



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

Ανάλυση λειτουργίας του RAKE δέκτη και της  
διαδικασίας Spreading-Despreading σε WCDMA  
δίκτυο κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς

Επιμέλεια: Πούλης Γεώργιος  
Σπηλιωτακόπουλος Παναγιώτης

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ (Ph.D.) Κόκκινος Ευάγγελος  
Επίκουρος Καθηγητής

ΧΑΝΙΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2009



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

Ανάλυση λειτουργίας του RAKE δέκτη και της  
διαδικασίας Spreading-Despreading σε WCDMA  
δίκτυο κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς

Analysis of the function of RAKE receiver and the  
Spreading-Despreading procedure in WCDMA  
network of third generation mobile communications

Επιμέλεια: Πούλης Γεώργιος A.M. 3766  
Σπηλιωτακόπουλος Παναγιώτης A.M. 3297

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ (Ph.D.) Κόκκινος Ευάγγελος  
Επίκουρος Καθηγητής

Επιτροπή Εποπτείας: Δρ (Ph.D.) Βαρδιάμπασης Ιωάννης  
Επίκουρος Καθηγητής  
Δρ (Ph.D.) Κουριδάκης Στυλιανός  
Καθηγητής Εφαρμογών

ΧΑΝΙΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2009

## Περίληψη

Στις μέρες μας, η τεχνολογία τρίτης γενιάς κινητών επικοινωνιών που χρησιμοποιείται παγκοσμίως είναι το W-CDMA (Wideband-Code Division Multiple Access). Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση της λειτουργίας του RAKE δέκτη και της διαδικασίας του Spreading-Despreading, που αποτελούν δύο από τα βασικότερα χαρακτηριστικά του W-CDMA, τα οποία προσδίδουν στο σύστημα τη δυνατότητα multimedia επικοινωνιών με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Η μελέτη τους πραγματοποιήθηκε μέσω προσομοιώσεων του προγράμματος Simulink 7.3 (Matlab 7.8 - R2009b), μετρώντας το Bit Error Rate και Block Error Rate κάτω από διαφορετικές συνθήκες διάδοσης σε αστικό περιβάλλον, αλλάζοντας κάθε φορά συγκεκριμένες παραμέτρους, όπως τον αριθμό των ενεργών fingers, την ταχύτητα της κινητής μονάδας και τον Spreading Factor, με σκοπό την εύρεση των παραμέτρων που οδηγούν στη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος.

## Abstract

Nowadays, W-CDMA (Wideband-Code Division Multiple Access) technology is widely used all over the world for third generation mobile communications. The purpose of this thesis is the analysis of two significant characteristics of W-CDMA, namely, the function of RAKE receiver and the Spreading-Despreading procedure. Both of them provide the system with high data transmission rates, which are imperative for multimedia communications. The analysis was carried out through Simulink's 7.3 (Matlab 7.8 - R2009b) simulations, by measuring the Bit Error Rate and the Block Error Rate under various propagation conditions in an urban area, by changing certain parameters each time, such as number of RAKE fingers enabled, Speed of Terminal and Spreading Factor, in order to find the parameters that lead to the optimum system's function.

## Εισαγωγή

Το WCDMA (Wideband-Code Division Multiple Access) είναι ένα από τα τρία (WCDMA, EDGE, cdma2000) air interfaces της 3<sup>ης</sup> γενιάς ασύρματων επικοινωνιών. Σήμερα, αποτελεί το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα κινητών επικοινωνιών. Το WCDMA είναι μια τεχνολογία διευρυμένου φάσματος (direct sequence spread spectrum), σχεδιασμένη ώστε να υποστηρίζονται handovers με το GSM. Εκπέμπει κωδικοποιημένα δεδομένα σε ένα ευρυζωνικό κανάλι μεγέθους 5 MHz, χρησιμοποιώντας μια ακολουθία ψευδοτυχαίων δυαδικών τιμών που ονομάζονται chips, με έναν υψηλό ρυθμό μετάδοσης (3.84 Mcps).

Όπως γνωρίζουμε, οι κύριες τεχνικές πολλαπλής προσπέλασης, είναι η TDMA και η FDMA. Στην TDMA, το διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων χωρίζεται στο πεδίο του χρόνου σε πλαίσια μέσω των οποίων αποστέλλονται τα δεδομένα. Τα πλαίσια αυτά χωρίζονται σε χρονοθυρίδες ίσου μεγέθους, από τις οποίες μία ή περισσότερες εκχωρούνται στο χρήστη. Κατά τη διάρκεια των χρονοθυρίδων αυτών, του επιτρέπεται να εκπέμπει χρησιμοποιώντας ολόκληρο το διαθέσιμο εύρος ζώνης του καναλιού. Στην FDMA, το φάσμα χωρίζεται σε έναν αριθμό μικρότερων φασμάτων ίσου εύρους ζώνης συχνοτήτων που ονομάζονται ραδιοκανάλια, καθ' ένα από τα οποία εκχωρείται σε διαφορετικό χρήστη για τη διάρκεια μιας κλήσης. Το W-CDMA πέραν των δύο προαναφερθέντων τεχνικών FDMA και TDMA, χρησιμοποιεί και την τεχνική πολλαπλής προσπέλασης που ονομάζεται CDMA. Στο CDMA επειδή πολλοί χρήστες εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα ταυτόχρονα, σε κάθε έναν εκχωρείται ένας μοναδικός κώδικας. Τα δεδομένα που είναι προς αποστολή, αφού πολλαπλασιαστούν με τον κώδικα αυτόν, αποστέλλονται υπό τη μορφή διευρυμένου φάσματος. Ο δέκτης, ο οποίος «γνωρίζει» τον κώδικα του αποστολέα, αποκωδικοποιεί το λαμβανόμενο σήμα και ανακτά τα δεδομένα πραγματοποιώντας την αντίστροφη διαδικασία.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του W-CDMA είναι η χρήση όχι συμβατικού δέκτη, αλλά του RAKE δέκτη. Από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί φαίνεται ότι οι ανακλάσεις ενός σήματος, λόγω του φαινομένου multipath, κρύβουν σημαντική ενέργεια. Η φιλοσοφία του RAKE δέκτη, που αποτελείται από 2 έως 6 δέκτες (fingers), είναι να αξιοποιεί τις σημαντικές ανακλάσεις με την συλλογή αυτής της ενέργειας, έτσι ώστε, μετά από επεξεργασία, να υπάρξει σημαντική βελτίωση του C/I. Αυτό μας οδηγεί σε καλύτερη λήψη σήματος σε ένα περιβάλλον με πολλές ανακλάσεις, αντίθετα με το GSM όπου οι ανακλάσεις αποτελούσαν πρόβλημα, γνωστό ως διασυμβολική παρεμβολή (ISI). Όπως προαναφέρθηκε, εξαιτίας των ανακλάσεων από διάφορα εμπόδια, το λαμβανόμενο σήμα μπορεί να αποτελείται από πολλά αντίγραφα του κυρίου μεταδιδόμενου σήματος. Τα σήματα αυτά φτάνουν στο δέκτη με διαφορετικό πλάτος, φάση και χρονοκαθυστέρηση. Εάν φτάσουν με

χρονική διαφορά μεγαλύτερη από την περίοδο ενός chip, ένας RAKE δέκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον διαχωρισμό, την επεξεργασία και τον συνδυασμό τους. Αποτέλεσμα της δυνατότητας της επεξεργασίας και του συνδυασμού των σημάτων αυτών με κατάλληλο τρόπο, είναι η μείωση της εξασθένησης του σήματος και, συνεπώς, η βελτίωση του bit error rate. Οι καθυστερήσεις αυτές, αν και μεγαλύτερες από την περίοδο ενός chip, πρέπει συγχρόνως να είναι αρκετά μικρές συγκριτικά με την περίοδο ενός bit, ειδάλως, μπορεί να υπάρξει σημαντική διασυμβολική παρεμβολή. Υπεύθυνο για τη συλλογή των ανακλάσεων με τη μεγαλύτερη ενέργεια είναι ένα προσαρμοσμένο φίλτρο (match filter) στην είσοδο του δέκτη, το οποίο αναθέτει στα finger τις σημαντικές ανακλάσεις. Το σήμα, εισέρχεται στην είσοδο του finger και μέσω του correlator αποκωδικοποιείται καθώς πολλαπλασιάζεται με τον μοναδικό κώδικα του παραλήπτη. Στη συνέχεια οδηγείται παράλληλα στον phase rotator και στον channel estimator υπό μιγαδική μορφή I και Q. Ο channel estimator με την χρήση των πιλοτικών συμβόλων, κάνει εκτίμηση του καναλιού και παρέχει στον phase rotator τις απαραίτητες πληροφορίες ώστε αυτός, με τη διαδικασία του Maximal Ratio Combining, να επαναφέρει στο αλλαγμένο λόγω διάδοσης σήμα, την αρχική του φάση. Έπειτα, το επεξεργασμένο σήμα εισέρχεται στον delay equalizer, όπου και υπόκειται καθυστέρηση ώστε να συγχρονιστεί με τα σήματα των υπόλοιπων fingers. Τέλος, ο combiner είναι αυτός που αναλαμβάνει να προσθέσει τα επιμέρους σήματα ώστε να δημιουργήσει ένα τελικό ισχυρότερο σήμα. Η ιδιαίτερη αυτή λειτουργία του RAKE δέκτη, είναι αυτή που προσδίδει στο σύστημα την ικανότητα αξιοποίησης σημάτων των οποίων η στάθμη μπορεί να είναι ακόμα και μέχρι 20 dB χαμηλότερη από τη στάθμη της παρεμβολής και του θορύβου (I+N). Τα πλεονεκτήματα του RAKE δέκτη φάνηκαν και μέσω προσομοιώσεων του μοντέλου "WCDMA Spreading and Modulation" του Simulink μετρώντας το BER σε αστικό περιβάλλον. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι, όσο αυξάνεται ο αριθμός των fingers, έχουμε σημαντική μείωση του BER.

Για το spreading και το despreading ενός σήματος χρησιμοποιείται πάντα ο ίδιος κώδικας. Αυτό συμβαίνει διότι η διαδικασία του Spreading-Despreading είναι στην ουσία μία λογική πράξη XNOR μεταξύ των δεδομένων του χρήστη και του spreading κώδικα. Θυμηθείτε ότι δύο διαδοχικές πράξεις XNOR μας δίνουν τα αρχικά δεδομένα. Με τον όρο Spreading ουσιαστικά εννοούμε την αύξηση του εύρους ζώνης του σήματος. Αρχικά, αυτό μπορεί να μην ακούγεται καλή ιδέα καθώς το εύρος ζώνης είναι ένας σπάνιος και ακριβός πόρος αλλά υπάρχουν αρκετοί και σημαντικοί λόγοι της αύξησης αυτής. Το πιο σημαντικό κίνητρο για τη διεύρυνση φάσματος είναι η μεγάλη αντίσταση του σήματος στις παρεμβολές. Ένα σήμα διευρυμένου φάσματος μπορεί να αντέξει σε ένα πολύ θορυβώδες, από άποψη παρεμβολών, περιβάλλον. Έστω ότι οι

πληροφορίες του χρήστη είναι μία ακολουθία bit με BPSK διαμόρφωση, με bit rate ίσο με  $R$ , παίρνοντας τις τιμές  $+1$  και  $-1$ . Η διαδικασία του spreading είναι ο πολλαπλασιασμός bit προς bit της πληροφορίας του χρήστη με μία ακολουθία bit, τα οποία ονομάζονται chips. Ο παράγοντας διεύρυνσης του σήματος προς αποστολή ονομάζεται Spreading Factor (SF) και είναι ο αριθμός των chips που αντιστοιχούν σε ένα bit. Άρα τα τελικά spread data θα έχουν rate ίσο με  $SF \times R$  και ίδια τυχαία μορφή με τον spreading code. Το γινόμενο αυτό παραμένει πάντα σταθερό και είναι ίσο με το chip rate (3,84Mcps), οπότε όταν αλλάζει το bit rate  $R$ , πρέπει αντίστοιχα να αλλάζει και το SF. Έπειτα αυτό το διαμορφωμένο σήμα διευρυμένου φάσματος εκπέμπεται διαμέσου ενός ασύρματου καναλιού. Το despreading είναι η αντίστροφη διαδικασία του spreading. Εκεί πολλαπλασιάζουμε την ήδη διαμορφωμένη ακολουθία δεδομένων του χρήστη, bit προς bit, με τον ίδιο κώδικα που χρησιμοποιήσαμε για το spreading. Μετά το despreading, η αρχική ακολουθία δεδομένων του χρήστη θα έχει ανακτηθεί πλήρως και θα υπάρχει πλήρης συγχρονισμός μεταξύ της διαμορφωμένης ακολουθίας δεδομένων του χρήστη και του (de)spreading κώδικα. Μετά το Despreading το σήμα ολοκληρώνεται και μετατρέπεται από σήμα με πλάτος από  $-1V$  έως  $+1V$  σε σήμα με πλάτος διπλάσιο του SF ( $-SF$  έως  $+SF$ ). Το φαινόμενο της αύξησης αυτής ονομάζεται processing gain. Τα πλεονεκτήματα του W-CDMA που προέρχονται από την διεύρυνση του σήματος είναι μεταξύ άλλων η χρήση παράγοντα επαναχρησιμοποίησης συχνότητας ίσου με 1, η δυνατότητα ανάλυσης με μεγαλύτερη ακρίβεια των διαφορετικών οδεύσεων του ραδιοσήματος, λόγω της μικρής διάρκειας της περιόδου του chip (εξαιτίας του υψηλού chip rate). Βεβαίως όλα αυτά προϋποθέτουν την χρήση σχολαστικού power control και soft handover για την αποφυγή μπλοκαρίσματος του σήματος ενός χρήστη από το σήμα ενός άλλου (φαινόμενο near - far). Για τη διαδικασία του Spreading-Despreading χρησιμοποιούνται δύο είδη κωδικών και στο uplink και στο downlink. Οι Ορθογωνικοί κώδικες είναι υπεύθυνοι για το channelization, διαδικασία που μετατρέπει κάθε data symbol σε έναν αριθμό chips. Οι κώδικες αυτοί πρέπει να είναι συγχρονισμένοι, αλλιώς η ορθογωνικότητα χάνεται με αποτέλεσμα τη μεταξύ τους παρεμβολή. Οι Ορθογωνικοί κώδικες χρησιμοποιούνται στο downlink για να ξεχωρίσουν τους διαφορετικούς χρήστες μέσα σε ένα cell, ενώ στο uplink για να διαχωρίσουν τις διάφορες υπηρεσίες ενός χρήστη. Όμως οι κώδικες αυτοί από μόνοι τους δεν μπορούν να «χειριστούν» την διαδικασία του Spreading-Despreading. Όπως εξηγήσαμε και προηγουμένως, μπορούν μόνο να χρησιμοποιηθούν όταν τα σήματα είναι συγχρονισμένα. Κατά το uplink οι χρήστες δεν είναι συγχρονισμένοι μεταξύ τους. Εάν χρησιμοποιούσαμε μόνο ορθογωνικούς spreading κώδικες θα μπορούσαν πολύ εύκολα να αλληλοεξουδετερωθούν. Ομοίως, κατά το downlink, ούτε οι σταθμοί βάσης είναι

συγχρονισμένοι με αποτέλεσμα να απαιτείται η χρήση και ενός άλλου είδους κωδίκων. Για τη λύση αυτού του προβλήματος, το σύστημα χρησιμοποιεί τους λεγόμενους ψευδοτυχαίους (pseudorandom - PN) κώδικες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στο δεύτερο στάδιο της διαδικασίας του spreading που ονομάζεται scrambling. Μελετώντας την διαδικασία του Spreading-Despreading μέσω του μοντέλου προσομοίωσης "WCDMA End-to-End Physical Layer", παρατηρούμε ότι η σημαντικότερη παράμετρος η οποία καθορίζει το Processing Gain και συνεπώς το BER, αλλά και το Data Rate (Bit Rate) είναι ο Spreading Factor. Βλέπουμε ότι για μικρό Spreading Factor έχουμε υψηλό Data Rate, καθώς στο WCDMA το Chip Rate είναι σταθερό στα 3,84 Mcps. Έτσι, υψηλό Data Rate οδηγεί σε χαμηλό Processing Gain και κατά συνέπεια σε υψηλό BER.

# Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract.....	3
Περίληψη πτυχιακής.....	4
<b>1 Εισαγωγή στο W-CDMA</b>	
1.1 WCDMA.....	12
1.2 Τεχνικές Πολλαπλής Προσπέλασης.....	14
1.2.1 FDMA.....	14
1.2.2 TDMA.....	14
1.2.3 Spread Spectrum Multiple Access.....	15
1.3 Οι αρχές του Direct-Spread CDMA.....	17
1.4 Φυσικά Κανάλια (Physical Channels).....	20
1.4.1 Uplink Dedicated Physical Channels.....	21
1.4.2 Downlink Dedicated Physical Channel.....	22
1.5 Σύνοψη των κυρίων παραμέτρων του WCDMA.....	23
1.5.1 Χρήσιμοι τύποι για το WCDMA.....	25
<b>2 Ανάλυση RAKE δέκτη</b>	
2.1 Εισαγωγή στον RAKE Δέκτη.....	27
2.2 Το φαινόμενο Multipath Fading.....	28
2.2.1 Η έννοια του Multipath.....	28
2.2.2 Το Multipath σε αστικές, ημιαστικές και αγροτικές περιοχές.....	30
2.3 Το Maximal Ratio Combining (MRC).....	32
2.4 Ανάλυση του RAKE δέκτη.....	34
2.4.1 Λειτουργία RAKE δέκτη.....	34
2.4.2 Ο RAKE δέκτης σε WCDMA δίκτυο.....	35
Αναφορές.....	37
2.5 Το μοντέλο προσομοίωσης “WCDMA Spreading and Modulation”.....	38
2.5.1 Το μοντέλο στο Simulink 7.3.....	38
2.5.2 Block διάγραμμα “WCDMA Spreading and Modulation”.....	39
2.5.3 Block διάγραμμα Rake δέκτη.....	41
2.5.4 Μετρήσεις Bit Error Rate.....	42



2.5.5 Διαδικασία μετρήσεων.....	43
---------------------------------	----

### **3 Ανάλυση της διαδικασίας Spreading-Despreading**

3.1 Spreading και Despreading.....	47
3.2 Πλεονεκτήματα Διεύρυνσης Φάσματος.....	50
3.3 Τύποι κωδίκων διεύρυνσης (Spreading Codes).....	51
3.3.1 Ορθογωνικοί Κώδικες (Orthogonal Codes).....	51
3.3.2 Ψευδοτυχαίοι κώδικες (PN codes).....	56
3.4 Το μοντέλο προσομοίωσης “End-to-End Physical Layer”.....	58
3.4.1 Το μοντέλο στο Simulink 7.3.....	58
3.4.2 Block διάγραμμα “WCDMA End-to-End Physical Layer”.....	59
3.4.3 Μετρήσεις Bit Error Rate και Block Error Rate.....	60
3.4.4 Διαδικασία μετρήσεων.....	61

### **4 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων**

4.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης του μοντέλου “WCDMA Spreading and Modulation”.....	65
4.1.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης για 2 ενεργά Fingers.....	66
4.1.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης για 3 ενεργά Fingers.....	69
4.1.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης για 4 ενεργά Fingers.....	72
4.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης του μοντέλου “WCDMA End-to-End Physical Layer”.....	75
4.2.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης για ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 12.2 kbps.....	76
4.2.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης για ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 64 kbps.....	79
4.2.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης για ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 144 kbps.....	82
4.2.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης για ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 384 kbps.....	85
4.2.5 Ανάλυση των DL Measurement Channels.....	88

## 5 Συμπεράσματα

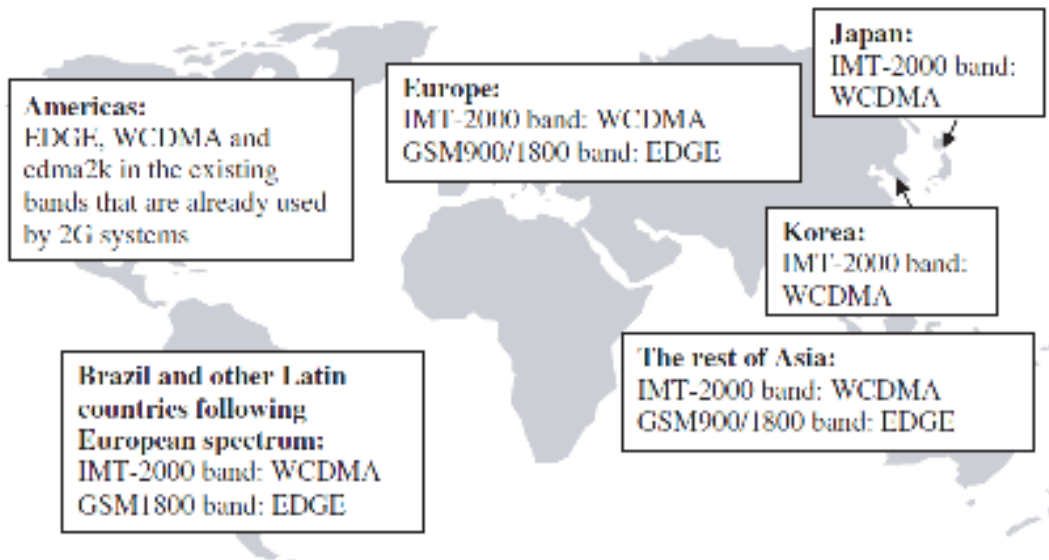
5.1 Το μοντέλο “WCDMA Spreading and Modulation” και ο RAKE Δέκτης.....	90
5.1.1 Γραφικές απεικονίσεις αποτελεσμάτων.....	91
5.2 Το μοντέλο “WCDMA End-to-End Physical Layer” και ο Spreading Factor.....	95
5.2.1 Γραφικές απεικονίσεις αποτελεσμάτων .....	96
5.3 Προβλήματα προσομοιώσεων.....	100
Βιβλιογραφία – Πηγές.....	101

**1** <sup>ο Κεφάλαιο</sup>  
Εισαγωγή  
στο W-CDMA

## § 1.1 WCDMA

Τα αναλογικά κυψελωτά συστήματα συχνά αναφέρονται ως συστήματα 1<sup>ης</sup> γενιάς. Τα ψηφιακά συστήματα που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας, όπως το GSM, PDC, cdmaOne (IS-95) και US-TDMA (IS-136), είναι συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς. Αυτά τα συστήματα επέτρεψαν στην τηλεφωνία να γίνει ασύρματη, με αποτέλεσμα όλο και περισσότεροι χρήστες να βρίσκουν αξία σε αυτή καθώς και σε άλλες υπηρεσίες, όπως το γραπτό μήνυμα (sms).

Τα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς είναι σχεδιασμένα για multimedia επικοινωνία. Με αυτή την γενιά η επικοινωνία person-to-person μπορεί να εμπλουτιστεί με εικόνα και βίντεο υψηλής ποιότητας, η πρόσβαση σε πληροφορίες, δημόσιες υπηρεσίες και ιδιωτικά δίκτυα θα συνοδεύεται από υψηλούς ρυθμούς δεδομένων (high data rates) και νέες ευέλικτες επικοινωνιακές δυνατότητες που μπορούν να προσφέρουν τα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς. Αυτό, σε συνδυασμό με την συνεχή εξέλιξη των συστημάτων 2<sup>ης</sup> γενιάς, θα δημιουργήσει νέες ευκαιρίες εργασίας όχι μόνο για τους κατασκευαστές, αλλά και για τους παροχείς των εφαρμογών που χρησιμοποιούν αυτά τα δίκτυα. Στο *σχήμα 1-1* φαίνονται τα ήδη υλοποιημένα και τα αναμενόμενα air interfaces που θα παρέχουν υπηρεσίες 3<sup>ης</sup> γενιάς, με το WCDMA να συγκεντρώνει εμφανώς τις προοπτικές για ευρεία μελλοντική χρήση.



Σχήμα 1-1 Τα ήδη υλοποιημένα και τα αναμενόμενα air interfaces που θα παρέχουν υπηρεσίες τρίτης γενιάς

Το WCDMA (Wideband-Code Division Multiple Access) είναι ένα από τα τρία (WCDMA, EDGE, cdma2000) air interfaces της 3<sup>ης</sup> γενιάς ασύρματων επικοινωνιών που αναπτύχθηκε μέσα στα πλαίσια του International Mobile Telephony (IMT-2000), όπως καθορίστηκε από τον οργανισμό ITU (International Telecommunication Union). Οι προδιαγραφές του συστήματος αυτού αναπτύχθηκαν από την Third Generation Partnership Project (3GPP), έκδοση 1999, που είναι μια κοινή προσπάθεια μεταξύ οργανισμών τηλεπικοινωνιακών προδιαγραφών από Ευρώπη, Ιαπωνία, Κορέα, Η.Π.Α. και Κίνα.

Το WCDMA είναι μια τεχνολογία διευρυμένου φάσματος (direct sequence spread spectrum). Αυτό σημαίνει ότι εκπέμπει κωδικοποιημένα δεδομένα σε ένα ευρυζωνικό κανάλι μεγέθους 5 MHz, χρησιμοποιώντας μια ακολουθία ψευδοτυχαίων δυαδικών τιμών που ονομάζονται chips, με έναν υψηλό ρυθμό μετάδοσης (3.84 Mcps). Κάθε εκπεμπόμενο bit πολλαπλασιάζεται με τον ψευδοτυχαίο κώδικα. Το μήκος αυτού του ψευδοτυχαίου κώδικα, δηλαδή ο αριθμός των chips που χρονικά αντιστοιχούν στο κάθε bit, ονομάζεται spreading factor. Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του κώδικα, τόσο μικρότερη είναι η παρεμβολή πολλαπλών χρηστών (multiple users interference), πολλαπλών καναλιών (multiple channels interference) και πολλαπλών οδεύσεων (multiple paths interference). Δεδομένου ότι όλοι οι χρήστες εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα ταυτόχρονα, ο εκάστοτε σταθμός βάσης που σερβίρει τον χρήστη τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή εκχωρεί έναν μοναδικό κώδικα σε κάθε χρήστη (διαδικασία Spreading). Ο δέκτης, ο οποίος «γνωρίζει» τον κώδικα του κάθε χρήστη, μπορεί αποτελεσματικά να ξεχωρίσει το επιθυμητό λαμβανόμενο σήμα από τη λαμβανόμενη κυματομορφή (διαδικασία Despreading). Στον παρακάτω πίνακα του σχήματος 1-2 φαίνονται οι διαφορές μεταξύ WCDMA και GSM.

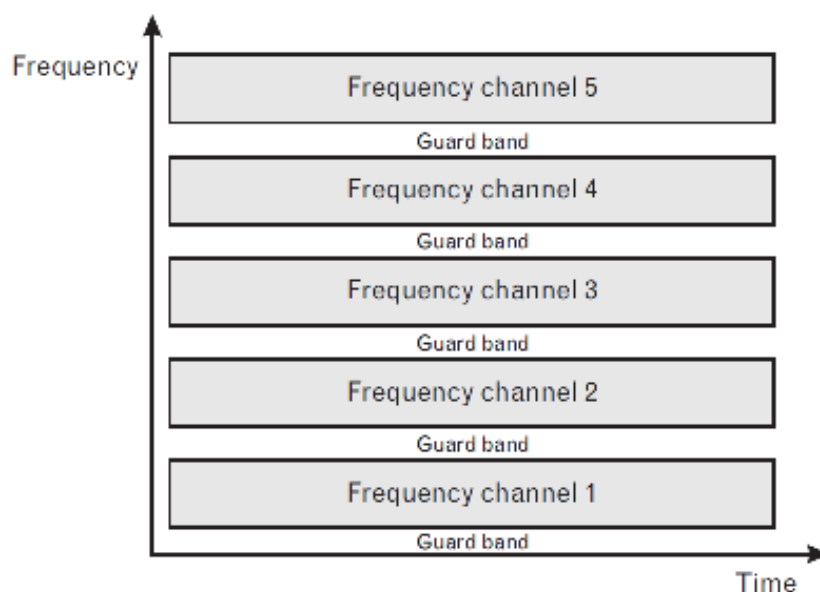
	WCDMA/HSPA	GSM/EDGE
Carrier spacing	5 MHz	200 kHz
Frequency reuse factor	1	1-18
Frequency diversity	5 MHz bandwidth gives multipath diversity with Rake receiver	Frequency hopping with frequency diversity
Power control frequency	Up to 1500 Hz	Up to 2 Hz
Circuit and packet switched protocols	Same protocols in radio network	Different protocols
Packet scheduling and retransmission control	In base station (HSPA)	In base station controller
Network architecture	Flat architecture with two network elements in user plane (HSPA Release 7)	Four network elements in user plane
MIMO	2 × 2 MIMO in downlink	-
Downlink modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM (HSPA Release 7)	GMSK, 8PSK

Σχήμα 1-2 Οι διαφορές του WCDMA με το GSM

## § 1.2 Τεχνικές Πολλαπλής Προσπέλασης

### § 1.2.1 FDMA

Στο παρακάτω σχήμα, το διαθέσιμο φάσμα χωρίζεται σε έναν αριθμό μικρότερων φασμάτων ίσου εύρους ζώνης συχνοτήτων (individual channels), καθ' ένα από τα οποία εκχωρείται σε διαφορετικό χρήστη για τη διάρκεια μιας κλήσης. Για τη ορθή λειτουργία του συστήματος, αφήνεται μια «απόσταση ασφαλείας» μεταξύ γειτονικών καναλιών, τα λεγόμενα guard bands. Αυτό απεικονίζεται στο *σχήμα 1-3*.



Σχήμα 1-3 FDMA

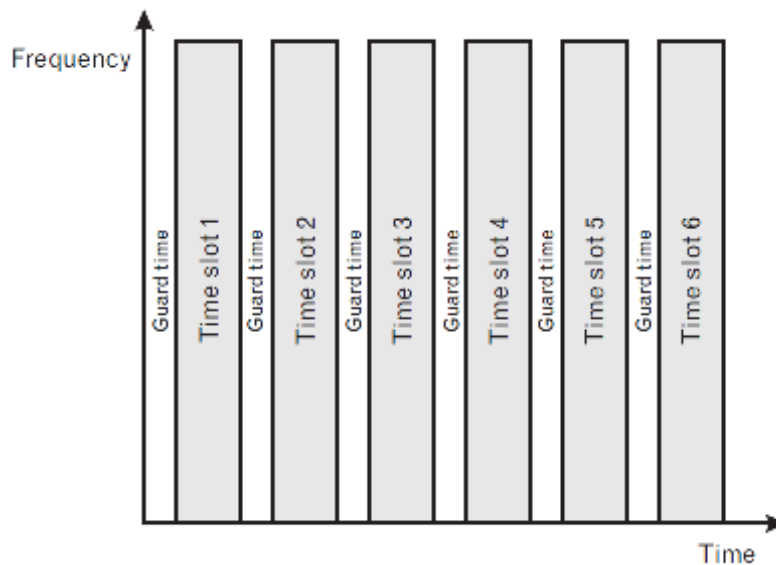
Ένα σύστημα FDMA αποτελείται στην πραγματικότητα από πολλούς πομπούς που χρησιμοποιούν διαφορετική συχνότητα φέροντος ο καθ' ένας. Σημειωτέον ότι στο UPLINK και στο DOWNLINK χρησιμοποιούνται ξεχωριστά κανάλια.

### § 1.2.2 TDMA

Στο TDMA, η πληροφορία αποστέλλεται μέσω πλαισίων (frames) σταθερού μεγέθους, καθ' ένα από τα οποία χωρίζεται σε χρονοθυρίδες (time slots) ίσου μεγέθους. Σε κάθε χρήστη εκχωρούνται ένα ή περισσότερα time slots ενός frame, κατά τη διάρκεια των οποίων του επιτρέπεται να εκπέμπει χρησιμοποιώντας ολόκληρο το διαθέσιμο εύρος ζώνης του καναλιού. Ανάμεσα σε δυο γειτονικά time slots πρέπει να υπάρχει μια χρονική περίοδος

ασφαλείας (guard period) ώστε να μην υπάρχει παρεμβολή μεταξύ των χρηστών που τα χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αυτό απεικονίζεται και στο *σχήμα 1-4*.

Κάποια ψηφιακά συστήματα, όπως το GSM, βασίζονται στο TDMA και στο FDD. Συγκεκριμένα, στο GSM κάθε φυσικό κανάλι (physical channel) έχει ένα εύρος ζώνης μεγέθους 200 KHz. Κάθε frame αποτελείται από οχτώ time slots με αποτέλεσμα το σύστημα να μπορεί να υποστηρίξει μέχρι οχτώ χρήστες ανά κανάλι, με τον υψηλότερο δυνατό ρυθμό μετάδοσης. Στο σύστημα αυτό, κάθε frame έχει διάρκεια 4.615 ms και κάθε time slot 0.577 ms, μεταξύ των οποίων το guard period είναι 0.03462 ms.



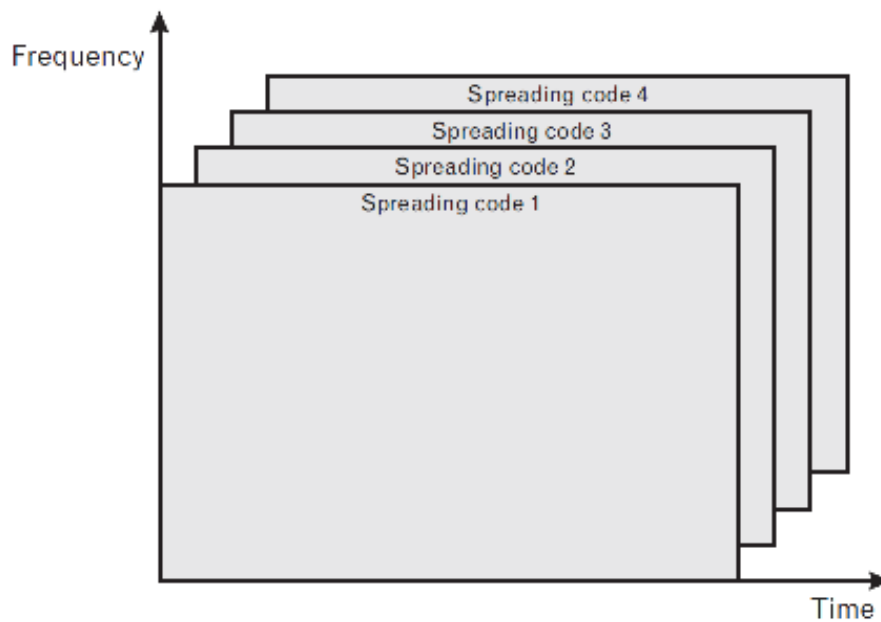
Σχήμα 1-4 TDMA

### § 1.2.3 Spread Spectrum Multiple Access

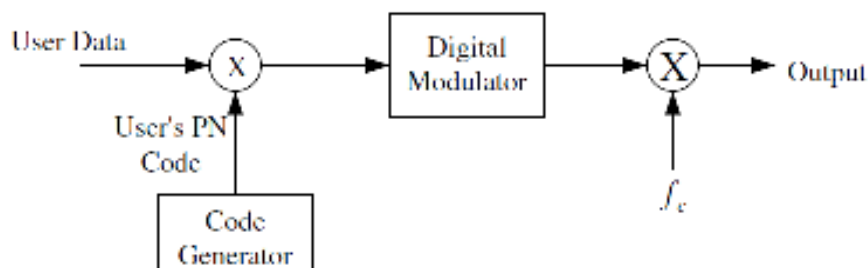
Όπως είδαμε και προηγουμένως, σε κάθε χρήστη στο FDMA και TDMA παραχωρείται ένα μικρό κομμάτι από το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Από την άλλη, στο spread spectrum multiple access, όλοι οι χρήστες μπορούν ταυτόχρονα να εκπέμπουν σε ολόκληρο το διαθέσιμο εύρος ζώνης χρησιμοποιώντας ένα ψευδοτυχαίο κώδικα, ο οποίος είναι μοναδικός για κάθε χρήστη. Οι κώδικες αυτοί, γνωστοί και ως *pseudonoise* (PN) codes, είναι τυχαίες ακολουθίες. Ένα άλλο τους χαρακτηριστικό είναι ότι μετά από κάποια πεπερασμένη -και συνήθως μεγάλη- χρονική διάρκεια επαναχρησιμοποιούνται. Ο δέκτης διαχωρίζει τους χρήστες συσχετίζοντας το λαμβανόμενο σήμα με τους κώδικες αυτούς.

Σήμερα, πολλές spread spectrum τεχνικές είναι διαθέσιμες. Για παράδειγμα, υπάρχει η *direct sequence spread spectrum* (DSSS) τεχνική, η *frequency-hopping spread spectrum* (FHSS), η *time-*

*hopping spread spectrum* (THSS), καθώς και υβριδικές τεχνικές, που είναι συνδυασμοί και των τριών.



Σχήμα 1-5 CDMA



Σχήμα 1-6 Οι αρχές του DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Στο σύγγραμμα αυτό θα ασχοληθούμε με το direct-sequence spread spectrum system, γνωστό και ως CDMA (Code Division Multiple Access). Όπως αναφέρθηκε και πριν, στον κάθε χρήστη εκχωρείται ένας μοναδικός PN code. Αυτός ο κώδικας χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση των δεδομένων (διαδικασία spreading), τα οποία με τη σειρά τους, αφού διαμορφώσουν τη συχνότητα του φέροντος, αποστέλλονται. Το clock rate του spreading code ονομάζεται chip rate. Το chip rate του PN code είναι συνήθως πολύ υψηλότερο από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων του χρήστη. Ο λόγος του chip rate προς το data rate ονομάζεται spreading factor. Στο UMTS, το spreading factor κυμαίνεται μεταξύ 4 και 256.



## § 1.3 Οι αρχές του Direct-Spread CDMA

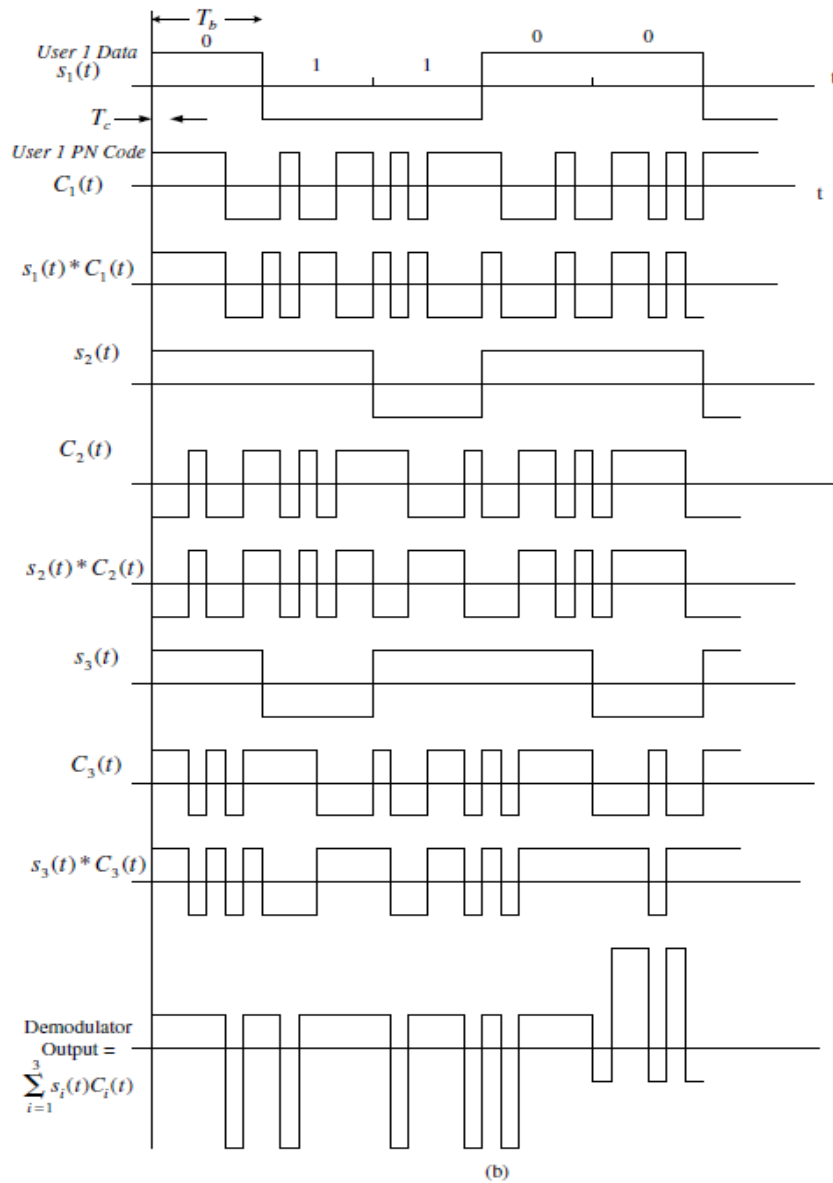
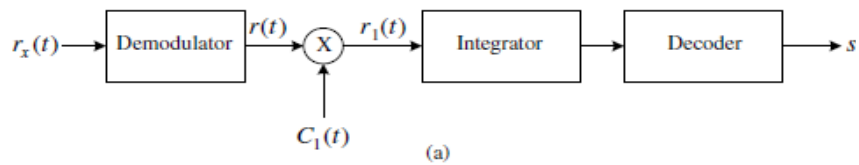
Οι PN codes, που αναφέρθηκαν και προηγουμένως, έχουν κάποιες ξεχωριστές ιδιότητες. Μία από αυτές είναι ότι οποιοδήποτε φυσικό κανάλι ή εφαρμογή, όταν έχουν κωδικοποιηθεί στον πομπό με την χρήση ενός PN code, μπορούν να αναγνωριστούν στον δέκτη, πολλαπλασιάζοντας το λαμβανόμενο σήμα με ένα συμφασικό αντίγραφο του κώδικα αυτού. Για να απεικονίσουμε τον τρόπο με τον οποίο ένας CDMA δέκτης, παρά την ύπαρξη λαμβανόμενων σημάτων άλλων χρηστών που εκπέμπουν στο ίδιο σύστημα, μπορεί να ξεχωρίσει το επιθυμητό σήμα του χρήστη, παρατηρήστε το *σχήμα 1-7(a)*, το οποίο απεικονίζει το μπλοκ διάγραμμα ενός απλοποιημένου CDMA δέκτη. Ας υποθέσουμε τώρα ότι ο δέκτης θέλει να αναγνωρίσει την ακολουθία δεδομένων του πρώτου χρήστη. Το λαμβανόμενο σήμα πολλαπλών χρηστών αρχικά αποδιαμορφώνεται. Η έξοδος του αποδιαμορφωτή πολλαπλασιάζεται με τον PN code που έχει εκχωρηθεί στον πρώτο χρήστη. Έπειτα, το σήμα εξόδου εφαρμόζεται στην είσοδο του ολοκληρωτή όπου εκεί ολοκληρώνεται σε κάθε περίοδο συμβόλου. Ο αποκωδικοποιητής διαβάζει την έξοδο του ολοκληρωτή και, ακολουθώντας συγκεκριμένους κανόνες, τη μετατρέπει σε δυαδικές τιμές ("0", "1"). Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η ανάκτηση των δεδομένων του πρώτου χρήστη.

