

2012

220

ΖΟΡΜΠΑΣ
ΚΩΝ/ΝΟΣ

**[ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ
ΕΥΦΥΩΝ
ΚΕΡΑΙΩΝ(SMART
ANTENNAS) ΚΑΙ
ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ
ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥΣ
ΣΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ]**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3-8
1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	9-25
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9-13
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ	13 -18
1.3 ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΕΠΙΓΕΙΑ ΚΙΝΗΤΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ- ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ.....	18-25
2) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΕΡΑΙΩΝ	26-40
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	26-29
2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΘΕΩΡΙΕΣ ΣΤΗΝ RADIOWAVE PROPAGATION	29-32
2.3 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΕ REAL WORLD CHANNELS	32-34
2.4 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ SMART ANTENNAS.....	35-40
3) ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ SMART ANTENNAS	41-92
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	41-49
3.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ DOA	49-56
3.3 ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ	56-70
3.4 ΥΛΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΚΕΡΑΙΩΝ	71-79
3.5 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ANGLE OF ARRIVAL (AOA)	80-82
3.6 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	82-92
4) ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ SMART ANTENNAS ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ 92-129	
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	93
4.2 ARRAYCOMM	94-103
4.3 ERICSSON	103-108
4.4 METAWAVE	108-117
4.5 ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	118-130
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	131-134
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	134

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την πάροδο των τελευταίων δεκαετιών και ιδιαίτερα των τελευταίων ετών η εξέλιξη της τεχνολογίας στο τομέα των τηλεπικοινωνιών έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο. Οι ασύρματες τηλεπικοινωνίες βρίσκονται συνεχώς στο επίκεντρο της προσοχής των επιστημόνων για την περαιτέρω ανάπτυξη τους.

Σύμφωνα με την ιστορία, αξίζει να σημειωθεί ότι η επίγεια κινητή ασύρματη επικοινωνία εισήχθη στις αρχές της δεκαετίας του 20 για να παρέχει 2 δρόμων επικοινωνία σε αυτοκίνητα. Αυτά τα συστήματα εξελίχθηκαν σε έναν αριθμό ειδικών υπηρεσιών και προσέφεραν σελιδοποίηση, τηλεγράφημα και 2 δρόμων μεταφορά φωνής και δεδομένων σε κινητούς χρήστες. Στις αρχές του 1980, τα αναλογικά κυψελωτά ασύρματα συστήματα συμπεραμβανομένων του AMPS (Advanced Mobile Phone System) στις Η.Π.Α. , του TACS (Total Access Communications System) στην Ευρώπη, και του ιαπωνικού συστήματος TACS (JTACS) στην Ιαπωνία αναπτύχθηκαν, φέρνοντας ασύρματη φωνητική πρόσβαση στο Δημόσιο Τηλεφωνικό Δίκτυο Μεταλλαγής (Public Switched Telephone Network PSTN). Στα μέσα της δεκαετίας του 90, οι ψηφιακές κυψελωτές και Προσωπικές Υπηρεσίες Επικοινωνιών εξελίχθηκαν για να παρέχουν παγκόσμια κάλυψη στους χρήστες, χρησιμοποιώντας ελαφριά, χαμηλής ισχύος, φορητή τηλεφωνική συσκευή με την διαύγεια της ψηφιακής φωνής, εμπλουτισμένων χαρακτηριστικών και υπηρεσιών όπως ψηφιακή ανταλλαγή μηνυμάτων και αναγνώριση καλούντος.

Η πρόσφατη έκρηξη του Wireless Local Loop (WLL) στις αναπτυσσόμενες χώρες δημιούργησε τεράστιο ενδιαφέρον ώστε οι προσαρμοσμένες κεραιές να παράγουν γρήγορη, φθηνή υποδομή στις αναπτυσσόμενες χώρες και να επιτρέψουν Ανταγωνιστική Τοπική Ανταλλαγή Φερόντων (CLECs) να ανταγωνίζονται σε νέες αγορές. Αναπτυσσόμενα WLL συστήματα που χρησιμοποιούν την Code Division Multiple Access (CDMA) τεχνική και την τεχνολογία των προσαρμοσμένων κεραιών

αναπτύχθηκαν για να παράγουν μεγαλύτερο εύρος, καλύτερη αξιοπιστία και χωρητικότητα.

Πρόσφατα αναπτυσσόμενα ψηφιακά συστήματα και Προσωπικές Επικοινωνίες θα συμπληρωθούν σύντομα από νέα συστήματα που συνδυάζουν διαύγεια και χωρητικότητα των ψηφιακών συστημάτων φωνής με υψηλούς ρυθμούς υπηρεσιών δεδομένων, επιτρέποντας πρόσβαση σε βίντεο, στο Internet με υψηλή ταχύτητα και ευρυζωνικές υπηρεσίες δεδομένων. Τα ευφυή κεραιοσυστήματα (Smart Antennas) και το CDMA είναι οι κατάλληλες τεχνολογίες που θα επιτρέψουν την αποτελεσματική χρήση του φάσματος ασύρματων επικοινωνιών που είναι απαραίτητη για να υπάρχει υψηλή χωρητικότητα τόσο σε πυκνοκατοικημένες περιοχές όσο και σε ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση.

Ανά τον κόσμο, ένας μεγάλος αριθμός κυβελωτών και PCS συστημάτων έχουν προταθεί και εφαρμοσθεί. Οι πρώτες αναλογικές υπηρεσίες εφαρμόστηκαν στα μέσα του 1980. Αυτά τα συστήματα ήταν τύπου FDMA όπου διαφορετικά κανάλια διαχωρίζονταν δίνοντας σε κάθε κανάλι μια διαφορετική συχνότητα. Στις Η.Π.Α. το AMPS (Advanced Mobile Phone System) κέρδισε ευρεία αναγνώριση όμως η αναλογική διαμόρφωση περιόριζε τη χωρητικότητα.

Τα 2^{ης} γενιάς συστήματα αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας ψηφιακή διαμόρφωση έτσι ώστε να προσπεραστούν οι περιορισμοί των αναλογικών συστημάτων. Τα ψηφιακά συστήματα έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα αναλογικά συστήματα, συμπεριλαμβανομένων και της ικανότητας να αναπαράγει αξιόπιστα ένα ζωντανό, άνευ θορύβου αντίγραφο του μεταδιδόμενου σήματος στον δέκτη με τη προϋπόθεση ότι μόνο ένας περιορισμένος αριθμός λαθών γίνονται λαμβάνοντας το ψηφιακό σήμα.

Τεχνικές προχωρημένης μετάδοσης και διαμόρφωσης σήματος μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν με ψηφιακά σήματα για να καταπολεμήσουν τις συνέπειες του θορύβου και της πολλαπλής διαδρομής που συναντιούνται στις κινητές επικοινωνίες. Επίσης οι ψηφιακές τεχνολογίες υποκινούν ασυνεχή μετάδοση επειδή οι χρήστες δεν μιλούν 100% του χρόνου και προς τις δύο κατευθύνσεις. Αυτά τα δύο χαρακτηριστικά συνδυάζονται για να παρέχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα, καλύτερη ποιότητα φωνής και πολύ περισσότερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας από ότι στα αναλογικά συστήματα. Τα 2^{ης} γενιάς συστήματα ακόμη, ενσωματώνουν εσωτερικές

δυνατότητες μετάδοσης δεδομένων. Τα 3^{ης} γενιάς συστήματα προσθέτουν ένα εύρος από ευρυζωνικές δυνατότητες δεδομένων.

Το βασικό μοτιβιάρισμα στις κινητές επικοινωνίες είναι ότι πολλοί χρήστες θέλουν να έχουν πρόσβαση στον σταθμό βάσης ταυτόχρονα και συνεπώς να εγκαθιδρύσουν την πρώτη ένωση με την αλυσίδα επικοινωνίας. Ο τρόπος με τον οποίο οι πόροι του σταθμού βάσης κατανέμονται στους κινητούς χρήστες είναι μέσω μοιράσματος. Αυτός είναι ένας τεχνικός ορισμός της πολλαπλής προσπέλασης. Κατά αυτόν τον τρόπο, οι πολλαπλές προσπελάσεις ενσωματώνονται μοιράζοντας έναν ή περισσότερους από τους 4 πόρους του σταθμού βάσης στους διάφορους χρήστες που είναι τυχαία τοποθετημένοι σε χώρο και χρόνο. Με τον όρο *χρόνο* εννοούμε ότι διαφορετικοί χρήστες μπορεί να ξεκινούν να χρησιμοποιούν το σύστημα σε διαφορετικούς χρόνους. Αυτό το μοίρασμα μπορεί να επιτευχθεί με 4 δυνατούς τρόπους:

Frequency Division Multiple Access (FDMA)

Εδώ ο φάσμα συχνοτήτων ή το συνολικό εύρος είναι κατανεμημένο σε διαφορετικούς χρήστες για την διάρκεια της επικοινωνίας. Έτσι κάθε χρήστης επικοινωνεί με τον σταθμό βάσης πάνω σ'ένα συγκεκριμένο εύρος ζώνης συχνοτήτων για όλη την διάρκεια της επικοινωνίας. Η FDMA τεχνική δεν είναι η καλύτερη επιλογή για να εκμεταλλευτούμε πλήρως τα πλεονεκτήματα της ψηφιακής διαμόρφωσης. Αφού τα συστήματα αυτά παρέχουν μία ζώνη συχνοτήτων σε ένα κανάλι για την διάρκεια μιας σύνδεσης, δεν είναι εύκολο να μοιραστούν ένα κανάλι πολλαπλοί χρήστες ή να υιοθετήσουν διάφορα ευρυζωνικά σήματα.

Time Division Multiple Access (TDMA)

Εδώ, κάθε κινητό έχει ολόκληρη τη πηγή συχνοτήτων του σταθμού βάσης για μια μικρή περίοδο χρόνου (δηλαδή κάθε χρήστης έχει πρόσβαση σε όλο το φάσμα του σταθμού βάσης για μια ορισμένη διάρκεια). Με την έλευση της ψηφιακής τεχνολογίας είναι δυνατόν να έχουμε ασυνεχή σύνδεση για κάθε κινητό με τον

σταθμό βάσης για μία μικρή περίοδο χρόνου, και κατά αυτόν τον τρόπο η πολύτιμη πηγή συχνοτήτων του σταθμού βάσης διανέμεται.

↓ Code Division Multiple Access (CDMA)

Σ' αυτή τη περίπτωση, κάθε χρήστης έχει ένα δικό του κωδικό. Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης επιτρέπεται να έχει πρόσβαση σε όλο το εύρος, όπως στην τεχνική FDMA, και για ολόκληρη τη διάρκεια της κλήσης, όπως στην τεχνική TDMA. Όλοι οι χρήστες έχουν πρόσβαση ταυτόχρονα σε όλο το φάσμα για όλη τη διάρκεια. Παρεμβαίνουν ο ένας στον άλλο, και αυτός είναι ο λόγος γιατί η μεθοδολογία αυτή αρχικά διαπιστώθηκε σαν έναν συγκαλυμμένο τρόπο επικοινωνίας. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι CDMA. Ο πρώτος λέγεται direct sequence spectrum multiple access και ο δεύτερος frequency hopped spread spectrum multiple access. Με μια πρώτη ματιά φαίνεται ότι η τεχνική CDMA είναι πιο περίπλοκη από την τεχνική TDMA ή FDMA, αλλά με την έλευση του νέου σχεδιασμού ψηφιακών τσιπ, είναι εύκολο να εισάγουμε την CDMA στο hardware.

↓ Space Division Multiple Access (SDMA)

Εάν ο σταθμός βάσης είναι να καλύψει μία μεγάλη γεωγραφική περιοχή, η περιοχή χωρίζεται σε κυψέλες όπου η ίδια συχνότητα φέροντος μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε άλλες κυψέλες. Έτσι, για έναν μεγάλο αριθμό κυψελών υπάρχει ένα υψηλό επίπεδο επαναχρησιμοποίησης συχνότητας, που αυξάνει τη χωρητικότητα. Στις μέρες μας, φαίνεται ότι περαιτέρω αύξηση της χωρητικότητας σε ένα σύστημα επικοινωνιών μπορεί να επιτευχθεί, αρχικά, με την τεχνική SDMA που χρησιμοποιείται για την σχεδίαση των ευφυών κεραιοσυστημάτων.

Όροι κλειδιά και αρχές στις ασύρματες επικοινωνίες:

Direct Sequence Code Division Multiple Access (DS-CDMA):

Μια τεχνική ασύρματης πρόσβασης όπου τα σήματα από διαφορετικούς χρήστες απασχολούν το ίδιο φάσμα ταυτόχρονα. Ο λήπτης διαχωρίζει τα σήματα χρησιμοποιώντας τις κωδικοποιημένες τους λέξεις .

Adaptive antenna:

Μια σειρά κεραιών που είναι ικανές να αλλάξουν το σχέδιο τους δυναμικά έτσι ώστε να προσαρμοστούν στον θόρυβο, στη παρεμβολή και στη πολλαπλή διαδρομή. Οι adaptive antennas μπορούν να προσαρμόσουν στο σχέδιο τους να ανιχνεύουν φορητούς χρήστες. Οι adaptive antennas χρησιμοποιούνται για να διευρύνουν τα λαμβανόμενα σήματα και μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να σχηματίσουν δέσμες για μετάδοση.

Switched Beam Systems:

Τα συστήματα μεταλλαγής δέσμης χρησιμοποιούν έναν αριθμό από σταθερές δέσμες σε έναν ιστό κεραίας. Ο λήπτης επιλέγει την δέσμη που παρέχει την μεγαλύτερη διεύρυνση σήματος και μείωση παρεμβολής. Τα συστήματα μεταλλαγής δέσμης μπορεί να μην προσφέρουν το βαθμό επίδοσης βελτίωσης που προσφέρουν τα adaptive συστήματα, αλλά είναι συχνά πολύ λιγότερο συμπλεγμένα και πιο εύκολα να επαναπροσδιοριστούν στις ασύρματες επικοινωνίες.

Smart antennas:

Τα ευφυή κεραιοσυστήματα μπορούν να συμπεριλάβουν και την τεχνολογία των adaptive antennas και την τεχνολογία των switched beam. Τα ευφυή κεραιοσυστήματα χρησιμοποιούν πολλαπλές κεραίες στους σταθμούς βάσης έτσι ώστε να σημειωθεί ακριβώς και να συγκεντρωθεί καλύτερα η ραδιενέργεια και κατά συνέπεια να βελτιώσουν τη ποιότητα του σήματος. Αφού οι κυψελωτές επικοινωνίες

απασχολούν ραδιοσήματα που έχουν διεπαφή με το περιβάλλον και μεταξύ τους, αυτές οι βελτιώσεις στη ποιότητα του σήματος οδηγούν σε πλεονεκτήματα του συστήματος όσον αφορά την ποιότητα υπηρεσιών, τη κάλυψη, και τελικά τον οικονομικό παράγοντα των κυβελωτών συστημάτων. Σε κάποιο βάθος ο όρος 'smart' είναι παραπλανητικός. Δεν υπάρχει κάτι ευφύες για τις ίδιες τις κεραιές. Αυτό που είναι ευφύες είναι η μεθοδευμένη προσέγγιση σήματος που εφαρμόζεται σε ταυτόχρονα σήματα από μία σειρά ή συλλογή πολλαπλών κεραιών.

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, έχει ως θέμα της, όπως φάνηκε και από την εισαγωγή, τα ευφυή κεραιοσυστήματα (smart antennas) στα δίκτυα επικοινωνίας και πιο εκτενέστερα σε δίκτυα 3^{ης} γενιάς. Αποτελείται από 4 κεφάλαια, μία εισαγωγή και έναν επίλογο. Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις ασύρματες επικοινωνίες 3^{ης} γενιάς, στην μέχρι τώρα εξέλιξή τους και στο τι συνιστούν. Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή για τις smart antennas ξεκινώντας από τις κεραιές γενικά, τα χαρακτηριστικά τους κ.τ.λ.. Στο 3^ο κεφάλαιο αναλύουμε λεπτομερώς τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την σχεδίαση των smart antennas, τους αλγόριθμους και τα χαρακτηριστικά τους για την καλύτερη κατανόηση του θέματος. Τέλος στο 4^ο κεφάλαιο και πιο ουσιαστικό παρατίθενται και αναλύονται εκτενώς παραδείγματα και εφαρμογές των ευφυών κεραιοσυστημάτων σε δίκτυα 3^{ης} γενιάς και όχι μόνο έως τώρα. Ακόμη γίνεται παροντική και μελλοντική εκτίμηση της παρουσίας τους στον χώρο των τηλεπικοινωνιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αδηφάγος καταναλωτική ζήτηση υπονοεί πολλές προόδους στην εμπορική ασύρματη τεχνολογία επικοινωνιών, ιδιαίτερα στα κυψελοειδή και ασύρματα τηλέφωνα. Το χαρτοφυλάκιο των τώρα διαθέσιμων στην εμπορική αγορά ασύρματων υπηρεσιών περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα της τηλεφωνίας και των εφαρμογών στοιχείων που παραδίδονται πέρα από ποικίλες προσφορές υπηρεσιών και που κυμαίνονται από το κινητό ραδιόφωνο εδάφους ως τις κυψελοειδείς και δορυφορικές επικοινωνίες. Κάθε υπηρεσία προσφέρει έναν μοναδικό συνδυασμό περιοχής κάλυψης, εύρους ζώνης, ιδιοτήτων εξοπλισμού συνδρομητών, και συνδετικότητας. Στο σύνολο, οι εμπορικές ασύρματες ικανότητες είναι ιδιαίτερες, όμως πολλές τεχνικές προκλήσεις παραμένουν. Το κόστος των ασύρματων συστημάτων φωνής πρέπει να μειωθεί και η ποιότητα τους να βελτιωθεί. Τα εξειδικευμένα ασύρματα δίκτυα δεδομένων δεν έχουν απογειωθεί μέχρι τώρα, ίσως επειδή δεν είναι αρκετά ισχυρά ή επειδή οι εφαρμογές μαζικής αγοράς πρέπει να προκύψουν ακόμα. Η ιδιαίτερη έρευνα για να αντιμετωπίσει αυτά και άλλα ζητήματα είναι εν εξελίξει, και στις Ηνωμένες Πολιτείες και στο εξωτερικό. Οι οδικοί χάρτες βιομηχανίας προτείνουν ότι, κοντά στις αρχές του εικοστού πρώτου αιώνα, οι εμπορικές ασύρματες επικοινωνίες θα συναντήσουν το μακροπρόθεσμο στόχο στους χρήστες για να επικοινωνήσουν 'οποτεδήποτε, οπουδήποτε'.

Πολλές ερευνητικές προσπάθειες είναι εν εξελίξει για να πραγματοποιήσουν τα εμπορικά και στρατιωτικά οράματα για τις ασύρματες επικοινωνίες. Τροφοδοτημένος από την επιτυχία των κυψελοειδών επικοινωνιών και των προβολών της πάντα-επέκτασης των αγορών για τις ασύρματες υπηρεσίες, ο εμπορικός τομέας ωθεί μπροστά τις διάφορες περιοχές. Ένας στόχος είναι να επιτραπούν οι φορητές συσκευές για να επικοινωνήσουν στα υψηλά ποσοστά δυαδικών ψηφίων που απαιτούνται για τις προηγμένες υπηρεσίες πληροφοριών. Ένας άλλος στόχος είναι να προωθηθεί η κατάσταση προόδου για τα ραδιόφωνα λογισμικού ως μέσο ενθάρρυνσης των οικονομιών κλίμακας στην R&D και στην κατασκευή σε έναν κόσμο των διαφορετικών και μεταβαλλόμενων τεχνικών προτύπων. Με τη χρησιμοποίηση των πολλαπλάσιων τύπων λειτουργικών λογισμικών, τέτοια ραδιόφωνα μπορούν να χρησιμεύσουν ως οι ενιαίες πλατφόρμες υλικού ικανές και τα σήματα που προσαρμόζονται σε ποικίλα πρότυπα. Εν τω μεταξύ, η *dod* υιοθετεί μια

διπλή μέθοδο στην ασύρματη ανάπτυξη τεχνολογίας και από τους δύο που πραγματοποιούν την έρευνά του, που εστιάζει πρώτιστα στα συστατικά, επίσης στηριγμένος όλο και περισσότερο στις εμπορικές τεχνολογίες για να εξασφαλίσει τη διαλειτουργικότητα και την ολοκλήρωση συστημάτων. Το πρόγραμμα *DARPA GloMo* έχει αρχίσει μια ευρεία σειρά των συντονισμένων προσπαθειών R&D που θα παράσχουν τη διευκόλυνση των τεχνολογιών για τα μελλοντικά στρατιωτικά συστήματα. Μεταξύ των εμπορικών τεχνολογιών που οι στρατιωτικοί αναμένουν να χρησιμοποιήσουν είναι πρωτόκολλα Διαδικτύου και τα ATM.

Αυτές οι παρατηρήσεις οδηγούν στα ακόλουθα γενικά συμπεράσματα:

- Ένα μεγάλο χάσμα παραμένει μεταξύ των δημόσιων προσδοκιών για την κινητή επικοινωνία ("οποτεδήποτε, οπουδήποτε") και της διαθέσιμης τεχνολογίας.
- Κατά τη διάρκεια των επόμενων περίπου 10 ετών, οι δυνάμεις αγοράς θα καλύψουν αυτό το κενό με την ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών για τις εμπορικές ασύρματες επικοινωνίες.
- Μερικές στρατιωτικές ανάγκες για τις ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνιών θα υπερβούν ή θα διαφέρουν σημαντικά από τις προσδοκώμενες εμπορικές εξελίξεις. Παραδείγματος χάριν, οι στρατιωτικοί έχουν τις μοναδικές ανησυχίες όσον αφορά το σχέδιο δικτύων, την ασφάλεια, τη διαλειτουργικότητα, και τα πολλαπλού τρόπου/πολλαπλής ζώνης συστήματα.
- Ο εμπορικός τομέας έχει τα κίνητρό του για να παραγάγει τις προηγμένες επικοινωνίες συσκευές, συστατικά, και υποσυστήματα καθώς επίσης και πλήρη συστήματα. Για να χρησιμοποιήσει τις εμπορικές τεχνολογίες αποτελεσματικά, ο *dod* θα πρέπει να λάβει τα ειδικά μέτρα για να προωθηθεί η ανάπτυξη και η απόκτηση των προϊόντων που μπορούν να ενσωματωθούν στα συστήματα που καλύπτουν τις εξειδικευμένες στρατιωτικές απαιτήσεις.

Στα τελευταία έτη του εικοστού αιώνα, όλες οι πτυχές των ασύρματων επικοινωνιών υπέκυψαν στη γρήγορη αλλαγή σε όλο τον κόσμο. Οι διαστάσεις της αλλαγής περιλαμβάνουν τα εξής:

- Σθεναρά εκτεταμένη, δημόσια ζήτηση για τα προϊόντα και τις υπηρεσίες
- Δραματικές αλλαγές παγκοσμίως στις κυβερνητικές πολιτικές σχετικά με τη δομή βιομηχανίας και τη διαχείριση φάσματος
- Τεχνολογίες γρήγορα προώθησης σε μια ατμόσφαιρα της αβεβαιότητας για τις σχετικές αξίες των ανταγωνιστικών προσεγγίσεων
- Εμφάνιση μιας ευρείας ποικιλίας των νέων συστημάτων για τις υπηρεσίες επικοινωνιών στα ασύρματα τερματικά και
- Βαθιές αλλαγές στις βιομηχανίες επικοινωνιών όπως αποδεικνύεται από μια σειρά συγχωνεύσεων, συμμαχιών, και υποπροϊόντων που περιλαμβάνουν μερικές από τις παγκόσμιες μεγαλύτερες εταιρίες.

Αυτές οι αλλαγές τροφοδοτούνται από τις ευκαιρίες για το κέρδος και το δημόσιο όφελος όπως γίνονται αντιληπτές από τους ανώτερους υπαλλήλους, τους επενδυτές, και τις κυβερνήσεις. Αν και τα σχέδια είναι σφαιρικά, οι λεπτομέρειες διαφέρουν σημαντικά από χώρα σε χώρα. Κάθε διάσταση της αλλαγής είναι σύνθετη και όλοι τους αλληλεπιδρούν. Συνολικά, η δυναμική φύση των ασύρματων επικοινωνιών δημιουργεί ένα μίγμα σύγχυσης και ευκαιρίας για τους συμμετοχούς σε όλο τον κόσμο.

Μια κύρια έλξη των ασύρματων επικοινωνιών είναι η ικανότητά της να εξυπηρετήσει τους κινητούς χρήστες. Επειδή η κινητικότητα είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα των στρατιωτικών διαδικασιών, οι αμερικανικές οπλισμένες δυνάμεις έχουν διαδραματίσει πάντα έναν κύριο ρόλο στην ανάπτυξη και την επέκταση της ασύρματης τεχνολογίας επικοινωνιών. Στα ερχόμενα έτη, εντούτοις, φαίνεται ότι ο εμπορικός τομέας θα έχει τα ικανοποιητικές κίνητρα και την ορμή για να ωθήσει τον τεχνικό φάκελο από μόνος του. Συγχρόνως, οι επίπεδοι ή μειωμένοι αμυντικοί προϋπολογισμοί παρακινούν τους στρατιωτικούς για να υιοθετήσουν τα εμπορικές προϊόντα και τις υπηρεσίες σε ολοένα αυξανόμενη έκταση. Ακόμα υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των στρατιωτικών και εμπορικών απαιτήσεων. Κατά

συνέπεια, είναι σημαντικό να εξεταστούν προσεκτικά οι ευκαιρίες για, και οι περιορισμοί, τη στρατιωτική χρήση των εμπορικών ασύρματων προϊόντων επικοινωνιών και τις υπηρεσίες. Οι πληροφορίες υποθέτουν τώρα τη μεγαλύτερη στρατηγική σημασία από πάντα πριν στην εχθροπραξία και άλλες στρατιωτικές διαδικασίες, και έτσι η ευρεία επέκταση συστημάτων οικονομικώς αποδοτικών, επικοινωνιών κατάστασης προόδου των ασύρματων έχει γίνει ιδιαίτερα κρίσιμη.

Η παρούσα κατάσταση υπενθυμίζει τις προηγούμενες εποχές στις οποίες οι σημαντικές ανακαλύψεις στους μεταφορείς υλικό-αεροσκαφών, αεροσκάφη αεριωθούμενων αεροπλάνων, τακτικά βλήματα, πυρηνικά όπλα- έχουν οδηγήσει στις ριζικές αναθεωρήσεις του στρατιωτικού δόγματος. Η επόμενη μεγάλη επανάσταση στις στρατιωτικές υποθέσεις θα μπορούσε να διαμορφωθεί από την τεχνολογία πληροφοριών: παγκόσμιες επικοινωνίες, πανταχού παρόντες αισθητήρες, θέση ακρίβειας, και κυρίαρχη επεξεργασία πληροφοριών. Προηγμένες εντολές, έλεγχος, επικοινωνίες, υπολογισμός, και νοημοσύνη (C4 τα συστήματα I) μπόρεσαν να το καταστήσουν πιθανό να ελέγξουν έναν αντίπαλο, να στοχεύσουν στις συγκεκριμένες απειλές, και να τα εξουδετερώσουν με το καλύτερο διαθέσιμο όπλο.

Αλλά αντίθετα από το στρατιωτικό υλικό του παρελθόντος, η τεχνολογία πληροφοριών προωθεί σε έναν ρυθμό *breakneck* σε μια παγκόσμια αγορά, που οδηγείται όχι από τις στρατιωτικές απαιτήσεις αλλά από τους βιομηχανικούς και καταναλωτικούς τομείς. Όλο και περισσότερο αυτές οι τεχνολογίες είναι διαθέσιμες παγκοσμίως, και η καλύτερη τεχνολογία δεν περιορίζεται πλέον στην αμερικανική κατασκευή και τον έλεγχο. Τα ιδιαίτερα ακριβή στοιχεία θέσης που διαβιβάζονται από το δορυφόρο είναι τώρα διαθέσιμα σε οποιοδήποτε ιστιοπλόο. Οι υψηλής ευκρίνειας δορυφορικές φωτογραφίες είναι για την πώληση σε όλο τον κόσμο. Οποιοδήποτε έθνος μπορεί να αγοράσει τις πιο πρόσφατες συσκευές επικοινωνιών από τα καταστήματα ηλεκτρονικής του Τόκιο.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ

Στο μεγαλύτερο μέρος της ιστορίας, η εξέλιξη των τεχνολογιών επικοινωνιών έχει συνδυαστεί στενά με στρατιωτικές ανάγκες και εφαρμογές. Μερικά από τα πιο πρώτα

χρηματοδοτούμενα από την κυβέρνηση προγράμματα R&D εστίασαν στις τεχνολογίες επικοινωνιών που επέτρεψαν την εντολή και τον έλεγχο. Μια συνεργασιακή σχέση εξελίχθηκε έπειτα μεταξύ των στρατιωτικών και εμπορικών τομέων που επιτάχυναν τη διαδικασία ανάπτυξης τεχνολογίας. Τώρα οι μεγάλες εταιρίες αναπτύσσουν τις πιο πρόσφατες τεχνολογίες επικοινωνιών για τις διεθνείς βιομηχανικές και καταναλωτικές αγορές που διαμορφώνονται με τον κυβερνητικό κανονισμό και τις διεθνείς συμφωνίες. Το παγκόσμιο εμπόριο στον εξοπλισμό και τις υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών εκτιμήθηκε σε \$115 δισεκατομμύρια το 1996.

Τα σύγχρονα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών ριζοβολούν στην τηλεφωνία και τις ραδιοτεχνολογίες χρονολογούμενες από το τέλος του δέκατου ένατου αιώνα και των παλαιότερων συστημάτων τηλεγραφίας που χρονολογούνται από το δέκατο όγδοο αιώνα. Τα ασύρματα συστήματα επηρεάζονται επίσης κοντά και συνδέονται όλο και περισσότερο με τις πολύ νεώτερες ικανότητες επικοινωνιών, όπως το Διαδίκτυο, το οποίο δημιουργήθηκε στη δεκαετία του '60 Όλα τα ασύρματα συστήματα διαβιβάζουν τα σήματα πέρα από τον αέρα χρησιμοποιώντας τις διαφορετικές ζώνες μετάδοσης συχνότητας που υποδεικνύονται από τον κυβερνητικό κανονισμό. Παρέχει μια επισκόπηση των ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών RF και των υπηρεσιών και η συχνότητα ενώνει αυτοί χρησιμοποιεί. Κάθε ζώνη συχνότητας έχει και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα. Στις χαμηλές συχνότητες το σήμα διαδίδει κατά μήκος του εδάφους η μείωση είναι χαμηλή αλλά τα ατμοσφαιρικά επίπεδα θορύβου είναι υψηλά. Οι χαμηλές συχνότητες δεν μπορούν να φέρουν αρκετές πληροφορίες για τις τηλεοπτικές υπηρεσίες. Στις υψηλότερες συχνότητες υπάρχει λιγότερος ατμοσφαιρικός θόρυβος αλλά περισσότερη μείωση, και μια σαφής γραμμή θέας απαιτείται μεταξύ της συσκευής αποστολής σημάτων και του δέκτη επειδή τα σήματα δεν μπορούν να διαπεράσουν τα αντικείμενα. Αυτές οι συχνότητες προσφέρουν το μεγαλύτερο εύρος ζώνης, ή την ικανότητα καναλιών.

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΟΧΗ

Τα χρονικά της αρχαιότητας προσφέρουν τα παραδείγματα των τροφοδοτημένων επικοινωνιών: ανθρώπινοι δρομείς, κατευθυνόμενα αυτομάτως περιστέρια, και ηλεκτρονόμοι αλόγων. Ίσως η πιο πρόωρη υποδομή επικοινωνιών ήταν το οδικό δίκτυο της Ρώμης, το οποίο έφερε όχι μόνο τις λεγεώνες έπρεπε να επιβάλει τη

θέληση αλλά και τους αγγελιοφόρους του αυτοκράτορα στις άμεσες δυνάμεις μακριά από το κεφάλαιο. Οι αρχαίες κοινωνίες ανέπτυξαν επίσης τα συστήματα που πρόλαβαν την ανάγκη για τη φυσική παράδοση των πληροφοριών. Αυτά τα συστήματα λειτούργησαν μέσα στις αποστάσεις οπτικής επαφής (που επεκτείνονται αργότερα από το τηλεσκόπιο): σήματα καπνού, φανός που κάνουν σήμα, λάμποντας καθρέφτες, φλόγες σημάτων, και σημαίες σηματοφόρων (*Holzman και Pehrson, 1995*). Οι σταθμοί παρατήρησης καθιερώθηκαν κατά μήκος των κορυφών υψώματος ή των δρόμων στα μηνύματα ηλεκτρονόμων στις μεγάλες αποστάσεις.

ΤΗΛΕΓΡΑΦΟΣ

Η πρώτη κατανοητή συσκευή για μετάδοση σημάτων γρηγορότερα από την μέχρι τότε μεταφορά μηνυμάτων ήταν ο οπτικός τηλεγράφος, που εφευρέθηκε το 1793. Ο οπτικός τηλεγράφος αποτελείτο από ένα σύνολο στοιχείων που αποκωδικοποιούσαν εκατοντάδες σήματα σε καθορισμένες θέσεις.

Ο οπτικός τηλεγράφος αντικαταστάθηκε από τον ηλεκτρικό τηλεγράφο το 1948, όταν ο Samuel Morse ανέπτυξε τον κωδικό του dash-and-code. Τώρα η πληροφορία μπορεί να μεταδοθεί πέρα από ορατές αποστάσεις χωρίς σημαντική καθυστέρηση.

Το πρώτο υπερατλαντικό καλώδιο εφαρμόστηκε το 1858 αλλά απέτυχε μέσα σε λίγους μήνες. Ένα καινούριο καλώδιο σχεδιάστηκε από τον Lord Kelvin το 1866 και λειτούργησε επιτυχώς σε μία συνεχής βάση. Το αποτέλεσμα ήταν ένα γρήγορα επεκτεινόμενο τηλεγραφικό δίκτυο που έφτασε σε κάθε γωνιά της υφηλίου. Μέχρι το 1870, η Μεγάλη Βρετανία επικοινωνήσε απευθείας με την Βόρεια Αμερική, Ευρώπη, τη Μέση Ανατολή, και την Ινδία

ΠΡΩΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ

Μέσα σε λίγες δεκαετίες από την ευρεία ανάπτυξη του, ο τηλεγράφος άρχισε να χάνει τους πελάτες του από μία νέα τεχνολογία. Το 1895 ο Gulielmo Marconi απέδειξε ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορούσε να ανιχνευθεί από απόσταση. Το 1901 γεφυρώθηκε ο Atlantic Ocean από το ράδιο, και κανονική εμπορική υπηρεσία εισηγήθηκε το 1907. Το 1915 η πρώτη μετάδοση ασύρματης φωνής μεταξύ Νέας Υόρκης και Σαν Φραντσίσκο σήμανε την αρχή της συγχώνευσης ραδίου και

τηλεφωνίας. Ακολούθησε η πρώτη ραδιοφωνική εμπορική εκπομπή το 1920. Η χρήση των υψηλών συχνοτήτων (μικροκύματα) εκμεταλλεύθηκε την ιονόσφαιρα σαν ένα ανακλαστήρα, αυξάνοντας σημαντικά την κατάταξη των επικοινωνιών. Το πρώτο 2-δρόμων φορητό ράδιο, το Handie-Talkie, εμφανίστηκε το 1940. Οι 2-δρόμων κινητές επικοινωνίες επαναπροσδιόρισαν σε μεγάλη κλίμακα διενέξεις επιτρέποντας τη συνεργασία σε κινητές λειτουργίες σε μεγάλες περιοχές.

ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ

Το τηλέφωνο εφαρμόστηκε αρχικά το 1876. Ένα τηλεφωνικό δίκτυο βασισμένο σε μηχανικούς μεταγωγείς και χάλκινα σύρματα αναπτύχθηκε γρήγορα. Το υψηλό κόστος των καλωδίων περιόρισε τον αριθμό των πιθανών ζητημάτων ανά πάσα στιγμή. Όσο η ζήτηση αυξανόταν, πολυπλεγμένες τεχνικές, όπως διαίρεση χρόνου και διαίρεση συχνότητας, αναπτύχθηκαν. Πάντως δεν ήταν μέχρι το 1950 που ενοποιημένα δικτυακά μηνύματα προσφέρθηκαν στους καταναλωτές, επιτρέποντας τους να κάνουν απευθείας μακράς απόστασης κλήσεις. Από τότε, η γρήγορη επέκταση του μακράς απόστασης δικτύου έγινε εφικτό από προόδους σε φωτονικές επικοινωνίες και τεχνολογίες δικτυακού ελέγχου.

ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Η έννοια της χρησιμοποίησης των γεωσύγχρονων δορυφόρων για λόγους επικοινωνιών προτάθηκε αρχικά το 1945 από το συγγραφέα Αρθούρο C. Clarke επιστημονικής φαντασίας, κατόπιν υιοθετήθηκε στη βασιλική καθιέρωση αεροσκαφών της Μεγάλης Βρετανίας, μέρος του Υπουργείου άμυνας. Οι δορυφόροι αυτού του τύπου τοποθετούνται επάνω από τον ισημερινό και κινούνται στο *synch* με τη γήινη περιστροφή. Το 1954 J.R. διαπερνά στα τηλεφωνικά εργαστήρια κουδουνιών του AT&T που αναπτύσσονται την έννοια των τροχιακών ραδιοηλεκτρονόμων και προσδιόρισε τα βασικά ζητήματα σχεδίου για τους δορυφόρους: ενεργητικός εναντίον της ενεργού μετάδοσης, της κράτησης σταθμών, του ελέγχου τοποθέτησης, και του μακρινού ελέγχου οχημάτων (ψραυ, 1995). Διαπέρασε υποστηριγμένος μια προσέγγιση της επίτευξης της γεωστατικής τροχιάς

στα διαδοχικά στάδια ανάπτυξης τεχνολογίας, αρχίζοντας από τους μη σύγχρονους, δορυφόρους χαμηλός-τροχιάς. Η επιχείρηση αεροσκαφών του Hughes υποστήριξε μια γεωστατική έννοια βασισμένη στις κατοχυρωμένες με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τεχνικές διατήρησης της θέσης της επιχείρησης. Το 1957 η Σοβιετική Ένωση προώθησε σπούτνικ, ο πρώτος δορυφόρος που τοποθετείται στην τροχιά. Οι ερασιτεχνικοί ραδιοχειριστές ήταν σε θέση να πάρουν τις χαμηλής ισχύος μεταδόσεις του σε όλο τον κόσμο.

Οι δορυφόροι προσφέρουν διάφορα πλεονεκτήματα σε θέματα των επίγειων συστημάτων επικοινωνιών. Οι σύντομες, διπλής κατεύθυνσης επικοινωνίες μπορούν να καθιερωθούν πέρα από τις ευρείες περιοχές με μόνο έναν ενιαίο ηλεκτρονόμο στο διάστημα, και τη σφαιρική κάλυψη με μόνο μερικούς λυκίσκους ηλεκτρονόμων. Οι γήινοι σταθμοί μπορούν τώρα να ιδρυθούν και να κινηθούν γρήγορα. Επιπλέον, τα δορυφορικά συστήματα είναι ουσιαστικά ανοσοποιητικά στα *impairments* όπως η πολλαπλών διαδρομών εξασθένιση (τα *impairments* καναλιών συζητούνται στο κεφάλαιο 2). Αλλά με τη γρήγορη επέκταση των υποθαλάσσιων *fiber-optic* συνδέσεων, η χρήση των δορυφορικών καναλιών για την τηλεφωνία ήταν στην πτώση. Η υψηλή ικανότητα της ίνας προβλέπει τις ανταγωνιστικές δαπάνες, οι οποίες, που συνδυάζονται με τη χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση, έχουν προσελκύσει τους καταναλωτές. Το μέλλον της δορυφορικής βιομηχανίας εξαρτάται από την εμφάνιση των εφαρμογών εκτός από τα κανάλια σταθερής τηλεφωνίας. Μια νέα γενιά των δορυφορικών συστημάτων επεκτείνεται για να παρέχει τις υπηρεσίες κινητών τηλεφώνων.

ΚΙΝΗΤΟ ΡΑΔΙΟ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΚΥΨΕΛΩΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

Η πρόωμη ανάπτυξη του κινητού ραδίου καθοδηγήθηκε από τις δημόσιες ανάγκες ασφάλειας. Το 1921 το Detroit έγινε η πρώτη πόλη που πειραματώθηκε με *radio-dispatched* αστυνομικά αυτοκίνητα. Τα συστήματα 2-δρόμων εφαρμόστηκαν αρχικά στο Bayonne, στο New Jersey, στη δεκαετία του 1930. Το σύστημα λειτουργούσε με 'push-to-talk' (δηλ. *half-duplex*) τεχνική. Ταυτόχρονη λήψη και εκπομπή ή *full-duplex* τεχνική, δεν ήταν δυνατή για την ώρα.

Η διαμόρφωση συχνότητας (FM), εφευρεμένη το 1935, κανονικά εξαφάνιζε τον εκ βαθέως στατισμό καθώς μείωνε την ανάγκη για υψηλή μετάδοση ισχύος, και καθώς επέτρεπε την ανάπτυξη των χαμηλής ισχύος μεταδοτών και ληπτών για χρήση σε αυτοκίνητα. Το 1946 η δημόσια υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας εισήχθη σε 25 πόλεις στις Η.Π.Α.. 30 χρόνια μετά την εισαγωγή της υπηρεσίας κινητής τηλεφωνίας το σύστημα της Νέας Υόρκης μπορούσε να υποστηρίξει μόνο 543 χρήστες.

Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα ανέκυψε το 1970 όταν ερευνητές στα εργαστήρια Bell ανέπτυξαν την αντίληψη του κυψελωτού κινητού συστήματος ,κατά το οποίο κάθε γεωγραφική περιοχή χωρίζεται σε προσαρμοστικές,μη υπέρθετες, εξαγωνικές κυψέλες. Κάθε κυψέλη έχει τον δικό της μεταδότη και παραλήπτη(που ονομάζεται σταθμός βάσης) για να επικοινωνήσει με τις κινητές μονάδες σε αυτό το κελί.Ένας κινητός σταθμός μεταγωγής συντονίζει τις ενέργειες των κινητών μονάδων που διασχίζουν τα όρια των κυψελών. Κατά μήκος όλης της γεωγραφικής περιοχής ,κομμάτια από το φάσμα επαναχρησιμοποιούνται, επεκτείνοντας αρκετά τη χωρητικότητα του συστήματος αλλά αυξάνοντας την πολυπλοκότητα υποδομής και το κόστος υποδομής.

Στα χρόνια που ακολουθούν την εγκαθίδρυση της κινητής τηλεφωνικής υπηρεσίας, η AT&T (AMERICAN TELEPHONY AND TELEGRAPH) υπέβαλλε έναν αριθμό από προτάσεις στην Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) για ένα καθορισμένο μπλοκ φάσματος για τις κινητές επικοινωνίες.

INETPNET

Οι πρώτες αρχές που αφορούν το Internet αναπτύχθηκαν στα μέσα της δεκαετίας του 1960 σ'αυτό που τώρα είναι το DARPA,τότε γνωστό ως ARPA.Η αρχική εφαρμογή ήταν το APRANET ,που εγκαθιδρύθηκε το 1969 για να παρέχει επικοινωνιακά δίκτυα υπολογιστών. Το πρώτο APRANET εντοπίστηκε στο πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια στο Λος Άντζελες. Την ίδια περίοδο, το σχέδιο ALOHA στο πανεπιστήμιο της Χαβάης ερευνούσε δίκτυα μεταλλαγής πακέτων για fixed-site ραδιοσυνδέσεις. Η ευρεία χρήση των Ethernet LANs για να συνδεθούν προσωπικοί υπολογιστές και σταθμοί εργασίας απέτρεψαν ευρεία πρόσβαση στο Internet ,ένας

όρος που εμφανίστηκε στα τέλη του 1970 με τη σχεδίαση του πρωτοκόλλου Internet (IP).

ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΕΠΙΓΕΙΑ ΚΙΝΗΤΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ-ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

Σε όλο τον κόσμο, τα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών επιτρέπουν στις αναπτυσσόμενες χώρες για να παρέχουν τη στιγμιαία τηλεφωνική υπηρεσία στους νέους συνδρομητές που ειδικά θα έπρεπε να περιμένουν έτη για την πρόσβαση καλωδιώσεων. Αν και οι ασύρματοι χρήστες είναι ακόμα μακριά ξεπερασμένοι αριθμητικώς από τους περίπου 700 εκατομμύρια τηλεφωνικούς χρήστες καλωδιώσεων παγκοσμίως, ο αριθμός νέων ασύρματων συνδρομητών αυξάνεται 15 φορές γρηγορότερα από τη βάση συνδρομητών καλωδιώσεων, και αυτός ο ρυθμός αναμένεται για να επιταχύνει στα ερχόμενα έτη. Οι αναλυτές προβλέπουν ότι, μέχρι το έτος 2010, θα υπάρξουν ίδιοι αριθμοί συνδέσεων ραδιοφώνων και καλωδιώσεων σε όλο τον κόσμο.

Τα ασύρματα συστήματα κινητών τηλεφώνων μπορούν να διαιρεθούν σε τρεις γενεές. Η πρώτη γενεά, που εισάγεται στη δεκαετία του '80 και νωρίς τη δεκαετία του '90, χρησιμοποιεί την αναλογική κυβλοειδή και ασύρματη τηλεφωνική τεχνολογία. Τα δεύτερης γενεάς συστήματα διαβιβάζουν την ομιλία σε ψηφιακή μορφή. Παρέχουν προηγμένες υπηρεσίες καλώντας τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και ακόμα μερικές μη φωνητικές υπηρεσίες. Υπάρχουν δύο κατηγορίες δεύτερης γενεάς συστημάτων. Οι υψηλής ισχύος συσκευές αποστολής σημάτων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων high-tier systems, σταθμοί βάσεων με κάλυψη να κυμαίνεται σε τάξεις χιλιομέτρων, και τους συνδρομητές που κινούνται με τις ταχύτητες οχημάτων. Τα συστήματα low-tier, εξυπηρετώντας συνδρομητές που κινούνται με τις για τις ταχύτητες πεζών, έχουν τις χαμηλής ισχύος συσκευές αποστολής σημάτων σε τάξη 100 μέτρων (μ). Μερικά από αυτά τα συστήματα σχεδιάζονται πρώτιστα για την εσωτερική χρήση. Τα συστήματα τρίτης-γενεάς, που εισήχθησαν μετά από το 2002, ενσωμάτωσαν ανόμοιες υπηρεσίες, συμπεριλαμβανομένων των ευρυζωνικών υπηρεσιών πληροφοριών που δεν μπορούν να παραδοθούν με τη δεύτερης γενεάς τεχνολογία. Πολλοί χρήστες αναμένουν με ενδιαφέρον την αυξανόμενη ευκολία που υπόσχεται η ολοκλήρωση ή η συμβατότητα

των συστημάτων. Εκτός από τα επίγεια συστήματα κινητών τηλεφώνων, άλλα εμπορικά ασύρματα συστήματα περιλαμβάνουν τις δορυφορικές επικοινωνίες, τα κινητά συστήματα στοιχείων, και τα ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής (*LANs*).

