



# **Προσομοίωση συστήματος έξυπνης κεραίας για χρήση στην 3η γενιά κινητών**

**Της σπουδάστριας  
Χρυσούλας Γιωτίτσα**

**18 Φεβρουαρίου 2004**

**Πτυχιακή εργασία μέρος των απαιτήσεων του Τμήματος Τηλεπληροφορικής και  
Διοίκησης**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Στην εκπόνηση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας συνέβαλε τα μέγιστα ο επιβλέπων καθηγητής μου Επικ. Καθ. (ΠΔ 407) κ. Κ. Θ. Αγγέλης. Νιώθω βαθύτατη την ανάγκη να τον ευχαριστήσω τόσο για την υπόδειξη του θέματος όσο και για την καθοδήγηση σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τα μέλη της τριμελούς μου επιτροπής κ. Λ. Σακκά, Εργαστηριακό Συνεργάτη του Τμήματος Τηλεπληροφορικής και Διοίκησης του ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ, και κ. Σ. Σταμούλη, Επιστημονικό Συνεργάτη του Τμήματος Τηλεπληροφορικής και Διοίκησης του ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ, για την σημαντικότερη βοήθειά τους σε θέματα ηλεκτρονικών και τηλεπικοινωνιών αλλά και για την πολύτιμη συμβολή τους στη διόρθωση του τελικού κειμένου.

## Περίληψη

Η απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας από τους χρήστες κινητών τηλεφώνων λαμβάνει ολοένα και πιο ανησυχητικές διαστάσεις. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, πολλοί οργανισμοί αλλά και μεμονωμένοι επιστήμονες έχουν λάβει υπόψη αυτό το ζήτημα αφού τα αποτελέσματα τέτοιων μελετών και οι διάφοροι κανονισμοί μας αφορούν όλους.

Η χρήση των κινητών τηλεφώνων έχει κλιμακωθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Περισσότερα από 25 εκατομμύρια στην Αγγλία και 110 εκατομμύρια στις ΗΠΑ είναι μερικά από τα νούμερα των χρηστών των κινητών τηλεφώνων στην Ευρώπη και στην Αμερική αντίστοιχα. Υπολογίζεται ότι μέχρι το έτος 2005 οι παγκόσμιοι συνδρομητές θα φθάσουν στα 1,2 δισεκατομμύρια. Αυτό οφείλεται στην πολύ γρήγορη ανάπτυξη της κινητής επικοινωνίας και έχει επιστήσει την προσοχή στους πιθανούς κινδύνους υγείας που προκύπτουν από την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια (EM) που εκπέμπεται από τις συσκευές των κινητών τηλεφώνων καθώς επίσης και από τους σταθμούς βάσης. Η συζήτηση σχετικά με την EM ρύπανση έχει εστιάσει πολύ στην ερώτηση "εάν αυτά τα δύο έχουν τις δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία βραχυπρόθεσμα ή σε πιο μακροπρόθεσμες περιόδους".

Σε αυτή την εργασία αξιολογούμε τη δυνατότητα μείωσης της απορροφημένης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας με τη χρήση των smart κεραιών στις συσκευές των κινητών τηλεφώνων. Οι συμβατικές (conventional) και προσαρμοστικές (smart) κεραιές χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις μας για τα κυψελοειδή συστήματα επικοινωνιών που λειτουργούν στα 2000 MHz. Η ισχύς RF που απορροφάται από το ανθρώπινο κεφάλι στην περίπτωση μιας conventional κεραιάς συγκρίνεται με τη ισχύ RF που απορροφάται από το ανθρώπινο κεφάλι στην περίπτωση μιας smart κεραιάς. Στο τέλος προτείνεται ένα πρότυπο smart κεραιών που ικανοποιεί τα όρια έκθεσης για τα κυψελοειδή τηλέφωνα και είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί στις κινητές συσκευές.

### **ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:**

**Smart antennas, Conventional Antennas,  
Specific Absorption Rate (SAR),  
WCDMA Simulator.**

# Περιεχόμενα

	Σελίδα
1. Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά	2
1.2 Τα δίκτυα και η τεχνολογία κινητών τηλεφώνων	5
1.3 Ασύρματα Συστήματα Επικοινωνιών 3 <sup>ης</sup> Γενιάς	7
2. Βασική Θεωρία	9
2.1 Ασύρματες Επικοινωνίες 3 <sup>ης</sup> Γενιάς	10
2.1.1 Τα κυψελοειδή συστήματα της 1 <sup>ης</sup> γενιάς	10
2.1.2 Τα κυψελοειδή συστήματα της 2 <sup>ης</sup> γενιάς	11
2.1.3 Η μετάβαση προς τα 3G:2.5G κυψελοειδή συστήματα	11
2.1.4 Τα κυψελοειδή συστήματα της 3 <sup>ης</sup> γενιάς	13
2.1.5 Το 3GPP σύστημα	15
2.2 Κεραίες και συστήματα κεραιών	18
2.2.1 Βασικές έννοιες	18
2.2.2 Conventional Antennas	24
2.3 Smart Antennas	25
2.3.1 Εισαγωγή στις έξυπνες κεραίες	25
2.3.2 Οι Smart Antennas στα μικροτηλέφωνα(handsets)	29
2.3.3 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των Smart Antennas στις Ασύρματες επικοινωνίες	34
2.3.4 Ο ρόλος των Smart Antennas στα CDMA συστήματα	37
2.4 Η απορρόφηση της ακτινοβολίας από το κεφάλι	38
2.4.1 Specific Absorption Rate ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, SAR	38
2.4.2 Το καθοριστικό SAR	40
2.4.3 Αποτελέσματα των δοσιμετρικών μελετών	43
3. Πειραματική Διαδικασία	47
3.1 WCDMA sim	48
3.2 Διαμόρφωση ενός σήματος κινητού σταθμού με uplink simulator	49
3.2.1 Τρέξιμο του uplink προσομοιωτή	51
3.2.1.1 Χρήση του GUI	51
3.2.1.2 Η παράμετρος παραγωγής: CorrectErrorRun	56
3.2.1.3 Χρήση γραμμής εντολών του Matlab	57
3.3 Η εφαρμογή των Smart Antennas στα 3G συστήματα και η σχέση τους με τις Conventional	63
4. Συμπεράσματα	72
5. Βιβλιογραφία	73

## ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Όλες οι προτάσεις οι οποίες παρουσιάζονται σε αυτό το κείμενο και οι οποίες ανήκουν σε άλλον αναγνωρίζονται από τα εισαγωγικά και υπάρχει η σαφής δήλωση του συγγραφέα. Τα υπόλοιπα αναγραφόμενα είναι επινόηση του γράφοντος ο οποίος φέρει και την καθολική ευθύνη για αυτό το κείμενο και δηλώνω υπεύθυνα ότι δεν υπάρχει λογοκλοπή σε αυτό το κείμενο.

Όνοματεπώνυμο: .....

Υπογραφή: .....

Ημερομηνία: .....



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή

- Γενική Εισαγωγή
- Τα Δίκτυα και η Τεχνολογία κινητών τηλεφώνων
- Ασύρματα Συστήματα Επικοινωνιών Τρίτης Γενιάς (3G)

### Περίληψη

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η επισήμανση του προβλήματος που δημιουργείται από την έκθεση μας στην ακτινοβολία των κεραιών των κινητών τηλεφώνων καθώς επίσης και μια αναφορά στα δίκτυα και την τεχνολογία των κινητών τηλεφώνων. Περιγράφονται επίσης και τα Ασύρματα Συστήματα Επικοινωνιών Τρίτης Γενιάς και η λειτουργία τους.

## 1.1 Γενικά

Τα κυψελοειδή τηλέφωνα και τα κινητά ασύρματα συστήματα επικοινωνιών εισάγονται στην κοινωνία με ένα πολύ γρήγορο ρυθμό. Αυτή η πολύ γρήγορη ανάπτυξη στην κινητή επικοινωνία έχει επιστήσει την προσοχή στους ενδεχόμενους πιθανούς κινδύνους υγείας λόγω της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας (EM) που εκπέμπεται από τους πομπούς των κινητών τηλεφωνικών συσκευών καθώς επίσης και από τους σταθμούς βάσεων που βρίσκονται στις κατοικημένες περιοχές. Στις ασύρματες επικοινωνίες η ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση μεταξύ των κεραιών και του κοντινότερου βιολογικού ιστού είναι ο βασικότερος λόγος. Λόγω αυτής της αλληλεπίδρασης, ένα ορισμένο ποσό ενέργειας που ακτινοβολείται από τις κεραιές απορροφάται από τον ανθρώπινο ιστό του χρήστη, έχοντας επιπτώσεις και στην απόδοση κεραιών και στην ανθρώπινη υγεία. Η μελέτη αυτής της αλληλεπίδρασης έχει ως συνέπεια το κέρδος μιας λεπτομερούς κατανόησης της διανομής τομέων EM και απορρόφησης δύναμης μέσα στο ανθρώπινο κεφάλι και την προσοχή στα βιολογικά αποτελέσματα των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων (EMFs) και συνεπώς τους κινδύνους υγείας των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων RF που εκπέμπονται από τις κινητές συσκευές.

Η μη κυβερνητική οργάνωση που γίνεται αποδεκτή ως ανεξάρτητο ειδικό σώμα από τα Ηνωμένα Έθνη (United Nations, UN), την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (World Health Organization, WHO), το διεθνή οργανισμό εργασίας (International Labor Organization, ILO), την Ευρωπαϊκή Ένωση (European Union, EU) και τις περισσότερες από τις αναπτυγμένες χώρες είναι η διεθνής Επιτροπή στη μη ιονίζουσα προστασία από τη ραδιενέργεια (International Commission Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP). Η Επιτροπή ιδρύθηκε με σκοπό την προώθηση της μη ιονίζουσας προστασίας από την ακτινοβολία (Non-Ionizing Radiation, NIR) προς όφελος των ανθρώπων και του περιβάλλοντος και ειδικότερα για να παρέχει τις πληροφορίες και τις συστάσεις σχετικά με την προστασία από την έκθεση NIR. Το 1998, το ICNIRP δημοσίευσε τις πιο πρόσφατες κατευθυντήριες οδηγίες του για τα όρια έκθεσης στην ακτινοβολία, τα οποία βασίστηκαν στην αξιολόγηση όλων των διαθέσιμων και γνωστών αναλυτικών, αριθμητικών, πειραματικών αποτελεσμάτων μελέτης (πρέπει να σημειωθεί ότι οι κανόνες ασφάλειας δηλώνονται με κάποιες χαρακτηριστικές λέξεις όπως *θα* - για τους υποχρεωτικούς κανόνες, *θα ήθελα* - για τις συστάσεις, και *μπορεί* - για τις οδηγίες).



Σε αυτές τις οδηγίες καθώς επίσης και σε άλλες, παραδείγματος χάριν, τη δύναμη ηλεκτρικών τομέων σε 1800 MHz και 2000 MHz (όπου προκύπτει σημαντική συμβολή από τα κυψελοειδή συστήματα) δεν πρέπει να υπερβεί 42 V/m και 59 V/m, αντίστοιχα, οπουδήποτε σε δημόσιο χώρο και κατοικίες. Η ανεπάρκεια των ενημερωμένων επιστημονικών πληροφοριών έχει οδηγήσει πολλές χώρες με χαμηλό βιοτικό επίπεδο να έχουν ηλεκτρικά πεδία της τάξεως των 4-6 V/m. Επιπλέον, τα τρέχοντα ερευνητικά αποτελέσματα έχουν μετασηματιστεί στα πρότυπα αυτών των χωρών.

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό, που πρέπει να αξιολογηθεί ποσοτικά προκειμένου να καθιερωθούν τα πρότυπα ασφάλειας των συστημάτων ασύρματων επικοινωνιών, είναι η ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση μεταξύ του φορητού τηλεπικοινωνιακού κυψελοειδούς συστήματος και του ανθρώπινου κεφαλιού. Οι βιολογικές απαντήσεις και οι συνέπειες λόγω της έκθεσης σε RF πεδία συσχετίζονται με το ποσό ενέργειας RF που απορροφάται από το σώμα. Η απορρόφηση και η διανομή της ενέργειας RF εξαρτώνται έντονα από τη συχνότητα, την ένταση και τον προσανατολισμό των επικείμενων πεδίων καθώς επίσης και από το μέγεθος του σώματος. Έχει αποδειχθεί ότι η απορρόφηση RF από το σώμα, όσον αφορά στην έκθεση επίπεδων κυμάτων, πλησιάζει μια μέγιστη τιμή όταν ο μεγαλύτερος άξονας του σώματος είναι παράλληλος στο ηλεκτρικό πεδίο, και έχει ένα μήκος ίσο με τα τέσσερις-δέκατα ενός μήκους κύματος.

Σε περιπτώσεις όπου τα σημεία λήψης απέχουν 2.2 εκατ. από μια handset κεραία, οι μέγιστες τιμές του ηλεκτρικού πεδίου που μετριούνται είναι περίπου 200 V/m και 100 V/m για 1 W, 1800 MHz και 0,5 W, 2000 MHz κυψελοειδή τηλέφωνα αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψη τις πολύ χαμηλότερες εκθέσεις στην ακτινοβολία από τους σταθμούς βάσεων απ'ό,τι από τα μικροτηλέφωνα, η μεγαλύτερη ανησυχία από τους ανθρώπους σε όλο τον κόσμο είναι αρκετά μεγάλη. Η ανησυχία αυτή προκύπτει πιθανώς επειδή τα άτομα μπορούν να επιλέξουν εάν πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα κινητό τηλέφωνο, ενώ δεν έχουν τον έλεγχο των εκθέσεών τους από τους σταθμούς βάσεων. Επιπλέον, οι άνθρωποι αποκομίζουν ένα προσωπικό όφελος από τη χρήση ενός τηλεφώνου, αλλά άμεσα δεν κερδίζουν τίποτα από την παρουσία ενός σταθμού βάσης κοντά στο σπίτι τους ή στον χώρο εργασίας.

Η ανησυχία σχετική με τα ζητήματα υγείας και ασφάλειας στην ασύρματη επικοινωνία εμμένει εξαιτίας του περιορισμένου αριθμού και το πεδίο των

επιστημονικών μελετών που έχουν γίνει. Οι επιστημονικές μελέτες μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο κατηγορίες (α) σε πειραματικές μελέτες που γίνονται σε τεχνητό περιβάλλον εκτός σώματος και εντός ενός ζωντανού οργανισμού, οι οποίες μπορούν να ονομαστούν ως βασική έρευνα, και (β) σε επιδημιολογικές μελέτες. Η πλειοψηφία της βασικής έρευνας έχει στηριχθεί στις ανταποκρίσεις των πειραματόζωων, σε συνθήκες έκθεσης τους στην ακτινοβολία που είναι μοναδικοί για κάθε οργανισμό. Επειδή όμως η ασύρματη τεχνολογία εξελίσσεται πάρα πολύ γρήγορα τα πειράματα που γίνονται τώρα μπορεί να μην επαρκούν για τα δεδομένα της επόμενης γενιάς. Αυτό βέβαια μπορεί να συμβεί ακόμη και για τις ίδιες συσκευές παραγωγής. Παραδείγματος χάριν, έχει διαπιστωθεί ότι το συγκεκριμένο ποσοστό απορρόφησης (SAR) που υπολογίζεται κατά μέσο όρο πέρα από 1g του ανθρώπινου ιστού μπορεί να ποικίλει ευρέως από 0,13W/kg σε 5,41 W/kg, για τα διάφορα κυψελοειδή τηλέφωνα με τους διαφορετικούς λειτουργικούς τρόπους (όπως, TDMA, CDMA, AMPS, κ.λ.π.) και τις διάφορες δομές κεραιών. Αυτό απαιτεί βεβαίως να γίνει μια νέα σειρά μελετών για να ικανοποιηθούν οι ανησυχίες όσον αφορά την υγεία και την ασφάλεια. Επιπλέον, η βασική έρευνα εστιάζει στις σύντομες και μέσες επιδράσεις της κάθε περιόδου που καλούνται συνήθως θερμικές (thermal) χωρίς να περιλαμβάνουν χημικά, βιολογικά και ψυχολογικά αποτελέσματα. Παρόλα αυτά η βασική έρευνα είναι πολύ σημαντική και θα συνεχιστεί, λόγω της επίτευξης της γνώσης και της εκμάθησης για την αμοιβαία αλληλεπίδραση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και των ιστών σε φυσικό ή στο πλαίσιο του τεχνητού περιβάλλοντος, και επίσης λόγω της επανάληψης των δοκιμών και της επιβεβαίωσης των αποτελεσμάτων.

Σε περιπτώσεις όπου έχουμε συχνότητες επάνω από 1 MHz, το ποσό ενεργειακής απορρόφησης περιγράφεται συνήθως από το Ειδικό Ποσοστό Απορρόφησης (Specific Absorption Rate, SAR). Αυτό είναι ένα μέτρο του ρυθμού ενεργειακής απόθεσης ανά μονάδα μάζας του ιστού σωμάτων και εκφράζεται συνήθως με τις μονάδες των Watt ανά χιλιόγραμμο (W/kg).

Το Specific Absorption Rate (SAR) έχει αναγνωριστεί ως μια από τις σημαντικότερες μεταβλητές που ποσολογούν την EMF αλληλεπίδραση με το ανθρώπινο σώμα και οι οδηγίες ασφάλειας συστήνουν τα όρια στο μέγιστο φορτίο SAR καθώς επίσης και σε ολόκληρο το σώμα υπολογισμένο κατά μέσο όρο SAR. Κατά

---

συνέπεια η εκτίμηση των διανομών SAR στο ανθρώπινο κεφάλι κατά τη διάρκεια της χρήσης των κυψελοειδών τηλεφώνων έχει γίνει ένα θέμα μεγάλης ανησυχίας.

Οι οδηγίες έκθεσης για τα κινητά τηλέφωνα εκφράζονται σε σχέση με την απορροφημένη ενέργεια στο κεφάλι. Το όριο το οποίο έχει οριστεί από το Εθνικό Συμβούλιο Ραδιολογικής Προστασίας (National Radiological Protection Board, NRPB) είναι 2W της δύναμης που απορροφάται σε οποιοδήποτε 1000gr του ιστού, που υπολογίζεται κατά μέσο όρο πάνω από έξι λεπτά για το κοινό και 10W της δύναμης που απορροφάται σε οποιοδήποτε 1000gr του ιστού, που υπολογίζεται κατά μέσο όρο πάνω από έξι λεπτά για τους εργαζομένους.

Σε αυτήν την εργασία εισάγουμε τη χρήση των έξυπνων κεραιών (smart antennas) με σκοπό την μείωση της απορροφημένης ενέργειας από τους χρήστες κινητών τηλεφώνων. Ειδικότερα, εξετάζουμε λεπτομερώς τη διαφορά μεταξύ των χαρακτηριστικών των γωνιακών διανομών της πυκνότητας ισχύος που παράγονται από το  $\lambda/2$  των συμβατικών κεραιών που χρησιμοποιούνται στα κινητά τηλέφωνα και εκείνες τις παραχθείσες έξυπνες κεραιές (smart antennas), που χρησιμοποιούνται υποθετικά στα ίδια κινητά τηλέφωνα. Η σύγκριση γίνεται με την προσομοίωση των κυψελοειδών συστημάτων επικοινωνιών στα 2000 MHz. Επιπλέον, υπολογίζουμε το ποσοστό της μείωσης της δύναμης που απορροφάται από το κεφάλι χρησιμοποιώντας τις διαφορετικές διαμορφώσεις των κεραιών. Τέλος, προτείνουμε ένα έξυπνο πρότυπο κεραιών για τη χρήση στις κινητές συσκευές (μικροτηλέφωνα, handsets), το οποίο ελαχιστοποιεί τα επίπεδα έκθεσης για τους χρήστες κινητών τηλεφώνων και είναι εύκολο να εφαρμοστεί στην υπάρχουσα τεχνολογία .

## 1.2 Τα Δίκτυα και η Τεχνολογία των Κινητών Τηλεφώνων.

Το πρώτο κινητό τηλεφωνικό δίκτυο ήταν στη Φινλανδία, το Αυτόματο Ράδιο Puhelin (ARP) (Ράδιο Τηλέφωνο αυτοκινήτου) όπου καταστάθηκε σε λειτουργία το 1971 και ήταν χειροκίνητο. Ο αριθμός συνδρομητών αυξανόταν σταδιακά στους 10.000 το 1976, στους 20.000 το 1980 και στους 30.000 το 1982. Σήμερα, το δίκτυο που ονομάζεται Mobinet καλύπτει ολόκληρη τη Φινλανδία με 322 σταθμούς βάσεων και 800 ράδιο κανάλια. Ο αριθμός συνδρομητών ήταν σε μέγιστος το 1986. Αργότερα

---

αυτός ο αριθμός μειώθηκε επειδή οι συνδρομητές άρχισαν να χρησιμοποιούν περισσότερο προηγμένα συστήματα.

Το σκανδιναβικό σύστημα κινητών τηλεφώνων (Nordic Mobile Telephone, NMT) άρχισε τη λειτουργία στη συχνότητα 450 MHz το 1982. Η χωρητικότητα του NMT450 (180 κανάλια) έγινε ανεπαρκής στις αστικές περιοχές μέσα σε μερικά έτη. Ο αριθμός συνδρομητών στο NMT450 σύστημα αυξήθηκε σταθερά έως το 1995 συμπληρώνοντας συνολικά τους 200.000 συνδρομητές. Το δίκτυο NMT450 καλύπτει όλους εκτός από μερικές αραιά κατοικημένες περιοχές της Φινλανδίας.

Το δίκτυο NMT900 ιδρύθηκε το 1986 για να αυξηθεί η χωρητικότητα στις πυκνά κατοικημένες περιοχές όπου η χωρητικότητα του συστήματος NMT450 είχε γίνει ανεπαρκής. Ο αριθμός των συνδρομητών αυξήθηκε γρήγορα στην αρχή της δεκαετίας του '90 και το 1995 υπήρξαν κατά προσέγγιση 440.000 συνδρομητές. Ο αριθμός δεν έχει αυξηθεί σημαντικά από τότε. Η κάλυψη του δικτύου NMT900 δεν ήταν τόσο εκτενής όσο η κάλυψη του δικτύου NMT450.

Το σφαιρικό σύστημα για την κινητή επικοινωνία (Global System for Mobile communications GSM) άρχισε τη λειτουργία το 1992. Ο σκοπός του δικτύου GSM ήταν να παρασχεθεί η νέα υπηρεσία σε πυκνά κατοικημένες περιοχές όπου η χωρητικότητα των άλλων δικτύων είχε ξεπεραστεί. Ο αριθμός συνδρομητών είχε αυξηθεί γρηγορότερα στο δίκτυο GSM απ'ό,τι στα άλλα δίκτυα από το 1994, και αυξάνεται ακόμα. Υπήρξαν 1.500.000 συνδρομητές στο τέλος του έτους 1997.

Τα παρόντα δίκτυα είχαν γίνει περιστασιακά υπερφορτωμένα στις πυκνά κατοικημένες περιοχές λόγω της τεράστιας δημοτικότητας των κινητών τηλεφώνων. Έτσι νέα δίκτυα GSM1800 εισήχθησαν στο έτος 1997. Η εισαγωγή του GSM1800 ήταν δυνατή επειδή το φάσμα συχνότητας που χρειάστηκε το νέο δίκτυο δεν χρησιμοποιούταν πλέον για τις ράδιο-συνδέσεις. Στο τέλος του 1997, υπήρξαν περισσότεροι από 2 εκατομμύριο χρήστες κινητών τηλεφωνικών συσκευών στη Φινλανδία. Με άλλα λόγια, υπήρχαν 40 κινητές τηλεφωνικές συνδρομές για κάθε 100 κάτοικους .

