



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών

Ενότητα 6: Πολλαπλές Κεραίες και Επικοινωνίες
Χώρου – Χρόνου

Καθ. Κώστας Μπερμπερίδης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

Σκοποί ενότητας

- Η εξοικείωση του φοιτητή με την έννοια της ποικιλομορφίας (diversity) και τα συστήματα τα οποία μπορούν να τη χρησιμοποιήσουν



Περιεχόμενα ενότητας

Τεχνικές Ποικιλομορφίας

Συστήματα MIMO

Συνεργατικές Επικοινωνίες

Συστήματα BLAST



Τεχνικές Ποικιλομορφίας

Μετάδοση Δεδομένων σε Ασύρματο Κανάλι (1/2)

- Η κρουστική απόκριση ενός καναλιού επίπεδης εξασθένησης μπορεί να περιγραφεί από ένα συντελεστή: $h \sim CN(0, \sigma_h^2)$
- Η πιθανότητα σφάλματος κατά τη μετάδοση με διαμόρφωση BPSK μπορεί να αποδειχθεί ότι είναι:

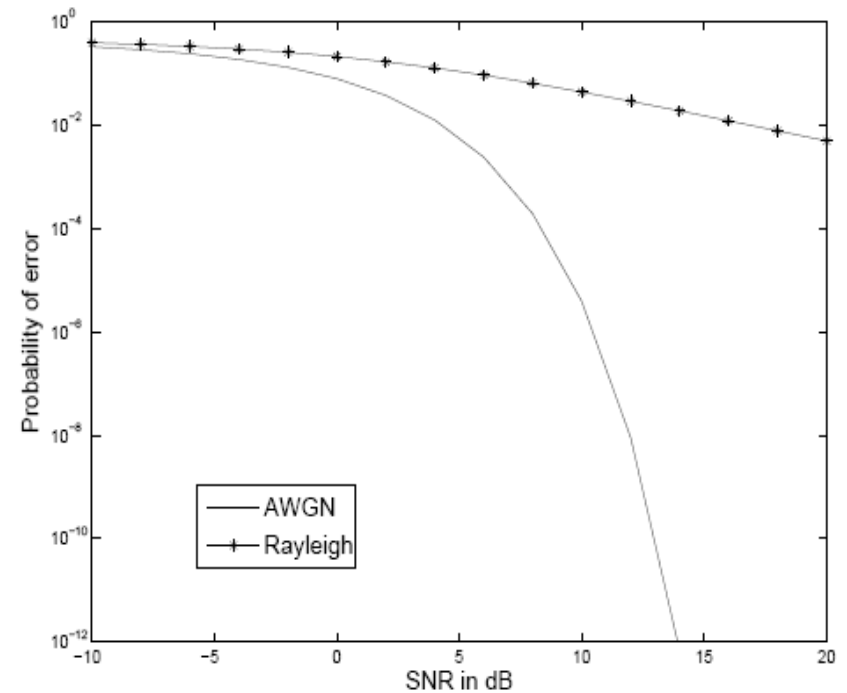
$$P(e) = E_h \left[Q \left(\sqrt{2|h|^2 SNR} \right) \right] \approx \frac{1}{4SNR}$$

- Η πιθανότητα σφάλματος κατά την μετάδοση σε κανάλι AWGN (όπου h =ιδανικό) είναι:

$$P(e) = Q \left(\sqrt{2 SNR} \right) \leq \frac{1}{2} e^{-SNR}$$

- Λόγω της μεταβλητής του φύσης το ασύρματο κανάλι μπορεί να βρεθεί με σχετικά υψηλή πιθανότητα σε κακή κατάσταση (Deep Fading).
- Το αποτέλεσμα είναι η γραμμική εξάρτηση της πιθανότητας σφάλματος από το SNR

Μετάδοση Δεδομένων σε Ασύρματο Κανάλι (2/2)



$$\sigma_h^2 = 1$$

Τεχνικές Ποικιλομορφίας (ή Διαφοροποίησης)

- Εκμεταλλεύονται την τυχαία φύση της ασύρματης διάδοσης βρίσκοντας ανεξάρτητες διαδρομές σήματος για την επικοινωνία, με διαφορετικά χαρακτηριστικά εξασθένησης.
- Η αξιοποίηση της ποικιλομορφίας μπορεί να γίνει στον πομπό, στο δέκτη ή και στα δύο.
- **Μακροσκοπικές τεχνικές ποικιλομορφίας** : Χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της εξασθένησης ευρείας κλίμακας. Σε συνθήκες επισκίασης, το κινητό επιλέγει ανάμεσα στους σταθμούς βάσης εκείνον που δεν επισκιάζεται ή ο σταθμός βάσης επιλέγει ανάμεσα σε πολλές κεραιές που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους, εκείνη που λαμβάνει το ισχυρότερο σήμα.
- **Μικροσκοπικές τεχνικές ποικιλομορφίας** : Χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της εξασθένησης μικρής κλίμακας. Διακρίνονται σε τεχνικές ποικιλομορφίας στο χώρο (space diversity), στη συχνότητα (frequency diversity) ή στο χρόνο (time diversity).
- Υπάρχουν και άλλα είδη ποικιλομορφίας, όπως: multiuser diversity, cooperative diversity, constellation remapping, etc.

Μικροσκοπικές τεχνικές ποικιλομορφίας

- **Space diversity (antenna diversity):** Χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία κεραίες που απέχουν μεταξύ τους μισό μήκος κύματος ή παραπάνω (κινητό) ή δεκάδες μήκη κύματος (σταθμός βάσης).
- **Frequency diversity:** Η πληροφορία μεταδίδεται ταυτόχρονα σε περισσότερες από μία φέρουσες συχνότητες που απέχουν περισσότερο από το εύρος ζώνης συνοχής του καναλιού. Σημαντικό μειονέκτημα η σπατάλη εύρους ζώνης.
- **Time diversity:** Η πληροφορία μεταδίδεται επαναληπτικά σε χρονικά διαστήματα που απέχουν περισσότερο από το χρόνο συνοχής του καναλιού (π.χ. Δέκτης Rake στο DS-CDMA)

