοσης όπως το μοντέλο Okumura-Hata και το Walfish-Ikegami. Πρέπει να είναι διαθέσιμη όλη η λειτουργικότητα του συντονισμού κατά βάση σε κάθε κυψέλη, με άλλα λόγια να είναι δυνατό να βρει δυο ή περισσότερες επιλεγμένες κυψέλες από την περιοχή σχεδίασης. Φυσικά το εργαλείο RNP θα πρέπει να είναι ικανό να συντονίσει ένα μοντέλο από πολλές πορείες μέτρησης ακόμη και για την ίδια τη φυσική κυψέλη.

Το Σχήμα 3.6 δείχνει ένα παράδειγμα απεικόνισης συντονισμού ομιλίας της μετρούμενης πορείας. Αυτός ο τύπος απεικόνισης μπορεί να υποδείξει ξεκάθαρα τα προβληματικά μέρη των μετρούμενων πορειών και ο σχεδιαστής δικτύου μπορεί να τροποποιήσει τις βαρύτητες για τον τύπο εδάφους.

Εκτέλεση των Υπολογισμών Απώλειας Ζεύξεως

Όταν συντονίζονται τα μοντέλα διάδοσης, υπολογίζεται το αρχικό σχέδιο κάλυψης, δηλαδή οι απώλειες ζεύξεως από το BS προς τους κινητούς σταθμούς. Οι υπολογισμοί των απωλειών ζεύξεως (αναφέρονται αργότερα ως LLOS) χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσει τη στάθμη του σήματος σε κάθε ρικελ της δεδομένης περιοχής.

Το εργαλείο RNP θα πρέπει να ορίσει αυτόματα τον υπολογισμό εμβαδού για κάθε κυψέλη στο σχεδιασμένο δίκτυο (στην περίπτωση που δεν οριστεί χειροκίνητα) πριν ξεκινήσουν οι υπολογισμοί LLOS. Το συντονισμένο μοντέλο διάδοσης θα πρέπει να χρησιμοποιείται πάντα σαν σημείο αναφοράς. Εάν χρειάζεται μπορούν επιπλέον να ρυθμιστούν μερικές παράμετροι συγκεκριμένης κυψέλης, π.χ. η κλίση της κεραίας, η εκπομπή ισχύος για μια κυψέλη και το μοντέλο διάδοσης που χρησιμοποιείται μπορεί να επαναπροσδιοριστεί από την κυψέλη, ή να ρυθμιστούν σωστά οι παράμετροι του μοντέλου διάδοσης.

Οι συντελεστές που επηρεάζουν τα αποτελέσματα υπολογισμού της απώλειας ζεύξεως περιλαμβάνουν:

- Τη ρύθμιση των παραμέτρων δικτύου (θέσεις, κυψέλες, κεραιές)
- Το μοντέλο διάδοσης
- Τον υπολογισμό εμβαδού
- Τις παραμέτρους της απώλειας ζεύξεως:
 - ✓ Την απώλεια εσωτερικού χώρου και την απώλεια καλωδίου
 - ✓ Τις ρυθμίσεις Line-of-Sight (LOS)
 - ✓ Τις διορθώσεις για τον τύπο εδάφους
 - ✓ Τις τοπογραφικές διορθώσεις
 - ✓ Τη διάθλαση
- Τις ρυθμίσεις βραδείας εξασθένησης
 - ✓ Την κανονική απόκλιση
 - ✓ Τον συντελεστή βαρύτητας για την επίδραση της σκίασης

Ένα εργαλείο RNP θα πρέπει να παρέχει αυτομάτως τις προβλέψεις κάλυψης για όλες τις κεραιές που ανήκουν στην ίδια κυψέλη.

Έπειτα υπολογίζοντας τις απώλειες LLOS και εξετάζοντας τις περιοχές κυριαρχίας από το χάρτη ή αποδέχεται την προβλεπόμενη κάλυψη ή θα πρέπει να εκτελεστούν μερικά μέσα σχεδίασης ραδιοδικτύου (RNP). Ένα εργαλείο RNP θα πρέπει να παρέχει την εύκολη απεικόνιση της κάλυψης στον ψηφιακό χάρτη, σε προβολή 2D, ή σε προβολή 3D. Η απεικόνιση πρέπει να είναι δυνατή και για απλές και για πολλαπλές επιλεγμένες κυψέλες. Όταν φαίνονται οι προβλέψεις για πολλές κυψέλες, τα αποτελέσματα πρέπει να συνδυάζονται έτσι ώστε να φαίνεται η υψηλότερη ισχύς του σήματος όταν υπάρχουν πολλές κυψέλες που εξυπηρετούν στην ίδια τοποθεσία. Ένα εργαλείο RNP θα πρέπει να υποστηρίξει διαφορετικά χρώματα των σχημάτων για τους σκοπούς της απεικόνισης, π.χ. χρησιμοποιώντας διαφορετικά κατώφλια σήματος ή απλά εμφανίζοντας τις περιοχές κάλυψης από ένα RNC εξυπηρέτησης ή μια χρωματιστή κυψέλη.

Τα σύγχρονα εργαλεία RNP παρέχουν μέσα για την κατανομή των υπολογισμών της απώλειας ζεύξεως ανάμεσα σε πολλούς σταθμούς εργασίας μέσα στο δίκτυο LAN του operator.

Βελτιστοποιώντας την Κυριαρχία των Κυψελών.

Εκτός από τους υπολογισμούς της περιοχής κάλυψης και τη λειτουργικότητα των ενδείξεων, θα πρέπει ένα εργαλείο RNP να παρέχει υποστήριξη για την βελτιστοποίηση της κυριαρχίας των κυψελωτών περιοχών (οι καλύτεροι servers). Η σχεδίαση τρίτης-γενιάς επικεντρώνεται πιο πολύ στην ανάλυση της παρεμβολής και της χωρητικότητας από ότι μόνο τον υπολογισμό της κάλυψης, όπως ήταν στην περίπτωση 2G. Κατά τη διάρκεια της σχεδίασης χρειάζεται να βελτιωθούν οι μορφοποιήσεις του σταθμού βάσης: η επιλογή της κεραίας και οι κατευθύνσεις όπως και η ακριβής επιλογή των θέσεων των BSs που χρειάζεται για να ρυθμιστεί ακριβώς όσο πιο πολύ γίνεται για να επιτευχθούν στο ελάχιστο δυνατό κόστος οι απαιτήσεις QoS, οι απαιτήσεις χωρητικότητας και οι απαιτήσεις υπηρεσίας.

Μπορεί να είναι ήδη επαρκής για τον έλεγχο της παρεμβολής και την βελτίωση χωρητικότητας του δικτύου, οι τελείως απλές λύσεις της σχεδίασης δικτύου, όπως η κλίση της κεραίας, η αλλαγή κατεύθυνσης της κεραίας και η σωστή επιλογή του τύπου της κεραίας. Η κυριαρχία είναι ένας καλός δείκτης της κατάστασης παρεμβολής στη φάση της αρχικής σχεδίασης (πριν από τις επαναλαμβανόμενες λειτουργίες WCDMA). Κάθε κυψέλη θα πρέπει να έχει καθαρές, μη σκιασμένες περιοχές κυριαρχίας. Φυσικά αφού δεν κατανέμεται ομοιόμορφα η κίνηση, και διαφέρουν οι συνθήκες διάδοσης, δε θα είναι ακριβώς ίδιες οι κυψελωτές περιοχές της κυριαρχίας ακόμη και αν διαφέρουν στο μέγεθος.

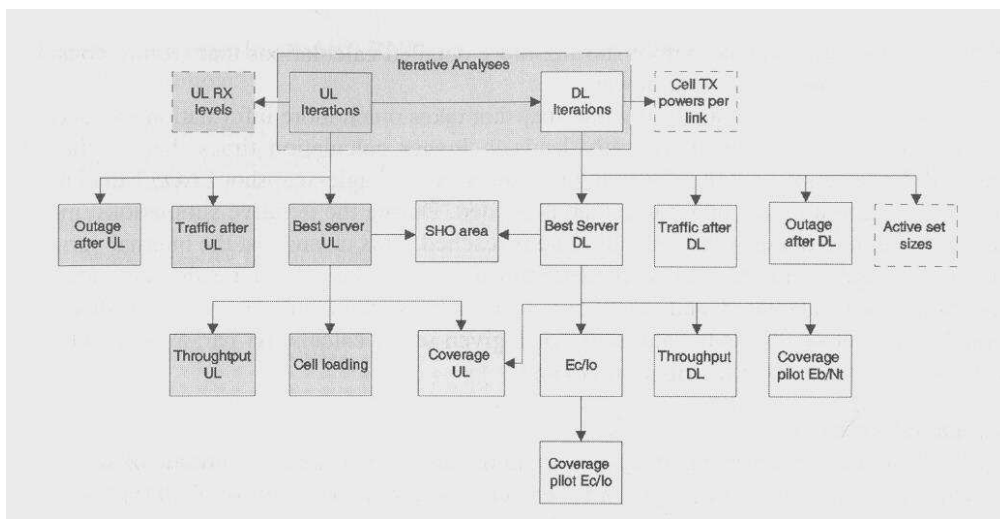
Τα εργαλεία RNP θα παρέχουν υποστήριξη για την ανάλυση των κυψελωτών περιοχών κυριαρχίας και συνήθως όταν εκτελούνται οι αναλύσεις μπορεί να είναι απαραίτητο να αλλάξουν μερικές ρυθμίσεις μορφοποιήσεων. Οι ευκολίες για την γρήγορη «αιτία αποτελέσματος» ανάλυσης, π.χ. όταν αλλάζει η κατεύθυνση της κεραίας, προσφέρει στους σχεδιαστές σημαντική εξασφάλιση του χρόνου.

3.2.1.3 Προσομιώνοντας την Επίδοση της Ζεύξεως

Η ανάλυση της επίδοσης ζεύξεως αποτελεί την καρδιά του εργαλείου RNP. Η «μηχανή υπολογισμού» θα πρέπει να παρέχει υποστήριξη για 2G και 3G. Στην 2G είναι απλώς αρκετό να προβλέψουμε την κάλυψη, να υπολογίσουμε την αμοιβαία παρεμβολή μεταξύ των κυψελών και να εκτελέσουμε την κατανομή συχνότητας. Η ανάλυση είναι πιο σημαντική στο WCDMA. Όπως περιγράφεται στην Παράγραφο 3.2.3, πρέπει να διεξάγονται οι εκτεταμένες επαναλαμβανόμενες λειτουργίες UL/DL για να βρεθούν οι ισχύς εκπομπής των MS και των BS αντίστοιχα. Έπειτα αφού έχει υπολογίσει το εργαλείο RNP την ισχύ εκπομπής, είναι επίσης γνωστός ο αριθμός των εξυπηρετούμενων κινητών και όλες οι διαθέσιμες

πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετά σε επιπλέον επεξεργασία των δεδομένων, έτσι ώστε να μπορούν π. χ. να παραχθούν οι τιμές KPI (Key Performance Indicator).

Τα σύγχρονα εργαλεία RNP θα λαμβάνουν επίσης υπόψη την παρεμβολή του γειτονικού καναλιού, στον υπολογισμό της παρεμβολής για τα δίκτυα WCDMA. Αυτή είναι η βασική απαίτηση όταν χρησιμοποιούνται παραπάνω από ένα φέροντα WCDMA π.χ. για μικροκυψέλες. Επίσης δυνατό είναι να υπολογιστεί η παρεμβολή του γειτονικού καναλιού στα κλασσικά εργαλεία RNP.



Σχήμα 3.7 Διάγραμμα παραδείγματος της ιεραρχίας ανάλυσης WCDMA

Το Σχήμα 3.7 δείχνει ένα παράδειγμα διαγράμματος ιεραρχίας της ανάλυσης για ένα σύγχρονο εργαλείο RNP. Εδώ φαίνονται τα παραδείγματα μόνο της συγκεκριμένης ανάλυσης WCDMA. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι το Σχήμα 3.7 δείχνει την ανάλυση μόνο για ένα στιγμιότυπο (snapshot). Επίσης τα σύγχρονα εργαλεία RNP μπορούν να εξασφαλίσουν αποτελέσματα ανάλυσης για πολλά στιγμιότυπα, δίνοντας ωστόσο μεγαλύτερη στατιστική αξιοπιστία. Αυτό απεικονίζεται στις ακόλουθες Παραγράφους.

Ανάλυση ενός στιγμιότυπου (snapshot)

Όταν ο σχεδιαστής δικτύου θέλει να βρει γρήγορα το κατά πόσον είναι εφικτή η ανάπτυξη του δικτύου (π.χ. από την άποψη της παρεμβολής) είναι αρκετή η ανάλυση ενός στιγμιότυπου.

Ο σχεδιαστής δικτύου θα πρέπει να πραγματοποιεί με τα σύγχρονα εργαλεία RNP ένα απλό στιγμιότυπο και να το αναλύει τουλάχιστο με δυο τρόπους. Στην πρώτη μέθοδο, εκτελείται μόνο ένα ζεύγος των επαναλαμβανόμενων λειτουργιών και για uplink και για

downlink, για να βρεθούν γρήγορα οι περιοχές που καλύπτονται ανελλιπώς και οι πιο πιθανές στη δοκιμασία της ισχυρής παρεμβολής. Ο σχεδιαστής μπορεί να κάνει αμέσως τις απαραίτητες αλλαγές σχεδίασης ραδιοδικτύου, πριν αρχίσουν οι πιο αναλυτικοί υπολογισμοί που θεωρητικά απαιτούν πολύ παραπάνω ικανότητα υπολογισμού και χρόνο.

Η δεύτερη μέθοδος για την ανάλυση ενός στιγμιότυπου λαμβάνει κατά πολύ περισσότερο υπόψη τις πληροφορίες κατά τη διάρκεια των επαναλαμβανόμενων λειτουργιών, η οποία φυσικά οδηγεί σε μεγαλύτερους χρόνους υπολογισμού απ' ό,τι η πρώτη μέθοδος. Π.χ., όταν εκτελείται μια πλήρης ανάλυση για τους υπολογισμούς LLOS ενός απλού στιγμιότυπου χρειάζεται μια λίστα με κατανομή των κινητών σταθμών και ένας χάρτης κίνησης. Κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενων προσομοιώσεων, οι κινητοί χρήστες τίθενται εκτός υπηρεσίας, μέχρι να έρθει μια σταθερή κατάσταση. Αυτό σημαίνει ότι δεν αλλάζουν οι εσωτερικές μεταβλητές περισσότερο από μια προκαθορισμένη τιμή. Ως αποτέλεσμα υπολογίζονται και ετοιμάζονται οι αναφερόμενοι δείκτες εύκολα για την μεταχείριση της μετέπειτα ανάλυσης. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι ένα τέτοιο σύνολο αποτελεσμάτων ισχύει μόνο για ένα δεδομένο σύνολο παραμέτρων του υπολογισμού και των δεδομένων εισόδου, όπως η κατανομή των κινητών.

Προχωρημένη ανάλυση

Στην προχωρημένη ανάλυση η βασική ιδέα είναι να παράγει αυτόματα ένα αριθμό στιγμιότυπων, τα οποία επαναλαμβάνονται αναλόγως, για να παράγουν ένα θετικό αποτέλεσμα της ανάλυσης WCDMA από την κύρια ανάπτυξη του δικτύου. Η τεχνική της προσομοίωσης Monte Carlo χρησιμοποιείται για να επιβεβαιώσει τις αλλαγές στο δίκτυο και για να εναλλάσσει τις λίστες κατανομής των κινητών σταθμών που χρησιμοποιούνται υπό τις ίδιες συνθήκες κίνησης.

Η εφαρμογή της προχωρημένης ανάλυσης στα σύγχρονα εργαλεία RNP βασίζεται στην αυτόματη παραγωγή των πολλαπλών λιστών κατανομής των κινητών σταθμών. Φυσικά ένας σχεδιαστής δικτύου μπορεί να ορίσει τον αριθμό των λιστών των κινητών σταθμών που απαιτούνται, στην περίπτωση που ο σχεδιαστής απαιτεί παραπάνω έλεγχο των αναλύσεων. Κάθε λίστα κατανομής των κινητών σταθμών αντιπροσωπεύει ένα στιγμιότυπο της κατάστασης κίνησης στο δίκτυο, δηλ. τις θέσεις των κινητών χρηστών σε δεδομένο χρόνο. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης WCDMA ενώνονται από το κάθε στιγμιότυπο για να εξασφαλίσουν στατιστικά σχετικά και σίγουρα αποτελέσματα. Επειδή χρησιμοποιούνται οι ίδιες συνθήκες κίνησης για ένα μεγαλύτερο αριθμό των παραγόμενων λιστών κατανομής των κινητών σταθμών βελτιώνεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης λόγω της μειωμένης ταχύτητας στις λίστες κατανομής των κινητών σταθμών. Είναι πιο κρίσιμο, όσο

υπάρχουν πιο λίγοι κινητοί σταθμοί στο δίκτυο, δηλ. χρειάζονται μεγαλύτερες υπηρεσίες bit rate, συνεπώς θα χρειάζονται παραπάνω στιγμιότυπα για να διαβεβαιώσουν την εξάρτηση των αποτελεσμάτων από τις κινητές θέσεις.

Είναι απαραίτητο να επιβεβαιωθεί ότι τα σχεδιασμένα κριτήρια κάλυψης, χωρητικότητας και QoS μπορούν να αντιμετωπιστούν με την ισχύουσα ανάπτυξη του δικτύου και τις ρυθμίσεις των παραμέτρων. Το εργαλείο RNP πρέπει να προνοήσει αυτομάτως την υποστήριξη για την εκτέλεση ενός μεγάλου αριθμού από επαναλαμβανόμενες λειτουργίες, για να γίνει αυτή η κρίσιμη εργασία ευκολότερη. Εάν δείχνουν προβληματικές περιοχές ή προβληματικές κυψέλες, τα υπολογισμένα αποτελέσματα στο προβλεπόμενο σενάριο είναι πολύ πιθανό ότι θα συμβαίνουν επίσης και στο πραγματικό δίκτυο.

Με τα σύγχρονα εργαλεία RNP μπορεί εύκολα κάποιος να εκτελέσει την προαναφερθείσα ανάλυση. Τα αποτελέσματα εξόδου παρέχονται από τα εργαλεία RNP και αποτελούνται συνήθως από γραφικά καμπυλών (για τις μεταβολές των ποσοτήτων) που βασίζονται σε όλες τις εκτελέσιμες αριθμητικές λειτουργίες και τους δείκτες επίδοσης που είναι σχετικοί με την ισχύουσα ανάλυση. Όλες οι τιμές των αποτελεσμάτων παρέχονται με μέση, ελάχιστη, μέγιστη και κανονική απόκλιση των αριθμών με ολικό άθροισμα, το οποίο επιτρέπει γρήγορη και εύκολη αναγνώριση των πιθανών προβλημάτων και επαλήθευση της συνολικής κάλυψης, χωρητικότητας και το QoS του δικτύου. Θα πρέπει να είναι επίσης δυνατό να δείχνει τις τιμές επίδοσης, όπως είναι η παρεμβολή και η επίδοση των αποδοτικών ρυθμών μετάδοσης (throughputs) για κάθε κυψέλη.

Ένα εργαλείο RNP θα πρέπει να παρέχει υποστήριξη για την ανάλυση και τη μελέτη της πληροφορίας που είναι σχετική με ένα ειδικό κύκλο αριθμητικής λειτουργίας και πιο πολύ θα πρέπει να παρέχει τα μέσα για την αποθήκευση αυτής της πληροφορίας για την μετέπειτα χρήση. Είναι απαραίτητο από τη στιγμή που μπορεί να είναι η περίπτωση που μπορούν τα κύρια φαινόμενα των χαρακτηριστικών λειτουργίας ενός δικτύου, να αποκαλυφθούν, μόνο από μια ειδική αριθμητική λειτουργία, π. χ. με τις βασικές θέσεις των κινητών χρηστών.

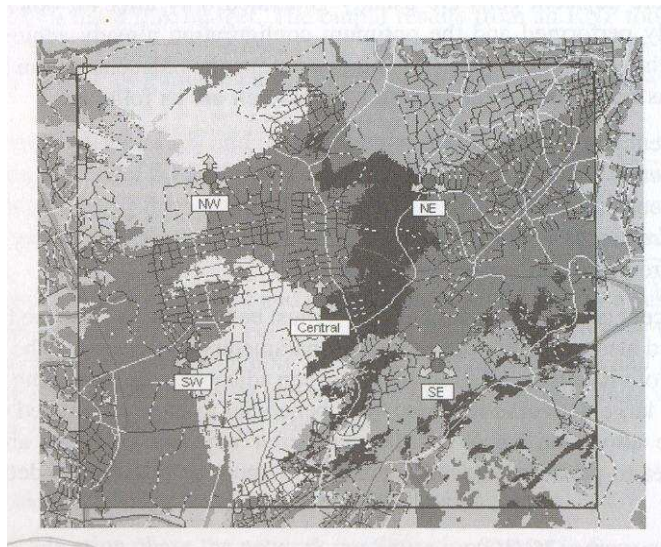
Οι γενικές απαιτήσεις για την προχωρημένη ανάλυση είναι, π.χ., ότι οι χρήστες θα μπορούν να ελέγχουν τις αναλύσεις. Στα σύγχρονα εργαλεία RNP, οι χρήστες μπορούν να προσδιορίσουν έναν αριθμό από ρυθμίσεις που σχετίζονται με την ανάλυση, για παράδειγμα:

- Τον αριθμό των επαναλαμβανόμενων λειτουργιών.
- Το μέγιστο χρόνο υπολογισμού.
- Το κατά πόσο δημιουργούνται αυτόματα οι λίστες των κινητών σταθμών ή χρησιμοποιούνται οι υπάρχουσες λίστες.

- Τις γενικές ρυθμίσεις του υπολογισμού, όπως η επιλογή του αλγορίθμου πιλοτικής ισχύος και ο έλεγχος των περιορισμών χωρητικότητας του hardware.

3.2.1.4 Αναλύοντας τα Αποτελέσματα

Όταν έχουν εκτελεστεί οι υπολογισμοί και οι προσομοιώσεις στο εργαλείο RNP, το επόμενο πολύ σημαντικό βήμα είναι να επαληθεύσουμε και να αναλύσουμε κατά πόσον είναι τα αποτελέσματα αποδεκτά. Τα εργαλεία RNP θα πρέπει να παρέχουν υποστήριξη με διαφορετικούς τρόπους για την μετεπεξεργασία, την ανάλυση και την απεικόνιση. Όλες οι φάσεις που αναφέρθηκαν εκτελούνται βάσει των αποτελεσμάτων από τις αριθμητικές λειτουργίες που αποθηκεύτηκαν προηγουμένως. Φυσικά εάν δεν αντιμετωπιστούν οι επιθυμητές τιμές (targets) της κάλυψης, της ποιότητας και του QoS, θα πρέπει να εκτελεστούν οι κανονικές δραστηριότητες σχεδίασης δικτύου για να επαυξήσουν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του δικτύου σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Ένα εργαλείο RNP μπορεί να δείξει τα απαραίτητα αποτελέσματα και έπειτα η εκτέλεση της πραγματικής βελτιστοποίησης είναι καθήκον του σχεδιαστή δικτύου. Ένα σύγχρονο εργαλείο RNP μπορεί να δείξει τα αποτελέσματα ως χάρτες οθόνης (raster maps), αριθμητικούς πίνακες ή ως ιστογράμματα.



Σχήμα 3.8 Φορτίο της κυψέλης (τα χρώματα δείχνουν την πραγματική τιμή του φορτίου στο κύριο κατώφλι στις εμβέλειες).

Παράδειγμα της πρώτης μορφής, οι χάρτες οθόνης περιλαμβάνουν σε ένα ψηφιακό χάρτη, τον καλύτερο server για UL και DL, το φορτίο UL, τον λόγο πιλοτικού φέροντος-προς-παρεμβολή, την κυριαρχία των κυψελών και τα μέρη των περιοχών με SHO. Οι χάρτες

οθόνης (raster maps=χάρτες με συγκεκριμένη ανάλυση) θα πρέπει να είναι διαθέσιμοι για οποιοδήποτε υπολογισμένο αποτέλεσμα και για οποιαδήποτε τιμή KPI που μπορεί να φανεί μετά για την περιοχή επικρατέστερης κυψέλης π.χ. με συγκεκριμένο χρώμα ωφέλιμης στάθμης. Τα σύγχρονα εργαλεία RNP μπορούν επίσης να δείξουν οποιοδήποτε είδος γραφικών παραστάσεων (raster plots) χρησιμοποιώντας «διαυγή» χρώματα, έτσι ώστε να μπορεί να φανεί η περιοχή σχεδίασης μαζί με τα αποτελέσματα.

	Site Name	Cell Name	Ach UL Throu	Ach DL Throu	SHO Through	# Best Server	# SHO Links
1	Central	North	848.0	848.0	384.0	42	14
2	Central	South-East	312.0	288.0	360.0	36	28
3	Central	South-West	272.0	272.0	264.0	17	32
4	NE	North	616.0	616.0	112.0	30	14
5	NE	South-East	768.0	392.0	424.0	32	6
6	NE	South-West	848.0	808.0	496.0	20	15
7	NW	North	520.0	520.0	200.0	31	7
8	NW	South-East	1056.0	1056.0	144.0	21	18
9	NW	South-West	1520.0	1520.0	240.0	41	12
10	SE	North	832.0	624.0	672.0	14	20

Σχήμα 3.9 Παράδειγμα αποτελεσμάτων μορφής πίνακα.

Αυτό τονίζει ευκολότερα τις πραγματικές γεωγραφικές περιοχές από το χάρτη. Στο Σχήμα 3.8 φαίνεται ένας τύπος γραφικής απεικόνισης (raster plot).

Η δεύτερη μορφή εξόδου εμφανίζει τα αποτελέσματα σε μορφή πινάκων στους οποίους κάθε σειρά αντιπροσωπεύει μια κυψέλη (ή ένα οποιοδήποτε άλλο στοιχείο του δικτύου) και κάθε στήλη αντιπροσωπεύει μια τιμή παραμέτρου για αυτή την κυψέλη. Η εφαρμογή στο εργαλείο RNP γίνεται τυπικά από τον επονομαζόμενο πλοηγό, ο οποίος απεικονίζεται στο Σχήμα 3.9.

Η τρίτη μορφή εξόδου εμφανίζει τα αποτελέσματα ως ιστογράμματα ή ως διαγράμματα. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν τη ρύθμιση του active set size, για τους χρήστες, την πιθανότητα SHO, τις ισχύς των ζεύξεων T_x για κάθε κυψέλη κλπ.

3.2.1.5 Δημιουργία Λίστας Γειτονικών Κυψελών

Ένα εργαλείο RNP πρέπει να παρέχει τρόπους δημιουργίας και διαχείρισης των γειτονικών κυψελών. Οι λίστες της γειτονικής κυψέλης περιέχουν γειτονικές κυψέλες για όλες τις κυψέλες στη ραδιοπρόσβαση του δικτύου. Είναι απαραίτητη μια τέτοια πληροφορία για να εκτελεστούν επιτυχώς τα handovers μεταξύ των κυψελών, η πληροφορία αναγνώρισης θέσης ή πληροφορίας γειτονικότητας ορίζεται σε βάση ανά κυψέλη, είναι όμως απαραίτητο να υπάρχει η σωστή ρύθμιση των παραμέτρων στοιχείου του δικτύου και οι σωστές ρυθμίσεις

των παραμέτρων πριν γείνει η παραγωγή της λίστας της γειτονικής κυψέλης. Ωστόσο, οι γειτονικές κυψέλες παράγονται συνήθως μόνο μετά από όλες τις άλλες αναλύσεις που έχουν εκτελεστεί επιτυχώς και έτσι επιτυγχάνεται ήδη μια πιο ευνοϊκή ρύθμιση των παραμέτρων. Στα σύγχρονα εργαλεία RNP μπορούν επίσης να δημιουργηθούν το ενδιάμεσο σύστημα (2G/3G) και οι γειτονικότητες ενδιάμεσης συχνότητας. Οι πιθανές σχέσεις μεταξύ μιας κυψέλης και μιας γειτονικής κυψέλης είναι όπως ακολουθεί:

- 2G-3G adjacency
- 3G-2G adjacency
- 3G-3G interfrequency adjacency (hard handover)
- 3G-3G intrafrequency adjacency (soft handover)

Αφού έχει δημιουργηθεί η λίστα της γειτονικής κυψέλης πρέπει να είναι δυνατή η εμφάνιση της λίστας των παραγόμενων γειτονικών κυψελών και επίσης εάν είναι απαραίτητο να τροποποιηθούν οι παράμετροι γειτονικότητας. Το εργαλείο RNP πρέπει να παρέχει μέσα εικονογράφησης των σχέσεων μεταξύ των (εισερχόμενων, εξερχόμενων) γειτονικών κυψελών στον ψηφιακό χάρτη. Για τα μεγάλα δίκτυα είναι επίσης πολύ ωφέλιμο να έχουμε αυτοματοποιημένη υποστήριξη για εκχώρηση του DL scrambling code για τις κυψέλες WCDMA, αφού αλλάξουν ή παραχθούν οι λίστες της γειτονικής κυψέλης. Για να εκτελεστεί η δημιουργία της γειτονικότητας θα πρέπει να είναι δυνατό να οριστούν τουλάχιστο τα ακόλουθα στοιχεία:

- Τα συστήματα ραδιοπρόσβασης (2G/3G)
- Οι στόχοι των κυψελών για τη δημιουργία της γειτονικότητας (όλες οι κυψέλες ή μόνο για τις κυψέλες χωρίς γειτονικότητες).
- Το μέγιστο αριθμό γειτόνων ανά κυψέλη ανά τύπο γειτονικότητας
- Το κατώφλι ισχύος του πεδίου

Για να αναπτύξουμε τη γειτονικότητα και φυσικά επίσης όλες τις άλλες πληροφορίες του στοιχείου δικτύου, θα πρέπει να παρέχεται μια λειτουργικότητα για να μεταφέρει αυτά τα δεδομένα από το εργαλείο RNP στο σύστημα διαχείρισης του δικτύου. Αυτή η διαβίβαση των πληροφοριών περιγράφεται εν συντομία στην Παράγραφο 3.2.1.7.

3.2.1.6 Αναφορά

Οι ανάγκες της αναφοράς είναι πολλές από εμπειρική πλευρά, πρέπει να είναι δυνατό να παρέχει το εργαλείο RNP την τύπωση ή αποθήκευση οποιασδήποτε εξόδου για τη

μετέπειτα χρήση. Ωστόσο τα σύγχρονα εργαλεία RNP παρέχουν ένα πλούσιο σύνολο των αναφερόμενων λειτουργικότητων και ακολουθεί συνήθως εκτύπωση των ακολούθων:

- Γραφικές παραστάσεις (raster plots) από την επιλεγμένη περιοχή (και από τις επιλεγμένες κυψέλες).
- Configuration στοιχείου του δικτύου και οι ρυθμίσεις των παραμέτρων
- Διάφορα γραφήματα και γενικές κατευθύνσεις
- Συγκεκριμένες αναφορές του operator

3.2.1.7 Συνεργασία με Άλλα Εργαλεία

Κάθε εργαλείο RNP πρέπει να παρέχει επιφάνεια εργασίας με άλλα εργαλεία. Τυπικά οι χειριστές έχουν εργαλεία για τη διαχείριση των επιχειρήσεων και για τις πληροφορίες του πελάτη, εργαλεία διαστασιοποίησης, εργαλεία σχεδίασης της εκπομπής, εργαλεία μέτρησης και τα συστήματα διαχείρισης του δικτύου σύμφωνα με ένα εργαλείο RNP. Μια πολύ βασική απαίτηση είναι να παρέχονται οι ροές των δεδομένων και των πληροφοριών από κάθε εργαλείο υποστηρίζοντας ολόκληρη τη διαδικασία εργασίας του operator.

Τα δεδομένα εισόδου από ένα εργαλείο RNP προέρχονται, για παράδειγμα από τη διαστασιοποίηση του δικτύου, όπως απεικονίζεται στη διαδικασία σχεδίασης στο Σχήμα 3.1. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από τις απαιτήσεις της κίνησης και του QoS, οι οποίες είναι είσοδος στον υπολογισμό της ραδιοζεύξης (RLB). Τα αποτελέσματα εξόδου από ένα εργαλείο RNP χρειάζονται σε ένα σύστημα διαχείρισης του δικτύου που παρέχει τη διάταξη του σχεδίου και τον παραμετρικό έλεγχο λειτουργικότητας. Ωστόσο θα πρέπει ένα εργαλείο RNP να έχει για ένα σύστημα διαχείρισης δικτύου ένα αμφίδρομο interface.

Αφού είναι έτοιμο το σχέδιο του δικτύου και έχει αναλυθεί η επίδοσή του στο εργαλείο RNP μπορούν να εξαχθούν από αυτό τα δεδομένα του σχεδίου και τα δεδομένα των ρυθμίσεων στην εφαρμογή του operator για τη διαχείριση του δικτύου. Τα εξαγόμενα δεδομένα περιέχουν τη σημαντική ρύθμιση των παραμέτρων του δικτύου και τις σχεδιασμένες παραμέτρους διαχείρισης ραδιοπόρων (RRM) για τα στοιχεία του δικτύου από μια επιλεγμένη περιοχή ή από ολόκληρο το σχέδιο.

