



Ασύρματη Διάδοση

ΜΥΕ006: ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

Ευάγγελος Παπαπέτρου

Διάρθρωση μαθήματος

- Εισαγωγή στην ασύρματη διάδοση
- Κεραίες
 - διάγραμμα ακτινοβολίας, κέρδος, κατευθυντικότητα
- Απώλειες στον ελεύθερο χώρο
- Μοντέλα απωλειών και μοντέλα διάδοσης
 - χρησιμότητα, γνωστά μοντέλα
- Θόρυβος και παρεμβολές
 - είδη θορύβου, σηματοθορυβική σχέση, είδη παρεμβολών
- Περιβάλλον κινητής επικοινωνίας
 - πολλαπλές οδεύσεις, διαλείψεις, τεχνικές διαχωρισμού, διασυμβολική παρεμβολή, προσαρμοστική εξισορρόπηση

ΜΥΕ006: Ασύρματα Δίκτυα

ΜΥΕ006: Ασύρματα Δίκτυα

Εισαγωγή

Ασύρματη διάδοση (1/2)

- Φορέας μεταφοράς πληροφορίας:
 - Ηλεκτρομαγνητικό κύμα



Διάδοση: περιγράφει τη διέλευση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος μέσα από το κανάλι επικοινωνίας

ΜΥΕ006: Ασύρματα Δίκτυα

Ασύρματη διάδοση (2/2)

□ Διακρίνονται δύο είδη:

- κατευθυνόμενη
 - το η/μ κύμα διαδίδεται προς συγκεκριμένες κατευθύνσεις
- μη κατευθυνόμενη
 - το η/μ κύμα διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις

□ Χαρακτηριστικά μεταδιδόμενου η/μ κύματος

- ισχύς
 - επηρεάζει την απόσταση της ζεύξης
- συχνότητα (f) (ισοδύναμα: μήκος κύματος $\lambda=c/f$)
 - επηρεάζει τις απώλειες ισχύος και επομένως την απόσταση της ζεύξης (μεγαλύτερες συχνότητες -> μεγαλύτερες απώλειες)
 - συνήθως το μεταδιδόμενο η/μ κύμα αποτελείται από πολλά η/μ κύματα με διαφορετικές συχνότητες
 - διαφορετικές συνθήκες διάδοσης για κάθε συνιστώσα

Κεραίες

Κεραίες: εισαγωγή

□ Η κεραία είναι ένας ηλεκτρικός αγωγός (ή σύστημα αγωγών) που μετατρέπει ένα ηλεκτρικό σήμα σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα και αντίστροφα

□ Μια κεραία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκπομπή και λήψη

- εκπέμπει ή/και συλλέγει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια

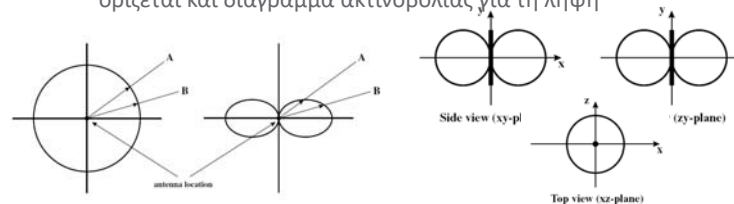
□ Κάθε κεραία χαρακτηρίζεται από:

- το διάγραμμα ακτινοβολίας
- την κατευθυντικότητα της
- το κέρδος της

Διάγραμμα ακτινοβολίας

□ Διάγραμμα ακτινοβολίας

- αναπαριστά, σε όλες τις κατευθύνσεις, τη συμπεριφορά μιας κεραίας ως προς την ισοτροπική κεραία
 - προσδιορίζει την ισχύ του εκπεμπόμενου η/μ κύματος σε κάθε κατεύθυνση
- Ισοτροπική κεραία: η κεραία που εκπέμπει την ίδια ισχύ προς όλες τις κατευθύνσεις
 - διάγραμμα ακτινοβολίας: μοναδιαίος κύκλος
- ορίζεται και διάγραμμα ακτινοβολίας για τη λήψη