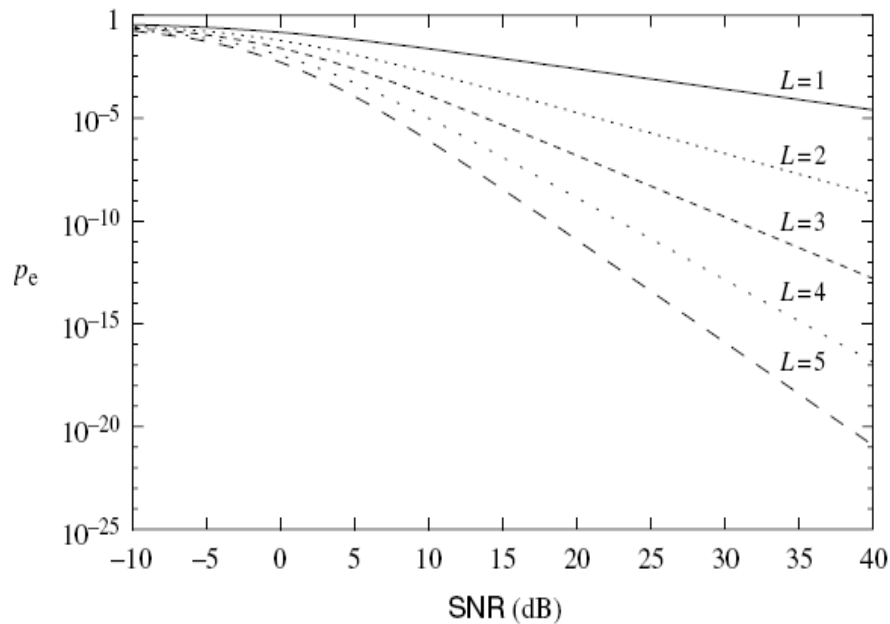
Χρονική Ποικιλομορφία (με επανάληψη) (1/2)

- Επιτυγχάνει L ανεξάρτητες μεταδόσεις για κάθε σύμβολο με την επανάληψη της μετάδοσης κάθε συμβόλου σε L χρονικές στιγμές που απέχουν μεταξύ τους τουλάχιστον όσο ο χρόνος συνοχής του ασύρματου καναλιού (coherence time)
- Αυτός ο τρόπος επικοινωνίας καλείται και κωδικοποίηση επανάληψης (repetition coding).
- Η μέθοδος είναι μη αποδοτική ως προς το ρυθμό μετάδοσης πληροφορίας αλλά μπορεί να μειώσει σημαντικά τη πιθανότητα σφάλματος

Χρονική Ποικιλομορφία (με επανάληψη) (2/2)

- Στο δέκτη το σήμα σταθμίζεται κατάλληλα με ένα προσαρμοσμένο φίλτρο (matched filter) και μπορεί να αποδειχθεί ότι η πιθανότητα σφάλματος είναι:

$$P(e) \approx \binom{2L-1}{L} \frac{1}{(4SNR)^L}$$



Χωρική Ποικιλομορφία Λήψης (1/4)

- Με την εισαγωγή πολλαπλών κεραιών στο δέκτη μπορούμε να επιτύχουμε την επιθυμητή διάδοση μέσω ανεξάρτητων μονοπατιών χωρίς απώλειες σε ρυθμό μετάδοσης
- Το συνολικό λαμβανόμενο SNR για ένα **προσαρμοσμένο δέκτη** μπορεί να εκφραστεί ως

$$||h||^2 SNR = (M SNR) \left(\frac{1}{M} ||h||^2 \right)$$

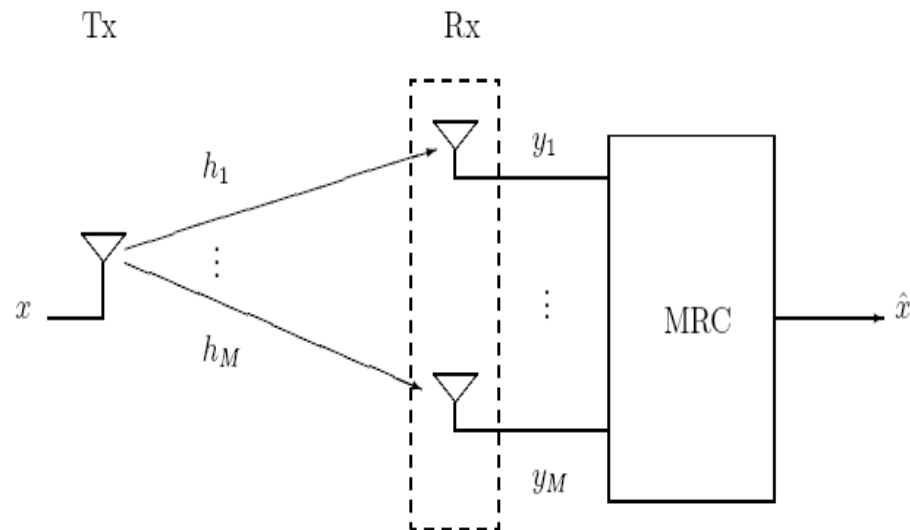
- Στη μορφή (array gain) επί (diversity gain)
- Κέρδος διάταξης κεραιών (array gain): Οι πολλαπλές κεραιές στο δέκτη έχουν σαν αποτέλεσμα την γραμμική αύξηση της λαμβανόμενης χρήσιμης ισχύος με τον αριθμό των κεραιών
- Κέρδος ποικιλομορφίας: Λαμβάνοντας τη μέση τιμή σε πολλά ανεξάρτητα κανάλια η πιθανότητα το μέτρο του καναλιού να είναι μικρό γίνεται πολύ μικρή

Χωρική Ποικιλομορφία Λήψης (2/4)

- Για μεγάλο M , το συνολικό σύστημα μετατρέπεται σε AWGN

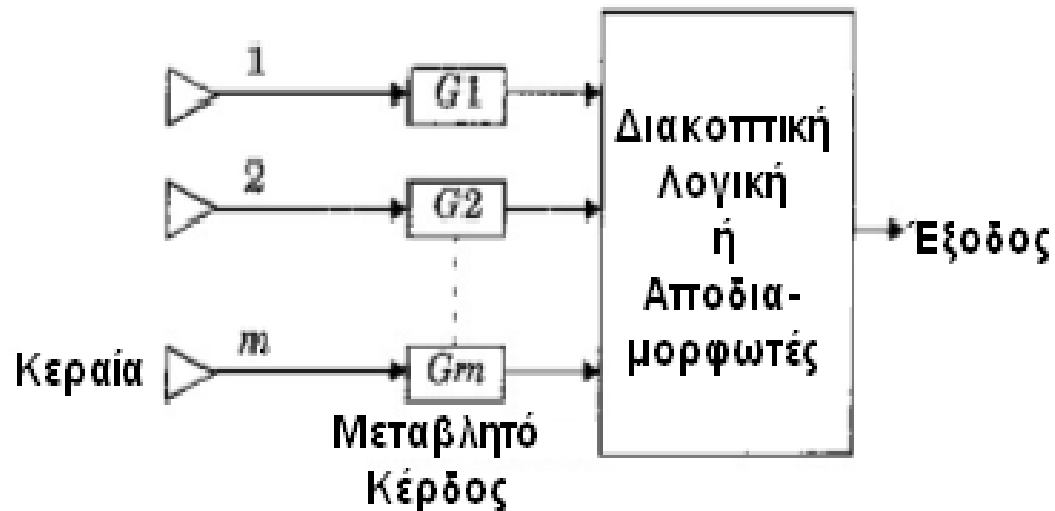
$$\frac{1}{M} \|h\|^2 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |h_i|^2 \rightarrow 1$$

- Το μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα του δέκτη λόγω των πολλαπλών κεραιών και η δυσκολία τοποθέτησής τους σε συσκευές μικρού μεγέθους (π.χ. κινητά τηλέφωνα).