Πρώτης γενιάς συστήματα

Από τα αρχικά ασύρματα συστήματα επικοινωνιών που επεκτάθηκαν στη δεκαετία του '80, το δημοφιλέστερο ήταν το αναλογικό ασύρματο τηλέφωνο, το οποίο χρησιμοποιεί το ραδιόφωνο για να συνδέσει ένα φορητό μικροτηλέφωνο με μια μονάδα που συνδέεται με καλώδιο στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγών. Εκατοντάδες εκατομμυρίων τέτοιων συσκευών έχουν παραχθεί, και η τεχνολογία έχει τυποποιηθεί στην Ευρώπη κάτω από τα ασύρματα τηλεφωνικά πρώτης γενιάς (*CTO*, *CTI*, και *CTI+*) πρότυπα. Δεν υπάρχουν ούτε ένα αμερικάνικο πρότυπο. Τα αναλογικά ασύρματα τηλέφωνα περιορίζουν τις διατάξεις στις δεκάδες των μετρητών και απαιτούν μια αφιερωμένη τηλεφωνική γραμμή. Τα κυψελοειδή συστήματα έχουν επιτρέψει πολύ μεγαλύτερη κινητικότητα.

Στην καθιέρωση της κυψελοειδούς υπηρεσίας το 1983 η FCC διαίρεσε τις Ηνωμένες Πολιτείες σε 734 κυψελοειδείς αγορές (αποκαλούμενες τις μητροπολιτικές στατιστικές περιοχές και αγροτικές περιοχές υπηρεσιών), κάθε μια με "A-side" και "B-side" κυψελοειδή φορέα παροχής υπηρεσιών. Ιστορικά, ο προσδιορισμός του A ή το B έδειξε την προέλευση του κυψελοειδούς προμηθευτή: Ένας προμηθευτής A δεν δημιουργήθηκε στην παραδοσιακή τηλεφωνική επιχείρηση και κλήθηκε μεταφορέας *nonwireline*, ενώ ένας B προμηθευτής είχε τις ρίζες στις παραδοσιακές υπηρεσίες και κλήθηκε μεταφορέας καλωδιώσεων. Κάθε κυψελοειδής μεταφορέας είναι χορηγημένος με άδεια για να χρησιμοποιήσει 25 MHz του ραδιοφάσματος στη ζώνη 800-MHz για να παρέχει τις διπλής κατεύθυνσης μεταδόσεις τηλεφώνων και στοιχείων για την ιδιαίτερη αγορά του. Επειδή το αμερικάνικο αναλογικό κυψελοειδές σύστημα είναι τυποποιημένο με *AMPS*, οποιοδήποτε κυψελοειδές τηλέφωνο είναι σε θέση σε οποιοδήποτε μέρος της χώρας.

Οι *AMPS* είναι κυψελοειδείς τυποποιημένες χρήσεις αναλογικού *FM* και full-duplex ραδιοκαναλιών. Η πολλαπλή τεχνική πρόσβασης τμήματος συχνότητας (*FDMA*) επιτρέπει στους πολλαπλούς χρήστες να μοιραστούν την ίδια περιοχή φάσματος. Αυτά τα πρότυπα υποστηρίζουν τη σαφή επικοινωνία και τα ανέξοδα κινητά τηλέφωνα, αλλά οι μεταδόσεις είναι εύκολο να παρεμποδιστούν σε έναν

τυποποιημένο ραδιοδέκτη και επομένως είναι ευαίσθητες να κρυφακούσουν. Από τα τέλη του 1996, 88 τοις εκατό των κυψελοειδών τηλεφώνων στις Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποίησαν τα πρότυπα *AMPS* (τα ψηφιακά κυψελοειδή πρότυπα μόνο πρόσφατα έχουν διατεθεί). Έξω από τις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά έχει επεκταθεί μια ευρεία ποικιλία των ασυμβίβαστων αναλογικών κυψελοειδών συστημάτων. Η ευρωπαϊκή κυψελοειδής υπηρεσία, που προηγήθηκε χρονικώς του συστήματος *AMPS*, χρησιμοποίησε τη σκανδιναβική κινητή τηλεφωνική (*NMT*) τυποποιημένη αρχή το 1982. Άλλα ευρωπαϊκά έθνη και η Ιαπωνία ανέπτυξαν επίσης τα αναλογικά πρότυπα.

Δεύτερης γενιάς συστήματα

Επικεντρωμένες στην ανάπτυξη της καταναλωτικής ζήτησης για τις ασύρματες υπηρεσίες, οι οργανώσεις προτύπων στη Βόρεια Αμερική, την Ευρώπη, και την Ιαπωνία έχουν διευκρινίσει τις νέες τεχνολογίες που θα ικανοποιήσουν τις καταναλωτικές προσδοκίες και θα κάνουν την αποδοτική χρήση των διατιθέμενων ζωνών φάσματος. Με τη χρήση αυτών των δεύτερης γενεάς συστημάτων προώθησε την επεξεργασία ψηφιακού σήματος, τη συμπίεση, την κωδικοποίηση, και τις τεχνικές δίκτυο-ελέγχου για να συντηρηθεί το ραδιοεύρος ζώνης, να αποτρέψει να κρυφακούσει και την αναρμόδια χρήση των δικτύων, και υποστηρίζει επίσης τις πρόσθετες υπηρεσίες (π.χ. φωνητικό ταχυδρομείο, τριπλή κλήση, και ανάκτηση μετάδοσης κειμένων).

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι δεύτερης γενεάς τεχνολογίες έχουν επεκταθεί στις αρχικές 800- κυψελοειδείς ζώνες *MHz* και στις προσωπικές ζώνες επικοινωνιών περίπου 1900 *MHz* που διατίθενται από τη FCC μεταξύ 1995 και 1997. Στην Ευρώπη και μεγαλύτερα άλλα μέρη του κόσμου, οι δεύτερης γενεάς τεχνολογίες επεκτείνονται στις κυψελοειδείς ζώνες 900-*MHz* και στις προσωπικές ζώνες επικοινωνιών 1800-*MHz*. Η Ιαπωνία

ενεργοποιεί τα ψηφιακά κυψελοειδή συστήματα στις διάφορες ζώνες μεταξύ 800 *MHz* και 1500 *MHz* καθώς επίσης και μια προσωπική ζώνη επικοινωνιών κοντά στο 1900 *MHz*.

Οι πιο διαδεδομένες δεύτερης γενεάς τεχνικές περιλαμβάνουν τρία πρότυπα υψηλής-διάταξης: Τα ευρωπαϊκά πρότυπα, το GSM και δύο βορειοαμερικανικά πρότυπα, μια

πολλαπλή τεχνική πρόσβασης χρονικού τμήματος (*TDMA*), μια πολλαπλή τεχνική πρόσβασης τμήματος κώδικα (*CDMA*). Τα πρότυπα GSM, που έχουν υιοθετηθεί σε περισσότερες από 100 χώρες, διευκρινίζουν ένα πλήρες σύστημα επικοινωνιών εκτενών ζωνών. Τα άλλα δύο πρότυπα διευκρινίζουν μόνο τις επικοινωνίες μεταξύ των κινητών τηλεφώνων και των σταθμών βάσεων. Χωριστά πρότυπα, κυβερνούν τις επικοινωνίες μεταξύ των κινητών κέντρων μετατροπής και άλλα στοιχεία υποδομής στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Μεταξύ των προτύπων χαμηλής-διάταξης, το προσωπικό σύστημα *handyphone* (*PHS*) παρέχει τις υπηρεσίες κινητών τηλεφώνων σε αρκετά εκατομμύρια ιαπωνικούς συνδρομητές. Δύο άλλα πρότυπα, οι ψηφιακές ευρωπαϊκές με ασύρματα τηλέφωνα τηλεπικοινωνίες (*DECT*) και η με ασύρματα τηλέφωνα τηλεφωνική δεύτερη γενεά (*CT2*), αποτελούν τη βάση διάφορων ασύρματων προϊόντων επιχειρησιακών τηλεφώνων (δηλ., ανταλλαγή ιδιωτικών κλάδων, ή *PBX*). Ένα τέταρτο σύστημα χαμηλής-διάταξης είναι το προσωπικό σύστημα επικοινωνιών πρόσβασης (*PACS*). Αν και το *PACS* έχει προσελκύσει το ιδιαίτερο ενδιαφέρον βιομηχανίας, δεν έχει επεκταθεί ευρέως μέχρι σήμερα.

Εκτός από τις εξουσιοδοτημένες 1900-MHz προσωπικές ζώνες επικοινωνιών, η FCC έχει διαθέσει τη ζώνη των 1910-1930 MHz για τα χωρίς άδεια συστήματα χαμηλής-διάταξης. Τα εμπορικά προϊόντα βασισμένα στις *DECT*, *PHS*, και μια τροποποιημένη έκδοση *PACS* είναι υπό εξέταση για την επέκταση στη ζώνη των 1910-1930 MHz.

Κάθε ένα από τα δεύτερης γενεάς συστήματα έχει τα ευδιάκριτα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και τους περιορισμούς, αλλά κανένα δεν σχεδιάστηκε συγκεκριμένα με τα προβλήματα των μεγάλων, σύνθετων οργανώσεων όπως οι στρατιωτικοί στο μυαλό. Εντούτοις, είναι δυνατό να συνδυαστούν οι ανόμοιες προσεγγίσεις σε ένα προσαρμοσμένο δίκτυο που χτίζεται για να ικανοποιήσει τις μοναδικές ανάγκες μεταδόσεων φωνής και στοιχείων μιας οργάνωσης με την εθνική προσιτότητα.

Η εμπορική επιτυχία των δεύτερης γενεάς ασύρματων τηλεφωνικών συστημάτων έχει υποκινήσει το διαδεδομένο ενδιαφέρον για την ενίσχυση των ικανοτήτων τους να ικανοποιήσουν τις δημόσιες προσδοκίες για τις προηγμένες υπηρεσίες πληροφοριών. Παραδείγματος χάριν, οι νέες τεχνικές ομιλίας-κωδικοποίησης που προσφέρουν τη βελτιωμένη ποιότητα φωνής έχουν εισαχθεί και στα τρία συστήματα υψηλής-διάταξης. Οι προσπάθειες είναι επίσης εν εξελίξει για να καταστήσουν αυτά τα συστήματα ελκυστικότερα για τις υπηρεσίες στοιχείων. Συνεπώς, τα πρότυπα για τη μετάδοση fax-σημάτων έχουν καθιερωθεί, και τα πρότυπα για τη *circuit-switched*

μετάδοση στοιχείων στα ποσοστά μέχρι 64 *kilobits* ανά δευτερόλεπτο (*kbps*) είναι υπό ανάπτυξη για το GSM και *CDMA*. Επιπλέον, η τεχνολογία για την *packet-switched* μετάδοση στοιχείων, κατάλληλη για την ασύρματη πρόσβαση διαδικτύου, αναπτύσσεται για όλα τα δεύτερης γενεάς συστήματα. Η βάση τεχνολογίας θα συνεχίσει να αυξάνεται καθώς οργανώσεις R&D σχεδιάζουν παγκόσμιες καινοτομίες για μια τρίτη γενεά των ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών.

Τρίτης γενιάς συστήματα

Η αρχική έννοια για τα ασύρματα συστήματα τρίτης-γενεάς προέκυψε από μια διεθνή πρωτοβουλία ένωσης τηλεπικοινωνιών (ITU) γνωστή ως μελλοντικό δημόσιο σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών εδάφους (*FPLMTS*). Κατά τη διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας η ITU προώθησε την έννοια ενός ασύρματου συστήματος που θα κάλυπτε τις τεχνικές ικανότητες ένα βήμα επάνω από εκείνους των δεύτερης γενεάς κυψελοειδών συστημάτων. Το τρέχον όνομα για το σύστημα τρίτης-γενεάς είναι *International Mobile Telecommunications-2000* (*IMT 2000*). Ο αριθμός αναφέρεται σε μια πρόωρη προβλεπόμενη ημερομηνία για την εφαρμογή της νέας τεχνολογίας και επίσης των ζωνών συχνότητας (περίπου 2000 *MHz*) στις οποίες θα επεκτεινόταν.

Όπως προβλέπεται στο *IMT 2000* πρόγραμμα, το ασύρματο σύστημα τρίτης-γενεάς θα είχε μία παγκόσμια κοινή διεπαφή και δίκτυο. Θα υποστήριζε τα υψηλότερα ποσοστά στοιχείων από τα δεύτερης γενεάς συστήματα παρόλο που είναι λιγότερο ακριβά. Θα προωθούσε επίσης άλλες πτυχές των ασύρματων επικοινωνιών με τη μείωση του μεγέθους εξοπλισμού, την επέκταση της ζωής μπαταριών, και τη βελτίωση της ευκολίας της λειτουργίας. Επιπλέον, το σύστημα θα υποστήριζε τις υπηρεσίες που απαιτούνται να αναπτυχθεί καθώς επίσης και τα αναπτυγμένα έθνη.

Από το 1990 οι *IMT 2000* συστάσεις έχουν εγκριθεί έτσι ώστε να επιμεληθεί σχετικά με τους αρχικούς στόχους, να καθιερώσει τις αρχές ασφάλειας, να προδιαγράψει μια δικτυακή αρχιτεκτονική, να παρουσιάσει ένα σχέδιο για τα αναπτυσσόμενα έθνη, να καθιερώσει τις απαιτήσεις ραδιοεπαφών, και να διευκρινίσει ένα πλαίσιο για ένα δορυφορικό συστατικό. Η ITU προσδοκούσε έναν διεθνή ανταγωνισμό που οδήγησε σε μια ραδιοδιεπαφή που μπόρεσε να αναπτυχθεί και να επεκταθεί μέχρι το έτος 2000. Οι ανταγωνιστικές ραδιοεπαφές παρείχαν τα ελάχιστα ποσοστά στοιχείων 384 *kbps* και ένα εσωτερικό ποσοστό 2 *Mbps*. Εκτός

από την παροχή ενός forum για τη συζήτηση των προτάσεων προτύπων, η ITU δεν έχει υιοθετήσει σαφή σχέδια για το πώς να προχωρήσει πέρα από το σημείο της αναθεώρησης των προτάσεων.

Η παγκόσμια ραδιοδιάσκεψη του 1995 έθεσε κατά μέρος το φάσμα για τα έθνη που εξετάζουν την επέκταση IMT 2000. Οι ζώνες είναι 1920-1980 MHz, 2110-2170 MHz για τις επίγειες επικοινωνίες, 1980-2010 MHz και 2170-2200 MHz για τους δορυφόρους. Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν διαθέσει ήδη τις ζώνες φάσματος στις προσωπικές επικοινωνίες που περιλαμβάνουν μέρος της χαμηλότερης IMT 2000 ζώνης, που καθιστά το απίθανο ότι οι αμερικανικοί φορείς παροχής υπηρεσιών θα μπορούσαν να επεκτείνουν κάπως το IMT 2000. Αρχικά, η προσοχή στην εργασία ITU περιορίστηκε και στην Ευρώπη και στις Ηνωμένες Πολιτείες, όπου η αύξηση των δεύτερης γενεάς ψηφιακών κυψελοειδών και προσωπικών αγορών επικοινωνιών είναι ισχυρή. Ήταν η Ιαπωνία, ουσιαστικά το μόνο μεταξύ όλων των εθνών, που επέμεινε ότι το πρόγραμμα ITU προχωρά όσο το δυνατόν γρηγορότερα επειδή έτρεχε εκτός του φάσματος για τα κυψελοειδή και προσωπικά συστήματα επικοινωνιών τους. Οι Ιάπωνες ήταν σε θέση να κρατήσουν το IMT 2000 για το πρόγραμμα, με συνέπεια μια πρόσκληση ITU για τις προτάσεις ραδιοδιεπαφών, τώρα που οφείλονται στα μέσα του 1998. Υπέρ αυτής της προσπάθειας, η ιαπωνική ραδιοομάδα προτύπων αναπτύσσει ένα ή περισσότερα ιαπωνικά πρότυπα για τη χρήση στο ITU-2000 φάσμα. Πιθανώς το-τα πρότυπο-α θα υποβληθεί στην ITU για την πιθανή παγκόσμια χρήση.

Εν τω μεταξύ, η ευρωπαϊκή βιομηχανία τηλεπικοινωνιών θέσπισε πλαίσιο για την κινητή ασύρματη τεχνολογία τρίτης-γενεάς. Το καθολικό σύστημα κινητών τηλεφώνων (UMTS) προορίζεται να αναδιπλώσει την εμπορική επιτυχία που επιτυγχάνεται μια δεκαετία νωρίτερα με το GSM. Το πρόγραμμα UMTS απαιτήσε την καθιέρωση της βάσης τεχνολογίας μέχρι τον Δεκέμβριο του 1997, την ανάπτυξη ενός ελάχιστου συστήματος το 2002, και την επίτευξη ενός πλήρους συστήματος το 2005. Οι τεχνικοί στόχοι του UMTS πολύ μοιάζουν με πολλούς από τους IMT 2000 στόχους. Οι Ευρωπαίοι προγραμματίζουν να προτείνουν τις τεχνολογίες που υιοθετούνται για το UMTS ως υποψήφιοι για το IMT 2000.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, δράση σε αυτό το ζήτημα δεν πραγματοποιήθηκε έως τα μέσα του 1997, όταν τέσσερις αμερικανικοί κατασκευαστές CDMA κυψελοειδής υποδομής-Lycent Technologies, Motorola, Nortel, και QUALCOMM- ανάγγειλαν ένα πρόγραμμα τρίτης-γενεάς ευρείας ζώνης cdmaOne. Όπως πολλά υποψήφια

συστήματα υπό εξέταση στην Ευρώπη και την Ιαπωνία, το αμερικάνικο σύστημα χρησιμοποιεί ένα σήμα 5- *mHz CDMA*, αν και οι λειτουργούσες παράμετροι και τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού διαφέρουν από εκείνους των ξένων αντίστοιχων. Οι πρόσθετες αμερικάνικες προτάσεις για το IMT 2000 θα μπορούσαν να προκύψουν από άλλες κοινότητες επιχειρήσεων που υποστηρίζουν άλλα ψηφιακά πρότυπα ραδιοεπαφών.

Μεταξύ των σχετικών εξελίξεων, το ενδιαφέρον για "το *nomadicity*" αυξάνεται εντός της κοινότητας του Internet στις Ηνωμένες Πολιτείες. Όπως αρχικά συλλαμβάνεται, η εθνική υποδομή πληροφοριών (*NII*) έδωσε λίγη έμφαση στην ασύρματη παράδοση των πληροφοριών στους κινητούς χρήστες (πίνακας πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών, 1994). Αλλά με την αύξηση σε ζήτηση για τις υπηρεσίες Internet, που απεικονίζονται από τη μετάβαση στους ιδιωτικούς προμηθευτές, οι προμηθευτές επιδιώκουν στην τεχνολογία Internet δύναμης είτε άμεσα είτε ως τμήμα των ετερογενών δικτύων. Τα σχέδια γίνονται για να φιλοξενήσουν τους νομάδες (δηλ., κινητοί χρήστες) που επισύρουν την προσοχή σε ποικίλες επικοινωνίες, υπολογισμό, και συστήματα πληροφοριών ταυτόχρονα, μια έννοια που θα απαιτήσει την προσοχή από τις πολλαπλές βιομηχανίες στα ζητήματα όπως η ασφάλεια, η διαλειτουργικότητα, και ο συγχρονισμός ανάμεσα στα συστήματα.

Άλλες δραστηριότητες ITU εξετάζουν τις πτυχές δικτύων IMT 2000. Εδώ πάλι οι Ιάπωνες έχουν σημαντικές συνεισφορές ως προς την καθιέρωση ενός ενιαίου παγκόσμιου δικτύου για να υποστηρίξουν τα ασύρματα συστήματα. Μόνο στα μέσα του 1997 οι ΗΠΑ και οι ευρωπαϊκές αντιπροσωπείες αρχίζουν να έχουν τις σημαντικές συνεισφορές, ενδιαφερόμενες για τις τρέχουσες επενδύσεις τους στα κυψελοειδή και προσωπικά δίκτυα επικοινωνιών και τα πιθανά αποτελέσματα της καθιέρωσης ενός παγκόσμιου δικτύου που ήταν ασυμβίβαστο με τα συστήματά τους. Οι τελευταίες προτάσεις της Ευρώπης και των ΗΠΑ υπογραμμίζουν την ιδέα μιας οικογένειας δικτύων που υποστηρίζουν μια οικογένεια ραδιοεπαφών μέσω της χρήσης των κατάλληλων πυλών για να επιτύχουν παγκοσμίως τη περιπλάνηση και τη διαλειτουργικότητα.

Αν και είναι σαφές ότι πολλές νέες ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνιών προέκυψαν στο διάστημα 2002-2005, αυτό δεν είναι σαφές όταν και πως θα εμπορευματοποιηθούν. Η γερή εξέλιξη των δεύτερης γενιάς συστημάτων περιόρισε τα εμπορικά κίνητρα και εισήγαγε μια νέα γενιά συστημάτων. Είναι δυνατό ότι οι πρόοδοι στα δεύτερης γενεάς συστήματα ικανοποιούν τη μελλοντική απαίτηση για

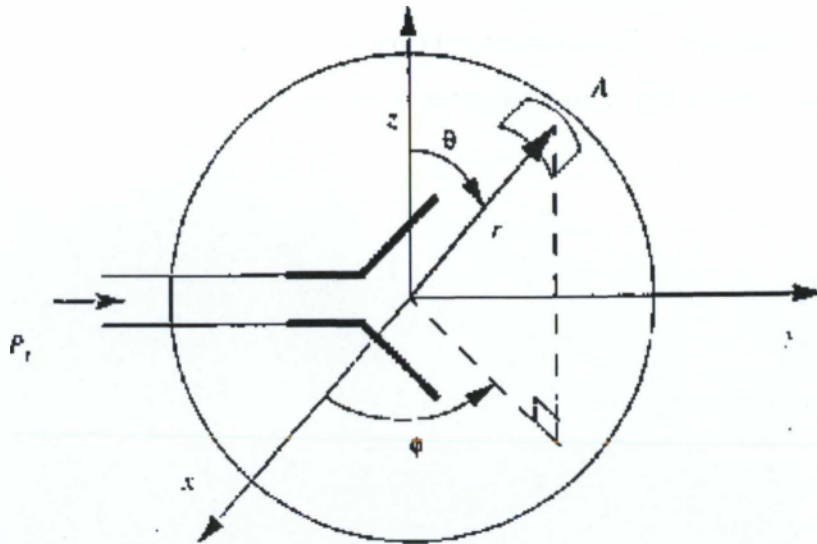
τις υπηρεσίες κινητών τηλεφώνων και ότι μια καταδεδειγμένη απαίτηση για τις υπηρεσίες στοιχείων high-bit-rate θα είναι απαραίτητη για να υποκινήσει την εμπορική επέκταση της τεχνολογίας τρίτης γενιάς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΕΡΑΙΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε κάθε ασύρματο σύστημα, οι κεραιές χρησιμοποιούνται σε κάθε άκρο της σύνδεσης. Η κεραιά είναι ένα μέσο για να μεταφέρουμε την ισχύ ραδιοσυχνότητας από την γραμμή εκπομπής στον ελεύθερο χώρο, επιτρέποντας έναν πομπό να ακτινοβολεί, και έναν δέκτη να λαμβάνει επικείμενη ηλεκτρομαγνητική ισχύ. Οι κεραιές μπορούν να είναι τόσο απλές όσο ένα κομμάτι καλωδίου, ή μπορούν να είναι σύνθετα συστήματα με ενεργά ηλεκτρόδια. Παρά το εύρος των τεχνολογιών που αφορούν στα κεραιοσυστήματα, υπάρχει ένας αριθμός αντιλήψεων που είναι κοινές σε όλα τα κεραιοσυστήματα.



Εικόνα 2-1

Μία κεραία φαίνεται στην εικόνα 2-1. Εδώ, ένα σήμα με μέση στιγμιαία ισχύ P_t είναι στην κεραία. Η κεραία ακτινοβολεί ισχύ προς όλες τις κατευθύνσεις. Ορίζουμε μία κατεύθυνση χρησιμοποιώντας πολικές συντεταγμένες, θ και φ . Εάν το διάνυσμα r δείχνει σε συγκεκριμένη κατεύθυνση, τότε το φ είναι η γωνία μεταξύ του x -άξονα και της προβολής του r στο επίπεδο x - y και θ είναι η γωνία μεταξύ του x -άξονα και του r . Η πυκνότητα ισχύος, έχοντας μονάδες μέτρησης τα $W/(rad)^2$, δίνεται από την $U(\theta, \varphi)$ για συγκεκριμένη κατεύθυνση (θ, φ) . Εάν η κεραία είναι lossless, και τέλεια ταιριαστή, τότε όλη η ισχύς P_t της κεραίας θα ακτινοβοληθεί. Σε αυτή τη περίπτωση, η συνολική ισχύς που μεταδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις είναι

$$P_t = \int_{\varphi=0}^{\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} U(\theta, \varphi) \sin\theta d\theta d\varphi \quad (2.1)$$

Η μέση πυκνότητα ισχύος, U_{ave} είναι

$$U_{ave} = P_t / 4\pi = 1/4\pi \int_{\varphi=0}^{\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} U(\theta, \varphi) \sin\theta d\theta d\varphi \quad (2.2)$$

Εάν μια κεραία μεταδίδει ισχύ ισότιμα προς όλες τις κατευθύνσεις , τότε η $U(\theta,\varphi)$ θα είναι ίση με την U_{ave} και η κεραία θα λέγεται ιστροπική. Οι ιστροπικές κεραίες είναι χρήσιμες για αναλυτικούς σκοπούς. Εντούτοις, οι περισσότερες αληθινές κεραίες προβάλλουν κατευθυντικότητα , δηλαδή μεταδίδουν περισσότερη ισχύ σε μια από ότι σε άλλες κατευθύνσεις. Η μέγιστη πυκνότητα ισχύος για μια κεραία είναι

$$U_m = \max_{\theta,\varphi} U_i(\theta,\varphi) \quad (2.3)$$

Ορίζουμε κέρδος κεραίας, με αναφορά στην ιστροπική, ως

$$G(\theta,\varphi) = \eta U(\theta,\varphi) / U_{ave} \quad (2.4)$$

όπου η είναι η αποτελεσματικότητα της κεραίας που μετριέται για απώλειες. Το κέρδος κορυφής μιας κεραίας δίνεται από

$$G = \eta U_m / U_{ave} \quad (2.5)$$

Όταν μια μοναδική τιμή δίνεται για το κέρδος μιας κεραίας τότε έχουμε το κέρδος κορυφής. Η *Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)* ορίζεται ως

$$P_{EIRP} = P_t G = 4\pi \eta U_m \quad (2.6)$$

Η EIRP είναι το ποσό της ισχύος που θα απαιτούταν, χρησιμοποιώντας ιστροπική κεραία, για να παράγει την ίδια πυκνότητα ισχύος που επιτυγχάνεται κατά την έμπροσθεν κατεύθυνση της κατευθυντικής κεραίας. Σε μια απόσταση r από τη κεραία, στην κατεύθυνση (θ,φ) , η συνολική διαθέσιμη ισχύς σε μια περιοχή A είναι

$$P_r(\theta, \varphi) = (G(\theta, \varphi)P_t A) / (4\pi r^2) \quad (2.7)$$

Στην κατεύθυνση του κατευθυντικού κέρδους, σε μια περιοχή A σε μια απόσταση r από την κεραία, η συνολική διαθέσιμη ισχύς είναι

$$P_r = G(\theta, \varphi)P_t A / 4\pi r^2 \quad (2.8)$$

Άλλο ένα σημαντικό αποτέλεσμα είναι ότι το μέγιστο κέρδος μιας κεραίας μπορεί να εκφραστεί με τη βοήθεια των όρων του μεγέθους του και του μέγιστου ανοίγματος του, A_m .

$$G = \eta 4\pi A_m / \lambda^2 \quad (2.9)$$

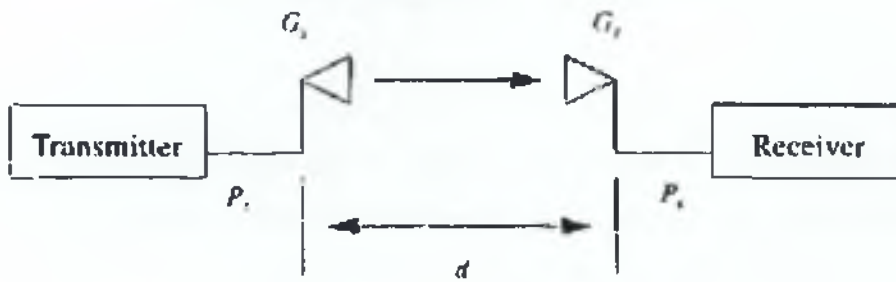
όπου $\lambda = c/f$ είναι το μήκος κύματος, με c τη ταχύτητα του φωτός, ίση με $3 \cdot 10^8$ m/s, και f την συχνότητα του φέροντος σε Hz. Αυτή η έκφραση δηλώνει ότι για μια κεραία μεγέθους, μέγιστου ανοίγματος, A_m , θα αυξηθεί το κέρδος της από το τετράγωνο της συχνότητας. Ισότιμα, χρησιμοποιείται συχνά το αποτελεσματικό άνοιγμα A_e (effective aperture), $A_e = \eta A_m$ όπου

$$A_e = \lambda^2 G / 4\pi \quad (2.10)$$

Βασικές Θεωρίες στην radiowave propagation

Ας θεωρήσουμε την ασύρματη ζεύξη που φαίνεται στην εικόνα 2-2. Εδώ, ο πομπός παράγει ένα σήμα RF με μέση στιγμιαία ισχύ P_t , χρησιμοποιώντας μια κεραία με

κέρδος G_t . Στον δέκτη που βρίσκεται σε μια απόσταση d από τον πομπό, χρησιμοποιείται μια κεραία με κέρδος G_r .



Εικόνα 2-2

Ας υποθέσουμε ότι οι κεραίες δέκτη και πομπού δείχνουν η μια την άλλη έτσι ώστε να ευθυγραμμίζονται. Έπειτα χρησιμοποιώντας την σχέση (2.8) η διαθέσιμη ισχύς στη κεραία του δέκτη είναι

$$P_r = G_t P_t A_e / 4\pi d^2 \quad (2.11)$$

,όπου A_e είναι το αποτελεσματικό άνοιγμα της κεραίας του δέκτη. Χρησιμοποιώντας την σχέση (2.10) η λαμβανόμενη ισχύς μπορεί να εκφραστεί ως εξής

$$P_r = \lambda^2 G_t G_r P_t / (4\pi d)^2 \quad (2.12)$$

Αυτή η έκφραση είναι γνωστή ως εξίσωση ζεύξης ελευθέρου χώρου

Friis. Η ισχύς του πομπού μετριέται σε Watts, τα μήκη κύματος και απόσταση σε μέτρα, και η λαμβανόμενη ισχύς επίσης σε watts. Είναι συνήθως πιο βολικό να δουλεύουμε με μονάδες decibel όπου

$$P_{r,dBm} = P_{t,dBm} + G_{t,dBi} + G_{r,dBi} - 20\log(4\pi f/c) - 20\log(d) \quad (2.13)$$

,όπου $\log(x)$ είναι ο λογάριθμος με βάση 10 του x .

Εδώ, τα P_t και P_r μετριούνται σε dBm, τα G_t και G_r σε dBi, το d σε μέτρα, το f σε Hz, και το $c=3*10^8$ m/sec. Η λαμβανόμενη ισχύς σε dBm σχετίζεται με τη λαμβανόμενη ισχύ σε watts, P_w , με τη σχέση

$$P_{dBm} = 10\log(P_W/1mW) = 10\log(P_W) + 30 \quad (2.14)$$

Ο όρος dBi αναφέρεται στο κέρδος της κεραίας, σε dB, σχετικό με μια ιστροπική κεραία. Από τη σχέση (2.5), αφού $U_m = U_{ave}$ για μια ιστροπική κεραία, $G_{isp} = 1$. Έτσι, το κέρδος της κεραίας σχετική με μια ιστροπική κεραία είναι

$$G_{dBi} = 10\log(G/G_{iso}) = 10\log(G) \quad (2.15)$$

Σε όλο το κείμενο θα αναφερόμαστε στους όρους P_r , P_t , G_r και G_t είτε σε επίπεδα ισχύος σε dBm και κέρδους σε dBi ή, εναλλακτικά, επίπεδα ισχύος σε watts και κέρδους σαν χωρίς μονάδες οντότητα. Η σχέση (2.13) έχει αρκετούς σημαντικούς υπαινιγμούς για τα συστήματα ασύρματων επικοινωνιών. Για μια επαρκής απόδοση μιας ραδιοζεύξης, υπάρχει ένα ελάχιστο λαμβανόμενο επίπεδο ισχύος, P_r που πρέπει να είναι διαθέσιμο στον δέκτη. Δεδομένου ενός ιδιαίτερου διαχωρισμού T-R, d , και μιας συχνότητας λειτουργίας, f , υπάρχουν 3 τρόποι για να μπορέσει να αυξηθεί το P_r . Ένας τρόπος είναι να αυξηθεί η ισχύς του πομπού P_t . Εάν ο πομπός είναι μία φορητή μονάδα, εντούτοις, αυξάνοντας την ισχύ του πομπού μπορεί να μειώσει τη ζωή μιας μπαταρίας, και οι υψηλής ισχύος πομποί μπορούν να είναι ακριβοί. Εναλλακτικά, μπορεί να αυξηθεί το κέρδος των πομπών ή των δεκτών. Στο άκρο εγγραφής μιας κινητής ζεύξης, το κέρδος της κεραίας περιορίζεται από αρκετούς παράγοντες. Συνήθως, μικροσκοπικές φορητές κεραίες εγγραφής πρέπει να μπορούν να παρέχουν ενοποιημένη απόδοση άσχετα με την κατεύθυνση της κεραίας ή του subscriber. Έτσι, χρησιμοποιούνται συχνά σχετικά μη-κατευθυντικές κεραίες με χαμηλό κέρδος. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας δίνεται από τη σχέση (2.10). Εδώ βλέπουμε ότι το κέρδος μιας κεραίας περιορίζεται από το μέγεθος της. Για να επιτύχουμε ουσιαστικό κέρδος σε μια φορητή μονάδα σε συχνότητες που χρησιμοποιούνται για κυβελωτά και PCS συστήματα, το μικρό μέγεθος φορητών πομπών περιορίζει αυστηρά το μέγιστο αποκτήσιμο κέρδος.

Σαν ένα παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι το κέρδος των 6 dBi απαιτείται για μια κεραία που λειτουργεί στα 1900 MHz. Χρησιμοποιώντας τη σχέση (2.10), βλέπουμε ότι απαιτείται ένα άνοιγμα τουλάχιστον 80 cm^2 . Αυτό είναι πολύ περισσότερο από ένα εμβαδόν ενός τυπικού μοντέρνου συνδρομητή πομποδέκτη.

Για σταθμούς βάσης, που χρησιμοποιούν συμβατικές κεραίες με συγκεκριμένα σχέδια κεραιών, το κέρδος περιορίζεται συνήθως στα 16-20 dBi. Αυτό συμβαίνει επειδή οι συγκεκριμένοι σταθμοί βάσης πρέπει να μπορούν να παρέχουν αρκετή ισχύ σε μια περιοχή κάλυψης. Τα ευφυή κεραιοσυστήματα μπορούν να προσφέρουν βελτιώσεις προσφέροντας δυναμικά σχέδια κεραιών.

Πρέπει να σημειώσουμε κάποιους περιορισμούς και υποθέσεις κλειδιά της εξίσωσης Friis Free Space Link. Αρχικά, όπως υπονοεί το όνομα, η έκφραση εφαρμόζεται μόνο σε ελεύθερο χώρο. Η εξίσωση (2.13) δεν υπολογίζει πολυπλεξία, ή αντιθέσεις μεταξύ πομπού και δέκτη. Μπορούμε να γενικοποιήσουμε την σχέση Friis γράφοντας την

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_p \quad (2.16)$$

,όπου το L_p αντιπροσωπεύει την απώλεια μεταξύ πομπού και δέκτη.

Απώλειες σε Real World Channels

Οι μηχανισμοί πίσω από την ηλεκτρομαγνητική διάδοση κύματος είναι διάφοροι, αλλά μπορούν γενικά να αποδοθούν στη διάθλαση, στην ανάκλαση και στη διασκόρπιση. Τα περισσότερα κυψελωτά ραδιοσυστήματα λειτουργούν σε αστικές περιοχές όπου συχνά υπάρχει μη απευθείας ορατή γραμμή μονοπατιού μεταξύ πομπού και δέκτη, και όπου η παρουσία υψηλών κτιρίων προκαλεί σοβαρή απώλεια διάθλασης. Λόγω πολλαπλών ανακλάσεων από διάφορα αντικείμενα, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ταξιδεύουν σε διαφορετικά μονοπάτια σε διάφορα μήκη. Η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των κυμάτων προκαλεί πολλαπλή φθορά, και οι εντάσεις των κυμάτων μειώνονται όπως αυξάνεται η απόσταση πομπού και δέκτη.

Μοντέλα διάδοσης έχουν παραδοσιακά συγκεντρωθεί στο να προβλέπουν τη μέση λαμβανόμενη ένταση σήματος σε μια δοσμένη απόσταση από τον δέκτη, όπως επίσης

την ποικιλία της έντασης του σήματος σε στενή χωρική εγγύτητα σε συγκεκριμένη τοποθεσία. Τα μοντέλα διάδοσης που προβλέπουν τη μέση ένταση σήματος για μια αυθαίρετη απόσταση πομπού-δέκτη είναι χρήσιμα για να εκτιμηθεί η ραδιοκάλυψη της περιοχής του δέκτη και καλούνται *large-scale* μοντέλα διάδοσης, αφού χαρακτηρίζουν χαρακτηριστικά μεγάλων απωλειών που εφαρμόζονται σε κλίμακες που συγκρίνονται σοβαρά με το μήκος κύματος. Από την άλλη, μοντέλα διάδοσης που χαρακτηρίζουν τις γρήγορες διακυμάνσεις της έντασης του σήματος του δέκτη σε πολύ μικρές αποστάσεις (μερικά μήκη κύματος) ή μικρές διαρκείς χρονικές (της τάξης του δευτερολέπτου) ονομάζονται *small-scale* ή *fading* μοντέλα διάδοσης.

Small Scale Fading

Όταν ένα κινητό κινείται σε μικρές αποστάσεις, η στιγμιαία ένταση σήματος του δέκτη μπορεί να διακυμανθεί γρήγορα, δίνοντας θέση στο *small-scale fading*. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι το λαμβανόμενο σήμα είναι ένα σύνολο πολλών συνεισφορών που έρχονται από διαφορετικές κατευθύνσεις. Αφού οι φάσεις είναι τυχαίες, το σύνολο των συνεισφορών ποικίλει ευρέως. Για παράδειγμα, ένα CW ή ένα στενής ζώνης σήμα υπακούει σε μια Rayleigh κατανομή. Σε *small-scale fading*, η λαμβανόμενη ισχύς ενός στενής ζώνης σήματος μπορεί να ποικίλει τόσο όσο 3 ή 4 τάξεις μαγνήτισης (30 ή 40 dB) όπου ο δέκτης κινείται μόνο ένα κλάσμα του μήκους κύματος. Εντούτοις, η τοπική μέση ισχύς θα είναι σταθερή για απόσταση μερικών μέτρων. Καθώς το κινητό απομακρύνεται από τον πομπό για μεγαλύτερες αποστάσεις, η τοπική μέση ισχύς του δέκτη σταδιακά θα μειωθεί. Είναι αυτό το τοπικό μέσο επίπεδο σήματος που προβλέπεται από τα μοντέλα διάδοσης *large-scale*. Τυπικά, η τοπική μέση λαμβανόμενη ισχύς υπολογίζεται βρίσκοντας το μέσο όρο των μετρήσεων το σήματος για μετρήσεις με βήμα 5λ έως 40λ σε τοπική περιοχή. Για κυψελωτές και PCS συχνότητες στη ζώνη 1GHz έως 2GHz, αυτό αναλογεί στο να μετρηθεί ο τοπικός μέσος όρος της λαμβανόμενης ισχύος για βήματα από 1 m έως 10 m.

Σε ευρείας ζώνης συστήματα CDMA όπου το RF εύρος ζώνης υπερέρχει της συνάφειας εύρους ζώνης, το λαμβανόμενο σήμα φθίνει πολύ λιγότερο από ένα σήμα στενής ζώνης.

Large Scale Path Loss

Τα περισσότερα large-scale μοντέλα διάδοσης απορρέουν σαν έναν συνδυασμό αναλυτικών συνισταμένων και σχέσεων που οδηγούν στο να επαναδημιουργήσουν ένα σύνολο καταμετρημένων δεδομένων στο πεδίο ενδιαφέροντος. Αυτή η προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα ότι υπαινιγνικά λαμβάνει υπόψη όλους τους παράγοντες διάδοσης, τους γνωστούς και άγνωστους, μέσα από πραγματικές μετρήσεις στο χώρο. Εντούτοις, η αξιοπιστία ενός εμπειρικού μοντέλου σε συχνότητες μετάδοσης ή σε περιβάλλοντα διαφορετικά από αυτά που συνήθιζαν να απορρέουν το μοντέλο, μπορεί να εγκατασταθεί μόνο με επιπρόσθετες μετρήσεις δεδομένων στο νέο περιβάλλον στην απαιτούμενη συχνότητα εκπομπής. Με τον χρόνο, μερικά κλασσικά μοντέλα διάδοσης έχουν αναδειχθεί και μπορούν τώρα να προβλέψουν την large-scale κάλυψη για το σχεδιασμό ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών. Χρησιμοποιώντας μοντέλα απωλειών διαδρομής για να εκτιμήσουν το λαμβανόμενο επίπεδο δέκτη σαν μια λειτουργία απόστασης, γίνεται δυνατό να προβλεφθεί ο λόγος φέροντος προς θόρυβο για ένα κινητό επικοινωνιακό σύστημα. Για το μοντέλο *Log-distance Path Loss* για μια αυθαίρετη T-R διαχώριση εκφράζεται η μέση large-scale απώλεια διαδρομής χρησιμοποιώντας έναν παράγοντα απωλειών διαδρομής, n ως

$$PL(d) \propto (d/d_0)^n \quad (2.17) \text{ ή}$$

$$PL_{db}(d) = PL_{db}(d_0) + 10n \log(d/d_0) \quad (2.18)$$

όπου n είναι ο συντελεστής απωλειών διαδρομής που δείχνει το ρυθμό στον οποίο η απώλεια διαδρομής αυξάνεται με την απόσταση. d_0 είναι η στενή σε έννοια απόσταση που καθορίζεται από μετρήσεις κοντινές στο πομπό, και d είναι η T-R απόσταση διαχωρισμού.

Για το μοντέλο *Log-normal Shadowing* η απώλεια διαδρομής εκφράζεται ως

$$PL(d) = PL(d) + X_\alpha = PL(d_0) + 10n \log(d/d_0) + X_\alpha \quad (2.19)$$

και

$$P_r(d) = P_t - PL(d) - X_\sigma + G_r + G_t \quad (2.20)$$

, όπου X_σ είναι η μηδενικού μέσου όρου Gaussian κατανεμημένη τυχαία μεταβλητή (σε dB) με στάνταρ απόκλιση σ (σε dB).

Εισαγωγή στις smart antennas

Όπως ο αριθμός κινητών συνδρομητών αυξάνεται γρήγορα, σε συνδυασμό με απαίτηση για περιπλοκότερες κινητές υπηρεσίες που απαιτούν τα υψηλότερα ποσοστά στοιχείων, οι χειριστές είναι αναγκασμένοι να ερευνήσουν διαφορετικές μεθόδους για να έχουν περισσότερη χωρητικότητα τα δίκτυα τους.

Στα ασύρματα συστήματα, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη διανομή των καναλιών επικοινωνίας μεταξύ των πολλαπλών χρηστών. Οι δημοφιλέστερες μέθοδοι είναι να χωριστούν οι χρήστες σε χρόνο - (TDMA), σε συχνότητα - (FDMA) και σε κώδικα - (CDMA).

Μια νέα μέθοδος είναι να χωριστούν οι χρήστες με βάση τη θέση τους, που εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι οι χρήστες κανονικά τοποθετούνται τυχαία σε μια κυψέλη. Μια smart κεραία είναι ένα σύστημα κεραιών που είναι σε θέση να κατευθύνουν την ακτίνα σε κάθε μεμονωμένο χρήστη, επιτρέποντας στους χρήστες να είναι χωρισμένοι στη χωρική περιοχή.

Ο αντίκτυπος της χρησιμοποίησης των έξυπνων κεραιών εξαρτάται και οι δύο από το επίπεδο νοημοσύνης του συστήματος κεραιών και τον τύπο κινητού συστήματος στο οποίο επεκτείνεται.

