

ΕΕΕ725 - Ειδικά Θέματα Ψηφιακών
Επικοινωνιών

Δημήτρης - Αλέξανδρος Τουμπακάκης
12ο Μάθημα – 5 Ιουλίου 2007

Περιεχόμενα σημερινού μαθήματος

- Το ασύρματο (wireless) κανάλι.
 - Tse & Viswanath, Ch.2

Το ασύρματο (**wireless**) κανάλι

- Αλλαγή πλεύσης
- Μέχρι τώρα είδαμε πώς μπορούμε να μεταδώσουμε από ένα σημείο σε ένα άλλο (**point-to-point**). Θεωρήσαμε σταθερό και δεδομένο κανάλι, γνωστό τόσο στον πομπό όσο και στο δέκτη. Η μόνη άγνωστη ποσότητα (επιπλέον των μεταδιδόμενων μηνυμάτων) ήταν ο θόρυβος.
- Στην πράξη, το κανάλι μπορεί να μην είναι γνωστό στον πομπό ή στο δέκτη ή και στους δύο. Για να επιτευχθεί επικοινωνία με σύμφωνη (**coherent**) μετάδοση πρέπει να εκτιμηθεί το κανάλι στο δέκτη, αλλιώς πρέπει χρησιμοποιηθεί ασύμφωνη (**non-coherent**) μετάδοση.
- Εάν το κανάλι είναι γνωστό και στον πομπό, ενδέχεται να είναι δυνατή περαιτέρω αύξηση του ρυθμού μετάδοσης με χρήση βελτιστοποιήσης εκπεμπόμενου σήματος (**transmit optimization**).
- Πολλά ασύρματα κανάλια όχι μόνο δεν είναι γνωστά εκ των προτέρων, αλλά, επιπλέον, μεταβάλλονται στο χρόνο.

Το ασύρματο (**wireless**) κανάλι (2)

Στις επόμενες δύο διαλέξεις θα δούμε

- Ποια φαινόμενα επηρεάζουν τα σήματα στα ασύρματα κανάλια;
- Πώς μοντελοποιούμε τα ασύρματα κανάλια;
- Τι είδους προβλήματα και προκλήσεις παρουσιάζει η χρήση ασύρματων καναλιών;
- Κάποιους από τους τρόπους άυξησης του ρυθμού μετάδοσης ή της αξιοπιστίας μετάδοσης σε ασύρματα κανάλια.

Το ασύρματο κανάλι κινητών τηλεπικοινωνιών (**mobile wireless channel**)

- Θα επικεντρωθούμε σε αυτό το κανάλι λόγω της μεγάλου πεδίου εφαρμογής των συστημάτων κινητών επικοινωνιών (κινητή τηλεφωνία, ασύρματα τοπικά/μητροπολιτικά δίκτυα).
- Το ασύρματο κανάλι κινητών τηλεπικοινωνιών μεταβάλλεται στο χρόνο και στη συχνότητα.
- Δύο βασικά φαινόμενα:
 - Διαλείψεις μεγάλης κλίμακας (large-scale fading): λόγω απωλειών διαδρομής (**path loss**) και σκίασης (**shadowing**) λόγω απορρόφησης ενέργειας από εμπόδια όπως κτίρια και λόφοι. Το κανάλι μεταβάλλεται σε αποστάσεις της τάξης του μεγέθους της κυψέλης και συνήθως η μεταβολή του δεν εξαρτάται από τη συχνότητα.
 - Διαλείψεις μικρής κλίμακας (small-scale fading): λόγω συμβολής πολλαπλών ανωαλάσεων του ίδιου σήματος. Το κανάλι μεταβάλλεται σε αποστάσεις της τάξης του μήκους κύματος της φέρουσας συχνότητας και η μεταβολή εξαρτάται από τη συχνότητα.

Απώλειες διαδρομής και σκίαση

- Απώλειες διαδρομής: Λόγω σφαιρικής διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.
 - Στον ελεύθερο χώρο, η ισχύς μειώνεται με το τετράγωνο της απόστασης r από την πηγή: $P(r) \sim \frac{1}{r^2}$.
 - Σε περιβάλλοντα με ανακλάσεις η απόσβεση ενδέχεται να είναι ακόμη μεγαλύτερη· της τάξης του $\frac{1}{r^4}$ (ύψαιθρος), ακόμα και $\frac{1}{r^6}$, ανάλογα με την πυκνότητα των εμποδίων που συναντούν τα κύματα.
- Σκίαση: Με τον όρο αυτό εννοούμε τις (τυχαίες) διακυμάνσεις της ενέργειας του σήματος λόγω των αλλαγών στο περιβάλλον (αριθμός εμποδίων, θέση, συντελεστής απορρόφησης κλπ.).

