

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ  
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ



ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΡΑΔΙΟ ΔΙΚΤΥΟΥ  
ΚΑΙ ΕΠΙΔΟΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ  
ΣΕ WCDMA ΔΙΚΤΥΑ**

Επιμελητής Θέματος:

**ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ**

Επιβλέπων καθηγητής:

**ΚΟΚΚΙΝΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ**

# WCDMA for UMTS. Radio Network Planning and Physical Layer Performance

Dimitris Spiropoulos

WCDMA air interface system, that is presented in this dissertation, is used in 3<sup>rd</sup> generation of mobile communication systems and it is surely the best and dominant technology.

The first chapter presents WCDMA radio network planning, including dimensioning, detailed capacity and coverage planning, network optimisation and the effect of the adjacent channel interference between two or more operators on adjacent frequencies.

The second chapter presents the Physical Layer Performance at the WCDMA Network. Thoroughly this chapter presents the effect of the propagation environment, base station solutions and WCDMA physical layer parameters on the coverage and capacity. Also, the performance of the high bit rate in multipath channels is referred and in the end improvement methods of the uplink performance of WCDMA system with the advanced antenna structures and baseband multi-user detection are described.

# Περιεχόμενα

Εισαγωγή	3
Κεφάλαιο 1	7
Σχεδιασμός Ράδιο Δικτύου WCDMA	7
1.1 Εισαγωγή	7
1.2 Διαστασιολόγηση (Dimensioning)	8
1.2.1 Ράδιο Link Budgets και αποδοτικότητα της Κάλυψης	9
1.2.2 Συντελεστές φορτίων και φασματική αποδοτικότητα	14
1.2.2.1 Uplink συντελεστής φορτίων	14
1.2.2.2 Downlink συντελεστής φορτίων	17
1.2.2.3 Φασματική αποδοτικότητα WCDMA (Spectral Efficiency)	21
1.2.3 Soft Capacity	21
1.2.3.1 Χωρητικότητα Erlang (Erlang Capacity)	21
1.2.3.2 Παραδείγματα uplink soft capacity	23
1.3 Σχεδιασμός χωρητικότητας και κάλυψης	24
1.3.1 Επαναληπτική πρόβλεψη χωρητικότητας και κάλυψης (Iterative Capacity and Coverage Prediction)	24
1.3.2 Εργαλείο Σχεδιασμού (Planning Tool)	25
1.3.2.1 Uplink και Downlink Επαναλήψεις	26
1.3.2.2 Διαμόρφωση της επίδοσης του επιπέδου των συνδέσεων	26
1.3.3 Περίπτωση μελέτης (Case Study)	27
1.3.4 Βελτιστοποίηση δικτύων	31
1.4 GSM Co-planning	33
1.5 Παρεμβολή Multi-operator	34
1.5.1 Εισαγωγή	34
1.5.2 Uplink υπολογισμοί της χειρότερης περίπτωσης	35
1.5.3 Downlink Φράξιμο	37
1.5.4 Uplink προσομοιώσεις	37
1.5.5 Αποτελέσματα εξομοιώσεις (Simulation Results)	38
1.5.6 Σχεδιασμός δικτύων με παρεμβολή παρακείμενων καναλιών	38
Κεφάλαιο 2	41
Επίδοση Φυσικού Επιπέδου	41
2.1 Εισαγωγή	41
2.2 Κάλυψη (Coverage)	41
2.2.1 Uplink κάλυψη	42
2.2.1.1 Bit Rate	43
2.2.1.2 Κωδικοποιητής Φωνής Μεταβλητού Ρυθμού Μετάδοσης (Adaptive Multirate Speech Codec)	46
2.2.1.3 Multipath ποικιλομορφία (Multipath Diversity)	47
2.2.1.4 Macro Ποικιλομορφία (Soft Handover)	48
2.2.1.5 Ποικιλομορφία της κεραιών λήψης	48
2.2.1.6 Baseband Αλγόριθμοι των σταθμών βάσεων	49
2.2.2 Κάλυψη των καναλιών τυχαίας πρόσβασης (Random Access Channel Coverage)	50
2.2.3 Downlink Κάλυψη	51
2.2.4 Βελτιώσεις κάλυψης	52
2.3 Χωρητικότητα	53
2.3.1 Downlink Ορθογώνιοι Κώδικες	53
2.3.1.1 Multipath Κέρδος ποικιλομορφίας στη Downlink	53
2.3.1.2 Downlink Χωρητικότητα σε διαφορετικά περιβάλλοντα	56
2.3.1.3 Αριθμός ορθογώνιων κωδικών	57
2.3.2 Downlink Ποικιλομορφία Εκπομπής	58
2.3.3 Βελτιώσεις χωρητικότητας	61
2.4 Υψηλά Bit Rates	62
2.4.1 Inter-path παρεμβολή	63
2.4.1.1 Uplink 512 kbps	63
2.4.1.2 Downlink 2.3 Mbps	64
2.4.2 Κέρδος Multipath Ποικιλομορφίας	65
2.4.3 Επιτευξιμότητα των Υψηλών Bit Rates	66
2.5 Αυξήσεις της επίδοσης (Performance Enhancements)	68
2.5.1 Υλοποιήσεις κεραιών	68
2.5.1.1 Αύξηση κάλυψης με τις σειρές κεραιών	69
2.5.1.2 Αύξηση χωρητικότητας με τις σειρές κεραιών	72
2.5.2 Πολλών χρηστών ανίχνευση (Multi-user Detection)	74
Συμπεράσματα	78
Βιβλιογραφία	78

# Εισαγωγή

Για την Ευρώπη, υπό το πρίσμα της ελεύθερης επικοινωνίας των ανθρώπων και της ενιαίας αγοράς, η ανάπτυξη τοπικών και ασύμβατων μεταξύ τους συστημάτων ήταν μια αδυναμία που έπρεπε να διορθωθεί. Έτσι γεννήθηκε η ιδέα του πανευρωπαϊκού συστήματος GSM από το όνομα της επιτροπής Group Speciale Mobile υπό την αιγίδα του οργανισμού CEPT (Conference European of Post and Telecommunication).

Η πορεία ανάπτυξης του στάνταρ GSM μέχρι την υλοποίηση των πρώτων GSM συστημάτων ήταν μια μακρόχρονη διαδικασία για την επίλυση τεχνικών και διαδικαστικών προβλημάτων. Έτσι σήμερα πλέον τα συστήματα GSM έχουν επαληθεύσει τις υψηλές προσδοκίες για την παροχή υπηρεσιών σε πολλές χώρες του κόσμου.

Σήμερα στις πιο προηγμένες ασύρματες αγορές η διείσδυση της κινητής τηλεφωνίας υπερβαίνει το 70% στις χώρες με τις πιο προηγμένες ασύρματες αγορές. Στα συστήματα δεύτερης γενιάς η κυρίαρχη ήταν η υπηρεσία φωνής. Οι υπόλοιπες υπηρεσίες είχαν μικρότερη ανταπόκριση από τους συνδρομητές με εξαίρεση την υπηρεσία αποστολής μηνυμάτων SMS που είχε ευρεία χρήση από τους συνδρομητές.

Στα συστήματα τρίτης γενιάς η ανάγκη παροχής νέων υπηρεσιών απαιτεί υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Έτσι, οι σημαντικότερες από αυτές είναι:

- το videotelephony δηλ. η συνομιλία μεταξύ δύο συνδρομητών με δυνατότητα να βλέπει ο ένας τον άλλο,
- video games,
- streaming multimedia δηλ. υπηρεσίες με συνεχή ροή δεδομένων,
- αποστολή και λήψη e-mails,
- location-based services δηλ. υπηρεσία εύρεσης νοσοκομείων, φαρμακείων, εστιατορίων κ.τ.λ. σε μια περιοχή.

Η εργασία αυτή αναφέρεται στα συστήματα επικοινωνιών τρίτης γενιάς UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Το WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) είναι το κυρίαρχο τρίτης γενιάς air interface στο κόσμο και θα χρησιμοποιηθεί στην Ευρώπη και την Ασία, συμπεριλαμβανομένης της Ιαπωνίας και της Κορέας στην ίδια ζώνη συχνότητας, περίπου 2 GHz. Η μεγάλη αγορά για το WCDMA και οι ευέλικτες multimedia δυνατότητες θα δημιουργήσουν τις νέες επιχειρησιακές ευκαιρίες για τους κατασκευαστές, τους operators και τους προμηθευτές του περιεχομένου και των εφαρμογών.

Πιο συγκεκριμένα η παρούσα πτυχιακή αναφέρεται στο σχεδιασμό ράδιο δικτύου (radio network planning) WCDMA καθώς και στην επίδοση του φυσικού επιπέδου. Ο σχεδιασμός ράδιο δικτύου WCDMA συμπεριλαμβάνει τη διαστασιοποίηση (dimensioning), το λεπτομερή σχεδιασμό της χωρητικότητας (capacity) και της κάλυψης (coverage) και τη βελτιστοποίηση των δικτύων. Κατά τη διαδικασία του dimensioning ο εξοπλισμός των ράδιο δικτύων υπολογίζεται με βάση τις απαιτήσεις του παρόχου του δικτύου (δηλ. εταιρία κινητής τηλεφωνίας-operator) που είναι:

- i) Η κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος. Απαιτούνται πληροφορίες για το τύπο της περιοχής (δηλ. αστική, ημιαστική, αγροτική) και τη μορφολογία του εδάφους.
- ii) Η χωρητικότητα του δικτύου. Απαιτούνται η εκτίμηση της κίνησης για τις διάφορες υπηρεσίες και η πρόβλεψη αύξησης των συνδρομητών και της κίνησής τους ανά υπηρεσία.
- iii) Η ποιότητα της υπηρεσίας δηλ. η πιθανότητα κάλυψης της περιοχής ενδιαφέροντος (π.χ. 95%), η blocking πιθανότητα (π.χ. 2%) και ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων των τελικών χρηστών.

Επίσης το dimensioning περιλαμβάνει το ράδιο link budget που αναφέρεται για την WCDMA uplink ζεύξη. Οι παράμετροι του link budget είναι:

- Το περιθώριο παρεμβολής (interface margin) για το οποίο χαρακτηριστικές τιμές είναι 1.0-3.0 dB που αντιστοιχούν σε φορτίο 20-50%.
- Το περιθώριο γρήγορης εξασθένησης (Fast fading margin) (= power control headroom) για το οποίο χαρακτηριστικές τιμές είναι 2.0-5.0 dB για slow-moving mobiles.
- Κέρδος μαλακής μεταπομπής (Soft handover gain) για το οποίο χαρακτηριστικές τιμές είναι μεταξύ 2.0 και 3.0 dB.

Στα δίκτυα τρίτης γενεάς η κυκλοφορία μπορεί να είναι ασύμμετρη μεταξύ uplink (η ζεύξη από το κινητό προς το σταθμό βάσης) και downlink (η ζεύξη από το σταθμό βάσης προς το κινητό) και το φορτίο μπορεί να είναι διαφορετικό στην uplink και στη downlink. Στη downlink ζεύξη η κάλυψη εξαρτάται περισσότερο από το φορτίο απ' ό,τι στην uplink ζεύξη. Στα συστήματα τρίτης γενεάς απαιτείται ένας πιο λεπτομερής υπολογισμός της παρεμβολής και ανάλυση της χωρητικότητας από μια απλή βελτίωση της κάλυψης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούμε το εργαλείο σχεδιασμού (planning tool). Το εργαλείο σχεδιασμού βοηθάει τον σχεδιαστή να υπολογίσει τα χαρακτηριστικά (configurations) των σταθμών βάσεων δηλ. την επιλογή των κεραιών, των κατευθύνσεων και των κλίσεων (tilts) αυτών και τη θέση των σταθμών βάσεων έτσι ώστε να συνυπάρχουν η ποιότητα των υπηρεσιών, η χωρητικότητα και οι απαιτήσεις των υπηρεσιών με ελάχιστο δυνατό κόστος.

Επίσης μελετάται η επίδραση της παρεμβολή γειτονικών καναλιών και παρουσιάζονται λύσεις για την αποφυγή τους. Η παρεμβολή γειτονικών καναλιών πρέπει να εξεταστεί επειδή έχει επιπτώσεις σε όλα τα ευρείας ζώνης συστήματα όπου δεν είναι δυνατές οι μεγάλες guard bands (δηλ. ζώνες συχνοτήτων μεταξύ δύο καναλιών), κάτι το οποίο επηρεάζει το WCDMA δίκτυο. Στην uplink ζεύξη η κύρια πηγή της παρεμβολής γειτονικών καναλιών είναι ο μη γραμμικός ενισχυτής ισχύος στον κινητό σταθμό, ο οποίος επιτρέπει ένα μέρος της ισχύος να πηγαίνει στα γειτονικά κανάλια. Στη downlink ζεύξη η κύρια πηγή της παρεμβολής γειτονικών καναλιών είναι η επιλεκτικότητα των δεκτών του WCDMA τερματικού.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η επίδραση του περιβάλλοντος διάδοσης (propagation environment), οι υλοποιήσεις των σταθμών βάσεων και οι παράμετροι του WCDMA φυσικού επιπέδου στην κάλυψη και στη χωρητικότητα.

Αναλυτικά παρουσιάζεται η επίδραση της κάλυψης στην επίδοση του WCDMA φυσικού επιπέδου η οποία είναι σημαντική κατά την διάρκεια της αρχικής υλοποίησης των δικτύων. Σε αυτή τη παράγραφο αναλύονται οι παράμετροι που έχουν επιπτώσεις στην uplink κάλυψη. Μερικοί από αυτούς είναι το bit rate, το multipath diversity gain που μπορεί να φτάσει τα 2.8 dB, macro diversity gain που αντιστοιχεί σε μια τιμή από 0.8 – 4.0 dB τη diversity των κεραιών λήψης και την επίδραση των base station baseband algorithms. Τέλος παρουσιάζονται κάποιοι τρόποι για βελτίωση της uplink κάλυψης οι οποίοι είναι οι ακόλουθοι:

- i) Μειώνοντας το  $E_b/N_0$  με τη βελτίωση των baseband αλγορίθμων των σταθμών βάσεων ή με την αύξηση του αριθμού των κεραιών λήψης.
- ii) Μειώνοντας τον noise figure των σταθμών βάσεων στο RF τμήμα των σταθμών βάσεων.
- iii) Μειώνοντας την απώλεια των καλωδίων (cable loss) ,επιλέγοντας μεγαλύτερες διατομές καλωδίων ή MHA (Mast Head Amplifiers), μεταξύ της κεραίας και του ενισχυτή χαμηλού θορύβου των σταθμών βάσεων.
- iv) Μειώνοντας το interference margin, δηλ. τη μέγιστη επιτρεπόμενη uplink χωρητικότητα.
- v) Αυξάνοντας το κέρδος των κεραιών.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η επίδραση της χωρητικότητας στην επίδοση του WCDMA φυσικού επιπέδου. Στο UMTS, η downlink χωρητικότητα αναμένεται να είναι σημαντικότερη από τη uplink χωρητικότητα λόγω των νέων υπηρεσιών όπου απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης στη downlink ζεύξη. Οι παράμετροι που έχουν επιπτώσεις στη downlink χωρητικότητα είναι η downlink transmit diversity και ο βαθμός ορθογωνικότητας των κωδίκων που συμπεριλαμβάνει το multipath diversity gain, τη downlink χωρητικότητα σε διαφορετικά περιβάλλοντα και τον αριθμό των κωδίκων καναλοποίησης. Τέλος παρουσιάζονται κάποιοι τρόποι βελτίωση της downlink χωρητικότητας, οι οποίοι είναι οι ακόλουθοι:

- i) Περισσότερες συχνότητες φέροντος (carriers) των 5 MHz. Αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερο κόστος άδειας τρίτης γενιάς.
- ii) Downlink transmit diversity (ποικιλομορφία εκπομπής). Αυτός ο τρόπος βελτιώνει την downlink χωρητικότητα η οποία εξαρτάται από το βαθμό της multipath ποικιλομορφία στο περιβάλλον.
- iii) Sectorisation (Κατανομή των κυψελών). Χρησιμοποίηση περισσότερων από τρεις κυψέλες ανά σταθμό βάσης.
- iv) Χαμηλότερο bit rate codec, για παράδειγμα με τον speech AMR codec.

Τέλος παρουσιάζεται η επίδραση των υψηλών bit rates όπου στο WCDMA σύστημα έχουν χαμηλότερο κέρδος επεξεργασίας (processing gain) και κατά συνέπεια μεγαλύτερη απαίτηση για C/I. Επίσης παρουσιάζονται τρόποι αύξησης της επίδοσης των συστημάτων WCDMA, οι οποίοι περιλαμβάνουν τις προηγμένες δομές κεραιών και τη multi-user ανίχνευση. Οι σημερινές suboptimal multi-user τεχνικές ανίχνευσης δείχνουν ότι μπορούν να προκαλέσουν βελτίωση στη ράδιο επίδοση των συνδέσεων από 0.7-1.0 dB



# Κεφάλαιο 1

## Σχεδιασμός Ράδιο Δικτύου WCDMA

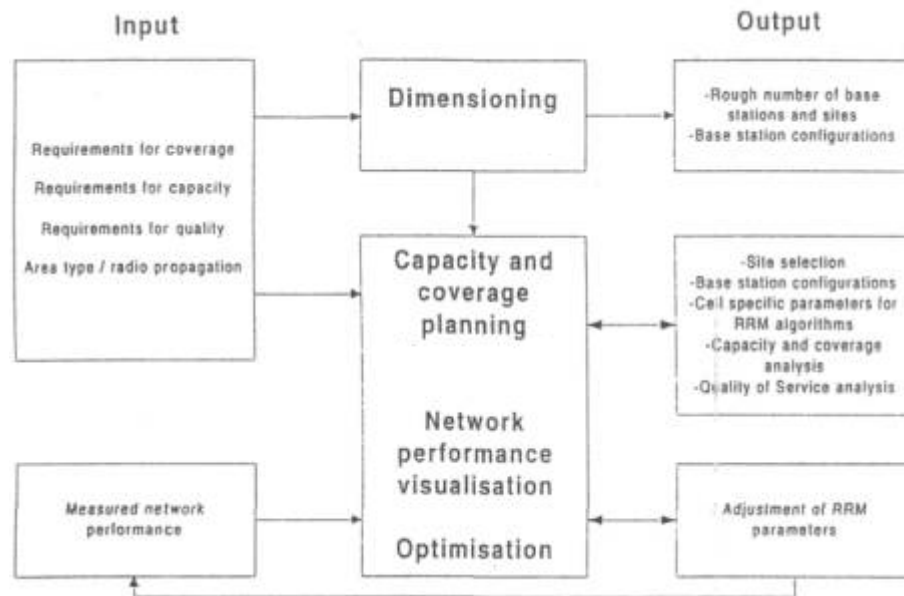
### 1.1 Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει το σχεδιασμό ράδιο δικτύου (radio network planning) WCDMA, το οποίο συμπεριλαμβάνει τη διαστασιοποίηση (dimensioning), το λεπτομερή σχεδιασμό της χωρητικότητας (capacity) και της κάλυψης (coverage) και τη βελτιστοποίηση των δικτύων. Η διαδικασία του radio network planning WCDMA παρουσιάζεται στο σχήμα 1.1. Στη φάση του dimensioning υπολογίζεται ένας κατά προσέγγιση αριθμός περιοχών σταθμών βάσεων, των χαρακτηριστικών τους και άλλων στοιχείων των δικτύων βασισμένα στις απαιτήσεις του operator και της ράδιο διάδοσης της περιοχής. Η φάση του dimensioning πρέπει να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του operator για κάλυψη, χωρητικότητα και ποιότητα της υπηρεσίας. Η χωρητικότητα και η κάλυψη συσχετίζονται πολύ στα δίκτυα WCDMA και επομένως και τα δύο πρέπει να εξεταστούν ταυτόχρονα κατά τη φάση του dimensioning σε τέτοια δίκτυα. Η φάση του dimensioning των δικτύων WCDMA παρουσιάζεται στην παράγραφο 1.2.

Στην παράγραφο 1.3 παρουσιάζεται ο λεπτομερής σχεδιασμός της χωρητικότητας και κάλυψης μαζί με ένα εργαλείο σχεδιασμού (planning tool) WCDMA. Για το λεπτομερή σχεδιασμό απαιτούνται οι πραγματικοί χάρτες διάδοσης και οι εκτιμήσεις κυκλοφορίας του operator σε κάθε περιοχή. Οι θέσεις των σταθμών βάσεων και οι παράμετροι των δικτύων επιλέγονται από το planning tool ή/και τον αρμόδιο για το σχεδιασμό. Η χωρητικότητα και η κάλυψη μπορούν να αναλυθούν για κάθε κυψέλη (cell) μετά από το λεπτομερή σχεδιασμό. Μια περιληπτική μελέτη του λεπτομερούς σχεδιασμού παρουσιάζεται στην παράγραφο 1.3 με την ανάλυση της χωρητικότητας και της κάλυψης. Όταν το δίκτυο είναι σε λειτουργία, η επίδοσή του μπορεί να παρατηρηθεί από τις μετρήσεις, και τα αποτελέσματα αυτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να απεικονίσουν και να βελτιστοποιήσουν την επίδοση των δικτύων. Ο σχεδιασμός και η διαδικασία βελτιστοποίησης μπορούν επίσης να αυτοματοποιηθούν με ευφυή εργαλεία (intelligent tools) και στοιχεία δικτύων. Η βελτιστοποίηση παρουσιάζεται στην παράγραφο 1.3.

Η παρεμβολή παρακείμενων καναλιών (adjacent interference channel) πρέπει να εξεταστεί στο σχεδιασμό για κάθε ευρείας ζώνης συστήματα όπου δεν είναι δυνατές οι μεγάλες ζώνες προστασίας. Στην παράγραφο 1.4 αναλύεται η επίδραση του interference μεταξύ των operators και παρουσιάζονται υλοποιήσεις για το σχεδιασμό δικτύων.





Σχήμα 1.1. Διαδικασία WCDMA radio network planning

## 1.2 Διαστασιοποίηση (Dimensioning)

Το WCDMA radio network dimensioning είναι μια διαδικασία μέσω της οποίας τα πιθανά χαρακτηριστικά (configurations) και ο εξοπλισμός των δικτύων υπολογίζονται με βάση τις απαιτήσεις του operator σύμφωνα με τα παρακάτω:

Κάλυψη (Coverage):

- περιοχές κάλυψης
- πληροφορίες τύπων περιοχής
- όροι διάδοσης

Χωρητικότητα (Capacity):

- διαθέσιμο φάσμα
- πρόβλεψη αύξησης συνδρομητών
- πληροφορίες πυκνότητας κυκλοφορίας

Ποιότητα της υπηρεσίας (Quality of service):

- πιθανότητα θέσης περιοχής (πιθανότητα κάλυψης)
- blocking probability
- παραγωγή τελικών χρηστών

Οι δραστηριότητες του dimensioning περιλαμβάνουν το ράδιο link budget, την ανάλυση κάλυψης, την εκτίμηση της χωρητικότητας, τις εκτιμήσεις στο αριθμό των περιοχών και το hardware των σταθμών βάσεων, τους ελεγκτές των ράδιο δικτύων (Radio Network Controllers) (RNC), τον εξοπλισμό στις διαφορετικές interfaces και τα στοιχεία (elements) των κεντρικών δικτύων (δηλ. Circuit Switched Domain and Packet Switched Domain Core\_Networks).

## 1.2.1 Ράδιο Link Budgets και αποδοτικότητα της Κάλυψης

Ο link budget του uplink WCDMA παρουσιάζεται σε αυτό το τμήμα. Υπάρχουν μερικοί συγκεκριμένοι παράμετροι του WCDMA στο link budget που δεν χρησιμοποιούνται σε ένα TDMA-based ράδιο σύστημα πρόσβασης όπως το GSM. Οι σημαντικότερες είναι οι ακόλουθες.

- Περιθώριο παρεμβολής (interface margin):

Το interface margin απαιτείται στο link budget επειδή το φόρτωμα της κυψέλης, δηλαδή ο παράγοντας των φορτίων έχει επιπτώσεις στην κάλυψη: δείτε την παράγραφο 1.2.2. Η υπερφόρτωση επιτρέπεται στο σύστημα, όπου η μεγαλύτερη είναι το interface margin που απαιτείται για την uplink και η μικρότερη είναι στη περιοχή κάλυψης. Για τις περιπτώσεις όπου έχουμε περιορισμένη-κάλυψη (coverage-limited) προτείνεται μικρό interface margin, ενώ για τις περιπτώσεις όπου έχουμε περιορισμένη-χωρητικότητα (capacity-limited) πρέπει να χρησιμοποιηθεί μεγάλο interface margin. Στις περιπτώσεις coverage-limited το μέγεθος κυψελών περιορίζεται από τη μέγιστη απώλεια πορειών(path loss) στον link budget και τη μέγιστη air interface χωρητικότητα της περιοχής των σταθμών βάσεων που δεν χρησιμοποιούνται. Οι χαρακτηριστικές τιμές για το interface margin στις περιπτώσεις coverage-limited είναι 1.0-3.0 dB, που αντιστοιχούν σε φορτίο 20-50%.

- Περιθώριο γρήγορης εξασθένισης (Fastfading margin) (=power control headroom):

Σε κινητό σταθμό για εκπομπή ισχύος απαιτείται κάποιο ελεύθερο ύψος (headroom) για τη διατήρηση του επαρκούς κλειστού βρόχου για τον γρήγορο έλεγχο της ισχύος. Αυτό ισχύει ειδικά για slow-moving mobiles όπου ο γρήγορος έλεγχος ισχύος είναι σε θέση να αντισταθμίσει αποτελεσματικά τη γρήγορη εξασθένιση. Οι χαρακτηριστικές τιμές για το fast fading margin είναι 2.0-5.0 dB για slow-moving mobiles.

- Κέρδος μαλακής μεταπομπής (Soft handover gain):

Οι μεταπομπές (Handovers) - soft ή hard - δίνουν ένα κέρδος ενάντια στην αργή εξασθένιση (=log-normal-fading) με τη μείωση του απαραίτητου log-normal-fading margin. Αυτό είναι επειδή η αργή εξασθένιση είναι εν μέρει ασύνδετη μεταξύ των σταθμών των βάσεων και φτιάχνοντας handover το κινητό μπορεί να επιλέξει έναν καλύτερο σταθμό βάσεων. Η μαλακή μεταπομπή (handover) δίνει ένα πρόσθετο μακρό κέρδος ποικιλομορφίας ενάντια στη fast fading με τη μείωση του απαιτημένου λόγου  $E_b/N_0$  σχετικά με μια single radio σύνδεση, που οφείλεται στην single μακρό ποικιλομορφία συνδυασμού. Στα παρακάτω παραδείγματα το συνολικό soft handover gain υπολογίζεται περίπου ότι είναι μεταξύ 2.0 και 3.0 dB, συμπεριλαμβανομένου του κέρδους ενάντια στην αργή και γρήγορη εξασθένιση. Το macro diversity κέρδος για την κάλυψη στην παράγραφο 2.2.1.4.

Παρακάτω δίνονται τρία παραδείγματα των link budget για χαρακτηριστικές υπηρεσίες UMTS:12.2 kbps υπηρεσία φωνής χρησιμοποιώντας κωδικοποιητή μετάδοσης φωνής AMR, 144 kbps data σε πραγματικό χρόνο και 384 kbps data σε μη-πραγματικό χρόνο, σε ένα αστικό macro-cellular περιβάλλον στην σχεδιαζόμενη uplink άνοδο θορύβου των 3dB. Ένα interference margin 3dB διατηρείται για τη uplink άνοδο θορύβου. Οι υποθέσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί στους link budget για τους δέκτες και τους εκπομπούς παρουσιάζονται στους πίνακες 1.1 και 1.2.

Πίνακας 1.1. Υποθέσεις για τον κινητό σταθμό

	Speech terminal	Data terminal
Maximum transmission power	21 dBm	24 dBm
Antenna gain	0 dBi	2 dBi
Body loss	3dB	0 dB

Πίνακας 1.2. Υποθέσεις για το σταθμό βάσεων

Noise figure	5.0 dB
Antenna gain	18 dBi (3-sector base station)
$E_b/N_0$ requirement	Speech: 5.0 dB 144 kbps real-time data: 1.5 dB 384 kbps non-real-time data: 1.0 dB
Cable loss	2.0 dB

Ο link budget στον πίνακα 1.3 υπολογίζεται για την ομιλία 12.2 kbps για τους in-car χρήστες, συμπεριλαμβανομένης της in-car απώλειας των 8.0 dB. Κανένα fast fading margin δεν διατηρείται σε αυτήν την περίπτωση, δεδομένου ότι σε 120 km/h ο γρήγορος έλεγχος ισχύος είναι ανίκανος να αντισταθμίσει την εξασθένηση. Ο ζητούμενος λόγος  $E_b/N_0$  είναι περίπου 5.0 dB. Ο ζητούμενος λόγος  $E_b/N_0$  εξαρτάται από το bit rate, την υπηρεσία, το πολλαπλών διαδρομών(multipath) σχεδιάγραμμα, την ταχύτητα του κινητού, τους αλγορίθμους των δεκτών και τη δομή των κεραιών στις βάσεις των σταθμών. Για τις χαμηλές ταχύτητες κινητών ο λόγος  $E_b/N_0$  απαιτείται να είναι χαμηλός, αλλά απ' ετέρου το ζητούμενο είναι ένα fast fading margin. Χαρακτηριστικά, οι χαμηλές ταχύτητες κινητών είναι ο περιοριστικός παράγοντας στη dimensioning κάλυψη λόγω του απαραίτητου fast fading margin. Ο πίνακας 1.4 παρουσιάζει το link budget για υπηρεσία 144 kbps data σε πραγματικό χρόνο όταν παρέχεται μια εσωτερική πιθανότητα θέσης 80% από τους υπαίθριους σταθμούς βάσεων. Οι κύριες διαφορές μεταξύ των πινάκων 1.3 και 1.4 είναι το διαφορετικές κέρδος, η υψηλότερη κινητή ισχύ εκπομπής και ο χαμηλότερος απαιτούμενος λόγος  $E_b/N_0$ . Επιπλέον, διατηρείται ένα headroom 4.0 dB για το γρήγορο έλεγχο ισχύος, για να είναι σε θέση να αντισταθμίσει την εξασθένηση στα 3 km/h. Η μέση building penetration loss είναι περίπου 15 dB.

Ο πίνακας 1.5 παρουσιάζει ένα link budget για 384 kbps data service σε μη-πραγματικό χρόνο για εξωτερικούς χώρους. Το κέρδος επεξεργασίας είναι χαμηλότερο απ' ό,τι στους προηγούμενους πίνακες λόγω του υψηλότερου bit rate. Επίσης, απαιτούμενος λόγος  $E_b/N_0$  είναι χαμηλότερος και από χαμηλότερο bit rate. Αυτός ο link budget υπολογίστηκε υποθέτοντας μηδενική soft handover.

Πίνακας 1.3 Αναφορά link budget 12.2 kbps υπηρεσίας φωνής AMR (120 km/h, στους in-car χρήστες. Όχημα τύπου καναλιού A, με soft handover)

12.2kbps voice service(120km/h in-car)		
Transmitter (mobile)		
Max. mobile transmission power [W]	0.125	
As above in dBm	21.0	a
Mobile antenna gain (dBi)	0.0	b
Body loss [dB]	3.0	c
Equivalent Isotropic Radiated Power (EIRP)	18.0	d = a + b - c
Receiver (base station)		
Thermal noise density [dBm/Hz]	-174.0	e
Base station receiver noise figure [dB]	5.0	f
Receiver noise density [dBm/Hz]	-169.0	g = e + f
Receiver noise power [dBm]	-103.2	h = g + 10*log(3840000)
Interference margin [dB]	3.0	i
Receiver interference power (dBm)	-103.2	j = 10*log( 10^((h+i)/10)-
Total effective noise + interference [dBm]	-100.2	k = 10*log(h/10)+10^(j/10)
Processing gain [dB]	25.0	l = 10*log(3840/144)
Required Eb/No (dB)	5.0	m
Receiver sensitivity [dBm]	-120.2	n=m-l+k
Base station antenna gain [dBi]	18.0	o
Cable loss in the base station[dB]	2.0	p
Fast fading margin [dB]	0.0	q
Max. path loss [dB]	154.0	r = d - n + o - p - q
Coverage probability [%]	95	
Log normal fading constant [dB]	7.0	
Propagation model exponent	3.52	
Log normal fading margin [dB]	7.3	s
Soft handover gain [dB], multi-cell	3.0	t
In-car body loss [dB]	8.0	u
Allowed propagation loss for cell range [dB]	141.9	v = r-s+t.- u

Πίνακας 1.4. Αναφορά link budget 144 kbps data υπηρεσίας σε πραγματικό χρόνο (εσωτερικός χρήστης 3 km/h που καλύπτεται από τον υπαίθριο σταθμό βάσεων, όχημα για κανάλι τύπου A, με soft handover)

144kbps real time data		
Transmitter (mobile)		
Max. mobile transmission power [W]	0.25	
As above in dBm	24.0	a
Mobile antenna gain (dBi)	2.0	b
Body loss [dB]	0.0	c
Equivalent Isotropic Radiated Power	26.0	$d = a + b - c$
Receiver (base station)		
Thermal noise density [dBm/Hz]	-174.0	e
Base station receiver noise figure [dB]	5.0	f
Receiver noise density [dBm/Hz]	-169.0	$g = e + f$
Receiver noise power [dBm]	-103.2	$h = a + 10 \cdot \log(3840000)$
Interference margin [dB]	3.0	i
Receiver interference power (dBm)	-103.2	$i = 10 \cdot \log(10^{(h+i)/10})$
Total effective noise + interference [dBm]	-100.2	$k = 10 \cdot \log(h/10) + 10^{(i/10)}$
Processing gain [dB]	14.3	$l = 10 \cdot \log(3840/144)$
Required Eb/No (dB)	1.5	m
Receiver sensitivity [dBm]	-113.0	$n = m - l + k$
Base station antenna gain [dBi]		
	18.0	o
Cable loss in the base station [dB]	2.0	p
Fast fading margin [dB]	4.0	q
Max. path loss [dB]	151.0	$r = d - n + o - p - q$
Coverage probability (%)		
	80	
Log normal fading constant [dB]	12.0	
Propagation model exponent	3.52	
Log normal fading margin [dB]	4.2	s
Soft handover gain [dB], multi-cell	2.0	t
Indoor loss [dB]	15.0	u
Allowed propagation loss for cell range	133.8	$v = r - s + t - u$

Πίνακας 1.5. Αναφορά link budget 384kbps data υπηρεσίας σε μη-πραγματικός-χρόνου (υπαίθριος χρήστης 3 km/h.. Όχημα σε κανάλι τύπου A, καμία soft handover)

384 kbps non-real time data: no soft		
Transmitter (mobile)		
Max. mobile transmission power [W]	0.25	
As above in dBm	24.0	a
Mobile antenna gain [dBi]	2.0	b
Body loss [dB]	0.0	c
Equivalent Isotropic Radiated Power	26.0	d = a + b - c
Receiver (base station)		
Thermal noise density [dBm/Hz]	-174.0	e
Base station receiver noise figure [dB]	5.0	
Receiver noise density [dBm/Hz]	-169.0	g = e + f
Receiver noise power (dBm)	-103.2	h = g + 10*log(3840000)
Interference margin [dB]	3.0	
Receiver interference power (dBm)	-103.2	i = 10*log( 10^((h+i)/10)-
Total effective noise + interference [dBm]	-100.2	k = 10*log(
Processing gain (dB)	10.0	l = 10*log(3840/384)
Required Eb/No (dB)	1.0	m
Receiver sensitivity [dBm]	-109.2	n' = m-l+k
Base station antenna gain (dBi)		
Base station antenna gain (dBi)	18.0	o
Cable loss in the base station (dB)	2.0	p
Fast fading margin (dB)	4.0	q
Max. path loss [dB]	147.2	r = d - n + o - p - q
Coverage probability (%)		
Coverage probability (%)	95	
Log normal fading constant (dB)	7.0	
Propagation model exponent	3.52	
Log normal fading margin [dB]	7.3	s
Soft handover gain [dB]. multi-cell	0.0	t
Indoor loss (dB)	0.0	u
Allowed propagation loss for cell range [dB]		
Allowed propagation loss for cell range [dB]	139.9	v = r - s + t - u

Η αποδοτικότητα της κάλυψης του WCDMA καθορίζεται από τη μέση περιοχή κάλυψης ανά περιοχή, σε km<sup>2</sup>/περιοχή, για ένα προκαθορισμένο περιβάλλον διάδοσης αναφοράς και μια υποστηριγμένη πυκνότητα κυκλοφορίας.

Από τους παραπάνω link budgets, η σειρά κυψελών R μπορεί να υπολογιστεί εύκολα για ένα γνωστό πρότυπο διάδοσης όπως για παράδειγμα το πρότυπο Okumura- Hata ή το πρότυπο walfish- Ikegami. Το πρότυπο διάδοσης περιγράφει τη μέση διάδοση σημάτων σε εκείνο το περιβάλλον και μετατρέπει τη μέγιστη απώλεια διάδοσης σε dB και στη μέγιστη σειρά κυψελών σε χιλιόμετρα. Για παράδειγμα μπορούμε να πάρουμε το πρότυπο διάδοσης Okumura - Hata για ένα αστικό macro cell όπου το ύψος των κεραιών των σταθμών των βάσεων είναι 30 m, το ύψος της κινητής κεραίας 1,5 m και η συχνότητα φέρωντος 1950 MHz:

$$L = 137.4 + 35.2 \log_{10}(R) \quad (8.1) \quad (1)$$

όπου το L είναι η απώλεια πορειών (path loss) σε dB και το R είναι σειρά σε km.