---

### 1.3 Ασύρματα Συστήματα Επικοινωνιών Τρίτης Γενιάς (Third Generation Wireless Personal Communication Systems 3GPP)

Η τεχνολογία CDMA θα χρησιμοποιηθεί για να παραχθούν τα ασύρματα προσωπικά συστήματα επικοινωνιών επόμενης γενεάς . Υπάρχουν δύο προτεινόμενα CDMA συστήματα ευρείας ζώνης ως πρότυπα τρίτης γενιάς (3G), τα οποία πληρούν τις απαιτήσεις της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU) & Διεθνών Κινητών Τηλεπικοινωνιών (IMT)-2000. Το πρώτο πρότυπο είναι το ευρείας ζώνης σύστημα CDMA (WCDMA), που εμφανίζεται με την ονομασία πρόγραμμα Συνεργασίας Τρίτης Γενιάς (Third Generation Partnership Project, 3GPP), το οποίο προτάθηκε από την Ευρώπη και την Ιαπωνία. Το 3GPP σύστημα σχεδιάστηκε για να είναι συμβατό με τα προηγούμενα συστήματα και με το Σφαιρικό Σύστημα της Κινητής Επικοινωνίας (Global System Mobile, GSM), το οποίο είναι πρότυπο δεύτερης γενιάς TDMA που εκτείνεται στην Ευρώπη. Το δεύτερο πρότυπο είναι cdma2000 σύστημα που προτείνεται από την Ένωση Βιομηχανίας Τηλεπικοινωνιών (Telecommunications Industry Association, TIA). Το σύστημα cdma2000 έχει εξελιχθεί από το IS- 95, το οποίο είναι πρότυπο δεύτερης γενιάς CDMA επεκταμένο στη Βόρεια Αμερική και την Κορέα. Για το 3GPP σύστημα, υπάρχουν δύο τρόποι για ράδιο τεχνολογίες πρόσβασης: ένας (Time Division Duplex, TDD) με βάση τον χρόνο και ένα (Frequency Division Duplex, FDD) με βάση την συχνότητα . Το 3GPP σύστημα με τον τρόπο FDD είναι ένα σύστημα CDMA, αλλά το 3GPP σύστημα με τον TDD τρόπο είναι ένα συνδυασμένο σύστημα CDMA και TDMA. Εδώ εξετάζουμε το 3GPP σύστημα με τον τρόπο FDD.

Και το 3GPP σύστημα και το σύστημα cdma2000 είναι βασισμένα στο CDMA. Εντούτοις, είναι διαφορετικά στον chipping ρυθμό, στην διάδοση του κώδικα, την διόρθωση λάθους, και σε άλλα. Η πιο πολύ προεξέχουσα διαφορά μεταξύ του 3GPP συστήματος και του συστήματος cdma2000 βρίσκεται στον συγχρονισμό. Στο σύστημα cdma2000, όλοι οι σταθμοί βάσεων είναι συγχρονισμένοι, δηλ., το σύστημα ρολογιών κάθε σταθμού βάσεων είναι συγχρονισμένο στο ρολόι των GPS συστημάτων. Έτσι το cdma2000 σύστημα καλείται συγχρονισμένο σύστημα. Εν τω μεταξύ, τα ρολόγια των συστημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στους 3GPP σταθμούς βάσεων δεν χρειάζεται να

συγχρονιστούν. Γι'αυτό και καλείται ασύγχρονο σύστημα. Και το 3GPP σύστημα και το σύστημα cdma2000 παρέχουν συνεχώς ένα κοινό πιλοτικό σήμα μέσα στη μπροστινή σύνδεση από το σταθμό βάσεων σε έναν κινητό σταθμό. Το πιλοτικό σήμα χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την κατάσταση των καναλιών, συμπεριλαμβανομένης της δύναμης των σημάτων και της φάσης. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται με συνοχή συνδυάζοντας multipath σήματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Βασική Θεωρία

- Ασύρματες Επικοινωνίες 3<sup>ης</sup> Γενιάς (3G)
- Κεραίες και συστήματα κεραιών
- Smart Antennas
- Απορρόφηση της ακτινοβολίας από το κεφάλι (SAR)

### Περίληψη

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η βασική θεωρία και η σταδιακή εξέλιξη για τα ασύρματα συστήματα 3G. Περιγράφονται επίσης τα είδη των κεραιών και τα διάφορα συστήματα που προκύπτουν με τη χρήση τους. Ακόμη αναφέρονται τα χαρακτηριστικά των Smart κεραιών αλλά και τα πλεονεκτήματα που αποφέρει η χρήση τους στις τηλεπικοινωνίες. Τέλος περιγράφεται ο ειδικός ρυθμός απορρόφησης(SAR) ο οποίος είναι η μονάδα μέτρησης της ακτινοβολίας που απορροφάται από το ανθρώπινο σώμα και ιδιαίτερα από το κεφάλι.

## 2.1 Ασύρματες Επικοινωνίες 3<sup>ης</sup> Γενιάς (3G)

### Cellular Πρότυπα: Από το 1G στο 3G

Ο στόχος για την επόμενη γενιά των συστημάτων κινητής επικοινωνίας είναι να παρασχεθεί μια ευρεία ποικιλία των υπηρεσιών επικοινωνίας σε οποιονδήποτε, οπουδήποτε, οποτεδήποτε. Οι προοριζόμενες υπηρεσίες για τους χρήστες κινητών τηλεφώνων της επόμενης γενιάς, περιλαμβάνουν υπηρεσίες όπως τη διαβίβαση δεδομένων με υψηλή ταχύτητα, την κυκλοφορία των βίντεο και πολυμεσικών εφαρμογών καθώς επίσης και των σημάτων φωνής. Η τεχνολογία που απαιτείται για να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις, για να καταστήσει αυτές τις διαθέσιμες υπηρεσίες είναι γενικά γνωστή ως Κυψελοειδή Συστήματα Παραγωγής Τρίτης Γενιάς (3G). Τα συστήματα πρώτης γενιάς αντιπροσωπεύονται από τα αναλογικά κινητά συστήματα με σκοπό να φέρουν την εφαρμογή της κυκλοφορίας της φωνής. Τα επόμενα ψηφιακά αντίστοιχά τους είναι γνωστά ως κυψελοειδή συστήματα δεύτερης γενιάς. Τα συστήματα τρίτης γενιάς χαρακτηρίζονται από μια σημαντική θεματική αλλαγή, και στις εφαρμογές και στην ικανότητα, από τα τρέχοντα πρότυπα δεύτερης γενιάς. Εκτιμώντας ότι τα τρέχοντα ψηφιακά κινητά τηλεφωνικά συστήματα βελτιστοποιούνται για τις μεταδόσεις φωνής, οι 3G πληροφοριοδότες είναι προσανατολισμένοι προς την ικανότητα πολυμεσικών μηνυμάτων.

#### 2.1.1 Τα κυψελοειδή συστήματα της 1<sup>ης</sup> γενιάς (1G).

Τα κυψελοειδή συστήματα πρώτης γενιάς υιοθετούν γενικά τις αναλογικές τεχνικές διαμόρφωσης της FM συχνότητας. Το προηγμένο κινητό τηλεφωνικό σύστημα (Advanced Mobile Phone System, AMPS) είναι το πιο ξεχωριστό από τα συστήματα WCDMA της πρώτης γενιάς. Το AMPS αναπτύχθηκε από το τηλεφωνικό σύστημα Bell το οποίο χρησιμοποιεί την τεχνολογία FM για τη μετάδοση φωνής και την ψηφιακή σηματοδότηση για τις πληροφορίες ελέγχου. Άλλα συστήματα πρώτης γενιάς ήταν τα συστήματα περιορισμένης ζώνης Narrowband AMPS (NAMPS), το συνολικό κυψελοειδές σύστημα πρόσβασης (Total Access Cellular System, TACS) και το σκανδιναβικό σύστημα κινητών τηλεφώνων (Nordic Mobile telephone System, NMT-



900). Όλα τα κυψελοειδή συστήματα πρώτης γενεάς υιοθετούν την πολλαπλάσια πρόσβαση τμήματος συχνότητας (FDMA) με κάθε κανάλι που ορίζεται σε μια μοναδική ζώνη συχνότητας μέσα σε μια συστάδα των κυττάρων. Τα δίκτυα πρώτης γενεάς είναι βασισμένα μεταστρεφόμενη στην κύκλωμα τεχνική.

### **2.1.2 Τα κυψελοειδή συστήματα της 2<sup>ης</sup> γενιάς (2G).**

Η ταχεία ανάπτυξη του αριθμού συνδρομητών και ο πολλαπλασιασμός πολλών ασυμβίβαστων συστημάτων πρώτης γενεάς ήταν ο κύριος λόγος πίσω από την εξέλιξη προς τα κυψελοειδή συστήματα δεύτερης γενεάς. Τα συστήματα δεύτερης γενεάς εκμεταλλεύονται τις τεχνικές συμπίεσης και κωδικοποίησης που συνδέονται με την ψηφιακή τεχνολογία. Όλα τα συστήματα δεύτερης γενιάς υιοθετούν τα ψηφιακά σχέδια διαμόρφωσης. Οι πολλαπλάσιες τεχνικές πρόσβασης όπως η πολλαπλή Time Division πρόσβαση (TDMA) και η πολλαπλή Code Division πρόσβαση (CDMA) χρησιμοποιούνται μαζί με την FDMA στα συστήματα δεύτερης γενεάς. Τα κυψελοειδή συστήματα δεύτερης γενεάς περιλαμβάνουν τα ψηφιακά κυψελοειδή (USDC) πρότυπα IS- 54 και IS- 136, το σφαιρικό σύστημα για την κινητή επικοινωνία (Global System for Mobile Communications, GSM), το ψηφιακό κυψελοειδές σύστημα Pacific (Pacific Digital Communications, PDC) και το cdmaOne βασισμένο στα IS- 95A/IS- 95B. Όπως τα αντίστοιχα της πρώτης γενιάς, τα 2G δίκτυα είναι επίσης κύκλωμα μεταστρεφόμενο (switched).

### **2.1.3 Η μετάβαση προς τα 3G: 2.5G κυψελοειδή συστήματα**

Η απαίτηση για τις ασύρματες υπηρεσίες στοιχείων έχει οδηγήσει στη μετάβαση προς τα πακέτα μεταστρεφόμενων δικτύων (switched circuits). Τα αποκαλούμενα κυψελοειδή συστήματα 2,5G χρησιμοποιούνται αυτήν την περίοδο για να διευκολύνουν την κίνηση από τα switched κυκλώματα 2G κυψελοειδή δίκτυα στα επόμενη γενιάς packet based δίκτυα. Δύο σημαντικά κυψελοειδή συστήματα 2.5G που επεκτείνονται αυτήν την περίοδο είναι η Γενική Υπηρεσία Ραδιοφώνων (General

---

Packet Radio Service, GPRS) και οι Ενισχυμένοι ρυθμοί δεδομένων για τη σφαιρική εξέλιξη (Enhanced Data-rates for Global Evolution, EDGE).

Η Γενική Υπηρεσία Ραδιοφώνων (GPRS) είναι υπηρεσία προστιθέμενης αξίας που επιτρέπει να σταλούν και να παραληφθούν πληροφορίες μέσω ενός δικτύου κινητών τηλεφώνων. Συμπληρώνει τα σημερινά μεταστρεφόμενα κυκλώματα και τη σύντομη υπηρεσία μηνυμάτων. Το GPRS είναι βασισμένο στις τυποποιημένες ανοικτές διεπαφές και επομένως αλληλεπιδρά με τις υπάρχουσες circuit-switched υπηρεσίες. Δεδομένου ότι το GPRS είναι ένα πακέτο switched τεχνολογίας, το εύρος ζώνης χρησιμοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια της μετάδοσης στοιχείων και μοιράζεται μεταξύ όλων των συνδρομητών. Αυτό επιτρέπει στους χειριστές να τιμολογούνται με βάση την χρήση και όχι πόσο χρόνο είναι συνδεδεμένοι. Οι χρήστες επομένως συνδέονται πάντα και χρεώνονται μόνο για τη μεταφορά δεδομένων. Αυτό καθιστά το GPRS ιδανικό για την κυκλοφορία μετάδοσης πληροφοριών, και ανοίγει την πόρτα σε έναν κόσμο των νέων υπηρεσιών προηγουμένως μη πρακτικών πέρα από τα κινητά δίκτυα.

Οι ενισχυμένοι ρυθμοί δεδομένων για τη σφαιρική εξέλιξη(EDGE) είναι μιας τρίτης γενιάς (3G) συμμορφώσιμων υψηλής ταχύτητας ασύρματων στοιχείων και πρόσβασης στο Διαδίκτυο τεχνολογία που προσφέρει τις οικονομίες κλίμακας. Η EDGE είναι ένα τυποποιημένο σύνολο βελτιώσεων στη ράδιο διεπαφή GSM. Καθορίζει μια νέα διαμόρφωση και νέα ράδιο πρωτόκολλα που φέρνουν τα υψηλότερα μέγιστα ποσοστά δεδομένων και την αυξανόμενη φασματική αποδοτικότητα. Η EDGE ισχύει και στην κυκλοφορία GPRS (EGPRS) και στην κυκλοφορία switched circuit στοιχείων (ECSD). Η EDGE μπορεί να ενσωματωθεί στα υπάρχοντα δίκτυα GSM από την εγκατάσταση των νέων πομποδεκτών ή των νέων σταθμών βάσεων. Η EDGE μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε TDMA (D-AMPS/IS-136) δίκτυα από την προσθήκη μιας πλήρους επικάλυψης EGPRS. Στο πλαίσιο GSM, η EDGE θεωρείται μέρος της εξέλιξης 2G+/2.5G, ενώ για την κοινότητα TDMA, καλείται μερικές φορές ως 3G τεχνολογία.

### 2.1.4 Τα κυψελοειδή συστήματα της 3<sup>ης</sup> γενιάς (3G).

Τα κυψελοειδή συστήματα τρίτης γενιάς σχεδιάζονται για να υποστηρίξουν ευρείας ζώνης υπηρεσίες όπως την υψηλή ταχύτητα πρόσβασης στο Διαδίκτυο, τηλεοπτικής και υψηλής ποιότητας μετάδοση εικόνας, με την ίδια ποιότητα με τα σταθερά δίκτυα. Οι πρωταρχικές απαιτήσεις των κυψελοειδών συστημάτων επόμενης γενιάς είναι:

- Ποιότητα φωνής συγκρίσιμη με το δημόσιο μεταστρεφόμενο (switched) τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN).
- Υποστήριξη του υψηλού ρυθμού δεδομένων. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει την απαίτηση ρυθμού δεδομένων 3G συστημάτων.

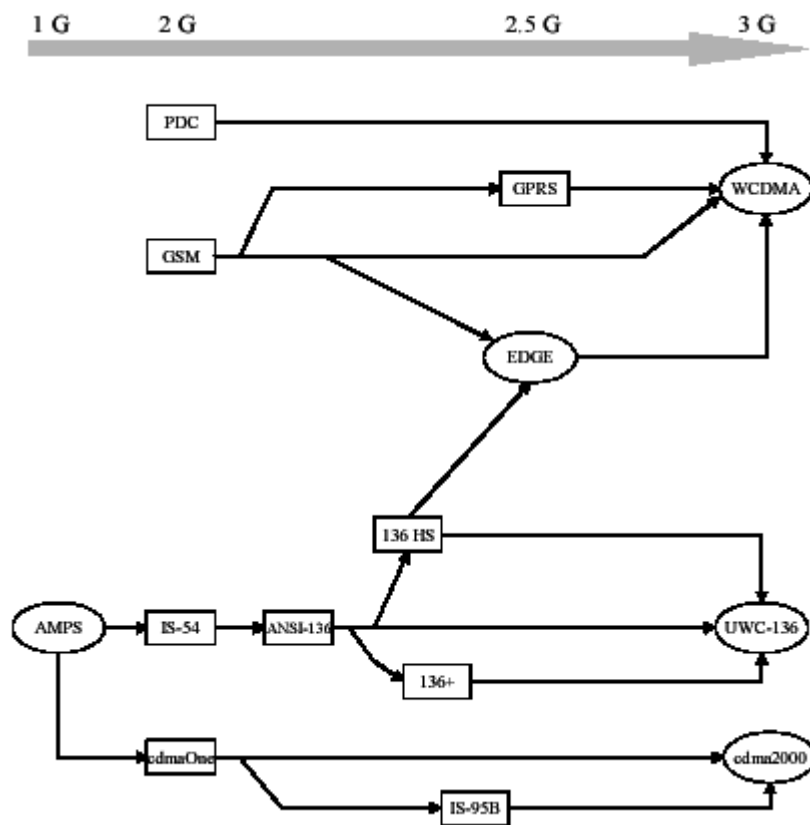
<b>Ανάγκες κινητικότητας (Mobility)</b>	<b>Κατώτερος ρυθμός δεδομένων</b>
Μεταφερόμενος με όχημα	144 Kbps
Από εξωτερικός εσωτερικός και πεζός	384 Kbps
Σε εσωτερικό γραφείο	2 Mbps

- Υποστήριξη και των packet-switched και circuit-switched υπηρεσιών δεδομένων.
- Αποδοτικότερη χρήση του διαθέσιμου ράδιο φάσματος
- Υποστήριξη μιας ευρείας ποικιλίας του κινητού εξοπλισμού
- Αναδρομική συμβατότητα με τα προϋπάρχοντα δίκτυα και την εύκαμπτη εισαγωγή νέων υπηρεσιών και τεχνολογιών

- Μια προσαρμοστική ράδιο διεπαφή που ταιριάζει στην ιδιαίτερα ασυμμετρική φύση των περισσότερων Διαδικτυακών επικοινωνιών: ένα πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης για την κατιούσα σύνδεση από uplink.

Οι ερευνητικές προσπάθειες είναι εν εξελίξει για περισσότερο από μια δεκαετία στην εισαγωγή των ικανοτήτων των πολυμέσων στην κινητή επικοινωνία. Οι διαφορετικές τυποποιημένες αντιπροσωπείες και οι κυβερνητικοί οργανισμοί είναι αρμόδιοι για τις προσπάθειες της ενσωμάτωσης μιας ευρείας ποικιλίας προτάσεων για τα κυψελοειδή συστήματα τρίτης γενιάς. Τρία διαφορετικά 3G πρότυπα προέκυψαν ως λύση για τα κυψελοειδή συστήματα επόμενης γενιάς. Είναι τα WCDMA, το CDMA2000, και το UWC- 136.

Το WCDMA χρησιμοποιεί τη διεπαφή αέρα CDMA με τα βασισμένα στο GSM δίκτυα. Τα CDMA2000 είναι πρότυπα πολύ-μεταφορέων CDMA και είναι μια φυσική πρόοδος των βασισμένων στο CDMA 2G προτύπων IS- 95. Το UWC- 136 είναι βασισμένο στα TDMA πρότυπα και προτάθηκε για να αναβαθμίσει τα υπάρχοντα βασισμένα στο TDMA 2G δίκτυα. Εντούτοις οι πρόσφατες εξελίξεις προτείνουν ότι τα UWC - 136 δεν θα μπουν από την υπηρεσία στην πράξη. Το ακόλουθο σχήμα παρουσιάζει την εξέλιξη των κυψελοειδών συστημάτων τρίτης γενιάς.

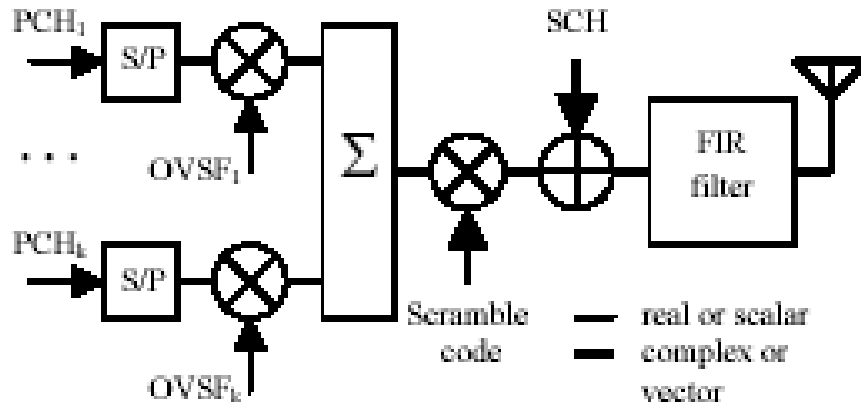


Σχήμα 2.1.4 Η εξέλιξη από τα 1G στα 3G συστήματα.

### 2.1.5 Το 3GPP σύστημα

Ένα απλό διάγραμμα μιας συσκευής αποστολής σημάτων downlink για το 3GPP σύστημα παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1.5. Κάθε bit των φυσικών καναλιών (Physical Channels, PCH) είναι QPSK διαμόρφωση δηλαδή μετατόπιση φάσης που διαμορφώνεται και παρουσιάζεται με τετραγωνική μορφή. Τα διαμορφωμένα I (in-phase) και τα Q (τετραγωνισμός) bits διαχωρίζονται με τον πολλαπλασιασμό ορθογώνιων μεταβλητών διαδίδοντας κώδικες με OVSF παράγοντα στον chipping ρυθμό των 3,84 Mbps. Όλα τα διαχωρισμένα σήματα συνδυάζονται πρώτα και πλέκονται έπειτα από έναν σύνθετο μακροσκελή κώδικα, ο οποίος παράγεται από το χρυσό σύνολο κώδικα (Gold code set). Το πλεγμένο σήμα και το απλό σήμα του συγχρονισμού (SCH) συνδυάζονται από κοινού. Το συνδυασμένο σήμα διαμορφώνεται

από ένα root-raised φίλτρο FIR συνημίτονου με έναν παράγοντα μείωσης  $\alpha = 0,22$ . Το διαμορφωμένο σήμα διαβιβάζεται μέσω ασύρματου καναλιού.



**Σχήμα 2.1.5** Διάγραμμα φραγμών μιας συσκευής αποστολής σημάτων κατιουσών συνδέσεων για το 3GPP σύστημα

Το διαβιβασθέν σήμα  $s(t)$  με  $K$  χρήστες μπορεί να αντιπροσωπευθεί στη σύνθετη μορφή όπως

$$s(t) = [a_0 d_0(t) C_{ch,0}(t) + a_1 d_1(t) C_{ch,1}(t) + \dots + a_k d_k(t) C_{ch,k}(t)] S_{dl}(t) \quad 2.1$$

όπου  $a_k$ ,  $d_k(t)$ , and  $C_{ch,k}(t)$  είναι παράμετροι που αντιπροσωπεύουν τη δύναμη σημάτων, τα στοιχεία χρηστών, και ένα OVSF κώδικα για κάθε χρήστη  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, K$ ). Το  $S_{dl}(t)$  είναι κώδικας πλεξίας για το σήμα  $s(t)$ . Σημειώστε ότι ο πρώτος όρος της σχέσης (2.1) είναι για κοινό πιλοτικό κανάλι (CPICH), όπου  $d_0(t)$  αντιπροσωπεύει το πιλοτικό σύμβολο  $(1+i)$  στην QPSK διαμόρφωση (το  $i$  δείχνει τη φανταστική μονάδα).

Το λαμβανόμενο σήμα  $r(t)$  στον κινητό σταθμό δέκτη δίνεται από:

$$r(t) = \sum_{m=1}^M \sqrt{2S_m} x_m(t) s(t - t_m) + I(t) + n(t), \quad 2.2$$

όπου  $M$  είναι ο αριθμός των multipaths,  $S_m$  είναι η μέση λαμβανόμενη δύναμη σημάτων που συνδέεται με  $m$ th path,  $\xi_m(t)$  είναι το σύνθετο κέρδος καναλιών για  $m$ th multipath στοιχείο με χρονική καθυστέρηση  $\tau_m$ ,  $I(t)$  είναι παρεμβάσεις από τα παρακείμενα κελιά, και  $n(t)$  είναι ένας θόρυβος υπόβαθρου. Ένας δέκτης γωνιών με κλίση despreads τα multipath σήματα και τα συνδυάζει με συνοχή. Ο συνεπής συνδυασμός των multipath σημάτων απαιτεί κάθε multipath σήμα να πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή καναλιών που υπολογίζεται από το σήμα despread CPICH.

