



**Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου  
Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας  
Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών.**

**Παρουσίαση Πτυχιακής Εργασίας  
Στα πλαίσια του  
Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΠΜΣ)  
«Προηγμένα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα και Δίκτυα»**

**Θέμα  
Ευφυείς Κεραίες-Προσαρμοστική επεξεργασία  
σήματος**

**Ναστάκος Μιχαήλ  
ΑΜ 20080120**

Επιβλέπων Καθηγητής:  
Γεώργιος Όθων Γλεντής, Αναπληρωτής Καθηγητής

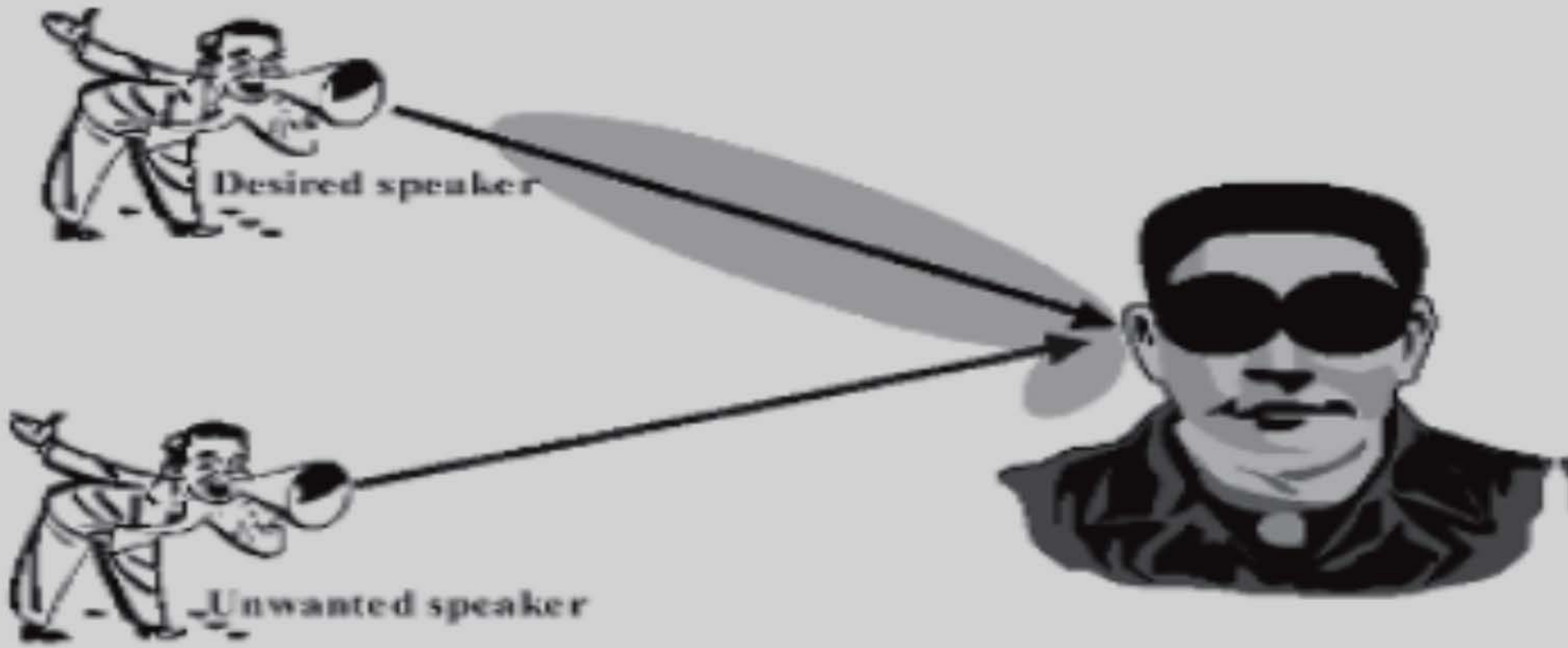
11/04/2011

# Στόχος

- Στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση της αρχιτεκτονικής των ευφυών κεραιο-συστημάτων, η παρουσίαση των κυρίαρχων αλγορίθμων εκτίμησης γωνιών άφιξης (DoA) και η μελέτη της εφαρμογής των ευφυών κεραιών σε διάφορα δίκτυα.
- Είναι προφανές ότι οι ευφυείς κεραιές στους σταθμούς βάσεων θα είναι σημαντική τεχνολογία για να παρέχουν την απαραίτητη χωρητικότητα και κάλυψη.
- Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ευφυείς κεραιές έχουν τεράστιες δυνατότητες για την ενίσχυση της απόδοσης των μελλοντικών γενιών ασύρματων συστημάτων, όπως αυτό αποδεικνύεται από τις ολοένα και μεγαλύτερες εγκαταστάσεις τέτοιων κεραιών σε πολλά σύγχρονα συστήματα.
- Οι ευφυείς κεραιές (smart antennas) αποτελούν μία από τις τεχνολογίες αιχμής στα σημερινά συστήματα ασυρμάτων κινητών και προσωπικών επικοινωνιών. Η εισαγωγή τους σήμερα κρίνεται αναγκαία καθώς οι απαιτήσεις των συστημάτων αυτών μεγαλώνουν ολοένα και περισσότερο και προστίθενται συνεχώς καινούριες υπηρεσίες.