Απώλειες διαδρομής και σκίαση (2)

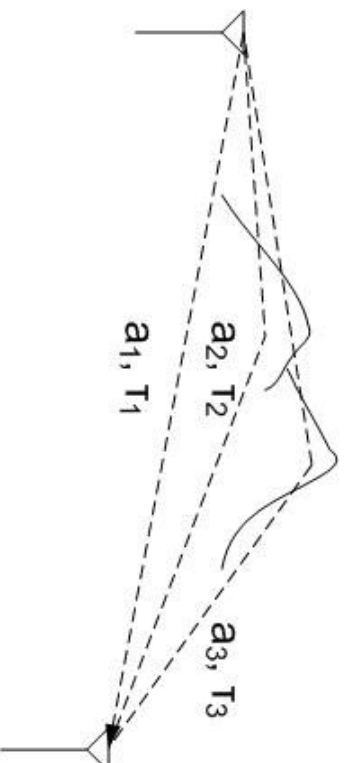
- Η μεταβολή του καναλιού λόγω σκίασης και απωλειών διαδρομής είναι της τάξης δευτερολέπτων ή ακόμια και λεπτών, σε αντίθεση με τις διαλείψεις μικρής κλίμακας.
- Οι διαλείψεις μεγάλης κλίμακας λαμβάνονται υπόψη κυρίως για τον καθορισμό της τοπολογίας του συστήματος (αριθμός κυψελών, τοποθέτηση σταθμών βάσης), για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος εκπομπής καθώς και για την επιλογή μεθόδων πολυπλευξίας, αντιμετώπισης διακυβελικής παρεμβολής κλπ.
- Αντίθετα, όπως θα δούμε, οι διαλείψεις μικρής κλίμακας επηρεάζουν τις μεθόδους (απτο)διαμόρφωσης και (απτο)κωδικοποίησης.

Τα δύο βασικά φαινόμενα σε ένα κανάλι κινητών επικοινωνιών

- Σε ένα κανάλι κινητών επικοινωνιών διακρίνουμε δύο βασικά φαινόμενα τα οποία, γενικά, εμφανίζονται ταυτόχρονα.
- Λόγω της κίνησης του πομπού ή/και του δέκτη ή/και των αντικειμένων πάνω στα οποία ανακλάται ή σκεδάζεται το σήμα, το κανάλι μεταβάλλεται στο χρόνο (**fading**) και έχουμε εμφάνιση φαινομένου **Doppler**.
- Λόγω των πολλών μονοπατιών που ενδέχεται να ακολουθεί κάθε σήμα στη διαδρομή του μεταξύ πομπού και δέκτη (πολυδιαδρομική διάδοση) εμφανίζεται διαστορά της χρονικής απόκρισης (**multipath delay spread**), με αποτέλεσμα το κανάλι να μην είναι επίπεδο στη συχνότητα (**frequency selectivity**).
- Η μεταβολή στο χρόνο και στη συχνότητα δεν είναι κατ' ανάγκη επιβλαβής. Πολλές φορές προσφέρει τη δυνατότητα να βελτιώσουμε τη μετάδοση/λήψη με χρήση τεχνικών διαφορισμού (**diversity**).

Πολυδιαδρομική διάδοση (Multipath propagation)

- Έστω ότι ένα σήμα διέχεται από διαφορετικά μονοπάτια, με αποτέλεσμα διαφορετικά αντήγραφα του να φτάνουν στο δέκτη με διαφορετικό πλάτος και φάση, καθώς και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.
- Έστω ότι μεταδίδουμε μια εκθετική συνάρτηση $\phi(t) = \exp(j2\pi f_c t)$, $y(t) = \sum_i a_i(t, f_c)\phi(t - \tau_i(t, f_c))$, όπου η μιγαδική σταθερά $a_i(t, f_c)$ (πλάτος και φάση) και η καθυστέρηση $\tau_i(t, f_c)$ αντιστοιχούν στο μονοπάτι i .



Πολυδιαδρομική διάδοση (**Multipath propagation**) (2)