Για τις προαστιακές περιοχές υποθέτουμε έναν πρόσθετο παράγοντα διόρθωσης της περιοχής των 8 dB και λαμβάνουμε την path loss ως εξής:

$$L = 129.4 + 35.21 \log_{10}(R) \quad (1.2)$$

Σύμφωνα με την εξίσωση (1.2), η σειρά κελιών 12.2 kbps λεκτικής υπηρεσίας, με path loss 141,9 dB στον πίνακα 1.3 σε μια προαστιακή περιοχή θα ήταν 2,3 km. Η σειρά 144 kbps στο εσωτερικό θα ήταν 1,4 km. Μόλις καθοριστεί η σειρά R κυψελών, μπορεί να παραχθεί έπειτα η περιοχή που είναι επίσης μια λειτουργία της sectorisation των χαρακτηριστικών των σταθμών βάσεων. Για μια κυψέλη εξαγωνικής μορφής που καλύπτεται από μια πανκατευθυντική κεραία, η περιοχή κάλυψης μπορεί να προσεγγιστεί από το τύπο  $2.6R^2$ .

## 1.2.2 Συντελεστές φορτίων και φασματική αποδοτικότητα

Η δεύτερη φάση του dimensioning υπολογίζει το ποσό κυκλοφορίας που υποστηρίζει ανά περιοχή σταθμών βάσεων. Όταν η επαναχρησιμοποίηση συχνότητας ενός συστήματος WCDMA είναι 1, το σύστημα παρεμβολής περιορίζεται χαρακτηριστικά από τη air interface και πρέπει να υπολογιστεί το ποσό παρεμβολής και η παραδοθείσα χωρητικότητα των κυψελών.

### 1.2.2.1 Uplink συντελεστής φορτίων

Η θεωρητική φασματική αποδοτικότητα μιας κυψέλης WCDMA μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση φορτίων, της οποίας το αποτέλεσμα φαίνεται παρακάτω. Ορίζουμε αρχικά την ενέργεια  $E_b/N_0$  ανά κομμάτι χρηστών που διαιρείται με τη φασματική πυκνότητα θορύβου.

$$(E_b / N_0)_j = \text{Processing gain of user } j \cdot \frac{\text{Signal of user } j}{\text{Total received power (excl. own signal)}} \quad (1.3)$$

Αυτό μπορεί να γραφτεί:

$$(E_b / N_0)_j = \frac{W}{v_j R_j} \cdot \frac{P_j}{I_{total} - P_j} \quad (1.4)$$

όπου W είναι the chip rate,  $P_j$  είναι η λαμβανόμενη ισχύς των σημάτων του χρήστη j,  $v_j$  είναι ο συντελεστής δραστηριότητας (activity factor) του χρήστη j,  $R_j$  είναι του bit rate του χρήστη j, και  $I_{total}$  είναι η συνολική λαμβανόμενη ισχύς ευρείας ζώνης, συμπεριλαμβανομένης της θερμικής ισχύς θορύβου στο σταθμό βάσεων. Επίλυση για  $P_j$  δίνει:

$$P_j = \frac{1}{1 + \frac{(E_b / N_0)_j \cdot R_j \cdot v_j}{W}} I_{total} \quad (1.5)$$

Καθορίζουμε  $P_j = L_j \cdot I_{total}$  και λαμβάνουμε τον παράγοντα φορτίων  $L_j$  για μια σύνδεση

$$L_j = \frac{1}{1 + \frac{(E_b / N_0)_j \cdot R_j \cdot v_j}{W}} \quad (1.6)$$

Η συνολική λαμβανόμενη παρεμβολή (received interference), αποκλείοντας το θερμικό θόρυβο  $P_N$ , μπορεί να γραφτεί ως το άθροισμα των λαμβανόμενων ισχύων από όλους τους χρήστες  $N$  στην ίδια κυψέλη.

$$I_{total} - P_N = \sum_{j=1}^N P_j = \sum_{j=1}^N L_j \cdot I_{total} \quad (1.7)$$

Η άνοδος θορύβου (noise rise) ορίζεται ως το πηλίκο της συνολικής λαμβανόμενης ευρείας ζώνης ισχύ προς την ισχύ του θορύβου

$$\text{Noise rise} = \frac{I_{total}}{P_N} \quad (1.8)$$

και χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1.7) παίρνουμε:

$$\text{Noise rise} = \frac{I_{total}}{P_N} = \frac{1}{1 - \sum_{j=1}^N L_j} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}} \quad (1.9)$$

όπου έχουμε ορίσει τον συντελεστή φορτίων  $\eta_{UL}$  ως:

$$\eta_{UL} = \sum_{j=1}^N L_j \quad (1.10)$$

Όταν  $\eta_{UL}$  τείνει στο 1, η αντίστοιχη άνοδος θορύβου πλησιάζει στο άπειρο και το σύστημα έχει φθάσει στην χωρητικότητα των πόλων του (pole capacity).

Επιπλέον, στον παράγοντα φορτίων η παρεμβολή (interference) από τα άλλες κυψέλες πρέπει να ληφθεί υπόψη ως το πηλίκο της άλλης κυψέλης προς το δικιά του interference κυψέλη,  $i$ :

$$i = \frac{\text{other cell interference}}{\text{own cell interference}} \quad (1.11)$$

Ο uplink συντελεστής φορτίων μπορεί να γραφτεί ως:

$$\eta_{UL} = (1+i) \cdot \sum_{j=1}^N L_j = (1+i) \cdot \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b / N_0)_j \cdot R_j \cdot v_j}} \quad (1.12)$$



Η εξίσωση φορτίων προβλέπει το ποσό ανόδου θορύβου πέρα από το θερμικό θόρυβο λόγω της παρεμβολής. Η άνοδος θορύβου είναι ίση με  $-10 \cdot \log(1 - \eta_{UL})$ . Το interference margin στον link budget πρέπει να είναι ίσο με τη μέγιστη σχεδιαζόμενη άνοδο θορύβου.

Το απαιτημένο  $E_b/N_0$  μπορεί παραχθεί από τις link level εξομοιώσεις και από τις μετρήσεις. Περιλαμβάνει την επίδραση του κλειστού βρόχου ελέγχου ισχύος και της soft handover. Η επίδραση του soft handover μετριέται ως macro diversity συνδυασμού κέρδος όσον αφορά το single link  $E_b/N_0$  αποτέλεσμα. Το πηλίκο της άλλης interference κυψέλης προς τη δικιά της interference κυψέλη είναι μια λειτουργία του περιβάλλοντος της κυψέλης ή απομόνωση της κυψέλης (δηλ.. macro/micro, αστικός/προαστιακός) και σχέδιο κεραιών (δηλ.. omni, 3-sector or 6-sector [4]). Οι παράμετροι εξηγούνται περαιτέρω στον πίνακα 1.6.

Η εξίσωση φορτίων χρησιμοποιείται συνήθως για να κάνει μια ημι-αναλυτική πρόβλεψη της μέσης χωρητικότητας μιας κυψέλης WCDMA, χωρίς μετάβαση στις προσομοιώσεις του system-level χωρητικότητας. Αυτή η εξίσωση φορτίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σκοπό την πρόβλεψη της χωρητικότητας των κυψελών (cell capacity) και το σχεδιασμό της ανόδου του θορύβου στη διαδικασία του dimensioning.

Για ένα κλασσικό δίκτυο μόνο υπηρεσιών φωνής όπου όλοι οι χρήστες  $N$  στη κυψέλη έχουν χαμηλό bit rate από  $R$ , μπορούμε να γράψουμε:

$$\frac{W}{E_b/N_0 \cdot R \cdot \nu} \gg 1 \quad (1.13)$$

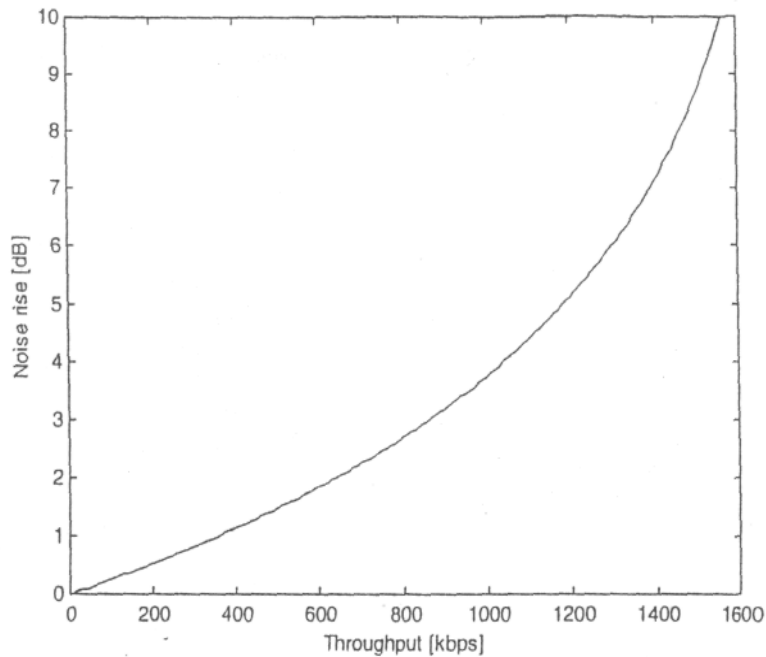
και η παραπάνω uplink εξίσωση φορτίων μπορεί να προσεγγιστεί και να απλοποιηθεί ως:

$$\eta_{UL} = \frac{E_b/N_0}{W/R} \cdot N \cdot \nu \cdot (1+i). \quad (1.14)$$

Πίνακας 1.6. Παράμετροι που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του uplink παράγοντα φορτίων

	Definitions	Recommended values
$N$	Number of users per cell	
$u_j$	Activity factor of user $j$ at physical layer	0.67 for speech, assumed 50% voice activity and DPCH overhead during DTX 1.0 for data
$E_b/N_0$	Signal energy per bit divided by noise spectral density that is required to meet a predefined Quality of Service (e.g. bit error rate). Noise includes both thermal noise and interference	Dependent on service, bit rate, multipath fading channel, receive antenna diversity, mobile speed, etc.
$W$	WCDMA chip rate	3.84 Mcps
$R_j$	Bit rate of user $j$	Dependent on service
$i$	Other cell to own cell interference ratio seen by the base station receiver	Macro cell with omnidirectional antennas: 55%

Ένα παράδειγμα uplink αύξηση θορύβου παρουσιάζεται στο σχήμα 1.2 για τα data service, υποθέτοντας το πηλίκο  $E_b/N_0$  στο 1.5 dB και  $i=0.65$ . Η αύξηση θορύβου 3.0 dB αντιστοιχεί σε ένα συντελεστή φορτίων 50% και η άνοδος θορύβου 6.0 dB σε ένα συντελεστή φορτίων 75%. Αντί της παρουσίασης του  $N$  αριθμού χρηστών, παρουσιάζουμε το συνολικό ρυθμό μετάδοσης data ανά κυψέλη όλων των ταυτόχρονων χρηστών. Σε αυτό το παράδειγμα ένα ρυθμό μετάδοσης 860 kbps μπορεί να υποστηριχθεί με 3.0 dB noise rise και για 1300 kbps αντιστοιχεί 6.0 dB noise rise.



Σχήμα 1.2. Uplink άνοδος θορύβου ως λειτουργία του uplink ρυθμού μετάδοσης data

### 1.2.2.2 Downlink συντελεστής φορτίων

Ο downlink συντελεστής φορτίων,  $\eta_{DL}$ , μπορεί να οριστεί βασιζόμενος σε μια παρόμοια αρχή όπως για τον uplink αν και οι παράμετροι είναι ελαφρώς διαφορετικές:

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{(E_b/N_0)_j}{W/R_j} \cdot [(1-\alpha_j) + i_j] \quad (1.15)$$

όπου  $-10\log_{10}(1-\eta_{DL})$  είναι με την άνοδο θορύβου (noise rise) πέρα από το θερμικό θόρυβο λόγω της multiple access interference. Οι παράμετροι εξηγούνται περαιτέρω στον πίνακα 1.7. Έναντι της uplink εξίσωσης φορτίων, η σημαντικότερη νέα παράμετρος είναι ο  $\alpha_j$  που αντιπροσωπεύει το orthogonality συντελεστή στο downlink. Το WCDMA υιοθετεί τους ορθογώνιους κώδικες στο downlink στους χωριστούς χρήστες και χωρίς οποιαδήποτε multipath διάδοση η ορθογωνικότητα παραμένει όταν το σήμα των σταθμών βάσεων λαμβάνεται από τον κινητό. Πάντως, εάν υπάρχει ικανοποιητική καθυστέρηση που διαδίδεται στο ράδιο κανάλι, το κινητό θα δει μέρος του σήματος του σταθμού ως multiple access interference. Ορθογωνικότητα 1 αντιστοιχεί στους τέλεια ορθογώνιους χρήστες. Χαρακτηριστικά, η ορθογωνικότητα είναι μεταξύ 0,4 και 0,9 στα multipath κανάλια.

Στη downlink, το πηλίκο της άλλης κυψέλης προς τη δικιά του interference κυψέλη  $i_j$ , εξαρτάται από τη θέση των χρηστών και είναι επομένως διαφορετικό για κάθε χρήστης.

Στη downlink interference modelling, η επίδραση της εκπομπής του soft handover μπορεί να παρουσιαστεί σαν να έχουμε πρόσθετες συνδέσεις στη κυψέλη. Το υψηλό soft handover ορίζεται ως ο συνολικός αριθμός συνδέσεων που διαιρείται με το συνολικό αριθμό χρηστών μείον έναν.

Συγχρόνως το κέρδος soft handover λαμβάνεται υπόψη σχετικά με την ενιαία σύνδεση  $E_b/N_0$ . Αυτό το κέρδος, αποκαλούμενο macro diversity κέρδος συνδυασμού μπορεί να προέλθει από την ανάλυση προσομοίωσης link/system επιπέδων και μετριέται ως μείωση του απαραίτητου  $E_b/N_0$  για κάθε χρήστη.

Η επίδραση της ποικιλομορφίας κεραιών εκπομπής πρέπει να συμπεριληφθεί στο ζητούμενο  $E_b/N_0$ . Το κέρδος της ποικιλομορφίας εκπομπής συζητείται στο κεφάλαιο 2.3.2.

Πίνακας 1.7. Παράμετροι που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του downlink συντελεστή φορτίων

	Definitions	Recommended values for
N	Number of connections per cell = number of -users per cell * ( 1 + soft	
$u_j$	Activity factor of user j at physical layer	0.67 for speech, assumed 50% voice activity and DPCC overhead during DTX 1.0 for data
$E_b/N_0$	Signal energy per bit divided by noise spectral density, required to meet a predefined Quality of Service (e.g. bit error rate). Noise includes both thermal noise and interference	Dependent on service, bit rate, multipath fading channel, transmit antenna diversity, mobile speed, etc.
W	WCDMA chip rate	3.84 Mcps
$R_j$	Bit rate of user j	Dependent on service
$a_j$	Orthogonality of channel of user j	Dependent on the multipath propagation 1: fully orthogonal l-path channel 0: no orthogonality
$i_j$	Ratio of other cell to own cell base station power, received by user j	Each user sees a different $i_j$ , depending on its location in the cell and log-normal shadowing
a	Average orthogonality factor in the cell	ITU Vehicular A channel: ~60% ITU Pedestrian A
i	Average ratio of other cell to own cell base station power received by user. Own cell interference is here wideband	Macro cell with omnidirectional antennas: 55%

Note: The own cell is defined as the best serving cell. If a user is in soft handover, all the other base stations in the active set are counted as part of the other cell!

Ο downlink συντελεστής φορτίων  $n_{DL}$  παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον uplink συντελεστής φορτίων  $n_{UL}$ , υπό την έννοια ότι κατά την προσέγγιση της μονάδας το σύστημα φθάνει στην χωρητικότητα των πόλων του και η άνοδος θορύβου πέρα από θερμικό τείνει στο άπειρο.

Για downlink dimensioning, είναι σημαντικό να υπολογιστεί το συνολικό ποσό ισχύος που απαιτείται για τη εκπομπή των σταθμών βάσεων. Αυτό πρέπει να βασιστεί στη μέση ισχύ εκπομπής για το χρήστη και όχι τη μέγιστη ισχύ εκπομπής για την άκρη των κυψελών που παρουσιάζεται από τον link budget.

Η ελάχιστη απαραίτητη ισχύ εκπομπής για κάθε χρήστη καθορίζεται από τη μέση μείωση μεταξύ του σταθμού εκπομπής σημάτων και του κινητού δέκτη που είναι L και η ευαισθησία των κινητών δεκτών, ελλείψει του multiple access interference\_(intra-or\_inter-cell).

Κατόπιν η επίδραση της ανόδου θορύβου λόγω του interference προστίθεται στην ελάχιστη ισχύ και το σύνολο αντιπροσωπεύει τη ισχύ εκπομπής που απαιτείται για έναν χρήστη σε μια "μέση" θέση στη κυψέλη. Από μαθηματική άποψη, η συνολική ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσεων εκφράζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$BS\_TxP = \frac{N_{ff} \cdot W \cdot L \cdot \sum_{j=1}^N v_j \frac{(E_b/N_0)_j}{W/R_j}}{1 - \eta_{DL}} \quad (1.17)$$

όπου  $N_{ff}$  είναι η φασματική πυκνότητα θορύβου κινητού δέκτη front-end. Η τιμή του λαμβάνεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} N_{ff} &= k \cdot T + NF \\ &= -174.0 \text{ dBm} + NF \text{ (assuming } T = 290 \text{ K)} \end{aligned} \quad (1.17)$$

όπου  $k$  είναι σταθερά του Boltzmann  $1.381 \cdot 10^{23}$  J/K,  $T$  είναι η θερμοκρασία σε Kelvin και  $NF$  είναι το noise figure του δέκτη του κινητού σταθμού με χαρακτηριστικές τιμές των 5-9 dB. Ο συντελεστής φορτίων μπορεί να προσεγγιστεί από τη μέση τιμή του σε ολόκληρη τη κυψέλη που είναι:

$$\bar{\eta}_{DL} = \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{(E_b/N_0)_j}{W/R_j} \cdot [(1 - \bar{\alpha}) + i] \quad (1.18)$$

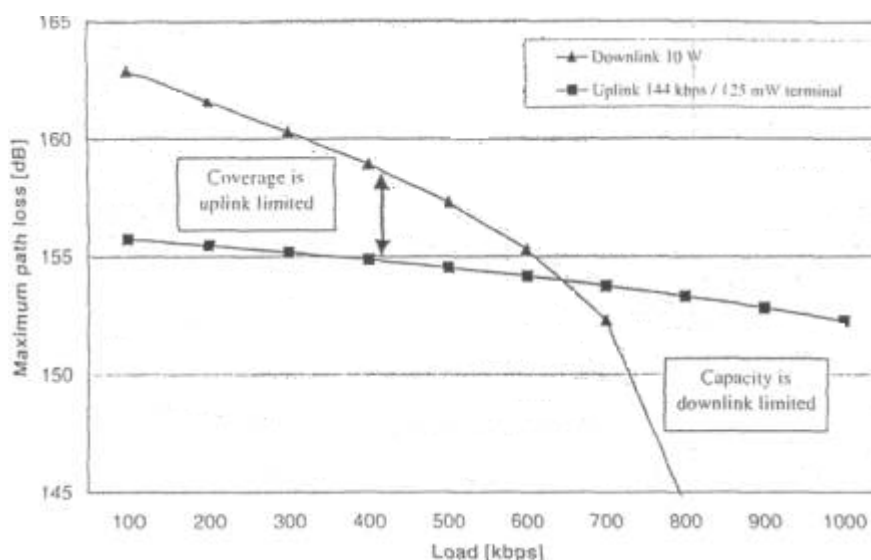
Στην uplink και downlink το air interface φορτίο έχει επιπτώσεις στην κάλυψη αλλά το αποτέλεσμα δεν είναι ακριβώς το ίδιο. Η διαφορά μεταξύ των uplink και downlink καμπυλών φορτίων περιγράφεται παρακάτω. Το μέγιστο path loss, δηλ. κάλυψη, όπως η λειτουργία του φορτίου παρουσιάζεται στον Σχήμα 1.3 και για τους δύο uplink και downlink. Υποτίθεται μια περιοχή 3-τομέα και οι ρυθμοαποδόσεις παρουσιάζονται ανά τομέα ανά 5 MHz συχνότητα φέροντος. Το uplink υπολογίζεται για 144 kbps data και ο link budget παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.14. Το πηλίκο της άλλης interference κυψέλης προς τη δικιά του interference κυψέλη  $i$ , είναι περίπου ίσο με 0.65. Στη downlink μια orthogonality του 0.6 και  $E_b/N_0$  του 5.5 dB, δίνει μια χωρητικότητα πόλων (pole capacity) 820 kbps/cell. Καμία ποικιλομορφία εκπομπής δεν υποτίθεται σε αυτό  $E_b/N_0$ . Η ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσεων είναι περίπου 10 W και λαμβάνεται υπόψη πρόσθετα η απώλεια καλωδίων. Η επίδραση των downlink κοινών καναλιών συμπεριλαμβάνεται στους downlink υπολογισμούς, π.χ. ένα μέρος των 10 W διατίθεται για τα downlink κοινά κανάλια. Η uplink χωρητικότητα πόλων σε αυτό το παράδειγμα είναι 1730 kbps/cell.

Στη downlink η κάλυψη εξαρτάται περισσότερο από το φορτίο απ' ό,τι στην uplink, σύμφωνα με τον Σχήμα 1.3. Ο λόγος είναι ότι στη downlink η μέγιστη ισχύς εκπομπής είναι η ίδια 10 W ανεξάρτητα από τον αριθμό χρηστών και μοιράζεται μεταξύ των downlink χρηστών, ενώ στην uplink κάθε πρόσθετος χρήστης έχει το δικό του ενισχυτή ισχύος. Επομένως, ακόμη και με χαμηλό φορτίο στη downlink, η κάλυψη μειώνεται ανάλογα με τον αριθμό των χρηστών.

Σημειώνουμε ότι με τις παραπάνω υποθέσεις η κάλυψη περιορίζεται σαφώς στην uplink για ένα φορτίο κάτω από 650 kbps, ενώ περιορίζεται η χωρητικότητα της downlink. Επομένως, στο κεφάλαιο 2 η συζήτηση κάλυψης επικεντρώνεται στην uplink, ενώ η συζήτηση για τη χωρητικότητα επικεντρώνεται στη downlink.

Οι χωρητικότητες που παρουσιάζονται παραπάνω εξαρτώνται από το περιβάλλον και αντιπροσωπεύουν μόνο τα παραδείγματα. Η εξάρτηση της χωρητικότητας και της κάλυψης θα παραμείνει ανεξάρτητα από τις υποθέσεις. Η επίδραση του περιβάλλοντος στις χωρητικότητες παρουσιάζεται στο τμήμα 2.3.1.2.

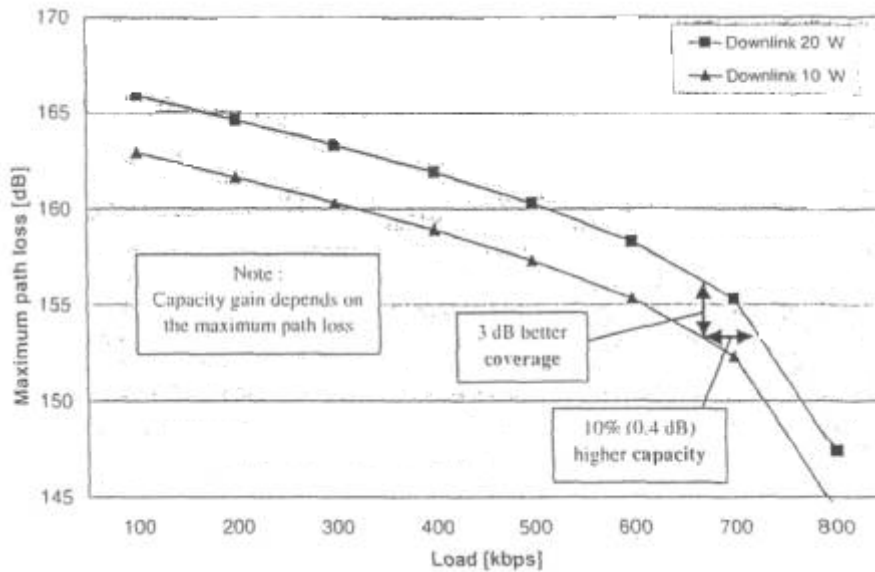
Πρέπει να θυμηθούμε ότι στα δίκτυα τρίτης γενεάς η κυκλοφορία μπορεί να είναι ασυμμετρική μεταξύ uplink και downlink και το φορτίο μπορεί να είναι διαφορετικό στην uplink και στη downlink.



Σχήμα 1.3. Παράδειγμα σύγκρισης μεταξύ κάλυψης και χωρητικότητα στην downlink και uplink στα macro cells

Η μέγιστη ισχύ στο Σχήμα 1.3 των σταθμών βάσεων υποτίθεται ότι είναι 10 W. Πόσο μπορούμε να βελτιώσουμε την κάλυψη και την χωρητικότητα του downlink με τη χρησιμοποίηση περισσότερης ισχύος από 20 W; Η διαφορά στην κάλυψη και την χωρητικότητα του downlink μεταξύ 10 W και 20 W παραγωγής ισχύων των σταθμών βάσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.4. Εάν αυξάνουμε την ισχύ του downlink κοντά στα 3.0 dB, μπορούμε να επιτρέψουμε 3.0 dB υψηλότερα για μέγιστη path loss ανεξάρτητα από το φορτίο. Η βελτίωση της χωρητικότητας είναι μικρότερη από τη βελτίωση της κάλυψης λόγω της καμπύλης φορτίων. Εάν κρατάμε τώρα τη downlink path loss σταθερή στα 153 dB, η οποία είναι η μέγιστη uplink path loss με 3dB interference margin, η downlink χωρητικότητα μπορεί να αυξηθεί μόνο 10% (0.4 dB) από 680 kbps σε 750 kbps. Η αυξανόμενη ισχύ εκπομπής του downlink είναι ανεπαρκής προσέγγιση για την αύξηση της χωρητικότητας στη downlink, δεδομένου ότι η διαθέσιμη ισχύ δεν έχει επιπτώσεις στην χωρητικότητα των πόλων.

Υποθέστε ότι είχαμε διαθέσιμη ισχύ εκπομπής στη downlink 20 W. Ο διαχωρισμός της ισχύος downlink μεταξύ δύο συχνοτήτων θα αύξανε την downlink χωρητικότητα από 750 kbps σε  $2 \times 680 \text{ kbps} = 1360 \text{ kbps}$ , δηλ. από 80%. Ο διαχωρισμός της downlink ισχύος μεταξύ δύο φερόντων είναι μια αποδοτική προσέγγιση για να αυξήσει την χωρητικότητα του downlink χωρίς οποιαδήποτε πρόσθετη «επένδυση» στους ενισχυτές ισχύος. Η κατά προσέγγιση ισχύ απαιτεί ότι η κατανομή συχνότητας του operator επιτρέπει τη χρήση δύο φερόντων συχνοτήτων στο σταθμό βάσεων.



Σχήμα 1.4 Επίδραση της ισχύος εξόδου του σταθμού βάσεων στη downlink χωρητικότητα και κάλυψη

### 1.2.2.3 Φασματική αποδοτικότητα WCDMA (Spectral Efficiency)

Η φασματική αποδοτικότητα WCDMA μπορεί να οριστεί είτε από τον αριθμό των ταυτόχρονων κλήσεων μερικών bit rates ή καταλληλότερα στα συστήματα τρίτης γενιάς, από την αθροισμένη ρυθμού μετάδοσης του φυσικού επιπέδου (physical layer) που υποστηρίζεται σε κάθε κυψέλη ανά 5 MHz συχνότητα φέροντος, μετρούμενη σε kbps/cell/carrier. Η φασματική αποδοτικότητα είναι μια λειτουργία των εξής παραγόντων: του ράδιο περιβάλλοντος, της κινητικότητας και της θέσης των χρηστών, της ποιότητας των υπηρεσιών και των συνθηκών διάδοσης. Η μεταβολή μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη (δηλ. 50-100%). Επομένως, οι περισσότερες εξομοιώσεις συστημάτων που προσπαθούν να απεικονίσουν κάποια ένδειξη της μέσης φασματικής αποδοτικότητας WCDMA απεικονίζουν μόνο τα αποτελέσματα με κάποιους προκαθορισμένους όρους των κυψελών και της συμπεριφοράς των χρηστών.

Στη διάσταση (dimension) για τη μικτή κυκλοφορία η χωρητικότητα μπορεί να υπολογιστεί ακριβώς σύμφωνα με τις εξισώσεις (1.12) και (1.15). Ο γενικός κανόνας μετατροπής (conversion) μεταξύ της χρήσης ενός καναλιού φωνής και ενός data καναλιού χωρητικότητας βασίζεται στο ξεχωριστό συντελεστή φορτίου για κάθε υπηρεσία.

## 1.2.3 Soft Capacity

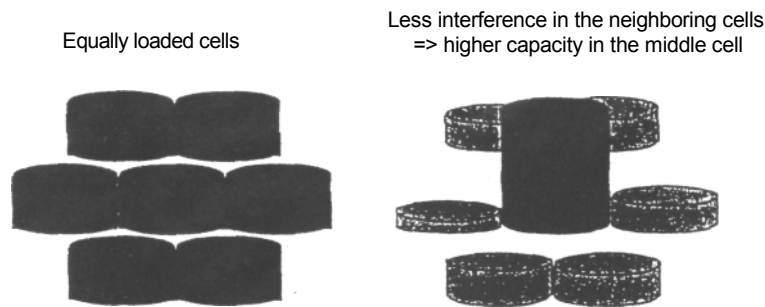
### 1.2.3.1 Χωρητικότητα Erlang (Erlang Capacity)

Στο dimensioning στο κεφάλαιο 1.2 ο αριθμός καναλιών υπολογίστηκε ανά κυψέλη. Με βάση εκείνα τα σχήματα, μπορούμε να υπολογίσουμε τη μέγιστη πυκνότητα κυκλοφορίας (traffic density) που μπορεί να υποστηριχθεί με μια δεδομένη πιθανότητα φραξίματος (blocking probability). Η πυκνότητα κυκλοφορίας μπορεί να μετρηθεί σε Erlang και καθορίζεται ως:

$$\text{Traffic density [Erlang]} = \frac{\text{Call arrival rate [calls/s]}}{\text{Call departure rate [calls/s]}} \quad (1.19)$$

Εάν η χωρητικότητα περιορίζεται από το hard blocking, δηλ από τη ποσότητα του hardware, η χωρητικότητα Erlang μπορεί να ληφθεί από το πρότυπο(model) Erlang B. Εάν η μέγιστη χωρητικότητα περιορίζεται από το ποσό παρεμβολής στη air interface, είναι εξ ορισμού μια soft capacity, δεδομένου ότι δεν υπάρχει ούτε μια σταθερή τιμή για τη μέγιστη χωρητικότητα. Για ένα περιορισμένο σύστημα soft capacity η χωρητικότητα Erlang δεν μπορεί να υπολογιστεί από το model Erlang B, δεδομένου ότι θα έδινε πάρα πολύ απαισιόδοξα αποτελέσματα. Η συνολική channel pool είναι μεγαλύτερο από το μέσο αριθμό καναλιών ανά κυψέλη, δεδομένου ότι οι διπλανές κυψέλες μοιράζονται μέρος της ίδιας παρεμβολής και επομένως περισσότερη κυκλοφορία μπορεί να εξυπηρετηθεί με την ίδια blocking probability. Η soft capacity μπορεί να εξηγηθεί ως εξής. Η λιγότερη παρεμβολή προέρχεται από τις γειτονικές κυψέλες, οπότε τα περισσότερα κανάλια είναι διαθέσιμα στη μέση κυψέλη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.5. Με έναν χαμηλό αριθμό καναλιών ανά κυψέλη, δηλ για υψηλού bit rate χρήστες για real-time data, η μέση φόρτωση πρέπει να είναι αρκετά χαμηλή για να εγγυηθεί τη χαμηλή blocking probability. Δεδομένου ότι η μέση φόρτωση είναι χαμηλή, υπάρχει χαρακτηριστικά πρόσθετη χωρητικότητα διαθέσιμη στις διπλανές κυψέλες. Αυτή η χωρητικότητα μπορεί να δανειστεί από τις διπλανές κυψέλες και επομένως η κατανομή της παρεμβολής δίνει τη soft capacity. Η soft capacity είναι σημαντική για τους χρήστες data υψηλού bit rate σε πραγματικό χρόνο, π.χ. για τις τηλεοπτικές συνδέσεις. Μπορεί επίσης να ληφθεί στα GSM εάν η χωρητικότητα air interface περιορίζεται από το ποσό παρεμβολής αντί του αριθμού των time slots, αυτό υποθέτει χαμηλής συχνότητας τους συντελεστές επαναχρησιμοποίησης στο GSM με αμελητέα φόρτωση.

Στους υπολογισμούς της soft capacity υποτίθεται ότι ο αριθμός των συνδρομητών είναι ο ίδιος σε όλες τις κυψέλες αλλά οι συνδέσεις αρχίζουν και τελειώνουν ανεξάρτητα. Επιπλέον, το διάστημα άφιξης κλήσης ακολουθεί τη κατανομή Poisson. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για dimensioning κατά το υπολογισμό των χωρητικότητων Erlang. Υπάρχει μια πρόσθετη soft capacity στο WCDMA αν είναι μικρότερος ο αριθμός των χρηστών στις διπλανές κυψέλες.



Σχήμα 1.5. Παρεμβολή που μοιράζεται μεταξύ των κυψελών στο WCDMA

Η διαφορά μεταξύ hard blocking και του soft blocking παρουσιάζεται με μερικά uplink παραδείγματα παρακάτω. Η soft capacity WCDMA ορίζεται ως η αύξηση της χωρητικότητας Erlang με soft blocking έναντι αυτού με hard blocking με τον ίδιο μέγιστο αριθμό καναλιών ανά κυψέλη κατά μέσον όρο και με το soft blocking και το hard blocking:

$$\text{Soft capacity} = \frac{\text{Erlang capacity with soft blocking}}{\text{Erlang capacity with hard blocking}} \quad (1.20)$$

Μια τέτοια στρατηγική ελέγχου αποδοχής δίνει soft blocking και soft capacity.

Η uplink soft capacity μπορεί να προσεγγιστεί βασισμένη στη συνολική παρεμβολή στο σταθμό βάσεων. Αυτή η συνολική παρεμβολή περιλαμβάνει τη δικιά του κυψέλη και την παρεμβολή των άλλων κυψελών. Επομένως, η συνολική channel pool λαμβάνεται πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των καναλιών ανά κυψέλη στην φορτωμένη περίπτωση ισότητας κοντά στο  $1 + i$ , όποιος δίνει την single απομονωμένη χωρητικότητα κυψελών, δηλ.

$$i + 1 = \frac{\text{other cell interference}}{\text{own cell interference}} + 1 = \frac{\text{other cell interference} + \text{own cell interference}}{\text{own cell interference}} \quad (1.21)$$

$$= \frac{\text{isolated cell capacity}}{\text{multi cell capacity}}$$

Ο βασικός τύπος Erlang  $\beta$  εφαρμόζεται έπειτα σε αυτήν την μεγαλύτερη channel pool (= interference pool). Η χωρητικότητα Erlang αποκτηθείσα μοιράζεται έπειτα εξίσου μεταξύ των κυψελών. Η διαδικασία για τη soft capacity συνοψίζεται παρακάτω:

1. Υπολογίστε τον αριθμό καναλιών  $N$  ανά κυψέλη στην loaded περίπτωση ισότητας, με βάση τον uplink συντελεστή φορτίων, Εξίσωση (1.12).
2. Πολλαπλασιάστε εκείνο τον αριθμό καναλιών με  $1 + i$  για να λάβει τη συνολική channel pool στη περίπτωση μαλακού φραξίματος.
3. Υπολογίστε τη μέγιστη προσφερθείσα κυκλοφορία από τον τύπο Erlang  $\beta$ .
4. Διαιρέστε την χωρητικότητα Erlang με  $1 + i$ .

### 1.2.3.2 Παραδείγματα uplink soft capacity

Μερικά αριθμητικά παραδείγματα των υπολογισμών soft capacity δίνονται παρακάτω με τις υποθέσεις που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.8.