# Τι είναι μια ευφυής κεραία;

Μια έξυπνη κεραία αποτελείται από μια κεραία, η οποία αλλάζει το σχέδιο του φάσματος ενός σήματος σε σχέση με το περιβάλλον του κατάλληλα έτσι ώστε να βελτιώνει τις επιδόσεις ενός συστήματος επικοινωνίας.



# Τι είναι μια ευφυής κεραία;

- Οι έξυπνες κεραίες είναι συστοιχίες κεραιών με έξυπνους αλγόριθμους επεξεργασίας σήματος που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό χωρικών σημάτων, όπως η κατεύθυνση άφιξης (DOA) του σήματος, την οποία μια έξυπνη κεραία μπορεί να χρησιμοποιήσει ώστε μέσω διάφορων τεχνικών να μπορεί να παρακολουθεί και να εντοπίζει την δέσμη της κεραίας του κινητού.
- Σε κάποιο βάθος ο όρος ‘smart’ είναι παραπλανητικός. Δεν υπάρχει κάτι ευφύες για τις ίδιες τις κεραίες. Αυτό που είναι ευφύες είναι η μεθοδευμένη προσέγγιση σήματος που εφαρμόζεται σε ταυτόχρονα σήματα από μία σειρά ή συστοιχία πολλαπλών κεραιών βελτιώνοντας δραστικά την απόδοση ενός συστήματος.

# Στόχος μιας ευφυούς κεραίας

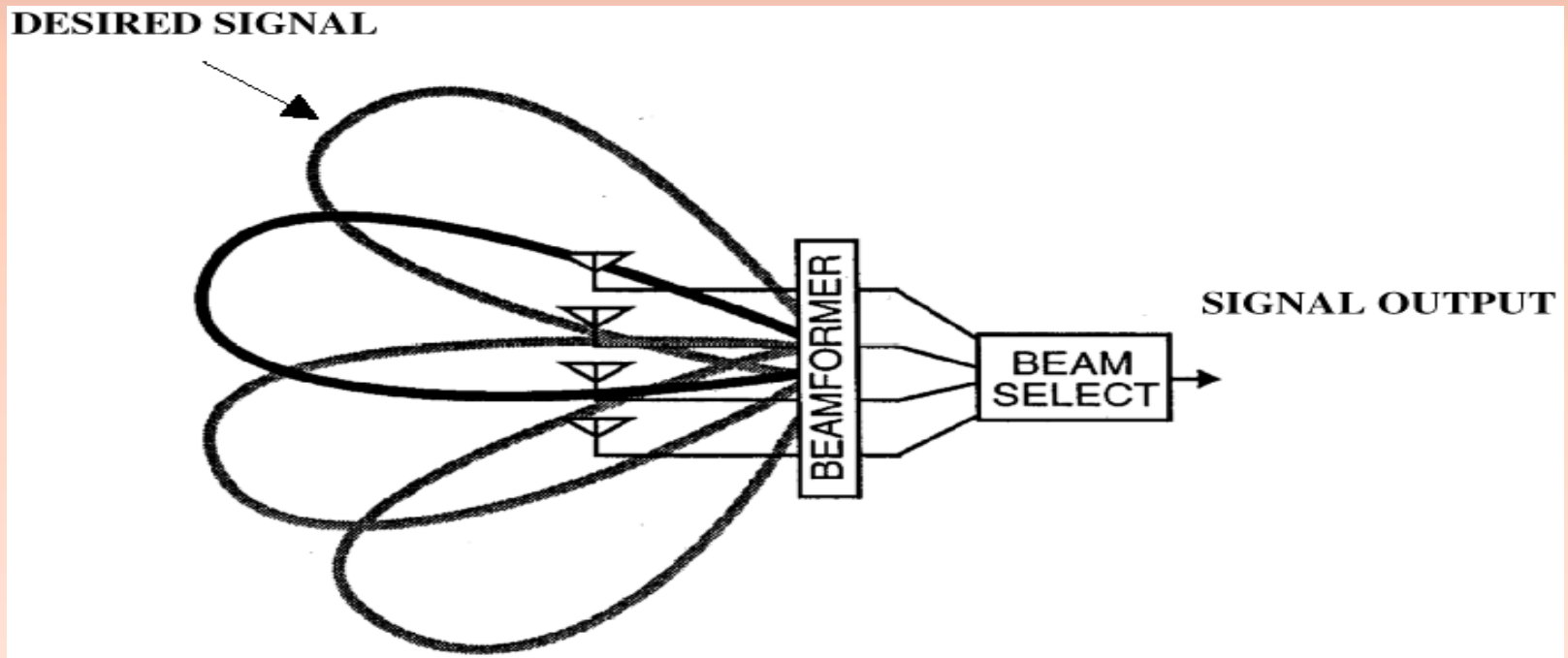
- Ο στόχος μιας έξυπνης κεραίας είναι να κατευθύνει την προσοχή της προς την κατεύθυνση του εισερχόμενου σήματος και να αυξήσει την ισχύ του σήματος ως προς την απόσταση.
- Ο άλλος στόχος των ευφύων κεραιών είναι να ελαχιστοποιηθεί η παρέμβαση από τις εξωτερικές πηγές. Εάν μια έξυπνη κεραία κατευθύνεται προς μία κατεύθυνση όλοι οι κόμβοι της γύρω περιοχής στην περίπτωση ενός ασύρματου δικτύου δεν θα περιορίζονται στις μεταδόσεις που μπορούν να στείλουν αλλά θα είναι ακόμα ελεύθεροι να συνεχίσουν την επικοινωνία.