Το πιλοτικό σήμα ( $K = 0$ ) για  $m$ th πολλαπλών διαδρομών (multipath) είναι despread όπως παρουσιάζεται κατωτέρω:

$$y_{k,0}(n) = \frac{1}{T_k} \int_{nT_k}^{(n+1)T_k+T_c} r(t) [S_{dl}(t-t_m) C_{ch,0}(t-t_m)] dt, \quad 2.3$$

όπου  $T_p$  είναι η πειραματική περίοδος συμβόλων,  $n$  είναι ο δείκτης συμβόλων, και το σύμβολο \* αντιπροσωπεύει την σύνθετη κλίση. Το  $k$ th user σήμα ( $k = 1, 2, \dots, K$ ) για  $m$ th multipaths είναι despread με τον ίδιο τρόπο όπως φαίνεται στην (2.3) και δίνεται από την (2.4)

$$y_{k,m}(n) = \frac{1}{T_k} \int_{nT_k}^{(n+1)T_k+T_c} r(t) [S_{dl}(t-t_m) C_{ch,k}(t-t_m)] dt, \quad 2.4$$

όπου  $T_k$  είναι η περίοδος συμβόλων στοιχείων του  $k$ th χρήστη.

Κατόπιν, το σήμα χρηστών από κάθε ένα multipath  $y_{k,m}(n)$  είναι με συνοχή συνδυασμένο για να παράγει ένα σήμα εξόδου όπως παρουσιάζεται παρακάτω:

$$z_k(n) = \sum_{m=1}^L y_{k,m}(n) y_{0,m}(n), \quad 2.5$$

όπου το  $L$  είναι ο αριθμός rake δάχτυλων (που είναι ίσος με ή μικρότερος από τον αριθμό multipaths  $M$ ). Πρέπει να σημειωθεί ότι εάν ο διαδίδων παράγοντας  $k$ th με σήμα

χρήστη  $SF_{\text{το } K}$  είναι μικρότερος από αυτό το πιλοτικό σήμα  $SF_{\text{π}}$ , έπειτα το ίδιο πειραματικό σήμα  $y_{\theta,m}(n)$  εφαρμόζεται για να λάβει

$$\frac{SF_p}{SF_k} = \frac{T_p}{T_k} \quad 2.6$$

διαδοχικά σήματα εξόδου του χρήστη.

## 2.2 Κεραίες και συστήματα κεραιών

Μια **κεραία** καθορίζεται ως μέσο ένωσης των ραδιοσυχνοτήτων από μια γραμμή μετάδοσης στο ελεύθερο διάστημα. Ενεργεί επίσης ως δέκτης για να συλλάβει τη συναφή ηλεκτρομαγνητική δύναμη, η οποία μπορεί έπειτα να υποβληθεί σε επεξεργασία για να ανακτήσει τις πληροφορίες που περιλαμβάνονται στα λαμβανόμενα ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

### 2.2.1 Βασικές έννοιες

Οι κατευθυντικές κεραιές ακτινοβολούν τη ισχύ προς όλες τις κατευθύνσεις.

Η πυκνότητα ισχύος (σε watts/rad<sup>2</sup>) θα δίνεται από:  $U(q, f)$

όπου:  $f$  = αζιμουθική γωνία και η  $q$  = κάθετος γωνία.

Η συνολική ισχύς που θα εκπέμπεται από την κεραία θα δίνεται από τη σχέση:

$$P_t = \int_{f=0}^{2\pi} \int_{q=0}^{\rho} U(q, f) \sin(q, f) (dq)(df)$$

Η μέση ισχύς θα ισούται με  $\Rightarrow U_{avg} = P_t / 4\rho$



Μια κεραία που είναι ιστροπική, ή omni – κατευθυντική θα ισούται με  $U_{avg} = U(q, f)$

Η μέγιστη πυκνότητα ισχύος μιας κεραίας  $\Rightarrow U_{max} = \max_{q, f} \{U(q, f)\}$

Το κέρδος κεραιών θα δίνεται από  $\Rightarrow G(q, f) = hU(q, f) / U_{avg}$  όπου  $h$  δείχνει την αποδοτικότητα της κεραίας.

Το κέρδος της κορυφής της κεραίας  $\Rightarrow G_{peak} = hU_{max} / U_{avg}$

Η αποτελεσματική ιστροπική ακτινοβολούσα δύναμη (EIRP) είναι το ποσό δύναμης που απαιτείται (χρησιμοποιώντας μια ιστροπική κεραία) για να παραγάγει την ίδια πυκνότητα ισχύος που είναι πραγματοποιημένο όπου  $I$  είναι το bore-sight δηλαδή η κατεύθυνση της κεραίας, και δίνεται από:

$$P_{EIRP} = P_t G_{peak} = 4\rho h U_{max}$$

Σε μια δοσμένη κατεύθυνση (με απόσταση =  $r$ ), η συνολική ισχύς που είναι διαθέσιμη σε μια περιοχή  $A \Rightarrow$

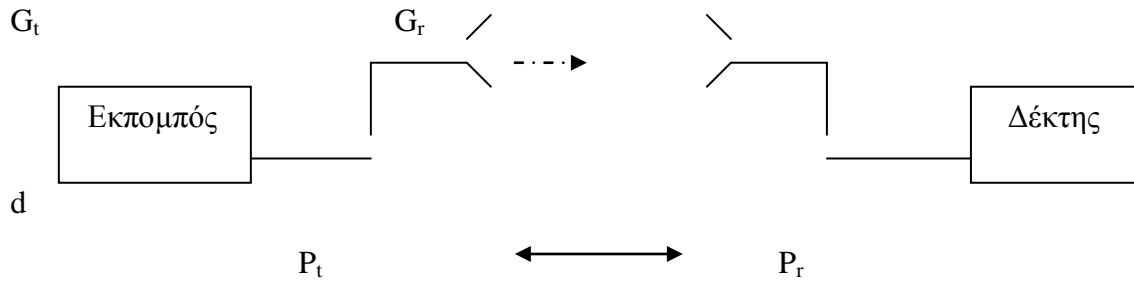
$$P_r(q, f) = G(q, f) P_t A / (4\rho r^2)$$

Το **μέγιστο κέρδος** μιας κεραίας από την άποψη του μεγέθους της όπου  $A_m =$  το άνοιγμα ισούται με:

$$G = h(4\rho / l^2) A_m$$

Επομένως, το αποτελεσματικό άνοιγμα μιας κεραίας δίνεται από  $\Rightarrow A_e = hA_m = l^2 G / 4\rho$

## Έννοιες στη ράδιο διάδοση



Σχήμα 2.2.1 Σχέδιο πομπού – δέκτη

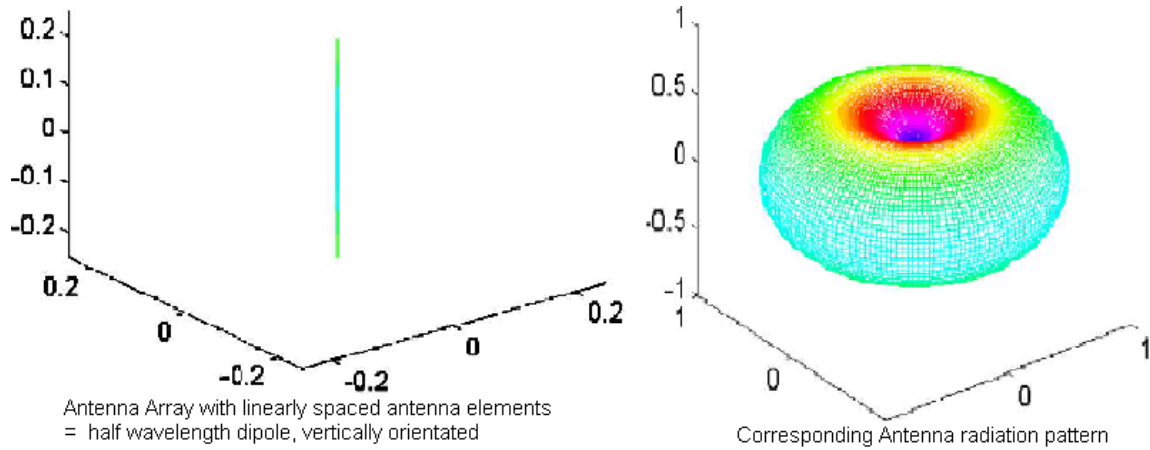
Η ισχύς σε μια κεραία δέκτη δίνεται από την σχέση:  $P_r = G_r P_t A / (4\pi d^2)$ . Η παραπάνω εξίσωση καλείται **Friis Free Space Link equation**. Εάν θέλουμε να έχουμε τα αποτελέσματα σε db η εξίσωση γίνεται :

$$P_r(\text{dB}) = P_t(\text{dB}) + G_t(\text{dB}) + G_r(\text{dB}) - L_p(\text{dB}) \quad \text{όπου } L_p = \text{path loss.}$$

## Τύποι κεραιών

Υπάρχουν πολλοί τύποι κεραιών όπου κάθε ένας έχει μοναδικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως η σύνθετη αντίσταση, το πλάτος εκπομπής ραδιοσήματος, το εύρος ζώνης, η πόλωση, το επίπεδο πλευρικών λοβών και η μορφή σχεδίων. Πολλοί θα επιθυμούσαν να τροποποιήσουν αυτές τις ιδιότητες χωρίς την δημιουργία μιας άλλης κεραίας. Μια σειρά στοιχείων κεραιών παρουσιάζεται από μόνο του ως εφικτή λύση. Έχοντας παρόμοιες κεραίες με χαμηλό κέρδος, είναι δυνατό να ληφθεί μια κεραία που έχει ένα υψηλότερο κέρδος και ένα σχέδιο ακτινοβολίας που μπορεί να οδηγηθεί ηλεκτρονικά. Οι κεραίες μπορούν επίσης να παραταχθούν για να λάβουν ένα ευρύ εύρος ζώνης και χαμηλούς πλευρικούς λοβούς εάν κάποιος είναι πρόθυμος να ανταλλάξει το κέρδος.

Οι κεραιές μπορούν να τοποθετηθούν υπό μορφή σειρών προκειμένου να επιτευχθεί ένα επιθυμητό σχέδιο ακτινοβολίας. Το παρακάτω σχήμα είναι ένα τρισδιάστατο σχέδιο ακτινοβολίας για μια γραμμική σειρά κεραιών:

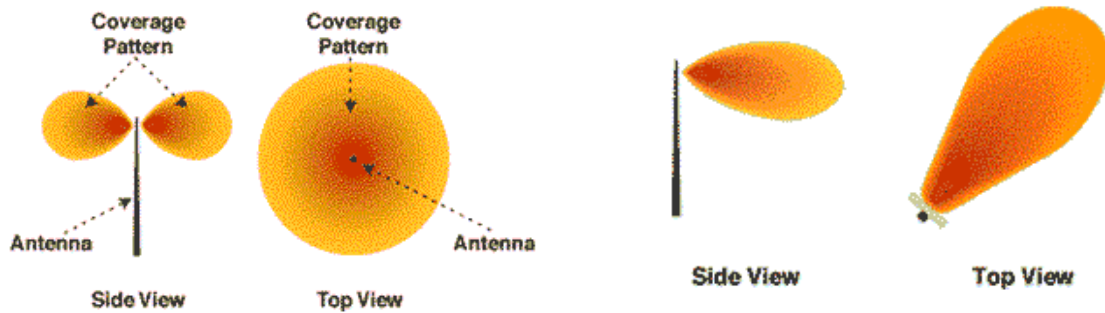


**Σχέδιο 2.2.2** Τρισδιάστατο σχέδιο ακτινοβολίας για μια γραμμική σειρά κεραιών.

Υπάρχουν δύο τύποι κεραιών:

A) Παν - κατευθυντική κεραία (omni-directional antenna)

B) Κατευθυντικές κεραιές (directional antenna)



Σχήμα 2.2.3 Η Παν - κατευθυντική κεραία και οι Κατευθυντικές κεραιές.

Οι ανωτέρω αριθμοί συγκρίνουν ένα σχέδιο εκπομπής ραδιοσήματος μιας παν - κατευθυντικής κεραιάς με αυτό μιας κατευθυντικής κεραιάς. Όπως φαίνεται παραπάνω, η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια απλώνεται ομοιόμορφα στους  $x-y$  άξονες από την παν - κατευθυντική κεραία. Εκτιμώντας ότι σε περίπτωση κατευθυντικής κεραιάς, η ενέργεια που ακτινοβολείται συγκεντρώνεται προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.

Σε ένα κυψελοειδές σύστημα, οι παν - κατευθυντικές κεραιές έχουν χρησιμοποιηθεί στους σταθμούς βάσεων για να ενισχύσουν την περιοχή κάλυψης του σταθμού βάσεων. Αλλά οδηγεί επίσης σε μια ακαθόριστη απώλεια δύναμης που στην πραγματικότητα, είναι η κύρια αιτία της co-channel παρέμβασης στους γειτονικούς σταθμούς βάσεων. Η ανάγκη να βελτιωθεί η χωρητικότητα των συστημάτων και να μειωθούν τα co-channel αποτελέσματα εξαιτίας της παρέμβασης οδήγησε στην ανάπτυξη δύο τεχνικών συστημάτων κεραιών: Στα Συστήματα **Κυκλικών Τομέων** και στα Συστήματα **Ποικιλομορφίας**.

Η έννοια του **τεμαχισμού** περιελάμβανε την υποδιαίρεση του κυττάρου στους τομείς, κάθε ένας από τους οποίους εξυπηρετείται από μια κατευθυντική κεραία. Κάθε τομέας μπορεί να αντιμετωπιστεί ως χωριστό κύτταρο, το οποίο είχε μια μεγαλύτερη σειρά στην προηγούμενη περίπτωση. Οι κεραιές του κάθε τομέα αυξάνουν τη

δυνατότητα της επαναχρησιμοποίησης ενός καναλιού συχνότητας σε τέτοια κυψελοειδή συστήματα με τη μείωση της πιθανής παρέμβασης σε ολόκληρο το αρχικό κύτταρο, και χρησιμοποιούνται ευρέως για αυτόν το λόγο. Μειώνουν επίσης την co-channel παρέμβαση στους γειτονικούς σταθμούς βάσεων δεδομένου ότι η εκπομπή τους είναι κατευθυνόμενη.

Το επόμενο βήμα προς τις έξυπνες κεραιές ήταν η ενσωμάτωση **των συστημάτων ποικιλομορφίας**. Ένα σύστημα ποικιλομορφίας ενσωματώνει δύο στοιχεία κεραιών στο σταθμό βάσεων με έναν μικρό φυσικό χωρισμό μεταξύ τους. Για τα σήματα που παραλαμβάνονται σε δύο στοιχεία κεραιών για να είναι ασύνδετα, πρέπει να έχουν τουλάχιστον  $l/2$  απόσταση ( $l$  = μήκος κύματος του λαμβανόμενου σήματος). Αυτό εκμεταλλεύεται τη ποικιλομορφία της απόστασης και οδηγεί στη βελτιωμένη υποδοχή με την αντίδραση των αρνητικών αποτελεσμάτων της multipath εξασθένησης.

Η ποικιλομορφία προσφέρει μια βελτίωση στην αποτελεσματική δύναμη του λαμβανόμενου σήματος με τη χρησιμοποίηση μιας από τις ακόλουθες δύο μεθόδους:

**A) Μεταστρεφόμενη ποικιλομορφία (switched diversity)/ εκλεκτικός συνδυασμός (selective combining):** Το σύστημα μεταστρέφεται συνεχώς μεταξύ των διαθέσιμων κεραιών και συνδέει κάθε ένα από τα λαμβανόμενα κανάλια με την καλύτερη όσον αφορά την εξυπηρέτηση κεραία. Η ιδέα είναι ότι εάν το σήμα είναι εξασθετισμένο σε μια από τις κεραιές, πιθανότατα θα παραληφθεί καλύτερα σε μια στο χώρο χωρισμένη από τις άλλες κεραία (δεδομένου ότι λαμβάνει ένα ασύνδετο σήμα). Αυτή η τεχνική μετριάξει τα αποτελέσματα του σήματος που εξασθενίζει αλλά δεν αυξάνει το κέρδος, επειδή μόνο μια κεραία χρησιμοποιείται σε έναν χρόνο.

**B) Ποικιλομορφία που συνδυάζει (diversity combining):** Αυτή η προσέγγιση συνδυάζει τη δύναμη δύο πολλαπλών διαδρομών (multipath) σημάτων, με τις κατάλληλες μετατοπίσεις φάσης, ώστε να επιτευχθεί ένα μεγαλύτερο κέρδος από την προηγούμενη τεχνική. Άλλα συστήματα ποικιλομορφίας, όπως η μέγιστη αναλογία που συνδυάζει τα συστήματα, συνδυάζουν τα αποτελέσματα όλων των κεραιών για να μεγιστοποιήσουν την αναλογία της συνδυασμένης λαμβανόμενης ενέργειας σημάτων στο θόρυβο.

Οι κεραιές ποικιλομορφίας μεταστρέφουν μόνο την εφαρμογή από ένα στοιχείο που βρίσκεται σε λειτουργία σε άλλο. Αν και αυτή η προσέγγιση μετριάζει την πολλαπλών διαδρομών εξασθένιση, η χρήση ενός στοιχείου της τη φορά δεν προσφέρει καμία uplink βελτίωση κέρδους πέρα από οποιαδήποτε single-element προσέγγιση. Η ανάγκη να εκπέμψει σε πολυάριθμους χρήστες αποτελεσματικότερα οδήγησε στο επόμενο βήμα στην εξέλιξη των συστημάτων κεραιών που ενσωματώνουν έξυπνα την ταυτόχρονη λειτουργία **κεραιών** στοιχείων, κεραιών ποικιλομορφίας **των έξυπνων** συγκεκριμένα (**smart antennas**).

### 2.2.2 Conventional Antennas

Ως συμβατική κεραιά θεωρούμε ένα δίπολο μήκους  $l$ . Η τιμή του ηλεκτρικού πεδίου σε μια απόσταση  $r$  από το δίπολο με  $\lambda \gg l$  δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$E_{el} = jn \frac{kI_0 l e^{-jkr}}{4pr} \sin(\theta) \quad 2.7$$

όπου  $n = 120\pi$ ,  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $I_0 =$  το πλάτος του ρεύματος (σταθερού),  $\theta =$  η γωνία ανύψωσης.

Για διάφορα μήκη με τιμή  $l$  όπου συγκρίνουμε την τιμή του  $\lambda$  το ηλεκτρικό πεδίο σε μια απόσταση  $r$  από το δίπολο δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$E_{el} = jn \frac{I_0 e^{-jkr}}{2pr} \frac{\hat{e} \cos\left(\frac{kl}{2} \cos(\theta)\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\hat{e} \sin(\theta)} \hat{u} \quad 2.8$$

Ιδιαίτερα για τη συμβατική κεραιά με  $l = \lambda / 2$  η εξίσωση (2) γίνεται:

$$E_{el} = jn \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\rho r} \frac{\hat{e}^{\cos(\frac{\rho}{2} \cos(\varphi))} \hat{e}^{\sin(\varphi)}}{\hat{e}^{\sin(\varphi)}} \hat{u} \hat{u} \hat{u} \hat{u} \hat{u} \hat{u} \quad 2.9$$

## 2.3 Smart Antennas

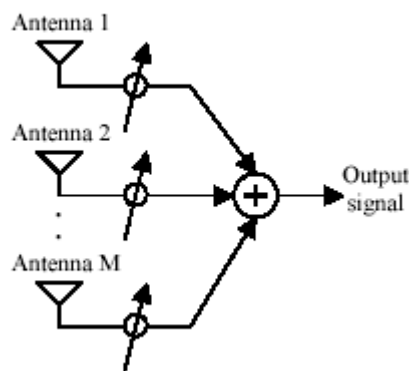
Σε αυτό το τμήμα, περιγράφονται οι βασικές έννοιες των συστημάτων των έξυπνων κεραιών και αναφέρονται προηγούμενες εργασίες που αφορούσαν τις έξυπνες κεραιές στα κινητά τηλέφωνα.

### 2.3.1 Εισαγωγή στις έξυπνες κεραιές

Η εξασθένιση των σημάτων στις ασύρματες προσωπικές επικοινωνίες οφείλονται κυρίως στην Διασυμβολική Παρεμβολή (Intersymbol Interference, ISI) και στην παρέμβαση καναλιών (Co-channel Interference, CCI). Το διαβιβασθέν σήμα φθάνει στον δέκτη με διαφορετικές χρονικές καθυστερήσεις μέσω του time-varying των πολλαπλών διαδρομών του καναλιού. Τα λαμβανόμενα σύμβολα των σημάτων είναι 'βρώμικα' και επικαλυμμένα το ένα με το άλλο. Αυτή η διαστρέβλωση σημάτων καλείται ISI. Η επαναχρησιμοποίηση συχνότητας και η πολλαπλάσια πρόσβαση προκαλούν το CCI, το οποίο είναι έμφυτο χαρακτηριστικό γνώρισμα των κυψελοειδών συστημάτων. Η χρονική ή και η χωρική επεξεργασία σήματος εφαρμόζεται για να μετριάσει την εξασθένιση του σήματος. Η χρονική επεξεργασία του σήματος μειώνει το ISI χρησιμοποιώντας έναν εξισωτή ή έναν δέκτη κλίσεων. Ο εξισωτής αντισταθμίζει τη διαστρέβλωση καναλιών και ο δέκτης κλίσεων διακρίνει κάθε καθυστερημένο σήμα και το συνδυάζει δημιουργικά. Εν τω μεταξύ, η χωρική επεξεργασία σήματος μειώνει το CCI χρησιμοποιώντας μια έξυπνη κεραία (Smart Antenna). Η έξυπνη κεραία παρέχει την έξοδο συνδυάζοντας κατάλληλα κάθε σήμα κεραιών. Μέσω αυτής της λειτουργίας,

είναι δυνατό να εξαχθεί το επιθυμητό σήμα και να κατασταλθεί η παρέμβαση. Όταν η χωρική επεξεργασία σήματος συνδυάζεται με τη χρονική επεξεργασία σήματος, η space-time επεξεργασία μπορεί περαιτέρω να επισκευάσει την εξασθένηση για να οδηγήσει στην υψηλότερη ικανότητα, κάλυψη και ποιότητα των δικτύων.

Το σχήμα 2.3.1 παρουσιάζει ένα διάγραμμα φραγμών ενός συστήματος κεραιών σε σειρά, στο οποίο τα σήματα που λαμβάνονται από κάθε στοιχείο της κεραιάς σταθμίζονται και συνδυάζονται έτσι ώστε να παραχθεί ένα σήμα εξόδου.



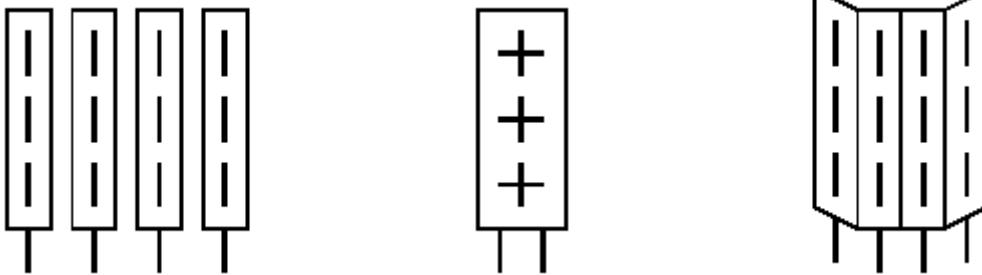
Σχήμα 2.3.1 Ένα σύστημα κεραιών

Το κέρδος κεραιών ορίζεται ως η μείωση της απαραίτητης δύναμης των λαμβανόμενων σημάτων για το  $\alpha$  λαμβάνοντας υπόψη τη μέση παραγωγή σήματος προς θόρυβο αναλογία (SNR), ενώ το κέρδος ποικιλομορφίας ορίζεται ως η μείωση της απαραίτητης μέσης παραγωγής SNR για ένα δεδομένο ποσοστό λάθους κομματιών (Bit Error Rate, BER). Ένα σύστημα κεραιών σε σειρά παρέχει το κέρδος κεραιών καθώς επίσης και το κέρδος ποικιλομορφίας. Το κέρδος ποικιλομορφίας ενάντια στην εξασθένηση πολλαπλών διαδρομών εξαρτάται από το συσχετισμό της εξασθένησης μεταξύ των κεραιών. Το υψηλότερο κέρδος ποικιλομορφίας μπορεί να ληφθεί όταν ο συσχετισμός μεταξύ των σημάτων των κεραιών είναι χαμηλός.