Χωρική Ποικιλομορφία Λήψης (3/4)

Γενικό διάγραμμα βαθμίδων ενός σχήματος με χωρική ποικιλομορφία



Χωρική Ποικιλομορφία Λήψης (4/4)

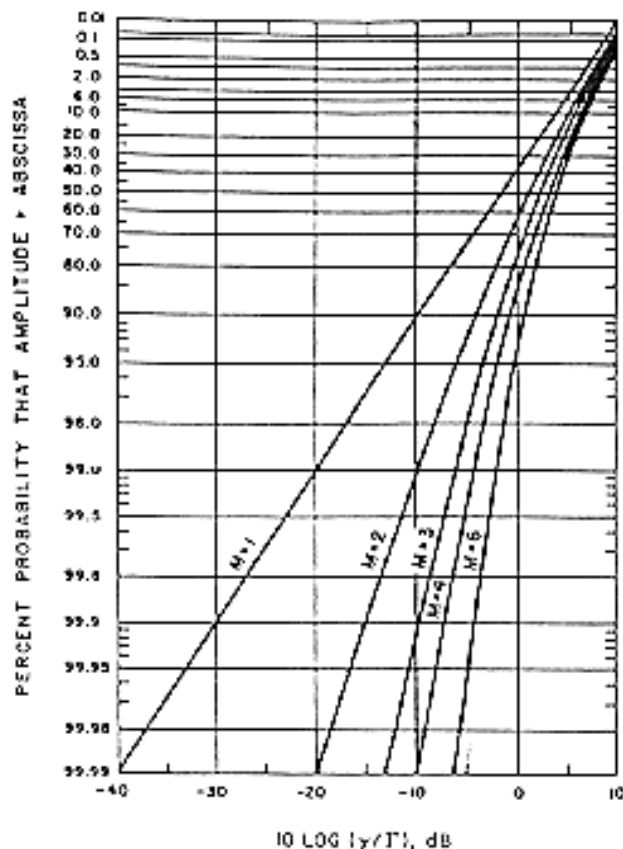
- Κατηγορίες τεχνικών :
 - Selection Diversity
(Ποικιλομορφία Επιλογής)
 - Feedback Diversity / Scanning Diversity
(Ποικιλομορφία Ανατροφοδότησης / Σάρωσης)
 - Maximal Ratio Combining Diversity
(Ποικιλομορφία Συνδυασμού Μέγιστου Λόγου)
 - Equal Gain Combining Diversity
(Ποικιλομορφία Συνδυασμού Ίσου Κέρδους)

Ποικιλομορφία Επιλογής (1/2)

- Η απλούστερη τεχνική: σε κάθε χρονική στιγμή επιλέγεται εκείνη η κεραία της οποίας η έξοδος παρουσιάζει το μεγαλύτερο SNR. Σε κάθε κλάδο υπάρχει δέκτης και επίσης απαιτείται η εφαρμογή κάποιας τεχνικής εκτίμησης του SNR.
- Η πιθανότητα να βρεθούν όλες οι κεραίες σε σημεία μεγάλης εξασθένησης είναι πολύ μικρή.
- Προσφέρει σημαντική βελτίωση στη σύνδεση χωρίς να απαιτεί πρόσθετη μεταδιδόμενη ισχύ ή πολύπλοκα κυκλώματα.
- Δεν είναι η βέλτιστη τεχνική, γιατί γίνεται σπατάλη πόρων, καθώς δεν χρησιμοποιούνται όλοι οι κλάδοι ταυτόχρονα.

Ποικιλομορφία Επιλογής (2/2)

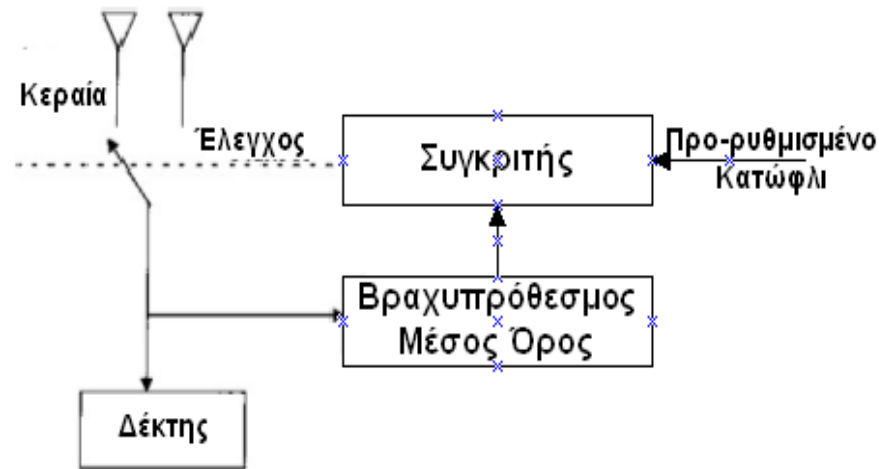
Γράφημα πιθανοτήτων υπέρβασης ενός κατωφλίου



- Γ το μέσο SNR στην έξοδο κάθε κλάδου
- γ το κατώφλι

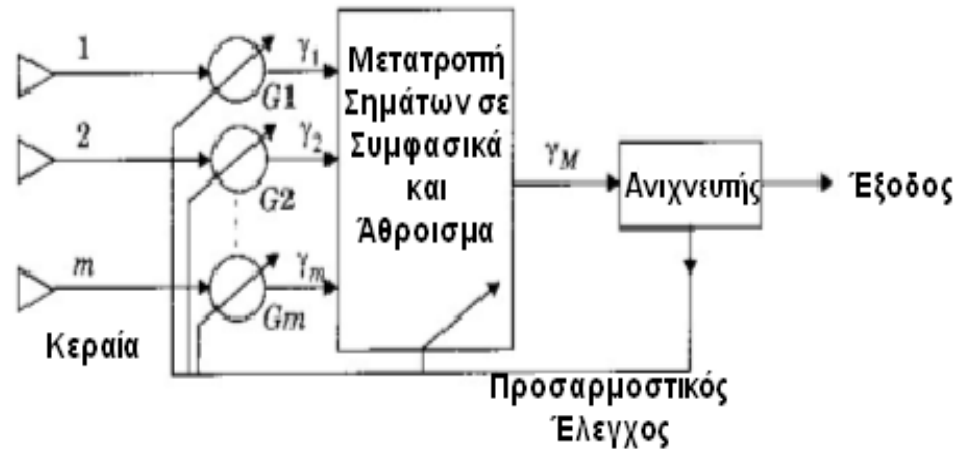
Έχει σχεδιαστεί η πιθανότητα το στιγμιαίο SNR σε τουλάχιστον ένα κλάδο να ξεπερνάει το κατώφλι γ , συναρτήσει του λόγου γ/Γ .