Μόλις λειτουργήσει και έχει διατηρηθεί για κάποια περίοδο, προκύπτει έπειτα η ανάγκη να επανασχεδιαστούν τα στοιχεία δικτύου. Για το σκοπό αυτό και φυσικά για να εξασφαλιστεί πολύτιμος χρόνος για το σχεδιαστή δικτύου, θα πρέπει να είναι δυνατό να εξαγεί τα δεδομένα, τα έγκυρα δεδομένα του δικτύου και τις τιμές των παραμέτρων πίσω στο εργαλείο RNP, έτσι ώστε να μπορεί να συνεχιστεί εκεί η σχεδίαση και η βελτιστοποίηση με τις πιο

αναβαθμισμένες ρυθμίσεις (configurations) του δικτύου και τις πραγματικές τιμές των παραμέτρων.

3.2.2 Αρχικοποίηση: Ορίζοντας το Σχέδιο του Ραδιοδικτύου

Η ρύθμιση παραμέτρων του δικτύου στη γενική φάση αρχικοποίησης μελετάται μέσα από τα αρχεία των παραμέτρων για τους σταθμούς βάσης, τους κινητούς σταθμούς και την περιοχή του δικτύου. Ορίζονται μερικές παράμετροι του συστήματος και εκτελούνται οι υπολογισμοί διάδοσης. Στο ακόλουθο βήμα οι απαιτήσεις προέρχονται από την επίδοση της ζεύξης που ορίζονται στους σταθμούς βάσης και στους κινητούς σταθμούς. Έπειτα από μερικές εργασίες αρχικοποίησης για την επαναλαμβανόμενη ανάλυση ρυθμίζονται οι προκαθορισμένες ισχύς και η επίδοση δικτύου, έτσι μπορεί να ξεκινήσει η πραγματική προσομοίωση.

3.2.2.1 Μοντέλα διάδοσης και προβλέψεις του Path Loss

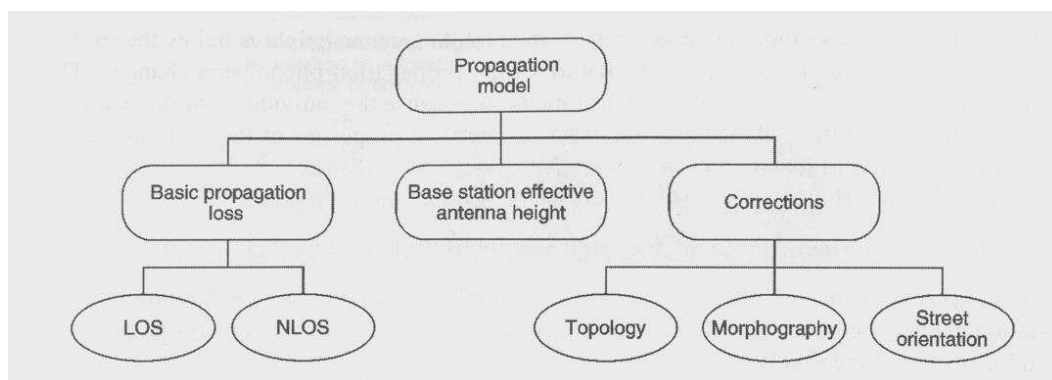
Τα μοντέλα διάδοσης χρησιμοποιούνται στη διαδικασία της σχεδίασης δικτύου για να προβλέψουν το πεδίο ισχύος του σήματος, για ένα δεδομένο πομπό (T_x) στην περιοχή υπολογισμού. Στα macrocells συνήθως θεωρείται ότι ο πομπός είναι πάνω από το ύψος κορυφής των κτιρίων και ο δέκτης (R_x) είναι σε επίπεδο εδάφους. Τυπικά είναι αδύνατο να υπολογιστεί αναλυτικά η διάδοση του ραδιοκύματος από τον πομπό στο δέκτη, εξαιτίας των διαφορετικών εμποδίων και του σύνθετου διασκορπισμού των κτιρίων στο ραδιοκανάλι. Ωστόσο μπορούμε να υποθέσουμε πολλές διαφορετικές ακτίνες ή πορείες κυμάτων που φτάνουν στο δέκτη, χρησιμοποιώντας την έννοια της οπτικής-δέσμης. Στα microcells μπορούν να υπολογιστούν αναλυτικά οι πορείες των ακτινών, διότι υπάρχουν συνήθως μόνο λίγα ισχυρά μονοπάτια.

Το περιβάλλον διάδοσης είναι πολύ πιο σύνθετο στη σχεδίαση κανονικών κυψελών (macrocells) γιατί είναι μεγαλύτερη η απόσταση από το T_x στο R_x και ωστόσο προσδιορίζονται πιο δύσκολα τα path loss των κυμάτων. Σε μια τέτοια περίπτωση είναι κατάλληλο ένα εμπειρικό ή ένα ημιεμπειρικό μοντέλο. Συνήθως αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούν ελεύθερες παραμέτρους και διαφορετικούς συντελεστές διόρθωσης και ρυθμίζονται χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις. Τα μετρημένα δεδομένα αποκτούνται λαμβάνοντας το σήμα από το σταθμό βάσης σε ένα αριθμό θέσεων του δέκτη. Αυτά τα δείγματα των μετρήσεων συγκεντρώνονται από διαφορετικούς τύπους εδάφους, χρησιμοποιώντας τύπους, σε διαφορετικές αποστάσεις από τον πομπό και σε διαφορετικά τοπογραφικά ύψη. Οι συντελεστές διόρθωσης ρυθμίζονται σύμφωνα με αυτές τις μετρήσεις, συγκρίνοντας τις μοντελοποιημένες και τις μετρημένες ισχύς

του σήματος. Εάν αλλάζει η θέση του πομπού, έτσι ώστε να αλλάζουν οι στατιστικές ιδιότητες του περιβάλλοντος διάδοσης, θα πρέπει να αλλάξουν οι ρυθμισμένες παράμετροι σε ένα νέο σύνολο μετρήσεων. Το στατιστικό περιβάλλον διάδοσης σημαίνει ότι είναι όμοιες στην κύρια περιοχή, οι ιδιότητες των κτιρίων, η τοπογραφία και η βλάστηση. Περίπου όμοιες είναι οι αποκλίσεις των κτιρίων, το ύψος και οι αποστάσεις μεταξύ των κτιρίων. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας τη θεωρία της ακτίνας δεν μπορεί να επεξεργαστεί σωστά η διάδοση του ραδιοκύματος στις μακροκυψέλες, διότι είναι πολύ μεγάλη η ζώνη του Fresnel στην περίπτωση που είναι πολύ μεγάλες οι μακρινές αποστάσεις. Η διάδοση των κυμάτων είναι μια πιο στατιστικής φύσεως σε τέτοιες περιπτώσεις. Αυτά τα εμπειρικά μοντέλα είναι χρήσιμα σε περιπτώσεις που το κοντινό περιβάλλον του πομπού έχει μικρή επίδραση στη διάδοση του κύματος.

Η βασική προϋπόθεση για τη χρησιμοποίηση οποιουδήποτε μοντέλου πρόβλεψης είναι να υπάρχει ένας αναλυτικός ψηφιακός χάρτης που να είναι διαθέσιμος στον προσομοιωτή ή στο εργαλείο σχεδίασης ραδιοδικτύου. Η Παράγραφος 3.2.1 ταξινομεί μερικές γενικές απαιτήσεις για ένα τέτοιο ψηφιακό χάρτη.

Τα μοντέλα διάδοσης και οι υπολογισμοί του path loss στα σύγχρονα εργαλεία RNP αποτελούνται από πολλά μέρη, όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 3.10: το βασικό μοντέλο path loss, τον έλεγχο Line Of Sight-LOS (γραμμής - του - οφθαλμού) , τον υπολογισμό στο ενεργό ύψος κεραίας του σταθμού βάσης και τις διορθώσεις για την τοπογραφία, τη μορφολογία και τον προσανατολισμό στο χώρο.



Σχήμα 3.10 Συγκρότηση στοιχείων του μοντέλου διάδοσης

Τα περισσότερα από αυτά τα μέρη, έχουν ένα σύνολο επιλεκτικών λειτουργιών διόρθωσης με καθορισμένες παραμέτρους χρήστη. Αυτό, το γεγονός ότι κάθε κυψέλη μπορεί

να έχει ένα μοναδικό μοντέλο, επιτρέπει στο χρήστη να προσδιορίσει το κατάλληλο μοντέλο για κάθε περιβάλλον διάδοσης.

Οι συντελεστές διόρθωσης είναι συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται για να διορθώσουν τη βασική συνάρτηση της απώλειας ζεύξεως από την άποψη των κύριων χαρακτηριστικών συγκεκριμένων σημείων, όπως οι μεγάλοι κυματισμοί στο έδαφος. Ο operator ορίζει πάντα διαφορετικούς συντελεστές διόρθωσης στα εργαλεία RNP.

3.2.2.2 Βασικές Απώλειες Διάδοσης(Propagation Loss)

Αυτή η Παράγραφος παρουσιάζει τα δυο ευρύτατα χρησιμοποιημένα μοντέλα διάδοσης, δηλαδή, τα μοντέλα Okumura-Hata και Walfisch-Ikegami. Αυτά τα μοντέλα είναι τα πιο τυπικά μέσα υπολογισμού της βασικής απώλειας διάδοσης.

Μοντέλο Okumura-Hata

Το μοντέλο Okumura-Hata είναι ευρύτατα χρησιμοποιημένο για τον υπολογισμό της κάλυψης και στη σχεδίαση macrocellular δικτύου. Αυτές οι μετρήσεις προσαρμόστηκαν σε ένα μαθηματικό μοντέλο από τον M. Hata [4], βάση των μετρήσεων που έγιναν από τον Y. Okumura [27] στο Τόκιο, σε συχνότητες μέχρι τα 1.920MHz.

Στο πρωτότυπο μοντέλο (Okumura), υπολογίστηκε το path loss, από τον υπολογισμό του εμπειρικού συντελεστή διόρθωσης εμπειρικής εξασθένησης για αστικές περιοχές ως συνάρτηση της απόστασης μεταξύ του σταθμού βάσης του κινητού σταθμού και της συχνότητας. Αυτός ο συντελεστής προστέθηκε στην απώλεια ελεύθερου χώρου. Το αποτέλεσμα διορθώθηκε από τους συντελεστές για το ενεργό ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης και το ύψος κεραίας του κινητού σταθμού. Επιπλέον εξασφαλίστηκαν οι συντελεστές διόρθωσης για τον προσανατολισμό των οδών των ημιαστικών και των ανοικτών περιοχών και του ανώμαλου εδάφους.

Οι φόρμουλες του Hata ισχύουν όταν η συχνότητα είναι από 150-1.000MHz, το ύψος του σταθμού βάσης είναι από 30-200m, το ύψος του κινητού σταθμού είναι 1-10. m και η απόσταση είναι από 1-20. m. Το ύψος κεραίας του σταθμού βάσης πρέπει να είναι πάνω από το επίπεδο ύψους κορυφής των κτιρίων που είναι γειτονικά στο σταθμό βάσης. Έτσι το μοντέλο διατίθεται να χρησιμοποιηθεί στις μελέτες διάδοσης των macrocells. Το αρχικό στοιχείο στο οποίο είχε αναπτυχθεί το μοντέλο αυτό ήταν κατά μέσο όρο πάνω από ένα διάστημα των 20m, δημιουργώντας ένα είδος ελάχιστης τρισδιάστατης ανάλυσης του μοντέλου. Το αρχικό μοντέλο ήταν ειδικά φτιαγμένο από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό στο χώρο της Επιστημονικής και Τεχνικής Έρευνας-231 (COST-231), λόγω των περιορισμών στις περιοχές συχνοτήτων, αποτελώντας ένα μοντέλο COST-231-Hata, με εύρος 1,5-2,0GHz, το

οποίο είναι επίσης εφαρμόσιμο και στα ραδιοδίκτυα τρίτης γενιάς. Από τα διαθέσιμα μοντέλα διάδοσης αναφέρεται πιο συχνά το μοντέλο Okumura-Hata. Ωστόσο αυτό έγινε η αναφορά στο οποίο συγκρίνονται άλλα μοντέλα. Το εύρος της χρησιμότητας του μοντέλου Okumura-Hata έγινε πολύ χρήσιμο σε πολλές διαφορετικές μελέτες διάδοσης με διαφορετικά εδάφη, χρησιμοποιώντας τύπους εδάφους για διαφορετικές παραμέτρους του δικτύου.

Επίσης υπάρχουν πολλές αδυναμίες στα εμπειρικά ή στα ημιεμπειρικά μοντέλα για τις μελέτες διάδοσης στα περιβάλλοντα με macrocells. Η φύση των φαινομένων διάδοσης αλλάζει, εάν το ύψος της κινητής κεραιάς είναι κάτω από τη στάθμη του ύψους κορυφής των περιβαλλόντων κτιρίων. Αυτή η περίπτωση δε μπορεί να αναλυθεί με στατιστικές μεθόδους γιατί τα χαρακτηριστικά κτίρια είναι πολύ μεγάλα για να συγκριθούν με το μέγεθος της κυψέλης και δε μπορούν να αγνοηθούν άλλο οι ακριβείς γεωμετρικές ιδιότητες των κτιρίων όπως μπορούσαν να αγνοηθούν στα macrocellular μοντέλα.

Η εξίσωση Okumura-Hata [4], [27] είναι στη μορφή της απώλειας διάδοσης:

$$L_p = A + B \cdot \log_{10} f - 13,82 \cdot \log_{10} h_b - a(h_m) + (C - 6,55 \cdot 10 \log_{10} h_b) \cdot \log_{10} d \quad (3.25)$$

όπου L_p είναι το path loss (σε dB), f είναι η συχνότητα (σε MHz), h_b και h_m είναι τα ύψη κεραιών του σταθμού βάσης και του κινητού σταθμού αντίστοιχα (σε μέτρα), $a(h_m)$ είναι η συνάρτηση κέρδους της κινητής κεραιάς (σε dB) και d είναι η απόσταση (σε Km).

Οι παράμετροι A και B ορίζονται από το χρήστη σύμφωνα με τον Πίνακα 3.5. Αυτές οι τιμές έχουν προσδιοριστεί προσαρμόζοντας το μοντέλο με μετρήσεις.

Πίνακας 3.5 Οι Σταθερές A και B για το μοντέλο Okumura-Hata

	150–1000 MHz	1500–2000 MHz
A	69.55	46.3
B	26.16	33.9

Η παράμετρος C δίνει την εξάρτηση απόστασης του μοντέλου και ορίζεται από το χρήστη. Το C θα πρέπει να οριστεί χρησιμοποιώντας το κατάλληλο σύνολο μετρήσεων και είναι πιθανό να επιτευχθεί μια καλύτερη προσαρμογή στη ρύθμιση του μοντέλου αλλάζοντας αυτήν την παράμετρο. Η τιμή του είναι συνήθως ανάμεσα στο 44 και 47 και βάση εμπειρίας η προκαθορισμένη τιμή που χρησιμοποιείται πιο συχνά είναι 44,9.

Ο σταθερός όρος στη συνάρτηση Okumura-Hata καθορίζεται στο τμήμα κλίσης και στον τύπο μεγαλουπόλεων. Ο τύπος πόλεως ορίζει τη συνάρτηση $a(h_m)$ για το κέρδος της κινητής κεραίας:

για μικρή ή κανονική πόλη:

$$a(h_m) = (1,1 \cdot \log_{10} f - 0,7) \cdot h_m - (1,56 \cdot 10 \log_{10} f - 0,8) \quad (3.26)$$

και για μεγάλη πόλη

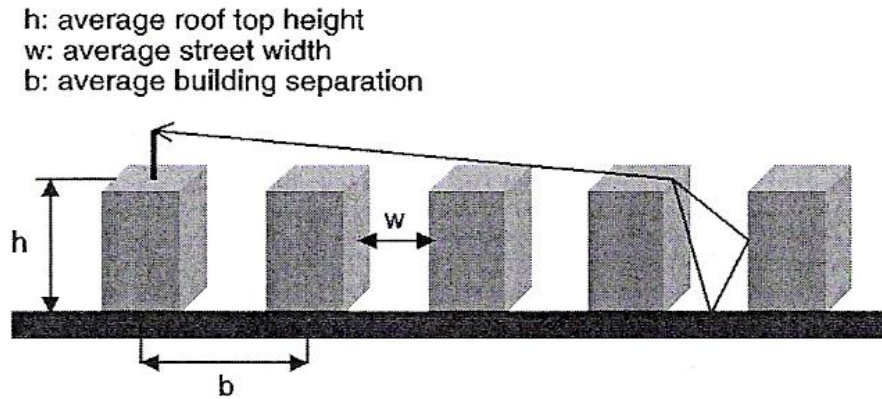
$$a(h_m) = \begin{cases} 8,29 \cdot [\log_{10}(1,54 \cdot h_m)]^2 - 1,1 & f \leq 200 \text{ MHz} \\ 3,2 \cdot [\log_{10}(11,75 \cdot h_m)]^2 - 4,97 & f \geq 400 \text{ MHz} \end{cases} \quad (3.27)$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτές οι συναρτήσεις δεν έχουν πολύ νόημα στην πράξη γιατί είναι σχεδόν το ίδιο το ύψος της κεραίας που χρησιμοποιείται στον κινητό σταθμό ($\approx 1,5\text{m}$). Για την τιμή αυτή, οι συναρτήσεις αυτές είναι κοντά στο μηδέν και δεν είναι πολύ ευμετάβλητες στις μικρές αποκλίσεις του ύψους της κινητής κεραίας.

Μοντέλο Walfisch-Ikegami

Το μοντέλο Walfisch-Ikegami βασίζεται στην υπόθεση ότι το εκπεμπόμενο κύμα μεταδίδεται πάνω από το ύψος κορυφής των κτιρίων με πορεία πολλαπλής διάθλασης. Τα κτίρια που είναι σε σειρά ανάμεσα στον πομπό και στον δέκτη χαρακτηρίζονται ως διάθλαση μισής- επιφάνειας με ίδιο διαχωρισμό του ύψους και του μήκους [26] (Σχήμα 3.11).

Το λαμβανόμενο πεδίο στο κινητό τερματικό αποτελείται από δυο ακτίνες όπως φαίνεται, για παράδειγμα στο Σχήμα 3.11: (1) την ευθεία διαθλώμενη ακτίνα και (2) το διαθλώμενο - και - μοναδικό ανακλώμενο κύμα. Ενώνονται μαζί οι ισχύς αυτών των δυο στοιχείων. Το πρωτότυπο μοντέλο επεκτείνεται από το μοντέλο «street canyon», [26], για την περίπτωση της γραμμής-του οφθαλμού (LOS). Το τελικό μοντέλο ονομάζεται μοντέλο (OST-231-Walfisch-Ikegami).



Σχήμα 3.11 Ορισμός παραμέτρων του μοντέλου Walfisch-Ikegami

Στα σύγχρονα εργαλεία RNP, είναι δυνατόν να οριστεί η διάδοση LOS, ως μια συνάρτηση δυο κλίσεων. Αυτό στηρίζεται στο γεγονός ότι, λαμβάνεται η γη ως επίπεδη και υπάρχουν δυο κύριες πορείες διάδοσης από το T_x στο R_x : η ευθεία πορεία και η ανακλώμενη από το έδαφος πορεία. Όταν ενωθούν αυτές οι δυο πορείες σύμφωνα, έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι δυο φάσεις των κυμάτων, μπορεί ναδειχθεί ότι υπάρχει μια απόσταση που ονομάζεται «σημείο διάσπασης» (breakpoint), μετά της οποίας η κλίση είναι πιο απότομη από πριν. Η επίδραση του σημείου διάσπασης λαμβάνεται υπόψη στα εργαλεία RNP, δίνοντας στο χρήστη τη δυνατότητα αλλαγής των παραμέτρων από αυτές τις συναρτήσεις των δυο κλίσεων.

Η απόσταση του σημείου διάσπασης μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη εξίσωση:

$$d_b = \frac{4 \cdot h_1 \cdot h_2}{\lambda} \quad (3.28)$$

όπου h_1 είναι το ύψος του πομπού, h_2 είναι το ύψος του δέκτη και λ είναι το μήκος κύματος.

Αν και το μοντέλο Walfisch-Ikegami θεωρείται να είναι ένα microcell μοντέλο, θα χρησιμοποιηθεί πολύ προσεκτικά, όταν η κεραία του πομπού είναι κάτω από το ύψος κορυφής των περιβάλλοντων κτιρίων. Σε τέτοιες περιπτώσεις το εκπεμπόμενο κύμα ταξιδεύει μέσω των «φαραγγιών» (street canyons) στις οδούς και όχι πάνω από τις κορυφές των κτιρίων όπως θεωρείται στο μοντέλο. Π.χ. το μοντέλο Walfisch-Ikegami υπερεκτιμά το path

loss, εάν είναι μεγάλο το πραγματικό μέγεθος του κτιρίου και αμελητέα η διάθλαση πάνω από την κορυφή του κτιρίου. Το μοντέλο υποδηλώνει μόνο μια πρόχειρη εμπειρική συνάρτηση του ύψους κεραίας του σταθμού βάσης για τις πορείες που παρεμποδίζονται στις μακροκυψέλες. Έτσι πρέπει να εφαρμοστεί πολύ προσεκτικά σε αυτή την περίπτωση και το αποτέλεσμα θα επαληθευθεί με μετρήσεις. Σε εκείνες τις περιπτώσεις που είναι ίδιες οι διαστάσεις των κτιρίων και χωρίζονται ομοιόμορφα, οι προϋποθέσεις που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο Walfisch-Ikegami περιορίζουν τη χρησιμότητα του. Επίσης πρέπει να είναι σταθερό το ύψος του εδάφους στην περιοχή υπολογισμού της κυψέλης.

Το μοντέλο COST-231- Walfisch-Ikegami χωρίζεται σε δυο μέρη: (1) στην οπτική επαφή (γραμμή - του- οφθαλμού –LOS) και (2) μη οπτική επαφή (non LOS). Για να βρεθεί κατά πόσο ή όχι η πορεία είναι LOS χρησιμοποιείται η πληροφορία του ύψους του κτιρίου. Σε αυτό το μοντέλο το path loss υπολογίζεται όπως ακολουθεί:

$$L_p = \begin{cases} 42,6 + 26 \cdot \log_{10} d + 20 \cdot \log_{10} f, & \text{when receiver is LOS} \\ 32,4 + 20 \cdot \log_{10} d + 20 \cdot \log_{10} f + L_{rts} + L_{msd}, & \text{when receiver is NLOS} \end{cases} \quad (3.29)$$

όπου L_p είναι το ολικό path loss σε dB, L_{rts} είναι η διάθλαση από την κορυφή του κτιρίου-προς- τη λεωφόρο και οι απώλειες διασκορπισμού και L_{msd} είναι η απώλεια διάθλασης πολλαπλών επιφανειών (dB). Παρατηρείται ότι αυτός ο όρος για το LOS δεν έχει σημείο διάσπασης, έτσι ισχύει μόνο για σχετικές μικρές αποστάσεις. Η απόσταση του σημείου διάσπασης εξαρτάται από το ύψος και τις αποστάσεις της κεραίας.

Οι παράμετροι h , w και b μπορούν να προσδιοριστούν στο εργαλείο RNP, για κάθε κυψέλη ανεξάρτητα από οποιαδήποτε πληροφορία του ψηφιακού χάρτη, όταν χρησιμοποιηθούν τα κανονικά μορφολογικά στοιχεία.

Οι ειδικές παράμετροι ακτίνας υπολογίζονται προαιρετικά για τα πλάτη των δρόμων, για τα χωρίσματα των κτιρίων και για τις αποστάσεις και το ύψος των κτιρίων, χρησιμοποιώντας το χάρτη διανυσματικού επιπέδου των κτιρίων. Αυτό βελτιώνει την ακρίβεια του μοντέλου, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης όταν δεν είναι ομοιόμορφα τα ύψη του κτιρίου και οι αποστάσεις των κτιρίων στην περιοχή υπολογισμού. Ωστόσο, το μοντέλο βασίζεται στην προϋπόθεση ότι είναι ομοιόμορφα τα ύψη και οι αποστάσεις μεταξύ των κτιρίων. Έτσι θα χρειαστεί προσοχή όταν χρησιμοποιούνται αυτή η επέκταση και οι επαληθεύσεις με τα μετρημένα στοιχεία που προτείνονται.

3.2.3 Αναλυτικές Επαναλαμβανόμενες Λειτουργίες στο UL και στο DL

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζουμε σε πιο αναλυτικό επίπεδο τις μεθόδους και ένα παράδειγμα των αλγορίθμων που χρειάζονται σε αυτή την επαναλαμβανόμενη ανάλυση κατά τη διάρκεια της φάσης της αναλυτικής σχεδίασης ενός ραδιοδικτύου τρίτης-γενιάς. Οι περισσότεροι από αυτούς προκύπτουν λόγω των χαρακτηριστικών που είναι τυπικά για ένα δίκτυο 3G. Περιλαμβάνουν πολλαπλές υπηρεσίες και τις απαιτήσεις τους για το QoS, το γρήγορο έλεγχο εκπομπής ισχύος στο UL και στο DL, το soft και το softer handover και οι συνδυασμοί αυτών, την κατανομή του πολυοδικού (multipath) καναλιού διάδοσης και την ταχύτητα του τερματικού. Για να μοντελοποιηθούν οι απαιτήσεις επιπέδου-ζεύξεως των διαφορετικών υπηρεσιών σε διαφορετικές συνθήκες του πολυοδικού καναλιού, μπορούν να αναγνωριστούν πέντε τύποι αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων της ζεύξεως και να φτάσουν σε ένα εργαλείο σχεδίασης (οι ιδέες αυτές παρουσιάστηκαν εν συντομία στην Παράγραφο 2.5):

- Η μέση λαμβανόμενη απαίτηση E_b/N_0 .
- Η μέση αύξηση της ισχύος.
- Το περιθώριο της πολυοδικής εξασθένησης-multipath fading (power control headroom).
- Το diversity combining gain στο SHO.
- Η ορθογωνικότητα

Για να έρθει η πληροφορία από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης επιπέδου - ζεύξεως σε ένα εργαλείο σχεδίασης, ένας πιθανός τρόπος είναι μέσω των εμπονομαζόμενων πινάκων της επίδοσης ζεύξεως. Οι πιο σημαντικοί αριθμοί σε αυτούς τους πίνακες είναι οι απαιτήσεις E_b/N_0 οι υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται για τις επιλεγμένες ταχύτητες του MS, και στο UL και στο DL και ο συντελεστής ορθογωνικότητας στο DL. Οι αριθμοί στους πίνακες εξαρτώνται από την κατανομή των καναλιών και θα παράγονται διαφορετικοί πίνακες για διαφορετικές κατανομές των καναλιών. Στον ίδιο φάκελο θα υπάρχουν επίσης τα απαιτούμενα περιθώρια των πολυοδικών εξασθενήσεων (headroom) στο uplink στο λαμβανόμενο E_b/N_0 καθώς και το μέσο όρο της αύξησης ισχύος ως συνάρτηση της ταχύτητας του MS. Αυτά θα μετρώνται σε decibels στο μέσο λαμβανόμενο E_b/N_0 . Τα κέρδη της δυνατότητας ένωσης των SHO, έχουν ταξινομηθεί στο uplink και στο downlink ως συνάρτηση της ταχύτητας του κινητού σταθμού και της διαφοράς στάθμης μεταξύ των καλύτερων ζεύξεων. Εκτός από αυτές τις παραμέτρους, χρησιμοποιείται η πραγματική ενέργεια του

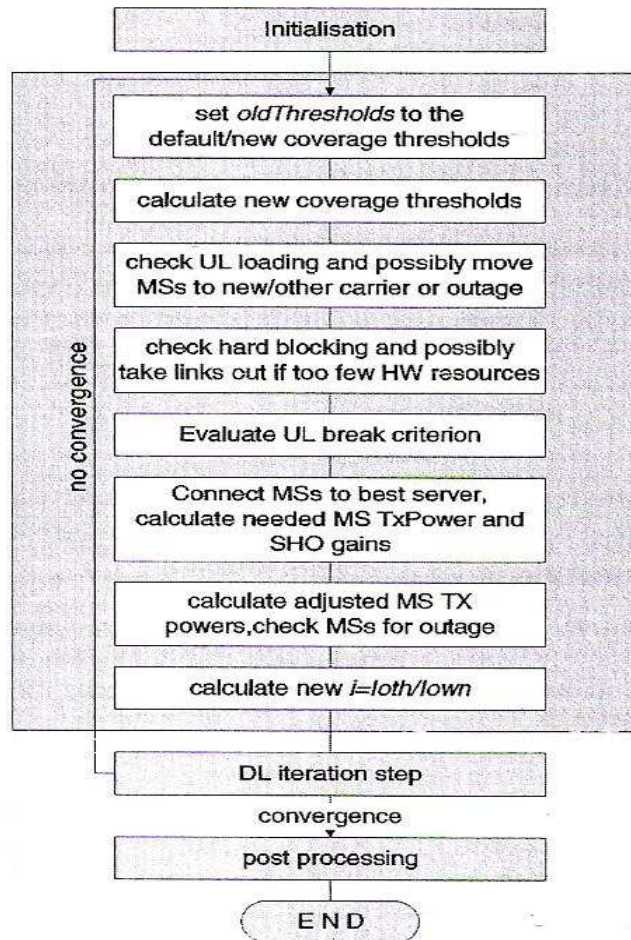
καναλιού στους υπολογισμούς παρεμβολής και τοποθετείται στους πίνακες επίδοσης ζεύξεως.

Σημειώνεται ότι δεν είναι σταθεροί οι πίνακες της επίδοσης ζεύξεως, οι νέες τιμές θα χρησιμοποιούνται πάντα όταν υπάρχει παραπάνω διαθέσιμη πληροφορία από τις κανονικές απαιτήσεις, από τις προσομοιώσεις επιπέδου-ζεύξεως και τέλος από τις μετρήσεις κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του δικτύου. Παραδείγματα των πινάκων της επίδοσης επιπέδου-ζεύξεως μπορούν να βρεθούν στην εφαρμογή του συνοδευόμενου CD.

3.2.3.1 Βήματα των Επαναλαμβανόμενων Λειτουργιών στο Uplink

Ο στόχος στην επαναλαμβανόμενη λειτουργία για uplink είναι να εκχωρηθούν οι εκπεμπόμενες ισχύς των κινητών σταθμών όπως οι στάθμες (παρεμβολής και θορύβου), έτσι ώστε να συγκλίνουν η ευαισθησία του δέκτη του σταθμού βάσης με το επίπεδο του θορύβου και της παρεμβολής. Οι μέσες εκπεμπόμενες ισχύς των κινητών σταθμών υπολογίζονται έτσι ώστε να πραγματοποιήσουν τις απαιτήσεις E_b/N_0 των σταθμών βάσης. Οι μέσες εκπεμπόμενες ισχύς των κινητών σταθμών υπολογίζονται έτσι ώστε να πραγματοποιήσουν τις απαιτήσεις E_b/N_0 των σταθμών βάσης. Οι μέσες εκπεμπόμενες ισχύς των κινητών σταθμών βασίζονται στο επίπεδο της ευαισθησίας των σταθμών βάσης, στην υπηρεσία (data rate), στην ταχύτητα του κινητού σταθμού και στις απώλειες ζεύξης στους σταθμούς βάσης. Διορθώνονται λαμβάνοντας υπόψη το συντελεστή δραστηριότητας, τα κέρδη SHO και τη μέση αύξηση της ισχύος εξαιτίας της εκπομπής του γρήγορου ελέγχου ισχύος. Η επίδραση του φορτίου στο uplink λαμβάνεται υπόψη προσαρμόζοντας το με $(1-\eta)$. το φορτίο η μπορεί να οριστεί από την εξίσωση (3.6).

Αφού έχουν υπολογιστεί οι μέσες εκπεμπόμενες ισχύς των κινητών, συγκρίνονται με τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή. Οι κινητοί σταθμοί τίθενται εκτός υπηρεσίας ή εάν επιτρέπεται επιχειρούν το handover ενδιάμεσης συχνότητας (IF-HO), όταν υπερβούν το όριο αυτό. Τώρα η ανάλυση μπορεί να εκτελεστεί ξανά και υπολογίζονται τα νέα φορτία και οι νέες ευαισθησίες του σταθμού βάσης μέχρι να γίνουν μικρότερες οι αλλαγές τους από τα συγκρινόμενα κατώφλια των τιμών. Επίσης, εάν το φορτίο μιας κυψέλης υπερβεί τα συγκεκριμένα όρια, τότε εάν επιτρέπεται (IF-HO), οι κινητοί σταθμοί μετακινούνται σε άλλο φέρον, αλλιώς τίθενται εκτός υπηρεσίας. Στο Σχήμα 3.12 απεικονίζεται ένα παράδειγμα του διαγράμματος ροής των βημάτων των αριθμητικών λειτουργιών για το uplink.



Σχήμα 3.12 Διάγραμμα ροής των βημάτων των αριθμητικών λειτουργιών για uplink. Αποδίδεται με την άδεια των Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων Τηλεπικοινωνιών.