Τρεις βασικές διαμορφώσεις των κεραιών χρησιμοποιούνται για να παρέχουν το κέρδος ποικιλομορφίας όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3.2. Μια διαμόρφωση για τη χωρική ποικιλομορφία παρουσιάζεται στο σχήμα 2.3.2(a). Ο συσχετισμός της εξασθένησης συσχετίζεται με τη χωρισμένη απόσταση μεταξύ των κεραιών. Η δεύτερη



ποικιλομορφία που παρουσιάζεται στο σχήμα 2.3.2 (β) ονομάζεται ποικιλομορφία πόλωσης, όπου χρησιμοποιούνται η οριζόντια και κάθετη πόλωση για να επιτύχει. Η ποικιλομορφία γωνίας χρησιμοποιεί διάφορες στενές κεραίες εκπομπής δεσμών. Στο σχήμα 2.3.2 (γ) απεικονίζεται μια ποικιλομορφία γωνίας στην οποία τέσσερις στενές κεραίες που εκπέμπουν με δέσμες (κάθε στενή κεραία εκπομπής δεσμών καλύπτει ένα τμήμα  $30^\circ$ ) καλύπτουν έναν τομέα  $120^\circ$ .



(α) Χωρική ποικιλομορφία    (β) Ποικιλομορφία πόλωσης    (γ) Ποικιλομορφία γωνίας

### Σχήμα 2.3.2. Ποικιλομορφία κεραιών

Μια γραμμική σειρά κεραιών αποτελείται από κεραίες ομοιόμορφα χωρισμένες κατά διαστήματα μαζί με πανομοιότυπα στοιχεία κεραιών. Για τη διαμόρφωση της χωρικής ποικιλομορφίας της κεραίας, η γραμμική σειρά κεραιών μπορεί να παρέχει το κέρδος ποικιλομορφίας με το χαμηλό συσχετισμό εάν τα διαστήματα μεταξύ των κεραιών είναι αρκετά μεγάλα (η απόσταση είναι μερικός ή δεκάδες των μηκών κύματος μεταφορέων). Όταν οι κεραίες τοποθετούνται στην εγγύτητα, ο συσχετισμός μεταξύ των σημάτων κεραιών είναι υψηλός. Σε αυτήν την περίπτωση, η προσαρμοστική θεωρία φίλτρων μπορεί να εφαρμοστεί για να εξαγάγει το επιθυμητό σήμα καταστελλοντας το παρεμβαλλόμενο σήμα. Για να εξαγάγουν το επιθυμητό σήμα και για να καταστείλουν το σήμα παρέμβασης, τα σύνθετα βάρη κεραιών χρησιμοποιούνται για να αλλάξουν τη φάση και το μέγεθος του λαμβανόμενου σήματος. Εξετάσουμε την

περίπτωση όπου δύο κεραιές χωρίζονται από  $\lambda / 2$ , όπου  $\lambda$  μεταφορέων, και ένα επιθυμητό σήμα είναι συναφές στη σειρά κεραιών με τη γωνία της έλευσης  $\theta_1$  και ένα σήμα παρέμβασης με τη γωνία της έλευσης  $\theta_2$ , όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.10 (α). Η μόνη διαφορά μεταξύ του επιθυμητού σήματος  $S_1$  που λαμβάνεται στην κεραιά 1 και του επιθυμητού σήματος  $S_2$  που λαμβάνεται στην κεραιά 2 είναι η διαφορά φάσης, η οποία είναι  $\pi \sin \theta_1$  σε αυτήν την διαμόρφωση. Ομοίως, η διαφορά φάσης μεταξύ των σημάτων παρέμβασης που λαμβάνονται σε κάθε κεραιά είναι  $\pi \sin \theta_2$ . Για να εξαγάγουν το επιθυμητό σήμα και για να καταστείλουν το σήμα παρέμβασης, τα βάρη κεραιών πρέπει να ικανοποιήσουν τις ακόλουθες εξισώσεις.

$$W_1 + e^{-j\rho \sin \theta_1} W_2 = 1, \quad 2.10(\alpha)$$

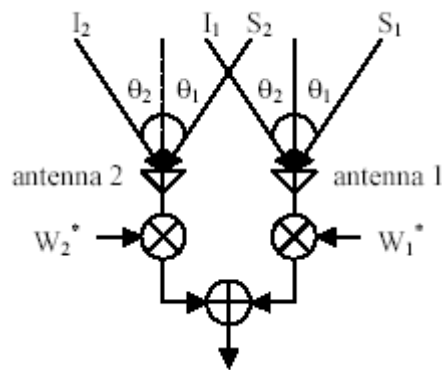
$$W_1 + e^{-j\rho \sin \theta_2} W_2 = 0, \quad 2.10(\beta)$$

Οι ανωτέρω δύο εξισώσεις προέρχονται υπό τις ακόλουθες δύο προϋποθέσεις (το κέρδος ενότητας προς το επιθυμητό σήμα και το μηδενικό κέρδος στο σήμα παρέμβασης)

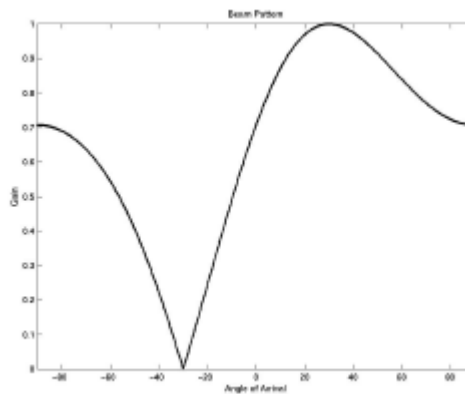
$$|S_1 W_1 + S_2 W_2| = |S_1 W_1 + S_1 e^{-j\rho \sin \theta_1} W_2| = |S_1| |W_1 + e^{-j\rho \sin \theta_1} W_2| = |S_1|, \quad 2.11$$

$$|I_1 W_1 + I_2 W_2| = |I_1 W_1 + I_1 e^{-j\rho \sin \theta_1} W_2| = |I_1| |W_1 + e^{-j\rho \sin \theta_1} W_2| = |I_1| * 0 = 0 \quad 2.12$$

Τα βάρη κεραιών, το  $W_1 = 1/2$  και το  $W_2 = -1/2j$ , βρίσκονται εάν οι γωνίες της άφιξης είναι  $\theta_1 = \pi / 6$  και  $\theta_2 = -\pi / 6$ , αντίστοιχα. Το σχέδιο κεραιών εκπομπής δεσμών για αυτήν την περίπτωση παρουσιάζεται στο σχήμα 2-10 (β), στο οποίο το σχέδιο αυτό παρέχει το κέρδος προς την κατεύθυνση ( $\theta_1 = \pi / 6$ ) του επιθυμητού σήματος και καταστέλλει το κέρδος προς την κατεύθυνση ( $\theta_2 = -\pi / 6$ ) του σήματος παρέμβασης.



(α) Σειρά κεραιών με τα σήματα



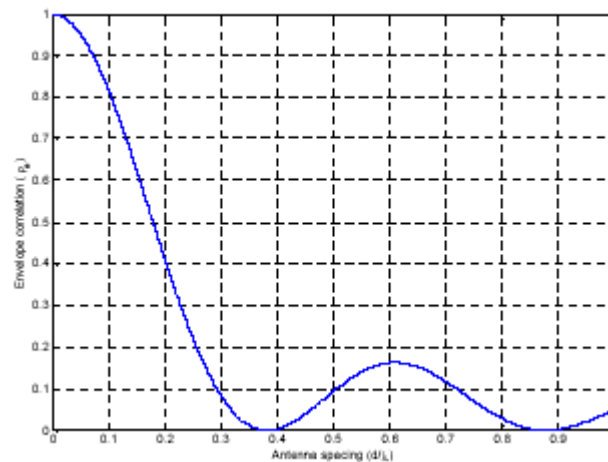
Σχήμα 2.3.3. Σειρά κεραιών και σχέδιο ακτίνων

### 2.3.2 Οι Smart Antennas στα Κινητά Τηλέφωνα (Handsets)

Λόγω των ανησυχιών εξαιτίας της μεγάλης πολυπλοκότητας των συστημάτων και της μεγάλης κατανάλωσης ισχύος, οι τεχνικές των έξυπνων κεραιών είχαν αρχικά εξεταστεί για τους σταθμούς βάσεων. Μια κοινή πεποίθηση είναι ότι οι χωρισμένες κατά πολύ μεγάλα διαστήματα κεραιές είναι ατελέσφορες για την εκμετάλλευση της ποικιλομορφίας. Ένα αναλυτικό πρότυπο για τη σχέση μεταξύ του συσχετισμού φακέλων και του διαστήματος κεραιών δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$r_e = J_0^2 \left( \frac{2\pi d}{\lambda} \right) \quad 2.13$$

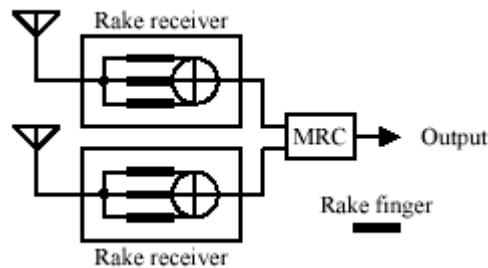
όπου  $r_e$  είναι ο συσχετισμός φακέλων δύο σημάτων κεραιών ποικιλομορφίας, το  $J_0$  είναι το πολώνυμο Bessel, το  $d$  είναι το διάστημα μεταξύ των κεραιών, και  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος. Στο σχήμα 2.3.4 φαίνεται η σχέση 2.13. Εντούτοις, τα πρόσφατα αποτελέσματα μέτρησης δείχνουν ότι ακόμη και οι χωρισμένες κατά μεγάλα διαστήματα κεραιές (όπως με 0,15 μήκος κύματος) παρέχουν έναν χαμηλό συσχετισμό φακέλων για να αποφέρουν ένα κέρδος ποικιλομορφίας. Αυτά τα πειραματικά αποτελέσματα επίσης δείχνουν ότι ο συσχετισμός φακέλων δύο χωρισμένων κεραιών ποικιλομορφίας για το περιορισμένης ζώνης σήμα βρίσκεται μεταξύ από 0,12 έως 0,74 για τα διάφορα περιβάλλοντα υπό τον όρο ότι οι δύο κεραιές χωρίζονται κατά διαστήματα όπως (0,1λ) (κλιμά). Η δυναμικότητα μικροτηλέφωνα έχει ερευνηθεί άμεσα..



**Σχήμα 2.3.4.** Συσχετισμός φακέλων εναντίον του διαστήματος κεραιών

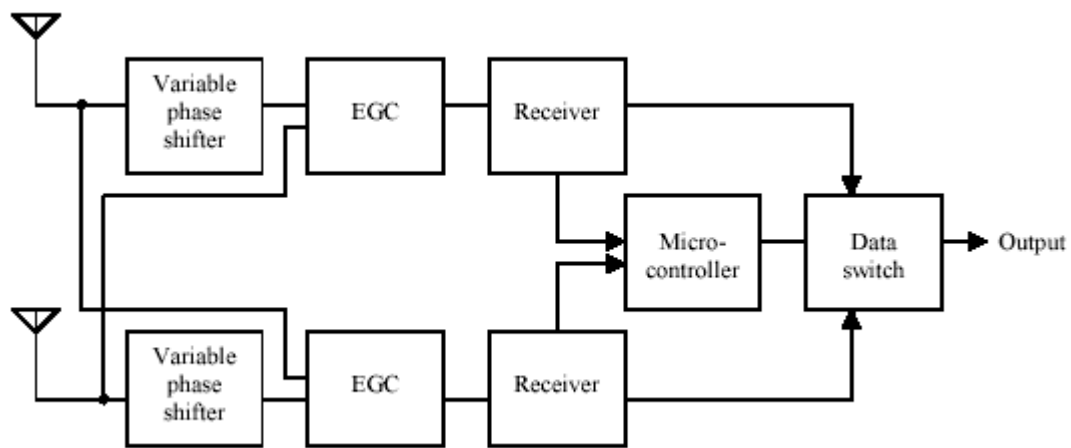
Το 3GPP απαιτεί την ποικιλομορφία κεραιών στους σταθμούς βάσεων και προαιρετικά στους κινητούς σταθμούς. Η ποικιλομορφία κεραιών εφαρμόζεται επίσης και στο IEEE 802.11 ασύρματο σύστημα τοπικών δικτύων περιοχής (WLAN). Πρόσφατα, η έξυπνη τεχνική κεραιών έχει εφαρμοστεί στα κινητά τερματικά. Το

υψηλό σύστημα ποσοστού στοιχείων (High Data Rate,HDR) (που υιοθετείται ως IS-856 και είναι επίσης γνωστό και ως 1Xev DO) που αναπτύσσεται από την Qualcomm υιοθετεί διπλές κεραιές σε έναν κινητό σταθμό. Κάθε σήμα κεραιών εφαρμόστηκε στο δέκτη με κάποια κλίση που συνδυάζει τα σήματα από τα διαφορετικά multipaths όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3.5. Κατόπιν, η μέγιστη αναλογία του συνδυασμού ποικιλομορφίας χρησιμοποιήθηκε για να συνδυάσει τα δύο σήματα δεκτών με κλίση (rake receiver). Η αύξηση της ρυθμοαπόδοσης αναφέρθηκε άμεσα. Η μέση ρυθμοαπόδοση για τους υπαίθριους στάσιμους χρήστες ήταν περίπου 750 kbps με μια κεραία και 1,05 Mbps με τις διπλές κεραιές. Η μέση ρυθμοαπόδοση για τους κινητούς χρήστες ήταν περίπου 500 kbps με μια κεραία και 900kbps με τις διπλές κεραιές.



Σχήμα 2.3.5. Σύστημα διπλών κεραιών για το HDR

Ένα διπλό σύστημα κεραιών για τα μικροτηλέφωνα εφαρμόστηκε επίσης και στο Ψηφιακό Ευρωπαϊκό ασύρματο τηλεφωνικό (DECT) σύστημα για το εσωτερικό ράδιο κανάλι. Το σχήμα 2.3.6 παρουσιάζει το διάγραμμα των blocks του συστήματος. Ο δέκτης μικροτηλεφώνων διπλών κεραιών επιλέγει το ένα από τα δύο σήματα των δεκτών βασισμένων στο SINR. Κάθε δέκτης επεξεργάζεται ένα σήμα που είναι ένας ίσος συνδυασμός του σήματος από τη μια κεραία και του μετατοπισμένου σήματος με διαφορά φάσης από την άλλη κεραία. Αναφέρθηκε ότι η δύναμη μετάδοσης για το διπλό σύστημα κεραιών μειώθηκε από 9 dB στην κάλυψη 99% με κανονική ταχύτητα (περίπου 5 km/h) έναντι του συστήματος με μια κεραία.



**Σχήμα 2.3.6.** Κινητά τηλέφωνα έξυπνων κεραιών για το σύστημα DECT

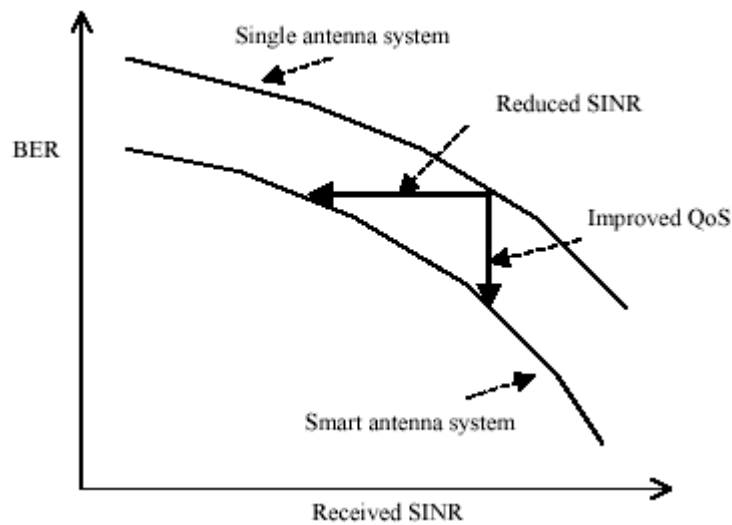
Η Wong και COX πρότειναν ένα διπλό σύστημα κεραιών που θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε φορητές συσκευές καθώς επίσης και σε σταθμούς βάσεων. Το άθροισμα των σημάτων από δύο κεραιές με τα κατάλληλα βάρη στο σύνθετο αριθμό ακυρώνει την κυρίαρχη παρέμβαση και ως εκ τούτου αυξάνει την αναλογία σήματος-παρέμβαση (Signal-to-interference, SIR). Για να υπολογιστούν τα βάρη κεραιών, προτάθηκε μια τεχνική για να βελτιστοποιηθεί το SIR. Αντίθετα από τις ανωτέρω δύο μεθόδους, το σήμα που ζυγίζει και που αθροίζει εφαρμόστηκε στο επίπεδο ραδιοσυχνότητας (RF) αντί στο επίπεδο σημάτων ζωνών βάσης (base band level). Κατά συνέπεια, μειώθηκε η πολυπλοκότητα του συνδυαστή ποικιλομορφίας δεδομένου ότι απαιτούσε μόνο έναν επεξεργαστή ζωνών βάσης (base band). Τα αποτελέσματα προσομοίωσης υπολογιστών δείχνουν ότι η βελτίωση της μεθόδου τους στο SIR ήταν περισσότερο από 3,8 dB έναντι του συμβατικού συστήματος ποικιλομορφίας με δύο κεραιές.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά σε ένα 3G κυψελοειδές σύστημα είναι ένα υψηλό ποσοστό στοιχείων (HDR). Για ένα υψηλό ποσοστό στοιχείων, απαιτούνται ένα χαμηλότερο BER και ένας μικρότερος διαδίδων παράγοντας. Κατά συνέπεια, διαβιβάζοντας υψηλότερη δύναμη σε μια βάση όπου ο σταθμός είναι απαραίτητος οδηγεί στις αυξανόμενες παρεμβάσεις στο κελί. Εφαρμόζοντας τεχνικές έξυπνων κεραιών στα μικροτηλέφωνα, το λαμβανόμενο SINR στα μικροτηλέφωνα μπορεί να

---

βελτιωθεί. Κατά συνέπεια, ο σταθμός βάσης εκπέμπει με λιγότερη δύναμη σε ένα smart antenna handset (μικροτηλέφωνο) από ένα συμβατικό μικροτηλέφωνο με μια κεραία.

Το σχήμα 2.3.7 παρουσιάζει τις αποδόσεις του BER ενός συστήματος με μια κεραία και ενός συστήματος έξυπνων κεραιών. Όπως φαίνεται στην γραφική παράσταση, το όφελος ενός συστήματος έξυπνων κεραιών από έναν σύστημα με μια κεραία μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους: μειωμένο SINR ή βελτιωμένα BER. Το όφελος συμβάλει στην αυξανόμενη ικανότητα και την κάλυψη όταν το BER ή η ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) είναι σταθερά. Εν τω μεταξύ, το όφελος είναι το βελτιωμένο QoS όταν διατηρείται η ικανότητα (capacity). Η έξυπνη κεραία στα μικροτηλέφωνα μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε ασύρματα προσωπικά συστήματα επικοινωνιών όπως στη Frequency Division Multiple Access (FDMA), Time Division Multiple Access (TDMA), και Code Division Multiple Access (CDMA). Το FDMA ή το σύστημα TDMA μπορεί να λάβει το όφελος της αυξανόμενης ικανότητας μόνο εάν όλα τα μικροτηλέφωνα μέσα σε ένα κύτταρο είναι εξοπλισμένα με έξυπνες κεραίες. Ο λόγος είναι ότι ο περιοριστής ικανότητας για το TDMA ή το σύστημα FDMA είναι παράγοντας επαναχρησιμοποίησης συχνότητας. Αντίθετα, ακόμη και η μερική επέκταση των έξυπνων κεραιών στα μικροτηλέφωνα μπορεί παρέχει το όφελος της αυξανόμενης ικανότητας για το σύστημα CDMA, δεδομένου ότι το CDMA είναι περιορισμένο σύστημα όσον αφορά την παρέμβαση. Σε αυτήν την περίπτωση, το κέρδος της αυξανόμενης ικανότητας εξαρτάται από ποσοστό της επέκτασης των έξυπνων κεραιών στα μικροτηλέφωνα.



Σχήμα 2.3.7. Σύστημα έξυπνων κεραιών εναντίον του ενιαίου συστήματος κεραιών

### 2.3.3 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των Smart Antennas στις Ασύρματες Επικοινωνίες .

Οι διάφοροι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό ενός ασύρματου συστήματος και οι προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν μπορούν να απαριθμηθούν ως εξής:

- Ένα multipath time-varying περιβάλλον διάδοσης.
- Ένα περιορισμένο ράδιο φάσμα.
- Τις μπαταρίες – το μέγεθος και η διάρκεια που λειτουργούν.
- Τις απορριφθείσες κλήσεις
- Την παρέμβαση του Co-channel
- Η ικανότητα του συστήματος όταν υπάρχει μεγάλη κυκλοφορία πώς μπορεί να χειριστεί και τη βάση συνδρομητών



---

Η χρήση των προσαρμοστικών κεραιών σε ένα ασύρματο σύστημα επικοινωνιών θα ασκήσει μεγάλη επίδραση στην απόδοση των κυψελοειδών δικτύων αλλά θα έχει επιπτώσεις σε πολλές πτυχές του προγραμματισμού και της επέκτασης των κινητών συστημάτων. Τα κύρια πλεονεκτήματά τους ακολουθούν παρακάτω:

- (i) Ενισχύουν τη σειρά της κάλυψης και μειώνουν έτσι το αρχικό κόστος επέκτασης ενός ασύρματου συστήματος

Στις αγροτικές και αραιά κατοικημένες περιοχές, υπάρχει μια δυνατότητα αύξησης του πεδίου του εύρους και αυτό είναι είναι διαθέσιμο επειδή οι έξυπνες κεραιές μπορούν να κατευθυνθούν καλύτερα από ότι θα γινόταν στον παραδοσιακό τομέα ή με τις πανκατευθυντικές κεραιές.

- (ii) Βελτιώνουν τη φασματική αποδοτικότητα δεδομένου ότι οι χρήστες μπορούν να έχουν αν είναι δυνατό, τον χωρικό χωρισμό των σημάτων, δηλαδή τον SDMA (Space division multiple access, SDMA)

- (iii) Μπορούν να εφαρμοστούν σε διάφορα σχέδια πολλαπλής πρόσβασης όπως στα TDMA, CDMA και FDMA.

- (iv) Βοηθάνε στο να μετριάσουν τα αποτελέσματα των πολλαπλών διαδρομών και βελτιώνουν την ποιότητα της υπηρεσίας σε σύγκριση με το όταν χρησιμοποιούνται οι συμβατικές κεραιές.

Με τη χρήση μιας στενής ακτίνας κεραιών στο σταθμό βάσεων η διάδοση των πολλαπλών διαδρομών μπορεί να μειωθεί.

- (v) Βελτιώνουν την ικανότητα(χωρητικότητα) των συστημάτων

Στις πυκνά κατοικημένες περιοχές, η παρέμβαση από άλλους χρήστες είναι η κύρια πηγή θορύβου στο σύστημα. Αυτό σημαίνει ότι το σήμα στην αναλογία παρέμβασης, το SIR, είναι πολύ μεγαλύτερο από το σήμα στη θερμική αναλογία σήματος προς θόρυβο SNR. Οι

---

προσαρμοστικές σειρές κεραιών αυξάνουν το λαμβανόμενο SIR ενώ ταυτόχρονα αυξάνουν το χρήσιμο λαμβανόμενο επίπεδο σημάτων και μειώνουν το επίπεδο παρέμβασης. Στα συστήματα TDMA, η επίπτωση του αυξανόμενου SIR είναι η δυνατότητα για τη μειωμένη απόσταση επαναχρησιμοποίησης της συχνότητας. Στα CDMA επίσης, η κύρια πηγή θορύβου στο σύστημα είναι η παρέμβαση από άλλους χρήστες. Αυτό σημαίνει ότι το αναμενόμενο κέρδος όσον αφορά την χωρητικότητα είναι ακόμα μεγαλύτερο για CDMA απ' ό,τι για TDMA.