Ποικιλομορφία Ανατροφοδότησης / Σάρωσης



- Τα σήματα από κάθε κεραία διατρέχονται με σταθερή σειρά μέχρι να βρεθεί κάποιο που βρίσκεται πάνω από κάποιο προκαθορισμένο κατώφλι. Χρησιμοποιείται αυτό το σήμα μέχρι η ισχύς του να πέσει κάτω από το κατώφλι, οπότε η διαδικασία επαναλαμβάνεται.
- Παρουσιάζει κάπως χειρότερη απόδοση αλλά έχει το πλεονέκτημα ότι απαιτείται μόνο ένας δέκτης και επομένως είναι πολύ απλή στην υλοποίηση.

Ποικιλομορφία Συνδυασμού Μέγιστου Λόγου (MRC)



- Η έξοδος είναι κατάλληλος γραμμικός συνδυασμός των εξόδων όλων των κεραιών.
- Το SNR εξόδου είναι το άθροισμα των επιμέρους SNRs !
- Απαιτεί ένα δέκτη και ένα κύκλωμα χειρισμού φάσης για κάθε κεραία (τα σήματα πρέπει να γίνουν συμφασικά), καθώς και κάποιο κύκλωμα για τη ρύθμιση των βαρών. Απαιτεί επίσης και γνώση όλων των εμπλεκόμενων καναλιών.
- Είναι η καλύτερη από τις γραμμικές τεχνικές χωρικής ποικιλομορφίας αλλά και η πιο πολύπλοκη. Γίνεται πρακτική με την βελτίωση των τεχνικών επεξεργασίας σήματος και της τεχνολογίας των δεκτών.

Ποικιλομορφία Συνδυασμού Ίσου Κέρδους

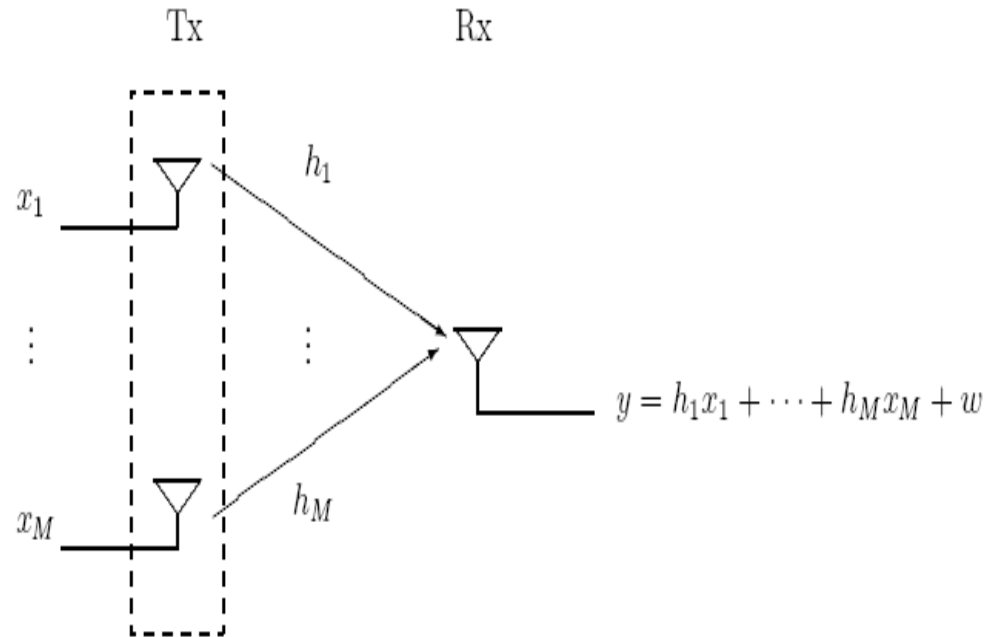
- Παρόμοια τεχνική με τεχνική συνδυασμού μεγίστου λόγου, αλλά χωρίς μεταβλητά βάρη, για μεγαλύτερη ευκολία.
- Τα σήματα εξόδου των κλάδων απλώς γίνονται συμφασικά πριν προστεθούν.
- Η απόδοση είναι φυσικά κατώτερη (αλλά όχι κατά πολύ).

Χωρική Ποικιλομορφία Εκπομπής (1/3)

- Εναλλακτικά μπορούμε να τοποθετήσουμε πολλαπλές κεραίες στο πομπό.
- Διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:
 - Το κανάλι είναι γνωστό στον πομπό
 - Το κανάλι είναι άγνωστο στον πομπό
- Στη πρώτη περίπτωση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την βέλτιστη τεχνική της προσανατολισμένης εκπομπής (transmit beamforming) με προκωδικοποίηση των συμβόλων
- Η τεχνική προσανατολισμένης εκπομπής επιτρέπει «ευθυγράμμιση» της εισόδου του καναλιού με το κανάλι και έχει ίδια επίδοση με το MRC. Όπως και στο slide# 6 (Χωρική Ποικιλομορφία Λήψης), το συνολικό λαμβανόμενο SNR θα είναι ίσο με

$$||h||^2 SNR$$

Χωρική Ποικιλομορφία Εκπομπής (2/3)



$$\mathbf{x} := \frac{1}{\|\mathbf{h}\|} \mathbf{h}^* x$$

$$y = \frac{1}{\|\mathbf{h}\|} (h_1 h_1^* + \dots + h_M h_M^*) x + w = \|\mathbf{h}\| x + w.$$

Χωρική Ποικιλομορφία Εκπομπής (3/3)

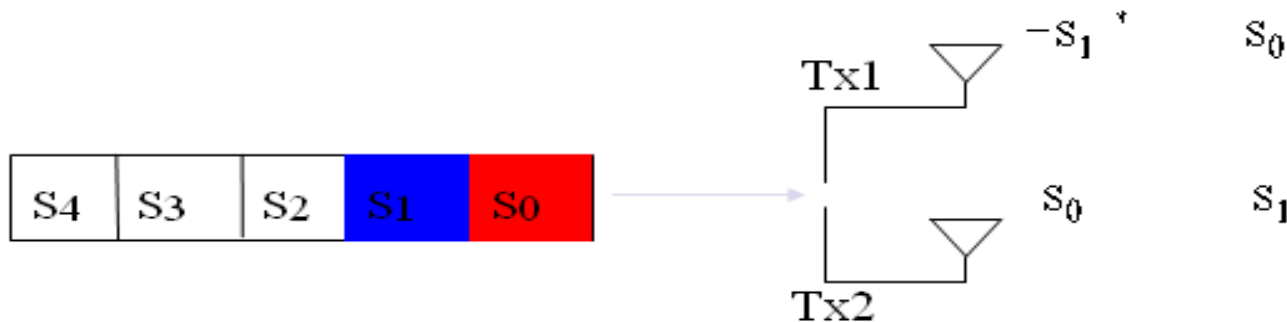
- Στη περίπτωση που δεν γνωρίζουμε το κανάλι στο πομπό μπορούμε επιτύχουμε το κέρδος ποικιλομορφίας με την χρήση τεχνικών κωδικοποίησης χώρου - χρόνου (Space-Time Coding)
- Οι κώδικες που χρησιμοποιούνται προκύπτουν με βάση κάποια σχεδιαστικά κριτήρια
- Επιτυγχάνουν το μέγιστο δυνατό κέρδος ποικιλομορφίας που παρέχει το σύστημα, χωρίς απώλειες ρυθμού μετάδοσης δεδομένων
- Η επίδοση τους όμως είναι χειρότερη από αυτή της προσανατολισμένης εκπομπής