Επιλογή Καλύτερου Server για UL και DL

Ένας τρόπος για να διευκρινίσουμε τα τυπικά θέματα στο WCDMA στις επαναλαμβανόμενες λειτουργίες UL είναι να υπολογίσουμε από πόσους και με ποιόν σταθμό ή σταθμούς βάσης συνδέονται ο υπό συζήτηση κινητός σταθμός. Ωστόσο, πρέπει να αποφασιστεί πως θα προσδιοριστούν οι BS που ανήκουν στο active set (AS) και ποιοι από αυτούς είναι οι καλύτεροι server. Ο προσδιορισμός του active set στο παράδειγμα του εργαλείου RNP βασίζεται στη λαμβανόμενη ισχύ του σήματος του P-CPICH καναλιού. Περιλαμβάνονται όλοι οι BS στο active set των οποίων τα P-CPICH λαμβάνονται μέσα σε ένα κύριο παράθυρο. Επιπλέον θα μπορεί να εκπέμπεται η ελάχιστη απαιτούμενη στάθμη λήψεως, έτσι ώστε να λαμβάνεται μαζί με την απαιτούμενη ποιότητα του σήματος. Παρακάτω

περιγράφεται ο υπολογισμός της απαιτούμενης ισχύος που χρειάζεται. Ο καλύτερος server στο UL επιλέγεται απλά ως ο σταθμός βάσης (BS) που απαιτεί την ελάχιστη ισχύ εκπομπής από τον κινητό σταθμό (MS). Στο DL οι BSs από το AS είναι απλώς ταξινομημένοι σύμφωνα με τη στάθμη στην οποία λαμβάνεται το P-CPICH αυτών από το MS.

Η κατανομή των ισχύων εκπομπής των P-CPICH στις χαρακτηριστικές κυψέλες είναι μια αναγκαία προϋπόθεση. Για παράδειγμα μπορούν να εφαρμοστούν πολλές στρατηγικές.

- Θεωρώντας ότι όλες οι κυψέλες χρησιμοποιούν την ίδια ισχύ του P-CPICH
- Προσδιορισμός των ισχύων P-CPICH από τον operator για κάθε κυψέλη
- Χρησιμοποιώντας τη μέγιστη ισχύ του P-CPICH για την λιγότερο φορτωμένη κυψέλη (κάνοντας τη πιο ελκυστική) και κλιμακώνοντας τις ισχύς των P-CPICH των άλλων κυψελών από το φορτίο που είναι σχετικό με αυτή την κυψέλη.

Υπολογισμός των ισχύων T_x που χρειάζονται στο UL

Η ισχύς εκπομπής (σε dBm) που χρειάζεται για το MS n για να εκπέμψει στο BS k προσδιορίζεται από την εξίσωση (3.30):

$$neededMsTxPower(k, n) = bsSensitivity(k) + linklossUL(k, n) \quad (3.30)$$

όπου $bsSensitivity(k)$ είναι η ευαισθησία του BS k (σε dBm) και $linklossUL(k, n)$ είναι η ολική απώλεια ζεύξεως στο uplink μεταξύ του MS n και του BS k (σε dB). Έπειτα προσδιορίζεται ο καλύτερος server στο UL για το MS n ως το BS που ελαχιστοποιεί την εξίσωση (3.30). Αφού υπολογιστεί μόνο μια ευαισθησία για κάθε έναν από τους σταθμούς βάσης, αυτό γίνεται μια υπηρεσία αναφοράς, η οποία ορίζεται από το data rate που χρησιμοποιείται και από την ταχύτητα του τερματικού. Γι' αυτό το λόγο η ισχύς εκπομπής χρειάζεται για το MS και μετά διορθώνεται στο επόμενο βήμα από τη διαφορά της ευαισθησίας του δέκτη για διαφορετικές υπηρεσίες, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3.31):

$$txPowerBase = \min MsTxPower + deltaSensitivity \quad (3.31)$$

όπου $\min MsTxPower$ είναι η ελάχιστη ισχύς από την εξίσωση (3.30) και η (ευαισθησία δέλτα) $deltaSensitivity$ ορίζεται από την εξίσωση (3.31):

$\Delta S_{\text{Sensitivity}}(i)[dB]$

$$= \ln 2 \log \left(\frac{v_{UL} \cdot \left(1 + \frac{W}{v_{UL} \cdot \log 2 \ln(\text{ref}E_b/N_0) \cdot \text{ref}R} \right)}{v_{UL}(i) \cdot \left(1 + \frac{W}{v_{UL}(i) \cdot \log 2 \ln[msE_b/N_0 UL(i) \cdot msRUL(i)]} \right)} \right) \quad (3.32)$$

όπου W είναι το chip rate, $v_{UL}(i)$ είναι ο συντελεστής δραστηριότητας (activity factor) στο UL του MS i , v_{UL} είναι ο συντελεστής δραστηριότητας στο UL της υπηρεσίας αναφοράς, $\text{ref}E_b/N_0$ είναι το E_b/N_0 της υπηρεσίας αναφοράς και υπολογίζεται από τους πίνακες της επιδόσεως επιπέδου-ζεύξεως χρησιμοποιώντας το $\text{ref}R$ και το refSpeed , τα οποία είναι τα data rate αναφοράς και η ταχύτητα που εφαρμόζεται για τον υπολογισμό της ευαισθησίας για την υπηρεσία αναφοράς, $msE_b/N_0 UL(i)$ είναι το E_b/N_0 του MS στο UL και $msRUL(i)$ είναι το data rate του MS i στο UL.

Με τη βασική ισχύ εκπομπής από την εξίσωση (3.31), υπολογίζονται όπως ακολουθεί όλες οι ισχύς εκπομπής των MS που χρειάζονται στον επαναλαμβανόμενο υπολογισμό:

Πρώτον, το κέρδος προέρχεται από το SHO στο UL και λαμβάνεται υπόψη για να υπολογιστεί η ισχύς που φαίνεται από την κύρια κυψέλη:

$$msTxPower = txPowerBase - SHOgainRx \quad (3.33)$$

όπου $SHOgainRx$ είναι το κέρδος που λαμβάνεται από τις προσομοιώσεις επιπέδου-ζεύξεως που οφείλονται στο SHO, εξαρτώμενο από τη διαφορά στάθμης μεταξύ της ισχυρότερης και της δεύτερης ισχυρότερης ζεύξης στο AS.

Δεύτερον, η ισχύς που φαίνεται στους υπολογισμούς παρεμβολής των άλλων κυψελών προσδιορίζεται από:

$$msTxPowerRaised = txPowerBase + (msTxPowerRaise - SHOgainTx) \quad (3.34)$$

όπου $msTxPowerRaise$ είναι η μέση αύξηση της ισχύος εξαιτίας του γρήγορου PC και το $SHOgainTx$ είναι η μείωση αυτή της αύξησης ισχύος που οφείλεται στο $SHOgainTx$. Το πρώτο από αυτά υπολογίζεται από τις προσομοιώσεις επιπέδου-ζεύξεως χρησιμοποιώντας

την ταχύτητα του τερματικού και το δεύτερο χρησιμοποιώντας την ταχύτητα του τερματικού και τη διαφορά στάθμης μεταξύ της ισχυρότερης και της δεύτερης ισχυρότερης ζεύξης στο AS.

Τρίτον, η ισχύς εκπομπής περιέχει το περιθώριο ταχείας εξασθένησης και υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση (3.35). Αυτή η ισχύς χρειάζεται για να ελέγξει το κατά πόσον ο MS έχει αρκετή ισχύ ή πρέπει να τεθεί εκτός υπηρεσίας:

$$msTxPowerPeak = txPowerBase + (msHeadRoom - SHOgainPeak) \quad (3.35)$$

όπου $msHeadRoom$ είναι το περιθώριο ταχείας εξασθένησης που χρειάζεται στο όριο της κυψέλης για το γρήγορο PC για να ακολουθεί τη εξασθένηση και $SHOgainPeak$ είναι η μείωση αυτού του περιθωρίου που οφείλεται στο κέρδος SHO. Το πρώτο από αυτά υπολογίζεται από τις προσομοιώσεις επιπέδου-ζεύξεως, χρησιμοποιώντας την ταχύτητα του τερματικού και το δεύτερο χρησιμοποιώντας την ταχύτητα του τερματικού και τη διαφορά στάθμης μεταξύ της ισχυρότερης και της δεύτερης ισχυρότερης ζεύξης στο AS.

Υπολογισμός Ευαισθησίας του BS, Φορτίου BS και του Φορτίου Ελέγχου στο UL

Η ευαισθησία του σταθμού βάσης, με άλλα λόγια η απαιτούμενη ισχύς του σήματος στο δέκτη για την υπηρεσία αναφοράς, υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$bsSensitivity = BS_noise_power + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{vUL \cdot \left(1 + \frac{W}{vUL \cdot refEbNo \cdot refR} \right) \cdot (1 - \eta)} \right) \quad (3.36)$$

όπου BS_noise_power είναι το noise figure του δέκτη (σε dBm, περιλαμβάνοντας τον συντελεστή θορύβου N_f), vUL , $refEbNo$ και $refR$ είναι η ενεργός υπηρεσία, η απαίτηση E_b/N_0 το bit rate της υπηρεσίας αναφοράς και το η είναι το φορτίο στο UL σύμφωνα με την εξίσωση (3.55).

Τα στοιχεία της παρεμβολής που χρειάζονται για τον υπολογισμό του φορτίου είναι:

$$I_{own,m} = \sum_{k, bestServer(k)=m} \frac{v_k \cdot \log 2lin(msTxPower_k)}{Lp_{k,m}} \quad (3.37)$$

$$I_{oth,m} = \sum_{k=1, bestServer(k) \neq m} \frac{v_k \cdot \log 2lin(msTxPowerRaised_k)}{Lp_{k,m}} \quad (3.38)$$

$$I_{ACI,m} = \sum_j \frac{v_k \cdot \max[\log 2lin(-acFilterUL) \cdot \log 2lin(msTxPowerRaised_k), \log 2lin(acMinPowUL)]}{Lp_{k,m}} \quad (3.39)$$

Όταν υπολογίζεται το φορτίο στο uplink για κάθε κυψέλη με τη βοήθεια των παραπάνω εξισώσεων μπορεί να ελεγχθεί το λαμβανόμενο φορτίο ενάντια στο μέγιστο επιτρεπτό φορτίο στην κάθε κυψέλη. Εάν υπερβαίνεται αυτό, οι κινητοί σταθμοί μπορούν να βρεθούν απευθείας εκτός υπηρεσίας ή να έχουν εκτελέσουν το IF-HO, εάν είναι διαθέσιμο ένα δεύτερο φέρον. Για παράδειγμα, μπορεί να επιλεγεί η στρατηγική για την επιλογή των υποψήφιων κινητών μεταξύ των ακόλουθων:

- Τυχαία από όλους τους κινητούς σταθμούς του δικτύου
- Τυχαία από όλους τους κινητούς σταθμούς στην υπερφορτωμένη κυψέλη
- Σύμφωνα με τις απαιτούμενες ισχύς εκπομπής
- Σύμφωνα με την υπηρεσία

Τέλος θα πρέπει να ελεγχθεί κατά πόσον μπορούν να εξυπηρετηθούν από το hardblocking οι κινητοί σταθμοί που απομένουν από την πλευρά του hardware, επίσης σε αυτήν την περίπτωση οι κινητοί σταθμοί τίθενται εκτός υπηρεσίας με ή χωρίς την εκτέλεση του IF-HO εάν έχουν τελειώσει οι πόροι σε μία κυψέλη.

3.2.3.2 Βήματα Επαναλαμβανόμενων Λειτουργιών στο DL

Παρόμοια με το uplink, ο στόχος των επαναλαμβανόμενων λειτουργιών στο downlink είναι να ορίσουν τις ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης για κάθε ζεύξη (περιλαμβάνοντας τις συνδέσεις SHO) που χρησιμοποιούνται από ένα κινητό σταθμό, μέχρι να λαμβάνουν όλοι οι κινητοί σταθμοί το σήμα τους μαζί με τον απαιτούμενο λόγο Carrier-to-Interference (C/I), και ορίζεται από την εξίσωση (3.40):

$$targetCI = \frac{EbNo_{MS}}{W/R} \quad (3.40)$$

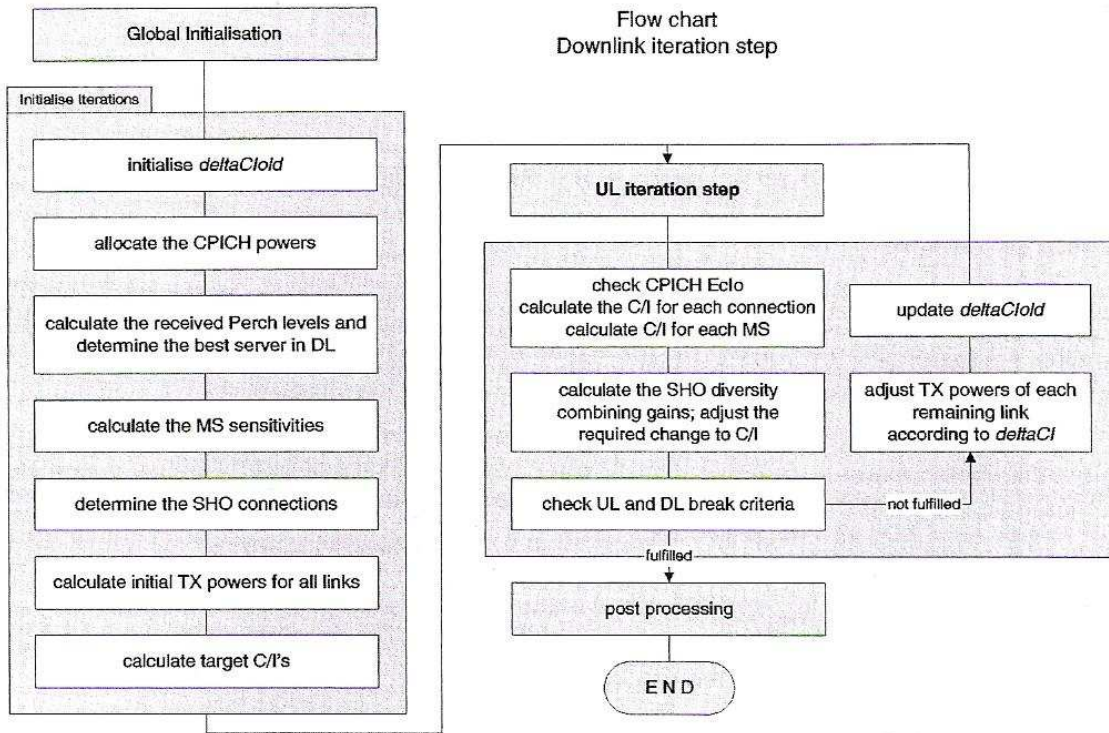
όπου $EbNo_{MS}$ είναι η λαμβανόμενη απαίτηση E_b/N_o του MS και εξαρτάται από την ταχύτητα του τερματικού και την υπηρεσία. Το πραγματικό λαμβανόμενο $(C/I)_m$ του MS m υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το maximal ratio combining (MRC), σύμφωνα με την εξίσωση (3.41), αθροίζοντας τις τιμές C/I όλων των ζεύξεων k ($k=1, \dots, K$) που χρησιμοποιούνται από ένα κινητό σταθμό m :

$$\left(\frac{C}{I}\right)_m = \sum_{k=1}^K \frac{P_{km}/Lp_{km}}{(1-a_k) \cdot P_k/Lp_{km} + I_{oth,k} + N_m} \quad (3.41)$$

όπου P_k είναι η ολική ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης στην οποία στηρίζεται η ζεύξη k , Lp_{km} είναι η απώλεια ζεύξης από την κυψέλη k στον κινητό σταθμό m , a_k είναι ένας συντελεστής ορθογωνικότητας συγκεκριμένης κυψέλης, P_{km} είναι η ισχύς που εκχωρείται στη ζεύξη από το σταθμό βάσης k στον κινητό σταθμό m , $I_{oth,k}$ είναι η παρεμβολή άλλης κυψέλης και N_m είναι το noise figure και ο θόρυβος του δέκτη του MS m .

Οι αρχικές εκπεμπόμενες ισχύς ρυθμίζονται επαναλαμβανόμενα σύμφωνα με τη διαφορά των επιτυγχανόμενων και των επιθυμητών τιμών (targets) C/I μέχρι να επιτευχθεί η σύγκλιση αυτών. Η διαδικασία απαιτεί επανάληψη, από τη στιγμή που εξαρτάται το C/I σε κάθε κινητό σταθμό από τις ισχύς που εκχωρούνται σε άλλους κινητούς σταθμούς και δεν είναι γνωστό εξ αξιώματος κατά πόσο μπορεί ή όχι να στηριχθεί μια ζεύξη. Εάν υπερβαίνονται τα όρια της κύριας ζεύξεως ή της ολικής ισχύος εκπομπής, εάν επιτρέπεται οι κινητοί σταθμοί θα εκτελέσουν το IF-HO ή θα τεθούν εκτός δικτύου σε τυχαία σειρά.

Σε ένα επιπλέον βήμα για κάθε κινητό σταθμό ελέγχεται το κατά πόσο η λαμβανόμενη τιμή P-CPICH E_c/N_o είναι πάνω από το κατώφλι που έχει προσδιοριστεί από το χρήστη, έτσι ώστε ο κινητός σταθμός να μπορεί να μετρήσει σίγουρα το σταθμό βάσης και να συγχρονιστεί με αυτόν. Επίσης, σε αυτή την περίπτωση εάν υπερβληθεί το δεδομένο κατώφλι, τότε ο κινητός σταθμός επιχειρεί το IF-HO ή τίθεται εκτός υπηρεσίας. Στο Σχήμα 3.13 δίνεται το διάγραμμα ροής για τα αναλυτικά βήματα των επαναλαμβανόμενων λειτουργιών.



Σχήμα 3.13 Διάγραμμα ροής για τα βήματα των επαναλαμβανόμενων λειτουργιών στο DL, αποδίδεται με την άδεια των Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων Τηλεπικοινωνιών

Υπολογισμός των Ισχύων T_x που χρειάζονται στο DL

Οι ισχύς εκπομπής χρειάζονται για όλες τις ζεύξεις SHO στο DL υπολογίζονται επαναλαμβανόμενα ρυθμίζοντας αρχικά τις εκχωρημένες ισχύς ζεύξεως. Για την αρχική κατανομή της ισχύος T_x πρέπει να εκτελεστούν τα ακόλουθα βήματα:

- Βάση του υπολογισμού ενός RLB για το DL, και υπολογίζεται η ευαισθησία ενός MS
- Υπολογίζεται η αρχική ισχύς T_x για την καλύτερη ζεύξη στο AS
- Υπολογίζεται η αρχική ισχύς T_x για άλλες ζεύξεις στο AS

Η ευαισθησία του κινητού σταθμού υπολογίζεται απλά προσαρμόζοντας την ευαισθησία του σταθμού βάσης, ο οποίος είναι ο καλύτερος server, από την διαφορά στις απαιτούμενες τιμές E_b/N_0 του UL και του DL, σύμφωνα με τις εξισώσεις (3.42) και (3.43):

$$msSensitivity = bsSensitivity(bestServerDL) - EbNoCorrectionFactor \quad (3.42)$$

όπου $bsSensitivity(bestServerDL)$ είναι η ευαισθησία του BS server. στο DL και

$$EbNoCorrectionFactor = -\Delta Sensitivity - (msEbNoDL - msEbNoUL) \quad (3.43)$$

Έπειτα προσδιορίζεται η αρχική ισχύς εκπομπής για κάθε σύνδεση του MS m . Πρώτον εκχωρείται η ισχύς που χρειάζεται για τη σύνδεση στον καλύτερο server. Αυτή η ισχύς εκπομπής δίνεται από:

$$txPower_m [dBm] = msSensitivity_m + linklossDL(bestServerDL, m) \quad (3.44)$$

όπου $msSensitivity_m$ είναι η ευαισθησία του MS m και $linklossDL(bestServerDL, m)$ είναι η ολική απώλεια ζεύξης μεταξύ του MS m και στον καλύτερο του server.

Αφού προσδιοριστεί η ισχύς εκπομπής της κυριότερης ζεύξεως, εκχωρούνται οι ισχύς T_x για άλλες συνδέσεις SHO του κάθε MS. Αυτές οι ισχύς T_x ρυθμίζονται από τη διαφορά μεταξύ της ισχύος του P-CPICH του σταθμού βάσης, όπου εκχωρείται η ζεύξη και από αυτή του καλύτερου server, και οι δυο ισχύς μετρώνται σε dBm σύμφωνα με την εξίσωση (3.45):

$$txPower_{m,k} = txPower_m + CPICHPower(k) - CPICHPower(bestServerDL) \quad (3.45)$$

όπου $txPower_{m,k}$ είναι η ισχύς T_x της ζεύξεως μεταξύ της κυψέλης k και του MS m , $txPower_m$ είναι η ισχύς T_x του καλύτερου server στο MS m [εξίσωση (3.44)], $CPICHPower(k)$ είναι η P-CPICH ισχύς του BS k και $CPICHPower(bestServerDL)$ είναι η ισχύς P-CPICH του καλύτερου server στο DL (όλες οι τιμές σε dBm).

Υπολογισμός του C/I και ο έλεγχος φορτίου στο DL

Ο λόγος Carrier-to-Interference (C/I) μπορεί να υπολογιστεί σε κάθε MS, όταν έχουν δοθεί οι ισχύς εκπομπής όλων των ζεύξεων στο DL. Ωστόσο πριν γίνει αυτό θα πρέπει να ελεγχθεί κατά πόσο έχουν εκπληρωθεί οι συνθήκες φορτίου στο DL. Μπορούν να ελεγχθούν δυο κριτήρια:

- Η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς για την κάθε ζεύξη στο δίκτυο. Ο ακριβής ορισμός της μέγιστης ισχύος ζεύξεως θα είναι από τον ειδικό πωλητή (vendor-specific). Στην

τεκμηρίωση για τον προσομοιωτή παρουσιάζεται ένας κατάλληλος αλγόριθμος στο συνοδεύον CD.

- Η ολική ισχύς εκπομπής (περιλαμβάνοντας την ισχύ για τα κοινά κανάλια) σε όλες τις κυψέλες.

Δεν καθίσταται ζεύξη, εάν παραβιαστεί η πρώτη συνθήκη και η ζεύξη θα πρέπει να απορριφθεί. Εάν παραβιαστεί η δεύτερη συνθήκη, θα πρέπει να απορριφθούν πολλές ζεύξεις για την ολική ισχύ εκπομπής για να έρθει σε μια επαρκώς χαμηλή τιμή. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες στρατηγικές, στην τεκμηρίωση για τον προσομοιωτή δίνεται μια δυνατή εφαρμογή στο συνοδεύον CD. Αφού έχουν χειριστεί τα ζητήματα του ελέγχου φορτίου, το επόμενο σημαντικό βήμα είναι ο υπολογισμός της παρεμβολής και των λαμβανομένων στάθμεων για κάθε ζεύξη. Υπολογίζεται ξεχωριστά η παρεμβολή από την κύρια κυψέλη I_{ownDL} και από τις άλλες κυψέλες, I_{oth} . Το τελευταίο περιλαμβάνει την παρεμβολή που έρχεται από τις άλλες κυψέλες του κύριου operator και την παρεμβολή που προέρχεται από τις κυψέλες ενός άλλου operator ή φέροντος. Κάθε σύνδεση soft handover (ομαλής εναλλαγής) είναι ορθογωνική μόνο στην κύρια κυψέλη. Παρακάτω, χρειάζονται οι υπολογισμοί για μια ζεύξη, δηλ. παρουσιάζονται για το MS k που συνδέεται στο BS m .

Η λαμβανόμενη ισχύς της ζεύξεως δίνεται από την εξίσωση: (3.46):

$$msRxPowerLin_{m,k} = \frac{P_{m,k}}{linklossDL_{m,k}} \quad (3.46)$$

και η παρεμβολή κύριας- κυψέλης από την εξίσωση (3.47):

$$I_{ownDL_{m,k}} = (1 - a_k) \frac{P_{tot,m}}{linklossDL_{m,k}} \quad (3.47)$$

όπου a_k είναι ο συντελεστής ορθογωνικότητας για το MS k , $P_{m,k}$ είναι η ισχύς εκπομπής, $linklossDL_{m,k}$ είναι η απώλεια ζεύξεως μεταξύ του BS m και του MS k και $P_{tot,m}$ είναι η ολική ισχύς εκπομπής του BS m περιλαμβάνει την ισχύ του P-CPICH και των άλλων καναλιών (όλες οι τιμές ακολουθούν την γραμμική κλίμακα).

Παρατηρείται ότι η εξίσωση (3.47) υποθέτει ότι οι προσομοιώσεις επιπέδου-ζεύξεως στο DL γίνονται περιλαμβάνοντας την κύρια κυψέλη καθώς και την παρεμβολή κυρίου-σήματος. Εάν έχουν γίνει μόνο για την περίπτωση του θορύβου, τότε θα πρέπει το σήμα της κύριας-ζεύξεως να αφαιρεθεί από το $P_{tot,m}$.

Πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, όταν υπολογίζεται η παρεμβολή από τις άλλες πηγές, το $IothDL_{m,k}$, η παρεμβολή από τις άλλες κυψέλες της ίδιας συχνότητας, καθώς και από άλλες συχνότητες (που προέρχονται από ένα κύριο δίκτυο ή από ένα δίκτυο του ανταγωνιστή). Η εξίσωση (3.48) δείχνει την πιθανότητα μιας λύσεως, όπου εμφανίζεται μόλις μια άλλη συχνότητα από μια γειτονική συχνότητα/ operator. Η παρεμβολή άλλης κυψέλης για το MS k στο BS m του operator / φέροντος 1, ως εκ τούτου γίνεται:

$$IothDL_{m,k} = \sum_{i=indBStype1(1), i \neq m}^{indBStype1(numBStype1)} \frac{P_{tot,i}}{linklossDL_{i,k}} + \sum_{i=indBStype2(2)}^{indBStype2(numBStype2)} \frac{\max\{lin2\log[(-acFilterDL(channelOffset)) \cdot P_{tot,i}, acMinPowDL]\}}{linklossDL_{i,k}} \quad (3.48)$$

όπου $P_{tot,m}$ είναι η ολική ισχύς εκπομπής του BS_i του ενός operator, περιλαμβάνοντας την ισχύ του P-CPICH και αυτές των άλλων κοινών καναλιών, $linklossDL_{i,k}$ είναι η απώλεια ζεύξεως στο DL μεταξύ του BS_i και του MS_k , $acMinPowDL$ είναι η στάθμη ισχύος της παρεμβολής, η οποία είναι ελάχιστη και προέρχεται από τους BSs των άλλων operators, το $acFilterDL$ ορίζεται από την παρακάτω εξίσωση (3.56), $numBStype1$ και $numBStype2$ είναι ο αριθμός των BS του operator φέροντος 1 και 2 αντίστοιχα, και $indBStype1$ και $indBStype2$ είναι οι δείκτες των BS του operator φέροντος 1 και 2 αντίστοιχα. Τώρα μπορεί να υπολογιστεί το matrix C/I κρατώντας όλες τις τιμές του λόγου carrier-to-interference (C/I) για όλες τις ζεύξεις μεταξύ των MSs k και των BSs m , από:

$$C_over_I_all_{m,k} = \frac{msRxPowerLin_{m,k}}{IownDL_{m,k} + IothDL_{m,k} + MS_noise_power_lin} \quad (3.49)$$

όπου

$$MS_noise_power_lin = \log_{2lin}(Thermal_noise_density + MS_noise_figure) \cdot W \quad (3.50)$$

Τέλος, το C/I στον κινητό σταθμό k είναι το άθροισμα των γραμμικών τιμών C/I όλων των συνδέσεων $connSHO$ σε αυτόν τον κινητό σταθμό:

$$C_over_I_k = \sum_{i=1}^{connSHO} (C_over_I_all_{i,k}) \quad (3.51)$$

όπου οι τιμές ακολουθούν τη γραμμική κλίμακα.

Επαναλαμβανόμενες ρυθμίσεις της ισχύος Tx στο DL

Αφού έχει υπολογιστεί ο λόγος carrier-to-interference (C/I) για κάθε MS, υπολογίζεται το κέρδος από την δυνατότητα ένωσης συνδέσεων SHO από τον πίνακα επίδοσης επιπέδου-ζεύξεως, σύμφωνα με την υπηρεσία (ταχύτητα τερματικού και ρυθμός δεδομένων) ο MS χρησιμοποιεί τη σχετική διαφορά μεταξύ των δυο ισχυρότερων λαμβανομένων P-CPICH από το active set AS. Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται σε διάνυσμα $msSHO - GainsDL$ σε decibels (dB).

Το $C_over_I_k$ συγκρίνεται με το $t\ arg etCI_k$ από το οποίο αφαιρείται το κέρδος SHO:

$$\delta CI_k = (t\ arg etCI_k - msSHOGainDL_k) - C_over_I_k \quad (3.52)$$

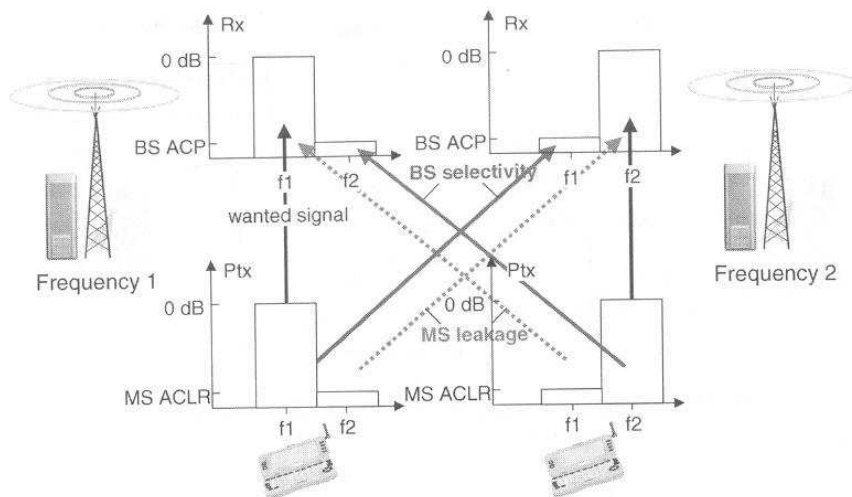
και διορθώνεται η ισχύς εκπομπής από το σταθμό βάσης m στον κινητό σταθμό k με το δCI_k (υπολογίζεται σε λογαριθμική κλίμακα).

$$bsTxPower_{m,k} = bsTxPower_{m,k} + \delta CI_k \quad (3.53)$$

οι υπολογισμοί του δCI και των διορθώσεων της ισχύος επαναλαμβάνονται μέχρι να είναι λιγότερη η μέγιστη τιμή του δCI από ένα καθορισμένο κατώφλι.

3.2.4 Υπολογισμοί της παρεμβολής γειτονικού καναλιού

Η επίδραση της παρεμβολής του γειτονικού καναλιού (ACI), είτε από ένα κύριο δίκτυο ή από το δίκτυο ενός ανταγωνιστικού operator (εταιρία κινητής τηλεφωνίας) στην ίδια περιοχή, λαμβάνεται υπόψη φιλτράροντας αυτή την παρεμβολή με ένα φίλτρο που εξαρτάται από το διαχωρισμό του καναλιού. Η παρεμβολή ACI εξηγείται με περισσότερες λεπτομέρειες στην Παράγραφο 3.6. Το φιλτράρισμα του γειτονικού φέροντος εφαρμόζεται ως μια διπλή διαδικασία στο UL και στο DL. Στο UL έχει εφαρμοστεί ένα φίλτρο για τους κινητούς σταθμούς υποδεικνύοντας την ακτινοβολία εκτός ζώνης (*acpFilterUL*). Το φίλτρο αυτό χρησιμοποιείται για να δείξει πόσο πολύ εισρέει ο κινητός σταθμός στην λαμβανόμενη ζώνη άλλου φέροντος (Adjacent Channel Leakage power Ratio, ACLR). Για το σταθμό βάσης στο uplink, εφαρμόζεται άλλο φίλτρο(*aciFilterUL*). Το φίλτρο αυτό δείχνει την επιλεκτικότητα του δέκτη του σταθμού βάσης σε κατάσταση πολλαπλού φέροντος, π.χ. πόσο πολύ λαμβάνεται η ισχύς του γειτονικού καναλιού από το σταθμό βάσης ως ισχύς παρεμβολής γειτονικού καναλιού (Προστασία Γειτονικού Καναλιού ACP). Αυτή η ρύθμιση του φίλτρου εξαρτάται επίσης από το διαχωρισμό του φέροντος. Στο Σχήμα 3.14 φαίνεται η θέση καταστάσεως της παρεμβολής του γειτονικού καναλιού στο UL.



Σχήμα 3.14 Θέση κατάστασης της παρεμβολής γειτονικού καναλιού στο UL. Αναπαράγεται με την άδεια του Groupe des Ecoles des Télécommunications.