# Τα δύο είδη των έξυπνων κεραιών

- Τα είδη των Έξυπνων συστημάτων κεραιών συνήθως κατηγοριοποιούνται σε 2 κύριες κατηγορίες:
- A) συστήματα μεταλλαγής δέσμης ή
- B)προσαρμοστικής συστοιχίας
- 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 της παρεμβολής
- Προσαρμοστικής συστοιχίας είναι μια σειρά κεραιών που είναι ικανές να αλλάξουν το σχέδιο τους δυναμικά έτσι ώστε να προσαρμοστούν στον θόρυβο, στη παρεμβολή και στη πολλαπλή διαδρομή. προσαρμόζονται σε πραγματικό χρόνο

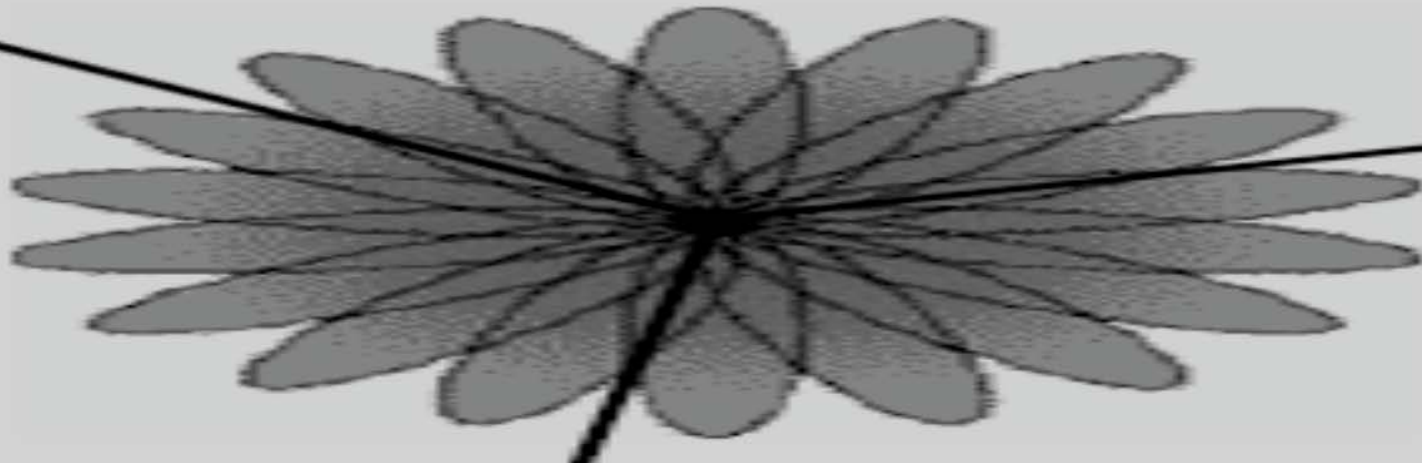
# Σύστημα μεταλλαγής δέσμης

- Σε αυτό το είδος της συστοιχίας, θα υπάρχει ένας αριθμός σταθερών δεσμών μεταξύ των οποίων μία φωτεινή δέσμη θα ενεργοποιείται ή θα κατευθύνεται προς το επιθυμητό σήμα. Αυτό μπορεί να γίνει μόνο με τη βοήθεια της προσαρμογής κατά τη φάση. Με άλλα λόγια, όπως ο επιθυμητός στόχος κινείται έτσι επίσης θα κατευθύνεται και η δέσμη. Η μορφή μιάς τέτοιου είδους κεραίας παρουσιάζεται παρακάτω.