Κωδικοποίηση Χώρου - Χρόνου

- Αύξηση της αξιοπιστίας της ασύρματης μετάδοσης
- Εκμετάλλευση της χωρικής ποικιλομορφίας για παροχή κέρδους ποικιλομορφίας και κωδικοποίησης σε σχέση με την μη κωδικοποιημένη μετάδοση
- Κώδικες Μπλοκ: Μεταδίδονται χρησιμοποιώντας μια ορθογώνια δομή μπλοκ η οποία δίνει την δυνατότητα απλής αποκωδικοποίησης στο δέκτη
- Κώδικες Trellis: Επέκταση συνελικτικών κωδικών στην περίπτωση των πολλαπλών κεραιών εκπομπής και λήψης

Η τεχνική του Alamouti (1/2)

- Κωδικοποίηση και μετάδοση:



- Τα δείγματα που λαμβάνονται στα αντίστοιχα time slots είναι:

$$y_0 = h_1 s_0 + h_2 s_1 + n_0$$

$$y_1 = -h_1 s_1^* + h_2 s_0^* + n_1$$

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \\ h_2^* & -h_1^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_0 \\ n_1 \end{bmatrix} = \mathbf{H}\mathbf{s} + \mathbf{n}$$

Η τεχνική του Alamouti (2/2)

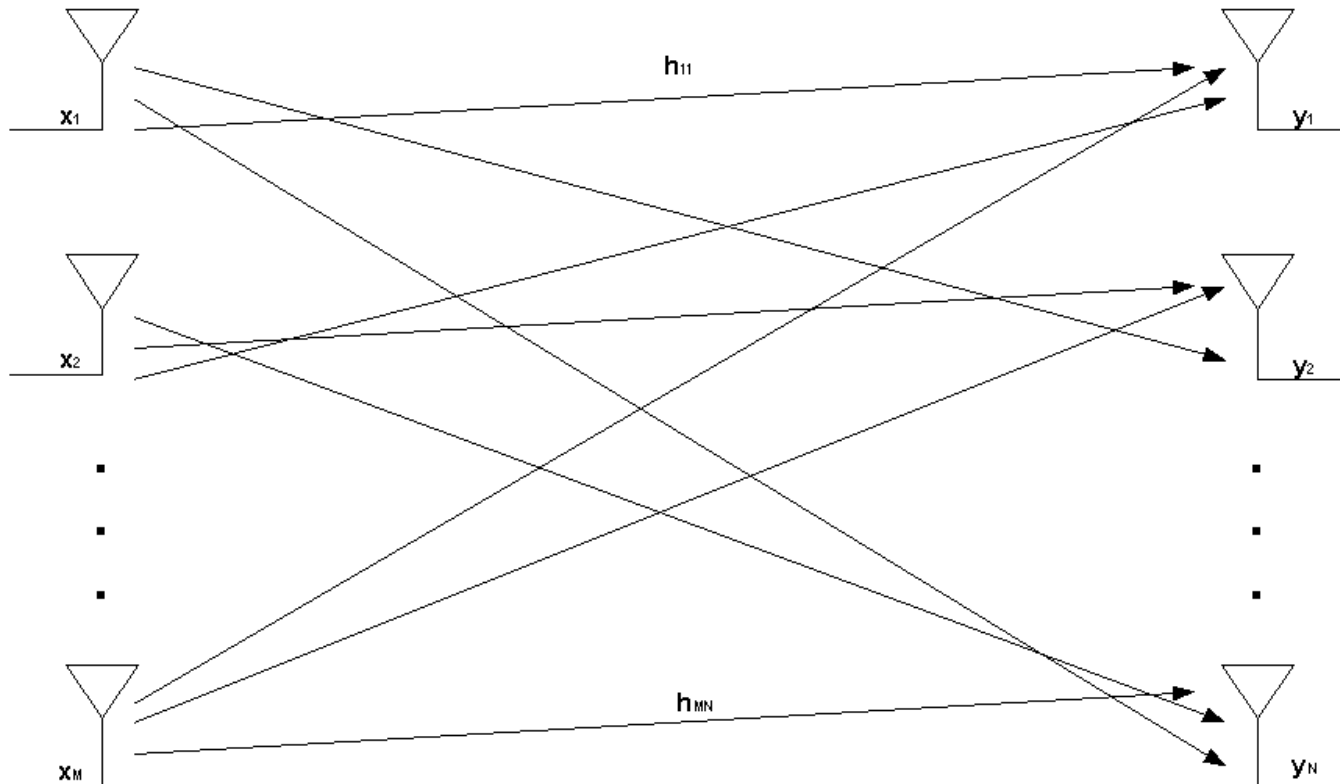
- Αποκωδικοποίηση:
 - Με Φώραση Μέγιστης Πιθανοφάνειας (ουσιαστικά είναι MRC)
 - Επιτυγχάνεται αποσύζευξη των συμβόλων

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} z_0 \\ z_1 \end{bmatrix} = \mathbf{H}^H \mathbf{y} = \left(|h_1^2| + |h_2^2| \right) \mathbf{I}_2 \mathbf{s} + \tilde{\mathbf{n}}$$

- Κέρδος ποικιλομορφίας: $2N$
- Υστέρηση κατά 3dB (σε ισχύ) σε σχέση με το transmit beamforming (για ίδια ολική ισχύ εκπομπής έχει τη μισή ισχύ σε κάθε μεταδιδόμενο σύμβολο)

Συστήματα MIMO

Συστήματα MIMO (1/2)



Συστήματα MIMO (2/2)

- Τα συστήματα MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) έχουν πολλαπλές κεραιές σε πομπό και δέκτη (έστω M και N αντίστοιχα).
- Οι κεραιές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κέρδος πολυπλεξίας ή/και κέρδος ποικιλομορφίας
- Ο σχεδιασμός των συστημάτων MIMO μπορεί να είναι πολύπλοκος αφού απαιτεί διανυσματική επεξεργασία σήματος
- Η απόδοση και η πολυπλοκότητα ενός συστήματος MIMO εξαρτάται από το τι είναι γνωστό για το κανάλι σε πομπό και σε δέκτη