Πίνακας 1.8. Υποθέσεις στους υπολογισμούς της soft capacity

Bit rates	Speech: 12.2 kbps Real-time data: 16-144 kbps
Voice activity	Speech 67% Data 100%
$E_b/N_0$	Speech: 4 dB Data 16-32 kbps: 3 dB Data 64 kbps: 2 dB Data 144 kbps: 1.5 dB
$i$	0.55
Noise rise	3 dB (= 50% load factor)
Blocking probability	2%

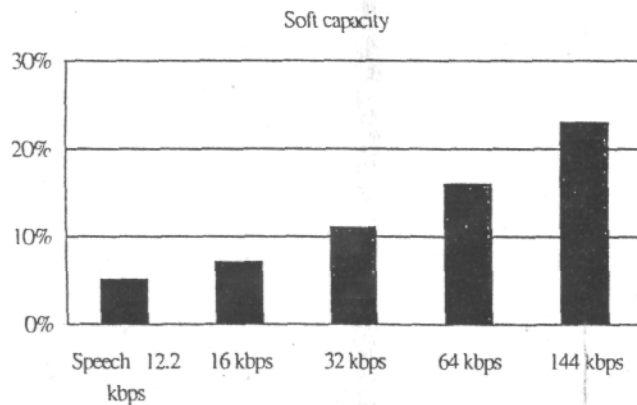
Οι χωρητικότητες που λαμβάνονται και από την άποψη των δύο καναλιών βασισμένων στην εξίσωση (1.12) και Erlang ανά κυψέλη παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.9. Η αποδοτικότητα των ζεύξεων που παρουσιάζεται στον πίνακα 1.9 ορίζεται ως η hard blocked χωρητικότητα που διαιρείται με τον αριθμό των καναλιών. Όσο χαμηλότερη η αποδοτικότητα των ζεύξεων, όπου χαμηλότερη είναι η μέση φόρτωση, τόσο περισσότερη χωρητικότητα μπορεί να δανειστεί από τα διπλανές κυψέλες, όπου είναι διαθέσιμη η softer capacity.



Πίνακας 1.9. Υπολογισμοί soft capacity στην uplink

Bit rate (kbps)	Channels per cell	Hard blocked capacity	Trunking efficiency	Soft blocked capacity	Soft capacity
122	60.5	50.8 Erl	84%	53.5 Erl	5%
16	39.0	30.1 Erl	11%	32.3 Erl	7%
32	19.7	12.9 Erl	65%	14.4 Erl	12%
64	12.5	7.0 Erl	56%	8.2 Erl	17%
144	6.4	2.5 Erl	39%	3.2 Erl	28%

Σημειώνουμε ότι υπάρχει περισσότερη soft capacity για τα υψηλότερα bit rates απ' ό,τι για τα χαμηλότερα bit rates. Αυτή η σχέση παρουσιάζεται στο σχήμα 1.6.



Σχήμα 1.6. Soft capacity ως λειτουργία του bit rate για τις συνδέσεις σε πραγματικό χρόνο

Πρέπει να σημειωθεί ότι το ποσό soft capacity εξαρτάται επίσης από το περιβάλλον διάδοσης και από τον σχεδιασμό δικτύων που έχει επιπτώσεις στην τιμή  $i$ . Η soft capacity μπορεί να ληφθεί μόνο εάν οι radio resource management αλγόριθμοι μπορούν να χρησιμοποιήσουν μια υψηλότερη χωρητικότητα σε μια κυψέλη στη περίπτωση που οι διπλανές κυψέλες έχουν χαμηλότερη φόρτωση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί εάν οι radio resource management αλγόριθμοι είναι βασισμένοι στην ευρείας ζώνης παρεμβολή και όχι στο ρυθμό μετάδοσης ή τον αριθμό των συνδέσεων.

Η παρόμοια soft capacity είναι επίσης διαθέσιμη στην WCDMA downlink καθώς επίσης και στο GSM εάν εφαρμόζονται οι βασισμένοι στη παρεμβολή radio resource management αλγόριθμοι.

## 1.3 Σχεδιασμός χωρητικότητας και κάλυψης

### 1.3.1 Επαναληπτική πρόβλεψη χωρητικότητας και κάλυψης (Iterative Capacity and Coverage Prediction)

Σε αυτό το τμήμα παρουσιάζεται ο λεπτομερής σχεδιασμός χωρητικότητας και κάλυψης. Στη φάση του λεπτομερή σχεδιασμού χρειάζονται τα πραγματικά δεδομένα διάδοσης (real propagation data) από την σχεδιαζόμενη περιοχή, μαζί με την εκτίμηση της πυκνότητας των χρηστών και την κυκλοφορία των χρηστών. Επίσης, απαιτούνται οι πληροφορίες για τις υπάρχουσες περιοχές των σταθμών βάσεων προκειμένου να χρησιμοποιηθούν οι υπάρχουσες «επενδύσεις» (investments) περιοχών. Τα συμπεράσματα του λεπτομερούς σχεδιασμού της χωρητικότητας και της κάλυψης είναι οι θέσεις, τα χαρακτηριστικά και οι παράμετροι των σταθμών βάσεων.

Δεδομένου ότι στο WCDMA όλοι οι χρήστες μοιράζονται τους ίδιους πόρους παρεμβολής δεν μπορούν να αναλυθούν ανεξάρτητα στη air interface. Κάθε χρήστης επηρεάζει τους άλλους και αλλάζει τις ισχύεις εκπομπής τους. Αυτές οι αλλαγές προκαλούν πάλι τις αλλαγές στους ίδιους, και λοιπά. Επομένως, ολόκληρη η διαδικασία πρόβλεψης πρέπει να επαναλαμβάνεται, έως ότου σταθεροποιούν οι ισχύεις εκπομπής. Επίσης, οι ταχύτητες των κινητών, τα σχεδιαγράμματα των multipath καναλιών, το bit rates και ο τύπος υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται διαδραματίζουν σημαντικότερο ρόλο απ' ό,τι στα συστήματα TDMA/FDMA δεύτερης γενεάς. Επιπλέον, στο WCDMA γρήγορο έλεγχο ισχύος η uplink και στην downlink, συμπεριλαμβάνονται η soft/softer handover και τα downlink ορθογώνια κανάλια, τα οποία προσκρούουν επίσης στην επίδοση των συστημάτων. Η κύρια διαφορά μεταξύ της πρόβλεψης της WCDMA και TDMA/FDMA κάλυψης είναι ότι η εκτίμηση της παρεμβολής είναι ήδη κρίσιμη στη φάση πρόβλεψης της κάλυψης στα WCDMA. Στις τρέχουσες διαδικασίες σχεδιασμού της GSM κάλυψης η ευαισθησία των σταθμών βάσεων χαρακτηριστικά υποτιθεται ότι είναι σταθερή και το κατώτατο όριο κάλυψης είναι το ίδιο για κάθε σταθμό βάσεων. Στην περίπτωση WCDMA η ευαισθησία των σταθμών βάσεων εξαρτάται από τον αριθμό χρηστών και των χρησιμοποιημένων bit rates σε όλες τις κυψέλες και έτσι είναι συγκεκριμένες οι κυψέλες και οι υπηρεσίες. Σημειώστε επίσης ότι στα δίκτυα τρίτης γενεάς η downlink μπορεί να είναι φορτωμένη υψηλότερα από την uplink ή και αντίστροφα.

### 1.3.2 Εργαλείο Σχεδιασμού (Planning Tool)

Στα συστήματα δεύτερης γενεάς, ο λεπτομερής σχεδιασμός επικεντρώνεται έντονα στον σχεδιασμό κάλυψης. Στα συστήματα τρίτης γενεάς απαιτείται ένας πιο λεπτομερής σχεδιασμός της παρεμβολής και ανάλυση της χωρητικότητας από μια απλή βελτίωση της κάλυψης. Το εργαλείο σχεδιασμού βοηθάει τον σχεδιαστή για να βελτιστοποιήσει τους σταθμούς βάσεων στα χαρακτηριστικά τους (configurations), την επιλογή των κεραιών, την κατευθύνσεις των κεραιών και ακόμη την τοποθεσία, προκειμένου να συνυπάρχουν η ποιότητα των υπηρεσιών, η χωρητικότητα και οι απαιτήσεις των υπηρεσιών με ελάχιστο δυνατό κόστος. Για να επιτύχει το βέλτιστο αποτέλεσμα το εργαλείο σχεδιασμού πρέπει να έχει τη γνώση των radio resource αλγορίθμων προκειμένου να εκτελεστούν οι διαδικασίες και να ληφθούν οι αποφάσεις, όπως στο πραγματικό δίκτυο. Η uplink και downlink πιθανότητα κάλυψης καθορίζεται για μια συγκεκριμένη υπηρεσία δοκιμάζοντας τη διαθεσιμότητα των υπηρεσιών σε κάθε θέση του σχεδίου.

Η πραγματικά λεπτομερής φάση του σχεδιασμού δεν διαφέρει πολύ από τον σχεδιασμό δικτύων δεύτερης γενεάς. Οι περιοχές και οι τομείς τοποθετούνται στο εργαλείο σχεδιασμού. Η κύρια διαφορά είναι η σημασία του στρώματος κυκλοφορίας (traffic layer). Οι προτεινόμενες λεπτομερείς μέθοδοι ανάλυσης (βλ. τα εξής τμήματα) χρησιμοποιούν ιδιαίτερους κινητούς σταθμούς στην ανάλυση WCDMA. Η πυκνότητα των κινητών σταθμών στις διαφορετικές κυψέλες πρέπει να βασιστεί στην πραγματική πληροφορία κυκλοφορίας. Οι δυναμικές ζώνες (hotspots) μπορούν να προσδιοριστούν ως εισαγωγή για την ακριβή ανάλυση. Μια πηγή πληροφοριών σχετικά με την πυκνότητα χρηστών θα ήταν τα δεδομένα από το δίκτυο δεύτερης γενιάς του χειριστή ή αργότερα από της τρίτης γενιάς.

Το εργαλείο σχεδιασμού που περιγράφεται εδώ διαφέρει από το δυναμικό εξομοιωτή. Το εργαλείο σχεδιασμού είναι ένας στατικός εξομοιωτής που είναι βασισμένος στις μέσες συνθήκες (average conditions) και τα στιγμιότυπα (snapshots) του δικτύου που μπορούν να ληφθούν. Ο δυναμικός εξομοιωτής περιλαμβάνει την κυκλοφορία και τα πρότυπα κινητικότητας που είναι πιθανό να αναπτύξουν και να εξετάσουν τους radio resource management) (RRM) αλγορίθμους σε πραγματικό χρόνο. Οι δυναμικές εξομοιώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μελετήσουν την επίδοση των RRM αλγορίθμων σε πραγματικό περιβάλλον και τα αποτελέσματα των εξομοιώσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μια εισαγωγή σε αυτό το εργαλείο σχεδιασμού των δικτύων. Παραδείγματος χάριν, το δυναμικό εργαλείο στη πράξη μπορεί να εξετάσει την επίδοση των handover αλγορίθμων με τα λάθη μέτρησης και τις καθυστερήσεις και τα αποτελέσματά του να τροφοδοτήσουν το εργαλείο σχεδιασμού των δικτύων. Η δοκιμή των αλγορίθμων RRM απαιτεί την ακριβή διαμόρφωση της WCDMA επίδοσης των συνδέσεων και επομένως μια χρονική ανάλυση που αντιστοιχεί στη συχνότητα ελέγχου ισχύος των 1,5 kHz χρησιμοποιείται στο δυναμικό εξομοιωτή. Μια τέτοια υψηλή ακρίβεια καθιστά το δυναμικό εργαλείο προσομοίωσης σύνθετο και τις προσομοιώσεις πολύ αργές - (χρησιμοποιώντας οι τερματικοί σταθμοί την τρέχουσα κορυφαία-γραμμή υψηλής ταχύτητας) - για πρακτικούς λόγους σχεδιασμού δικτύων. Το ακριβές δυναμικό εργαλείο προσομοίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελέγξει και να αναπτύξει την απλούστερη διαμόρφωση της επίδοσης στο network planning tool. Όταν είναι διαθέσιμα αρκετά αποτελέσματα από τα μεγάλης κλίμακας δίκτυα WCDMA, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη βαθμολόγηση του network planning tool.

### 1.3.2.1 Uplink και Downlink Επαναλήψεις

Ο στόχος των uplink επαναλήψεων είναι να διατεθούν οι ισχύεις των ομοίων κινητών σταθμών εκπομπής έτσι ώστε να συγκλίνουν τα επίπεδα παρεμβολής και οι τιμές ευαισθησίας των σταθμών βάσεων. Το επίπεδο ευαισθησίας των σταθμών βάσεων διορθώνεται από το κατ' εκτίμηση uplink επίπεδο παρεμβολής (άνοδος θορύβου) και επομένως είναι συγκεκριμένη η κυψέλη. Η επίδραση της uplink φόρτωσης στην ευαισθησία λαμβάνεται υπόψη με τον όρο  $-10 \cdot \log_{10}(1 - p_{UL})$ , όπου το  $p_{UL}$  δίνεται από την εξίσωση (1.12). Στη uplink επανάληψη οι ισχύεις εκπομπής των κινητών σταθμών υπολογίζονται με βάση στο επίπεδο ευαισθησίας του καλύτερου server, της υπηρεσίας, της ταχύτητας και των απωλειών των συνδέσεων. Οι ισχύεις εκπομπής συγκρίνονται έπειτα με τη μέγιστη ισχύ εκπομπής των κινητών σταθμών και οι κινητοί σταθμοί που υπερβαίνουν αυτό το όριο τίθενται εκτός λειτουργίας. Έπειτα, η παρεμβολή μπορεί να επαναυπολογιστεί και ορίζονται νέες τιμές και ευαισθησίες φόρτωσης για κάθε σταθμό βάσεων Εάν ο uplink συντελεστής φορτίων είναι υψηλότερος από το όριο, οι κινητοί σταθμοί κινούνται τυχαία από την ιδιαίτερα φορτωμένη κυψέλη σε μια άλλη φέρουσα συχνότητα (εάν το φάσμα το επιτρέπει) ή στη διακοπή λειτουργίας.

Ο στόχος των downlink επαναλήψεων είναι να διατεθούν σωστά οι ισχύεις εκπομπής των σταθμών βάσεων σε κάθε κινητό σταθμό έως ότου το λαμβανόμενο σήμα στον κινητό σταθμό εκπληρώσει τον απαραίτητο  $E_b/N_0$  στόχο.

### 1.3.2.2 Διαμόρφωση της επίδοσης του επιπέδου των συνδέσεων

Στο φάση του dimensioning κατά το σχεδιασμό του ράδιο δίκτυο είναι απαραίτητο να γίνει απλούστευση των υποθέσεων σχετικά με το multipath κανάλι, τον εκπομπό και το δέκτη. Ένα παραδοσιακό πρότυπο είναι να χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος του λαμβανόμενου  $E_b/N_0$  που εξασφαλίζει την απαραίτητη ποιότητα της υπηρεσίας ως βασικό αριθμό, ο οποίος περιλαμβάνει την επίδραση του σχεδιαγράμματος για την καθυστέρηση της ισχύος. Στα συστήματα που χρησιμοποιούν το γρήγορο έλεγχο ισχύος η μέση τιμή του λαμβανόμενου  $E_b/N_0$  δεν είναι αρκετή για να χαρακτηρίσει την επιρροή του

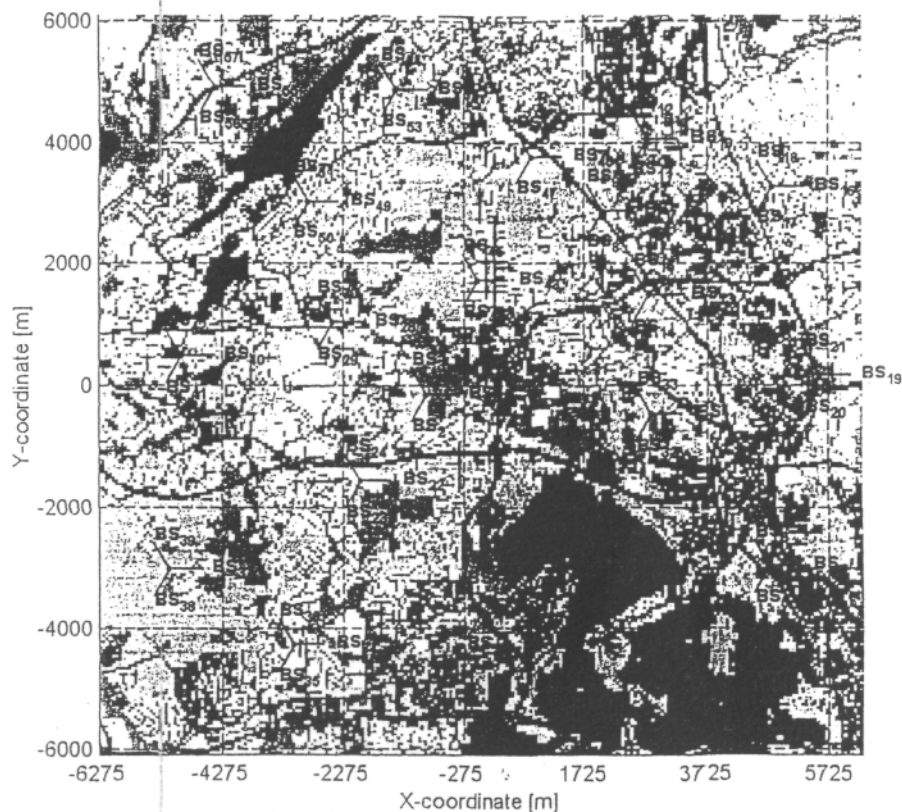
ράδιο καναλιού στην επίδοση των δικτύων. Επίσης, η διανομή της ισχύος εκπομπής πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη διαμόρφωση της link-level επίδοσης στους network-level υπολογισμούς. Μια κατάλληλη προσέγγιση παρουσιάζεται στο για το WCDMA uplink.

Έχει καταδειχθεί ότι λόγω του γρήγορου ελέγχου ισχύος στο multipath εξασθενίζοντας περιβάλλον, εκτός από τη μέση τιμή του λαμβανόμενου λόγου  $E_b/N_0$ , απαιτείται μια μέση άνοδος ισχύος εκπομπής για τους υπολογισμούς της παρεμβολής. Επιπλέον, ένα headroom ελέγχου ισχύος πρέπει να περιληφθεί στην εκτίμηση του link budget για να επιτρέψει στον έλεγχο ισχύος να ακολουθήσει τη γρήγορη εξασθένηση στην άκρη των κυψελών.

Οι multiple links λαμβάνονται υπόψη στον εξομοιωτή κατά το υπολογισμό του κέρδους των soft handover στη μέση λαμβανόμενη και εκπεμπόμενη ισχύ κατά της επίδοσης στο απαραίτητο headroom ελέγχου ισχύος. Κατά τη διάρκεια των εξομοιώσεων οι ισχύεις εκπομπής διορθώνονται από το συντελεστή δραστηριότητας της φωνής, το κέρδος soft handover και τη μέση άνοδο ισχύος για κάθε κινητό σταθμό.

### 1.3.3 Περίπτωση μελέτης (Case Study)

Στο σχήμα 1.7 παρουσιάζεται μια χαρακτηριστική μελέτη που σχεδιάστηκε για τη περιοχή Espoo στη Φιλανδία και περιλαμβάνει περίπου  $12 \times 12 \text{ km}^2$ . Το εργαλείο σχεδιασμού δικτύων που περιγράφηκε στην παράγραφο 1.3.2 χρησιμοποιείται σε αυτήν την περίπτωση μελέτης.



Σχήμα 1.7. Σενάριο δικτύου. Η περιοχή μετρά  $12 \times 12 \text{ km}^2$  και καλύπτεται με 19 σταθμούς βάσεων, και κάθε μια τρεις κυψέλες.

Η απαίτηση της πιθανότητας κάλυψης του operator για τα 8 kbps, τα 64 kbps και τα 384 kbps υπηρεσίας τέθηκαν, αντίστοιχα, σε 95%, 80% και 50%. Η φάση σχεδιασμού άρχισε με τη ράδιο link budget εκτίμηση και τις επιλογές των περιοχών. Στο επόμενο βήμα σχεδιασμού βελτιστοποιήθηκαν οι περιοχές επικράτησης (dominance areas) για κάθε κυψέλη. Σε αυτό το πλαίσιο η επικράτηση συσχετίζεται μόνο με τους όρους διάδοσης (propagation conditions). Η κλίση των κεραιών, η συμπεριφορά και οι θέσεις των περιοχών μπορούν να συντονιστούν για να επιτύχουν τις σαφείς περιοχές επικράτησης για τις κυψέλες. Η βελτιστοποίηση της περιοχής κυριαρχίας είναι κρίσιμη για την παρεμβολή και τη περιοχή του soft handover, και τον έλεγχο της πιθανότητας soft handover. Η βελτιωμένη soft/softer handover επίδοση και η παρεμβολή φαίνονται αυτόματα στη βελτιωμένη χωρητικότητα των δικτύων. Το σχέδιο αποτελείται από 19 three-sectored περιοχές με μέση τιμή μεγέθους ανά περιοχή τα 7.6 km<sup>2</sup>. Στην περιοχή πόλεων ο uplink περιορισμός φόρτωσης τέθηκε στο 75%, που αντιστοιχεί σε μια άνοδο θορύβου 6 dB. Σε περίπτωση που ξεπεράστηκε η φόρτωση, τέθηκε εκτός λειτουργίας ο απαραίτητος αριθμός των κινητών σταθμών με τυχαίο τρόπο (ή μετακινήθηκε άλλη φέρουσα συχνότητα) από τις ιδιαίτερα φορτωμένες κυψέλες. Στον Πίνακα 1.10 παρουσιάζεται η κατανομή των χρηστών στις εξομοιώσεις ενώ οι άλλες παράμετροι εξομοίωσης παρατίθενται στον Πίνακα 1.11.

Πίνακας 1.10. Η κατανομή των χρηστών

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

Πίνακας 1.11. Παράμετροι που χρησιμοποιούνται στον προσομοιωτή

Uplink loading limit	75%
Base station maximum transmission power	20 W (43 dBm)
Mobile station maximum transmission power	300 mW (= 25 dBm)
Mobile station power control dynamic range	70 dB
Slow (log-normal) fading correlation between base	50%
Standard deviation for the slow fading	6dB
Multipath channel profile	ITU Vehicular A
Mobile station speeds	3 km/h and 50 km/h
Mobile/base station noise figures	7 dB/5 dB
Soft handover addition window	-6 dB
Pilot channel power	30 dBm
Combined power for other common channels	30 dBm
Downlink orthogonality	0.5
Activity factor speech/data	50% / 100%
Base station antennas	65V 17dBi
Mobile antennas speech/data	Omni/ 1.5dBi

Και σε στις τρεις περιπτώσεις εξομοίωσης ήταν ενδιαφέρον ο ρυθμός μετάδοσης των κυψελών σε kbps και η πιθανότητα κάλυψης για κάθε υπηρεσία. Επιπλέον, συλλέχθηκαν η soft handover πιθανότητα και τα αποτελέσματα φόρτωσης. Οι πίνακες 1.12 και 1.13 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα εξομοίωσης για το ρυθμό μετάδοσης των κυψελών και τη πιθανότητα κάλυψης. Η μέγιστη uplink φόρτωση τέθηκε στο 75% σύμφωνα με τον πίνακα 1.11. Σημειώστε ότι στον πίνακα 1.12 σε μερικές κυψέλες η φόρτωση είναι χαμηλότερη από 75% και αντίστοιχα ο ρυθμός μετάδοσης είναι επίσης χαμηλότερος από την επιτεύξιμη μέγιστη τιμή. Ο λόγος είναι ότι δεν υπήρξε αρκετή προσφερθείσα κυκλοφορία στην περιοχή για να φορτώσει πλήρως τις κυψέλες. Η φόρτωση στη κυψέλη 5 ήταν 75%. Η κυψέλη 5 βρίσκεται στη χαμηλότερη δεξιά γωνία στο Σχήμα 1.7 και δεν υπάρχει καμιά άλλη κυψέλη κοντά του. Επομένως, αυτή η κυψέλη έχει μεγαλύτερη κυκλοφορία από τις άλλες κυψέλες. Για παράδειγμα, οι κυψέλες 2 και 3 είναι στη μέση της περιοχής και δεν υπάρχει αρκετή κυκλοφορία για να τις φορτώσει πλήρως.

Πίνακας 1.12. Ο ρυθμός μετάδοσης των κυψελών, φόρτωση και soft handover (SHO) overhead.  
UL = uplink, DL = downlink

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

Ο πίνακας 1.13 δείχνει ότι η ταχύτητα των κινητών σταθμών ασκεί επίδραση στο ρυθμό μετάδοσης και στην πιθανότητα κάλυψης. Όταν οι κινητοί σταθμοί κινούνται με 50 km/h, μπορούν να εξυπηρετηθούν λιγότεροι, ο ρυθμός μετάδοσης είναι χαμηλότερος και η προκύπτουσα φόρτωση είναι υψηλότερη από όταν οι κινητοί σταθμοί κινούνται στα 3 km/h. Εάν οι τιμές του ρυθμού μετάδοσης ομαλοποιηθούν για να αντιστοιχούν στην ίδια τιμή φόρτωσης, η διαφορά μεταξύ των 3 km/h και 50 km/h είναι περισσότερο από 20%. Η καλύτερη χωρητικότητα με τους slower-moving κινητούς σταθμούς μπορεί να εξηγηθεί από την καλύτερη επίδοση του  $E_b/N_0$ . Ο γρήγορος έλεγχος ισχύος είναι σε θέση να ακολουθήσει το εξασθενημένο σήμα και μειώνεται ο απαραίτητος στόχος  $E_b/N_0$ . Η χαμηλότερη τιμή των στόχων μειώνει το γενικό επίπεδο παρεμβολής και μπορούν να εξυπηρετηθούν περισσότεροι χρήστες στο δίκτυο.

Συγκρίνοντας την πιθανότητα κάλυψης, οι faster-moving κινητοί σταθμοί έχουν καλύτερη ποιότητα από τους αργούς επειδή απαιτείται ένα headroom στην ισχύ εκπομπής του κινητού για να διατηρήσει ο γρήγορος έλεγχος ισχύος - δείτε την Παράγραφο 1.2.1. Η επίδραση της ταχύτητας μπορεί να φανεί ειδικά εάν το bit rate που χρησιμοποιείται είναι υψηλό επειδή για χαμηλό bit rate η κάλυψη οφείλεται καλύτερα στο μεγαλύτερο κέρδος επεξεργασίας (processing gain). Η κάλυψη εξετάζεται σε αυτό το εργαλείο σχεδιασμού με τη χρησιμοποίηση ενός κινητού δοκιμής αφότου έχουν συγκλίνει οι uplink επαναλήψεις. Υποτίθεται ότι αυτή η δοκιμή κινητού δεν έχει επιπτώσεις στη φόρτωση του δικτύου.

Πίνακας 1.13. Τα αποτελέσματα της πιθανότητας κάλυψης

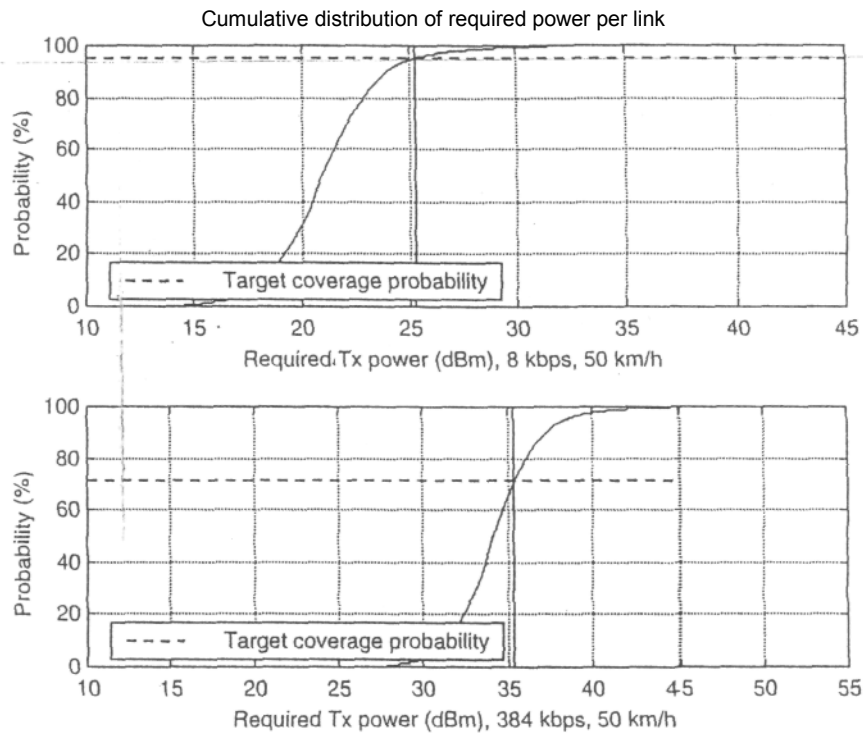
Basic loading mobile speed 3 km/h	Test mobile speed:	
	3 km/h	50 km/h
8 kbps	96.6%	97.7%
64 kbps	84.6%	88.9%
384 kbps	66.9%	71.4%
Basic loading: mobile speed 50 km/h	Test mobile speed:	
	3 km/h	50 km/h
8 kbps	95.5%	97.1%
64 kbps	82.4%	87.2%
384 kbps	63.0%	67.2%
Basic loading: mobile 3 and 50 km/h	Test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

Η ανάλυση της downlink πιθανότητας κάλυψης είναι διαφορετική από την uplink. Στη uplink κατεύθυνση ο περιοριστικός συντελεστής είναι η μέγιστη ισχύ εκπομπής του κινητού σταθμού. Στη downlink κατεύθυνση οι περιορισμοί εξαρτώνται από τους RRM αλγορίθμους που χρησιμοποιούνται. Ένας περιορισμός στην downlink κατεύθυνση είναι η συνολική ισχύ εκπομπής των σταθμών βάσεων. Εκτός από αυτόν, ένα άλλο όριο μπορεί να ληφθεί στη χρήση: το όριο ισχύος ανά ράδιο σύνδεση. Το σχήμα 1.8 παρουσιάζει παράδειγμα για ανάλυση downlink κάλυψης για τη λεκτική υπηρεσία. Μπορεί να φανεί ότι εάν η ισχύ ανά περιορισμό συνδέσεων επιλέγεται σωστά, η downlink πιθανότητα κάλυψης μπορεί να έχει την ίδια τιμή με τη uplink πιθανότητα κάλυψης. Κατά συνέπεια, οι περιοχές υπηρεσιών uplink και downlink μπορούν να ισορροπηθούν. Οι απαραίτητες ισχύεις ανά σύνδεση στο σχήμα 1.8 είναι οι μέσες ισχύεις και δεν περιλαμβάνουν το fast fading margin.

Αυτό το παράδειγμα καταδεικνύει τον αντίκτυπο των παραμέτρων του χρήστη, δηλ. η χρησιμοποιούμενη υπηρεσία και η ταχύτητα των κινητών σταθμών, στην επίδοση των δικτύων. Αποδεικνύεται ότι η χαμηλότερη ταχύτητα των κινητών σταθμών παρέχει καλύτερη χωρητικότητα: ο αριθμός των κινητών σταθμών που εξυπηρετούνται όπως και ο ρυθμός μετάδοσης των κυψελών είναι υψηλότερος στην περίπτωση των 3 km/h απ' ό,τι στην περίπτωση των 50 km/h.

Συγκρίνοντας την πιθανότητα κάλυψης, είναι διαφορετικός ο αντίκτυπος της ταχύτητας των κινητών σταθμών. Η υψηλότερη ταχύτητα μειώνει το fast fading margin και έτσι η πιθανότητα κάλυψης βελτιώνεται όταν αυξάνεται η ταχύτητα των κινητών σταθμών.

Το εργαλείο σχεδιασμού δικτύων αποδείχθηκε ότι είναι χρήσιμο για την εξάρτηση μεταξύ της χωρητικότητας και της κάλυψης σε WCDMA δίκτυα. Επίσης, οι τομείς κάλυψης των διαφορετικών bit rates μπορούν να αξιολογηθούν για επιλεγμένες περιοχές σταθμών βάσεων και μπορούν να θέσουν τις παραμέτρους για τους RRM αλγόριθμους.



Σχήμα 1.8. Ένα παράδειγμα ανάλυσης της downlink κάλυψης. Για τη λεκτική υπηρεσία (8 kbps, 50 km/h) το όριο για τη ράδιο σύνδεση τέθηκε στα 25 dBm για να επιτύχει την πιθανότητα κάλυψης 95%. Στην περίπτωση των 384 kbps και απαίτηση πιθανότητας κάλυψης 71%, το όριο ανά ράδιο σύνδεση θα ήταν 35 dBm

### 1.3.4 Βελτιστοποίηση δικτύων

Η βελτιστοποίηση των δικτύων είναι μια διαδικασία για να βελτιώσει τη γενική ποιότητα των δικτύων όπως βιώνεται από τους συνδρομητές των κινητών και για να εξασφαλίσει ότι χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά οι πόροι των δικτύων. Η βελτιστοποίηση περιλαμβάνει την ανάλυση του δικτύου και την βελτίωση των χαρακτηριστικών (configurations) των δικτύων και την επίδοσή τους.



Η μετάβαση στο σχήμα 1.1 είναι ομαλή από το λεπτομερή σχεδιασμό της χωρητικότητας και κάλυψης στη λειτουργία και τη βελτιστοποίηση δικτύων. Οι στατιστικές των βασικών δεικτών επίδοσης για το λειτουργικό δίκτυο παρουσιάζονται από το εργαλείο ανάλυσης των δικτύων και οι RRM παράμετροι μπορούν να συντονιστούν για την καλύτερη επίδοση. Ένα παράδειγμα μιας παραμέτρου βελτιστοποίησης είναι η βελτιστοποίηση της μαλακής παράδοσης (soft handover) σε μια περιοχή. Το εργαλείο ανάλυσης θέσης των δικτύων θα μπορούσε να είναι ένα ενσωματωμένο μέρος του εργαλείου σχεδιασμού των ράδιο δικτύων που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 1.3.2. Η αύξηση κυκλοφορίας του δικτύου απαιτεί τη συνεχή αλληλεπίδραση του εργαλείου σχεδιασμού και του λειτουργικού δικτύου. Αναλύεται η χωρητικότητα του τρέχοντος δικτύου να υποστηριχθεί η αύξηση κυκλοφορίας πρόβλεψης και το ράδιο σχέδιο των δικτύων μπορεί να υποβληθεί σε περαιτέρω επεξεργασία βασισμένο σε πραγματικές μετρήσεις δεδομένων.

Η πρώτη φάση της διαδικασίας βελτιστοποίησης είναι να καθοριστούν οι βασικοί δείκτες επίδοσης. Αυτοί αποτελούνται από τις μετρήσεις στο σύστημα διαχείρισης δικτύων και από τις μετρήσεις των data στο πεδίο ή οποιοδήποτε άλλων πληροφοριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν την ποιότητα της υπηρεσίας του δικτύου. Με τη βοήθεια του συστήματος διαχείρισης δικτύων είναι δυνατό να αναλυθεί το παρελθόν, το παρόν και το μέλλον της επίδοσης του δικτύου.

Η επίδοση των RRM αλγορίθμων και των παραμέτρων τους μπορεί να αναλυθεί χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των δεικτών επίδοσης. Οι RRM αλγόριθμοι περιλαμβάνουν τις handovers, τον έλεγχο ισχύος, το σχεδιασμό πακέτων, την εισαγωγή και τον έλεγχο φορτίων.

Η ποιοτική ανάλυση δικτύων έχει ως σκοπό να δώσει μια άποψη σε έναν operator της ποιότητας και της επίδοσης των δικτύων. Η ποιοτική ανάλυση και η υποβολή έκθεσης αποτελούνται από τον σχεδιασμό, τις μετρήσεις των πεδίων και τις μετρήσεις των συστημάτων διαχείρισης των δικτύων. Αφού διευκρινιστούν τα κριτήρια της ποιότητας των υπηρεσιών και αναλυθούν τα δεδομένα, μπορεί να παραχθεί μια έκθεση ερευνών. Για τα συστήματα δεύτερης γενεάς έχει διευκρινιστεί η ποιότητα της υπηρεσίας, όπως για παράδειγμα, η στατιστική των χαμένων κλήσεων, η ανάλυση της αιτίας των χαμένων κλήσεων, η στατιστική για το handover και η στατιστική για τη μέτρηση των επιτυχών κλήσεων. Για τα συστήματα τρίτης γενεάς που έχουν μεγαλύτερη ποικιλία υπηρεσιών πρέπει να παραχθούν νέοι ορισμοί της ποιότητας της υπηρεσίας για την ποιοτική ανάλυση.

Η αυτόματη βελτιστοποίηση είναι σημαντική στα δίκτυα τρίτης γενεάς, δεδομένου ότι υπάρχουν περισσότερα υπηρεσίες και bit rates απ' ό,τι στα δίκτυα δεύτερης γενεάς και η «χειρωνακτική» βελτιστοποίηση θα ήταν χάσιμο χρόνου. Η αυτόματη ρύθμιση πρέπει να δώσει μια γρήγορη απάντηση στους μεταβαλλόμενους όρους της κυκλοφορίας στο δίκτυο. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην αρχή της ανάπτυξης των δικτύων τρίτης γενιάς, μερικές μόνο παράμετροι μπορούν να συντονιστούν αυτόματα και επομένως πρέπει να διατηρηθεί ακόμα η διαδικασία βελτιστοποίησης τύπων δεύτερης γενιάς.