Για να δούμε ότι αυτό ισχύει, υποθέστε ότι η ακολουθία δεδομένων του κάθε χρήστη συμβολίζεται με  $s_i(t)$  και ο PN code που του έχει εκχωρηθεί με  $C_i(t)$ . Η έξοδος του πομπού μετά τη διαδικασία του spreading θα ισούται με  $s_i(t)*C_i(t)$ . Σε αυτό το σημείο να επισημανθεί ότι στα  $s_i(t)$  και  $C_i(t)$  η στάθμη του σήματος είναι είτε 1 ή -1, με το 1 να αντιπροσωπεύει το λογικό "0" και το -1 το λογικό "1". Εάν ο θόρυβος που εισέρχεται από το κανάλι είναι αμελητέος, το αποδιαμορφωμένο σήμα δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$r(t) = \sum_{i=1}^N s_i(t)*C_i(t)$$

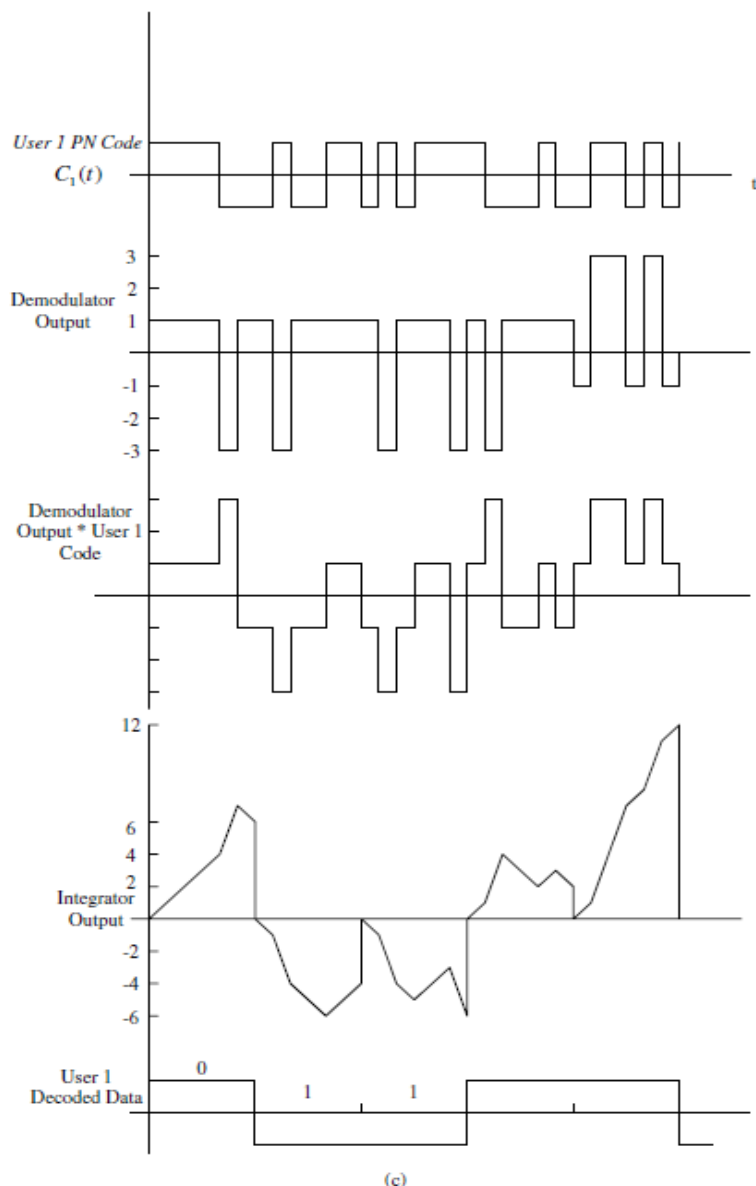
όπου N ο αριθμός των χρηστών του συστήματος. Εάν τώρα το  $r(t)$  πολλαπλασιαστεί με το αντίγραφο του PN code  $C_1(t)$  του πρώτου χρήστη, η έξοδος δίνεται από τον τύπο:

$$\begin{aligned} r_1(t) &= C_1(t)*r(t) = C_1(t)*\sum_{i=1}^N s_i(t)*C_i(t) \\ &= s_1(t)*C_1(t)*C_1(t) + s_2(t)*C_2(t)*C_1(t) + s_3(t)*C_3(t)*C_1(t) + \dots \end{aligned}$$



Σχήμα 1-7 Σύστημα CDMA

- (a) Απλοποιημένος δέκτης CDMA. Το λαμβανόμενο σήμα στην είσοδο του αποδιαμορφωτή αποτελείται από σήματα πολλαπλών χρηστών  
 (b) Τα διαγράμματα αυτά δείχνουν πώς το σήμα που φτάνει στον δέκτη, είναι το άθροισμα των κωδικοποιημένων σημάτων πολλαπλών χρηστών



Σχήμα 1-7 (c)

Διαγράμματα που δείχνουν πώς ξεχωρίζεται το επιθυμητό σήμα του χρήστη από το λαμβανόμενο σήμα.

Ο αποκωδικοποιητής (decoder) διαβάζει την έξοδο του ολοκληρωτή στο τέλος κάθε περιόδου συμβόλου και, εάν είναι θετική, η πληροφορία αποκωδικοποιείται σε λογικό μηδέν. Εάν είναι αρνητική, η πληροφορία αποκωδικοποιείται σε λογικό ένα. Παρατηρείστε ότι αφού ο αποκωδικοποιητής διαβάσει την έξοδο του ολοκληρωτή, τότε ο ολοκληρωτής πρέπει να μηδενιστεί ώστε η διαδικασία να μπορέσει να αρχίσει εκ νέου από την αρχή της επόμενης περιόδου συμβόλου

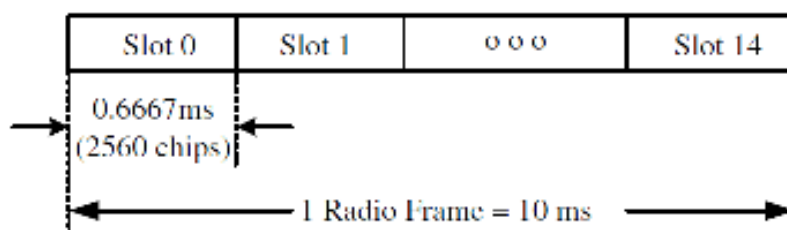
Εξαιτίας του ότι η ετεροσυσχέτιση (cross-correlation) μεταξύ του  $C_1(t)$  και του  $C_2(t)$  είναι πολύ μικρή, ο δεύτερος όρος εμφανίζεται ως θόρυβος ώστε όταν ολοκληρωθεί κατά την διάρκεια μιας περιόδου συμβόλου, η έξοδος, ως προς αυτόν τον όρο, είναι σχεδόν μηδέν. Το ίδιο ισχύει για τον τρίτο και τους ακόλουθους όρους. Ωστόσο, η έξοδος του ολοκληρωτή ως προς τον πρώτο όρο είναι ίση με  $s_1(t)$  διότι:

$$C_1(t) * C_1(t) = 1$$

Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να παρατηρηθεί και γραφικά στα διαγράμματα 1-7 (b και c).

## § 1.4 Φυσικά Κανάλια (Physical Channels)

Στο physical layer του WCDMA, κάθε κανάλι μεταφοράς (transport channel) αντιστοιχείται σε ένα φυσικό κανάλι. Τα δεδομένα αποστέλλονται μέσω του αέρα σε διαδοχικά frames. Κάθε frame έχει διάρκεια 10 ms και αποτελείται από 15 θυρίδες (slots), 0.66667 ms διάρκειας η κάθε μία. Λόγω του ότι το chip rate είναι 3.84 Mcps, το μήκος του κάθε slot είναι 2560 chips. Η δομή ενός frame φαίνεται στο *σχήμα 1-8*. Ο αριθμός των bit που μπορούν να αποσταλούν εξαρτάται από τον spreading factor. Για παράδειγμα, εάν ο spreading factor είναι 4, ο αριθμός των bits ανά θυρίδα θα είναι  $2560/4=640$ . Εάν σε έναν χρήστη εκχωρηθεί μόνο ένα slot ανά frame, ο ρυθμός δεδομένων του χρήστη (data rate) θα είναι  $640/10 \text{ ms}=64 \text{ kbps}$ . Εάν ο spreading factor είναι 256, ο ρυθμός δεδομένων του χρήστη σε αυτό το κανάλι θα είναι μόλις 1 kb/s. Εάν ο ρυθμός είναι 4 kb/s, θα χρησιμοποιηθεί ένας spreading factor ίσος με 64. Παρ' όλα αυτά, σε μία κινητή μονάδα μπορεί εικονικά να εκχωρηθεί οποιοσδήποτε ρυθμός δεδομένων χρησιμοποιώντας διαφορετικούς spreading factors και προσδιορίζοντας τον απαιτούμενο αριθμό slots και καναλιών.



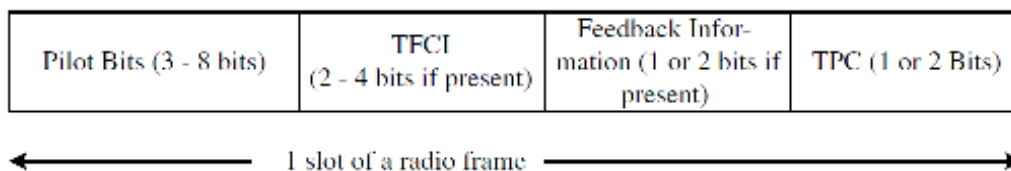
Σχήμα 1-8 Η δομή ενός uplink frame για ένα DPDCH ή DPCCH

Τα physical channels χωρίζονται σε δύο διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με την κατεύθυνση τους - τα uplink και downlink.

## § 1.4.1 Uplink Dedicated Physical Channels

Τα Uplink Dedicated Physical Channels (Uplink DPCHs) χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στα dedicated physical data channels (DPDCH) και στα dedicated physical control channels (DPCCH):

- *Uplink DPDCH*. Μεταφέρει τις πληροφορίες του χρήστη που προέρχονται από υψηλότερα layers. Για κάθε χρονική στιγμή, μία ραδιοζεύξη μπορεί να έχει κανένα, ένα ή παραπάνω uplink DPDCH κανάλια, χρησιμοποιώντας το καθένα από αυτά διαφορετικά bit rate και συνεπώς διαφορετικό spreading factor. Για παράδειγμα ένα DPDCH μπορεί να έχει ρυθμό δεδομένων 15, 30, 60, 120, 240, 480, ή 960 kb/s, χρησιμοποιώντας αντίστοιχα, spreading factor 256, 128, 64, 32, 16, 8, ή 4.
- *Uplink DPCCH*. Αυτό το φυσικό κανάλι ελέγχου μεταδίδει πληροφορίες ελέγχου με ένα ρυθμό της τάξης των 10 bits ανά slot με spreading factor 256. Κατά συνέπεια, ο ρυθμός δεδομένων σε αυτό το κανάλι είναι 15 kb/s. Η δομή των δεδομένων ανά slot απεικονίζεται στο *σχήμα 1-9* και αποτελείται από τέσσερα πεδία:
  - Τα πιλοτικά σύμβολα (Pilot bits)
  - Τον Transport Format Combination Indicator (TFCI)
  - Ένα πεδίο ανάδρασης πληροφοριών
  - Το Transmit Power Control Command (TPC)

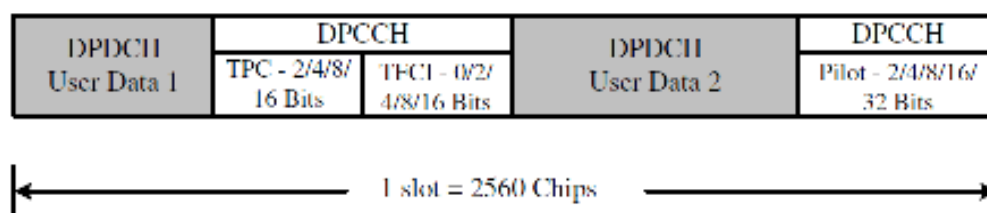


Σχήμα 1-9 Η δομή των δεδομένων ανά slot

Υπάρχουν από 3 έως 8 πιλοτικά bit που παρέχουν στον δέκτη ένα φέρον σήμα αναφοράς για συμφασική αποδιαμόρφωση. Το TFCI πεδίο υποδεικνύει την μορφή ενός συνόλου από μπλοκ μεταφοράς (transport block set) το οποίο αποστέλλεται μέσω ενός DPDCH την ίδια στιγμή με το συγκεκριμένο DPCCH. Αυτό το πεδίο μπορεί πολλές φορές να λείπει. Εάν όχι, μπορεί να έχει μήκος 2,3 ή 4 bit. Στο πεδίο της ανάδρασης παρέχονται πληροφορίες από την κινητή μονάδα στο δίκτυο (UTRAN - UMTS Terrestrial Radio Access Network) για πράγματα όπως τον τρόπο εναλλακτικής εκπομπής στον έλεγχο ισχύος κλειστού βρόγχου και στην επιλογή του εναλλακτικού σταθμού βάσης (soft handover). Επίσης αυτό το πεδίο είναι πιθανό κάποιες φορές να λείπει. Όταν είναι παρόν, μπορεί να έχει μήκος ένα ή δύο bit – είτε όλα "0" ή όλα "1". Αντίθετα με το DPDCH, υπάρχει μόνο ένα uplink DPCCH σε κάθε ραδιοζεύξη.

## § 1.4.2 Downlink Dedicated Physical Channels

Το Downlink Dedicated Physical Channel (DPCH) κάνει την πολυπλεξία μεταξύ των δεδομένων του χρήστη από τα υψηλότερα layers και των πληροφοριών ελέγχου που παράγονται στο physical layer. Το σύνολο των δεδομένων δημιουργεί ένα downlink DPDCH και το σύνολο των πληροφοριών ελέγχου ένα downlink DPCCH. Η δομή δεδομένων ενός slot downlink DPCH φαίνεται στο *σχήμα 1-10*. Το DPCCH αποτελείται από τρία πεδία: TPC, TFCI και πιλοτικά bits. Το πεδίο TPC είναι πάντα παρόν και μπορεί να έχει μήκος 2, 4, 8 ή 16 bit. Το TFCI πεδίο δεν είναι απαραίτητο για εφαρμογή που έχει σταθερό ρυθμό δεδομένων κατά την διάρκεια της κλήσης.



Σχήμα 1-10 Η δομή δεδομένων ενός slot downlink DPCH

Εάν είναι ενεργές πολλές εφαρμογές ταυτόχρονα, το TFCI πεδίο μπορεί να έχει μήκος 2, 4, 8 ή 16 bit. Πάντα εμπεριέχονται και τα πιλοτικά bit που μπορούν να έχουν μήκος 2, 4, 8, 16 ή 32 bit. Ο spreading factor που χρησιμοποιείται εξαρτάται από τον απαιτούμενο ρυθμό δεδομένων και κυμαίνεται από 4 έως 512. Στον παρακάτω πίνακα του σχήματος *1-11* φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιούνται τα λογικά κανάλια.

Category	Logical channel	Application
Control Channel (CCH)	Broadcast Control Channel (BCCH)	A downlink channel used for broadcasting system control information.
	Paging Control Channel (PCCH)	A downlink channel used for broadcasting paging information.
	Common Control Channel (CCCH)	A bidirectional channel used for transmitting control information between UE and the network. Used when there is no RRC connection or when accessing a new cell.
	Dedicated Control Channel (DCCH)	A bidirectional point-to-point channel used for transmitting dedicated control information between UE and the network. Established by RRC Connection Setup.
Traffic Channel (TCH)	Dedicated Traffic Channel (DTCH)	A bidirectional channel used for transferring user data, dedicated to one UE. Has both uplink and downlink.
	Common Traffic Channel (CTCH)	A uni-directional point-to-multipoint channel for broadcasting user data to all UEs or certain UEs.

Σχήμα 1-11 Τα λογικά κανάλια και το που χρησιμοποιούνται

## § 1.5 Σύνοψη των κυρίων παραμέτρων του WCDMA

Εδώ παρουσιάζονται οι κύριες σχεδιαστικές παράμετροι του WCDMA και δίνεται μία σύντομη εξήγηση για αυτές. Ο πίνακας του σχήματος 1-12 συνοψίζει τις κύριες παραμέτρους που σχετίζονται με το air interface του WCDMA.

- Το WCDMA είναι ένα Wideband Direct-Sequence Code Division Multiple Access (DS-CDMA) σύστημα, εννοώντας ότι τα bit της πληροφορίας του χρήστη διευρύνονται σε ένα ευρύ φάσμα πολλαπλασιάζοντας τα δεδομένα του με τυχαίες ακολουθίες bits, γνωστά ως chips, που προέρχονται από CDMA spreading κώδικες. Για να επιτευχθούν πολύ υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης (bit rate μέχρι 2 Mbps), υποστηρίζεται η χρήση μεταβλητού spreading factor και συνδέσεις πολλαπλών κωδίκων (multicode connections) (σχήμα 1-12).
- Το chip rate της τάξης των 3.84 Mcps οδηγεί σε εύρος συχνοτήτων φέροντος γύρω στα 5 MHz. Τα DS-CDMA συστήματα, όπως το IS-95, έχουν ένα εύρος ζώνης γύρω στο 1 MHz και αναφέρονται ως συστήματα περιορισμένου φάσματος. Το ευρύ φάσμα του φέροντος στο WCDMA υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων (data rate) και προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα για υψηλές επιδόσεις, όπως το multipath diversity. Ανάλογα με το εύρος ζώνης που έχει στην άδεια λειτουργίας του, ο φορέας κινητής τηλεφωνίας, μπορεί να χρησιμοποιήσει περισσότερα από ένα κανάλια των 5 MHz με την μορφή ιεραρχικών cells. Αυτό το χαρακτηριστικό φαίνεται στο σχήμα 1-13. Η ακριβής απόσταση μεταξύ των καναλιών μπορεί να κυμανθεί από 4.4 έως 5 MHz με βήμα 200 KHz. Αυτό μπορεί να γίνει για να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη φασματική απόσταση από τους άλλους φορείς κινητής τηλεφωνίας που έχουν γειτονικό φάσμα.
- Οι έντονα μεταβαλλόμενοι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων του χρήστη υποστηρίζουν την έννοια του Bandwidth on Demand (BoD). Ο ρυθμός μετάδοσης του χρήστη παραμένει σταθερός κατά την διάρκεια ενός frame ( $T_{\text{frame}}=10$  ms). Όμως ο ρυθμός μετάδοσης του κάθε χρήστη μπορεί να αλλάζει από frame σε frame (σχήμα 1-13). Αυτή η γρήγορη ανακατανομή της χωρητικότητας γίνεται από το δίκτυο, έτσι ώστε να έχουμε βέλτιστη αξιοποίηση των ραδιοκαναλιών και συνεπώς μέγιστο ρυθμό μετάδοσης στις υπηρεσίες πακέτων δεδομένων.
- Το WCDMA υποστηρίζει δύο βασικούς τρόπους λειτουργίας: Την πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Duplex - FDD) και την πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (Time Division Duplex - TDD). Στην FDD, χρησιμοποιούνται ξεχωριστές συχνότητες φέροντος των 5 MHz για το uplink και το downlink, ενώ στο TDD χρησιμοποιείται η ίδια συχνότητα των 5 MHz, χωρισμένη στο πεδίο του χρόνου για το uplink και

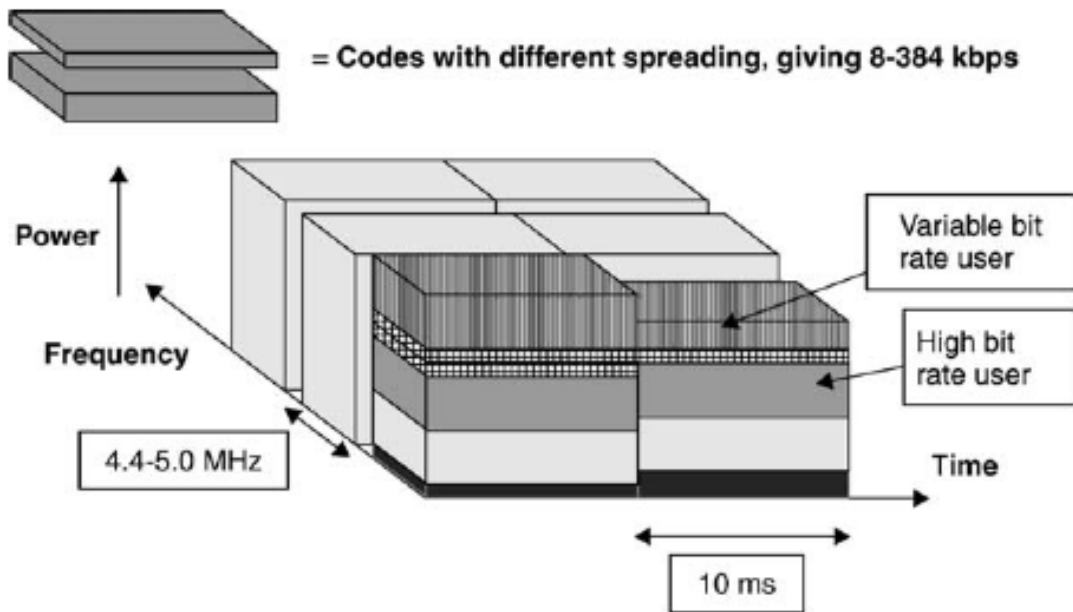
το downlink. Το uplink είναι η ζεύξη από την κινητή μονάδα προς τον σταθμό βάσης και το downlink είναι η ζεύξη από τον σταθμό βάσης προς το κινητό. Στο WCDMA η λειτουργία του TDD βασίζεται σημαντικά στις αρχές λειτουργίας του FDD.

- Το WCDMA υποστηρίζει την λειτουργία ασύγχρονων σταθμών βάσης, αντίθετα με τους σύγχρονους σταθμούς του IS-95, ώστε να μην υπάρχει ανάγκη για χρήση ενός συστήματος παγκόσμιας αναφοράς ώρας, όπως είναι το GPS. Η λειτουργία εσωτερικών και micro σταθμών βάσης είναι ευκολότερη όταν δεν υπάρχει ανάγκη λήψης GPS σημάτων.
- Το WCDMA χρησιμοποιεί σύμφωνη λήψη και στο uplink και στο downlink βασισμένο στη χρήση των πιλοτικών συμβόλων. Στο CDMA σύστημα δεύτερης γενιάς IS-95, χρησιμοποιείται η σύμφωνη λήψη μόνο στο downlink. Για πρώτη φορά στο WCDMA, χρησιμοποιήθηκε σύμφωνη λήψη στο uplink, με αποτέλεσμα μία συνολική αύξηση της κάλυψης και της χωρητικότητας (στο uplink).
- Το WCDMA έχει αναπτυχθεί με τέτοιο τρόπο ώστε κάποιες προηγμένες τεχνικές των CDMA δεκτών, όπως το multiuser detection και οι έξυπνες κεραιές, να μπορούν να αναπτυχθούν ως επιλογή του φορέα παροχής του δικτύου για την αύξηση της χωρητικότητας ή/και της κάλυψης. Στα περισσότερα από τα συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς, δεν υποστηρίζονται οι αρχές αυτές και συνεπώς δεν είναι εφαρμόσιμες ή εφαρμόζονται με σοβαρούς περιορισμούς και περιορισμένες επιδόσεις.
- Το WCDMA είναι σχεδιασμένο για να συνυπάρχει με το GSM, με αποτέλεσμα να υποστηρίζονται handover μεταξύ GSM και WCDMA.

Multiple access method	DS-CDMA
Duplexing method	Frequency division duplex/time division duplex
Base station synchronisation	Asynchronous operation
Chip rate	3.84 Mcps
Frame length	10 ms
Service multiplexing	Multiple services with different quality of service requirements multiplexed on one connection
Multirate concept	Variable spreading factor and multicode
Detection	Coherent using pilot symbols or common pilot
Multiuser detection, smart antennas	Supported by the standard, optional in the implementation

Σχήμα 1-12 Ο πίνακας με τις κύριες παραμέτρους του WCDMA





Σχήμα 1-13 Η κατανομή του εύρους ζώνης στο πεδίο του χρόνου, της συχνότητας και της ισχύος

### § 1.5.1 Χρήσιμοι τύποι για το WCDMA

$$\text{Spreading Factor} = \frac{\text{Chip Rate}}{\text{Symbol Rate}}$$

$$\text{Data Rate} = \frac{\text{Bits/Slot}}{\text{Frame Duration}}$$

$$\text{Processing Gain} = \frac{\text{Chip Rate}}{\text{Data Rate}}$$

$$\text{Bits/Slot} = \frac{\text{Chips/Slot}}{\text{Spreading Factor}}$$

2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο  
Ανάλυση  
RAKE δέκτη

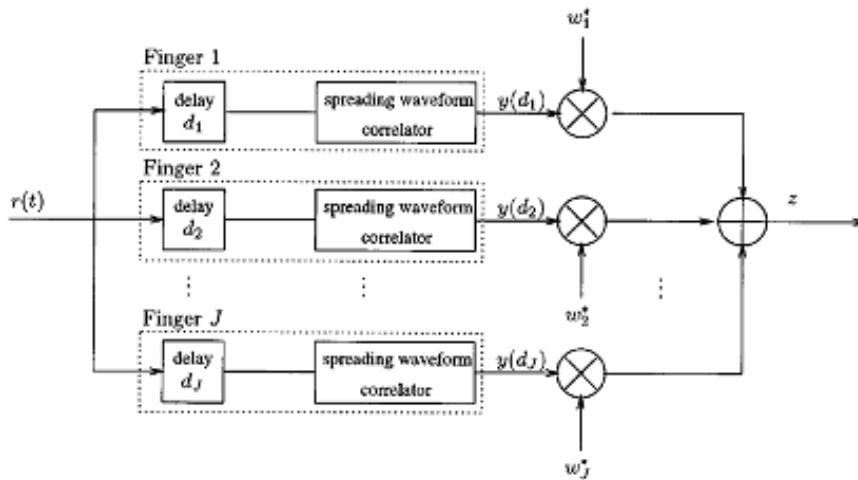
## § 2.1 Εισαγωγή στον RAKE Δέκτη

Έρευνες που έχουν γίνει σχετικά με το προφίλ της κατανομής ισχύος των ανακλάσεων σε αστικές και πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές για τα 900 MHz δείχνουν ότι η περισσότερη ενέργεια από το λαμβανόμενο σήμα επεκτείνεται τυπικά από 1 έως 2  $\mu\text{s}$ , μολονότι σε κάποιες περιπτώσεις (περιοχές με λόφους) μπορεί να φτάσει και τα 20  $\mu\text{s}$ . Στο σύστημα TDMA (Time Division Multiple Access), ο δέκτης προσπαθεί να εξουδετερώσει τις ανακλάσεις στο κανάλι διάδοσης. Στην ουσία αφαιρεί την ενέργεια που περιέχεται σε αυτές έτσι ώστε να μην επηρεάσουν την ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος. Στο σύστημα CDMA (Code Division Multiple Access) η ενέργεια που περιέχεται σε κάθε ανάκλαση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσει το SNR (signal-to-noise ratio) στον δέκτη.

Στο WCDMA, επειδή η περίοδος του chip είναι αρκετά μικρή (περίπου 0.2604  $\mu\text{s}$  για chip rate ίσο με 3.84 Mcps) συγκριτικά με το χρονική διεύρυνση του σήματος λόγω των ανακλάσεων (delay spread), οι multipath συνιστώσες με καθυστέρηση μεγαλύτερη από την περίοδο ενός chip μπορούν να περιέχουν σημαντική ενέργεια. Έτσι, εάν το εύρος ζώνης του σήματος είναι μεγαλύτερο από το εύρος ζώνης του καναλιού, οι διάφορες multipath συνιστώσες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ξεχωριστά σήματα για τις εισόδους ενός εναλλακτικού (diversity) δέκτη. Αυτό, στην ουσία, αποτελεί και τη βασική αρχή λειτουργίας του RAKE δέκτη. Η κάθε είσοδος του δέκτη αυτού ονομάζεται finger.

Η ονομασία του RAKE δέκτη, αν και γράφεται με κεφαλαία, δεν αποτελεί ακρωνύμια αλλά προέρχεται από την αγγλική λέξη "rake" που σημαίνει τσουγκράνα, όνομα το οποίο δόθηκε από τους εφευρέτες του, Robert Price και Paul Green, το 1958, λόγω του χαρακτηριστικού σχήματός του.

Ο RAKE δέκτης είναι ένας ραδιοδέκτης σχεδιασμένος να αντιμετωπίζει τις συνέπειες του φαινομένου του multipath fading. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση πολλαπλών δεκτών (fingers) που συνδυάζουν την ενέργεια του κυρίως λαμβανόμενου σήματος και των επιμέρους ανακλάσεων του ώστε να εκμεταλλευτούμε πλήρως την ενέργεια που προσφέρεται από τις ανακλάσεις αυτές. Αυτό μπορεί κάλλιστα να οδηγήσει σε ένα υψηλότερο SNR (ή  $E_b/N_0$ ) σε ένα multipath περιβάλλον απ' ότι σε ένα καθαρό περιβάλλον χωρίς εμπόδια. Δύο σημαντικές παράμετροι του RAKE δέκτη όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας και την ποιότητα του σήματος εξόδου είναι ο αριθμός των fingers και το spreading factor. Επίσης άλλη μία σημαντική παράμετρος που σχετίζεται με την ποιότητα του σήματος είναι ο αριθμός των χρηστών. Οι RAKE δέκτες χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες ραδιοσυσκευές, συμπεριλαμβανομένων των κινητών τηλεφώνων και στον εξοπλισμό των ασύρματων δικτύων. Ένας τυπικός RAKE δέκτης έχει από 3 έως 6 fingers. Η βασική αρχή λειτουργίας του RAKE δέκτη φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

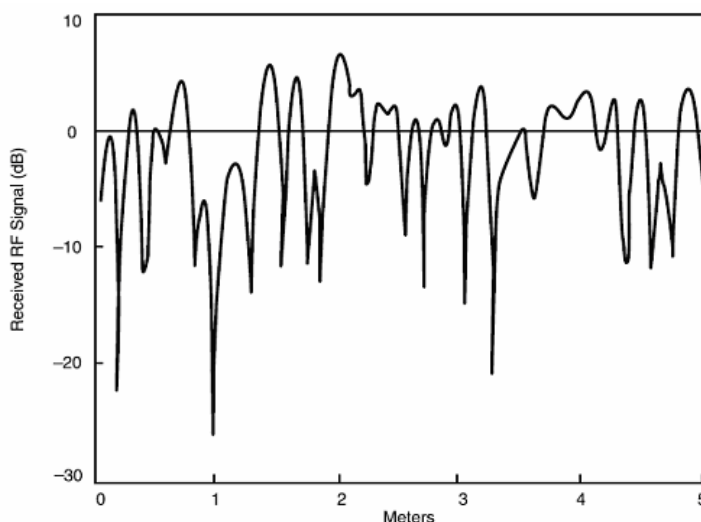


Σχήμα 2-1 Η βασική αρχή λειτουργίας του RAKE δέκτη

## § 2.2 Το φαινόμενο Multipath Fading

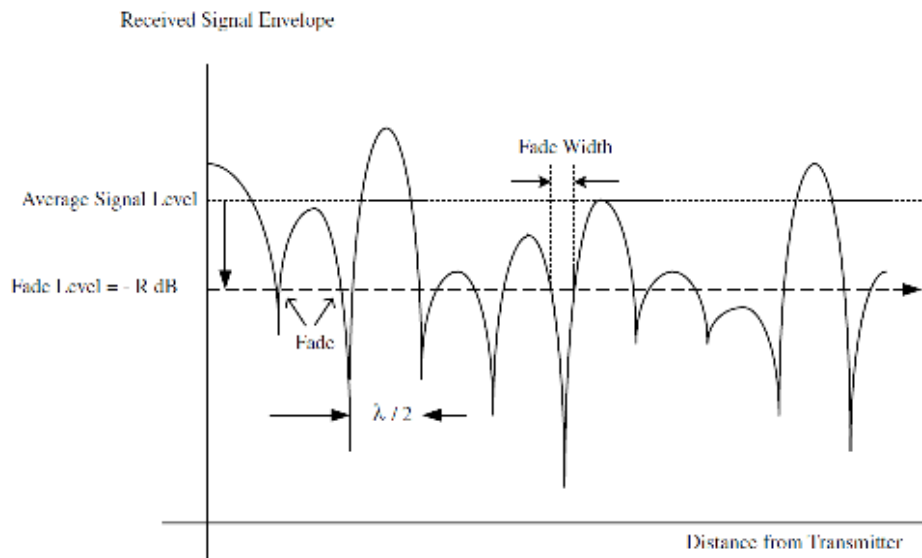
### § 2.2.1 Η έννοια του Multipath

Για να γίνει πιο κατανοητή η λειτουργία του RAKE δέκτη, θα πρέπει να αναλυθεί η έννοια του multipath fading. Σε αστικές και πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, μπορεί μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού να μην υπάρχει άμεση ορατότητα, δηλαδή να μην υπάρχει το λεγόμενο line-of-sight. Έτσι, το σήμα μπορεί να φτάσει στον κινητό σταθμό από πολλές διαφορετικές οδεύσεις, οι οποίες προέρχονται από την ανάκλαση του σε κτήρια και άλλα πιθανά εμπόδια που μπορεί να συναντήσει. Επειδή το λαμβανόμενο σήμα της κάθε οδεύσεως έχει τυχαίο πλάτος και φάση, η στιγμιαία τιμή του σύνθετου σήματος διαφέρει. Όταν η τιμή του σήματος πέσει κάτω από το μισό, λέμε ότι υπάρχει εξασθένιση (fading) (Σχήμα 2-2).



Σχήμα 2-2 Ο ρυθμός εξασθένισης (fading rate) σε μία πυκνοκατοικημένη περιοχή

Αυτές οι εξασθενίσεις, οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε διαστήματα μισού μήκους κύματος, κάποιες φορές μπορεί να είναι αρκετά ισχυρές. Στην πραγματικότητα, εξασθενίσεις της τάξης των 25 dB ή και περισσότερο κάτω από την μέση τιμή δεν είναι ασυνήθιστες. Συνεπώς, σε ένα κινούμενο όχημα λόγω και του φαινομένου Doppler το λαμβανόμενο σήμα ενδέχεται να έχει σημαντικές μεταβολές. Το σχήμα 2-3 δείχνει τις μεταβολές του πλάτους ενός σήματος που εξασθενεί σύμφωνα με την κατανομή Rayleigh. Καθώς η κινητή μονάδα κινείται μακριά από τον σταθμό βάσης, το πλάτος του λαμβανόμενου σήματος κυμαίνεται ανάμεσα στο μέγιστο και στο ελάχιστο. Τα βυθίσματα που παρατηρείτε στην περιβάλλουσα του λαμβανόμενου σήματος είναι τα λεγόμενα fading deeps.



Σχήμα 2-3 Σήμα που εξασθενεί σύμφωνα με την κατανομή Rayleigh

Το ποσοστό  $N_R$ , με το οποίο η στιγμιαία τιμή του λαμβανόμενου σήματος πέφτει κάτω από το Fade Level  $E$ , ονομάζεται level crossing rate και δίνεται από τον τύπο:

$$N_R = \sqrt{2\pi} f_d \frac{E}{E_{rms}} e^{-(E/E_{rms})^2}$$

όπου  $f_d = v/\lambda$  είναι η ολίσθηση Doppler εξαιτίας της ταχύτητας  $v$  της κινητής μονάδας και του μήκους κύματος  $\lambda$  του φέροντος.

Προφανώς, το level crossing rate (το οποίο ισούται με τον αριθμό των εξασθενήσεων ανά δευτερόλεπτο) και η διάρκεια της εξασθένησης εξαρτώνται μεταξύ πολλών άλλων παραμέτρων, από το βάθος της εξασθένησης. Ο πίνακας του σχήματος 2-4 δείχνει τον αριθμό των εξασθενήσεων ανά δευτερόλεπτο στα 850 MHz ενώ στον πίνακα του σχήματος 2-5 φαίνεται η μέση διάρκεια των

εξασθενήσεων για το ίδιο φέρον. Παρατηρείστε ότι όσο βαθύτερες είναι οι εξασθενήσεις (δηλαδή όταν το R πάρει τη μέγιστη απόλυτη τιμή του όπως φαίνεται στο *σχήμα 2-3*) σε σχέση με τη μέση τιμή του σήματος, τόσο λιγότερες και μικρότερες σε διάρκεια είναι οι εξασθενήσεις ανά δευτερόλεπτο.