Χωρητικότητα MIMO (με κανάλι άγνωστο στον ΤΧ) (1/3)

- Η χωρητικότητα του καναλιού MIMO (με άγνωστο κανάλι στον πομπό) έχει βρεθεί ότι δίνεται από την παρακάτω έκφραση :

$$C = \log_2 \det \left(I_N + \frac{E_s}{MN_0} HH^H \right)$$

SISO channel (M=N=1)

$$C = \log_2 \left(1 + SNR \cdot \|h\|^2 \right)$$

Χωρητικότητα MIMO (με κανάλι άγνωστο στον ΤΧ) (2/3)

- Ανάλυση της χωρητικότητας μέσω διάσπασης του καναλιού MIMO σε $\text{Rank}(H)$ παράλληλα (ανεξάρτητα) υπο-κανάλια

$$C = \log_2 \det \left(I_N + \frac{E_S}{MN_0} \Lambda \right) = \sum_{i=1}^{\text{Rank}(H)} \log_2 \left(1 + \frac{E_S}{MN_0} \lambda_i \right)$$

Χωρητικότητα MIMO (με κανάλι άγνωστο στον ΤΧ) (3/3)

- Στα προηγούμενα χρησιμοποιήσαμε τις ιδιότητες:

$$HH^H = QLQ^H$$

$$H : N' \times M$$

Ο πίνακας του MIMO καναλιού

$$\det(I_N + AB) = \det(I_M + BA), \quad A : N' \times M, \quad B : M' \times N$$

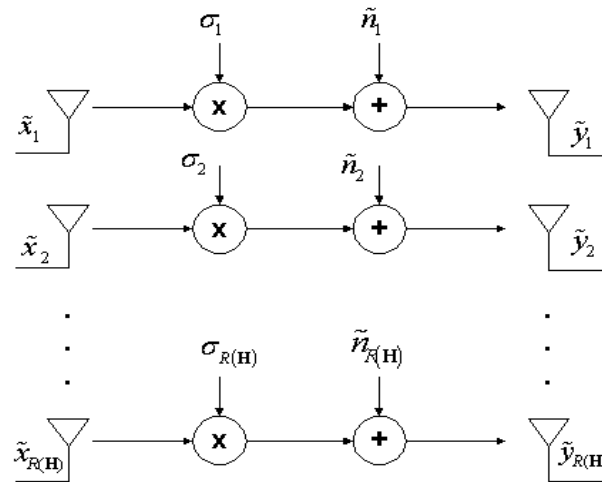
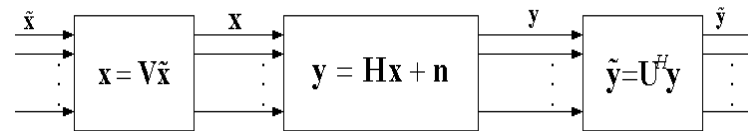
$$\det(\text{diag}([a_1 \ a_2 \ \dots \ a_M])) = a_1 * a_2 * \dots * a_M$$

Χωρητικότητα MIMO (με κανάλι γνωστό στον TX) (1/3)

- Διάσπαση του καναλιού MIMO σε $\text{Rank}(H)$ παράλληλα υπο-κανάλια με προ-κωδικοποίηση στον πομπό και αντίστοιχη “μετα-κωδικοποίηση” στον δέκτη.
- Ο αριθμός των συμβόλων που μεταδίδονται ταυτόχρονα είναι ίσος με $\text{Rank}(H)$
- Προκύπτουν $\text{Rank}(H) < \min(M, N)$ ανεξάρτητα κανάλια με κέρδος σ_i (σ_i : i -οστη ιδιάζουσα τιμή του H)

Χωρητικότητα MIMO (με κανάλι γνωστό στον ΤΧ) (2/3)

$$H = USV^H$$



Χωρητικότητα MIMO (με κανάλι γνωστό στον ΤΧ) (3/3)

- Για στατικά κανάλια με πλήρη CSI σε πομπό και δέκτη , είναι βέλτιστο να μοιράσουμε την ισχύ μετάδοσης με εφαρμογή του αλγόριθμου water-filling στον χώρο:

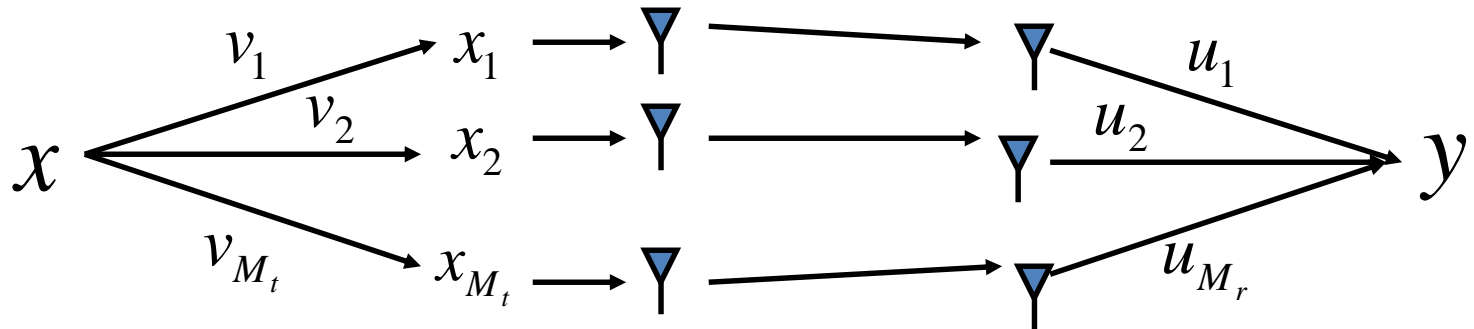
$$C = \max_{P_i: \sum_i P_i = P} \sum_{i=1}^{\text{Rank}(\mathbf{H})} \log_2 \left(1 + \frac{P_i E_s \sigma_i}{MN_0} \right)$$

Το μ είναι σταθερά που σχετίζεται με την ολική ισχύ που διαθέτουμε

$$P_i^{\text{opt}} = \left(\mu - \frac{MN_0}{E_s \sigma_i} \right)_+ , \quad (x)_+ = \begin{cases} x, & \text{if } x \geq 0 \\ 0, & \text{if } x \leq 0 \end{cases}$$

Δηλαδή, στα καλύτερα υπο-κανάλια (modes) εκπέμπουμε με μεγαλύτερη ισχύ. Ενδεχομένως υπάρχουν modes που μένουν αχρησιμοποίητα.