# Σύστημα μεταλλαγής δέσμης

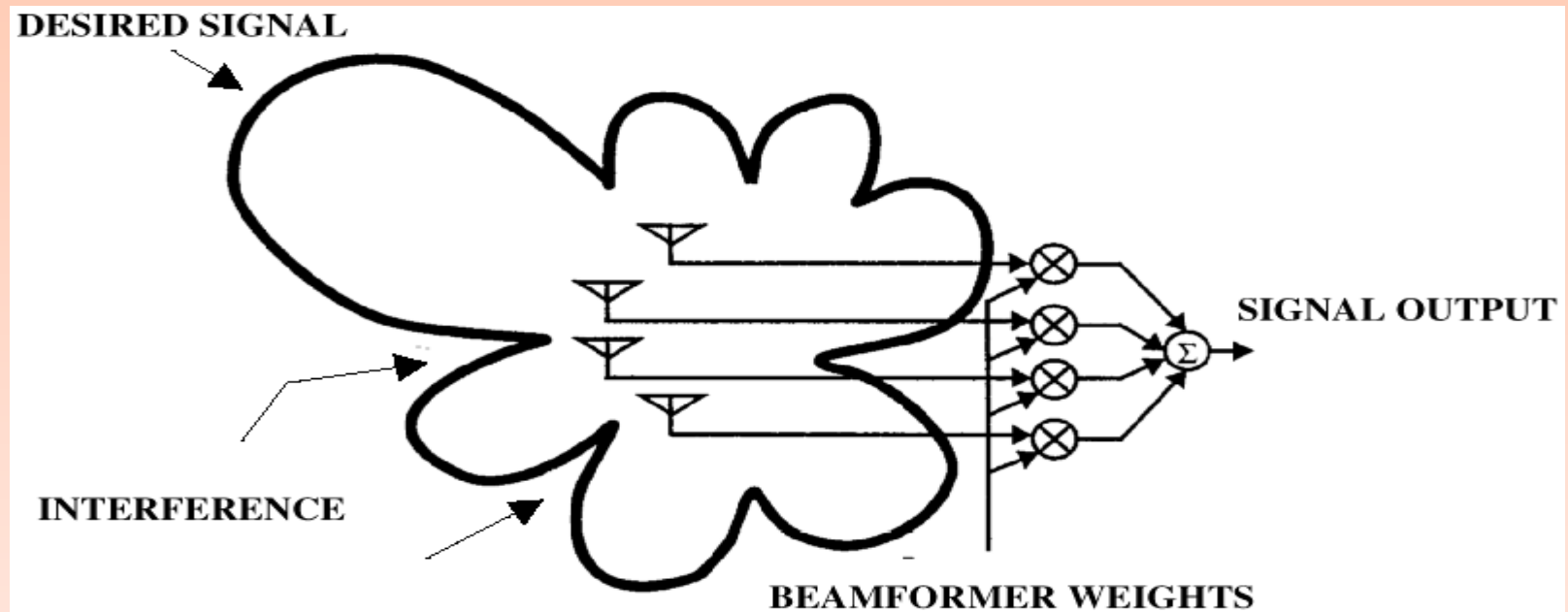
- Είναι η πιο απλή τεχνική έξυπνης κεραίας
- Αποτελείται από πολλαπλές σταθερές δέσμες με αυξημένη ευαισθησία σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις και δυνατότητα μεταγωγής από τη μία φωτεινή δέσμη στην άλλη, καθώς το κινητό τηλέφωνο κινείται σε ολόκληρο τον τομέα.
- Είναι μια εναλλακτική λύση για τα ανώτερης τάξης συστήματα τομεοποίησης από τη διαίρεση ενός μακρο-τομέα σε διάφορους μικρο-τομείς χωρίς την αύξηση των κεραιών στους σταθμούς βάσεις.
- Η ίδια δέσμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την Uplink ή Downlink διαδρομή.