Vehicle Speed (km/h)	- 10 dB fades	- 15 dB fades
32	18	10.8
112	64	38.4

Σχήμα 2-4 Ο αριθμός των εξασθενήσεων ανά δευτερόλεπτο στα 850 MHz

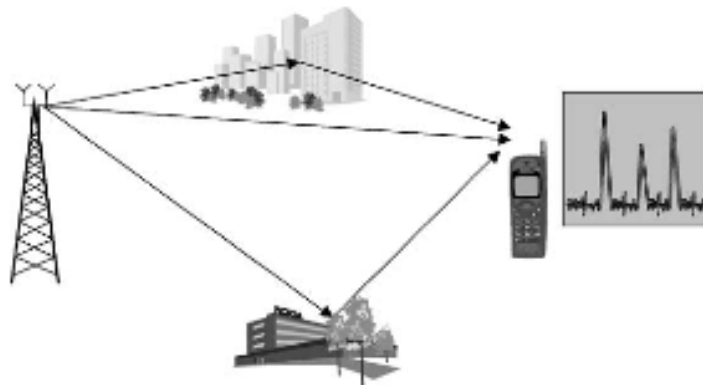
Vehicle Speed (km/h)	- 10 dB fade	- 15 dB fade
32	5.31	2.88
112	1.49	0.81

Σχήμα 2-5 Η μέση διάρκεια εξασθένισης σε ms στα 850 MHz

## § 2.2.2 Το Multipath σε αστικές, ημιαστικές και αγροτικές περιοχές

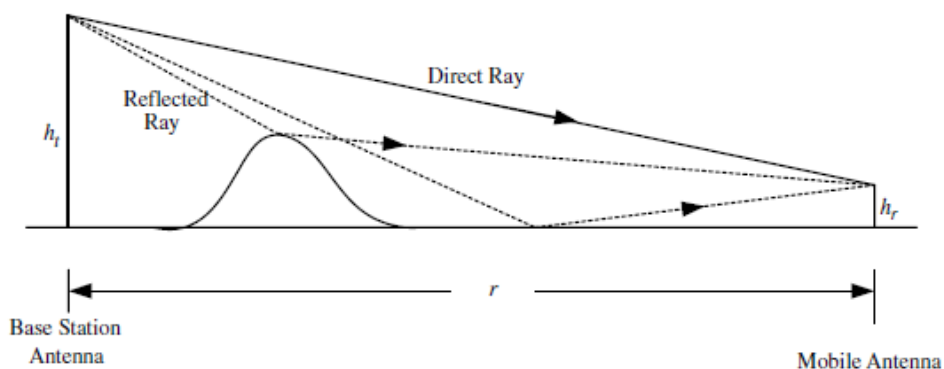
Επειδή στα περισσότερα περιβάλλοντα υπάρχουν κτήρια, δέντρα και λόφοι κατά μήκος της διάδοσης, μπορεί να μην υπάρχει line-of-sight και έτσι το λαμβανόμενο σήμα στην κεραία μπορεί να μην έχει απευθείας κύμα. Συνεπώς, όπως φαίνεται και στο *σχήμα 2-6*, μπορεί είτε να αποτελείται μόνο από ανακλώμενα σήματα ή από ένα συνδυασμό των ανακλώμενων και του κυρίως (απευθείας) σήματος. Τα χαρακτηριστικά διάδοσης των ραδιοσημάτων των κινητών επικοινωνιών έχουν μελετηθεί σε μεγάλο βαθμό από πολλούς επιστήμονες. Για παράδειγμα, ο W.R. Young στο βιβλίο του ανέλυσε τα χαρακτηριστικά των ραδιοσημάτων κινητών επικοινωνιών στη Νέα Υόρκη στα 150, 450, 900 και 3700 MHz [1]. Ο Y. Okumura μέτρησε την ισχύ του σήματος που λαμβάνεται σε μία κεραία κινητής τηλεφωνίας μέσα και γύρω από το Τόκιο σε συχνότητες από 200 έως 1920 MHz χρησιμοποιώντας διαφορετικά ύψη στους σταθμούς βάσης και τις κεραίες [2]. Οι D.M. Black και D.O. Reudink μελέτησαν τα χαρακτηριστικά των ραδιοσημάτων στην

Φιλαδέλφεια στα 800 MHz [3]. Οι μετρήσεις αυτών και πολλών άλλων επιστημόνων δείχνουν ότι η ισχύς του σήματος που λαμβάνεται από έναν κινητό σταθμό δεν εξαρτάται μόνο από την ισχύ εκπομπής, την απόσταση μεταξύ σταθμού βάσης και κινητής μονάδας, την συχνότητα του φέροντος και το ύψος της κεραίας όπως αναφέρθηκε πριν, αλλά και από τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τις διαταραχές του γύρω περιβάλλοντος λόγω κτηρίων,



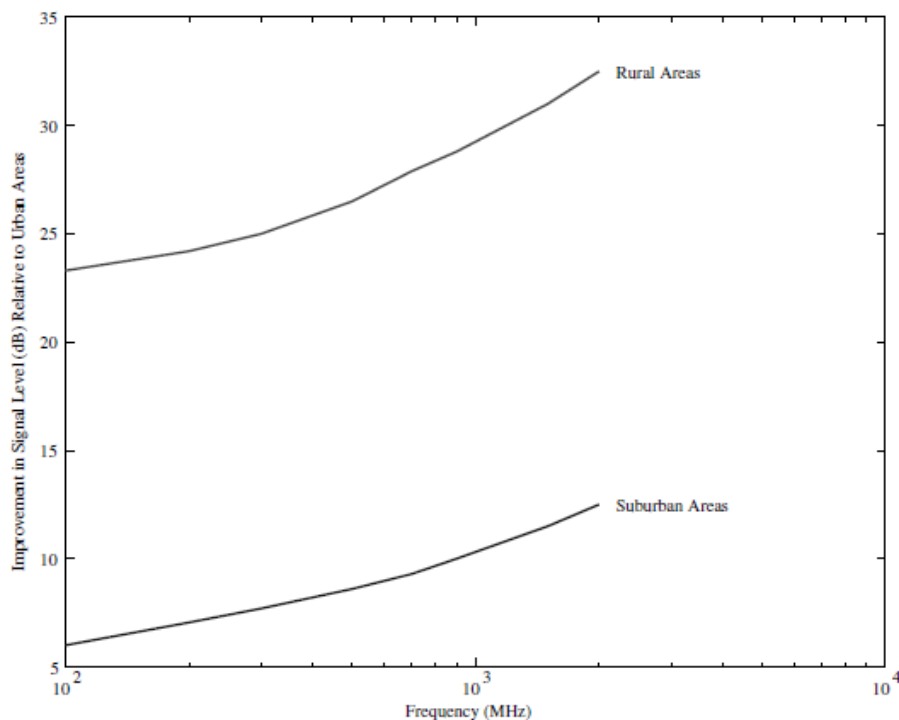
Σχήμα 2-6 Το φαινόμενο multipath οδηγεί στο multipath delay προφίλ της εικόνας

ψηλών οικοδομημάτων, δέντρων, λιμνών, το πλάτος των δρόμων που κινούνται οι κινητές μονάδες, τη γωνία του λαμβανόμενου σήματος και την κατεύθυνση προς στην οποία ταξιδεύουν τα οχήματα σε σχέση με αυτή της διάδοσης του σήματος. Το έδαφος μπορεί να είναι επίπεδο ή ημιεπίπεδο με μικρούς κυματισμούς, ας πούμε των 20 μέτρων περίπου, ή μπορεί να είναι αρκετά ανώμαλο με λόφους, πλαγιές, οροσειρές ή βουνά. Κάποιες φορές το σήμα μπορεί να οδεύει από μεγάλους υδάτινους όγκους όπως θάλασσες ή λίμνες. Βασισμένοι στις μεταβολές της μορφολογίας του εδάφους αλλά και τις εναλλαγές των περιοχών, μια περιοχή κάλυψης μπορεί να είναι αστική ή πυκνοκατοικημένη αστική και να χαρακτηρίζεται από περιοχές καλυμμένες με ψηλά κτήρια. Ομοίως, μπορεί να είναι ημιαστική με κτήρια όχι τόσο ψηλά και πυκνά καθώς και αγροτική με πολύ λίγα εμπόδια εκτός από τους λόφους και τα δέντρα.



Σχήμα 2-7 Οι διαφορετικές διαδόσεις του σήματος μεταξύ σταθμού βάσης και κινητής μονάδας

Εξ' αιτίας του ότι οι επιδράσεις της ποικιλότητας του περιβάλλοντος σε ημιαστικές ή αγροτικές περιοχές δεν είναι τόσο σημαντικές, η μέση τιμή της στάθμης του σήματος σε αυτές τις περιοχές είναι συγκριτικά καλύτερη. Αυτή η βελτίωση της στάθμης του σήματος μπορεί να αυξάνεται όσο αυξάνεται και η συχνότητα, αλλά δε φαίνεται να εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ σταθμού βάσης και κινητής μονάδας ή από το ύψος της κεραίας. Συγκριτικά με μία αστική περιοχή, η μέση στάθμη σήματος σε μία ημιαστική περιοχή στα 920 MHz είναι υψηλότερη κατά 10 dB και 29 dB σε μία αγροτική περιοχή. Εάν η συχνότητα είναι 1920 MHz, αυτές οι βελτιώσεις είναι αντίστοιχα της τάξεως των 12 dB και 32.5 dB.



Σχήμα 2-8 Η βελτίωση της στάθμης του σήματος σε ημιαστικές και αγροτικές περιοχές ως προς τις αστικές

Ο Okumura έχει προτείνει τη χρήση κάποιων καμπυλών πρόβλεψης για τον υπολογισμό αυτής της βελτίωσης του σήματος λήψης σε σχέση με τις αστικές, που στατιστικά ισχύει για τις περισσότερες ημιαστικές και αγροτικές περιοχές. Αυτές οι καμπύλες εμφανίζονται στο *σχήμα 2-8*.

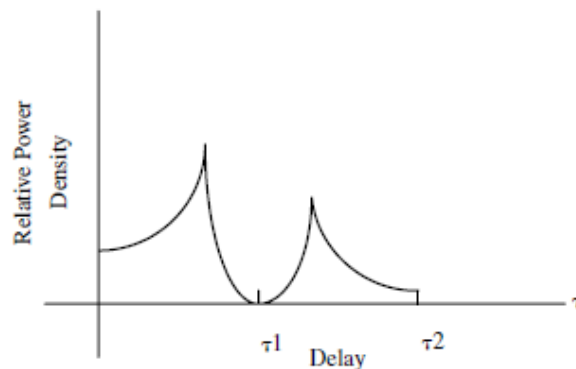
## § 2.3 Το Maximal Ratio Combining (MRC)

Όπως προαναφέρθηκε, εξαιτίας των ανακλάσεων από διάφορα εμπόδια, ένα ραδιοκάνάλι μπορεί να αποτελείται από πολλά αντίγραφα των κυρίων μεταδιδόμενων σημάτων με διαφορετικό



πλάτος, φάση και χρονοκαθυστέρηση. Εάν τα σήματα αυτά φτάσουν με χρονική διαφορά μεγαλύτερη από την περίοδο ενός chip, ένας RAKE δέκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον διαχωρισμό, την επεξεργασία και τον συνδυασμό τους. Αποτέλεσμα της δυνατότητας της επεξεργασίας και του συνδυασμού των σημάτων αυτών με κατάλληλο τρόπο, είναι η μείωση της εξασθένησης του σήματος και, συνεπώς, η βελτίωση του bit error rate. Παρατηρείστε ότι αυτές οι καθυστερήσεις, αν και μεγαλύτερες από την περίοδο ενός chip, πρέπει συγχρόνως να είναι αρκετά μικρές συγκριτικά με την περίοδο ενός bit, ειδάλλως, μπορεί να υπάρξει σημαντική διασυμβολική παρεμβολή.

Υποθέστε για επεξηγηματικούς σκοπούς ότι το *σχήμα 2-9* αναπαριστά το προφίλ της κατανομής ισχύος των ανακλάσεων μιας αστικής περιοχής. Στο παράδειγμα αυτό, παρουσιάζονται δύο ξεχωριστές οδεύσεις, μια με καθυστέρηση από 0 έως  $\tau_1$  και η άλλη από  $\tau_1$  έως  $\tau_2$ . Εφ' όσον οι καθυστερήσεις αυτές είναι μεγαλύτερες από την περίοδο ενός chip, τα δυο αυτά σήματα μπορούν να αναλυθούν και να εκμεταλλευτούν προς όφελος του δέκτη.

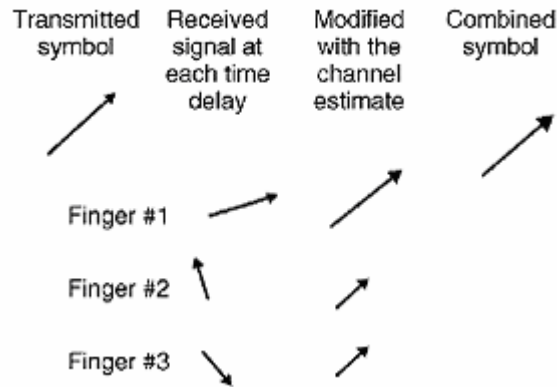


Σχήμα 2-9 Ένα παράδειγμα του προφίλ κατανομής ισχύος των ανακλάσεων που χρησιμοποιείται σε έναν RAKE δέκτη

Επειδή συνήθως το κανάλι είναι χρονικά μεταβλητό, είναι αναγκαίο να υπολογίζουμε τις παραμέτρους του ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την συχνή αποστολή μιας γνωστής ακολουθίας βοηθητικών πιλοτικών συμβόλων.

Στο *σχήμα 2-10* αναπαριστούμε τα σύμβολα διαμόρφωσης (BPSK ή QPSK) καθώς επίσης και τη στιγμιαία κατάσταση του καναλιού της κάθε οδεύσης σαν μιγαδικά διανύσματα με διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας (πλάτος διανύσματος), ανάλογοι της ισχύος της ανάκλασης. Ο κάθε δέκτης συσχετισμού (finger) θα πρέπει να εντοπίσει τη γρήγορη αλλαγή της φάσης και του πλάτους και στην συνέχεια να την ακυρώσει. Για να γίνει αυτό, χρησιμοποιεί γνωστά πιλοτικά σύμβολα για το channel estimation και παρέχει μία εκτίμηση της στιγμιαίας κατάστασης του καναλιού

για το συγκεκριμένο finger. Έπειτα το λαμβανόμενο σύμβολο (διάνυσμα) περιστρέφεται στην αρχική του μορφή, έτσι ώστε να αναιρεθεί η περιστροφή φάσης που προκλήθηκε από το κανάλι. Στη συνέχεια αυτά τα διανύσματα προστίθενται για την ανάκτηση της ενέργειας από όλες τις ανακλάσεις (όλων των finger). Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή και ως Maximal Ratio Combining (MRC).

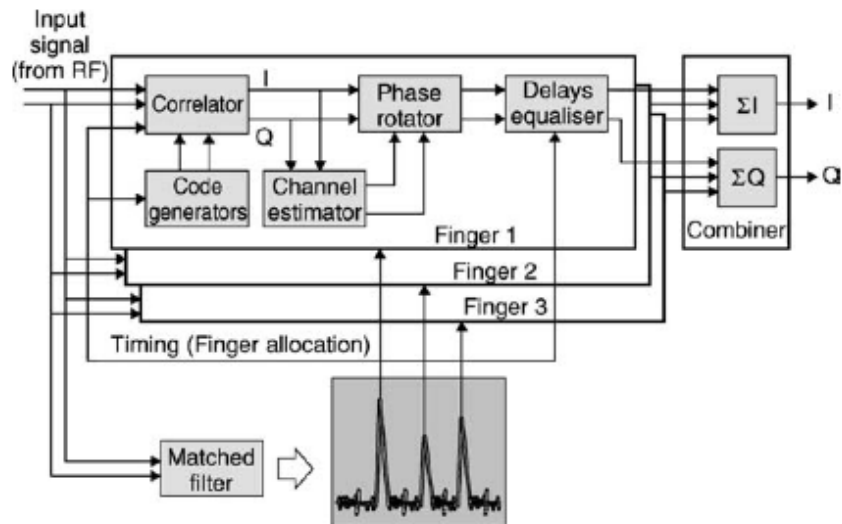


Σχήμα 2-10 Η αρχή του Maximal Ratio Combining σε έναν RAKE δέκτη

## § 2.4 Ανάλυση του RAKE δέκτη

### § 2.4.1 Λειτουργία RAKE δέκτη

Στο *σχήμα 2-11* φαίνεται το μπλοκ διάγραμμα ενός RAKE δέκτη με τρία fingers. Σε κάθε finger ξεχωριστά, το λαμβανόμενο σήμα εισέρχεται στην RF είσοδο του κυκλώματος. Ο code generator αναπαράγει και στέλνει στον correlator τον PN code του χρήστη, υπό τη μορφή I και Q (μιγαδική μορφή), ο οποίος με τη σειρά του πολλαπλασιάζει το λαμβανόμενο σήμα με τον PN code εκτελώντας έτσι τη διαδικασία του despreading. Στην ίδια βαθμίδα, έπειτα από την διαδικασία του despreading και αφού έχουν ανακτηθεί τα δεδομένα του χρήστη, υπάρχει ένα προσαρμοσμένο φίλτρο (matched filter) που ολοκληρώνει το σήμα εισόδου. Με την παρουσία Γκαουσιανού θορύβου (Gaussian noise) τα προσαρμοσμένα φίλτρα είναι σχεδιασμένα να αποδίδουν μέγιστο SNR. Στην περίπτωση που το σήμα εξόδου του ενός εκ των τριών correlator είναι εξασθενημένο, δεν θα επηρεάσει σημαντικά το τελικό σήμα λόγω του ότι το πλάτος του διανύσματος είναι αρκετά μικρότερο από τα πλάτη των άλλων διανυσμάτων που προστίθενται στον combiner. Στη συνέχεια ο Channel estimator υπολογίζει,



Σχήμα 2-11 Block διάγραμμα ενός WCDMA RAKE δέκτη

χρησιμοποιώντας τα πιλοτικά σύμβολα, τη διαφορά φάσης, λόγω της επίδρασης του καναλιού, μεταξύ του λαμβανόμενου και του αρχικά εκπεμπόμενου σήματος, η οποία στη συνέχεια μηδενίζεται από τον phase rotator. Η χρονική διαφορά των τριών σημάτων μηδενίζεται στον delay equalizer σε κάθε finger ξεχωριστά. Έπειτα ο combiner αθροίζει τα τρία αυτά σήματα έτσι ώστε να προσφέρει multipath diversity ενάντια στην εξασθένηση. Με τον όρο Multipath diversity εννοούμε την διαδικασία συνδυασμού των πολλαπλών εκδοχών του ίδιου σήματος, για την δημιουργία ενός ισχυρότερου και καλύτερης ποιότητας σήματος.

Κατά την λήψη του σήματος το προσαρμοσμένο φίλτρο στην είσοδο του δέκτη αναγνωρίζει τις χρονικές καθυστερήσεις των σημάτων με την σημαντικότερη ενέργεια και αντιστοιχεί σε κάθε finger τις κορυφές αυτές. Το βήμα για τον υπολογισμό του προφίλ της κατανομής ισχύος των ανακλάσεων (multipath delay profile) είναι της τάξης μιας διάρκειας chip (τυπικά μεταξύ  $\frac{1}{4}$  έως  $\frac{1}{2}$  της διάρκειας του chip) με ένα ρυθμό ανανέωσης της τάξης δεκάδων msec.

## § 2.4.2 Ο RAKE δέκτης σε WCDMA δίκτυο

Οι πιο συνηθισμένες υλοποιήσεις του RAKE δέκτη (correlator, code generator, matched filter) γίνονται με κυκλώματα ASICs (Application-Specific Integrated Circuit), όπου η επεξεργασία σε επίπεδο συμβόλου (channel estimator, phase rotator, combiner) υλοποιούνται με έναν DSP (Digital Signal Processing) επεξεργαστή. Αν και υπάρχουν κάποιες διαφορές μεταξύ του WCDMA RAKE δέκτη του κινήτου και του σταθμού βάσης, όλες οι βασικές αρχές που έχουν αναλυθεί έως τώρα είναι ίδιες.

Έτσι για παράδειγμα εάν ο RAKE δέκτης που μελετάμε είναι στον σταθμό βάσης, το τελικό συνδυασμένο σήμα είναι ισχυρότερο από ότι θα ήταν αν δεν υπήρχε ο RAKE δέκτης, καθώς είναι απαλλαγμένο από τις ακυρώσεις των σημάτων με αντίθετη φάση μεταξύ των διαφορετικών οδεύσεων. Αυτό συμβαίνει επειδή ακριβώς στον RAKE δέκτη το multipath, από μειονέκτημα, γίνεται πλεονέκτημα, αρκεί ο αριθμός των fingers να είναι μεγαλύτερος ή ίσος από τον αριθμό των ισχυρών ανακλάσεων. Συνεπώς, το κινητό μπορεί να μειώσει την ισχύ εκπομπής του, με αποτέλεσμα την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου.

Ο χρόνος από την πρώτη έως την τελευταία σημαντική ανάκλαση ονομάζεται multipath delay ή delay spread. Ο RAKE δέκτης είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί για delay spread έως περίπου 2.5  $\mu\text{s}$ . Παραδείγματος χάρη, για μία πόλη σαν την Νέα Υόρκη, το multipath delay κυμαίνεται από 0.25-2.5  $\mu\text{s}$ . Έτσι, στο UMTS W-CDMA, όπου το chip rate είναι 3.84 Mcps, η καθυστέρηση είναι περίπου 1-10 διάρκειες chip (διάρκεια chip 0,26  $\mu\text{s}$ ).

Παρ' όλο που το multipath diversity είναι ιδιότητα όλων των CDMA συστημάτων, μόνο το WCDMA παρέχει multipath diversity για μικρά cells (micro και pico cells). Για να γίνει αυτό κατανοητό ας πάρουμε ως παράδειγμα το IS-95 όπου το εύρος ζώνης του φέροντος είναι 1.25 MHz. Σε αυτή την περίπτωση, επειδή το chip rate είναι 1.2288 Mc/s και η καθυστέρηση πρέπει να υπερβαίνει την διάρκεια ενός chip ( $1/1.2288 \text{ Mcps} = 0.81 \mu\text{s}$ ) για να επιτευχθεί multipath diversity, η διαφορά στα μήκη των διαδοχικών οδεύσεων πρέπει να είναι τουλάχιστον 244 μέτρα ( $=3 \times 10^8 \text{ m/s} \times 0.81 \mu\text{s}$ ). Από την άλλη, για το W-CDMA με 5 MHz εύρος ζώνης και chip rate 3.84 Mc/s, η διαφορά αυτή μειώνεται στα 78 μέτρα. Θεωρώντας ότι η τυπική ακτίνα μιας micro κυψέλης είναι το πολύ 300 m είναι αντιληπτό ότι η διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών οδεύσεων θα είναι πιθανότατα μικρότερη από 244 m, συνεπώς στο σύστημα IS-95 δεν θα μπορούν να διαχωριστούν οι δύο οδεύσεις μεταξύ τους για τόσο μικρές κυψέλες, σε αντίθεση με το WCDMA.

Το multipath diversity σε ένα RAKE δέκτη οδηγεί στην βελτίωση της απόδοσης. Για παράδειγμα, η τιμή του  $E_b / N_0$ , που απαιτείται για την εξασφάλιση Bit Error Rate (BER) της τάξεως του  $10^{-3}$  σε ένα κανάλι εξασθένησης (fading channel), είναι περίπου 10 dB, υποθέτοντας ότι έχουμε BPSK διαμόρφωση, ένα rake δέκτη με τέσσερα fingers και ίσο κέρδος σε κάθε finger. Το απαιτούμενο  $E_b / N_0$  για ένα δέκτη με δύο fingers και το ίδιο BER είναι 14 dB και, γύρω στα 24 dB, για δέκτη με ένα finger, χωρίς multipath diversity. Η επίτευξη μέγιστου ratio combining οδηγεί σε μέγιστη απόδοση. Εάν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας περιέχεται σε ένα μόνο finger, ένας συμβατικός δέκτης θα αποδώσει καλύτερα από έναν rake δέκτη επειδή, σε αυτή την περίπτωση, τα fingers με πολύ μικρή ισχύ σήματος θα προσθέσουν μόνο θόρυβο.

## **Αναφορές**

[1] W.R. Young, "Comparison of Mobile Radio Transmission at 150, 450, 900, and 3700 MC"

[2] Y. Okumura, "Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service"

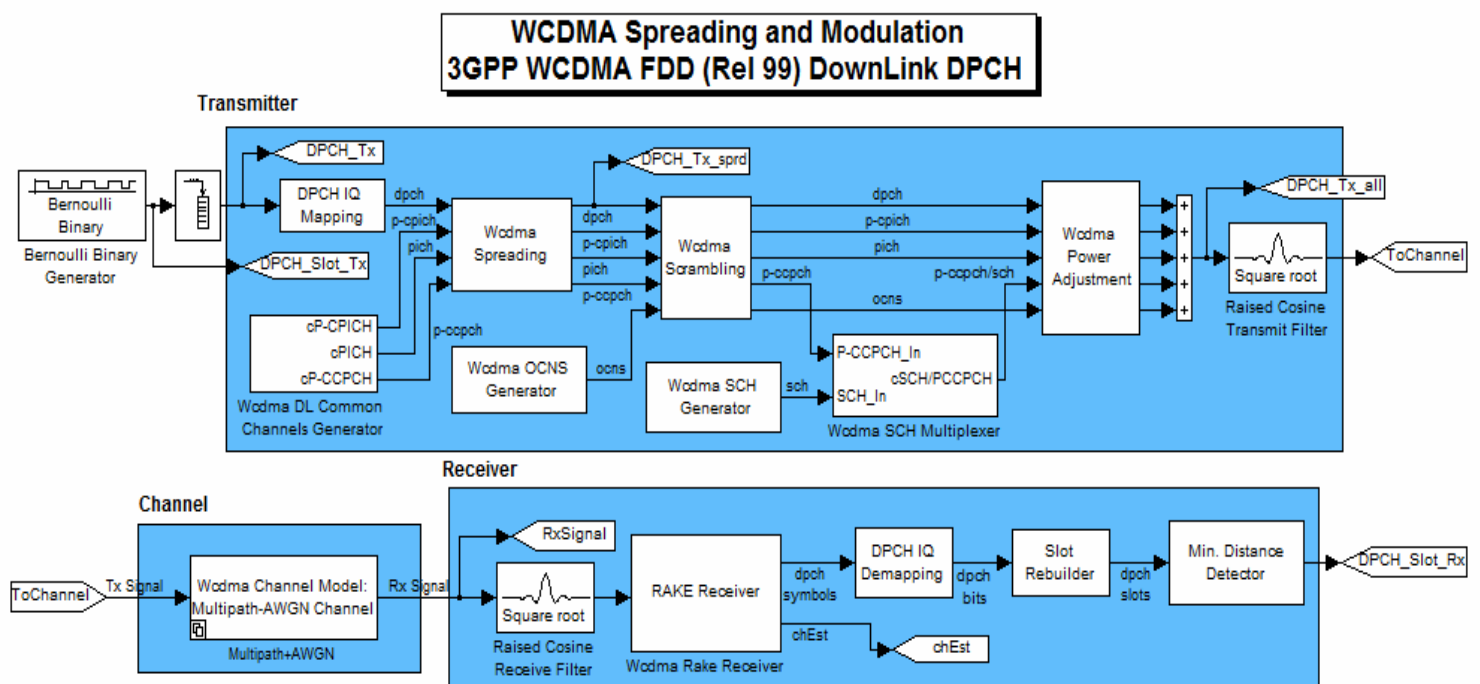
[3] D.M. Black & D.O. Reudink, "Some Characteristics of Radio Propagation at 800 MHz in the Philadelphia Area"

## § 2.5 Το μοντέλο προσομοίωσης “WCDMA Spreading and Modulation”

### § 2.5.1 Το μοντέλο στο Simulink 7.3

Σε αυτό το σημείο, θα αναλυθεί το μοντέλο προσομοίωσης που θα χρησιμοποιήσουμε για την μελέτη του RAKE δέκτη. Για την προσομοίωση αυτή θα χρησιμοποιήσουμε το Simulink 7.3 που περιέχεται στο Matlab 7.8 (Release 2009b). Σε αυτή την έκδοση του Simulink δημιουργήθηκαν τρία μοντέλα για την μελέτη των επιδόσεων ενός WCDMA συστήματος. Για την μελέτη του RAKE δέκτη θα χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο προσομοίωσης “WCDMA Spreading and Modulation” αλλάζοντας συγκεκριμένες παραμέτρους κάθε φορά και μελετώντας τα ανάλογα αποτελέσματα μέσω του Bit Error Rate.

Για να φορτώσετε το μοντέλο αυτό επιλέξτε το *Help > Product Help*. Στη συνέχεια, στο δέντρο που βρίσκεται στην αριστερή μεριά του παραθύρου *Product Help* επιλέξτε το *Communications Blockset*. Στην καινούργια καρτέλα που εμφανίζεται και στην κατηγορία *Product Demos*, επιλέξτε το *Communications Blockset Demos* και στη συνέχεια, στην κατηγορία *Application Specific Examples* θα βρείτε τα τρία μοντέλα για το WCDMA. Επιλέξτε το μοντέλο “WCDMA Spreading and Modulation” και τέλος την επιλογή *Open this model*. Το μοντέλο αυτό φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



Πατώντας διπλό κλικ σε κάθε block του κυκλώματος εμφανίζονται οι πληροφορίες και μερικές παράμετροι που αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο block. Επίσης, πληκτρολογώντας την εντολή *who* στο Command Window του Matlab, εμφανίζονται όλες οι μεταβλητές του μοντέλου προσομοίωσης όπως το spreading factor (*sprdfactor*), η συχνότητα Doppler (*dopplerFreq*) κτλ., ενώ πληκτρολογώντας το κωδικοποιημένο όνομα της κάθε μεταβλητής (π.χ. *sprdfactor*) εμφανίζεται η τιμή της.

## § 2.5.2 Block διάγραμμα “WCDMA Spreading and Modulation”

### Πομπός:

- ***Bernoulli Binary Generator:***

Δημιουργεί έναν τυχαίο δυαδικό αριθμό που προσομοιώνει τα δεδομένα που είναι προς αποστολή στον χρήστη.

- ***DPCH IQ Mapping:***

Μετατρέπει κάθε ζεύγος DPCH bit από σειριακή μορφή σε παράλληλη και το διαχωρίζει στην μιγαδική του μορφή I και Q.

- ***Wcdma DL Common Channels Generator:***

Παράγει τους κώδικες καναλοποίησης (Channelization codes) για το P-CPICH (Primary Common Pilot Channel), το PICH (Paging Indicator Channel) και το P-CCPCH (Primary-Common Control Physical Channel).

- ***Wcdma Spreading:***

Πραγματοποιεί το Channelization που αποτελεί την μία εκ των δύο διαδικασιών του Spreading.

- ***Wcdma OCNS Generator (Orthogonal Channel Noise Simulator):***

Προσομοιώνει τα δεδομένα άλλων χρηστών που στη ουσία αποτελούν παρεμβολή για τον συγκεκριμένο χρήστη.

- ***Wcdma Scrambling:***

Πραγματοποιεί το Scrambling, την δεύτερη διαδικασία του Spreading.

- ***Wcdma SCH Generator:***

Δημιουργεί το κανάλι συγχρονισμού SCH (Synchronisation channel).

- ***Wcdma SCH Multiplexer:***

Πραγματοποιεί την πολυπλεξία μεταξύ του SCH και το P-CCPCH.

- ***Wcdma Power Adjustment:***

Χρησιμοποιώντας τα κέρδη ισχύος που έχουν καθοριστεί στις παραμέτρους του block, εφαρμόζει το αντίστοιχο βάρος στα διάφορα κανάλια.

- ***Raised Cosine Transmit Filter:***

Κάνει *upsampling* και φιλτράρει το σήμα εισόδου χρησιμοποιώντας ένα κανονικό FIR φίλτρο ή ένα FIR φίλτρο της τετραγωνικής ρίζας του ανυψωμένου συνημιτόνου.

### **Κανάλι Διάδοσης:**

- ***Wcdma Channel Model-Multipath-AWGN Channel:***

Προσομοιώνει το κανάλι διάδοσης και αποτελείται από δύο block, το Multipath Rayleigh Fading Channel, το οποίο προσομοιώνει το φαινόμενο του Multipath σύμφωνα με την κατανομή Rayleigh και το Additive White Gaussian Noise Channel, το οποίο προσθέτει λευκό Γκαουσιανό θόρυβο στο σήμα εισόδου.

### **Δέκτης:**

- ***Raised Cosine Receive Filter:***

Φιλτράρει το σήμα εισόδου και, αν επιλεχθεί, κάνει downsampling χρησιμοποιώντας ένα κανονικό FIR φίλτρο ή ένα FIR φίλτρο της τετραγωνικής ρίζας του ανυψωμένου συνημιτόνου.

- ***Wcdma Rake Receiver:***

Αποτελείται από τέσσερα finger καθένα εκ των οποίων κάνει downsampling και decorrelation στα πιλοτικά bit χρησιμοποιώντας τον αντίστοιχο channelization κώδικα καθώς και την Gold code sequence για το descrambling.

- ***DPCH IQ Demapping:***

Μετατρέπει το μιγαδικό σήμα (I και Q) σε δύο σειριακά διαδοχικά πραγματικά σήματα.

- ***Slot Rebuilder:***

Εισάγει ένα delay που αντιστοιχεί σε ένα slot δεδομένων εφόσον το αρχικό delay που έχει οριστεί στην μάσκα του block είναι μεγαλύτερο από μηδέν.

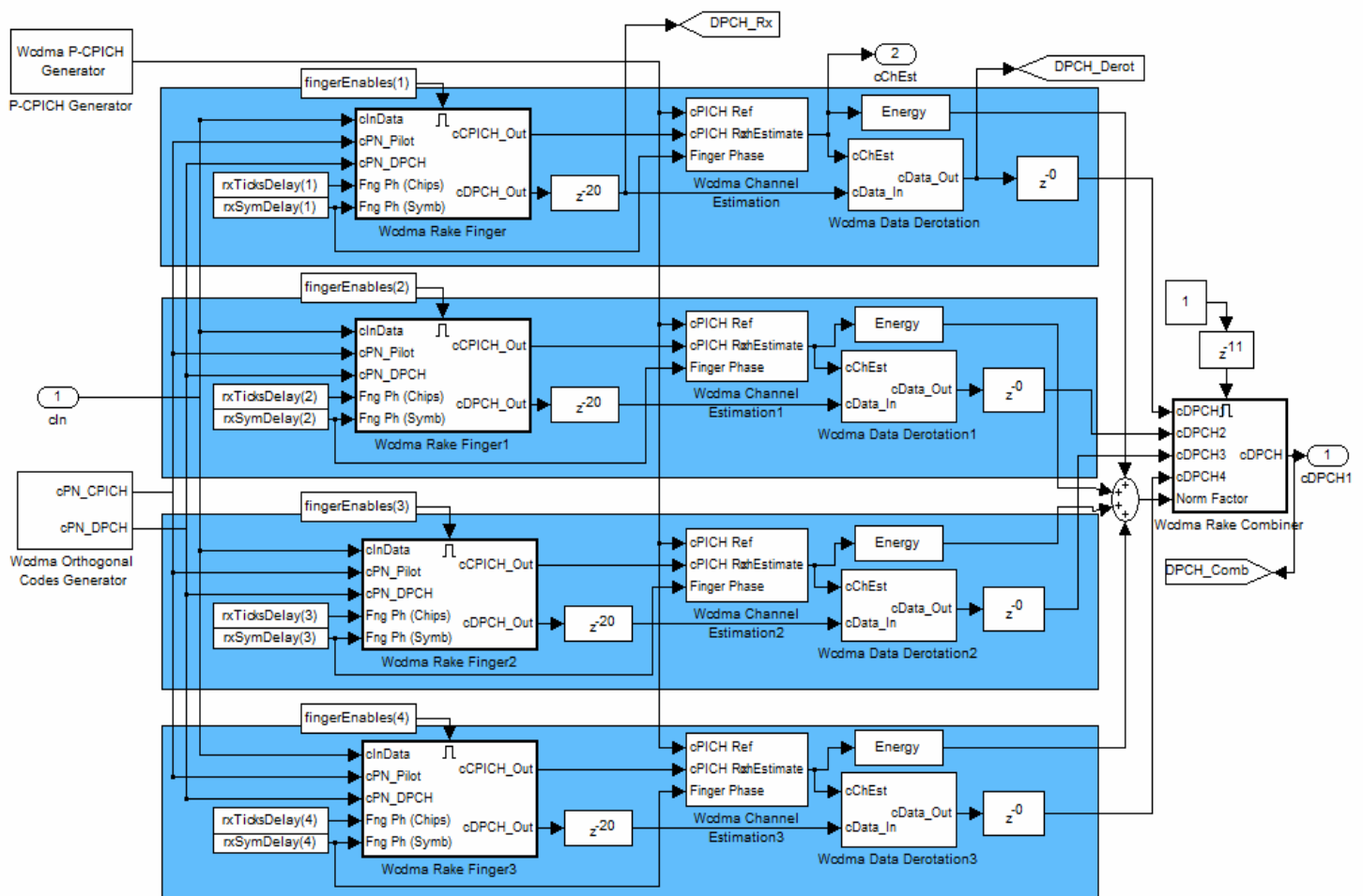
- ***Minimum Distance Detector:***

Είναι μία διάταξη απόφασης η οποία αναγεννά την ακολουθία των δεδομένων σαν "1" όταν η είσοδος είναι θετική και σαν "0" όταν είναι αρνητική.



## § 2.5.3 Block διάγραμμα Rake δέκτη

Κάνοντας δεξί κλικ στο block του RAKE δέκτη και επιλέγοντας *Look Under Mask*, εμφανίζονται οι βαθμίδες από τις οποίες αποτελείται. Αυτό φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



- **Wcdma P-CPICH Generator:**

Δημιουργεί το Primary Common Pilot Channel.

- **Wcdma Orthogonal Codes Generator:**

Παράγει τους PN Ορθογωνικούς κώδικες για το CPICH και το DPCH.

- **Wcdma Rake finger:**

Κάθε finger κάνει downsampling και decorrelation στα πιλοτικά bit και τα δεδομένα χρησιμοποιώντας τον αντίστοιχο channelization κώδικα καθώς και την Gold code sequence για το descrambling πραγματοποιώντας έτσι τη διαδικασία του despreading. Επίσης σε αυτή τη βαθμίδα βρίσκονται και οι συσχετιστές (correlators).

- **Delay  $z^{-n}$ :**

Καθυστερεί την είσοδο διακριτού χρόνου σύμφωνα με έναν καθορισμένο αριθμό δειγμάτων ή frame.

- **Wcdma Channel Estimation:**

Εκτελεί το Channel Estimation χρησιμοποιώντας τα πιλοτικά σύμβολα.

- **Wcdma Data Derotation:**

Εκτελεί τη διαδικασία του Maximal Ratio Combining (MRC).

- **Energy:**

Είναι η ενέργεια της κάθε ανάκλασης που προκύπτει από την ισχύ του σήματος επί τον χρόνο. Αποτελεί και τον συντελεστή βάρους για το combining.

- **Wcdma Rake Combiner:**

Συνδυάζει τα επιμέρους σήματα των ενεργών finger του δέκτη υπολογίζοντας τον μέσο όρο των εξόδων τους.

## § 2.5.4 Μετρήσεις Bit Error Rate

Αφού έχετε ανοίξει το αρχικό μοντέλο και κάνοντας διπλό click στο block "Model Parameters", εμφανίζεται ένα παράθυρο με κάποιες παραμέτρους που μπορούμε να αλλάξουμε. Οι παράμετροι με τις οποίες θα ασχοληθούμε βρίσκονται στην επιλογή "Show Channel Model Settings". Επιλέγοντας το, εμφανίζονται οι εξής παράμετροι:

- **Propagation conditions environments:**

Επιλέγοντας ένα από αυτά τα προφίλ, αλλάζουν αυτόματα οι παρακάτω παράμετροι με τιμές ήδη προκαθορισμένες προσομοιώνοντας έτσι διάφορες συνθήκες περιβαλλόντων διάδοσης.

- **SNR (in dB):**

Εδώ ρυθμίζουμε το λόγο του σήματος προς θόρυβο (Signal to Noise Ratio). Εάν ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος από 0 dB, τότε σημαίνει πως το σήμα μας είναι ισχυρότερο από το θόρυβο. Θυμηθείτε ότι στο WCDMA, λόγω του processing gain, δεν είναι απαραίτητο να έχουμε θετικό SNR. Οι τιμές που θα ορίσουμε στην προσομοίωσή μας θα είναι -10, -3 και 0 dB.

- **Number of enable fingers:**

Εδώ ρυθμίζουμε τον αριθμό των fingers που θέλουμε να έχει ο RAKE δέκτης και κυμαίνεται από 2 έως 4.

- **Relative delay of Rx signals (in s):**

Εδώ ορίζουμε την καθυστέρηση σε seconds των διαφορετικών οδεύσεων. Ο αριθμός των καθυστερήσεων που θα ορίσουμε εξαρτάται από τον αριθμό των fingers.

- **Average powers of Rx signals (in dB):**

Εδώ ορίζουμε την διαφορά ισχύος σε dB της κάθε οδεύσης από το ισχυρότερο σήμα. Επίσης ο αριθμός των διαφορών ισχύος που θα ορίσουμε εξαρτάται από τον αριθμό των fingers.

- **Speed of Terminal (in km/h):**

Εδώ ορίζουμε την ταχύτητα (σε km/h) της κινητής μονάδας (UE).