Επίπεδα νοημοσύνης

Οι τύποι των ευφυών κεραιών μπορούν να διαιρεθούν σε 3 επίπεδα "νοημοσύνης". Αυτά φαίνονται στην εικόνα 2-3 και είναι:

↓ Μεταστρεφόμενος λοβός (*SL*)

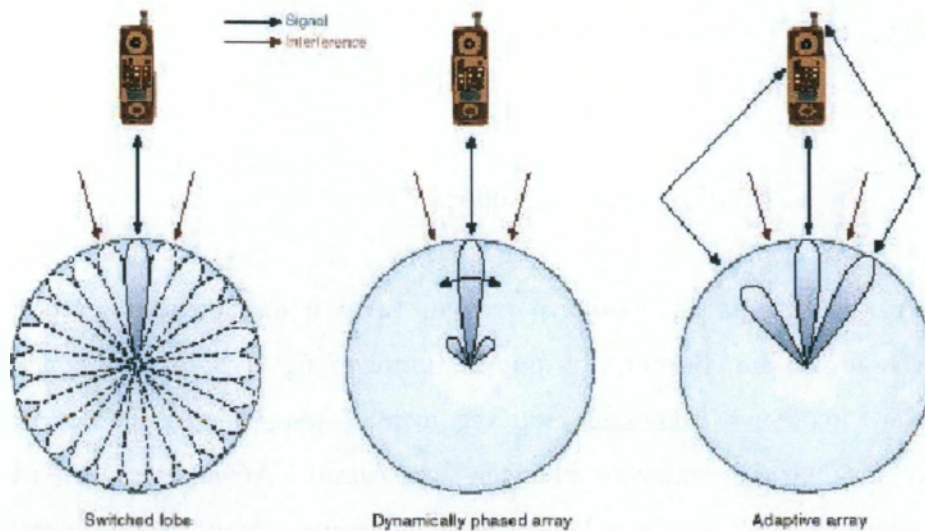
Αυτό καλείται επίσης μεταστρεφόμενη ακτίνα. Είναι η απλούστερη τεχνική, και περιλαμβάνει μόνο μια βασική λειτουργία μετατροπής μεταξύ των χωριστών κατευθυντικών κεραιών ή προκαθορισμένες ακτίνες μιας σειράς. Ο λοβός που παρέχει το πιο υψηλό επίπεδο σημάτων επιλέγεται. Λόγω της υψηλότερης κατευθυντικότητας έναντι μιας συμβατικής κεραιάς, μερικό κέρδος επιτυγχάνεται.

↓ Συγχρονισμένη διάταξη (*PA*)

Με την παραγωγή ακτίνας ψηφιακά, μια *continuously* κινητή ακτίνα είναι καθιερωμένη, η οποία κατευθύνεται προς το ισχυρότερο τμήμα σημάτων. Αυτό είναι η γενίκευση της μεταστρεφόμενης έννοιας λοβών και έχει έναν άπειρο αριθμό από πιθανές κατευθύνσεις ακτινών. Το βέλτιστο κριτήριο είναι να μεγιστοποιηθεί το επίπεδο σημάτων.

↓ Προσαρμοστική διάταξη (*AA*)

Παρόμοιο με τη συγχρονισμένη διάταξη, γίνεται ψηφιακά, και ένας κύριος λοβός είναι παραγόμενος στην κατεύθυνση του ισχυρότερου τμήματος σημάτων. Επιπλέον οι πλευρικοί λοβοί παράγονται στην κατεύθυνση των πολλαπλών πορειών και αχρηστεύουν την κατεύθυνση των *interferers*. Αυτή η τεχνική θα μεγιστοποιήσει το σήμα στην αναλογία θορύβου σήματος (*SINR*). Η κύρια διαφορά μεταξύ μιας συγχρονισμένης διάταξης με ψηφιακό τρόπο και με ένα σύστημα προσαρμοστικής διάταξης είναι η πολυπλοκότητα των αλγορίθμων στο δέκτη.



Εικόνα 2-3

Ο όρος smart antenna συχνά χρησιμοποιείται στις κινητές επικοινωνίες για να περιγράψει μια προσαρμοσμένη διαδικασία σχεδιασμένη για να βελτιώσει τη χωρητικότητα ενός σταθμού βάσης επικεντρώνοντας την εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ενέργεια στην μετάδοση βελτιώνοντας το κέρδος λήψης από ένα κινητό σύστημα. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται space division multiple access. Εδώ, τα σήματα που μεταδίδονται από ένα σταθμό βάσης είναι χωρικά κατευθυνόμενα σε έναν κινητό στόχο. Επιπροσθέτως, το κέρδος λήψης του σταθμού βάσης αυξάνεται επίσης σχηματίζοντας στο χώρο μία κυψέλη κατά την κατεύθυνση του κινητού που είναι σε μετάδοση. Κατά αυτόν τον τρόπο η χωρητικότητα ενός σταθμού βάσης μπορεί να αυξηθεί, αφού τώρα μπορεί να εξυπηρετεί πολλές κινητές μονάδες ταυτόχρονα κατευθύνοντας μια κυψέλη σε κάθε μία από τις άλλες. Εντούτοις, η υπόσχεση για αύξηση της χωρητικότητας μέσω της space division multiple access τεχνικής μπορεί να γίνει πιο συγκεκριμένη εάν κάποιος καταλάβει τη πραγματική φύση μίας κεραίας (η πηγή της εκπομπής και/ή ο φορέας της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας) που είναι το κεντρικό σημείο αυτής της μεθοδολογίας. Μία κεραία μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μία συσκευή που σχεδιάζει χωρικά-χρονικά σήματα στο πεδίο του χρόνου, κάνοντάς τα έτσι διαθέσιμα για περαιτέρω ανάλυση σ'έναν διαμορφωτή ψηφιακού σήματος. Σε αυτό το φιλοσοφικό σχέδιο εργασίας, μία ιδεατή κεραία είναι αυτή που μετατρέπει τα χωρικά-χρονικά σήματα που φθάνουν σε μία κεραία σε χρονικά σήματα χωρίς παρεμβολή. Παρολ'αυτά υπάρχει μία νοερή υπόθεση ότι

καμία πληροφορία δεν καταστρέφεται διαστρεβλώνεται από μία κεραία. Αυτό μπορεί να είναι αληθές όταν έχουμε να κάνουμε με σήματα στενής ζώνης, αλλά όταν λαμβάνουμε υπόψη την εκπομπή ευρυζωνικών σημάτων, ακόμα και ένας μικρός ακτινοβολητής, το δίπολο Hertz συμπεριφέρεται διαφορετικά στην εκπομπή απ'ότι στη λήψη. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι στον ηλεκτρομαγνητισμό δεν υπάρχει ιστροπικός ακτινοβολητής όπως τα δίπολο Hertz που έχει ένα σχέδιο κατεύθυνσης, Εντούτοις, το σχέδιο μπορεί να είναι ομοιοκατευθυντικό. Κατά την μετάδοση, το μακρινό πεδίο μιας κεραίας (ακόμα και του μικρού δίπολου Hertz στον ελεύθερο χώρο) είναι η χρονική παράγωγος της εισόδου του παροδικού κύματος στο τερματικό εισαγωγής του. Ενώ κατά τη λήψη, η ίδια κεραία δρα σαν ένας χωρικός ενσωματωτής των πεδίων που υπόκεινται σ'αυτή. Έτσι οι χρονικές και χωρικές ιδιότητες μιας κεραίας είναι στενά συνδεδεμένες και δεν είναι σάφρον να τις ξεχωρίζουμε εάν μια θέλει να πραγματοποιήσει όλο το δυναμικό ενός συστήματος κεραίας. Μια κεραία δεν αποτελεί μόνο ένα χωρικό δείγμα ηλεκτρικών πεδίων αλλά δρα ταυτόχρονα σαν χρονικά και χωρικά φίλτρα.

Τα ευφυή κεραιοσυστήματα προσφέρουν ένα πλήθος τρόπων για να βελτιωθεί η απόδοση ασύρματων συστημάτων. Γενικά, οι ευφυής κεραίες, έχουν ένα δυναμικό ώστε να παρέχουν ευρεία διακύμανση και μειωμένα έξοδα υποδομής σε πρώιμες αναπτύξεις, αυξημένη απόδοση ζεύξης όσο το σύστημα είναι σε δημιουργία, και αυξημένη μακροχρόνια χωρητικότητα συστήματος.

Λέξεις κλειδιά για την τεχνολογία των smart antennas

Οι smart antennas παρέχουν εμπλουτισμένη κάλυψη μέσα από την range extension, γέμισμα των κενών, και καλύτερη κατασκευαστική διεύθυνση. Από πριν είδαμε ότι η ισχύς της άνω ζεύξης από την κινητή μονάδα προς τον σταθμό βάσης δίνεται από τη σχέση

$$P_r = P_t + G_b + G_s - PL \quad (2.21)$$

όπου P_r είναι η ισχύς του δέκτη στον σταθμό βάσης, P_t είναι η εκπεμπόμενη ισχύς από τον συνδρομητή, G_s είναι το κέρδος της κεραίας της συνδρομητικής μονάδας και

G_b είναι το κέρδος της κεραίας του σταθμού βάσης. Κατά την άνω ζεύξη, εάν μια συγκεκριμένη λαμβανόμενη ισχύς, $P_{r,min}$, απαιτείται στο σταθμό βάσης, αυξάνοντας το κέρδος στο σταθμό βάσης, G_b , η ζεύξη μπορεί να αντέξει μεγαλύτερες απώλειες διαδρομής, PL. Χρησιμοποιώντας την σχέση (2.18), γράφουμε

$$PL(d) = PL(d_o) + 10n \log(d/d_o) + X_o \quad (2.22)$$

Κατά αυτόν τον τρόπο, αυξάνοντας την ανοχή για απώλειες διαδρομής, μπορούμε να αυξήσουμε την διακύμανση λήψης, του σταθμού βάσης. Αφού οι ευφυής κεραίες μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερο κέρδος εν σύγκριση με αυτό των συμβατικών κεραίων, οι ευφυής κεραίες μπορούν να παρέχουν *range extension*. Για να βελτιώσουμε την διακύμανση της κάτω ζεύξης, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ευφυής κεραίες στον συνδρομητικό δέκτη ή στον πομπό του σταθμού βάσης. Αφού τα ευφυή κεραιοσυστήματα δεν είναι συνήθως εφικτά σε κινητά και φορητά συνδρομητικά τερματικά, μπορούμε να θεωρήσουμε την διαμόρφωση δέσμης της κάτω ζεύξης για να αυξηθεί η διακύμανση σε εξισορροπημένα συστήματα. Τα ευφυή κεραιοσυστήματα μπορούν να παίξουν κάποιο ρόλο για τον συνδρομητικό εξοπλισμό σε σταθερές ασύρματες εφαρμογές.

Μέσω της *range extension*, το κόστος για πρωταρχική εγκατάσταση ενός ασύρματος συστήματος μπορεί να μειωθεί. Όταν αρχικά δημιουργούμε ασύρματα κυψελωτά δίκτυα, τα συστήματα συχνά σχεδιάζονται για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις κάλυψης. Ακόμα και με λίγους πελάτες σε ένα σύστημα, πρέπει να δημιουργηθεί ένας επαρκής αριθμός σταθμών βάσης για να παρέχουν κάλυψη σε κρίσιμες περιοχές. Καθώς περισσότεροι πελάτες προστίθενται στο κυψελωτό δίκτυο, η χωρητικότητα του συστήματος μπορεί να αυξηθεί μειώνοντας την διακύμανση κάλυψης των σταθμών βάσης και προσθέτοντας επιπρόσθετα κυψελωτά σημεία. Σ' αυτήν την μετέπειτα φάση, έσοδα από μια μεγάλη βάση συνδρομητών μπορούν να αντισταθμίσουν τα κόστη για να εγκαταστήσουν επιπρόσθετους σταθμούς βάσης. Εντούτοις, σε πρόιμη ανάπτυξη, για να ικανοποιηθούν οι αρχικές απαιτήσεις κάλυψης, ένας αριθμός σταθμών βάσης πρέπει να εγκατασταθεί χωρίς το έσοδο του πελάτη να υποστηρίζει αυτούς τους σταθμούς βάσης. Τα ευφυή κεραιοσυστήματα μπορούν να διευκολύνουν το πρόβλημα επιτρέποντας μεγαλύτερα μεγέθη κυψελών.

Παρόλ'αυτά, το επιπρόσθετο κόστος της χρησιμοποίησης των ευφών κεραιοσυστημάτων για συμβατικές τεχνολογίες πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν υπολογίζονται τα οικονομικά κέρδη των ευφών κεραιοσυστημάτων.

Οι ευφυής κεραιές παρέχουν ρωμαλεότητα στις αναταραχές του συστήματος και μειωμένη ευαισθησία σε μη-ιδανική συμπεριφορά. Τα CDMA συστήματα απαιτούν έλεγχο ισχύος για να διασφαλίσουν ότι όλα τα σήματα που καταφθάνουν στο σταθμό βάσης είναι προσεγγιστικά του ίδιου επιπέδου ισχύος. Οι ευφυής κεραιές βοηθούν στο να απομονώσουν τα σήματα της άνω ζώνης από διαφορετικούς χρήστες, μειώνοντας τις απαιτήσεις του ελέγχου ισχύος ή κατευνάζοντας την επίδραση από ατελή έλεγχο ισχύος. Τα CDMA ασύρματα συστήματα είναι επίσης ιδιαίτερα ευαίσθητα στη γεωγραφική διανομή των συνδρομητών. Οι ευφυής κεραιές αλλάζουν εστίες στα σχέδια κάλυψης για να αντιμετωπίσουν τα *hot spots*, τις περιοχές δηλαδή με υψηλή πυκνότητα συνδρομητών.

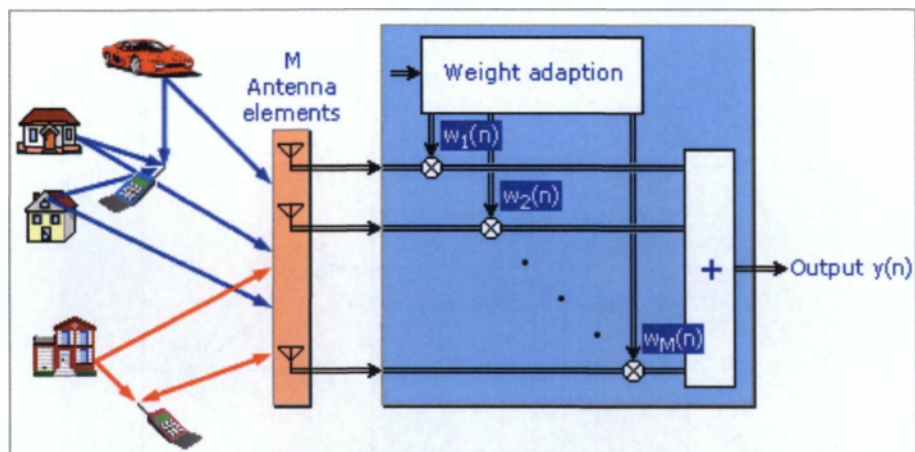
Το κέρδος μιας ζεύξης μπορεί να βελτιωθεί μέσω της διαχείρισης της πολλαπλής διαδρομής. Η πολλαπλή διαδρομή σε ραδιοκάναλια μπορεί να καταλήξει σε εξαφάνιση ή χρονική διασπορά. Τα ευφυή κεραιοσυστήματα βοηθούν στο να κατευνάσουν την επίδραση της πολλαπλής διαδρομής ή ακόμα και να εκμεταλλευτούν την έμφυτη ποικιλία στην πολλαπλή διαδρομή. Οι ευφυής κεραιές μπορούν να βελτιώσουν την χωρητικότητα του συστήματος. Οι ευφυής κεραιές μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να επιτρέψουν στον συνδρομητή και στον σταθμό βάσης να λειτουργούν στην ίδια διακύμανση σαν ένα συμβατικό σύστημα, αλλά σε χαμηλότερη ισχύ. Αυτό μπορεί να επιτρέψει τα FDMA και τα TDMA συστήματα να ξαναμπούν σε κανάλια για να επαναχρησιμοποιήσουν τα κανάλια συχνοτήτων πιο συχνά απ'ότι τα συστήματα που χρησιμοποιούν συμβατικές σταθερές κεραιές, αφού η αναλογία φέροντος προς παρεμβολή είναι πολύ μεγαλύτερη όταν χρησιμοποιούνται ευφυή κεραιοσυστήματα. Στα CDMA συστήματα, εάν οι ευφυής κεραιές συνηθίζουν να επιτρέπουν στους συνδρομητές να εκπέμπουν λιγότερη ισχύ για κάθε ζεύξη, τότε η Πολλαπλή Πρόσβαση Παρεμβολής μειώνεται, πράγμα το οποίο αυξάνει τον αριθμό των ταυτόχρονων συνδρομητών που μπορούν να υποστηριχθούν σε κάθε κυψέλη. Οι ευφυής κεραιές μπορούν ακόμα να χρησιμοποιηθούν για να ξεχωρίσουν χωρικά τα σήματα, επιτρέποντας σε διαφορετικούς συνδρομητές να μοιραστούν τις ίδιες φασματικές πηγές, με τη προϋπόθεση ότι είναι χωρικά-διαχωρίσιμες στον σταθμό βάσης. Αυτή η *Space Division Multiple Access(SDMA)* επιτρέπει σε πολλαπλούς χρήστες να λειτουργήσουν

στην ίδια κυψέλη, στην ίδια παρεχόμενη σχισμή συχνότητας/χρόνου, χρησιμοποιώντας την ευφυή κεραία για να ξεχωρίσουν τα σήματα. Αφού αυτή η προσέγγιση επιτρέπει σε περισσότερους χρήστες να υποστηριχθούν μέσα σε ένα περιορισμένο φάσμα, σε σύγκριση με συμβατικές κεραίες, η SDMA τεχνική μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη χωρητικότητα.

Κεφάλαιο 3: Έξυπνες Κεραίες

3.1 Βασικές αρχές ευφυών κεραιοσυστημάτων

3.1.1 Εισαγωγή



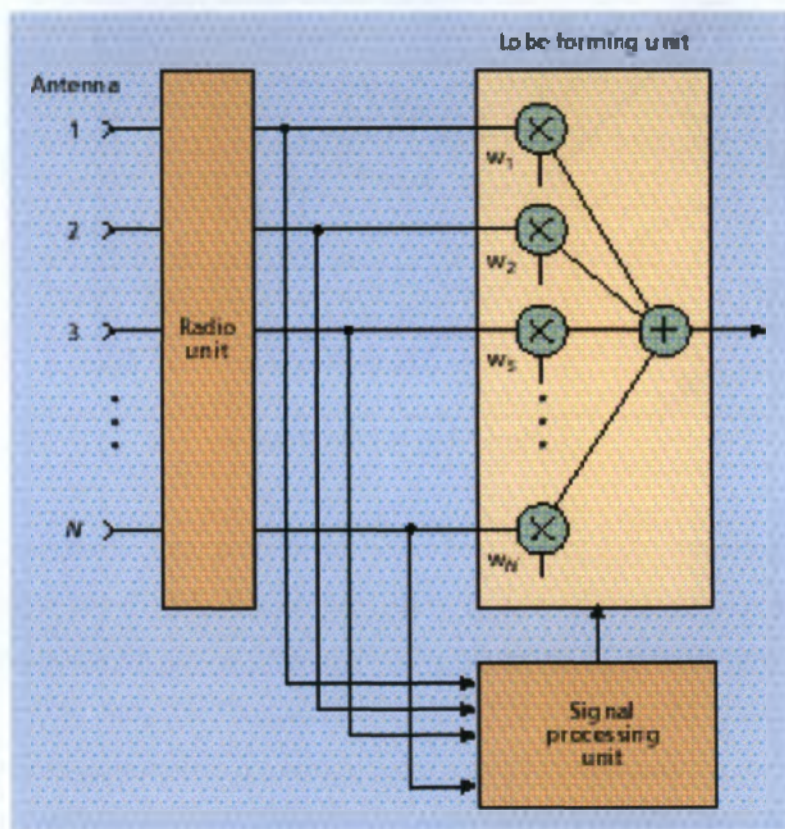
Σχήμα 3.1.1-1: Έξυπνη κεραία

Η θεωρία πίσω από τις ευφυείς κεραίες δεν είναι καινούρια. Η τεχνική είχε για πολλά χρόνια χρησιμοποιηθεί στον ηλεκτρονικό πόλεμο (EWF) σαν αντίμετρο στην ηλεκτρονική παρεμβολή. Σε στρατιωτικά συστήματα ραντάρ παρόμοιες τεχνικές χρησιμοποιούνταν ήδη από τον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο. Υπάρχουν σε γενικές γραμμές διάφοροι τρόποι με τους οποίους μια προσαρμοστικά διευθετήσιμη ακτίνα κεραιών μπορεί να παραχθεί, παραδείγματος χάριν με μηχανικά οδηγούμενες κεραίες.

Με τον όρο έξυπνη κεραία, δεν χαρακτηρίζουμε την ίδια τη κεραία, αλλά το πλήρες σύστημα κεραιών, συμπεριλαμβανομένης και της επεξεργασίας σήματος. Μια έξυπνη κεραία αποτελείται από M στοιχεία κεραιών μέσω των οποίων λαμβάνει τα σήματα του πομπού. Στην συνέχεια αυτά υποβάλλονται προσαρμοστικά σε επεξεργασία, προκειμένου να εκμεταλλευτούμε τη χωρική διάσταση του κινητού ράδιο-καναλιού. Μια από τις χαρακτηριστικές περιπτώσεις είναι αυτή, στην οποία τα σήματα που παραλαμβάνονται από τα διαφορετικά στοιχεία κεραιών πολλαπλασιάζονται με σύνθετα βάρη—σχήμα 3.1.1-1. Όλα τα M στοιχεία της

σειράς κεραιών πρέπει να συνδυαστούν προκειμένου να προσαρμοστούν στα παρόντα χαρακτηριστικά καναλιών και χρηστών.

Η μονάδα ελέγχου καλείται νοημοσύνη της ευφυούς κεραιάς και πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας έναν ψηφιακό επεξεργαστή σήματος (Digital Signal Processor, DSP). Ο επεξεργαστής ελέγχει παραμέτρους τροφοδοσίας της κεραιάς, βασισμένες σε διάφορες εισόδους, έτσι ώστε να βελτιστοποιήσει τη σύνδεση. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα κριτήρια βελτιστοποίησης. Αυτό δείχνει ότι η ευφυής κεραιά είναι περισσότερο από μια απλή κεραιά. Είναι μια ολοκληρωμένη έννοια πομποδέκτη—σχήμα 3.1.1-2.



Σχήμα 3.1.1-2: Η βασική διάταξη μιας έξυπνης κεραιάς

Η τεχνολογία που σχεδόν αποκλειστικά προτείνεται για επίγεια συστήματα προσωπικών και κινητών επικοινωνιών είναι οι κεραιές συστοιχίας (array antennas) στη θεωρία των οποίων θα αναφερθούμε εκτενώς στο επόμενο κεφάλαιο. Η κύρια φιλοσοφία είναι ότι οι παρεμβολείς σπανίως έχουν την ίδια γεωγραφική θέση με τον χρήστη. Με τη μεγιστοποίηση του κέρδους της κεραιάς στην επιθυμητή κατεύθυνση

και ταυτόχρονα με την τοποθέτηση του ελάχιστου διαγράμματος ακτινοβολίας στις κατευθύνσεις των παρεμβολών, η ποιότητα της σύνδεσης μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά. Στην προσωπική και κινητή επικοινωνία, οι παρεμβολές είναι διαφορετικοί, από τον αναφερόμενο, χρήστες.

Η χρησιμοποίηση των έξυπνων κεραιών αποσκοπεί στο να μπορεί ο σταθμός βάσης να εντοπίζει τον επιθυμητό χρήστη, να τον απομονώνει, από τους άλλους, καταστέλλοντας σε μεγάλο βαθμό τις παρεμβολές. Με αυτό τον τρόπο παρέχονται καλύτερες υπηρεσίες στον επιθυμητό χρήστη. Η εφαρμογή των έξυπνων κεραιών μπορεί να δώσει πολλές λύσεις, όταν έχουμε χρησιμοποίηση τεχνικών πολλαπλής πρόσβασης, όπου διαφορετικοί χρήστες μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης.

3.1.2 Η μονάδα επεξεργασίας σήματος

Η μονάδα επεξεργασίας σήματος, βασισμένη στο ληφθέν σήμα, υπολογίζει τα μιγαδικά βάρη w_1-w_N με τα οποία το ληφθέν, από το καθένα από τα στοιχεία της κεραιάς, σήμα πολλαπλασιάζεται. Αυτά τα βάρη θα αποφασίσουν για το διάγραμμα κεραιάς στην διεύθυνση της άνω ζεύξης. Τα βάρη μπορούν να βελτιστοποιηθούν με δύο κύρια κριτήρια: με μεγιστοποίηση του ληφθέντος, από τον επιθυμητό χρήστη, σήματος (π.χ. Switched Lobe ή Phased Array, βλέπε αντίστοιχη παράγραφο) ή με μεγιστοποίηση του SIR καταπιέζοντας το σήμα που προέρχεται από τις παρεμβάλλουσες πηγές (π.χ. Adaptive Array). Θεωρητικά με M στοιχεία κεραιάς μπορούν να μηδενιστούν $M-1$ παρεμβολές, αλλά λόγω του προβλήματος της διάδοσης πολλαπλών διαδρομών ο αριθμός αυτός είναι συνήθως μικρότερος.

Η μέθοδος για τον υπολογισμό των βαρών διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του κριτηρίου βελτιστοποίησης. Όταν χρησιμοποιείται Switched Lobe (SL), ο δέκτης θα ελέγξει όλα τα προκαθορισμένα διανύσματα βάρους (που αντιστοιχούν στους λοβούς) και θα επιλέξει αυτό που δίνει το ισχυρότερο επίπεδο λαμβανόμενου σήματος. Αν χρησιμοποιείται η Phased Array (PA) προσέγγιση, η οποία περιλαμβάνει την κατεύθυνση μιας ακτίνας μέγιστου κέρδους προς το ισχυρότερο σήμα, τότε πρώτα υπολογίζεται η διεύθυνση άφιξης (Direction-of-Arrival, DoA) και στη συνέχεια υπολογίζονται τα βάρη με ομοιόμορφο, με την επιθυμητή γωνία στρέψης,

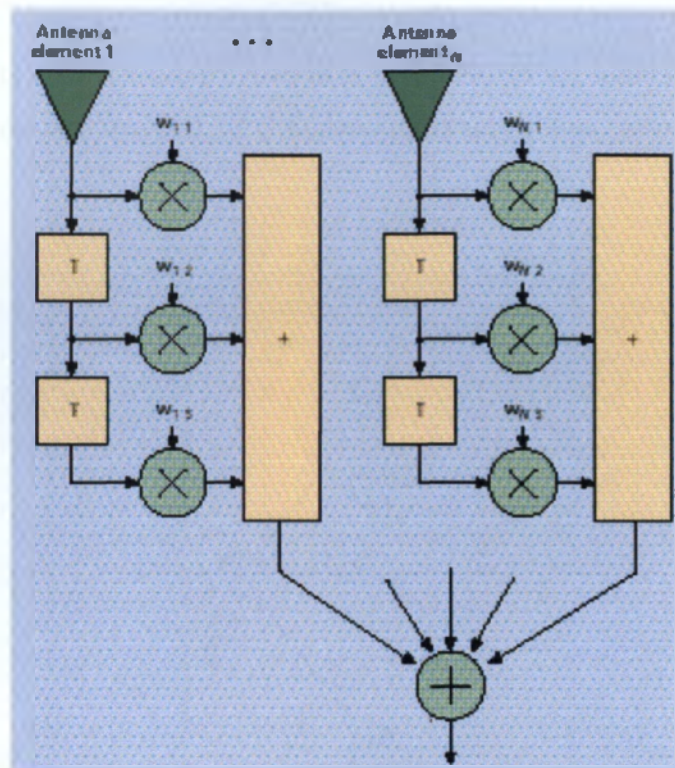
πλάτος και φάση. Υπάρχει ένας αριθμός μεθόδων, με καλό υπόβαθρο για τον υπολογισμό της DoA, όπως οι αλγόριθμοι MUSIC, ESPRIT και SAGE.

Εάν πρέπει να επιτευχθεί μεγιστοποίηση του SIR (περίπτωση AA), τότε το βέλτιστο διάνυσμα βάρους (της διάστασης N) \mathbf{W}_{opt} δίνεται από το κυρίαρχο γενικευμένο ιδιοδιάνυσμα του ζεύγους πινάκων $[\mathbf{R}_k, \mathbf{Q}_k]$ όπου \mathbf{R}_k είναι ο $N \times N$ πίνακας συσχέτισης του συνολικού ληφθέντος σήματος και \mathbf{Q}_k είναι ο $N \times N$ πίνακας συσχέτισης της συνολικής παρεμβολής. Αυτό ονομάζεται βέλτιστος συνδυασμός.

Για να μπορέσει ο σταθμός βάσης να εκτιμήσει τους ράδιο-διαύλους, χρειάζεται συνήθως μια αναφορά ή μια εκπαιδευτική αλληλουχία π.χ. πρέπει να μεταδίδεται περιοδικά μία γνωστή αλληλουχία bit. Οι μέθοδοι που μεγιστοποιούν τον SIR απαιτούν γνώση της άμεσης απόκρισης διαύλου τόσο από τον επιθυμητό χρήστη όσο και από όλες τις πηγές παρεμβολών, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η εκπαιδευτική αλληλουχία πρέπει να είναι μοναδική για κάθε χρήστη.

3.1.3 Η μονάδα σχηματισμού λοβών

Ο πραγματικός υπολογισμός του βάρους του λαμβανόμενου, από τα καθένα από τα στοιχεία της συστοιχίας, σήματος πραγματοποιείται στη μονάδα σχηματισμού λοβών. Στην πιο προηγμένη περίπτωση αυτή η μονάδα είναι μία ενσωμάτωση του ισοσταθμιστή καναλιού/δέκτη RAKE και της ευφυούς κεραίας. Σ' αυτή την περίπτωση χρειάζονται $N \times D$ βάρη, όπου D είναι ο αριθμός των περιόδων συμβόλων (βάθος) στον ισοσταθμιστή ή ο αριθμός των άκρων (fingers) στον δέκτη RAKE. Αυτό ονομάζεται spatio-temporal filter, επειδή αφαιρεί τα μη επιθυμητά συστατικά του σήματος και διατηρεί τα επιθυμητά τόσο στην περιοχή του χώρου όσο και σ' αυτή του χρόνου. Τέτοια μονάδα φαίνεται σχηματικά στην ακόλουθη εικόνα.



Σχήμα 3.1.3: Ενσωμάτωση RAKE και ευφυούς κεραιάς

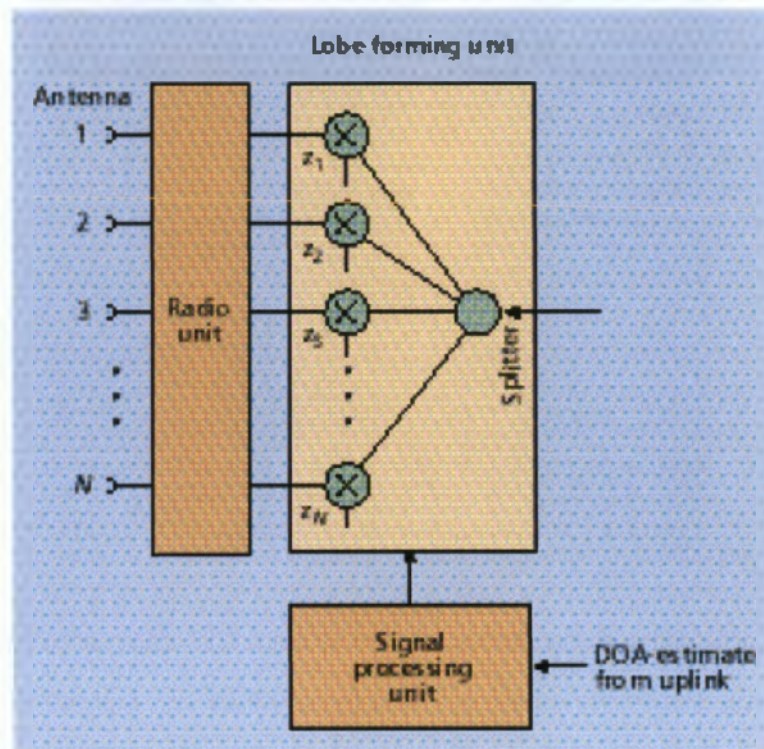
Σε αυτό το παράδειγμα ο αριθμός των βαρών είναι $N \times 3$ πράγμα το οποίο δείχνει ότι το βάθος του ισοσταθμιστή είναι 3. Ο χρόνος μεταξύ των λήψεων κάθε στοιχείου κεραιάς είναι T . Σε έναν δέκτη RAKE η χρονική καθυστέρηση μεταξύ των λήψεων δεν είναι ομοιόμορφη.

Όταν ο σχηματισμός λοβού γίνεται ψηφιακά (μετά από A/D) τότε οι μονάδες σχηματισμού λοβών και επεξεργασίες σήματος είναι συνήθως ενσωματωμένες στην ίδια μονάδα, που τότε ονομάζεται DSP. Ο διαχωρισμός στο σχήμα έγινε για να διευκρινιστεί αυτή η λειτουργία. Είναι επίσης πιθανή η πραγματοποίηση της λειτουργίας σχηματισμού λοβών στο υλικό σε ραδιοσυχνότητα (RF) ή σε μεσαία συχνότητα (IF).

3.1.4 Λειτουργία Πομπού

Το τμήμα εκπομπής μιας ευφυούς κεραιάς είναι σχηματικά παρόμοιο με το τμήμα λήψεως. Ένα παράδειγμα φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Το σήμα χωρίζεται σε N παρακλάδια τα οποία στη συνέχεια βαρύνονται από τα μιγαδικά βάρη $z_1 - z_N$ στη μονάδα σχηματισμού λοβών. Τα βάρη που καθορίζουν το διάγραμμα ακτινοβολίας στην κατεύθυνση της κάτω ζεύξης, υπολογίζονται από τη μονάδα επεξεργασίας

σήματος. Η ράδιο-μονάδα αποτελείται από ψηφιακό-αναλογικούς μετατροπείς (D/A converters) και αλυσίδες μετατροπών προς τα άνω. Πρακτικά, κάποια συστατικά, όπως οι κεραίες αυτές καθ' αυτές και η μονάδα DSP, θα είναι φυσικά τα ίδια όπως και στη λήψη.



Σχήμα 3.1.4: Σύστημα εκπομπής ευφυούς κεραίας

Η πρωτεύουσα διαφορά μεταξύ της άνω και της κάτω ζεύξης είναι ότι, εφόσον δεν υπάρχουν ευφείς κεραίες στο τερματικό (κινητός σταθμός), δεν είναι διαθέσιμη στην κάτω ζεύξη η χωρική απόκριση διαύλου (spatial channel response). Σε ένα σύστημα αμφίδρομης διαίρεσης χρόνου (Time Division Duplex TDD) ο κινητός σταθμός και ο σταθμός βάσης χρησιμοποιούν την ίδια φέρουσα συχνότητα που χωρίζεται μόνο στο χρόνο. Σε αυτή την περίπτωση τα βάρη που υπολογίζονται στην άνω ζεύξη θα είναι βέλτιστα και στην κάτω ζεύξη μόνο αν το κανάλι δεν αλλάξει μεταξύ της μετάδοσης άνω ζεύξης και της μετάδοσης κάτω ζεύξης. Η μη αλλαγή καναλιού δεν μπορεί να θεωρηθεί σαν η γενική περίπτωση, τουλάχιστον σε συστήματα όπου οι χρήστες αναμένεται να κινούνται σε υψηλές ταχύτητες. Αν χρησιμοποιείται αμφίδρομη διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Duplex FDD), τότε η άνω και η κάτω ζεύξη χωρίζονται σε συχνότητα. Σε αυτή την περίπτωση τα βέλτιστα βάρη δεν θα είναι γενικά τα ίδια λόγω της εξάρτησης της απόκρισης του διαύλου από την συχνότητα

Επομένως το βέλτιστο beamforming (π.χ. AA) στην κάτω ζεύξη είναι δύσκολο και η τεχνική που προτείνεται συχνότερα είναι η χρήση της γεωμετρική προσεγγίσεως της εκτίμησης της διεύθυνσης άφιξης (DoA). Η υπόθεση είναι κατευθυντική αμοιβαιότητα, δηλαδή, η διεύθυνση από την οποία καταφθάνει το σήμα κατά την άνω ζεύξη, είναι η διεύθυνση προς την οποία το σήμα θα πρέπει να εκπεμφθεί κατά την κάτω ζεύξη, για να φτάσει στον χρήστη. Η υπόθεση αυτή έχει ενδυναμωθεί από πρόσφατα πειραματικά αποτελέσματα. Η στρατηγική που χρησιμοποιείται από τον σταθμό βάσης είναι η εκτίμηση του DoA της κατευθύνσεως (ή των κατευθύνσεων από τις οποίες λαμβάνεται το κυρίως μέρος του σήματος χρήστη).

Αυτή η κατεύθυνση χρησιμοποιείται στην κάτω ζεύξη επιλέγοντας τα βάρη z_1-z_N έτσι ώστε το διάγραμμα ακτινοβολίας να είναι ένας λοβός (ή λοβοί) κατευθυνόμενος προς τον επιθυμητό χρήστη. Αυτή η μέθοδος είναι παρόμοια με την PA.

Επιπροσθέτως είναι δυνατή η τοποθέτηση μηδενικών στην κατεύθυνση άλλων χρηστών έτσι ώστε η παρεμβολή από αυτούς να ελαχιστοποιηθεί. Λόγω εξασθένησης στα διαφορετικά μονοπάτια σήματος έχει προταθεί να γίνεται η επιλογή της διεύθυνσεως κάτω ζεύξης βασιζόμενη στην εύρεση μιας μέσης τιμής του διαύλου άνω ζεύξης κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι για τα πιο πάνω έχει υποτεθεί ότι οι παρεμβολές που παρατηρούνται από τον σταθμό βάσης είναι κινητοί σταθμοί, και ότι οι παρεμβολές που παρατηρούνται από τους κινητούς σταθμούς είναι σταθμοί βάσης. Αυτό σημαίνει ότι όταν ο σταθμός βάσης κατά την εκπομπή τοποθετεί μηδενικά στην διεύθυνση προς άλλους κινητούς σταθμούς εκτός του επιθυμητού, θα ελαττώσει την παρεμβολή από αυτά τα κινητά.

3.1.5 Κρίσιμοι παράγοντες

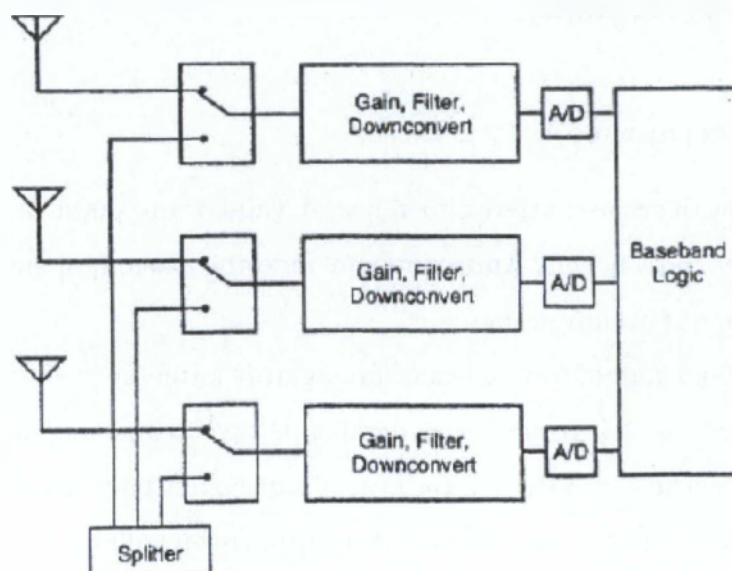
Για να φτάσουν οι ευφείς κεραιές το πλήρες δυναμικό τους μένει να λυθεί ένας αριθμός τεχνικών προκλήσεων. Αυτές αφορούν τόσο την υλοποίηση modem όσο και τους αλγορίθμους για beamforming.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το beamforming στην κάτω ζεύξη γίνεται δυσκολότερο λόγω της έλλειψης γνώσης σχετικά με την άμεση απόκριση καναλιού. Συχνά χρησιμοποιείται η στρατηγική της κατευθύνσεως του(των) λοβού(λοβών) στην διεύθυνση της DoA του σήματος. Όμως η στρατηγική αυτή καθιστά την απόδοση της κάτω ζεύξης εξαρτημένη κατά πολύ από τον ράδιο-διάυλο και τον ρυθμό εναλλαγής

αυτού. Αν το κανάλι υποφέρει από πολύ γωνιακή διασπορά, δηλαδή το σήμα λαμβάνεται από πολλές διευθύνσεις, το να κατευθυνθεί ένας λοβός στη διεύθυνση της μέγιστης λήψης είναι μακράν του βέλτιστου σε όρους μεγιστοποίησης μεταφοράς ισχύος στον χρήστη. Η κατεύθυνση μηδενικών προς άλλους χρήστες για την ελαχιστοποίηση της παρεμβολής από αυτούς είναι δύσκολη για τον ίδιο λόγο. Όταν το κανάλι αλλάζει ραγδαία, όπως συμβαίνει σε ταχέως κινούμενα κινητά και σε πολύ πυκνά, πολύπλοκα περιβάλλοντα, τότε οι δυσκολίες στην κάτω ζεύξη επιδεινώνονται.

Άλλος ένας κρίσιμος παράγοντας είναι η γραμμικότητα στις αλυσίδες λήψεως και εκπομπής. Οι συναρτήσεις μεταφοράς για όλες τις προς άνω και προς κάτω αλυσίδες μετατροπής πρέπει να είναι απολύτως γνωστές, έτσι ώστε το beamforming να είναι απολύτως ακριβές. Παρ' όλα αυτά οι αποκρίσεις μεταβάλλονται ανάλογα με το χρόνο και τη θερμοκρασία, καθώς αναμιγνύονται ενεργά στοιχεία. Αυτό σημαίνει ότι για να λειτουργήσει κανονικά μια ευφυής κεραία θα πρέπει να γίνεται συχνή online ρύθμιση των παραμέτρων της.

Για να πραγματοποιηθεί η παρακολούθηση του κέρδους και της εναλλαγής φάσης κάθε καναλιού μεταξύ επί-γραμμής ρυθμίσεων μετρήσεων, είναι χρήσιμος ο εξοπλισμός της κεραίας με ένα calibration injection σύστημα. Ένα τέτοιο σύστημα φαίνεται στην εικόνα. Σε ένα τέτοιο σύστημα το σήμα μπορεί να εισαχθεί απευθείας σε καθένα από τα στοιχεία της κεραίας. Αν οι μετρήσεις είναι συχνές, μπορεί να παρακολουθηθεί η αλλαγή στην απόκριση διαύλου, επιμηκύνοντας με αυτό τον τρόπο την εγκυρότητα των επί-γραμμής ρυθμίσεων μετρήσεων.



Σχήμα 3.1.5: Calibration injection σύστημα

Οι απαιτήσεις για γραμμικότητα στις αλυσίδες του πομποδέκτη μπορούν να χαλαρώσουν αν πραγματοποιηθεί η A/D (και D/A) μετατροπή όσο πιο κοντά στο στοιχείο της συστοιχίας γίνεται, δηλαδή με δειγματοληψία στην RF ή στην IF. Αυτό απαιτεί πολύ γρήγορο και εξειδικευμένο υλικό.

Η πολυπλοκότητα της ευφούς κεραίας είναι μια μεγάλη πρόκληση καθώς οι πιο προηγμένες υλοποιήσεις περιλαμβάνουν ταυτόχρονη μεγιστοποίηση του χρήσιμου σήματος και μηδενισμό των πηγών παρεμβολής. Επιπροσθέτως αυτό το beamforming πρέπει να επιτελείται για κάθε χρήστη που επικοινωνεί μέσω του σταθμού βάσης. Ακόμα και με τις πανίσχυρες μονάδες επεξεργασίας σήματος, που είναι διαθέσιμες σήμερα, η πραγματοποίηση αυτού σε πραγματικό χρόνο είναι μια μεγάλη πρόκληση.

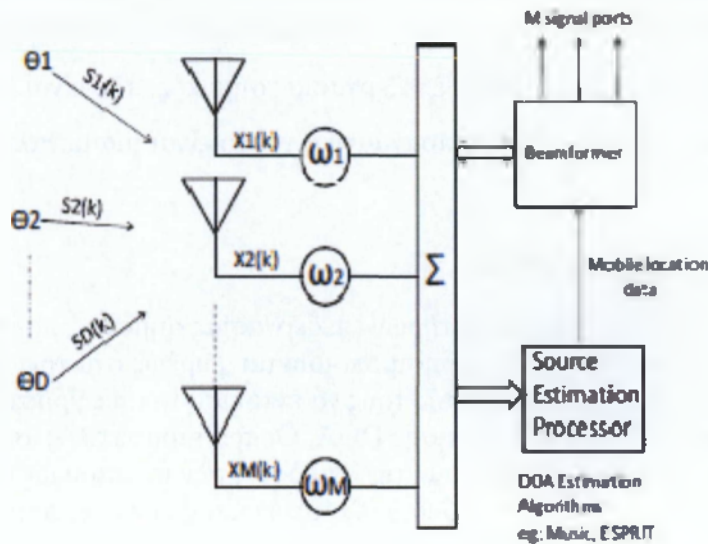
3.2 Τεχνικές εκτίμησης DOA

Οι προσαρμοστικές συστοιχίες αισθητήρων επεξεργασίας σήματος, που είναι γνωστές επίσης ως έξυπνες κεραίες, χρησιμοποιούνται ευρέως στα τρίτης γενιάς (3G) συστήματα εξαιτίας της ικανότητάς τους να εντοπίσουν τους χρήστες κινητών χρηστών με τη χρήση τεχνικών εκτίμησης DOA. Οι προσαρμοστικές συστοιχίες κεραίων επίσης μπορούν να βελτιώσουν τις επιδόσεις των κυτταρικών συστημάτων, προβλέποντας ανθεκτικότητα σε κανάλια διαλείψεων και μειωμένες παρεμβολές. Ο στόχος της εκτίμησης της κατεύθυνσης άφιξης (DOA) είναι να χρησιμοποιούμε τα δεδομένα που λαμβάνουμε σχετικά με την κατερχόμενη ζεύξη σε μια συστοιχία αισθητήρων βάση-σταθμού ώστε να κάνουμε εκτίμηση των κατευθύνσεων των σημάτων από τους επιθυμητούς χρήστες κινητών συσκευών καθώς και επίσης και τις κατευθύνσεις των σημάτων παρεμβολής. Τα αποτελέσματα της εκτίμησης DOA στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για να προσαρμόσουν τα βάρη της διαμόρφωσης δέσμης έτσι ώστε η εκπεμπόμενη ισχύς να μεγιστοποιείται για τους επιθυμητούς χρήστες, και ακυρώσεις της ακτινοβολίας να τοποθετούνται στις κατευθύνσεις των σημάτων παρεμβολής. Ως εκ τούτου, ένας επιτυχής σχεδιασμός μιας προσαρμοστικής σειράς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την επιλογή της εκτίμησης του αλγόριθμου DOA που πρέπει να είναι ιδιαίτερα ακριβής και αξιόπιστος. Κατά τον σχεδιασμό μίας προσαρμοστικής σειράς έξυπνων κεραίων κινητής επικοινωνίας οι επιδόσεις των εκτιμήσεων ενός αλγόριθμου DOA εξαρτάται από πολλές παραμέτρους όπως ο αριθμός των χρηστών κινητής τηλεφωνίας και του χώρου δράσης τους, ο αριθμός των στοιχείων του πίνακα και η απόσταση μεταξύ τους, ο αριθμός των δειγμάτων του σήματος και του SNR. Για αυτό διάφοροι αλγόριθμοι υπολογισμού DOA έχουν αναπτυχθεί και κατηγοριοποιούνται σε δύο μεθόδους α)τους συμβατικούς και β) υποδιαστήματος. Οι συμβατικοί μέθοδοι που ονομάζεται επίσης κλασικοί μέθοδοι υπολογίζουν πρώτα το χωρικό φάσμα και στη συνέχεια κάνουν εκτίμηση του DOA από τα τοπικά μέγιστα του φάσματος. Μέθοδοι που εμπίπτουν σε αυτή την κατηγορία είναι οι Bartlett, και Capon ή MVDR. Ωστόσο αυτές οι μέθοδοι υποφέρουν από την έλλειψη γωνιακή ανάλυσης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται μέθοδοι υψηλής γωνιακής ανάλυσης όπως ο MUSIC και ο ESPRIT, οι οποίοι ωστόσο, έχουν κακή απόδοση σε καταστάσεις η οποία είναι πολύ συχνές σε σύστημα επικοινωνίας (π.χ. σε φαινόμενα πολυδιαδρομής).