Προσανατολισμένη Επικοινωνία με μέγιστο κέρδος ποικιλομορφίας



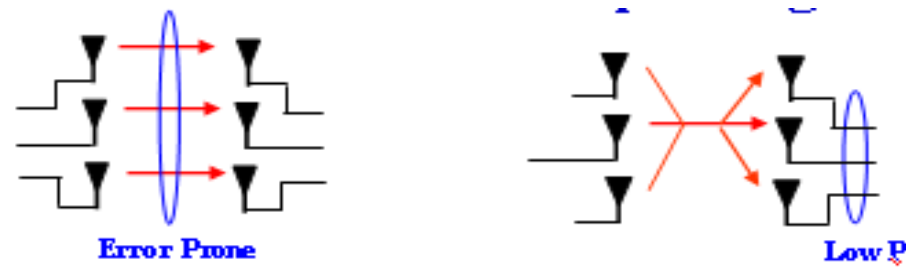
$$y = \mathbf{u}^H \mathbf{H} \mathbf{v} x + \mathbf{u}^H \mathbf{n}$$

Τα ιδιάζοντα διανύσματα \mathbf{u} και \mathbf{v} αντιστοιχούν στη μέγιστη ιδιάζουσα τιμή

- Σε μία δεδομένη χρονική στιγμή όλες οι κεραιές μεταδίδουν το ίδιο σύμβολο
- Μετασχηματίζει το σύστημα MIMO σε ένα σύστημα SISO με ποικιλομορφία
- Κέρδος ποικιλομορφίας MN
- Απλοποιημένη κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση
- Πρέπει να έχουμε επαρκή γνώση της κατάστασης του καναλιού σε πομπό και δέκτη για βέλτιστα αποτελέσματα

Ποικιλομορφία vs Πολυπλεξία

- Χρήση των κεραιών είτε για κέρδος ποικιλομορφίας είτε για κέρδος πολυπλεξίας. Το τι είναι καλύτερο καθορίζεται από τις ανάγκες της εφαρμογής.



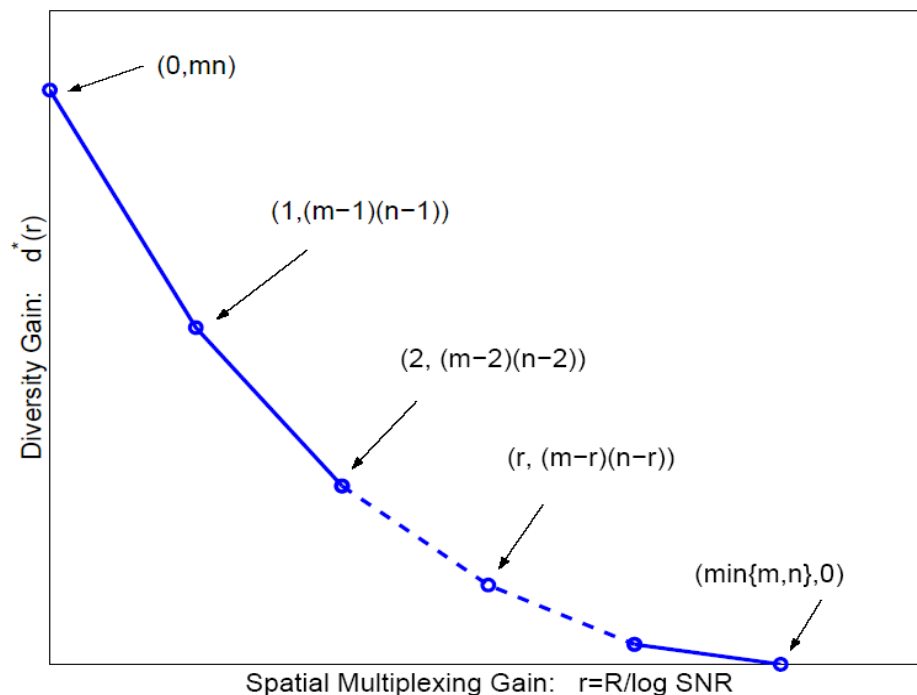
Ποικιλομορφία vs Πολυπλεξία

- Tradeoffs μεταξύ ποικιλομορφίας και πολυπλεξίας

$$\lim_{SNR \rightarrow \infty} \frac{\log P_e(SNR)}{\log SNR} = -d$$

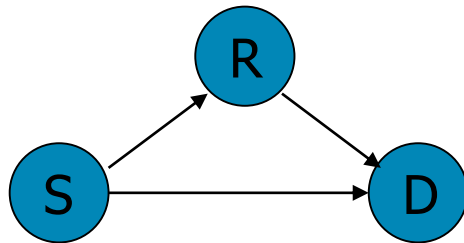
$$\lim_{SNR \rightarrow \infty} \frac{R(SNR)}{\log SNR} = r$$

$$d^*(r) = (M-r)(N-r)$$



Συνεργατικές Επικοινωνίες

Συνεργατικές Επικοινωνίες (1/3)



S: Source

R: Relay

D: Destination

- Το Relay συνεργάζεται με το Source για να βοηθήσει την επικοινωνία του με το Destination (κατανεμημένο MIMO)
- Οι θεωρητικές μελέτες πάνω στο ζήτημα αυτό ξεκίνησαν ήδη από τη δεκαετία του '70 (van der Meulen, Cover – El Gamal)
- Η ανάπτυξη των MIMO δημιούργησε νέο αυξανόμενο ενδιαφέρον για το θέμα αυτό κατά την τελευταία δεκαετία (από το 2003 και μετά)
- Το αρχικό θεωρητικό ερώτημα που αφορά την χωρητικότητα του συστήματος, ακόμα και στην απλή του μορφή, παραμένει αναπάντητο.
- Ωστόσο αυτό δεν εμπόδισε την ανάπτυξη χρήσιμων συνεργατικών τεχνικών επικοινωνίας (που βασίστηκαν σε προσεγγιστικές θεωρητικές επιδόσεις)

Συνεργατικές Επικοινωνίες (2/3)

- Τα περισσότερα από τα πρωτόκολλα που έχουν προταθεί είναι:
 - Half-duplex (το R δεν επιτρέπεται να λαμβάνει και να μεταδίδει ταυτόχρονα)
 - Ορθογώνια (δεν υπάρχει παρεμβολή μεταξύ των μεταδόσεων $S \rightarrow D$ και $R \rightarrow D$)
 - Σημαντική έρευνα τελευταία και σε πρωτόκολλα Full-Duplex

Συνεργατικές Επικοινωνίες (3/3)