## § 2.5.5 Διαδικασία μετρήσεων

Συμπληρώστε στους παρακάτω πίνακες, τις μετρήσεις του Bit Error Rate που θα πραγματοποιήσετε σύμφωνα με τις δεδομένες παραμέτρους του SNR, αριθμού finger και ταχύτητας κινητής μονάδας (UE). Για να έχετε τη δυνατότητα να ορίσετε τις τιμές των πεδίων αυτών, στην επιλογή *Propagation conditions environments* διαλέξτε την επιλογή *User Defined*. Να σημειώσουμε ότι για να συμπληρώσετε τις τιμές του BER στους πίνακες θα πρέπει να πολλαπλασιάσετε την τιμή του αποτελέσματος με το 100 για να προκύψει το ποσοστό επί τοις εκατό. Οι τιμές που θα πρέπει να ορίζετε για το *Relative delay of Rx signals* και το *Average powers of Rx signals*, ανάλογα με τον αριθμό των fingers και την ταχύτητα της κινητής μονάδας εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Fingers	Relative Delay of Rx signals	Average Powers of Rx signals		
		3km/h	50km/h	120km/h
2	[0 500e-9]	[0 -1]	[-1 -3]	[-3 -6]
3	[0 500e-9 1500e-9]	[0 -1 -2]	[-1 -3 -5]	[-3 -6 -8]
4	[0 500e-9 1500e-9 2500e-9]	[0 -1 -2 -3]	[-1 -3 -5 -7]	[-3 -6 -8 -10]

Για να τρέξετε το μοντέλο, πρέπει πρώτα να ορίσετε τις απαραίτητες παραμέτρους. Ο πιο γρήγορος και πρακτικός τρόπος πραγματοποίησης των μετρήσεων είναι ο παρακάτω.

Ξεκινήστε τη διαδικασία με τη μέτρηση του BER για SNR=0, Number of enable fingers=4 και Speed of Terminal=3. Αφού έχετε ρυθμίσει όλες τις απαραίτητες παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένου του Relative Delay of Rx signals και του Average Powers of Rx signals, αλλάξτε τον χρόνο προσομοίωσης στο κεντρικό παράθυρο του μοντέλου από 0,1 σε 5 και πατήστε το Start Simulation (▶). Για να εμφανίσετε τους παλμογράφους του μοντέλου, κάντε διπλό click στο εικονίδιο Open Scopes καθώς τρέχει η προσομοίωση. Οι παλμογράφοι απεικονίζουν το σήμα με διάφορους τρόπους και σε διάφορες καταστάσεις:

- Τα **Time Scopes** απεικονίζουν την ακολουθία των bit πριν το spreading, μετά το spreading και μετά το combining των διάφορων φυσικών καναλιών, δείχνοντας και το πραγματικό και το φανταστικό μέρος ξεχωριστά. Επίσης, απεικονίζουν το πραγματικό και το φανταστικό μέρος της εξόδου του channel estimator για το πρώτο finger του δέκτη.
- Τα **Power Spectrum Scopes** δείχνουν το φάσμα της ισχύος του σήματος πριν το spreading, μετά το spreading, μετά το pulse shaping και στην είσοδο της κεραίας του δέκτη.
- Τα **Scatter Plots** απεικονίζουν το διάγραμμα αστερισμού (constellation) του σήματος στην έξοδο του correlator, μετά το phase derotation και μετά το amplitude correction.

Στη συνέχεια, κρατώντας σταθερό τον αριθμό των fingers και την ταχύτητα της κινητής μονάδας, πάρτε μετρήσεις για SNR=-3 και

-10. Ομοίως, επαναλαμβάνετε τις μετρήσεις για 3 και 2 fingers κρατώντας σταθερή την ταχύτητα στα 3 km/h. Προσέξτε ότι το Relative Delay of Rx signals και το Average Powers of Rx signals πρέπει να αλλάζονται σύμφωνα με τον αριθμό των fingers που έχουμε. Αφού τελειώσετε όλες τις μετρήσεις για ταχύτητα 3 km/h, ακολουθείστε την ίδια ακριβώς διαδικασία για 50 και 120 km/h.

### Πίνακες Μετρήσεων

Finger En. = 4	SNR(dB)	Speed of Terminal		
		3 Km/h	50 Km/h	120 Km/h
	0			
	-3			
	-10			

Finger En. = 3	SNR(dB)	Speed of Terminal		
		3 Km/h	50 Km/h	120 Km/h
	0			
	-3			
	-10			

Finger En. = 2	SNR(dB)	Speed of Terminal		
		3 Km/h	50 Km/h	120 Km/h
	0			
	-3			
	-10			

### Ερωτήσεις

1. Χρησιμοποιώντας το Matlab, σχεδιάστε τις γραφικές παραστάσεις του BER (άξονας y), ως προς το Speed of Terminal (άξονας x), για κάθε finger βάζοντας τις 3 διαφορετικές καμπύλες του SNR=0, -3 και -10 στην ίδια γραφική με διαφορετικό χρώμα. Τι παρατηρείτε για τη μεταβολή του BER ανάλογα με τη μεταβολή της ταχύτητας; Πως δικαιολογείτε τη μεταβολή αυτή;

2. Σχεδιάστε τις γραφικές παραστάσεις του BER ως προς τον αριθμό των fingers για κάθε ταχύτητα βάζοντας τις 3 διαφορετικές καμπύλες του SNR=0, -3 και -10 στην ίδια γραφική με διαφορετικό χρώμα. Τι παρατηρείτε για τη μεταβολή του BER ανάλογα με τη μεταβολή του αριθμού των fingers; Πως δικαιολογείτε τη μεταβολή αυτή;
3. Γιατί μειώνουμε την ισχύ της κάθε ανάκλασης (*Average powers of Rx signals*) όσο αυξάνεται η ταχύτητα;
4. Τι Delay Spread έχει επιλεχθεί και σε τι περιβάλλον (αστικό, ημιαστικό ή αγροτικό) αντιστοιχεί;

3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

Ανάλυση  
της Διαδικασίας  
Spreading-Despreading

## § 3.1 Spreading και Despreading

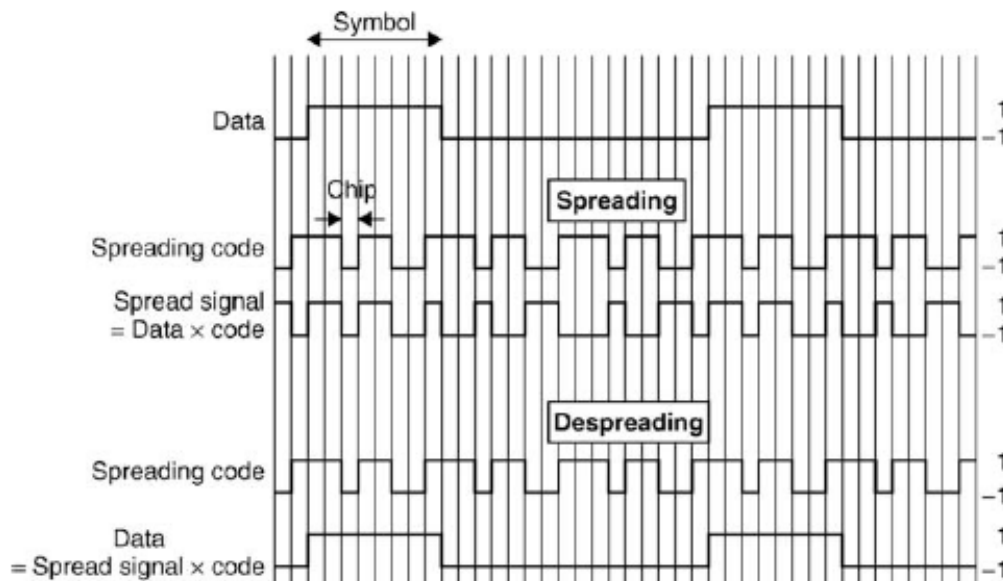
Οι spreading κώδικες είναι επίσης γνωστοί και ως spreading ακολουθίες. Υπάρχουν δύο είδη spreading κωδίκων στο UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network): οι ορθογωνικοί (Orthogonal) και οι ψευδοτυχαίοι (Pseudo-Random), γνωστοί και ως PN (Pseudo-Noise) κώδικες. Και οι δύο χρησιμοποιούνται και στο uplink και στο downlink. Για το Spreading και το Despreading ενός σήματος χρησιμοποιείται πάντα ο ίδιος κώδικας. Αυτό συμβαίνει διότι η διαδικασία του Spreading-Despreading είναι στην ουσία μία λογική πράξη XNOR μεταξύ των δεδομένων του χρήστη και του spreading κώδικα. Θυμηθείτε ότι δύο διαδοχικές πράξεις XNOR μας δίνουν τα αρχικά δεδομένα.

Με τον όρο Spreading ουσιαστικά εννοούμε την αύξηση του εύρους ζώνης του σήματος. Αρχικά, αυτό μπορεί να μην ακούγεται καλή ιδέα, καθώς το εύρος ζώνης είναι ένας σπάνιος και ακριβός πόρος, αλλά υπάρχουν αρκετοί και σημαντικοί λόγοι της αύξησης αυτής. Το πιο σημαντικό κίνητρο για τη διεύρυνση φάσματος είναι η μεγάλη ανθεκτικότητα του σήματος στις παρεμβολές. Ένα σήμα διευρυμένου φάσματος, μπορεί να αντέξει σε ένα πολύ θορυβώδες, από άποψη παρεμβολών, περιβάλλον.

Στο σχήμα 3-1 απεικονίζονται οι διαδικασίες του spreading και του despreading για ένα DS-CDMA σύστημα. Έστω ότι οι πληροφορίες του χρήστη είναι μία ακολουθία bit με BPSK διαμόρφωση, με bit rate ίσο με  $R$ , παίρνοντας τις τιμές  $+1$  και  $-1$ . Η διαδικασία του spreading είναι ο πολλαπλασιασμός bit προς bit της πληροφορίας του χρήστη με μία ακολουθία bit, τα οποία ονομάζονται chips. Ο παράγοντας διεύρυνσης του σήματος προς αποστολή ονομάζεται Spreading Factor (SF) και είναι ο αριθμός των chips που αντιστοιχούν σε ένα bit. Άρα τα τελικά spread data θα έχουν rate ίσο με  $SF \times R$  και ίδια τυχαία μορφή με τον spreading code. Το γινόμενο αυτό παραμένει πάντα σταθερό και είναι ίσο με το chip rate ( $3,84\text{Mcps}$ ), οπότε όταν αλλάζει το bit rate  $R$ , πρέπει αντίστοιχα να αλλάζει και το SF. Έπειτα αυτό το διαμορφωμένο σήμα διευρυμένου φάσματος εκπέμπεται διαμέσου ενός ασύρματου καναλιού.

Το despreading είναι η αντίστροφη διαδικασία του spreading. Εκεί πολλαπλασιάζουμε την ήδη διαμορφωμένη ακολουθία δεδομένων του χρήστη, bit προς bit, με τον ίδιο κώδικα που χρησιμοποιήσαμε για το spreading. Μετά το despreading, η αρχική ακολουθία δεδομένων του χρήστη θα έχει ανακτηθεί πλήρως και θα υπάρχει πλήρης συγχρονισμός μεταξύ της διαμορφωμένης ακολουθίας δεδομένων του χρήστη και του (de)spreading κώδικα.

Η αύξηση του ρυθμού του σήματος κατά ένα συντελεστή ίσο με το SF (στο παράδειγμα του Σχήματος 3-1 SF=8) έχει ως αποτέλεσμα τη διεύρυνση (επίσης κατά ένα συντελεστή ίσο με οχτώ) του κατεχόμενου φάσματος των δεδομένων του διευρυμένου σήματος του χρήστη. Εξαιτίας αυτού, τα CDMA συστήματα ονομάζονται γενικότερα συστήματα διευρυμένου φάσματος. Η διαδικασία του despreading επαναφέρει το εύρος ζώνης στην αρχική του τιμή.

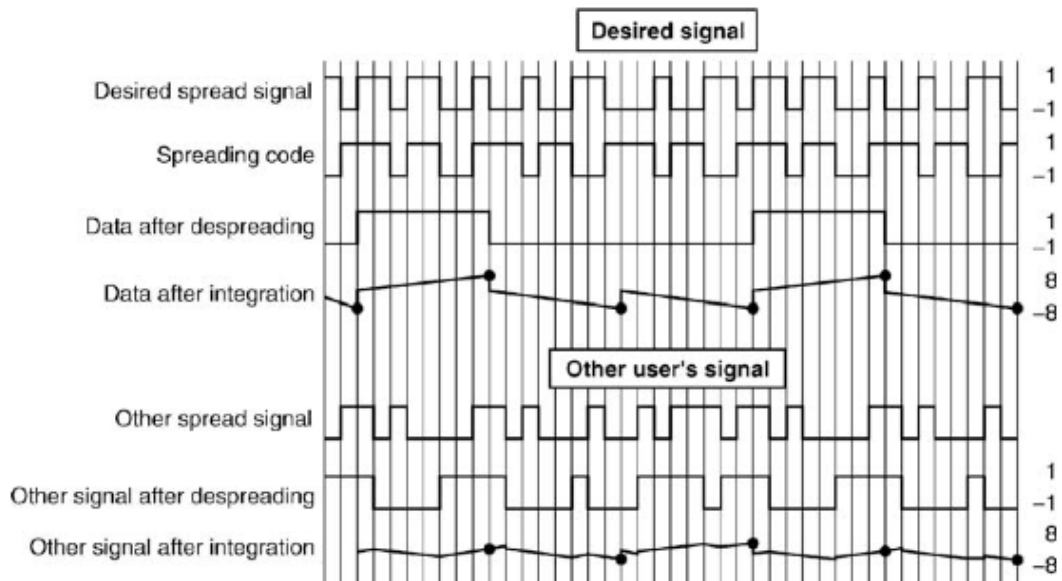


Σχήμα 3-1 Οι διαδικασίες των spreading και despreading

Η αρχή λειτουργίας ενός CDMA correlation δέκτη απεικονίζεται στο σχήμα 3-2. Το πάνω μισό της εικόνας αυτής δείχνει την λήψη του επιθυμητού σήματος. Όπως και στο σχήμα 3-1, βλέπουμε τη διαδικασία του despreading με έναν πλήρως συγχρονισμένο κώδικα. Έπειτα, ο correlation receiver ολοκληρώνει (σ.σ. αθροίζει) τα τελικά διαμορφωμένα δεδομένα για κάθε bit χρήστη.

Στο κάτω μισό του σχήματος 3-2 φαίνεται το αποτέλεσμα της διαδικασίας του despreading στο CDMA σήμα ενός άλλου χρήστη του οποίου όμως το σήμα έχει διαμορφωθεί με έναν διαφορετικό spreading code και όχι τον επιθυμητό. Μετά την αποδιαμόρφωση (despreading) και αφού γίνει η ολοκλήρωση (integration), το αποτέλεσμα που παίρνουμε είναι η παρεμβολή της τελευταίας σειράς του σχήματος, η τιμή της οποίας κυμαίνεται γύρω από το μηδέν.





Σχήμα 3-2 Η αρχή του CDMA correlation δέκτη

Όπως βλέπουμε, το πλάτος του σήματος μετά την ολοκλήρωση αυξάνεται κατά οχτώ μονάδες πάνω και κάτω από το μηδέν συγκριτικά με το πλάτος του σήματος του χρήστη που δέχεται την παρεμβολή. Η τιμή της αύξησης καθορίζεται από την τιμή του Spreading Factor που όπως προαναφέρθηκε είναι ίσο με οχτώ. Το φαινόμενο της αύξησης αυτής ονομάζεται processing gain (κέρδος επεξεργασίας) και αποτελεί μία θεμελιώδη έννοια για όλα τα CDMA συστήματα και γενικότερα για όλα τα συστήματα διευρυμένου φάσματος. Το processing gain είναι αυτό που προσφέρει στο CDMA την ανθεκτικότητα ενάντια στο Multiple Access Interference (MAI), η οποία ανθεκτικότητα είναι απαραίτητη, ώστε να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί το διαθέσιμο Bandwidth των 5MHz, από χρήστες της ίδιας ή γειτονικών κυψελών. Ας πάρουμε ένα παράδειγμα με πραγματικές παραμέτρους για το WCDMA. Το speech service με bit rate 12.2 kbps έχει processing gain  $25\text{dB} = 10\log_{10}(3.84\text{e}6/12.2\text{e}3)$ . Ο αδιάστατος λόγος  $E_b/N_o$ , όπου  $E_b$  είναι η ενέργεια (ή η φασματική πυκνότητα ισχύος) ανά bit χρήστη και όπου  $N_o$  η φασματική πυκνότητα ισχύος της παρεμβολής και του θορύβου, για φωνητική υπηρεσία είναι της τάξης των 5dB. Έτσι το απαιτούμενο signal-to-interference ratio ισούται με 5dB μείον το processing gain που είναι 25dB, το οποίο μας κάνει -20dB. Με άλλα λόγια, η ισχύς του σήματος μπορεί να είναι 20dB κάτω από την παρεμβολή και ο WCDMA δέκτης να εξακολουθεί να ανιχνεύει το σήμα. Στις κινητές επικοινωνίες ο όρος παρεμβολή και θόρυβος (I+N), αντικαθίσταται από τον όρο απλά παρεμβολή (I) επειδή η ισχύς του θορύβου είναι αμελητέα σε σχέση με την ισχύ της παρεμβολής. Το signal-to-interference ratio ονομάζεται επίσης και carrier-to-interference ratio, γνωστό και ως C/I. Εξαιτίας του

spreading και του despreading, το C/I μπορεί να είναι χαμηλότερο στο WCDMA από ότι, για παράδειγμα, στο GSM. Μία σύνδεση με καλή ποιότητα στο GSM απαιτεί C/I από 9 έως 12dB.

Αφού η στάθμη του διευρυμένου σήματος μπορεί να είναι κάτω από τη στάθμη της παρεμβολής, η ανίχνευσή του είναι σχεδόν αδύνατη χωρίς να γνωρίζουμε την spreading ακολουθία. Για αυτό το λόγο τα συστήματα διευρυμένου φάσματος αρχικά χρησιμοποιήθηκαν και εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικές εφαρμογές, καθώς το σήμα στην ουσία «κρύβεται» κάτω από την παρεμβολή.

Να σημειωθεί ότι όσο μεγαλύτερο bit rate απαιτείται, τόσο μικρότερο γίνεται το processing gain. Συγκεκριμένα για user data bit rate των 384 kbps, το processing gain είναι  $3.84 \text{ Mcps}/384 \text{ kbps}=10$  το οποίο αντιστοιχεί σε 10 dB ( $=10\log_{10}10$ ). Συνεπώς, σε αυτή την περίπτωση η απαίτηση για C/I, με  $E_b/N_o = 1$  [1] είναι -9 dB.

### § 3.2 Πλεονεκτήματα Διεύρυνσης Φάσματος

Στο WCDMA οι σταθμοί βάσης καθώς και τα κινητά τηλέφωνα, όπως αναφέρουμε και στο κεφάλαιο του RAKE δέκτη, χρησιμοποιούν αυτόν τον τύπο correlation δεκτών λόγω του φαινομένου του multipath με σκοπό την εκμετάλλευση της ενέργειας που περιέχεται σε όλες τις οδεύσεις του σήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση του RAKE δέκτη που στην ουσία αποτελείται από περισσότερους από έναν correlation receiver καθένας εκ των οποίων ονομάζεται finger. Η λειτουργία του RAKE δέκτη αναλύεται πλήρως στο κεφάλαιο 2.

Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι, για ασύρματες εφαρμογές, οι διαδικασίες των spreading/despreading από μόνες τους δεν εξασφαλίζουν ισχυρότερο σήμα. Βέβαια όσο αυξάνεται το κέρδος επεξεργασίας (processing gain), τόσο αυξάνεται και το εύρος ζώνης εκπομπής.

Τα πλεονεκτήματα του WCDMA που προέρχονται από τις ιδιότητες των σημάτων διευρυμένου φάσματος όταν εξετάζονται σε επίπεδο συστήματος είναι τα εξής:

1. Το processing gain μαζί με την διευρυμένου φάσματος φύση του συστήματος επιτρέπουν την χρήση ενός frequency reuse factor της τάξης του 1, το οποίο σημαίνει ότι οι γειτονικές κυψέλες μπορούν να χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη υψηλής φασματικής αποδοτικότητας (spectral efficiency).
2. Έχοντας πολλούς χρήστες να μοιράζονται το ίδιο ευρυζωνικό κανάλι ταυτόχρονα, παρέχεται στο σύστημα ένα κέρδος ανθεκτικότητας στην παρεμβολή (interference diversity), διότι η MAI που εισάγεται από κάθε χρήστη, ενδέχεται κατά ένα ποσοστό της να αλληλοακυρώνεται (αφού παίρνει και αρνητικές τιμές) από την MAI κάποιου άλλου χρήστη. Συνεπώς, αυτό προσδίδει στο σύστημα μία

αύξηση της χωρητικότητας σε σχέση με αυτήν που θα είχαμε αν σχεδιάζαμε το σύστημα με βάση τη χειρότερη περίπτωση (άθροιση των MAI του κάθε χρήστη κατά απόλυτη τιμή).

3. Παρ' όλα αυτά, τα παραπάνω πλεονεκτήματα απαιτούν τη χρήση πολύ σχολαστικού power control και soft handover για την αποφυγή μπλοκαρίσματος του σήματος ενός χρήστη από το σήμα ενός άλλου.

4. Η δυνατότητα ανάλυσης με μεγαλύτερη ακρίβεια των διαφορετικών οδεύσεων του ραδιοσήματος, λόγω της μικρής διάρκειας της περιόδου του chip (εξαιτίας του υψηλού chip rate), οδηγεί σε μεγαλύτερη ανθεκτικότητα ενάντια στην εξασθένηση και επομένως βελτιωμένη απόδοση.

### § 3.3 Τύποι κωδίκων διεύρυνσης (Spreading Codes)

#### § 3.3.1 Ορθογωνικοί Κώδικες (Orthogonal Codes)

Η διαδικασία του spreading αποτελείται από δύο ξεχωριστές λειτουργίες: το channelization και το scrambling. Η πρώτη χρησιμοποιεί ορθογωνικούς κώδικες και η δεύτερη χρησιμοποιεί pseudo-noise (PN) κώδικες. Στον πομπό, η λειτουργία του channelization γίνεται πριν από αυτή του scrambling.

Η διαδικασία του channelization μετατρέπει κάθε data symbol σε έναν αριθμό chips. Ο λόγος του αριθμού των chips προς τον αριθμό των συμβόλων ονομάζεται spreading factor (SF). Αυτή είναι και η διαδικασία που διευρύνει το εύρος ζώνης του καναλιού. Τα Data symbols χωρίζονται στους κλάδους (branches) I και Q, δηλαδή σε πραγματικό και φανταστικό μέρος, και πολλαπλασιάζονται με τον channelization κώδικα. Οι channelization κώδικες είναι ορθογωνικοί (orthogonal variable spreading factor [OVSF]), εννοώντας ότι σε ένα ιδανικό περιβάλλον, δεν παρεμβάλλουν μεταξύ τους, διότι η ορθογωνικότητα προβλέπει ότι οι κώδικες είναι συγχρονισμένοι. Επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο downlink για να ξεχωρίσουν τους διαφορετικούς χρήστες μέσα σε ένα cell, ενώ στο uplink για να διαχωρίσουν τις διάφορες υπηρεσίες ενός χρήστη. Καθώς όλες οι κινητές μονάδες είναι ασύγχρονες, οι κώδικες αυτοί δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ξεχωρίσουν στο uplink τους διαφορετικούς χρήστες σε ένα σταθμό βάσης και επομένως οι κώδικες τους δεν μπορούν να είναι ορθογωνικοί μεταξύ τους. Επίσης, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον διαχωρισμό των σταθμών βάσης στο downlink. Υπάρχει ένας συγκεκριμένος αριθμός ορθογωνικών κωδίκων. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται σε κάθε cell και συνεπώς είναι πιθανό ότι μία κινητή μονάδα που βρίσκεται στα όρια δύο κυψελών να λαμβάνει το ίδιο ορθογωνικό σήμα από δύο σταθμούς βάσης. Εάν

χρησιμοποιούσαμε μόνο ορθογωνικούς spreading κώδικες τότε μεταξύ των σημάτων αυτών θα υπήρχε πολύ ισχυρή παρεμβολή.

$$C_{ch,1,0} = 1$$

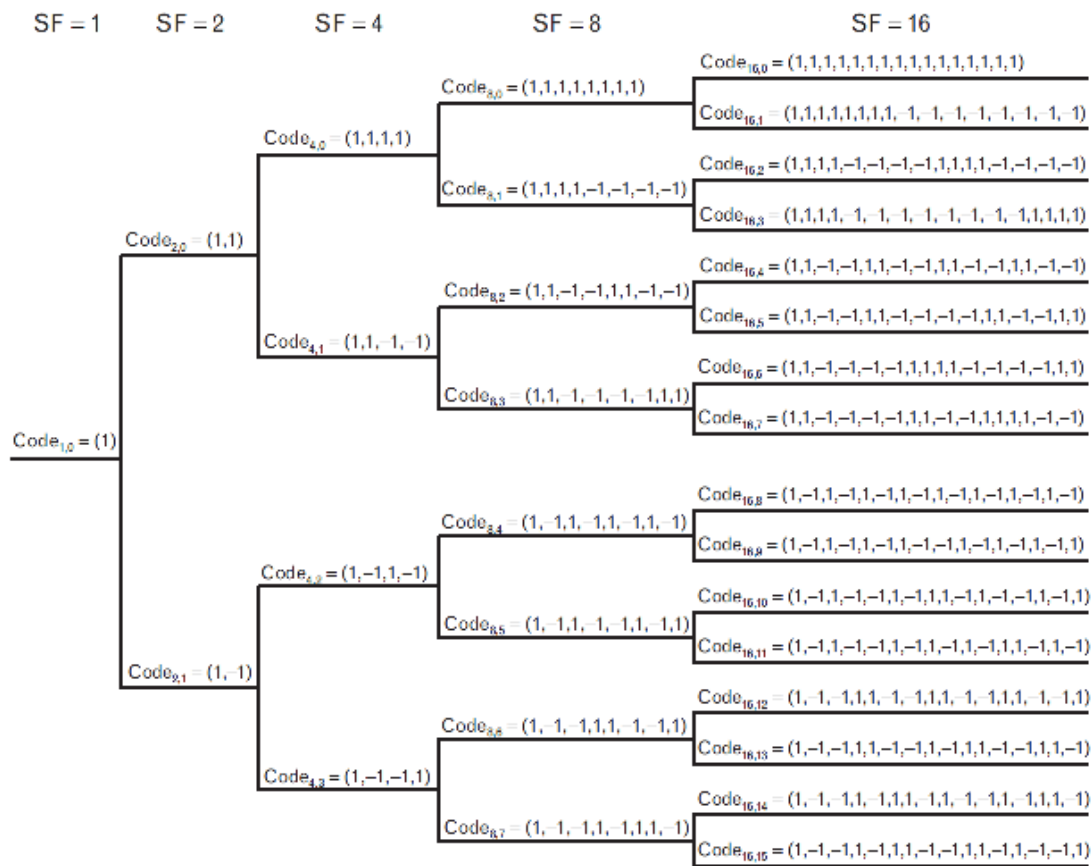
$$\begin{bmatrix} C_{ch,2,0} \\ C_{ch,2,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{ch,1,0} & C_{ch,1,0} \\ C_{ch,1,0} & -C_{ch,1,0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} C_{ch,2^{n+1},0} \\ C_{ch,2^{n+1},1} \\ C_{ch,2^{n+1},2} \\ C_{ch,2^{n+1},3} \\ \vdots \\ C_{ch,2^{n+1},2^{n+1}-2} \\ C_{ch,2^{n+1},2^{n+1}-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{ch,2^n,0} & C_{ch,2^n,0} \\ C_{ch,2^n,0} & -C_{ch,2^n,0} \\ C_{ch,2^n,1} & -C_{ch,2^n,1} \\ C_{ch,2^n,1} & -C_{ch,2^n,1} \\ \vdots & \vdots \\ C_{ch,2^n,2^n-1} & C_{ch,2^n,2^n-1} \\ C_{ch,2^n,2^n-1} & -C_{ch,2^n,2^n-1} \end{bmatrix}$$

Σχήμα 3-3 Η δημιουργία των OVSF κωδίκων

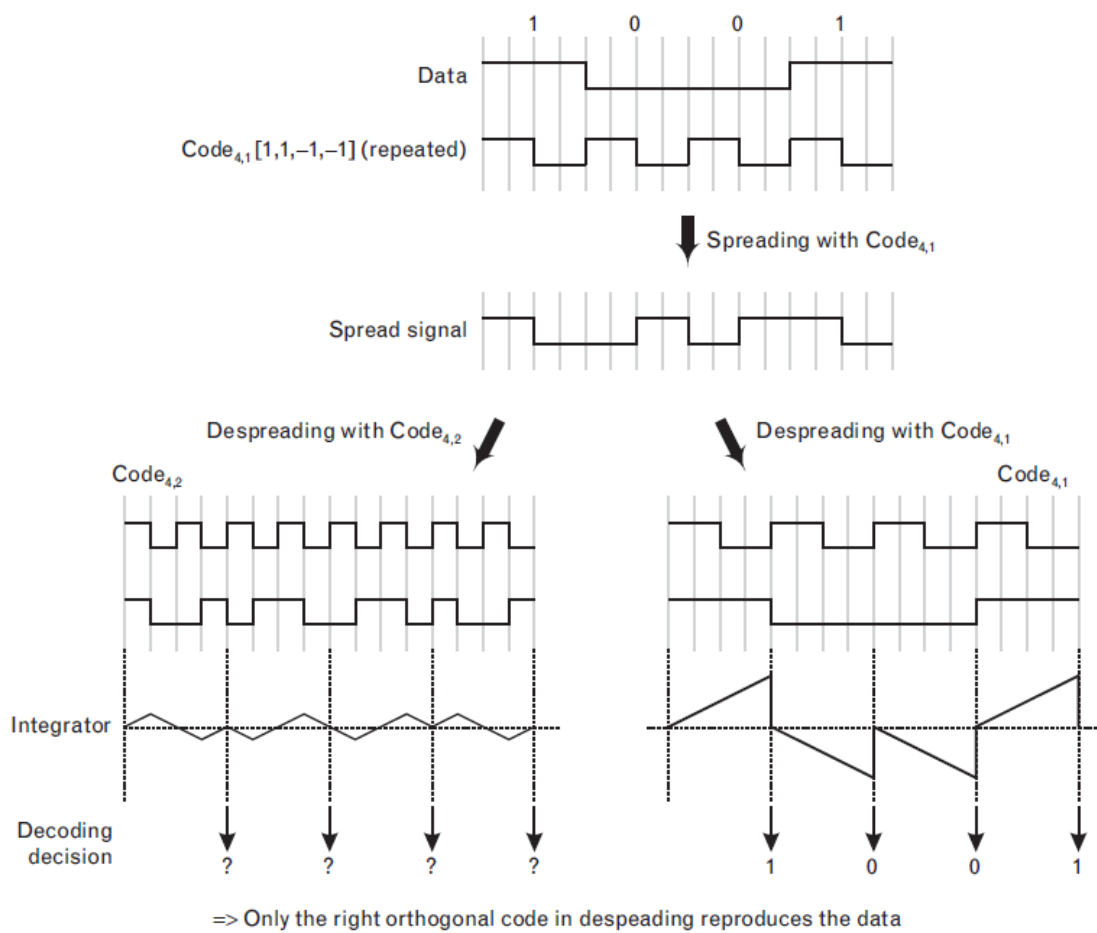
Η δημιουργία των channelization κωδίκων φαίνεται στο *σχήμα 3-3* ενώ στο *σχήμα 3-4* παρουσιάζεται ο αλγόριθμος ο οποίος παράγει το δέντρο των κωδίκων. Το παράδειγμα του σχήματος δείχνει μόνο τη ρίζα του δέντρου αυτού.

Το UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network) χρησιμοποιεί spreading factors από 4 έως 512, όπου από 4 έως 256 χρησιμοποιείται στο uplink, και spreading factor έως 512 στο downlink. Αυτό το δέντρο κωδίκων, μας δείχνει επίσης πώς αναθέτονται οι κώδικες αυτοί. Για παράδειγμα, εάν εκχωρηθεί ο κώδικας  $C_{ch8,2}$  τότε δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι μετέπειτα κώδικες από τις διακλαδώσεις του ( $C_{ch16,4}$ ,  $C_{ch16,5}$ ,  $C_{ch32,8}$  κτλ.), οι οποίοι δε θα είναι ορθογωνικοί με τον πρωταρχικό κώδικα ( $C_{ch8,2}$ ).



Σχήμα 3-4 Το δέντρο των ορθογωνικών κωδίκων

Η χρήση ορθογωνικών κωδίκων απεικονίζεται στο *σχήμα 3-5*. Μία ακολουθία δεδομένων (1001) πολλαπλασιάζεται με τον spreading code  $C_{ch,4,1}$  (1,1,-1,-1). Αυτός ο κώδικας έχει spreading factor 4 που σημαίνει ότι για κάθε bit δεδομένων αντιστοιχούν 4 chips του spreading code. Το εύρος ζώνης σήματος που προκύπτει είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερο από το εύρος ζώνης του αρχικού σήματος. Έπειτα το διευρυμένο σήμα (spread signal) αποδιαμορφώνεται (despread) με δύο κώδικες, τον  $C_{ch,4,2}$  και τον  $C_{ch,4,1}$ , που χρησιμοποιήσαμε στο spreading. Η αποδιαμόρφωση (despreading) με τον σωστό κώδικα παράγει στον ολοκληρωτή το αρχικό σήμα (1001), αλλά σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί κάποιος από τους λάθος κώδικες (όπως ο  $C_{ch,4,2}$ ) το αποτέλεσμα θα είναι θόρυβος. Προσέξτε ότι ο spreading factor 4 είναι ο μικρότερος από τους πιθανούς SF στο WCDMA.



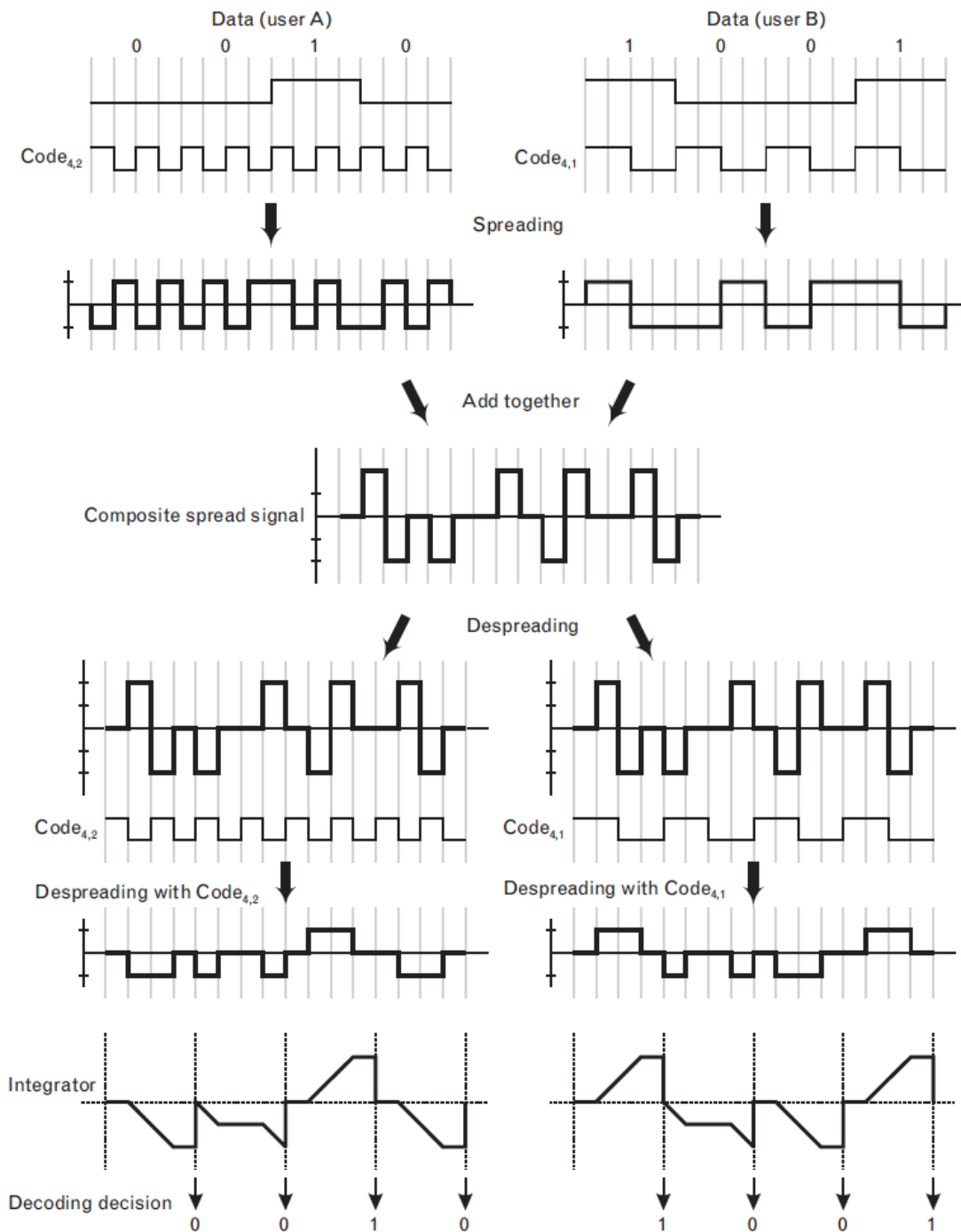
Σχήμα 3-5 Η χρήση των ορθογωνικών κωδίκων

Κατά το uplink αυτοί οι ορθογωνικοί κώδικες αντιστοιχούνται ανά κινητή μονάδα ώστε η διαχείριση των κωδίκων να είναι άμεση. Ωστόσο, κατά το downlink το ίδιο δέντρο κωδίκων χρησιμοποιείται από τον σταθμό βάσης για όλες τις κινητές μονάδες που βρίσκονται μέσα στα όρια του cell. Συνεπώς, χρειάζεται προσεκτική διαχείριση ώστε ο σταθμός βάσης να μην ξεμείνει από downlink channelization κώδικες.

Προσέξτε στο σχήμα 3-5 ότι όταν το σήμα αποδιαμορφωθεί με λάθος κώδικα το αποτέλεσμα του ολοκληρωτή κυμαίνεται κάθε χρονική στιγμή γύρω από το μηδέν. Αυτό μας δείχνει ότι σε ένα πλήρες ορθογωνικό σύστημα δεν υπάρχει θόρυβος. Συνεπώς, θεωρητικά ούτε το power control θα ήταν αναγκαίο. Παρ' όλα αυτά, πρακτικά δε μπορεί να επιτευχθεί πλήρης ορθογωνικότητα. Υπάρχει πάντοτε κάποια παρεμβολή στο σύστημα, η οποία θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στη συνολική χωρητικότητα του συστήματος.

Το προηγούμενο παράδειγμα αναπαριστά το πώς λειτουργεί το spreading με έναν χρήστη. Στην πραγματικότητα, στο downlink, τα spread signals του κάθε χρήστη αθροίζονται μεταξύ τους δημιουργώντας ένα σύνθετο σήμα και μεταδίδονται στο κοινό κανάλι. Αυτό απεικονίζεται στο σχήμα 3-6. Παρατηρήστε ότι οι

spreading κώδικες θα πρέπει να είναι συγχρονισμένοι, ειδάλλως η ορθογωνικότητα χάνεται. Αυτό το παράδειγμα δείχνει πώς οι αρχικές ακολουθίες δεδομένων μπορούν να ανακτηθούν από το σύνθετο σήμα.



Σχήμα 3-6 Spreading και Despreading πολλαπλών χρηστών

Στο downlink οι μεταδόσεις από διαφορετικούς σταθμούς βάσης δεν είναι ορθογωνικές μεταξύ τους. Η κινητή μονάδα πρέπει

να αναγνωρίσει την καταλληλότερη (ενδεχομένως πλησιέστερη) για αυτήν λήψη, σύμφωνα με τον scrambling κώδικα (κάθε διαφορετικός scrambling κώδικας αντιστοιχεί σε διαφορετικό cell). Έπειτα, μπορεί να ανακτήσει τα αρχικά δεδομένα χρησιμοποιώντας τον αντίστοιχο channelization κώδικα. Στον πραγματικό κόσμο, το περιβάλλον του downlink δεν είναι ποτέ πλήρως ορθογωνικό και χωρίς παρεμβολές διότι δεν είναι δυνατός ο τέλειος συγχρονισμός των κωδικών. Η ενδοκυψελική (intracell) παρεμβολή δημιουργείται λόγω του φαινομένου του multipath και η διακυψελική (intercell) λόγω των ασύγχρονων σταθμών βάσης.