Τα δυο αυτά φίλτρα ενώνονται στις προσομοιώσεις σε ένα απλό φίλτρο από την εξίσωση (3.54):

$$acFilterUL = -10 \cdot \log_{10} \left(10^{-\frac{aciFilterUL}{10}} + 10^{-\frac{acpFilterUL}{10}} \right) \quad (3.54)$$

Η παρεμβολή του γειτονικού καναλιού I_{ACI} στο uplink λαμβάνεται υπόψη, όταν υπολογίζεται το φορτίο στο UL σύμφωνα με την εξίσωση (3.55):

$$\eta = \frac{I_{own} + I_{oth} + I_{ACI}}{I_{own} + I_{oth} + I_{ACI} + N} \quad (3.55)$$

όπου I_{own} είναι η παρεμβολή της κύριας κυψέλης, I_{oth} είναι η παρεμβολή από τους MS των άλλων κυψελών, I_{ACI} είναι η παρεμβολή από ένα γειτονικό φέρον και N είναι το noise figure του δέκτη. Στην Παράγραφο 3.2.3.1 παρουσιάζεται ο υπολογισμός των διαφορετικών ποσοτήτων.

Επίσης στο downlink παρουσιάζεται ένας παρόμοιος τύπος φιλτραρίσματος όπως και στο uplink. Έχει εφαρμοστεί ένα φίλτρο για τους σταθμούς βάσης δείχνοντας την ακτινοβολία εκτός ζώνης του σταθμού βάσης ($acpFilterDL$). Το φίλτρο αυτό χρησιμοποιείται για να δείξει πόσο πολύ ισχύς εισρέει ο σταθμός βάσης σε λαμβανόμενη ζώνη άλλου φέροντος (ACLR). Αυτή η ρύθμιση του φίλτρου εξαρτάται από το διαχωρισμό μεταξύ των φερόντων. Για τον κινητό σταθμό έχει εφαρμοστεί άλλο ένα φίλτρο ($aciFilterDL$). Το φίλτρο αυτό δείχνει την επιλεκτικότητα του δέκτη του κινητού σταθμού σε θέση κατάστασης φέροντος, δηλαδή πόσο πολύ λαμβάνεται η ισχύς ACI από τον κινητό σταθμό (ACP). Επίσης αυτή η ρύθμιση του φίλτρου εξαρτάται από το διαχωρισμό του φέροντος. Στο Σχήμα 3.15 απεικονίζεται η θέση κατάστασης της παρεμβολής γειτονικού καναλιού στο DL. Αυτά τα δυο φίλτρα ενώνονται στις προσομοιώσεις σε ένα απλό φίλτρο από την εξίσωση:

$$acFilterDL = -10 \cdot \log_{10} \left(10^{-\frac{aciFilterDL}{10}} + 10^{-\frac{acpFilterDL}{10}} \right) \quad (3.56)$$

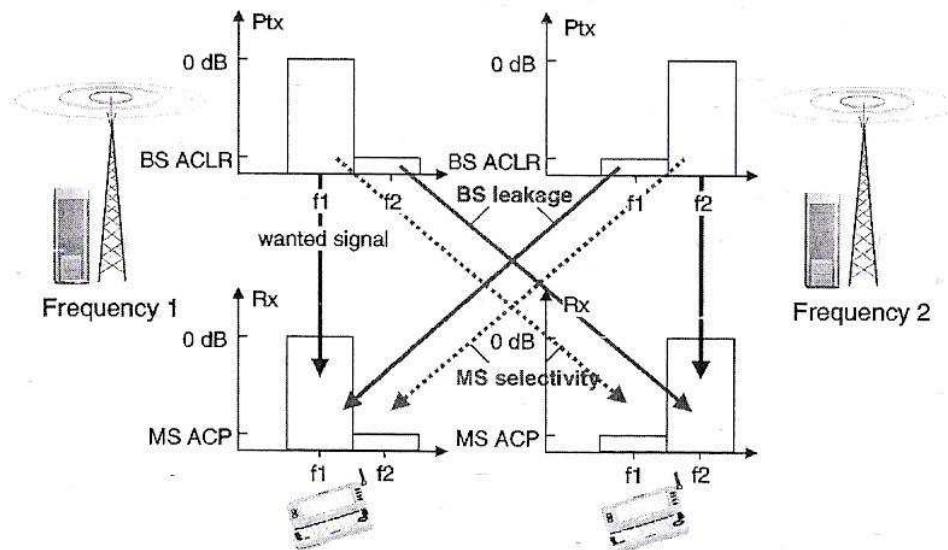
Η παρεμβολή του γειτονικού καναλιού (I_{ACI}) στο DL λαμβάνεται υπόψη όταν υπολογίζεται το C/I για ένα MS, σύμφωνα με την εξίσωση (3.57):

$$\left(\frac{C}{I}\right)_m = \sum_{k=1}^K \frac{p_{km} / Lp_{km}}{(1 - a_k) \cdot P_k / Lp_{km} + I_{oth,k} + I_{ACI} + N_m} \tag{3.57}$$

όπου υπάρχουν μεταβλητές, ορίζονται μετά την εξίσωση (3.41), I_{oth} είναι η παρεμβολή από άλλες κυψέλες στο ίδιο φέρον και I_{ACI} είναι η παρεμβολή του γειτονικού φέροντος.

3.2.5 Μετ-επεξεργασία (Post-Processing): Πρόβλεψη της Κάλυψης Δικτύου και Ανάλυση του κοινού καναλιού

Αυτή η Παράγραφος παρουσιάζει την εκτίμηση των πιθανοτήτων κάλυψης περιοχής και εξηγεί τις αναλύσεις για τα ακόλουθα αποκλειστικά και κοινά κανάλια στο UMTS: το UL DCH, το DL DCH, το P-CPICH, το BCH, το FACH και το PCH.



Σχήμα 3.15 Θέση κατάστασης της παρεμβολής του γειτονικού καναλιού. Αποδίδεται με την άδεια του Groupe des Ecoles des Télécommunications

Η κατάσταση της παρεμβολής θεωρείται ότι είναι σταθερή σε όλες τις αναλύσεις. Αυτό σημαίνει ότι έχει θεωρηθεί μια κύρια εκχώρηση της κίνησης και ότι έχουν προσεγγιστεί οι αναλυτικές επαναλαμβανόμενες λειτουργίες UL και DL. Ένα τεστ κινητού σταθμού εξετάζει μετά όλα τα σημεία (pixels) μέσα στην ενδιαφερόμενη περιοχή και όλους τους άλλους MSs που μπορούν να εξυπηρετηθούν συμβάλλουν και αυτοί στην παρεμβολή. Το τεστ του κινητού

σταθμού δεν έχει επιρροή στη κατάσταση της παρεμβολής, ωστόσο ο λόγος της παρεμβολής other-to-own-cell δεν θα αλλάξει και επίσης οι ολικές ισχύς εκπομπής των BSs εξυπηρέτησης θα είναι οι ίδιες, όπως ήταν μετά τις επαναλαμβανόμενες λειτουργίες.

3.2.5.1 Κάλυψη του UL DCH

Στο UL μπορεί να υπολογιστεί το κατά πόσον ή όχι χρησιμοποιεί αυτός ο επιπλέον κινητός σταθμός ένα βασικό bit rate έχοντας μια βασική απαίτηση E_b/N_0 να μπορεί να αποκτήσει την υπηρεσία στην επιλεγμένη γεωγραφική τοποθεσία, με άλλα λόγια το κατά πόσον είναι επαρκής η μέγιστη επιτρεπτή ισχύς εκπομπής του τεστ του MS για να εκπληρώσει την απαίτηση E_b/N_0 στο δέκτη του BS. Η ισχύς εκπομπής που χρειάζεται για το MS, $P_{TX,MS}$ υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3.58) και συγκρίνεται με την μέγιστη επιτρεπτή:

$$P_{TX,MS} = \frac{N_0 \cdot Lp}{\nu \cdot (1 - \eta) \cdot \left(1 + \frac{W}{R \cdot \rho \cdot \nu}\right)} \quad (3.58)$$

όπου N_0 είναι το noise figure όπως ορίζεται στην εξίσωση (3.2), Lp είναι η απώλεια διάδοσης μεταξύ του MS και του BS, R , ν και ρ είναι αντίστοιχα το bit rate, το service activity και η απαίτηση του φορτίου στο UL.

Τέλος η πιθανότητα κάλυψης ορίζεται ως η σχέση της επιλεγμένης περιοχής όπου αποκτά πραγματικά ο MS την επιθυμητή υπηρεσία κάτω από σταθερή κατάσταση παρεμβολής. Η αδυναμία σε αυτή την προσέγγιση είναι ότι θα αλλάξει την κατάσταση της παρεμβολής ένας επιπλέον κινητός σταθμός, π.χ. μπορούν να τεθούν εκτός υπηρεσίας κάποιοι άλλοι κινητοί σταθμοί, μπορεί όμως να παραληφθεί αυτό το αποτέλεσμα στην περίπτωση των υπηρεσιών με χαμηλό bit rate.

3.2.5.2 Κάλυψη του DL DCH

Ο υπολογισμός της πιθανότητας κάλυψης στο DL βασίζεται στα όρια της ισχύος εκπομπής ανά ραδιοζεύξη. Η κύρια προσοχή είναι στον έλεγχο, από σημείο σε σημείο, κατά πόσο ή όχι υπάρχει αρκετή ισχύς εκπομπής ανά ζεύξη από τους σταθμούς βάσης στο active set (AS), εάν υπήρχε κινητός σταθμός στο σημείο αυτό, χρησιμοποιώντας τη δεδομένη υπηρεσία (bit rate) και έχοντας μια δεδομένη ταχύτητα. Επίσης εδώ υποτίθεται ότι δεν

αλλάζουν οι ολικές ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσης από το τι είχε παραληφθεί μετά τις επαναλαμβανόμενες λειτουργίες στο DL/UL. Ωστόσο, στο ρixel μπορεί να υπάρχει ή να μην υπάρχει ένας MS. Η μέθοδος εδώ περιγράφεται για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύς εκπομπής στο DL σε κάθε σημείο (pixel) που διαιρείται βάση του maximal ratio combining (MRC). Παρακάτω, χρησιμοποιείται για ευκολία μια μαθηματική έκφραση.

Θεωρούμε ότι είναι ίσες οι ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσης στο active set του εξεταζόμενου pixel του MS, εκτός από το ότι θα κλιμακωθούν σύμφωνα με τις πιθανές διαφορές στα όρια για τις μέγιστες ισχύς ανά ζεύξη σε διαφορετικούς BS στο active set (AS). Έπειτα η συνθήκη που χρειάζεται για την ισχύ εκπομπής ανά ζεύξη p_{tx} (καταλαμβάνει τη μέγιστη στο active set) για μια επαρκή σύνδεση είναι:

$$\frac{W}{R} \cdot p_{tx} \sum_{k \in AS} \frac{\beta_k}{Lp_k \cdot (I_{tot} - a \cdot I_k + N_{ms})} \geq \rho \quad (3.59)$$

όπου ρ είναι η απαίτηση DL E_b/N_0 δηλαδή η απαιτούμενη ενέργεια ανά πληροφοριακό bit του χρήστη πάνω από την ολική φασματική πυκνότητα παρεμβολής εκτός ζώνης για την χρησιμοποιούμενη υπηρεσία, R είναι το bit rate της χρησιμοποιούμενης υπηρεσίας, W είναι το chip rate, N_{ms} είναι η στάθμη του βάθους θορύβου στο MS, I_k είναι η ολική ισχύς ευρείας ζώνης που λαμβάνεται στο MS από το BS, k , Lp_k είναι η απώλεια ζεύξεως από το BS k στο MS, a_k είναι ο συντελεστής ορθογωνικότητας της κυψέλης k και β_k είναι οι κλιμακωτοί συντελεστές (μέγιστες σχετικές ισχύεις ζεύξεως) για διαφορετικούς σταθμούς βάσεως στο active set (AS). Έτσι η ισοδύναμη απαίτηση για το p_{tx} είναι:

$$p_{tx} \geq \frac{\rho \cdot R / W}{\sum_{k \in AS} \frac{\beta_k}{Lp_k \cdot (I_{tot} - a \cdot I_k + N_{ms})}} \quad (3.60)$$

Η ανισότητα στην εξίσωση (3.60) δίνεται για κάθε pixel σε όλη την επιλεγμένη περιοχή για την εξεταζόμενη υπηρεσία και ταχύτητα του MS. Το αποτέλεσμα συγκρίνεται με τη μέγιστη επιτρεπτή ισχύ για κάθε pixel' εάν υπερβεί το όριο σε ένα pixel, το pixel θα θεωρηθεί ως απώλεια σήματος (outage (εκτός υπηρεσίας-μη επαρκής κάλυψη)). Τέλος υπολογίζεται η πιθανότητα κάλυψης ως ένας αριθμός από pixels που δεν είναι εκτός υπηρεσίας στην επιθυμητή περιοχή. Εάν είναι ίση η αθροιστική κατανομή της απαιτούμενης ισχύος T_x ανά

ρίxel, τότε μπορεί να υπολογιστεί η μέγιστη ισχύς εκπομπής που χρειάζεται ανά ζεύξη για μια δεδομένη πιθανότητα κάλυψης.

3.2.5.3 Κάλυψη του πρωτεύοντος CPICH

Η ισχύς του P-CPICH στη σχεδίαση ραδιοδικτύου θα τεθεί όσο το δυνατό χαμηλά, εφόσον εξασφαλιστεί ότι θα μετρηθούν και θα συγχρονιστούν οι καλύτερες και γειτονικές κυψέλες, και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αρκετά το P-CPICH ως αναφορά φάσης για όλα τα φυσικά κανάλια DL. Τυπικά αυτό σημαίνει ότι χρησιμοποιείται το 5-10% της ολικής ισχύος του BS για το P-CPICH. Για κάθε ρίxel σε μια επιλεγμένη περιοχή, μπορεί να υπολογιστεί σε εκείνο το ρίxel, το E_c/I_0 χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3.61):

$$CPICH_{ecio} = \frac{P_{CPICH} / Lp}{\sum_{i=1}^{numBSs} P_{TX,i} / Lp_i + I_{ACI} + N_0} \quad (3.61)$$

όπου P_{CPICH} είναι η ισχύς του P-CPICH του καλύτερου server, Lp είναι η απώλεια ζεύξεως στον καλύτερο server, $P_{TX,i}$ είναι η ολική ισχύς εκπομπής για το BS i , Lp_i είναι η απώλεια ζεύξεως στο BS i , I_{ACI} είναι η παρεμβολή του γειτονικού καναλιού, N_0 είναι ο θερμικός θόρυβος του προκαθορισμένου MS και numBS είναι ο αριθμός των σταθμών βάσης στο δίκτυο.

Το E_c/I_0 επιτυγχάνεται και έπειτα συγκρίνεται με το δεδομένο κατώφλι από το χρήστη και ορίζεται η κάλυψη του P-CPICH ως τον λόγο των ρixel, όπου το κατώφλι υπερβαίνεται συγκρίνοντας το με όλα τα ρixel. Η αδυναμία σε αυτή τη μοντελοποίηση για την κάλυψη του P-CPICH E_c/I_0 είναι ότι αυτό γίνεται μόνο για τον καλύτερο server. Ωστόσο σε ένα λειτουργίσιμο δίκτυο πρέπει επίσης να μετρηθούν όλες οι γειτονικές κυψέλες και επομένως θα πρέπει να αναλυθούν όλες οι τιμές P-CPICH E_c/I_0 των γειτονικών κυψελών. Αυτό θα καταβληθεί προσθέτοντας ένα κατώφλι στο απαιτούμενο P-CPICH E_c/I_0 .

3.2.5.4 Κάλυψη του Πρωτεύοντος και του Δευτερεύοντος CCPCH

Το πιο σημαντικό σε όλα τα κοινά κανάλια είναι το Broadcast Common CHannel (BCCH) και το Paging CHannel (PCH). Το BCCH μπορεί να μεταφέρεται στο UMTS, είτε από το Broadcast CHannel (BCH) ή (πολύ σπάνια) από το Forward Access Channel (FACH). Έπειτα αντιστοιχείται το BCH στο Primary Common Physical Channel (P-CCPCH), ενώ το

FACH και το PCH αντιστοιχούνται στα ίδια ή σε διαφορετικά Secondary Common Control Physical Channels (S-CCPCH). Για να είναι δυνατό να αποκωδικοποιηθεί το BCCH και το PCH πρέπει να εκτελεστούν οι κύριες απαιτήσεις για το E_b/N_0 (στενής ζώνης), όμως αφού είναι ίδια η κωδικοποίηση στο P- και στο S-CCPCH (από το γεγονός ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί spreading factors) μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια γενική μέθοδος ανάλυσης για το CCPCH.

$$CCPCH_{ebnt} = \frac{P_{CCPCH}}{(1-a) \cdot \frac{P_{tot,bs}}{Lp_{bs}} + \sum_{k,k \neq bs} \frac{P_{tot,k}}{Lp_k} + I_{ACI} + N} \cdot \frac{W}{R_{CCPCH}} \quad (3.62)$$

όπου $CCPCH_{ebnt}$ είναι το E_b/N_0 στενής ζώνης, P_{CCPCH} είναι η ισχύς εκπομπής και R_{CCPCH} είναι το bit rate, είτε για το πρωτεύον, είτε για το δευτερεύον CCPCH, $P_{tot,bs}$ είναι η ολική ισχύς εκπομπής και Lp_{bs} είναι η απώλεια ζεύξεως του καλύτερου server, a είναι ο συντελεστής ορθογωνικότητας, I_{ACI} είναι η παρεμβολή του γειτονικού καναλιού, N είναι το noise figure και W είναι το chip rate. Το άθροισμα στον παρονομαστή πρέπει να καταβληθεί για όλους τους σταθμούς βάσης k στο κύριο δίκτυο, αποκλείοντας τον καλύτερο server bs . Μετά την εξίσωση (3.62) μπορεί να υπολογιστεί το κανάλι για όλα τα pixels στην περιοχή δοκιμής, και μπορεί να υπολογιστεί η πιθανότητα κάλυψης του επιλεγμένου καναλιού από το λόγο των pixels στον οποίο το $CCPCH_{ebnt}$ ξεπερνά το απαιτούμενο επίπεδο όλων των pixels στην περιοχή δοκιμής. Υπολογίζοντας το CDF μπορεί κάποιος να αναγνωρίσει τις απαιτήσεις E_b/N_t που χρειάζονται για μια κύρια δεδομένη πιθανότητα κάλυψης και ως εκ τούτου η απαιτούμενη ισχύς εκπομπής για το υπό συζήτηση κανάλι.

3.3 Επαλήθευση της Διαστασιοποίησης με Στατικές Προσομοιώσεις

Αυτή η Παράγραφος παρουσιάζει με ένα πολύ απλό τρόπο τα αρχικά βήματα στη διαδικασία σχεδίασης ραδιοδικτύου στην περίπτωση ενός Greenfield operator. Η διαδικασία ξεκινά με τους ορισμούς της κίνησης και του QoS και συνεχίζει με τη διαστασιοποίηση δικτύου και τη σχεδίαση του ραδιοδικτύου. Επιπλέον, αναλύεται το σχέδιο και συγκρίνεται η επίδοση του σχεδίου με το σύνολο των απαιτήσεων. Η διαστασιοποίηση εξασφαλίζει ένα πρόχειρο

υπολογισμό για την εμβέλεια της κυψέλης και μπορεί να ξεκινήσει με το εργαλείο σχεδίασης, η σχεδίαση του ραδιοδικτύου.

Οι μέθοδοι της διαστασιοποίησης και της προσομοίωσης χρησιμοποιούνται όπως περιγράφηκαν στις προηγούμενες Παραγράφους αυτού του Κεφαλαίου. Στην περίπτωση αυτού του παραδείγματος, μπορεί να ληφθεί υπόψη μόνο μια φάση της εξέλιξης του δικτύου. Στην περίπτωση της πραγματικής σχεδίασης ραδιοδικτύου θα πρέπει να εξεταστεί πιο προσεκτικά το μέγεθος της κίνησης. Αυτή η μελέτη αποτελείται από δυο φάσεις. Στην πρώτη φάση διαστασιοποιείται το μακροκυψελωτό δίκτυο του operator και υπολογίζεται η εμβέλεια της κυψέλης με τις δεδομένες παραμέτρους εισόδου. Αυτή η μελέτη βασίζεται στην προϋπόθεση ότι θα είναι διαθέσιμη η πληροφορία της κίνησης και του QoS από το operator. Στη δεύτερη φάση σχεδιάζεται το δίκτυο για τον υπολογισμό του εμβαδού (1,5-R) και εκτελείται για το ραδιοδίκτυο η ανάλυση WCDMA. Από το Σχήμα 3.1 αυτή η περίπτωση σχεδίασης επικεντρώνεται στο πρώτο μισό της διαδικασίας: τη διαστασιοποίηση δικτύου, τον προσδιορισμό της ρύθμισης των παραμέτρων του δικτύου και τη σχεδίαση κάλυψης/ χωρητικότητας του δικτύου.

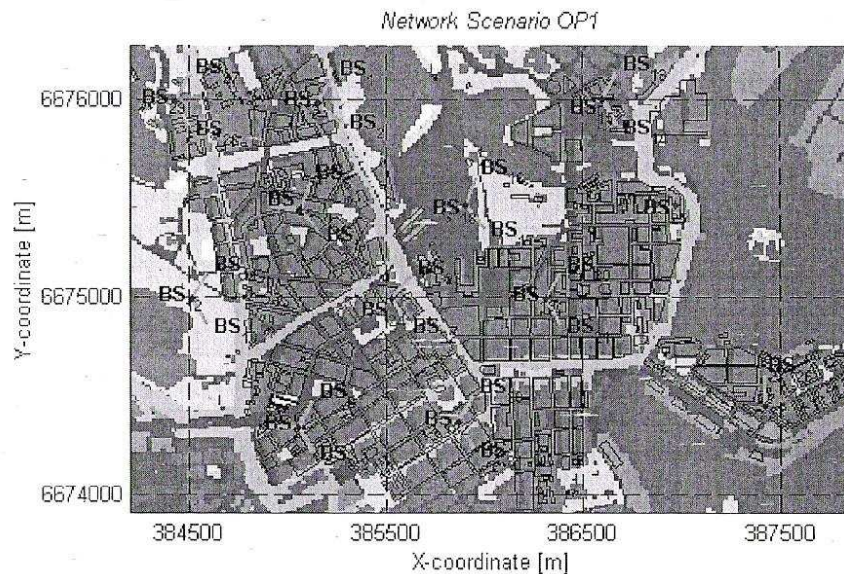
Σε αυτή τη μελέτη έχει υπολογιστεί η διάδοση των μακροκυψελωτών κυψελών με το μοντέλο Okumura-Hata, η μέση διόρθωση του τύπου περιοχής στις προσομοιώσεις γίνεται -1,5dB (αποκλείοντας τις θαλάσσιες περιοχές). Η διαστασιοποίηση γίνεται με διόρθωση τύπου περιοχής 0.

3.3.1 Σχέδιο Δικτύου με Macrocells

Σε αυτή τη μελέτη από τη Φιλανδία, αναλύεται μια περιοχή των 9km² στο κέντρο της πόλεως Ελσίνκι. Η διαστασιοποίηση προτείνει 13 θέσεις (38 τομείς) για την κάλυψη και για την απαιτούμενη χωρητικότητα. Η σχεδίαση του ραδιοδικτύου έγινε με 32 κυψέλες. Η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι περίπου το 20% της συνολικής περιοχής είναι θάλασσα. Στο Σχήμα 3.16 απεικονίζεται το σενάριο του δικτύου. Στον Πίνακα 3.6 συγκεντρώνονται οι απαιτήσεις για την κίνηση και την ποιότητα.

Ο Πίνακας 3.7 δίνει ένα παράδειγμα του UL RLB που χρησιμοποιείται από την διαστασιοποίηση στο DL, τα 20W του BS με λόγο peak-to-average 3.5dB, μπορούν να εξυπηρετήσουν τον απαιτούμενο αριθμό των χρηστών.

Ο Πίνακας 3.8 κατανέμει τις εμβέλειες των κυψελών ανά υπηρεσία, όπως αναμένεται, η υπηρεσία των 384 kbps περιορίζει την εμβέλεια της κυψέλης στα 610m.



Σχήμα 3.16 Το επιλεγμένο σενάριο δικτύου, η μέση περίμετρος- απόσταση τοποθεσίας γίνεται πρόχειρα 910m.

Πίνακας 3.6 Απαιτήσεις κίνησης για την περίπτωση της διαστασιοποίησης με macrocells και προσομοίωσης.

	Speech	64 kbps	144 kbps	- 384 kbps
Average traffic	45 mErl	6.5 mErl, 0.4 kbps/h	2.2 mErl, 0.3 kbps/h	2.2 mErl, 0.8 kbps/h
Subscribers	12 091	955	636	318
Simultaneous users per cell	19	1.5	1	0.5
Blocking	2%	2%	2%	2%
Queuing time	0 s	5 s	5 s	5 s
Average call length	162 s	23.4 s	7.92 s	7.92 s
Coverage probability (outdoor)	98%	95%	90%	90%

3.3.2 Εισαγωγή στον Προσομοιωτή και τις Παραμέτρους Προσομοίωσης

Ο κύκλος αυτής της Παραγράφου είναι για να προσομοιωθεί η επίδοση του δικτύου με έναν στατικό προσομοιωτή. Η εμβέλεια της κυψέλης βασίζεται στα αποτελέσματα του Πίνακα 3.8 κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων, διορθώνονται οι ισχύς εκπομπής των κινητών σταθμών με το συντελεστή voice activity, το κέρδος SHO και η μέση αύξηση της ισχύος

οφείλονται στο γρήγορο TPC για τον κάθε κινητό σταθμό. Ο Πίνακας 3.9 δείχνει τις παραμέτρους της προσομοίωσης.

Σε αυτές τις προσομοιώσεις μετατίθενται τυχαία από τις υψηλά φορτωμένες κυψέλες στο UL και στο DL στην περίπτωση υψηλού φορτίου. Κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων η ολική ισχύς του σταθμού βάσης και η ισχύς της παρεμβολής στο uplink που είναι σχετικές με το κατώφλι θορύβου, είναι οι δείκτες για το υψηλό φορτίο.

3.3.2.1 Αποτελέσματα Προσομοίωσης με Macrocells

Αυτή η Παράγραφος παρουσιάζει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το operator με macrocells. Όπως μπορεί να φανεί στο Σχήμα 3.17 οι χρήστες εντός των κτιρίων θα αντιμετωπίσουν μια επιπλέον απώλεια των 12dB συγκρινόμενη με τη βασική διάδοση Okumura-Hata. Αυτή η επιπλέον απώλεια δεν παρουσιάζεται στον προϋπολογισμό ραδιοζεύξης της διαστασιοποίησης.

Η διαστασιοποίηση αυτής της περίπτωσης έχει επιτευχθεί κάπως ικανοποιητικά: μόνο δυο χρήστες από τους 704, είναι εκτός υπηρεσίας. Από τις τρεις διαδοχικές προσομοιώσεις ο μέσος αριθμός αναμονής (average outage) είναι 41.704. Άρα, η διαστασιοποίηση και προσομοίωση δείχνουν μια καλή προσέγγιση από την άποψη των εξυπηρετούμενων χρηστών. Στους ακόλουθους Πίνακες συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για ένα απλό operator. Τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.10 δείχνουν ότι αντιμετωπίζεται ικανοποιητικά το κριτήριο QoS από την άποψη της πιθανότητας κάλυψης στο UL. Οι απαιτήσεις ήταν 98%, 95%, 90% και 90% (Πίνακας 3.6). Τα αποτελέσματα μετά την προσομοίωση ήταν 99,2%, 96,3% και 89,1% αντίστοιχα (Πίνακας 3.10).

Η ανάλυση της κάλυψης στο DL είναι κάπως διαφορετική από το UL. Για το DL είσοδος είναι η πραγματική απαίτηση κάλυψης και έξοδος είναι το όριο ισχύος της ζεύξεως για κάθε υπηρεσία, για την οποία αντιμετωπίζεται η κάλυψη.

Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να βρεθούν στους Πίνακες 3.10 και 3.11. Στους Πίνακες 3.12 και 3.13 συγκεντρώνονται οι κατανομές των ισχύων εκπομπής του MS και του BS. Σε αυτές τις προσομοιώσεις η διάδοση του soft handover τέθηκε στα -5dB (Πίνακας 3.14). Στα Σχήματα 3.18 και 3.19 υπάρχουν παραδείγματα των πιθανοτήτων SHO και των συνθηκών SHO. Στους εξυπηρετούμενους χρήστες, περίπου το 32% ήταν σε SHO, από την όλη περιοχή του δικτύου αναγνωρίστηκε προχειρώς το 36,5% ως περιοχή SHO. Μόνο μερικοί χρήστες / pixels έχουν παραπάνω από τρεις συνδέσεις, έτσι προβλέπεται ένα μικρό πρόβλημα λαμβάνοντας τόσα πολλά φέροντα σήματα (pilots).

Σε αυτή την άσκηση δεν υπάρχουν περιορισμοί που προκύπτουν από τη σχεδίαση της θέσεως του BS ή της θέσεως εκπομπής. Έτσι μπορούσαν να επιλεγθούν εντελώς προαιρετικά οι θέσεις των BSs και το σχέδιο να ήταν ικανό να υποστηρίξει την απαιτούμενη κίνηση. Θα ήταν πολύ αισιόδοξο σε μια πραγματική διαδικασία σχεδίασης, όπως μια ιδανική περίπτωση και θα επιδιωχθούν συμβιβασμοί σχεδίασης για να βελτιώσουν το ραδιοδίκτυο δίνοντας τους περιορισμούς στην επιλογή θέσεως.

Πίνακας 3.7 Παράδειγμα προϋπολογισμού ραδιοζεύξης

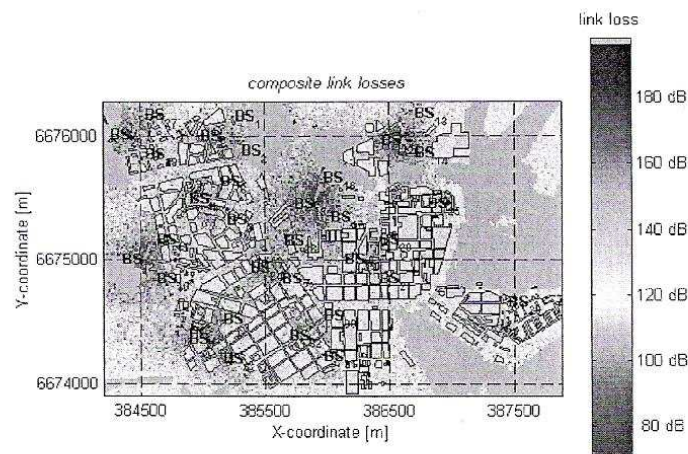
Service	12.2 kbps	64 kbps	144 kbps	384 kbps	
MS Tx power	0.125	0.125	0.125	0.125	W
MS antenna gain incl. body loss	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	dBi
MS EIRP	17.97	17.97	17.97	17.97	dBm
Thermal noise density	-174.00	-174.00	-174.00	-174.00	dBm/Hz
BTS receiver noise figure	5.00	5.00	5.00	5.00	dB
BTS receiver noise density	-169.00	-169.00	-169.00	-169.00	dBm/Hz
BTS noise power ($N_0 \cdot W$)	-103.16	-103.16	-103.16	-103.16	dBm
Interference margin	-6.02	-6.02	-6.02	-6.02	dB
Required BTS E_c/I_0	-13.45	-7.75	-4.73	-0.97	dB
Required signal power	-116.61	-110.91	-107.89	-104.13	dBm
BTS antenna gain	18.00	18.00	18.00	18.00	dBi
Cable losses	3.00	3.00	3.00	3.00	dB
Coverage probability outdoor	98	95	90	90	%
Outdoor point probability	93.82	81.42	70.58	70.58	%
Indoor point probability	62.07	57.08	54.30	54.30	%
Limiting environment	outdoor	outdoor	outdoor	outdoor	
Log-normal fading constant outdoor	5.00	5.00	5.00	5.00	dB
Log-normal fading constant indoor	12.00	12.00	12.00	12.00	dB
Propagation model exponent	3.50	3.50	3.50	3.50	
Log-normal fading margin	-6.88	-4.51	-2.33	-2.33	dB
HO gain (incl. MDC gain at cell edge)	1.50	1.50	1.50	1.50	dB
Fading margin (incl. DHO gain)	-5.38	-3.01	-0.83	-0.83	dB
Indoor loss (-)	0.00	0.00	0.00	0.00	dB
TPC headroom	4.00	4.00	4.00	4.00	dB
Allowed propagation loss	-140.20	-136.86	-136.02	-132.26	dB

Πίνακας 3.8 Εμβέλεια κυψέλης ανά υπηρεσία σύμφωνα με την διαστασιοποίηση.