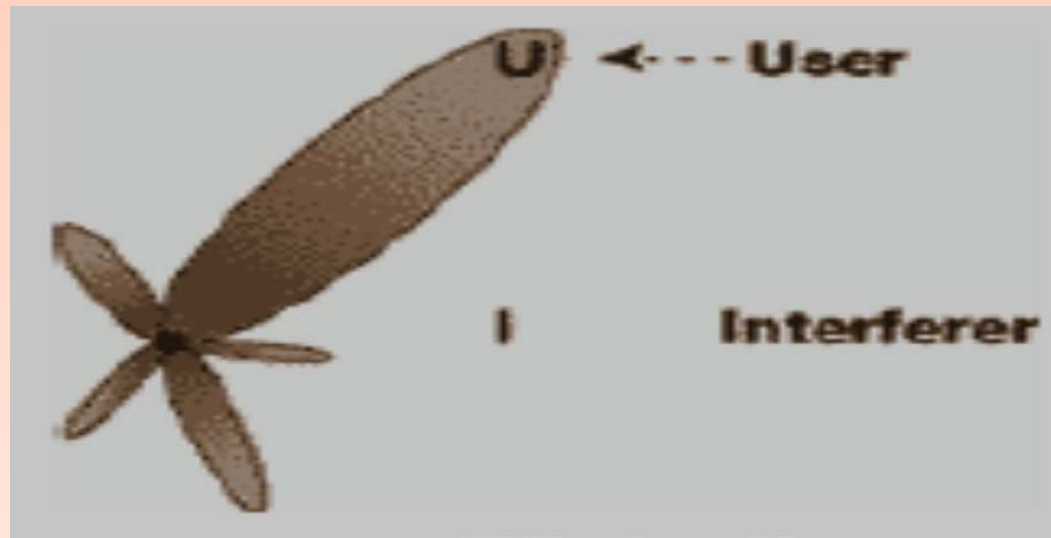
# Προσαρμοζόμενης κεραίας

- Σε αυτόν τον τύπο της κεραίας, θα υπάρξει μια αλλαγή στο σχήμα της δέσμης ανάλογα με την κίνηση του επιθυμητού χρήστη και την κίνηση των παρεμβολών. Τα σήματα που λαμβάνονται θα πρέπει να σταθμίζονται και στη συνέχεια να συνδυάζονται για να αυξήσουν το επιθυμητό SNR(Signal to Noise Ratio) του σήματος σε σχέση με τις παρεμβολές. Έτσι, η κατεύθυνση της παρεμβολής θα είναι ισορροπημένη καθώς το επιθυμητό σήμα θα είναι προς την κατεύθυνση της κύριας δέσμης. Η κεραία μπορεί να κατευθύνει εύκολα τη δέσμη πορείας προς κάθε κατεύθυνση, ενώ ταυτόχρονα εκμηδενίζει το παράσιτο σήμα. Η κατεύθυνση της δέσμης μπορεί να υπολογιστεί με τη μέθοδο DOA.



# Προσαρμοστικό σύστημα δέσμης

- Είναι ένα πλήρες σύστημα έξυπνης κεραίας
- Μοιάζει με ένα σύστημα μεταλλαγής δέσμης, αλλά με μια ενσωματωμένη δυνατότητα επεξεργασίας σήματος .
- Ο επεξεργαστής σήματος κατευθύνει τη δέσμη πορείας προς την κατεύθυνση του επιθυμητού MSE καθώς ο χρήστης κινείται ακυρώνοντας τα σήματα παρεμβολής.
- Η επεξεργασία αυτή διεξάγεται από υψηλής υπολογιστικής έντασης αλγόριθμους.



# Λειτουργίες Ευφυών Κεραιών

Οι Ευφυείς κεραιές έχουν δύο κύριες λειτουργίες: την εκτίμηση DOA και την διαμόρφωση δέσμης -beamforming.

