ΕΕ725 - Ειδικά Θέματα Ψηφιακών Επικοινωνιών

Δημήτρης - Αλέξανδρος Τουμπακάρης

10ο Μάθημα – 11 Μαΐου 2009

Περιεχόμενα σημερινού μαθήματος

- Στατιστικά μοντέλα καναλιού
  - Tse & Vishwanath, Ch.2

Πίνακας Συσχέτισης Καναλιού

- $R_h(\Delta f, \Delta t) = E\{H(f,t)H^*(f-\Delta f; t-\Delta t)\}$.
- Συνάρτηση συσχέτισης συχνότητας (frequency correlation function): $p_h(\Delta f) \triangleq R_h(\Delta f, 0)$. Το εύρος ζώνης συμφωνίας (coherence bandwidth) ισούται με το 'εύρος' της $p_h(\Delta f)$.
- Κατανομή ισχύος στο χρόνο (Delay power profile): $p_h(\tau) = \mathcal{F}^{-1}\{p_h(\Delta f)\}$. Το multipath delay spread ισούται με το 'εύρος' της $p_h(\tau)$.
- Συνάρτηση χρονικής συσχέτισης (time correlation function): $p_h(\Delta t) = R_h(0, \Delta t)$. Ποσοτικοποιεί τη μεταβολή του καναλιού στο χρόνο (λόγω κίνησης).
- Φάσμα ισχύος Doppler (Doppler power spectrum): $\Phi_h(v) = \mathcal{F}\{p_h(\Delta t)\}$. Το doppler delay spread ισούται με το 'εύρος' της $\Phi_h(v)$, ενώ ο χρόνος συμφωνίας του καναλιού (coherence time) είναι ανάλογος του αντιστρόφου της του doppler delay spread, όπως είδαμε.

Στατιστικά Μοντέλα

- Οι παράμετροι που αναφέραμε παραπάνω (αριθμός και κατανομή των taps h_l, multipath spread, coherence time) διαφέρουν ανάλογα με το κανάλι (το οποίο, με τη σειρά του εξαρτάται από παράγοντες όπως το περιβάλλον, η φέρουσα συχνότητα f_c, το εύρος ζώνης W που χρησιμοποιεί το σύστημα, η ταχύτητα κλπ).
- Για να σχεδιάσουμε συστήματα χρειαζόμαστε στατιστικά μοντέλα που να περιγράφουν τα κανάλια κινητών επικοινωνιών.
- Τα μοντέλα αυτά φτιάχνονται είτε προσπαθώντας να τα ταιριάξουμε με μετρήσεις, είτε θεωρητικά, κάνοντας όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικές παραδοχές.
- Ένα μοντέλο πρέπει να είναι αρκετά λεπτομερές ώστε να περιγράφει καλά το κανάλι, αλλά και αρκετά απλό/γενικό ώστε να καλύπτει όλα τα παρόμοια κανάλια. Γενικά, η μοντελοποίηση καναλιών κινητών τηλεπικοινωνιών δεν είναι μια απλή διαδικασία.

Στατιστικά Μοντέλα (2)

- Είδαμε ότι, εάν η καθυστέρηση όδευσης και η εξασθένηση δε μεταβάλλονται σημαντικά με τη συχνότητα, $y(t) \approx \sum_i a_i(t)x(t-\tau_i(t)) + w(t)$.

- Μπορεί να αποδειχθεί (βλ. π.χ. Tse & Vishwanath) ότι αν δειγματοληπτήσουμε ανά $\frac{1}{W}$ (και κάνουμε κάποιες υποθέσεις) μπορούμε να γράψουμε $y[m] = \sum_l h_l[m]x[m-l] + w[m]$, όπου $h_l[m] = \sum_i a_i\left(\frac{m}{W}\right)e^{-j2\pi f_c \tau_i\left(\frac{m}{W}\right)}\mathsf{sinc}\left[l - \tau_i\left(\frac{m}{W}\right)W\right]$.

- Πολύ συχνά θεωρούμε το κανάλι $y[m] = \sum_l h_l[m]x[m-l] + w[m]$ και μοντελοποιούμε τα taps $h_l[m]$.

Διάλειψη **Rayleigh**

- Θεωρούμε ότι κάθε **tap** είναι το αποτέλεσμα της συμβολής ενός μεγάλου αριθμού στατιστικώς ανεξάρτητων ανακλώμενων και σκεδαζόμενων μονοπατιών με τυχαίες τιμές πλάτους.

- Θεωρούμε, επίσης, ότι οι φάσεις των μονοπατιών είναι κατανεμημένες ομοιόμορφα στο διάστημα $[0, 2\pi]$ και ότι είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους.

- Με αυτές τις παραδοχές, το **tap** $h_l[m]$ είναι μια κυκλική συμμετρική γκαουσιανή τ.μ. $\mathcal{CN}(0, \sigma_l^2)$.