(vi) Μπορούν να οδηγήσουν σε νέες υπηρεσίες:

Οι έξυπνες κεραιές μπορούν να δώσουν την ασύρματη πρόσβαση δικτύων στις χωρικές πληροφορίες για τους χρήστες. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογίσουν τις θέσεις των χρηστών ακριβέστερα απ'ό,τι στα υπάρχοντα δίκτυα. Ο προσδιορισμός θέσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις υπηρεσίες όπως για κλήσεις έκτακτης ανάγκης και όσον αφορά την τιμολόγηση.

(vii) Αυξανόμενη ασφάλεια:

Είναι δύσκολο να γίνει υποκλοπή σε μια σύνδεση όταν χρησιμοποιούνται οι έξυπνες κεραιές. Για να γίνει υποκλοπή σε μια σύνδεση ο εισβολέας πρέπει να τοποθετηθεί στην ίδια κατεύθυνση με το χρήστη όπως φαίνεται από το σταθμό βάσεων.

Οι προσαρμοστικές κεραιές απευθύνονται στα περισσότερα από αυτά τα ζητήματα και θα χρησιμοποιηθούν σε ευρεία ζώνη στα κυψελοειδή συστήματα τρίτης γενεάς. Το CDMA2000, το οποίο είναι το πρότυπο για τα CDMA που προτείνεται για 3G ασύρματα συστήματα, προγραμματίζει να ενσωματώσει τους βοηθητικούς πιλότους για να υποστηρίξει την έξυπνη τεχνολογία κεραιών. Το UWC136, ένα πρότυπο TDMA, προγραμματίζει επίσης να υποστηρίξει την έξυπνη τεχνολογία κεραιών στα 3G ασύρματα συστήματά του.

### 2.3.4 Ο ρόλος των Smart antennas στα CDMA συστήματα.

Ένα έξυπνο σύστημα κεραιών CDMA μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους υπάρχοντες σταθμούς βάσεων CDMA για να αυξήσει την χωρητικότητα των κυττάρων μέχρι 50 τοις εκατό. Μια **πολλαπλής δέσμης, phased-array κεραία** χρησιμοποιείται συνήθως για αυτόν το λόγο.

- Σύνθεση τομέα

Η phased-array κεραία μπορεί να δημιουργήσει τα custom σχέδια κεραιών για να εξυπηρετήσει τους χρήστες μέσα σε ένα κύτταρο. Οι στενές ακτίνες κεραιών αυξάνουν τον λόγο carrier-to-interference (C/I), το οποίο βελτιώνει την ποιότητα κλήσης και επιτρέπει την εφαρμογή των σχεδίων επαναχρησιμοποίησης συχνότητας. Οι έξυπνες κεραίες CDMA προσφέρουν τη μεγαλύτερη ευελιξία στη βελτιστοποίηση της χρήσης της χωρητικότητας στη περιοχή των κυττάρων CDMA.

- Κέρδος χωρητικότητας

Προέρχονται από δύο βασικές πηγές: την μέγιστη μείωση φορτίων και μείωση του αριθμού απόρριψης κλήσεων. Η χωρητικότητα ενός κυττάρου συνήθως δεν χρησιμοποιείται αποτελεσματικά λόγω των δυσαναλογιών στη φόρτωση. Με το χειρισμό των σχεδίων σε κάθε τομέα της περιοχής, οι έξυπνες κεραίες μπορούν να ισορροπήσουν τα φορτία της κυκλοφορίας μεταξύ των τομέων, μπορούν να μετατοπίζουν την κυκλοφορία από έναν τομέα που έχει περιορισμένη χωρητικότητα σε τομείς που έχουν αυξημένη λόγω ελαφρύτερων φορτίων κυκλοφορίας.

- Μειωμένα handoffs

Οι έξυπνες κεραίες μπορούν να δώσουν τα μεγαλύτερα κέρδη χωρητικότητας μέσω των μειωμένων handoff γενικών εξόδων. Δεδομένου ότι ο αριθμός handoffs αυξάνεται, η χωρητικότητα μειώνεται. Τα soft handoffs CDMA προβλέπουν τις υψηλής ποιότητας μεταβάσεις του τύπου make-before-break . Τα Handoffs μπορεί επίσης να

τοποθετηθούν στις χαμηλές περιοχές κυκλοφορίας για να μετριαστεί η υπερβολική παρέμβαση.

Κατά συνέπεια, οι έξυπνες κεραιές αποσπούν περισσότερη ικανότητα(χωρητικότητα) από τους τρέχοντες πόρους των δικτύων CDMA και την εφαρμογή τους στα αποτελέσματα των σταθμών βάσεων σε ένα αποδοτικότερο δίκτυο.

## 2.4 Απορρόφηση της ακτινοβολίας από το κεφάλι.

### 2.4.1 Specific Absorption Rate ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, SAR

Τα ηλεκτρικά ρεύματα ραδιοσυχνότητας στην κεραία και στο περίβλημα ενός φορητού κινητού τηλεφώνου, επηρεάζουν τα ηλεκτρικά πεδία RF του ιστού. Ως αποτέλεσμα αυτού ένα μέρος της ακτινοβολούσας ενέργειας απορροφάται από τον ιστό προκαλώντας μια αύξηση της θερμοκρασίας σε εκείνη τη περιοχή. Η απορρόφηση προκαλείται από την απώλεια δύναμης σχετική με τη διηλεκτρική πόλωση. Η ταλάντευση των μορίων του νερού, οι μετακινήσεις των ελεύθερων ιόντων και οι μετακινήσεις των συνδεδεμένων φορτίων που συνδέονται με μακρομόρια συμβάλλουν περισσότερο στη διηλεκτρική πόλωση σε βιολογικό υλικό στις ραδιοσυχνότητες. Η απώλεια δύναμης καθορίζεται από το SAR (Specific Absorption Rate) όπου είναι ένα μέτρο του ρυθμού της ενεργειακής απορρόφησης ανά μάζα μονάδων σε μια συγκεκριμένη θέση στον ιστό και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{SAR} = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad 2.14$$

όπου  $|E|$  [V/m], είναι το μέγεθος της μετρημένης ή υπολογισμένης ισχύος των ηλεκτρικών πεδίων rms,  $\sigma$  [S/m] είναι η αγωγιμότητα του ιστού και  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] είναι η μαζική πυκνότητα ιστού. Η τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που είναι υψωμένη στο τετράγωνο στους x, y, z άξονες E δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad 2.15$$

Όπου  $E_x$ ,  $E_y$  και  $E_z$  είναι οι rms τιμές στους  $x$ ,  $y$ ,  $z$  άξονες του ηλεκτρικού πεδίου. Το SAR έχει σαν μονάδες τα Watt/kg ή mwatts/kg. Κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορεί επίσης να καθοριστεί και από την αύξηση της θερμοκρασίας στον ιστό σύμφωνα με την εξίσωση:

$$SAR = C \frac{dT}{dt} \quad 2.16$$

όπου  $C$  είναι η συγκεκριμένη θερμότητα του ιστού,  $\delta T$  είναι η άνοδος της θερμοκρασίας και  $dt$  είναι η διάρκεια έκθεσης. Εντούτοις, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν οι τεχνικές θερμοκρασίας, απαιτείται σχετικά υψηλή ισχύς(δύναμη) για να εκτεθεί ο ιστός σε σύντομη χρονική διάρκεια, για να αποφευχθούν λάθη θερμικής διάχυσης. Επομένως, οι μέθοδοι θερμοκρασίας δεν ισχύουν τυπικά για την αξιολόγηση των συσκευών εκπομπής όσον αφορά την ισχύ των σημάτων για το SAR. Δεδομένου ότι η δύναμη ηλεκτρικών πεδίων μέσα στους ιστούς απαιτείται, το SAR μπορεί να ληφθεί είτε μέσω των εργαστηριακών μελετών (όπου χρησιμοποιούνται τα πλασματικά EM ισοδύναμα με τους ανθρώπινους ιστούς) ή με τις προσομοιώσεις υπολογιστών. Σε καθεμία περίπτωση, η διαδικασία τυποποίησης δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμα.

Στην πράξη το SAR καθορίζεται πάντα ως η μέση τιμή ενός πεπερασμένου όγκου ιστού. Ο μέσος όρος ενός ολόκληρου σώματος, το SAR wba δίνει απλά την ενέργεια που απορροφάται από ολόκληρο το ανθρώπινο σώμα και διαιρείται με τη μάζα του σώματος. Μπορεί να φανεί από την εξίσωση 2.14 ότι το SAR συσχετίζεται άμεσα με την αγωγιμότητα του ιστού. Η αγωγιμότητα, αφ' ετέρου, αυξάνεται όταν η περιεκτικότητα σε νερό του ιστού αυξάνεται. Επομένως, η θερμοκρασία στους τύπους ιστού με υψηλό ποσοστό νερού όπως είναι οι ιστοί των μυών, του αίματος, του δέρματος και των νεύρων, αυξάνεται περισσότερο από ότι η θερμοκρασία στους ξηρότερους τύπους ιστού όπως το λίπος και το κόκαλο. Η αγωγιμότητα και οι περισσότεροι σημαντικοί τύποι ιστού στις κινητές συχνότητες παρουσιάζονται στον πίνακα 2.4.1.

Το SAR είναι η δοσιμετρική μονάδα των βιολογικών αποτελεσμάτων που συνδέονται με την αύξηση της θερμοκρασίας στον ιστό. Εντούτοις, η ισχύς των ηλεκτρικών πεδίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δοσιμετρική μονάδα ιδιαίτερα όταν

αφορούνται αποτελέσματα άλλων τύπων. Σύμφωνα με την εξίσωση 2.14  $1 \text{ W/kg}$  αφορά την ισχύ ηλεκτρικών πεδίων κατά προσέγγιση  $30 \text{ V/m}$  στις κινητές τηλεφωνικές συχνότητες. Η αγωγιμότητα είναι περίπου  $1 \text{ S/m}$  και η πυκνότητα ιστού  $1.000 \text{ kg/m}^3$ , η πυκνότητα του νερού παραμένει σταθερή.

Tissue type	Conductivity (S/m)			
	150 MHz	450 MHz	900 MHz	1,800 MHz
Muscle	0.73	0.81	0.94	1.3
Skin (wet)	0.56	0.69	0.85	1.2
Blood	1.2	1.4	1.5	2.0
Grey brain matter	0.60	0.76	0.94	1.4
White brain matter	0.35	0.46	0.59	0.92
Fat	0.07	0.083	0.11	0.19
Bone	0.070	0.096	0.14	0.28
Liver	0.53	0.68	0.86	1.3

**Σχήμα 2.4.1** Χαρακτηριστικές τιμές αγωγιμότητας ορισμένων τύπων ιστού σε διαφορετικές συχνότητες.

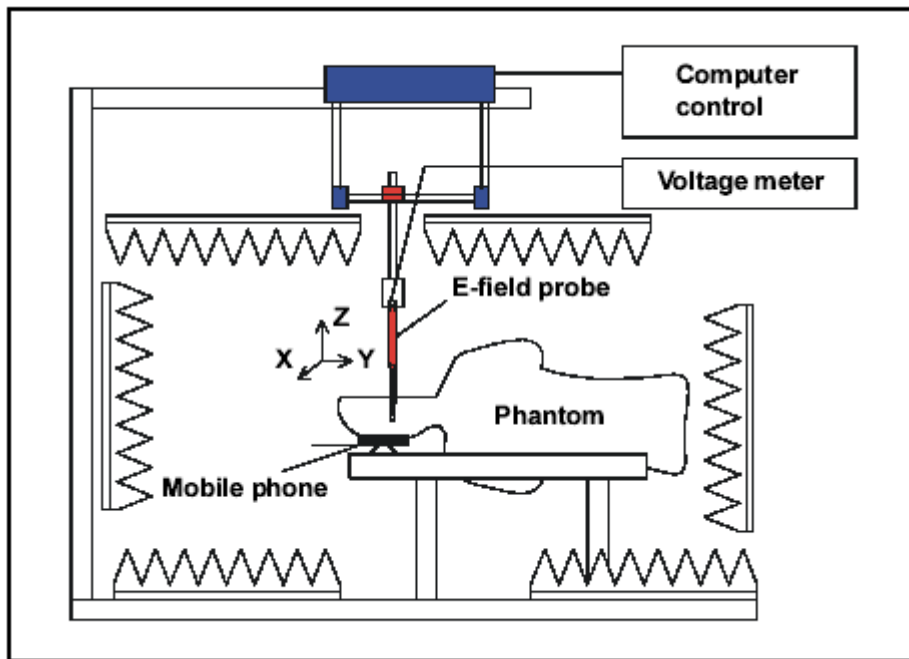
#### 2.4.2 Το Καθοριστικό SAR

Το SAR που προκαλείται από το φορητό κινητό τηλέφωνο μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια μόνο μετρώντας κατευθείαν ή υπολογίζοντας το E-πεδίο που προκαλείται στον ιστό ή την άνοδο της θερμοκρασίας. Οι δοσιμετρικές αξιολογήσεις που βασίζονται στο E - πεδίο και στα H-πεδία και ακτινοβολούνται σε ελεύθερο χώρο από συσκευές

που βρίσκονται υπό δοκιμή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για απλές διαγνωστικές εξετάσεις για να απαλλαγεί μια συσκευή χαμηλής ισχύος από τις άμεσες δοκιμές SAR.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται συνήθως για την ανάλυση του SAR είναι ο πεπερασμένος χρόνος διαφορετικότητας περιοχής (Finite Difference Time Domain, FDTD). Τα αριθμητικά πρότυπα που απαιτούνται στους υπολογισμούς FDTD προέρχονται συνήθως από τις εικόνες MRI (Magnetic Resonance Imaging, MRI) (απεικόνιση μαγνητικής αντήχησης) ή από τους αριθμούς των ανατομικών διατομών. Η καλύτερη ανάλυση των FDTD προτύπων είναι 2mm. Η βελτίωση της ανάλυσης είναι δύσκολη λόγω ανεπαρκών ανατομικών δεδομένων, περιορισμένης μνήμης RAM και υπερβολική αύξηση του υπολογιστικού χρόνου.

Μοντέλα που μιμούνται την ανατομία και τις ηλεκτρικές ιδιότητες του ανθρώπινου κεφαλιού και τον γενικότερο κορμό χρησιμοποιούνται στις δοσιμετρικές μετρήσεις. Το SAR είναι συνήθως καθορισμένο με τη μέτρηση του E-πεδίου στον ιστό (εξίσωση 2.14). Εντούτοις, μια μέθοδος βασισμένη στη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι δυνατή, τουλάχιστον σαν αρχή αλλά συνήθως περιορίζεται στις βαθμολογήσεις των ελέγχων SAR. Τα ετερογενή μοντέλα αποτελούνται από ημισταθερά υλικά αλλά στα ομοιογενή μπορεί να χρησιμοποιηθεί η υγρή λύση, όπως μπορείτε να δείτε στο σχήμα 2.4.2. Τα μοντέλα που αποτελούνται από το υγρό έχουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα, επειδή αυτά επιτρέπουν την ελεύθερη κίνηση του εκπομπού που μετρά την απορρόφηση. Στην περίπτωση των ετερογενών μοντέλων οι μετρήσεις μπορούν να εκτελεστούν σε σταθερές τρύπες που διαστρεβλώνουν το E-πεδίο. Οι θεωρητικές αναλύσεις δείχνουν εκείνο το μέγιστο SAR στα ομοιογενή μοντέλα μπορεί να είναι ίσο ή 1,5 φορές υψηλότερο και από το μέγιστο SAR στα ετερογενή μοντέλα. Είναι πιθανό τα τυποποιημένα τεστ SAR να βασιστούν στις μετρήσεις που εκτελούνται με τα ομοιογενή υγρά. μοντέλα.



**Σχήμα 2.4.2** Το σύστημα μέτρησης του SAR. Οι τιμές του καθορίζονται με την μέτρηση της ενέργειας του ηλεκτρικού πεδίου σε ένα ρεαλιστικό ομοιογενές μοντέλο με υγρό με ένα μικρό κινούμενο ιστροπικό εκπομπό του E- πεδίου. Η κίνηση του εκπομπού ελέγχεται από έναν υπολογιστή.

Εάν οι τιμές SAR πρόκειται να συγκριθούν με τα όρια έκθεσης που δίνονται από τα πρότυπα ασφάλειας ακτινοβολίας, πρέπει να υπολογιστούν κατά μέσο όρο πέρα από μια κυβική μάζα καθενός 1 γραμμαρίου ή 10 γραμμάρων, το οποίο εξομαλύνει τις τιμές της κορυφής. Σε ένα ομοιογενές μοντέλο το δευτερεύον μήκος του κύβου είναι 1 και 2,2 εκατ., για τις μάζες 1 γ και 10 γ, αντίστοιχα. Ο ιστός πρέπει να γεμίσει μέχρι επάνω τον κύβο, το οποίο σημαίνει ότι το κεντρικό σημείο του κύβου πρέπει να είναι τοποθετημένο τουλάχιστον σε κάποια απόσταση από το δέρμα. Εκείνη την στιγμή, είναι ασαφές πώς οι κοιλότητες του αυτιού και οι κοιλότητες του κεφαλιού πρέπει να ληφθούν υπόψη. Δεν υπάρχει καμία συμφωνία για τη μορφή γιατί αντί ενός κύβου μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια σφαίρα σε επίπεδο φύλλο.



### 2.4.3 Αποτελέσματα των δοσιμετρικών μελετών

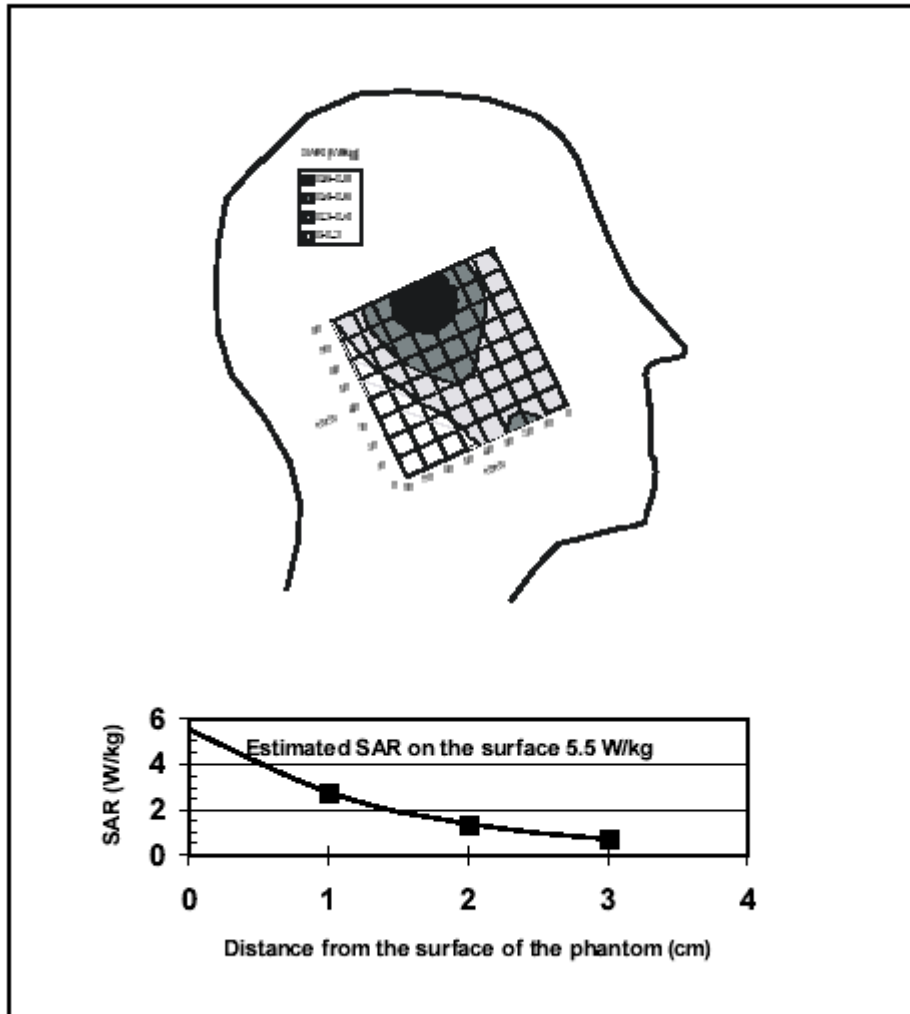
Η απορρόφηση ενέργειας από το κεφάλι που προκαλείται με τη χρήση κινητού ή φορητού τηλεφώνου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Η απόσταση από την κεραία, η ακτινοβολούμενη ισχύς και η συχνότητα είναι οι σημαντικότεροι. Εντούτοις, ο τύπος της κεραίας, η μορφή και το υλικό του περιβλήματος, η ευθυγράμμιση του τηλεφώνου, η ανατομία του κεφαλιού και οι ηλεκτρικές ιδιότητες του ιστού έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην απορρόφηση. Επιπλέον, το κεφάλι επηρεάζει τις ιδιότητες της ακτινοβολίας του τηλεφώνου με την αλλαγή του σχεδίου της ακτινοβολίας της κεραίας και της σύνθετης αντίστασής της.

Από τη μορφή του περιβλήματος, ο τύπος της κεραίας, η θέση που γίνεται η μέτρηση και το μοντέλο ποικίλλουν στις διαφορετικές μελέτες που έχουν γίνει κατά καιρούς και τα αποτελέσματα δεν μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους. Τουλάχιστον 50% της δύναμης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το φορητό κινητό τηλέφωνο μπορεί και απορροφάται από το κεφάλι του χρήστη και από το χέρι ενώ κρατάει το τηλέφωνο. Η μέγιστη απορρόφηση γίνεται από το χέρι, το δέρμα του κεφαλιού, τους λοβούς των αυτιών και από την επιφάνεια του εγκεφάλου (σχήμα 2.4.3). Οι ιστοί των κοκάλων απορροφούν την ακτινοβολία κακώς, λόγω της χαμηλής αγωγιμότητάς τους.

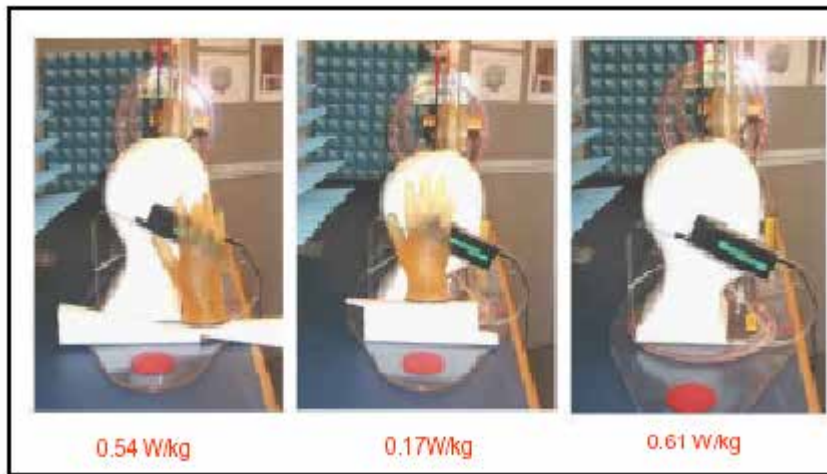
Οι Kuster και Balzano έχουν δείξει ότι η μέγιστη απορρόφηση εμφανίζεται στο σημείο όπου το φορητό τηλέφωνο είναι το πιο κοντά στο κεφάλι και η πυκνότητα ρεύματος της επιφάνειας στο μέγιστό της. Η μέγιστη απορρόφηση μπορεί να γίνεται συχνά, αλλά όχι πάντα, ανάλογα και στο σημείο που βρίσκεται η κεραία. Οι κεραίες, που είναι μικρές έναντι του μήκους κύματος, μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά ρεύματα στην επιφάνεια του τηλεφωνικού περιβλήματος. Σε αυτή την περίπτωση, το σημείο όπου γίνεται η μέγιστη απορρόφηση μπορεί να βρεθεί στη στενή εγγύτητα του τηλεφωνικού περιβλήματος. Εάν το ηλεκτρικό μήκος της κεραίας είναι περισσότερο από  $\lambda/2$ , το τρέχον μέγιστο σημείο μπορεί να είναι επάνω από το σημείο τροφοδοσίας (feed point).