## 1.4 GSM Co-planning

Η χρησιμοποίηση των υπάρχουσων περιοχών των σταθμών βάσεων είναι σημαντική στην επιτάχυνση για την ανάπτυξη των WCDMA δικτύων, στη διανομή των περιοχών και το κόστος εκπομπής με το υπάρχον σύστημα δεύτερης γενεάς. Η επιτευξιμότητα των περιοχών εξαρτάται από τη σχετική κάλυψη του υπάρχοντος δικτύου σε σχέση με το WCDMA. Σε αυτό το τμήμα συγκρίνουμε τη σχετική uplink κάλυψη της ύπαρξης GSM900 και GSM 1800 full-rate λεκτική υπηρεσίας με ομιλία WCDMA στα 144 kbps και 384 kbps. Ο Πίνακας 1.14 παρουσιάζει τις υποθέσεις που γίνονται και τα αποτελέσματα της σύγκρισης για τη κάλυψη. Η μέγιστη path loss των WCDMA στα 144 kbps είναι 3 dB μεγαλύτερη απ' ό,τι στον Πίνακα 1.4. Η διαφορά οφείλεται στο μικρότερο interference margin και στο χαμηλότερο noise figure των δεκτών των σταθμών βάσεων και όχι στην απώλεια των καλωδίων. Σημειώστε επίσης ότι το κέρδος του soft handover συμπεριλαμβάνει το fast fading margin στον πίνακα 1.14 και υποτίθεται ότι η ισχύς των κινητών σταθμών είναι 21 dBm.

Ο πίνακας 1.14 δείχνει ότι η μέγιστη path loss των 144 kbps είναι η ίδια με τη λεκτική υπηρεσία του GSM 1800. Επομένως, μπορεί να παρασχεθεί η ίδια πιθανότητα κάλυψης με την ομιλία GSM 1800 στα 144 kbps WCDMA κατά τη χρησιμοποίηση περιοχών GSM 1800. Εάν οι περιοχές GSM 900 χρησιμοποιούνται για WCDMA και απαιτείται πλήρης κάλυψη 144 kbps, απαιτείται μια βελτίωση κάλυψης 10 dB στα WCDMA. Αυτή η σύγκριση υποθέτει ότι οι περιοχές GSM 900 σχεδιάζονται σαν coverage-limited. Στις πυκνοκατοικημένες περιοχές, εντούτοις, οι κυνέλες GSM 900 είναι χαρακτηριστικά μικρότερες για να παρέχουν αρκετή χωρητικότητα. Η παράγραφος 2.2 αναλύει την uplink κάλυψη WCDMA και παρουσιάζει διάφορες λύσεις για τη βελτίωση της κάλυψης WCDMA για να ταιριάζει την πυκνότητα με τις περιοχές GSM.

Εάν χρησιμοποιούνται υψηλής ισχύος τερματικά με μια ισχύ εκπομπής των 24 dBm, η κάλυψη θα είναι 3 dB καλύτερα απ' ό,τι με ισχύ παραγωγής 21 dBm.

Πίνακας 1.14. Χαρακτηριστικές μέγιστες path losses με το υπάρχον GSM και με WCDMA

	GSM900 / speech	GSM 1 800 / speech	WCDMA / speech	WCDMA / 144 kbps	WCDMA / 384 kbps
Mobile transmission power	33 dBm	30 dBm	21 dBm	21 dBm	21 dBm
Receiver sensitivity	-110dBm	-110 dBm	-124 dBm	-117 dBm	-113 dBm
Interference margin <sup>2</sup>	1.0 dB	0.0 dB	2.0 dB	2.0 dB	2.0 dB
Fast fading margin <sup>3</sup>	2.0 dB	2.0 dB	2.0 dB	2.0 dB	2.0 dB
Base station antenna gain <sup>4</sup>	16.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi
Body loss <sup>5</sup>	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	—	—
Mobile antenna gain <sup>6</sup>	0.0 dBi	0.0 dBi	0.0 dBi	2.0 dBi	2.0 dBi
Relative gain from lower frequency compared to UMTS frequency	11.0 dB	1.0 dB			
Maximum path loss	164.0 dB	154.0 dB	156.0 dB	154.0 dB	150.0 dB

<sup>1</sup>WCDMA sensitivity assumes 4.0 dB base station noise figure and  $E_b/N_0$  of 5.0 dB for 12.2 kbps speech, 1..5 dB for 144 kbps and 1.0 dB for 384 kbps data. GSM sensitivity is assumed to be -110 dBm with receive antenna diversity.

<sup>2</sup>The WCDMA interference margin corresponds to 37% loading of the pole capacity: see Figure 8.2. An interference margin of 1.0 dB is reserved for GSM900 because the small amount of spectrum in 900 MHz. does not allow large reuse factors.

<sup>3</sup>The fast fading margin for WCDMA includes the macro diversity gain against fast fading.

<sup>4</sup>The antenna gain assumes three-sector configuration in both GSM and WCDMA.

<sup>5</sup>The body loss accounts for the loss when the terminal is close to (he user's head).

<sup>6</sup>A 2.0 dBi antenna gain is assumed for the data terminal.

<sup>7</sup>The attenuation in 900 MHz is assumed to be 11.0 dB lower than in UMTS band and in GSM 1800 band 1.0 dB lower than in UMTS band.

Η downlink κάλυψη WCDMA παρουσιάζεται στην παράγραφο 2.2.3 και αποδεικνύεται ότι είναι καλύτερη από τη uplink κάλυψη. Επομένως, είναι δυνατό να παρασχεθεί η πλήρης downlink κάλυψη ακόμη και για bit rate υψηλότερο από τα 144 ή 384 kbps που χρησιμοποιούν οι περιοχές GSM 1800.

Οποιαδήποτε σύγκριση της κάλυψης WCDMA και του GSM εξαρτάται από τις ακριβείς τιμές ευαισθησίας των δεκτών και από τις παραμέτρους των συστημάτων όπως είναι οι παράμετροι του handover και frequency hopping. Αυτό που παρουσιάζεται στον πίνακα 1.14 είναι ένας υπολογισμός παραδείγματος. Σημειώστε επίσης ότι στόχος αυτής της άσκησης είναι να συγκριθεί η κάλυψη των συστημάτων των σταθμών βάσεων GSM που έχουν επεκταθεί μέχρι σήμερα, με την κάλυψη WCDMA που είναι σε αρχική φάση ανάπτυξης κατά τη διάρκεια του έτους 2001-2002.

## 1.5 Παρεμβολή Multi-operator

### 1.5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το τμήμα, μελετάται η επίδραση της παρεμβολής καναλιών μεταξύ δύο operators κοντινών συχνοτήτων. Η παρεμβολή παρακείμενων καναλιών πρέπει να εξεταστεί επειδή έχει επιπτώσεις σε όλα τα ευρείας ζώνης συστήματα όπου δεν είναι δυνατές οι μεγάλες guard bands, κάτι το οποίο επηρεάζει και το WCDMA δίκτυο. Εάν οι παρακείμενες συχνότητες απομονώνονται στην περιοχή συχνότητας από τις μεγάλες guard bands, σπαταλιέται φάσμα συχνότητας λόγω του μεγάλου εύρους ζώνης συστημάτων. Οι σφιχτές απαιτήσεις των spectrum mask για έναν εκπομπό και οι υψηλές απαιτήσεις επιλεκτικότητας για έναν δέκτη, στον κινητό σταθμό και στο σταθμό βάσεων, θα εγγυώνταν χαμηλή παρεμβολή παρακείμενων καναλιών. Εντούτοις, αυτές οι απαιτήσεις έχουν μεγάλη επίδραση, ειδικά στην εφαρμογή ενός μικρού κινητού σταθμού WCDMA.

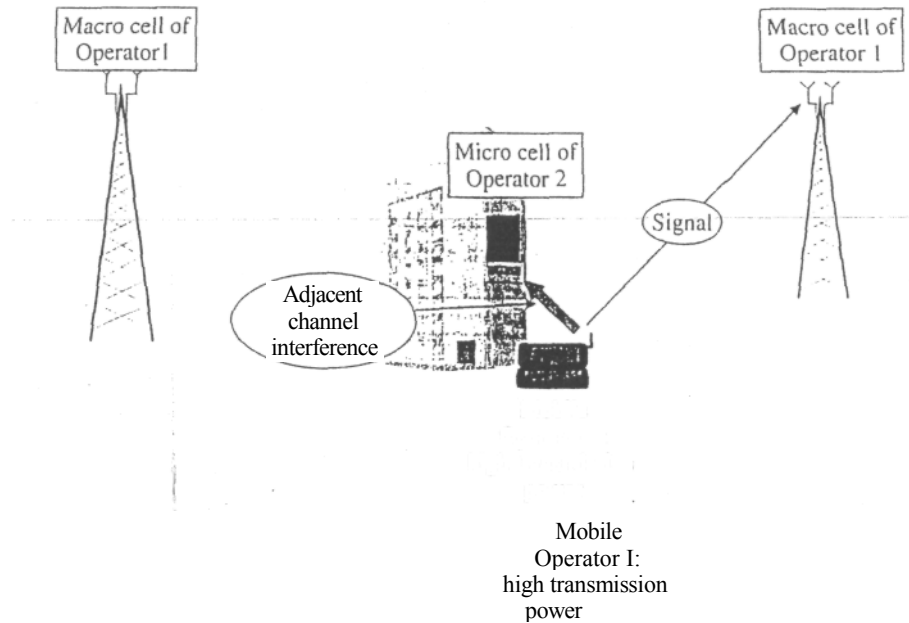
Σε αυτό το τμήμα, η αναλογία ισχύος της παρεμβολής παρακείμενων καναλιών (Adjacent Channel Interference power Ratio) (ACIR) ορίζεται ως η αναλογία της ισχύος εκπομπής προς την ισχύ που μετρείται μετά από το φίλτρο του δέκτη στο παρακείμενο κανάλι. Η εκπεμπόμενη και λαμβανόμενη ισχύ μετριούνται με ένα φίλτρο που έχει Root-Raised Cosine ίσο με 0,22 και ένα εύρος ζώνης ίσο με το chip rate. Η παρεμβολή παρακείμενων καναλιών προκαλείται λόγω των μη ιδανικών εκπομπών και του ατελούς φιλτραρίσματος των δεκτών. Στην uplink και downlink σύνδεση η επίδοση των παρακείμενων καναλιών περιορίζεται από την επίδοση του κινητού. Στην uplink η κύρια πηγή παρεμβολής παρακείμενων καναλιών είναι ο μη γραμμικός ενισχυτής ισχύος στον κινητό σταθμό, ο οποίος εισάγει τη διαρροή ισχύος των παρακείμενων καναλιών. Στη downlink ο περιοριστικός συντελεστής για την παρεμβολή παρακείμενων καναλιών είναι η επιλεκτικότητα των δεκτών του WCDMA τερματικού. Οι απαιτήσεις για την επίδοση των παρακείμενων καναλιών παρουσιάζονται στον πίνακα 1.15 και ισχύουν και για την uplink και downlink σύνδεση.

Πίνακας 1.15. Απαιτήσεις για την επίδοση των παρακείμενων καναλιών

Frequency separation	Required attenuation
Adjacent carrier (5 MHz separation)	33 dB
Second adjacent carrier (10 MHz separation)	43 dB

Ένα δύσκολο σενάριο παρεμβολής όπου η παρεμβολή παρακείμενων καναλιών μπορεί να έχει επιπτώσεις στην επίδοση των δικτύων, παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.9. Αυτό υποθέτει ότι υπάρχει ένα μεγάλο macro cell για τον operator 1 και μικρά micro cells για το operator 2. Στο σχήμα 1.9 ο operator 1 του κινητού εκπέμπει υψηλή ισχύ σε ένα απόμακρο macro cell και συγχρόνως βρίσκεται πολύ κοντά σε έναν από τα micro cells του δεύτερου operator.

Παρακάτω πρέπει να υποθέσουμε ότι τα macro και micro cells είναι κοντινές συχνότητες. Μέρος της εκπομπής του κινητού διαρρέει στον διπλανό φέρον και προκαλεί ενδεχομένως παρεμβολή στην υποδοχή του micro cell.



Σχήμα 1.9. Παρεμβολή παρακείμενων καναλιών uplink από το macro κινητό στο micro σταθμό βάσεων

Στα εξής τμήματα η επίδραση της παρεμβολής παρακείμενων καναλιών σε αυτό το σενάριο παρεμβολής αναλύεται από τους υπολογισμούς της χειρότερης περίπτωσης και τις εξομοιώσεις των συστημάτων. Θα αποδειχθεί ότι οι υπολογισμοί στη χειρότερη περίπτωση δίνουν πολύ κακά αποτελέσματα αλλά και ότι το σενάριο της χειρότερης περίπτωσης είναι εξαιρετικά απίθανο να συμβεί σε πραγματικά δίκτυα. Επομένως, οι εξομοιώσεις χρησιμοποιούνται για να μελετήσουν αυτό το σενάριο παρεμβολής. Τέλος, συνάγονται τα συμπεράσματα σχετικά με την παρεμβολή παρακείμενων καναλιών και συζητούνται οι επιπτώσεις στο σχεδιασμό δικτύων.

## 1.5.2 Uplink υπολογισμοί της χειρότερης περίπτωσης

Σε αυτό το τμήμα παρουσιάζεται το σενάριο για τη χειρότερη περίπτωση στη παρακείμενη παρεμβολή καναλιών. Η χειρότερη περίπτωση για τη παρακείμενη παρεμβολή καναλιών εμφανίζεται όταν εκπέμπει μεγάλη ισχύ ένα κινητό πολύ κοντά σε έναν σταθμό βάσεων που λαμβάνει σε κοντινή φέρουσα συχνότητα. Η ελάχιστη απώλεια συζεύξεων (coupling loss) υποτίθεται ότι είναι 50 dB. Η ελάχιστη απώλεια συζεύξεων ορίζεται ως η ελάχιστη path loss μεταξύ των κινητών και των κεραιών των σταθμών βάσεων. Οι άλλες υποθέσεις στους υπολογισμούς για τη χειρότερη περίπτωση παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.16 και τα αποτελέσματα στον Πίνακα 1.17.

Πίνακας 1.16. Υποθέσεις uplink στους υπολογισμούς της χειρότερης περίπτωσης της παρεμβολής παρακείμενων καναλιών

Minimum coupling loss between mobile and micro cell in Figure 1.9	50 dB
Mobile transmission power	Maximum power 21 dBm
Micro base station noise figure	5dB

Πίνακας 1.17. Αποτελέσματα υπολογισμών της uplink χειρότερης περίπτωσης.

Thermal noise level with 3.84 Mcps	-108.2 dBm
Thermal noise level in the micro cell base station receiver	-108.2 dBm + 5 dB = -103.2 dBm
Interference from the adjacent channel	21 dBm-50dB-33dB(ACIR) = -62 dBm
Noise rise due to adjacent channel interference	-62 dBm -(-103.2 dBm) = 41.2dB

Η παρεμβολή παρακείμενων καναλιών στο micro cell του δέκτη των σταθμών βάσεων είναι -62 dBm από την οποία τα 41 dB είναι επάνω από το επίπεδο του θερμικού θορύβου του δέκτη. Μια τέτοια υψηλή αύξηση στο επίπεδο παρεμβολής θα είχε επιπτώσεις σαφώς στη uplink περιοχή κάλυψης του micro cell. Εντούτοις, είναι εξαιρετικά απίθανο ότι αυτό το θα συνέβαινε στο σενάριο χειρότερης περίπτωσης. Απαιτείται ότι οι ακόλουθοι όροι τηρούνται συγχρόνως:

- Ο operator 1 του κινητού εκπέμπει με πλήρη ισχύ 21 dBm.
- Ο operator 1 του κινητού βρίσκεται πολύ κοντά στο operator 2 στη κεραία του micro σταθμό βάσεων. Η ελάχιστη απώλεια συζεύξεων των 50 dB εμφανίζεται μόνο εάν η κεραία του σταθμού βάσεων είναι πολύ χαμηλή και το κινητό να βρίσκεται κοντά στην κεραία.
- Ο operator 1 του κινητού εκπέμπει σε παρακείμενη φέρουσα συχνότητα. Εάν υπάρχει μια φέρουσα συχνότητα μεταξύ της εκπομπής και της υποδοχής, η ισχύ της παρεμβολής παρακείμενων καναλιών μειώνεται 10 dB περισσότερο απ' ό,τι σε παρακείμενη φέρουσα συχνότητα σύμφωνα με τον πίνακα 1.16
- Το noise figure του micro cell των σταθμού βάσεων, συμπεριλαμβανομένων της απώλειας των καλωδίων, είναι μόνο 5 dB. Εάν η ευαισθησία δεν είναι τόσο καλή, ο σταθμός βάσεων είναι λιγότερο ευαίσθητος στην παρεμβολή των παρακείμενων καναλιών.

Ακόμα κι αν υπάρχει αυξανόμενη παρεμβολή στο δέκτη των σταθμών βάσεων αυτό δεν οδηγεί απαραίτητα οποιεσδήποτε σε χαμένες κλήσεις στο micro cell. Οδηγεί, εντούτοις, σε μια μειωμένη περιοχή κάλυψης, αν και αυτό μπορεί να μην είναι πρόβλημα εάν δεν περιορίζεται η κάλυψη του micro cell.

Δεδομένου ότι το σενάριο της χειρότερης περίπτωσης που συζητείται παραπάνω είναι απίθανο να συμβεί, μια προσέγγιση εξομοιώσεις χρησιμοποιείται στην παράγραφο 1.5.4 για να μελετηθεί στην πράξη η επίδραση της παρεμβολής παρακείμενων καναλιών στην επίδοση των ράδιο δικτύων WCDMA.

### 1.5.3 Downlink Φράξιμο

Πρέπει να σημειώσουμε ότι ο operator 1 του κινητού λαμβάνει την παρεμβολή παρακείμενων καναλιών στην downlink από το δεύτερο operator του σταθμού βάσεων και η σύνδεσή τους πιθανώς να χαθεί προτού ο χρήστης να είναι σε θέση να βρίσκεται εξαιρετικά κοντά στο δεύτερο operator του σταθμού βάσεων. Αυτό συμβαίνει επειδή η επιλεκτικότητα του κινητού δέκτη δεν είναι τέλεια και το κινητό λαμβάνει παρεμβολή από το micro cell του σταθμού βάσεων σε παρακείμενη φέρουσα συχνότητα. Το χάσιμο του downlink μπορεί ακόμη και να θεωρηθεί επιθυμητό. Είναι προτιμότερο να χαθεί μια σύνδεση στη downlink από το να επιτρέψει στο κινητό να παρεμποδίσει όλες uplink συνδέσεις μιας κυψέλης. Το χάσιμο μιας σύνδεσης downlink εξαρτάται από τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να διατεθεί σε μια σύνδεση από το macro cell σταθμό βάσεων या να αντισταθμίσει την αυξανόμενη παρεμβολή στην λήψη του κινητού.

Εάν ένα κινητό υπόκειται σε παρεμβολή παρακείμενων καναλιών στην downlink από έναν κοντινό σταθμό βάσεων, μπορεί να αποφύγει την παρεμβολή με την παραγωγή μιας inter-frequency handover σε άλλο φέρον WCDMA του operator. Οι inter-frequency handover μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αποφύγουν τα προβλήματα της παρεμβολής παρακείμενων καναλιών στην downlink.

Αυτό το downlink φράξιμο δεν συμβαίνει όπου υπάρχει παρεμβολή μεταξύ συστημάτων UTRA FDD και TDD και επομένως οι δυσκολότερες uplink καταστάσεις παρεμβολής μπορούν να εμφανιστούν μεταξύ FDD και TDD απ' ό,τι μέσα στη μπάνα του FDD.

### 1.5.4 Uplink προσομοιώσεις

Η επίδραση της παρεμβολής παρακείμενων καναλιών από ένα macro cell κινητό σε ένα micro cell σταθμό βάσεων μελετάται σε αυτό το τμήμα με έναν εξομοιωτή συστημάτων. Ο υπολογισμός για το σενάριο της χειρότερης περίπτωσης παρεμβολής παρουσιάστηκε στην παράγραφο 1.5.2 αν και εκείνο το σενάριο είναι πολύ απίθανο να συμβεί. Στην προσέγγιση της εξομοιώσεως η επίδραση της παρεμβολής παρακείμενων καναλιών μπορεί να αναλυθεί με μια ρεαλιστικότερη προσέγγιση. Το σύστημα του εξομοιωτή περιέλαβε τα macro cells, τα micro cells και όλα τα κινητά που συνδέθηκαν με τις κυψέλες. Η ελάχιστη απώλεια συζεύξεων σε αυτές τις εξομοιώσεις ήταν 53 dB που είναι μια πολύ χαμηλή τιμή και εμφανίζεται μόνο εάν το κινητό βρίσκεται πολύ κοντά στην κεραία των σταθμών βάσεων.

Πίνακας 1.18. Σημαντικές παράμετροι προσομοίωσης για τη παρεμβολή παρακείμενων καναλιών.

Parameter	Value
Minimum coupling loss	53 dB
Macro-to-macro base station distance	1000 m
Micro-to-micro base station distance	180m
Mobile maximum power	21 dBm
Maximum allowed noise rise in micro cell	20 dB
Maximum allowed noise rise in macro cell	6dB

Το ονομαστικό διάστημα καναλιών (nominal channel spacing) WCDMA είναι 5 MHz με ένα chip rate 3,84 Mcps. Σε αυτές τις εξομοιώσεις έχει χρησιμοποιηθεί το παλιό bit rate των 4.096 Mcps. Το chip rate των 3,84 Mcps βελτιώνει την επίδοση των παρακείμενων καναλιών από 0.5-0.7 dB σε σχέση με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε αυτό το τμήμα.

Στην uplink όλα τα κανάλια υποτίθεται ότι είναι κανάλια κυκλοφορίας των 8 kbps ομιλίας και δεν υπολογίζεται κανένα φορτίο, λόγω των καναλιών ελέγχου. Στην downlink τα κοινά κανάλια ελέγχου διαμορφώνονται και συμβάλλουν στη ισχύ εκπομπής των σταθμών βάσεων. Ο παράγοντας ορθογωνικότητας είναι 0,4.

Σε αυτές τις εξομοιώσεις η μέγιστη επιτρεπόμενη αύξηση θορύβου είναι 20 dB στα micro cells και 6 dB στα macro cells. Η άνοδος θορύβου είναι η αύξηση στο ευρείας ζώνης (wideband) επίπεδο παρεμβολής, εκτός από το θερμικό θόρυβο στην λήψη των σταθμών βάσεων. Για τα μεγάλα macro cells επιτρέπεται μια μικρότερη άνοδος θορύβου επειδή μια υψηλότερη άνοδος θορύβου μειώνει την περιοχή κάλυψης. Στις εξομοιώσεις η μέγιστη φόρτωση επιλέχτηκε iteratively έτσι ώστε οι προκαθορισμένες μέγιστες τιμές της ανόδου θορύβου να μην ξεπεραστούν ακόμα κι αν υπάρχει παρεμβολή από το παρακείμενο κανάλι. Αυτή η προσέγγιση αντιστοιχεί στην περίπτωση όπου σε πραγματικό χρόνο οι RRM αλγόριθμοι όπως ο έλεγχος λήψης, ο έλεγχος φορτίων και ο scheduler κατέκτων κρατούν τη uplink φόρτωση μέσα στα όρια του σχεδιασμού και η περιοχή κάλυψης δεν επηρεάζεται από την παρεμβολή παρακείμενων καναλιών. Η επίδραση της παρεμβολής παρακείμενων καναλιών μπορεί να θεωρηθεί ως μειωμένη uplink χωρητικότητα.

### 1.5.5 Αποτελέσματα εξομοιώσεις (Simulation Results)

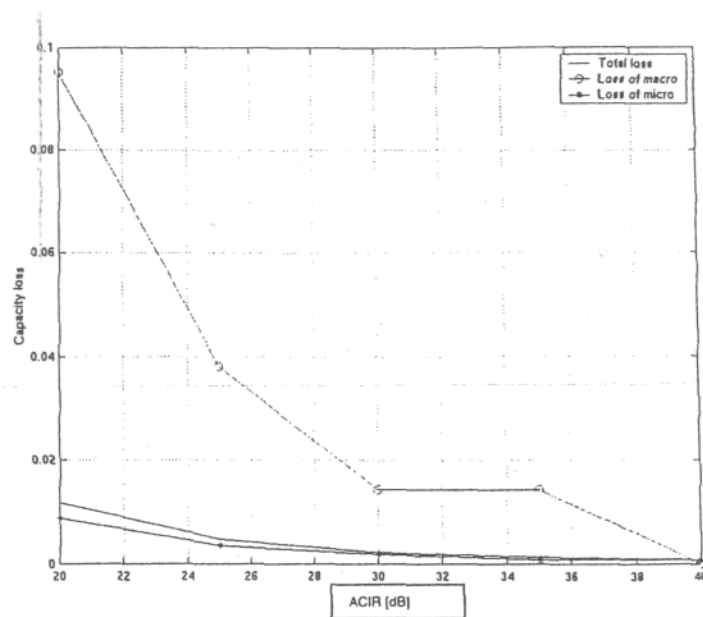
Σε αυτές τις εξομοιώσεις η περιοχή κάλυψης των micro και macro cells κρατήθηκε μέσα στα σχεδιαζόμενα όρια ακόμα κι αν υπήρξε παρεμβολή παρακείμενων καναλιών και παρατηρήθηκε μείωση της μέγιστης χωρητικότητας. Η απώλεια χωρητικότητας παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.10. Η χωρητικότητα δεν είναι ευαίσθητη στην παρεμβολή παρακείμενων καναλιών εάν η εξασθένηση μεταξύ των παρακείμενων φερόντων συχνοτήτων (το ACIR) είναι υψηλότερη από 20 dB. Η ελάχιστη απαίτηση για το ACIR είναι 33 dB: δείτε τον Πίνακα 1.15. Στα 33 dB η απώλεια χωρητικότητας στα micro cells είναι κάτω από το 1% και στο macro cell κάτω από το 2%. Η macro cell χωρητικότητα είναι πιο ευαίσθητη στην παρακείμενη παρεμβολή καναλιών από την micro cell χωρητικότητα. Οι εξομοιώσεις δείχνουν ότι η micro cell χωρητικότητα παραμένει καλή ενώ η macro cell επίδοση πάσχει περισσότερο από την παρακείμενη παρεμβολή καναλιών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο αριθμός των παρεμβαλλόμενων macro cell χρηστών είναι τόσο μικρός που η παρεμβολή παρακείμενων καναλιών που παράγεται από τους χρήστες είναι αμελητέα. Αφ' ετέρου, ο αριθμός των micro cell χρηστών είναι πολύ υψηλός, κατά συνέπεια παράγουν υψηλή παρεμβολή παρακείμενων καναλιών στους macro cell σταθμούς βάσεων.

### 1.5.6 Σχεδιασμός δικτύων με παρεμβολή παρακείμενων καναλιών

Αυτό το τμήμα παρουσιάζει μερικές υλοποιήσεις σχεδιασμού δικτύων, για να είναι σίγουρο ότι η παρεμβολή παρακείμενων καναλιών δεν θα έχει επιπτώσεις στην επίδοση των δικτύων WCDMA.

Η επιλογή της θέσης των κεραιών των σταθμών βάσεων και των σχεδίων των κεραιών έχει επιπτώσεις στην ελάχιστη απώλεια συζεύξεων από τον κινητό στο σταθμό βάσεων. Εάν η απώλεια συζεύξεων είναι μεγάλη μπορεί να αποφευχθεί η παρεμβολή παρακείμενων καναλιών. Στην πράξη όμως η κεραία δεν πρέπει να τοποθετείται τόσο χαμηλά, για να μπορεί το κινητό να βρίσκεται εύκολα κοντά στην κεραία.

Είναι δυνατό επίσης να μειωθεί η ευαισθησία του δέκτη των σταθμών βάσεων, δηλ., αυξάνοντας το noise figure των RF κυκλωμάτων των σταθμών βάσεων. Αυτή η προσέγγιση καλείται απευαισθητοποίηση (desensitisation) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καταστήσει το δέκτη των σταθμών βάσεων λιγότερο ευαίσθητο στην παρεμβολή παρακείμενων καναλιών. Συγχρόνως ο δέκτης των σταθμών βάσεων γίνεται επίσης λιγότερο ευαίσθητος στο επιθυμητό σήμα και μειώνεται η σειρά των κυψελών. Επομένως, αυτή η προσέγγιση είναι κατάλληλη για μικρές κυψέλες όπου δεν είναι πρόβλημα η uplink κάλυψη.



Σχήμα 1.10. Uplink απώλεια χωρητικότητας λόγω της παρεμβολής παρακείμενων καναλιών για το micro-macro σενάριο.

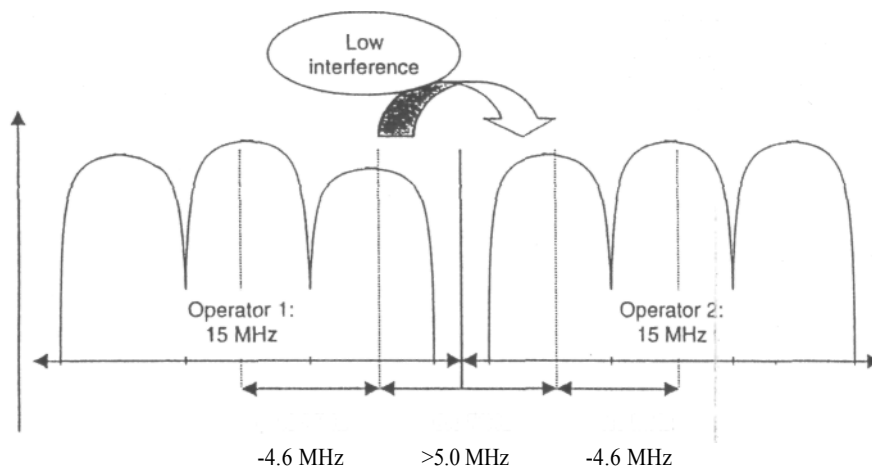
Εάν οι operators που χρησιμοποιούν παρακείμενες μπάντες συχνοτήτων συνδυάζουν τους σταθμούς βάσεων τους, είτε στις ίδιες περιοχές είτε χρησιμοποιώντας το ίδιο masts, μπορούν να αποφευχθούν τα προβλήματα της παρεμβολής παρακείμενων καναλιών, δεδομένου ότι τα λαμβανόμενα επίπεδα ισχύος από τα κινητά και των δύο operators στους σταθμούς βάσεων είναι παρόμοια. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά ισχύος, η μείωση των παρακείμενων καναλιών των 33 dB είναι αρκετή για να αποτρέψει οποιαδήποτε προβλήματα της παρεμβολής παρακείμενων καναλιών. Επίσης στη downlink τα επίπεδα ισχύος που λαμβάνονται και από τους δύο σταθμούς βάσεων είναι ίσα και για τους δύο χρήστες κινητών. Σημειώστε ότι η co-location λύνει τα προβλήματα της παρεμβολής παρακείμενων καναλιών στο UTRA FDD mode, αλλά στην UTRA TDD mode η co-location μπορεί να προκαλέσει δύσκολες καταστάσεις παρεμβολής.

Το ονομαστικό (nominal) φέρον WCDMA είναι 5,0 MHz αλλά μπορεί να ρυθμιστεί με ένα 200 kHz raster σύμφωνα με τις απαιτήσεις της παρεμβολής παρακείμενων καναλιών. Με τη χρησιμοποίηση ενός μεγαλύτερου φέρον μπορεί να μειωθεί η παρεμβολή παρακείμενων καναλιών. Εάν ο operator έχει δύο συχνότητες φέροντος στον ίδιο σταθμό βάσεων, το διάστημα μεταξύ τους θα μπορούσε να είναι μικρό όπως 4,0 MHz, επειδή τα προβλήματα της παρεμβολής παρακείμενων καναλιών αποφεύγονται εντελώς εάν οι δύο συχνότητες φέροντος χρησιμοποιούν τις ίδιες κεραίες των σταθμών βάσεων. Σε αυτή την περίπτωση ένα μεγαλύτερο διάστημα μεταξύ των δύο φερόντων μπορεί να διατηρηθεί μεταξύ των operators όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.11.

Οι υλοποιήσεις σχεδιασμού δικτύων για να αποφύγουν παρεμβολή παρακείμενων καναλιών συνοψίζονται παρακάτω:

- επιλογή των θέσεων των κεραιών στους σταθμούς βάσεων.
- απευαισθητοποίηση (desensitisation) του δέκτη των σταθμών βάσεων.
- co-location των σταθμών βάσεων με άλλους operators.
- ρύθμιση των διαστημάτων των φερόντων συχνοτήτων.
- inter-frequency handovers.





Σχήμα 1.11. Επιλογή των διαστημάτων των φερόντων συχνοτήτων μέσα στη ζώνη του operator και μεταξύ των operators.

# Κεφάλαιο 2

## Επίδοση Φυσικού Επιπέδου

### 2.1 Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει την επίδραση του περιβάλλοντος διάδοσης (propagation environment), τις υλοποιήσεις των σταθμών βάσεων και τις παραμέτρους του WCDMA φυσικού επιπέδου στην κάλυψη και στη χωρητικότητα. Οι υλοποιήσεις των σταθμών βάσεων περιλαμβάνουν τις τεχνικές για τη ζώνη βάσης (baseband) και τις κεραίες. Η κάλυψη είναι σημαντική ειδικά στα αρχικά στάδια της επέκτασης των δικτύων. Η κάλυψη των δικτύων WCDMA αναλύεται στην παράγραφο 2.2. Η σημασία της χωρητικότητας θα αυξηθεί μετά από την αρχική υλοποίηση του δικτύου, όταν αυξάνεται το ποσό κυκλοφορίας. Η WCDMA χωρητικότητα παρουσιάζεται στην παράγραφο 2.3. Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζουμε την WCDMA air interface χωρητικότητα που περιορίζεται από την παρεμβολή. Υποθέτουμε ότι υπάρχουν αρκετοί baseband hardware πόροι στο σταθμό βάσεων, στο δίκτυο εκπομπής και στον ελεγκτή ράδιο δικτύων για να υποστηρίξουν την χωρητικότητα. Στην παράγραφο 2.4 η ιδιαίτερη προσοχή εφιστάται στην επίδοση του υψηλού bit rate υπηρεσιών μέχρι 2 Mbps. Τέλος, η παράγραφος 2.5 παρουσιάζει τις πιθανές αυξήσεις της επίδοσης που υποστηρίζονται από τα 3GPP πρότυπα, συμπεριλαμβανομένων των δομών των προσαρμοστικών κεραιών και της multi-user ανίχνευσης με την προηγμένη baseband επεξεργασία.

Ο σχεδιασμός των ράδιο δικτύων και η βελτιστοποίηση των RRM (radio resource management) αλγορίθμων έχουν επιπτώσεις επίσης στην κάλυψη και την χωρητικότητα.

### 2.2 Κάλυψη (Coverage)

Η κάλυψη είναι σημαντική όταν δεν περιορίζεται το δίκτυο από την χωρητικότητα, όπως κατά την διάρκεια της αρχικής υλοποίησης των δικτύων και χαρακτηριστικά στις αγροτικές περιοχές. Ακόμη και στις αστικές περιοχές το δίκτυο μπορεί να περιοριστεί από την κάλυψη εάν καλή εσωτερική κάλυψη προσφέρεται για υψηλού bit rate υπηρεσίες χρησιμοποιώντας υπαίθριους σταθμούς βάσεων. Η απαίτηση για την καλή εσωτερική κάλυψη κάνει μικρό το μέγεθος της κυψέλης, η οποία μπορεί να φέρει περισσότερη χωρητικότητα ανά  $\text{km}^2$  από ό,τι απαιτείται. Η macro cell κάλυψη καθορίζεται από τη uplink σειρά, επειδή η ισχύ εκπομπής του κινητού είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή του macro cell του σταθμού βάσεων. Η ισχύ παραγωγής του κινητού είναι χαρακτηριστικά 21 dBm (125 mW) και αυτή του macro cell σταθμού βάσεων 40-46 dBm (10-40 W) ανά τομέα. Επομένως, σε αυτό το τμήμα εξετάζεται η uplink κάλυψη.

Η επίδραση των βελτιώσεων στον link budget,  $\Delta L$  και στη σχετική ακτίνα κυψελών,  $\Delta R$ , μπορεί να υπολογιστεί υποθέτοντας ένα πρότυπο διάδοσης, όπως για παράδειγμα το πρότυπο Okumura - Hata από την παράγραφο 2.2. Σε αυτό το παράδειγμα ο εκθέτης path loss είναι 3,52 που οδηγεί στη σχέση:

$$\Delta L = -35.2 \log_{10}(\Delta R) \quad (2.1)$$

Η σχετική περιοχή κυψελών,  $\Delta A$ , μπορεί να υπολογιστεί όπως

$$\Delta A = (\Delta R)^2 = \left( 10^{\frac{-\Delta L}{35.2}} \right)^2 \quad (2.2)$$

Η απαραίτητη σχετική πυκνότητα των σταθμών βάσεων με μια δεδομένη βελτίωση στην επίδοση των συνδέσεων υπολογίζεται στον πίνακα 2.1. Η πυκνότητα των σταθμών βάσεων είναι αντιστρόφως ανάλογη προς την περιοχή των κυψελών. Παραδείγματος χάριν, με μια βελτίωση της επίδοσης των συνδέσεων 5.3 dB, η πυκνότητα των σταθμών βάσεων μπορεί να μειωθεί περίπου κατά 50%.