Κατευθυντικότητα κεραίας

- Το συνθηθέστερο μέτρο της κατευθυντικότητας μιας κεραίας είναι το *εύρος δέσμης ημίσειας ισχύος*
- *Εύρος Δέσμης Ημίσειας ισχύος:*
 - η γωνία μεταξύ δύο κατευθύνσεων στις οποίες η εκπεμπόμενη ισχύς είναι η μισή της μέγιστης ισχύος
- *Ανάλογα με την κατευθυντικότητα διακρίνονται οι:*
 - ισοτροπικές κεραίες: μετάδοση προς όλες τις κατευθύνσεις
 - κατευθυντικές κεραίες: μετάδοση προς επιλεγμένες κατευθύνσεις (μια ή περισσότερες)
- *Κάθε τύπος κεραίας έχει εφαρμογές σε διαφορετικούς τύπους δικτύων*
 - π.χ. ασύρματα τοπικά δίκτυα -> ισοτροπικές κεραίες, διασύνδεση ενσύρματων δικτύων -> κατευθυνόμενες κεραίες

ΜΥΕ006: Ασύρματα Δίκτυα

Κέρδος κεραίας

- *Κέρδος (ή απολαβή) G:* Ο λόγος της ισχύος που μια κεραία παράγει ως προς την ισχύ που παράγει μια ισοτροπική κεραία αν η εισερχόμενη ισχύς είναι ίδια
 - το κέρδος ορίζεται για συγκεκριμένη κατεύθυνση

$$G = \frac{P^{ant}}{P_{iso}^{ant}} = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2}$$

- f : συχνότητα εκπεμπόμενου η/μ κύματος
- λ : μήκος εκπεμπόμενου η/μ κύματος
- c : ταχύτητα φωτός
- A_e : ενεργός περιοχή κεραίας

ΜΥΕ006: Ασύρματα Δίκτυα

Απώλειες στον ελεύθερο χώρο

ΜΥΕ006: Ασύρματα Δίκτυα

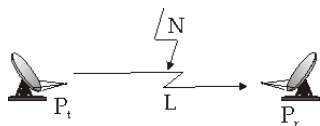
Απώλειες (1/2)

- Ένα η/μ κύμα υπόκειται σε απώλειες της ισχύος του κατά τη διάδοσή του
 - σύνθετο αποτέλεσμα διαφόρων φαινομένων
 - π.χ. ανάκλαση, διάθλαση, απορρόφηση από ατμοσφαιρική υγρασία, κλπ
- Οι απώλειες εξαρτώνται από:
 - το περιβάλλον στο οποίο γίνεται η διάδοση
 - τη συχνότητα του κύματος
 - την απόσταση επικοινωνίας
- Ένα μαθηματικό μοντέλο που υπολογίζει τις απώλειες σε μια ζεύξη καλείται *μοντέλο απωλειών*

ΜΥΕ006: Ασύρματα Δίκτυα

Απώλειες (2/2)

- Οι απώλειες καθορίζουν τη μέγιστη απόσταση μιας ασύρματης επικοινωνίας
 - ένας δέκτης χαρακτηρίζεται από ένα ελάχιστο επίπεδο λαμβανόμενης ισχύος
 - εκπεμπόμενη ισχύς – μέγιστες απώλειες > ελάχιστο επίπεδο λαμβανόμενης ισχύος



Απώλειες στον ελεύθερο χώρο (1/3)

- Απώλειες για ιδεατή ισοτροπική κεραία

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} = \frac{(4\pi f d)^2}{c^2} \quad \frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi d)^2}{G_t G_r \lambda^2} = \frac{(\lambda d)^2}{A_t A_r c} = \frac{(cd)^2}{f^2 A_t A_r}$$

- P_t : ισχύς σήματος στο σημείο εκπομπής
- P_r : ισχύς σήματος στο σημείο λήψης
- λ : μήκος κύματος
- f : συχνότητα
- d : απόσταση επικοινωνίας
- c : ταχύτητα φωτός
- G_t : κέρδος κεραίας πομπού
- G_r : κέρδος κεραίας δέκτη