3.2.1 Αλγόριθμος MUSIC

Η λέξη MUSIC είναι ένα ακρωνύμιο που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση πολλών σημάτων. Είναι υψηλής ευκρίνειας τεχνική που βασίζεται στην εκμετάλλευση της συνδιακύμανσης εισόδου μήτρας. Ο MUSIC κάνει παραδοχή ότι ο θόρυβος σε κάθε κανάλι είναι ασυσχέτιστος κάνοντας τον πίνακα συσχέτισης διαγώνια.

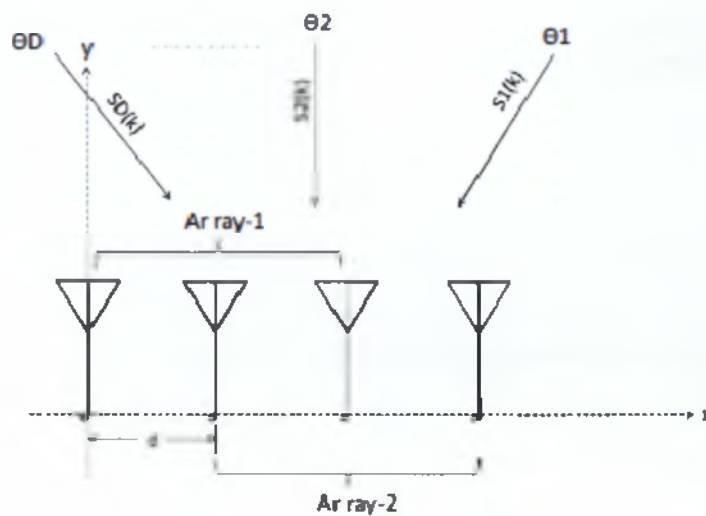
Τα σήματα έτσι είναι κάπως συσχετισμένα δημιουργώντας μια μη διαγώνια συσχέτιση μήτρα σήματος. Εάν ο αριθμός των σημάτων που προσπίπτει σε μια M -στοιχείων συστοιχία είναι D , ο αριθμός των ιδιοτιμών σήματος και των ιδιοδιανυσμάτων είναι D τότε ο αριθμός των ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων θορύβου είναι $M-D$.



Σχήμα : M συστοιχία κεραιών με D σήματα να φθάνουν.

3.2.2 Αλγόριθμος ESPRIT

Ο ESPRIT υποθέτει ότι υπάρχουν $D < M$ πηγές στενής ζώνης με επίκεντρο την κεντρική συχνότητα f_0 . Το σχήμα 2 δείχνει τέσσερα στοιχεία μιάς γραμμικής συστοιχίας η οποία αποτελείται από δύο ζεύγη. Τα δύο ζεύγη ακτίνων που ονομάζονται array-1 και array-2 διαχωρίζονται από μια απόσταση « d ».

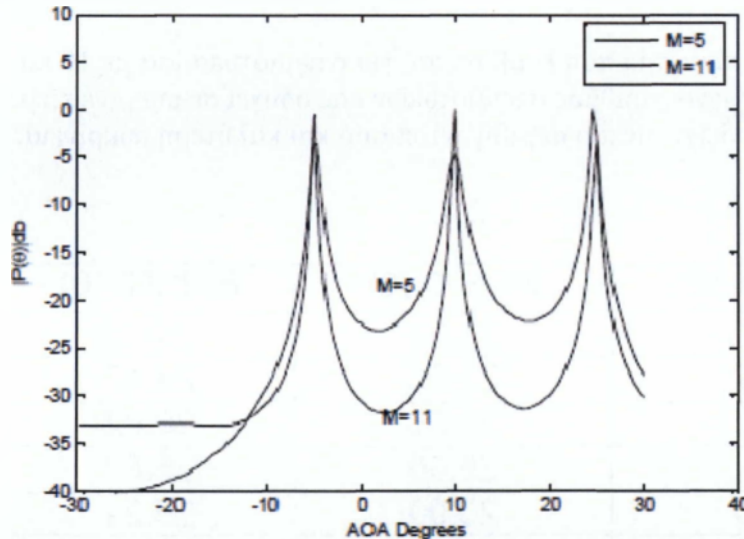


Σχήμα :Γραμμική συστοιχία 4 στοιχείων με 2 ζεύγη

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Οι μέθοδοι MUSIC & ESPRIT για την εκτίμησης DOA προσομοιώνονται χρησιμοποιώντας το MATLAB. Η υπόθεση μιάς ενιαίας γραμμικής συστοιχίας με M στοιχεία έχει ληφθεί υπόψη εδώ.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του αλγορίθμου MUSIC για την εκτίμηση DOA.

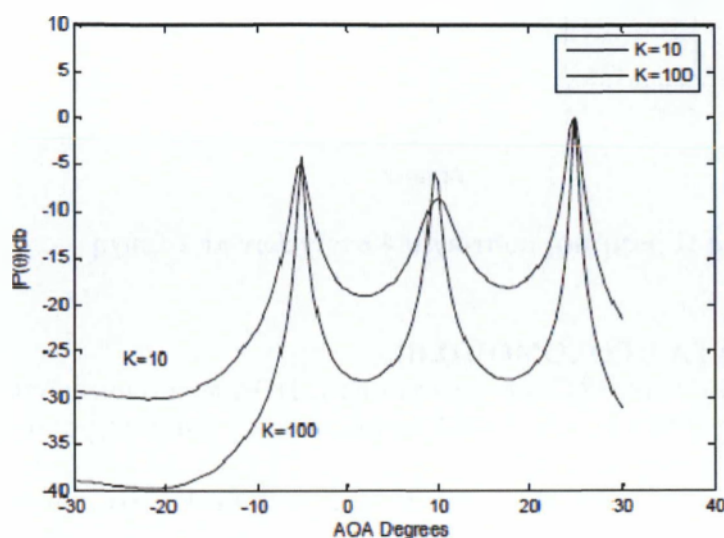


Σχήμα : Φάσμα του MUSIC για DOA για -5, 10, 25 μοίρες

Στο σχήμα παρουσιάζεται το φάσμα του MUSIC για την ενιαία γραμμική συστοιχία με διαφορετικά στοιχεία και $SNR = 20dB$, $K = 100$ και για τις περιπτώσεις για την κατεύθυνση των αφίξεων -5, 10, 25 μοίρες. Η απόσταση μεταξύ των στοιχείων θεωρείται

ότι είναι ο αριθμός 0.5λ. Όταν ο αριθμός των στοιχείων της συστοιχίας αυξάνεται σε 11 τότε το φάσμα του MUSIC λαμβάνει μια μορφή με ευκρινέστερες κορυφές στην οποία γωνιακή ανάλυση βελτιώνεται. Ο αριθμός των στιγμιότυπων σήματος που

χρησιμο-ποιούνται για να παραχθεί ένα ρεαλιστικό μοντέλο του σήματος αποτελεί βασικό παράγοντα για την υλοποίηση πρακτικών κεραιών.



Σχήμα :Φάσμα του MUSIC για ποικίλο αριθμό στιγμιότυπων K=10,100

Το σχήμα δείχνει το φάσμα που λαμβάνεται για στιγμιότυπα ίσα με 10 και με 100 αντί-στοιχα. Αυξημένος αριθμός στιγμιότυπων μας οδηγεί σε ευκρινέστερες κορυφές του φάσματος και δείχνουν πιο ακριβή εντοπισμό και καλύτερη ευκρίνεια.

SNR (dB)	MUSIC (θ)	ESPRIT(θ)
-20	21.66	-39.08
-19	24.00	23.47
0	24.66	26.02
9	25.00	25.67
20	25.00	25.21
21	25.00	24.99

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Εκτίμηση DOA από MUSIC & ESPRIT για διάφορα SNR. (Είσοδος $\theta = 25$ μοίρες, $M = 4$, $k = 100$)

Ο πίνακας 1 δείχνει την DOA εκτίμηση και για τους δύο αλγόριθμους, τους MUSIC και ESPRIT σε σχέση με SNR. Ο πίνακας αυτός δείχνει σαφώς ότι ο MUSIC παρέχει υψηλότερη ανάλυση και ακριβέστερο εντοπισμό της γωνίας άφιξης από εκείνη του ESPRIT.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του αλγορίθμου ESPRIT για την εκτίμηση DOA.

Η προσομοίωση του αλγορίθμου ESPRIT διεξάγεται για μια γραμμική στοιχειοκεραία αποτελούμενη από τέσσερα στοιχεία –αισθητήρες μεταβάλλοντας διάφορες παραμέτρους αυτής.

Sr.no,	θ Input (deg)	θ ESPRIT (deg)
1	10	9.43
	25	23.94
2	20	20.02
	80	80.27

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Εκτίμηση του DOA χρησιμοποιώντας τον ESPRIT για διάφορες γωνίες διαχωρισμού ($M = 4$, $SNR = 20$ dB, $K = 100$)

Στον πίνακα 2 φαίνεται ότι το ποσοστιαίο σφάλμα στην ανίχνευση DOA χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο ESPRIT μειώνεται όσο η γωνία διαχωρισμού μεταξύ των σημάτων που φθάνουν αυξάνεται.

K=10	
θ Input (deg)	θ ESPRIT (deg)
80	79.39
20	19.92
K=1000	
80	80.04
20	20.00

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Εκτίμηση του DOA χρησιμοποιώντας τον ESPRIT για διαφορετικό αριθμό στιγμιότυπων K. ($M = 4$, $SNR = 20$ dB)

Ο πίνακας 3 δείχνει ότι, όταν ο αριθμός των δειγμάτων είναι αυξημένος το λάθος στον υπολογισμό της κατεύθυνσης γίνεται μικρότερο.

No. of signals	θ Input (deg)	θ ESPRIT (deg)
2	20	20.08
	40	39.96
4	10	24.46
	30	32.34
	50	-44.52
	70	-18.82

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Εκτίμηση του DOA χρησιμοποιώντας τον ESPRIT για ποικίλο αριθμό σημάτων ($M = 4$, $SNR = 20dB$, $K = 100$)

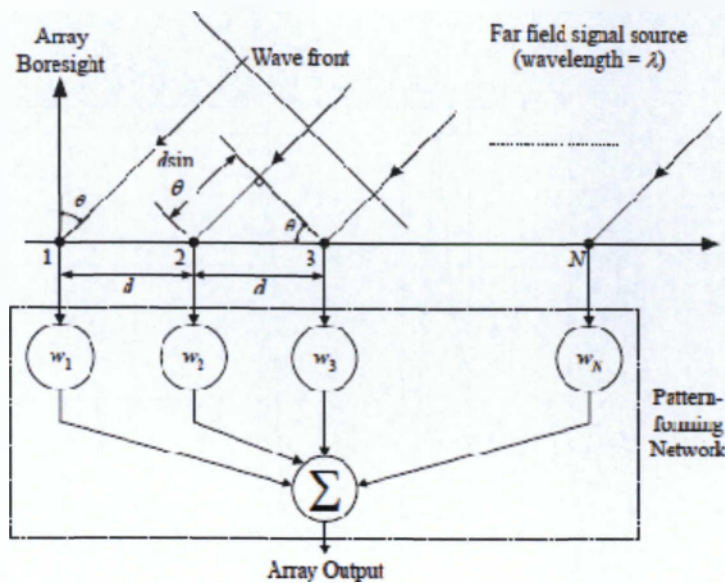
Ο πίνακας 4 απεικονίζει τον τρόπο με τον οποίο ο αλγόριθμος ESPRIT μπορεί να ανιχνεύει με επιτυχία 2 περιστατικά σημάτων στην συστοιχία των 4 στοιχείων και πώς αποτυγχάνει εντελώς, εάν ο αριθμός των σημάτων αυξηθεί στα 4.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:

Η εργασία αυτή παρουσιάζει τα αποτελέσματα της διεύθυνσης άφιξης χρησιμοποιώντας τους αλγόριθμους MUSIC και ESPRIT. Αυτοί οι δύο μέθοδοι έχουν μεγαλύτερη ανάλυση και ακρίβεια και επομένως, αυτές διερευνώνται πιο πολύ λεπτομερώς. Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και των δύο προκύπτει ότι οι επιδόσεις τους βελτιώνονται με περισσότερα στοιχεία στον πίνακα συστοιχίας, με τα περισσότερα στιγμιότυπα των σημάτων και με μεγαλύτερη γωνία διαχωρισμού μεταξύ των σημάτων. Αυτές οι βελτιώσεις διαπιστώνονται στην μορφή της MUSIC με τις πιο έντονες κορυφές και στον ESPRIT με μικρότερα λάθη στην γωνία ανίχνευσης. Ωστόσο Στον πίνακα 1 φαίνεται ότι υπάρχουν περισσότερα σφάλματα κατά την εκτίμηση DOA, χρησιμοποιώντας τον ESPRIT σε σύγκριση με τον αλγόριθμο MUSIC. Σαφώς ο MUSIC είναι πιο σταθερός και ακριβής και παρέχει υψηλή ανάλυση και αυτό προσθέτει μια νέα δυνατότητα σε χρήστες που γίνεται διαχωρισμός μέσω SDMA και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως στο σχεδιασμό των έξυπνων συστημάτων κεραιών.

3.2.3 MVDR

Σε αυτό το κομμάτι διερευνάται ο αλγόριθμος MVDR για την εκτίμηση DOA. Ξεκινά από τη διεξαγωγή ανάλυσης του αλγορίθμου ξεκινώντας από ένα ρεαλιστικό μοντέλο σήματος και, στη συνέχεια, χρησιμοποιούμε ένα εργαλείο προσομοίωσης για να διενεργήσουμε τη μελέτη για την απόδοση του αλγορίθμου. Αυτό περιλαμβάνει διερεύνηση της επίδρασης των παραμέτρων που σχετίζονται με το περιβάλλον του σήματος όπως ο αριθμός των σημάτων και η γωνία διαχωρισμού τους. Επίσης, διερευνάται η επίδραση των παραμέτρων που σχετίζονται με το σχεδιασμό της σειράς των αισθητήρων συμπεριλαμβανομένου του αριθμού των στοιχείων της συστοιχίας καθώς και της απόστασης μεταξύ τους. Ο αλγόριθμος MVDR κάνει την εκτίμηση του θορύβου από τον πίνακα συσχέτισης για τα M διανύσματα της διεύθυνσης της συστοιχίας. Αυτά τα διανύσματα κατεύθυνσης αντιπροσωπεύουν την από-κριση ενός ιδανικού πίνακα ως προς τις πηγές σήματος. Τά σήματα των πηγών μπορούν να προκύψουν από το διανύσματα κατεύθυνσης. Ο αλγόριθμος ξεκινά με την κατασκευή ενός μοντέλου σημάτων σε κανονικές συνθήκες. Υποθέτουμε έναν αριθμό από επίπεδα κύματα από M πηγές στενής ζώνης προσπίπτουσες από διαφορετικές οπτικές γωνίες θ_i , $i = 1, 2, \dots, M$, να παρεμβαίνει σε μια ομοιόμορφη γραμμική συστοιχία από N ισαπέχοντες αισθητήρες όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.

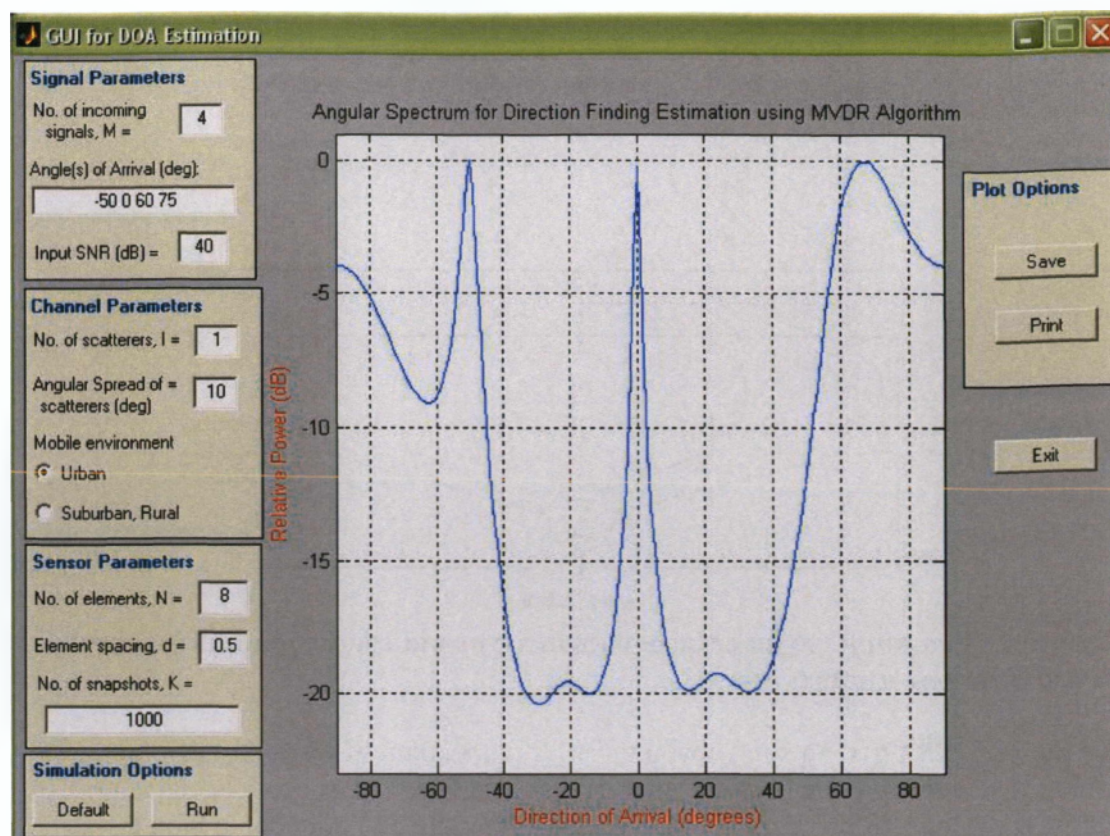


Σχήμα 1: Ένα παράδειγμα επίπεδου κύματος σε μια ενιαία γραμμική συστοιχία N ισαπέχοντων αισθητήρων

Σε μια δεδομένη στιγμή του χρόνου t , $t = 1, 2, \dots, K$, όπου K είναι ο συνολικός αριθμός των στιγμιότυπων που έχουν ληφθεί, η έξοδος της συστοιχίας θα αποτελείται από τα συστατικά του σήματος καθώς και του θορύβου. Όπου d συμβολίζεται η απόσταση των στοιχείων μεταξύ τους, λ είναι το μήκος κύματος του λαμβανόμενου σήματος και το $w(t)$ μοντελο-ποιείται ως μια χρονικά λευκή και μηδενική Gaussian διαδικασία.

Ο αλγόριθμος MVDR έχει υλοποιηθεί στην έκδοση MATLAB 6.5. Μια διάταξη διεπαφής χρήστη GUI (Graphic User Interface) έχει κατασκευαστεί για να διευκολύνει την προσο-μοίωση και απεικονίζεται στην Εικόνα 2. Ο χρήστης μπορεί να εισάγει τους παραμέτρους του σήματος συμπεριλαμβανομένου του αριθμού των στιγμιότυπων K , του αριθμού των κινητών M χρηστών, καθώς και τις γωνίες άφιξης θ των σημάτων.

Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός ρεαλιστικού μοντέλου σημάτων. Όσο για την συστοιχία αισθητήρων, ο χρήστης μπορεί να δηλώσει τον αριθμό της σειράς των στοιχείων N και την απόσταση μεταξύ τους με d . Προεπιλογή των τιμών των παραμέτρων αυτών μπορούν να ανακτηθούν ανά πάσα στιγμή πατώντας το κουμπί "Default". Η προσομοίωση μπορεί να ξεκινήσει κάνοντας κλικ στο κουμπί "Run". Αυτό θα δημιουργήσει ένα σενάριο του αλγόριθμου MVDR για την εκτίμηση του DOA.



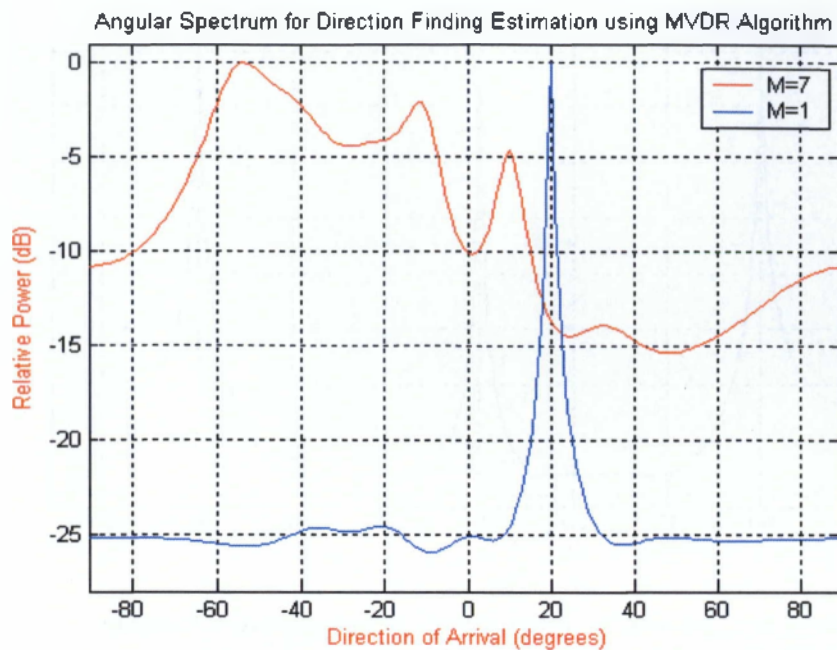
Σχήμα 2: Η διάταξη των της διεπαφής γραφικών χρήστη(GUI)

3.3 ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Για να αποδειχτεί η ευελιξία και η ακρίβεια του αλγορίθμου μέσω του εργαλείου που χρησιμοποιείται για τη μελέτη του αλγορίθμου αλλάζουμε διάφορους παραμέτρους που σχετίζονται με το περιβάλλον του σήματος καθώς και τη διασύνδεση της συστοιχίας των αισθητήρων.

3.3.1 Αριθμός στιγμιότυπων των σημάτων από κινητούς χρήστες.

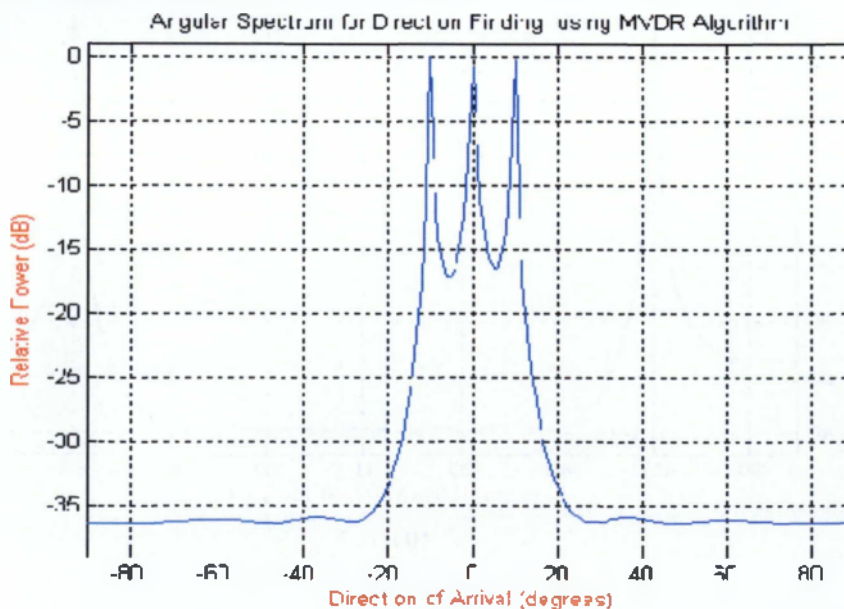
Το σχήμα 3 δείχνει το γωνιακό φάσμα του MVDR που δημιουργείται λόγω των σημάτων που φθάνουν από ένα $M = 1$ χρήστη και $M = 7$ χρήστες. Όταν υπάρχει μόνο ένας χρήστης κινητού ($M = 1$) στην περιοχή της βάσης σταθμού, ο αλγόριθμος MVDR έχει καλύτερη απόδοση, δεδομένου ότι δημιουργεί ένα γωνιακό φάσμα με απότομη αιχμή και ένα χαμηλότερο όριο θορύβου. Η απόδοση του αλγορίθμου υποβιβάζεται όταν υπάρχουν πολλοί χρήστες κινητής τηλεφωνίας ($M=7$), διότι η χωρική συσχέτιση μεταξύ των εισερχομένων σημάτων καθιστά δύσκολη την επίλυσή τους με επιτυχία.



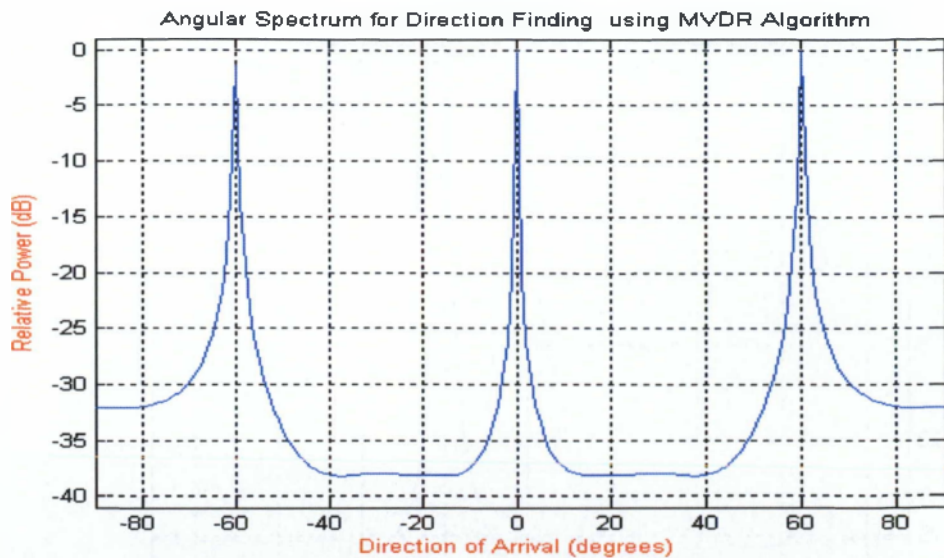
Σχήμα 3: Επίδραση του αριθμού των χρηστών κινητής τηλεφωνίας M στο γωνιακό φάσμα για τον MVDR.

3.3.2 Γωνία διαχωρισμού διάφορων συμβάντων σημάτων από κινητούς χρήστες.

Όταν οι χρήστες κινητής τηλεφωνίας είναι κοντά ο ένας στον άλλον, θα υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των σημάτων. Στην περίπτωση αυτή, ο αλγόριθμος MVDR δυσκολεύεται να επιλύσει τους χρήστες. Αυτό απεικονίζεται στο Σχήμα 4(α) για 3 παρακαείμενους χρήστες. Ωστόσο, η απόδοση βελτιώνεται σημαντικά, καθώς οι χρήστες απομακρύνονται ο ένας από τον άλλο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4(β) για τις οποίες το γωνιακό ραδιοφάσμα του MVDR έχει ευκρινέστερες κορυφές και χαμηλότερο όριο θορύβου.



(α)

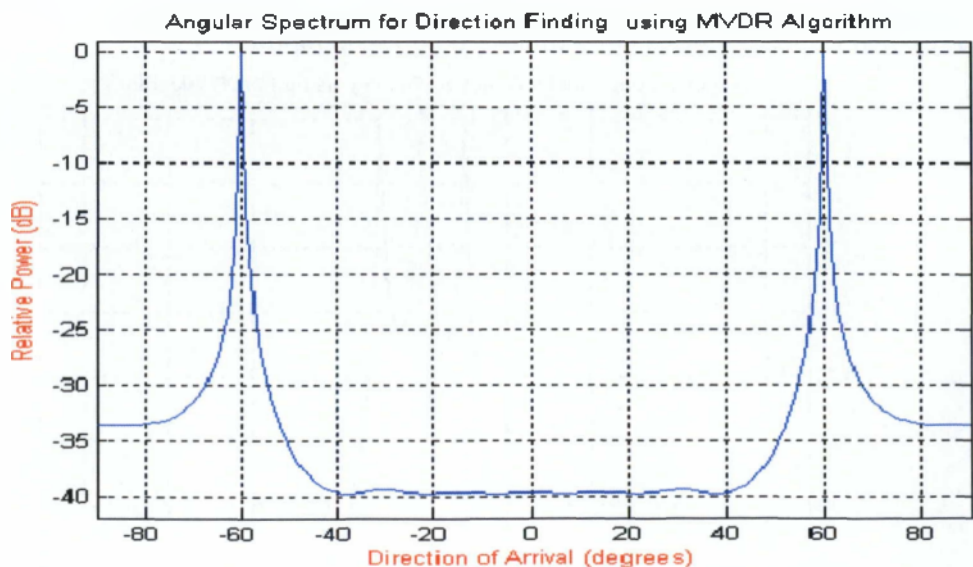


(β)

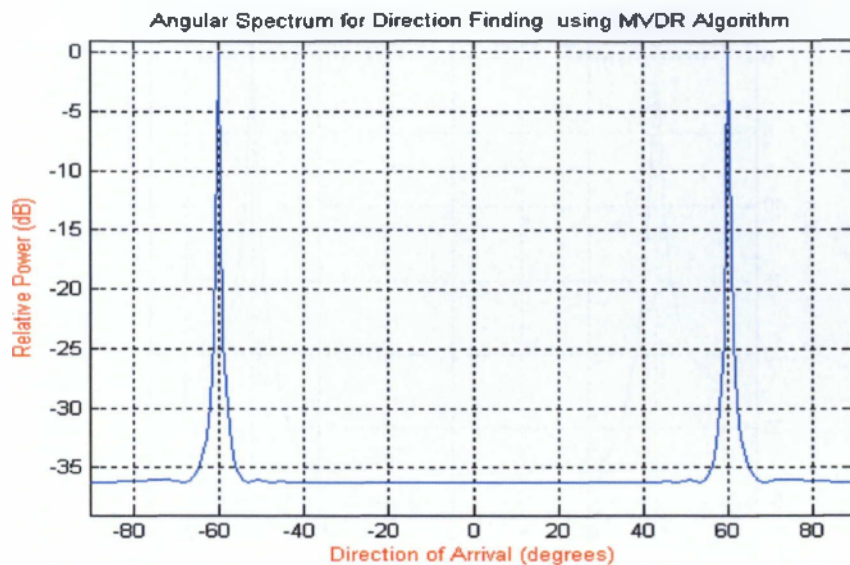
Σχήμα 4: Επίδραση του γωνιακού διαχωρισμού των χρηστών κινητής τηλεφωνίας σχετικά με το ραδιοφάσμα του MVDR όταν έχουμε: (α) γειτονικούς χρήστες, και (β) διαχωρισμένους χρήστες

3.3.3 Αριθμός στοιχείων στην συστοιχία αισθητήρων

Οι εικόνες 5(α) και 5(β) δείχνουν το γωνιακό φάσμα του MVDR χρησιμοποιώντας μια σειρά οκτώ στοιχείων ($N = 8$) και τριών στοιχείων του πίνακα ($N = 3$), αντίστοιχα. Είναι προφανές ότι η χρήση περισσότερων στοιχείων βελτιώνει την επίδοση του αλγορίθμου στην ανίχνευση των εισερχόμενων σημάτων. Αυτό επιτυγχάνεται, ωστόσο, εις βάρος της υπολογιστικής απόδοσης και της πολυπλοκότητας του υλικού της συστοιχίας αισθητήρων.



(α)

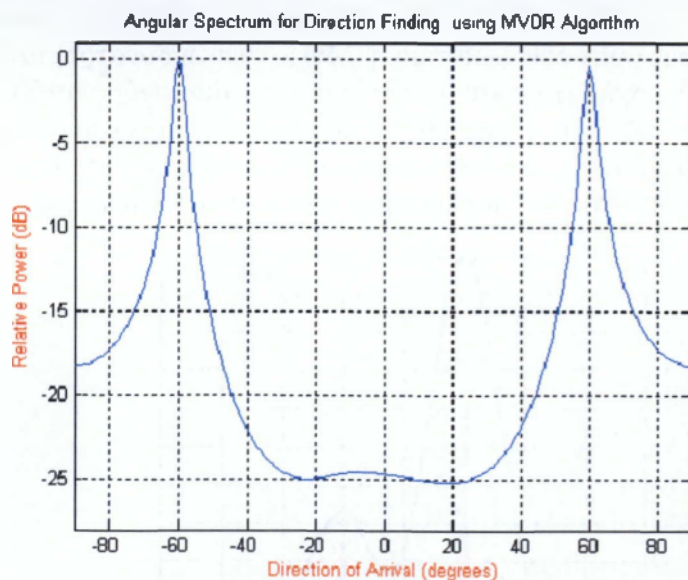


(β)

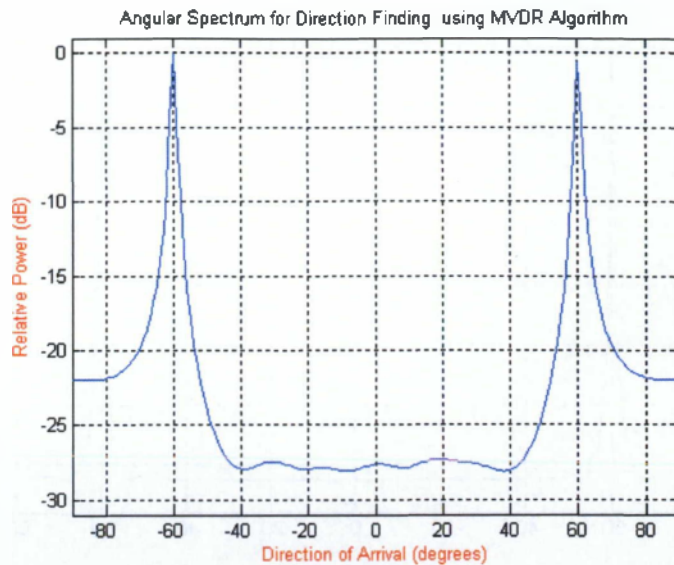
Σχήμα 5: Επίδραση του αριθμού N στοιχείων στη συστοιχία σχετικά με το γωνιακό ραδιοφάσμα του MVDR για : (α) $N = 8$ elements και (β) $N = 3$ στοιχεία.

3.3.4 Απόσταση των στοιχείων στην συστοιχία αισθητήρων

Οι εικόνες 6(α) και 6(β) δείχνουν το γωνιακό MVDR φάσμα για μια απόσταση στοιχείου $d = 0.25\lambda$ και $d = 0.5\lambda$ αντίστοιχα. Όταν τα στοιχεία του πίνακα αισθητήρων τοποθετούνται πολύ κοντά το ένα στο άλλο, τότε αμοιβαία φαινόμενα σύζευξης κυριαρχούν με αποτέλεσμα να έχουμε ανακρίβειες στις εκτιμώμενες γωνίες άφιξης, όπως φαίνεται στο σχήμα 6(α) για το οποίο $d = 0.25\lambda$. Επομένως επιβάλλεται να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό της συστοιχίας αισθητήρων. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, η απόσταση μεταξύ των στοιχείων του πίνακα αισθητήρων πρέπει να αυξηθεί με αποτέλεσμα την καλύτερη ανάλυση των εκτιμώμενων κορυφών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6 (β) για τις οποίες $d = 0.5\lambda$.



(α)



(β)

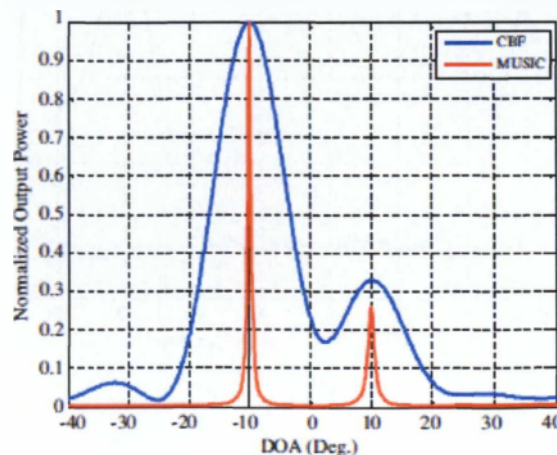
Σχήμα 6: Επίδραση της απόστασης d μεταξύ στοιχείων στο γωνιακό φάσμα του MVDR για: (α) $d = 0.25\lambda$, και (β) $d = 0.5\lambda$.

Φασματική μέθοδος εκτίμησης (Bartlett)

Ένας από τους πρώτους μεθόδους φασματικής ανάλυσης DOA είναι η μέθοδος Bartlett. Η ιδέα είναι να καθοδηγήσει τις δέσμες της κεραίας σε μία κατεύθυνση (χρησιμοποιώντας ένα διάνυσμα στάθμισης βάρους (w), το οποίο λειτουργεί σαν ένα χωρικό φίλτρο) υπολογίζοντας την ισχύ εξόδου. Οι κατευθύνσεις που έχουν ως αποτέλεσμα τη μέγιστη απόδοση παράγουν την εκτίμηση DOA.

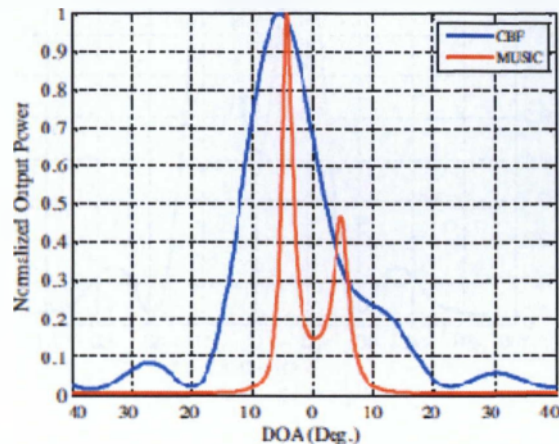
3.3.5 Σύγκριση μεταξύ Music και Bartlett

Όπως προαναφέρθηκε, η μέθοδος Bartlett δεν μπορεί να επιλύσει πηγές πιο κοντά από το εύρος δέσμης της συστοιχίας ωστόσο, η Music έχει τη δυνατότητα να επιλύσει πολύ κοντινές πηγές. Τα σχήματα 2 και 3 δείχνουν το φάσμα ισχύος του Bartlett και Music για $\Delta\theta = 20^\circ$ και $\Delta\theta = 10^\circ$, όπου $\Delta\theta$ αντιπροσωπεύει τη γωνιακή διαφορά μεταξύ δύο περιπτώσεων πηγών. Πιο συγκεκριμένα η το σχήμα 3 δείχνει ότι η Bartlett δεν μπορεί να επιλύσει δύο παρεμφερείς πηγές, ενώ η Music μπορεί.



Σχήμα 7:Κανονικοποιημένο φάσμα του Bartlett, και της Music για τις παραμέτρους:

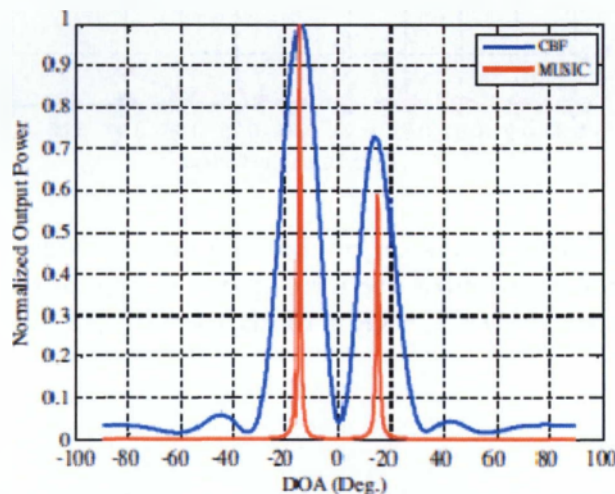
$M = 8, D = 2, SNR = 10\text{dB}, \rho = 0, \theta_1 = 10^\circ, \theta_2 = -10^\circ.$



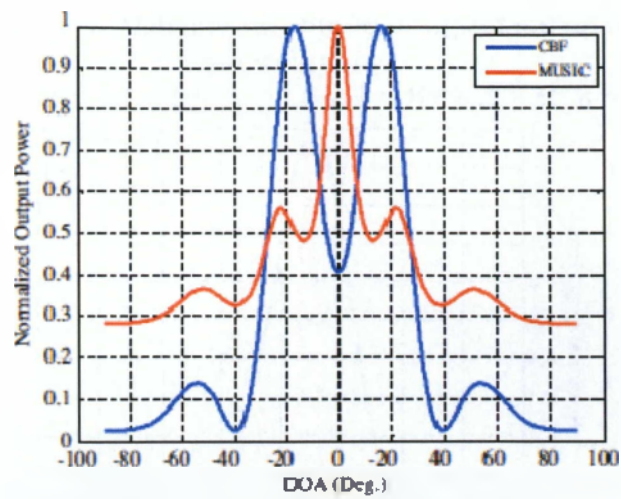
Σχήμα 8:Κανονικοποιημένο φάσμα του Bartlett, και της Music για τις παραμέτρους:

$M = 8, D = 2, SNR = 10\text{dB}, \rho = 0, \theta_1 = 5^\circ, \theta_2 = -5^\circ.$

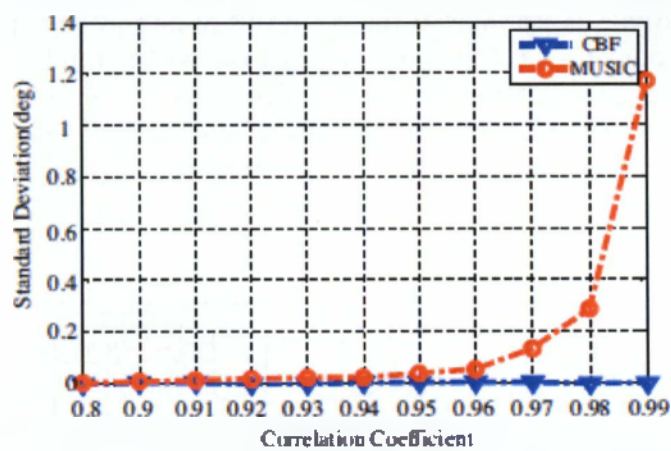
Παρά το ότι ο Bartlett έχει χαμηλή ανάλυση, αυτός ο αλγόριθμος δεν είναι ευαίσθητος σε κοντινές αποστάσεις πηγών σε αντίθεση με την υψηλή ευαισθησία του MUSIC. Τά σχήματα 4 και 5 εκφράζουν το φάσμα ισχύος του Bartlett και του MUSIC για δύο διαφορετικές συντελεστές συσχέτισης ($\rho = 0, \rho = 1$), και το σχήμα 6 συγκρίνει την απόκλιση του Bartlett και του MUSIC αλγόριθμου όσον αφορά τους διαφορετικούς συντελεστές συσχέτισης. Τα αποτελέσματα δείχνουν την ευρωστία του Bartlett σε συνεκτικές πηγές, ενώ η ανάλυση του MUSIC μειώνεται με την αύξηση του συντελεστή συσχέτισης.



Σχήμα 9: Κανονικοποιημένο φάσμα του Bartlett, και της Music για τις παραμέτρους: $M = 8, D = 2, SNR = 10\text{dB}, \rho = 0, \theta_1 = 15^\circ, \theta_2 = -15^\circ.$



Σχήμα 10:Κανονικοποιημένο φάσμα του Bartlett, και της Music για τις παραμέτρους: $M = 8, D = 2, SNR = 10\text{dB}, \rho = 1, \theta_1 = 15^\circ, \theta_2 = -15^\circ$.



Σχήμα 6. Τυπική απόκλιση του Bartlett και του Music σε σχέση με τον συντελεστή συσχέτισης για τις παραμέτρους:
 $- M = 8, D = 2, SNR = 10\text{ dB}, \theta_1 = 10^\circ, \theta_2 = -10^\circ$.

Συγκριτικοί πίνακες χαρακτηριστικών των αλγορίθμων εκτίμησης DOA

Όνομα μεθόδου DOA	Ιδιότητες	Σχόλια, σύγκριση και αναφορές
Bartlett method	Πολυπλοκότητα Ανάλυση Ευαισθησία Άνοιγμα	Bartlett > LP > MLM Εξαρτάται από το άνοιγμα της συστοιχίας Ανθεκτική σε σφάλματα της θέσης των στοιχείων της συστοιχίας Γενικό άνοιγμα

Σχήμα 7. Σύνοψη της απόδοσης της μεθόδου Bartlett.

Όνομα μεθόδου DOA	Ιδιότητες	Σχόλια, σύγκριση και αναφορές
MVDR method	Πολυπλοκότητα Διακύμανση Ανάλυση Άνοιγμα	Αμερόληπτη Ελάχιστη Μέθοδος MVDR > Bartlett Δεν έχει καλύτερη επίλυση από οποιαδήποτε μέθοδο Γενικό άνοιγμα

Σχήμα 8. Σύνοψη της απόδοσης της μεθόδου MVDR.