Οι Κλήβελαντ και Athey μέτρησαν την απορρόφηση που προκλήθηκε από ένα φορητό τηλέφωνο στο ετερογενές μοντέλο που αποτελούταν από τρία διαφορετικά υλικά μιμούμενα τους ιστούς του εγκεφάλου, των μυών και των ματιών. Εξετάστηκε η λειτουργία δύο αναλογικών τηλεφώνων στα 900 MHz. Η χωρική τιμή κορυφής του

SAR, η οποία μετρήθηκε στην κανονική λειτουργούσα θέση του τηλεφώνου, ήταν 3,5 W/kg υπολογισμένο κατά μέσο όρο σε μάζα περίπου 1 γραμ. Όταν η κεραία τοποθετήθηκε άμεσα μπροστά από το μάτι, το SAR ήταν 3.5 W/kg.

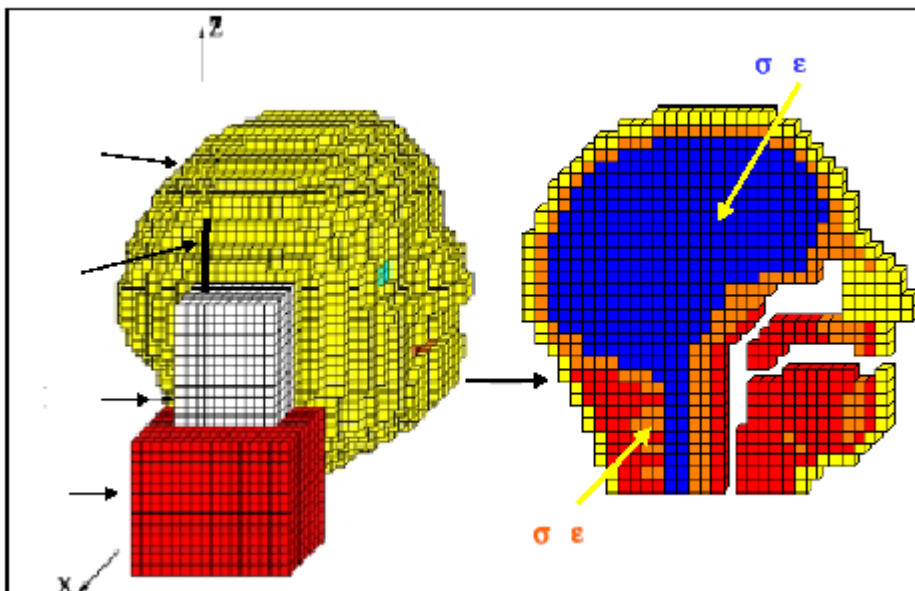


**Σχήμα 2.4.3** Το συγκεκριμένο ποσοστό απορρόφησης που προκαλείται από τηλέφωνο NMT900 α) σε βάθος 3 εκατ. από στην εσωτερική επιφάνεια του μοντέλου, β) στο σημείο του μεγίστου σε συνάρτηση με την απόσταση από την εσωτερική επιφάνεια. Οι μετρήσεις έγιναν με το σύστημα μέτρησης SAR STUK



Σχήμα 2.4.4 Αποτελέσματα μετρήσεων SAR

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε ένα κεφάλι, ένα χέρι και τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τις διαφορετικές θέσεις που μπορεί να έχει το χέρι.



Σχήμα 2.4.5 Ανθρώπινο πρότυπο κεφαλιού, χεριού.

Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζεται ένα χαρακτηριστικό ανθρώπινο πρότυπο κεφαλιών και χεριών, που χρησιμοποιούνται στις αριθμητικές προσομοιώσεις. Είτε με

τις πλασματικές μετρήσεις είτε τις προσομοιώσεις με τους υπολογιστές χρησιμεύουν να καταλάβουμε τις βραχυπρόθεσμες θερμικές επιδράσεις και να πάρουμε τις αριθμητικές τιμές για να ελεγχθούν τα επίπεδα έκθεσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Πειραματική διαδικασία

- WCDMAsim
- Διαμόρφωση ενός σήματος κινητού σταθμού με Uplink Simulator
- Σύγκριση των Smart Antennas σε σχέση με τις Conventional στα 3G συστήματα

### Περίληψη

Αυτό το κεφάλαιο περιλαμβάνει την πειραματική διαδικασία όπου αρχικά γίνεται μια αναφορά στα WCDMA συστήματα και στη συνέχεια ξεκινά η διαμόρφωση ενός σήματος κινητού σταθμού με τη βοήθεια του Uplink Simulator. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην γραφική παράσταση του SER. Επίσης γίνεται και η σύγκριση των Smart Antennas με τις Conventional στα 3G συστήματα με τη βοήθεια του προγράμματος του Matlab.

### 3.1 WCDMA<sup>sim</sup>

Παρακάτω περιγράφεται η λειτουργία του WCDMA<sup>sim</sup><sup>TM</sup> δηλαδή του προσομοιωτή WCDMA. Αυτός ο προσομοιωτής διαμορφώνει τη συμπεριφορά και την απόδοση μεταξύ ενός σταθμού βάσεων WCDMA και ενός κινητού σταθμού σε ένα multipath-fading περιβάλλον. Στην ανάπτυξη αυτού του προσομοιωτή, συνέβαλλε και η διαμόρφωση της συμπεριφοράς των συσκευών αποστολής σημάτων όπως διευκρινίζεται στα πρότυπα WCDMA που αναπτύσσονται από το ευρωπαϊκό ίδρυμα προτύπων τηλεπικοινωνιών (European Telecommunication Standards Institute, ETSI).

Ο προσομοιωτής λειτουργεί σε μια βάση frame - by - frame. Μια επανάληψη του προσομοιωτή αντιστοιχεί στη μετάδοση και την αποδοχή ενός ραδιο πλαισίου (radio frame) 10 χιλιοστών του δευτερολέπτου. Ο αριθμός συμβόλων που υποβάλλονται σε επεξεργασία ανά πλαίσιο εξαρτάται από τον παράγοντα διάδοσης (Spreading Factor, SF) και το ειδικό σχήμα καναλιών που χρησιμοποιείται για εκείνο το πλαίσιο.

Το WCDMA<sup>sim</sup><sup>TM</sup> περιλαμβάνει δύο χωριστούς προσομοιωτές: ένας για την downlink σύνδεση και ένας για την uplink. Ο προσομοιωτής downlink συνδέσεων διαμορφώνει τη συμπεριφορά ενός σταθμού βάσεων WCDMA. Αυτός ο προσομοιωτής έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει το διαστημικό χρόνο (Space Time Transmit Diversity, STTD) όπου το ψηφιακό σήμα και ένας space-time φραγμός που κωδικοποιούνται ακτινοβολούνται μέσω χωριστών κεραιών. Ο δέκτης, που είναι κινητός σταθμός με μια κεραία, ανιχνεύει τα επιθυμητά σύμβολα μέσω μιας space-time διαδικασίας αποκωδικοποίησης. Ο uplink προσομοιωτής διαμορφώνει τη συμπεριφορά ενός single κινητού σταθμού WCDMA σε ένα specular multipath fading περιβάλλον με την αμοιβαία παρέμβαση πρόσβασης (Mutual Access Interference, MAI). Και στους δύο προσομοιωτές, ο δέκτης διαμορφώνεται ως δέκτης με γωνία κλίσης .

Εδώ χρησιμοποιείται ο uplink simulator όπου εξομοιώνει την λειτουργία ενός WCDMA κινητού σταθμού με μια συχνότητα που εμείς επιλέγουμε σε ένα multipath fading κανάλι.

---

## 3.2 Διαμόρφωση ενός σήματος κινητού σταθμού με Uplink Simulator

### Εισαγωγή

Ο uplink προσομοιωτής εξομοιώνει τη λειτουργία ενός κινητού σταθμού WCDMA σε ένα κανάλι συχνοτήτων πολλαπλών δρόμων. Ο προσομοιωτής κάνει κάθε προσπάθεια να διαμορφωθεί η συμπεριφορά του κινητού σταθμού όπως διευκρινίζεται στο ETSI TS 125.211 και στο ETSI TS 125.213 των προτύπων του WCDMA. Συνεπώς, ο προσομοιωτής εξομοιώνει μέχρι έξι κανάλια για δεδομένα (Dedicated Physical Data Channels, DPDCHs) και ένα κανάλι για έλεγχο (Dedicated Physical Control Channel, DPCCCHs). Ο προσομοιωτής λειτουργεί με μια βάση frame- by -frame δηλ., μια επανάληψη αντιστοιχεί στην επεξεργασία ενός ράδιο πλαισίου 10 χιλιοστών του δευτερολέπτου.

Ο προσομοιωτής παράγει ένα περιβάλλον (Mutual Access Interference, MAI) με το να παράγει σήματα από "interfering mobiles," που λειτουργούν στο ίδιο κύτταρο. Η μέση λαμβανόμενη δύναμη από κάθε interfering mobile είναι ίση με τη μέση λαμβανόμενη δύναμη από το mobile of interest. Προκειμένου να καταστραφεί οποιοσδήποτε συγχρονισμός frame-level, ο προσομοιωτής παράγει ένα τυχαίο offset για κάθε MAI σήμα, το οποίο καθορίζεται στις μονάδες του interval τσιπ.

Κάθε ένα μεταδιδόμενο σήμα (desired ή interfering) περνάει μέσω ενός specular multipath fading καναλιού. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν αυτό το κανάλι περιλαμβάνουν τον αριθμό multipath στοιχείων, τη σχετική καθυστέρηση κάθε multipath στοιχείου, το μέσο εύρος κάθε multipath στοιχείου και τον παράγοντα διάδοσης Doppler. Το Doppler που διαδίδεται εφαρμόζεται σε κάθε multipath component και μαζί με το πρότυπο Clarke, χρησιμοποιείται για να παραγάγει ένα Rayleigh εξασθενίζων σήμα για εκείνο το στοιχείο. Το μέσο εύρος και οι σχετικές παράμετροι καθυστέρησης χρησιμοποιούνται έπειτα στην κλίμακα και καθυστερούν (σε περιπτώσεις όπου έχουμε αυξήσεις της δειγματοληψίας) το εξασθενίζων σήμα, αντίστοιχα.

Μια σημαντική απλοποίηση σε αυτήν την προσομοίωση περιλαμβάνει τα κανάλια μεταξύ των παρεμβαλλόμενων κινητών σταθμών και του δέκτη του σταθμού βάσεων. Αυτά τα κανάλια χρησιμοποιούν τις ίδιες multipath παραμέτρους.

Συγκεκριμένα, ο αριθμός multipath στοιχείων, η σχετική καθυστέρηση, το μέσο εύρος, και ο παράγοντας διάδοσης Doppler (προερχόμενος από τη μέγιστη ταχύτητα), που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν το multipath κανάλι μεταξύ του κινητού σταθμού και του σταθμού βάσεων, χρησιμοποιούνται επίσης και για να καθοριστεί το κανάλι που θα υπάρχει μεταξύ καθενός παρεμβαλλόμενου κινητού σταθμού και του δέκτη των σταθμών βάσεων. Εντούτοις, τα εξασθενίζοντα σήματα για κάθε multipath στοιχείο του κάθε παρεμβαλλόμενου κινητού σταθμού παράγονται ανεξάρτητα.

Ο σταθμός βάσεων λαμβάνει το επιθυμητό σήμα, όλα τα παρεμβαλλόμενα σήματα, και τον λευκό Gaussian θόρυβο. Ο προσομοιωτής υποθέτει ότι ο σταθμός βάσεων χρησιμοποιεί έναν εξιδανικευμένο rake(με κλίση) δέκτη. Ο rake(με κλίση) δέκτης είναι εξιδανικευμένος υπό την ακόλουθη έννοια: ο αριθμός taps σε αυτόν τον δέκτη είναι ίσος με τον αριθμό multipath στοιχείων και ο δέκτης έχει την σωστή γνώση της καθυστέρησης κάθε multipath στοιχείου. Ο εξιδανικευμένος rake δέκτης χρησιμοποιεί τα πειραματικά σύμβολα στο DPCCCH για να υπολογίσει την offset φάση που παράγεται από το κανάλι. Κατόπιν, ο δέκτης εξάγει κάθε multipath στοιχείο και χρησιμοποιεί έναν ίσο συνδυαστή(combiner) κέρδους για να παραγάγει μια στατιστική δοκιμής, η οποία αξιολογείται μέσω μιας απλής δοκιμής μηδέν-κατώτατων ορίων.

Η έξοδος του προσομοιωτή είναι μια ακολουθία από errors. Η ακολουθία αυτή περιέχει τις πληροφορίες για τον αριθμό διαδοχικών συμβόλων που ελήφθησαν χωρίς λάθη και για τον αριθμό διαδοχικών συμβόλων που παραλήφθηκαν λανθασμένα. Η ακολουθία μονογράφεται πάντα έτσι ώστε ο πρώτος ακέραιος αριθμός στην ακολουθία αντιπροσωπεύει τον αριθμό σωστών διαδοχικών αποφάσεων. Παραδείγματος χάριν, υποθέστε ότι για ένα ιδιαίτερο τρέξιμο προσομοίωσης, η αρχή της ακολουθίας μήκους λάθους είναι

10, 4, 20, 1, 30, 2,¼

Από αυτήν την ακολουθία μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:



- Τα πρώτα 10 σύμβολα ανιχνεύθηκαν σωστά
- Τα επόμενα 4 σύμβολα ανιχνεύθηκαν ανακριβώς
- Τα επόμενα 20 σύμβολα ανιχνεύθηκαν σωστά
- Το επόμενο σύμβολο ανιχνεύθηκε ανακριβώς
- Τα επόμενα 30 σύμβολα ανιχνεύθηκαν σωστά
- Τα επόμενα 2 σύμβολα ανιχνεύθηκαν ανακριβώς

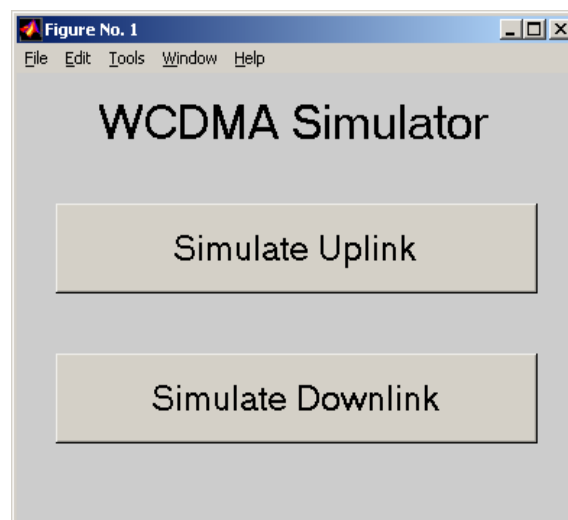
Αυτό το σχήμα είναι χρήσιμο για τα BER αλλά χρησιμεύει και στον καθορισμό συγκεντρωμένων λαθών.

### 3.2.1 Τρέξιμο του Uplink προσομοιωτή

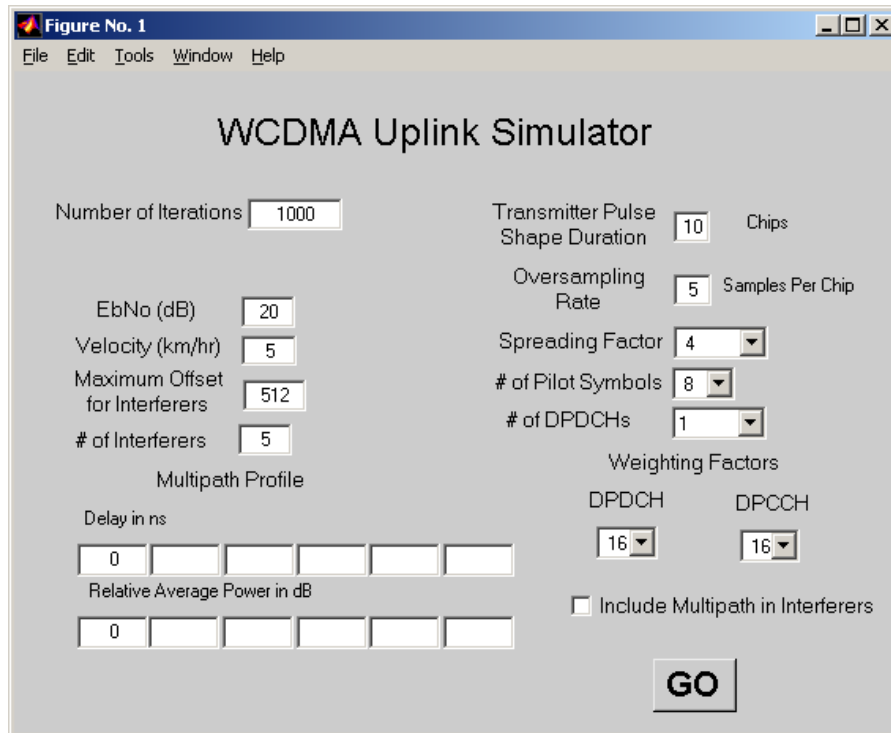
Η uplink προσομοίωση μπορεί να γίνει είτε μέσω κάποιων βημάτων χρησιμοποιώντας έναν οδηγό GUI ή με τη γραμμή εντολών του MATLAB  $\text{\textcircled{O}}$ . Εδώ εμείς χρησιμοποιήσαμε και τους δύο τρόπους .

#### 3.2.1.1 Χρήση του GUI

Για να τρέξει ο εξομοιωτής από τον GUI(οδηγός) μετακινούμε τον κατάλογο WCDMAsim μέσα στον MATLAB\WORK. Έχοντας ανοίξει το Matlab, μπαίνουμε στο πεδίο εντολών και γράφουμε την εντολή WCDMAsim και πατάμε Enter. Αμέσως μετά εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο:



Μετά πατάμε το κουμπί προσομοίωσης Simulate Uplink και εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο:



Αφού έχουμε θέσει τις κατάλληλες παραμέτρους όπως :

**Number of Iterations.** Σε αυτό το παράθυρο καθορίζουμε τον αριθμό ράδιο πλαισίων 10 χιλιοστών του δευτερολέπτου που ο προσομοιωτής θα επεξεργαστεί. Η προκαθορισμένη τιμή είναι 1000 πλαίσια. Ο αριθμός πρέπει να είναι θετικός ακέραιος. Εμείς το θέτουμε 10.

**EbNo (dB).** Σε αυτό το παράθυρο καθορίζουμε τη αναλογία της μέσης ενέργειας των Bit προς τον θόρυβο (EbNo) του ισχυρότερου multipath στοιχείου σε decibels. Η προκαθορισμένη τιμή είναι 20 dB. Εμείς παίρνουμε τις τιμές από το 1..20 και τρέχουμε την προσομοίωση για κάθε μια χωριστά. Οποιοσδήποτε real-valued αριθμός μπορεί να εισαχθεί με μονάδα μέτρησης το decibel.

---

**Velocity, Ταχύτητα (χλμ/ώρα.).** Αυτό το παράθυρο καθορίζει την ταχύτητα που θα έχει ο κινητός σταθμός με μονάδες μέτρησης χιλιόμετρα ανά ώρα. Η προκαθορισμένη τιμή είναι 5 χλμ/ώρα δηλαδή η ταχύτητα που έχει κάποιος όταν περπατάει βιαστικά . Για να αλλάξουμε την τιμή εισάγουμε απλά έναν θετικό πάντα αριθμό.

**Maximum Offset for Interferes.** Αυτό το παράθυρο καθορίζει το μέγιστο επιτρεπόμενο Offset (όσον αφορά την διάρκεια του τσιπ) για κάθε ένα από τα παρεμβαίνοντα (Interfering) σήματα. Κάθε παρεμβαίνων σήμα αντισταθμίζεται από το επιθυμητό σήμα μέσω κάποιου τυχαίου ποσού. Αυτό είναι απαραίτητο επειδή στο uplink, τα ράδιο πλαίσια από διαφορετικούς κινητούς σταθμούς δεν είναι συγχρονισμένα. Αυτή η παράμετρος καθιερώνει ένα ανώτερο bound που δεσμεύεται στις πιθανές τιμές Offset. Η προκαθορισμένη τιμή είναι 512 τσιπ. Για να αλλάξουμε την τιμή εισάγουμε απλά έναν θετικό πάντα αριθμό.

**#of Interferers.** Αυτό το παράθυρο καθορίζει τον αριθμό εμπλεκόμενων κινητών σταθμών που λειτουργούν επίσης σε αυτήν την προσομοίωση. Η προκαθορισμένη τιμή είναι 5. Για να τροποποιήσουμε αυτήν την τιμή, εισάγουμε απλά τον επιθυμητό αριθμό. Αυτός ο αριθμός πρέπει να είναι ένας μη αρνητικός ακέραιος αριθμός.

**Multipath Profile.** Χρησιμοποιώντας τον GUI, μπορούμε να καθορίσουμε ένα specular multipath κανάλι με όχι περισσότερα από 6 στοιχεία.. Ένα multipath στοιχείο μπορεί να καθοριστεί με εισαγωγή μιας σχετικής καθυστέρησης (σε nanoseconds) και ένα μέσο εύρος (σε dB). Η σχετική καθυστέρηση πρέπει να είναι ένας μη αρνητικός πραγματικός αριθμός και η μέση ισχύς πρέπει να είναι πραγματικός. Το default multipath channel είναι το LOS channel, το οποίο έχει ένα multipath στοιχείο με σχετική καθυστέρηση 0 ns και ένα μέσο εύρος 0 dB.

**Transmitter Pulse Shape Duration.** Αυτό το παράθυρο διευκρινίζει το μήκος του Pulse Shape φίλτρου στη συσκευή εκπομπής σημάτων και του αντίστοιχου φίλτρου στον δέκτη από την άποψη της διάρκειας του τσιπ. Η προκαθορισμένη τιμή είναι 10 τσιπ. Για να τροποποιήσουμε αυτήν την τιμή, εισάγουμε απλά στον επιθυμητό αριθμό. Εντούτοις, αυτός ο αριθμός πρέπει να είναι ένας θετικός ακέραιος αριθμός.

**Oversampling Rate.** Αυτό το παράθυρο διευκρινίζει τον αριθμό δειγματοληψίες ανά τσιπ. Η προκαθορισμένη τιμή είναι 5. Για να τροποποιήσουμε αυτήν την τιμή, εισάγουμε απλά στον επιθυμητό αριθμό. Αυτός ο αριθμός πρέπει να είναι ένας θετικός ακέραιος αριθμός.

**Spreading Factor.** Αυτό το παράθυρο διευκρινίζει τον διαδίδων παράγοντα που χρησιμοποιείται από τον επιθυμητό κινητό σταθμό. Απλά επιλέγουμε τον επιθυμητό διαδίδων παράγοντα από τον κατάλογο που παρέχεται.

**# of Pilot Symbols.** Αυτό το παράθυρο διευκρινίζει τον αριθμό πειραματικών συμβόλων που χρησιμοποιούνται στο φυσικό κανάλι ελέγχου (DPCCH) του επιθυμητού σήματος. Στην προσομοίωση, ο δέκτης σταθμών βάσεων χρησιμοποιεί τα πειραματικά σύμβολα για να υπολογίσει τη φάση κάθε multipath στοιχείου του καναλιού σε μια βάση frame-by-frame. Απλά επιλέγουμε την τιμή που εμφανίζεται σε ένα κατάλογο.