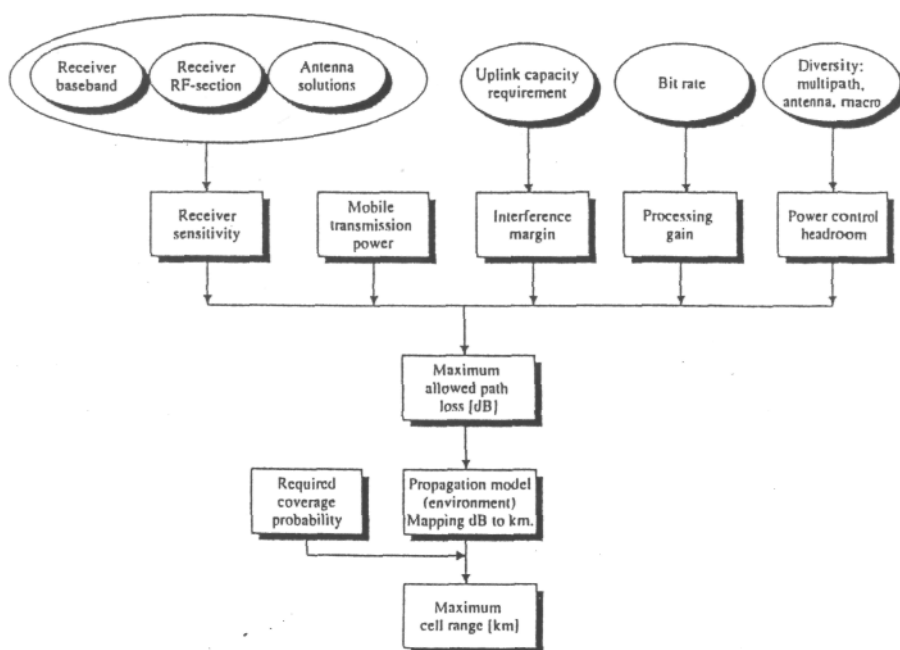
Πίνακας 2.1. Μείωση της πυκνότητας περιοχών σταθμών βάσεων με έναν βελτιωμένο link budget

Improvement in the link budget	Relative number of sites
0.0 dB = Reference case	100%
1.0 dB	88%
2.0 dB	77%
3.0 dB	68%
4.0 dB	59%
5.0 dB	52%
6.0 dB	46%
10.0 dB	27%

Οι παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στη μέγιστη path loss μπορούν να φανούν από το link budget - δείτε την παράγραφο 1.2 - και παρουσιάζονται στο σχήμα 2.1. Η επίδραση των υλοποιήσεων των σταθμών βάσεων και του bit rate περιγράφεται σε αυτό το κεφάλαιο. Η σχέση μεταξύ της uplink φόρτωσης και της κάλυψης έχει συζητηθεί στην παράγραφο 1.2.2

## 2.2.1 Uplink κάλυψη

Σε αυτό το τμήμα αξιολογούμε την επίδραση των παραμέτρων του φυσικού επιπέδου και των υλοποιήσεων των σταθμών βάσεων στη uplink WCDMA κάλυψη.



Σχήμα 2.1. Παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στη uplink κάλυψη

### 2.2.1.1 Bit Rate

Η κάλυψη των διαφορετικών bit rates επηρεάζεται από τους ακόλουθους δύο παράγοντες:

- (1) Για τα υψηλότερα bit rates είναι χαμηλότερο το κέρδος επεξεργασίας (processing gain) και η κάλυψη είναι μικρότερη: δείτε οι link budgets στους πίνακες στην παράγραφο 1.2, σειρά 1.
- (2) Για τα υψηλότερα bit rates το απαραίτητο  $E_b/N_0$  τείνει να είναι χαμηλότερο, αντισταθμίζοντας τη μειωμένη κάλυψη των υψηλών bit rates. Όσο χαμηλότερη η απαίτηση του  $E_b/N_0$ , τόσο λιγότερη ισχύς απαιτείται για την ίδια επίδοση και μπορεί να ληφθεί μεγαλύτερη ακτίνα κυψελών.

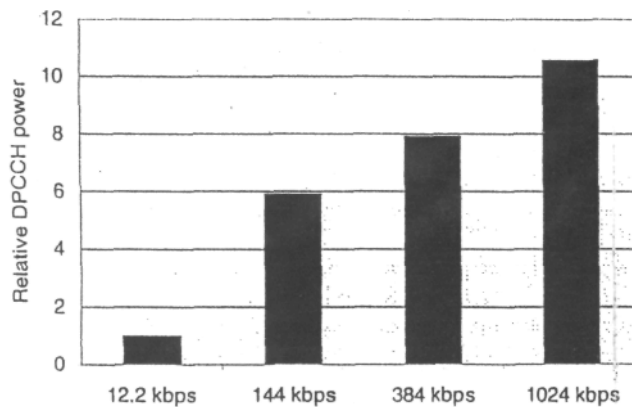
Σε αυτό το τμήμα αξιολογούμε την κάλυψη των διαφορετικών bit rates λαμβάνοντας υπόψη αυτούς τους δύο παράγοντες. Ο κύριος λόγος για τον οποίο το απαραίτητο  $E_b/N_0$  εξαρτάται από το bit rates είναι ότι το DPCCCH (dedicated physical control channel) (αφιερωμένο φυσικό κανάλι ελέγχου) χρειάζεται για να κρατήσει τη σύνδεση του φυσικού επιπέδου και περιέχει τα σύμβολα αναφοράς των καναλιών εκτίμησης και του ελέγχου ισχύος των bits που περιέχουν το σήμα. Η επίδοση του  $E_b/N_0$  εξαρτάται από την ακρίβεια του καναλιού και των SIR αλγορίθμων εκτίμησης. Αυτές οι εκτιμήσεις είναι βασισμένες στα σύμβολα αναφοράς στα DPCCCH. Όσο περισσότερη ισχύς μπορεί να διατεθεί για DPCCCH τόσο καλύτερη είναι η εκτίμηση καναλιών. Αφ' ετέρου, το DPCCCH είναι μόνο υπερυψωμένο (overhead) επειδή δεν εκπέμπει οποιαδήποτε data χρηστών και επομένως πρέπει να ελαχιστοποιηθεί η ισχύς του. Η διαφορά ισχύος μεταξύ DPCCCH και DPDCH (αφιερωμένο φυσικό data κανάλι) (dedicated physical data channel) μπορεί να ρυθμιστεί και να ελεγχθεί από το δίκτυο. Η ισχύς DPCCCH είναι χαμηλότερη από τη ισχύ DPDCH όταν υπάρχουν data στο DPDCH.

Η τιμή της διαφοράς ισχύος κβαντοποιείται σε τέσσερα bit, δηλ. 15 τιμές για τις διαφορές ισχύος μεταξύ -23,5 dB και 0,0 dB και σε ένα bit συνδυασμού για κανένα DPDCH όταν δεν υπάρχουν data για εκπομπή. Οι χαρακτηριστικές τιμές για τις διαφορές ισχύος παρουσιάζονται στον πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2. Χαρακτηριστικές διαφορές ισχύος μεταξύ DPCCH και DPDCH

Bit rate	Typical power difference between DPCCH and DPDCH
1 2.2 kbps speech	-3.0 dB
144 kbps data	-6.0 dB
384 kbps data	-9.0 dB
1024 kbps data	-12.0dB

Τα σχετικά λαμβανόμενα επίπεδα ισχύος του DPCCH με διαφορετικά bit rates παρουσιάζονται στο σχήμα 2.2. Οι διαφορές ισχύος μεταξύ DPCCH και DPDCH λαμβάνονται από τον πίνακα 2.2. Υποτίθεται ότι το  $E_b/N_0$  είναι το ίδιο για όλα τα bit rates. Η λαμβανόμενη ισχύς του DPCCH είναι υψηλότερη για τα υψηλότερα bit rates. Όσο περισσότερη είναι η λαμβανόμενη ισχύς για το DPCCH, τόσο ο ακριβέστερη είναι η εκτίμηση των καναλιών και καλύτερη η επίδοση του  $E_b/N_0$ .

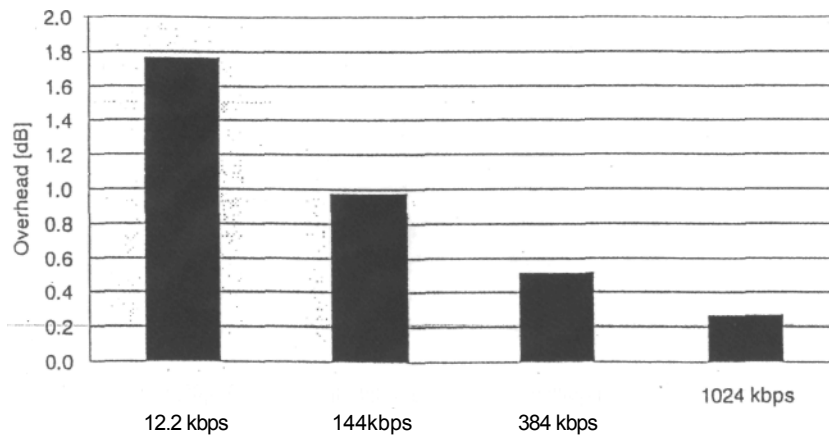


Σχήμα 2.2. Σχετική λαμβανόμενη ισχύ του DPCCH με το ίδιο  $E_b/N_0$

Το overhead από DPCCH για 144 kbps μπορούν να υπολογιστούν ως εξής:

$$\text{DPCCH\_overhead} = 10 \log_{10} (1 + 10^{-\frac{6}{10}}) = 1.0 \text{ dB} \quad (2.3)$$

Το overhead για διαφορετικά bit rates παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3. Για παράδειγμα στα 144 kbps data υπηρεσίας το 20% της ισχύος εκπομπής χρησιμοποιείται για μεταφορά της πληροφορίας ελέγχου του φυσικού επιπέδου και το 80% για τη μεταφορά data.



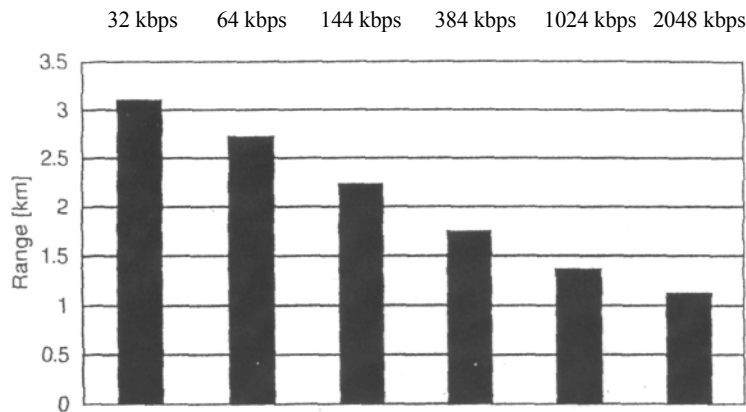
Σχήμα 2.3. Overhead από το DPCCH

Έχουμε δει τώρα για τα υψηλότερα bit rates η ισχύ DPCCH είναι υψηλότερη, επιτρέποντας την ακριβέστερη εκτίμηση καναλιών και το overhead του DPCCH είναι ακόμα χαμηλότερο. Και οι δύο αυτοί οι παράγοντες βελτιώνουν την επίδοση του  $E_b/N_0$ .

Όταν λαμβάνουμε υπόψη το μειωμένο κέρδος επεξεργασίας (processing gain) και τη βελτιωμένη επίδοση του  $E_b/N_0$  για τα υψηλότερα bit rates, μπορούμε να υπολογίσουμε την κάλυψη των διαφορετικών bit rates στο σχήμα 2.4. Η ίδια μέγιστη ισχύ του κινητού σταθμού υποτίθεται για όλα τα bit rates, μια καλύτερη επίδοση του  $E_b/N_0$  υποτίθεται για τα υψηλότερα bit rates και για ένα προασιακό μοντέλο διάδοσης. Σε αυτό το παράδειγμα, η uplink σειρά 2 Mbps είναι 50% της σειράς των 144 kbps και 40% της σειράς των 64 kbps. Εάν η κυψέλη σχεδιάζεται για 2 Mbps πλήρη uplink κάλυψη αντί 144 kbps, η πυκνότητα περιοχών σταθμών βάσεων πρέπει να αυξηθεί κατά  $(1/0,5)^2 = 4,0$ .

Η uplink κάλυψη ευρείας περιοχής για υψηλά bit rate υπηρεσίας θα είναι ενδιαφέρουσα στο UMTS, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4 και παρέχοντας 2 Mbps η πλήρη uplink κάλυψη απαιτεί υψηλή πυκνότητα περιοχών των σταθμών βάσεων. Αυτά τα αποτελέσματα επισημαίνουν επίσης τη σημασία των λύσεων που βελτιώνουν την uplink κάλυψη στα συστήματα τρίτης γενιάς. Στα συστήματα δεύτερης γενιάς τα ζητήματα κάλυψης είναι λιγότερο προκλητικά δεδομένου ότι προσφέρονται μόνο χαμηλά bit rate υπηρεσίας. Η κάλυψη των WCDMA data υπηρεσίας συγκρίνεται με το GSM 900 και το GSM 1800 λεκτικής κάλυψης στην παράγραφο 1.4.

Τέλος, σημειώνουμε ότι το bit rate της uplink εκπομπής μπορεί να μειωθεί κατά τη διάρκεια της σύνδεσης για να βελτιώσει την κάλυψη όταν τα χτυπήματα του κινητού έχουν τη μέγιστη ισχύ εκπομπής. Η μείωση του bit rate είναι δυνατή για non-real-time packet data υπηρεσίας τα οποία μπορούν να ανεχτούν καθυστερήσεις και για λεκτική υπηρεσία AMR η οποία υποστηρίζει διαφορετικά bit rate από 4,75 kbps έως 12,2 kbps. Η κάλυψη της λεκτικής AMR υπηρεσίας συζητείται στην επόμενη παράγραφο.



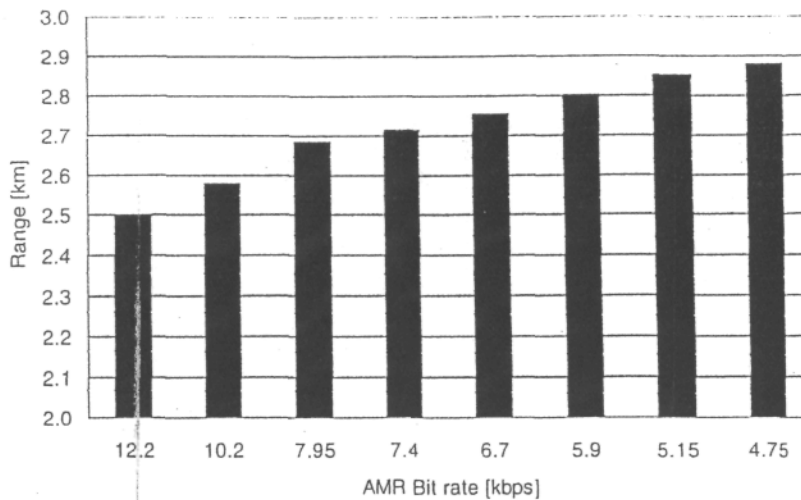
Σχήμα 2-4. Uplink σειρά των διαφορετικών data rates στην προαστιακή περιοχή

### 2.2.1.2 Κωδικοποιητής Φωνής Μεταβλητού Ρυθμού Μετάδοσης (Adaptive Multirate Speech Codec)

Με τον προσαρμοστικό κωδικοποιητή φωνής μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης (Adaptive Multirate) (AMR) είναι δυνατό να μεταπηδήσει σε ένα χαμηλότερο bit rate εάν το κινητό κινείται έξω από την περιοχή κάλυψης των κυψελών. Το κέρδος στο link budget με τη μείωση του bit rate του AMR μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\begin{aligned}
 \text{Coverage\_gain} &= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{\text{DPDCH}(12.2\text{kbps}) + \text{DPCCH}}{\text{DPDCH}(\text{AMR\_bit\_rate}[\text{kbps}] + \text{DPCCH})} \right) \\
 &= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{12.2 + 12.2 \cdot 10^{-\frac{3\text{dB}}{10}}}{\text{AMR\_bit\_rate}[\text{kbps}] + 12.2 \cdot 10^{-\frac{3\text{dB}}{10}}} \right)
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

όπου η διαφορά ισχύος μεταξύ DPCGH και DPDCH υποτίθεται ότι είναι -3,0 dB για ομιλία 12,2 kbps AMR. Για χαμηλότερα AMR bit rate η ισχύ DPCCH κρατιέται η ίδια ενώ τη ισχύ του DPDCH αλλάζει σύμφωνα με το bit rate. Η μείωση της συνολικής ισχύος εκπομπής υπολογίζεται στην εξίσωση (2.4) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει μια μεγαλύτερη uplink σειρά κυψελών. Το κέρδος κάλυψης με τη μείωση του bit rate από 12,2 kbps σε 7,95 kbps είναι 1,1 dB, και το κέρδος με τη μείωση του bit rate από 12,2 kbps σε 4,75 kbps είναι 2.3 dB. Οι σχετικές σειρές κυψελών με τα διαφορετικά bit rate AMR παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5. Σχετική uplink σειρά των διαφορετικών bit rates του λεκτικού AMR codec

### 2.2.1.3 Multipath ποικιλομορφία (Multipath Diversity)

Μπορούμε να μελετήσουμε την επίδραση της multipath ποικιλομορφίας στη uplink κάλυψη εξετάζοντας για παράδειγμα τα αποτελέσματα εξομοίωσης για την επίδοση του  $E_b/N_0$  σε δύο διαφορετικά multipath σχεδιαγράμματα: ITU για τους πεζούς A με λίγη multipath ποικιλομορφία και ITU τροχαίο A με περισσότερη multipath ποικιλομορφία. ITU όχημα A είναι ένα five-tap channel με WCDMA 3.84 Mcps ανάλυση και ITU πεζό A είναι ένα two-path channel όπου η second-tap είναι πολύ αδύναμη. Το απαραίτητο  $E_b/N_0$  για 8 kbps λεκτικής υπηρεσίας, με 10 ms παρεμβολή λαμβάνει την ποικιλομορφία κεραιών και η πλήρης σταθερή ισχύ εκπομπής στα 3 km/h παρουσιάζεται στον πίνακα 2.3. Τα αποτελέσματα λεκτικής εξομοίωσης των 8 kbps σε αυτό το τμήμα επιτυγχάνονται με 10 ms interleaving, αλλά ο AMR λεκτικός codec χρησιμοποιεί 20 ms interleaving και επομένως η επίδοσή της είναι καλύτερη από τα αποτελέσματα εξομοίωσης.

Σε αυτό το παράδειγμα το multipath κέρδος ποικιλομορφίας είναι 2.8 dB στην uplink κάλυψη. Γενικά, όσο περισσότερο διαθέσιμη είναι η multipath ποικιλομορφία τόσο καλύτερη είναι η κάλυψη. Ο βαθμός της διαθέσιμης multipath ποικιλομορφίας εξαρτάται από το περιβάλλον αλλά και από το εύρος ζώνης της εκπομπής. Με ευρείας ζώνης CDMA μπορεί να ληφθεί περισσότερη multipath ποικιλομορφία απ' ό,τι με στενής ζώνης CDMA στο ίδιο περιβάλλον.

Πίνακας 2.3. Απαιτούμενο  $E_b/N_0$  με FER=1% για 8 kbps με πλήρη σταθερή ισχύ

	$E_b/N_0$
ITU Pedestrian A (less multipath diversity)	11.3dB
ITU Vehicular A (more multipath diversity)	8.5 dB
Multipath diversity gain	2.8dB



### 2.2.1.4 Macro Ποικιλομορφία (Soft Handover)

Κατά τη διάρκεια της soft handover η uplink εκπομπή από τον κινητό λαμβάνεται από δύο ή περισσότερους σταθμούς βάσεων. Δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια της soft handover υπάρχουν τουλάχιστον δύο σταθμοί βάσεων που προσπαθούν να ανιχνεύσουν την εκπομπή του κινητού, αυξάνεται η πιθανότητα των σωστά ανιχνεύσιμων σημάτων και μπορεί να ληφθεί το κέρδος της μακρό ποικιλομορφίας. Παράδειγμα κέρδους μακρό ποικιλομορφίας για τη uplink κάλυψη παρουσιάζεται στον πίνακα 2.4 στα 3 km/h με 10 ms interleaving και των 2 σταθμών βάσεων. Οι δύο περιπτώσεις παρουσιάζονται: όταν η path loss είναι η ίδια και για τους 2 σταθμούς και όταν η διαφορά στην path loss μεταξύ των σταθμών βάσεων είναι 3 dB. Η πρώτη περίπτωση δίνει το υψηλότερο κέρδος μακρό ποικιλομορφίας. Όταν αυξάνεται η διαφορά στην path loss το κέρδος μακρό ποικιλομορφίας μειώνεται και το κινητό δεν είναι σε κατάσταση soft handover αλλά συνδέεται με ένα μόνο σταθμό βάσης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι όσο λιγότερο διαθέσιμη είναι η multipath ποικιλομορφία τόσο μεγαλύτερο είναι το κέρδος της μακρό ποικιλομορφίας. Σε αυτό το παράδειγμα το κέρδος της μακρό ποικιλομορφίας στην καλύτερη περίπτωση στο κανάλι ITU για τους πεζούς A είναι 4,0 dB και στο ITU για τροχαίο A είναι 2,2 dB. Τα κέρδη χωρητικότητας είναι χαμηλότερα από τα κέρδη κάλυψης επειδή η ποικιλομορφία είναι σημαντικότερη για τη uplink κάλυψη. Ο λόγος είναι ότι στην άκρη της περιοχής κάλυψης το κινητό εκπέμπει με πλήρη ισχύ και η ποικιλομορφία είναι σημαντική επειδή ο έλεγχος γρήγορης ισχύος δεν μπορεί να αντισταθμίσει τη γρήγορη εξασθένιση.

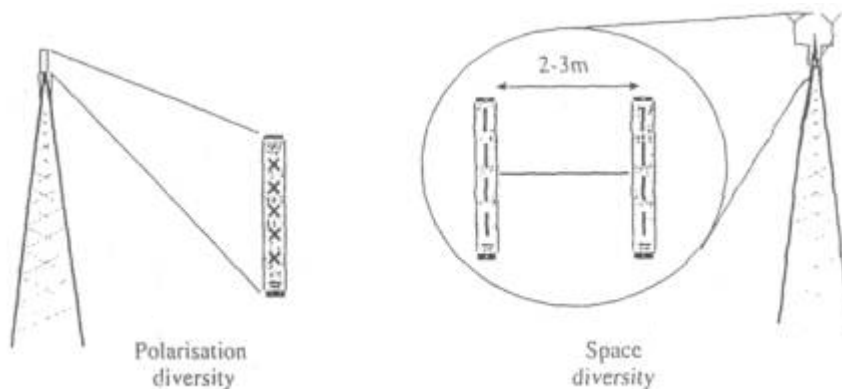
Πίνακας 2.4. Απαιτούμενο  $E_b/N_0$  με FER=1% για 8 kbps με πλήρη σταθερή ισχύ

$E_b/N_0$	ITU Pedestrian A	ITU Vehicular A
Single link	11.3dB	8.5 dB
Macro diversity result Equal powers / 3 dB difference	7.3dB/8.6dB	6.3dB/7.7dB
Macro diversity gain Equal powers / 3 dB difference	4.0dB/2.7dB	2.2 dB / 0.8 dB

### 2.2.1.5 Ποικιλομορφία της κεραιών λήψης

Ένα κέρδος κάλυψης 3 dB μπορεί να ληφθεί με λήψη της ποικιλομορφίας των κεραιών ακόμα κι αν οι κλάδοι ποικιλομορφίας των κεραιών έχουν συσχετίσει πλήρως την εξασθένιση. Ο λόγος είναι ότι τα σήματα από δύο κεραιές μπορούν να συνδυαστούν συμφασικά ενώ ο θερμικός θόρυβος του δέκτη δεν συνδυάζεται συμφασικά. Το κέρδος 3 dB υποθέτει την ιδανική εκτίμηση καναλιών στο συνεπή συνδυασμό. Αυτό το κέρδος 3 dB επιτυγχάνεται επειδή υπάρχουν περισσότεροι κλάδοι δεκτών που συλλέγουν την ενέργεια αλλά εις βάρος του αυξανόμενου hardware υλικού στο δέκτη των σταθμών βάσεων. Επιπλέον, η ποικιλομορφία κεραιών παρέχει κέρδος ενάντια στην γρήγορη εξασθένιση δεδομένου ότι η γρήγορη εξασθένιση συσχετίζει τα άσχημα χαρακτηριστικά μεταξύ των κεραιών ποικιλομορφίας. Κεραιές ποικιλομορφίας στη λήψη παρουσιάζονται στο σχήμα 2.6. Η ποικιλομορφία κεραιών μπορεί να ληφθεί από το διάστημα ή τη πόλωση της ποικιλομορφίας. Το πλεονέκτημα της ποικιλομορφίας πόλωσης είναι ότι οι κλάδοι ποικιλομορφίας δεν χρειάζονται το χωρισμό αλλά μπορούν να τοποθετηθούν σαν μια φυσιολογική κεραία ενός σπιτιού. Επίσης, οι διαστημικές κεραιές ποικιλομορφίας μπορούν να βρεθούν πολύ κοντά η μια στην άλλη με το ελαφρώς μειωμένο κέρδος ποικιλομορφίας κεραιών.

Τα αποτελέσματα εξομοίωσης με και χωρίς λήψη ποικιλομορφίας με σταθερή και πλήρη ισχύ παρουσιάζονται στον πίνακα 2.5. Το κέρδος ποικιλομορφίας των κεραιών λήψης στην ITU για τους πεζούς του κανάλι A είναι 7,5 dB. Στην ITU για όχημα του καναλιού A το κέρδος ποικιλομορφίας είναι μικρότερο 4,3 dB επειδή υπάρχει περισσότερη multipath ποικιλομορφία.



Σχήμα 2.6 Ποικιλομορφία πολικότητας και διαστήματος κεραίων

Πίνακας 2.5. Απαιτούμενο  $E_b/N_0$  με FER=1% για 8 kbps με πλήρη σταθερή ισχύ

$E_b/N_0$	ITU Pedestrian A	ITU Vehicular A
With one receiver antenna	18.8dB	12.8dB
With receiver antenna diversity	11.3dB	8.5 dB
Antenna diversity gain	7.5 dB	4.3 dB

Τέλος, πρέπει να θυμηθούμε ότι όσο περισσότερη διαθέσιμη ποικιλομορφία υπάρχει τόσο μικρότερο είναι το κέρδος ποικιλομορφίας από μια πρόσθετη ποικιλομορφία. Αυτός ο κανόνας ισχύει για όλες τις διαφορετικές πηγές ποικιλομορφίας. Επομένως, δεν υπάρχει καμία ριζογική τιμή για οποιαδήποτε κέρδος ποικιλομορφίας επειδή το κέρδος εξαρτάται από το βαθμό άλλων πηγών ποικιλομορφίας.

### 2.2.1.6 Baseband Αλγόριθμοι των σταθμών βάσεων

Η ακρίβεια του καναλιού και η εκτίμηση του SIR είναι σημαντική για το δέκτη στην επίδοση του  $E_b/N_0$ . Η εκτίμηση των καναλιών στο δέκτη μπορεί να βελτιωθεί, παραδείγματος χάριν, ως εξής:

-Με τον υπολογισμό του μέσου όρου της εκτίμησης πέρα από διάφορες ομάδες πιλοτικών συμβόλων στο DPCCCH. Για τις χαμηλές ταχύτητες του κινητού, ειδικότερα, είναι δυνατό να υπολογιστούν οι κατά μέσο όρο εκτιμήσεις των καναλιών πέρα από διάφορα timeslots. Για τις υψηλότερες κινητές ταχύτητες, τα κατά μέσο όρο βάρη (the averaging weights) πρέπει να προσαρμοστούν στο fading rate, δηλ. πρέπει να χρησιμοποιηθούν προσαρμοστικά φίλτρα για την εκτίμηση των καναλιών.

-Με τη χρησιμοποίηση των διαμορφωμένων συμβόλων στο DPCCCH και στο DPDCH, και με την ανάδραση απόφασης ως πρόσθετο πειραματικό σύμβολο. Εάν οι αποφάσεις των bits του καναλιού είναι σωστές, τότε αυτά τα σύμβολα μπορούν να θεωρηθούν ως πρόσθετα πειραματικά σύμβολα. Ο χαρακτηριστικός ρυθμός σφαλμάτων (error rate) των μη κωδικοποιημένων συμβόλων στο WCDMA είναι 5-20%. Ένας ρυθμός σφαλμάτων κατά προσέγγιση 10% ή λιγότερο μπορεί συνήθως να αποφέρει ένα αισθητό κέρδος από την εκτίμηση του καναλιού.

Η μεγαλύτερη βελτίωση από τους προηγμένους αλγόριθμους δεκτών baseband μπορεί να ληφθεί για τα χαμηλά bit rates, επειδή υπάρχει λίγη ενέργεια στο DPCCCH για την εκτίμηση καναλιών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2.

## 2.2.2 Κάλυψη των καναλιών τυχαίας πρόσβασης (Random Access Channel Coverage)

Η περιγραφή της uplink κάλυψης στην παράγραφο της 2.2.1 ισχύει για τα αφιερωμένα uplink κανάλια (dedicated channels) (DCH) καθώς επίσης και για τα κοινά κανάλια αλλά και για τυχαίο κανάλι πρόσβασης (random access channel) (RACH). Εάν θέλουμε να βελτιώσουμε την κάλυψη των WCDMA κυψελών, πρέπει να ελέγξουμε εάν τα αφιερωμένα ή κοινά κανάλια είναι περιοριστικός παράγοντας στην κάλυψη. Εάν, σε οποιοσδήποτε θέσεις, το αφιερωμένο uplink κανάλι μπορεί να παρέχει την απαραίτητη ποιότητα, πρέπει επίσης να είναι δυνατό να ληφθεί το RACH μήνυμα για να μπορεί να αρχίσει κατευθείαν τη σύνδεση. Σε αυτό το τμήμα συγκρίνονται ο τομέας κάλυψης για τα αφιερωμένα uplink (DCH) και τα RACH κανάλια. Οι λόγοι για τις διαφορές στην επίδοση κάλυψης μεταξύ των αφιερωμένων καναλιών (DCH) και του RACH παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.6.

Πίνακας 2.6. Λόγοι για τη διαφορετική κάλυψη των DCH και RACH

	DCH	RACH
Bit rate	Minimum AMR bit rate: 4.75 kbps Maximum packet data: 2.0 Mbps	Initial RACH message 20 octets which corresponds to 16 kbps (10 ms interleaving) 8 kbps (20 ms interleaving)
Soft handover (macro diversity gain)	0.8- 4.0 dB: see Table 2.4	Soft handover not possible
$E_b/N_0$ performance	- Continuous transmission makes optimised reception easier than with RACH - Coding rate 1/3	Short 10 or 20 ms burst makes optimised reception difficult - Coding rate 1/2
FER requirements	Speech 1%	Preferably 10% or below; higher PER causes longer delay in call setup

Ο ελάχιστος αριθμός των bits που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκπομπή στο αρχικό μήνυμα RACH υποτίθεται ότι είναι 20 octets = 160 bits, το οποίο αντιστοιχεί σε bit rate 16 kbps με 10 ms παρεμβολή και 8 kbps με την παρεμβολή 20 ms. Τα 10 ms και 20 ms RACH υποστηρίζονται από το πρότυπο για μέγεθος μηνυμάτων RACH των 20 octets. Η περίοδος παρεμβολής του μηνύματος RACH υποδεικνύεται σε BCCH στον κινητό.

Τα υψηλού bit rate αφιερωμένα κανάλια έχουν σαφώς μικρότερη κάλυψη από τα RACH και επομένως η κάλυψη RACH πρέπει να ελεγχθεί σε σχέση με τα χαμηλού bit rate αφιερωμένα κανάλια όπως ο λεκτικός AMR codec με bit rate 4.75-12.2 kbps.

Η soft handover δεν είναι δυνατή με τα κοινά κανάλια και κανένα κέρδος μακρό ποικιλομορφίας δεν μπορεί να ληφθεί με RACH. Επίσης, η υποδοχή της σύντομης «έκρηξης»(burst) RACH είναι δυσκολότερη από αυτή του συνεχούς αφιερωμένου καναλιού. Αυτοί οι παράγοντες καθιστούν την κάλυψη RACH μικρότερη από την κάλυψη DCH με ίδιο bit rate. Αφ' ετέρου, μπορεί να επιτραπεί ένα υψηλότερο FER με RACH. Το μειονέκτημα ενός υψηλού FER είναι ότι υπάρχει μια μεγαλύτερη καθυστέρηση στην οργάνωση της κλήσης. Το μέσο FER του RACH μπορεί να ελεγχθεί από τις παραμέτρους που δίνονται σε BCCH.

Οι κατάλληλες επιλογές RACH που ταιριάζουν με η κάλυψη των αφιερωμένων καναλιών παρουσιάζονται στον πίνακα 2.7 λαμβάνοντας υπόψη όλες τις διαφορές που αναφέρονται παραπάνω.

Πίνακας 2.7. Επιλογές του RACH για να ταιριάζει την κάλυψη των αφιερωμένων καναλιών

DCH bit rate	RACH option
AMR <7.95 kbps	20 ms / FER > 10%
AMR 12.2 kbps	20ms/FER < 10%
Bit rate > 20 kbps	10 ms/ FER 5 10%

Η επιλογή των 20 ms RACH πρέπει να χρησιμοποιηθεί μόνο στις μεγάλες κυψέλες για να βελτιώσει την RACH κάλυψη. Η επίδοση του  $E_b/N_0$  είναι χειρότερη για 20 ms RACH απ' ό,τι για 10 ms RACH και επομένως το μικρότερο 10ms RACH είναι καλύτερο για την uplink χωρητικότητα. Ο λόγος για την υποβάθμιση της επίδοσης με μακρύτερο RACH είναι ότι ο έλεγχος ισχύος δεν μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια του RACH αλλά η ισχύ τίθεται μόνο από την εισαγωγή πριν από το μέρος των RACH μηνυμάτων. Το κανάλι μπορεί να αλλάξει περισσότερο κατά τη διάρκεια του 20 ms RACH απ' ό,τι κατά τη διάρκεια 10ms RACH.

Η κάλυψη των RACH μηνυμάτων είναι σημαντική εάν το δίκτυο σχεδιάζεται για να παρέχει συνεχή κάλυψη μόνο για χαμηλές bit rate υπηρεσίες. Αφ' ετέρου, εάν το δίκτυο σχεδιάζεται για να παρέχει τη συνεχή κάλυψη για υψηλού bit rate υπηρεσίες, η κάλυψη του RACH δεν είναι ένας περιοριστικός παράγοντας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν 10 ms RACH.

### 2.2.3 Downlink Κάλυψη

Στην downlink μπορεί να επιτραπεί περισσότερη ισχύ για μια σύνδεση απ' ό,τι στην uplink, επειδή η παραγωγή ισχύος των σταθμών βάσεων μπορεί να είναι υψηλότερη από την παραγωγή ισχύος των κινητών σταθμών. Επομένως, μπορεί να δοθεί καλύτερη κάλυψη για τις υψηλού bit rate υπηρεσίες στην downlink απ' ό,τι στην uplink. Δείτε επίσης τη σχέση μεταξύ της downlink χωρητικότητας και κάλυψης στην παράγραφο 1.2.2. Η uplink σειρά των διαφορετικών bit rates παρουσιάζεται στο σχήμα 1.1 4.

Εδώ παρουσιάζεται η σύγκριση 12.2 kbps data ομιλίας και 1 Mbps data κάλυψης στην downlink . Οι υποθέσεις σε αυτή την σύγκριση είναι:

- Το μέγεθος των κυψελών καθορίζεται από την uplink κάλυψη για την ομιλία
- Η uplink λήψη στο σταθμό βάσης έχει καλύτερη ευαισθησία 6 dB από την downlink υποδοχή λόγω του χαμηλότερων αριθμού θορύβου (noise figure) και της ποικιλομορφίας των κεραιών
- 1 Mbps data έχει 3 dB χαμηλότερο  $E_b/N_0$  από την ομιλία
- Το λεκτικό τερματικό έχει 3 dB υψηλότερη body loss από 1 Mbps τερματικού data
- Η ισχύ εκπομπής του λεκτικού τερματικού είναι 21 dBm
- Το ποσό παρεμβολής άλλων κυψελών είναι το ίδιο για την ομιλία και το 1 Mbps.

Η ζητούμενη μέση ισχύ εκπομπής του downlink για την ομιλία υπολογίζεται ότι είναι 27 dBm και για 1 Mbps σύνδεση περίπου 40 dBm (= 10 W) για να λάβει την πλήρη κάλυψη στην downlink εάν το μέγεθος των κυψελών σχεδιάζεται σύμφωνα με τη uplink ομιλία. Ο υπολογισμός παρουσιάζεται στον πίνακα 2.8. Είναι αρκετά εφικτό να προβλεφθεί ισχύ 10 W στην downlink για ένα χρήστη υψηλού bit rate σε μια περίπτωση, όταν δεν υπάρχει κανένας άλλος χρήστης που να ζητά χωρητικότητα σε εκείνη τη κυψέλη, δηλ. στην περίπτωση περιορισμένης κάλυψης.