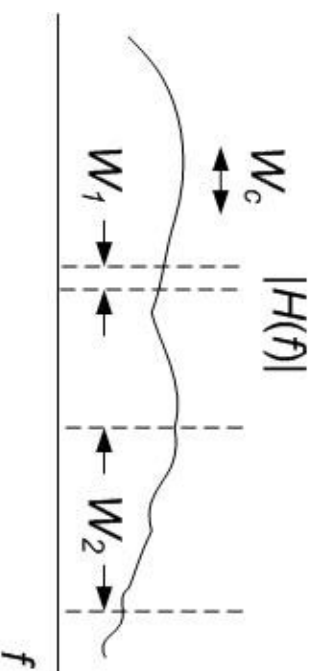
- Εάν υποθέσουμε ότι οι $a_i(t, f)$ και $\tau_i(t, f)$ δε μεταβάλλονται σημαντικά στο εύρος ζώνης που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση και εκφράσουμε το μεταδιδόμενο σήμα ως άθροισμα συναρτήσεων της μορφής $\phi(t) = \exp(j2\pi ft)$ (αρχή της υπέρθεσης) μπορούμε να γράψουμε $y(t) = \sum_i a_i(t)x(t - \tau_i(t))$.
- Παρατηρήστε ότι το κανάλι αλλάζει στο χρόνο λόγω κίνησης \Rightarrow Μοντελοποιείται ως γραμμικό, χρονικά μεταβαλλόμενο σύστημα.
- $y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau, t)x(t - \tau)d\tau$, όπου $h(\tau, t) = \sum_i a_i(t)\delta(\tau - \tau_i(t))$.
- Δε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε απόκριση συχρότητας $H(f)$, εκτός αν συμπεριλάβουμε την εξάρτηση από το χρόνο: $H(f, t) = \mathcal{F}\{h(\tau, t)\}$ για δεδομένο t .
- Εάν δεν έχουμε κίνηση, $y(t) = \sum_i a_i x(t - \tau_i)$ (γραμμικό, χρονικά αμετάβλητο). $h(t) = \sum_i a_i \delta(\tau - \tau_i)$.
- Το κανάλι δεν είναι επίπεδο στη συχρότητα αόμοια και όταν δε μεταβάλλεται με το χρόνο (γιατί;)

Διαστορά λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης (**multipath spread**) και εύρος ζώνης συμφωνίας (**coherence bandwidth**)

- **Multipath Delay Spread** $T_d \triangleq \max_{i,j} |\tau_i(t) - \tau_j(t)|$: Το μέγιστο μήκος καναλιού στο χρόνο. Σχετίζεται με τη διασυμβολική παρεμβολή (και την 'επιλεκτικότητα' στη συχνότητα).
- Συνήθως είναι ανάλογο του μεγέθους της κυψέλης (**cell**). Για LANs με μονοπάτια μήκους λίγων km, $T_d \sim 1 - 2 \mu s$.
- **Coherence bandwidth** $W_c \triangleq \frac{1}{2T_d}$. Όσο μεγαλύτερο το μέγιστο μήκος καναλιού, τόσο πιο γρήγορα μεταβάλλεται το κανάλι στη συχνότητα. Μικρό $W_c \rightarrow$ γρήγορη μεταβολή στη συχνότητα (**frequency selectivity**).

Flat/frequency selective fading

- Παρατηρήστε ότι η μορφή διαλείψεων εξαρτάται τόσο από το εύρος ζώνης συγφωνίας W_c όσο και από το εύρος ζώνης που χρησιμοποιεί το σύστημα.
- Όταν το εύρος ζώνης W που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση είναι $\ll W_c$ (π.χ. W_1), έχουμε επίπεδη διάλειψη (flat fading). Αλλιώς η διάλειψη ονομάζεται επιλεκτική στη συχνότητα (frequency-selective fading).
- Διαισθητικά: Όταν μεταδίδουμε αργά (και δειγματοληπτούμε αργά στην έξοδο του προσαρμωμένου φίλτρου) δε μπορούμε να διαχωρίσουμε τα μονοπάτια μεταξύ τους και βλέπουμε απλώς την ενέργεια του λαμβανόμενου σήματος να μεταβάλλεται.