- Βασικά πρωτόκολλα:
 - Time Slot 1 :
 - Το S μεταδίδει μια κωδική λέξη στο D (η οποία λαμβάνεται και από το R)
 - Time Slot 2 :
 - Το R αποκωδικοποιεί, επανακωδικοποιεί και αναμεταδίδει την κωδική λέξη (decode-and-forward)
 - Το R απλά ενισχύει το ληφθέν σήμα και το αναμεταδίδει (amplify-and-forward)
 - Όπως η πρώτη περίπτωση, αλλά όταν το R δεν είναι σε θέση να κάνει καλή αποκωδικοποίηση τότε δεν στέλνει τίποτε (selective decode-and-forward)
 - Σε ότι αφορά το S, μπορεί να στείλει μια νέα κωδική λέξη στο 2nd time slot ή μπορεί να μη στείλει (διαφορετικά περιπτώσεις πρωτοκόλλων)

Σύγχρονες Κατευθύνσεις

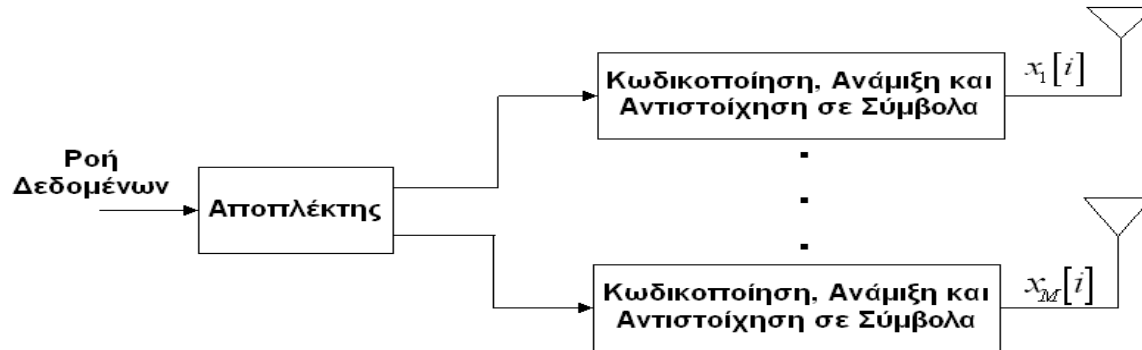
- Smart Antennas, MIMO Systems
- Cross-layer optimization
- Software Radio (SWR) / Software Defined Radio (SDR)
- Turbo-like coding schemes and LDPC codes
- Opportunistic communications
- Cooperative Communications (between users / between BS, COMP transmission)
- Interference Management (ειδική περίπτωση: το Interference Alignment)
- Cognitive Radio

Τεχνικές BLAST

Bell Laboratories Layered Space Time (BLAST)

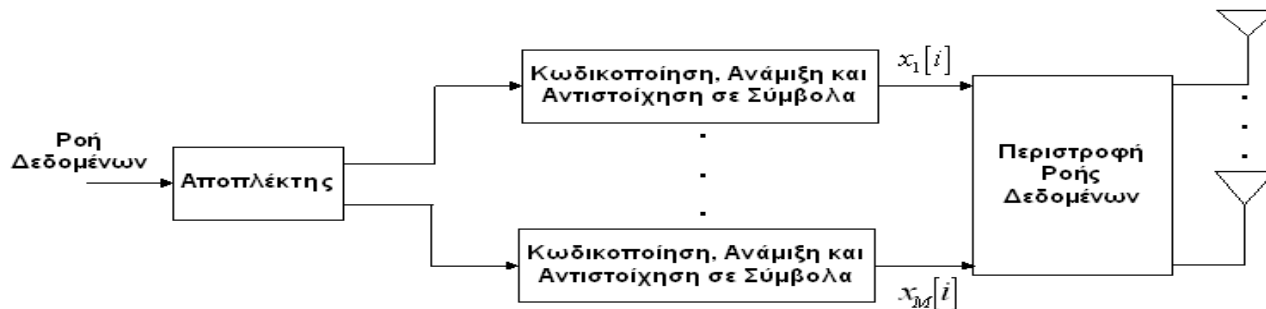
- Αύξηση του ρυθμού μετάδοσης πληρώνοντας σε αξιοπιστία (diversity – multiplexing trade-off) σε συστήματα MIMO
- Για πλήρες κέρδος πολυπλεξίας δεν έχουμε κέρδος ποικιλομορφίας εκπομπής για μη κωδικοποιημένη BLAST
- Κατάλληλη μόνο για υψηλό SNR
- Μεγάλο πρόβλημα αποτελεί η αποκωδικοποίηση
 - Η βέλτιστη τεχνική αποκωδικοποίησης έχει μεγάλη πολυπλοκότητα
 - Χρησιμοποιούνται υπο-βέλτιστες μέθοδοι (successive interference cancellation)
- Απαιτεί $N > M$

V-BLAST



- Χωρικός Ρυθμός: M
- Μέγιστο Κέρδος Ποικιλομορφίας: Μπορεί να είναι και μεγαλύτερο του M
- Κέρδος διάταξης (array gain): N
- Κέρδος Κωδικοποίησης: Εξαρτάται από τον κωδικοποιητή

D-BLAST



- Χωρικός Ρυθμός: M
- Μέγιστο Κέρδος Ποικιλομορφίας: Μπορεί να είναι ακόμη και MN
- Κέρδος Πίνακα: N
- Κέρδος Κωδικοποίησης: Εξαρτάται από τον κωδικοποιητή
- Σπατάλη εύρους ζώνης

Η Πολυπλοκότητα του Δέκτη (1/2)

- Μι κεραιές εκπομπής και ένας αστερισμός με σημεία αντιστοιχούν σε πιθανούς συνδυασμούς συμβόλων για κάθε χρονική στιγμή αν χρησιμοποιηθεί αποκωδικοποιητής μέγιστης πιθανοφάνειας.
- Η αποκωδικοποίηση σφαίρας (sphere decoding) είναι μια εναλλακτική προσέγγιση με χαμηλότερη πολυπλοκότητα
- Χρήση τεχνικών ισοστάθμισης στο δέκτη όπως η ZF ή η MMSE με γραμμική πολυπλοκότητα στον αριθμό των κεραιών εκπομπής

Η Πολυπλοκότητα του Δέκτη (2/2)

- Συνδυασμός DFE με ZF ή MMSE για την ακύρωση της παρεμβολής των συμβόλων που ανιχνεύθηκαν
- Διάταξη των συμβόλων που πρόκειται να ανιχνευθούν κατά φθίνουσα τιμή του SNR για την επίτευξη της βέλτιστης επίδοσης
- Ο μεγαλύτερος υπολογιστικός φόρτος τέτοιων δεκτών οφείλεται στο τρόπο διάταξης

Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.00.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Καθ. Κώστας Μπερμπερίδης 2014.

Κώστας Μπερμπερίδης. «Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών. Πολλαπλές Κεραίες και Επικοινωνίες Χώρου – Χρόνου».

Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.upatras.gr/courses/CEID1109/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Οι εικόνες στις σελίδες: 13, 16, 17, 18

έχουν δημιουργηθεί με βάση αντίστοιχες εικόνες του βιβλίου: “Wireless Communications: Principles and Practice”, T. S. Rappaport, Prentice Hall