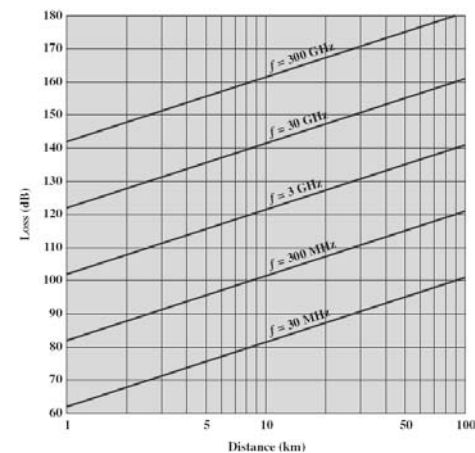
Απώλειες στον ελεύθερο χώρο (2/3)

- Οι απώλειες μπορούν να εκφραστούν σε dB

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 10 \log \frac{P_t}{P_r} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \\ &= -20 \log(\lambda) + 20 \log(d) + 21.98 \text{ dB} \\ &= 20 \log \left(\frac{4\pi f d}{c} \right) = 20 \log(f) + 20 \log(d) - 147.56 \text{ dB} \end{aligned}$$

- Οι απώλειες αυξάνονται με:
 - την απόσταση επικοινωνίας
 - τη συχνότητα επικοινωνίας

Απώλειες στον ελεύθερο χώρο (3/3)



Μοντέλα απωλειών και μοντέλα διάδοσης

Εισαγωγή

- Η διάδοση ενός η/μ κύματος είναι μια σύνθετη διαδικασία
 - Στόχος: δημιουργία μαθηματικού μοντέλου για:
 - τον υπολογισμό της λαμβανόμενης ισχύος -> μοντέλο απωλειών
 - περιγραφή άλλων φαινομένων, π.χ. διάθλαση, ανάκλαση, κλπ -> μοντέλο διάδοσης
- Κάθε μοντέλο είναι κατάλληλο:
 - για συγκεκριμένες συχνότητες του η/μ κύματος
 - σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα (π.χ., αστικό, ημιαστικό, κλπ)
 - για συγκεκριμένες ιδιότητες της ζεύξης (π.χ., οπτική επαφή ή όχι, ύψη κεραιών, κλπ)

Μοντέλα Απωλειών

- Κατηγορίες μοντέλων υπολογισμού απωλειών
 - θεωρητικά μοντέλα
 - σπάνια λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου της διάδοσης
 - στατιστικά μοντέλα
 - προκύπτουν από μακροχρόνια στατιστική μελέτη σε συγκεκριμένες συνθήκες διάδοσης
 - μοντέλα εξειδικευμένα για συγκεκριμένα είδη επικοινωνίας
 - π.χ. μοντέλο για κινητή τηλεφωνία σε αστικό περιβάλλον, σε ημιαστικό περιβάλλον, κλπ

Μοντέλα διάδοσης (1/2)

- Έχει προταθεί πληθώρα μοντέλων που περιγράφουν τη διάδοση ενός η/μ κύματος
 - μοντέλο διάδοσης κυμάτων εδάφους (Ground wave propagation)
 - μοντέλο διάδοσης ιονοσφαιρικών κυμάτων (Sky wave propagation)
 - μοντέλο διάδοσης οπτικής επαφής (Line of sight propagation)
 - Two ray ground reflection, κα

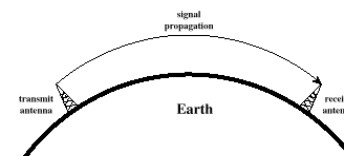
Μοντέλα διάδοσης (2/2)