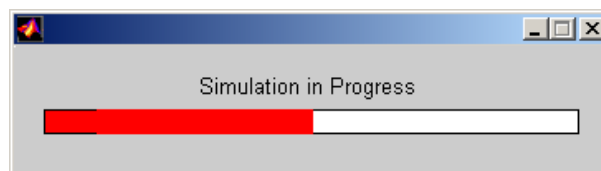
**# DPDCHs.** Αυτό το παράθυρο διευκρινίζει τον αριθμό του DPDCHs που χρησιμοποιείται από την κινητή συσκευή αποστολής σημάτων. Σύμφωνα με τα σχετικά πρότυπα WCDMA (Το ETSI TS 125.213 της V3.2.0), κάθε κινητή συσκευή αποστολής σημάτων μπορεί να υποστηρίξει από το ένα έως έξι DPDCHs. Εντούτοις, υπάρχουν μερικοί περιορισμοί μεταξύ των αριθμών του DPDCHs που υιοθετούνται και του επιτρεπόμενου διαδίδων παράγοντα. Εάν ο κινητός σταθμός χρησιμοποιεί ένα DPDCH, τότε είναι αποδεκτός οποιοσδήποτε διαδίδων παράγοντας (δηλ., 4 ..8 ..16 ..32 ..64 ..138 ..256, 512). Εντούτοις, εάν ο κινητός σταθμός χρησιμοποιεί δύο ή περισσότερα DPDCHs, τότε μόνο ένας διαδίδων παράγοντας από τους τέσσερις πρέπει να χρησιμοποιηθεί.

**Παράγοντες στάθμισης: DPDCH και DPCCH.** Το πρότυπο WCDMA (το ETSI TS 125.213 της V3.2.0), υποστηρίζει τη στάθμιση του εύρους και του DPCCH και του DPDCHs. Τα βάρη εφαρμόζονται με τον εξής τρόπο: επιτρέπονται μέχρι 16 τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 15. Κάθε τιμή αντιπροσωπεύει μια τιμή εύρους .

**Include Multipath σε Interferers.** Προκειμένου να μειωθεί ο χρόνος εκτέλεσης αυτής της προσομοίωσης, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να διαμορφώσει το κανάλι μεταξύ κάθε ενός από τους παρεμβαίνων κινητούς σταθμούς και του σταθμού βάσεων σαν ένα πρόσθετο white Gaussian κανάλι θορύβου. Αυτό θα γλιτώσει τον προσομοιωτή των απαιτήσεων από ένα multipath κανάλι για κάθε interferer και τα παρεμβαίνοντα σήματα μέσω εκείνων των καναλιών. Φυσικά, αυτό μπορεί να έχει επιπτώσεις στην ακρίβεια της προσομοίωσης. Για εκείνους τους χρήστες που επιθυμούν να περιλάβουν ένα multipath κανάλι για κάθε ένα από τα interferers απλά θα πρέπει να τσεκαριστεί το τετραγωνίδιο.

Εάν αυτό το κιβώτιο έχει τσεκαριστεί, κατόπιν ο προσομοιωτής θα παραγάγει ένα multipath κανάλι σύμφωνα με το μέσο σχεδιάγραμμα δύναμης και καθυστέρησης που διευκρινίζεται αριστερά του τετραγωνιδίου. Ο επιθυμητός κινητός σταθμός και όλα τα παρεμβαλλόμενοι κινητοί σταθμοί θα έχουν την ακριβή multipath καθυστέρηση και το ακριβές σχεδιάγραμμα δύναμης. Εντούτοις, τα εξασθενίζοντα σήματα για κάθε κινητό σταθμό τυχαία και ανεξάρτητα θα παραχθούν. Οι παράμετροι που αλλάζονται κάθε φορά είναι το Eb/No και στο Number of Iterations τίθεται η τιμή 10. Οι υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν όπως είναι.

Η προσομοίωση ξεκινά πατώντας το **GO** και εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο που βλέπουμε την προσομοίωση σε εξέλιξη:



Έπειτα πληκτρολογούμε την εντολή :

**CorrectErrorRun=UplinkSimulator (UplinkSimConfig)**

και αρχίζει να διορθώνει τα λάθη που προέκυψαν κατά την προσομοίωση. Τα Errors τοποθετούνται σε πίνακα και από εκεί προσθέτοντας τα στοιχεία της κάθε στήλης προκύπτει ένα άθροισμα. Αυτό το άθροισμα το διαιρούμε με τον συνολικό αριθμό των στοιχείων.

### 3.2.1.2 Η παράμετρος παραγωγής: **CorrectErrorRun**

Η παράμετρος παραγωγής, **CorrectErrorRun**, είναι μια ακολουθία που σημειώνει τον αριθμό λαθών που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και σε ποιο σημείο εμφανίστηκαν στην προσομοίωση. Έτσι μπορούμε να καθορίσουμε τον μέσο όρο του BER, να δούμε πώς συγκεντρώνονται τα λάθη και να τα χρησιμοποιήσουμε αντίστοιχα για στατιστικούς σκοπούς.

Η ακολουθία **CorrectErrorRun** είναι μια συλλογή από θετικούς ακέραιους αριθμούς που δείχνουν τον αριθμό διαδοχικών σωστών αποφάσεων που λαμβάνονται, που ακολουθούνται από τον αριθμό διαδοχικών λαθών που γίνονται και από τον αριθμό διαδοχικών σωστών αποφάσεων που λαμβάνονται και ούτω καθεξής . Για παράδειγμα, βλέπουμε την ακόλουθη ακολουθία **CorrectErrorRun**

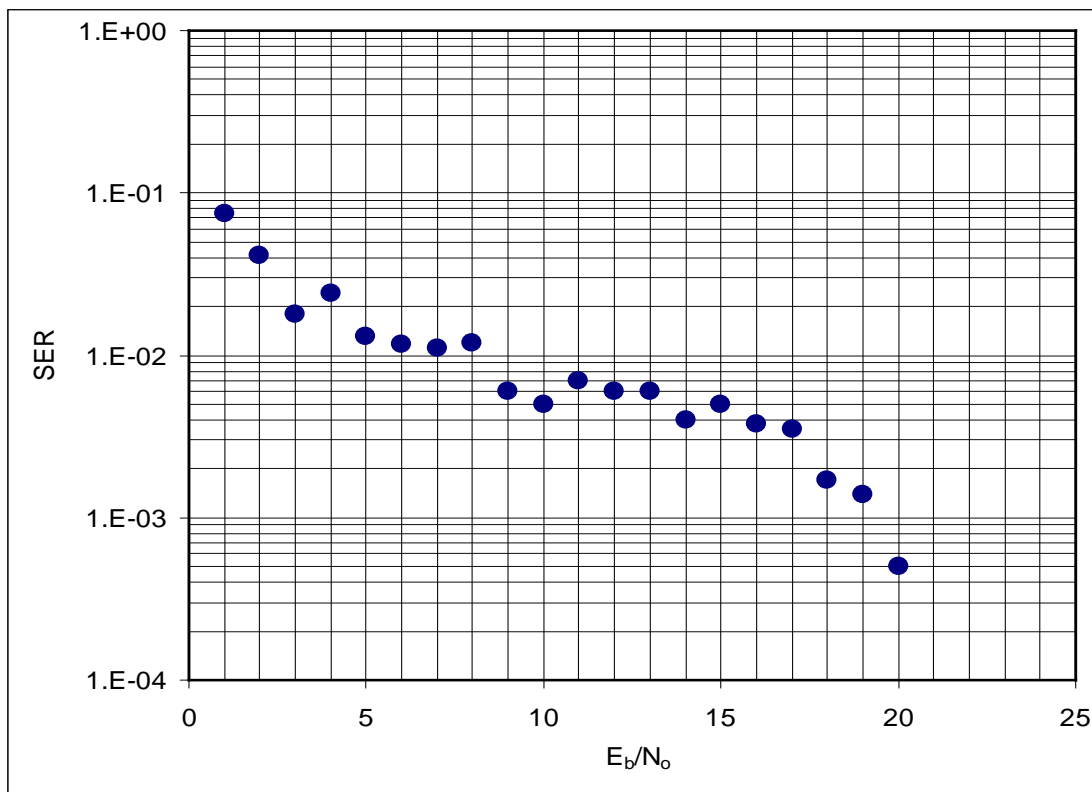
20,5,33,6,45,...

Από αυτήν την ακολουθία, μπορούμε να καθορίσουμε τα εξής :

- Τα πρώτα 20 σύμβολα παραλήφθηκαν χωρίς λάθος
- Τα επόμενα 5 σύμβολα παραλήφθηκαν με λάθος
- Τα επόμενα 33 σύμβολα παραλήφθηκαν χωρίς λάθος
- Κάθε ένα από τα επόμενα 6 σύμβολα παραλήφθηκε με λάθος
- Τα επόμενα 45 σύμβολα παραλήφθηκαν σωστά

Προκειμένου να καθοριστεί η αρχική κατάσταση της ακολουθίας **CorrectErrorRun**, η προσομοίωση έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε το πρώτο -πρώτο σύμβολο να παραλαμβάνεται σωστά. Επομένως, το πρώτο -πρώτο στοιχείο της ακολουθίας θα συνδεθεί με τις σωστές υποδοχές, και όλα τα ομαλά στοιχεία της ακολουθίας θα συνδεθούν με τα γεγονότα λάθους. Εμείς καθορίσαμε το μέσο όρο ποσοστού λάθος κομματιών  $BER_{ave}$ , με τον υπολογισμό του ποσού όλων των ομαλών στοιχείων στην ακολουθία, παίρνοντας την αναλογία του ομαλού ποσού προς το

συνολικό ποσό. Έτσι προέκυψε η παρακάτω γραφική παράσταση του SER με το  $E_b/N_0$ .



Σχήμα 3.1 Γραφική παράσταση SER με  $E_b/N_0$

### 3.2.1.3 Χρήση της γραμμής εντολών του Matlab.

Εάν θέλουμε να τρέξουμε την προσομοίωση χρησιμοποιώντας την γραμμή εντολών πηγαίνουμε είτε στον κατάλογο που περιέχει τον κώδικα `<WORKDIR>\WCDMASim/UplinkSimulator` ή βεβαιωνόμαστε ότι ο κατάλογος βρίσκεται στο `MatlabPath`. Η εντολή που χρησιμοποιούμε για την εκτέλεση της προσομοίωσης είναι η εξής :

```
CorrectErrorRun=UplinkSimulator (UplinkSimConfig)
```

Η παράμετρος **UplinkSimConfig** είναι ένας κώδικας που περιέχει τα εξής 15 πεδία :

Πίνακας 1. **Fields in the UplinkSimConfig Structure**

<b>UplinkSimConfig Fields</b>		
NumIterations	NumPilot	Delay
PulseLength	MaxOffset	Amp
SamplesPerChip	NumInterferer	BetaD
EbNo_db	NumDPDCH	BetaC
Velocity	SF	MPathFlag

### **NumIterations**

Ο τομέας **NumIterations** καθορίζει το συνολικό αριθμό ράδιο πλαισίων που η προσομοίωση θα επεξεργαστεί. Οι επιτρεπόμενες τιμές για αυτόν τον τομέα είναι θετικοί ακέραιοι αριθμοί.

### **PulseLength**

Ο τομέας **PulseLength** καθορίζει το μήκος του σφυγμού της συσκευής αποστολής σημάτων που διαμορφώνει το φίλτρο και το μήκος του αντιστοιχιζόμενου φίλτρου του δέκτη. Οι επιτρεπόμενες τιμές για το **PulseLength** είναι οι θετικοί ακέραιοι αριθμοί. Το 0 δεν είναι επιτρεπόμενη τιμή για αυτόν τον τομέα.

### **SamplesPerChip**

Ο τομέας **SamplesPerChip** καθορίζει τον αριθμό των δειγματοληψιών ανά περίοδο. Οι επιτρεπόμενες τιμές για αυτόν τον τομέα είναι οι θετικοί ακέραιοι αριθμοί.



**EbNo\_db**

Ο τομέας **EbNo\_db** καθορίζει την αναλογία της ενέργειας των bit προς την πυκνότητα θορύβου σε decibels. Οι επιτρεπόμενες τιμές για αυτόν τον τομέα είναι όλοι οι πραγματικοί αριθμοί.

**Velocity**

Ο τομέας **Velocity** καθορίζει την ταχύτητα του κινητού σταθμού, ο οποίος χρησιμοποιείται για να καθορίσει το Doppler παράγοντα του καναλιού. Αυτή η προσομοίωση υποθέτει ότι κάθε συστατικό του specular multipath καναλιού διαδίδει το ίδιο Doppler. Οι επιτρεπόμενες τιμές για αυτόν τον τομέα είναι οι μη αρνητικοί πραγματικοί αριθμοί. Η μονάδα μέτρησης για την **ταχύτητα** είναι χιλιόμετρα ανά ώρα.

**NumPilot**

Ο τομέας **NumPilot** καθορίζει τον αριθμό πειραματικών συμβόλων σε κάθε slot του DPCCH. Οι επιτρεπόμενες τιμές για το **NumPilot** είναι 2, 3, 4, 6, 7, και 8.

**MaxOffset**

Ο τομέας **MaxOffset** καθορίζει το μέγιστο επιτρεπόμενο Offset (από την άποψη της διάρκειας του τσιπ) για κάθε ένα από τα παρεμβαίνοντα σήματα. Κάθε παρεμβαίνων σήμα αντισταθμίζεται από το επιθυμητό σήμα μέσω κάποιου τυχαίου ποσού. Αυτό είναι απαραίτητο επειδή, σε ένα uplink ενός πραγματικού συστήματος, τα ράδιο πλαίσια από διαφορετικούς κινητούς σταθμούς δεν είναι συγχρονισμένα. Οι επιτρεπόμενες τιμές για αυτόν τον τομέα είναι οι θετικοί ακέραιοι αριθμοί.

**NumInterferer**

Ο τομέας **NumInterferer** καθορίζει τον αριθμό παρεμβαίνων κινητών σταθμών που λειτουργούν επίσης σε αυτήν την προσομοίωση. Οι επιτρεπόμενες τιμές για αυτόν τον τομέα είναι οι μη αρνητικοί ακέραιοι αριθμοί.

### **NumDPDCH**

Ο τομέας **NumDPDCH** καθορίζει τον αριθμό του DPDCHs που ο κινητός σταθμός χρησιμοποιεί στο uplink. Οι επιτρεπόμενες τιμές για το **NumDPDCH** είναι οι ακέραιοι 1, 2, 3, 4, 5, και 6. Εάν ο **NumDPDCH** είναι μεγαλύτερος από 1 τότε στο τομέα **SF** πρέπει να τεθεί 4.

### **SF**

Ο τομέας **SF** καθορίζει το διαδίδων παράγοντα. Οι επιθυμητοί και όλοι παρεμβαίνων κινητοί σταθμοί χρησιμοποιούν τον ίδιο διαδίδων παράγοντα. Οι επιτρεπόμενες τιμές για τον τομέα **SF** είναι οι ακέραιοι αριθμοί 4 ..8 ..16 ..32 ..64 ..128 ..256, και 512. Εάν στον **SF** τίθενται οι αριθμοί 8 ..16 ..32 ..64 ..128 ..256, ή 512 τότε στο τομέα **NumDPDCH** πρέπει να τεθεί 1. Εάν στο **SF** τίθεται 4, κατόπιν ο τομέας **NumDPDCH** μπορεί να πάρει τις τιμές 1 ..2 ..3 ..4 ..5, ή 6.

### **Delay**

Ο τομέας της **καθυστερήσης** είναι μια σειρά από σχετικές χρονικές καθυστερήσεις για κάθε συστατικό του specular multipath καναλιού. Το μήκος της σειράς καθορίζει το συνολικό αριθμό multipath στοιχείων στο κανάλι. Χαρακτηριστικά, το πρώτο στοιχείο σε αυτήν την σειρά τίθεται μηδέν. Επίσης, είναι μια κοινή πρακτική για τον τομέα **καθυστερήσης** να περιληφθεί μια μονοτονικά αυξανόμενη σειρά έτσι ώστε τα υψηλότερα τμήματα της σειράς να έχουν τις υψηλότερες multipath καθυστερήσεις. Εντούτοις, αυτό δεν είναι μια απαίτηση. Η μόνη απαίτηση για τη σειρά είναι ότι τα στοιχεία σειράς πρέπει να είναι μη αρνητικοί πραγματικοί αριθμοί. Η μονάδα μέτρησης για κάθε στοιχείο σε αυτήν την σειρά είναι τα nanoseconds.

### **Amp**

Ο **Amp** τομέας είναι μια σειρά που περιέχει το μέσο σχετικό εύρος για κάθε ένα από τα multipath συστατικά. Το μήκος της σειράς πρέπει να είναι το ίδιο με το μήκος της σειράς στον τομέα **καθυστερήσης**. Περαιτέρω, υπάρχει μια 'ένα - προς-

ένα' αλληλογραφία μεταξύ των στοιχείων στις σειρές της **καθυστέρησης** και **Amp**. Παραδείγματος χάριν εάν το  $i$  στοιχείο στις σειρές **καθυστέρησης** και **Amp** είναι  $a$  και  $b$ , αντίστοιχα. Κατόπιν το  $i$  multipath τμήμα έχει μια καθυστέρηση  $b$  και ένα μέσο σχετικό εύρος  $a$ .

Οι καταχωρήσεις μέσα στη **Amp** σειρά είναι μέσα εύρη που τίθενται σχετικά με το εύρος του ισχυρότερου multipath συστατικού (που είναι τυπικά—αλλά όχι πάντα—τα τμήματα  $L_{os}$ , υποθέτοντας ότι υπάρχει). Συνεπώς, ένα στοιχείο στη σειρά πρέπει να τεθεί μηδέν. Οι επιτρεπόμενες τιμές για κάθε στοιχείο στη σειρά είναι οι πραγματικοί αριθμοί.

### **BetaC και BetaD**

Οι τομείς **BetaC** και **BetaD** καθορίζουν τη στάθμιση του DPCCH και του DPDCHs, αντίστοιχα. Το πρότυπο WCDMA (το ETSI TS 125.213 της V3.2.0), υποστηρίζει τη στάθμιση του εύρους και DPCCH και του DPDCHs.

### **MPathFlag**

Ο τομέας **MPathFlag** καθορίζει εάν η multipath διάδοση θα περιληφθεί στην παραγωγή της παρέμβασης. Εάν το **MPathFlag** τίθεται ίσο με 1, κατόπιν όλα τα σήματα από την παρέμβαση κινητών θα περάσουν από ένα specular multipath κανάλι. Εάν το **MPathFlag** πεδίο τεθεί ίσο με 0, κατόπιν όλα τα σήματα από τους παρεμβαίνων κινητούς σταθμούς θα περάσουν από ένα πρόσθετο white Gaussian noise channel.

Η τελευταία επιλογή μπορεί να επιλεγεί για να μειώσει το χρόνο εκτέλεσης αυτής της προσομοίωσης. Η επιλογή **MPathFlag = 0** θα ανακουφίσει τον προσομοιωτή από τις απαιτήσεις ενός multipath καναλιού για κάθε interferer και των παρεμβαίνόντων σημάτων μέσω εκείνων των καναλιών. Φυσικά, αυτό μπορεί να έχει επιπτώσεις στην ακρίβεια της προσομοίωσης.

Εάν το **MPathFlag** πεδίο τεθεί ίσο με 1, κατόπιν ο προσομοιωτής θα παράγει ένα multipath κανάλι σύμφωνα με το μέσο σχεδιάγραμμα εύρους και καθυστέρησης που διευκρινίζεται αριστερά του τετραγωνιδίου. Ο επιθυμητός κινητός σταθμός και όλοι οι παρεμβαλλόμενοι θα έχουν την ίδια multipath καθυστέρηση και το ακριβές ίδιο

---

μέσο σχεδιάγραμμα εύρους. Εντούτοις, τα εξασθενίζοντα σήματα για κάθε κινητό σταθμό τυχαία και ανεξάρτητα θα παραχθούν.

Παρακάτω είναι ένα παράδειγμα του κώδικα του **UplinkSimConfig** :

» UplinkSimConfig

UplinkSimConfig =

NumIterations: 100

EbNo\_db: 3

Velocity: 60

MaxOffset: 512

NumInterferer: 10

Delay: 0

Amp: 0

PulseLength: 12

SamplesPerChip: 5

SF: 64

NumPilot: 8

NumDPDCH: 1

BetaD: 15

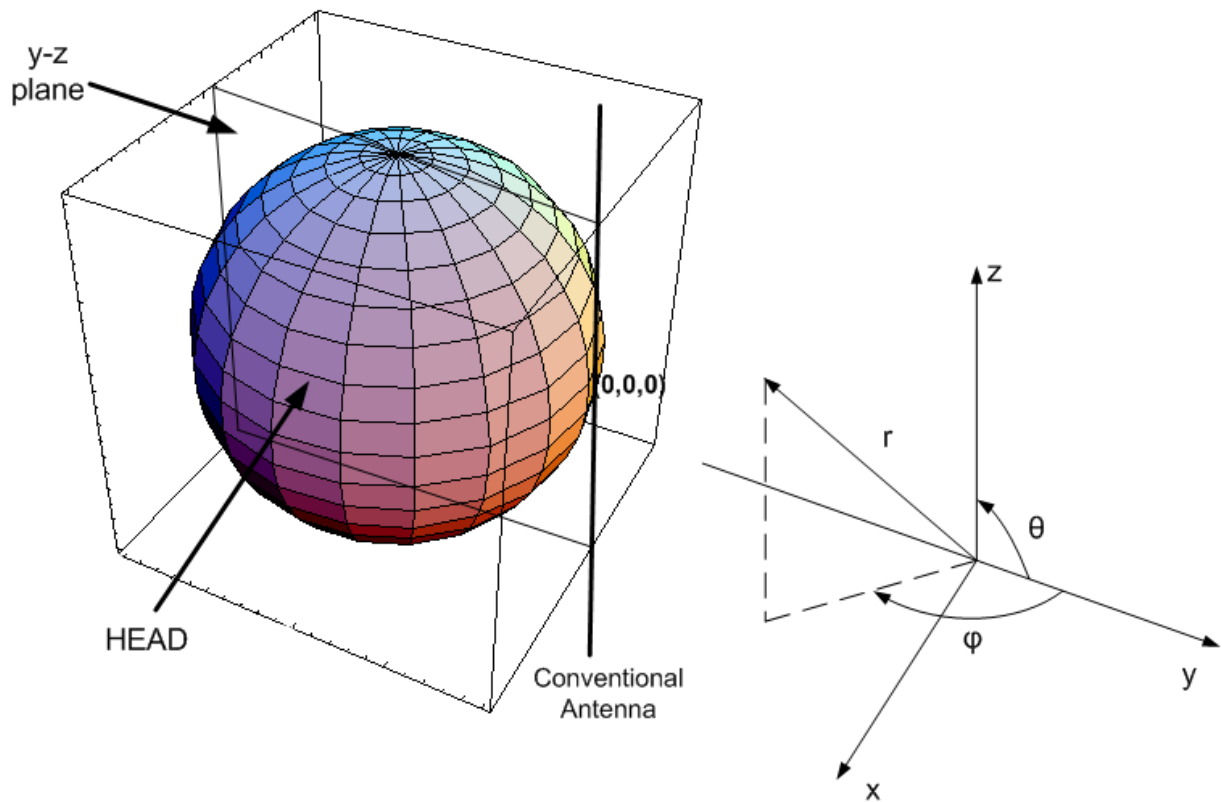
BetaC: 5

MPathFlag: 0

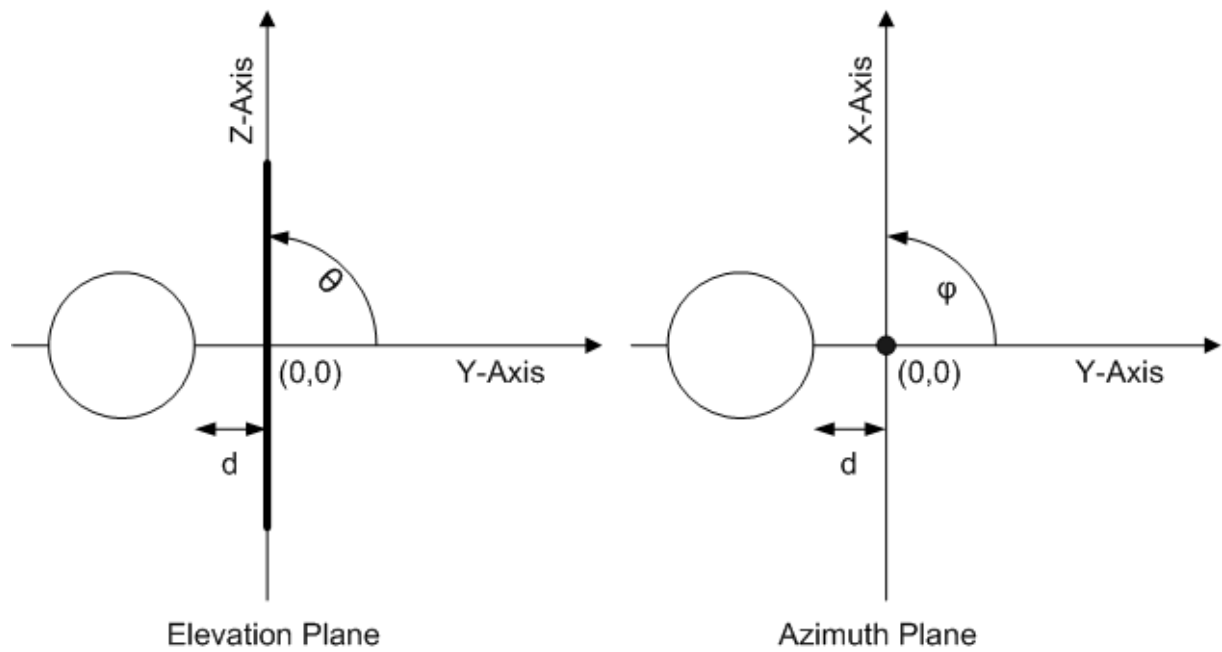
### 3.3 Η εφαρμογή των Smart Antennas στα 3G συστήματα και η σχέση τους με τις Conventional

Η εφαρμογή των έξυπνων κεραιών στα κυψελοειδή τηλέφωνα υπόσχεται τον έλεγχο της ποσότητας της ενέργειας πάνω σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια. Στην παρούσα έρευνα, μελετάται μια συχνότητα δηλαδή το 3G όπου εδώ είναι 2000 MHz. Για αυτήν την συγκεκριμένη συχνότητα έχουν εξεταστεί δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση, εξετάζεται το ανθρώπινο κεφάλι μαζί με την κινητή κεραία που διαμορφώνεται σαν μια διηλεκτρική σφαίρα με μια κεραία δίπολων τοποθετημένη σε μια μικρή απόσταση από αυτή, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1, όπου το  $r$  είναι ακτινωτή συντεταγμένη,  $\theta$  είναι η ανύψωση, και  $\phi$  είναι το αζιμούθιο.