## 1) Εκτίμηση DOA

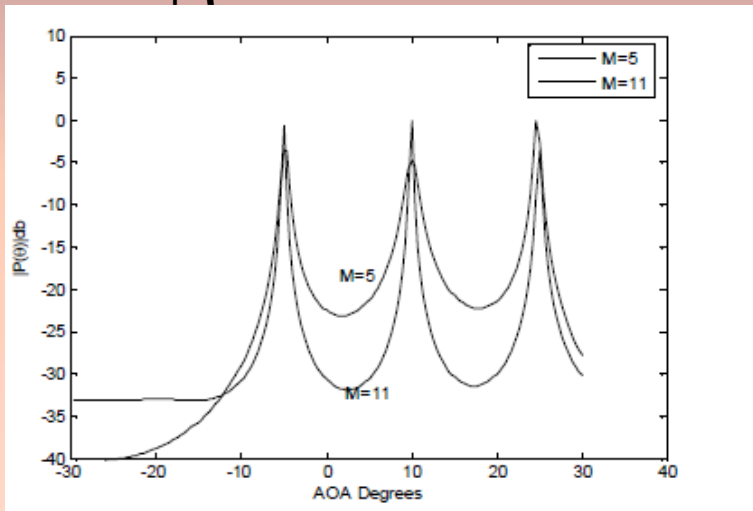
- Ο στόχος της εκτίμησης της κατεύθυνσης άφιξης (DOA) είναι να χρησιμοποιούμε τα δεδομένα που λαμβάνουμε σχετικά με την κατερχόμενη ζεύξη σε μια συστοιχία αισθητήρων βάση-σταθμού ώστε να κάνουμε εκτίμηση των κατευθύνσεων των σημάτων από τους επιθυμητούς χρήστες κινητών συσκευών καθώς και επίσης και τις 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.

# Μέθοδοι εκτίμησης της κατεύθυνσης άφιξης - Doa Estimation

- Η εκτίμησης της κατεύθυνσης άφιξης (DOA) γίνεται με τους παρακάτω αλγόριθμους:
  - Φασματική μέθοδος εκτίμησης
  - Ελάχιστη διακύμανση της απόκρισης αλλοίωσης (MVDR-Minimum variance distortionless response)
  - Μέθοδος γραμμικής πρόβλεψης
  - Μέθοδος μέγιστης εντροπίας(MEM-Maximum entropy method)
  - Μέθοδος Μέγιστης Πιθανοφάνειας(MLM-Maximum Likelihood Method)
  - Μέθοδοι ιδιοκατασκευής (eigenstructure methods)
  - Αλγόριθμος MUSIC – Πολλαπλή Ταξινόμηση σήματος(Multiple signal classification)
  - Μέθοδος ESPRIT

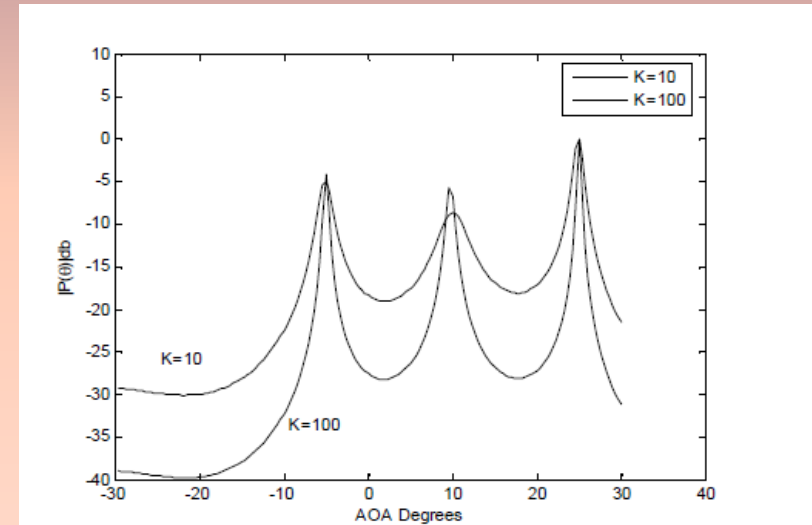
# Παράδειγμα προσομοίωσης για MUSIC και ESPRIT

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



Σχήμα 1

Όταν ο αριθμός των στοιχείων της συστοιχίας αυξάνεται από 5 σε 11 τότε το φάσμα του MUSIC λαμβάνει μια μορφή με ευκρινέστερες κορυφές στην οποία η γωνιακή ανάλυση βελτιώνεται.



Σχήμα 2

Το σχήμα 1 δείχνει το φάσμα που λαμβάνεται για στιγμιότυπα ίσα με 10 και με 100 αντίστοιχα. Αυξημένος αριθμός στιγμιότυπων μας οδηγεί σε ευκρινέστερες κορυφές του φάσματος και δείχνουν πιο ακριβή εντοπισμό και καλύτερη ευκρίνεια.

# Παράδειγμα προσομοίωσης για MUSIC και ESPRIT

Sr,no,	$\theta$ Input (deg)	$\theta$ ESPRIT (deg)
1	10	9.43
	25	23.94
2	20	20.02
	80	80.27

**Σχήμα 1**

K=10	
$\theta$ Input (deg)	$\theta$ ESPRIT (deg)
80	79.39
20	19.92
K=1000	
80	80.04
20	20.00

**Σχήμα 2**

Στο σχήμα 1 φαίνεται ότι το ποσοστιαίο σφάλμα στην ανίχνευση DOA χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο ESPRIT μειώνεται όσο η γωνία διαχωρισμού μεταξύ των σημάτων που φθάνουν αυξάνεται.