Band	Frequency Range	Free-Space Wavelength Range	Propagation Characteristics	Typical Use
ELF (extremely low frequency)	30 to 300 Hz	10,000 to 1,000 km	GW	Power line frequencies, used by some home control systems
VF (voice frequency)	300 to 3000 Hz	1,000 to 100 km	GW	Used by the telephone system for analog subscriber lines
VLF (very low frequency)	3 to 30 kHz	100 to 10 km	GW; low attenuation day and night; high atmospheric noise level	Long-range navigation, submarine communication
LF (low frequency)	30 to 300 kHz	10 to 1 km	GW; slightly less reliable than VLF; absorption in daytime	Long-range navigation, marine communication, radio beacons
MF (medium frequency)	300 to 3000 kHz	1,000 to 100 m	GW and night SW; attenuation low at night; high in day; atmospheric noise	Maritime radio; direction finding, AM broadcasting
HF (high frequency)	3 to 30 MHz	100 to 10 m	SW; quality varies with time of day, season, and frequency	Amateur radio; international broadcasting, military communication, long-distance aircraft and ship communication
VHF (very high frequency)	30 to 300 MHz	10 to 1 m	LOS; scattering because of temperature inversion, cosmic noise	VHF television; FM broadcast and two-way radio, AM aircraft communication, aircraft navigational aids
UHF (ultra high frequency)	300 to 3000 MHz	100 to 10 cm	LOS; cosmic noise	UHF television; cellular telephone, radar, microwave links, personal communications systems
SHF (super high frequency)	3 to 30 GHz	10 to 1 cm	LOS; rainfall attenuation above 10 GHz; atmospheric attenuation due to oxygen and water vapor	Satellite communication, radar, terrestrial microwave links, wireless local loop
EHF (extremely high frequency)	30 to 300 GHz	10 to 1 mm	LOS; atmospheric attenuation due to oxygen and water vapor	Experimental, wireless local loop
Infrared	300 GHz to 400 THz	1 mm to 770 nm	LOS	Infrared LANs, consumer electronics applications
Visible light	400 THz to 900 THz	770 nm to 380 nm	LOS	Optical communications

ΜΥΕΕ006: Ανόργανα Διέγνα

Ground wave propagation

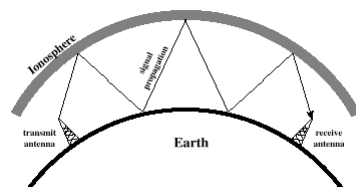
- Περιγραφή: Το η/μ κύμα (χαμηλής συχνότητας) ακολουθεί την καμπυλότητα της επιφάνειας της γης
 - λόγω διάθλασης
- Ιδιότητες:
 - ικανοποιητικές αποστάσεις ζεύξεων
 - γρήγορη μείωση ισχύος
 - συχνότητες ζεύξεως < 2 MHz
- Εφαρμογή:
 - ραδιόφωνο AM



ΜΥΕΕ006: Ανόργανα Διέγνα

Sky wave propagation

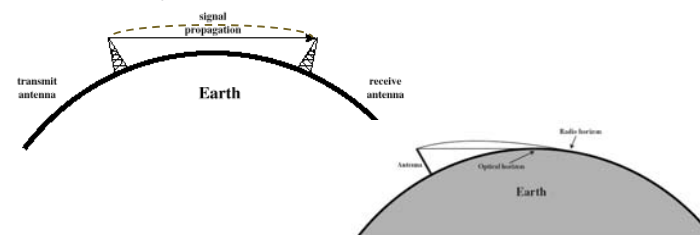
- Περιγραφή: Το η/μ κύμα (υψηλής συχνότητας) διαθλάται από την ιονόσφαιρα
- Ιδιότητες:
 - ζεύξεις με μεγάλο αριθμό διαθλάσεων είναι δυνατές
 - σχετικά μικρές απώλειες ισχύος
 - συχνότητες 2-30 MHz
- Εφαρμογή:
 - ερασιτεχνικό ραδιόφωνο
 - CB radio



ΜΥΕΕ006: Ανόργανα Διέγνα

Line of sight (LOS) propagation (1/2)

- Περιγραφή: Το η/μ κύμα διαδίδεται σε ευθεία ή «σχεδόν» ευθεία
 - οι πολύ μεγάλες συχνότητες δεν ανακλώνται από την επιφάνεια
 - το φαινόμενο της διάθλασης είναι σημαντικό («σχεδόν ευθεία»)