Όνομα μεθόδου DOA	Ιδιότητες	Σχόλια, σύγκριση και αναφορές
MEM method	<p>Πολυπλοκότητα</p> <p>Ανάλυση</p> <p>Άνοιγμα</p>	<p>Αμερόληπτη</p> <p>Μέθοδος ME > MVDR > Bartlett</p> <p>Μπορεί να επιλυθεί με χαμηλότερο SNR από την Bartlett</p>

Σχήμα 8. Σύνοψη της απόδοσης της μεθόδου MEM.

Όνομα μεθόδου DOA	Ιδιότητες	Σχόλια, σύγκριση και αναφορές
Linear prediction method	<p>Πολυπλοκότητα</p> <p>Ανάλυση</p> <p>Απόδοση</p>	<p>Αμερόληπτη</p> <p>Μέθοδος LP > MVDR > Bartlett > ME</p> <p>Μπορεί να επιλυθεί με χαμηλότερο SNR από την Bartlett</p> <p>Καλή σε συνθήκες χαμηλού SNR</p>

Σχήμα 9. Σύνοψη της απόδοσης της μεθόδου Linear prediction.

Όνομα μεθόδου DOA	Ιδιότητες	Σχόλια, σύγκριση και αναφορές
MLM method	Πολυπλοκότητα	Αμερόληπτη MLM<LP ,Bartlett, MUSIC Λιγότερη από MUSIC για μικρά δείγματα. Ασυμπτωτικά αποτελεσματική για τυχαία σήματα.
	Διακύμανση	Μη παραγωγική για πεπερασμένα δείγματα. Λιγότερο αποδοτική για ντετερμινιστικά σήματα από τυχαία σήματα Ασυμπτωτικά αποτελεσματική για ντετερμινιστικό σήμα με τη χρήση μεγάλης σε απόσταση συστοιχίας.
	Υπολογισμός	Εντατικός με μεγάλα δείγματα Ίδιος για ντετερμινιστικά και τυχαία σήματα για μεγάλες συστοιχίες.
	Απόδοση	Ισχύει για συσχετισμένες αφίξεις. Λειτουργεί με ένα δείγμα.

Σχήμα 10.Σύνοψη της απόδοσης της μεθόδου MLM

Όνομα μεθόδου DOA	Ιδιότητες	Σχόλια, σύγκριση και αναφορές
Element - Space MUSIC method	Πολυπλοκότητα	Προκατειλημμένη
	Διακύμανση	<p>Λιγότερη από την ESPRIT για μεγάλα δείγματα</p> <p>Κοντά στην MLM CLOSEST και FINE</p> <p>Η διακύμανση της σταθμισμένης MUSIC είναι κάτι περισσότερο από την αστάθμιστη MUSIC.</p> <p>Αποτελεσματική για τυχαία σήματα.</p>
	Ανάλυση	Εξαρτάται από την πολυπλοκότητα
	Υπολογισμός	Εντατικός
	Ευαισθησία	<p>Η βαθμονόμηση της συστοιχίας είναι κρίσιμης σημασίας, η ευαισθησία στο σφάλμα φάσης εξαρτάται περισσότερο από το μήκος της συστοιχίας παρά από τον αριθμό των στοιχείων και η προεπεξεργασία μπορεί να βελτιώσει την ανάλυση.</p> <p>Η σωστή εκτίμηση του αριθμού των πηγών είναι σημαντική.</p> <p>Η MSE εξαρτάται από το κέρδος και τη φάση των σφαλμάτων και είναι κατώτερη από εκείνη του ESPRIT.</p> <p>Αύξηση του κέρδους και της φάσης των σφαλμάτων πέραν κάποιας αξίας προκαλεί μια απότομη επιδείνωση της διακύμανσης.</p>

Σχήμα 11. Σύνοψη της απόδοσης της μεθόδου Element - Space MUSIC.

Όνομα μεθόδου DOA	Ιδιότητες	Σχόλια, σύγκριση και αναφορές
Beam - Space MUSIC method	<p>Πολυπλοκότητα</p> <p>Διακύμανση</p> <p>Σφάλμα RMS</p> <p>Ανάλυση</p> <p>Υπολογισμός</p> <p>Ευαισθησία</p>	<p>Μικρότερη από τον ES MUSIC</p> <p>Μεγαλύτερη από την ES MUSIC</p> <p>Λιγότερο από τον ESPRIT, min-norm method</p> <p>Παρόμοια με την min-norm, CLOSEST</p> <p>Καλύτερη από τον ES MUSIC.</p> <p>Το κατώτατο όριο SNR μειώνεται καθώς ο διαχωρισμός μεταξύ των πηγών αυξάνεται.</p> <p>Ανθεκτική σε σύγκριση με τον ES MUSIC</p>

Σχήμα 11. Σύνοψη της απόδοσης της μεθόδου **Beam - Space MUSIC**.

Όνομα μεθόδου DOA	Ιδιότητες	Σχόλια, σύγκριση και αναφορές
Root Music	<p>Διακύμανση</p> <p>Ανάλυση</p> <p>Σφάλμα RMS</p> <p>Συστοιχία</p>	<p>Μικρότερη από τον ESPRIT ,min-norm.</p> <p>Μεγαλύτερη από την BS MUSIC</p> <p>Μικρότερο από τον ESPRIT.</p> <p>Ισαπέχοντα στοιχεία</p>

	Απόδοση	Καλύτερη από τον φασματικό MUSIC.
--	---------	-----------------------------------

Σχήμα 12.Σύνοψη της απόδοσης της μεθόδου Root MUSIC.

Όνομα μεθόδου DOA	Ιδιότητες	Σχόλια, σύγκριση και αναφορές
Min-Norm method	Πολυπλοκότητα Ανάλυση	Μικρότερη από τον MUSIC Μεγαλύτερη από τον CLOSEST,ES MUSIC

Σχήμα 13.Σύνοψη της απόδοσης της μεθόδου Min-Norm.

Όνομα μεθόδου DOA	Ιδιότητες	Σχόλια, σύγκριση και αναφορές
	Διακύμανση Ανάλυση	Ίση με την ES MUSIC Ίση με την BS MUSIC Καλύτερη από την min-norm.

CLOSEST method	Απόδοση	Καλή σε καταστάσεις υψηλής συγκέντρωσης.
	Ευαισθησία	Η αύξηση στο κέρδος αισθητήρα και στο σφάλμα φάσης μετά από μια ορισμένη τιμή προκαλεί μια απότομη επιδείνωση στην πολυπλοκότητα και στην διακύμανση.

Σχήμα 14.Σύνοψη της απόδοσης της μεθόδου CLOSEST.

Όνομα μεθόδου DOA	Ιδιότητες	Σχόλια, σύγκριση και αναφορές
ESPRIT method	Πολυπλοκότητα	Προκατειλημμένη
	RMS σφάλμα	Μικρότερο από την min-norm
	Διακύμανση	Λιγότερη από την MUSIC για μεγάλα δείγματα και αυτή η διαφορά αυξάνει με αύξηση των στοιχείων αισθητήρων.
	Υπολογισμός	Μικρότερος από την MUSIC
	Συστοιχία	Χρειάζεται ζευγάρια αισθητήρων. Δέν χρειάζεται βαθμονόμηση.
	Απόδοση	Ο βέλτιστα σταθμισμένος ESPRIT είναι καλύτερος

	Ευαισθησία	από τον αδιαβάθμιστο. Ισχυρότερος από τον Music αλλά δεν μπορεί να διαχειριστεί συσχετισμένες πηγές. Το MSE είναι ανθεκτικό σε σφάλματα κέρδους αισθητήρων.
--	------------	---

Σχήμα 14.Σύνοψη της απόδοσης της μεθόδου ESPRIT.

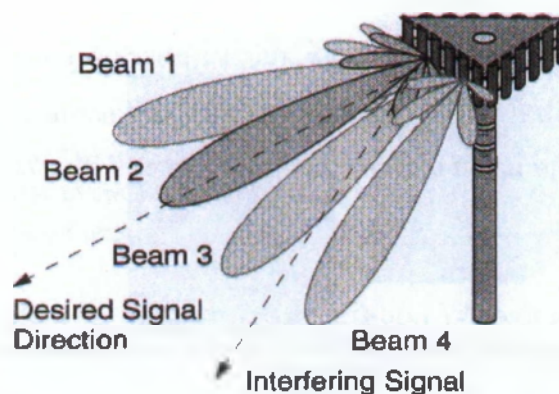
Όνομα μεθόδου DOA	Ιδιότητες	Σχόλια, σύγκριση και αναφορές
FINE method	<p>Πολυπλοκότητα</p> <p>Ανάλυση</p> <p>Διακύμανση</p> <p>Απόδοση</p>	<p>Μικρότερη από την MUSIC</p> <p>Καλύτερη από την min-norm και MUSIC.</p> <p>Μικρότερη από την min-norm.</p> <p>Καλή σε χαμηλό SNR.</p>

3.4 Υλοποιήσεις έξυπνων κεραιών

Όταν χρησιμοποιούμε στους σταθμούς βάσης ομοιοκατευθυντικές κεραιές για την εκπομπή σημάτων μόνο ένα μικρό μέρος της ενέργειας που εκπέμπουμε φτάνει στον επιθυμητό χρήστη, ενώ την ίδια στιγμή η υπόλοιπη ενέργεια θα πάει χαμένη και πιθανότατα θα προκαλέσει παρεμβολές σε άλλους χρήστες του δικτύου. Γίνεται λοιπόν εύκολα κατανοητό, ότι οι ζεύξεις με συμβατικές κεραιές είναι ανεπαρκείς, τόσο από πλευράς εκπεμπόμενης ισχύος, όσο και από πλευράς χωρητικότητας του δικτύου. Τα συστήματα έξυπνων κεραιών έχουν ακριβώς ως στόχο να ελαττώσουν την εκπεμπόμενη ισχύ προς κάθε κατεύθυνση και να προσδώσουν στη ζεύξη κατευθυντικότητα, ώστε να φτάσει στον επιθυμητό χρήστη η μέγιστη δυνατή ισχύς και στους υπόλοιπους χρήστες οι ελάχιστες δυνατές παρεμβολές.

Θα παρουσιαστούν στην συνέχεια οι διαφορετικές δομές δεκτών, για την κατασκευή έξυπνων κεραιών και θα αναλυθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που χαρακτηρίζουν αυτές τις κατασκευές .

3.4.1 Switched Beam



Σχήμα 3.4.1-1: Switched Beam υλοποίηση

Η προσέγγιση του προβλήματος με έξυπνες κεραιές μεταγωγής λοβών μπορεί να αποτελέσει το πρώτο βήμα για τη λύση του προβλήματος με πιο εξελιγμένες τεχνικές. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί έναν αριθμό από σταθερούς λοβούς ακτινοβολίας, στραμμένους σε διαφορετικές διευθύνσεις. Στην πιο απλή του μορφή ο αλγόριθμος αυτός επιλέγει για κάθε χρήστη της κυψέλης το λοβό που μεγιστοποιεί την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος του χρήστη.

Εκ πρώτης όψεως, ο αλγόριθμος μεταγωγής λοβών φαίνεται να δουλεύει καλά κυρίως σε περιπτώσεις που το σήμα λαμβάνεται από μια συγκεκριμένη γωνία άφιξης. Ακόμη όμως και στην περίπτωση που το σήμα εμφανίζει γωνιακή διασπορά, αν η εν λόγω γωνιακή διασπορά είναι μικρότερη από το γωνιακό εύρος κάθε λοβού ακτινοβολίας, τότε μπορούν να προκύψουν σημαντικά οφέλη από μία έξυπνη κεραιά μεταγωγής λοβών.

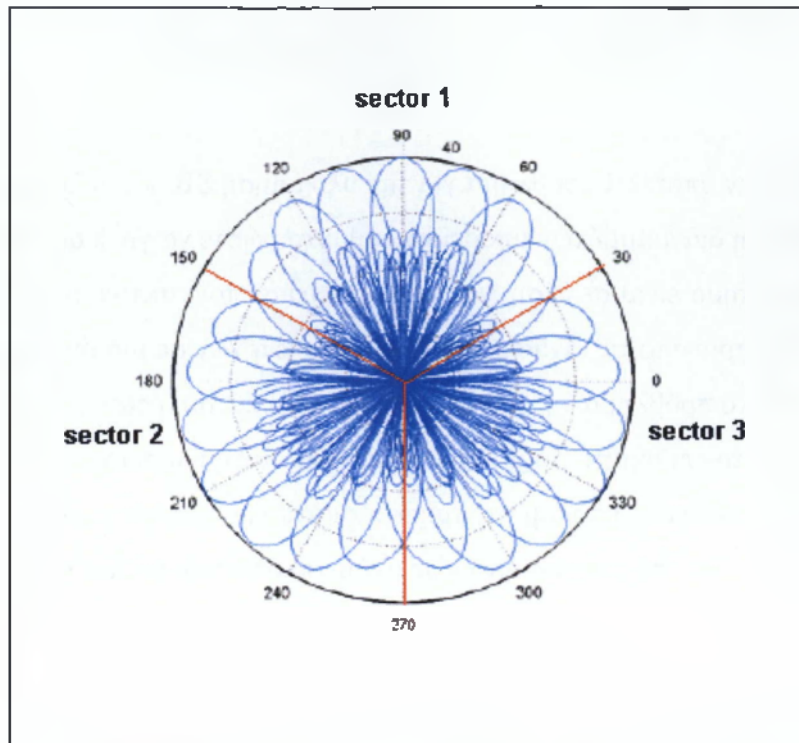
Με βάση τη θεωρία των γραμμικών στοιχειοκεραιών, μπορούμε να υπολογίσουμε το διάγραμμα ακτινοβολίας για κάθε λοβό. Έτσι, για να παραχθεί ο i λοβός ακτινοβολίας, ο οποίος θέλουμε να είναι στραμμένος στη γωνία ϕ_i , θα πρέπει τα βάρη της κεραιάς να δίνονται από την εξίσωση :

$$W_{m,i} = \exp(j \cdot k \cdot m \cdot d \cdot \cos \phi_i) \quad (3.4.1.1)$$

Το $W_{m,i}$ αφορά στο βάρος στο m -οστό στοιχείο της κεραιάς. Σαν αποτέλεσμα ο παράγοντα διάταξης της κεραιάς για τον i λοβό, προκύπτει από την ακόλουθη εξίσωση:

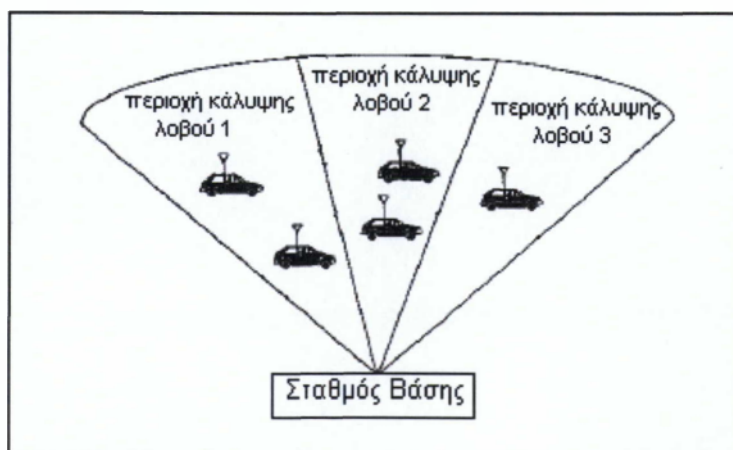
$$\sum_{m=0}^{M-1} W_{m,i} \cdot \exp(-j \cdot k \cdot m \cdot d \cdot \cos \phi) \quad (3.2.1.2)$$

Στην παραπάνω εξίσωση η γωνία ϕ παίρνει τιμές μέσα στο εύρος των 120 μοιρών ενός τομέα μιας κυψέλης. Με χρήση της εν λόγω εξίσωσης μπορούμε να δημιουργήσουμε μια σειρά από ανεξάρτητους μεταξύ τους λοβούς ακτινοβολίας όπως φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 3.4.1-2: Το διάγραμμα ακτινοβολίας 7 λοβών ανά τομέα 120° , που δημιουργούνται από γραμμική κεραία 8 στοιχείων

Η ιδέα της μεταγωγής λοβών γίνεται φανερή και από το σχήμα 3.4.1-3 της επόμενης σελίδας. Σε αυτό έχουμε την περίπτωση ενός τομέα 120° στον οποίο έχουμε τοποθετήσει μια έξυπνη κεραία με τρεις σταθερούς λοβούς ακτινοβολίας. Κάθε λοβός έχει εύρος 40° και εξυπηρετεί τους χρήστες που βρίσκονται εντός της περιοχής κάλυψής του. Αν υποθέσουμε ότι οι χρήστες είναι ομοιόμορφα καταναμημένοι στον τομέα, τότε θα πρέπει οι παρεμβολές να μειωθούν κατά ένα παράγοντα ίσο με τρία, σε σχέση με την περίπτωση που χρησιμοποιούσαμε μια συμβατική sector κεραία, η οποία θα εξέπεμπε με το ίδιο κέρδος στο αζιμουθιακό εύρος των 120° .



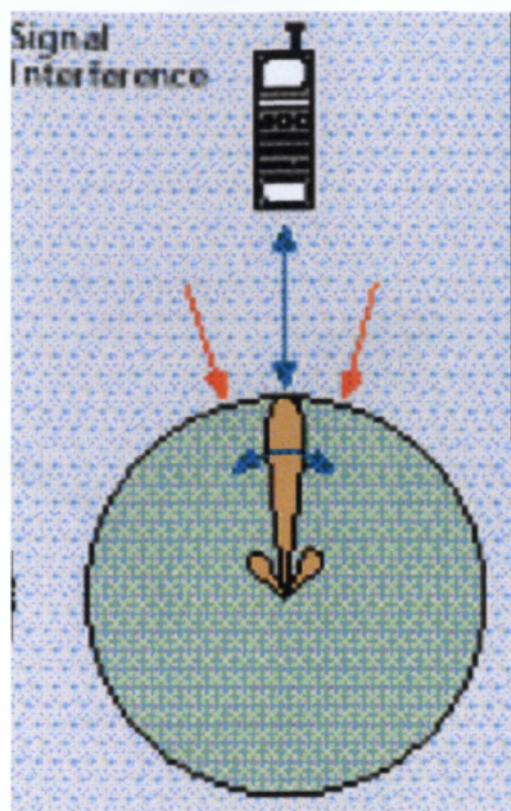
Σχήμα 3.4.1-3: Τομέας στον οποίο έχουμε τοποθετήσει σύστημα έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβών με τρεις δέσμες ακτινοβολίας

Η ταχύτητα δεν αποτελεί πρόβλημα για την υλοποίηση SB και ο λόγος είναι ότι γενικά, η επιλογή διαγραμμάτων μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να γίνει αρκετά γρήγορα. Δηλαδή το σύστημα είναι σε θέση να προσδιορίσει σε ποια ακτίνα ο συνδρομητής στόχων ανήκει, πριν από τις κινήσεις συνδρομητών στόχων σε μια διαφορετική ακτίνα. Το βασικό πρόβλημα της μεθόδου αυτής εντοπίζεται, όταν η παρεμβολή είναι ισχυρότερη από το επιθυμητό σήμα. Τότε η μέθοδος αυτή μπορεί να μην αποδώσει σωστά και να προκύψουν εσφαλμένα συμπεράσματα για την θέση του στόχου, οδηγώντας στην διακοπή της επικοινωνίας ανάμεσα στο σταθμό και στο χρήστη.

3.4.2 Phased array (PA)

Στην μέθοδο αυτή παράγεται μια ψηφιακή ακτίνα οι οποία στρέφεται προς το ισχυρότερο σήμα παρακολουθώντας τις κινήσεις του τερματικού σχήμα 3.3.2. Βασικό ρόλο παίζει το περιβάλλον και η κινητικότητα του χρήστη καθώς και η ταχύτητα με την οποία υπολογίζεται η εκάστοτε θέση του, σύμφωνα με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται.

Με την εισαγωγή ενός αλγορίθμου DoA (Direction of Arrival) για το λαμβανόμενο από τον χρήστη σήμα, μπορεί να επιτευχθεί συνεχής παρακολούθηση. Αυτό μπορεί να ιδωθεί σαν μια γενίκευση της έννοιας switched lobe. Σε αυτή την περίπτωση μεγιστοποιείται η λαμβανόμενη ισχύς.



Σχήμα 3.4.2: Phased array (μπλέ: επιθυμητό σήμα κόκκινο: παρεμβολές)

3.4.3 Adaptive arrays (AA)

Σε αυτή την περίπτωση προστίθεται ένας αλγόριθμος DoA (Direction of Arrival) για να υπολογιστεί η κατεύθυνση προς τις πηγές παρεμβολής. Το διάγραμμα ακτινοβολίας μπορεί να προσαρμοστεί για να αποκλείσει τις παρεμβολές—σχήμα 3.4.3. Επιπροσθέτως, με τη χρήση ειδικών αλγορίθμων και τεχνικών διαφορικότητας χώρου (SDMA), το διάγραμμα ακτινοβολίας μπορεί να προσαρμοστεί έτσι ώστε να λαμβάνει σήματα πολλαπλών διαδρομών που μπορούν να συνδυαστούν. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να μεγιστοποιήσουν τον λόγο σήματος προς παρεμβολή (Signal to Interference Ratio SIR) ή τον λόγο σήματος προς παρεμβολή και θόρυβο (Signal to Noise and Interference Ratio SINR).

Τα συμβατικά συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών συνήθως χρησιμοποιούν κάποιο είδος διαφορικότητας κεραίας (π.χ. διαφορικότητα χώρου ή πόλωσης). Οι προσαρμόσιμες κεραίες μπορούν να θεωρηθούν ως ένα πλάνο εκτεταμένης διαφορικότητας, καθώς έχουν πάνω από δύο παρακλάδια διαφορικότητας. Έτσι οι προσαρμόσιμες συστοιχίες (AAs) έχουν μεγαλύτερο περιθώριο κέρδους από τις κεραίες.



Σχήμα 3.4.3: Adaptive Array

Με τη βοήθεια προσαρμοστικών τεχνικών υπολογίζονται τα βέλτιστα βάρη της κεραίας ξεχωριστά για κάθε χρήστη μέσα στην κυψέλη. Ας υποθέσουμε ότι το λαμβανόμενο σήμα από κάθε στοιχείο της κεραίας την παρούσα χρονική στιγμή εκφράζεται μέσω του διανύσματος M συνιστωσών X_M , όπου M ο συνολικός αριθμός στοιχείων της κεραίας. Για να υπολογιστούν τα κατάλληλα βάρη της κεραίας, ώστε αυτά να χρησιμοποιηθούν την αμέσως επόμενη χρονική στιγμή $t+1$, θα πρέπει ένας αλγόριθμος να επιλύσει το πρόβλημα βελτιστοποίησης που ανακύπτει, έχοντας ως είσοδο το διάνυσμα X_M και ένα σήμα αναφοράς.

Υπάρχουν διάφορα κριτήρια επιλογής του αλγορίθμου που θα μας λύσει το πρόβλημα βελτιστοποίησης. Ενδεικτικά αναφέρουμε τα κριτήρια “Ελάχιστου Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος” (Minimum Mean Square Error), “Μέγιστου Σηματοθορυβικού Λόγου” (Maximum SINR), “Ελάχιστης Διακύμανσης Θορύβου” (Minimum Noise Variance), κ.α. Μπορεί ναδειχτεί ότι όλα τα παραπάνω κριτήρια συνδέονται στενά μεταξύ τους, με αποτέλεσμα η επιλογή ενός από αυτά να μη διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην απόδοση του συστήματος. Όμως, η επιλογή του κατάλληλου “προσαρμοστικού αλγορίθμου” (adaptive algorithm) είναι μείζονος

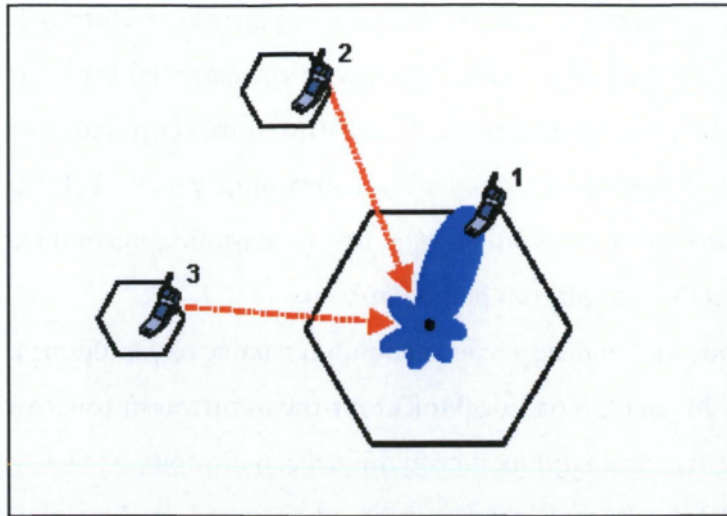
σημασίας. Κάθε αλγόριθμος επιφέρει διαφορετική πολυπλοκότητα στο σταθμό βάσης, ενώ διαφορετική είναι και η ταχύτητα με την οποία κάθε αλγόριθμος συγκλίνει στη λύση του προβλήματος. Η ταχύτητα αυτή εξαρτάται τόσο από την σχεδίαση του συστήματος (π.χ. διάρκεια χρονοσχιμής για ένα TDMA σύστημα), όσο και από το ασύρματο περιβάλλον (ταχύτητα κινητού τερματικού και ταχύτητα με την οποία αλλάζει το προφίλ του ραδιοδιαύλου).

Ανάμεσα στους πιο διαδεδομένους προσαρμοστικούς αλγορίθμους είναι ο SMI (Sample Matrix Inverse), ο οποίος βασίζεται στην αντιστροφή του πίνακα αυτοσυσχέτισης R_{xx} του λαμβανόμενου σήματος, ο αλγόριθμος “Ελαχίστων Μέσων Τετραγώνων” LMS (Least Mean Squares), ο κανονικοποιημένος αλγόριθμος LMS και ο “Αναδρομικός Αλγόριθμος Ελαχίστων Τετραγώνων” RLS (Recursive Least Squares). Ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα των προσαρμοστικών μεθόδων είναι ότι καταλήγουν σε ένα αποτέλεσμα που μεγιστοποιεί το σηματοθορυβικό λόγο SINR.

Από την άλλη μεριά, οι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι έχουν να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα του αυξημένου υπολογιστικού φόρτου. Παρακάτω κρίνουμε σκόπιμο να αναφερθούμε σε ορισμένες τεχνικές που υιοθετούνται συχνά μαζί με την χρησιμοποίηση των ευφυών κεραιών.

3.4.4 Διαφορετικές υλοποιήσεις δικτύου που χρησιμοποιεί έξυπνες κεραιές

Όταν κάνουμε χρήση έξυπνων κεραιών προκύπτουν δύο βασικές υλοποιήσεις για το δίκτυο. Η πρώτη υλοποίηση ονομάζεται “Φιλτράρισμα στο Χώρο για Μείωση των Παρεμβολών” (Spatial Filtering for Interference Reduction, SFIR). Ο βασικός στόχος της μεθόδου SFIR είναι ελάττωση των διακυψελικών παρεμβολών, ώστε να πετύχουμε όσο το δυνατόν χαμηλότερο συντελεστή επαναχρησιμοποίησης συχνότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με το να υποστηρίζουμε ένα χρήστη σε κάθε ομοδιαυλική κυψέλη με το λοβό ακτινοβολίας μιας έξυπνης κεραιάς και κατά αυτόν τον τρόπο να ελαττώσουμε τις παρεμβολές. Η ιδέα της τεχνικής SFIR φαίνεται στο σχήμα 3.4.4-1.

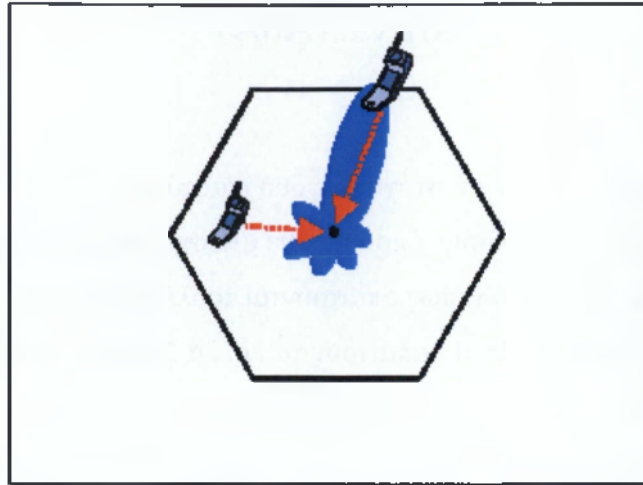


Σχήμα 3.4.4-1: Ελάττωση των ομοδιαυλικών παρεμβολών μέσω της τεχνικής SFIR

Στο παραπάνω σχήμα, η κεντρική κυψέλη υποστηρίζει το χρήστη 1 και μηδενίζει “χωρικά” τους χρήστες 2 και 3, οι οποίοι εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα f_k και στην ίδια χρονοσχισμή t_k με το χρήστη 1.

Ανάμεσα στα θετικά της μεθόδου SFIR, είναι ότι δεν απαιτούνται σημαντικές αλλαγές στις ασύρματες διεπαφές, αλλά ούτε και στη διαχείριση των ασυρμάτων πόρων. Από την άλλη μεριά όμως, για να μπορεί κάποιος να εκμεταλλευτεί πλήρως μια SFIR υλοποίηση, απαιτείται η εφαρμογή της μεθόδου σε μεγάλο μέρος του δικτύου. Επίσης, για την ορθή λειτουργία της μεθόδου είναι αναγκαία μια ευφυής ενδοκυψελική διαπομπή.

Η δεύτερη υλοποίηση δικτύου ονομάζεται “Πολλαπλή Πρόσβαση με Διάρθρωση Χώρου” (Space Division Multiple Access, SDMA). Σύμφωνα με τη μέθοδο SDMA, μια προσαρμοστική κεραία δίνει την ευκαιρία σε πολλαπλούς χρήστες εντός της ίδιας κυψέλης να επικοινωνούν με τον σταθμό βάσης χρησιμοποιώντας τους ίδιους ασύρματους πόρους την ίδια χρονική στιγμή. Με άλλα λόγια, μπορούν δύο χρήστες να εκπέμπουν ταυτόχρονα στο ίδιο φάσμα και στην ίδια χρονοσχισμή. Η εφαρμογή της SDMA φαίνεται στο σχήμα 3.4.4-2 που ακολουθεί.



Σχήμα 3.4.4-2: Δύο ομοδιαυλικοί χρήστες εκπέμπουν την ίδια χρονική στιγμή με τη βοήθεια της μεθόδου SDMA

Το μεγάλο πλεονέκτημα της SDMA είναι ότι, σε αντίθεση με τη μέθοδο SFIR, η συγκεκριμένη υλοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί τοπικά για να αυξήσει τη χωρητικότητα μιας κυψέλης. Δεν υπάρχει δηλαδή η ανάγκη για εφαρμογή της μεθόδου σε μεγάλο μέρος του δικτύου, ώστε να εκμεταλλευτούμε το κέρδος σε χωρητικότητα που η SDMA προσδίδει. Ένα από τα μειονεκτήματα της SDMA είναι ότι απαιτείται κάποιος επιπλέον διαχωρισμός μεταξύ των χρηστών της κυψέλης, για να είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε σε ποιον χρήστη ανήκει το λαμβανόμενο σήμα. Επίσης, η SDMA προϋποθέτει πιο πολύπλοκη διαχείριση ασύρματων πόρων, σε σχέση πάντα με τη μέθοδο SFIR.

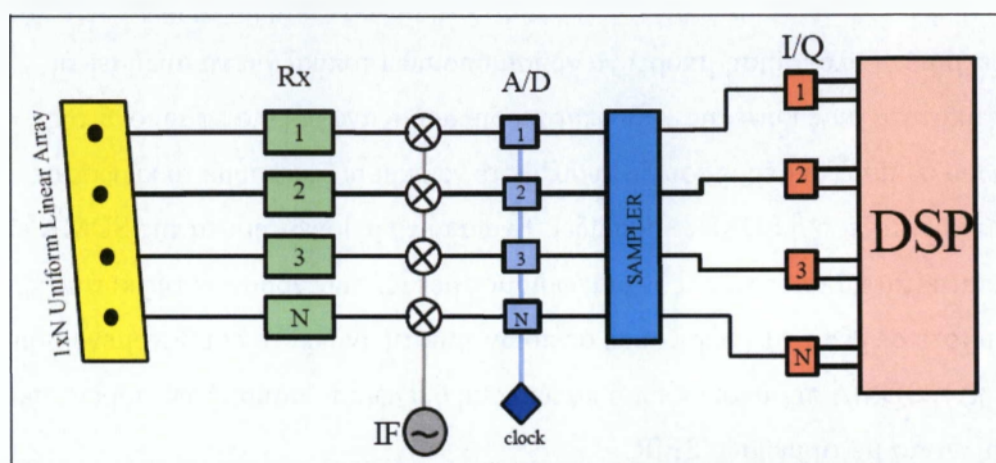
Συμπεράσματα

Οι τρεις προαναφερθείσες μέθοδοι (SL, PA και AA) διαφέρουν σε πολυπλοκότητα και υπολογιστικό φορτίο. Σε γενικές γραμμές η SL είναι λιγότερο πολύπλοκη από την PA, η οποία με τη σειρά της είναι λιγότερο πολύπλοκη από την AA. Οι συνθήκες που επηρεάζουν είναι, για παράδειγμα, η απαραίτητη ακρίβεια και η επίδοση σε όρους ισχύος ή C/I κέρδους. Επίσης υπάρχει διαφορά και ανάλογα με τη μέθοδο πρόσβασης στον ραδιοδιάυλο (TDMA ή CDMA).

3.5 Η μέθοδος Angle of Arrival (AoA)

3.5.1 Υλοποίηση

Η κατεύθυνση του επιθυμητού στόχου σε δύο διαστάσεις (2D) μπορεί να βρεθεί από την τομή δύο γραμμών βάσης, όπου η κάθε μία σχηματίζεται ακτινωτά από έναν OP (δέκτη) προς το στόχο (συνεπώς απαιτούνται τουλάχιστον δύο OP's). Για να δοθεί μία πολύ ακριβής τοποθεσία απαιτούνται πολλά ζευγάρια σταθμών βάσης και πολύ κατευθυντικές ακτίνες. Το σχηματικό διάγραμμα ενός σταθμού παρατήρησης AoA φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί. Αποτελείται από τρία κύρια μέρη : τη στοιχειοκεραία φάσης, το RF/IF μέρος και την DSP όπου εκεί βρίσκεται ο αλγόριθμος εκτίμησης κατεύθυνσης.



Σχήμα 3.5.1: Σχηματικό διάγραμμα ενός σταθμού παρατήρησης AoA

Η πιο ευθύς προσέγγιση για την εκτίμηση AoA είναι η παρεμβολομετρία φάσης (phase interferometry). Ένα παρεμβολόμετρο φάσης μετράει ευθέως τη διαφορά φάσης μεταξύ των σημάτων που λαμβάνονται σε πολλαπλά ζευγάρια στοιχείων της κεραίας και τη μετατρέπει σε μία εκτίμηση AoA. Αυτή η προσέγγιση λειτουργεί αρκετά καλά για υψηλό SNR, αλλά θα αποτύχει για δυνατή διασυμβολική παρεμβολή και/ή για διάδοση πολλαπλών διαδρομών.

Η δεύτερη μέθοδος εκτίμησης AoA είναι ο σχηματισμός ακτινών. Για σήματα ραδιοσυχνότητας, η AoA υλοποιείται με ηλεκτρονική (ή μηχανική) στρέψη του κυρίως λοβού μιας προσαρμόσιμης στοιχειοκεραίας φάσης προς την κατεύθυνση του εισερχόμενου κινητού σήματος. Τυπικά, δύο στοιχειοκεραίες τοποθετημένες κοντά η μία με την άλλη χρησιμοποιούνται για να προσεγγιστεί η ακριβής κατεύθυνση της κορυφής της εισερχόμενης ενέργειας ώστε να αποδοθεί υψηλότερης ανάλυσης

μέτρηση. Η ισχύς εξόδου του σχηματιστή ακτινών μετράται ενώ στρέφεται η κύρια ακτίνα της στοιχειοκεραίας πάνω στο γωνιακό πεδίο που ενδιαφερόμαστε. Αυτό παράγει μία ισχύ διανομής ενάντια στην ΑοΑ. Αυτή η μέθοδος υποφέρει σημαντικά από διάδοση πολλαπλών διαδρομών.

Μέθοδοι που δουλεύουν καλά σε διάδοση πολλαπλών διαδρομών μπορούν να προέλθουν χρησιμοποιώντας το ML (maximum likelihood) πλαίσιο. Σε περιβάλλοντα πολλαπλών διαδρομών η ML θα εκτιμήσει την ΑοΑ της κάθε διαδρομής. Ωστόσο, η εφαρμογή τέτοιων μεθόδων απαιτεί σύνθετη και πολυδιάστατη αναζήτηση. Ο βαθμός της πολυδιάστατης αυτής αναζήτησης είναι ίσος με τον συνολικό αριθμό των διαδρομών που ακολουθούν όλα τα εισερχόμενα σήματα. Αυτή η αναζήτηση είναι ακόμα πιο πολύπλοκη διότι ο αριθμός των διαδρομών δεν είναι γνωστός από πριν αλλά πρέπει να εκτιμηθεί.

Άλλη κλάση μεθόδων που δουλεύει καλά σε διάδοση πολλαπλών διαδρομών μπορεί να προκύψει συνθέτοντας χωρική εξομάλυνση με αλγόριθμους υποδιαστήματος (π.χ. MUSIC, ESPRIT). Γενικά αυτές οι μέθοδοι αποτυγχάνουν σε διάδοση πολλαπλών διαδρομών αλλά η χρησιμοποίηση ενός χωρικά εξομαλυσμένου πίνακα συνδιασποράς στη θέση του αντίστοιχου συμβατικού τους επιτρέπει να εφαρμοστούν με επιτυχία. Οι διαφορετικοί αλγόριθμοι επιδεικνύουν διαφορετικούς συνδυασμούς μεταξύ ανάλυσης, σταθερότητας και υπολογιστικής πολυπλοκότητας.

3.5.2 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Το πλεονέκτημα της μεθόδου ΑοΑ είναι ότι χρειάζονται μόλις μόνο δύο δέκτες για να εντοπισθεί ένας στόχος (εκτός και αν οι δύο δέκτες και ο στόχος βρίσκονται σε μια ευθεία) και ότι δεν χρειάζεται να υπάρξει συγχρονισμός μεταξύ των δεκτών.

Τα μειονεκτήματα είναι ότι απαιτεί σχετικά μεγάλο και πολύπλοκο υλικό και ότι η εκτίμηση θέσης υποβαθμίζεται καθώς η απόσταση μεταξύ του στόχου και του δέκτη αυξάνεται. Παρακάτω παρατίθενται μερικές ακόμα παρατηρήσεις :

- i. Ο Rx χρειάζεται ρύθμιση για θερμοκρασία και mismatches
- ii. Οι ΑοΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συστήματα ευρείας ζώνης για την ανοσία στη διάδοση πολλαπλών διαδρομών
- iii. Δύο κοντινά τοποθετημένες στοιχειοκεραίες χρησιμοποιούνται για να προσεγγιστεί η ακριβής κατεύθυνση της κορυφής της ισχύος του εισερχόμενου σήματος δίνοντας υψηλότερη ανάλυση

- iv. Τα AoA στοιχεία της στοιχειοκεραίας θα πρέπει να τοποθετούνται σε απόσταση $\lambda/2$ το ένα με το άλλο σε μοναδική συχνότητα
- v. Η γωνιακή ανάλυση είναι ανάλογη του $1/L$ όπου L είναι το άνοιγμα της στοιχειοκεραίας
- vi. Η ακρίβεια εξαρτάται από τον SNR, το χρόνο ολοκλήρωσης, τον αριθμό των κεραίων, τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται, το υλικό και τη ρύθμιση της στοιχειοκεραίας
- vii. Τα AoA στενής ζώνης εξαρτώνται από το εύρος ζώνης σήματος, τα στοιχεία της κεραίας και το υλικό του Rx

3.6 Συνέπειες – Αποτελέσματα

Η εισαγωγή των ευφών κεραιών έχει ένα μεγάλο αντίκτυπο στην απόδοση των κυψελοειδών δικτύων. Επηρεάζει επίσης πολλούς τομείς, τόσο του σχεδιασμού όσο και της ανάπτυξης των συστημάτων κινητών επικοινωνιών.

3.6.1 Βελτιώσεις και κέρδη

Στη συγκεκριμένη παράγραφο θα αναφερθούμε με συνοπτικό τρόπο σε όλα όσα μπορούμε να αποκομίσουμε από ένα σύστημα έξυπνων κεραιών. Η ανάλυσή μας ξεκινάει από την αύξηση της ραδιοκάλυψης και συνεχίζει με θέματα που αφορούν την αύξηση της χωρητικότητας και τη βελτίωση της ποιότητας υπηρεσίας.

3.6.1.1 Επέκταση της ραδιοκάλυψης

Ένα από τα βασικά οφέλη που μπορούν να προκύψουν από τη χρήση των έξυπνων κεραιών είναι η αύξηση της ακτίνας ραδιοκάλυψης της κυψέλης. Η ισχύς δεν εκπέμπεται πλέον προς κάθε κατεύθυνση εντός της περιοχής κάλυψης της κυψέλης, αλλά η εκπομπή γίνεται με κατευθυντικό τρόπο, ώστε να ταιριάζει στις ιδιαίτερες ανάγκες της ζεύξης κάθε χρήστη. Μπορεί να αποδειχτεί ότι μια έξυπνη κεραία με N τον αριθμό στοιχεία αυξάνει το σηματοθορυβικό λόγο SNR (με παρουσία λευκού προσθετικού θορύβου τύπου Gauss) κατά ένα παράγοντα περίπου ίσο με :

$$G \approx 10 \cdot \log_{10}(N) \quad (3.6.1.1-1)$$

Το επιπλέον κέρδος G έχει ως άμεση συνέπεια την αύξηση των απωλειών διάδοσης που μπορούμε να ανεχτούμε για αποδεκτή ποιότητα υπηρεσίας, με αποτέλεσμα και την αύξηση της ακτίνας ραδιοκάλυψης. Αν υποθέσουμε μικρή γωνιακή διασπορά σήματος (δηλαδή ότι κάθε συνιστώσα σήματος συλλαμβάνεται από την κεραία) και

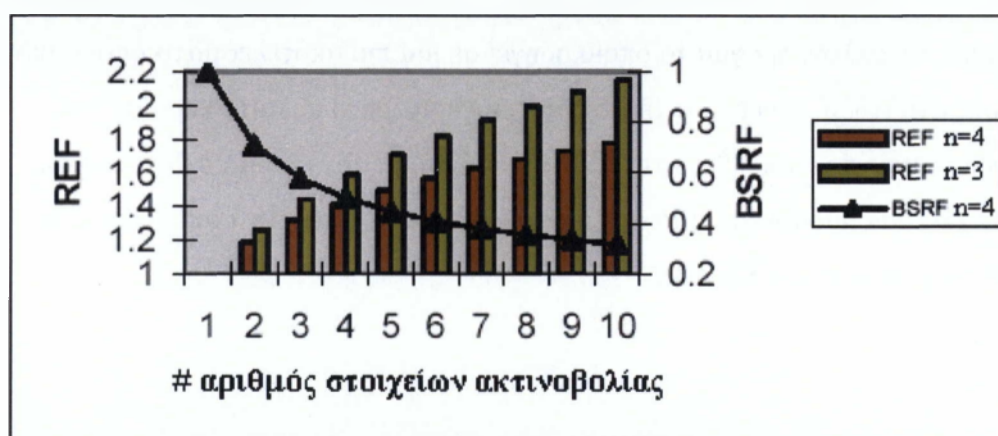
συντελεστή απωλειών διάδοσης ίσο με n , τότε ο “συντελεστής αύξησης της ραδιοκάλυψης” (Range Extension Factor, REF) υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$REF = \frac{R_2}{R_1} = N^{1/n} \quad (3.6.1.1-2)$$

R_1 και R_2 είναι οι ακτίνες ραδιοκάλυψης στην περίπτωση κεραίας με ένα στοιχείο ακτινοβολίας και με N στοιχεία ακτινοβολίας αντίστοιχα.

Ο συντελεστής βελτίωσης σε επίπεδο περιοχής μας δίνεται από το τετράγωνο της ποσότητας REF, ενώ το αντίστροφο του συντελεστή βελτίωσης περιοχής μας δίνει το “συντελεστή ελάττωσης σταθμών βάσης”, οι οποίοι απαιτούνται για την εξυπηρέτηση της ίδιας περιοχής (Base Station Reduction Factor, BSRF). Αν δηλαδή προς κάλυψη μιας περιοχής χρειαζόμασταν K σταθμούς βάσης με συμβατικές κεραίες, τώρα χρειαζόμαστε $K/(REF)^2 = K \cdot BSRF$ σταθμούς βάσης με έξυπνες κεραίες.

Στο σχήμα 3.6.1.1 βλέπουμε πως μεταβάλλεται ο συντελεστής αύξησης της ραδιοκάλυψης, REF, σε συνάρτηση με τον αριθμό των στοιχείων ακτινοβολίας της έξυπνης κεραίας, για $n=3$ και $n=4$. Επίσης, στο ίδιο σχήμα παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή ελάττωσης σταθμών βάσης, BSRF, σε συνάρτηση με τον αριθμό των στοιχείων ακτινοβολίας, για $n=4$.



Σχήμα 3.6.1.1: Αύξηση της ραδιοκάλυψης με τη βοήθεια των έξυπνων κεραίων [2]

Το σχήμα 3.6.1.1 δείχνει ότι με χρήση έξυπνης κεραίας 8 στοιχείων και συντελεστή απωλειών διάδοσης ίσο με 3 μπορούμε να διπλασιάσουμε τη ραδιοκάλυψη και κατά συνέπεια να τετραπλασιάσουμε την περιοχή κάλυψης, ή να ελαττώσουμε τον αριθμό των αναγκαίων σταθμών βάσης στο ένα τέταρτο σε σχέση με την περίπτωση που κάνουμε χρήση συμβατικών κεραίων.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η αύξηση της ραδιοκάλυψης δεν αποτελεί ένα επιθυμητό στόχο. Το επιπλέον όμως κέρδος που προσδίδουν οι έξυπνες κεραιές μπορεί να χρησιμοποιηθεί ούτως ώστε να ελαττωθεί η εκπεμπόμενη ισχύς από τα κινητά τερματικά. Κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο, αφού έτσι θα διαρκεί περισσότερο η μπαταρία του κινητού. Αν καταφέρουμε να εκμεταλλευτούμε το παραπάνω γεγονός σε πλήρη έκταση, θα μπορέσουμε να οδηγηθούμε μελλοντικά σε συσκευές με μικρότερο μέγεθος, μιας και θα μειωθούν οι απαιτήσεις μας σε μπαταρία.