Πίνακας 2.8. Απαραίτητη downlink ισχύ εκπομπής για 1 Mbps πλήρη κάλυψη

Mobile transmission power in uplink	21dBm
Estimated transmission power for speech in downlink	21 dBm + 6dB = 27dBm
Difference in processing gain between 12.2 kbps and 1	$10 \cdot \log_{10}(1000/12.2) = 19.1$ dB
Lower $E_b/N_0$ for data terminal	3dB
Body loss	Speech terminal: 3 dB Data terminal: 0
Required transmission power for 1 Mbps full coverage	27 dBm+ 19.1 dB - 3dB- 3 dB = 40dBm = 10 W

Στην πράξη η downlink κάλυψη των υψηλών bit rates, 1-2 Mbps, εξαρτάται από:

- uplink dimensioning: το bit rate για το οποίο διαστασιολογείται η uplink σειρά κυψελών.
- τεχνικά χαρακτηριστικά του ενισχυτή ισχύος του σταθμού βάσης στη downlink.
- φόρτωση διπλανών κυψελών.

Εάν η κυψέλη σχεδιάζεται για να παρέχει στην uplink υψηλό bit rate από την άκρη των κυψελών τότε η κυψέλη θα είναι μικρότερη και η downlink κάλυψη θα είναι καλύτερη. Η φόρτωση της διπλανής κυψέλης έχει επιπτώσεις στη δυνατότητα μιας υψηλού bit rate σύνδεσης στην άκρη των κυψελών. Ένας μεγάλος αριθμός χρηστών υψηλού bit rate με συνεχή κάλυψη απαιτεί υψηλή χωρητικότητα. Οι πτυχές της χωρητικότητας ενός δικτύου WCDMA εξετάζονται στην παράγραφο 2.3.

Αυτή η συζήτηση της downlink κάλυψης έχει μελετηθεί κυρίως στους σταθμούς βάσεων των μακρό κυψελών όπου η μέγιστη παραγωγή ισχύος είναι της τάξεως των 43 dBm. Με σταθμούς βάσεων χαμηλής ισχύος της τάξεως των micro ή pico μπορεί να περιοριστεί η downlink κάλυψη.

## 2.2.4 Βελτιώσεις κάλυψης

Μερικοί τρόποι βελτίωσης της uplink κάλυψης μιας περιοχής σταθμών βάσεων WCDMA είναι οι ακόλουθοι:

- Μειώνοντας το  $E_b/N_0$  με τη βελτίωση των baseband αλγορίθμων των σταθμών βάσεων ή με την αύξηση του αριθμού των κεραιών λήψης.
- Μειώνοντας τον noise figure των σταθμών βάσεων στο RF τμήμα των σταθμών βάσεων.
- Μειώνοντας την απώλεια των καλωδίων (cable loss) μεταξύ της κεραιάς και του ενισχυτή χαμηλού θορύβου των σταθμών βάσεων.
- Μειώνοντας το interference margin, δηλ. τη μέγιστη επιτρεπόμενη uplink χωρητικότητα.
- Αυξάνοντας το κέρδος των κεραιών.

Το  $E_b/N_0$  στο σταθμό βάσεων μπορεί να μειωθεί με τις τεχνικές που παρουσιάζονται στην παράγραφο της 2.2.1. Οι σημαντικότερες μέθοδοι είναι η αύξηση του αριθμού κλάδων των δεκτών ποικιλομορφίας και η βελτίωση των baseband αλγορίθμων των δεκτών στο σταθμό βάσεων. Το noise figure των σταθμών βάσεων μπορεί να μικρύνει με τη βελτίωση των κυκλωμάτων ραδιοσυχνότητας (RF) των σταθμών βάσεων. Η απώλεια καλωδίων μπορεί να μειωθεί με τη χρησιμοποίηση παχύτερων καλωδίων ή με τη χρησιμοποίηση ενός επικεφαλής ενισχυτή ιστών (mast head). Μια χαρακτηριστική απώλεια καλωδίων είναι 6 dB ανά 100 m.

Στα WCDMA η χωρητικότητα και η κάλυψη είναι έννοιες αλληλένδετες όπως φαίνεται στην παράγραφο 1.2. Η uplink κάλυψη μπορεί να βελτιωθεί με την άδεια μιας χαμηλότερης uplink χωρητικότητας η οποία επιτρέπει ένα χαμηλότερο interference margin. Παραδείγματος χάριν, το χαμήλωμα της μέγιστης uplink φόρτωσης από 50% σε 30% μειώνει το ζητούμενο περιθώριο παρεμβολής από 3.0 dB σε 1.5 dB και δίνει έτσι ένα κέρδος κάλυψης 1.5 dB στον link budget. Ένας άλλος τρόπος να μικρύνει το interference margin είναι να χρησιμοποιηθεί η ακύρωση παρεμβολής ή η multi-user ανίχνευση στο σταθμό βάσεων, όπως φαίνεται στην παράγραφο της 2.5.2.

Ένα υψηλότερο κέρδος κεραιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσει την κάλυψη και μπορεί να ληφθεί με την αύξηση του αριθμού των τομέων και το στένεμα του οριζόντιου ανοίγματος των κεραιών. Το κέρδος κεραιών μπορεί επίσης να αυξηθεί με το στένεμα του κάθετου ανοίγματος των κεραιών. Χαρακτηριστικά, το μέγιστο κέρδος κεραιών για μια κεραία με τρεις τομείς είναι 18 dBi, υποθέτοντας κάθετο άνοιγμα 6°. Το κέρδος κεραιών μπορεί επίσης να αυξηθεί με λύσεις προσαρμοστικών κεραιών, όπως φαίνεται στην παράγραφο 2.5.1.

## 2.3 Χωρητικότητα

Η downlink χωρητικότητα στα WCDMA air interface αποδεικνύεται ότι είναι λιγότερη από την αντίστοιχη uplink χωρητικότητα. Ο κύριος λόγος είναι ότι καλύτερες τεχνικές δεκτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σταθμό βάσεων απ' ό,τι στον κινητό σταθμό. Αυτές οι τεχνικές περιλαμβάνουν την ποικιλομορφία κεραιών λήψης και multi-user ανίχνευση. Επιπλέον, στο UMTS, η downlink χωρητικότητα αναμένεται να είναι σημαντικότερη από τη uplink χωρητικότητα λόγω του ασύμμετρου downloading τύπου κυκλοφορίας. Επομένως, σε αυτό το τμήμα εξετάζονται η downlink χωρητικότητα και οι αυξήσεις της επίδοσή της.

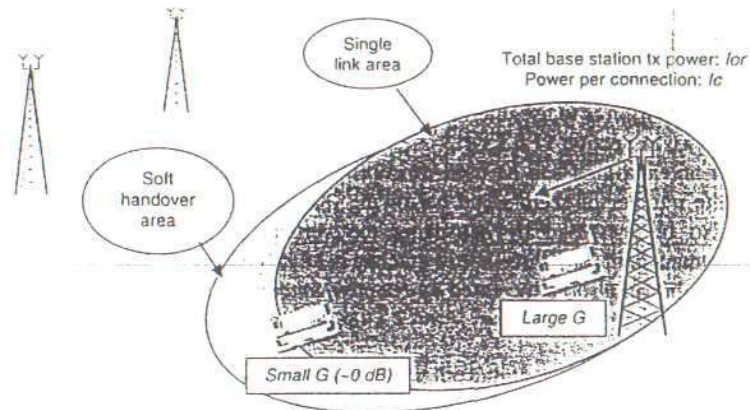
Στις παρακάτω παραγράφους παρουσιάζονται δύο πτυχές που έχουν επιπτώσεις στη downlink χωρητικότητα και είναι διαφορετικές από την uplink: οι ορθογώνιοι κώδικες στην παράγραφο 2.3.1 και την ποικιλομορφία εκπομπής των σταθμών βάσεων στην παράγραφο 2.3.2.

### 2.3.1 Downlink Ορθογώνιοι Κώδικες

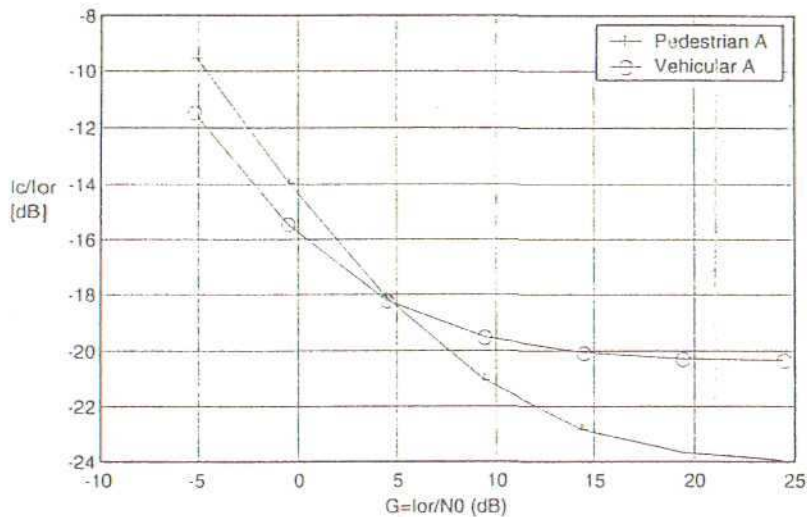
#### 2.3.1.1 Multipath Κέρδος ποικιλομορφίας στη Downlink

Σε αυτό το τμήμα εξετάζεται η επίδραση των ορθογώνιων downlink κωδίκων στην επίδοση της χωρητικότητας. Οι σύντομοι κώδικες στην downlink μέσα σε έναν scrambling code είναι ορθογώνιοι αλλά μόνο σε ένα one-path κανάλι. Στη περίπτωση ενός multipath καναλιού η ορθογωνικότητα χάνεται εν μέρει και οι χρήστες intra-cell παρεμποδίζουν ο ένας τον άλλον. Στο GSM, δεν υπάρχει καμία παρεμβολή intra-cell επειδή οι χρήστες είναι ορθογώνιοι σε μια χρονική περιοχή σε διαφορετικά timeslots, ανεξάρτητα από την multipath διάδοση. Η επίδοση του downlink στο ITU όχημα A και για τους ITU πεζούς A multipath σχεδιαγράμματα για ομιλία 8 kbps με 10 ms interleaving με 1% FER παρουσιάζεται παρακάτω. Για τους ITU πεζούς το A κανάλι είναι κοντά σε ένα one-path κανάλι και δεν δίνει multipath ποικιλομορφία, ενώ το ITU τροχαίο στο κανάλι A δίνει έναν σημαντικό βαθμό multipath ποικιλομορφίας. Το σενάριο προσομοίωσης παρουσιάζεται στο σχήμα 2.7. Η απαραίτητη ισχύ εκπομπής ανά λεκτική σύνδεση ( $=I_c$ ) σε σύγκριση με τη συνολική ισχύ των σταθμών βάσεων ( $=I_{OT}$ ) παρουσιάζεται στον κάθετο άξονα στο Σχήμα 2.8. Παραδείγματος χάριν, η τιμή -20 dB σημαίνει ότι αυτή η σύνδεση παίρνει  $10^{(-20 \text{ dB}/10)} = 1\%$  της συνολικής ισχύος εκπομπής των σταθμών βάσεων. Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή στον κάθετο άξονα, τόσο καλύτερη είναι η επίδοση. Ο οριζόντιος άξονας παρουσιάζει συνολική εκπεμπόμενη ισχύ από το σταθμό βάσεων που διαιρείται με τη λαμβανόμενη παρεμβολή από τις άλλες κυψέλες συμπεριλαμβανομένου του θερμικού θορύβου ( $=N_0$ ).

Αυτή η αναλογία είναι επίσης γνωστή ως συντελεστής γεωμετρίας  $G$ . Μια υψηλή τιμή του  $G$  λαμβάνεται όταν το κινητό είναι κοντά στο σταθμό βάσεων και μια χαμηλή τιμή στην άκρη της κυψέλης.



Σχήμα 2.7. Σενάριο προσομοίωσης για την αξιολόγηση downlink επίδοσης .



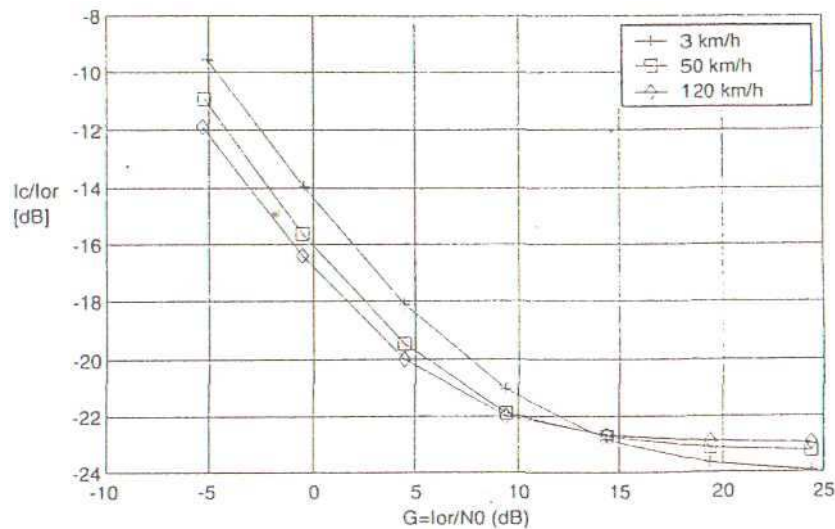
Σχήμα 2.8. Επίδραση της multipath διάδοσης

Μπορούμε να μάθουμε μερικά σημαντικά μαθήματα για την downlink επίδοση από το σχήμα 2.8. Στην άκρη της κυψέλης, δηλ. για τις χαμηλές τιμές του  $G$  η multipath ποικιλομορφία στο ITU τροχάιο του κανάλι A δίνει μια καλύτερη επίδοση έναντι της λιγότερης multipath ποικιλομορφίας στο για τους ITU πεζούς του κανάλι A. Στην άκρη της κυψέλης η multipath ποικιλομορφία βελτιώνει την downlink επίδοση. Κοντά στο σταθμό βάσεων η επίδοση είναι καλύτερη στο για τους ITU πεζούς του κανάλι A επειδή η multipath διάδοση στο ITU τροχάιο του κανάλι A μειώνει την orthogonality των downlink κωδίκων.

Επιπλέον, δεν υπάρχει ανάγκη για την ποικιλομορφία κοντά στο σταθμό βάσεων, δεδομένου ότι η intra-cell παρεμβολή δοκιμάζει την ίδια fast fading με το επιθυμητό σήμα του χρήστη. Εάν το σήμα και η παρεμβολή έχουν την ίδια εξασθένιση, το σήμα στην αναλογία παρεμβολής παραμένει αρκετά σταθερό παρά την εξασθένιση.

Η επίδραση της soft handover δεν παρουσιάζεται σε αυτές τις προσομοιώσεις αλλά θα βελτιώνει την επίδοση, ειδικά στο για τους ITU πεζούς στο κανάλι A στην άκρη της κυψέλης με την παροχή της extra ποικιλομορφίας - macro ποικιλομορφία.

Σημειώνουμε ότι στην downlink η multipath διάδοση(propagation) δεν είναι σαφώς ευεργετική -δίνει diversity gain αλλά συγχρόνως μειώνει την orthogonality. Παρουσιάστηκε στην παράγραφο 2.2.1.3 ότι η multipath ποικιλομορφία βελτιώνει την uplink κάλυψη αλλά η multipath διάδοση δεν βελτιώνει απαραίτητως την downlink χωρητικότητα λόγω της απώλειας της orthogonality. Το κέρδος της μειωμένης παραλλαγής εκπομπής ισχύος δεν παρουσιάζεται στο σχήμα 2.8, όπου παρουσιάζονται μόνο οι μέσες ισχύεις εκπομπής. Για τα χαμηλά bit rates η μέση ισχύ εκπομπής είναι ένα καλό μέτρο, δεδομένου ότι υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός χρηστών και είναι μικρή η μεταβολή (variation) της συνολικής ισχύος εκπομπής. Η μεταβολή της ισχύος εκπομπής είναι σημαντική για την υψηλού bit rates επίδοση όταν υπάρχουν μόνο μερικοί χρήστες. Εάν η μεταβολή είναι μεγάλη, ένα περιθώριο(margin) πρέπει να διατηρηθεί στους radio resource management algorithms όπως στον έλεγχο αποδοχής για να εξασφαλίσει την ποιότητα της υπηρεσίας εκείνης της σύνδεσης. Η επίδραση της multipath ποικιλομορφίας στην υψηλού bit rates επίδοση στην downlink αναλύεται περαιτέρω στη Παράγραφο 2.4.2.



Σχήμα 2.9. Επίδραση της κινητής ταχύτητας στο για τους ITU πεζούς στο κανάλι A

Η επίδραση της κινητής ταχύτητας στην downlink επίδοση στο κανάλι A για τους πεζούς παρουσιάζεται στο σχήμα 2.9. Στην άκρη της κυψέλης η καλύτερη επίδοση λαμβάνεται για τις υψηλές ταχύτητες, ενώ κοντά στο σταθμό βάσης οι χαμηλές ταχύτητες του κινητού αποδίδουν καλύτερα.



Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι για την υψηλές κινητές ταχύτητες interleaving και την κωδικοποίηση καναλιών ο συνελκτικός κώδικας παρέχει τη χρονική ποικιλομορφία και το κέρδος κωδικοποίησης. Στο σχήμα 2.8 αποδείχθηκε ότι η ποικιλομορφία είναι σημαντική στην άκρη της κυψέλης για να βελτιώσει την επίδοση.

### 2.3.1.2 Downlink Χωρητικότητα σε διαφορετικά περιβάλλοντα

Σε αυτό το τμήμα χρησιμοποιούνται οι τύποι χωρητικότητας WCDMA από την παράγραφο 1.2.2 για να αξιολογήσουν την επίδραση των ορθογώνιων κωδικών στην downlink χωρητικότητα στα macro και micro κυψελοειδή περιβάλλοντα. Οι downlink ορθογώνιοι κώδικες καθιστούν την downlink WCDMA ανθεκτικότερη στην παρεμβολή intra-cell από τη uplink κατεύθυνση και η επίδραση της παρεμβολής intra-cell από τους διπλανούς σταθμούς βάσεων έχει μεγάλη επίδραση στην downlink χωρητικότητα. Το ποσό παρεμβολής από τις διπλάνες κυψέλες εξαρτάται από το περιβάλλον διάδοσης και τον σχεδιασμό των δικτύων. Εδώ υποθέτουμε ότι το ποσό παρεμβολής intra-cell είναι χαμηλότερο στις micro κυψέλες όπου οι γωνίες των οδών απομονώνουν τις κυψέλες αυστηρότερα απ' ό,τι στις macro κυψέλες. Αυτή η απομόνωση κυψελών αντιπροσωπεύεται στον τύπο από την αναλογία  $i$  other-to-own. παρεμβολής κυψελών. Επίσης υποθέτουμε ότι στα micro κυψελοειδή περιβάλλοντα υπάρχει λιγότερη multipath διάδοση και έτσι καλύτερο orthogonality των downlink κωδικών. Αφ' ετέρου, η λιγότερη multipath διάδοση δίνει λιγότερη multipath ποικιλομορφία και επομένως υποθέτουμε μια υψηλότερη απαίτηση του  $E_b/N_0$  στην downlink στις micro κυψέλες απ' ό,τι στις macro κυψέλες. Η υποτιθέμενη uplink φόρτωση επιτρέπεται να είναι 60% και στην downlink 80%. Υποτίθεται μια χαμηλότερη uplink φόρτωση απ' ό,τι στην downlink επειδή η κάλυψη είναι πιο προκλητική στην uplink. Μια υψηλότερη φόρτωση οδηγεί στη μικρότερη κάλυψη όπως φαίνεται στην παράγραφο 1.2.2. Η υποτιθέμενη downlink επίδοση εδώ δεν περιλαμβάνει την επίδραση της ποικιλομορφίας κεραιών εκπομπής ενώ η ποικιλομορφία των κεραιών λήψης υποτίθεται στην uplink. Υπολογίζουμε τους ρυθμούς μετάδοσης data ενός παραδείγματος στα macro και micro κυψελοειδή περιβάλλοντα στην uplink και στην downlink. Οι υποθέσεις των υπολογισμών παρουσιάζονται στον πίνακα 2.9 και τα αποτελέσματα στον πίνακα 2.10. Οι αναμεταδόσεις δεν λαμβάνονται υπόψη σε αυτούς τους ρυθμούς μετάδοσης. Με FER=10%, ο ρυθμός μετάδοσης των χρηστών θα είναι το 90% των τιμών που παρουσιάζονται πίνακα 2.10.

Πίνακας 2.9. Υποθέσεις στους υπολογισμούς του ρυθμού μετάδοσης

	Macro cell	Micro cell
Downlink orthogonality	0.6	0.95
Other-to-own cell interference	0.65	0.2
Uplink $E_b/N_0$	1.5dB	1.5dB
Uplink loading	60%	60%
Downlink $E_b/N_0$	5.5 dB	8.0 dB
Downlink loading	80%	80%

Πίνακας 2.10. Ρυθμός μετάδοσης data στα macro και micro cell περιβάλλοντα ανά τομέα ανά φέρον

	Macro cell	Micro cell
Uplink	1040 kbps	1430 kbps
Downlink	660 kbps	1440 kbps

Στις macro κυψέλες ο uplink ρυθμός μετάδοσης είναι υψηλότερος από το downlink ρυθμός μετάδοσης, ενώ στις micro κυψέλες οι downlink και uplink χωρητικότητες είναι αρκετά ισορροπημένες. Η downlink χωρητικότητα εξαρτάται περισσότερο από τη διάδοση και το multipath περιβάλλον απ' ό,τι η uplink χωρητικότητα. Ο λόγος είναι η εφαρμογή των ορθογώνιων κωδίκων.

Οι χωρητικότητες στον πίνακα 2.10 υποθέτουν ότι οι χρήστες κατανέμονται εξίσου την περιοχή των κυψελών. Εάν οι χρήστες είναι κατά μέσον όρο πιο στενοί στο σταθμό βάσεων, οι χωρητικότητες θα είναι υψηλότερες. Οι χωρητικότητες επίσης δείχνουν ότι δεν είναι δυνατή η υποστήριξη ενός χρήστη 2 Mbps σε κάθε κυψέλη εάν οι χρήστες των 2 Mbps μπορούν να είναι οπουδήποτε στην περιοχή των κυψελών, συμπεριλαμβανομένης της άκρης των κυψελών.

### 2.3.1.3 Αριθμός ορθογώνιων κωδίκων

Ο αριθμός των downlink ορθογώνιων κωδίκων είναι περιορισμένος μέσα σε έναν scrambling code. Με έναν spreading factor SF, ο μέγιστος αριθμός ορθογώνιων κωδίκων είναι SF. Αυτός ο περιορισμός του κώδικα μπορεί να έχει επιπτώσεις στην downlink χωρητικότητα εάν το περιβάλλον διάδοσης είναι ευνοϊκό και ο σχεδιασμός και το hardware μέρος των δικτύων υποστηρίζουν μια τέτοια υψηλή χωρητικότητα. Σε αυτό το τμήμα υπολογίζεται η επιτεύξιμη downlink χωρητικότητα με ένα σύνολο ορθογώνιων κωδίκων. Οι υποθέσεις σε αυτούς τους υπολογισμούς παρουσιάζονται στον πίνακα 2.11 και τα αποτελέσματα στον πίνακα 2.12. Μέρος των downlink ορθογώνιων κωδίκων πρέπει να διατηρηθεί για το κοινό κανάλι και για τη soft και softer handover overhead. Αυτοί οι παράγοντες λαμβάνονται υπόψη στους Πίνακες 2.11 και 2.12. Ο μέγιστος αριθμός full-rate λεκτικών καναλιών ανά τομέα με αυτές τις υποθέσεις είναι 98 και ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι 2,5 Mbps ανά τομέα.

Ο αριθμός ορθογώνιων κωδίκων δεν είναι ένας hard-blocking περιορισμός για την downlink χωρητικότητα. Εάν αυτός ο αριθμός δεν είναι αρκετά μεγάλος, ένας δεύτερος (ή περισσότεροι) κώδικας(scrambling)ανακατώματος μπορεί να ληφθεί στη χρήση της downlink, ο οποίος δίνει ένα δεύτερο σύνολο ορθογώνιων σύντομων κωδίκων. Αυτά τα δύο σύνολα ορθογώνιων κωδίκων δεν είναι ορθογώνια το ένα ενάντια στο άλλο. Εάν χρησιμοποιείται ο δεύτερος scrambling κώδικας, τα κανάλια κώδικα με το δεύτερο scrambling κώδικα προκαλούν περισσότερη παρεμβολή απ' ό,τι εκείνά με τον πρώτο scrambling κώδικα από τα άλλα κανάλια κώδικα με τον πρώτο scrambling κώδικα.

Η μέγιστη χωρητικότητα με ένα σύνολο ορθογώνιων κωδίκων μπορεί να είναι χαμηλότερη από αυτή που παρουσιάζεται στον πίνακα 2.12 εάν χρησιμοποιούνται οι variable rate συνδέσεις επειδή ο ορθογώνιος κώδικας πρέπει να διατηρηθεί σύμφωνα με το μέγιστο bit rate της σύνδεσης.

Ο δεύτερος scrambling κώδικας θα χρειαστεί πιθανότατα με τις downlink προσαρμοστικές κεραίες οι οποίες βελτιώνουν την downlink επίδοση πάνω από εκείνες τις τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα 2.10.

Πίνακας 2.11 Υποθέσεις στον υπολογισμό του πίνακα 2.12

Common channels	10 codes with SF= 128
Soft handover overhead	20%
Spreading factor (SF) for half-rate speech	256
Spreading factor (SF) for full-rate speech	128
Chip rate	3.84 Mcps
Modulation	QPSK(2 bits per symbol)
Average DPCC overhead for data	10%
Channel coding rate for data	1/3 with 30% puncturing

Πίνακας 2.12. Μέγιστη downlink χωρητικότητα με έναν scrambling code ανά τομέα

Speech, full rate (AMR 12.2 kbps and 10.2 kbps)	128 channels  *( 128 -10)/128 /1.2 = 98 channels	Number of codes with spreading factor of 128  Common channel overhead Soft handover overhead
Speech, half rate (AMR < 7.95 kbps)	2*98 channels = 196 channels	Spreading factor of 256
Packet data	3.84e6  *(128-10)/128 /1.2 *2 *0.9 /3 /(1 -0.3) = 2.5 Mbps	Chip rate  Common channel overhead Soft handover overhead QPSK modulation DPCCCH overhead 1/3 rate channel coding 30% puncturing

### 2.3.2 Downlink Ποικιλομορφία Εκπομπής

Η downlink χωρητικότητα θα μπορούσε να βελτιωθεί με τη χρησιμοποίηση της ποικιλομορφίας των κεραιών λήψης στον κινητό. Για τα μικρά και φτηνά κινητά δεν είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν δύο κεραιές και αλυσίδες δεκτών. Επομένως, τα πρότυπα WCDMA υποστηρίζουν τη χρήση της ποικιλομορφίας εκπομπής στο σταθμό βάσης. Με την κατανομή εκπομπής το downlink σήμα εκπέμπεται μέσω δύο κλάδων κεραιών των σταθμών βάσεων. Εάν πρέπει να έχουμε ποικιλομορφία λήψης στο σταθμό βάσης και ταυτοχρόνως downlink εκπομπή στις κεραιές λήψης, δεν υπάρχει καμία ανάγκη για τις πρόσθετες κεραιές για την downlink ποικιλομορφία. Στο σχήμα 2.6 θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τις κεραιές για λήψη και για εκπομπή. Η downlink κατανομή εκπομπής θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει τις κεραιές κατανομής διαστήματος ή πόλωσης.

Σε αυτό το τμήμα συγκρίνουμε την downlink κατανομή εκπομπής με την uplink κατανομή λήψης που παρουσιάζεται στην παράγραφο 2.2.1.3 και αναλύουμε το κέρδος επίδοσης (performance gain) που παρουσιάζεται από την downlink κατανομή εκπομπής. Το κέρδος επίδοσης είτε από κατανομή εκπομπής ή λήψης μπορεί να διαιρεθεί σε δύο μέρη:

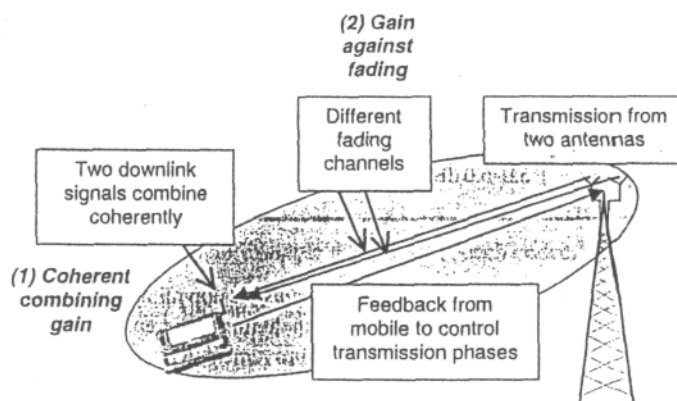
- (1) Συμφασικό κέρδος συνδυασμού (Coherent combining gain)
- (2) Κέρδος ποικιλομορφίας ενάντια στη fast fading.

Το συμφασικό κέρδος συνδυασμού μπορεί να ληφθεί επειδή το σήμα συνδυάζεται συμφασικά ενώ η παρεμβολή δεν συνδυάζεται συμφασικά. Το κέρδος από τον ιδανικό συμφασικό συνδυασμό με δύο κεραιές είναι 3 dB. Η uplink είναι ο δέκτης Rake που κάνει το συμφασικό συνδυασμό του σήματος από τις δύο κεραιές κατανομής. Το uplink συμφασικό κέρδος συνδυασμού είναι 2.5-3.0 dB, ανάλογα με την ακρίβεια της εκτίμησης των καναλιών. Επίσης, με την downlink ποικιλομορφία εκπομπής είναι δυνατό να ληφθεί ο συμφασικός συνδυασμός στην κινητή λήψη εάν οι φάσεις από τις δύο κεραιές εκπομπής ρυθμίζονται σύμφωνα με τις εντολές ανάδρασης από τον κινητό.

Ο συμφασικός συνδυασμός δεν είναι τέλειος, δεδομένου ότι τα multipath συστατικά δεν μπορούν να συνδυαστούν συμφασικά και μπορεί να ρυθμιστεί μόνο ο σχετικός συγχρονισμός των σημάτων από δύο κεραίες. Το σύστημα ανάδρασης πληροφοριών έχει μόνο τα ιδιαίτερα βήματα και έχει μια καθυστέρηση που υποβιβάζει περαιτέρω το συμφασικό κέρδος συνδυασμού στην downlink. Τα αποτελέσματα καθυστέρησης είναι ιδιαίτερα ξεχωριστά με τις υψηλές ταχύτητες στα κινητά. Επομένως, ο συμφασικός συνδυασμός δίνει το λιγότερο κέρδος με την downlink ποικιλομορφία εκπομπής απ' ό,τι με την uplink ποικιλομορφία λήψης. Η downlink ποικιλομορφία εκπομπής με ανάδραση απεικονίζεται στο σχήμα 2.10.

Η ποικιλομορφία εκπομπής και λήψης παρέχει το κέρδος ενάντια στο fast fading. Αυτό το κέρδος είναι μεγαλύτερο όταν υπάρχει λιγότερη multipath ποικιλομορφία. Με το γρήγορο έλεγχο ισχύος σε χαμηλές ταχύτητες κινητές, η εκπεμπόμενη μέση ισχύ είναι χαμηλότερη, δηλ. είναι μικρότερη η άνοδος ισχύος. Οι διαφορές μεταξύ uplink ποικιλομορφία λήψης και της downlink ποικιλομορφία εκπομπής συνοψίζεται στον πίνακα 2.13.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί η διαφορά μεταξύ δύο πηγών ποικιλομορφίας στην downlink: την multipath ποικιλομορφία και την ποικιλομορφία εκπομπής. Η multipath ποικιλομορφία μειώνει την ορθογωνικότητα των κωδικών downlink, ενώ η ποικιλομορφία εκπομπής κρατά τους κώδικες downlink ορθογώνιους στα επίπεδα fading κανάλια. Προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η interference-limited downlink χωρητικότητα, θα ήταν ευεργετικό να αποφευχθεί η multipath διάδοση για να κρατήσει τους ορθογώνιους κώδικες και για να παρέχει την ποικιλομορφία με κεραίες ποικιλομορφίας εκπομπής.



Σχήμα 2.10. Downlink ποικιλομορφία εκπομπής με ανάδραση

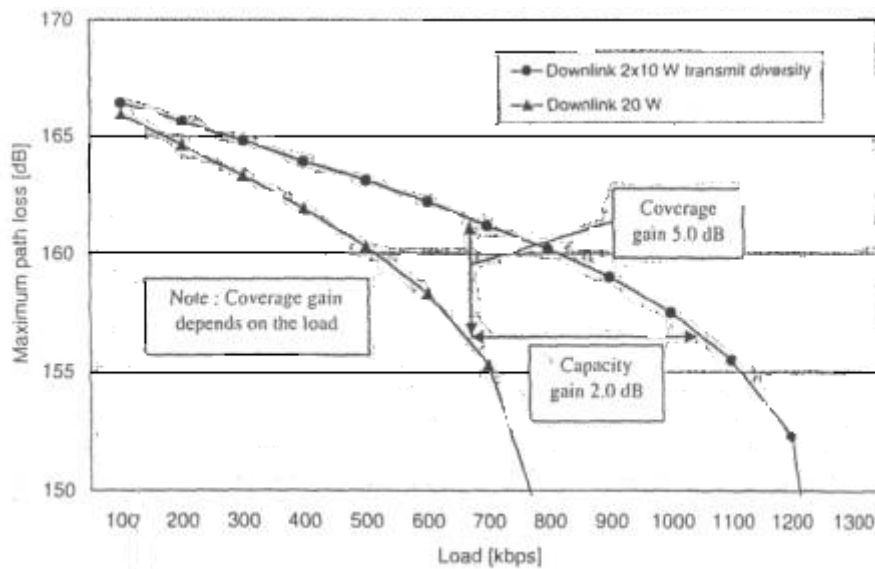
Οι uplink και downlink χωρητικότητες συγκρίνονται στον πίνακα 2.10. Σε αυτή την σύγκριση η ποικιλομορφία λήψης υποτέθηκε για uplink ενώ καμία ποικιλομορφία εκπομπής δεν υποτέθηκε για την downlink. Εάν προσθέτουμε το κέρδος ποικιλομορφίας εκπομπής στις downlink χωρητικότητες στον πίνακα 2.10, η downlink χωρητικότητα γίνεται περίπου ίση με τη uplink χωρητικότητα σε ένα macro cell περιβάλλον. Στις micro κυψέλες οι downlink και uplink χωρητικότητες είναι κατά προσέγγιση ίσες χωρίς ποικιλομορφία εκπομπής. Με την ποικιλομορφία εκπομπής η interference-limited downlink χωρητικότητα σε ένα περιβάλλον micro κυψελών γίνεται σαφώς υψηλότερη από τη uplink χωρητικότητα.

Αυτή η ασυμμετρική air interface χωρητικότητα είναι ευεργετική, δεδομένου ότι η αναμενόμενη απαιτούμενη χωρητικότητα είναι υψηλότερη στην downlink απ' ό,τι στη uplink. Η εξήγηση για την υψηλότερη downlink χωρητικότητα είναι οι ορθογώνιοι κώδικες στην downlink.

Πίνακας 2.13. Η σύγκριση uplink λήψης και η downlink ποικιλομορφία εκπομπής

	Uplink receive diversity	Downlink transmit diversity with feedback
(1) Coherent combining gain Gain from ideal coherent combining is 3.0 dB with two antennas		
How to obtain coherent combining	Rake receiver with channel estimation from pilot symbols	Feedback loop from mobile to base station to control the transmission phases to make received signals to combine coherently in mobile
Non-idealities in coherent combining	Inaccurate channel estimation in Rake receiver	Inaccurate channel estimation in mobile Discrete steps in feedback loop Delay in feedback loop Multipath propagation
Practical gain of coherent combining	2.5-3.0 dB gain	Gain is lower than with receive diversity
(2) Diversity gain against fading		
Diversity gain with fast power control	Diversity gain = reduction of power rise. Example values: ITU Pedestrian A: 2.8 dB ITU Vehicular A: 0.8 dB	
Total gain in reduction of transmission powers		
Total gain from antenna diversity	3.0-6.0 dB	0.0-5.0 dB

Η επίδραση της downlink κέρδους της ποικιλομορφία εκπομπής στην downlink χωρητικότητα και κάλυψη παρουσιάζεται στο σχήμα 2.11. Υποτίθεται ένα κέρδος 2 dB συμπεριλαμβανομένου του συμφασικό κέρδος συνδυασμού και το κέρδος ποικιλομορφίας ενάντια στην εξασθένιση. Αυτή η βελτίωση δίνει ένα κέρδος χωρητικότητας 2 dB. Εάν επιτρέψουμε, παραδείγματος χάριν, μια μέγιστη path loss 157 dB, η χωρητικότητα μπορεί να αυξηθεί από 650 kbps σε 1030 kbps. Το κέρδος ποικιλομορφίας εκπομπής μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά για να βελτιώσει την downlink κάλυψη κρατώντας το φορτίο αμετάβλητο. Στο παράδειγμα στο σχήμα 2.11 η μέγιστη path loss θα μπορούσε να αυξηθεί κατά 5 dB από 157 dB σε 162 dB, εάν το φορτίο κρατήθηκε στα 650 kbps. Το κέρδος κάλυψης είναι υψηλότερο από το κέρδος χωρητικότητας λόγω της καμύλης των φορτίων WCDMA. Μπορεί να μην είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν τα downlink κέρδη κάλυψης και να επεκταθεί το μέγεθος των κυψελών με την downlink ποικιλομορφία εκπομπής εάν στην uplink περιοριστεί η κατεύθυνση στην κάλυψη. Το κέρδος κάλυψης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά για να μειώσει την απαραίτητη ισχύ εκπομπής των σταθμών βάσεων. Εάν κρατάμε το φορτίο αμετάβλητο με 650 kbps και τη μέγιστη path loss αμετάβλητη σε 157 dB, θα μπορούσαμε να μειώσουμε τη ισχύ εκπομπής από 5 dB, από 20 W σε 2 \* 3,2 W.