ΜΥΕΕ006: Ανόργανα Διέγνα

Line of sight (LOS) propagation (2/2)

- ❑ Το ύψος των κεραιών καθορίζει τη μέγιστη απόσταση ζεύξης
- ❑ Η μέγιστη απόσταση για οπτική επαφή χωρίς εμπόδια καλείται *ευθεία οπτικής επαφής*
$$d = 3.57\sqrt{h} \quad (Km)$$
- ❑ Η μέγιστη απόσταση ζεύξης χωρίς εμπόδια καλείται *ενεργός ευθεία οπτικής επαφής*
$$d = 3.57\sqrt{Kh} \quad (Km)$$
 - h , ύψος κεραιάς
 - K , διορθωτικός παράγοντας λόγω διάθλασης (συνήθως $K=4/3$)
- ❑ Για δύο κεραιές με $h \neq 0$:
$$d = 3.57\left(\sqrt{Kh_1} + \sqrt{Kh_2}\right) \quad (Km)$$

ΜΥΕ006: Ασύρματα Δίκτυα

Two ray ground reflection model

- ❑ Περιγραφή: η διάδοση έχει δύο σημαντικές συνιστώσες
 - την απευθείας συνιστώσας λόγω οπτικής επαφής
 - τη συνιστώσα από την ανάκλαση του η/μ κύματος στο έδαφος
- ❑ Ιδιότητες
 - ζεύξη κοντά στην επιφάνεια της γης (μικρά ύψη κεραιών)
 - ζεύξη μικρής απόστασης
- ❑ Εφαρμογή
 - ασύρματα τοπικά δίκτυα

ΜΥΕ006: Ασύρματα Δίκτυα

ΜΥΕ006: Ασύρματα Δίκτυα

Θόρυβος και παρεμβολές

Θόρυβος: εισαγωγή

- ❑ Θόρυβος: οποιοδήποτε σήμα διαφορετικό από το σήμα που μεταφέρει την πληροφορία
- ❑ Ο θόρυβος είναι συνήθως:
 - στοχαστικός
 - λευκός: έχει την ίδια ισχύ σε όλες τις συχνότητες
 - προσθετικός: δρα προσθετικά στο μεταδιδόμενο σήμα
- ❑ Η επίδραση του θορύβου προσδιορίζεται από το λόγο ισχύος σήματος προς θόρυβο (S/N ή SNR)
 - ο λόγος αυτός καλείται και σηματοθορυβική σχέση

ΜΥΕ006: Ασύρματα Δίκτυα

Είδη θορύβου (1/3)

- Υπάρχουν πολλά είδη θορύβου ανάλογα με τα αίτια δημιουργίας του
- Σημαντικότερα είδη:
 - θερμικός θόρυβος
 - θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης
 - θόρυβος από εξωτερικές πηγές

Είδη θορύβου (2/3)

- Θερμικός θόρυβος:
 - k – σταθερά του Boltzmann, T – θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin
 - αιτία: θερμική κίνηση των ηλεκτρονίων
 - εξαρτάται από τη θερμοκρασία
 - προκαλείται στον πομπό και στο δέκτη
 - δεν μπορεί να εξαλειφθεί
 - για ψηφιακά σήματα ο θερμικός θόρυβος εκφράζεται από το λόγο E_b/N_0

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S/R}{N_0} = \frac{S}{kTR}$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{dB} = S_{dBW} - 10 \log R + 228.6 dBW - 10 \log T$$

Είδη θορύβου (3/3)

- Θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης
 - δημιουργείται όταν ένα σήμα αποτελείται από παραπάνω από μια συχνοτικές συνιστώσες
 - αιτία: ατέλεια (μη γραμμικότητας) των τηλεπικοινωνιακών διατάξεων
- Θόρυβος από εξωτερικές πηγές
 - πολλές συσκευές λόγω κατασκευαστικών ατελειών παράγουν εκπομπές σε διάφορες συχνότητες
 - συχνή είναι η δημιουργία παλμών θορύβου (κρουστικός θόρυβος)
 - μεγάλη ισχύς σε μικρή διάρκεια