Το επιπλέον κέρδος που προσδίδουν οι έξυπνες κεραιές μπορούμε να το εκμεταλλευτούμε στο άλλο άκρο, δηλαδή στο σταθμό βάσης. Ο κάθε ενισχυτής στο σταθμό βάσης είναι σε θέση να ελαττώσει την ισχύ κατά ένα παράγοντα ίσο με N^2 , κάτι που θα οδηγήσει σε συνολική μείωση της εκπεμπόμενης ισχύς από το σταθμό βάσης κατά N^{-1} (N^2 ο κάθε ενισχυτής επί N ενισχυτές για κάθε στοιχείο ακτινοβολίας της κεραιάς).

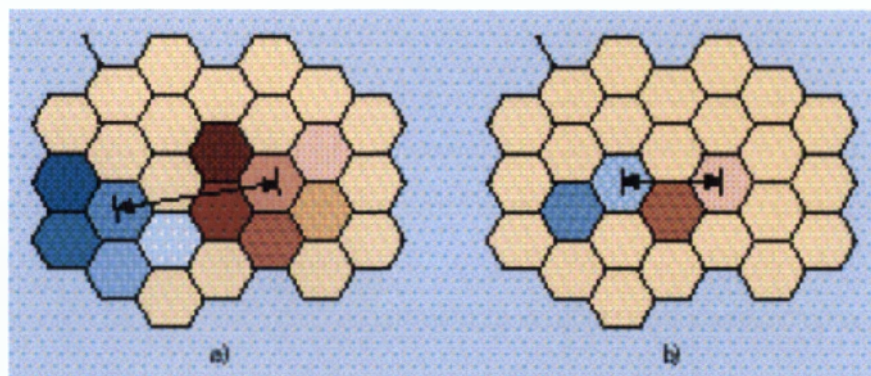
Σε αραιοκατοικημένες περιοχές η ραδιοκάλυψη είναι πιο σημαντική από την χωρητικότητα για την απόφαση της ανάπτυξης ενός σταθμού βάσης. Η αύξηση της εμβέλειας πραγματοποιείται λόγω του ότι οι ευφυείς κεραιές είναι περισσότερο κατευθυντικές από τις παραδοσιακές τμηματοποιημένες ή πολυκατευθυντικές κεραιές. Αυτό σημαίνει ότι οι σταθμοί βάσης μπορούν να τοποθετηθούν πιο μακριά ο ένας από τον άλλον, πράγμα το οποίο οδηγεί σε μια πιο αποτελεσματική από άποψη κέρδους ανάπτυξη. Το κέρδος της κεραιάς συγκρινόμενο με αυτό κεραιάς ενός στοιχείου μπορεί να αυξηθεί κατά έναν αριθμό ίσο με τον αριθμό στοιχείων της συστοιχίας, για παράδειγμα μια συστοιχία 8 στοιχείων μπορεί να αποδώσει ένα κέρδος της τάξεως του 8 (9dB).

3.6.1.2 Αύξηση χωρητικότητας

Ο κυρίαρχος λόγος του αυξανόμενου ενδιαφέροντος για τις ευφυείς κεραιές είναι η αύξηση της χωρητικότητας. Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές η κύρια πηγή θορύβου στο σύστημα είναι οι παρεμβολές από άλλους χρήστες. Αυτό σημαίνει ότι ο λόγος

σήματος προς παρεμβολή (SIR) είναι πολύ μεγαλύτερος από τον λόγο σήματος προς θερμικό θόρυβο (SNR). Οι ευφυείς κεραιές θα αυξάνουν τον SIR, καθώς ταυτόχρονα θα αυξάνουν το επίπεδο του χρήσιμου λαμβανόμενου σήματος και θα μειώνουν το επίπεδο της παρεμβολής. Ειδικά η προσαρμοζόμενη συστοιχία(AA) παρέχει σημαντική βελτίωση. Πειραματικά αποτελέσματα αναφέρουν μια αύξηση 10dB κατά μέσο όρο σε αστικές περιοχές.

Σε TDMA συστήματα η επίπτωση του αυξημένου SIR είναι η πιθανότητα μειωμένης απόστασης επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται στο σχήμα όπου η παραδοσιακή ομάδα των 7 κυψελών ελαττώθηκε σε μία ομάδα των 3 κυψελών. Αυτό οδηγεί σε μία αύξηση της χωρητικότητας της τάξης των 7/3 καθώς όλες οι κυψέλες μπορούν να δεχθούν αυτής της τάξης περισσότερα φέροντα.



Σχήμα 3.6.1.2 Παράδειγμα μειωμένης απόστασης επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων.

Τα CDMA συστήματα όπως το UMTS είναι περισσότερο εξαρτημένα από την παρεμβολή σε σχέση με τα TDMA συστήματα. Η κυρίαρχη πηγή θορύβου στο σύστημα είναι η παρεμβολή από άλλους χρήστες λόγω της μη ιδανικής ορθογωνικότητας των κωδικών διάδοσης. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της χωρητικότητας είναι ακόμα μεγαλύτερη για ένα CDMA σύστημα από ότι για ένα TDMA. Έχει αναφερθεί μια αύξηση της χωρητικότητας της τάξεως του 500% για το CDMA.

Ως έχουμε αναφέρει, με τις συμβατικές κεραιές μόνο ένα μικρό μέρος της ενέργειας εκπομπής φτάνει στον επιθυμητό χρήστη, ενώ το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ενέργειας θα προκαλέσει παρεμβολές στους υπόλοιπους χρήστες του δικτύου. Στην κάτω ζεύξη, η κατευθυντικότητα που προσδίδουν οι έξυπνες κεραιές μπορεί να ελαττώσει τα επίπεδα των παρεμβολών σε ομοδιαυλικούς χρήστες. Ομοίως στην άνω ζεύξη, ένας κατευθυντικός λοβός μιας έξυπνης κεραιάς λαμβάνει λιγότερες

παρεμβολές από ομοδιαυλικούς χρήστες εξαιτίας του στενού γωνιακού του εύρους. Έτσι, το φιλτράρισμα στο πεδίο του χώρου που παρέχουν οι έξυπνες κεραιές είναι ιδιαίτερος επιθυμητό για συστήματα CDMA, αφού σε αυτά οι χρήστες μοιράζονται το ίδιο εύρος ζώνης με αποτέλεσμα να εμφανίζεται ένας μεγάλος αριθμός από παρεμβολείς.

Στο σύστημα τρίτης γενιάς WCDMA η χωρητικότητα ενός WCDMA δικτύου περιορίζεται από την ποσότητα της συνολικά λαμβανόμενης ισχύος από τους σταθμούς βάσης, δηλαδή δεν υπάρχει κάποιος τεχνικός περιορισμός στην χωρητικότητα όπως τα διαθέσιμα κανάλια, αλλά αυτή εξαρτάται μονάχα από τις παρεμβολές. Στα συστήματα CDMA πρώτης γενιάς (τα οποία προσέφεραν μόνο φωνητικές υπηρεσίες) υπήρχαν 6 με 10 παρεμβολείς στην κάτω ζεύξη και πολλοί περισσότεροι (αδύναμοι λόγω του κέρδους επεξεργασίας) παρεμβολείς στην άνω ζεύξη. Όμως στο WCDMA η παρεμβολή δεν μπορεί να θεωρηθεί ομοιόμορφα κατανεμημένη χωρικά και αυτό επειδή προσφέρονται διαφορετικές υπηρεσίες δεδομένων με διαφορετικό κέρδος επεξεργασίας.

Το παραπάνω σημαίνει ότι δεν είναι εύκολο να βρεθεί μια απλή αναλυτική σχέση που να υπολογίζει το κέρδος σε χωρητικότητα που προσδίδει μια έξυπνη κεραία σε ένα WCDMA σύστημα, μιας και είναι πολλά τα σενάρια που εμφανίζονται στην πράξη με χρήστες διαφόρων ρυθμών μετάδοσης.

3.6.1.3 Νέες υπηρεσίες

Με την χρήση των ευφυών κεραιών το δίκτυο θα έχει πρόσβαση σε χωρικές πληροφορίες των χρηστών. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των θέσεων των χρηστών με περισσότερη ακρίβεια απ' ότι στα υπάρχοντα δίκτυα.

- Αποτελεσματικότερος έλεγχος ισχύος και έξυπνη διαπομπή

Το κέρδος G της εξίσωσης που προσφέρει η έξυπνη κεραία έχει ως συνέπεια τη μείωση του φαινομένου των γρήγορων διαλείψεων. Το λαμβανόμενο σήμα είναι πλέον ισχυρότερο και οι παρεμβολές χαμηλότερες εξαιτίας του φιλτραρίσματος στο πεδίο του χώρου. Όλα τα παραπάνω κάνουν πιο εύκολες τις απαιτήσεις του έλεγχου ισχύος. Οι γρήγορες διαλείψεις και οι περιπτώσεις έντονης σκίασης μπορούν να

αναγκάσουν το κινητό να εκπέμψει οριακά υψηλή ισχύ για να πετύχει το απαιτούμενο κατώφλι SINR. Άρα το κέρδος G από μια έξυπνη κεραία βοηθά αποφασιστικά στο να εξομαλυνθεί η κατάσταση και έτσι να οδηγηθούμε σε αποτελεσματικότερο έλεγχο ισχύος.

Οι έξυπνες κεραίες μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη θέση ενός χρήστη μέσα σε μια κυψέλη. Οι κεραίες μεταγωγής λοβού μπορούν να μας πληροφορήσουν σε ποιου λοβού την περιοχή κάλυψης ανήκει κάθε χρήστης. Οι πιο εξελιγμένες προσαρμοστικές μέθοδοι είναι σε θέση να δώσουν ακριβέστερες πληροφορίες σχετικά με τη θέση και την ταχύτητα του χρήστη. Όλα αυτά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στη διαπομπή, αφού πλέον θα γνωρίζουμε πότε ένα τερματικό θα διασχίσει το σύνορο δύο κυψελών. Έτσι, η διαπομπή μετατρέπεται από “ήπια” ή “ηπιότερη” σε “έξυπνη διαπομπή”.

Επιπλέον, έχοντας στα χέρια μας πληροφορίες σχετικά με το που βρίσκονται οι χρήστες του δικτύου, μπορούμε να εκχωρήσουμε διαύλους με δυναμικό τρόπο σε κυψέλες που το έχουν ανάγκη, με αποτέλεσμα να αυξήσουμε τη χωρητικότητα του δικτύου.

- Εντοπισμός χρήστη για κλήσεις έκτακτης ανάγκης

Πρόσφατες προδιαγραφές από κυβερνητικά σώματα, οι οποίες αφορούν στον εντοπισμό των χρηστών κινητής τηλεφωνίας όταν αυτοί πραγματοποιούν μια κλήση επείγουσας ανάγκης, έχει στρέψει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας προς τις έξυπνες κεραίες, ανάμεσα σε άλλες προτεινόμενες τεχνικές. Πιο κατάλληλες για αυτό είναι οι προσαρμοστικές κεραίες που παρέχουν πληροφόρηση για τη θέση κάποιου χρήστη στο δίκτυο. Οι κεραίες μεταγωγής λοβού μπορούν να δώσουν και αυτές πληροφορίες σχετικά με τη θέση ενός χρήστη στο δίκτυο και άρα να βοηθήσουν στην επίλυση του προβλήματος.

- Εντοπισμός κλεμμένων τερματικών, οχημάτων, κ.τ.λ.

Και πάλι η υπηρεσία αυτή βασίζεται σε πληροφορίες σχετικά με τη θέση ενός χρήστη μέσα σε μια κυψέλη. Αν κάποιος έχει κλέψει ένα τερματικό και επιχειρήσει να πραγματοποιήσει κλήσεις με αυτό, μπορεί πλέον με τη βοήθεια των έξυπνων κεραίων να συλληφθεί, αφού οι αρχές θα γνωρίζουν το χώρο στον οποίο κινείται. Έτσι, αντί ένα κλεμμένο τερματικό απλά να απενεργοποιείται από το δίκτυο, τώρα είμαστε σε θέση να συλλάβουμε το δράστη. Ακολουθώντας την ίδια λογική, ένα

δίκτυο κινητών επικοινωνιών μπορεί να προσφέρει μια επιπλέον υπηρεσία στους χρήστες του: τον εντοπισμό χαμένων οχημάτων.

- Κοστολόγηση με βάση την περιοχή πραγματοποίησης μιας κλήσης

Εδώ προστίθεται μια τρίτη διάσταση –η θέση του χρήστη– στις ήδη υπάρχοντες δύο διαστάσεις για την κοστολόγηση μιας κλήσης (κοστολόγηση σε σχέση με την ώρα της ημέρας, δηλαδή σε ώρες αιχμής και μη αιχμής). Το παραπάνω, θα δώσει στους παροχείς υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας τη δυνατότητα να ελέγχουν το δίκτυό τους, με το να ενθαρρύνουν στους χρήστες συγκεκριμένους τύπους συμπεριφοράς. Με άλλα λόγια, θα μπορεί ένας χρήστης να επιλέγει τη περιοχή εκείνη (ή τις περιοχές εκείνες) στις οποίες πραγματοποιεί τις περισσότερες κλήσεις και το δίκτυο θα τον ανταμείβει χρεώνοντάς τον λιγότερο όταν καλεί από τις συγκεκριμένες περιοχές.

Στην περίπτωση όμως που θα καλεί από άλλες περιοχές θα πληρώνει και ανάλογο τίμημα, δηλαδή μια πιο αυξημένη κοστολόγηση. Το ερώτημα λοιπόν δεν είναι απλά πώς θα ελαττώσουμε το κόστος μιας κλήσης (αφού αυτό θα προξενούσε περισσότερη κίνηση για το δίκτυο και το ίδιο κέρδος στον παροχέα), αλλά πώς θα βελτιστοποιήσουμε τη χωρητικότητά του δικτύου, με το να χωρίσουμε την περιοχή κάλυψης σε ζώνες υψηλής και χαμηλής κοστολόγησης, δίνοντας έτσι τα ανάλογα κίνητρα στους χρήστες.

3.6.1.4 Βελτίωση της ποιότητας υπηρεσίας

Η βελτίωση του σηματοθορυβικού λόγου SNR κατά ένα παράγοντα G είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί προς αύξηση της ποιότητας του λαμβανόμενου σήματος. Το γεγονός αυτό θα έχει ως άμεση συνέπεια τη μείωση του ρυθμού των λαμβανόμενων ψηφίων, BER. Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να υποστηρίξουμε ένα χρήστη, του οποίου η υπηρεσία απαιτεί ένα δεδομένο κατώφλι BER και που απέχει μια συγκεκριμένη απόσταση από το σταθμό βάσης. Αν στο σταθμό βάσης κάνουμε χρήση μιας έξυπνης κεραίας, τότε για τον ίδιο χρήστη που απέχει την ίδια απόσταση από το σταθμό βάσης είμαστε σε θέση να τον εξυπηρετήσουμε με χαμηλότερο BER και έτσι να του παρέχουμε καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας.

3.6.1.5 Ασφάλεια

Είναι πολύ πιο δύσκολο να παγιδευτεί μία σύνδεση όταν χρησιμοποιούνται ευφυείς κεραίες. Για να παγιδευτεί μια σύνδεση θα πρέπει ο εισβολέας να βρίσκεται στην ίδια κατεύθυνση με τον χρήστη ως προς το σταθμό βάσης.

3.6.1.6 Μειωμένο πρόβλημα διάδοσης πολλαπλών διαδρομών (multipath propagation)

Το πρόβλημα της διάδοσης πολλαπλών διαδρομών μπορεί κάπως να ελαττωθεί με τη χρήση στενής ακτίνας κεραίας στο σταθμό βάσης. Η πραγματική μείωση εξαρτάται από το σενάριο και δεν είναι πάντα σημαντική. Παρ' όλο που οι εξισορροπητές καναλιού και οι δέκτες RAKE χειρίζονται, ακόμα και εκμεταλλεύονται τα συστατικά των πολλαπλών διαδρομών, αυτό δεν είναι το ζητούμενο σε συνδέσεις πολύ υψηλής ταχύτητας. Η ελάττωση του προβλήματος αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην χαλάρωση των απαιτήσεων στη σχεδίαση modem.

3.6.2 Παράγοντες κόστους

Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα της χρήσης ευφύων κεραιών υπάρχουν επίσης και κάποια μειονεκτήματα και παράγοντες κόστους.

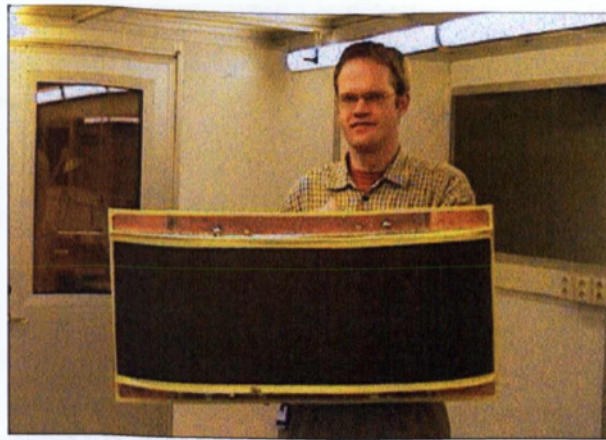
Πολυπλοκότητα πομποδέκτη: Είναι φανερό ότι ο πομποδέκτης μιας ευφυούς κεραίας είναι πολύ πιο πολύπλοκος από αυτόν ενός παραδοσιακού σταθμού βάσης. Η κεραία χρειάζεται ξεχωριστές αλυσίδες πομποδεκτών για καθένα από τα στοιχεία της συστοιχίας και ακριβή ρύθμιση πραγματικού χρόνου για καθένα από αυτά.

Επιπροσθέτως η διαδικασία του beamforming της κεραίας είναι μια υπολογιστικά έντονη διαδικασία, ειδικά στην περίπτωση των προσαρμοσμένων συστοιχιών (AAs). Αυτό σημαίνει ότι ο σταθμός βάσης της ευφυούς κεραίας θα πρέπει να περιλαμβάνει πολύ ισχυρούς αριθμητικούς επεξεργαστές και συστήματα ελέγχου. Επίσης χρειάζονται αποτελεσματικοί αλγόριθμοι για βελτιστοποίηση πραγματικού χρόνου και παρακολούθηση σήματος.

Διαχείριση πόρων: Όταν πρόκειται να εγκατασταθεί μια νέα σύνδεση ή όταν μια υπάρχουσα σύνδεση δίνεται σε έναν νέο σταθμό βάσης, τότε ο νέος σταθμός βάσης δεν έχει κάποια πληροφορία γωνίας και χρειάζεται κάποια μέσα έτσι ώστε να «βρει» τον κινητό σταθμό. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί αφήνοντας το σταθμό βάσης να σαρώνει (sweep) την κυψέλη με μια ακτίνα αναζήτησης ψάχνοντας για κάποια νέα σύνδεση ή για κάποιο handover. Μια άλλη πιθανότητα είναι η χρήση κάποιου εξωτερικού συστήματος εύρεσης θέσης, π.χ. GPS. Όσον αφορά το handover υπάρχει και μία τρίτη πιθανότητα : μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το δίκτυο πληροφορίες κατεύθυνσης από την υπάρχουσα κυψέλη, έτσι ώστε να υπάρξει κάποια εκτίμηση ως προς το σε ποια κυψέλη μπορεί να αποδοθεί η σύνδεση.

Το SDMA περιλαμβάνει διάφορους χρήστες οι οποίοι χρησιμοποιούν το ίδιο φυσικό κανάλι στην ίδια κυψέλη και χωρίζονται μόνο κατά γωνία. Όταν υπάρξει κάποια γωνιακή σύγκρουση ανάμεσά τους τότε ένας από αυτούς θα πρέπει να αλλάξει γρήγορα σε κάποιο άλλο κανάλι έτσι ώστε να μην πέσει η σύνδεση. Αυτό σημαίνει ότι σε συστήματα που παρέχουν πλήρες SDMA θα υπάρχουν πολύ περισσότερα ενδοκυψελικά handovers και θα χρειάζεται περισσότερη παρακολούθηση από το δίκτυο σε σχέση με τα συμβατικά CDMA και TDMA συστήματα

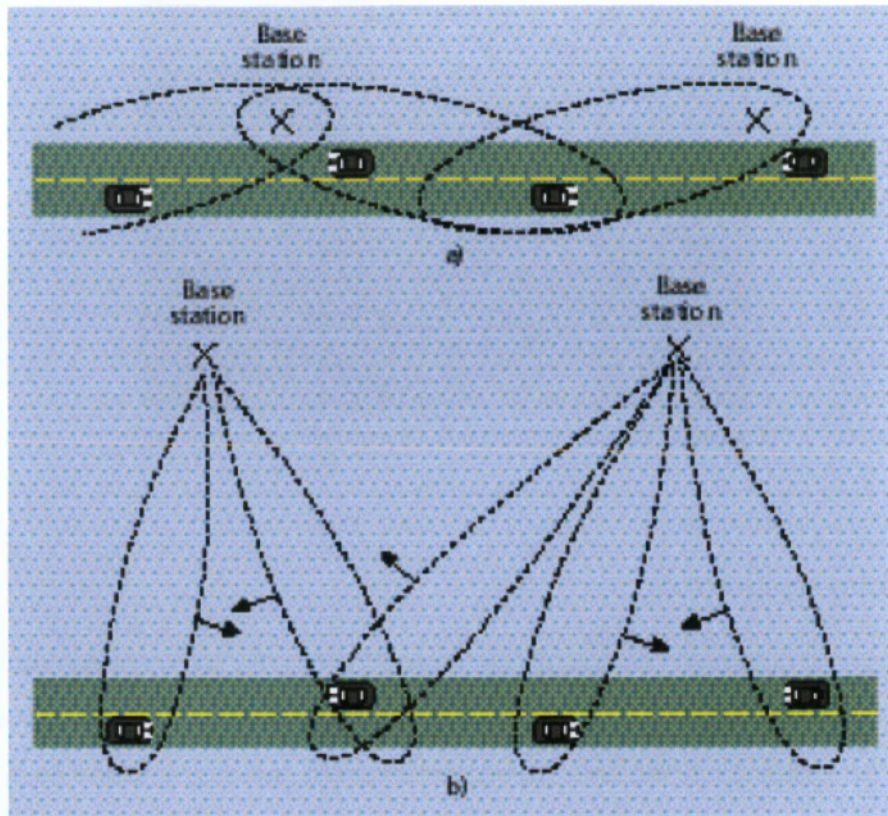
Φυσικό μέγεθος: Για να έχει μια ευφυής κεραία λογικό κέρδος, χρειάζεται μια στοιχειοκεραία με αρκετά στοιχεία. Για εξωτερικά περιβάλλοντα έχουν προταθεί συστοιχίες που αποτελούνται από 6 έως 10, οριζόντια χωριζόμενα, στοιχεία. Η απαραίτητη απόσταση των στοιχείων είναι 0.4-0.5 μήκη κύματος. Αυτό σημαίνει ότι κεραία 8 στοιχείων θα έχει πλάτος περίπου 1.2 μέτρα στα 900 MHz και 60 εκατοστά στα 2 GHz. Με αυξανόμενη την απαίτηση του κόσμου για λιγότερο ορατούς σταθμούς βάσης, αυτό το μέγεθος, παρ' όλο που δεν είναι υπερβολικό θα μπορούσε να προκαλέσει πρόβλημα. Η εικόνα δείχνει μια στοιχειοκεραία 8 στοιχείων στα 1.8 GHz.



Σχήμα 3.7.2: Στοιχειοκεραία 8 στοιχείων στα 1.8 GHz

3.6.3 Ράδιο-σχεδιασμός

Για να έχουν οι ευφυείς κεραίες το επιθυμητό κέρδος, θα πρέπει οι σταθμοί βάσης να έχουν τη δυνατότητα να ξεχωρίζουν τους χρήστες σύμφωνα με τη γωνία. Αυτό σημαίνει ότι κάποιες από τις υπάρχουσες στρατηγικές ραδιοσχεδιασμού θα πρέπει να μεταβληθούν. Στα υπάρχοντα δίκτυα οι σταθμοί βάσης τοποθετούνται συνήθως κατά μήκος των δρόμων ταχείας κυκλοφορίας και των σιδηροδρομικών σταθμών. Από την πλευρά μιας ευφυούς κεραίας είναι πολύ πιο αποτελεσματική η τοποθέτηση του σταθμού βάσης μακριά από τον δρόμο ή τον σιδηρόδρομο. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να γίνει εκμετάλλευση της χωρικής διάστασης. Η στρατηγική αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα.



Σχήμα 3.6.3: Διαχωρισμός χρηστών ανάλογα με τη γωνία. Ένα άλλο δύσκολο σημείο είναι οι μικρές αστικές κυψέλες με σταθμούς βάσης τοποθετημένους κάτω από το επίπεδο των στεγών. Σε αυτές τις περιπτώσεις το σήμα, τόσο από τους επιθυμητούς χρήστες όσο και από τους παρεμβολείς θα τείνει να φτάνει μέσω των οδών, καθιστώντας δύσκολο το γωνιακό τους διαχωρισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ SMART ANTENNAS ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σ' αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη παρουσίαση διαφόρων εφαρμογών έως τώρα της τεχνολογίας των ευφυών κεραιών. Θα γίνει μια αναφορά σε μερικές εταιρίες και θα παρουσιαστούν οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση αυτών των εφαρμογών ξεκινώντας με την Araycomm , την Ericsson, την Metawave κ.ο.κ..

Arraycomm



Για σχεδόν μια δεκαετία, η *Arraycomm* είναι στη πρώτη γραμμή της ανάπτυξης τεχνικών για ευφυή κεραιοσυστήματα και της πνευματικής ιδιοκτησίας για τα εμπορικά κυψελοειδή συστήματα. Το *IntelliCell*® είναι το όνομα για αυτές τις τεχνικές και τη πνευματική ιδιοκτησία. Μέσω οκτώ ετών πρακτικής και εφαρμογής στον τομέα, το *IntelliCell* έχει τελειοποιηθεί για να καταστήσει τα ευφυή κεραιοσυστήματα πρακτικά και το κόστος αποτελεσματικό στα πραγματικά εμπορικά κυψελοειδή συστήματα. Σήμερα, η τεχνολογία *IntelliCell* επεκτείνεται μέσα σε περισσότερες από 90.000 εμπορικές επεκτάσεις σταθμών βάσεων παγκοσμίως.



Intelllicell adaptive antenna προϊόντα

Η προσαρμοστική τεχνολογία επεξεργασίας κεραιών *ArrayComm's IntelliCell* καθιστά οποιαδήποτε προσωπική ασύρματη εργασία συστημάτων επικοινωνιών καλύτερη. Η τεχνολογία "προσωπικών κυψελών μας" είναι η σύνθεση 11 ετών έρευνας και πραγματικής εφαρμογής, ένας συνδυασμός που κάνει την *ArrayComm* την πρώτιστη αρχή στη τεχνολογία χωρικής επεξεργασίας.

Η *ArrayComm* έχει επενδύσει στην τεχνολογία προσαρμογής για να εκπληρώσει τις ανάγκες των κατασκευαστών εξοπλισμού τηλεπικοινωνιών στις εναέριες διεπαφές

του δημοφιλούς *PHS*, *GSM* και *WCDMA* καθώς επίσης και τα δίπλα συστήματα *WLL*.

Η τεχνολογία *ArrayComm's IntelliCell* εξυπηρετεί περισσότερους από 15 εκατομμύρια συνδρομητές στην Κίνα, την Αιθιοπία, την Ιαπωνία, την Ταϊλάνδη, τη Μαλαισία, τις Φιλιππίνες, την Ταϊβάν και τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα. Η *ArrayComm* συνεχίζει να χορηγεί άδεια σε αυτά τα προσαρμοστικά προϊόντα κεραιών για να εξυπηρετήσει την αυξανόμενη ζήτηση της ασύρματης βιομηχανίας.

PHS

Το προσωπικό σύστημα *Handyphone (PHS)* επεκτείνεται ευρέως σε όλη την Ασία για τις ασύρματες μεταδόσεις φωνής και στοιχείων. Η *ArrayComm* έχει χορηγήσει άδεια την προσαρμοστική τεχνολογία κεραιών του για *PHS* από το 1995, και πάνω από 180.000 σταθμοί βάσεων που ενσωματώνουν την τεχνολογία *ArrayComm* έχουν επεκταθεί τώρα. Όταν χτίζεται στους σταθμούς βάσεων *PHS*, η τεχνολογία *ArrayComm* έχει αποδείξει την εννέα φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα απ'ό,τι σε ένα τυποποιημένο δίκτυο *PHS*. Αυτό έχει επιτρέψει στην ισχυρή ανάπτυξη αγοράς και ποικίλες νέες υπηρεσίες, συμπεριλαμβανομένης της προσιτής υπηρεσίας 128 στοιχείων *kbps* στην Ιαπωνία.



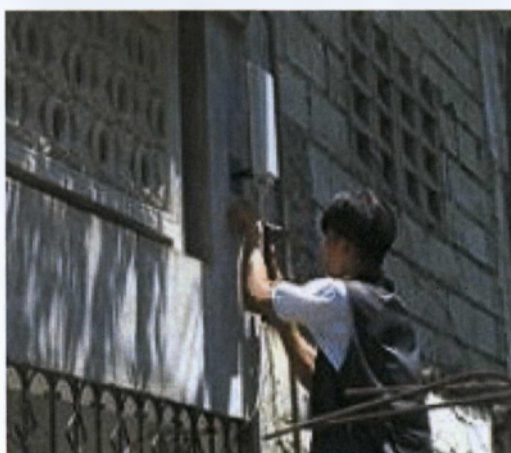
GSM

Σαν μεγαλύτερο και αυξανόμενο κυψελοειδές σύστημα στον κόσμο, το *GSM* είναι μια φυσική τακτοποίηση για την προσαρμοστική τεχνολογία κεραιών *ArrayComm's*. Οι εμπορευματοποιημένοι σταθμοί βάσεων *GSM* που ενσωματώνουν την τεχνολογία *ArrayComm* έχουν αποδείξει τη μεγαλύτερη χωρητικότητα μέχρι 600% από τα

τυποποιημένα δίκτυα GSM και την επαναχρησιμοποίηση συχνότητας στα κύτταρα χωρίς *hopping* συχνότητας. Αυτή η αύξηση παρέχει τα τεράστια πιθανά κέρδη εισοδήματος για τους χειριστές δικτύων GSM που θέλουν να μεγιστοποιήσει τις επενδύσεις τους υποδομής και φάσματος.

WCDMA

Το *WCDMA*, ένα σύστημα τρίτης γενιάς δημοφιλές στην Ευρώπη και σε όλο τον κόσμο, έχει παρουσιάσει επίσης σημαντικά κέρδη με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας *ArrayComm's IntelliCell* στην ανάπτυξη και τη δοκιμή συνεργατών: μέχρι έξι φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα και μέχρι τρεις φορές μεγαλύτερη κάλυψη. Αυτό θα ασκήσει εντυπωσιακά θετική επίδραση στα οικονομικά αγοράς 3G των επεκτάσεων, λαμβάνοντας υπόψη την έλλειψη και τις υψηλές τιμές 3G του φάσματος καθώς επίσης και τις τρέχουσες πιέσεις στην υποδομή και τις λειτουργικές δαπάνες.



WLL

Ο ασύρματος τοπικός βρόχος (*WLL*) είναι ένα ασύρματο τηλεφωνικό σύστημα που σχεδιάζεται για τα αναπτυσσόμενα έθνη όπου υπάρχει περιορισμένη υποδομή καλωδιώσεων. Το σύστημα *ArrayComm's WLL* είναι το πρώτο ασύρματο σύστημα στον κόσμο για να παρουσιάσει επαναχρησιμοποίηση συχνότητας. Το σύστημα περιλαμβάνει έναν σταθμό βάσεων, που επεκτείνεται για να εξυπηρετήσει μια μικρή πόλη ή ένα χωριό, μαζί με τους δέκτες που τοποθετούνται έξω από κάθε σπίτι. Μέσα στο σπίτι, οι πελάτες χρησιμοποιούν τα συνηθισμένα τηλέφωνα. Υπάρχουν υπηρεσίες συστημάτων *ArrayComm's WLL* για 200.000 συνδρομητές στην Ταϊλάνδη καθώς επίσης και άλλες περιοχές σε όλη την Ασία και τη Μέση Ανατολή. Το σύστημα κατασκευάζεται αυτήν την περίοδο και πωλείται από τον συνεργάτη της *ArrayComm* εταιρία *Kyocera*.

Όροι που χρησιμοποιούνται συνήθως για να αγκαλιάσουν τις διάφορες πτυχές της τεχνολογίας ευφυών κεραιοσυστημάτων περιλαμβάνουν τις ευφυείς κεραιές, συγχρονισμένες σειρές, χωρική επεξεργασία, ψηφιακή διαμόρφωση ακτινών, προσαρμοστικά συστήματα κεραιών, κ.λ.π.. Στην *ArrayComm* έχουν συνδυάσει περισσότερο από 8 έτη της πρακτικών ερευνών και τομεακές εμπειρίες στο *IntelliCell*, μια μπαταρία τεχνικών και πνευματική ιδιοκτησία που κάνουν ευφυή συστήματα κεραιών εμπορικά βιώσιμα.

Ένας σταθμός βάσεων που χρησιμοποιεί *IntelliCell* υιοθετεί μια μικρή συλλογή (διάταξη) απλών, *off-the-shelf* κεραιές (χαρακτηριστικά 4 έως 12) συνδεδεμένες με την περίπλοκη επεξεργασία σήματος για να διαχειριστεί ενέργεια που ακτινοβολείται και που παραλαμβάνεται από το σταθμό βάσεων. Αυτό βελτιώνει την κάλυψη και τη ποιότητα των σημάτων και μετριάζει την παρεμβολή στο δίκτυο και στην άνω και στη άνω ζεύξη.

Οι διαδικασίες για την άνω και κάτω ζεύξη αναλύονται παρακάτω :

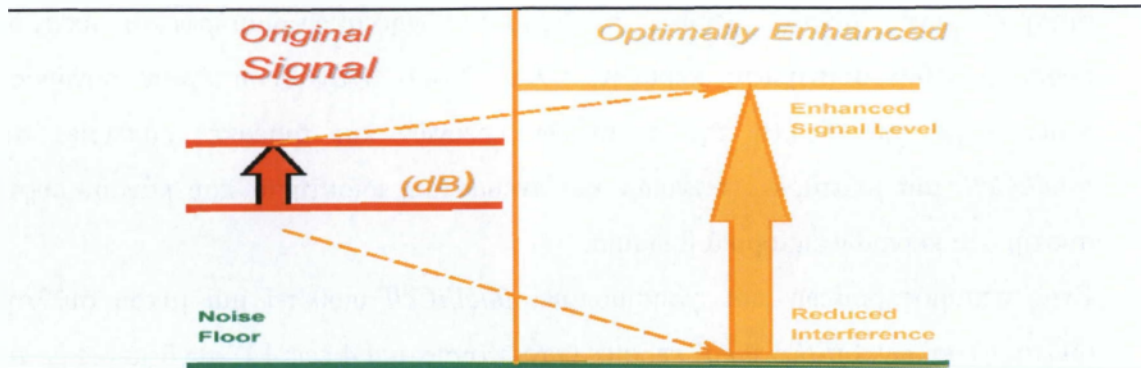
Uplink IntelliCell (λήψη στο σταθμό βάσεων)

Χαρακτηριστικά, το λαμβανόμενο σήμα από κάθε ένα από τις διανεμημένες στοιχειοκεραίες στο χώρο είναι πολλαπλασιασμένο με ένα βάρος, μια σύνθετη ρύθμιση του εύρους και τη φάση. Αυτά τα σήματα είναι συνδυασμένα για να παραγάγει την διάταξη εξόδου. Ένας προσαρμοστικός αλγόριθμος ελέγχει τα βάρη σύμφωνα με προκαθορισμένους στόχους όπως "ο συντονισμός" σε έναν ιδιαίτερο χρήστη "αποσυντονίζοντας" την παρεμβολή και τον θόρυβο. Αυτή η επεξεργασία εκτελείται ανεξάρτητα και ταυτόχρονα για κάθε έναν από τους χρήστες που εξυπηρετούνται από το σταθμό βάσεων.

Αυτοί οι δυναμικοί υπολογισμοί επιτρέπουν στο σύστημα να συντονιστεί για τη βελτιστοποιημένη υποδοχή σημάτων:

Το ισοδύναμο λαμβανόμενο επίπεδο σημάτων βελτιώνεται από έναν παράγοντα $10 \log 10$ (αριθμός κεραιών), ο οποίος, παραδείγματος χάριν, είναι 10 DB για ένα σύστημα 10-κεραιών. Συγχρόνως, η παρεμβολή απορρίπτεται από πολλά μεγέθη, οπουδήποτε από 30 έως 50 DB εάν ένα παρεμβαίνον σήμα είναι αρκετά ισχυρό να το επιτρέψει. Αυτή η απόρριψη και η ανάλογη καταστολή στην κάτω ζεύξη είναι αρκετά υψηλή που, στις εφαρμογές *TDD/TDMA IntelliCell* όπως στην *i-BURST ArrayComm's*, ο προγραμματισμός συχνότητας μπορεί να απομακρυνθεί εντελώς.

Αυτά τα κέρδη και πώς αφορούν τα γενικά κέρδη στην ποιότητα σημάτων συνοψίζονται στην εικόνα 4-1.



Εικόνα 4-1

Downlink Intellicell (μετάδοση από τον σταθμό βάσης)

Παρόμοια κέρδη εμφανίζονται στην κάτω ζεύξη. Τα σήματα που διαβιβάζονται πολλαπλασιάζονται με τη στάθμιση παραγόντων διαφορετικού εύρους και φάσης για κάθε κεραία. Οι παράγοντες στάθμισης επιλέγονται δυναμικά ώστε να εξασφαλιστεί ότι τα διαβιβασθέντα σήματα συνδυάζουν δημιουργικά και προσθέτουν στο χρήστη από ενδιαφέρον ενώ συγχρόνως να μην παρουσιάζουν καμία παρεμβολή σε άλλο *co-channel users*².

Οι παράγοντες βάρους επιλέγονται πάλι δυναμικά βασισμένοι στους προκαθορισμένους στόχους. Αυτοί οι δυναμικοί υπολογισμοί επιτρέπουν στο σύστημα να συντονιστεί για τη βελτιστοποιημένη μετάδοση σημάτων:

το ισοδύναμο επίπεδο σημάτων εκπεμπόμενης ισχύος είναι ένας παράγοντας $20 \log_{10}$ (αριθμός κεραιών) πάνω στην ισχύ που εκπέμπεται από μια κεραία στο σταθμό βάσεων. Αυτό είναι, παραδείγματος χάριν, 20dB για σύστημα 10 κεραιών. Αυτό είναι μια μνημειακή βελτίωση στο ισοδύναμο επίπεδο σημάτων. Επειδή τα σήματα παρεμβαίνουν δημιουργικά στο στοχοθετημένο χρήστη, παραδείγματος χάριν, συσκευές αποστολής σημάτων 10 I-Watt στο σταθμό βάσης παράγουν μια ισοδύναμη συναφή ακτινοβολία ως ενιαία, συσκευή αποστολής σημάτων 100W.

Επιπροσθέτως, ο πλεονασμός που εισάγεται μέσω της χρήσης των πολλαπλών στοιχείων εκπομπής, συνδυασμένο με τη μείωση της ισχύος το μέγεθος ενισχυτών, αυξάνει την αξιοπιστία σταθμών βάσεων. Οι ενισχυτές μικρής-ισχύος είναι πιο αξιόπιστοι και λιγότερο ακριβοί από μεγαλύτερους, και η απώλεια από ένα μόνο στοιχείο από τη διάταξη έχει μόνο μια μικρή επίδραση στο σταθμό βάσεων στην

απόδοση κάτω ζεύξεων (σε αντιδιαστολή με την περίπτωση όπου ο σταθμός βάσεων έχει μόνο έναν ενιαίο ακτινοβολώντας το στοιχείο).

Συγχρόνως, η παρέμβαση μετριάζεται από 30 έως 40 DB εάν ένας κοντινός χρήστης (*interferer*) είναι στενός αρκετά στο σταθμό βάσης ώστε να το επιτρέψει.

Ένα σημαντικό σημείο εδώ είναι ότι ο τύπος και η απόδοση της επεξεργασίας κάτω ζεύξεων εξαρτάται από εάν το σύστημα επικοινωνιών χρησιμοποιεί τα διπλά (*TDD*) σχέδια χρονικού τμήματος, που εκπέμπουν και λαμβάνουν στην ίδια συχνότητα (π.χ., 802.11, *PHS* και *DECT*) ή τη συχνότητα διπλά (*FDD*) σχέδια τμήματος, τα οποία χρησιμοποιούν τις χωριστές συχνότητες για τη μετάδοση και τη λήψη (π.χ., *GSM*, *W- Cdma*, *cdma2000*). Στα περισσότερες συστήματα *FDD*, η εξασθένιση και άλλα χαρακτηριστικά διάδοσης είναι ασύνδετα από το *uplink* ραδιοκάναλι στην κάτω ζεύξη, ενώ μέσα στα συστήματα *TDD*, το *uplink* και το *downlink* ραδιοκάναλι μπορούν να θεωρηθούν αμοιβαία. Ως εκ τούτου, σε *TDD* συστήματα, *uplink* πληροφορίες καναλιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιτύχουν στο χώρο την εκλεκτική μετάδοση.

Στα συστήματα *FDD*, οι *uplink* πληροφορίες καναλιών δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα, και άλλοι τύποι επεξεργασίας κάτω ζεύξεων πρέπει να εξεταστούν.

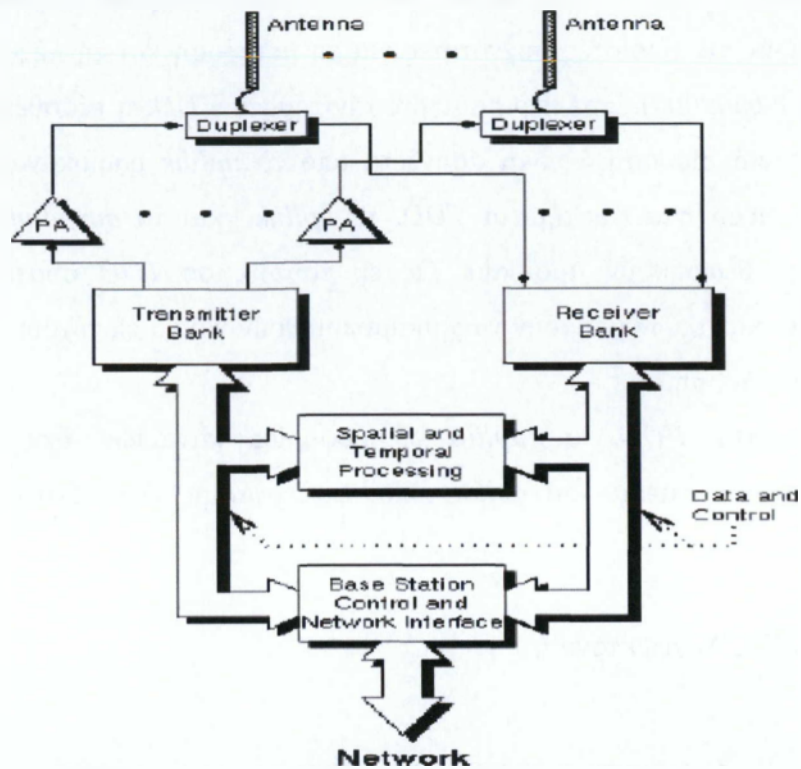
INTELLICELL Αρχιτεκτονική

Τα *IntelliCell* συστήματα υιοθετούν μια ιδιαίτερα ολοκληρωμένη προσέγγιση στη σχεδίαση των σταθμών βάσεων, με την αρχιτεκτονική ευφυών κεραιών που ενσωματώνεται εξ αρχής. Η εικόνα 4-2 παρουσιάζει το διάγραμμα αυτής της αρχιτεκτονικής.

Τα *Intelllicell* συστήματα χρησιμοποιούν τις συνηθισμένες, *off-the-shelf* κεραιές. Τα λαμβανόμενα ραδιοσήματα είναι μεταλλαγμένα και συσσωρευμένα από την τράπεζα δεκτών. Αυτό το λαμβανόμενο στοιχείο συσκευάζεται έπειτα και επεξεργάζεται στο χωρικό χρονικό μπλοκ επεξεργασίας. Αυτός ο φραγμός είναι η καρδιά του *IntelliCell* συστήματος και περιλαμβάνει χαρακτηριστικά τη χρήση των υψηλής απόδοσης επεξεργαστών ψηφιακών σημάτων και *ASICs*.

Αυτός το μπλοκ εξάγει και αποδιαμορφώνει τα διάφορα σήματα του ενδιαφέροντος και κατάλληλα συσκευάζει τα αποτελέσματα για τη μεταφορά μέσω του δικτύου διασύνδεσης και επάνω στο δίκτυο. Συγχρόνως, το στοιχείο παραλαμβάνεται από το

δίκτυο που δεσμεύεται για τους συνδρομητές. Το χωρικό-χρονικό μπλοκ επεξεργασίας επικοινωνεί με την τράπεζα συσκευών αποστολής σημάτων για να δείξει πώς τα δεδομένα είναι να ζυγιστούν στις διαφορετικές κεραίες. Οι διαδικασίες στην τράπεζα συσκευών αποστολής σημάτων αποτελούνται από πολλές, αν και απλές, διαδικασίες πολλαπλασιασμού. Τέλος, το διαμορφωμένο στοιχείο καθοδηγείται μέσω ενισχυτών ισχύος (*PA*s), ένας για κάθε κεραία, και διαβιβασθέντες πέρα από τη διάταξη.



Εικόνα 4-2

Πλεονεκτήματα του Intellicell

- Μειώνει τον αριθμό των σταθμών βάσεων μέχρι και 50%
- Μειώνει την επένδυση κεφαλαίου και τα λειτουργικά κόστη, καθώς επιταχύνει στην αγορά.