Σχήμα 2.11. Κέρδη της downlink χωρητικότητας και κάλυψης με την ποικιλομορφία εκπομπής. Υποτίθεται 2 dB link-level κέρδος από τη ποικιλομορφία εκπομπής.

### 2.3.3 Βελτιώσεις χωρητικότητας

Μερικοί τρόποι να βελτιωθεί η downlink χωρητικότητα ανά περιοχή είναι οι παρακάτω:

- Περισσότερες συχνότητες = carriers
- Ποικιλομορφία εκπομπής
- Sectorisation
- Χαμηλότερο bit rate codec, για παράδειγμα με τον speech AMR codec.

Εάν ο operator επιτρέπει τη κατανομή συχνότητας, ο operator μπορεί να πάρει ένα άλλο carrier στη χρήση. Το WCDMA υποστηρίζει τις αποδοτικές inter-frequency handovers και διάφορα carriers μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ισορροπήσουν τη φόρτωση και για να ενισχύσουν την χωρητικότητα ανά περιοχή. Είναι δυνατό να μοιραστεί ένας ενισχυτής ισχύος μεταξύ διαφόρων carriers. Στην παράγραφο 1.2.2 αποδείχθηκε ότι η διανομή ενός ενισχυτή ισχύος μεταξύ δύο carriers παρέχει την αποδοτικότερη χρήση του ενισχυτή ισχύος, δεδομένου ότι η φόρτωση μπορεί να διαιρεθεί μεταξύ δύο carriers και όταν ερχόμαστε κάτω στην καμπύλη των WCDMA φορτίων, μειώνεται η απαραίτητη ισχύ εκπομπής ανά χρήστη. Το WCDMA φορτίο δείχνει επίσης ότι η αύξηση της downlink ισχύος εκπομπής μπορεί να δώσει ένα πολύ οριακό κέρδος χωρητικότητας και δεν είναι μια αποτελεσματική λύση για τη βελτίωση της downlink χωρητικότητας.

Η downlink ποικιλομορφία εκπομπής βελτιώνει την downlink χωρητικότητα σε μια έκταση που εξαρτάται από το βαθμό της multipath ποικιλομορφίας σε εκείνο το περιβάλλον. Η multipath ποικιλομορφία είναι λιγότερο διαθέσιμη, όσο μεγαλύτερο είναι το downlink κέρδος χωρητικότητας με τη χρησιμοποίηση της ποικιλομορφίας εκπομπής. Επομένως, τα υψηλότερα κέρδη χωρητικότητας αναμένονται στις micro και pico κυψέλες όπου υπάρχει μόνο περιορισμένη multipath ποικιλομορφία.

Εάν η uplink υποδοχή χρησιμοποιεί ήδη την ποικιλομορφία, η downlink ποικιλομορφία εκπομπής θα μπορούσε να περιληφθεί στο δίκτυο χωρίς τροποποιήσεις στις δομές των κεραιών.

Sectorisation μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αυξήσει την χωρητικότητα ανά περιοχή. Σε μια ιδανική υπόθεση  $N$  τομείς δίνουν  $N$  φορές υψηλότερη χωρητικότητα, αλλά στην πράξη η sectorisation αποδοτικότητα είναι χαρακτηριστικά περίπου 90%. Αυτό σημαίνει ότι η αναβάθμιση της περιοχής από μια περιοχή omni σε μια three-sector περιοχή δίνει μια αύξηση χωρητικότητας περίπου 2,7 και σε μια six-sector περιοχή μια αύξηση χωρητικότητας περίπου 5,4. Ο αυξανόμενος αριθμός τομέων φέρνει επίσης βελτιωμένη κάλυψη μέσω ενός υψηλότερου κέρδους των κεραιών. Το μειονέκτημα της αναβάθμισης της χωρητικότητας με την αύξηση του αριθμού τομέων είναι ότι πρέπει να αντικατασταθούν οι κεραιές και πρέπει να ξαναγίνουν ο σχεδιασμός και η βελτιστοποίηση των ράδιο δικτύων.

Με το AMR speech codec είναι δυνατό να αυξηθεί η λεκτική χωρητικότητα στο WCDMA με τη χρησιμοποίηση ενός χαμηλότερου bit rate AMR mode. Η AMR speech codec παρουσιάζεται στο Παράγραφο 2.3. Ο συνολικός αριθμός των εκπεμπόμενων bits που χρησιμοποιούνται δεν αυξάνεται με τη χρησιμοποίηση χαμηλότερων AMR bit rate - ο αριθμός συνδέσεων αυξάνεται ενώ το bit rate ανά χρήστη μειώνεται. Ο codec AMR επιτρέπει μια ανταλλαγή μεταξύ της λεκτικής χωρητικότητας και της ποιότητας σύμφωνα με τις ανάγκες του operator.

## 2.4 Υψηλά Bit Rates

Σε αυτό το τμήμα αξιολογείται η link-level επίδοση των 512 kbps και 2 Mbps στα multipath κανάλια. Η αξιολόγηση είναι βασισμένη στις link-level προσομοιώσεις με έναν Rake δέκτη στα bit rates σχεδιαγράμματα. Σε WCDMA τα υψηλότερα bit rates λαμβάνονται με ένα χαμηλότερο κέρδος επεξεργασίας (processing gain)- είτε με ένα μεταβλητό spreading factor ή με multicodecs. Οι ιδιότητες παρεμβολής και η επίδοση των δύο λύσεων έχουν αποδειχθεί ότι είναι ισοδύναμες. Δεδομένου ότι οι ιδιότητες αυτοσυσχέτισης των spreading codes δεν είναι ιδανικές, τα multipath συστατικά παρεμποδίζουν το ένα το άλλο. Εάν το κέρδος επεξεργασίας είναι μεγάλο, η inter-path interference (IPI) και οι inter-symbol interference (ISI) είναι αμελητέοι, αλλά με ένα χαμηλό κέρδος επεξεργασίας η inter-path interference έχει επιπτώσεις σαφώς στην επίδοση. Το processing gain για 2 Mbps είναι μόνο 2.8 dB ( $= 10 \cdot \log_{10}(3.84 \text{ Mcps}/2.0 \text{ Mbps})$ ) και σαφώς χάνεται μέρος των ιδιοτήτων του απλωμένου φάσματος (spread-spectrum) WCDMA. Στα συστήματα TDMA, όπως στο GSM inter-symbol interference αντιμετωπίζεται από έναν εξισωτή (equaliser).

Στις link-level προσομοιώσεις η επίδοση του  $E_b/N_0$  στα διαφορετικά multipath σχεδιαγράμματα εξαρτάται και από την inter-path interference και από το multipath κέρδος ποικιλομορφίας. Εάν επιθυμούμε να παρατηρήσουμε μόνο την επίδραση της inter-path interference, πρέπει να ξέρουμε την επίδραση του κέρδους ποικιλομορφίας (diversity gain). Επομένως, τα αποτελέσματα προσομοίωσης επιτυγχάνονται επίσης χρησιμοποιώντας ένα πρότυπο προσομοίωσης όπου δεν διαμορφώνεται η inter-path interference μεταξύ των multipath συστατικών. Αυτά τα αποτελέσματα μιμούνται μια ιδανική δομή δεκτών που θα μπορούσε τέλεια να εξαλείψει την inter-path interference.

Δεδομένου ότι η multipath διάδοση προκαλεί την inter-path interference αλλά και παρέχει την multipath ποικιλομορφία, η συνολική επίδραση της multipath ποικιλομορφίας εξαρτάται από το bit rate. Για τα πολύ υψηλά bit rates η inter-path interference μπορεί να προκαλέσει περισσότερη υποβάθμιση από αυτή που κερδίζεται από την multipath ποικιλομορφία. Το multipath κέρδος ποικιλομορφίας αναλύεται στην παράγραφο της 2.4.2.

## 2.4.1 Inter-path παρεμβολή

### 2.4.1.1 Uplink 512 kbps

Η uplink επίδοση των 512 kbps λαμβάνεται σε αυτές τις προσομοιώσεις με μια απλή εκπομπή κώδικα που υποστηρίζει μια αποδοτική λειτουργία ενισχυτών ισχύος στον κινητό σταθμό. Μισός - ο συνελκτικός κώδικας ποσοστού χρησιμοποιείται. Το frame error rate πακέτων χρησιμοποιείται ως μέτρο επίδοσης με ένα μέγεθος πακέτων 320 bits χρηστών. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του 3GPP Release-99 θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν το 1/3 rate Turbo codes. Οι Turbo codes θα παρείχαν την ελαφρώς καλύτερη επίδοση του  $E_b/N_0$  από τους συνελκτικούς κώδικες (convolutional codes) αλλά δεν θα επηρεάζονταν η επίδραση της inter-path interference. Η ποικιλομορφία των κεραίων λήψης υποτίθεται στο σταθμό βάσεων.

Η uplink απόδοση των 512 kbps έχει εξομοιωθεί με έναν chip-level προσομοιωτή και με έναν symbol-level προσομοιωτή. Στον chip-level προσομοιωτή spreading και despreading διαμορφώνεται με μια chip-level χρονική ανάλυση των 0,24  $\mu$ s (= 1/4.096 Mcps), ενώ στο symbol-level προσομοιωτή χρησιμοποιείται μόνο η symbol-level χρονική ανάλυση. Το προηγούμενο chip rate των 4.096 Mcps έχει χρησιμοποιηθεί σε αυτές τις προσομοιώσεις. Στο symbol-level προσομοιωτή τα multipath συστατικά καθώς επίσης και τα I- and Q-branches κρατούνται χωριστά και ορθογώνια, κατά συνέπεια δεν διαμορφώνεται η inter-path interference. Το symbol-level model αντιστοιχεί σε μια ιδανική δομή δεκτών που θα μπορούσε τέλεια να εξαλείψει την inter-path interference.

Το λαμβανόμενο  $E_b/N_0$  με το chip-level και τα symbol-level models παρουσιάζονται στο σχήμα 2.12 και τους πίνακες 2.14 και 2.15. Η διαφορά στην επίδοση μεταξύ του ενός, δύο και -τριών καναλιών πορειών με το symbol-level model είναι λιγότερο από 0.2 dB. Αυτό δείχνει ότι η multipath ποικιλομορφία δεν προκαλεί τις διαφορές, επειδή ο γρήγορος έλεγχος ισχύος μπορεί να αντισταθμίσει για fast fading στις αργές ταχύτητες κινητών. Επομένως, μπορούμε να υποθέσουμε ότι ο λόγος για τη διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων chip-level και symbol-level είναι μόνο η inter-path interference. Σε αυτές τις προσομοιώσεις όλα τα multipath συστατικά έχουν τις ίδιες μέσες ισχύεις.

Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι η υποβάθμιση που προκαλείται από την inter-path interference είναι περίπου 0.6 dB για FER = 10%. Σε χαμηλότερο FER είναι μεγαλύτερη περίπου 1.2 dB για FER = 1%.

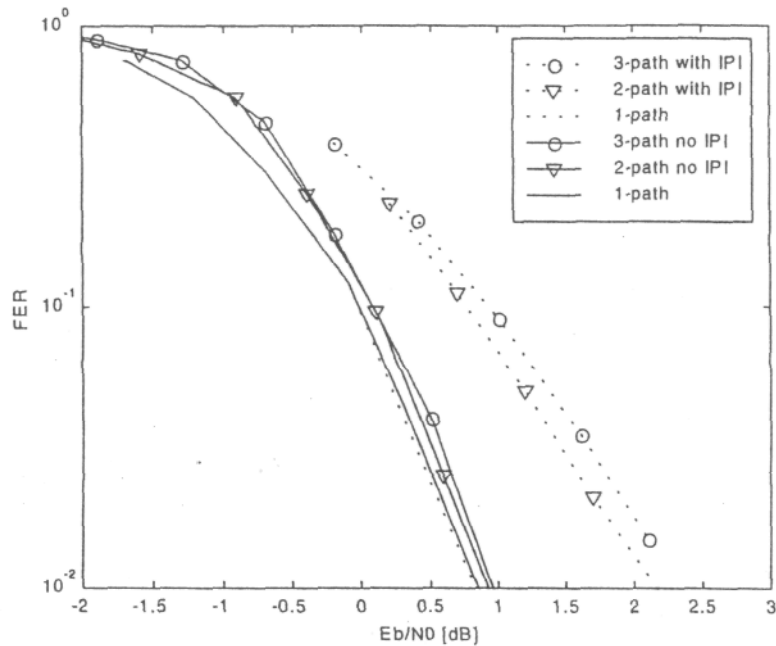
Πίνακας 2.14. Uplink 512 kbps παρεμβολή με FER = 10% (IPI = inter-path interference)

	Required $E_b/N_0$ per antenna		
	Chip level with IPI	Symbol level, no IPI	Degradation due to IPI
1-path	0.0 dB	0.0 dB	No IPI
2-path	0.7 dB	0.1 dB	0.6 dB
3-path	0.8 dB	0.2 dB	0.6 dB

Πίνακας 2.15. Uplink 512 kbps παρεμβολή με FER = 1% (IPI = inter-path interference)

	Required $E_b/N_0$ per antenna		
	Chip level with IPI	Symbol level, no IPI	Degradation due to IPI
1-path	0.9 dB	0.9 dB	No IPI
2-path	2.2 dB	0.9 dB	1.3 dB
3-path	2.2 dB	1.0 dB	1.2 dB





Σχήμα 2.12. Uplink 512 kbps  $E_b/N_0$  με chip-level και symbol-level πρότυπα προσομοίωσης στα 3 km/h. (IPI = Inter-path interference)

#### 2.4.1.2 Downlink 2.3 Mbps

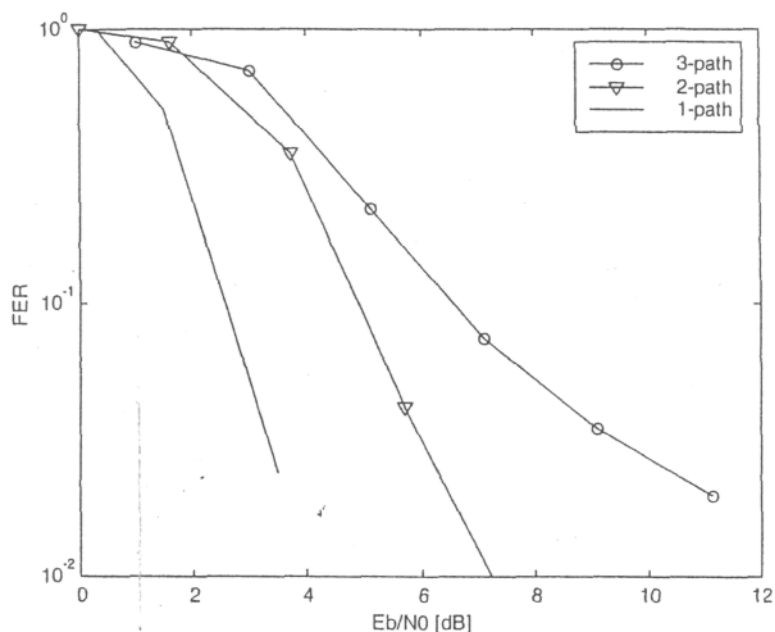
Οι downlink προσομοιώσεις των 2 Mbps επιτυγχάνονται με τέσσερα παράλληλα κανάλια κώδικα, κάθε ένα με έναν spreading factor. Στην πράξη τρεις spreading codes πρέπει να χρησιμοποιηθούν στην downlink αντί τεσσάρων επειδή μέρος των ορθογώνιων κωδίκων πρέπει να διατηρηθεί για τα κοινά downlink κανάλια. Εάν χρησιμοποιούμε μόνο τρεις κώδικες αντί τεσσάρων, πρέπει να εφαρμόσουμε το puncturing. Σε αυτά τα downlink αποτελέσματα δεν υποτίθεται ποικιλομορφία κεραιών λήψης και εκπομπής.

Τα αποτελέσματα προσομοίωσης downlink με το chip-level πρότυπο παρουσιάζονται στο σχήμα 2.13 και για FER = 10% στον πίνακα 2.16. Το chip-level πρότυπο περιλαμβάνει την επίδραση του inter-path παρεμβολή. Η διαφορά μεταξύ των διαφορετικών multipath σχεδιαγραμμάτων προκαλείται από την inter-path παρεμβολή.

Με 2,3 Mbps στην downlink, η υποβάθμιση λόγω της inter-path παρεμβολής μπορεί να είναι μέχρι 3,7 dB με FER = 10%. Η inter-path παρεμβολή προκαλεί ένα error floor και δεν μπορεί να επιτευχθεί με πολύ χαμηλό FER.

Η υποβάθμιση λόγω της inter-path παρεμβολή θα μπορούσε να μετριαστεί με τη χρησιμοποίηση μιας προηγμένης δομής δεκτών όπου θα εξισωνόταν ο αντίκτυπος του καναλιού. Τα μέγιστα κέρδη από μια τέτοια δομή δεκτών θα μπορούσαν να είναι πάνω από 3,7 dB με 2 Mbps σε ένα three-path κανάλι. Η εφαρμογή ενός τέτοιου δέκτη δεν θα ήταν υπερβολικά σύνθετη επειδή απαιτεί μόνο έναν γραμμικό εξισωτή: δείτε την παράγραφο 2.5.2 για περισσότερη συζήτηση.

Η downlink επίδοση των υψηλών bit rates θα μπορούσε να βελτιωθεί επίσης με τη χρησιμοποίηση της ποικιλομορφίας εκπομπής στο σταθμό βάσεων. Η ποικιλομορφία εκπομπής βελτιώνει την downlink επίδοση, όπως φαίνεται στην παράγραφο της 2.3.2 και καθιστά την υψηλού bit rate εκπομπή επίσης πιο γερή ενάντια στην inter-path παρεμβολή.



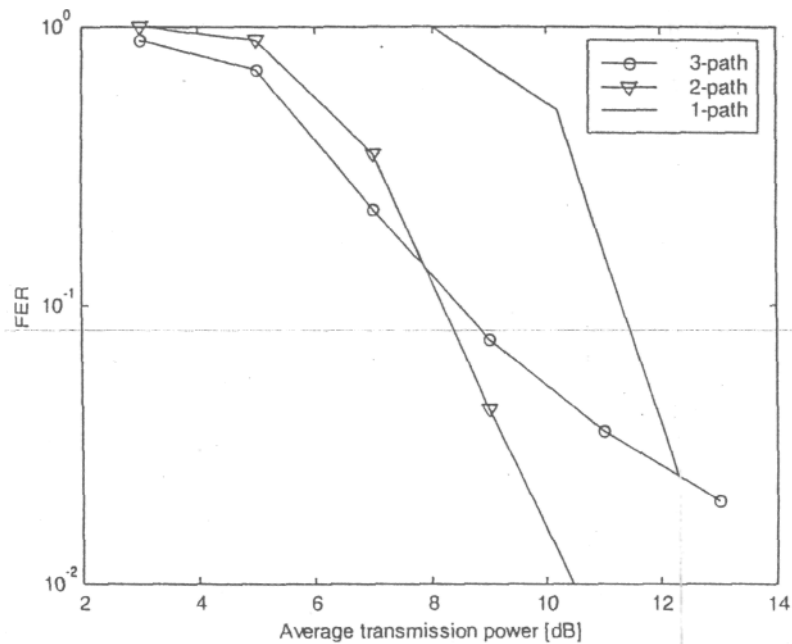
Σχήμα 2.13. Downlink 2.3 Mbps  $E_b/N_0$  με inter-path παρεμβολή στα 3 km/h

Πίνακας 2.16. Downlink 2.3 Mbps επίδοση στα FER = 10%

	Required $E_b/N_0$	
	Chip level with IPI	Degradation due to IPI
1-path	2.7 dB	No IPI
2-path	4.6 dB	1.9 dB
3-path	6.4 dB	3.7 dB

## 2.4.2 Κέρδος Multipath Ποικιλομορφίας

Η multipath διάδοση προκαλεί την inter-path παρεμβολή αλλά και παρέχει την multipath ποικιλομορφία. Με τις χαμηλές κινητές ταχύτητες αυτό το κέρδος ποικιλομορφίας μπορεί να φανεί στις ισχύεις εκπομπής που είναι χαμηλότερες με την ποικιλομορφία. Στο σχήμα 2.14 παρουσιάζονται οι downlink ισχύεις εκπομπής με 2 Mbps. Με FER = 10%, τα αποτελέσματα two-path και three-path είναι ίσα και η απαραίτητη ισχύ εκπομπής είναι περίπου 3 dB λιγότερο απ' ό,τι στο one-path κανάλι. Με FER = 1% η επίδραση της inter-path παρεμβολής είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στο FER = 10%.



Σχήμα 2.14. Downlink ισχύ εκπομπής στα 2 Mbps με 3 km/h

Η διαφορά μεταξύ της απαραίτητης λαμβανόμενης ισχύος στο σχήμα 2.13 και της απαραίτητης ισχύος εκπομπής στο σχήμα 2.14 είναι η άνοδος της ισχύος. Η άνοδος ισχύος με τον ιδανικό έλεγχο ισχύος θα ήταν 3,0 dB σε ένα two-path κανάλι και 1,8 dB σε ένα three-path κανάλι. Η άνοδος ισχύος σε αυτές τις προσομοιώσεις των 2 Mbps με τον πραγματικό έλεγχο ισχύος φαίνεται να είναι πολύ κοντά στις θεωρητικές τιμές.

Ποια είναι η διαφορά μεταξύ αυτών των downlink αποτελεσμάτων 2 Mbps και των downlink αποτελεσμάτων για τη λεκτική υπηρεσία στην παράγραφο της 2.3.1; Για τη λεκτική υπηρεσία η multipath διάδοση προκαλεί την παρεμβολή μεταξύ των χρηστών μέσα σε μια κυψέλη. Για τα 2 Mbps δεν υπάρχει καμία παρεμβολή μεταξύ των own-cell χρηστών επειδή η χωρητικότητα δεν επιτρέπει περισσότερους από έναν χρήστες των 2 Mbps συγχρόνως σε μια κυψέλη αλλά η multipath διάδοση προκαλεί την inter-path παρεμβολή.

### 2.4.3 Επιτευξιμότητα των Υψηλών Bit Rates

Η δυνατότητα πραγματοποίησης των υψηλών bit rates στα κυψελοειδή περιβάλλοντα συνοψίζεται σε αυτή τη παράγραφο. Η δυνατότητα πραγματοποίησης εξετάζει την κάλυψη, τη χωρητικότητα και την link-level επίδοση των υψηλών bit rates μέχρι 2 Mbps. Η κάλυψη συζητείται γενικά στην παράγραφο 2.2 και τη χωρητικότητα στην παράγραφο 2.3.

Η downlink κάλυψη αναλύεται στην παράγραφο της 2.2.3 και αποδεικνύεται ότι η παροχή της πλήρους downlink κάλυψης για 1 Mbps είναι δυνατή ακόμη και στα μεγάλα macro cells. Διάφορες υποθέσεις έχουν επιπτώσεις στην κάλυψη. Στην πράξη η downlink κάλυψη 2 Mbps μπορεί να είναι μεταξύ 50-100% της περιοχής των κυψελών και επομένως δεν θα αποτρέψει την παροχή υπηρεσιών υψηλών bit rates με τη WCDMA. Γενικά, η downlink κάλυψη των υψηλών bit rates είναι καλύτερη από τη uplink κάλυψη, δεδομένου ότι μπορεί να διατεθεί περισσότερη ισχύς ανά σύνδεση στη downlink απ' ό,τι στην uplink.

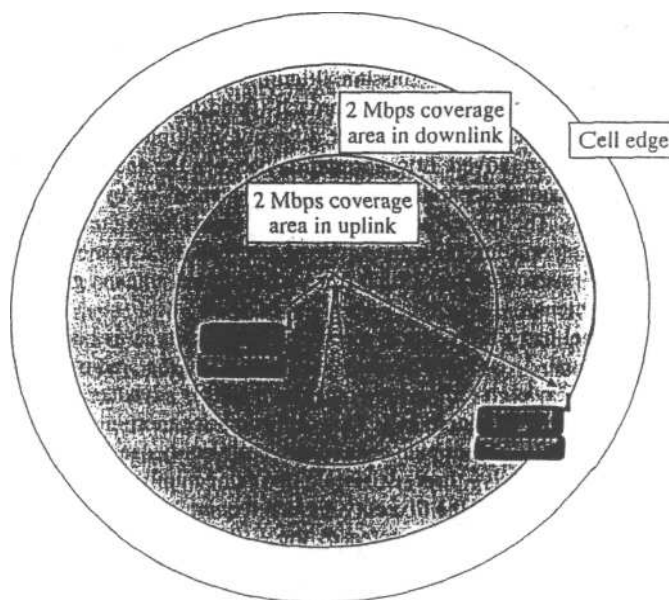
Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τα υψηλά bit rates επειδή μπορεί να υπάρξει μόνο ένας χαμηλός αριθμός υψηλών bit rates χρηστών ανά κυψέλη στο case time και επομένως ένα μεγάλο ποσοστό της ισχύος των σταθμών βάσεων μπορεί να διατεθεί σε έναν υψηλού bit rate χρήστη.

Η uplink κάλυψη των υψηλών bit rates είναι μικρότερη από την downlink κάλυψη επειδή η ισχύ εκπομπής του κινητού είναι περιορισμένη. Η uplink κάλυψη εξαρτάται πολύ από το μέγεθος των κυψελών. Το σχήμα 2.4 παρουσίασε τη σχετική κάλυψη των διαφορετικών bit rates. Σε εκείνο το παράδειγμα η κυψέλη σχεδιάστηκε να παρέχει πλήρη κάλυψη για 144 kbps και το φάσμα για 2 Mbps ήταν το 50% του φάσματος των 144 kbps. Για παράδειγμα οι τομείς κάλυψης της υπηρεσίας των 2 Mbps παρουσιάζονται στο σχήμα 2.15.

Οι χαρακτηριστικές χωρητικότητες στα διαφορετικά περιβάλλοντα παρουσιάζονται στον πίνακα 2.10, από τον οποίο φαίνεται ότι η μέση χωρητικότητα ανά τομέα είναι μικρότερη από 2 Mbps. Στον πίνακα 2.10 υποτίθεται ότι οι χρήστες κατανέμονται εξίσου την περιοχή κυψελών. Εάν η φόρτωση στις διπλάνες κυψέλες είναι χαμηλή ή αν ο χρήστης των 2 Mbps είναι πιο στενός στο σταθμό βάσεων είναι δυνατό να υποστηριχθεί ένας χρήστης 2 Mbps στην downlink. Εάν απαιτούσαμε έναν χρήστη 2 Mbps σε κάθε κυψέλη, συμπεριλαμβανομένου την άκρη των κυψελών τότε θα απαιτούταν βελτίωση στην χωρητικότητα. Η παράγραφος της 2.3.3 πρότεινε διάφορες λύσεις για τη βελτίωση της χωρητικότητας στη WCDMA.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της link-level επίδοσης των υψηλών bit rates στα multipath κανάλια έχουν παρουσιαστεί στην παράγραφο 2.4. Αποδείχθηκε ότι 2 Mbps είναι εφικτά με τη WCDMA στα multipath κανάλια.

Για σύνοψη η WCDMA air interface μπορεί να παρέχει τις υπηρεσίες υψηλού bit rate ακόμη και στις μεγάλες κυψέλες. Η air interface είναι έτοιμη για εκείνες τις υπηρεσίες που μπορούν να εκμεταλλευθούν αυτές τις υψηλού bit rate χωρητικότητες.



Σχήμα 2.15. 2 Mbps περιοχή κάλυψης στα macro cells

## 2.5 Αυξήσεις της επίδοσης (Performance Enhancements)

Σε αυτήν την παράγραφο περιγράφεται η αύξηση στην επίδοση των τμημάτων WCDMA με τις προηγμένες δομές κεραιών και με την baseband multi-user ανίχνευση. Και οι δύο λύσεις εξετάζονται εδώ για το σταθμό βάσεων για τη βελτίωση της uplink επίδοσης.

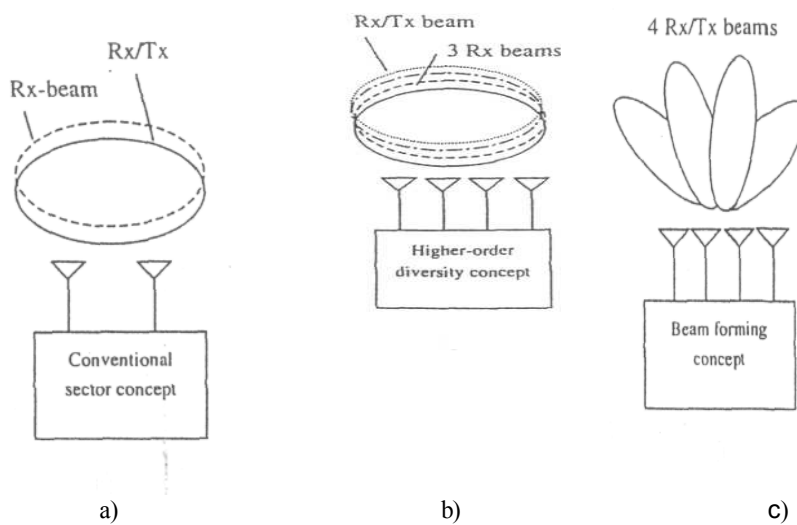
### 2.5.1 Υλοποιήσεις κεραιών

Η WCDMA κάλυψη παρουσιάζεται στην παράγραφο 2.2 και αποδεικνύεται χαρακτηριστικά ότι περιορίζεται η uplink κάλυψη. Ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη βελτίωση της uplink κάλυψης είναι να αυξηθεί ο αριθμός των κεραιών λήψης στο σταθμό βάσεων. Η επιλογή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών (configuration) των κεραιών εξαρτάται, παραδείγματος χάριν, από τα ακόλουθα ζητήματα:

- Τα χαρακτηριστικά των ράδιο καναλιών (pico cell/micro cell/macro cell) που επηρεάζονται από το βαθμό της multipath ποικιλομορφίας του καναλιού.
- Τη γωνιακή διάδοση (Angular spread).
- Τις χαρακτηριστικές ταχύτητες κινητών.
- Τις απαιτήσεις της uplink και downlink χωρητικότητας.
- Πολυπλοκότητα υλοποίησης.
- Περιβαλλοντικά ζητήματα, οπτική επίδραση των κεραιών.

Η βασική επιλογή είναι είτε όταν μεγιστοποιήσουμε τον αριθμό ποικιλομορφίας των διακλαδώσεων είτε όταν μεγιστοποιήσουμε το κέρδος των κεραιών. Το σχήμα 2.16 παρουσιάζει διαφορετικές επιλογές για τα χαρακτηριστικά (configurations) των κεραιών των σταθμών βάσεων. Σε μια συμβατική ρύθμιση κάθε κυψέλη διαιρείται σε τρεις τομείς και ο σταθμός βάσεων χρησιμοποιεί δύο κεραιές ανά τομέα. Κάθε τύπος κεραιών καλύπτει ολόκληρο τον τομέα. Η ποικιλομορφία δύο-κλάδων εφαρμόζεται συνήθως στην uplink, ενώ συχνά μόνο μια από τις δύο κεραιές χρησιμοποιείται για τη downlink εκπομπή. Το σχήμα 2.16 επίσης παρουσιάζει την προσέγγιση της higher-order ποικιλομορφίας και προσέγγιση της beam-forming (σταθερή δέσμη) όταν χρησιμοποιούνται τέσσερις κεραιές ανά τομέα. Στην περίπτωση της higher-order ποικιλομορφίας λειτουργούν οι πολλαπλάσιες κεραιές, όπου κάθε μια καλύπτει ολόκληρο τον τομέα των κυψελών. Επιδιώκεται χαμηλός συσχετισμός μεταξύ των κεραιών, ο οποίος μπορεί να επιτευχθεί από τον επαρκή χωρισμό μεταξύ των κεραιών ή με τη χρησιμοποίηση κεραιών με ορθογώνια πόλωση. Η προσέγγιση της beam-forming μπορεί να εκμεταλλευτεί μια ομοιόμορφη γραμμική σειρά (array) στην οποία ο τομέας των inter-antenna καλύπτεται με τις στενές δέσμες που έχουν ένα αυξανόμενο κέρδος έναντι μιας συμβατικής κεραιάς του τομέα.

Εάν το ράδιο κανάλι έχει έναν υψηλό βαθμό multipath ποικιλομορφίας είναι ευεργετικό να χρησιμοποιηθούν σχετικά λίγοι κλάδοι ποικιλομορφίας κεραιών. Εντούτοις, εάν το ράδιο κανάλι μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα επίπεδο Rayleigh fading channel (one-tap), είναι συμφέρον να αυξηθεί ο αριθμός των κλάδων ποικιλομορφίας. Τα macro-cells περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά περισσότερη multipath ποικιλομορφία, αλλά λιγότερο γωνιακή ποικιλομορφία από τα micro ή pico cells. Η γωνιακή ποικιλομορφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις beam-forming τεχνικές. Προφανώς, υπάρχει ένας βέλτιστος αριθμός κλάδων ποικιλομορφίας, δεδομένου ότι ο συνεπής συνδυασμός των σημάτων ποικιλομορφίας απαιτεί την ακριβή εκτίμηση (estimation) των καναλιών. Δεδομένου ότι αυξάνεται ο αριθμός κλάδων ποικιλομορφίας, μειώνεται το  $E_b/N_0$  ανά ποικιλομορφία ο κλάδος. Επομένως, η εκτίμηση καναλιών για κάθε κλάδο γίνεται κρισιμότερη.



Σχήμα 2.16. Διαφορετικές έννοιες κεραιών των σταθμών βάσεων (παρουσιάζεται ένας απλός τομέας)

Στα εξής τμήματα συζητείται χωριστά η κάλυψη και η χωρητικότητα που παρέχουν οι προσαρμοστικές σειρές (arrays) κεραιών. Εδώ η εστίαση είναι κυρίως στις uplink λύσεις. Στην FDD mode του WCDMA είναι μάλλον δύσκολο να επιτευχθεί η βέλτιστη downlink επίδοση με τις προσαρμοστικές σειρές κεραιών δεδομένου ότι η uplink και downlink χρησιμοποιούν διαφορετικές συχνότητες και το fast fading είναι ασύνδετο μεταξύ της uplink και της downlink. Επομένως, στην προσέγγιση beam-forming πρέπει να υπολογιστεί η κατεύθυνση της άφιξης των uplink paths των σημάτων. Επιπλέον, απαιτείται συνεχώς η βαθμολόγηση της σειράς κεραιών προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η downlink επίδοση. Στον τρόπο ποικιλομορφίας εκπομπής η κατεύθυνση της άφιξης δεν πρέπει να υπολογιστεί λόγω της ανάδρασης από το τερματικό. Η downlink ποικιλομορφία των κεραιών εκπομπής παρουσιάζεται λεπτομερέστερα στην παράγραφο 2.3.2.