### § 3.3.2 Ψευδοτυχαίοι κώδικες (PN codes)

Οι ορθογωνικοί κώδικες από μόνοι τους δεν μπορούν να «χειριστούν» την διαδικασία του spreading-despreading. Όπως εξηγήσαμε και προηγουμένως, μπορούν μόνο να χρησιμοποιηθούν όταν τα σήματα είναι συγχρονισμένα. Κατά το uplink οι χρήστες δεν είναι συγχρονισμένοι μεταξύ τους. Έτσι η ορθογωνικότητα δεν εξασφαλίζεται, με αποτέλεσμα να εισάγεται μεγάλη παρεμβολή μεταξύ τους. Ομοίως, κατά το downlink, ούτε οι σταθμοί βάσης είναι συγχρονισμένοι μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να απαιτείται η χρήση και ενός άλλου είδους κώδικα.

Για τη λύση αυτού του προβλήματος, το σύστημα χρησιμοποιεί τους λεγόμενους ψευδοτυχαίους (pseudorandom - PN) κώδικες. Αυτοί χρησιμοποιούνται στο δεύτερο στάδιο της διαδικασίας του spreading, που ονομάζεται scrambling. Στην διαδικασία του scrambling το σήμα, το οποίο έχει ήδη διευρυνθεί (spread) με έναν ορθογωνικό spreading κώδικα, πολλαπλασιάζεται με έναν ψευδοτυχαίο scrambling κώδικα, χωρίς να υπάρχει περαιτέρω διεύρυνση του φάσματος. Στο downlink ο κώδικας είναι μακρύς, ένας Gold code με περίοδο  $10\text{ms}=38400$  chips. Στο uplink ο κώδικας μπορεί να είναι είτε Gold code με περίοδο 10ms ή μικρός, S(2) code με περίοδο  $66,7\mu\text{sec}=256$  chips στη περίπτωση που υπάρχουν προηγμένοι base station δέκτες. Αυτοί οι ψευδοτυχαίοι κώδικες έχουν πολύ καλές αυτοσυσχετιστικές ιδιότητες. Υπάρχουν εκατομμύρια διαθέσιμοι scrambling κώδικες στο uplink, οπότε δεν χρειάζεται καμία ιδιαίτερη διαχείριση. Οι κώδικες αυτοί μας βοηθούν στο uplink στον διαχωρισμό των χρηστών. Συγχρονισμένα και ορθογωνικά σήματα μπορούν να μειώσουν την παρεμβολή επειδή δεν προκαλούν παρεμβολές μεταξύ τους.

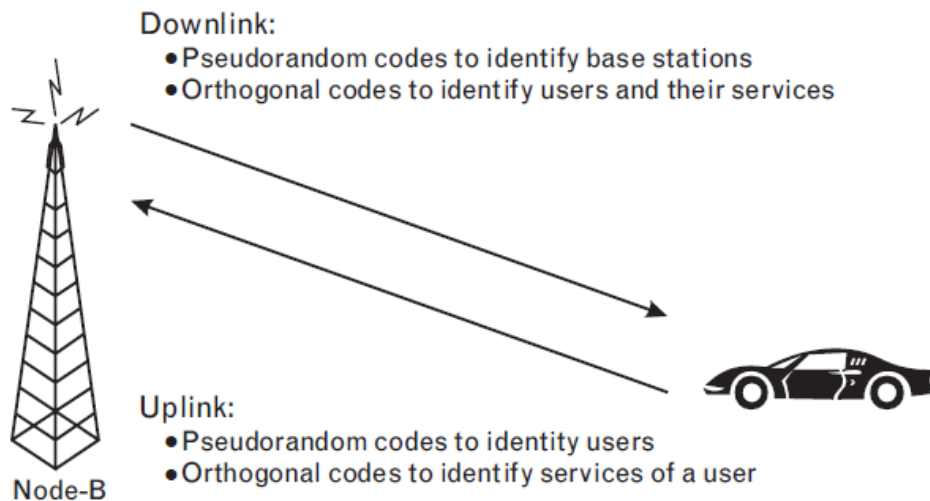
Στο downlink, οι ψευδοτυχαίοι scrambling κώδικες χρησιμοποιούνται για την μείωση της παρεμβολής μεταξύ των σταθμών βάσης (inter-base-station interference). Κάθε cell έχει μόνο έναν πρωτεύων scrambling code τον οποίο χρησιμοποιούν τα UEs (User Equipment - Κινητή μονάδα) για να διαχωρίζουν τους σταθμούς βάσης. Υπάρχουν 512 διαφορετικοί πρωτεύοντες



scrambling κώδικες στο downlink. Αυτός ο αριθμός κρίνεται αρκετός για τον σχεδιασμό των κυψελών (cell planning). Ένας μεγαλύτερος αριθμός θα προκαλούσε προβλήματα με τη διαδικασία ανεύρεσης κυψέλης που διενεργεί το UE. Οι πρωτεύοντες scrambling κώδικες χωρίζονται σε 64 ομάδες των οχτώ κωδικών. Χρησιμοποιώντας αυτές τις ομάδες μπορούμε να επισπεύσουμε την διαδικασία ανεύρεσης της κυψέλης.

Οι προδιαγραφές επίσης ορίζουν δευτερεύοντες scrambling κώδικες. Ο κάθε πρωτεύων scrambling κώδικας έχει ένα σύνολο από 16 δευτερεύοντες, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν τα κανάλια εκπομπής, δε χρειάζεται να ληφθούν από όλους τους χρήστες του cell (πχ. Dedicated channels). Ωστόσο, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται συχνά, καθώς τα κανάλια που εκπέμπουν με δευτερεύοντες scrambling κώδικες δεν είναι ορθογωνικά ως προς αυτά που χρησιμοποιούν τους πρωτεύοντες.

Η ακριβής χρήση των scrambling (PN) κωδικών και των channelization (OVSF) κωδικών στο uplink και στο downlink φαίνεται στο *σχήμα 3-7*.



Σχήμα 3-7 Η χρήση των scrambling (PN) και των channelization (OVSF) κωδικών στο uplink και στο downlink

## Αναφορές

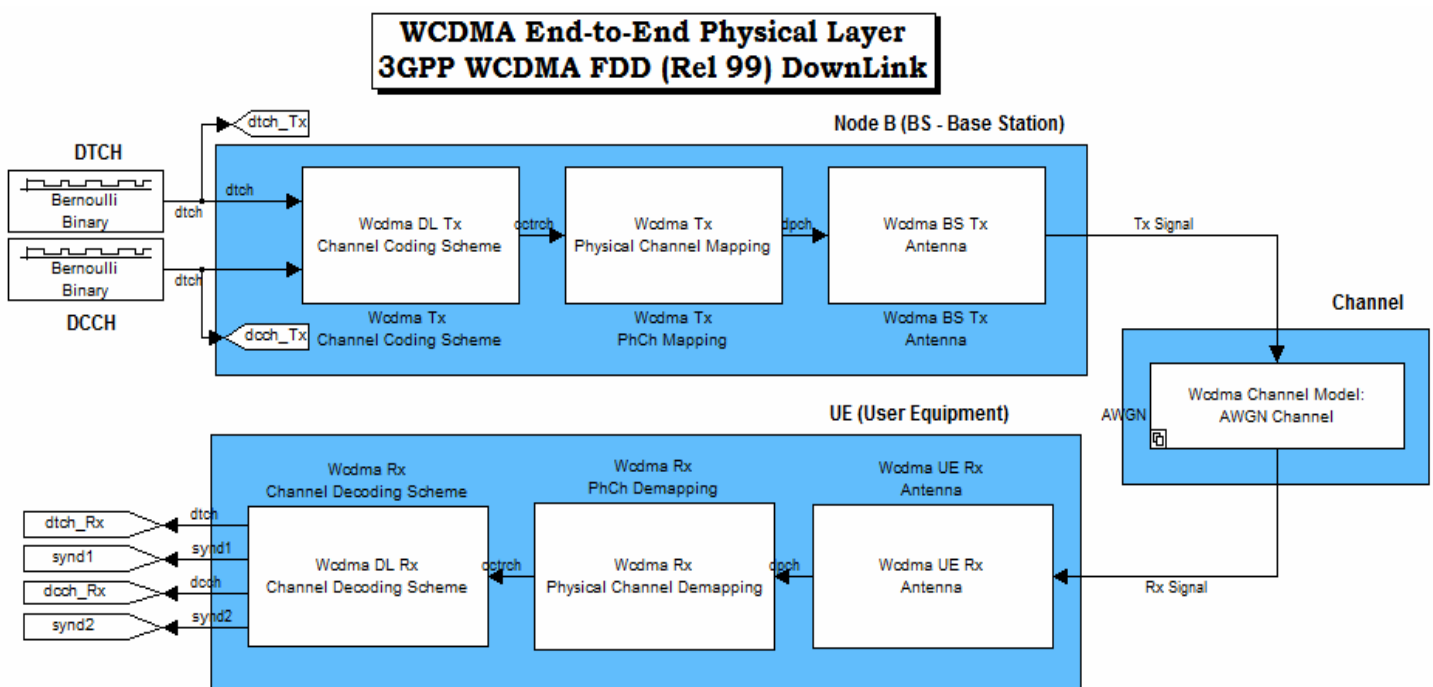
[1] Chris Braithwaite & Mike Scott "UMTS Network Planning and Development - Design and Implementation of the 3G CDMA Infrastructure"

## § 3.4 Το μοντέλο προσομοίωσης “End-to-End Physical Layer”

### § 3.4.1 Το μοντέλο στο Simulink 7.3

Σε αυτό το σημείο, θα αναλυθεί το μοντέλο προσομοίωσης που θα χρησιμοποιήσουμε για την μελέτη της διαδικασίας του Spreading-Despreading. Για την προσομοίωση αυτή θα χρησιμοποιήσουμε το Simulink 7.3 που περιέχεται στο Matlab 7.8 (Release 2009b). Σε αυτή την έκδοση του Simulink δημιουργήθηκαν τρία μοντέλα για την μελέτη των επιδόσεων ενός WCDMA συστήματος. Για την μελέτη της διαδικασίας του Spreading-Despreading θα χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο προσομοίωσης “WCDMA End-to-End Physical Layer” αλλάζοντας συγκεκριμένες παραμέτρους κάθε φορά και μελετώντας τα ανάλογα αποτελέσματα μέσω του Block Error Rate και του Bit Error Rate.

Για να φορτώσετε το μοντέλο αυτό επιλέξτε το Help> Product Help. Στη συνέχεια, στο δέντρο που βρίσκεται στην αριστερή μεριά του παραθύρου Product Help επιλέξτε το Communications Blockset. Στην καινούργια καρτέλα που εμφανίζεται και στην κατηγορία Product Demos, επιλέξτε το Communications Blockset Demos και στη συνέχεια, στην κατηγορία Application Specific Examples θα βρείτε τα τρία μοντέλα για το WCDMA. Επιλέξτε το μοντέλο “WCDMA End-to-End Physical Layer” και τέλος την επιλογή Open this model. Το μοντέλο αυτό φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



Πατώντας διπλό κλικ σε κάθε block του κυκλώματος εμφανίζονται οι πληροφορίες και μερικές παράμετροι που αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο block. Επίσης, πληκτρολογώντας την εντολή *who* στο Command Window του Matlab, εμφανίζονται όλες οι μεταβλητές του μοντέλου προσομοίωσης όπως το spreading factor (*sprdfactor*), η συχνότητα Doppler (*dopplerFreq*) κτλ., ενώ πληκτρολογώντας το κωδικοποιημένο όνομα της κάθε μεταβλητής (π.χ. *sprdfactor*) εμφανίζεται η τιμή της.

### § 3.4.2 Block διάγραμμα “WCDMA End-to-End Physical Layer”

#### Σταθμός Βάσης:

- ***Bernoulli Binary Generator:***

Δημιουργεί έναν τυχαίο δυαδικό αριθμό που προσομοιώνει τα δεδομένα που είναι προς αποστολή στον χρήστη.

- ***Wcdma DL Tx Channel Coding Scheme:***

Εκτελούνται οι διαδικασίες error detection, error correction, rate matching, interleaving και transport channels mapping στο Coded Composite Transport Channel (CCTrCH).

- ***Wcdma Tx Physical Channel Mapping:***

Είναι υπεύθυνο για την οργάνωση και την πολυπλεξία των bit του CCTrCH, το οποίο είναι το αποτέλεσμα της αλληλουχίας των διάφορων καναλιών μεταφοράς (Transport Channels), μέσα σε ένα Dedicated Physical Channel (DPCH) υπό τη μορφή slot.

- ***Wcdma BS Tx Antenna:***

Αφού συνδυαστούν τα διαφορετικά κανάλια μεταφοράς για την δημιουργία των φυσικών καναλιών, τα δεδομένα στέλνονται στην κεραία του πομπού του σταθμού βάσης υπό τη μορφή slot. Στην κεραία, αφού πρώτα τα δεδομένα διευρυνθούν με έναν ορθογωνικό κώδικα (Channelization), υπόκειται της διαδικασίας του scrambling με τη χρήση μίας Gold Code ακολουθίας.

#### Κανάλι Διάδοσης:

- ***Wcdma Channel Model AWGN Channel:***

Προσθέτει λευκό Γκαουσιανό θόρυβο (Additive White Gaussian Noise) στο σήμα εισόδου. Τα σήματα εισόδου και εξόδου μπορούν να είναι πραγματικά ή μιγαδικά.

#### Κινητή Μονάδα:

- ***Wcdma UE Rx Antenna:***

Αφού το λαμβανόμενο σήμα περάσει από το pulse shaping filter, τα oversampled δεδομένα αποστέλλονται στο RAKE δέκτη.

- **Wcdma Rx Physical Channel Demapping:**

Είναι υπεύθυνο για τον διαχωρισμό και την οργάνωση των bit του αποδιαμορφωμένου φυσικού καναλιού με σκοπό την επανακατασκευή του CCTrCH.

- **Wcdma DL Rx Channel Decoding Scheme:**

Εκτελούνται οι διαδικασίες error detection, error correction, rate matching, interleaving και transport channels splitting από το Coded Composite Transport Channel (CCTrCH).

### § 3.4.3 Μετρήσεις Bit Error Rate και Block Error Rate

Αφού έχετε ανοίξει το μοντέλο και κάνοντας διπλό click στο block "Model Parameters", εμφανίζεται ένα παράθυρο με κάποιες παραμέτρους που μπορούμε να αλλάξουμε. Οι παράμετροι με τις οποίες θα ασχοληθούμε βρίσκονται στις επιλογές "Show Transport Channel Settings" και "Show Channel Model Settings". Επιλέγοντας τα, εμφανίζονται οι εξής παράμετροι:

- **DL Measurement Channels:**

Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (bit rate) από τον σταθμό βάσης προς την κινητή μονάδα. Η τιμή κάθε ρυθμού μετάδοσης αντιστοιχεί στις παρακάτω υπηρεσίες:

12.2 kbps: Φωνητική κλήση

64 kbps: Video κλήση

144 kbps: Internet browsing

384 kbps: Broadband internet (web TV, video streaming κτλ)

- **Propagation conditions environments:**

Επιλέγοντας ένα από αυτά τα προφίλ, αλλάζουν αυτόματα οι παρακάτω παράμετροι με τιμές ήδη προκαθορισμένες προσομοιώνοντας έτσι διάφορες συνθήκες περιβαλλόντων διάδοσης.

- **SNR (in dB):**

Εδώ ρυθμίζουμε το λόγο του σήματος προς θόρυβο (Signal to Noise Ratio). Εάν ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος από 0 dB, τότε σημαίνει πως το σήμα μας είναι ισχυρότερο από το θόρυβο. Θυμηθείτε ότι στο WCDMA, λόγω του processing gain, δεν είναι απαραίτητο να έχουμε θετικό SNR. Οι τιμές που θα ορίσουμε στην προσομοίωσή μας θα είναι -10, -3 και 0 dB.

- **Number of enable fingers:**

Εδώ ρυθμίζουμε τον αριθμό των fingers που θέλουμε να έχει ο RAKE δέκτης και κυμαίνεται από 2 έως 4.

- **Relative delay of Rx signals (in s):**

Εδώ ορίζουμε την καθυστέρηση (σε seconds) των διαφορετικών οδεύσεων. Ο αριθμός των καθυστερήσεων που θα ορίσουμε εξαρτάται από τον αριθμό των fingers.

- **Average powers of Rx signals (in dB):**

Εδώ ορίζουμε την διαφορά ισχύος σε dB της κάθε όδευσης από το ισχυρότερο σήμα. Επίσης ο αριθμός των διαφορών ισχύος που θα ορίσουμε εξαρτάται από τον αριθμό των fingers.

- **Speed of Terminal (in km/h):**

Εδώ ορίζουμε την ταχύτητα (σε km/h) της κινητής μονάδας (UE).

### § 3.4.4 Διαδικασία μετρήσεων

Συμπληρώστε στους παρακάτω πίνακες τις μετρήσεις των Block Error Rate και Bit Error Rate που θα πραγματοποιήσετε σύμφωνα με τις δεδομένες παραμέτρους του DL Measurement channels, SNR και ταχύτητας κινητής μονάδας (UE) κρατώντας πάντα σταθερή την παράμετρο Number of enable fingers στα 4. Για να έχετε τη δυνατότητα να ορίσετε τις τιμές των πεδίων SNR και Speed of Terminal, στην επιλογή *Propagation conditions environments* διαλέξτε την επιλογή *User Defined*. Να σημειώσουμε ότι για να συμπληρώσετε τις τιμές των BER και BLER στους πίνακες θα πρέπει να πολλαπλασιάσετε την τιμή του αποτελέσματος με το 100 για να προκύψει το ποσοστό επί τοις εκατό. Οι τιμές που θα πρέπει να ορίζετε για το *Relative delay of Rx signals* και το *Average powers of Rx signals* για τα 4 fingers, εμφανίζονται παρακάτω:

Fingers	Relative Delay of Rx signals	Average Powers of Rx signals		
		3km/h	50km/h	120km/h
4	[0 500e-9 1500e-9 2500e-9]	[0 -1 -2 -3]	[-1 -3 -5 -7]	[-3 -6 -8 -10]

Για να τρέξετε το μοντέλο, πρέπει πρώτα να ορίσετε τις απαραίτητες παραμέτρους. Ο πιο γρήγορος και πρακτικός τρόπος πραγματοποίησης των μετρήσεων είναι ο παρακάτω.

Ξεκινήστε τη διαδικασία με τη μέτρηση των BER και BLER για DL Measurement Channels=12.2 kbps, SNR=0 και Speed of Terminal=3. Αφού έχετε ρυθμίσει όλες τις απαραίτητες παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένου του Relative Delay of Rx signals και του Average Powers of Rx signals, αλλάξτε τον χρόνο προσομοίωσης στο κεντρικό παράθυρο του μοντέλου από 0,1 σε 5 και πατήστε το Start Simulation (▶). Για να εμφανίσετε τους παλμογράφους του μοντέλου, κάντε διπλό click στο εικονίδιο Open Scopes καθώς τρέχει η προσομοίωση. Οι παλμογράφοι απεικονίζουν το σήμα με διάφορους τρόπους και σε διάφορες καταστάσεις:

- Τα **Time Scopes** απεικονίζουν την ακολουθία των bit πριν το spreading, μετά το spreading και μετά το combining των διάφορων φυσικών καναλιών, δείχνοντας και το πραγματικό και το φανταστικό μέρος ξεχωριστά. Επίσης, απεικονίζουν το

πραγματικό και το φανταστικό μέρος της εξόδου του channel estimator για το πρώτο finger του δέκτη.

- Τα **Power Spectrum Scopes** δείχνουν το φάσμα της ισχύος του σήματος πριν το spreading, μετά το spreading, μετά το pulse shaping και στην είσοδο της κεραίας του δέκτη.
- Τα **Scatter Plots** απεικονίζουν το διάγραμμα αστερισμού (constellation) του σήματος στην έξοδο του correlator, μετά το phase derotation και μετά το amplitude correction.

Στη συνέχεια, κρατώντας σταθερό το DL Measurement Channels και την ταχύτητα της κινητής μονάδας, πάρτε μετρήσεις για SNR= -3 και -10. Ομοίως, επαναλαμβάνετε τις μετρήσεις για DL Measurement Channels 64, 144 και 384 kbps κρατώντας σταθερή την ταχύτητα στα 3 km/h. Προσέξτε ότι το Average Powers of Rx signals πρέπει να αλλάζεται σύμφωνα με την ταχύτητα της κινητής μονάδας. Αφού τελειώσετε όλες τις μετρήσεις για ταχύτητα 3 km/h, ακολουθείστε την ίδια ακριβώς διαδικασία για 50 και 120 km/h.

## Πίνακες Μετρήσεων

Spreading Factor = .....

DL Measurement channels = 12,2 kbps	SNR(dB)	Speed of Terminal								
		3 Km/h			50 Km/h			120 Km/h		
		BLER	DTCH BER	DCCH BER	BLER	DTCH BER	DCCH BER	BLER	DTCH BER	DCCH BER
0										
-3										
-10										

Spreading Factor = .....

DL Measurement channels = 64 kbps	SNR(dB)	Speed of Terminal								
		3 Km/h			50 Km/h			120 Km/h		
		BLER	DTCH BER	DCCH BER	BLER	DTCH BER	DCCH BER	BLER	DTCH BER	DCCH BER
0										
-3										
-10										

Spreading Factor = .....

DL Measurement channels = 144 kbps	SNR(dB)	Speed of Terminal								
		3 Km/h			50 Km/h			120 Km/h		
		BLER	DTCH BER	DCCH BER	BLER	DTCH BER	DCCH BER	BLER	DTCH BER	DCCH BER
0										
-3										
-10										

Spreading Factor = .....

DL Measurement channels = 384 kbps	SNR(dB)	Speed of Terminal								
		3 Km/h			50 Km/h			120 Km/h		
		BLER	DTCH BER	DCCH BER	BLER	DTCH BER	DCCH BER	BLER	DTCH BER	DCCH BER
0										
-3										
-10										

## Ερωτήσεις

- Χρησιμοποιώντας το Matlab, σχεδιάστε τις γραφικές παραστάσεις του DTCH BER (άξονας γ), ως προς το Speed of Terminal (άξονας x), για κάθε DL Measurement Channel βάζοντας τις 3 διαφορετικές καμπύλες του SNR=0, -3 και -10 στην ίδια γραφική με διαφορετικό χρώμα.
- Σχεδιάστε τις γραφικές παραστάσεις του DTCH BER (άξονας γ), ως προς το DL Measurement Channel (άξονας x), για κάθε ταχύτητα βάζοντας τις 3 διαφορετικές καμπύλες του SNR=0, -3 και -10 στην ίδια γραφική με διαφορετικό χρώμα. Τι παρατηρείτε για τη μεταβολή του DTCH BER ανάλογα με τη μεταβολή του Data Rate; Πως δικαιολογείτε τη μεταβολή αυτή;
- Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα Data Rates και τους τύπους της θεωρίας συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα:

Data Rate - Bit Rate (kbps)	Spreading Factor	Bits/Slot	Chips/Slot	Symbol Rate (kbps)	Processing Gain (dB)
12,2					
64					
144					

4 Ο Κεφάλαιο  
Αποτελέσματα  
Προσομοιώσεων



## § 4.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης του μοντέλου “WCDMA Spreading and Modulation”

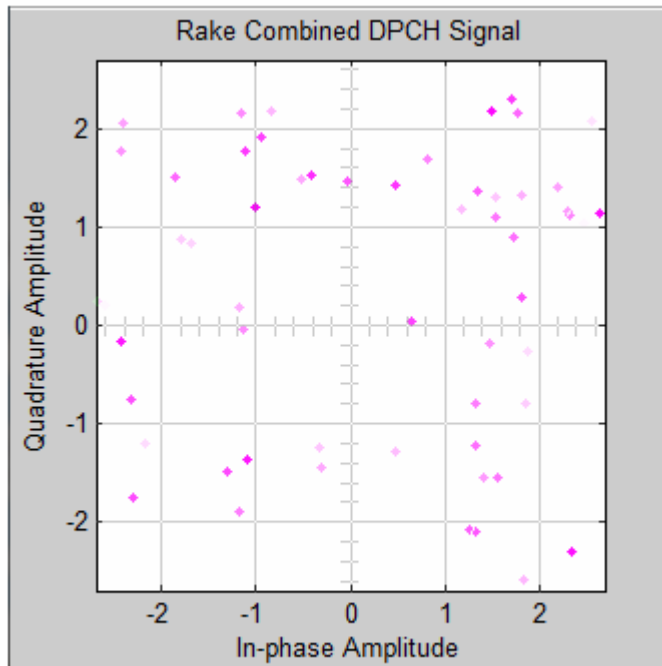
Στους πίνακες που ακολουθούν έχουν καταγραφεί τα αποτελέσματα των μετρήσεων του Bit Error Rate αλλάζοντας κάθε φορά τις παραμέτρους του αριθμού των ενεργών fingers, του SNR(dB) και του Speed of Terminal. Ο αριθμός των ενεργών fingers που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση αυτή, κυμαίνεται από 2 έως 4, αριθμός που ανταποκρίνεται σε έναν συνηθισμένο RAKE δέκτη. Η τιμή του SNR, η οποία παίρνει τιμές 0dB, -3dB και -10dB αντιστοιχεί σε τιμές SNR αστικού περιβάλλοντος. Η μεταβλητή Speed of Terminal παίρνει τιμές 3 km/h, 50 km/h και 120 km/h προσομοιώνοντας επικοινωνία σε ταχύτητα περπατήματος, οδήγησης μέσα σε πόλη και οδήγησης σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας αντίστοιχα.

Δύο σημαντικές παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και εξαρτώνται από τον αριθμό των ενεργών fingers και την ταχύτητα της κινητής μονάδας είναι η παράμετρος Average Powers of Rx signals και η παράμετρος Relative Delay of Rx signals. Οι τιμές των Average Powers of Rx signals επιλέχθηκαν σύμφωνα με δύο κριτήρια. Πρώτον, την εξασθένιση που υφίσταται το σήμα λόγω της μεγαλύτερης απόστασης που διανύουν οι ανακλάσεις μέχρι να φτάσουν στον δέκτη και δεύτερον, την εξασθένιση λόγω της ταχύτητας της κινητής μονάδας εξαιτίας της ολίσθησης του φάσματος λόγω του φαινομένου Doppler. Για την προσομοίωση των συνθηκών ανακλάσεων ενός αστικού περιβάλλοντος, χρησιμοποιήθηκαν Relative Delay of Rx signals με delay spread από 0,5 έως 2,5 msec. Τέλος, ο χρόνος προσομοίωσης επιλέχθηκε 5, πολύ μεγαλύτερος από τον αρχικό (0,1) για την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας των αποτελεσμάτων.

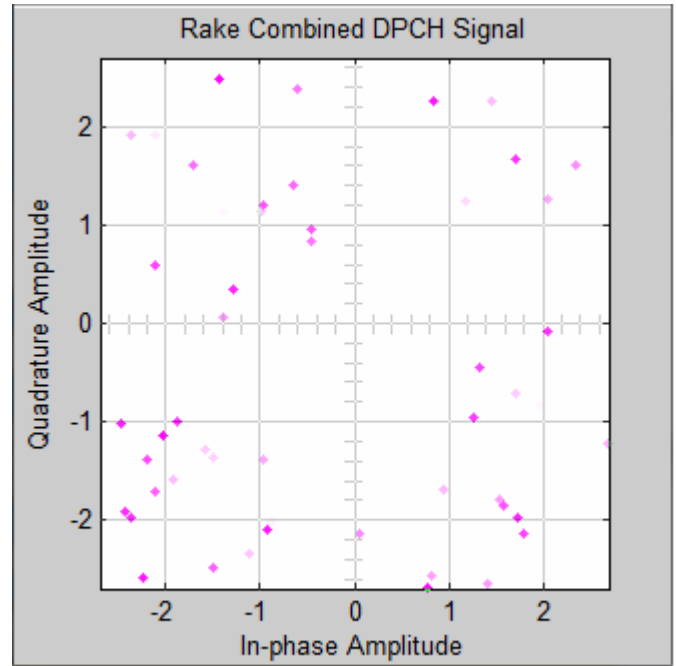
Κάτω από τους πίνακες των αποτελεσμάτων απεικονίζονται τα διαγράμματα αστερισμού του σήματος στην έξοδο του RAKE δέκτη. Στη λεζάντα κάθε διαγράμματος φαίνονται οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε μέτρηση. Στα διαγράμματα αυτά, όσο περισσότερα και πιο συγκεντρωμένα στο κέντρο κάθε τεταρτημόριου είναι τα στίγματα, τόσο καλύτερο είναι το σήμα μας.

### § 4.1.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης για 2 ενεργά Fingers

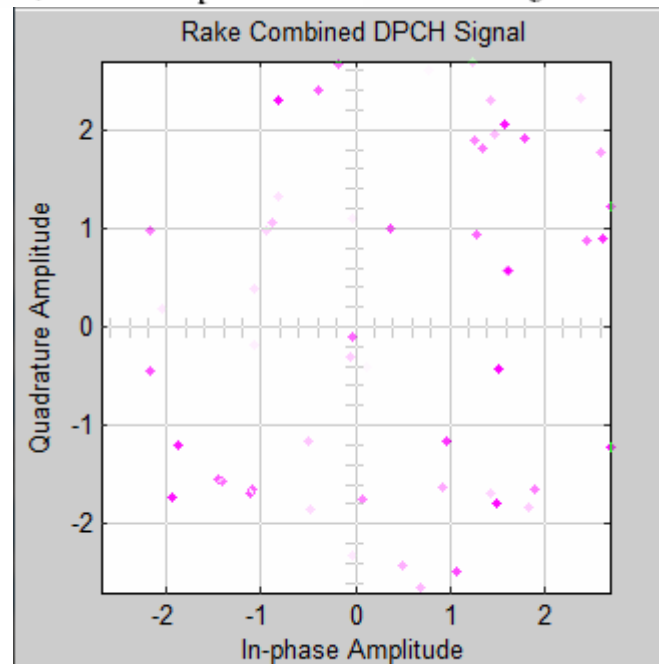
Finger En. = 2	SNR(dB)	Speed of Terminal		
		3 Km/h	50 Km/h	120 Km/h
	0	1,3%	1,76%	3,75%
	-3	3,12%	4,34%	8,05%
	-10	15,81%	19%	25,83%



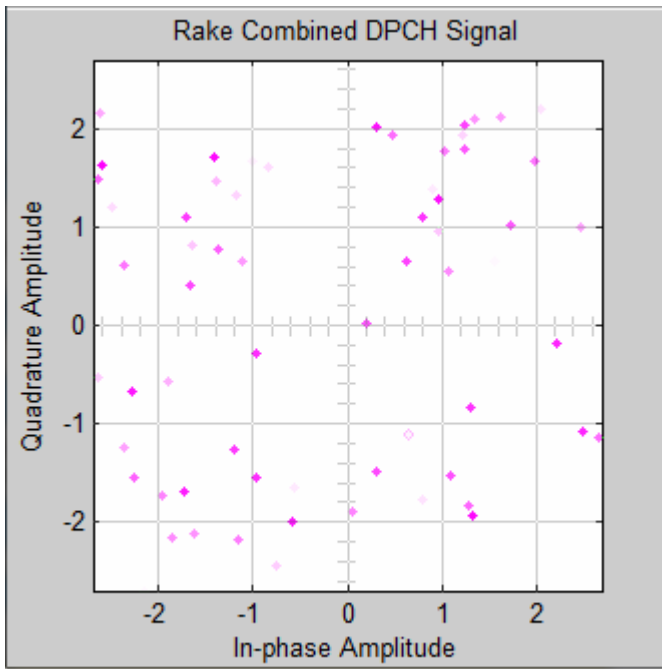
Enable Fingers=2, SNR=0, Terminal Speed=3



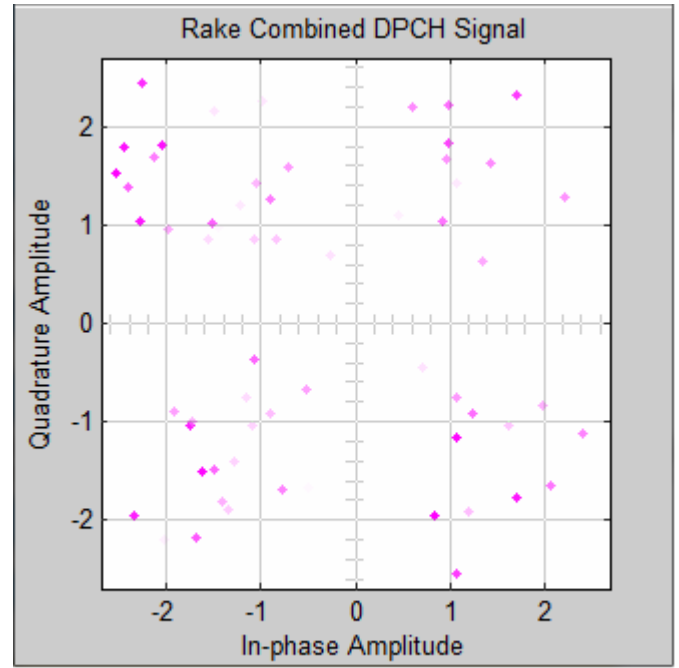
Enable Fingers=2, SNR=0, Terminal Speed=50



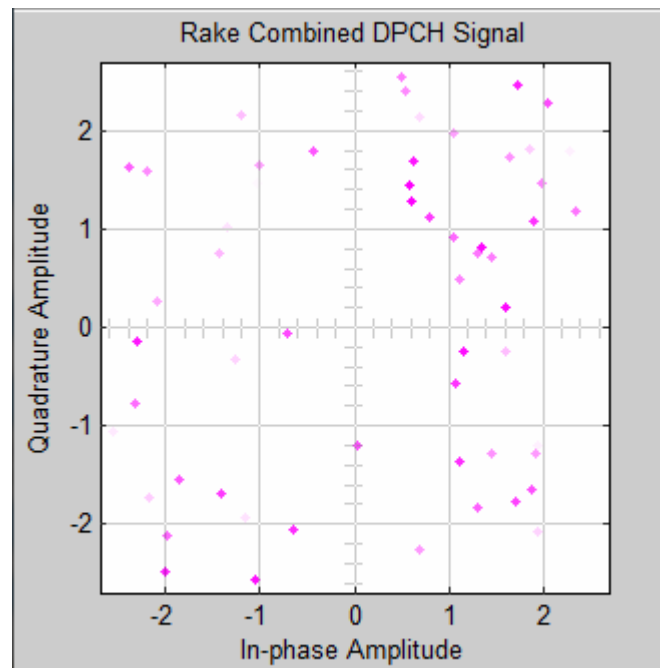
Enable Fingers=2, SNR=0, Terminal Speed=120



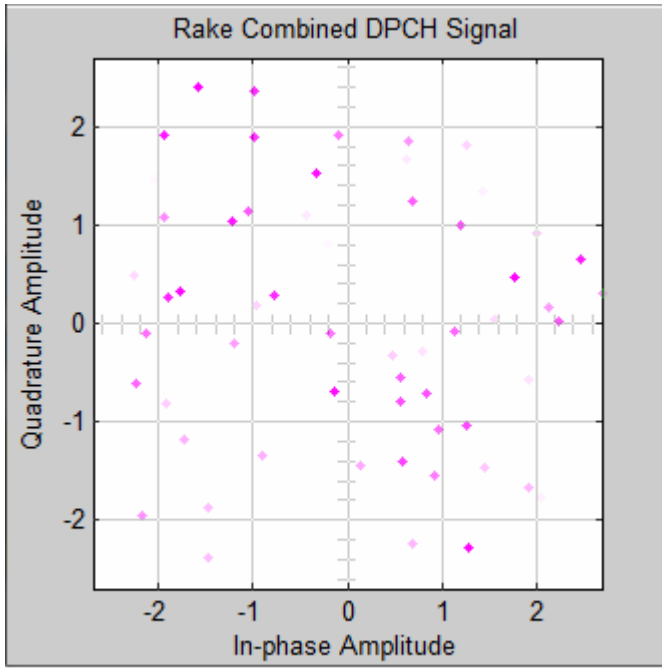
Enable Fingers=2, SNR=-3, Terminal Speed=3



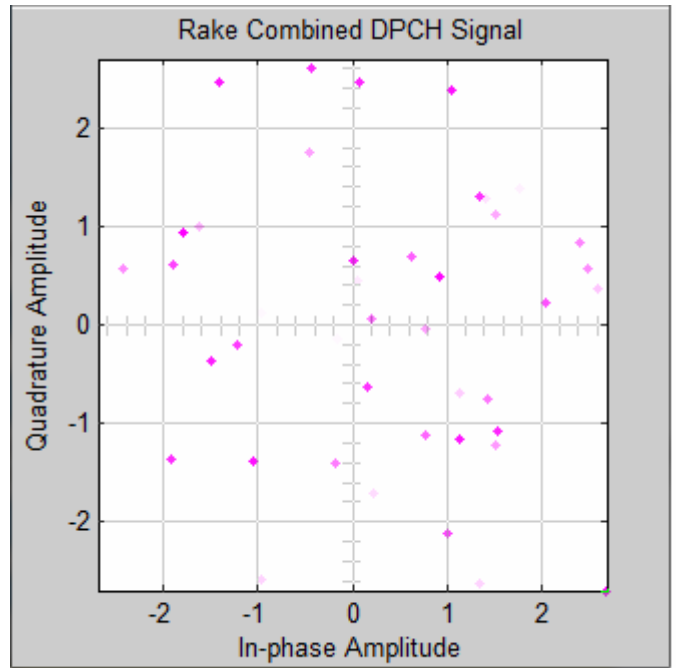
Enable Fingers=2, SNR=-3, Terminal Speed=50



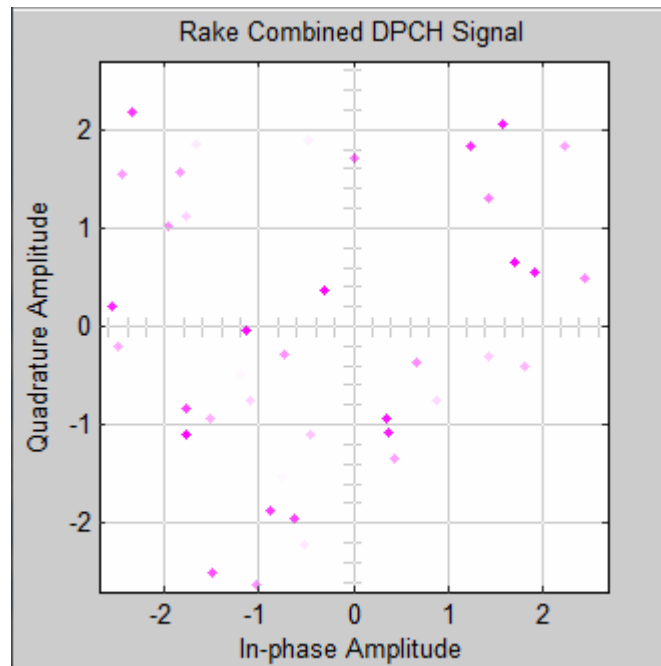
Enable Fingers=2, SNR=-3, Terminal Speed=120



Enable Fingers=2, SNR=-10, Terminal Speed=3



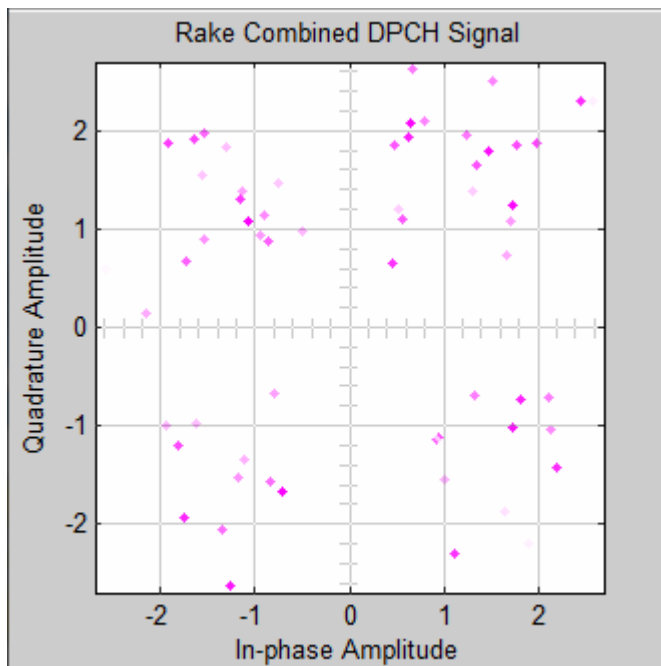
Enable Fingers=2, SNR=-10, Terminal Speed=50