• Επιλεκτικό κέρδος άνω ζεύξης: $10\log_{10}(M)$, όπου M ο αριθμός των κεραιών

• Επιλεκτικό κέρδος κάτω ζεύξης: $20\log_{10}(M)$, όπου M ο αριθμός των κεραιών

• Αυξάνει τη διαθεσιμότητα και τη ποιότητα υπηρεσίας, και επιτρέπει σταθερούς ρυθμούς δεδομένων

• Μειώνει την ισχύ εκπομπής και ακτινοβολήσης, ελαχιστοποιώντας το electro-smog και την ενδοκυψελική παρεμβολή

• Χρησιμοποιεί χαμηλή ισχύ που καταλήγει σε υψηλότερη αξιοπιστία και χαμηλότερα κόστη.

• Πολλαπλασιάζει τη χωρητικότητα του δικτύου μέσω της υψηλής φασματικής δυνατότητας, μεγιστοποιώντας την επένδυση και την αποτελεσματικότητα του φάσματος

Η αυξανόμενη διείσδυση και η εμφάνιση νέων υπηρεσιών έφερε πρωτοφανή βάρη στη χωρητικότητα των δικτύων. Αυτός είναι και ο λόγος που η *ArrayComm* έχει αναπτύξει το *IntelliCell™*. Το *IntelliCell* ωθεί τη χωρητικότητα, βελτιώνει την ποιότητα υπηρεσιών, και επεκτείνει την περιοχή κάλυψης στα ασύρματα δίκτυα για να ικανοποιήσει την απαίτηση συνδρομητών.

Μέσω της χρήσης των προηγμένων αλγορίθμων, η πλήρως προσαρμοστική τεχνολογία ευφυών κεραιών του *IntellCell* ρυθμίζει δυναμικά τα σχέδια προς και από τον επιθυμητό συνδρομητή, δημιουργώντας μια συγκέντρωση της ενέργειας εστιασμένη αποκλειστικά στο συνδρομητή για την αποδοτική παράδοση των υπηρεσιών φωνής ή στοιχείων. Η τεχνολογία μπορεί να συγκεντρώσει την ενέργεια στους ανθρώπους ακόμη και καθώς κινούνται, μειώνοντας την παρεμβολή από την εκπομπή σήματος και δίνοντας στους χρήστες τη καλύτερη πιθανή ποιότητα σημάτων.

Conventional Clutter

Τα συμβατικά κυψελοειδή συστήματα εκπέμπουν σε όλες τις κατευθύνσεις, αλλά τα μόνα χρήσιμα σήματα είναι εκείνα που φθάνουν στον προοριζόμενο συνδρομητή. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας RF σπαταλιέται, και χειρότερα ακόμα, παράγει το θόρυβο που παρεμποδίζει όλες τις άλλες επικοινωνίες. Οποιαδήποτε προσπάθεια να ωθηθεί η δύναμη μετάδοσης παράγει απλά περισσότερος θόρυβο σε όλο το σύστημα. Η προφανής εναλλακτική λύση κάπως "δείχνει" ένα σήμα στον προοριζόμενο χρήστη, αλλά τα περισσότερα περιβάλλοντα RF είναι σωριασμένα με φυσικά εμπόδια που καθιστούν τέτοιες μεταδόσεις οπτικής επαφής αδύνατες.

Η λύση *ArrayComm's IntelliCell* χρησιμοποιεί μια σειρά συνηθισμένων κεραιών για να χαρτογραφήσει συνεχώς το περιβάλλον RF. Η χαρτογράφηση επιτρέπει στο σύστημα να εστιάσει στο συνδρομητή, που χρησιμοποιεί το περιβάλλον για να συνδυάσει με συνοχή τα σήματα στη συσκευή του συνδρομητή. Λιγότερη δύναμη διαβιβάζεται, και λιγότερη παρεμβολή παράγεται, με συνέπεια την ανώτερη ποιότητα της υπηρεσίας για το χρήστη.

Περισσότερη χωρητικότητα και κάλυψη

Το *IntellCell* καθιστά δυνατό να επεκτείνει και τη χωρητικότητα και τη περιοχή κάλυψης των ασύρματων δικτύων. Κατά μέσον όρο, ένα *IntellCell* δίκτυο μπορεί να παραδώσει τρεις φορές χωρητικότητα ενός συμβατικού συστήματος ή μέχρι δύο φορές τη περιοχή κάλυψης, ανάλογα με τη εναέρια διεπαφή που επεκτείνεται. Αναδυόμενες υπηρεσίες στοιχείων καταναλώνουν σημαντικά περισσότερη χωρητικότητα έναντι της συμβατικής κυκλοφορίας φωνής. Οι μεταφορείς χρειάζονται να μεγιστοποιήσουν τη χωρητικότητα των δικτύων για να παραδοθούν τέτοιες υπηρεσίες επικερδώς. Το *IntelliCell* αυξάνει εντυπωσιακά την αποδοτικότητα οποιαδήποτε ασύρματου δικτύου, που επιτρέπει την παράδοση περισσότερων υπηρεσιών σε περισσότερους χρήστες.

Μικρότερος χρόνος

Επιτρέποντας στους χειριστές να επιτύχουν την επιθυμητή κάλυψη με λιγότερους από μισούς σταθμούς βάσης, το *IntellCell* μειώνει τον χρόνο εφαρμογής έως και 50 %, επιταχύνοντας την επιστροφή των χειριστών στο φάσμα τους και στις επενδύσεις υποδομής τους.

Μικρότερα κόστη

Η απόκτηση περιοχών αντιπροσωπεύει μιας από τις μέγιστες δαπάνες οποιασδήποτε ανάπτυξης δικτύων. Η επεκταθείς σειρά των *IntelliCellenhanced* σταθμών βάσεων σημαίνει ότι λιγότερες περιοχές κυττάρων απαιτούνται. Χρησιμοποιώντας *IntelliCell*, οι χειριστές μπορούν να επιτύχουν τη στοχοθετημένη κάλυψη μειώνοντας την κύρια δαπάνη τους κατά 25 τοις εκατό. Σ' όλη τη ζωή του συστήματος, η αποταμίευση συνεχίζεται. Εκτός από τα προφανή οφέλη έχοντας λιγότερες περιοχές κυψελών για να διατηρήσει, το *IntelliCell* χαμηλώνει τις λειτουργικές δαπάνες κάθε περιοχής κοντά μειώνοντας της απαραίτητη ισχύ μετάδοσης από τους ενισχυτές ισχύος (*PA*s), το οποίο ενισχύει την αξιοπιστία και ριζικά μειώνει τις δαπάνες συντήρησης.

Εφαρμοσμένη τεχνολογία

Το *IntellCell* είναι ένα προϊόν 10 ετών ανάπτυξης συστήματος σε συνεργασία με κατασκευαστές σταθμών βάσεων σε όλο το κόσμο. Έχει χορηγηθεί άδεια στους κατασκευαστές για τη χρήση στο *W- Cdma*, τα δίκτυα *GSM*, *PHS* και *WLL*, καθώς επίσης και μέσα στο πιο προηγμένο κινητό ευρυζωνικό πρωτόκολλο της βιομηχανίας, το Προσωπικό ευρυζωνικό σύστημα *ArrayComm's iBurst™*.

Εκατομμύρια συνδρομητών απολαμβάνουν την ανώτερη υπηρεσία μέσω περισσότερων από 190.000 σταθμών βάσεων *IntellCell* σήμερα.

ERICSSON



Νέες προσθήκες στο ισχυρό χαρτοφυλάκιο της *Ericsson* για την αύξηση της χωρητικότητας των δικτύων.

Το *Ericsson* εισάγει δύο νέες οικονομικώς αποδοτικές λύσεις για να αυξήσει την χωρητικότητα στα δίκτυα GSM. Ο ραδιοσταθμός *RBS 2206* βάσεων υψηλής χωρητικότητας διπλασιάζει την χωρητικότητα και ελευθερώνει το διάστημα στις υπάρχουσες περιοχές - καταλαμβάνοντας το ίδιο ίχνος. Ο ενισχυτής χωρητικότητας GSM, η προσαρμοστική λύση κεραιών της *Ericsson*, επιτρέπει τις επεκτάσεις χωρητικότητας κατά μέχρι 250 τοις εκατό - αρκετά πέρα από αυτό που είναι δυνατό σήμερα. Το *RBS 2206* και ο ενισχυτής χωρητικότητας GSM θα υποστηρίξουν τις υπηρεσίες τρίτης γενεάς (*3G*).

Ο αριθμός χρηστών GSM συνεχίζει να αυξάνεται σε πρωτοφανή ποσοστά και η προοπτική για τη μελλοντική αύξηση δεν παρουσιάζει κανένα σημάδι να εγκαταλειφθεί. Οι χειριστές πρόκλησης συχνά αντιμετωπίζουν το πώς να συνεχίσει να επεκτείνει τα δίκτυά τους έτσι ώστε η χωρητικότητα να συμβαδίσει με συνεχώς αυξανόμενη τη ζήτηση για τις υπηρεσίες.

Με την υψηλή χωρητικότητα του *RBS 2206 Ericsson* και το μοναδικό ενισχυτή χωρητικότητας GSM, οι χειριστές μπορούν να συμπιέσουν περισσότερα από τα δίκτυα GSM χωρίς να πρέπει να βρεθούν και να χρηματοδοτηθούν οι νέες περιοχές. Και οι δύο λύσεις υποστηρίζουν τις *3G* υπηρεσίες για την EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution) και για την WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access).

Επιπλέον, όλοι οι μακροραδιοσταθμοί βάσεων στην οικογένεια *RBS 2000* της *Ericsson*, παραδοθέντες μπορούν επίσης να υποστηρίξουν EDGE και WCDMA προσθέτοντας βυσματωτές μονάδες. Αυτές οι λύσεις καθιστούν τη μετάβαση στο μέλλον ευκολότερη για τους χειριστές - ελαχιστοποιώντας την επένδυση και μεγιστοποιώντας την χωρητικότητα των δικτύων, την απόδοση και την ποιότητα.

RBS 2206-διπλάσια χωρητικότητα αλλά με το ίδιο αποτύπωμα

Το *RBS 2206* είναι καλά νέα για τους χειριστές ειδικά για εκείνους με το περιορισμένο διάστημα πατωμάτων και εκείνοι που χρειάζονται περισσότερη χωρητικότητα στις υψηλής πυκνότητας περιοχές. Αυτός ο ισχυρός νέος εσωτερικός μακροσταθμός βάσεων με 12 πομποδέκτες μέσα σε κάθε γραφείο έχει τη δυνατότητα να διπλασιάσει την χωρητικότητα του προκατόχου του, *RBS 2202*, αλλά ακόμα καταλαμβάνει το ίδιο αποτύπωμα.

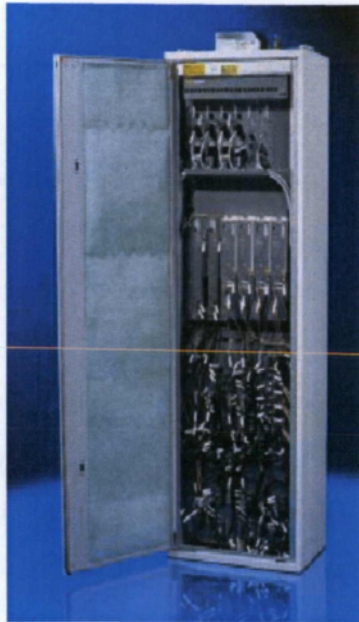
Το *RBS 2206* είναι εξαιρετικά εύκαμπτο. Λόγω της παγκόσμιας ποιότητας ραδιοαπόδοσης του, λειτουργεί εξ ίσου καλά στις υψηλής πυκνότητας αστικές περιοχές όπως στις και στις χαμηλής πυκνότητας αγροτικές περιοχές όπου η κάλυψη είναι ο κύριος στόχος. Το *RBS 2206* επίσης υποστηρίζει μια εκτεταμένη σειρά περισσότερων από 120 χιλιομέτρων και μια ποικιλομορφία δεκτών τέσσερις-κλάδων - απαιτώντας λιγότερες περιοχές για να καλύψει μια δεδομένη περιοχή έναντι των παραδοσιακών σταθμών βάσεων.

Ενισχυτής χωρητικότητας GSM - επιτρέπει τις επεκτάσεις χωρητικότητας μέχρι 250%

Ο ενισχυτής ικανότητας GSM, η μοναδική προσαρμοστική λύση κεραιών της *Ericsson*, αποβάλλει οποιοσδήποτε δυσχέρειες στα δίκτυα GSM 900 με σημαντικά να μειώσει την παρέμβαση στις κρίσιμες περιοχές. Ο ενισχυτής ικανότητας GSM είναι μια οικονομικώς αποδοτική λύση για την αύξηση της ικανότητας στα αστικά περιβάλλοντα χωρίς επένδυση στις ακριβές νέες μακροπεριοχές.

Ο ενισχυτής χωρητικότητας GSM αποτελείται από εσωτερικούς μακροσταθμούς βάσεων (*RBS 2205*) και μια παθητική κεραία σειράς οκτώ-λοβών (προσαρμοστική κεραία), όπως φαίνονται στην εικόνα 4-3. Με την ανίχνευση της απαίτησης κυκλοφορίας, ο ενισχυτής ικανότητας GSM στέλνει και λαμβάνει τα σήματα σε οκτώ στενές ακτίνες, επιλέγοντας πάντα αυτήν καταλληλότερη για να χειριστεί την κλήση. Δεδομένου ότι η παρεμβολή μειώνεται σημαντικά και στις δύο κατευθύνσεις, οι χειριστές μπορούν να αυξήσουν την χωρητικότητα των δικτύων ταυτόχρονα διατηρώντας την ποιότητα της υπηρεσίας. Χρησιμοποιημένη σε μόνο 15 τοις εκατό των υπάρχοντων μακροκυττάρων στις υψηλές περιοχές κυκλοφορίας, η χωρητικότητα μπορεί να διπλασιαστεί. Ο ενισχυτής χωρητικότητας *RBS 2206* και GSM της *Ericsson* είναι πρόσθετα μέρη των λύσεων υψηλής χωρητικότητας της *Ericsson*, που δίνουν στους χειριστές μια ευρεία σειρά των οικονομικώς αποδοτικών επιλογών να αυξηθεί η χωρητικότητα δικτύων - χωρίς να απαιτούνται νέες περιοχές ή νέες συχνότητες. Το χαρτοφυλάκιο λύσης παρέχει μια γενική πορεία, μελλοντικής μετάβασης, από τις λύσεις για να αυξήσει την χωρητικότητα των δικτύων GSM σε εκείνες που προετοιμάζονται για 3G τις υπηρεσίες. Αυτό το καθιστά πιθανό για τους χειριστές να προσθέσουν την χωρητικότητα για τους περισσότερους χρήστες και πιο προηγμένες υπηρεσίες δεδομένου ότι οι επιχειρησιακές ανάγκες εξελίσσονται και συγχρόνως, να μεγιστοποιήσουν τους πόρους δικτύων.

GSM Capacity Booster, RBS 2205



Radio base-station



8-beam array antenna

Εικόνα 4-3

ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Γεγονότα για άλλες λύσεις υψηλής χωρητικότητας από την *Ericsson*

Adaptive Multi Rate (AMR) : Συνεχώς προσαρμόζει τα ποσοστά δυαδικών ψηφίων κωδικοποιητή-αποκωδικοποιητή που χρησιμοποιούνται, ανάλογα με το επίπεδο παρεμβολής του καναλιού που επιλέγεται, για να πάρει την καλύτερη δυνατή λεκτική ποιότητα για όλα τα ραδιοπεριβάλλοντα καναλιών.

Η διανομή φορτίων κυψελών : Βελτιστοποιεί τη χρήση των υπαρχόντων πόρων με τη διανομή της κυκλοφορίας σε μια γειτονική κυψέλη όταν το φορτίο κυκλοφορίας είναι βαρύ σε μια κυψέλη, αλλά ελαφρύτερο στα περιβάλλοντα κύτταρα.

Η ασυνεχής μετάδοση : Αναστέλλει τη ραδιομετάδοση κατά τη διάρκεια μιας μικρής διακοπής στη συνομιλία για να σώσει τη δύναμη, να μειώσει την παρέμβαση και να αυξήσει την ικανότητα.

Dual Band Solutions : Επιτρέπουν στους χειριστές GSM 900 να χρησιμοποιήσουν πρόσθετο φάσμα στη ζώνη 1800 MHz για να ωθήσουν την χωρητικότητα, και στους χειριστές των 1800 MHz να χρησιμοποιήσουν τη ζώνη 900 MHz για να επεκτείνουν την περιοχή κάλυψης. Αυτή η λύση προγραμματίζεται να είναι διαθέσιμη για τους χειριστές MHz του 1900.

Dynamic Half Rate Allocation : Ορίζει δυναμικά τα κανάλια λεκτικής κυκλοφορίας για τις νέες κλήσεις σε κανονικό ή μισό ρυθμό κατάστασης βασισμένο στο ότι εάν το φορτίο σε μια δεδομένη κυψέλη υπερβαίνει τους προετοιμασμένους αισθητηριακούς ουδούς.

Ο δυναμικός έλεγχος ισχύος μειώνει την παρεμβολή δικτύων λιγότερο από στο μισό από το αρχικό επίπεδό του, με τη ρύθμιση της ισχύος παραγωγής από τον κινητό σταθμό και το σταθμό πομποδεκτών βάσεων. Ο βασισμένος σε ποιότητα αλγόριθμος του ξεπερνά τον διευκρινισμένο αλγόριθμο που χρησιμοποιείται από τους περισσότερους άλλους προμηθευτές GSM.

Dynamic Underlaid/Overlaid Subcells : Διαίρει αυτόματα την κυκλοφορία σε μια κυψέλη σε δύο, μεταξύ ενός *underlaid subcell*, που φέρνει την μεγαλύτερη μέρος της κυκλοφορίας, και επιστρωμένου *subcell*, ο οποίος φέρνει την κυκλοφορία μόνο κατά τη διάρκεια των μέγιστων περιόδων.

Fractional Load Planning (FLP) : Η σύνθεση του βασίζεται στο *hopping* συχνότητας. Διευκολύνει τον εύκολο προγραμματισμό συχνότητας και γρηγορότερο *roll-out* δικτύων. Τα δύο ο συνηθέστερα χρησιμοποιημένα σχέδια κατανομής συχνότητας είναι 1/1 και 1/3. Για τα μεγάλα εύρη ζώνης, *FLP* παρέχει το παρόμοιο κέρδος ικανότητας ως *MRP* (πολλαπλάσιο σχέδιο επαναχρησιμοποίησης). Για τα στενά εύρη ζώνης, εντούτοις, μπορεί να παρέχει μέχρι το διπλάσιο την ικανότητα *MRP*.

Hopping συχνότητας : Επιτρέπει τη μετάδοση μιας άνω συχνότητας κατά τη διάρκεια της αυλάκωσης ενός χρόνου και πέρα από άλλο κατά τη διάρκεια της αυλάκωσης την επόμενη φορά, και τα λοιπά. Αυτό περιορίζει την έκθεση του σήματος στην παρεμβολή. Δύο τύποι *hopping* συχνότητας είναι διαθέσιμοι, ο *base band frequency hopping* και ο *synthesized frequency hopping*.

Η ιεραρχική δομή κυττάρων χρησιμοποιεί τις παραμέτρους ελέγχου της κυκλοφορίας που τίθενται ως στόχος από το χειριστή να διανείμουν την κυκλοφορία μεταξύ των διαφορετικών τύπων κυττάρων (μακροεντολή -, μικροϋπολογιστής, *pico*, κ.λπ....) σε μέχρι οκτώ διαφορετικά στρώματα δικτύων.

Ο ελεγκτής σταθμών βάσεων υψηλής χωρητικότητας χειρίζεται περισσότερα από 500 κύτταρα και είναι εξελικτικός από ένα γραφείο με 144 πομποδέκτες σε μέχρι 1.020 πομποδέκτες.

Hot Spot Finder : Είναι ένα μοναδικό εργαλείο που προσδιορίζει τις περιοχές υψηλής-κυκλοφορίας και, πριν από την επέκταση, μετρά το επίπεδο κυκλοφορίας που τα *microcells* θα φέρουν σε αυτές τις περιοχές. Αυτό το καθιστά πιθανό να εγγυηθεί τα κερδοφόρα ρεύματα εισοδήματος προτού να γίνουν οι επενδύσεις.

Intracell Handover : Κινεί μια κλήση από ένα κανάλι προς άλλο μέσα στο ίδιο *sub-cell* όταν μειώνεται η ποιότητα της κινητής σύνδεσης σταθμών, σε μια δεδομένη ισχύ σημάτων, κάτω από ένα ορισμένο κατώτατο όριο.

Multiple Reuse Pattern : Είναι η αποδοτικότερη τεχνική για *hopping* συχνότητας ζωνών βάσεων σε ένα δίκτυο. Με τη διάθεση μιας διαφορετικής επαναχρησιμοποίησης σε κάθε πομποδέκτη και τη χρησιμοποίηση *hopping* συχνότητας για να υπολογίσει κατά μέσο όρο έξω τις διαφορές, είναι δυνατό να επιτευχθεί μια πολύ σφιχτή επαναχρησιμοποίηση συχνότητας. Έναντι των συμβατικών τεχνικών non-hopping, η *MRP* μπορεί να διπλασιάσει την ικανότητα δικτύων. Η *MRP* χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλά δίκτυα.

RBS 2302 : Είναι ένας εσωτερικός/υπαίθριος σταθμός βάσεων μικροϋπολογιστών που παρέχει μέχρι 15 φορές περισσότερη χωρητικότητα από έναν παραδοσιακό σταθμό βάσεων μικροϋπολογιστών ενιαίος-πομποδεκτών.

RBS 2401 : Είναι ο πρώτος παγκοσμίως σταθμός βάσεων *risco* δύο-πομποδεκτών με την ενσωματωμένη παροχή μετάδοσης και ηλεκτρικού ρεύματος. Παρέχει τρεις φορές την χωρητικότητα οποιασδήποτε λύσης ενιαίων-πομποδεκτών.

METAWAVE



Η εξέλιξη των ευφών κεραιών για τα ασύρματα δίκτυα σήμαινε την εισαγωγή κάποιων προϊόντων τα οποία είναι αναφορικά τα εξής:

Smart Cell

Πρόκειται για μια κεραία που χρησιμοποιεί Personality Module και Cell Sculpting τεχνολογία για να αυξήσει τη χωρητικότητα και τη ποιότητα.

SmartShare

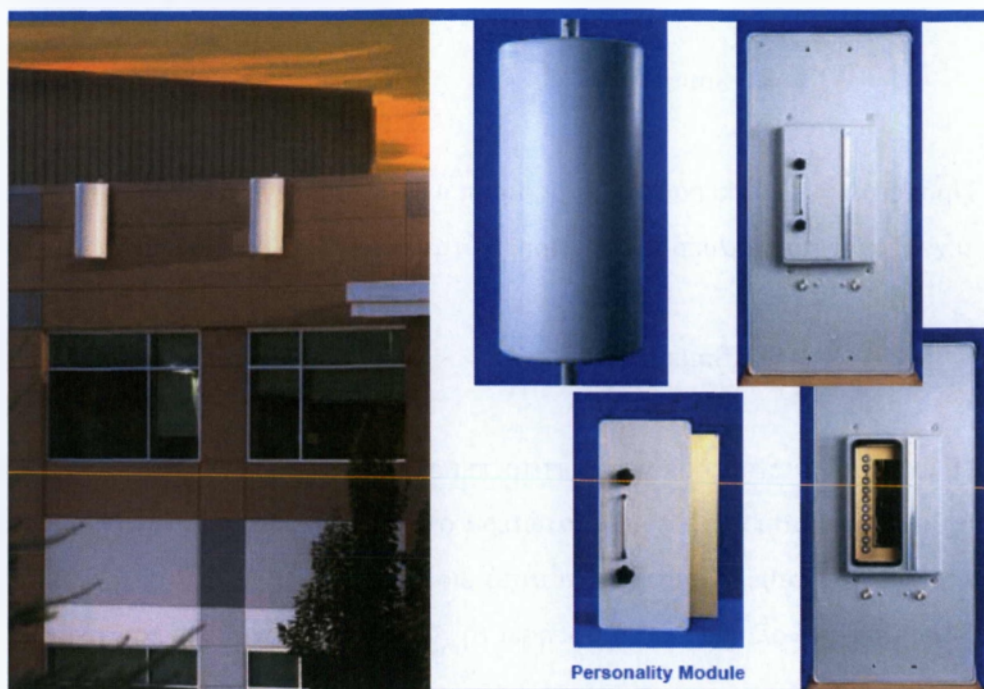
Πρόκειται για ένα προϊόν που επιτρέπει στους διάφορους παροχείς υπηρεσιών να έχουν πρόσβαση στα αρχικά κατώτερα στρώματα, με ανεξάρτητο έλεγχο σχεδίου κεραίας για κάθε χειριστή. Και αυτό εισαγάγει την Personality Module και Cell Sculpting τεχνολογία για να αυξήσει τη χωρητικότητα και την ποιότητα.

SpotLight 2200

Ένα προϊόν για τους χειριστές CDMA για να αυξηθεί η χωρητικότητα και η ποιότητα μέσω της Sector Synthesis

Adaptive Smart Antenna

SmartCell



Εικόνα 4-4

▮ 📵 Μονός-χειριστής κεραίας

➤ Παθητική

κεραία

- Να μην εισβάλλει στον σταθμό βάσης
- Συμβατό με 3-6 τομείς

▮ 📵 Αντικαταστίσιμη Personality Module ελέγχει τελικά το σχέδιο της κεραίας

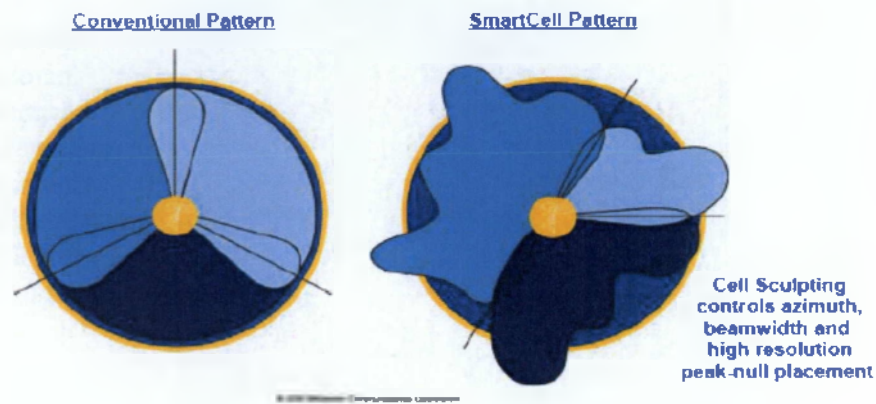
- Συνηθισμένα ή στάνταρ σχέδια εισάγονται για να ταιριάξουν την τοπολογία του τομέα

▮ 📵 Διαθέσιμο ανά τομέα

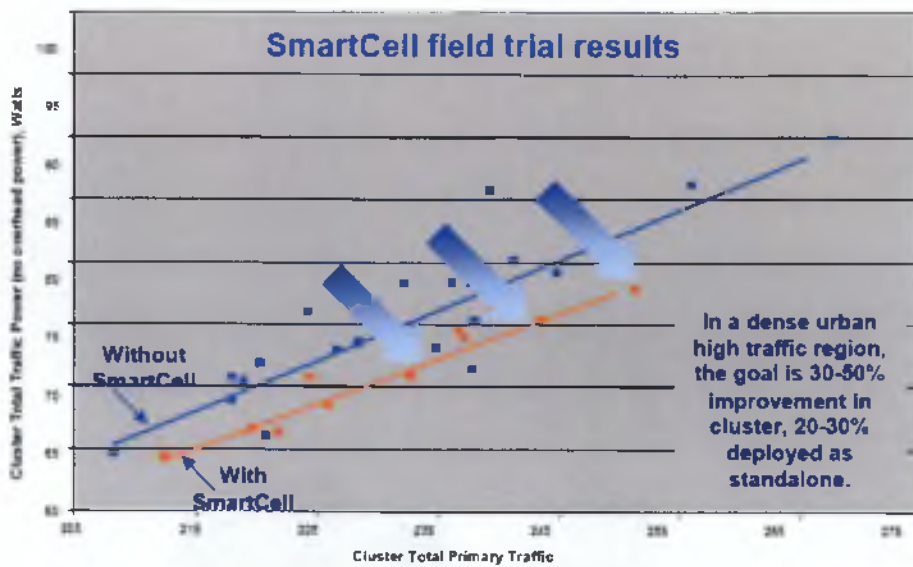
▮ 📵 Ιδανικό για περίπλοκα περιβάλλοντα ακτινοβολήσης

Το SmartCell δίνει ελαστικότητα. Αυτό φαίνεται στην εικόνα 4-5. Επίσης διαμορφώνει τα σχέδια των κεραιών ώστε να ελαχιστοποιήσει την ισχύ εκπομπής, μειώνοντας την παρεμβολή, περιορίζοντας το handoff και εξισορροπώντας την

φόρτωση. Η μείωση της ισχύς εκπομπής και η αύξηση της χωρητικότητας παριστάνεται σχηματικά στις εικόνες 4-6 και 4-7 αντίστοιχα.

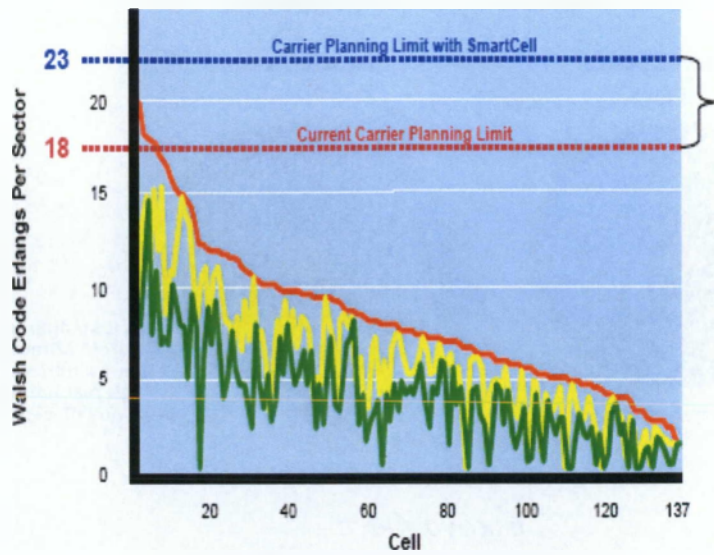


Εικόνα 4-5



Εικόνα 4-6

Typical Network Traffic Profile

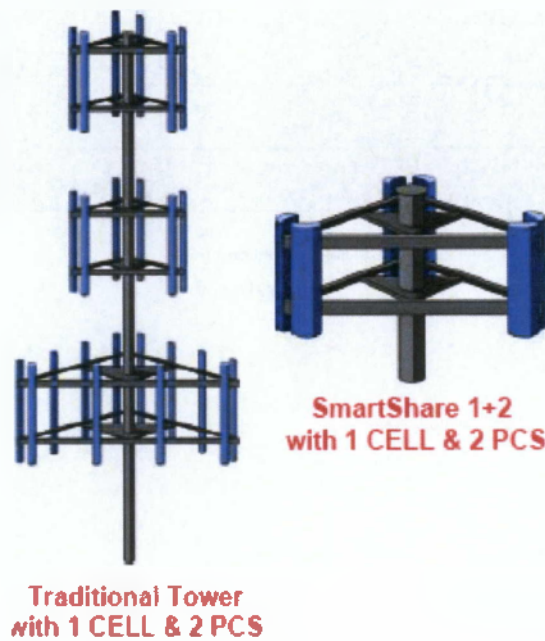


SmartCell increases capacity, improves asset utilization, and extends the life of each CDMA carrier frequency

SmartCell increases CDMA carrier frequency planning thresholds

Εικόνα 4-7

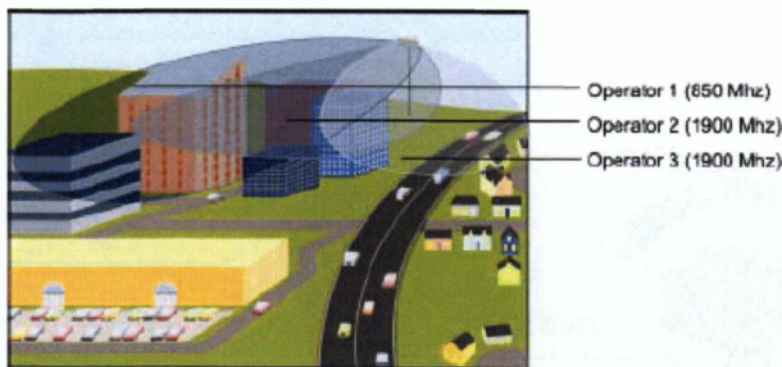
SmartShare



Εικόνα 4-8

Το SmartShare που φαίνεται στην εικόνα 4-8:

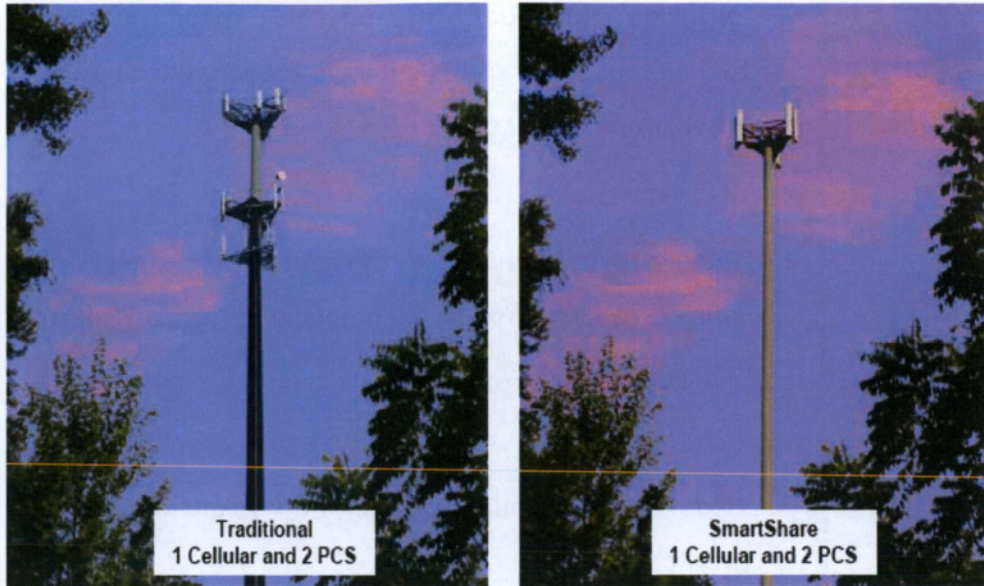
- Επιτρέπει πρόσβαση σε αρχικές τοπολογίες για πολλαπλούς χειριστές στις ίδιες ή διαφορετικές ομάδες συχνοτήτων και διεπαφές αέρα.
- Πρόκειται για μια ανεξάρτητη κεραία που σχεδιάζει για κάθε έναν χειριστή που μοιράζεται με ξεχωριστό Personality Module.
- Μέσω του Cell Sculpting αυξάνει την χωρητικότητα και την απόδοση.



Εικόνα 4-9

Στην εικόνα 4-9 φαίνεται ότι το SmartShare είναι μια ορατή λύση για πολλαπλούς χειριστές στους οποίους επιτρέπει να μοιράζονται ένα μοναδικό σύνολο κεραιών ενώ ανεξάρτητα φροντίζουν για τα σχέδια των κεραιών των προσωπικών τους δικτύων.

SmartShare Δοκιμή Πεδίου



Εικόνα 4-10

SpotLight 2200



Εικόνα 4-11

☛ Το SpotLight 2200 προστίθεται σε ήδη υπάρχοντες σταθμούς βάσης:

- Lucent
- Motorola
- Nortel

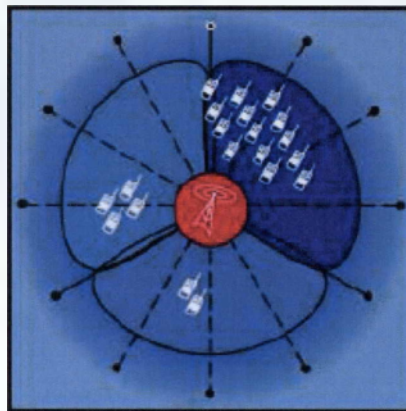
☛ Είναι συμβατό με το δίκτυο.

☛ Είναι αποτελεσματικό όσον αφορά το κόστος για την αύξηση της χωρητικότητας.

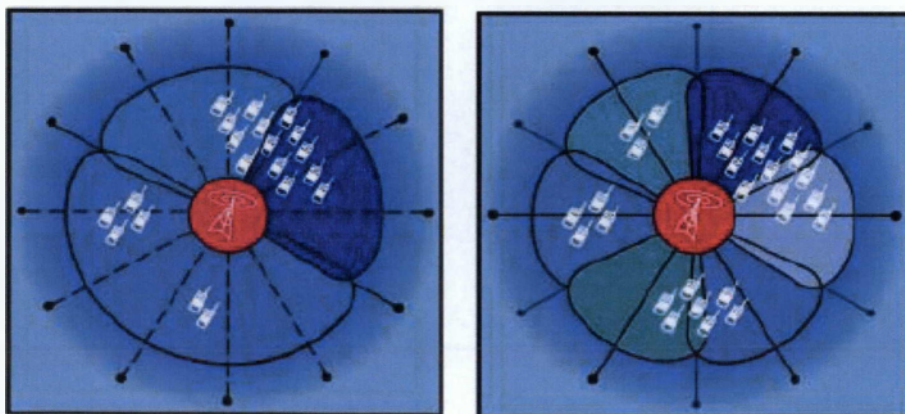
☛ Βελτιώνει την απόδοση του δικτύου

Παραδοσιακή

κεραία: ανισόρροπη κυκλοφορία



Smart Antenna: SpotLight 2200

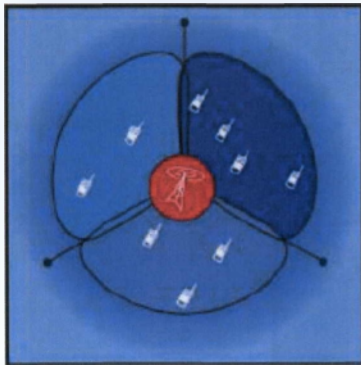


Εικόνα 4-12

Από αυτό που βλέπουμε από την εικόνα 4-12 το SpotLight έχει κέρδος σε χωρητικότητα κατά 50% σε 3-τομείς και κατά 90% σε 6-τομείς. Ακόμη έχει κέρδος σε ποιότητα κατά 60% με τη μείωση των χαμένων κλήσεων και κατά 30% με τη μείωση των αποτυχιών πρόσβασης.

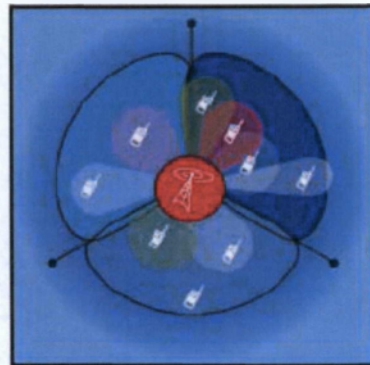
Adaptive Antenna System

Παραδοσιακή



3-τομέων

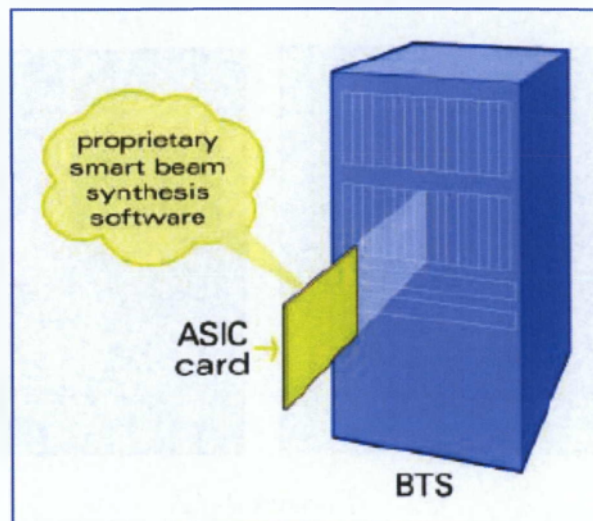
MetaWave



Adaptive Διαμόρφωση Δέσμης

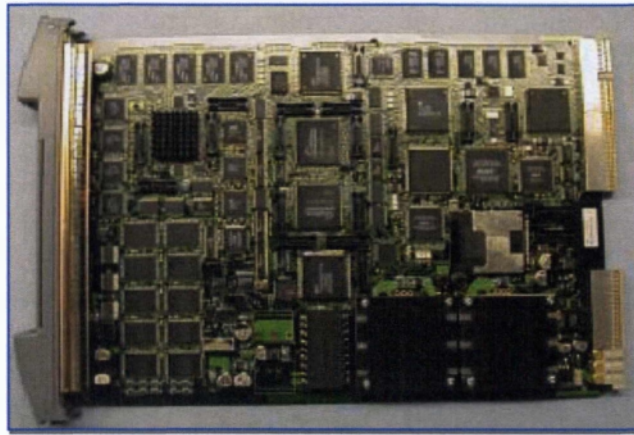
**Κέρδη σε χωρητικότητα:
2,5-3*χωρητικότητα**

Εικόνα 4-13



Εικόνα 4-14

Όπως φαίνεται στην εικόνα 4-14 η smart antenna σύμφωνα με έναν αλγόριθμο λογισμικού που παραθέτει στην κάρτα του καναλιού ή σε κάποια άλλη κάρτα.



Εικόνα 4-15

Στην εικόνα 4-15 φαίνεται μια κάρτα κυκλώματος μίας κεραίας MetaWave που αναπτύχθηκε για σταθμό βάσης CDMA 2000 1X.

Μια adaptive κεραία προσφέρει τα ακόλουθα:

- ▶ Κέρδος χωρητικότητας 2,5-3X για κυκλοφορία φωνής
- ▶ Αύξηση απόδοσης 2,5-3X για υπηρεσίες δεδομένων
- ▶ Σημαντικά πλεονεκτήματα για δεδομένα υψηλού ρυθμού
- ▶ Εκμετάλλευση της λανθάνουσας κατάστασης και του 'ξεσπάσματος'
- ▶ Συνδυασμός της ευφυής κεραίας με τον 'χωρικό διακανονισμό' του αλγόριθμου
- ▶ Δημιουργία συμβατών ομάδων υπηρεσιών για τη βελτίωση των ρυθμών δεδομένων

ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

- ✚ Υπαίθριες δοκιμές συστήματος πεδίου, οι οποίες περιλαμβάνουν διάφορους GSM/DCS BS με μια ευφυή κεραία, είναι στην εστίαση της συνεργασίας Ericsson/Mannesman. Το σύστημα θα δοκιμάσει έναν πλήρη αντιπροσωπευτικό φορτίο κυκλοφορίας στο εγγύς μέλλον. Σε αυτό το πείραμα, δέκτες ευφυούς κεραίας χρησιμοποιούν οκτώ στοιχεία, μια διπλά-πολωμένη διάταξη ευφυούς κεραίας με το DOB στις άνω και κάτω ζεύξεις. Αναφέρθηκαν βελτιώσεις στο λόγο φέροντος προς θόρυβο (C/N) της τάξεως των 4-5 DB για τις άνω και κάτω ζεύξεις. Στα αγροτικά και αστικά *macrocells*, ο δέκτης ευφυούς κεραίας παρέχει πρόσθετα 10 και 6 DB, αντίστοιχα, στο CIR. Με βάση το πείραμα, το κέρδος χωρητικότητας 100%-200% επιτυγχάνεται, και η επιτεύξιμη επέκταση διάταξης καθορίζεται από 4-5-dB C/N κέρδος, το οποίο είναι ισοδύναμο με 50% λιγότερες περιοχές.
- ✚ Ένα άλλο πεδίο δοκιμής πραγματοποιήθηκε από τη διεθνή ομάδα της Ericsson, στο Sweden/Research Triangle Park, στη Στοκχόλμη, Σουηδία, NC, για τη μελέτη της απόδοσης δεκτών ευφών κεραιών για ψηφιακά-προηγμένη κινητή τηλεφωνική υπηρεσία (D AMPS). Οι δέκτες άνω ζεύξης χρησιμοποιούν ποικιλομορφία διαστήματος και πόλωσης. Οι στοιχειοκεραίες έχουν 15 χωρισμούς μήκους κύματος. Δύο τύποι, δηλ., ένας maximum ratio-combining (MRC) δέκτης και rejection-combining παρεμβολής (IRC) δέκτης, μελετήθηκαν. Συνδυάζοντας διάστημα και πόλωση κάποιες προσεγγίσεις παρείχαν κέρδος 3,5-DB στον λόγο C/N και, επιπροσθέτως, κέρδος 5-DB με IRC σε ένα interference-limited σενάριο. Η προσέγγιση fixed-beam χρησιμοποιήθηκε στην κάτω ζεύξη.
- ✚ Η Ericsson έχει εκτελέσει άλλη μια δοκιμή σε συνεργασία με το γερμανικό GSM1800 Mannesmann στην πόλη του Γκίσεν. Τρεις σταθμοί βάσεων εξοπλίστηκαν με τις smart κεραίες. Οι σταθμοί βάσεων ήταν τοποθετημένοι σε υψηλές τοποθεσίες, παρέχοντας μεγάλη κάλυψη. Το φθινόπωρο του 1998 που η δοκιμή Ericsson/Mannesmann έγινε η πρώτη δοκιμή που κατέδειξε την

εμπορική κυκλοφορία μέσω των σταθμών βάσεων εξοπλισμένων με τις ευφυείς κεραιές. Φυσικά, οι ευφυείς κεραιές ήταν 6-στοιχεία συσσωρευμένα δίπολα. Κάθε στοιχείο ήταν διπλά πολωμένο, με ± 455 πολωμένα στοιχεία. Ο συνδυασμός στην άνω ζεύξη βασίστηκε σε μέγιστο συνδυασμό αναλογίας, ενώ η διαμόρφωση ακτινών κάτω ζεύξεων ήταν με βάση τη μετατροπή μεταξύ οκτώ λοβών.