Το σχήμα 2 δείχνει ότι, όταν ο αριθμός των δειγμάτων είναι αυξημένος το λάθος στον υπολογισμό της κατεύθυνσης γίνεται μικρότερο.

# Αποτελέσματα προσομοίωσης χρησιμοποιώντας τους αλγόριθμους MUSIC και ESPRIT

SNR (dB)	MUSIC ( $\theta$ )	ESPRIT( $\theta$ )
-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

## Εκτίμηση DOA από MUSIC & ESPRIT για διάφορα SNR

➤ Το παραπάνω σχήμα δείχνει την DOA εκτίμηση και για τους δύο αλγόριθμους, τον MUSIC και τον 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.

➤ 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 διαπιστώνουμε 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 ώστε να μπορεί χρησιμοποιηθεί ευρέως στο σχεδιασμό των έξυπνων συστημάτων κεραιών.

# Λειτουργίες Ευφυών Κεραιών

## 2) Διαμόρφωση δέσμης- beamforming

- Το beamforming περιγράφει την διαδικασία μέσω της οποίας προσδίδονται σε μια κεραία τα επιθυμητά κατευθυντικά χαρακτηριστικά - δηλ. αύξηση της ευαισθησίας εκπομπής και λήψης προς μια κατεύθυνση και ταυτόχρονη μείωσή της προς άλλες ανεπιθύμητες κατευθύνσεις, από τις οποίες μπορεί να λαμβάνονται σήματα παρεμβολών.
- Πραγματοποιείται με τον κατάλληλο χειρισμό της τροφοδοσίας του κάθε ενός από τα ενεργά στοιχεία μιάς κεραίας. Ως αποτέλεσμα, μπορεί να αυξηθεί η ευαισθησία της κεραίας προς μια ορισμένη κατεύθυνση ή ακόμη και να μειωθεί προς άλλες κατευθύνσεις από τις οποίες μπορεί να λαμβάνονται ανεπιθύμητα σήματα.
- Με το beamforming, εκτός του ότι μπορούν να επιτυγχάνονται ταυτοχρόνως πολλαπλοί στόχοι (αύξηση και μείωση ευαισθησίας προς πολλαπλές κατευθύνσεις) καθίστανται πλέον περιττοί οι πολύπλοκοι μηχανισμοί μηχανικής περιστροφής της κεραίας προς την επιθυμητή κατεύθυνση.



# Σύγκριση συστήματος μεταλλαγής δέσμης και προσαρμοστικής συστοιχίας

## Switched beam system

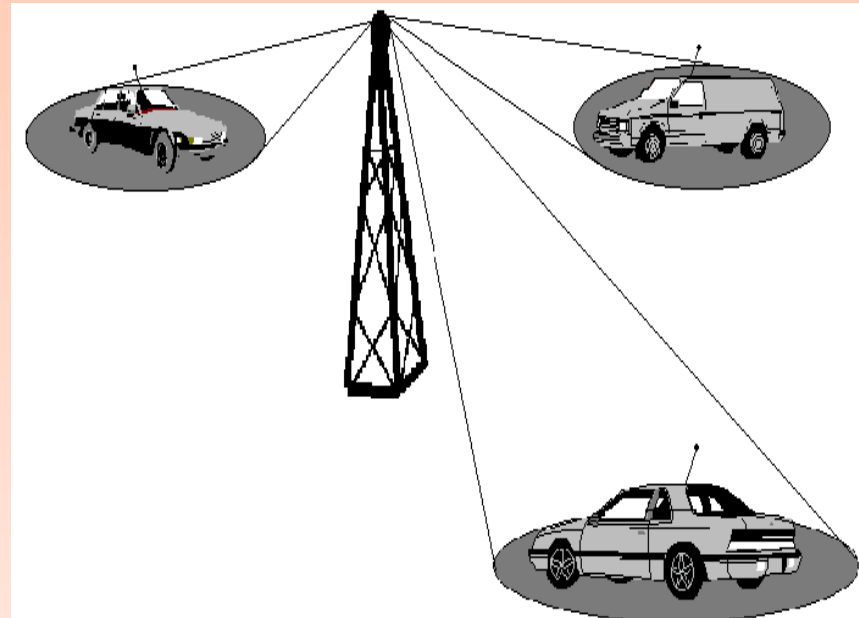
- Εύκολο στην εφαρμογή  
Χαμηλό κόστος
- Περισσότερη κάλυψη σε  
σύγκριση με τα συμβατικά  
συστήματα
- Δυσκολία στη διάκριση  
μεταξύ του επιθυμητού  
σήματος και της  
παρεμβολής.
- Δεν αντιδρά με την κίνηση  
των παρεμβάλλοντων  
σημάτων.