Παρεμβολές

- Παρεμβολή: κάθε σήμα από άλλο χρήστη ενός συστήματος που παρεισφρέει στο σήμα του χρήστη που μας ενδιαφέρει
 - εξαρτάται σημαντικά από την μέθοδο «από κοινού χρήσης» του καναλιού
- Σημαντικότερα είδη παρεμβολών
 - co-channel: η παρεμβολή από ένα σήμα που χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα
 - adjacent channel: η παρεμβολή από ένα σήμα που χρησιμοποιεί γειτονική συχνότητα
 - οφείλεται στους περιορισμούς των φίλτρων
- Παρεμβολές μπορεί να συμβούν και μεταξύ διαδοχικών παλμών (inter-symbol interference)
 - συνθέστερα σε περιβάλλοντα πολλαπλής όδευσης

Διάδοση σε περιβάλλον κινητής επικοινωνίας

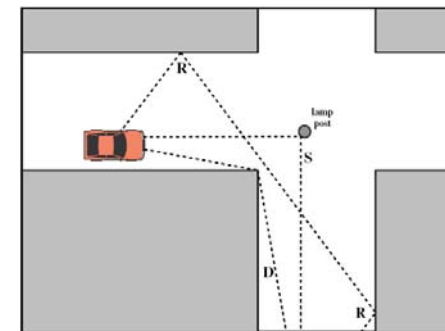
Περιβάλλον κινητής επικοινωνίας

- ❑ Βασικό πρόβλημα: *χρονική* μεταβολή του καναλιού ή της διαδρομής μετάδοσης
- ❑ Φαινόμενο: πολλαπλές οδεύσεις του σήματος
 - στο δέκτη φτάνουν διαφορετικές συνιστώσες του αρχικού σήματος που ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές
- ❑ Σημαντικότερες επιπτώσεις πολλαπλών οδεύσεων στο σήμα:
 - απότομη μεταβολή του πλάτους του λαμβανόμενου σήματος – *διαλείψεις*
 - διασυμβολική παρεμβολή

Πολλαπλή όδευση (1/2)

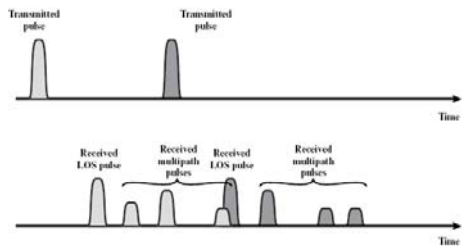
- ❑ Βασικοί λόγοι του φαινομένου της πολλαπλής όδευσης:
 - ανάκλαση
 - σκέδαση
 - περίθλαση
- ❑ Ανάκλαση: συμβαίνει σε επιφάνειες μεγέθους πολύ μεγαλύτερου από το μήκος κύματος
- ❑ Περίθλαση: συμβαίνει σε αιχμές εμποδίων μεγέθους πολύ μεγαλύτερου από το μήκος κύματος
- ❑ Σκέδαση: προκαλείται από πρόσπτωση σε αντικείμενα μεγέθους ανάλογου με το μήκος κύματος

Πολλαπλή όδευση (2/2)



Διασυμβολική παρεμβολή (1/2)

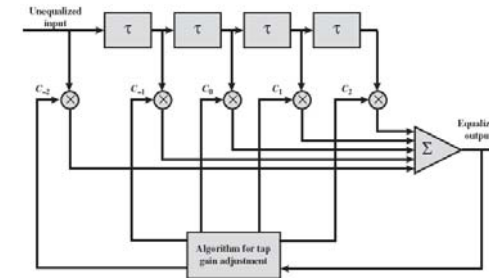
- Παρεμβολή μεταξύ διαφορετικών παλμών που φτάνουν με χρονική διαφορά στο δέκτη



ΜΥΕ006: Ανόργανα Διέταυ

Διασυμβολική παρεμβολή (2/2)