- ✚ Ένα προσαρμοστικό πεδίο δοκιμής σειράς κεραιών 4-στοιχείων (δηλ., *trh*) με έναν *DMI* αλγόριθμο σχεδιάστηκε από το AT&T, *Holmdel, NJ* για την αξιολόγηση της έννοιας της ευφυούς κεραιάς σε ένα IS-136 σύστημα που λειτουργεί σε 850 MHz/1.9 GHz. Ένα υψηλότερο κέρδος 5-DB επιτεύχθηκε σε 10 ± 2 bit ποσοστό λάθους (BER) σε μια εξασθένιση περιβάλλοντος Raleigh σε σύγκριση με την ποικιλομορφία κεραιών δύο-στοιχείων. Αυτό αντιστοιχεί σε μια αύξηση 40% στη διάταξη. Παρουσιάστηκε ότι η ευφυής κεραιά θα μπορούσε να διατηρήσει 10 ± 2 BER όταν το επίπεδο παρεμβολής είναι κοντά στο επίπεδο του επιθυμητού σήματος με τα εξασθενίζοντας ποσοστά αντιστοιχημένα σε 60 mi/h. Η απόδοση του PC μελετήθηκε με μια μεταστρεφόμενη δέσμη ευφυούς κεραιάς στην κάτω ζεύξη.
- ✚ Η *NTT DoCoMo*, *Yokosuka-shi*, Ιαπωνία, αναπτύσσει ένα πειραματικό σύστημα ευφυούς κεραιάς για ένα UMTS τρίτης γενιάς *wide-band (W-Cdma)* δίκτυο CDMA. Ο 2-D RAKE δέκτης περιλαμβάνει ένα BF MMSE, το οποίο δοκιμαστικά θα εκμεταλλευτεί ανακτημένα σύμβολα στοιχείων. Υπάρχουν τρεις περιοχές κυψελών στο πειραματικό σύστημα, και επιτρέπει την αξιολόγηση HO και άλλες λειτουργίες δικτύων. Τα πρώτα πειραματικά αποτελέσματα παρουσίασαν ουσιαστική βελτίωση στο μέσο BER με την ευφυή κεραιά έναντι της χωρικής ποικιλομορφίας.
- ✚ Το πρόγραμμα των συμμετεχόντων στο SUNBEAM (στο παρελθόν, TSUNAMI) χρησιμοποιεί ένα πεδίο δοκιμής SA που σχεδιάζεται από την Era Technology Ltd., *Leatherhead, Surrey*, Ηνωμένο Βασίλειο. Το AoA υπολογίζεται από τον MUSIC αλγόριθμο και χρησιμοποιεί Kalman φιλτράρισμα για την ανίχνευση. Οι ψηφιακές ενισχυμένες ασύρματες διεπαφές αέρα τεχνολογίες (DECT) επιλέχθηκαν για τις δοκιμές δεδομένου ότι μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα σε μια ευφυή κεραιά και επιτρέπουν στην πτυχή δικτύωσης να παραμελεί, ενώ δύο ανεξάρτητα κανάλια SDMA

υποστηρίχθηκαν. Η ομοιόμορφη γραμμική σειρά (ULA) αποτελείται από οκτώ στοιχεία.

- ✦ Ένα πρωτότυπο ευφυούς κεραίας του συστήματος SDMA για ένα GSM/DCS1800 δίκτυο αναπτύχθηκε και εξετάστηκε από τις Thompson-CSF επικοινωνίες, Cenne Villiers, Γαλλία, και από την CNET/France Telecom, Issy les Moulineaux, Γαλλία. Ο δέκτης της ευφυούς κεραίας αποτελείται από δέκα στοιχεία και ένα ψηφιακό BF στην κάτω και άνω ζεύξη. Στις δοκιμές, τρία κινητά επικοινωνήσαν στο ίδιο κανάλι FDMA /TDMA. Ο αλγόριθμος MUSIC χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση AoA. Τέτοιες παράμετροι μελετήθηκαν όπως ο ελάχιστος γωνιακός χωρισμός, ο μέγιστος δυναμικός χωρισμός σημάτων, και το επιτεύξιμο επίπεδο απόρριψης παρεμβολής. Ένα σύνολο πειραματικών προϊόντων και συστημάτων φαίνεται στον πίνακα 4-1.

Designer	Air interface	Antenna (N)	SA Receiver algorithm	Remarks
SA experimental systems				
Ericsson & Mannesmann Mobilfunk)	GSM/DCS 1800	8	Up-link: DOB Down-link: DOB switched-beam and adaptive	Several BS equipped with SA integrated into network
Ericsson Research (SW/US)	IS - 136 (D-AMPS)	spacing up-link 15λ & pol. div.	Up-link: MRC and IRC, Down-link: fixed beam approach	
AT&T Labs-Research (US)	IS-136	4	Up-link: 4 branch adaptive TRB, DMI algorithm Down-link: switched beam with or without PC (up to 3 beams)	Up and down links are independent
NTT DoCoMo (Japan)	UMTS	6	Up-link: Decision directed MMSE (tentative data and pilot) 4 finger 2D-RAKE Down-link: calibration of weights generated for reverse link	-include 3 cell sites -data transmission up to 2 Mbps
TSUNAMI (SUNBEAM) Consortium (EU)	DECT ->DCS1800		ULA with MUSIC for AoA estimation Tracking with Kalman filtering	SDMA was Studied, based on DECT
CNET & CSF-THOMPSON (F)	GSM/DCS1800	10 circular	Up-link: DOB based BF Capon, MUSIC for AoA estimation Down-link: DOB	SDMA
Uppsala University (SW)	DCS 1800	10 circular	Up-link only: TRB with DMI algorithms	Data traffic from DCS-1800 was used
Commercially available products				
Metawave (US) Spotlight™2000	AMPS, CDMA	12	Up- and down links : 12 switched beam	
Raytheon (US)	Flexible upgraded by SW	8	Up-link: DOB based algorithm	SA can be connected directly at the RF input at the BS
ArrayComm "IntelliCell"™ (US)	WLL, PHS, GSM	4	Up-link: ESPRIT algorithm Adaptive interference cancellation	First mass market commercial product

Πίνακας 4-1

- Η ομάδα κυκλωμάτων και συστημάτων, στο πανεπιστήμιο της Ουψάλα, στην Ουψάλα, Σουηδία, και η Ericsson Radio Access AB, Στοκχόλμη, Σουηδία, έχτισαν μια πειραματική ευφυής κεραία δέκα στοιχείων. Πραγματικά στοιχεία κυκλοφορίας που λαμβάνονται από το DCS 1800 δίκτυο χρησιμοποιήθηκαν, και η έννοια πολλαπλού χωρικού διαχωρισμού αξιολογήθηκε. 30 DB σε CIR λήφθηκαν σε μια line of sight (LOS) θεωρία διάδοσης. Παρατηρήθηκε ότι διαφορετικές χωρικές υπογραφές και ο χαμηλός διαγώνιος συσχετισμός μεταξύ της κατάρτισης ήταν αρκετοί για το διαχωρισμό, ακόμη και για τα σήματα με την ίδια γωνιακή τοποθεσία παρουσία του CCI. Ήταν δυνατό να διατηρήσει χωρίς λάθη μετάδοση με το ελάχιστο 10 _angular μεταξύ των επιθυμητών και παρεμβάλλοντων σημάτων όταν $CIR = 20$ DB.
- Οι μηχανικοί στο Roke Manor στο Hampshire έχουν αναπτύξει μια παλμική ευφυή κεραία κατάλληλη για 3G time division-CDMA, το σύστημα που προτείνεται για την Κίνα. Η smart κεραία, αν και ακριβότερη από τις τρέχουσες κεραίες, μπορεί να προσφέρει τη μείωση κόστους όπως είναι αποδοτικότερο από τα τρέχοντα συστήματα. Σύμφωνα με τον Chris Tarran, ο υπεύθυνος προγράμματος των ευφυών κεραιών, ο στόχος ήταν να σχεδιαστεί μια κεραία που θα έστελνε την ενέργεια από τον σταθμό βάσης στο σωστό χρόνο και στη σωστή κατεύθυνση. Αυτό είναι αποδοτικότερο σε ενέργεια από το τρέχον σύστημα σταθερής πανκατευθυντικής ακτινοβολίας ή τα σήματα.

Η ευφυής κεραία μεταστρέφει μέχρι 16 σύνολα δεσμών κάθε φορά που αυλάκωση μέχρι 1kHz. Η κεραία στην εικόνα 4- παρουσιάζει ένα στοιχείο οκτώ δίπολων κυκλική διάταξης *co-linear*. Αυτά τα στοιχεία ταΐζουν ένα σύνολο οκτώ συνεπών ψηφιακών πομποδεκτών και *DSPs*.

Η κεραία λειτουργεί με την οδήγηση μιας δέσμης σε κάθε κινητό χρήστη όταν απαιτείται η κεραία διαμορφώνει επίσης αχρηστεύει στις κατευθύνσεις της ισχυρής παρέμβασης. Και οι δέσμες στον επιθυμητό χρήστη και αχρηστεύουν στις κινούμενες πηγές διαδρομής πηγών παρέμβασης. Να είναι σε θέση να ακτινοβοληθεί η ενέργεια που και τότε είναι επιθυμητό σημαίνει ότι η βελτιωμένη διάταξη και η υψηλότερη χωρητικότητα κυψελών μπορούν να επιτευχθούν, επομένως λιγότεροι σταθμοί βάσης απαιτούνται.



The smart antenna

Εικόνα 4-16

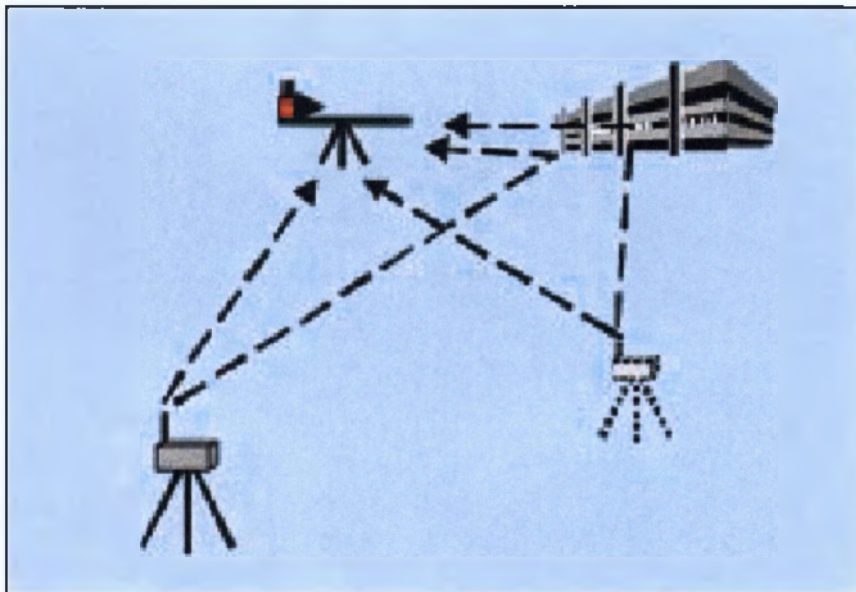
- Οι ευφυείς κεραιές υπόσχονται να παρέχουν σημαντική βελτίωση στην απόδοση των 3G φορητών ραδιοφώνων. Η Κινητή και Φορητή Ραδιοομάδα (MPRG) και η Ομάδα Τεχνολογίας Κεραιών της Βιρτζίνια (VTAG) στο πολυτεχνείο της Βιρτζίνια είναι σε ανάθεση για να ερευνήσει τις βασικές πτυχές από τις smart κεραιές μικροτηλεφώνων για την Texas Instruments. Αυτός ο στόχος περιλαμβάνει τη συλλογή της κεραιάς και την διάδοση των στοιχείων μέτρησης, αξιολογώντας τη ποικιλομορφία και τους προσαρμοστικούς αλγόριθμους, που μιμούνται συνολικά την απόδοση και ποσολόγηση των συστημάτων βασικών φαινομένων που επιδρούν σε μικροτηλέφωνα με smart κεραιές.

Από την αρχή αυτού του προγράμματος τον Ιούλιο του 1998, τρία εργαλεία δημιουργήθηκαν: μια φορητή κεραιά δοκιμή διάταξης (HAAT), ένα διάνυσμα προσομοίωσης πολλαπλών διαδρομών διάδοσης (VMPS) και ένα ευρείας ζώνης διάνυσμα μέτρησης απόκρισης της ώθησης ενός συστήματος (OXIA). Έχουμε χρησιμοποιήσει αυτά τα εργαλεία με την κεραιά MPRG δοκιμή διάταξης (MAAT) για να κατανοηθεί το περιβάλλον διάδοσης όπως γίνεται αντιληπτό από μια διάταξη κεραιών στο μικροτηλέφωνο. Εκτενείς μετρήσεις 2.05GHz δείχνουν ότι κέρδη στον προϋπολογισμό συνδέσεων των 7-9dB στο 99% επίπεδο αξιοπιστίας μπορεί να είναι πραγματοποιημένα στα περιορισμένης ζώνης συστήματα για υπαίθρια και εσωτερικά non-LoS περιβάλλοντα. Αυτά τα κέρδη μπορούν να επιτευχθούν με τη χρησιμοποίηση μικρής διάταξης κεραιών με ποικιλομορφία ή προσαρμοστικό συνδυασμό στο μικροτηλέφωνο για τους διαχωρισμούς κεραιών του 0,15 μήκους

κύματος ή μεγαλύτερου. Επιπρόσθετες μετρήσεις δείχνουν ότι ένα μοναδικό παρεμβάλλον σήμα μπορεί να μειωθεί με 25-40dB χρησιμοποιώντας προσαρμοστικούς αλγόριθμους *beamforming*. Έτσι, σημαντικές βελτιώσεις στην χωρητικότητα του συστήματος στην αξιοπιστία και στην εξοικονόμηση ισχύος εκπομπής επιτυγχάνονται.

Ανάπτυξη συστήματος

Το σύστημα *HAAT* αναπτύχθηκε για να αξιολογήσει την απόδοση από τις διάφορες διαμορφώσεις κεραιών στο συνδυασμό ποικιλομορφίας και προσαρμοστικά *beamforming* πειράματα. Η εικόνα 4-17 παρουσιάζει ένα χαρακτηριστικό πειραματικό σενάριο χρησιμοποιώντας το σύστημα *HAAT*. Ο δέκτης αναμιγνύει τα σήματα από δύο ή περισσότερα κανάλια δεκτών κάτω από στη ζώνη βάσης. Αυτά τα σήματα καταγράφονται στο ψηφιακό *audiotape* χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους αλγόριθμους. Ο δέκτης κινείται κατά μήκος μιας διαδρομής 2.8m σε σταθερή ταχύτητα που μιμείται ένα περπάτημα ανθρώπου.



Εικόνα 4-17

Μια μικρή φορητή μονάδα *radiotype* κρατά δύο κεραιές. Το διάστημα και ο προσανατολισμός των κεραιών είναι ποικίλα.

Το σύστημα έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά για τον φορητό δέκτη

- 2,05 GHz CW σήματα
- Δύο πομπούς

- ✚ Έναν δέκτη (δύο κανάλια που επεκτείνονται σε τέσσερα)
- ✚ Battery-operated σύστημα ιδιαίτερα φορητό
- ✚ Ρεαλιστικά σενάρια λειτουργίας

Το *MAAT* στην εικόνα 4-18 έχει πολλά από τα ίδια χαρακτηριστικά σαν *HAAT*, αλλά έχει περισσότερα κανάλια και είναι ικανό για πολύ μεγαλύτερα εύρη ζώνης. Είναι εντούτοις πολύ δύσκολο και περίπλοκο να μετακινηθούμε σε διάφορες τοποθεσίες. Το *MAAT* λειτουργεί σε 2,05 GHz με διαμορφωμένο σήμα . Το εύρος ζώνης τίθεται στα 100 KHz αλλά επεκτείνεται με τροποποιήσεις στο 1MHz. Το *MAAT* είναι ικανό για ψηφιακό ρεαλιστικό beamforming και για την angle-of-arrival estimation.

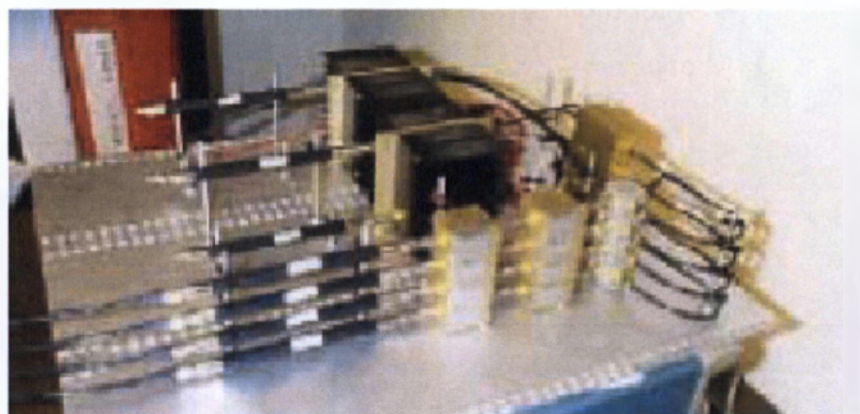


Εικόνα 4-18

Πειραματικά αποτελέσματα του *MAAT* επιβεβαιώνουν το περιστατικό της εκπομπής και λαμβάνουν την αμοιβαιότητα, δηλ., οι λειτουργικοί ρόλοι της μετάδοσης και λήψης κεραιών ανταλλάσσονται. Αυτό επιτρέπει την απλοποίηση της πειραματικής συλλογής που αποδεικνύει την ευφυή εκπομπή κεραιών. Αυτό επίσης επιτρέπει τη

συλλογή στοιχείων για την υποστήριξη ευφυών κεραιών λήψης για να χρησιμοποιούνται για την ερμηνεία της απόδοσης από τις ευφείς κεραιές μετάδοσης. Για αυτό το πρόγραμμα, ένας softwaredefined, ευρείας ζώνης διανυσματικού καναλιού δέκτης μέτρησης αναπτύχθηκε. Το VIPER υποστηρίζει επίσης την εκπομπή και λήψη ποικιλόμορφων μετρήσεων. Ο δέκτης VIPER μπορεί να λάβει τα σήματα μέχρι 400MHz στο εύρος ζώνης

και να επεξεργαστεί αυτά τα σήματα στο λογισμικό. Ο δέκτης εξυπηρετεί σαν δοκιμή για τους αλγόριθμους ευφους κεραιάς και εκτελεί τη λειτουργία πολλαπλών διαδρομών συστημάτων μέτρησης συγκρίνοντας τα αποτελέσματα απόδοσης αλγόριθμου στα πολλαπλά ραδιοπεριβάλλοντα καναλιών. Η εικόνα 4-19 παρουσιάζει φωτογραφία του προηγούμενου τμήματος του VIPER RF. Ένας παλμογράφος 4-καναλιών χρησιμοποιείται για σύστημα δειγματοληψίας και ο υπολογιστής αποκτά όλες τις πληροφορίες σημάτων από αυτόν τον παλμογράφο.

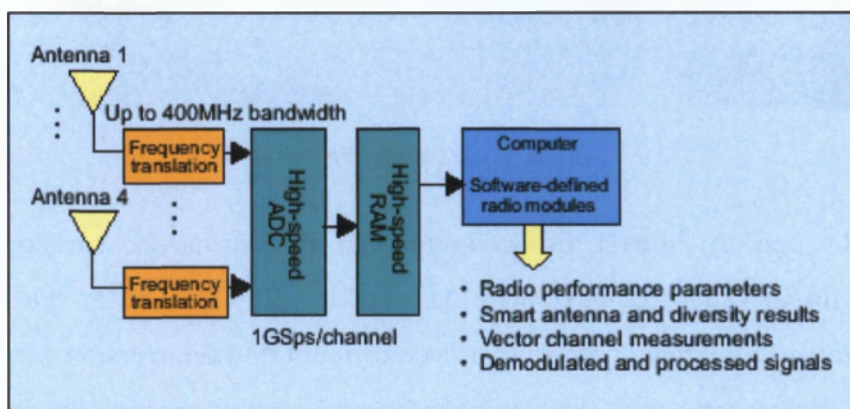


Εικόνα 4-19

Το VIPER έχει σχεδιαστεί για να εφαρμόσει τις λειτουργίες επεξεργασίας στο λογισμικό με το ελάχιστο υλικό RF. Η εικόνα 4-20 παρουσιάζει ένα διάγραμμα φραγμών του υλικού των δεκτών. Ένα ενός σταδίου downconversion εκτελείται και IF σήματα επιλέγονται σε 1GSps για κάθε ένα από τα τέσσερα κανάλια. Τα δείγματα αποθηκεύονται στη RAM και επεξεργάζονται από τον υπολογιστή.

Το λογισμικό του VIPER είναι αρμόδιο για την απόκτηση, επεξεργασία και καταγραφή των λαμβανόμενων σημάτων και επίδειξη της μέτρησης ή τα αποτελέσματα του αλγόριθμου. Το λογισμικό έχει εξελιχθεί για να περιλάβει τις ακόλουθες ενότητες:

- Ποικιλομορφία κεραιών και ποικιλομορφία επεξεργασίας κέρδους
- Μέτρηση των χαρακτηριστικών του timedispersion (πολλαπλών διαδρομών) των ραδιο καναλιών
- Εφαρμογή των αλγορίθμων ευφυούς κεραιάς που αναπτύσσονται σε Matlab
- Δύναμη, χρόνος-περιοχή και μέτρηση φάσματος
- Απόκτηση και καταγραφή κατέργαστων λαμβανόμενων σημάτων
- Αναπαραγωγή ήχου των καταγραμμένων σημάτων για να αναπτυχθεί και τη δοκιμή νέων αλγορίθμων.



Εικόνα 4-20

Ένας ευρείας ζώνης πομπός σημάτων έχει σχεδιαστεί και χιτστεί για την ευρείας ζώνης ποικιλομορφία και τα πειράματα μέτρησης. Η συσκευή του πομπού είναι βασισμένη σε ένα FPGA με EEPROM που καθορίζει το PN και τις ακολουθίες στοιχείων. Η τρέχουσα εφαρμογή από τη συσκευή πομπού επιτρέπει την ακολουθία τσιπ PN να τρέξει τόσο πολύ όσο 25Mcps, αλλά στο μέλλον οι εφαρμογές θα χρησιμοποιήσουν τη πλήρης χωρητικότητα του ολοκληρωμένου κυκλώματος FPGA

με τρέξιμο σε 100Mcps. Αυτός ο υψηλός ρυθμός του τσιπ απαιτείται για λεπτομερείς μετρήσεις του πολλαπλών διαδρομών καναλιών ραδιοφώνου, αλλά χαμηλότεροι ρυθμοί τσιπ θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια των ποικιλόμορφων πειραμάτων για την παραγωγή σημάτων παρόμοια στο εύρος ζώνης με εκείνα των 3G ασύρματων συστημάτων.

Το VMPS αναπτύχθηκε για να λειτουργήσει με πειραματικές μετρήσεις σε κάθε περιορισμένης ζώνης ή ευρείας ζώνης περιβάλλον σημάτων. Το πλήρες ραδιοκανάλι μπορεί να διαμορφωθεί με αυτόν τον προσομοιωτή, συμπεριλαμβάνοντας τα αποτελέσματα κεραιών και διάδοσης. Τα πειραματικά αποτελέσματα μπορούν να βελτιστοποιήσουν τα πρότυπα που εφαρμόζονται σε VMPS. Ο στόχος είναι η απομόνωση και η μελέτη των αποτελεσμάτων των παραμέτρων όπως το σχέδιο της κεραίας, το διάστημα, η παρεμβολή πολλαπλών διαδρομών, η απόδοση αλγορίθμου κ.λπ..

Ένα σύστημα δεκτών με μέχρι οκτώ κεραιών μπορεί να διαμορφωθεί με τον προσομοιωτή VMPS. Μέχρι έξι συσκευές πομπών μπορούν να ενεργοποιηθούν και να τοποθετηθούν σε αυθαίρετες θέσεις γύρω από το δέκτη. Η πολλαπλών διαδρομών διάδοση προσομοιώνεται με την παρεμβολή scatterers που επιλέγονται από τους χρήστες ή καθορίζονται από τα ενσωματωμένα πρότυπα. Η εκπομπή ισχύος και η αντανάκλαση συντελεστού scatterers μπορεί να ποικίλλει και ο LoS μπορεί να είναι ενεργοποιηθεί ή όχι. Ο συνδυασμός από όλα αυτά τα χαρακτηριστικά επιτρέπει την προσομοίωση μιας ευρείας ποικιλίας των όρων καναλιών. Ο προσομοιωτής μπορεί να διαμορφώσει την απόδοση διάφορης ποικιλομορφίας σχεδίων όπως ο χώρος, η πόλωση, το σχέδιο και η γωνιακή ποικιλομορφία.

Κέρδη ποικιλομορφίας 7-11dB έχουν ληφθεί από το VMPS στο 99 τοις εκατό επίπεδο για δύο στοιχειοκεραίες σε non- LOS αστικά περιβάλλοντα διάδοσης χρησιμοποιώντας τον συνδυασμό μέγιστης αναλογίας. Αυτά τα αποτελέσματα προσομοίωσης συμφωνούν με τις μετρήσεις που λειτουργούν κάτω από παρόμοιους όρους διάδοσης χρησιμοποιώντας το σύστημα HAAT. Το VMPS μπορεί επίσης να αξιολογήσει την απόδοση από την ευρυζωνική επικοινωνία συστημάτων που χρησιμοποιούν χωρικές-χρονικές διατάξεις tapped delay εξισσοροπητές, ή ένας ενιαίος δέκτης κεραιών κάτω από διαφορετικά σενάρια της παρεμβολής πολλαπλών διαδρομών.

Type	Envelope correlation	Power imbalance (dB)	Gain MRC (dB)	Gain select (dB)
Spatial	0.12 - 0.49	0.7 - 4.4	7.4 - 10.4	6 - 9
Polarization	0.31	0.4	9.2	7.8
Pattern	0.13 - 0.08	5.6 - 6.2	9.2 - 11.2	7.9 - 9.7

Πίνακας 4-2

	Envelope correlation	Power imbalance (dB)	Diversity gain, MRC (dB)	Diversity gain, selection (dB)
With operator	0.31	0.4	10.6	9.4
Without operator	0.44	0.5	8.8	7.1

Πίνακας 4-3

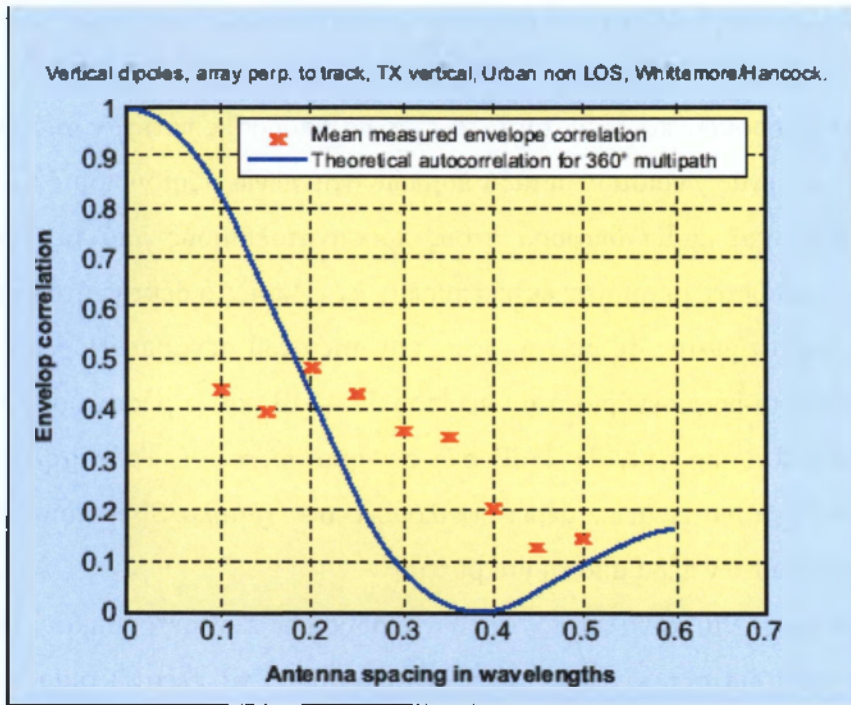
Μετρήσεις

Εκτενείς μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί με αναπτυγμένες δοκιμές υλικού. Αυτές οι μετρήσεις περιλαμβάνουν την ποικιλομορφία μετρήσεων στο μικροτηλέφωνο, αποτέλεσμα του διαστήματος στοιχειοκεραίας και του ιστού χειριστών στην ποικιλομορφία, της προσαρμοστικής διαμόρφωσης δέσμης, της γωνία άφιξης, της επαλήθευση για την αμοιβαιότητα καναλιών και των ευρείας ζώνης διανυσματικών μετρήσεων καναλιών. Η ποικιλομορφία των μετρήσεων των δειγμάτων για έναν υπαίθριο non-IsS κανάλι παρουσιάζεται στην εικόνα 4-21 και στην εικόνα 4-22.

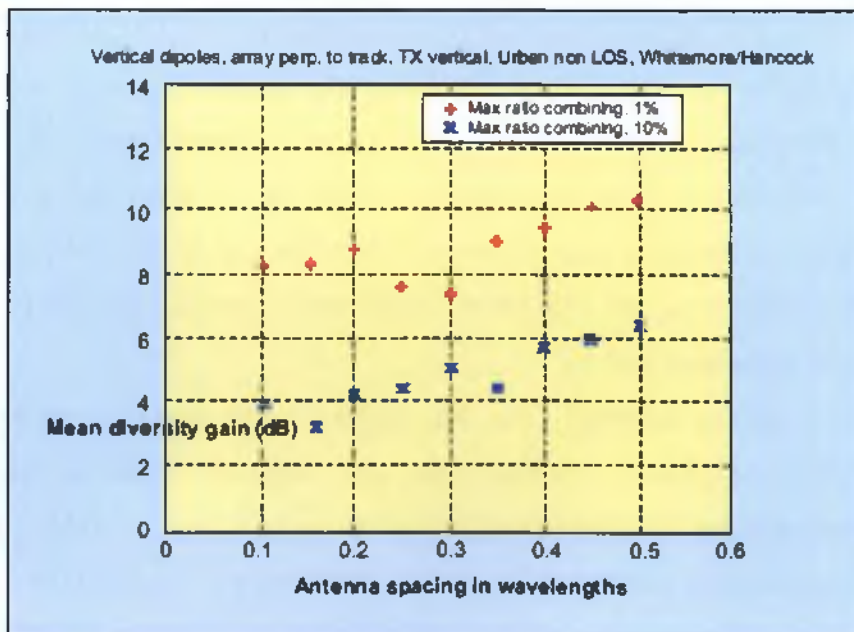
Η εικόνα 4-22 παρουσιάζει ένα συσχετισμό του συντελεστή εναντίον του διαστήματος κεραίων. Σημειώστε ότι ο συσχετισμός είναι αρκετά κατώτερο του 0,7, το οποίο είναι καλό για την επίτευξη βελτίωσης λόγω ποικιλομορφίας. Η εικόνα 4-22 παρουσιάζει ποικιλομορφία κέρδους ως λειτουργία του διαστήματος κεραίων. Υπάρχει περίπου 9dB κέρδος για 99 τοις εκατό αξιοπιστία στην απόδοση και κέρδος 5dB για 90% αξιοπιστία σχεδόν ανεξάρτητα από τον διαχωρισμό 0,1 μήκους κύματος.

Το σύστημα HAAT χρησιμοποιήθηκε για να μελετήσει διαφορετικούς τύπους ποικιλομορφιών που περιλαμβάνουν χωρική, πολική και σχεδιακή ποικιλομορφία. Ο πίνακας 4-2 παρουσιάζει μια περίληψη από τα αποτελέσματα ποικιλομορφίας για αστικό non-Los κανάλι. Ο πίνακας 4-3 παρουσιάζει αποτελέσματα από το πείραμα

με έναν ανθρώπινο χειριστή. Σημειώστε ότι το κεφάλι του χειριστή κοντά στις κεραιές προκαλεί μόνο μια μικρή υποβάθμιση στην απόδοση των gains από την ποικιλομορφία.



Εικόνα 4-21



Εικόνα 4-22

Εκτενής έρευνα εκτελέσθηκε σε προσαρμοστικό beamforming χρησιμοποιώντας φορητές διατάξεις κεραιών. Η έρευνα χρησιμοποίησε μικρές 4-στοιχείων διατάξεις κεραιών που τοποθετούνται σε έναν δέκτη τόσο μικρό όσο ένα κινητό τηλέφωνο. Η έρευνα της adaptive beamforming περιλάμβανε πάνω από 250 πειράματα σε αγροτικά, προαστιακά και αστικά κανάλια με δύο αμοιβαίους παρεμβάλλοντες πομπούς. Ελεγχόμενα πειράματα παρείχαν το μια βελτίωση απόδοσης της τάξης των 25-50dB με έναν *least-squares* σταθερό αλγόριθμο συντελεστών (*LSCMA*). Στα πολλαπλών διαδρομών κανάλια, αυτά τα επίπεδα απόδοσης πέτυχαν ακόμα και όταν δεν υπήρξε κανένας χωρισμός μεταξύ πομπών στη γωνία αζιμουθίου όπως φαίνεται από το δέκτη, και καμία διαφορά στους προσανατολισμούς από τις δύο κεραιές εκπομπής. Πρόσθετες μετρήσεις εκτελέσθηκαν στις οποίες ο δέκτης ήταν φορητός με ταχύτητες περπατήματος σε peer-to-peer και microcell σενάρια. Η μέση βελτίωση *SINR* στο peer-to-peer σενάριο ήταν περίπου 37-41dB, και ο μέσος όρος *SINR* μετά από το beamforming ήταν 21-27dB στο σενάριο *microcell*. Το χαμηλότερο *SINR* *microcell* το σενάριο είναι εν μέρει οφειλόμενο στο χαμηλό SNR που προκαλείται από μείωση σημάτων πέρα από τη μακρύτερη

πορεία διάδοσης. Στα κανάλια πολλαπλών διαδρομών που μετρήθηκαν, μια dual- ή πολύ-πολωμένη διάταξη κεραιάς δίνει λιγότερο από ένα πλεονέκτημα 3dB σε μια ομοπολωμένη διάταξη, δείχνοντας ότι μέσα σ' αυτά τα κανάλια, η ευελιξία πόλωσης μπορεί να είναι χρήσιμη αλλά όχι κρίσιμη.

Το σύστημα *MAAT* χρησιμοποιήθηκε για να πραγματοποιήσει τις μετρήσεις γωνίας άφιξης, αλγόριθμους ακύρωσης προσαρμοστικής παρεμβολής για ένα σύστημα διάδοσης φάσματος (χαμηλό εύρος ζώνης) και πολυφασματικές διανυσματικές μετρήσεις καναλιών με βάση μια συχνότητα πέρα από το εύρος ζώνης 10MHz. Οι πολυφασματικές μετρήσεις αποκαλύπτουν την επίπεδη φυσική εξασθένιση από ένα εσωτερικό κανάλι και μια εκλεκτική εξασθένιση φυσικής συχνότητας για ένα εξωτερικό σε εσωτερικό κανάλι.

Το *VIPER* χρησιμοποιήθηκε για να αρχίσει μια διάταξη ευρείας ζώνης διανυσματικών μετρήσεων καναλιών για μια ποικιλία καναλιών (εσωτερικών, υπαίθριων κ.λπ...) με ένα εύρος ζώνης ίσο με το εύρος ζώνης του IMT-2000 εύρους ζώνης. Τα αρχικά πειράματα εκτελέσθηκαν σε ένα εσωτερικό περιβάλλον.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Οι ευφυείς κεραιές έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν ενισχυμένες διατάξεις που οδηγούν σε μείωση των δαπανών υποδομής στις πρόωρες εφαρμογές, ενισχυμένη απόδοση ζεύξεων ως σύστημα είναι σε εφαρμογή, και αυξανόμενη χωρητικότητα σε ένα φορτωμένο δίκτυο CDMA. Εντούτοις, υπάρχουν διαφορετικοί τύποι ευφυών κεραιών, και δεν υπάρχει καμία τελική λύση κεραιών για όλα τα ραδιο περιβάλλοντα. Η βέλτιστη λύση κεραιών εξαρτάται από το τοπικό περιβάλλον και τα χαρακτηριστικά των καναλιών, και μέχρι ενός ορισμένου βαθμού από τη συμπεριφορά των χρηστών.

Στα αστικά περιβάλλοντα, τα σήματα διαδίδουν κυρίως μέσω των φαραγγιών οδών, προκαλώντας την παρεμβολή πολλαπλής πρόσβασης και ανακλάσεις πολλαπλών διαδρομών του επιθυμητού σήματος που φθάνει από τις ίδιες περίπου κατευθύνσεις στο σταθμό βάσεων. Αυτό κάνει τον εκμηδενισμό της παρεμβολής δύσκολο λόγω του χωρισμού χαμηλής γωνίας. Αυτό είναι εντούτοις κάπως βελτιωμένο με την αύξηση του ύψους κεραιών επάνω από το επίπεδο στεγών για τις μακροκυψέλες με ευφυείς κεραιές.

Ένα άλλο ζήτημα είναι η συμπεριφορά χρηστών στη κυψέλη. Εάν υπάρχουν πολλοί *low-rate* χρήστες φωνής, ο αριθμός των παρεμβολών είναι γενικά πολύ μεγαλύτερος από τον αριθμό των στοιχειοκεραιών, και η ικανότητα εκμηδενισμού της προσαρμοστικής διάταξης μειώνονται αισθητά. Από την άλλη πλευρά, εάν υπάρχουν μερικοί χρήστες υψηλού-ρυθμού σε μια κυψέλη, η προσαρμοστική κεραιά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκμηδενίσει αυτά τις σημαντικές παρεμβολές υπό τον όρο ότι είναι στο χώρο ευδιαχώριστες. Εάν ο χωρισμός γωνίας είναι χαμηλός, ένας συνδυασμός με την παρεμβολή που ακυρώνει στο σταθμό βάσης μπορεί να είναι ο βέλτιστος.

Στα αγροτικά περιβάλλοντα, το κίνητρο είναι κυρίως η αύξηση της διάταξης δεδομένου ότι η χωρητικότητα δεν είναι κανονικά ένα πρόβλημα. Εντούτοις, για οποιοδήποτε πρακτικό αριθμό στοιχείων κεραιών η αύξηση της διάταξης των

συγχρονισμένων σειρών είναι συγκρίσιμη με την αύξηση διάταξης των προσαρμοστικών σειρών.

Ένα πρόσθετο κέρδος των προσαρμοστικών σειρών είναι το κέρδος ποικιλομορφίας πραγματοποιημένο κατευθύνοντας μια μεμονωμένη ακτίνα προς κάθε ένα από τα πολλαπλών διαδρομών συστατικά. Εντούτοις, ένας Rake δέκτη εκμεταλλεύεται επίσης αυτήν την ποικιλομορφία και μειώνει τη διαφορά απόδοσης λόγω της ποικιλομορφίας μεταξύ των συγχρονισμένων και προσαρμοστικών διατάξεων. Συνολικά, μια συγχρονισμένη διάταξη είναι πιθανό να κάνει σχεδόν τόσο καλό όσο μια προσαρμοστική διάταξη σε ένα σύστημα *CDMA*.

Εμπειρικά, για τις μακροκυψέλες στα αστικά περιβάλλοντα μια επαρκής λύση φαίνεται να είναι μια διάταξη που συνδυάζεται συγχρονισμένη με έναν ακυρωτή παρεμβολής. Για τις μακροκυψέλες σε αγροτικό περιβάλλον, ακριβώς μια συγχρονισμένη διάταξη θα είναι κανονικά ικανοποιητική.

Για τις μικροκυψέλες, η βέλτιστη λύση κεραιών πρέπει να εξεταστεί σε κάθε περίπτωση χωριστά. Γενικά, οι μικροκυψέλες συνήθως έχουν έναν μεγαλύτερο βαθμό γωνιακής επέκτασης, η οποία ευνοεί την προσαρμοστική κεραία πέρα από τη συγχρονισμένη διάταξη (κέρδος ποικιλομορφίας). Εντούτοις, υπάρχει συχνά περιορισμένο διάστημα για μια σειρά κεραιών που εφαρμόζεται σε μια μικροκυψέλη, και το πρόσθετο κόστος μπορεί επίσης να καταστήσει τη μικροκυψέλη απαγορευτικά ακριβή.

Συζητήσαμε διάφορα ζητήματα συστημάτων που είναι σημαντικά για τη μελλοντική σχεδίαση δικτύων με ευφυείς κεραιές. Οι ευφυείς κεραιές χρησιμοποιούνται ευρέως στα ραδιο δίκτυα και θα γίνει ένα ζωτικής σημασίας μέρος των μελλοντικών προσαρμοστικών μοντέλων διαμορφωτών.

Τα ακόλουθα συμπεράσματα συνοψίζουν τη συζήτησή μας.

- Οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι ευφυών κεραιών γίνονται πιο σύνθετοι και περιλαμβάνουν τους συνδυασμούς με την επεξεργασία της έγκαιρης περιοχής, της ανίχνευσης πολλών χρηστών, τη κωδικοποίηση του ST, και τις πολλαπλές κεραιές.
- Υπάρχει ένας αριθμός παραμέτρων όπως το επίπεδο μείωσης του *CCI*, το κέρδος ποικιλομορφίας, και ο *SNR*, οι οποίες μπορούν να είναι βελτιωμένες με μια ευφυή κεραία. Μερικές από αυτές τις παραμέτρους μπορούν να είναι αλληλοεξαρτώμενες και ακόμα και συγκρουόμενες. Η σημασία τους και η ανταλλαγή τους χρειάζεται να αποφασιστεί σε μια βάση κυψέλης με κυψέλη. Οι ακόλουθες

παράμετροι πρέπει να ληφθούν υπόψη: η διάδοση, το περιβάλλον παρεμβολής, η κινητικότητα του χρήστη, και απαιτήσεις για την ποιότητα των συνδέσεων.

- Από την άποψη εφαρμογής, πρέπει πάντα να υπάρχει ένας λογικός συμβιβασμός μεταξύ του ποσού από τις πληροφορίες για τα ραδιο κανάλια στις διαφορετικές περιοχές που θα χρησιμοποιηθούν στο δέκτη ευφυούς κεραίας και το αναμενόμενο επίπεδο βελτιώσεων. Η δυνατότητα να εκμεταλλευτεί/λάβει πιο λεπτομερές πληροφορίες σχετικές με το ραδιο κανάλι είναι περιορισμένες από τους αλγορίθμους σήματος-επεξεργασίας και από το υλικό, τη κινητικότητα του χρήστη, και τη ταχύτητα μετάδοσης στοιχείων, και είναι ιδιαίτερα εξαρτώμενη από τους τύπους και τις παραμέτρους των ραδιοδιεπαφών.

Στα σύνθετα (πολλαπλών διαδρομών) περιβάλλοντα διάδοσης, περισσότεροι σύνθετοι αλγόριθμοι ευφυούς κεραίας πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να διατηρήσουν τις ποιοτικές απαιτήσεις της ζεύξης.

- Ιδιαίτερες βελτιώσεις στη ραδιοαπόδοση δικτύων με μια ευφυή κεραία μπορούν να επιτευχθούν με το συνδυασμό διαφορετικών τεχνικών επεξεργασίας όπως χωρική ποικιλομορφία, τμηματοποίηση με την χωρική-χρονική επεξεργασία, και άλλες τεχνικές ποικιλομορφίας. Σωστός και εφικτός συνδυασμός μπορεί ίσως να παρέχει περισσότερες βελτιώσεις στην απόδοση συστημάτων από την εφαρμογή από τους πολύ σύνθετους και περίπλοκους αλγορίθμους ευφυών κεραιών.

- Μια έννοια προγραμματισμού δικτύων με το συγκεκριμένο δίκτυο ευφυούς κεραίας και με τα συγκεκριμένα εργαλεία προγραμματισμού απαιτούνται για να αναπτυχθούν.

- Οι επιτεύξιμες βελτιώσεις χωρητικότητας με την ευφυή κεραία εξαρτώνται από τις λειτουργίες του επιπέδου διείσδυσης ελέγχου της ευφυούς κεραίας στο ραδιοέλεγχο των δικτύων. Η καλύτερη απόδοση θα ληφθεί με μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στη ραδιο διαχείριση των πόρων και στη χωρική επεξεργασία. Από κοινού βέλτιστη διαχείριση των πόρων και οι χωρικοί αλγόριθμοι επεξεργασίας μπορούν να είναι ένα ενδιαφέρον πρόβλημα για το μελλοντικό ερευνητικό και δικτυακό σχεδιασμό.

- Η πλειοψηφία των πειραματικών ευφυών κεραιών περιλαμβάνει μια χωρική ποικιλομορφία δέκτη ως πρότυπο αναφοράς, το οποίο μπορεί να είναι μια οικονομική λύση. Πολλές από τις υπαίθριες δοκιμές δείχνουν ότι δέκτες ευφυών κεραιών αρκετά ξεπερνούν τους δέκτες ποικιλομορφίας διαστήματος.

- Σήμερα, πειραματικές και εμπορικά διαθέσιμες ευφείς κεραίες είναι συνήθως βασισμένες στους πολύ απλούς αλγορίθμους.

- Η κάλυψη και η χωρητικότητα δικτύων στις αστικές μικροκυψέλες μπορούν τουλάχιστον να διπλασιαστούν με τους υπάρχοντες δέκτες ευφυών κεραιών. Για να πετύχουμε λογικές βελτιώσεις χωρητικότητας σε μια αστική μικροκυψέλη, απαιτούνται οι πιο σύνθετοι αλγόριθμοι ευφυούς κεραιάς.
- Ένα ραδιολογισμικό θα προσθέσει την ευελιξία στο δέκτη ευφυούς κεραιάς και στον έλεγχο δικτύων, και ίσως θα τους καταστήσει διαφανείς στη διεπαφή αέρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1]: W. A. Gardner, 'Cyclostationarity in Communications and Signal Processing', IEEE Press, Piscataway, NJ, 1994

[2]: Joseph C. Liberti, JR , Theodore S. Rappaport , 'SMART ANTENNAS FOR WIRELESS COMMUNICATIONS: IS-95 and Third Generation CDMA Applications', 1999

[3]: T.K. Sarkar, J. Koh, R. Adve, R. A. Schneible, M. C. Wicks, S. Choi, and M. Salazar-Palma, 'A Pragmatic Approach to Adaptive Antennas,' IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 42, No2, pp.39-55, Apr 2000

[4] : Arild Jacobsen, 'Smart Antennas For Dummies', Jan. 2001

[5]: Tapan K. Sarkar, Michael C. Wicks, Magdalena Salazar-Palza, and Robrt J. Bonnea, 'Smart Antennas', 2003

[6]: Arraycomm, 'A fully adaptive approach to Smart Antennas', www.arraycomm.com, 2002

[7]: Ericsson, 'New additions to the powerful Ericsson portfolio for increasing GSM network capacity', <http://www.ericsson.se/pressroom> , Feb. 2000

[8]: Metawave, 'The evolution of Smart Antennas to 3G', Marty Feuerstein , Oct. 2002