Φαινόμενο Doppler και χρόνος συμφωνίας

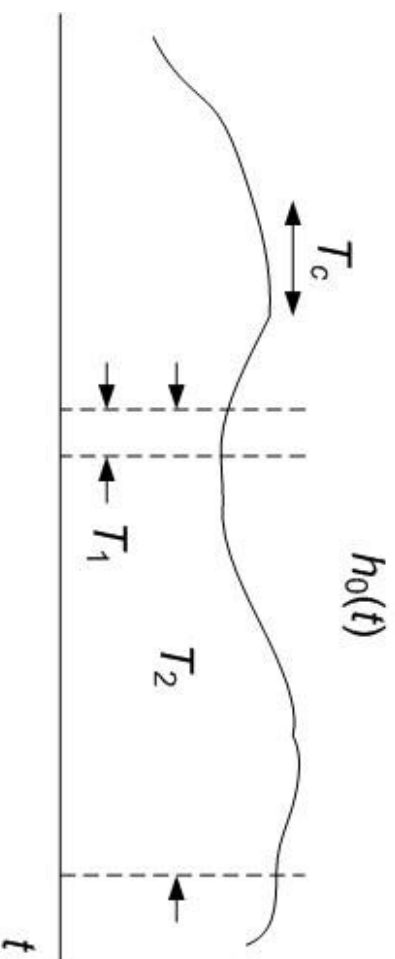
- Υποθέτουμε ότι ο πομπός μεταδίδει σήμα $x(t) = \cos(2\pi ft)$. Ο δέκτης λαμβάνει σήμα $y(t) = \alpha \cos(2\pi f(t - t_d))$, όπου t_d η καθυστέρηση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος λόγω πεπερασμένης ταχύτητας του φωτός c .
- Εάν η απόσταση πομπού-δέκτη ισούται με r , $t_d = \frac{r}{c}$.
- Εάν ο δέκτης απομακρύνεται από τον πομπό με σταθερή ταχύτητα, $r = r_0 + vt \Rightarrow y(t) = \alpha \cos(2\pi f(t - \frac{r_0+vt}{c})) = \alpha \cos(2\pi f((1 - \frac{v}{c})t - \frac{r_0}{c}))$.
- Ειδικώς, ο δέκτης βλέπει το προσπίπτον σήμα μετατοπισμένο στη συχνότητα κατά $f_D = -f \frac{v}{c} = -\frac{v}{\lambda}$.
- Γενικά (εάν η κίνηση γίνεται υπό γωνία θ) η μετατόπιση συχνότητας λόγω Doppler ισούται με $f_D \cos(\theta) = \cos(\theta) \frac{v}{\lambda}$.

Φαινόμενο **Doppler** και χρόνος συμφωνίας (2)

- Κάθε μονοπάτι στα κανάλια πολυδιαδρομικής διάδοσης έχει διαφορετική μετατόπιση **Doppler**, ανάλογα με την ταχύτητα του πομπού, του δέκτη και των ανακλαστήρων που βρίσκονται στη διαδρομή του. Επίσης, οι ταχύτητες ενδέχεται να μεταβιάλονται.
- Ειδομένως, οι μετατοπίσεις συχνότητας λόγω **Doppler** σχηματίζουν μια περιοχή γύρω από τη συχνότητα f_c (**Doppler Spread**).
- Έστω ένα κανάλι με L taps τη χρονική στιγμή t : $h(t) = \sum_{l=0}^{L-1} h_l(t)\delta(t - \tau_l(t))$.
- **Doppler spread** για ένα από τα taps του καναλιού: $D_s \triangleq \max_{i,j} |f_c|\tilde{\tau}'_i(t) - \tilde{\tau}'_j(t)|$ ($\tilde{\tau}'$: ταχύτητες, $\tilde{\tau}_i$: όλα τα μονοπάτια που ενσωματώσαμε στο μονοπάτι τ_i όταν δειγματοληπτούμε το κανάλι).
- Χρόνος συμφωνίας (**Coherence Time**) $T_c \approx \frac{1}{4D_s}$. Είναι ένα μέτρο του πόσο γρήγορα αλλάζει η τιμή του tap $h_l(t)$ στο χρόνο (η αλλαγή οφείλεται σε αλλαγές της φάσης του σήματος λόγω **Doppler**).

Ταχύτητα διαλείψεων (**fast/slow fading**).

- Η ταχύτητα διαλείψεων καθορίζεται τόσο από το φαινόμενο Doppler, όσο και από το χρονικό διάστημα που χρησιμοποιούμε στο κανάλι.
- Στο σχήμα απεικονίζεται το πλάτος ενός **tap**. Όταν το κανάλι χρησιμοποιείται για χρονικό διάστημα της τάξης του T_c (π.χ. T_1) η διάλειψη είναι αργή, αλλιώς είναι ταχεία.



Ανακεφαλαίωση

- 2 Βασικά φαινόμενα στο κανάλι κινητών επικοινωνιών:
 - Πολυδιαδρομική διάδοση (**multipath**): Δημιουργεί επιλεκτικότητα καναλιού στη συχνότητα. Ποσοτικοποιείται με χρήση του εύρους ζώνης συμφωνίας ή της διαστοράς πολυδιαδρομικής διάδοσης.
 - Διαλείψεις λόγω κίνησης (φαινόμενο **Doppler**): Δημιουργεί μεταβολή των **taps** του καναλιού στο χρόνο. Ποσοτικοποιείται με χρήση του χρόνου συμφωνίας ή της διαστοράς **Doppler**.
- Η επιλεκτικότητα στο χρόνο και στη συχνότητα δημιουργεί προβλήματα στην εκτίμηση του καναλιού. Ωστόσο, από την άλλη, μπορούμε να κερδίσουμε σε αξιοπιστία μετάδοσης χρησιμοποιώντας τεχνικές διαφορισμού (**diversity**) στο χρόνο ή στη συχνότητα.