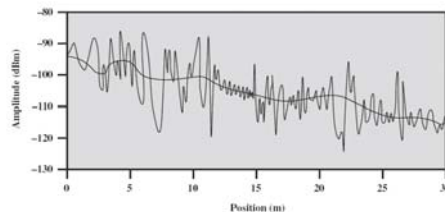
- Προσαρμοστική εξισορρόπηση
 - Χρησιμοποιείται για να αντιμετωπίσει τη διασυμβολική παρεμβολή



ΜΥΕ006: Ανόργανα Διέταυ

Διαλείψεις (1/2)

- Διαφορετικές συνιστώσες μπορεί να φτάσουν με διαφορετική φάση



- Είδη διαλείψεων:
 - γρήγορες – αργές
 - σταθερές - επιλεκτικές

ΜΥΕ006: Ανόργανα Διέταυ

Διαλείψεις (2/2)

- Υπάρχουν διάφορα μοντέλα που περιγράφουν τις επιδράσεις του φαινομένου των διαλείψεων στη λαμβανόμενη ισχύ
- Τα μοντέλα κατηγοριοποιούνται με βάση:
 - τις συχνότητες εκπομπής
 - τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος στο οποίο είναι επιθυμητή η μετάδοση (π.χ. αστικό, ημιαστικό, κλπ)
- Τα δύο σημαντικότερα είδη είναι:
 - αργές διαλείψεις (slow fading – συνήθως κατανομή Lognormal)
 - υψίσυχνες διαλείψεις (fast fading – συνήθως κατανομή Rayleigh ή Rice)

ΜΥΕ006: Ανόργανα Διέταυ

Τεχνικές διαχωρισμού

- Οι τεχνικές διαχωρισμού (diversity)
 - χρησιμοποιούνται για να αντιμετωπίσουν τις επιδράσεις του φαινομένου των διαλείψεων
- Διακρίνονται τρεις μεγάλες κατηγορίες:
 - διαχωρισμός χώρου (space diversity)
 - διαχωρισμός συχνότητας (frequency diversity)
 - διαχωρισμός χρόνου (time diversity)

ΜΥΕ006: Ανόργανα Διέτατα

Διαχωρισμός χώρου - Διαφορική λήψη

- Η σημαντικότερη τεχνική για την αντιμετώπιση των διαλείψεων
- Συνδυάζει τις πολλαπλές οδεύσεις ώστε:
 - να αυξηθεί η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος
 - να μειωθεί η παραμόρφωση
- Σημαντικότερες τεχνικές:
 - Selection diversity (επιλογή μόνο καλύτερου σήματος)
 - Maximal Ratio Combining (αθροιστική λήψη με συντελεστές βάρους)
 - Equal gain combining (απλή αθροιστική λήψη)

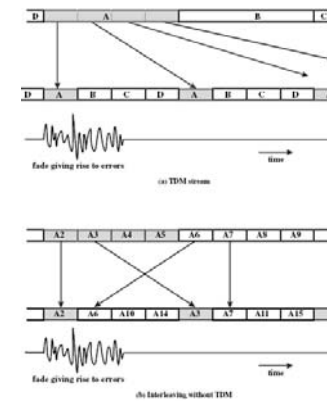
ΜΥΕ006: Ανόργανα Διέτατα

Διαχωρισμός χρόνου (1/2)

- Είναι χρήσιμη όταν έντονες διαλείψεις προκαλούν σφάλματα στα μεταδιδόμενα δεδομένα
- Τα δεδομένα πολλών χρηστών χωρίζονται σε μικρότερα τμήματα και μεταδίδονται «ανακατεμένα»
- Η επίδραση της διάλειψης επιμερίζεται σε πολλούς χρήστες
 - καταστρέφονται λίγα δεδομένα πολλών χρηστών αντί για πολλά δεδομένα λίγων χρηστών

ΜΥΕ006: Ανόργανα Διέτατα

Διαχωρισμός χρόνου (2/2)



ΜΥΕ006: Ανόργανα Διέτατα