Service	12.2 kbps	64 kbps	144 kbps	384 kbps
Maximum cell range (km)	1.00	0.81	0.77	0.61
Selected cell range (km)	0.61	0.61	0.61	0.61
Site distance (km)	0.91	0.91	0.91	0.91

Πίνακας 3.9 Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις

Parameter	Value
Base station maximum transmit power	43 dBm
Mobile station maximum transmit power	21 dBm
Mobile station dynamic range	70 dB
Shadow fading correlation between BSs	50%
Indoor loss	12 dB
Standard deviation for the shadow fading	7 dB
Channel profile	ITU vehicular [5]
Mobile station speed	3 km/h for data, 50 km/h for speech
MS/BS noise figures	8 dB/5 dB
Soft handover window	-5 dB
P-CPICH power	30 dBm
Combined power for other control channels	30 dBm
Orthogonality	50%
BS antennas	65° 17.5 dBi
MS antennas	Omni/0 dBi
Cable losses	3 dB
Uplink loading limit	75%



Σχήμα 3.17 Απώλειες ζεύξεως για τον macrocellular operator. Για τις τοποθεσίες εντός των κτιρίων παρουσιάζεται μια πρόσθετη απώλεια των 12dB.

Πίνακας 3.10 Αποτελέσματα της πιθανότητας κάλυψης στο UL (υπολογισμός βάσει της περιοχής).

	Speech	64 kbps	144 kbps	384 kbps
MS file 1	99.1%	95.8%	93.0%	88.2%
MS file 2	99.3%	96.5%	94.0%	89.7%
MS file 3	99.3%	96.5%	93.9%	89.5%
Mean	99.23%	96.27%	93.63%	89.13%

Πίνακας 3.11 Αποτελέσματα της ανάλυσης κάλυψης στο downlink (η ισχύς T_x που χρειάζεται υπολογισμός βάσει περιοχής). Η πιθανότητα κάλυψης φαίνεται στις παρενθέσεις.

	Speech	64 kbps	144 kbps	384 kbps
MS file 1	25.4226 dBm	31.0153 dBm (96.21%)	32.9889 dBm (96.21%)	36.7485 dBm (96.21%)
MS file 2	23.7108 dBm	29.1655 dBm (96.67%)	31.0931 dBm (96.69%)	34.8528 dBm (96.69%)
MS file 3	24.1131 dBm	29.6749 dBm (96.32%)	31.6443 dBm (96.32%)	35.404 dBm (96.32%)
Average	24.4155 dBm	29.9519 dBm (96.40%)	31.90877 dBm (96.41%)	35.668 dBm (96.41%)

Πίνακας 3.12 Αποτελέσματα της ισχύος T_x του MS (dBm).

	Max.	Q95	Q90	Q75	Q50	Min.
MS file 1	20.85	13.01	9.56	3.07	-5.70	-44.00
MS file 2	16.95	7.91	3.21	-3.75	-8.95	-44.00
MS file 3	15.65	7.25	4.75	-2.49	-8.93	-44.00
Std	2.71	3.15	3.31	3.63	1.87	0.00

Επιπλέον το σχέδιο αυτό έγινε μόνο για την αρχική φάση λειτουργίας του δικτύου. Εάν έχουν γίνει οι υπολογισμοί του μελλοντικού μεγέθους κίνησης, τότε θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη η εξέλιξη σχεδίου του ραδιοδικτύου εξαρτώμενο από τους υπολογισμούς του μεγέθους κίνησης, είναι δυνατές λύσεις οι προσθέσεις φέροντος των microcells και / ή των

picocells κλπ. Γενικά μπορεί να δηλωθεί ότι τα αποτελέσματα της διαστασιοποίησης και της στατικής προσομοίωσης δείχνουν μια καλή προσέγγιση. Αυτό περιγράφεται επίσης στην αναφορά [14].

3.4 Επαλήθευση του Στατικού Προσομοιωτή με Δυναμικές Προσομοιώσεις

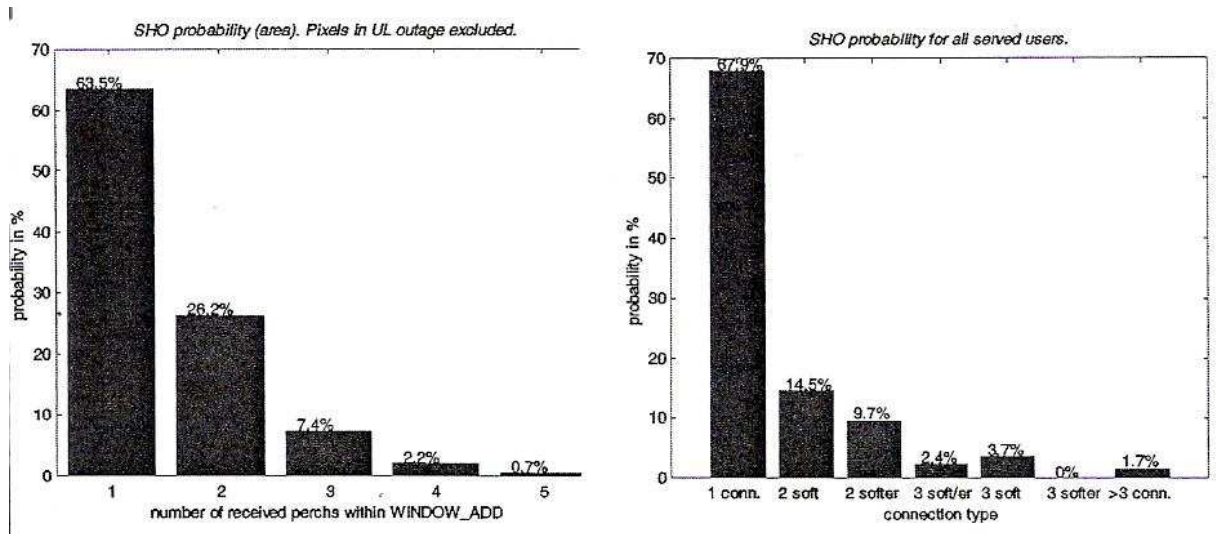
Ως εναλλακτική λύση στον προσομοιωτή που περιγράφηκε προηγουμένως σε αυτή την Παραγράφο μπορεί κάποιος να σκεφτεί αντί αυτού τη χρήση ενός πλήρη δυναμικού προσομοιωτή, ο οποίος εκτελεί τη λειτουργικότητα όλων των ραδιοπύργων, όπως είναι το power control, το soft handover, ο προγραμματισμός πακέτου, καθώς και οι χρήστες που είναι πραγματικά σε κίνηση. Ωστόσο η πολυπλοκότητα των απαραίτητων αλγορίθμων και των υπολογίσιμων απαιτήσεων των ισχύων ενός τέτοιου εργαλείου, το κάνουν μάλλον ακατάλληλο για τη σχεδίαση μεγαλύτερων δικτύων, ενώ είναι ένα τέλειο εργαλείο για την αξιολόγηση των αλγορίθμων RRM. Ωστόσο ένας στατικός προσομοιωτής έχει μόνο μια μέτρια απαίτηση επεξεργασίας ισχύος, έχει όμως εξεταστεί σοβαρά η ακρίβεια της. Ο σκοπός, ωστόσο αυτής της Παραγράφου είναι να αποδείξει ότι είναι κατάλληλη η ακρίβεια της μοντελοποίησης στο στατικό προσομοιωτή όπως περιγράφηκε προηγουμένως στο κεφάλαιο αυτό για τις προϋποθέσεις της σχεδίασης ραδιοδικτύου.

Πίνακας 3.13 Αποτελέσματα της ισχύος Tx του BS (σε dBm)

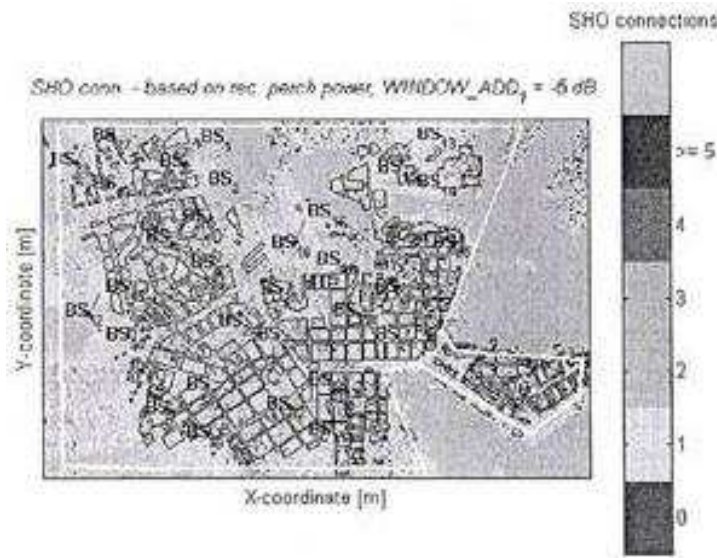
	Max.	Q95	Q90	Q75	Q50	Min.
Link power statistics						
MS file 1	38.67	31.10	28.52	24.10	23.04	17.50
MS file 2	34.41	28.34	26.07	21.54	20.25	15.92
MS file 3	35.40	29.20	26.49	22.17	20.99	15.65
Std	2.23	1.41	1.31	1.33	1.45	1.00
Total power statistics						
MS file 1	42.41	42.29	42.14	41.81	40.44	36.20
MS file 2	41.18	40.24	39.59	38.52	37.35	33.72
MS file 3	42.57	41.55	40.53	39.47	37.85	33.13
Std	0.76	1.04	1.29	1.69	1.66	1.63

Πίνακας 3.14 Αποτελέσματα προσομοίωσης (μέσος όρος τριών διαφορετικών κατανομών θέσεων του MS).

	Total TCH power (W)	UL loading	UL users	DL users	SHO overhead	12.2 kbps links	64 kbps links	144 kbps links	384 kbps links
Mean	7.94	0.54	21.90	21.27	0.47	26.83	2.16	1.38	0.71



Σχήμα 3.18 Κατάσταση του SHO στο δίκτυο. Στην διαστασιοποίηση θεωρείται το 40% SHO



Σχήμα 3.19 Αριθμοί των συνδέσεων στην περιοχή του δικτύου. Οι κύριες περιοχές εκτός υπηρεσίας (outage) είναι εντός των κτιρίων.

3.4.1 Εισαγωγή στο Δυναμικό Προσομοιωτή

Οι προσομοιώσεις σε επιπέδο συστήματος λειτουργούν τυπικά με μια ανάλυση που προσδιορίζεται από το χαρακτηριστικό ότι είναι πιο συχνές οι αλλαγές της κατάστασης παρεμβολής. Ο αλγόριθμος που έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα στο WCDMA είναι ο γρήγορος έλεγχος ισχύος κλειστού - βρόγχου λειτουργώντας με συχνότητα 1,5KHz και ωστόσο χρησιμοποιείται μια συχνότητα των 1,5KHz στο σύστημα του προσομοιωτή για τους σκοπούς της σύγκρισης. Η πληροφορία αποκομίζεται τυπικά από το εργαλείο επιπέδου-ζεύξεως το οποίο συνδέεται με το σύστημα προσομοίωσης χρησιμοποιώντας την επονομαζόμενη μέση τιμή του interface, περιγράφοντας την επίδοση του BLER από τον μέσο όρο των απαιτήσεων E_b/N_0 . Η μέση τιμή του interface δεν είναι ακριβής, εάν υπάρχουν γρήγορες αλλαγές στην παρεμβολή, π.χ. εξαιτίας του υψηλού bit rate χρηστών πακέτου. Αυτό το είδος προσέγγισης είναι προσαρμοσμένο ικανοποιητικά στα στατικά στιγμιότυπα των προσομοιώσεων, αλλά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν προσομοιώνονται τα συστήματα με γρήγορο PC και υψηλό bit rate των δεδομένων πακέτου. Ωστόσο, με το δυναμικό προσομοιωτή που παρουσιάζεται, χρησιμοποιείται η επονομαζόμενη πραγματική τιμή παρεμβολής (actual value interference-AVI), ώστε να εξασφαλίζει την ακρίβεια της μοντελοποίησης του γρήγορου PC και του υψηλού bit rate των δεδομένων πακέτου [16].

Οι χρήστες διεκπεραιώνουν κλήσεις στο δυναμικό προσομοιωτή και εκπέμπονται δεδομένα σύμφωνα με τα μοντέλα κίνησης. Για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, όπως είναι η ομιλία και το video, η διαδικασία δημιουργίας κλήσεως ακολουθεί την κατανομή Poisson [15], [17]. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η ασυνεχής εκπομπή (discontinuous transmission) για την ικανότητα φωνής και ομιλίας. Το μοντέλο κίνησης είναι ένα μοντέλο σταθερού bit rate, για τις υπηρεσίες δεδομένων μεταγωγής κυκλώματος (circuit surtched), με ένταση 100%.

Ο υπολογισμός της παρεμβολής είναι μια απαραίτητη διαδικασία για τον προσομοιωτή συστήματος. Όσο καλύτερη είναι η μοντελοποίηση της παρεμβολής, τόσο θα αποκομίζονται πιο ακριβή αποτελέσματα. Η ολική ισχύς παρεμβολής $I_{bs(k)}$ υπολογίζεται όπως ακολουθεί:

$$I_{bs(k)} = \sum_{n=1, n \neq m}^N \left[Lp_{n,k} \cdot \frac{\sum_{i=1}^J g_{i,n,k}}{\sum_{i=1}^J g_{i,n,k}} \cdot P_{ms(n)} \right] \quad (3.63)$$

όπου N είναι ο συνολικός αριθμός των ενεργών κινητών σταθμών στο σύστημα και m είναι ο δείκτης για τον παρακολουθούμενο χρήστη. $Lp_{n,k}$ είναι το path loss (εξασθένηση εξαιτίας της απόστασης και της βραδείας εξασθένησης (slow fading)), μεταξύ του σταθμού βάσης k και του κινητού σταθμού n . $\Sigma\gamma/\Sigma\hat{\gamma}$ είναι η κανονικοποιημένη πολυοδική (multipath) εξασθένηση για να έχει ένα μακροπρόθεσμο μέσο όρο, ίσο με τη μονάδα και J είναι ο αριθμός των στοιχείων multipath. $p_{ms(n)}$ είναι η ισχύς εκπομπής στον κινητό σταθμό n . Μετά από τους υπολογισμούς της παρεμβολής, μπορεί να υπολογιστεί ο λόγος σήματος - προς - θόρυβο στο uplink SNR_{UL} για το χρήστη m που συνδέεται με το σταθμό βάσης k ως:

$$SNR_{UL(m,k)} = \sum_{i=1}^J \frac{G \cdot p_{ms(m)} \cdot a_i^2}{I_{bs,(k)} + N} \quad (3.64)$$

όπου G είναι το κέρδος επεξεργασίας (processing gain), a_i είναι το πλάτος εξασθένησης της πορείας i και J είναι ο αριθμός των επιμέρους RAKE fingers. Στην εξίσωση (3.64) θεωρείται ότι είναι ενωμένα τα λαμβανόμενα σήματα, σύμφωνα με το maximal ratio combining (MRC). Αυτή η επίδραση στο downlink οφείλεται στους ορθογωνικούς κώδικες που λαμβάνονται υπόψη. Εξαιτίας της πολυοδικής (multipath) διάδοσης δε μπορεί να θεωρηθεί τέλεια ορθογωνικότητα. Για το βέλτιστο MRC, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο λόγος σήματος- προς- θόρυβο στο downlink SNR_{DL} για ένα χρήστη m ως:

$$SNR_{DL(m)} = \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^{J_k} \frac{G \cdot p_{bs(m,k)} \cdot a_{k,i}^2}{I_{ms,(m)} - P_{bs(k)} \cdot a_{k,i}^2} \quad (3.65)$$

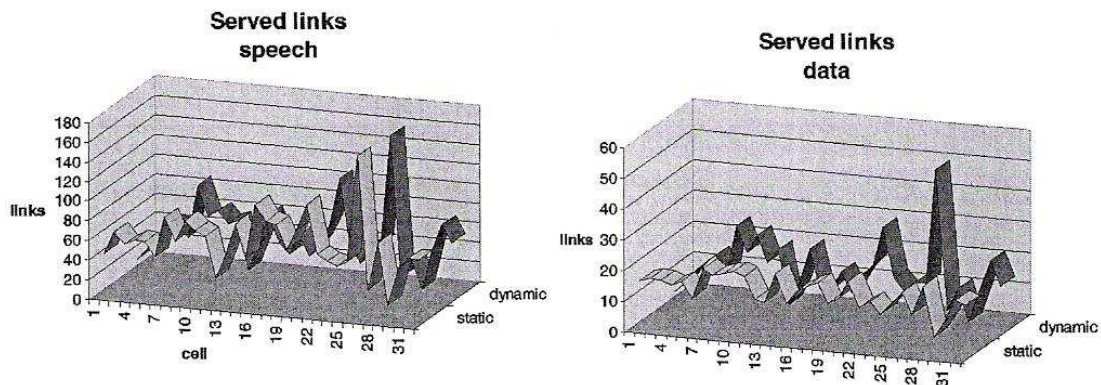
όπου $I_{ms(m)}$ είναι η ολική ισχύς της παρεμβολής που λαμβάνεται από τον κινητό σταθμό m , M είναι ο αριθμός των σταθμών βάσης στο active set (AS), $p_{bs(m,k)}$ είναι η ισχύς εκπομπής στον παρατηρούμενο χρήστη από το σταθμό βάσης k , $a_{k,i}$ είναι το πλάτος εξασθένησης της περίπτωσης του καναλιού i και J_k είναι ο αριθμός των επιμέρους RAKE fingers στο σταθμό βάσης k .

Στο δυναμικό προσομοιωτή, μετρήθηκαν οι κλήσεις κακής ποιότητας και η μη επαρκής κάλυψη (υπηρεσία εξυπηρέτησης-outage). Κλήσεις κακής ποιότητας ορίζονται ως οι κλήσεις

που έχουν ένα μέσο frame error rate (FER) που ξεπερνούν ένα κατώφλι (συνήθως το 5% για ομιλία). Η ελάχιστη διάρκεια κλήσεως τίθεται στα 7 sec για να αυξήσει την αξιοπιστία του μέσου όρου. Τα στατιστικά δεδομένα αυτών των κλήσεων καταγράφονται ως συντεταγμένες αρχής, τέλους χρόνου και διάρκειας κλήσεως. Απορριπτές κλήσεις είναι οι κλήσεις που έχουν διαδοχικά εσφαλμένα frames υπερβαίνοντας ένα όριο (συνήθως 50 εσφαλμένα frames). Λαμβάνονται συνήθως υπόψη ως κλήσεις ιδιαίτερα πρόχειρης ποιότητας. Η πολύ κακή ποιότητα και οι απορριπτές κλήσεις μπορούν να ληφθούν ως μια μέτρηση της οποίας το ποσοστό αποδίδεται στον αριθμό προκαλούμενων κλήσεων μετά την περίοδο προειδοποίησης (warm-up).

Η απώλεια ισχύος (μη κάλυψη (outage)), για την ομιλία λαμβάνεται από τα ενεργά τερματικά που είναι σε DTX. Ωστόσο παραμορφώνεται ελαφρώς εξαιτίας του υπόλοιπου μισού των χρηστών που είναι σε DTX. Έτσι είναι υψηλότερη η πραγματική απώλεια - του - λαμβανόμενου - σήματος (outage) για τα τερματικά που είναι ενεργά, προχείρως δυο φορές από αυτές της εξόδου. Δεν υπάρχει διαφορά των δεδομένων. Τα E_b/N_0 targets λαμβάνονται από όλα τα ενεργά τερματικά, περιλαμβάνοντας και εκείνα που είναι σε SHO. Έτσι εξετάζονται όλοι οι συντελεστές που λαμβάνονται υπόψη με το κανάλι και τη δυνατότητα εκπομπής. Τέλος συγκεντρώνεται το ιστόγραμμα της πιθανότητας SHO στον αριθμό των κλάδων ανά χρήστη.

Το ιστόγραμμα των ισχύων εκπομπής και της συνάρτησης αθροιστικής κατανομής λαμβάνεται από το στατικό προσομοιωτή για όλες τις συνδέσεις στο UL και στο DL. Επιπλέον αποκόπτεται το ρ-σοστό ποσοστιαίο Q_ρ για 0, 50, 75, 90, 95 και 100%. Οι στατιστικές δείχνουν τον αριθμό και τον τύπο της σύνδεσης SHO που συγκεντρώθηκαν. Το υπολογισμένο active set size συγκεντρώνεται βάσει της στάθμης R_x του P-CPICH για όλη την προσομοιωμένη περιοχή. Επίσης καταχωρήθηκε το επίπεδο του φορτίου στο UL για κάθε προσομοιωμένη περίπτωση. Στην τελική σύγκριση ήταν υπό εξέταση η ολική κίνηση ανά κυψέλη, η κατανομή ισχύος για UL (σε dBm), η κατανομή ισχύος ολική/ ζεύξεως στο DL (dBm), οι στατιστικές του SHO, οι περιοχές σε SHO, η κυριαρχία των περιοχών της κυψέλης και οι μη εξυπηρετούμενοι (στατικοί) κινητοί σταθμοί κατά τις απορριπτές κλήσεις και τις (δυναμικές) κλήσεις κακής ποιότητας που ήταν υπό εξέταση.



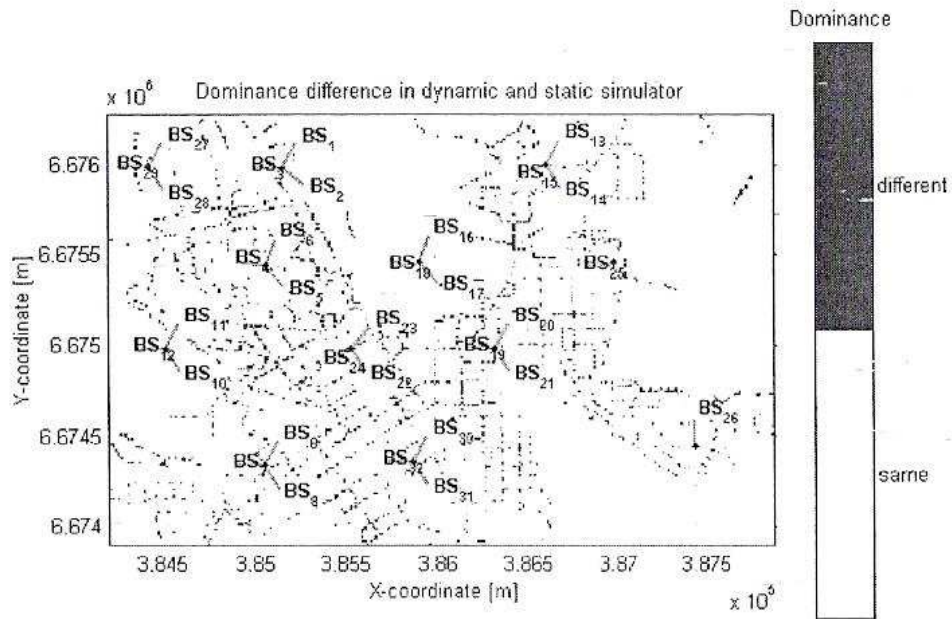
Σχήμα 3.20 Αριθμός των ζεύξεων ανά κυψέλη για το στατικό προσομοιωτή και το δυναμικό προσομοιωτή από κυψέλη σε κυψέλη. Αποδίδεται με την άδεια των Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων Τηλεπικοινωνιών

3.4.2 Αποτελέσματα της Σύγκρισης

Σε αυτή την Παράγραφο συγκεντρώνονται μερικά από τα αποτελέσματα σύγκρισης. Το κύριο συμπέρασμα είναι ότι τα αποτελέσματα σε επίπεδο-κυψέλης (π.χ. για το φορτίο) είναι μια καλή προσέγγιση και για τις δυο μεθόδους προσομοίωσης. Στο Σχήμα 3.20 απεικονίζεται ο αριθμός των ζεύξεων από κυψέλη σε κυψέλη. Μπορεί να φανεί ότι ο αριθμός των ζεύξεων ανά κυψέλη ακολουθεί την ίδια γενική κατεύθυνση.

Το Σχήμα 3.21 απεικονίζει τις διαφορές κυριαρχίας περιοχών των κυψελών όπως φαίνεται από τους δυο προσομοιωτές. Μπορεί να δηλωθεί ότι είναι αμελητέες οι διαφορές. Στο 90-95% όλων των rixels, προτείνουν και οι δυο προσομοιωτές την ίδια επικρατέστερη κυψέλη.

Στον Πίνακα 3.15 συγκεντρώνονται οι στατιστικές της κατανομής ισχύος στο UL για ομιλία και τα δεδομένα. Οι μέγιστες τιμές δε διαφέρουν σημαντικά, είναι όμως μερικές από τις ποσοστιαίες τιμές αρκετά απομακρυσμένες. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί, εξαιτίας της διαφορετικής φύσης των προσομοιωτών, αφού μοντελοποιήθηκε το DTX στο δυναμικό προσομοιωτή. Επίσης ήταν διαφορετική η ελάχιστη επιτρεπτή ισχύς T_x των κινητών σταθμών: -44dBm για το στατικό προσομοιωτή και -50dBm για το δυναμικό προσομοιωτή.



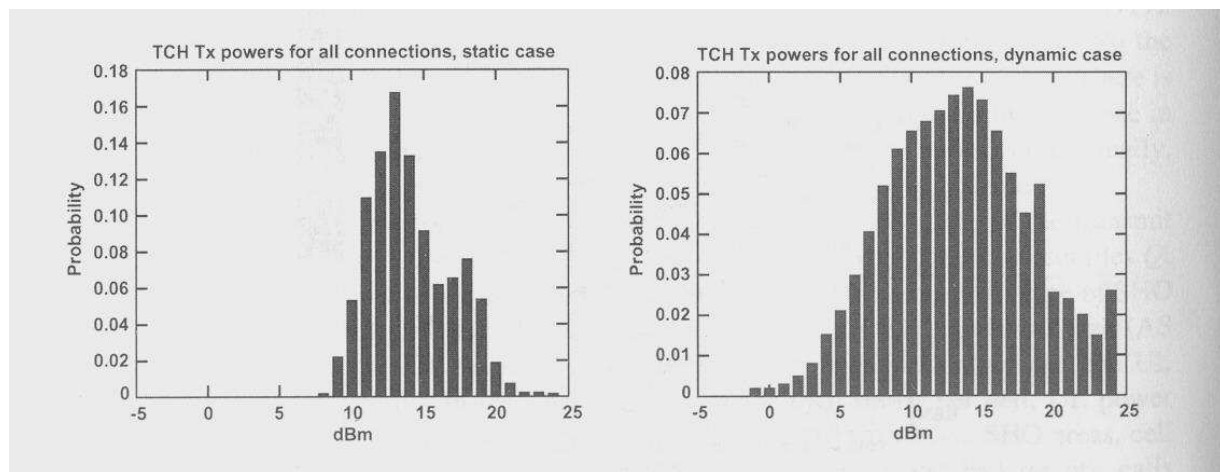
Σχήμα 3.21 Διαφορές κυριαρχίας μεταξύ των δυο προσομοιώσεων στην περίπτωση ομίλιας. Αποδίδεται με την άδεια των Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων Τηλεπικοινωνιών.

Πίνακας 3.15 Διαφορά της κατανομής ισχύος στο UL. Αποδίδεται με την άδεια της IEEE.

	Min.	Q50	Q75	Q90	Q95	Max.
Speech						
Static simulator (dBm)	-44.00	-10.38	-1.37	5.81	10.95	20.39
Dynamic simulator (dBm)	-49.00	-14.50	-7.00	0.00	4.50	20.00
Difference (dB)	-5.00	-4.12	-5.63	-5.81	-6.45	-0.39
Data						
Static simulator (dBm)	-41.79	-0.08	7.10	13.59	15.77	20.03
Dynamic simulator (dBm)	-44.00	-3.00	6.00	15.00	19.00	20.00
Difference (dB)	-2.21	-2.92	-1.10	1.41	3.23	-0.03

Πίνακας 3.16 Διαφορά της κατανομής ισχύος στο DL. Αποδίδεται με την άδεια της IEEE.

	Min.	Q50	Q75	Q90	Q95	Max.
Speech						
Static simulator (dBm)	8.25	13.58	16.12	18.37	18.98	24.14
Dynamic simulator (dBm)	-1.00	12.50	16.50	20.00	21.50	24.00
Difference (dB)	-9.25	-1.08	0.38	1.63	2.52	-0.14
Data						
Static simulator (dBm)	18.91	24.01	24.8	25.57	25.83	26.29
Dynamic simulator (dBm)	7.00	25.00	25.50	25.70	25.80	26.00
Difference (dB)	-11.91	0.99	0.70	0.13	-0.03	-0.29

**Σχήμα 3.22:** Κατανομές ισχύων ζεύξεως: αριστερά ο στατικός προσομοιωτής, δεξιά ο δυναμικός προσομοιωτής. Αποδίδεται με την άδεια των Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων Τηλεπικοινωνιών.

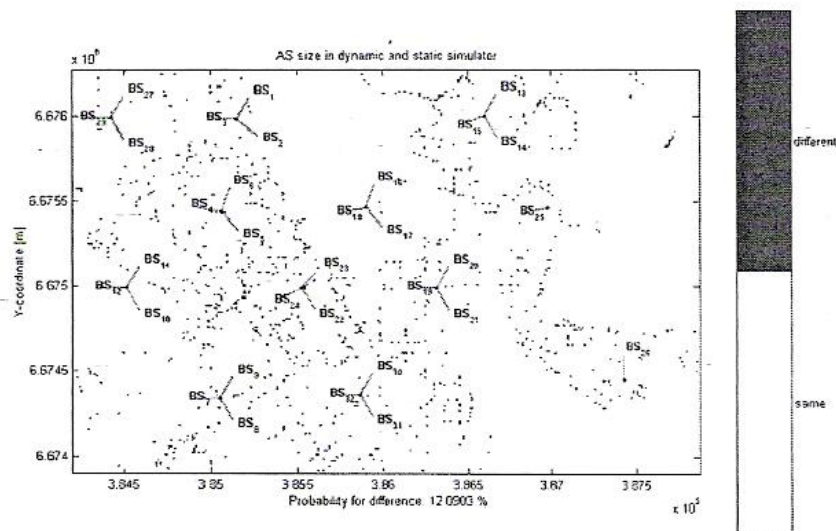
Πίνακας 3.17 Σύγκριση του Handover-64kbps περίπτωση για δεδομένα CS. Αποδίδεται με την άδεια της IEEE.

	No HO	2-way HO	3-way HO	SHO overhead
Static simulator (%)	83.7	14.9	1.4	17.7
Dynamic simulator (%)	72.0	23.0	5.0	33.0

Στην κατεύθυνση downlink συγκεντρώνονται τα στατιστικά της ισχύος εκπομπής. Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στον Πίνακα 3.16. η διαφορά στο downlink δείχνει μια παρόμοια τάση τιμής, όπως και στο uplink.

Το Σχήμα 3.22 απεικονίζει τις κατανομές της ισχύος ζεύξεως (για downlink) για τους δυο προσομοιωτές στην περίπτωση ομιλίας. Τα σχήματα των κατανομών είναι παρόμοια. Η διαφορά είναι μεγαλύτερη για τα δεδομένα.

Ένα άλλο σημαντικό αποτέλεσμα είναι η συμπεριφορά του soft handover στις προσομοιώσεις. Στον Πίνακα 3.17 συγκεντρώνονται τα στατιστικά του soft handover από τα δεδομένα των προσομοιώσεων.



Σχήμα 3.23 Η διαφορά του AS size στην περίπτωση ομιλίας. Αποδίδεται με την άδεια των Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων Τηλεπικοινωνιών

Εκτός από το soft handover overhead, εξετάζονται οι διαφορές στα AS sizes. Αυτά τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο Σχήμα 3.23.

Στο RNP είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε τις περιοχές του δικτύου που είναι εκτός υπηρεσίας (outage). Σε αυτή τη μελέτη συγκρίθηκαν οι προβλέψεις της μη επαρκούς κάλυψη (υπηρεσίας εξυπηρέτησης-outage) με τους στατικούς και τους δυναμικούς προσομοιωτές ραδιοδικτύου. Το κύριο αποτέλεσμα είναι ότι τα προβλήματα τείνουν να είναι πρόχειρα κατανοημένα στις ίδιες τοποθεσίες για το στατικό εργαλείο, είτε για αυτό του δυναμικού. Ο αριθμός των προβληματικών κλήσεων δε μπορεί να συγκριθεί απευθείας.

3.5 Βελτιστοποίηση στο Σχέδιο Ραδιοδικτύου

Σε αυτή την Παράγραφο παρουσιάζονται δυο περιπτώσεις σχεδίασης με σκοπό να δοθεί κάποια καθοδήγηση στην αρχή της βελτιστοποίησης όσο πιο άμεσα γίνεται στη φάση της σχεδίασης. Αφού δεν είναι πολύ ευαίσθητα στην παρεμβολή τα συστήματα τρίτης γενιάς και ειδικά τα συστήματα WCDMA, είναι στο μέγιστο ενδιαφέρον να μην προκαλούν ή να μη λαμβάνουν πολύ παρεμβολή. Οι τρόποι ελέγχου της παρεμβολής στη φάση RNP περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων, βελτιστοποιώντας:

- Τις θέσεις των BSs και τις μορφοποιήσεις (τομεοποίηση).
- Το ύψος, την κατεύθυνση, το άνοιγμα γωνίας εκπομπής και η κλίση της κεραίας.
- Τις τοποθετήσεις των κεραιών (απώλειες καλωδίων).
- Τη χρήση του Mast Head Amplifier (MHA)*.