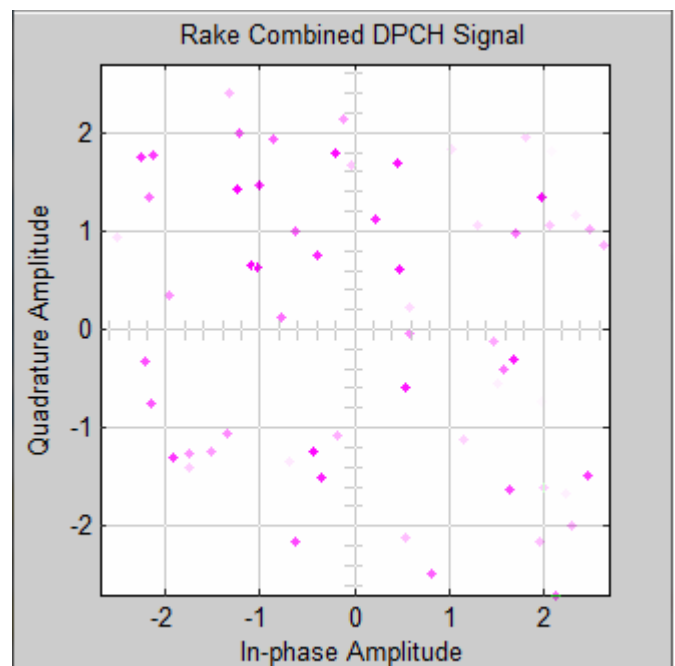
Enable Fingers=2, SNR=-10, Terminal Speed=120

### § 4.1.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης για 3 ενεργά Fingers

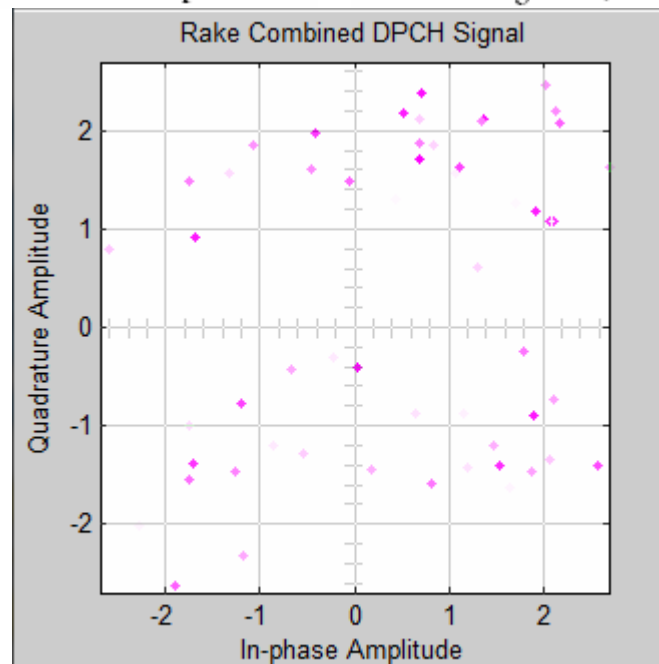
Finger En. = 3	SNR(dB)	Speed of Terminal		
		3 Km/h	50 Km/h	120 Km/h
	0	0,7%	1,13%	2,59%
	-3	1,95%	3,07%	6,26%
	-10	12,79%	17,13%	24,34%



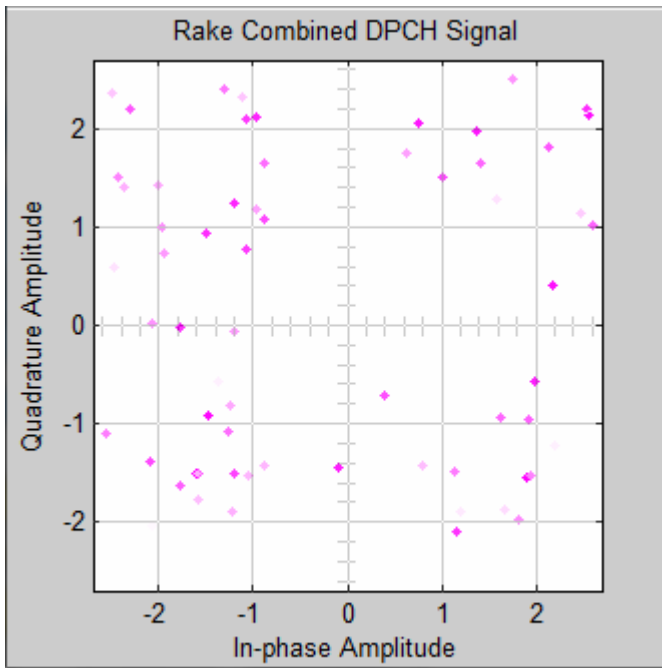
Enable Fingers=3, SNR=0, Terminal Speed=3



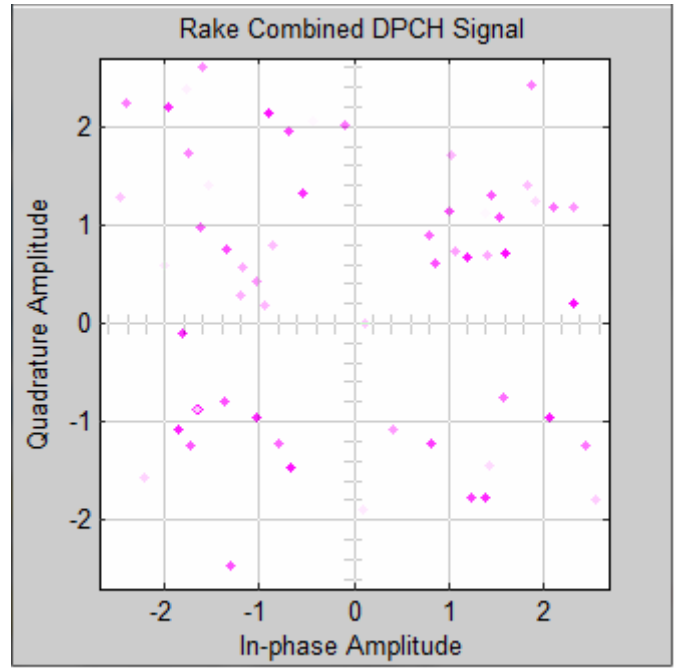
Enable Fingers=3, SNR=0, Terminal Speed=50



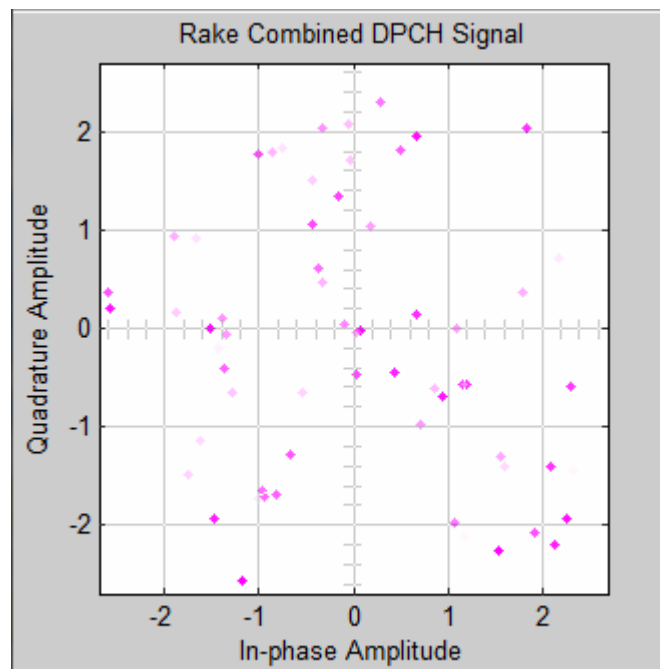
Enable Fingers=3, SNR=0, Terminal Speed=120



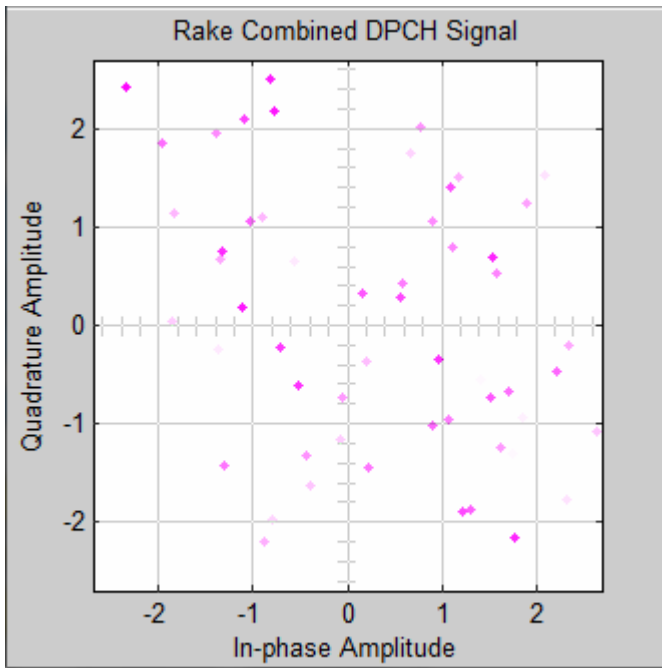
Enable Fingers=3, SNR=-3, Terminal Speed=3



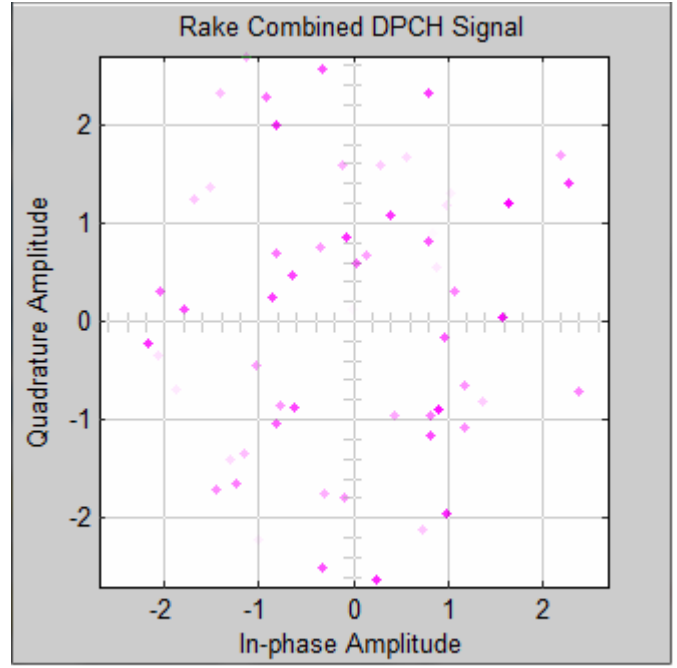
Enable Fingers=3, SNR=-3, Terminal Speed=50



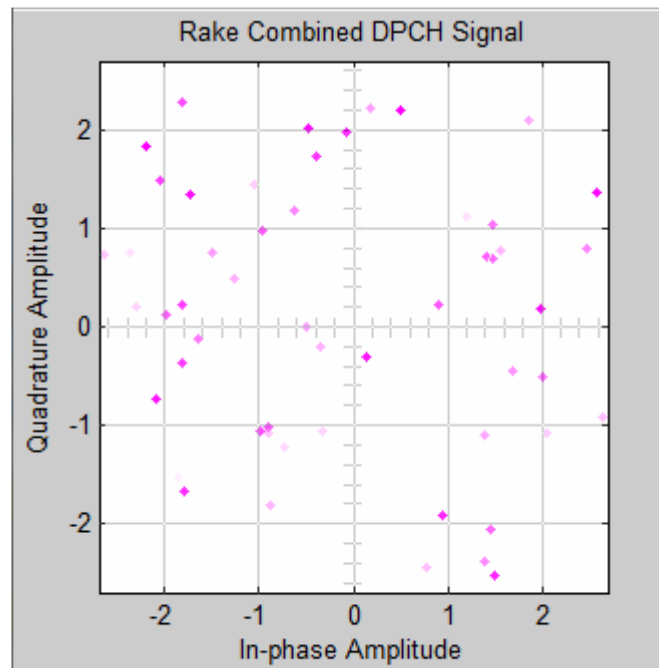
Enable Fingers=3, SNR=-3, Terminal Speed=120



Enable Fingers=3, SNR=-10, Terminal Speed=3



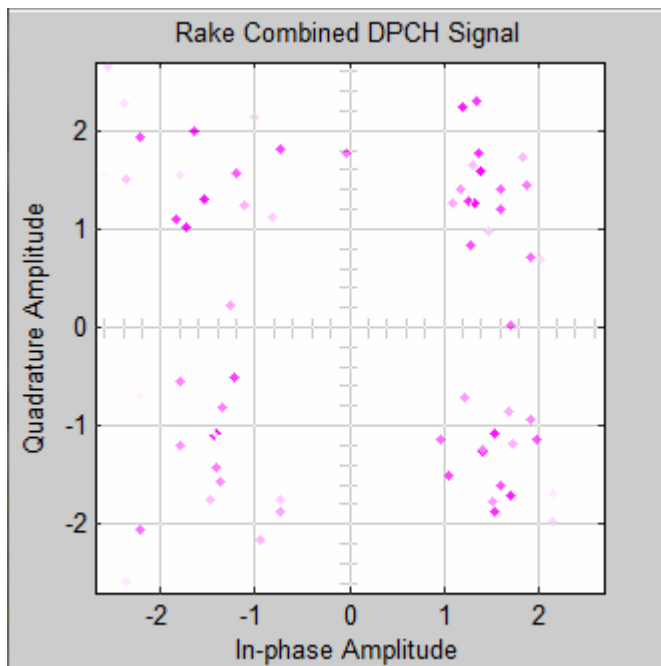
Enable Fingers=3, SNR=-10, Terminal Speed=50



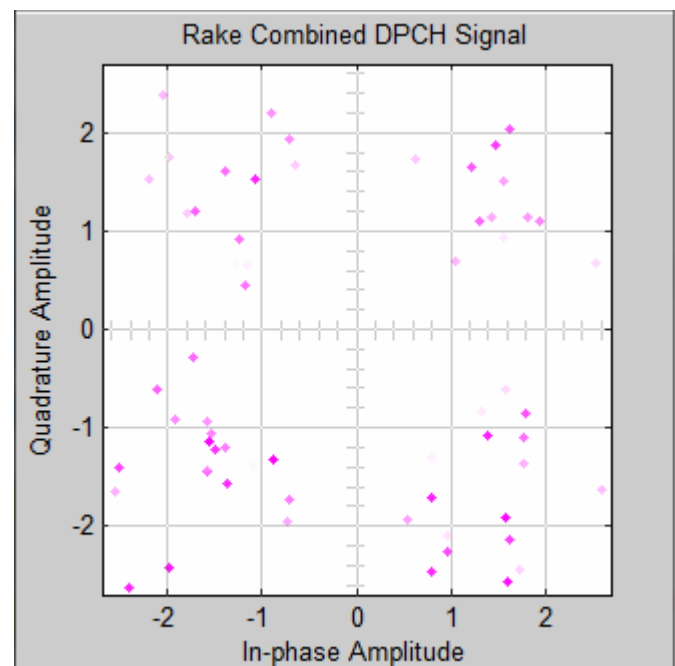
Enable Fingers=3, SNR=-10, Terminal Speed=120

### § 4.1.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης για 4 ενεργά Fingers

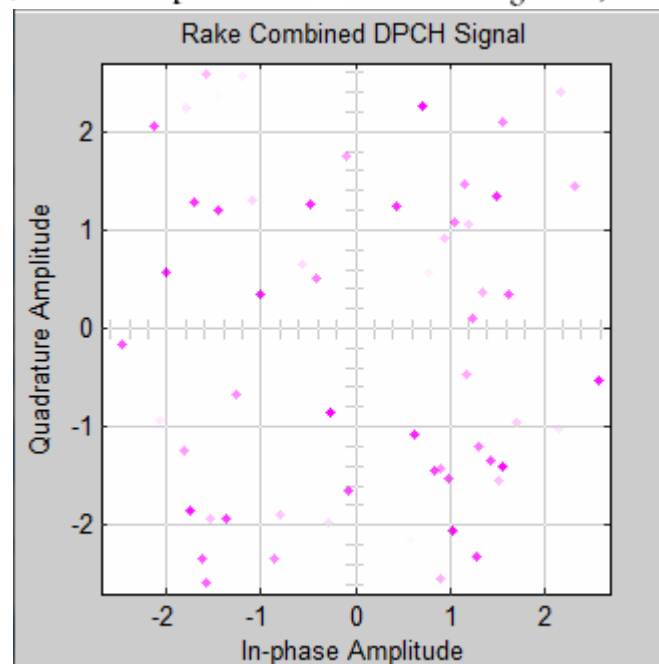
Finger En. = 4	SNR(dB)	Speed of Terminal		
		3 Km/h	50 Km/h	120 Km/h
	0	0,37%	0,79%	2,16%
	-3	1,04%	2,35%	5,62%
	-10	9,39%	15,63%	24,13%



Enable Fingers=4, SNR=0, Terminal Speed=3

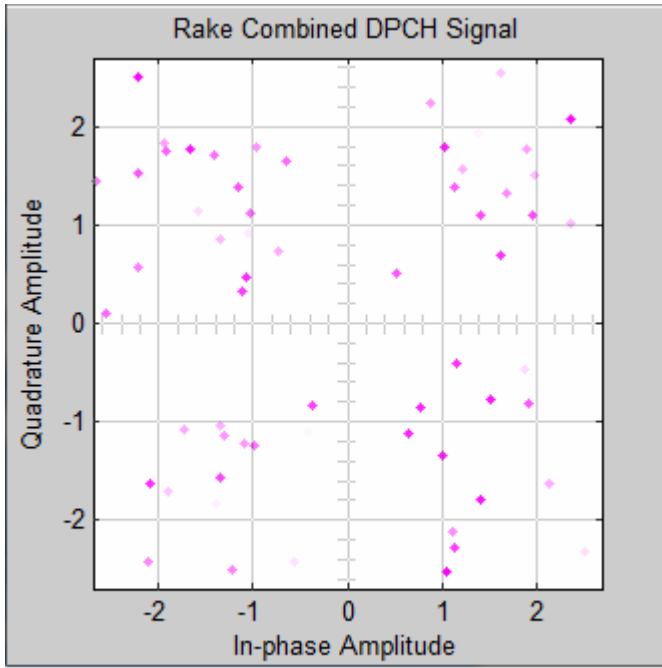


Enable Fingers=4, SNR=0, Terminal Speed=50

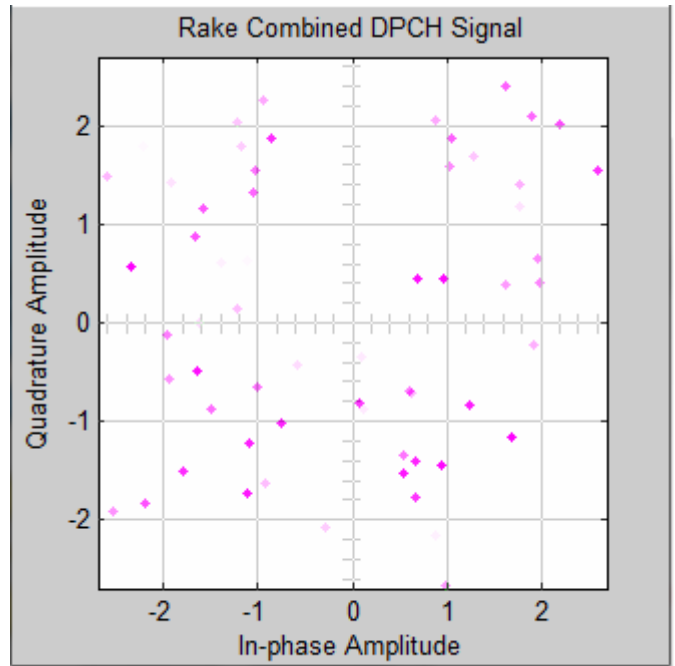


Enable Fingers=4, SNR=0, Terminal Speed=120

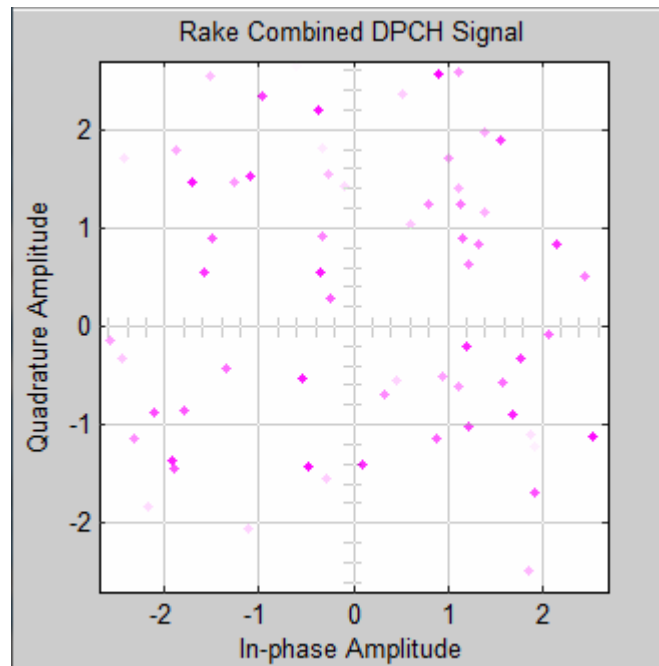




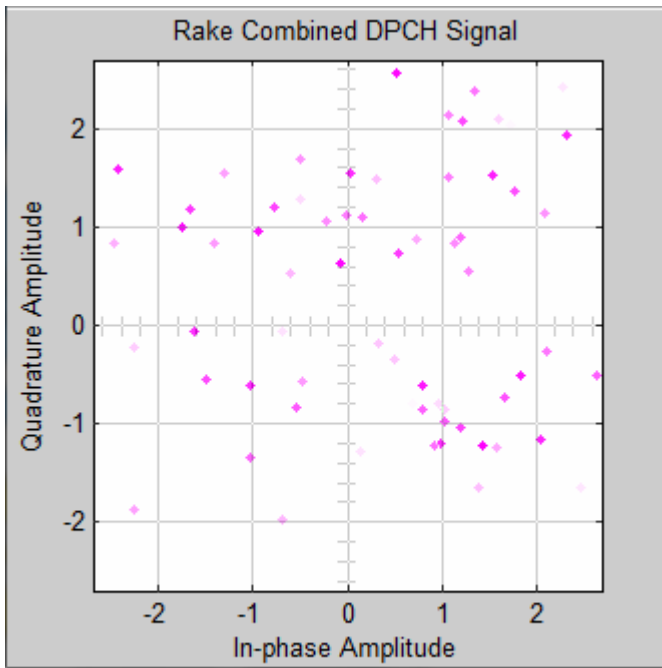
Enable Fingers=4, SNR=-3, Terminal Speed=3



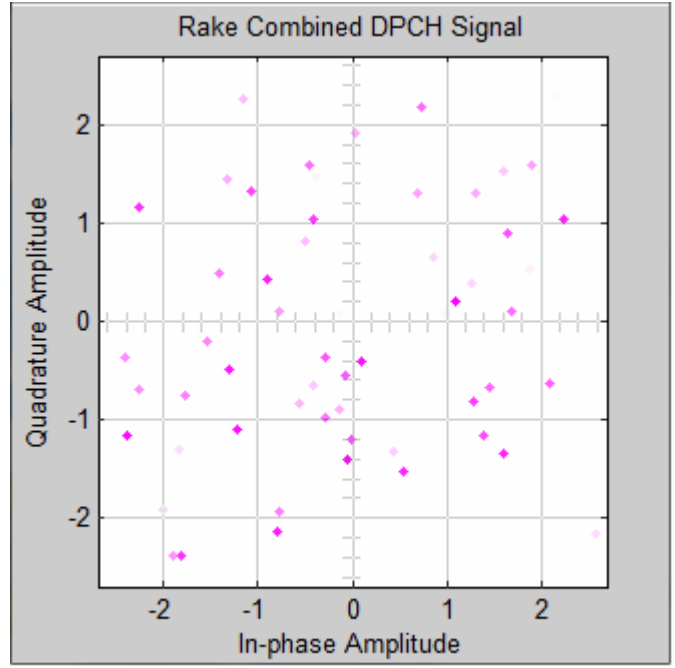
Enable Fingers=4, SNR=-3, Terminal Speed=50



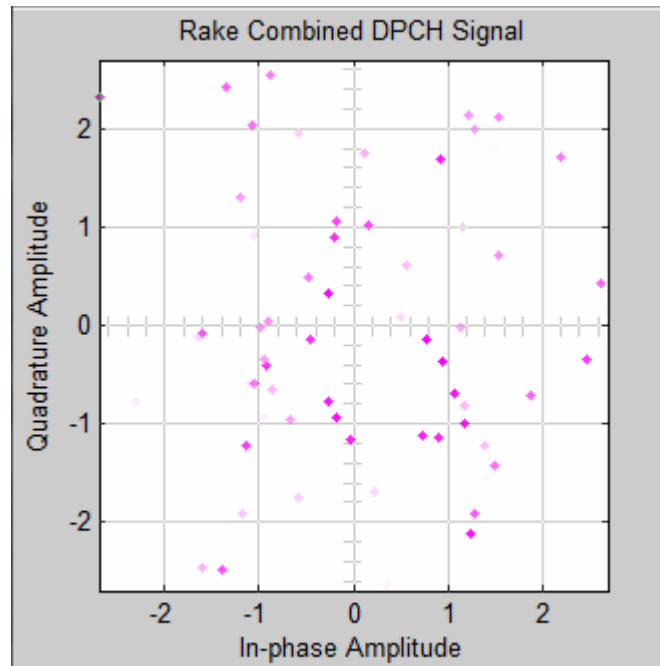
Enable Fingers=4, SNR=-3, Terminal Speed=120



Enable Fingers=4, SNR=-10, Terminal Speed=3



Enable Fingers=4, SNR=-10, Terminal Speed=50



Enable Fingers=4, SNR=-10, Terminal Speed=120

## § 4.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης του μοντέλου “WCDMA End-to-End Physical Layer”

Στους πίνακες που ακολουθούν έχουν καταγραφεί τα αποτελέσματα των μετρήσεων του Block Error Rate, DTCH Bit Error Rate και DCCH Bit Error Rate αλλάζοντας κάθε φορά τις παραμέτρους του DL Measurement channels, του SNR(dB) και του Speed of Terminal. Η παράμετρος DL Measurement channels επιλέγεται σύμφωνα με την αντίστοιχη υπηρεσία που θέλουμε να προσομοιώσουμε:

12.2 kbps: Φωνητική κλήση, με Spreading Factor 128

64 kbps: Video κλήση, με Spreading Factor 32

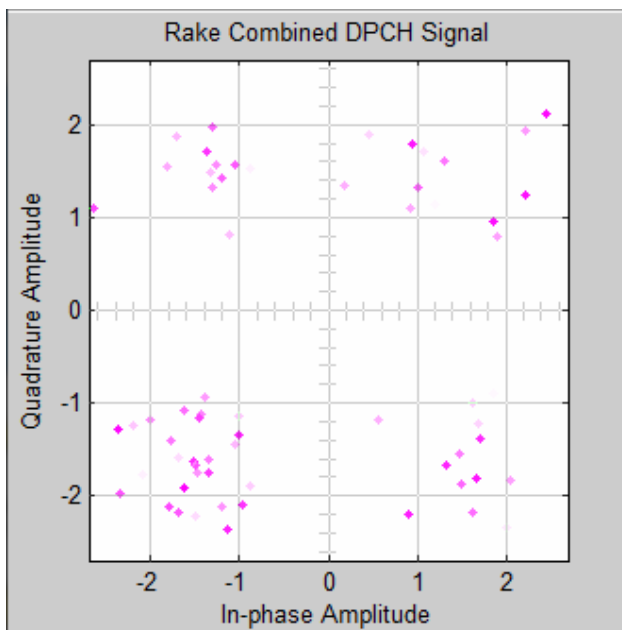
144 kbps: Internet browsing, με Spreading Factor 16

384 kbps: Broadband internet (web TV, video streaming κτλ) , με Spreading Factor 8

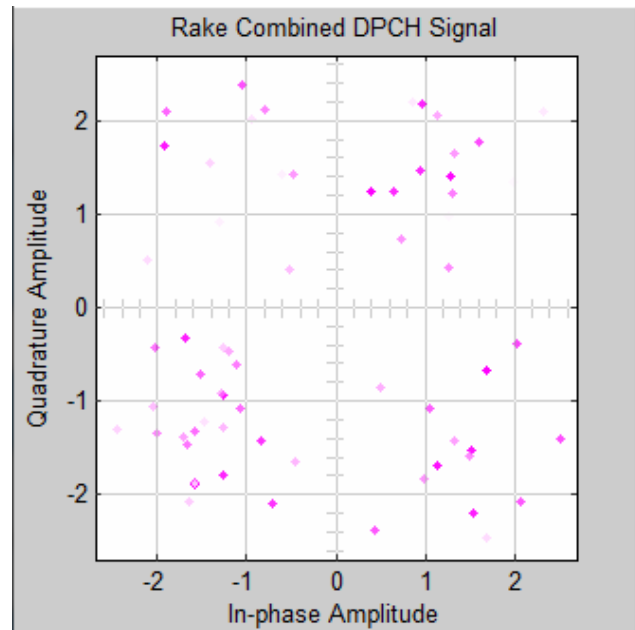
Η τιμή των SNR, Speed of Terminal και χρόνου προσομοίωσης ορίζονται με τη λογική του προηγούμενου μοντέλου προσομοίωσης. Λόγω του ότι μελετάμε αυτό το μοντέλο μόνο για δέκτη με 4 fingers οι τιμές του Relative Delay of Rx signals παραμένουν σταθερές. Αντιθέτως οι τιμές των Average Powers of Rx signals αλλάζουν ανάλογα με την ταχύτητα της κινητής μονάδας, όπως ακριβώς και στο προηγούμενο μοντέλο. Με τον ίδιο τρόπο απεικονίζονται και τα διαγράμματα αστερισμού του σήματος στην έξοδο του RAKE δέκτη.

### § 4.2.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης για ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 12.2 kbps

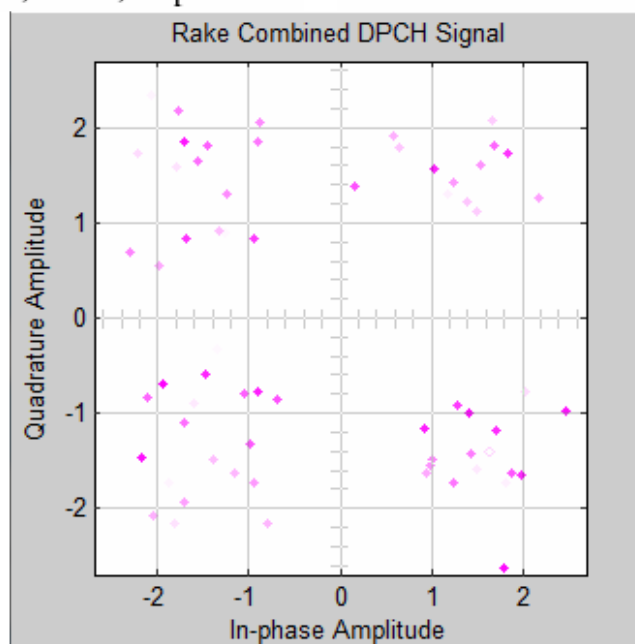
DL Measurement channels = 12,2 kbps	SNR(dB)	Speed of Terminal								
		3 Km/h			50 Km/h			120 Km/h		
		BLER	DTCH BER	DCCH BER	BLER	DTCH BER	DCCH BER	BLER	DTCH BER	DCCH BER
0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-10	16,9%	2,93%	2,73%	57,4%	9,33%	8,59%	100%	40,2%	40,6%	



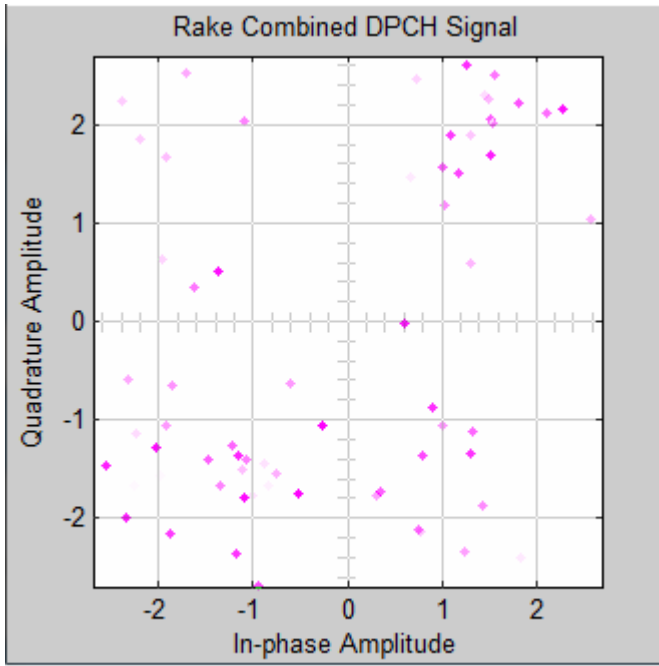
DL Measurement Ch.=12.2, SNR=0, T. Speed=3



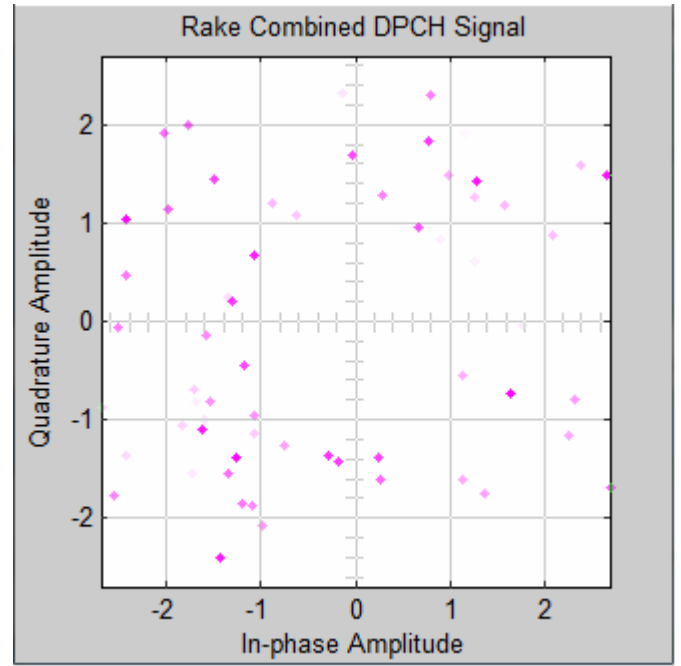
DL Measurement Ch.=12.2, SNR=0, T. Speed=50



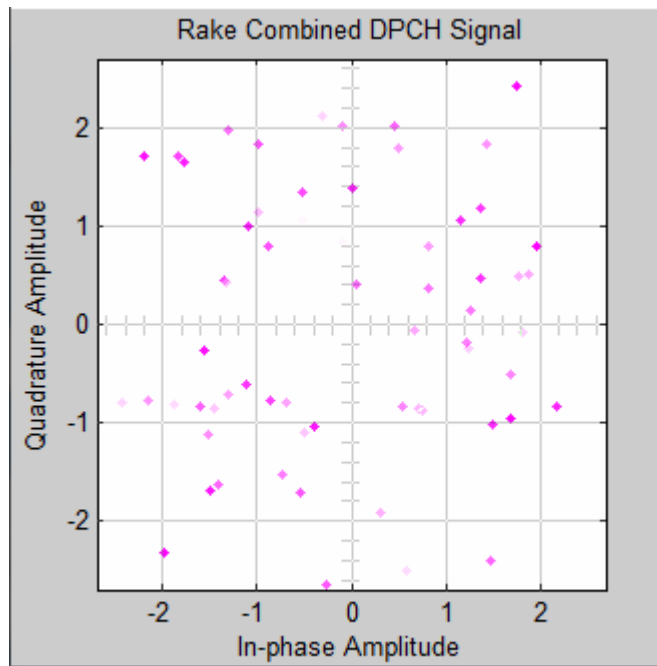
DL Measurement Ch.=12.2, SNR=0, T. Speed=120



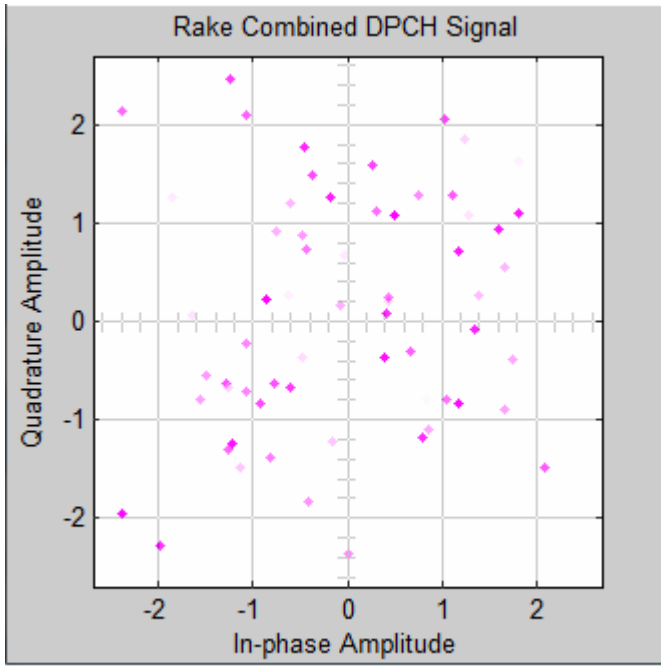
DL Measurement Ch.=12.2, SNR=-3, T. Speed=3



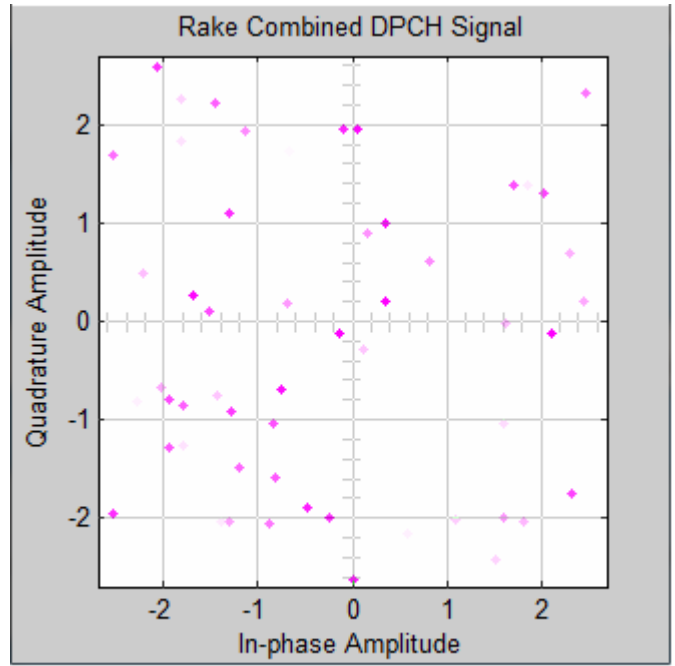
DL Measurement Ch.=12.2, SNR=-3, T. Speed=50



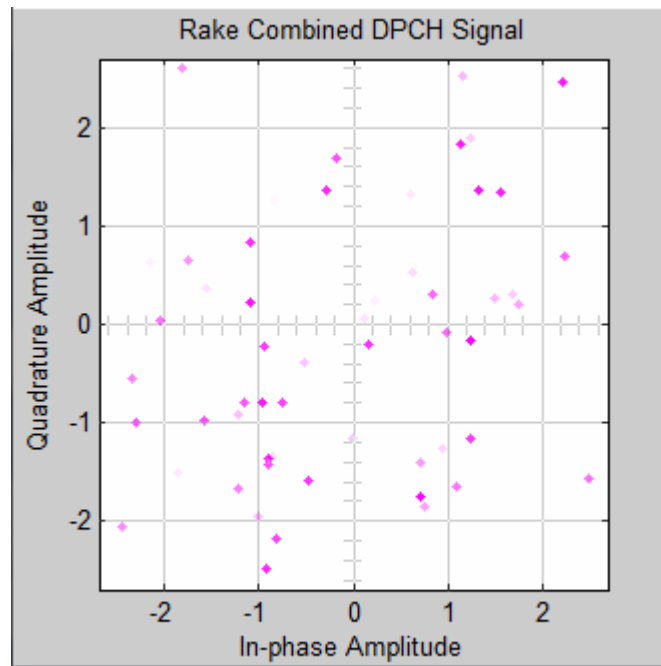
DL Measurement Ch.=12.2, SNR=-3, T. Speed=120