## Adaptive array system

- Πολυπλοκότητα πομπού-δέκτη  
Υψηλό κόστος
- Περισσότερη κάλυψη σε  
σύγκριση με τα συστήματα  
μεταλλαγής δέσμης
- Η εστίαση είναι στενότερη
- Ικανότητα να ακυρώνει τα  
σήματα παρεμβολών

# Πλεονεκτήματα των έξυπνων κεραιών

- Καλύτερη κάλυψη και υψηλότερη ευαισθησία λήψης
- Αποδοτικότερη χρήση του φάσματος
- Λειτουργίες εξάλειψης παρεμβολής στην άνω και την κάτω ζεύξη
- Αμβλυνση του προβλήματος εξασθένισης λόγω διάδοσης πολλαπλών διαδρομών
- Αύξηση της δυναμικότητας του συστήματος
- Χωρική ποικιλομορφία



# Μειονεκτήματα των έξυπνων κεραιών

- Κόστος

Το κόστος μιας τέτοιας συσκευής θα είναι μεγαλύτερο όχι μόνο όσον αφορά το ηλεκτρονικό τμήμα, αλλά και την ισχύ. Για αυτό μια τέτοια συσκευή θα είναι πάρα πολύ δαπανηρή (ειδικά εάν χρησιμοποιούνται μέθοδοι MIMO) και θα μειώσει επίσης τη ζωή της μπαταρίας των κινητών τηλεφώνων. Επίσης το κόστος ανεβαίνει λόγω των ηλεκτρονικών RF και μετατροπέα A / D που χρησιμοποιούνται για κάθε κεραία.

# Μειονεκτήματα των έξυπνων κεραιών (συνέχεια)

- Μέγεθος  
Για να είναι αποτελεσματική αυτή η μέθοδος χρειάζονται μεγάλοι σταθμοί βάσης. Αυτό θα αυξήσει το μέγεθος. Εκτός από αυτό απαιτούνται πολλαπλές εξωτερικές κεραιές σε κάθε τερματικό κάτι που δεν είναι πρακτικό. Παρόλα αυτά οι εταιρείες προσπαθούν με διάφορες μεθόδους, όπως της διπλής πόλωσης να μειώσουν το μέγεθος.
- Πολυμορφία  
Όταν απαιτούνται πολλαπλές καταστολές των σημάτων, η πολυμορφία γίνεται ένα μεγάλο πρόβλημα καθώς οι τερματικοί σταθμοί και οι σταθμοί βάσης πρέπει να έχουν πολλαπλές κεραιές. Υπάρχουν κυρίως τρεις τύποι πολυμορφίας. Πρόκειται για χωρική, πόλωσης και γωνίας.

# Ποιος μπορεί να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία των ευφυών κεραιών;

Η τεχνολογία των ευφυών κεραιών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ασύρματη απόδοση διάφορων συστημάτων για διάφορους μελλοντικούς χρήστες.

- Κινητά τηλέφωνα
- Εφαρμογές WiFi για σημεία πρόσβασης και πελάτες
- Εφαρμογές WiMax/4G - Mobile για πύργους, σταθμούς βάσης όσο και των πελατών
- Laptops, υπολογιστές χειρός ,προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς (PDA).
- 3G Cellular (UMTS)
- Ultra Wide Band / Bluetooth

# Συμπεράσματα

- Η χρήση των έξυπνων κεραιών, δεν είναι μόνο θέμα ραδιομετάδοσης.
- Επηρεάζει επίσης τις υπηρεσίες δικτύου, όπως το handover και την ρύθμιση μιάς σύνδεσης.
- Μια έξυπνη κεραία είναι ένα ψηφιακό ασύρματο σύστημα επικοινωνιών κεραιών που εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες του αποτελέσματος ποικιλομορφίας στην πηγή(πομπός),τον προορισμό (παραλήπτη),ή και τα δύο.
- Συγκεκριμένα, σε αντίθεση με το συμβατικό σύστημα, δεν χρειάζεται φυσική αλλαγή του προσανατολισμού της κεραίας Όλα οι απαιτούμενοι προσανατολισμοί τομέα και πλάτους δέσμης ρυθμίζονται και ελέγχονται από απόσταση μέσω λογισμικού.