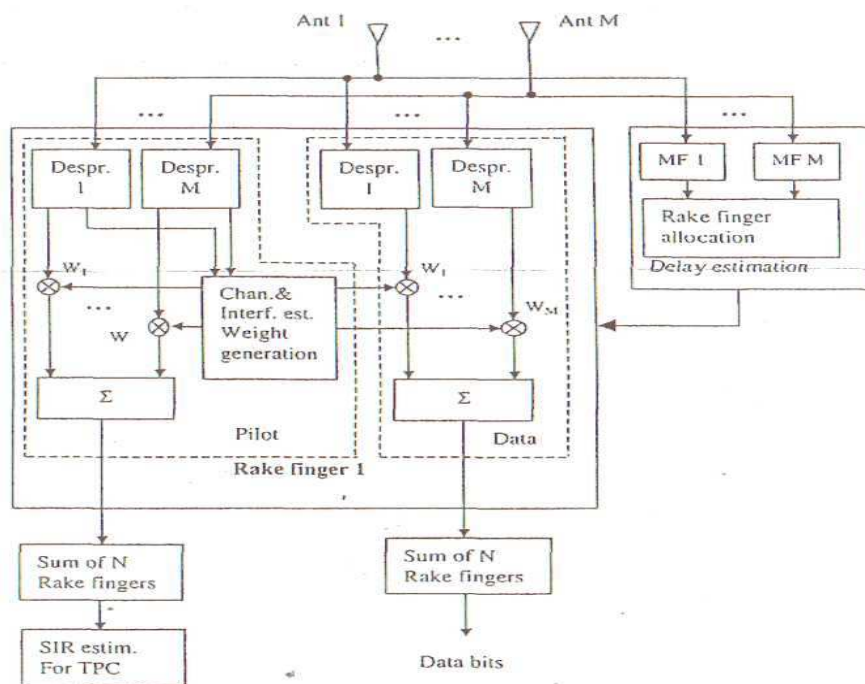
### 2.5.1.1 Αύξηση κάλυψης με τις σειρές κεραιών

Στην κατάσταση περιορισμένης κάλυψης μια χαρακτηριστική υπόθεση είναι ότι η παρεμβολή μπορεί να χαρακτηριστεί χρονικά και στο χώρο ως λευκός θόρυβος και η φόρτωση μπορεί να θεωρηθεί να είναι σε χαμηλό επίπεδο, δηλ. η αναλογία μεταξύ της multiple access interference και του θορύβου,  $I_0/N_0$ , είναι αρκετά κάτω από 0 dB. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο καλύτερος δέκτης για ένα fading channel είναι ένας δέκτης ποικιλομορφίας που κατέχει τη Μέγιστη Αναλογία Συνδυασμού (Maximal Ratio Combining) MRC. Εάν τα πλάτη και οι γωνίες φάσης των diversity branches υπολογίζονται τέλεια, μπορούν να αντισταθμιστούν οι διαστρεβλώσεις της γωνίας φάσης λόγω των καναλιών διάδοσης και τα σήματα των κεραιών μπορούν να σταθμιστούν αναλογικά στο σηματοθορυβικό ρόλο κάθε κλάδου κεραιών. Αυτό οδηγεί στο συμφασικό συνδυασμό των σημάτων των κεραιών. Ο Rake δέκτης στο σχήμα 2.17 εκτελεί το συμφασικό συνδυασμό των σημάτων των κεραιών με τη χρησιμοποίηση των (pilot symbols) πιλοτικών συμβόλων για την εκτίμηση των καναλιών. Απεικονίζεται μόνο ένα απλό Rake finger. Σε μια περίπτωση συχνότητα-εκλεκτικής fading, οι multiple paths των σημάτων πρέπει να συνδυαστούν συμφασικά και απαιτείται ένα Rake finger για κάθε ξεχωριστή πορεία διάδοσης. Το ποσό των Rake fingers δίνει το σύνθετο σήμα, το οποίο είναι ένα συμφασικό ποσό πέρα από τις κεραίες και τα multipaths. Με τη μέγιστη αναλογία που συνδυάζει το Rake δέκτη του Σχήματος 2.17 πολλαπλασιάζουν ένα ιδιαίτερο (particular) σήμα της κεραίας με ένα βάρος  $w_m$  που είναι η σύνθετη κλίση του channel impulse response που υπολογίζεται από το σήμα της κεραίας

Αυτός ο υπολογισμός πρέπει να εκτελεσθεί σε κάθε Rake finger. Σε μια line-of-sight κατάσταση χωρίς εξασθένιση, ο βέλτιστος δέκτης είναι μια beam former που κάνει το συγχρονισμό κεραιών της γραμμικής ομοιόμορφης σειράς (array) κεραιών με έναν τρόπο που κατευθύνει την κύρια δέσμη (beam) στην κατεύθυνση του επιθυμητού σήματος. Στο δέκτη του σχήματος 2.17 η διαμόρφωση της δέσμης μπορεί να ληφθεί με την επιλογή των γωνιών φάσης των βαρών  $w_m$  των κεραιών έτσι ώστε η δέσμη να κατευθύνεται στην κατεύθυνση που δίνει τη μεγαλύτερη επιθυμητή ισχύ των σημάτων. Εάν η multiple access interference μπορεί να διαμορφωθεί ως στο χώρο και χρονικά λευκός θόρυβος μπορεί να εφαρμοστεί η ομοιόμορφη στάθμιση κεραιών. Στην περίπτωση line-of-sight η διαμόρφωση δέσμης και η μέγιστη αναλογία συνδυασμού δίνουν το ίδιο βέλτιστο αποτέλεσμα εάν η κατεύθυνση της άφιξης του επιθυμητού σήματος είναι γνωστή στην πρώτη μέθοδο και οι συντελεστές των καναλιών είναι γνωστοί στην τελευταία μέθοδο. Παραδείγματα χάριν με μια σειρά οκτώ-στοιχείων και ένα flat fading κανάλι πρέπει να υπολογιστούν μια παράμετρος στην beam-forming περίπτωση και οκτώ παράμετροι στην περίπτωση της μέγιστη αναλογία συνδυασμού. Συνεπώς, η σχετική απόδοση μεταξύ της beam forming και η μέγιστη αναλογία συνδυασμού αλλάζουν ως ο αριθμός αυξήσεων των diversity branches δεδομένου ότι η μέγιστη αναλογία συνδυασμού πάσχει από τα υψηλότερα λάθη εκτίμησης (estimation errors).

Το σχήμα 2.18 παρουσιάζει αποτέλεσμα προσομοίωσης με ένα WCDMA macro cell όταν ο αριθμός των κεραιών ανά τομέα αυξήθηκε από δύο σε οκτώ. Εδώ το MRC και περιπτώσεις των σταθερών δεσμών υποθέτουν πάντα έναν three-sector σταθμό βάσεων με έναν μεταβλητό αριθμό κεραιών ανά τομέα. Εντούτοις, sectorisation αναφέρεται σε μια ποικιλομορφία δύο-κεραιών με έναν μεταβλητό αριθμό τομέων. Παραδείγματος χάριν, ένας σταθμός βάσεων 12 κεραιών μπορεί να διαμορφωθεί σε έναν three-sector σταθμό βάσεων με τέσσερις κεραιές ή τέσσερις δέσμες ανά τομέα, ή σε έναν six-sector σταθμό βάσεων με δύο κεραιές ανά τομέα. Οι παράμετροι προσομοίωσης για το πρότυπο καναλιών παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.17. Η επίδοση των διαφορετικών κεραιών array approaches απεικονίζεται όταν η τελική ταχύτητα ήταν 50 km/h και η γωνιακή διάδοση ήταν 15°. Υποτέθηκε η WCDMA λεκτική υπηρεσία. Σε αυτήν την περίπτωση η multiple access interference διαμορφώθηκε χρονικά και στο χώρο ως λευκός Gaussian θόρυβος. Στις προσεγγίσεις beam-forming και sectorisation ο επιθυμητός χρήστης βρέθηκε στο κέντρο της δέσμης.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του σχήματος 2.13 η κάλυψη βελτιώνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των κεραιών. Οι διαφορές μεταξύ των λύσεων των κεραιών (antenna solutions) με τον ίδιο αριθμό κλάδων (branches) των δεκτών είναι μικρές. Με οκτώ ή περισσότερους κλάδους δεκτών η επιλογή της ποικιλομορφίας (MRC) πάσχει από τα λάθη εκτίμησης (estimation errors).

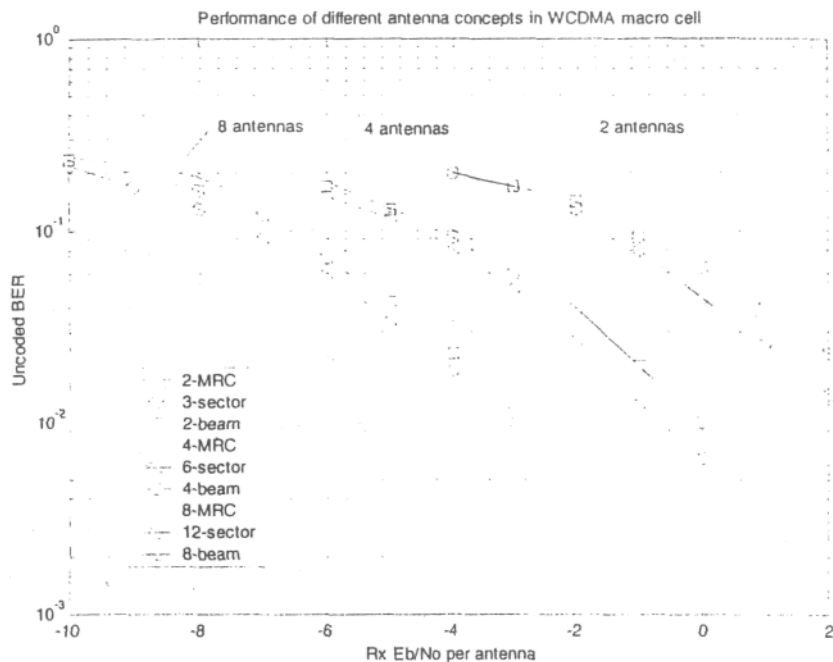


Σχήμα 2.17. Αρχή ενός δέκτη σειράς κεραιών για συφασικό uplink WCDMA

Channel for desired signal	Three-path Rayleigh with tap powers of 0 dB, -2.75 dB and -7 dB
Interference modelling as random QPSK data	Spatially coloured interference
Interference channel	Two-path Rayleigh
Channel data rate	1024 kbps (~300 kbps with channel coding)
Spreading factor	4
Load factor	0.5
$I_q/N_0$ (dB)	0
Number of interfering 1024 kbps users in Figure 11.19	3

Πίνακας 2.17. Παράμετροι προσομοίωσης που περιγράφουν τα πρότυπα των καναλιών παρεμβολής.





Σχήμα 2.18. Επίδοση του MRC sectorisation και του beam forming με δύο έως οκτώ κεραιές ανά  $120^\circ$  τομέα

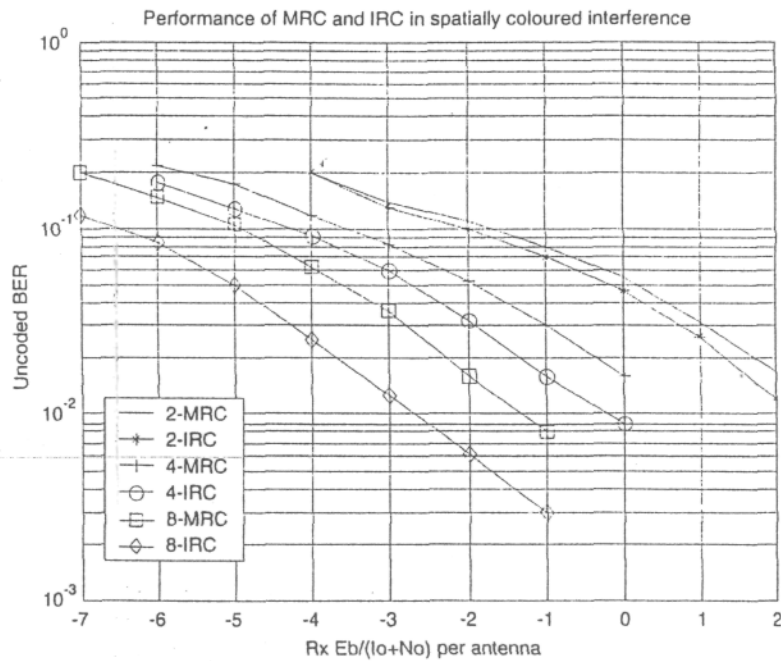
### 2.5.1.2 Αύξηση χωρητικότητας με τις σειρές κεραιών

Εάν απαιτείται αυξανόμενη χωρητικότητα για χαμηλό bit rate στους λεκτικούς χρήστες, ισχύουν οι λύσεις σειράς κεραιών της παραγράφου 2.5.1.1, δεδομένου ότι η παρεμβολή με έναν υψηλό αριθμό χρηστών με χαμηλό bit rate μπορεί να προσεγγιστεί ως στο χώρο και χρονικά ως Gaussian λευκός θόρυβος. Εάν υπάρχουν χρήστες μόνο πολύ υψηλού bit rate τη φορά σε μια κυψέλη ή σε έναν τομέα κυψελών, η multiple access interference μπορεί συχνά να χαρακτηριστεί στο χώρο ως ο coloured noise και το σενάριο παρεμβολής έρχεται κοντά σε αυτό των συστημάτων TDMA. Συνεπώς, οι παρόμοιοι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι κεραιών όπως σε TDMA μπορούν να εφαρμοστούν για την καταστολή της παρεμβολής. Εντούτοις, ο έλεγχος ισχύος του WCDMA θέτει το χαρακτηριστικό σημείο λειτουργίας σε ένα επίπεδο στο οποίο η αναλογία  $I_0/N_0$  είναι πολύ μικρότερη απ' ό,τι στα συστήματα TDMA. Παραδείγματος χάριν, εάν ο παράγοντας φορτίων (load factor) είναι 50% η αναλογία  $I_0/N_0$  είναι 0 dB. Επομένως, τα επιτεύξιμα κέρδη λόγω του βέλτιστου συνδυασμού ή του συνδυασμού της απόρριψης παρεμβολής (interference rejection combining) (IRC), δεν μπορούν να φθάσουν σε τέτοιους υψηλούς αριθμούς όπως στα συστήματα TDMA. Η δομή των δεκτών WCDMA του σχήματος 2.17 επιτρέπει μια προσέγγιση που μεγιστοποιεί προσαρμοστικά το σήμα στην αναλογία παρεμβολής. Εκτός από την εκτίμηση καναλιών (channel estimation) από κάθε κεραιά και delay tap πρέπει επίσης να υπολογιστεί το σχέδιο (pattern) παρεμβολής. Ένας τρόπος να επιτευχθεί αυτό είναι να αναδημιουργηθεί το επιθυμητό σήμα με τη χρησιμοποίηση των πιλοτικών συμβόλων (pilot symbols) και της estimated channel impulse response και να αφαιρεθεί το αναδημιουργημένο σήμα από το λαμβανόμενο σήμα. Αυτό οδηγεί στο βέλτιστο συνδυασμό, ο οποίος μεγιστοποιεί την αναλογία σήμα προς παρεμβολή. Το βέλτιστο διανυσματικό βάρος  $w_n$  για κάθε finger  $n$  μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\hat{w}_n = \hat{R}_{uu,n}^{-1} \hat{h}_n \quad (2.5)$$

όπου  $R_{uu,n}$  είναι η εκτίμηση του spatially coloured interference και  $h_n$  είναι το channel impulse response vector των σημάτων των κεραιών.

Το σχήμα 2.19 επεξηγεί τη σχετική επίδοση του IRC έναντι MRC σε ένα macro cellular περιβάλλον. Οι παράμετροι προσομοίωσης του πίνακα 2.17 περιγράφουν τη φύση της παρεμβολής. Υποθέτουμε ένα συντελεστή φορτίων 50% και ασύνδετες τις κεραιές ποικιλομορφίας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το σχετικό κέρδος του βέλτιστου συνδυασμού αυξάνεται έναντι του συνδυασμού της μέγιστης αναλογίας (MRC) όσο αυξάνεται ο αριθμός των κεραιών. Το κέρδος του IRC έναντι του MRC είναι μέχρι 1,6 dB με οκτώ κεραιές στα μη κωδικοποιημένα BER των 10%. Εάν η κυψέλη φορτώνεται περισσότερο, τα σχετικά κέρδη αυξάνονται περαιτέρω. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το IRC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσει τη uplink χωρητικότητα των υψηλών bit rate υπηρεσιών εάν μπορούν να χρησιμοποιηθούν τουλάχιστον τέσσερις κλάδοι (branches) δεκτών. Θεωρητικά, το μέγιστο κέρδος με την αναλογία  $I_0/N_0$  στα 3 dB (67% που φορτώνει) είναι περίπου 3-4 dB με 4-8 κεραιές, αντίστοιχα.



Σχήμα 2.19. Επίδοση του MRC και του IRC στο spatially coloured interference με δύο έως οκτώ κεραιές ανά  $120^\circ$  του τομέα.

## 2.5.2 Πολλών χρηστών ανίχνευση (Multi-user Detection)

Σε αυτό το τμήμα παρουσιάζονται οι uplink βελτιώσεις της επίδοσης με την multi-user detection των σταθμών βάσεων. Ο στόχος είναι να δοθεί μια περίληψη των multi-user detection αλγορίθμων και να γίνει αναφορά για περισσότερες αναλυτικές πληροφορίες. Οι αλγόριθμοι που παρουσιάζονται μπορούν να εφαρμοστούν και για τις δύο λειτουργίες του WCDMA, FDD και TDD. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης για WCDMA FDD παρουσιάζονται με τους πιο ελπιδοφόρους (promising) αλγορίθμους.

Τα συστήματα CDMA είναι κατασκευασμένα ώστε να παρουσιάζουν interference-limited στην επίδοση των δεκτών και στη χωρητικότητα των συστημάτων. Από την πλευρά του δέκτη αυτό σημαίνει ότι εάν ο αριθμός χρηστών είναι αρκετά μεγάλος, μια αύξηση στο σηματοθορυβικό λόγο δεν παράγει καμία βελτίωση στο bit ή frame error rate. Από την άποψη της χωρητικότητας των συστημάτων σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η αναλογία σήματος προς interference-plus-noise που απαιτείται για την επιθυμητή ποιότητα υπηρεσιών τόσο λιγότεροι χρήστες μπορούν να προσαρμοστούν στο κανάλι επικοινωνίας.

Η interference-limited φύση των συστημάτων CDMA προκύπτει από το σχέδιο του δέκτη. Στα συστήματα CDMA, ο πυρήνας του δέκτη είναι ένα spreading code φίλτρο διάδοσης (matched filter)(MF) ή correlator. Δεδομένου ότι οι λαμβανόμενοι spreading codes συνήθως δεν είναι απολύτως ορθογώνιοι, η multiple access interference (MAI) παράγεται στο δέκτη. Εάν ο spreading factor είναι μέτριος, οι λαμβανόμενες ισχύεις των χρηστών είναι ίσες (κανένα κοντινό-μακρινό πρόβλημα) και ο αριθμός των interfering χρηστών είναι μεγάλος ( $> 10$ ). Από το κεντρικό θεώρημα ορίου η multiple access interference μπορεί να διαμορφωθεί ως ο αυξανόμενος background noise με μια Gaussian κατανομή. Αυτή η προσέγγιση έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι το matched filter που ακολουθείται με την αποκωδικοποίηση είναι ο βέλτιστος δέκτης για τα συστήματα CDMA στα πρόσθετα Gaussian κανάλια λευκού θορύβου (additive white Gaussian noise) (AWGN). Στα frequency-selective κανάλια, ο Rake δέκτης μπορεί να θεωρηθεί βέλτιστος με τον αντίστοιχο συλλογισμό.

Αν και η multiple access interference μπορεί να προσεγγιστεί ως AWGN, αποτελείται από τα λαμβανόμενα σήματα των CDMA χρηστών. Κατά συνέπεια, η multiple access interference είναι πολύ δομημένη και μπορεί να ληφθεί υπόψη στο δέκτη. Αυτή η παρατήρηση οδήγησε τον Verdu για να αναλύσει τους βέλτιστους multi-user ανιχνευτές (MUDs) για τις multiple access επικοινωνίες. Ο Verdu ήταν σε θέση να δείξει ότι το CDMA δεν είναι κατασκευασμένα ώστε να παρουσιάζουν interference-limited αλλά αυτός είναι ένας περιορισμός του συμβατικού matched filter του δέκτη.

Οι βέλτιστοι multi-user ανιχνευτές μπορούν να χρησιμοποιήσουν είτε τη maximum a posteriori (MAP) ανίχνευση είτε την ανίχνευση ακολουθίας μέγιστης πιθανότητας (maximum likelihood sequence detection) (MLSD). Με άλλα λόγια τεχνικές (συμπεριλαμβανομένου του αλγορίθμου Viterbi) παρόμοιες με εκείνες που εφαρμόζονται στα κανάλια με τη inter-symbol interference μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καταπολεμήσουν την multiple access interference. Το μειονέκτημα των MLSD και των MAP multi-user ανιχνευτών είναι ότι η πολυπλοκότητα υλοποίησής τους είναι μια εκθετική συνάρτηση του αριθμού των χρηστών. Κατά συνέπεια, δεν είναι εφικτοί για τους περισσότερους πρακτικούς δέκτες CDMA. Αυτό το γεγονός, μαζί με τη παρατήρηση του Verdu ότι το CDMA με έναν δέκτη MLSD δεν είναι interference-limited, έχει προκαλέσει μια χιονοστιβάδα εγγράφων για τους suboptimal multi-user δέκτες. Μια συνοπτική περίληψη των suboptimal multi-user τεχνικών ανίχνευσης δίνεται παρακάτω.

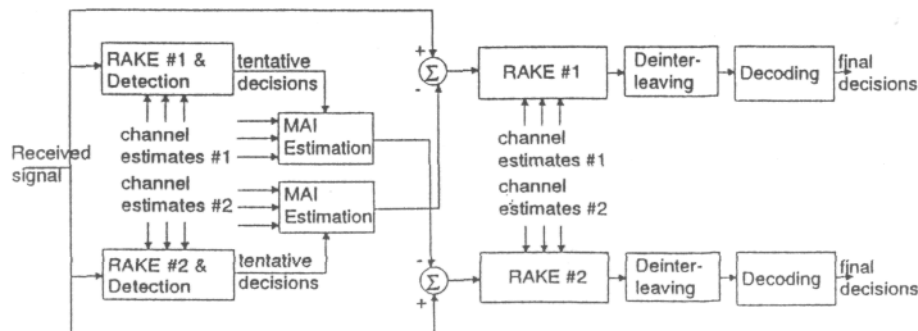
Οι υπάρχουσες suboptimal multi-user τεχνικές ανίχνευσης μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους τρόπους. Ένας τρόπος είναι να ταξινομηθούν οι αλγόριθμοι ανίχνευσης ως συγκεντρωμένοι multi-user αλγόριθμοι ανίχνευσης ή οι αποκεντρωμένοι single-user αλγόριθμοι ανίχνευσης. Οι συγκεντρωμένοι αλγόριθμοι εκτελούν την πραγματική multi-user κοινή ανίχνευση, δηλ. ανιχνεύουν από κοινού τα data σύμβολα κάθε χρήστη και μπορούν να θεωρηθούν πρακτικοί στους δέκτες των σταθμών βάσεων.

Οι αποκεντρωμένοι αλγόριθμοι ανιχνεύουν τα σύμβολα στοιχείων ενός single-user βασισμένου στο λαμβανόμενο σήμα που παρατηρείται σε ένα multi-user περιβάλλον που περιέχει την multiple access interference. Οι single-user αλγόριθμοι ανίχνευσης ισχύουν και στο σταθμό βάσεων και στους τελικούς (κινητός σταθμός) δέκτες.

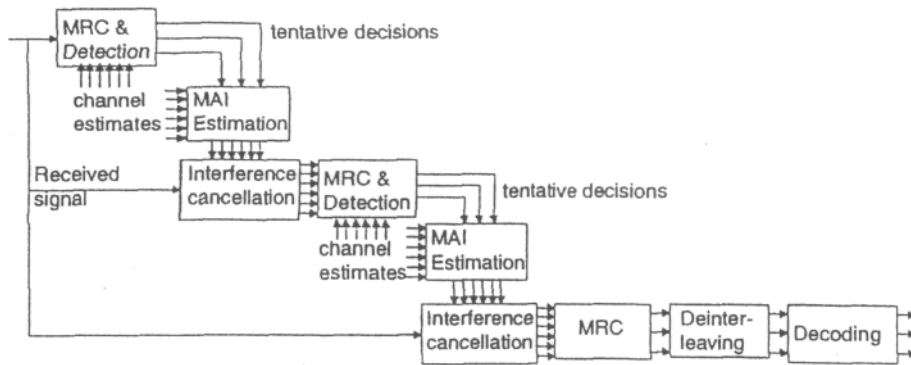
Εκτός από την κατηγοριοποίηση στους multi-user και single-user ανιχνευτές, οι multi-user ανιχνευτές μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τη μέθοδο που εφαρμόζεται για την ανίχνευση. Δύο κύριες ταξινομήσεις σε αυτήν την κατηγορία μπορούν να προσδιοριστούν οι γραμμικοί εξισωτές και αφαιρετικοί δέκτες ακύρωσης παρεμβολής (subtractive interference cancellation) (IC). Οι γραμμικοί εξισωτές είναι γραμμικά φίλτρα που καταστέλλουν την multiple access interference. Οι ευρύτατα μελετημένοι εξισωτές περιλαμβάνουν το zero-forcing (ZF) ή τον decorrelating ανιχνευτή και το ελάχιστο μέσο τετραγωνικό λάθος του ανιχνευτή (minimum mean square error) (MMSE). Οι IC δέκτες προσπαθούν να υπολογίσουν ακριβώς το τμήμα της multiple access interference και μετά αυτό αφαιρείται από το λαμβανόμενο σήμα. Κατά συνέπεια, οι αποφάσεις γίνονται πιο αξιόπιστες. Η multiple access interference ακύρωση μπορεί να εκτελεσθεί παράλληλα σε όλους τους χρήστες, με συνέπεια την παράλληλη ακύρωση παρεμβολής (parallel interference cancellation) (PIC). Η ακύρωση παρεμβολής μπορεί επίσης να εκτελεσθεί σε μια serial fashion με συνέπεια την τμηματική ακύρωση παρεμβολής (serial interference cancellation) (SIC).

Οι γραμμικοί εξισωτές και οι δέκτες ακύρωσης παρεμβολής μπορούν να εφαρμοστούν στους συγκεντρωτικούς δέκτες. Οι γραμμικοί εξισωτές μπορούν επίσης να εφαρμοστούν προσαρμοστικά ως single-user τύπος αποκεντρωμένων ανιχνευτών. Αυτό είναι δυνατό εάν οι spreading ακολουθίες (sequences) των χρηστών είναι περιοδικές πέρα από ένα διάστημα συμβόλων έτσι ώστε η multiple access interference γίνεται cyclostationary. Οι διάφορες προσαρμοστικές εφαρμογές βασισμένες στις training ακολουθίες των ανιχνευτών MMSE έχουν μελετηθεί. Οι αποκαλούμενοι τυφλοί (blind) προσαρμοστικοί ανιχνευτές που δεν απαιτούν training ακολουθίες έχουν επίσης εξεταστεί.

Η επιλογή των multi-user τεχνικών ανίχνευσης για τους δέκτες σταθμών βάσεων WCDMA έχει μελετηθεί. Η επίδοση των δεκτών και η πολυπλοκότητα υλοποίησης έχουν εξεταστεί. Το συμπέρασμα των μελετών είναι ότι ένας multi-user δέκτης βασισμένος στην multi-stage parallel interference cancellation (PIC) είναι αυτήν την περίοδο η καταλληλότερη μέθοδος που εφαρμόζεται στα συστήματα CDMA με έναν single spreading factor. Η αρχή των δεκτών PIC με ένα στάδιο ακύρωσης για ένα two-user CDMA σύστημα διευκρινίζεται στο σχήμα 2.20. Η παράλληλη ακύρωση παρεμβολής σημαίνει ότι η παρεμβολή ακυρώνεται από όλους τους χρήστες ταυτόχρονα, δηλ., παράλληλα. Η επίδοση της ακύρωσης μπορεί να βελτιωθεί με την επαναχρησιμοποίηση των αποφάσεων που λαμβάνονται μετά από την ακύρωση παρεμβολής σε ένα νέο IC στάδιο. Αυτό οδηγεί σε έναν multi-stage δέκτη ακύρωσης παρεμβολής, ο οποίος παρουσιάζεται στο σχήμα 2.21.



Σχήμα 2.20. Δέκτης παράλληλης ακύρωσης παρεμβολής για δύο χρήστες

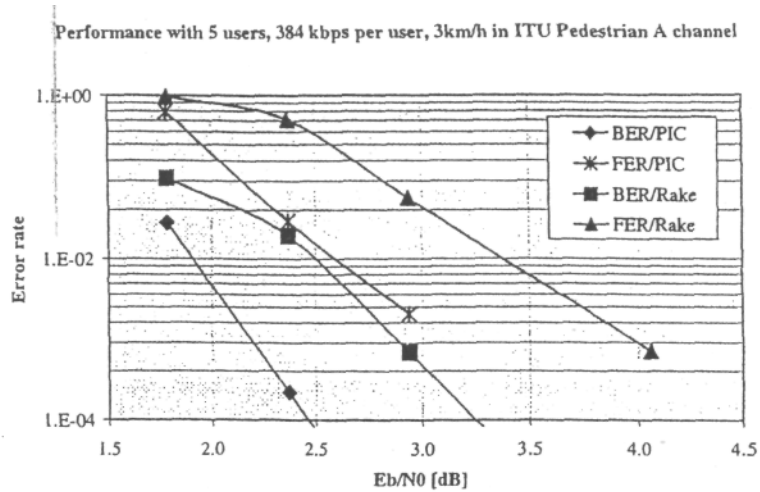


Σχήμα 2.21. Δέκτης multi-stage ακύρωσης παρεμβολής

Η επιλογή της multi-user ανίχνευσης για τα multi-service CDMA συστήματα με ένα μεταβλητό spreading factor πρόσβασης έχει εξεταστεί από τον Ojanpera. Για ένα τέτοιο σύστημα, η τμηματική ακύρωση παρεμβολής (groupwise serial interference cancellation) (GSIC) του δέκτη φαίνεται να είναι η πιο κατάλληλη επιλογή με το τρέχον επίπεδο της τεχνολογίας των δεκτών. Στο δέκτη GSIC, οι χρήστες με έναν ορισμένο spreading factor ανιχνεύονται παράλληλα, και μετά η multiple access interference που προκαλείται από τους χρήστες, αφαιρείται από τους χρήστες με άλλους spreading factors. Ένας κύριος λόγος για το GSIC που είναι αποδοτικό είναι ότι η ισχύς των χρηστών εξαρτάται από το spreading factor. Με την έναρξη της ακύρωσης από τους χρήστες με το χαμηλότερο spreading factor, ακυρώνονται πρώτα οι χρήστες υψηλότερης ισχύος (τα αυστηρότερα interferers).

Η επίδοση του δέκτη ακύρωσης παρεμβολής σε ένα σύστημα WCDMA μελετήθηκε χρησιμοποιώντας τις προσομοιώσεις υπολογιστών Monte Carlo. Τα πιθανά κέρδη επίδοσης των IC δεκτών διευκρινίζονται στο σχήμα 2.22. Τρεις χρήστες με data rate 384 kbps εξετάζονται για τους ITU πεζούς στο κανάλι A. Η ταχύτητα του κινητού είναι 3 km/h. Ο γρήγορος έλεγχος ισχύος εφαρμόζεται για κάθε χρήστη. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βελτίωση στη ραδιο επίδοση των συνδέσεων είναι 0.7-1.0 dB. Αυτό το κέρδος επίδοσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσει τη uplink χωρητικότητα, κρατώντας αμετάβλητα το uplink interference margin και την πυκνότητα των σταθμών βάσεων. Μια άλλη επιλογή θα ήταν να βελτιωθεί η κάλυψη και να μειωθεί η πυκνότητα των σταθμών βάσεων κρατώντας τη uplink χωρητικότητα αμετάβλητη. Η βελτίωση κάλυψης μπορεί να θεωρηθεί στον link budget στην παράγραφο 1.2 ως μείωση του interference margin.

Οι προσαρμοστικοί γραμμικοί εξισωτές μπορούν να εφαρμοστούν μόνο εάν οι spreading ακολουθίες των χρηστών είναι περιοδικές κατά τη διάρκεια ενός σχετικά σύντομου χρόνου, όπως πέρα από το διάστημα συμβόλων. Επομένως, με τη χρησιμοποίηση της επιλογής του short scrambling code στην WCDMA uplink, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν εκεί μέσα οι προσαρμοστικοί δέκτες. Στην downlink WCDMA, οι spreading codes είναι περιοδικοί πάνω από ένα ραδιο frame, του οποίου η διάρκεια είναι 10 ms. Η περίοδος είναι τόσο μεγάλη που οι συμβατικοί προσαρμοστικοί δέκτες είναι σχεδόν άχρηστοι. Το πρόβλημα μπορεί να υπερνικηθεί μερικώς με την εισαγωγή των chip εξισωτών. Η ιδέα είναι εδώ να εξισωθεί ο αντίκτυπος του frequency-selective multipath καναλιού σε ένα chip interval επίπεδο. Αυτό καταστέλλει την inter-path παρεμβολή (IPI) των σημάτων και διατηρεί επίσης (τουλάχιστον μερικώς) την ορθογωνικότητα της διάδοσης των spreading codes των χρηστών μέσα σε μια κυψέλη. Ο τελευταίος αντίκτυπος είναι δυνατός, δεδομένου ότι η σύγχρονη εκπομπή με τα ορθογώνια κυματομορφή εφαρμόζεται στη downlink. Με άλλα λόγια, η multiple access interference στη downlink προκαλείται από την multipath διάδοση, η οποία μπορεί τώρα να αντισταθμιστεί από τον εξισωτή. Η επίδραση της multipath διάδοσης στην downlink επίδοση χωρίς οποιουδήποτε δέκτες καταστολής της παρεμβολής παρουσιάζεται στην παράγραφο 2.3.1.1.



Σχήμα 2.22. Επίδοση του PIC δέκτη

Οι τεχνικές ακύρωσης και καταστολής της παρεμβολής υπόσχονται μεθόδους για την επίδοση των δεκτών καθώς επίσης την χωρητικότητα την κάλυψη των συστημάτων στην uplink και downlink. Σε αυτό το τμήμα εξετάζονται οι βελτιώσεις στην uplink επίδοση. Στην uplink οι βασισμένοι στην εκτίμηση-αφαίρεση δέκτες παρεμβολής εμφανίζονται να είναι πιο ελπιδοφόροι για την πρακτική εφαρμογή. Στην downlink αφ' ετέρου μπορούν να εφαρμοστούν οι γραμμικοί εξισωτές.

# Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε το WCDMA air interface σύστημα που χρησιμοποιείται στα συστήματα κινητών επικοινωνιών 3<sup>ης</sup> γενιάς και είναι από όλες τις απόψεις, η έως τώρα καλύτερη και επικρατέστερη τεχνολογία.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάστηκε ο Σχεδιασμός ενός Ράδιο Δικτύου WCDMA το οποίο συμπεριλαμβάνει τη διαστασιοποίηση (dimensioning), το λεπτομερή σχεδιασμό της χωρητικότητας (capacity) και της κάλυψης (coverage), τη βελτιστοποίηση των δικτύων και την επίδραση της παρεμβολής καναλιών μεταξύ δύο ή περισσότερων operators κοντινών συχνοτήτων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάστηκε η Επίδοση του Φυσικού Επιπέδου στο WCDMA Δίκτυο. Αναλυτικά παρουσιάστηκε η επίδραση του περιβάλλοντος διάδοσης (propagation environment), οι υλοποιήσεις των σταθμών βάσεων και οι παράμετροι του WCDMA φυσικού επιπέδου στην κάλυψη και στη χωρητικότητα. Επίσης έγινε αναφορά για την επίδοση του υψηλού bit rate στα multipath κανάλια και τέλος περιγράφηκαν μέθοδοι βελτίωσης της επίδοσης της uplink ζεύξης του WCDMA συστήματος με τις προηγμένες δομές κεραιών και με την baseband multi-user ανίχνευση.

## Βιβλιογραφία

Harry Holma and Antti Toskala both of Nokia, Finland., "WCDMA FOR UMTS", "Radio Access For Third Generation Mobile Systems", JOHN WILEY & SONS, LTD., 2001

Ojanpera, T. and Prasad, R., Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications, Artech House, 1998.

Lee, J. and Miller, L., CDMA Systems Engineering Handbook, Artech House, 1998.

Winters, J.H., 'Optimum Combining in Digital Mobile Radio with Co-channel Interference'. IEEE Trans. Vehic. Tech.. Vol. 33. No. 3. 1984

Junlti, M. and Glisic, S., 'Advanced CDMA for Wireless Communications', in Wireless Communications: TDMA Versus CDMA. ed. S. Glisic and P. Leppanen, Chapter 4, pp. 447-490, Kluwer. 1997.

Zvonar, Z.. 'Multiuser Detection in Asynchronous CDMA Frequency-Selective Fading Channels', Wireless Personal Communications, Kluwer. Vol. 3, No. 3-4, 1996, pp. 373-392.

Varanasi, M.K. and Aazhang, B.. 'Multistage Detection in Asynchronous Code-Division Multiple-Access Communications', IEEE Trans. Commun., Vol. 38. No. 4. 1990,

Correal, N.S., Swanchara, S.F. and Woerner, B.D., 'Implementation Issues for Multiuser DS-SS Receivers', *Int. J. Wireless Inform. Networks*, Vol. 5, No. 3, 1998, pp. 257-279.

Viterbi, A.J.. *CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication*, Addison-Wesley Wireless Communications Series, Addison-Wesley, Reading, MA, 1995).

Proakis, J.G., *Digital Communications*, 3rd edn, McGraw-Hill, New York, 1995

Verdi, S.. 'Minimum Probability of Error for Asynchronous Gaussian Multiple-Access Channels', *IEEE Trans. Inform. Th.*, Vol. 32. No. 1, 1986, pp. 85-96.

Verdi, S., *Multiuser Detection*. Cambridge University Press. Cambridge, UK, 1998

Λιοδάκης Γεώργιος, Διπλ. Ηλ. Μηχ., M.Sc., “Κινητές Επικοινωνίες”, ΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα Ηλεκτρονικής, Σεπτ. 2002