DL Measurement Ch.=12.2, SNR=-10, T. Speed=3



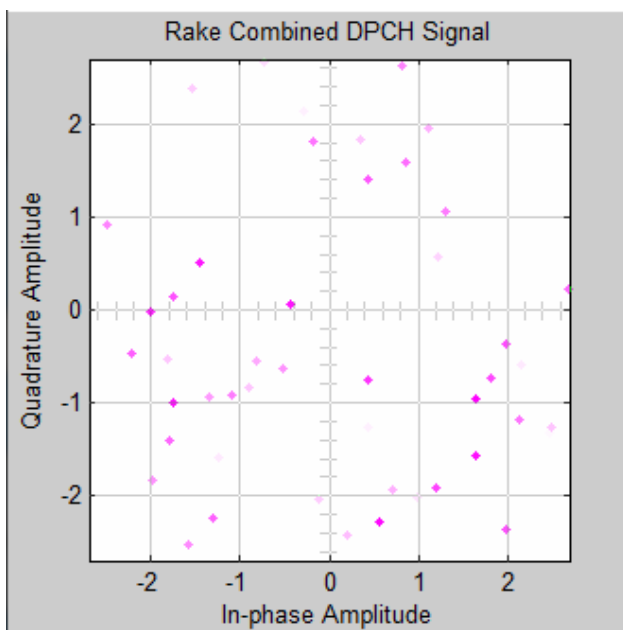
DL Measurement Ch.=12.2, SNR=-10, T. Speed=50



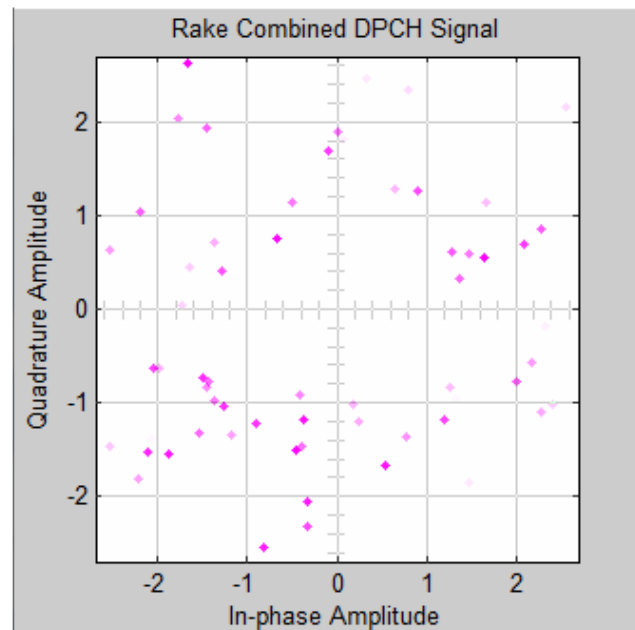
DL Measurement Ch.=12.2, SNR=-10, T. Speed=120

## § 4.2.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης για ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 64 kbps

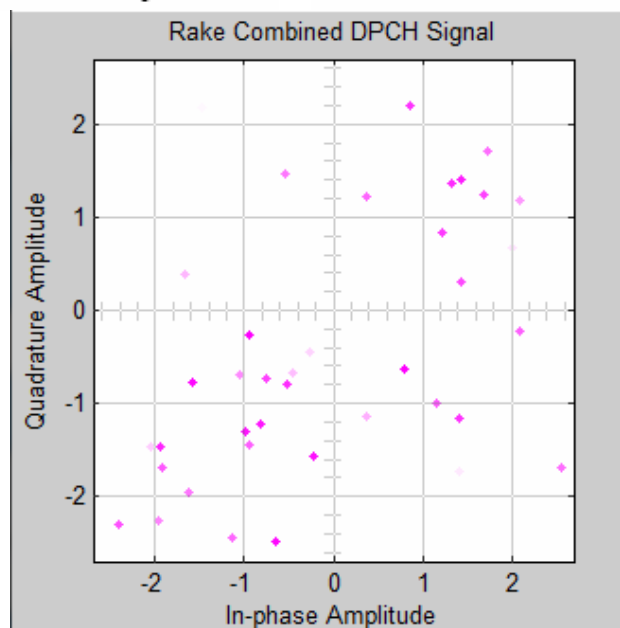
DL Measurement channels = 64 kbps	SNR(dB)	Speed of Terminal								
		3 Km/h			50 Km/h			120 Km/h		
		BLER	DTCH BER	DCCH BER	BLER	DTCH BER	DCCH BER	BLER	DTCH BER	DCCH BER
0	1,08%	0,06%	0%	1,08%	0,065%	0%	9%	0,09%	0%	
-3	4,58%	0,47%	0,11%	17,3%	0,49%	0,18%	79,5%	7,07%	4,76%	
-10	82,8%	23,7%	23%	100%	45,7%	44,4%	100%	49,7%	48,3%	



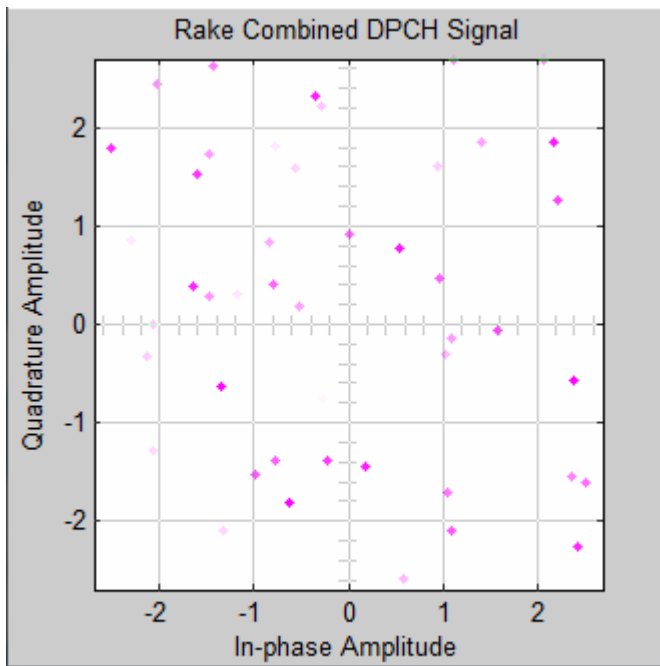
DL Measurement Ch.=64, SNR=0, T. Speed=3



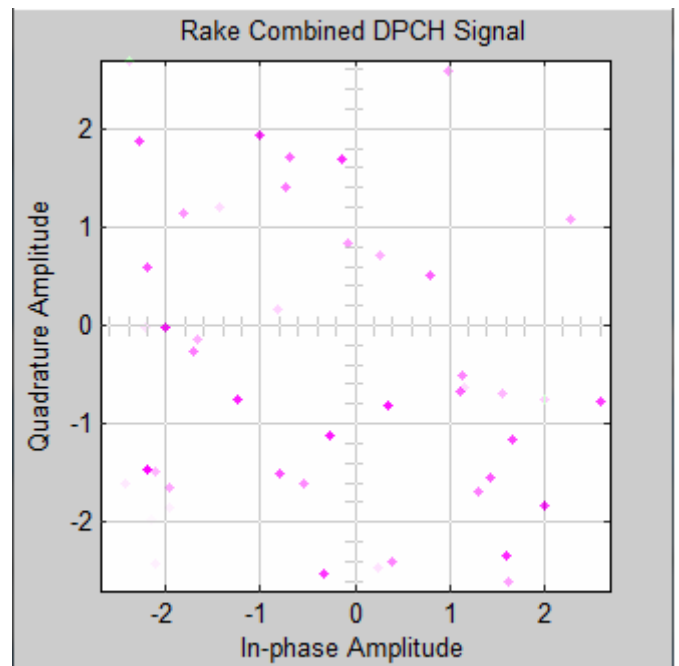
DL Measurement Ch.=64, SNR=0, T. Speed=50



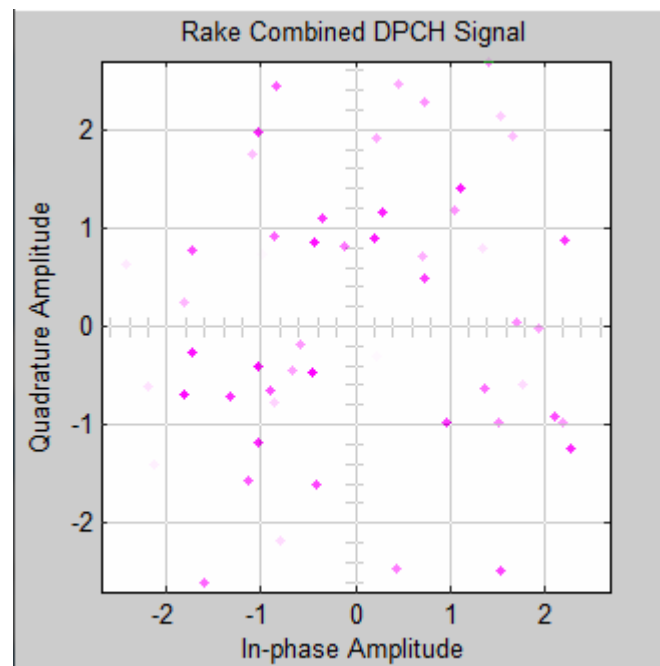
DL Measurement Ch.=64, SNR=0, T. Speed=120



DL Measurement Ch.=64, SNR=-3, T. Speed=3

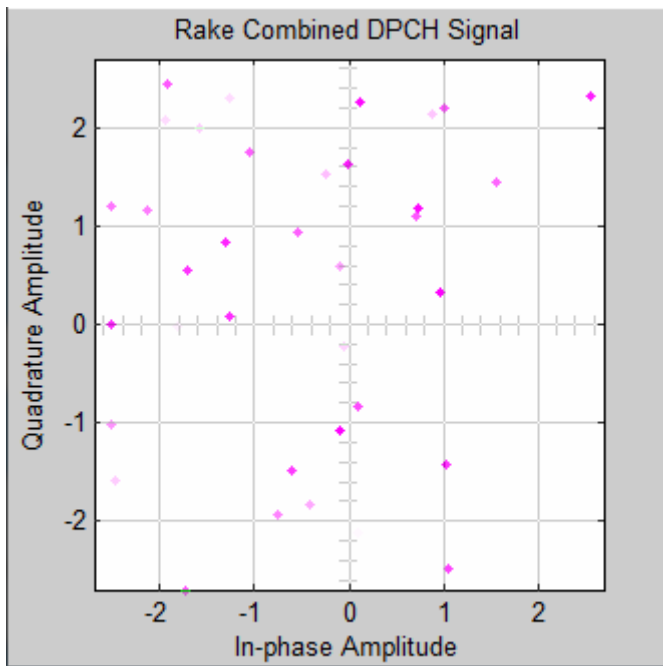


DL Measurement Ch.=64, SNR=-3, T. Speed=50

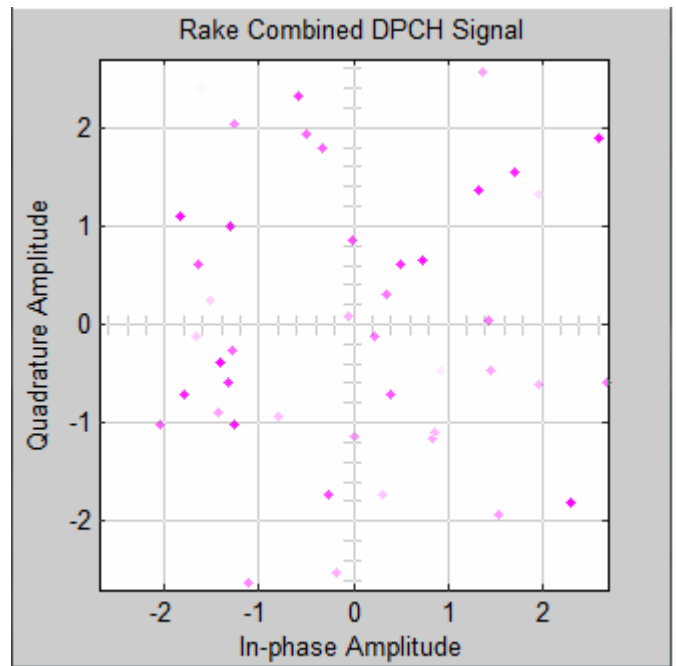


DL Measurement Ch.=64, SNR=-3, T. Speed=120

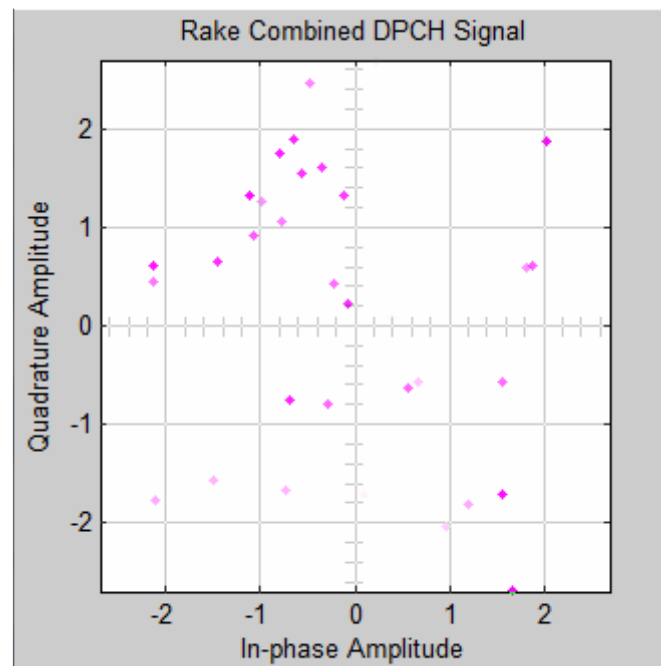




DL Measurement Ch.=64, SNR=-10, T. Speed=3



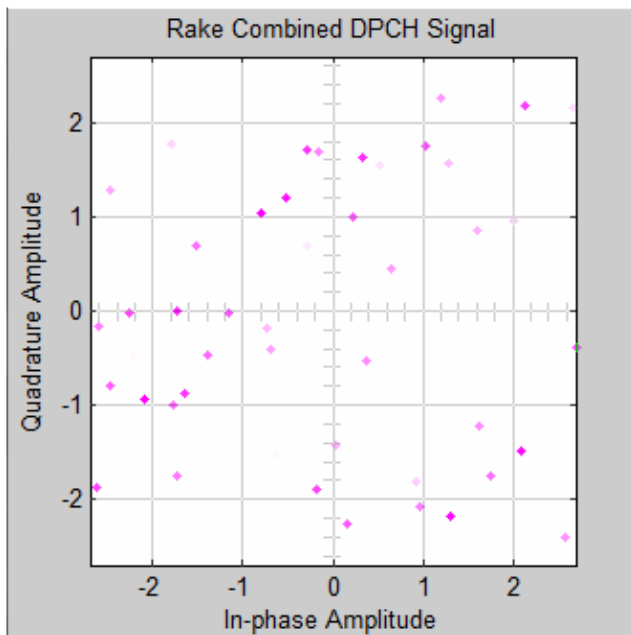
DL Measurement Ch.=64, SNR=-10, T. Speed=50



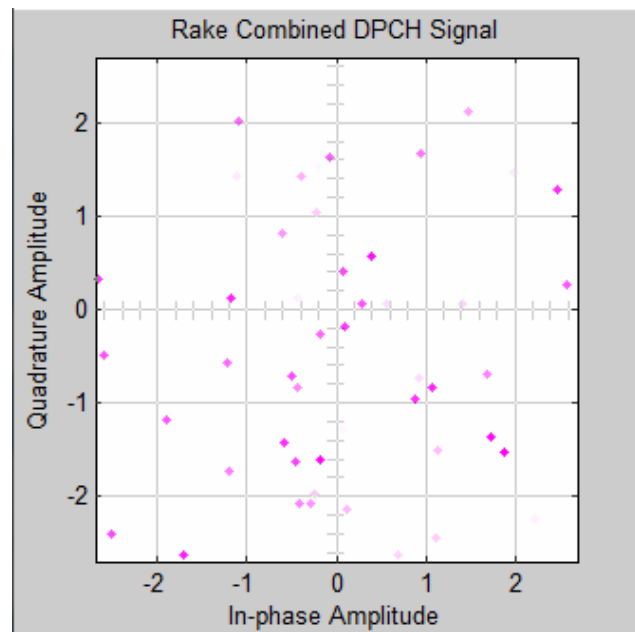
DL Measurement Ch.=64, SNR=-10, T. Speed=120

### § 4.2.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης για ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 144 kbps

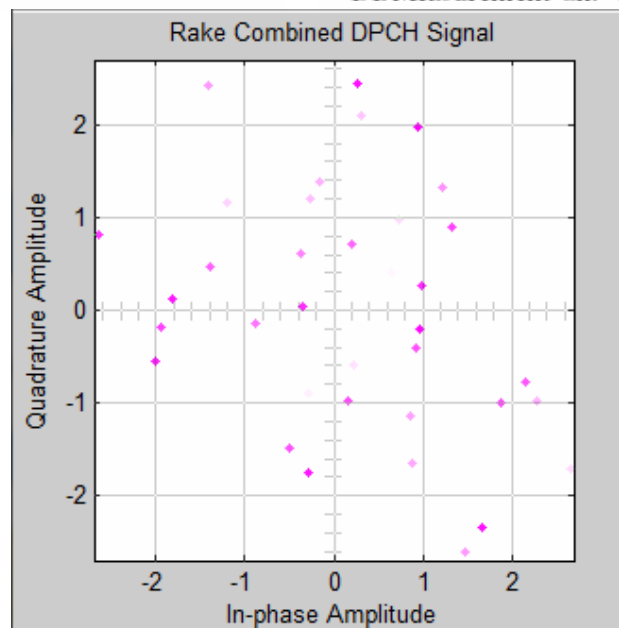
DL Measurement channels = 144 kbps	SNR(dB)	Speed of Terminal								
		3 Km/h			50 Km/h			120 Km/h		
		BLER	DTCH BER	DCCH BER	BLER	DTCH BER	DCCH BER	BLER	DTCH BER	DCCH BER
0	43,4%	1,14%	0,97%	67,9%	2,35%	2,03%	93%	16%	14,7%	
-3	70,6%	6,56%	6,7%	94,6%	18,5%	17%	99,7%	42,1%	39%	
-10	99,7%	44,4%	44,4%	100%	49,5%	49,5%	100%	49,9%	49,7%	



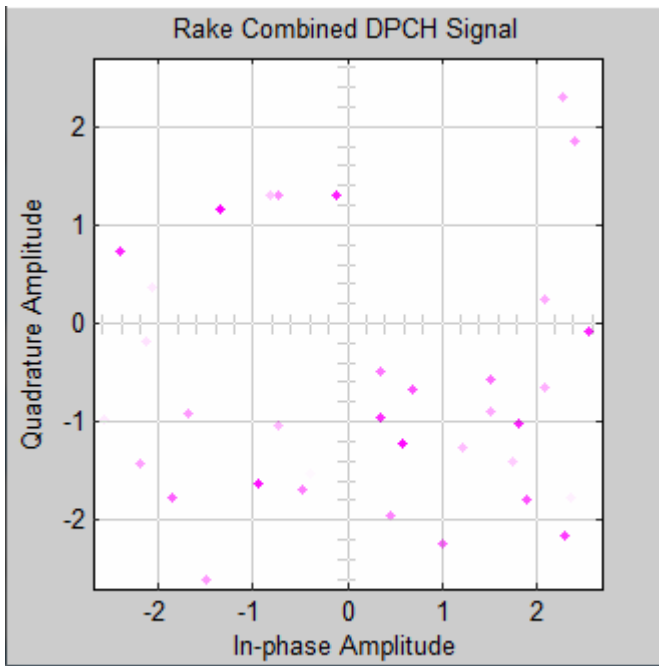
DL Measurement Ch.=144, SNR=0, T. Speed=3



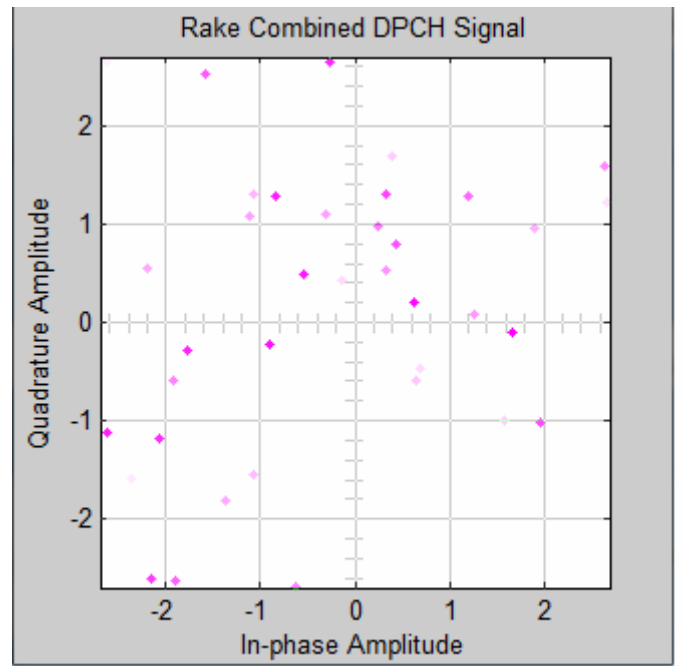
DL Measurement Ch.=144, SNR=0, T. Speed=50



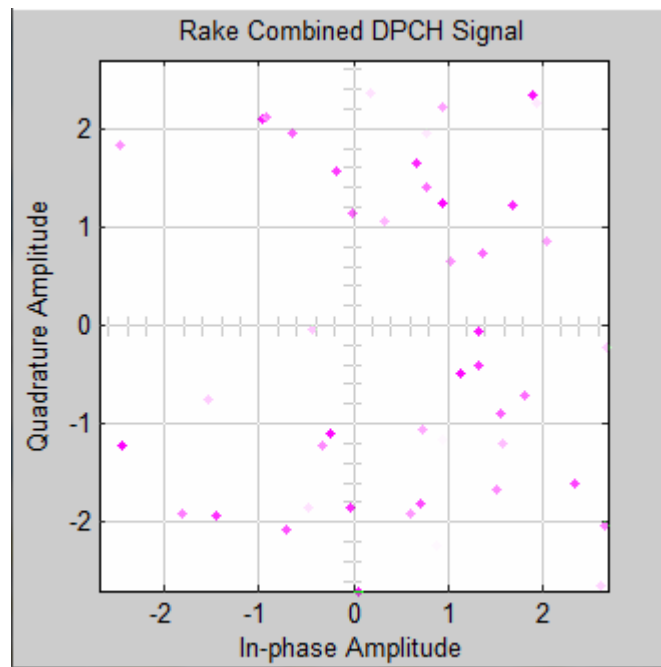
DL Measurement Ch.=144, SNR=0, T. Speed=120



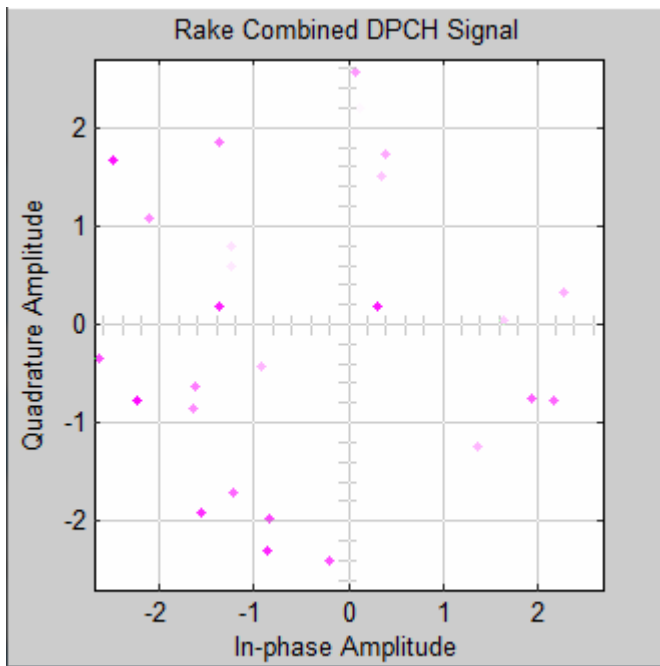
DL Measurement Ch.=144, SNR=-3, T. Speed=3



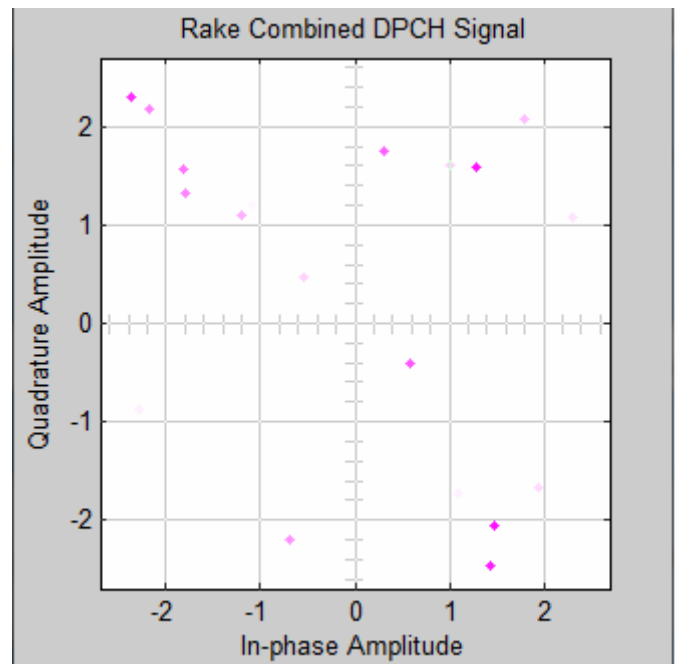
DL Measurement Ch.=144, SNR=-3, T. Speed=50



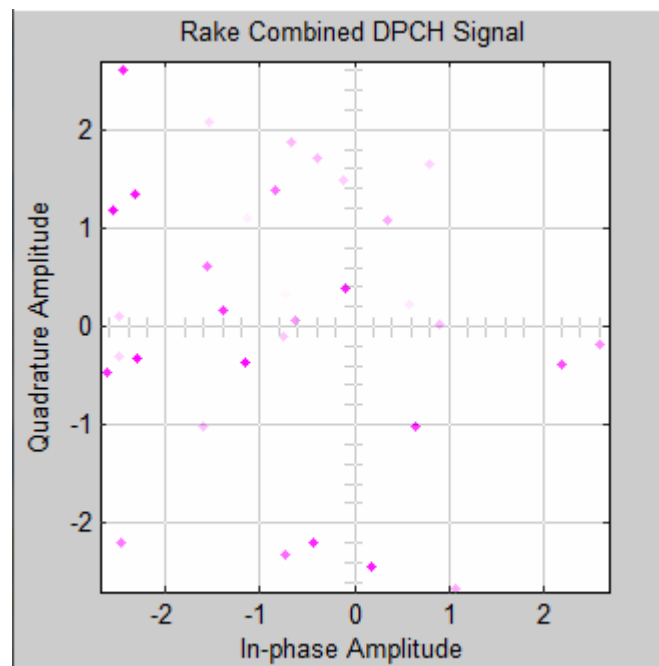
DL Measurement Ch.=144, SNR=-3, T. Speed=120



DL Measurement Ch.=144, SNR=-10, T. Speed=3



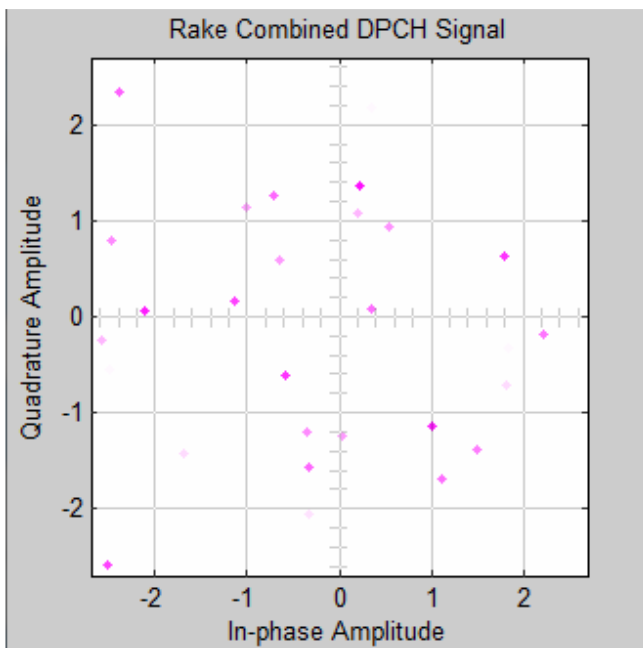
DL Measurement Ch.=144, SNR=-10, T. Speed=50



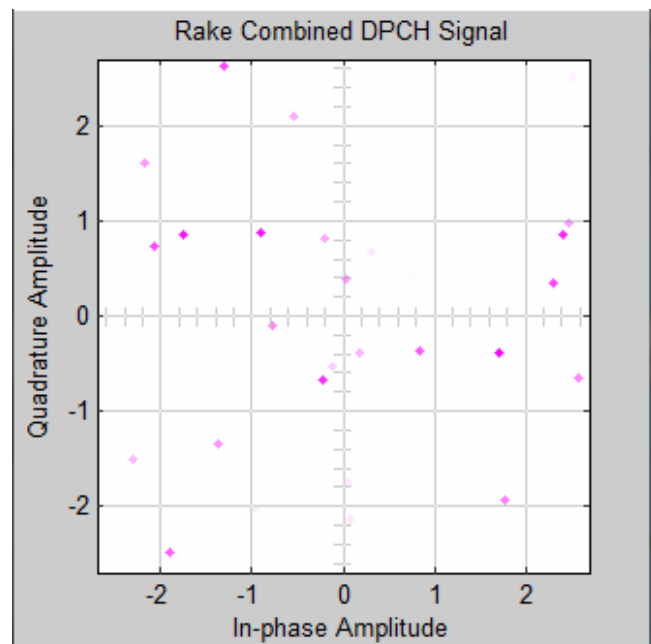
DL Measurement Ch.=144, SNR=-10, T. Speed=120

## § 4.2.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης για ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 384 kbps

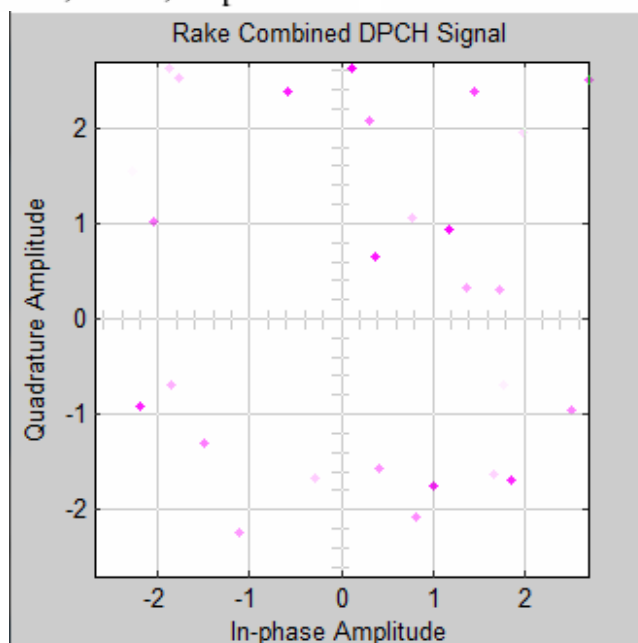
DL Measurement channels = 384 kbps	SNR(dB)	Speed of Terminal								
		3 Km/h			50 Km/h			120 Km/h		
		BLER	DTCH BER	DCCH BER	BLER	DTCH BER	DCCH BER	BLER	DTCH BER	DCCH BER
0	100%	39,2%	32,5%	99,8%	44,5%	43,7%	100%	48,4%	47,8%	
-3	100%	45,1%	41,3%	100%	48,4%	48,4%	100%	49,6%	49,1%	
-10	100%	49,8%	49,2%	100%	49,9%	49,9%	100%	50%	49%	



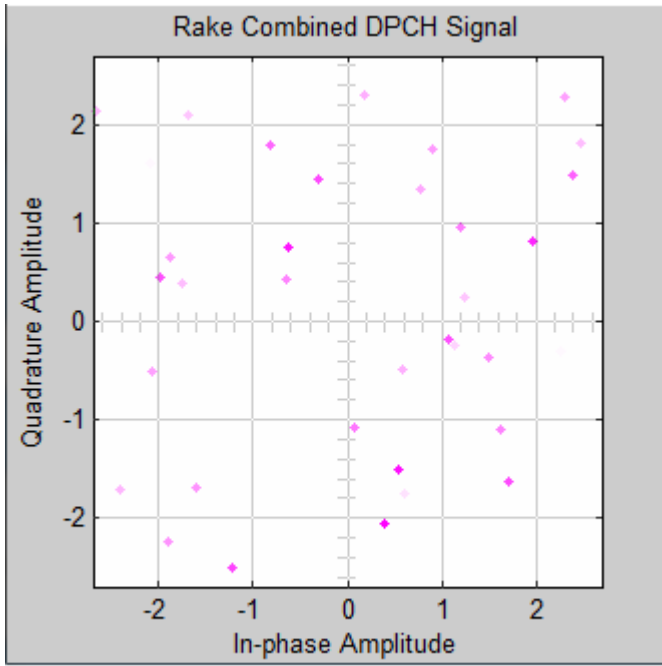
DL Measurement Ch.=384, SNR=0, T. Speed=3



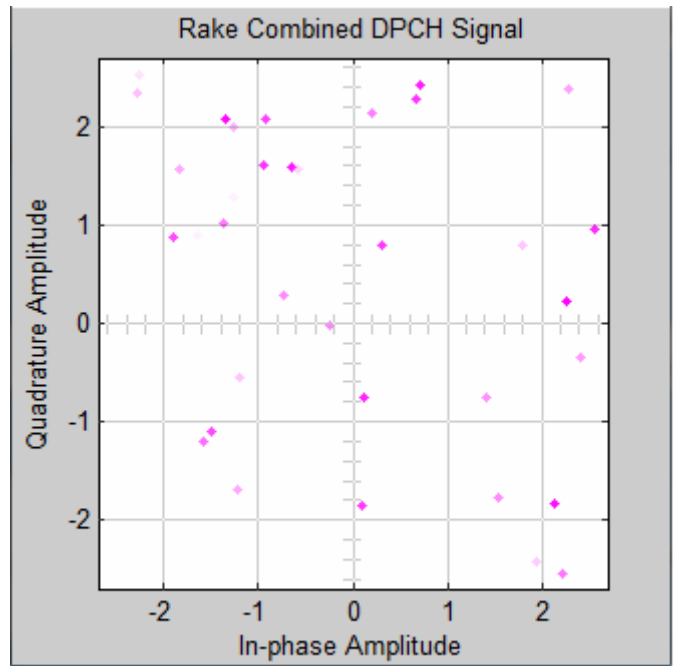
DL Measurement Ch.=384, SNR=0, T. Speed=50



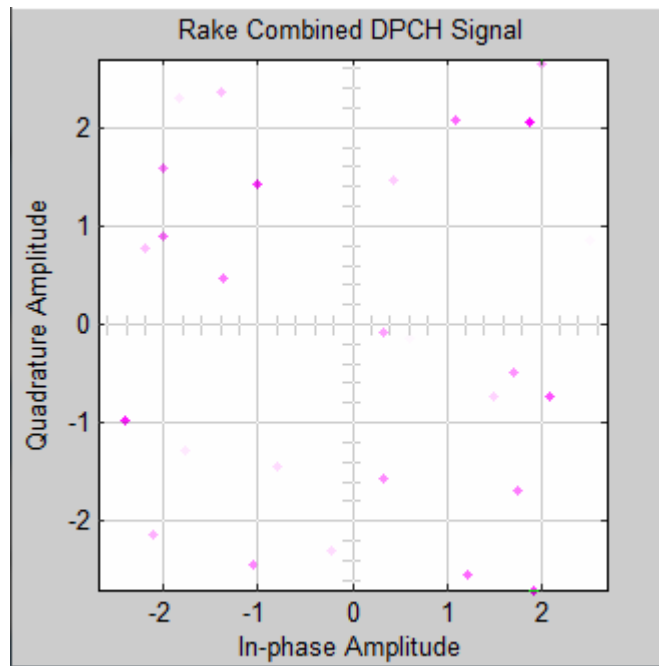
DL Measurement Ch.=384, SNR=0, T. Speed=120



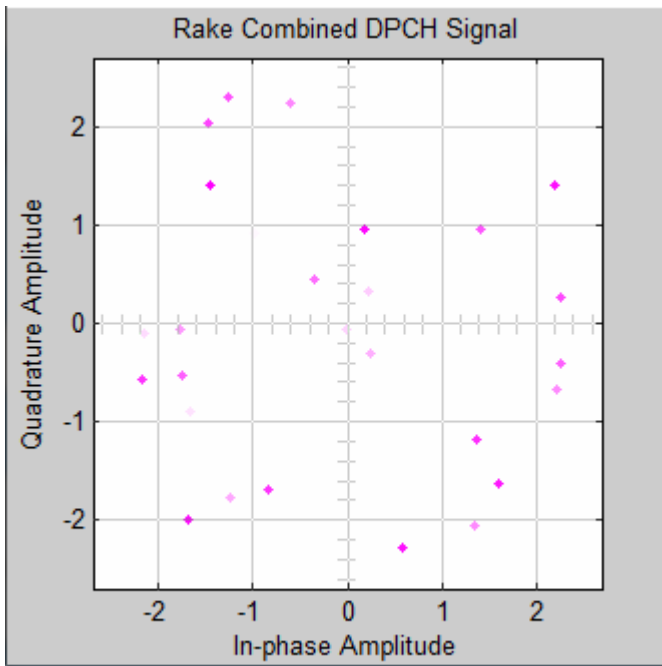
DL Measurement Ch.=384, SNR=-3, T. Speed=3



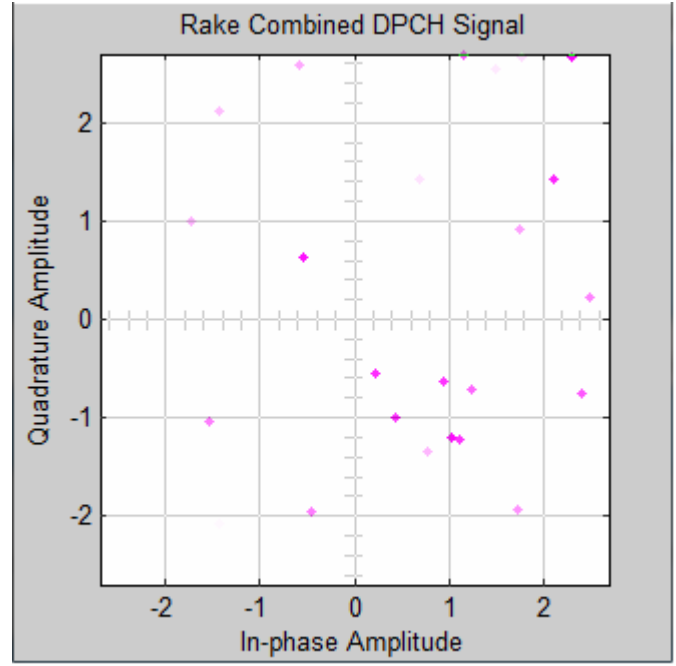
DL Measurement Ch.=384, SNR=-3, T. Speed=50



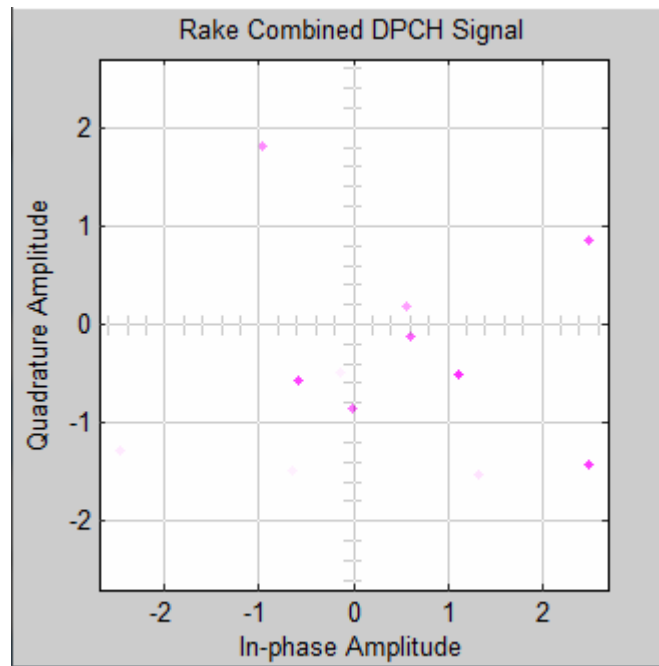
DL Measurement Ch.=384, SNR=-3, T. Speed=120



DL Measurement Ch.=384, SNR=-10, T. Speed=3



DL Measurement Ch.=384, SNR=-10, T. Speed=50



DL Measurement Ch.=384, SNR=-10, T. Speed=120

### § 4.2.5 Ανάλυση των DL Measurement Channels

Data Rate - Bit Rate (kbps)	Spreading Factor	Bits/Slot	Chips/Slot	Symbol Rate (kbps)	Processing Gain (dB)
12,2	128	122	15616	30	25
64	32	640	20480	120	18
144	16	1440	23040	240	14
384	8	3840	30720	480	10



# 5 Ο Κεφάλαιο

## Συμπεράσματα

## § 5.1 Το μοντέλο “WCDMA Spreading and Modulation” και ο RAKE δέκτης

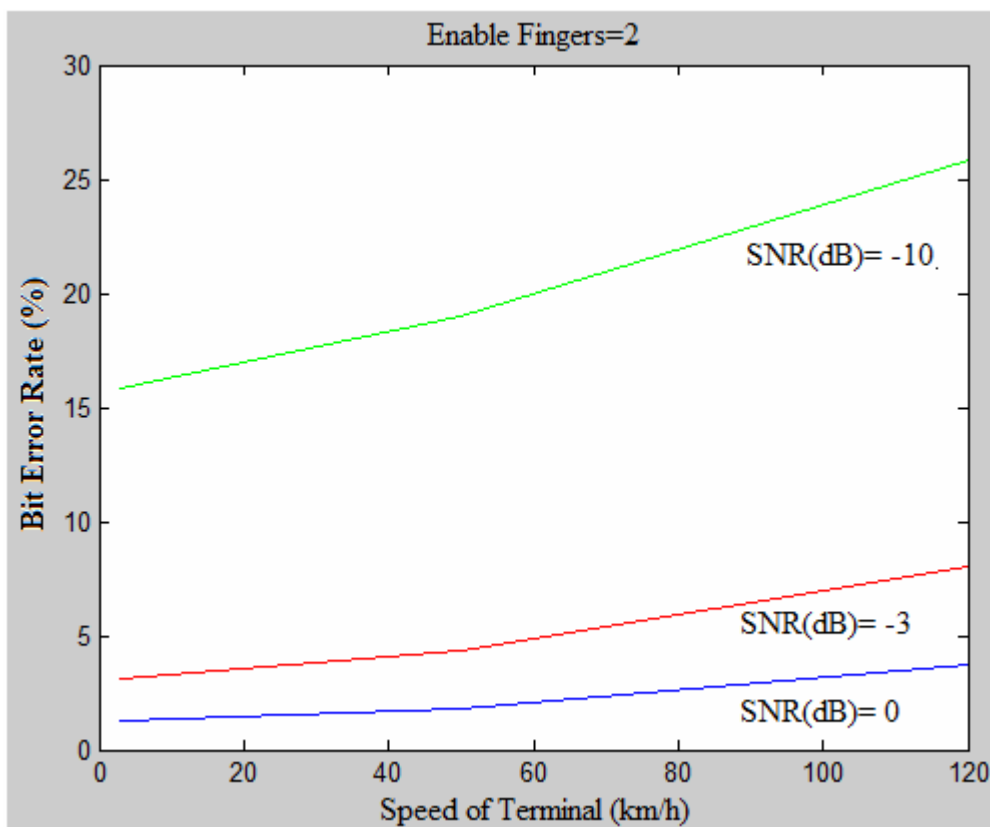
Σκοπός της προσομοίωσης αυτής είναι η μελέτη της συμπεριφοράς του RAKE δέκτη υπό διάφορες συνθήκες αστικής περιοχής και το πώς αυτός μπορεί να αντεπεξέλθει σε περιβάλλοντα με πολύ χαμηλό σηματοθορυβικό λόγο που φτάνει έως και τα -20dB, αυξάνοντας τον αριθμό των fingers.