* MHA: είναι LNA (Low Noise Amplifier) και τοποθετείται στην κεραία πάνω στη λήψη και ενισχύουν τη ζεύξη στο UL.

Οι δυο ακόλουθες περιπτώσεις περιγράφουν την επιρροή των ταξινομημένων στοιχείων στη χωρητικότητα και την κάλυψη του δικτύου. Η πρώτη περίπτωση είναι μια ιδανική περίπτωση με ένα συμμετρικό πλεγματοσχήδιο. Η δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιεί την ψηφιακή τοπογραφία και τις πληροφορίες μορφολογίας στις προβλέψεις διάδοσης. Οι μελέτες που παρουσιάζονται σε αυτή την παράγραφο πραγματοποιούνται, χρησιμοποιώντας τις μεθόδους που περιγράφηκαν στην παράγραφο 3.2.

3.5.1 Ιδανική Περίπτωση

3.5.1.1 Σενάριο Προσομοίωσης

Το δίκτυο που χρησιμοποιείται σε αυτή την ιδανική μελέτη [11] αποτελείται από μια κεντρική θέση που περιβάλλεται από δυο σειρές θέσεων σε ένα κανονικό εξαγωνικό πλέγμα. Μελετώνται πολλά διαφορετικά σενάρια (αριθμός των τομέων* το εύρος δέσμης). Η απόσταση θέσεως μεταξύ των BSs ήταν 3 km σε όλες τις περιπτώσεις. Η απόσταση επιλέχθηκε έτσι ώστε να ξεπεράσει η πιθανότητα υπηρεσίας το 95% σε όλες τις περιπτώσεις και προσδιορίστηκε το δίκτυο από την χωρητικότητα παρά από την κάλυψη. Το προφίλ του χρήστη που χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις ήταν μια ομογενής κατανομή των χρηστών ομιλίας (8 kbps) με ταχύτητα 50 km/h.

Το εφαρμοσμένο μοντέλο path loss ήταν το Okumura-Hata για αστικό περιβάλλον επικαλυπτόμενο με μια βραδεία εξασθένηση, έχοντας μια σταθερή απόκλιση των 7dB. Το κανάλι που χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις ήταν το Vehicular A Channel, όπως ορίζεται στην αναφορά [5]. Όλα τα σενάρια προσομοιώθηκαν με τρεις διαφορετικές κατανομές του κινητού σταθμού για να αποδειχθεί η στατιστική σταθερότητα. Αποδεικνύεται ότι οι τρεις κατανομές είναι αρκετές, για τον σχετικά υψηλό αριθμό των χρηστών ομιλίας που μπορούν να εξυπηρετηθούν. Στην περίπτωση των κινητών σταθμών που χρησιμοποιούν υψηλότερα bit rates, θα μπορούν να εξυπηρετούνται πιο πολλές πορείες αυτών. Ο αρχικός αριθμός των χρηστών τέθηκε πολύ ψηλά και το δίκτυο ήταν υπερφορτωμένο. Μετά αφαιρέθηκε ένας κατάλληλος αριθμός των κινητών μέχρι να επιτευχθεί το απαιτούμενο φορτίο στο uplink ή να μην ξεπεραστεί η ολική ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης.

3.5.1.2 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Η πιθανότητα κάλυψης ήταν η πρώτη ανάλυση που εκτελέστηκε για τους χρήστες ομιλίας. Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στον Πίνακα 3.18. σε όλες τις περιπτώσεις μπορεί να φανεί ότι ήταν μεγαλύτερη η πιθανότητα κάλυψης από την απαιτούμενη του 95%, αυξανόμενη όσο αυξάνεται ο αριθμός των τομέων.

Ο αριθμός των χρηστών ανά κυψέλη και ανά θέση ήταν υπό εξέταση ως μέτρηση για την χωρητικότητα σε όλες τις περιπτώσεις. Τα αποτελέσματα που συγκεντρώνονται στον Πίνακα 3.19 περιγράφουν ότι μειώνεται ο αριθμός των χρηστών ανά τομέα όταν αυξάνεται η τομεοποίηση. Ωστόσο αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών ανά τοποθεσία, δεν είναι όμως ανάλογος ως προς τον αριθμό των τομέων, γιατί διαρρέει παρεμβολή ή επικάλυψη στους τομείς, από τον ένα τομέα στον άλλο.

Πίνακας 3.18 Πιθανότητες υπηρεσίας. Αποδίδεται με την άδεια της IEEE

Number of sectors, beamwidth (°)	Coverage probability
1 sector, omni antenna	96.6%
3 sectors, 90° antenna	97.6%
3 sectors, 65° antenna	98.6%
6 sectors, 33° antenna	99.6%

Πίνακας 3.19 Αριθμός των χρηστών ανά κυψέλη και ανά θέση. Αποδίδεται με την άδεια της IEEE.

	Users/cell		Users/site	
	UL	DL	UL	DL
1 sector, omni	59.2	43.0	59.2	43.0
3 sectors, 90°	50.7	35.5	152.2	106.4
3 sectors, 65°	56.7	42.6	170.1	127.9
3 sectors, 33°	55.7	40.3	167.0	120.8
4 sectors, 90°	46.0	30.7	183.9	122.7
4 sectors, 65°	53.2	39.9	212.8	159.7
4 sectors, 33°	50.9	35.7	203.5	142.8
6 sectors, 90°	39.4	24.5	236.7	147.1
6 sectors, 65°	46.4	32.4	278.6	194.2
6 sectors, 33°	49.6	36.3	297.4	218.0

Ένα άλλο αποτέλεσμα από τον Πίνακα 3.19 είναι ότι υπάρχει ένα βέλτιστο άνοιγμα δέσμης για κάθε αριθμό τομέων, και γίνεται καλύτερο όταν είναι στο μέγιστο ο αριθμός των χρηστών. Μια άλλη ποσότητα που κινούσε το ενδιαφέρον ήταν το ποσοστό του overhead που οφείλεται στις συνδέσεις SHO. Το SHO overhead δείχνει την επιπλέον ποσότητα του ηλεκτρονικού εξοπλισμού (hardware) που απαιτείται και εάν περιοριστεί ο αριθμός των μονάδων καναλιού τότε αυξάνεται η πιθανότητα του συνεχόμενου μπλοκαρίσματος. Ως τελευταίος συντελεστής αξίας, επιλέχθηκε ο λόγος παρεμβολής από την άλλη - προς - την - κύρια - κυψέλη (other-to-own-cell). Στον Πίνακα 3.20 φαίνονται τα αποτελέσματα και το SHO overhead.

Από τον Πίνακα 3.20 μπορεί να φανεί ότι αυξάνεται ο αριθμός των συνδέσεων SHO και ωστόσο το overhead εξαιτίας της αύξησης του αριθμού των τομέων. Συγχρόνως αυξάνεται η ποσότητα της παρεμβολής που διαρρέεται στις γειτονικές κυψέλες, μπορούν όμως να ελεγχθούν επίσης αυτές οι επιδράσεις με την κατάλληλη επιλογή του εύρους δέσμης της κεραίας σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί για τις δυο πιο τυπικές

περιπτώσεις (των τριών τομέων, 65° κεραία, έξι τομείς, 33° κεραία), ότι υπάρχει μια αύξηση μόνο 5% στο περιθώριο του SHO και εκτείνεται σε μεγαλύτερη τομεοποίηση.

Πίνακας 3.20 SHO overhead και το $I_{\text{oth}}/I_{\text{own}}$. Αποδίδεται με την άδεια της IEEE

	SHO overhead	$i = I_{\text{oth}}/I_{\text{own}}$
1 sector, omni	23%	58%
3 sectors, 90°	34%	88%
3 sectors, 65°	27%	66%
3 sectors, 33°	26%	70%
4 sectors, 90°	42%	109%
4 sectors, 65°	31%	76%
4 sectors, 33°	33%	86%
6 sectors, 90°	53%	146%
6 sectors, 65°	42%	105%
6 sectors, 33°	32%	90%

Εάν κρατείται σταθερό το άνοιγμα γωνίας εκπομπής της κεραίας, θα ήταν 15% μεγαλύτερο. Αυτό δείχνει ότι έχουν σχεδιαστεί ακόμη πιο προσεκτικά οι περιοχές SHO στην περίπτωση των έξι τομέων από ό,τι στην περίπτωση των τριών τομέων. Η πιο μικρή διαρροή συμβαίνει για 65° κεραίας σταθμού βάσης τριών-τομέων. Με 66% για την περίπτωση omni, και άλλα σενάρια έχουν μεγαλύτερες τιμές γύρω στο 90%. Αυτό εφαρμόζεται επίσης στην περίπτωση των 33° έξι-τομέων, υποδηλώνοντας ότι θα πρέπει να επιλεγεί ένα μικρότερο άνοιγμα γωνίας εκπομπής της κεραίας.

Τέλος το κέρδος τομεοποίησης, ξ , υπολογίστηκε ως ο μέσος αριθμός ταυτόχρονων χρηστών για την επιλογή παραμέτρων πολυκατευθυντικής (omni) θέσεως BS σύμφωνα με την εξίσωση (3.66):

$$\xi = \frac{\text{number of users of sectored site}}{\text{number of users of omni site}} \quad (3.66)$$

Στον παρακάτω Πίνακα 3.21 συγκεντρώνονται οι υπολογισμένοι αριθμοί για το ξ στο UL και στο DL. Έπειτα αυτά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συγκρίθηκαν θεωρητικά με πολλαπλάσιους αριθμούς από την εξίσωση (3.67), η οποία αντιπροσωπεύει το λόγο της ολικής λαμβανομένης ισχύος προς την ισχύ που εξέρχεται μέσα από τον τομέα:

$$\xi = N_s \cdot \int_{-\pi}^{\pi} p(\vartheta) \cdot G(\vartheta) d\vartheta \bigg/ \int_{-\phi/2}^{\phi/2} p(\vartheta) \cdot G(\vartheta) d\vartheta \quad (3.67)$$

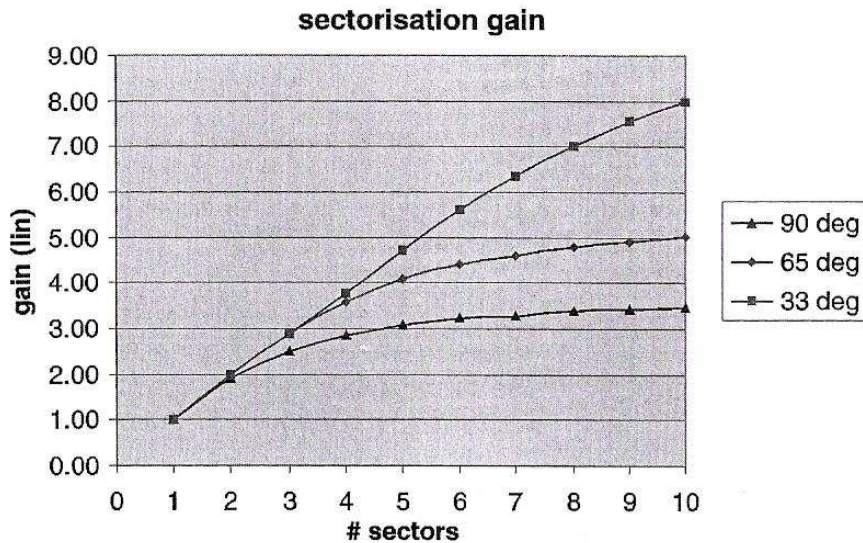
όπου $G(\theta)$ είναι το κέρδος της κεραίας στην κατεύθυνση θ , $p(\theta)$ είναι η λαμβανόμενη ισχύς από την κεραία στην κατεύθυνση θ και $\phi=2\pi/N_s$ είναι το πλάτος του τομέα σε rad, και το N_s γίνεται ο αριθμός των τομέων. Στο Σχήμα 3.24 μπορεί να φανεί ο αριθμητικός υπολογισμός της εξίσωσης (3.67) με τις κεραίες που χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις για μια τομεοποίηση πάνω από 10 τομείς.

Πίνακας 3.21 Προσομοιωμένα και θεωρητικά κέρδη τομεοποίησης. Αποδίδεται με την άδεια της IEEE.

	UL gain	DL gain	Mean	Theoretical
1 sector, omni	1.00	1.00	1.00	1.00
3 sectors, 90°	2.57	2.56	2.56	2.51
3 sectors, 65°	2.87	3.00	2.94	2.90
3 sectors, 33°	2.82	2.85	2.84	2.90
4 sectors, 90°	3.11	2.97	3.04	2.86
4 sectors, 65°	3.59	3.71	3.65	3.59
4 sectors, 33°	3.44	3.41	3.42	3.79
6 sectors, 90°	4.00	3.64	3.82	3.22
6 sectors, 65°	4.70	4.62	4.66	4.40
6 sectors, 33°	5.02	5.17	5.09	5.60

Στον Πίνακα 3.21 ταξινομούνται επίσης οι θεωρητικές αριθμητικές τιμές για τις προσομοιωμένες περιπτώσεις. Ιδανικά, με την τομεοποίηση θα περιμένει κάποιος μια αύξηση στη χωρητικότητα ανάλογη στον αριθμό των τομέων, εξαιτίας όμως της μερικής επικάλυψης των τομέων είναι μικρότερο το κέρδος στη χωρητικότητα από την αναμενόμενη τιμή. Επίσης,

σημαντικό ρόλο παίζει το περιβάλλον. Εάν υπάρχουν εμπόδια στην περιοχή της κεραίας, τότε αυξάνονται οι επιφάνειες των πλευρικών λοβών και διευρύνονται οι κύριες δέσμες. Και τα δυο αποτελέσματα αυξάνουν την ποσότητα της παρεμβολής που ακτινοβολείται στους, ή λαμβάνεται, από άλλους τομείς, μειώνοντας έτσι το κέρδος τομεοποίησης.



Σχήμα 3.24 Θεωρητικά κέρδη τομεοποίησης σύμφωνα με την εξίσωση (3.67). Αποδίδεται με την άδεια της IEEE.

Έχει δειχθεί ότι η μεγαλύτερη τομεοποίηση δίνει μεγαλύτερη χωρητικότητα, δεν είναι όμως κατάλληλη η αύξηση στον αριθμό των τομέων. Η επικάλυψη στα μέρη ακτινοβολίας της κεραίας, καθώς και η επιρροή του περιβάλλοντος στο σχήμα των τμημάτων, το κάνουν πιο δύσκολο να ελέγξει τη διαρροή παρεμβολής μέσα στους γειτονικούς τομείς και έτσι μειώνεται η χωρητικότητα στο δίκτυο. Ωστόσο μπορεί να μείνει μικρή η επίδραση και μπορούν να επιτευχθούν ιδανικά κέρδη τομεοποίησης με την προσεκτική επιλογή του ανοίγματος γωνίας εκπομπής της κεραίας. Με την ίδια προσεκτική επιλογή μπορεί να κρατηθεί η αύξηση των περιοχών SHO σε ένα αποδεκτό επίπεδο, έτσι ώστε να οφείλεται το επιπλέον αρκετά μικρό περιθώριο στις περισσότερες συνδέσεις SHO, καταλήγοντας πιθανώς σε ένα συνεχές μπλοκάρισμα και στη μείωση της χωρητικότητας. Ωστόσο, ο έλεγχος των περιοχών SHO απαιτεί επίσης προσεκτική επιλογή των παραμέτρων του soft handover. Επιπλέον με τη μεγαλύτερη τομεοποίηση, πρέπει να υπολογίζεται ακόμη πιο προσεκτικά ο προσανατολισμός

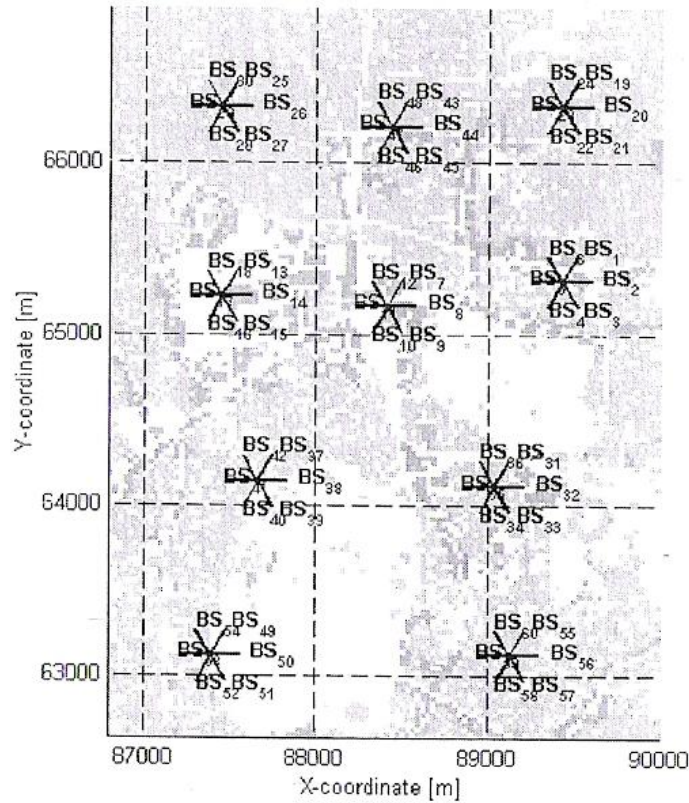
των τομέων, με άλλα λόγια η κατεύθυνση των κεραιών, γιατί όσο εφαρμόζονται οι περισσότεροι τομείς από αυτούς, τόσο θα επισημαίνουν ο ένας τον άλλο. Από όλα αυτά τα συμπεράσματα υποδεικνύεται ότι μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά η επίδοση του δικτύου με τη μεγαλύτερη τομεοποίηση, όμως όσο εφαρμόζονται πιο πολλοί τομείς, τόσο θα χρειάζεται να ληφθεί πιο πολύ προσοχή στη σχεδίαση του δικτύου.

3.5.2 Περίπτωση Shinjuku

3.5.2.1 Σενάριο Προσομοίωσης

Αυτή η μελέτη βασίστηκε στην περιοχή Shinjuku στο Τόκιο και θεωρεί ότι είναι όλοι οι χρήστες σε εσωτερικό χώρο. Τα χαρακτηριστικά του συστήματος που χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις εκλήφθησαν από την αναφορά [8]. Για το προφίλ του πολυοδικού (multipath) καναλιού θεωρήθηκε από την αναφορά [5], το ITU Vehicular A Channel. Η έκταση των 13.5 km² καλύφθηκε με 10 θέσεις. Η επιλεγμένη τοποθέτηση ύψους της κεραίας ήταν 50 km και υπολογίστηκε το path loss με το μοντέλο Okumura-Hata, με μέσο συντελεστή διόρθωσης των 41dB. Οι προσομοιώσεις χρησιμοποίησαν μορφοποιήσεις omni, τριπλού- τετραπλού- και εξαπλού τομέα και έμειναν σταθερές οι θέσεις των BS. Στο Σχήμα 3.25 μπορεί να φανεί το σενάριο δικτύου με την εφαρμογή εξαπλού- τομέα.

Στις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν πέντε διαφορετικές κεραιές, με 3dB, άνοιγμα γωνίας εκπομπής των 120°, των 90°, των 65° και των 33° και επιπροσθέτως μια πολυκατευθυντική κεραία (omni). Το κέρδος όλων τέθηκε στα 15dB και για τη διάδοση του SHOwindow χρησιμοποιήθηκε μια τιμή των -4dB, με άλλα λόγια όλων των τομέων των οποίων τα κανάλια P-CPICH ήταν λαμβανόμενα εκτός των -4dB του ισχυρότερου P-CPICH που περιλαμβάνονταν στο active set. Θεωρήθηκαν μια μικτή υπηρεσία (8kbps) των χρηστών ομιλίας, δεδομένα χρηστών μεταγωγής κυκλώματος (64kbps) και δεδομένα πακέτου των χρηστών (144kbps). Οι ακριβείς πληροφορίες της κίνησης που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μελέτη παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.22. όλες οι προσομοιώσεις έγιναν με τρεις διαφορετικές κατανομές κινητού σταθμού και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην Παράγραφο 3.5.2.2 που είναι οι μέσοι όροι από όλες τις κατανομές.



Σχήμα 3.25 Παράδειγμα σεναρίου δικτύου με σταθμούς βάσης εξαπλού- τομέα στην περίπτωση Shinjuku. Αποδίδεται με την άδεια της IEEE.

3.5.2.2 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Αυτή η μελέτη εκπληρώθηκε σε τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος ήταν υπό εξέταση η επίδραση της κλίσης της κεραίας. Προσομοιώθηκαν διάφορες κλίσεις της κεραίας για να βρεθεί η βέλτιστη. Στο δεύτερο μέρος μελετήθηκε η επιρροή της χρήσης του MHA στο UL. Οι προσομοιώσεις συγκρίθηκαν με και χωρίς τον MHA για κάθε τομεοποίηση. Στο τρίτο μέρος, προσδιορίζεται η βελτίωση της χωρητικότητας ως συνάρτηση της τομεοποίησης και της επιλογής κεραίας. Στους Πίνακες 3.23-3.25 συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα από την άποψη της παρεμβολής από άλλες προς την κύρια κυψέλη (other- to- own- cell), των εξυπηρετούμενων χρηστών, του SHO overhead και της πιθανότητας κάλυψης στο UL.

Στη μελέτη κλίσεως της κεραίας εφαρμόστηκε η ηλεκτρική κλίση και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μπορεί να βρεθεί μια καλύτερη γωνία κλίσης: Λαμβάνονται υπόψη η πιθανότητα κάλυψης και η πιθανότητα της χωρητικότητας. Στον Πίνακα 3.23 συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης.

Πίνακας 3.22 Πληροφορίες κίνησης που χρησιμοποιήθηκαν στις μελέτες. Αποδίδεται με την άδεια της IEEE.

Service (kbps)	Service activity UL	Service activity DL	Users per service
8 kbps	50%	50%	720
64 kbps CS data	100%	100%	240
144 kbps packet data	10%	100%	180

Σε αυτές τις προσομοιώσεις η καταλληλότερη γωνία κλίσης είναι από 7°, έως 10°. Είναι σχετικά μεγάλη εξαιτίας του μεγάλου ύψους της τοποθέτησης της κεραίας (50m). Το γενικό συμπέρασμα που μπορεί να φανεί από τον Πίνακα 3.23 είναι ότι καθώς αυξάνεται η κλίση, μειώνεται ο λόγος παρεμβολής από την κύρια - προς - την - άλλη - κυψέλη, από την κλίση των κεραίων. Αυτό γίνεται γιατί διανέμει λιγότερη ισχύ η κύρια δέσμη της κεραίας προς τους άλλους σταθμούς βάσης, επομένως η περισσότερη από την ακτινοβολούμενη ισχύ πηγαίνει στην περιοχή που σκοπεύεται να εξυπηρετηθεί από αυτόν τον συγκεκριμένο σταθμό βάσης. Το δίκτυο μπορεί την ίδια στιγμή να εξυπηρετήσει περισσότερους χρήστες από το αν δεν ήταν οι κεραίες σε κλίση. Πάντα υπάρχει η βέλτιστη τιμή για την κλίση, η οποία εξαρτάται από το περιβάλλον, τη θέση και τις τοποθεσίες των χρηστών και τα μέρη ακτινοβολίας της κεραίας.

Εάν είναι πολύ μεγάλη η γωνία κλίσης, τότε μπορεί να πέφτει στην εξυπηρετούμενη περιοχή και ο σταθμός βάσης θα είναι ανίκανος να εξυπηρετήσει μια τόσο μεγάλη περιοχή. Αυτό φαίνεται από τα αποτελέσματα για την πιθανότητα κάλυψης στο uplink, η οποία έχει επίσης κάποια βέλτιστη τιμή. Μπορούν να υπάρξουν μερικές μεταβολές του i και της πιθανότητας κάλυψης ως συνάρτηση της γωνίας κλίσεως, εξαιτίας των μερών ακτινοβολίας των πλευρικών λοβών και των τοπικών ελαχίστων (nulls) της κεραίας.

Στο δεύτερο μέρος της μελέτης παρουσιάζεται η δοκιμή του Mast Head Amplifier χαμηλού - θορύβου. Ο MHA χρησιμοποιείται στην κατεύθυνση uplink για να αντισταθμίσει τις απώλειες καλωδίων, έτσι μειώνονται οι απαιτούμενες ισχύεις εκπομπής των κινητών σταθμών. Τα σενάρια τριπλού ή τετραπλού τομέα έχουν προσομοιωθεί με κεραία 65° και η περίπτωση εξαπλού-τομέα εφαρμόσε κεραία 33°. η κλίση της κεραίας που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις

περιπτώσεις ήταν 7° και η μέγιστη ισχύς του MS ήταν 27dBm. Στον Πίνακα 3.24 συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα του ΜΗΑ.

Πίνακας 3.23 Παράδειγμα της επίδρασης της κλίσης της κεραίας στη χωρητικότητα του δικτύου. Ο ΜΗΑ σε χρήση. Μέγιστη ισχύς MS Tx 24dBm. Εάν υπερβαίνεται η μέγιστη ισχύς Tx του BS στο DL, τότε τίθενται οι συνδέσεις τυχαία εκτός υπηρεσίας (outage).

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%

Τα αποτελέσματα στον Πίνακα 3.24 υποδεικνύουν ότι χρησιμοποιώντας έναν ενισχυτή ΜΗΑ έχει αυξηθεί η επίδοση στο uplink εξαιτίας της αυξημένης ευαισθησίας. Επίσης η πιθανότητα κάλυψης είναι μεγαλύτερη, όταν τοποθετείται ένας ΜΗΑ. Η επίδραση του ΜΗΑ έγινε μεγαλύτερη στην περίπτωση εξαπλού-τομέα, όταν θεωρήθηκαν μεγαλύτερες απώλειες καλωδίων στο uplink (4dB αντί για 2dB). Επίσης ο Πίνακας 3.24 δείχνει, ωστόσο, ότι περιορίζονται τα σενάρια στο downlink και ότι έχουν περισσότερους MS στο uplink και

μειώνουν πραγματικά την επίδοση του DL. Η χωρητικότητα στο DL είναι μικρότερη σε όλες τις περιπτώσεις όταν χρησιμοποιείται ένας ενισχυτής MHA στο UL. Ο λόγος μπορεί να είναι ότι εάν μπορούν να εξυπηρετηθούν περισσότεροι χρήστες στο DL, τότε μειώνονται οι ισχύς εκπομπής στο DL, εξαιτίας των περισσότερων συνδέσεων SHO, έτσι μειώνεται η χωρητικότητα στο DL.

Πίνακας 3.24 Επίδραση του MHA. Μέγιστη ισχύς T_x του MS στα 27dBm, κλίση κεραίας 7° . εάν υπερβαίνεται η ισχύς T_x του BS στο DL, τότε τίθενται τυχαία οι συνδέσεις εκτός υπηρεσίας.

	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%

Στην τρίτη περίπτωση που αναλύεται, επεξηγεί τη βελτίωση της χωρητικότητας ως μια συνάρτηση της τομεοποίησης, κάθε σταθμός βάσης προσομοιώθηκε ως μια (omni) πολυκατευθυντική θέση και ως μια τοποθεσία με τρεις, τέσσερις ή έξι τομείς. Επιπλέον, τονίζεται η σημασία της σωστής επιλογής κεραίας για μια τομεοποιημένη ρύθμιση με τη βοήθεια μερικών παραδειγμάτων, προσομοιώνοντας τα σενάρια με κεραίες που έχουν διαφορετικά ανοίγματα γωνιών εκπομπής. Ο MHA ήταν σε δοκιμή για όλα τα σενάρια, η μέγιστη ισχύς εκπομπής του MS ήταν 24dBm και οι κεραίες δεν ήταν σε κλίση. Τα αποτελέσματα είναι σχετικά με τη μελέτη τομεοποίησης που δίνονται στον Πίνακα 3.25.

Η κάλυψη ήταν ανεπαρκής στην περίπτωση των πολυκατευθυντικών θέσεων, και μπορούσαν να εξυπηρετηθούν μόνο 240 χρήστες. Ακόμη το δίκτυο ήταν βαριά υπερφορτωμένο στο UL. Υπήρχε ένας σχεδόν ίσος αριθμός των MS που τίθεται εκτός

υπηρεσίας εξαιτίας του υπερβολικού φορτίου και εξαιτίας των MS που μένουν εκτός ισχύος. Η αιτία της μη κάλυψης (outage) στο uplink ήταν η ανεπαρκής ισχύς του MS σε όλες τις τομεοποιημένες περιπτώσεις, θεωρώντας ότι ήταν ακόμη πιο περιορισμένη η κατάσταση θέσης, θέτοντας περισσότερους κινητούς σταθμούς εκτός υπηρεσίας.

Πίνακας 3.25 Επίδραση της επιλογής κεραίας στην περίπτωση τομεοποίησης. Μέγιστη ισχύς του MS 24dBm. Ο ΜΗΑ σε χρήση. Χωρίς κλίση κεραίας. Αποδίδεται με την άδεια της ΙΕΕΕ.

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-sectored 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-sectored 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-sectored 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%

Ο Πίνακας 3.25 δείχνει ολοφάνερα ότι μπορούν να εξυπηρετηθούν πιο πολλοί κινητοί σταθμοί με τη μεγαλύτερη τομεοποίηση. Μια άλλη παρατήρηση είναι ότι αυτό που μπορεί να προκύψει από τα αποτελέσματα είναι η σημαντική επιλογή του ανοίγματος γωνίας εκπομπής της κεραίας για κάθε περίπτωση τομεοποίησης. Για να πετύχουμε μεγαλύτερο αριθμό εξυπηρετούμενων χρηστών είναι κρίσιμο να ελεγχθεί αποτελεσματικά η παρεμβολή και το SHO overhead. Εάν είναι πολύ μεγάλη η επικάλυψη των τομέων, τότε η παρεμβολή διαρρέεται από τον ένα τομέα στον άλλο και μειώνεται αμέσως η χωρητικότητα του. Μια άλλη

επίδραση της δέσμης της κεραίας όταν είναι πολύ πλατιά, είναι η σπατάλη των πηγών hardware και οι αυξανόμενες ισχύς εκπομπής στο downlink οφείλονται όταν γίνεται πολύ μεγάλο το του SHO overhead. Στις προσομοιώσεις η κεραία των 65° ήταν κατάλληλη για την περίπτωση του τριπλού τομέα και η κεραία των 33° ήταν η καλύτερη για τα σενάρια των τετραπλών και των εξαπλών τομέων. Επισημαίνεται ότι μπορεί να ελεγχθεί η παρεμβολή και να βελτιωθεί η χωρητικότητα του δικτύου με ακόμη πιο απλές τεχνικές σχεδίασης ραδιοδικτύου (κλίση κεραίας και σωστή επιλογή κεραίας για κάθε σενάριο). Στη μελέτη κλίσης της κεραίας εφαρμόστηκε η ηλεκτρική κλίση (electrical tilting) και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μπορεί να βρεθεί μια κατάλληλη γωνία κλίσης. Στις προσομοιώσεις που παρουσιάστηκαν σε αυτή τη μελέτη βελτιστοποιήθηκε με παρόμοιο τρόπο κάθε ένας από τους σταθμούς βάσης. Στην πραγματικότητα δεν ήταν τοποθετημένες οι κεραίες των σταθμών βάσης στο ίδιο ίσο ύψος και έτσι θα πρέπει να εφαρμοστεί η βελτιστοποίηση των σταθμών βάσης από θέση σε θέση.

Σε αυτή τη μελέτη έχει περιγραφεί επίσης ότι ο MHA είναι επίσης εφικτός στα δίκτυα WCDMA, θεωρώντας κάπως μικρό το όφελος όταν είναι το σύστημα πολύ περιορισμένο στο DL και έτσι είναι λιγότερο ωφέλιμη η βελτίωση της ευαισθησίας στο uplink. Τα αποτελέσματα στον Πίνακα 3.24 δείχνουν ότι μπορεί να βελτιωθεί με MHA το QoS στην κατεύθυνση uplink σε ελαφρώς φορτωμένα δίκτυα. Η πιθανότητα κάλυψης ήταν αυξημένη σε όλες τις προσομοιωμένες περιπτώσεις, όταν ήταν σε χρήση ο MHA. Κατά πόσο πολύ μπορεί να αξιοποιηθεί η βελτίωση της χωρητικότητας UL στην κατεύθυνση DL, όταν ο MHA είναι σε χρήση, εξαρτάται φυσικά από την κύρια κατάσταση φορτίου στο downlink και από τις στρατηγικές του admission control και του power control στο δίκτυο. Επίσης τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δείχνουν ολοφάνερα ότι η μεγαλύτερη τομεοποίηση προσφέρει μεγαλύτερη χωρητικότητα στο δίκτυο, όμως για να επιτευχθεί αυτό είναι κρίσιμη η επιλογή της κεραίας και να ελεγχθεί αποτελεσματικά η παρεμβολή και το SHO overhead. Για κάθε περίπτωση τομεοποίησης υπάρχει ένα κατάλληλο άνοιγμα γωνίας εκπομπής.