Η μορφή του ανθρώπινου κεφαλιού είναι σφαιρική και οι διηλεκτρικές σταθερές που χρησιμοποιούνται είναι η σχετική permittivity ( $\epsilon_r$ ) και η σχετική αγωγιμότητα ( $\sigma$ ) του εγκεφάλου στη συχνότητα των 2000 MHz ( $\epsilon_r = 91,11$ ,  $\sigma = 1,91$ ). Η κεραία διαμορφώνεται ως  $\lambda/2$  δίπολο που βρίσκεται σε μια απόσταση 2 εκατ. μακριά από τη σφαίρα (σχήμα 3.2). Για να απλοποιηθεί ο υπολογισμός με τις λογικές υποθέσεις, ο προσανατολισμός του δίπολου επιλέγεται να είναι στο πλάνο Z-Y, και το κέντρο του δίπολου βρίσκεται εκεί όπου η  $\theta = 0$  και η  $\phi = 0$ . Στη δεύτερη περίπτωση εξετάστηκε η ίδια πειραματική διαδικασία χωρίς τη συμβατική κεραία. Σε αυτήν την περίπτωση στην προέλευση των αξόνων τοποθετήθηκε μια έξυπνη κεραία (smart antenna) που λειτουργεί στη συχνότητα 2000 MHz δηλαδή υπολογίστηκε η τιμή της ισχύος πάνω σε μια επιφάνεια για 2 περιπτώσεις. Στη πρώτη περίπτωση θεωρήθηκε σαν πηγή H/M ακτινοβολίας μια conventional antenna και στη δεύτερη περίπτωση μια smart (adaptive) antenna.



Σχήμα 3.1 Σχεδίαση του προβλήματος



Σχήμα 3.2 X – Y και Y- Z πλάνο

· **Conventional Antenna**

Θεωρήσαμε σαν **conventional antenna** ένα δίπολο μικρού μήκους (σχήμα 3.3). Η τιμή του ηλεκτρικού πεδίου σε απόσταση  $r$  ( $kr \gg 1$ ) από το δίπολο δίνεται από τη σχέση:

$$E_{el} = jn \frac{ke^{-jkr}}{4\rho r} \sin(\varphi) \quad 3.1$$

όπου  $n = 120\pi$ ,  $k = 2\pi/\lambda$

Η πυκνότητα ισχύος δίνεται από τη σχέση:

$$P_{del} = \frac{E_{el}^2}{120\rho} \quad (\text{Power density element}) \quad 3.2$$

Επομένως η πυκνότητα ισχύος για τη conventional antenna θα είναι ίση με:

$$P_{del} = \frac{n^2 k^2 \sin^2(\varphi)}{(4\rho r)^2 120\rho} = \frac{nk^2 \sin^2(\varphi)}{(4\rho)^2 r^2} \quad 3.3$$

Από τη σχέση 3.3 μπορεί να υπολογιστεί ότι τη ισχύς σε μια στοιχειώδη επιφάνεια εμβαδού  $dA$  θα ισούται με :

$$dP_{el} = P_{del} dA \quad 3.4$$

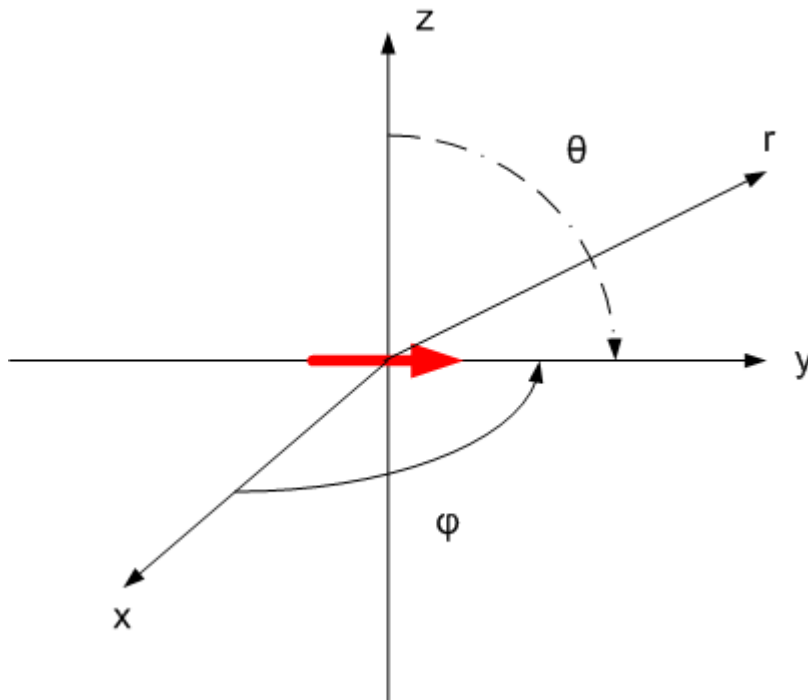
$$dA = r^2 \sin\theta d\theta d\varphi \quad 3.5$$

Θεωρώντας ότι βρισκόμαστε στο επίπεδο  $x - z$  έχουμε ότι:

$$dP_{el} = P_{del} r^2 \sin\theta d\theta \quad 3.6$$

Για να βρεθεί η ισχύς πάνω στην επιφάνεια που βρίσκεται μεταξύ δυο γωνιών  $\theta_1$  και  $\theta_2$  παίρνουμε το ολοκλήρωμα της 3.6 και έτσι προκύπτει η 3.7 :

$$P_{el} = \int_{q^1}^{q^2} P_{del}(r, q) r^2 \sin q dq \quad 3.7$$



Σχήμα 3.3 Ένα infinitesimal δίπολο

#### · Smart Antenna

Η **smart antenna** που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από δύο (ή και περισσότερα όπου N είναι ο αριθμός των στοιχείων, μια μεταβλητή στη συνάρτηση του matlab που φτιάχτηκε για να υπολογιστεί η power density (πυκνότητα) δίπολα τα οποία είναι διατεταγμένα όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4. Η τιμή του ηλεκτρικού πεδίου σε απόσταση r ( $kr \gg 1$ ) από τη smart antenna δίνεται από τη σχέση:

$$E_{smart}(q) = E_{el}(q) \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)kd \cos q + b} = E_{el}(q) AF \quad 3.8$$

όπου d : η απόσταση μεταξύ των στοιχείων και b η διαφορά φάσης μεταξύ των στοιχείων. Η τιμή του  $E_{el}$  δίνεται από τη σχέση 3.1.

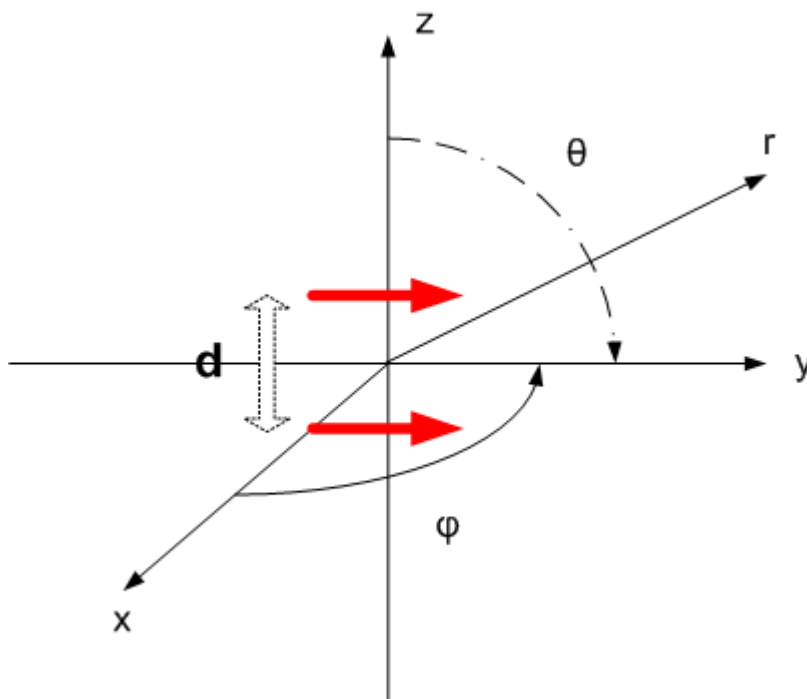


Η πυκνότητα ισχύος δίνεται από τη σχέση :

$$P_{dsmart} = \frac{E_{smart}^2}{120\rho} \quad (\text{Power density Smart}) \quad 3.9$$

Η ισχύς πάνω στην επιφάνεια που βρίσκεται μεταξύ δυο γωνιών  $\theta_1$  και  $\theta_2$  και σύμφωνα με την 3.7 δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$P_{smart} = \int_{\theta_1}^{\theta_2} P_{smart}(r, \theta) r^2 \sin \theta d\theta \quad 3.10$$



**Σχήμα 3.4** Διατεταγμένα δίπολα

#### · MATLAB

Χρησιμοποιώντας το Matlab δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα όπου τέθηκε η συχνότητα  $f = 2000$  MHz, η απόσταση  $r = 16$ cm και έτσι υπολογίστηκε η ισχύς πάνω στην επιφάνεια (λεπτή λουρίδα) που βρίσκεται μεταξύ των γωνιών  $\pi/2$  και  $3\pi/2$  για conventional και smart antenna αντίστοιχα.

Προγραμματίζοντας σε κώδικα Matlab έχουμε το εξής πρόγραμμα :

---

```

%%%%%%%%%% Constants %%%%%%%%%%%

c=3*10^8;
ni=120*pi
%%%%%%%%%% Variables %%%%%%%%%%%

frequency = 2000*10^6
r=0.16;
I0 = 1;
lamda = c/frequency;
l = lamda/100;    %(l<<lamda) poly mikro dipolo

theta = 0:pi/1000:2*pi;

k=2*pi/lamda;

Eelement = (j.*ni.*k.*I0.*l.*exp(-j.*k.*r).*cos(theta))./(4.*pi.*r)
XX=max(abs(Eelement));
Eelement_Norm = Eelement./XX;

Exy = Eelement.*(1./cos(theta))    %%%%%%%%%%%55
Pdel = ((Eelement./XX).^2)./(120.*pi);
Pxy = ((Exy./max(abs(Exy))).^2)./(120.*pi);

A = [theta];
B = [abs(Eelement)./XX];    %normalized
C = [Pdel];
D = [Exy./max(Exy)];
F = [Pxy];

grid

for b = pi/10:pi/10:pi

N=2;
an = 1/N;    %(array amplitude taper)

if N <=1
    error ('there is an Antenna Array, no of elements must be at least 2')
end

d=lamda/ 2 ;    %%%%%%%%% maximum
phi = 0

```

---

```

n = (1: N)';
theta = -pi: pi/1000:pi;

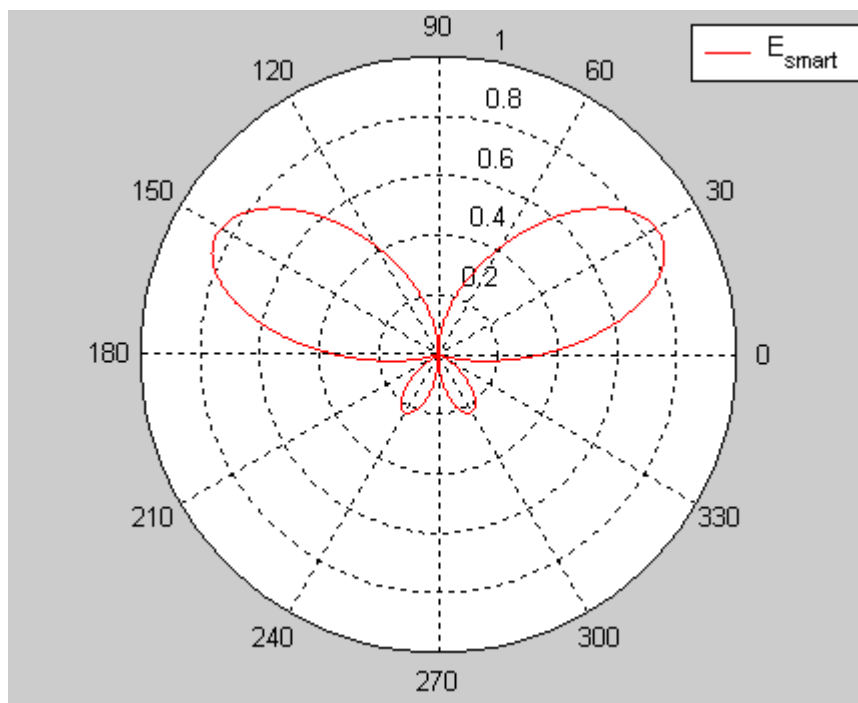
gamma = acos(sin(theta)*cos(phi))
phasor = k*d*cos(gamma)+b %edo allazo ta epipeda!!!!!!!!!!!!!!
Array_Factor = sum (an*exp (i*(n-1)*phasor));

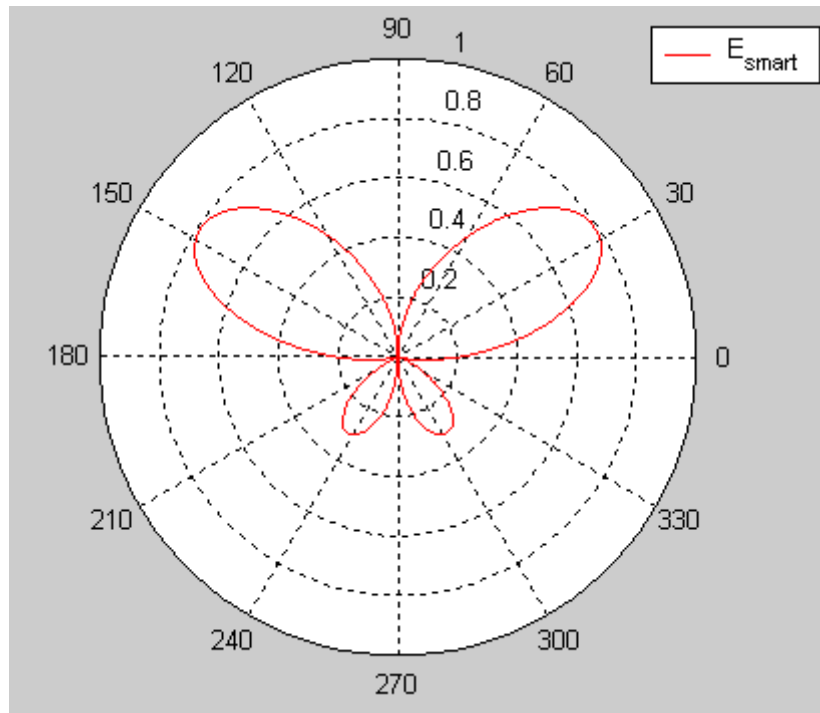
Esmart = B.*Array_Factor
H = [ Esmart]
G = [Array_Factor];
figure; polar (A, H ,r')
title ('Electric Field Intensity of Smart Antenna (N=2), x-y plane');
legend ('E_s_m_a_r_t');

end

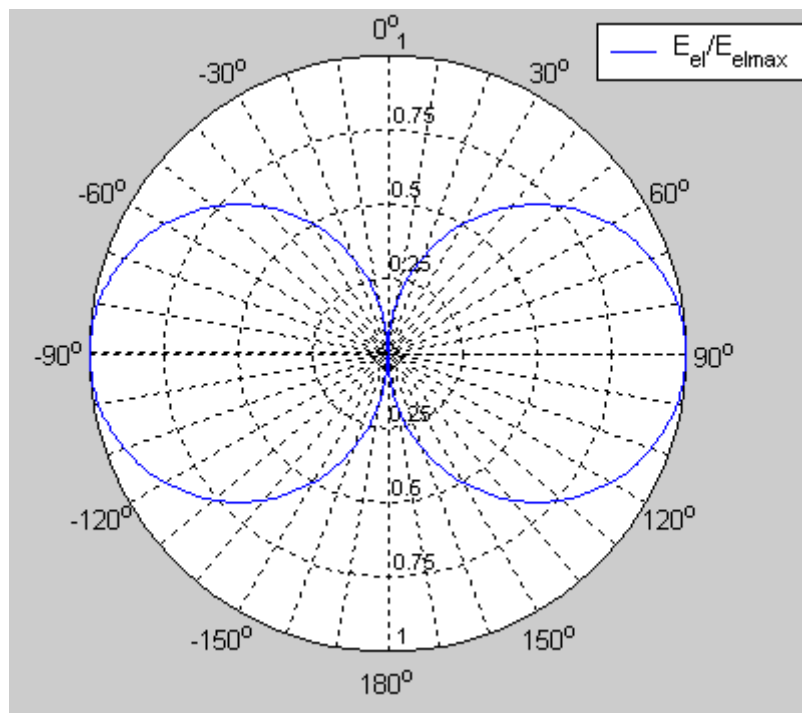
```

Αφού τρέξουμε το παραπάνω πρόγραμμα για  $N=2$  και  $d=\lambda/2$  προκύπτουν έντεκα γραφικές παράστασεις από τις οποίες παραθέτουμε την 7<sup>η</sup> και την 8<sup>η</sup> :





Σχήμα 3.5 Σχέδιο του κέρδους των Smart Antennas



Σχήμα 3.6 Σχέδιο Conventional Antenna

Παραπάνω απεικονίζεται η πυκνότητα ισχύος συναρτήσει της γωνίας  $\theta$  για conventional antenna και στο σχήμα 3.5 απεικονίζονται δύο διαδοχικές γραφικές παραστάσεις όπου παρατηρούμε ότι για την ίδια smart κεραία έχουμε διαφορετικά

Διαγράμματα Απολαβής για διαφορετικές γωνίες εκπομπής. Συγκεκριμένα βλέπουμε την πυκνότητα ισχύος συναρτήσει της γωνίας  $\theta$  για smart antenna. Παρατηρούμε ότι από την μια πλευρά εκπέμπεται λιγότερη ακτινοβολία απ' ότι στην άλλη πλευρά οπότε ουσιαστικά πετυχαίνουμε τον σκοπό μας.

---

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Συμπεράσματα**

Η Πτυχιακή Εργασία που παρουσιάστηκε είχε σαν αντικείμενο τον υπολογισμό της ισχύος που απορροφάται από το κεφάλι όπου χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη περίπτωση μια Conventional(συμβατική) κεραία και στη δεύτερη μια Smart κεραία. Παρουσιάστηκαν επίσης τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την απόδοση του κέρδους των έξυπνων κεραιών με τον προσαρμοστικό συνδυασμό στα κινητά τηλέφωνα για την σύνδεση στο σύστημα WCDMA. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι:

- Η ύπαρξη του διηλεκτρικού συγκεκριμένα το ανθρώπινο σώμα επηρεάζει το Διάγραμμα Εκπομπής της Κεραίας
- Παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στην απορροφούμενη ισχύ από το κεφάλι με τη χρήση διαφορετικών κεραιών

Με τη χρήση των Έξυπνων Κεραιών έχουμε τα εξής:

- Αυξάνει την Απολαβή στην Επιθυμητή Διεύθυνση
- Μειώνει σημαντικά την Απορροφούμενη Ισχύ

Οπότε οι Smart κεραίες είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στο 3G σύστημα. Είναι προφανές ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές όσον αφορά την ενέργεια που απορροφάται από το κεφάλι και στις δύο διαμορφώσεις χρησιμοποιώντας τις διαφορετικές κεραίες. Το προτεινόμενο πρότυπο Smart κεραιών ικανοποιεί τα όρια έκθεσης για τα κινητά τηλέφωνα και είναι σχετικά εύχρηστο στα κυβελοειδή συστήματα επικοινωνιών στη συχνότητα των 2000 MHz.

---

**Βιβλιογραφία**

- [1] IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure: Radio Frequency Electromagnetic Fields 3 kHz to 300 GHz, IEEE C95. 1991, Apr. 1992.
- [2] "A report of telecommunications technology council for the ministry of posts and telecommunications," no. 38, Radio Frequency Protection Guidelines, Tokyo: RCR Inc. June 1990.
- [3] American National Standards Institute (ANSI), "Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields - RF and Microwave." ANSI/IEEE C95.3-1992. Copyright 1992, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE), New York, NY 10017.
- [4] J. Litva and T. K. Lo, Digital Beamforming in Wireless Communications, Artech House, Massachusetts, 1996.
- [5] J. C. Liberti, Jr. and T. S. Rappaport, Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications, Prentice Hall, New Jersey, 1999.
- [6] W. C. Jakes, Microwave Mobile Communications, John Wiley, New York, 1974.
- [7] A. F. Naguib and A. Paulraj, "Performance of Wireless CDMA with M-ary Orthogonal Modulation and Cell Site Antenna Arrays," IEEE Journal of Selected Areas in Communications, December 1996.
- [8] Y. S. Song and H. M. Kwon, "Analysis of a Simple Smart Antenna for CDMA Wireless Communications," IEEE Vehicular Technology Conference, May 1999.
- [9] C. B. Dietrich, K. Dietze, J. R. Nealy, and W. L. Stutzman, "Spatial, Polarization, and Pattern Diversity for Wireless Handheld Terminals," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, September 2001.
- [10] G. Dolmans and L. Leyten, "Performance Study of an Adaptive Dual Antenna Handset for Indoor Communications," *IEE Proceedings of Microwaves, Antennas and Propagation*, April 1999.