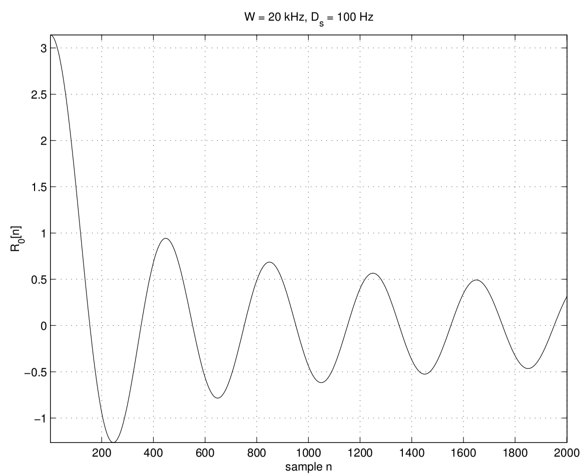
- Κυκλική συμμετρική (μιγαδική) τ.μ. $\mathbf{X}$: Όταν η $e^{j\theta}\mathbf{X}$ ακολουθεί την ίδια κατανομή με τη $\mathbf{X}$ για οποιαδήποτε γωνία θ. Αποδεικνύεται ότι $E[\mathbf{X}] = \mathbf{0}$.

Διάλειψη **Rayleigh** (2)

- Το πλάτος $|h_l[m]|$ ακολουθεί κατανομή Rayleigh με σ.π.π. $f(x) = \frac{x}{\sigma_l^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_l^2}\right)$.
- Το τετράγωνο του πλάτους $|h_l[m]|^2$ είναι εκθετικά κατανεμημένο. $f(x) = \frac{1}{\sigma_l^2} \exp\left(-\frac{x}{\sigma_l^2}\right)$.
- Το μοντέλο Rayleigh είναι εφαρμόσιμο σε περιβάλλοντα όπου υπάρχουν πολλοί μικροί ανακλαστήρες (περιβάλλοντα non-Line of Sight (non-LOS)). Ωστόσο, χρησιμοποιείται συχνά ακόμα και όταν ο αριθμός των ανακλαστήρων/σκεδαστών είναι σχετικά μικρός, λόγω της απλότητάς του.

Μεταβολή των **taps** στο χρόνο

- Για να περιγράψουμε πλήρως το κανάλι χρειαζόμαστε και την αυτοσυσχέτιση κάθε **tap** l, $R_l[n] = E\{h_l^*[m]h_l[m+n]\}$ (θεωρούμε ότι οι $h_l[m]$ είναι WSS και ανεξάρτητες από τις $h_k[m]$).
- Η $R_l[n]$ εξαρτάται από το κανάλι και την ταχύτητα του πομπού/δέκτη/εμποδίων. Εάν έχουμε 1 **tap** (**flat fading**) και πολλά προσπίπτοντα μονοπάτια ίσης ενέργειας a^2 με ομοιόμορφη γωνία πρόσπτωσης, $R_0[n] = a^2\pi J_0(n\pi D_s/W)$, όπου $J_0(\cdot)$ η συνάρτηση Bessel πρώτου είδους, μηδενικής τάξης και $D_s = 2f_c v/c$ η διασπορά Doppler (Clarke's model).



Μεταβολή των **taps** στο χρόνο (2)

- Εναλλακτικός ορισμός multipath spread T_d: $\frac{L}{W}$, όπου L η τιμή για την οποία $\sum_{l=0}^{L} R_l[0] \approx \sum_{l=0}^{\infty} R_l[0]$, δηλαδή ο αριθμός των taps που περιέχουν σχεδόν όλη την ενέργεια του καναλιού.

- Εναλλακτικός ορισμός χρόνου συμφωνίας T_c: Η μικρότερη τιμή του n για την οποία το $R_l[n]$ διαφέρει σημαντικά από το $R_l[0]$.

Μοντέλα **Rice**, **Nakagami-m**

- Μοντέλο Rice: Για κανάλια στα οποία υπάρχει και ένα μονοπάτι οπτικής επαφής (LOS).

- $h_l[m] = \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa+1}}\sigma_l e^{j\theta} + \sqrt{\frac{1}{\kappa+1}}\mathcal{CN}(0, \sigma_l^2)$. κ: K-factor: Ο λόγος της ενέργειας του μονοπατιού LOS δια της ενέργειας στα σκεδασμένα μονοπάτια.

- Μοντέλο Nakagami-m: Βασισμένη σε πειραματικά δεδομένα. Μοντελοποιεί κάποια κανάλια με μεγαλύτερη ακρίβεια. Μπορεί να μοντελοποιήσει και κανάλια με "χειρότερες" διαλείψεις από τη Rayleigh.