3.6 Interference in WCDMA Multioperator Environments

3.6.1 Εισαγωγή

Αυτή η Παράγραφος απευθύνεται στα προβλήματα που προέρχονται από την παρεμβολή γειτονικού καναλιού (ACI), όταν πολλοί ανταγωνιστές στο WCDMA λειτουργούν τα δίκτυά τους στην ίδια περιοχή των γειτονικών φερόντων σημάτων. Από το κύριο δίκτυο φαίνεται να μην είναι κρίσιμη η παρεμβολή ACI, αφού γίνεται χρήση των τεχνικών σχεδίασης

ραδιοδικτύου και μπορούν να εξαλειφθούν τα προβλήματα εκτελώντας το IF-HO. Η παρεμβολή ACI μπορεί να προκαλέσει προβλήματα σε περιβάλλοντα πολλών operators, διότι δεν μπορούν να επιτραπούν μεγάλες ζώνες ασφαλείας εξαιτίας των σπάνιων συχνοτικών πόρων, οι οποίοι θα σημάνουν τη σπατάλη των περιοχών συχνότητας, ειδικά όταν ανακαλείται το μεγάλο εύρος ζώνης των συστημάτων WCDMA. Από την άλλη πλευρά μπορούν να αποφευχθούν τα προβλήματα της παρεμβολής ACI, θέτοντας δυνατές απαιτήσεις στα φίλτρα αποκοπής (filter masks) εκπομπής και λήψεως των κινητών σταθμών και των σταθμών βάσης. Όμως οι υψηλές απαιτήσεις στον περιορισμό της διαρροής της ισχύος παρεμβολής σε γειτονικές κυψέλες από τη μια πλευρά και η υψηλή αντίσταση προς την παρεμβολή από γειτονικές ζώνες από την άλλη, θα το κάνουν σχεδόν αδύνατο να δημιουργηθεί ένας φθηνός και συμπαγής εξοπλισμός για τους σταθμούς βάσης καθώς και για τους κινητούς σταθμούς.

Λαμβάνοντας υπόψη μόνο την εσωτερική παρεμβολή WCDMA προκύπτουν τα επόμενα κρίσιμα σενάρια:

- Ο κινητός σταθμός από τον ανταγωνιστή 1 έρχεται κοντά στο σταθμό βάσης του ανταγωνιστή 2 και μπλοκάρει αυτό το σταθμό βάσης, γιατί εκπέμπει με μέγιστη ισχύ, δηλ., όταν βρίσκεται στο όριο της κυψέλης του ανταγωνιστή 1.
- Ο σταθμός βάσης (BS) από τον ανταγωνιστή 2 εκπέμπει με μεγαλύτερη ισχύ και επομένως μπλοκάρει όλους τους κινητούς σταθμούς του ανταγωνιστή 1 σε μια ορισμένη περιοχή γύρω από αυτόν, εξαιτίας της υπερβολικής ισχύος παρεμβολής (νεκρές ζώνες) και/ ή υπερβαίνεται η μέγιστη επιτρεπτή ισχύς εισόδου στο δέκτη του κινητού σταθμού (μπλοκάρισμα).

3.6.1.1 Πηγές της Παρεμβολής Γειτονικού Καναλιού

Στο WCDMA μπορούν να αναγνωριστούν οι ακόλουθες πηγές της παρεμβολής γειτονικού καναλιού:

- Οι εκπομπές εκτός ζώνης, οι οποίες είναι περιττές εκπομπές μόλις έξω από το ονομαστικό κανάλι, που προκύπτουν από τη διαδικασία διαμόρφωσης και τη μη γραμμικότητα του πομπού, αποκλείοντας όμως τις ανεπιθύμητες εκπομπές. Αυτό το όριο εκπομπής εκτός ζώνης καθορίζεται από την άποψη της φασματικής μάσκας εκπομπής [21] (spectrum emission mask).
- Οι ανεπιθύμητες εκπομπές είναι εκπομπές οι οποίες προκαλούνται από τις ανεπιθύμητες επιδράσεις του πομπού, όπως είναι οι αρμονικές της εκπομπής, η παρασιτική εκπομπή,

τα κυκλώματα ενδοδιαμόρφωσης και τα κυκλώματα αλλαγής συχνότητας, αποκλείοντας τις εκπομπές εκτός ζώνης. Η περιοχή συχνότητας και οι αναλυτικές εκπομπές των ορίων μεταξύ των απαιτήσεων για τις εκπομπές εκτός ζώνης και τις εκπομπές φάσματος βασίζονται στην αναφορά [25].

Μπορούν να προσδιοριστούν οι ακόλουθες σημαντικές ποσότητες που χαρακτηρίζουν την επίδραση των γειτονικών καναλιών από το ένα στο άλλο:

- Το ACLR (Adjacent Channel Leakage power Ratio) ορίζεται στην αναφορά [21] και [22] ως ο λόγος της εκπεμπόμενης ισχύος προς τη μετρούμενη ισχύ σε ένα γειτονικό κανάλι. Η εκπεμπόμενη ισχύς και η ισχύς του γειτονικού καναλιού μετρώνται με ένα φίλτρο που έχει συνημιτονειδή απόκριση φίλτρου Υψωμένης Ρίζας με ένα roll-off factor του $\alpha = 0,22$ και ένα εύρος ζώνης ίσο με το chip rate. Εάν η ισχύς του γειτονικού καναλιού είναι μεγαλύτερη από τα -50dBm, τότε ορίζονται οι απαιτήσεις του ACLR από την αναφορά [21] για το MS και από την αναφορά [22] για το BS, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.26.

Πίνακας 3.26 Απαιτήσεις επίδοσης του γειτονικού καναλιού για MS [21] και BS [22].

Adjacency	Channel separation	Max. allowed ACLR	
		MS ^a	BS
First adjacent carrier	5 MHz	33 dB	45 dB
Second adjacent carrier	10 MHz	43 dB	50 dB

^a Εάν η ισχύς του γειτονικού καναλιού είναι μεγαλύτερη από -50dBm

- Η επιλεκτικότητα Γειτονικού Καναλιού-Adjacent Channel Selectivity (ACS), ορίζεται στην αναφορά [21] και [22] ως η μέτρηση της ικανότητας του δέκτη να λαμβάνει ένα σήμα WCDMA στην καθορισμένη συχνότητα καναλιού με την παρουσία ενός σήματος γειτονικού καναλιού στη δεδομένη απόκλιση συχνότητας από την κεντρική συχνότητα του καθορισμένου καναλιού. Το ACS είναι ο λόγος της εξασθένησης του φίλτρου λήψεως στην καθορισμένη συχνότητα καναλιού προς την εξασθένηση του φίλτρου λήψεως του γειτονικού καναλιού ή καναλιών. Το ACS μπορεί να είναι μεγαλύτερο από 33dB για το MS και για το BS δίνονται στον Πίνακα 3.27 οι απαιτήσεις για το κανάλι ομιλίας και για ένα BER του 0,001.
- Η ελάχιστη ισχύς εξόδου του UE κατά τη διάρκεια της κατάστασης power ON, ίση ή λιγότερη από -50dBm [21].

- Η μέγιστη ισχύς εξόδου του κατά τη διάρκεια τη κατάσταση power OFF ίση ή λιγότερη από -56dBm [21].
- Το καταλαμβανόμενο BW, το οποίο είναι μια μέτρηση του εύρους ζώνης που περιέχει το 99% της ολικής ολοκληρωμένης ισχύος του εκπεμπόμενου φάσματος, κεντραρισμένη στην καθορισμένη συχνότητα του καναλιού. Το καταλαμβανόμενο εύρος ζώνης του καναλιού θα πρέπει να είναι λιγότερο από 5MHz βάσει του chip rate των 3,84Mcps, αναφορές [21] και [22].

Πίνακας 3.27 Απαιτήσεις Επιλεκτικότητας γειτονικού καναλιού για το BS [22].

Parameter	Value
Data rate	12.2 kbps
Wanted signal	-115 dBm
Interfering signal	-52 dBm
Fuw (modulated)	5 MHz

3.6.1.2 Ελάχιστη Απώλεια Σύζευξης

Η ελάχιστη απώλεια σύζευξης-Minimum Coupling Loss (MCL) ορίζεται ως το μικρότερο path loss που μπορεί να συμβεί μεταξύ των πομπών και των δεκτών των BSs και των MSs. Συναντιέται όταν ο MS έρχεται όσο το δυνατό πιο κοντά στο BS. Εάν ο MS είναι ελεγχόμενης ισχύος από αυτόν τον BS, συνεπώς θα μειώσει την ισχύ εκπομπής του μέχρι να φτάσει στην ελάχιστη δυνατή τιμή. Εάν έρθει αυτό το στάδιο και πλησιάζει ακόμη το BS, εκπέμπει με υπερβολική ισχύ, αυξάνοντας την παρεμβολή στο UL πέραν από το τι είναι απόλυτα αναγκαίο. Εδώ θεωρείται ότι η απώλεια MCL μεταξύ ενός micro BS και ενός κινητού σταθμού είναι περίπου στα 53dB , η απώλεια MCL μεταξύ ενός macro BS και ενός κινητού σταθμού είναι περίπου στα 70 dB και η ελάχιστη ισχύς του MS είναι -50dBm. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις τιμές, μπορεί να υπολογιστεί η ελάχιστη λαμβανόμενη στάθμη στο (micro) BS ως:

$$-50\text{dBm} - 53\text{dBm} = -103\text{dBm} \quad (3.68)$$

η οποία σημαίνει ότι ο MS παράγει μόνο μια πολύ μικρή αύξηση θορύβου συγκρινόμενη με αυτή στο κατώφλι θορύβου που είναι περίπου -103,1dBm (θεωρώντας ένα συντελεστή θορύβου των 5dB).

Φυσικά μπορεί να αντιμετωπιστεί επίσης το πρόβλημα του MCL, όταν έρχεται ένας MS του δεύτερου operator πολύ κοντά στο BS του πρώτου operator. Η διαφορά ωστόσο είναι ότι, ο MS δεν είναι ελεγχόμενης ισχύος από το BS που πλησιάζει. Εάν οι δυο χειριστές έχουν σε κοινή θέση τους σταθμούς βάσης τους δεν είναι κρίσιμο, αφού το BS του δεύτερου operator, θα δώσει εντολή στο MS να χαμηλώσει την ισχύ του. Σε μια ιδανική περίπτωση, δεν θα υπάρχουν προβλήματα, αφού οι operators χρησιμοποιούν διαφορετικές φέρουσες συχνότητες και δε θα υπάρχει παρεμβολή μεταξύ τους. Στην πραγματικότητα ωστόσο, υπάρχουν μόνο πεπερασμένες τιμές για το ACS και το ACLR (βλέπε Παράγραφο 3.2.4). Θεωρώντας τιμές των 33dB και των 45dB αντίστοιχα, η σύζευξη C μεταξύ των φερόντων σημάτων μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$C = -10 \cdot \log_{10} \left(10^{-33/10} + 10^{-45/10} \right) \text{dB} = 32,7 \text{dB} \quad (3.69)$$

Αυτό σημαίνει ότι εάν ο κύριος MS και ο MS του άλλου operator εκπέμπουν με την ίδια ισχύ, τότε η παρεμβολή που λαμβάνεται από τον τελευταίο είναι περίπου 32,7dB λιγότερη από αυτή που παράγεται από το MS του κύριου συστήματος. Η χειρότερη περίπτωση στο πρόβλημα συμβαίνει ωστόσο όταν εκπέμπει κάποιος MS του δεύτερου operator με τη μέγιστη ισχύ του στην απόσταση MCL από το BS του άλλου operator. Π.χ. αυτό συμβαίνει όταν δεν εγκαθίστανται κοινές θέσεις. Σε μια ακραία περίπτωση μια θέση είναι στο όριο μιας κυψέλης του δικτύου άλλου operator, εάν κινείται και πλησιάζει ένας MS προς το όριο, τόσο που να πλησιάζει το BS του πρώτου operator, εκπέμπει με πλήρη ισχύ στην κοντινή γειτονικότητα BS του πρώτου operator, όπως μπορεί να φανεί στο Σχήμα 3.26.

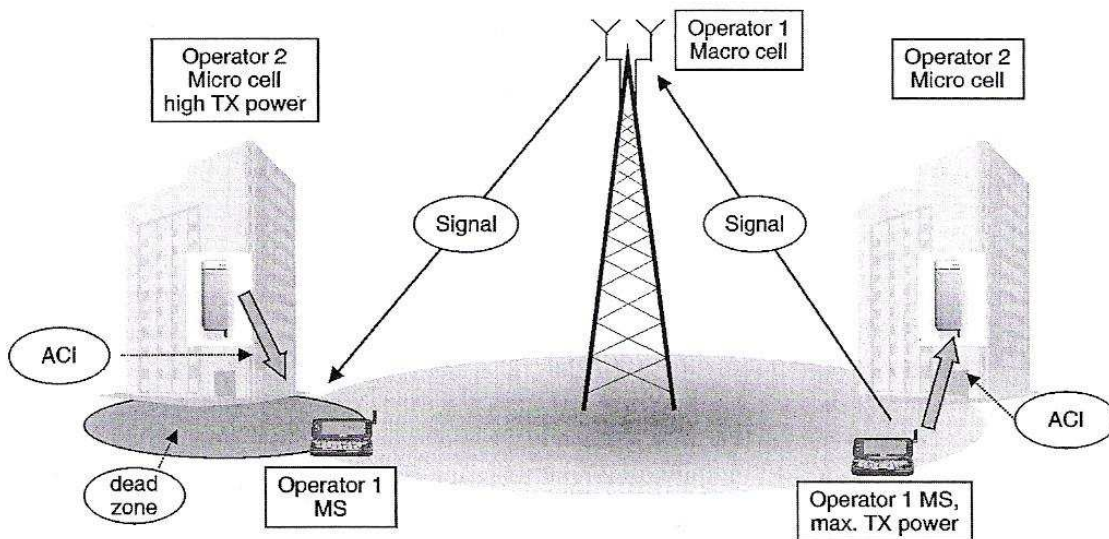
Με μια μέγιστη ισχύ του MS των 21dBm, 53dBm για την απώλεια MCL στο micro BS και σύζευξη μεταξύ των φερόντων σημάτων με C=32.7dB, μπορεί να υπολογιστεί η λαμβανόμενη στάθμη στο micro BS:

$$21 \text{dBm} - 53 \text{dB} - 32,7 \text{dB} = -64,7 \text{dBm} \quad (3.70)$$

Εάν το επίπεδο το noise figure είναι -103,1dBm, τότε ο μικρός σταθμός βάσης θα υποστεί μια αύξηση θορύβου των 38,4dB, από ένα macro user, ο οποίος βρίσκεται με την έννοια μετάδοσης στην απόσταση MCL από το micro BS, με άλλα λόγια ένας τέτοιος macro user θα μπλοκάρει ολοκληρωτικά τον micro BS.

Επομένως υπολογίζουμε την κατάσταση στο downlink, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο micro BS εκπέμπει με ακόμη λιγότερη ισχύ των 0,5w (27dBm), έπειτα η λαμβανόμενη παρεμβολή στο MS στο γειτονικό κανάλι είναι:

$$27 \text{ dBm} - 53 \text{ dBm (MCL)} - 32,7 \text{ dB (ACS)} = - 58,7 \text{ dBm} \quad (3.71)$$



Σχήμα 3.26 Η χειρότερη περίπτωση σεναρίου intrasystem ACI. Το δεξιό μέρος παριστάνει το UL, το αριστερό μέρος δείχνει το DL με νεκρή ζώνη.

Θεωρώντας υπηρεσίας ομιλίας (processing gain G_p : 25dB), με μια απαίτηση E_b/N_0 στο MS των 5dB και μια επιτρεπτή αύξηση θορύβου στο macrocell των 6dB, το μέγιστο επιτρεπτό path loss L_p για να κρατήσει τη λειτουργία της σύνδεσης στο UL είναι:

$$L_p = 21 \text{ dBm} - 5 \text{ dB} + 25 \text{ dB} - (-103 + 6 \text{ dB}) = 138 \text{ dB} \quad (3.72)$$

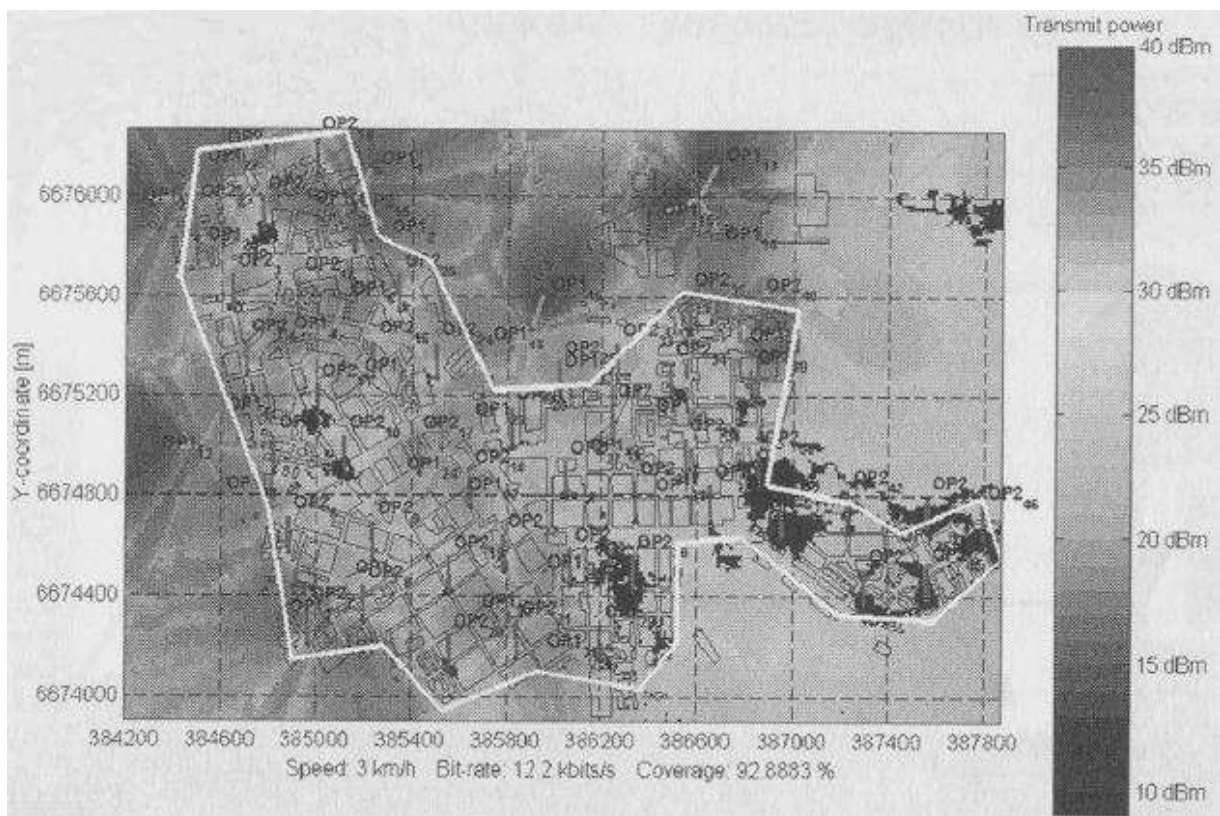
Εάν θεωρήσουμε μια επιπλέον απαίτηση DL Tx E_b/N_0 των 8dB, τότε η ισχύς εκπομπής P_{tx} που θα χρειαστεί θα είναι:

$$P_{tx} = - 58,7 \text{ dBm} + 8 \text{ dB} - 25 \text{ dB} + 138 \text{ dB} = 62,3 \text{ dBm} \quad (3.73)$$

Αυτό το παράδειγμα δείχνει ξεκάθαρα ότι σε αυτές τις περιπτώσεις είναι το DL η πιο αδύναμη ζεύξη, δηλ. πριν έρθει πολύ κοντά σε ένα micro BS η σύνδεση του macro BS θα απορριφθεί εξαιτίας της ανεπαρκούς ισχύος στο DL και δε μπορεί να μπλοκάρει το micro BS.

3.6.1.3. Νεκρές Ζώνες

Ένα άλλο πρόβλημα είναι οι νεκρές ζώνες που προκύπτουν εξαιτίας των προβλημάτων του MCL. Η νεκρή ζώνη είναι μια περιοχή στην οποία δεν έχουν αρκετή ισχύ εκπομπής ούτε ο BS στο DL, ούτε ο MS στο UL για να υποστηρίξουν τις απαιτήσεις Quality of Service (QoS) - άλλου σκοπού. Όταν εισερχόμαστε σε μια τέτοια περιοχή, χάνεται η υπάρχουσα σύνδεση και δεν είναι δυνατό να υποστηριχθεί μια σύνδεση από αυτή την περιοχή. Μια πιθανή περίπτωση, όπου μπορεί να προκύψει μια νεκρή ζώνη πάλι σε ένα περιβάλλον με πολλούς operators, είναι εάν ένας MS από ένα operator πλησιάζει το όριο κυψέλης και ένας (micro) BS από ένα άλλο operator εκπέμπει με πλήρη ισχύ. Έπειτα ο κύριος σταθμός βάσης δεν έχει αρκετή ισχύ εκπομπής για να υπερνικήσει την παραγόμενη παρεμβολή από το δεύτερο σταθμό βάσης. Εναλλακτικά ή ταυτοχρόνως προκύπτει ότι ο MS δεν μπορεί να πλησιάσει τον κύριο σταθμό βάσης του.



Σχήμα 3.35 Παράδειγμα της ισχύος ζεύξεως στο DL που χρειάζεται για ένα δίκτυο ενός macro operator. Επίσης είναι ορατές κάποιες νεκρές ζώνες, όπου δεν είναι επαρκής η μέγιστη ισχύς ζεύξεως για ένα αρκετά καλό QoS.

Το πρόβλημα είναι πιο σοβαρό εξαιτίας της μικρότερης απώλειας MCL γύρω από τους micro BSs. Επιπλέον, είναι μεγαλύτερη η απώλεια ζεύξεως από το όριο της κυψέλης στο BS σε περιβάλλοντα με macrocells. Συνεπώς η πιο τυπική περίπτωση για τη νεκρή ζώνη είναι για έναν MS ενός macro operator γύρω από το BS ενός micro operator. Ωστόσο εξαρτάται στο σενάριο κατά πόσο αυτός ο MS θα χάσει πρώτος τη σύνδεση του ή κατά πόσο θα μπλοκάρει πρώτος το UL του πρώτου micro BS. Αργότερα στο Σχήμα 3.35 μπορεί να φανεί ένα παράδειγμα των νεκρών ζωνών.

3.6.2. Προσομοιώσεις Περιπτώσεων ACI

3.6.2.1 Δυο Μακροκυψελωτά Δίκτυα WCDMA σε ένα Αστικό Περιβάλλον

Το σενάριο προσομοίωσης που δημοσιεύτηκε στην προηγούμενη εργασία ήταν στο πεδίο του [23] και [24] και ήταν κάπως μη πραγματικό. Είναι κάπως απίθανο ότι σε μια (πυκνή) αστική περιοχή θα επιλέξει ένας operator να χρησιμοποιήσει ένα macrocellular δίκτυο που μοντελοποιείται με ένα πλέγμα (grid) Manhattan, ενώ ένας άλλος operator θα δει εάν είναι εφικτό να παρέχει υπηρεσίες με ένα macrocellular δίκτυο.

Αυτή η Παράγραφος περιγράφει τα αποτελέσματα προσομοίωσης δικτύου μιας μελέτης στην αμοιβαία παρεμβολή των δυο macrocellular δικτύων WCDMA, όταν λειτουργούν στην ίδια περιοχή. Τα δυο δίκτυα των χειριστών ήταν μακροκυψελωτού τύπου, εγκατεστημένα σε ένα αστικό περιβάλλον στο κέντρο της πόλεως Ελσίνκι, Φινλανδίας. Οι δυο χειριστές θεωρήθηκαν ότι έχουν την ίδια κίνηση και τις ίδιες απαιτήσεις QoS.

Η πρώτη φάση της ανάλυσης έλαβε υπόψη τα δίκτυα των δυο χειριστών ως ανεξάρτητα στην εσωτερική παρεμβολή, με άλλα λόγια χωρίς την επίδραση του άλλου operator. Στη δεύτερη φάση θεωρήθηκε η επίδραση της διαρροής παρεμβολής από το δίκτυο του ενός operator στο δίκτυο του άλλου φιλτράροντας τις ισχύς εκπομπής από τον ένα operator στον άλλο. Σε όλη αυτή τη μελέτη θεωρούνται οι δυο operators να λειτουργούν στα αμέσως γειτονικά κανάλια που διαχωρίζονται από τα 5MHz. Δεν λαμβάνεται υπόψη καμιά άλλη παρεμβολή. Οι τιμές της ελάχιστης ισχύος εκπομπής για τους κινητούς σταθμούς και οι ρυθμίσεις φίλτρου επιλέχθηκαν στη βάση καλύτερης πρόβλεψης, καθώς δεν ήταν τελειωμένη η τυποποίηση τους στη διάρκεια της μελέτης.

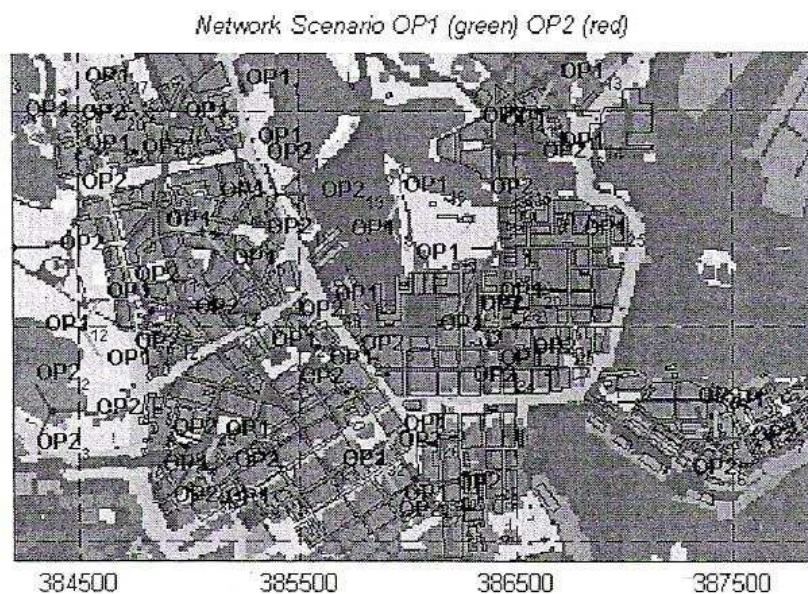
Προσομοίωση αστικής περίπτωσης

Στην προσομοίωση αστικής περίπτωσης αναλύεται μια περιοχή των 9km² στο κέντρο της πόλεως Ελσίνκι. Η διαστασιοποίηση προμελέτησε 13 θέσεις (38 τομείς) για την κάλυψη και την απαιτούμενη χωρητικότητα. Επειδή στην πραγματικότητα το περίπου 20% της

συνολικής περιοχής είναι θάλασσα, η πραγματική σχεδίαση του δικτύου έγινε με 32 τομείς, από τους οποίους οι 31 χρησιμοποίησαν κεραίες τομέα $65^\circ/17,5\text{dBi}$ και ένας μια πολυκατευθυντική κεραία των 11dBi . Το επιλεγμένο ύψος τοποθέτησης της κεραίας ήταν από 16m έως 20m και υπολογίστηκε η απώλεια διάδοσης με το μοντέλο Okumura-Hata, με μέσο συντελεστή διόρθωσης των -63dB . Για τους χρήστες εντός κτιρίων προστίθεται μια επιπλέον απώλεια διάδοσης των 12dB . Δημιουργήθηκαν δυο ανεξάρτητα σχέδια δικτύου. Στο Σχήμα 3.27 μπορούν να φανούν τα σενάρια δικτύου. Τα χαρακτηριστικά του συστήματος που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις είναι από την αναφορά [8]. Εκτός από αυτό το chip rate ήταν προσδιορισμένο στα $3,84\text{Mcps}$. Το προφίλ του πολυοδικού (multipath) καναλιού ήταν το ITU Vehicular A Channel από την αναφορά [5].

Για το SHO window χρησιμοποιήθηκε μια τιμή των -5dB , δηλ. όλοι οι τομείς οι οποίοι έλαβαν το CPICH λήφθηκε μέσα στα -5dB του δυνατότερου P-CPICH που συμπεριλήφθησαν στο AS.

Το μέγιστο επιτρεπτό φορτίο ήταν ορισμένο στο 75% . Στον Πίνακα 3.28 ταξινομούνται οι άλλες σχετικές παράμετροι που εφαρμόστηκαν στις προσομοιώσεις. Οι απαιτήσεις κίνησης ήταν όπως στον Πίνακα 3.6 της Παραγράφου 3.3.



Σχήμα 3.27 Σενάρια δικτύου που χρησιμοποιούνται στη μελέτη της αστικής περίπτωσης. Αποδίδεται με την άδεια της IEEE.

Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Σε αυτή την Παράγραφο συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση της αστικής περίπτωσης. Οι αριθμοί που παρουσιάζονται είναι οι μέσοι όροι, πάνω από τρεις διαφορετικές κατανομές των κινητών σταθμών ακολουθώντας τις απαιτήσεις κίνησης από τον Πίνακα 3.6. Ο Πίνακας 3.29 ταξινομεί τις πιθανότητες της κάλυψης στο UL. Οι απαιτήσεις αντιμετωπίζονται ικανοποιητικά εκτός από το ότι η κάλυψη των 384 kbps είναι εμφανώς πολύ μικρή. Εάν παρουσιαστεί ένας δεύτερος operator, η κάλυψη δεν πέφτει σημαντικά.

Πίνακας 3.28 Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις. Αποδίδεται με την άδεια της IEEE.

Chip rate	3.84 Mcps
BS maximum transmit power	43 dBm
MS minimum/maximum transmit power	-44 dBm ^a /21 dBm
Shadow fading correlation between sites/sectors	50%/80%
Standard deviation for the shadow fading	7 dB
Channel profile	ITU vehicular [5]
MS speed	3 km/h for data, 50 km/h for speech
MS/BS noise figures	8 dB/5 dB
P-CPICH power	30 dBm
Combined power for other control channels	30 dBm
Orthogonality	50%
MS antennas	Omnι, 0 dBi
Cable losses	3 dB
Filter settings (Equations (3.54) and (3.56)):	
AciFilterUL (BS selectivity, ACS)	45 dB
AcpFilterUL (MS leakage, ACLR)	33 dB
AciFilterDL (MS selectivity, ACS)	33 dB
AcpFilterDL (BS leakage, ACLR)	45 dB

Πίνακας 3.29 Κάλυψη στην αστική περίπτωση. Αποδίδεται με την άδεια της IEEE.

UL coverage	Speech	64 kbps	144 kbps	384 kbps
One operator	99.23%	96.27%	93.63%	89.13%
Two operators	99.19%	96.18%	93.52%	88.93%

Σε αυτή τη μελέτη η ελάχιστη ισχύς Tx για το MS ήταν -44dBm. Στο πρότυπο αυτή η τιμή καθορίστηκε στα -50dBm.

Ο Πίνακας 3.30 δίνει μια σύνοψη των ισχύων Tx του MS από την άποψη των μεγίστων και των ελαχίστων ισχύων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και το εκατοστιαίο 50, 75, και 90. Επίσης σε αυτή την περίπτωση, δεν παρατηρήθηκε καμιά σημαντική αύξηση, όταν παρουσιαζόταν η επιρροή ενός δεύτερου operator. Οι κινητοί σταθμοί χρησιμοποιούσαν τις ελάχιστες επιτρεπτές ισχύεις Tx τους αποδεικνύοντας ότι θα υπάρξουν μερικά προβλήματα στο δίκτυο που προκύπτουν από την υπερβολική ελάχιστη απώλεια σύζευξης (MCL), θεωρώντας χωρίς συνέπειες τέτοια προβλήματα που έχουν παρατηρηθεί όπως είναι οι νεκρές ζώνες στο DL.

Ο Πίνακας 3.31 δείχνει τις ισχύς Tx στο DL. Τα στατιστικά συγκεντρώνονται από τις ισχύς απλής-ζεύξεως και από των ολικών ισχύων Tx των BS. Εάν παρουσιαστεί ένας δεύτερος operator, αυξάνονται ελαφρώς οι ισχύς Tx θεωρώντας ότι δε μπορούν να σημειωθούν δραματικά αποτελέσματα.

Στον Πίνακα 3.32 φαίνονται άλλα ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Περιλαμβάνουν το μέσο αριθμό των χρηστών ανά κυψέλη, το φορτίο στο UL, το μέσο αριθμό και τύπο των ζεύξεων ανά κυψέλη και το κενό που οφείλεται στο SHO. και πάλι αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι δε δοκιμάζεται καμιά σημαντική επίδραση από το γειτονικό operator με τις επιλεγμένες τιμές φίλτρου.

Πίνακας 3.30 Οι ισχύς Tx του MS στην αστική περίπτωση. Αποδίδεται με την άδεια της IEEE.

MS Tx powers (dBm)	Max.	Q95	Q75	Q50	Min.
One operator	17.82	9.39	-1.06	-7.86	-44.0
Two operators	18.01	9.50	-0.90	-7.73	-44.0

Πίνακας 3.31 Οι ισχύς Tx του BS στην αστική περίπτωση. Αποδίδεται με την άδεια της IEEE.