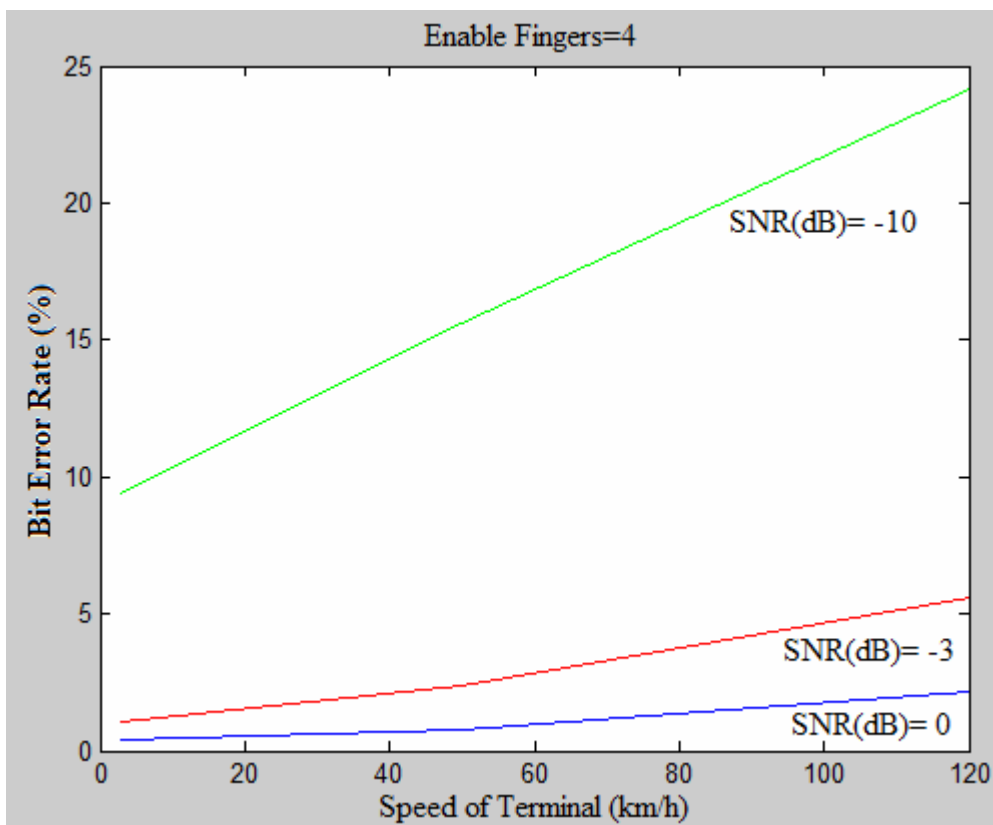
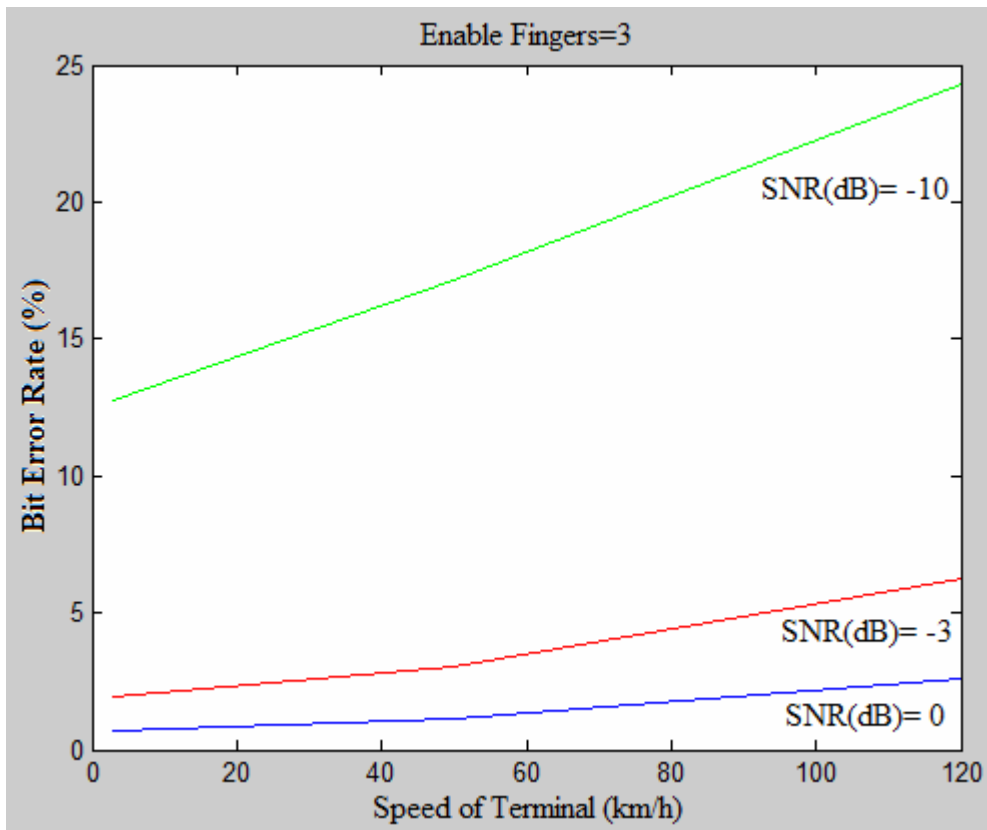
Πιο συγκεκριμένα, στις μετρήσεις μας παρατηρούμε ότι για σταθερή τιμή SNR και όσο αυξάνεται η ταχύτητα της κινητής μονάδας, αυξάνεται και η πιθανότητα λανθασμένων bit (BER). Αυτό είναι αποτέλεσμα της ολίσθησης της συχνότητας λόγω του φαινομένου Doppler. Από τη θεωρία γνωρίζουμε ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα της κινητής μονάδας, παρουσιάζονται περισσότερα και βαθύτερα fading deers, λόγω της ολίσθησης, με συνέπεια την μείωση της στάθμης του σήματος στο κανάλι. Έτσι, η επικοινωνία σε μεγάλες ταχύτητες καθίσταται δυσκολότερη. Παράλληλα, παρατηρούμε ότι κρατώντας μία σταθερή ταχύτητα και μειώνοντας τον σηματοθορυβικό λόγο (SNR) έχουμε και πάλι αύξηση του BER. Παρ' όλα αυτά η σημαντικότερη παράμετρος για το σύστημα που μελετάμε είναι ο αριθμός των ενεργών fingers. Βλέπουμε ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των fingers, τόσο μειώνεται το BER. Η μείωση αυτή είναι καθαρά αποτέλεσμα του τρόπου λειτουργίας του RAKE δέκτη καθώς με κάθε finger που προσθέτουμε συλλέγουμε και περισσότερες ανακλάσεις του κυρίως μεταδιδόμενου σήματος.

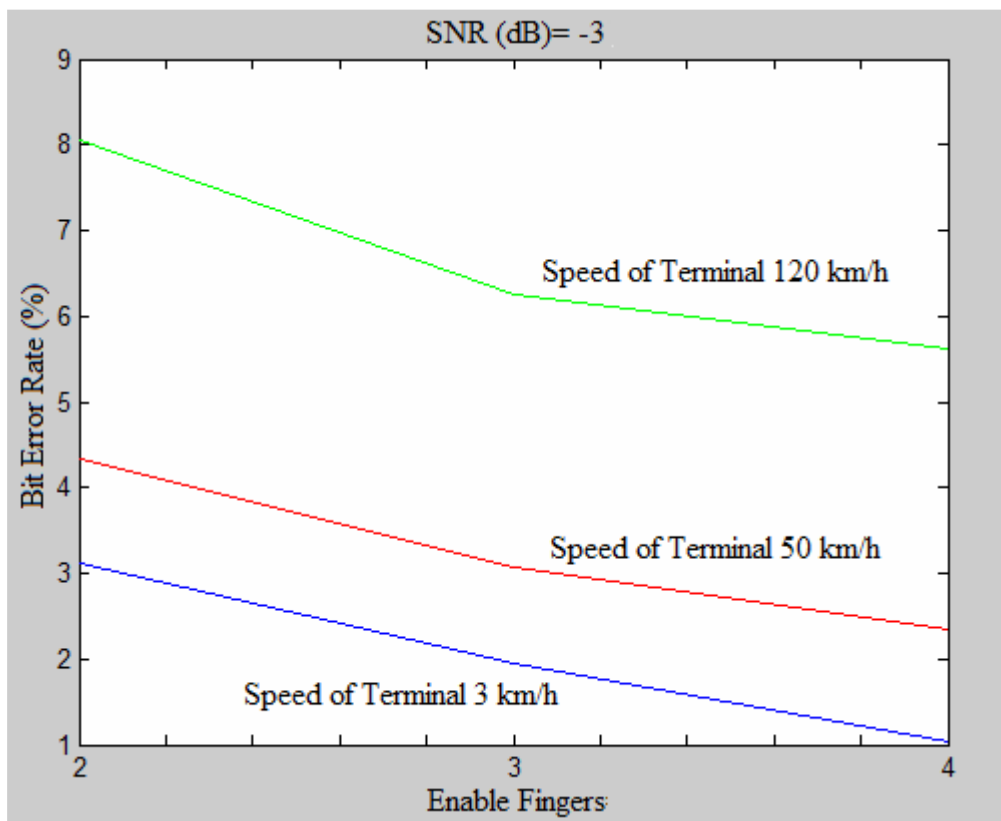
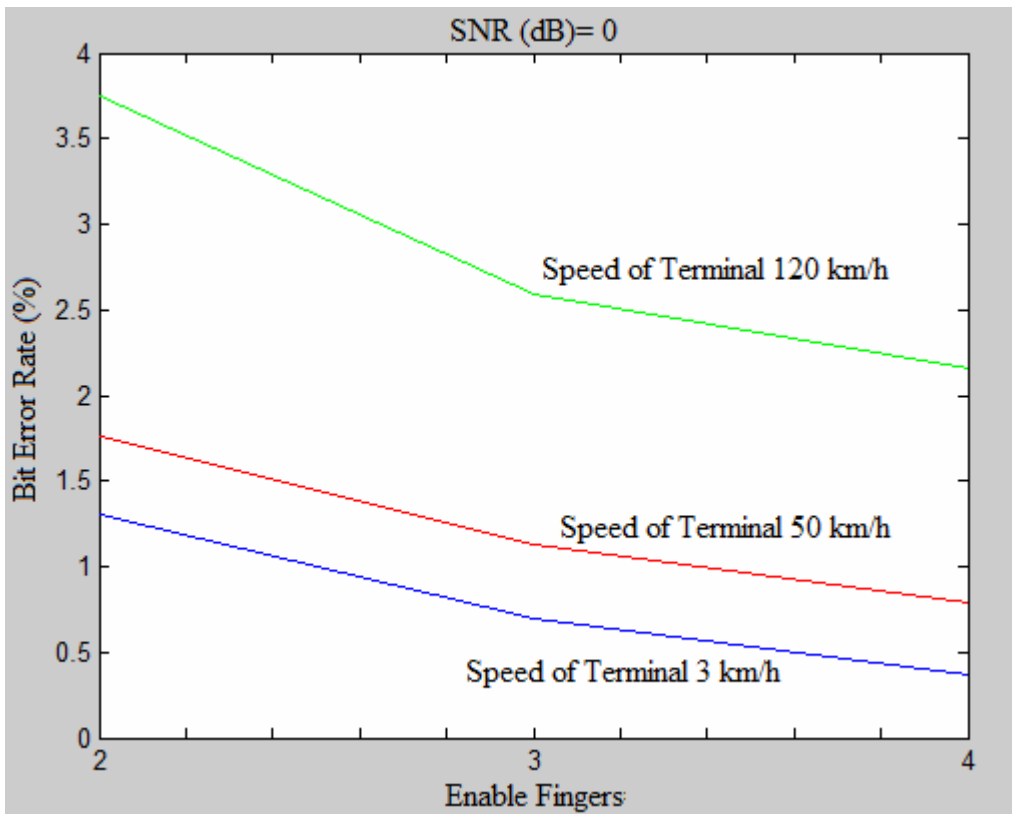
Η μελέτη αυτού του μοντέλου μας δείχνει ότι η χρήση του RAKE δέκτη δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα στο WCDMA έναντι του GSM, επιτρέποντας έτσι την επίτευξη επικοινωνίας και πολύ απαιτητικών υπηρεσιών, όπως το broadband internet, σε δυσμενείς συνθήκες διάδοσης.

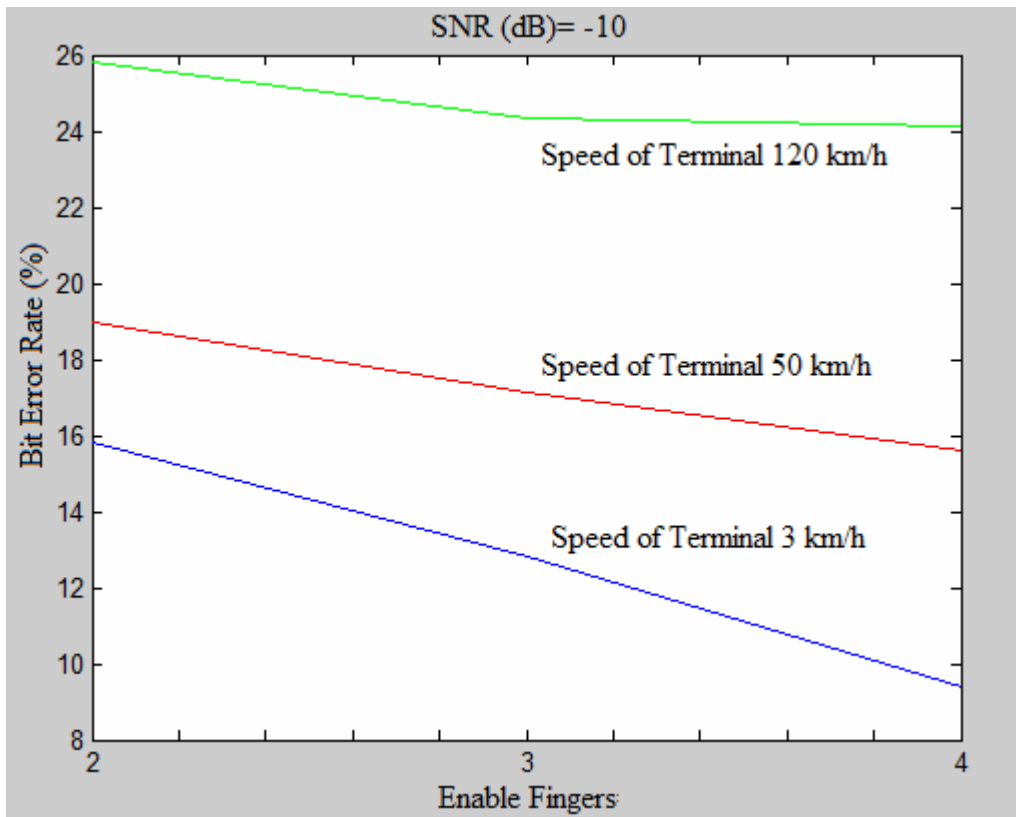
### § 5.1.1 Γραφικές απεικονίσεις αποτελεσμάτων

Παρακάτω φαίνονται οι γραφικές απεικονίσεις των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης που κατασκευάστηκαν στο Matlab, για την εξαγωγή σαφέστερων συμπερασμάτων.









## § 5.2 Το μοντέλο “WCDMA End-to-End Physical Layer” και ο Spreading Factor

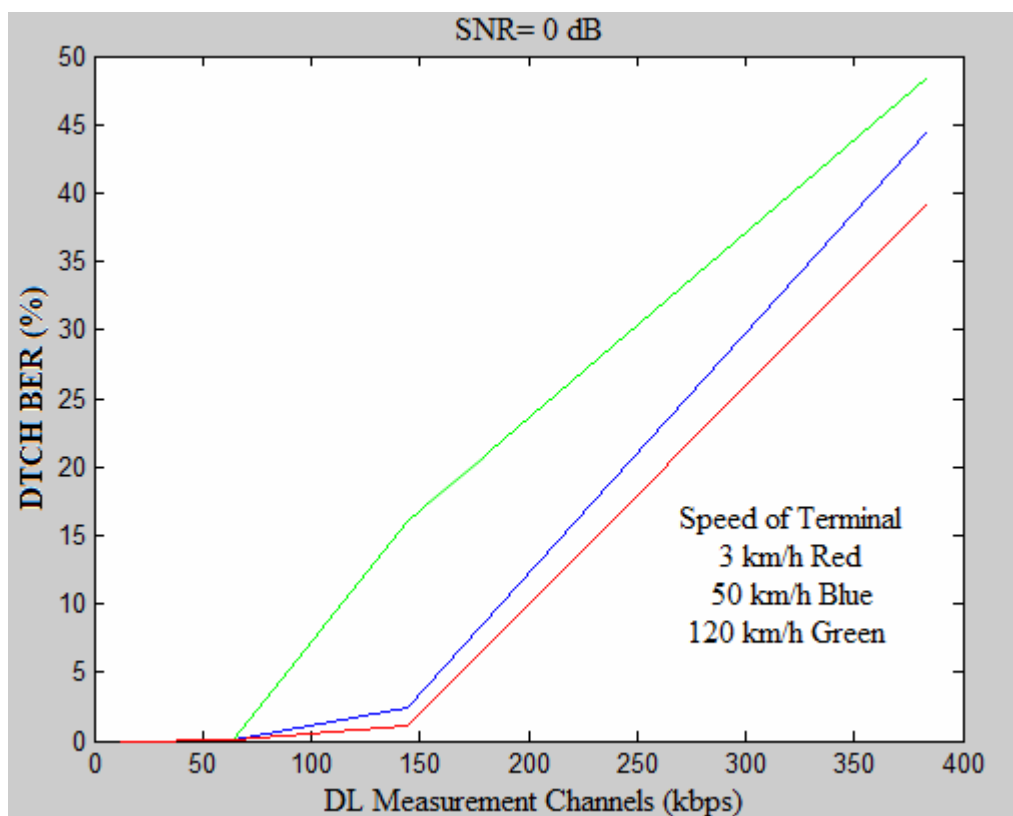
Σκοπός της προσομοίωσης αυτής είναι η μελέτη του Spreading Factor, το πώς αυτός διαφοροποιείται ανάλογα με την υπηρεσία που έχουμε και την επίδραση του στην ποιότητα της επικοινωνίας, υπό διάφορες συνθήκες αστικού περιβάλλοντος με πολύ χαμηλό σηματοθορυβικό λόγο που φτάνει έως και τα -20dB.

Οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα σχετικά με το SNR, την ταχύτητα της κινητής μονάδας και το πως αυτές επηρεάζουν το BER, είναι ίδια με αυτά του προηγούμενου μοντέλου (§ 5.1). Μελετώντας την διαδικασία του Spreading-Despreading, παρατηρούμε ότι η σημαντικότερη παράμετρος η οποία καθορίζει το Processing Gain και συνεπώς το BER, αλλά και το Data Rate (Bit Rate) είναι ο Spreading Factor. Παρατηρώντας τους πίνακες μετρήσεων του BER καθώς και τις γραφικές που ακολουθούν, βλέπουμε ότι για μικρό Spreading Factor έχουμε υψηλό Data Rate, καθώς στο WCDMA το Chip Rate είναι σταθερό στα 3,84 Mcps. Έτσι, υψηλό Data Rate οδηγεί σε χαμηλό Processing Gain και κατά συνέπεια σε υψηλό BER.

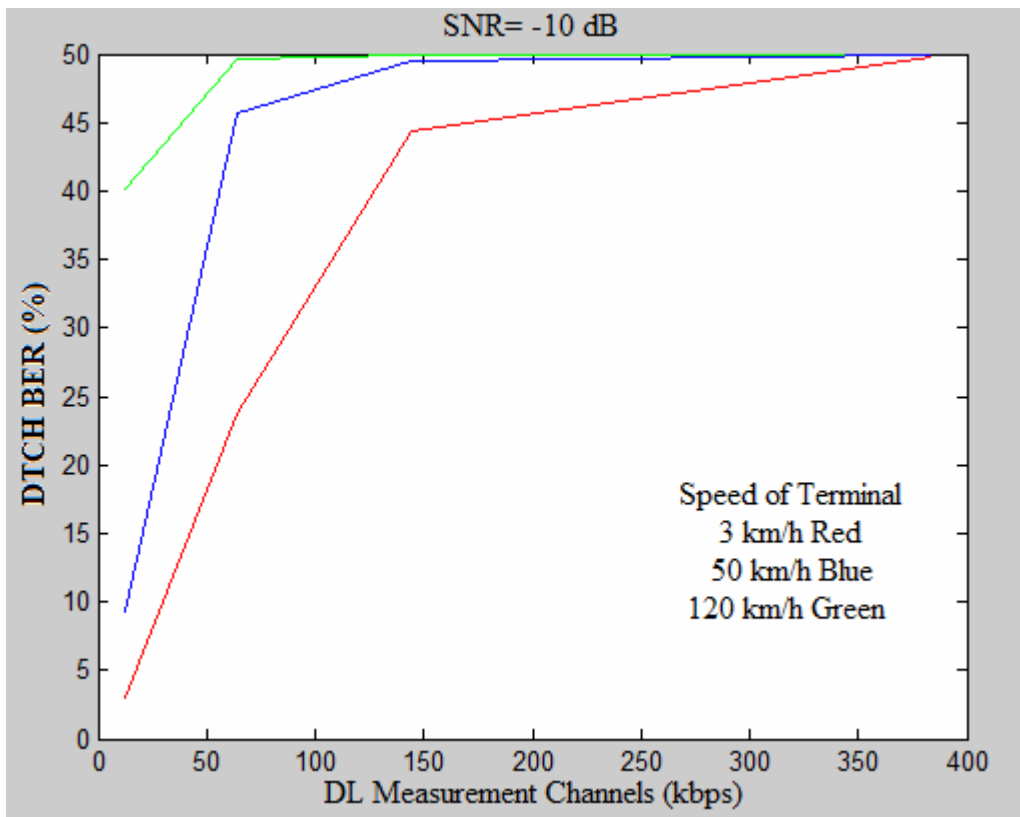
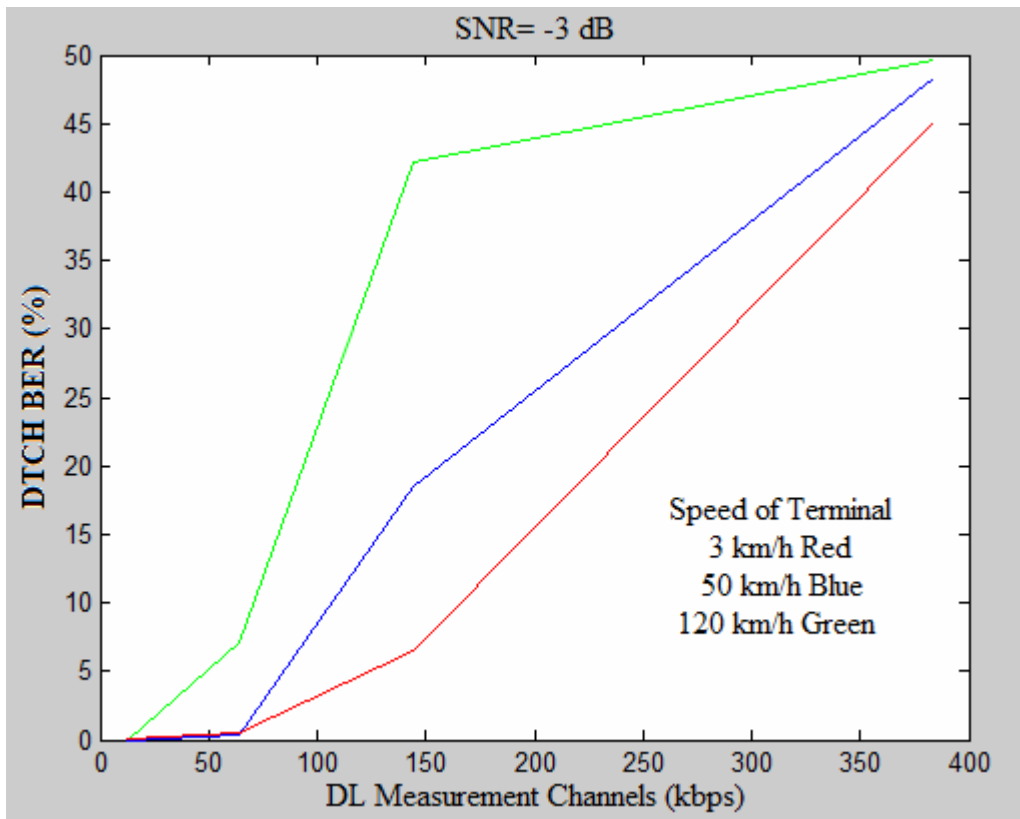
Η μελέτη αυτού του μοντέλου μας δείχνει ότι ο Spreading Factor πρέπει να μεταβάλλεται ανάλογα με τις απαιτήσεις (Data Rate) της κάθε υπηρεσίας.

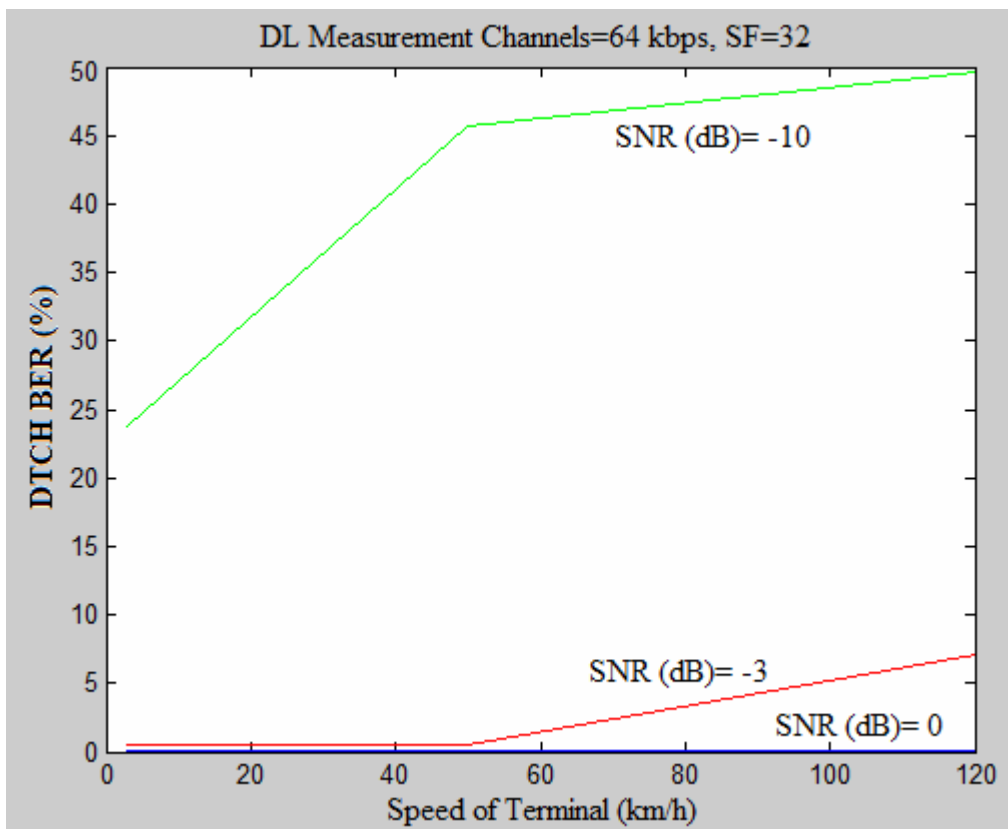
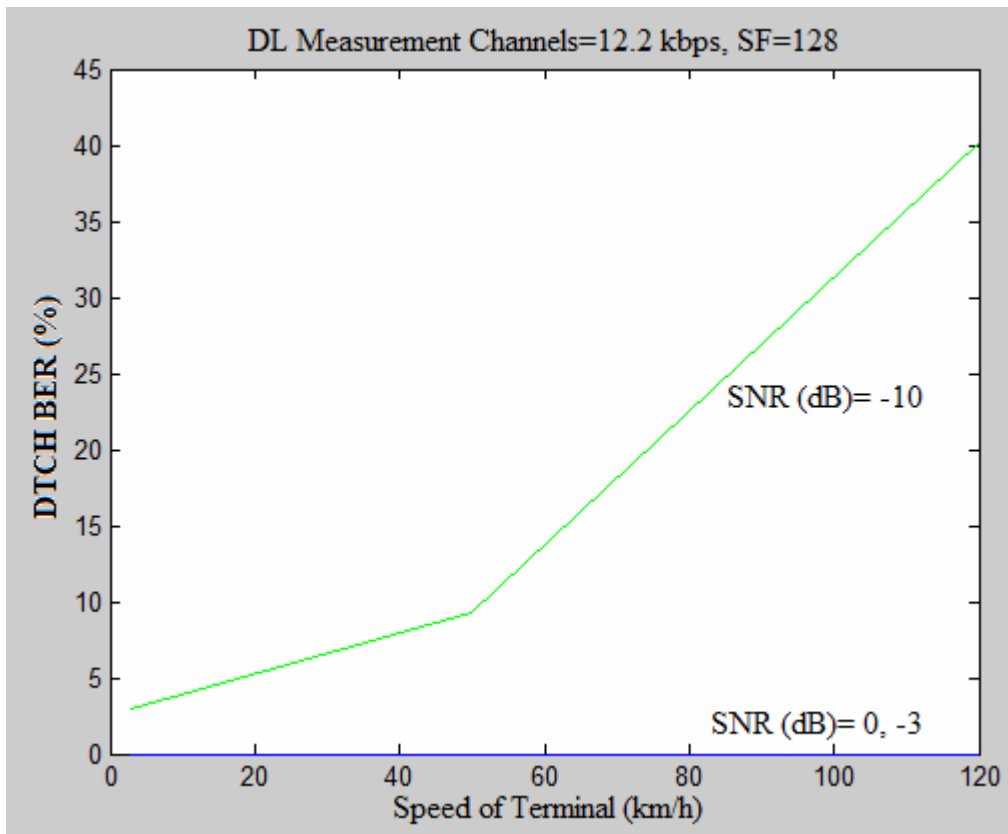
### § 5.2.1 Γραφικές απεικονίσεις αποτελεσμάτων

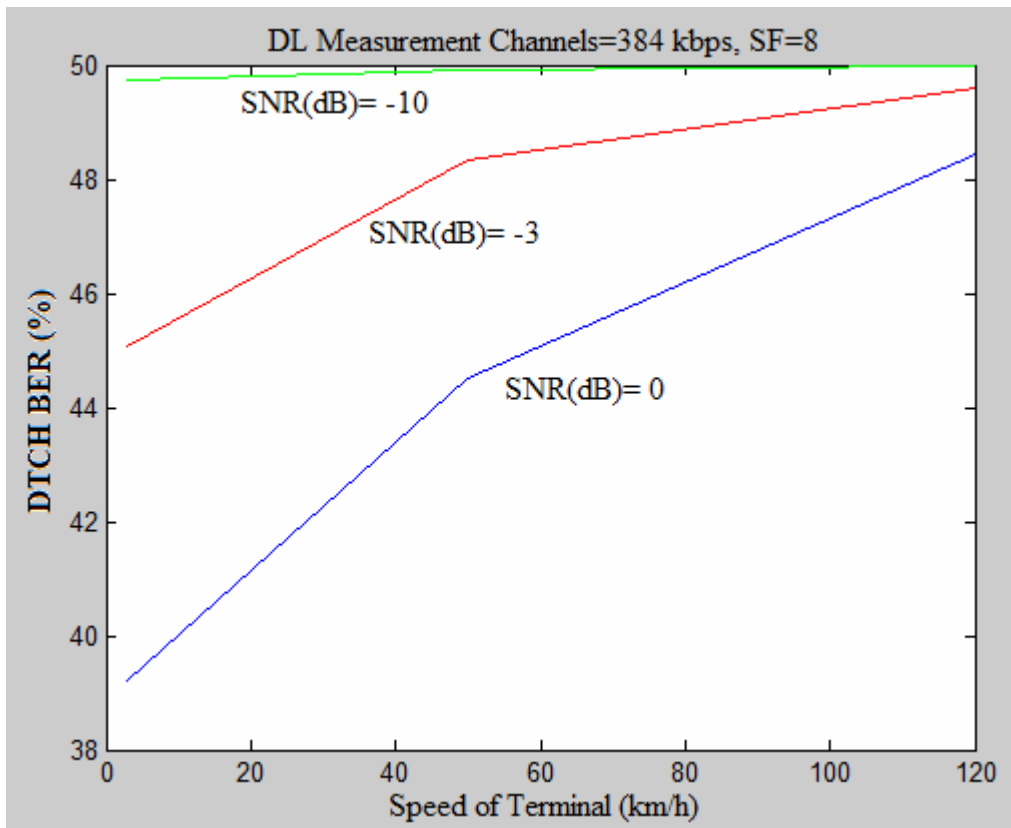
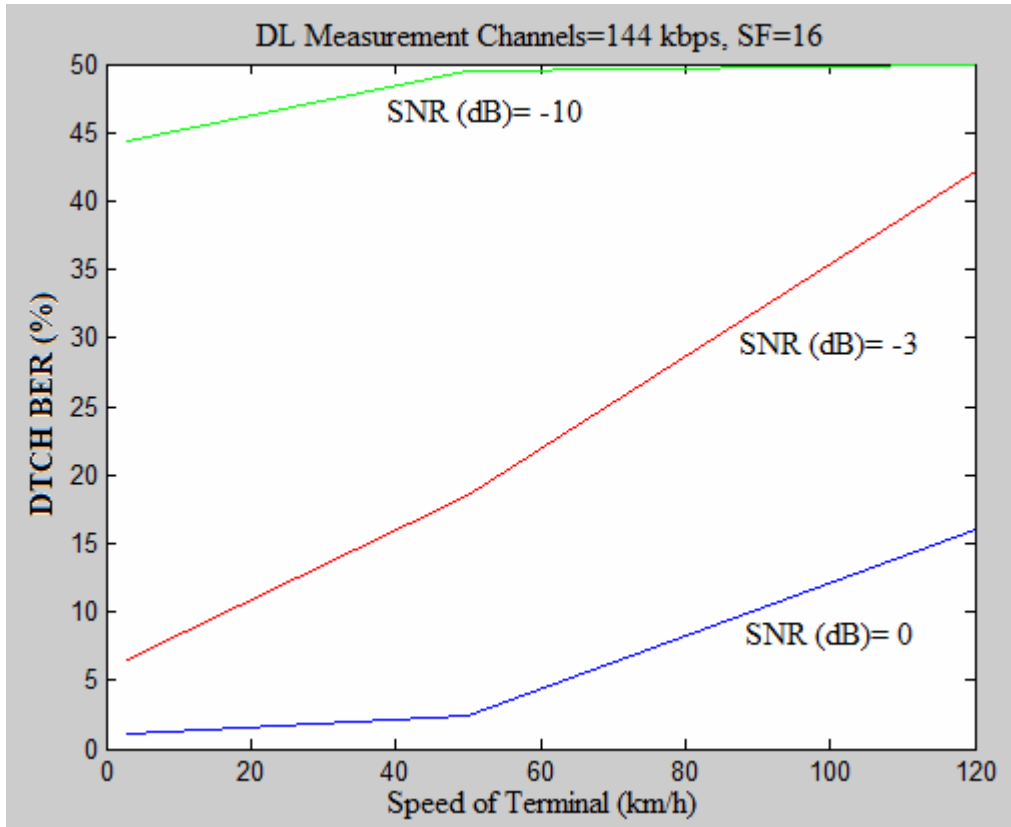
Παρακάτω φαίνονται οι γραφικές απεικονίσεις των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης που κατασκευάστηκαν στο Matlab, για την εξαγωγή σαφέστερων συμπερασμάτων.











## **§ 5.3 Προβλήματα προσομοιώσεων**

Το μόνο πρόβλημα που παρουσιάστηκε κατά την πραγματοποίηση των προσομοιώσεων, ήταν ότι για μικρό χρόνο προσομοίωσης είχαμε αλλοίωση των αποτελεσμάτων του BER. Αυτό αντιμετωπίστηκε αλλάζοντας τον χρόνο προσομοίωσης μέχρι να βρεθεί ο ελάχιστος χρόνος που οι τιμές ανταποκρίνονταν στην πραγματικότητα.

## Βιβλιογραφία - Πηγές

- M.R. Karim & Mohsen Sarraf "W-CDMA and CDMA2000 for 3G mobile networks"
- Harri Holma & Antti Toskala "W-CDMA for UMTS - HSPA evolution and LTE" (4th Edition)
- Juha Korhonen "Introduction to 3G Mobile Communications"
- Lee Li Ying "BER Performance Simulation of RAKE receiver for WCDMA system"
- Jeffrey Bannister, Paul Mather & Sebastian Coope "Convergence Technologies for 3G Networks"
- Chris Braithwaite & Mike Scott "UMTS Network Planning and Development- Design and Implementation of the 2G CDMA Infrastructure"
- Gregory E. Bottomley, Tony Ottosson & Yi-Pin Eric Wang "A Generalized RAKE Receiver for Interference Suppression"
- Wikipedia ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))
- Matlab 7.8 R2009b Help