	Max.	Q95	Q75	Q50	Min.
Link power statistics (dBm)					
One operator	36.16	29.55	22.60	21.43	16.36
Two operators	35.85	29.76	22.90	21.63	16.52
Total power statistics (dBm)					
One operator	42.05	41.36	39.93	38.55	34.35
Two operators	42.30	41.75	40.04	38.74	34.67

Πίνακας 3.32 Άλλα αποτελέσματα από την αστική περίπτωση. Αποδίδεται με την άδεια της IEEE.

	Users	Load	Links				SHO overhead
			12.2 kbps	64 kbps	144 kbps	384 kbps	
One operator	21.27	0.54	26.83	2.16	1.38	0.71	0.47
Two operators	21.44	0.55	27.18	2.18	1.43	0.66	0.47

Συμπεράσματα

Σε αυτή τη μελέτη εξετάστηκε για μια αστική περιοχή η επίδραση των δυο χειριστών ο ένας στον άλλο σε ένα περιβάλλον με macrocells. Λόγω των σχετικά δύσκολων ρυθμίσεων φίλτρου περιγράφεται η αμοιβαία παρεμβολή, δεν υπόκεινται σημαντικό υποβιβασμό, οι αποδόσεις του δικτύου. Επιτυγχάνεται σχεδόν η ίδια επίδοση με και χωρίς το δεύτερο operator. Παρατηρήθηκε μεγαλύτερος υποβιβασμός για τις πιθανότητες εκτός υπηρεσίας (outage), όμως δεν ήταν τόσο δραματικές οι αλλαγές όσο ήταν ελαφρώς αυξημένη η μη κάλυψη (outage). Σε αυτή την αστική μελέτη δε μπόρεσε να παρατηρηθεί καμία από τις επονομαζόμενες νεκρές ζώνες. Μια εξήγηση γι αυτό μπορεί να είναι οι απώλειες ζεύξεως που υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας το μοντέλο Okumura-Hata χωρίς τον έλεγχο Line-of-Sight, έτσι οι ελάχιστες απώλειες ζεύξεως ήταν μεγαλύτερες από την ελάχιστη απώλεια συζεύξεως

που χρειάζονταν για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα. Το αποτέλεσμα, ωστόσο, γίνεται διαφορετικό εάν χρησιμοποιηθεί ο έλεγχος LOS, ειδικά στο σενάριο όπου υπάρχουν Σταθμοί Βάσης των δυο operators που ευθυγραμμίζονται κατά μήκος των λεωφόρων ή ακόμα και των εθνικών οδών. Ο ίδιος λόγος παραμένει πίσω από την παρατήρηση ότι δεν υπήρχε καμία σημαντική διαφορά στην επίδοση εάν οι κυψέλες των διαφορετικών operators ήταν σχεδόν κοινώς τοποθετημένες σε μια ημιαστική περιοχή που μπορεί να βρεθεί στην αναφορά [31].

Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν την ίδια συμπεριφορά της παρεμβολής ACI.

3.6.2.2 Macro και Microcellular Δίκτυα WCDMA σε ένα Αστικό Περιβάλλον.

Σε αυτή την άσκηση της παρεμβολής ACI περιλαμβάνονται δυο δίκτυα ένα macrocellular και ένα microcellular σχέδιο, λειτουργούν σε γειτονικά φέροντα σήματα που εξυπηρετούν την ίδια αστική περιοχή (στο κέντρο του Ελσίνκι), όπως και στην προηγούμενη παράγραφο με αρκετή χωρητικότητα και κάλυψη. Η διαστασιοποίηση δείχνει στην περίπτωση αυτή ότι ο macro operator έχει 32 κυψέλες και ο micro operator έχει 46 κυψέλες σε μια περιοχή των 4 Km² περίπου. Η βασική έννοια στις προσομοιώσεις ήταν ότι κάθε ένας operator βελτιώνει πρώτα το δίκτυο του, έτσι ώστε η μη κάλυψη (outage) να είναι κάτω του 2% χωρίς να λάβει υπόψη του τον άλλο operator. Ωστόσο είναι εντελώς ανεξάρτητα τα σχέδια κυψέλης. Οι παράμετροι μπορούν να βελτιστοποιηθούν σε μια πραγματική περίπτωση με πιο αποδοτικό τρόπο.

Πίνακας 3.33 Μερικές γενικές παράμετροι της προσομοίωσης

	Macro	Micro
Maximum BS power	43 dBm	36 dBm
Maximum DL Tx power per link	40 dBm	33 dBm
P-CPICH power	30 dBm	23 dBm
Other common channel powers	30 dBm	23 dBm
SHO window	3 dB	3 dB
BS antenna height	25.0 m	10.0 m
MCL	70 dB	53 dB
BS selectivity/leakage	45 dB	45 dB
MS selectivity/leakage	33 dB	33 dB
Minimum MS Tx power	-44 dBm	-44 dBm
Shadowing std./correlation between BSs	7 dB/0.5	7 dB/0.5

Οι χώροι διάδοσης υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα απεικόνισης-ακτινών (ray-tracing) για το σενάριο με microcells και το μοντέλο Okumura-Hata για το σενάριο με macrocells. Πρώτα, αναλύθηκαν ανεξάρτητα τα σενάρια micro και macro σε αυτή τη μελέτη. Έπειτα τα σενάρια αυτά ενώθηκαν και συνεπάγονται οι επαναλαμβανόμενες λειτουργίες (iteration steps) αυτών των δυο operators στη μορφή παρεμβολής. Υπό εξέταση ήταν και οι δυο δείκτες βάση-δικτύου.

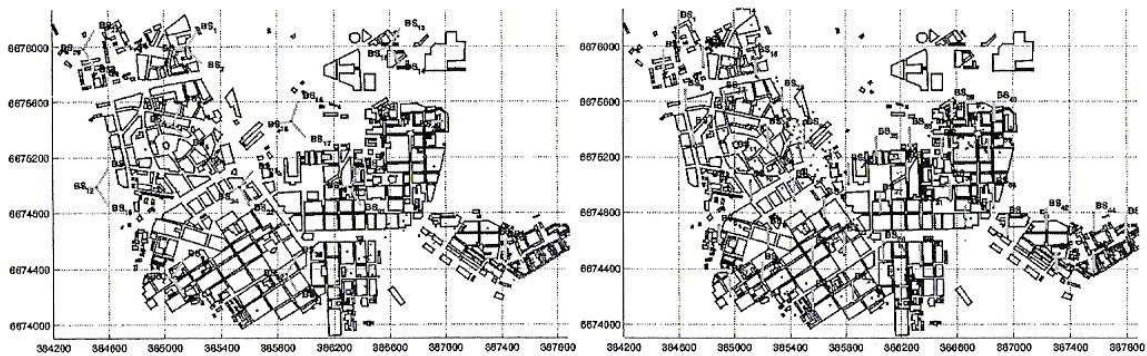
Στον Πίνακα 3.33 κατανέμονται οι γενικές παράμετροι της προσομοίωσης. Αυτές εξυπηρετούν ως τιμές προεπιλογής, εάν δεν έχουν δηλωθεί διαφορετικά στις προσομοιώσεις περιπτώσεων.

3.6.2.3. Προσομοιώσεις στο Helsinki με 32 Macro και 46 Micro κυψέλες.

Το Σχήμα 3.28 δείχνει τα σχέδια κυψελών που χρησιμοποιήθηκαν στην περίπτωση μαζί με την εξεταζόμενη περιοχή. Χρησιμοποιήθηκαν τρία στιγμιότυπα με τυχαίες θέσεις των κινητών σταθμών για κάθε προσομοιωμένη περίπτωση. Εισήχθησαν κατά μέσο όρο 20, 25, 30 και 35 χρήστες ανά κυψέλη για τον macro operator και για τον micro operator 55, 65, 75 και 85 χρήστες ανά κυψέλη.

Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Αυτή η Παράγραφος και τα σχήματα που ακολουθούν δίνουν τα κύρια αποτελέσματα προσομοίωσης για τους macro και micro operators, με και χωρίς την παρουσία άλλου operator. Φαίνονται οι πιθανότητα υπηρεσίας (αριθμός των χρηστών που εξυπηρετούνται μετά τις επαναλαμβανόμενες λειτουργίες που διαιρούνται από τον αρχικό αριθμό των χρηστών), την αύξηση θορύβου στο UL και η ολική ισχύς T_x BS. Επιπλέον, έχει μελετηθεί η επίδοση με δυο τιμές της μέγιστης ισχύος του καναλιού κίνησης για μια απλή ραδιοζεύξη στο DL: 5,5dB κάτω από το CPICH (αριστερά διαγράμματα) και 0dB κάτω από το CPICH (δεξιά διαγράμματα).



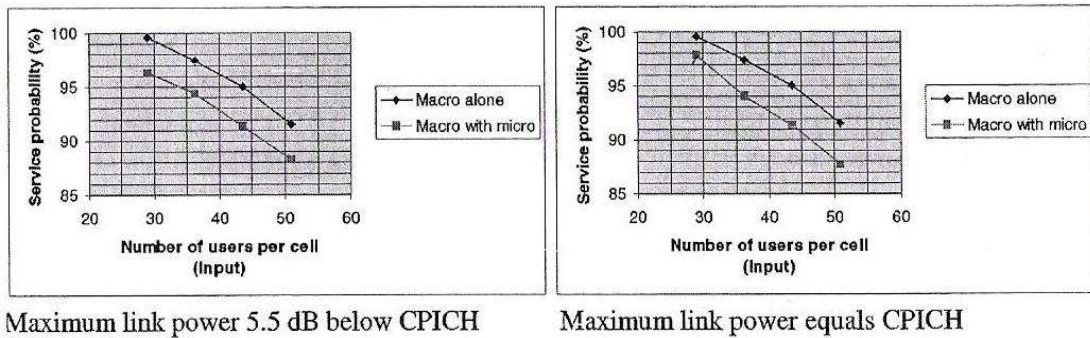
Σχήμα 3.28 Κυψελωτά σχέδια macro και micro operators

Το τελευταίο ανταποκρίνεται σε μια δυνατή τιμή παραμέτρου για να αποφευχθούν οι νεκρές ζώνες. Όλες αυτές οι ρυθμίσεις δείχνουν τους μέσους όρους από όλα αυτά τα τρία στιγμιότυπα και τις μέσες ισχύς πάνω από τις κυψέλες. Ο άξονας x είναι πάντα ο «Αριθμός των Χρηστών» ή ο «Αριθμός των Εξυπηρετούμενων Χρηστών». Αυτό σημαίνει ότι εξετάζεται κατά μέσο όρο, ανά κυψέλη η κίνηση που δημιουργήθηκε ομοιόμορφα στην περιοχή. Για τα macrocells περιλήφθηκαν μόνο οι «εσωτερικές κυψέλες» (inner cells) στην περιοχή σε ανάλυση βάση-κυψέλης για να αποφευχθεί η μαγνητική ένταση (πόλωση-bias) από εξωτερικές επιδράσεις.

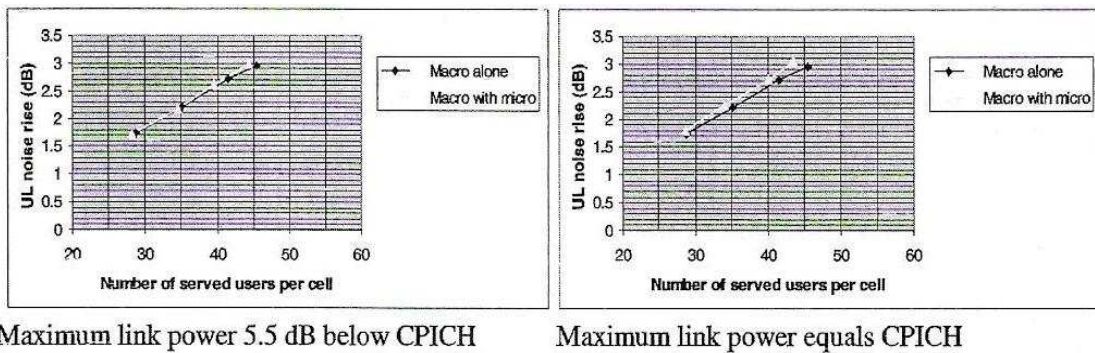
Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μπορεί κάποιος να δει ότι υπάρχει πάντα μια σημαντική απώλεια επίδοσης στο DL για το macro operator. Εάν είναι χαμηλό το φορτίο στο δίκτυο του macro operator, τότε ίσως βοηθήσει κάπως μια δυναμική παραμετροποίηση (επιτρέποντας υψηλή ισχύ για τα κανάλια κίνησης) κάνοντας τη ζωή των operators ελαφρώς πιο δύσκολη, όμως αυτό δε βοηθά για το υψηλό φορτίο. Επίσης μπορεί κάποιος να δει ότι εάν ο macro operator χρησιμοποιεί δυνατή παραμετροποίηση, τότε ο micro operator μπορεί να υποστεί μια ελαφρώς μεγαλύτερη αύξηση θορύβου στο UL.

Από αυτές τις προσομοιώσεις δεν μπορεί να φανεί καμία καθαρή επίδραση χωρητικότητας, δηλ. αλλάζοντας τον πόλο (ρυθμό-role) χωρητικότητας, αλλά μπορεί κάποιος σύμφωνα με τα αποτελέσματα να θεωρήσει την πρόσθεση της επίδρασης του γειτονικού φέροντος, εάν είναι μη συντεταγμένα η σχεδίαση της κυψέλης μεταξύ των στρωμάτων micro και macro, όπως μια απόκλιση στη στάθμη θορύβου στη διαστασιοποίηση. Στη διαδικασία βελτιστοποίησης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο άλλος operator σε ένα γειτονικό φέρον για να αποφευχθούν οι τοπικές νεκρές ζώνες.

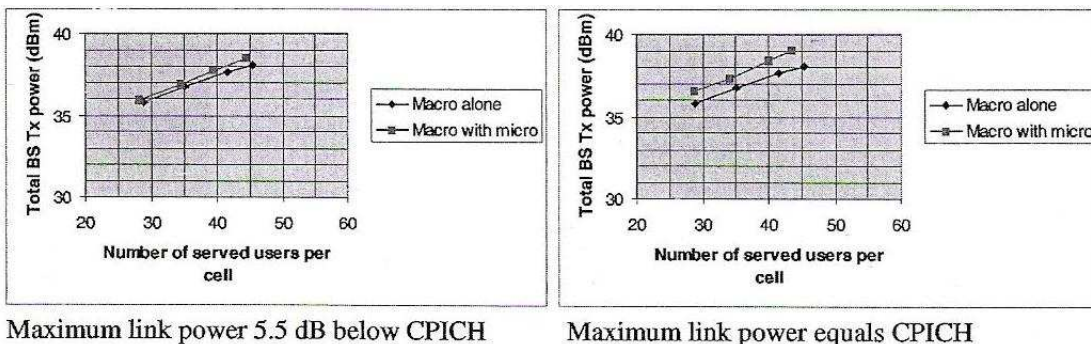
Αποτελέσματα για το macro operator (Σχήματα 3.29-3.31).



Σχήμα 3.29 Πιθανότητα υπηρεσίας του macro operator όταν είναι με ή χωρίς τον micro operator.

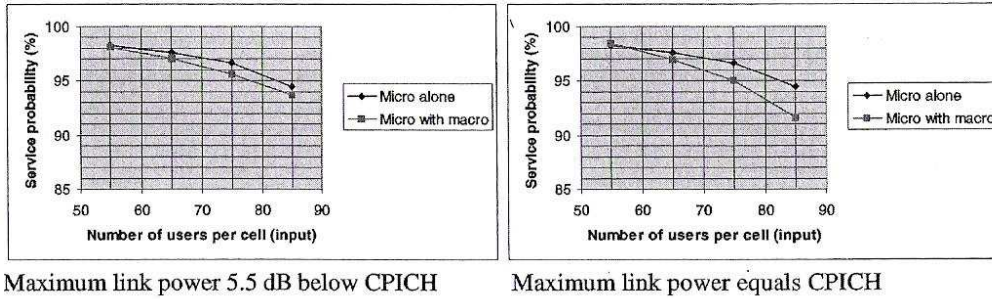


Σχήμα 3.30 Αύξηση θορύβου uplink του macro operator όταν είναι με ή χωρίς τον micro operator.

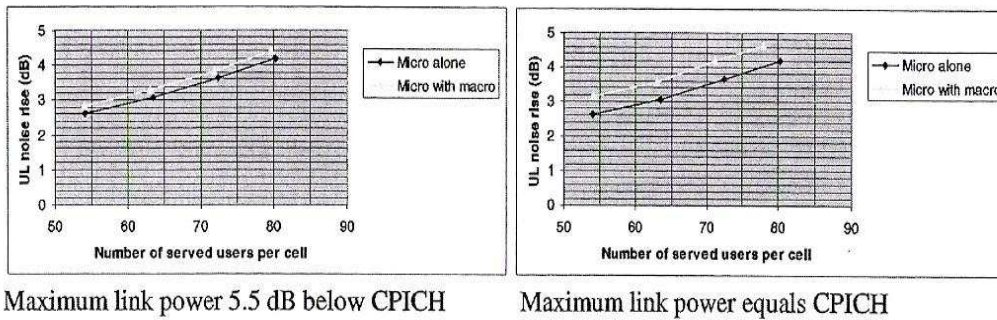


Σχήμα 3.31 Ολική ισχύς Tx BS του macro operator όταν είναι με ή χωρίς τον micro operator.

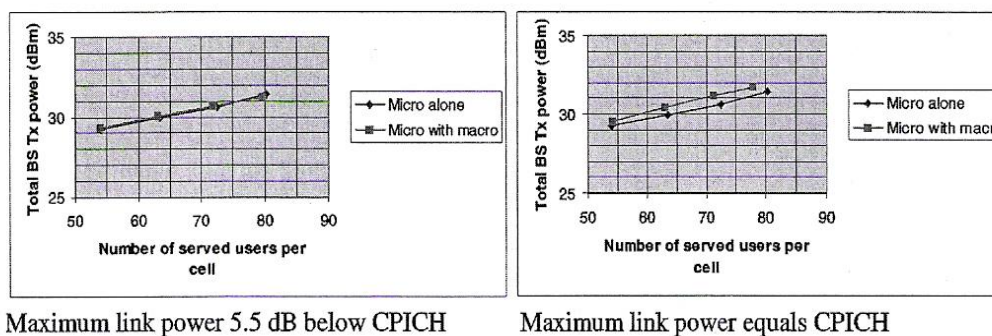
Αποτελέσματα για το micro operator (Σχήματα 3.32-3.35).



Σχήμα 3.32 Πιθανότητα υπηρεσίας micro operator με ή χωρίς τον macro operator.



Σχήμα 3.33 Αύξηση θορύβου UL micro operator όταν είναι με ή χωρίς τον macro operator.



Σχήμα 3.34 Ολική ισχύς Tx BS micro operator όταν είναι με ή χωρίς το macro operator.

Συμπεράσματα

Ο macro operator επηρεάζεται πιο πολύ από το micro operator από ό,τι το αντίθετο. Ο macro operator μπορεί να χάσει την κάλυψη DL κοντά στους σταθμούς βάσης του micro operator. Η αύξηση θορύβου UL του micro operator, μπορεί να είναι ελαφρώς υψηλότερη εξαιτίας των UEs του macro operator, εάν ο macro operator χρησιμοποιεί μια δυνατή κατανομή ισχύος στο DL (δίνοντας μεγαλύτερη ισχύ για ένα απλό UE). Δεν βρέθηκε κανένα καθαρό αποτέλεσμα χωρητικότητας, παρά μόνο αποτελέσματα κάλυψης. Οι νεκρές ζώνες στο DL μπορούν να προκύψουν σε τέτοια μέρη, όπου το σύνορο της μακροκυψέλης είναι κοντά στο σταθμό βάσης του micro operator (η περίπτωση micro-micro είναι πιθανώς ευκολότερη, αφού τα όρια των κυψελών είναι εκτός κτιρίων και για τους δυο operators στις πιο πολλές περιπτώσεις). Το πρόβλημα γίνεται χειρότερο με μια μεγαλύτερη μέση διαφορά του path loss.

3.6.3 Οδηγίες για τη Σχεδίαση Ραδιοδικτύου για να Αποφύγουμε την Παρεμβολή ACI.

Οι προσομοιώσεις στην Παράγραφο 3.6.2 απέδειξαν ότι με την κατάλληλη σχεδίαση ραδιοδικτύου μπορούν να αποφευχθούν τα σοβαρότερα προβλήματα μαζί με την παρεμβολή ACI μέσα στο WCDMA σε ένα τέτοιο επίπεδο που να μην υποστεί σημαντικό υποβιβασμό η επίδοση του δικτύου WCDMA. Αυτή η παράγραφος δείχνει μια σύντομη περίληψη των πιο δημοφιλών μέσων RNP για να εξαλειφθούν τα προβλήματα της παρεμβολής ACI.

• Τοποθεσίες σταθμών βάσης και κεραιών

- Η φυσική απόσταση μεταξύ του MS και του BS είναι κανονικά αρκετά μεγάλη μόνο στα μακροκυψελωτά περιβάλλοντα για να εξασφαλίσει μια επαρκή αποσύζευξη. Ωστόσο, όταν παρουσιάζονται οι μικροκυψέλες και οι πικοκυψέλες σε μικτά περιβάλλοντα, τότε η ελάχιστη απώλεια ζεύξης δεν είναι συνήθως αρκετή για να αποφύγουμε τα προβλήματα παρεμβολής. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι επιθυμητό οι χειριστές να χρησιμοποιήσουν τους **κοινώς εγκατεστημένους σταθμούς βάσης**, αφού δεν υπάρχει τέτοια πιθανότητα να είναι κοντά ένας κινητός σταθμός στο όριο της κυψέλης του ενός operator και να πλησιάζει κοντά στο BS του άλλου operator. Ένας τρόπος για να αυξηθεί το MCL, εάν δεν είναι επιτεύξιμο αυτό, **είναι να παρατάξει τις κεραιές σε μια θέση όσο πιο ψηλά γίνεται από το κινητό σταθμό.**

Οι άλλες πιθανότητες για να μειώσουν την παρεμβολή μεταξύ των χειριστών είναι η κατάλληλη επιλογή της κατεύθυνσης κεραιάς και η σωστή κλίση των κεραιών.

- **Ρύθμιση παραμέτρων του σταθμού βάσης**

- Μετά την επιλογή της σωστής τομεοποίησης για να αντιμετωπιστούν οι απαιτήσεις κάλυψης και χωρητικότητας, υπάρχει για κάθε ρύθμιση των παραμέτρων ένα βέλτιστο άνοιγμα γωνίας εκπομπής της κεραίας. Οι κεραίες που είναι πολύ πλατιές προκαλούν πάρα πολύ μεγάλη παρεμβολή στους γειτονικούς τομείς, και φυσικά όχι μόνο στην ίδια συχνότητα αλλά ακόμη και σε κάποια γειτονική.

Στην περίπτωση άλλων τρόπων που δεν είναι δυνατή ή δεν επιτυγχάνεται η απαιτούμενη απώλεια σύζευξης παραμένει πιθανό να μειωθεί τεχνητά η ευαισθησία του δέκτη του σταθμού βάσης, αυξάνοντας το συντελεστή θορύβου. Αυτή η τεχνική καλείται **απευαισθητοποίηση**, μειώνει την επίδραση της παρεμβολής ACI, αλλά κάνει επίσης ατυχώς το δέκτη λιγότερο ευαίσθητο στα επιθυμητά σήματα, ο οποίος συντελεί στη μείωση της περιοχής κάλυψης και την αυξημένη κατανάλωση μπαταρίας του MS. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση είναι κανονικά εφαρμόσιμη μόνο σε μικρό- και πικοκυψέλες, όπου δεν είναι πρόβλημα η κάλυψη.

- **Interfrequency Handovers**

- Ένας operator μπορεί να εφαρμόσει μια δεύτερη συχνότητα σε προβληματικές περιοχές παρεμβολής και, για παράδειγμα, να εξασφαλίσει την πιθανότητα του **interfrequency handover** στη λιγότερο παρεμβαλλόμενη συχνότητα, όπως για υπηρεσίες με ειδικά υψηλές απαιτήσεις QoS (υπηρεσία βάσει του IF-HO)

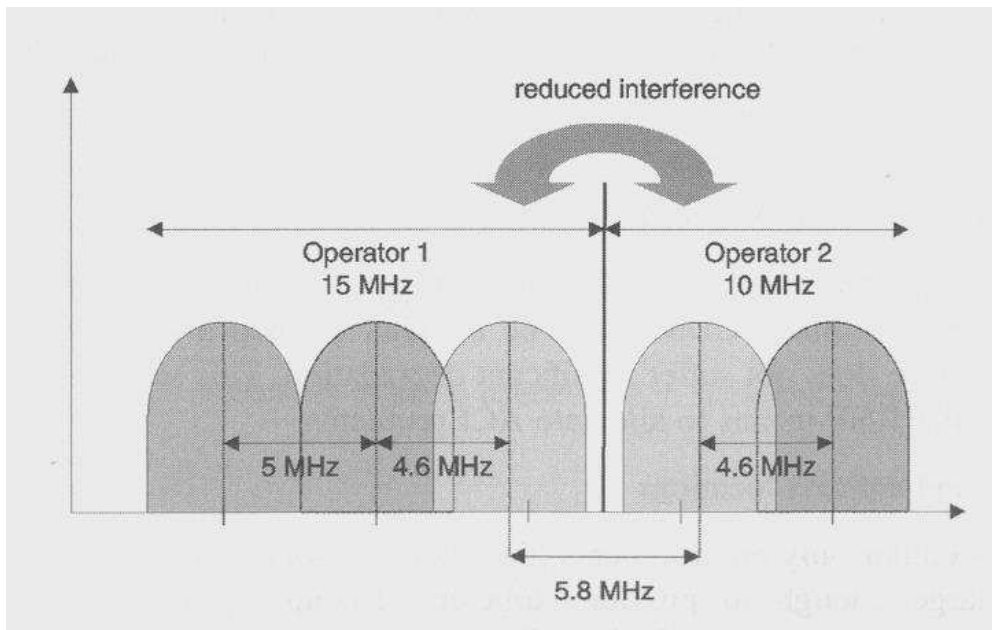
- **Intersystem Handovers**

- Εάν υπάρχει ένα γειτονικό σύστημα όπως ένα διαθέσιμο σύστημα 2G GSM τότε μπορούν να εκτελεστούν τα intersystem handovers σε περιοχές που υπάρχουν νεκρές ζώνες. Φυσικά, αυτό απαιτεί τους επηρεασμένους κινητούς σταθμούς να είναι πολλαπλής συμβατότητας.

- **Ζώνες ασφαλείας**

- Τα πρότυπα επιτρέπουν τις κεντρικές συχνότητες των διαφορετικών καναλιών να είναι προσαρμοσμένες σε περιοχή των 200KHz. Εάν έχει τουλάχιστο ένας operator δυο ή περισσότερες διαθέσιμες συχνότητες τότε μπορεί να αποφασίσει την επιλογή ενός διαφορετικού διαστήματος φέροντος από το κανονικό των 5MHz, μεταξύ τουλάχιστο των δυο πλησιέστερων συχνοτήτων στον άλλο operator. Εφαρμόζοντας αυτή τη

μέθοδο, μπορεί να δημιουργηθεί μια ζώνη ασφαλείας στην περιοχή συχνοτήτων της συχνότητας του γειτονικού operator, η οποία μπορεί να βοηθήσει να εξαλειφθούν τα προβλήματα της παρεμβολής ACI (βλέπε Σχήμα 3.36).



Σχήμα 3.36 Μείωση της παρεμβολής ACI δημιουργώντας μια ζώνη ασφαλείας με μειωμένο διάστημα φέροντος.

Αναφορές

- [1] Jakes, W.C., Microwave Mobile Communication, John Wiley & Sons, 1974, 126 pp.
- [2] Reunamen, J., Multiple server location probability in GSM/DCS1800 cellular systems, Master of Science in Engineering Thesis, Helsinki University of Technology, 1997
- [3] Viterbi, A.J., CDMA Principles of Spread Spectrum Communication, Addison-Wiley, 1995, p.198.
- [4] Hata, M., 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.
- [5] Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000, Recommendation ITU-R M. 1225, 1997.
- [6] Sipila, K., Laiho-Steffens, J., Jasberg, M and Wacker, A., Modelling the impact of the fast power control on the WCDMA uplink. Proc. VTC 1999 Spring Conf., Houston,

- Texas, May 1999, pp.1266-1270.
- [7] Sipila, K, Jasberg, M., Laiho-Steffens, J. and Wacker, A., Soft hand over gains in fast power controlled WCDMA uplink. Proc. VCT 1999 Spring Conf., Houston, Texas, May 1999, pp. 1594-1598.
 - [8] Toskala, A., Holma, H. And Muszynski, P., ETSI WCDMA for UMTS. Proc. ISSSTA 1998, South Africa, September 1998, pp. 616-620.
 - [9] Wacker, A., Laiho-Steffens, J., Sipila, K and Jasberg, Static simulator for studying WCDMA radio network planning issues. Proc VTC 1999 Spring Conf., Houston, Texas, May 1999, pp.2436-2440.
 - [10] <http://www.3gpp.org/>
 - [11] Wacker, A., Laiho-Steffens, J., Sipila, K. and Heiska, K., The impact of the base station sectorisation on WCDMA radio network performance. Proc. VTC 1999 Fall Conf., Amsterdam, Netherlands, September 1999, pp. 2611-2615.
 - [12] Sampath, A. et al., Erlang capacity of a power controlled intergrated voice and data CDMA system. Proc. VTC 1997 Conf., MAY 1997, PHOENIX, az, PP. 1557-1561.
 - [13] Sipila,K., Honkasalo, Z., Laiho-Steffens, J. and Wacker, A., Estimation OF Capacity and required transmission power of WCDMA downlink based on a downlink pole equation. Proc VTC 2000 Spring Conf., Tokyo, Japan, May 2000, pp. 1002-1005.
 - [14] Laiho-Steffens, J., Sipila, K. and Wacker, A., Verification of 3G radio network dimensioning rules with static simulations. Proc. VTC 2000 Spring Conf., Tokyo, Japan, May 2000, pp. 478-482.
 - [15] Hamalainen, S., Holma, H. and Sipila, K., Advanced WCDMA radio network simulator. Proc. PIRMC 1999, Aalborg, Denmark, October 1999, pp. 509-604.
 - [16] Hamalainen, S., Slanina, P., Hartman, M., Lappetelainen, A., Holma, H. and Salonaho, O., A novel interface between link and system level simulations. Proc. ACTS Summit 1997, Aalborg, Denmark, October 1997, pp.509-604.
 - [17] Brady, P.T., A model for generating on-off speech patterns in two-way conversation. Bell Systems Technical Journal, vol. 48, no. 9,September 1969, pp.2445-2472.
 - [18] Delhghan, S., Lister, D., Owen, R. and Jones, P., WCDMA capacity and planning issues. I EEE Electronics & Communication Engineering Journal, June 2000, pp.101-118.
 - [19] Labedz, G. and Love, R., A new time-based outage criterion for the forward and reverse links of DS-CDMA cellular systems. Proc. VTC 1998 Conf., Ottawa, Canada, pp.2182-2186.
 - [20] Laiho-Steffens, J., Wacker, A. And Aikio, P., The impact of the radio network planning and site configuration on the WCDMA network capacity and Quality of Service. Proc. VTC 2000 Spring Cinf., Tokyo, Japan, May 2000 pp. 1006-1010.
 - [21] 3GPP, Technical Specification 25.101, UE Radio Transmission Reception (FDD).
 - [22] 3GPP, Technical Specification 25.104, UTRA (BS) FDD; Radio transmission and Reception.
 - [23] Hamalainen, S., Lilja, H. and Hamalainen, A., WCDMA adjacent channel interference

- requirements. Proc VTC 1999 Fall Conf., Amsterdam, Netherlands, September 1999, pp 2591-2595.
- [24] Hamalainen, S., Holma, H. and Toskala, A., Capacity evaluation of a cellular CDMA uplink with multiuser detection. Proc. ISSSTA 1996, Mainz, Germany, September 1996, pp. 339-343.
- [25] Spurious Emissions, Recommendation ITU-R SM.329-7.
- [26] Walfisch, J. and Bertoni, H.L., A theoretical model of UHF propagation in urban environment. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 36, no. 12, December 1988, pp. 1788-1796.
- [27] Okumura, Y., Ohmori, E., Kawano, T. and Fukuda, K., Field strength and its variability in the VHF and UHF land mobile service. Review Electronic Communication Lab., vol. 16, no. 9-10, 1968, pp825-873.
- [28] Urban transmission loss models for mobile radio in the 900 and 1800 Mhz bands. COST 231,TD(91)73, September 1991.
- [29] Berg, J.E., Path loss and fading models for microcells at 900 Mhz. COST 231, TD(92)95, Helsinki, September 1992.
- [30] Ikegami, F., Yoshida, S., Takeuchi, T. and Umehira, M., Propagation factors controlling mean field strength on urban streets. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. AP-32, no. 6, August 1984, pp 822-829.
- [31] Wacker, A. and Laiho, J., Mutual impact of two *operators* WCDMA radio networks on coverage, capacity and QoS in macro cellular environment, To be published in Proc. VTC Fall Conf., Atlantic City, Nj, October, 2001.