

Προχωρημένα Θέματα Τηλεπικοινωνιών

Ανάλυση Επίδοσης για Ενσύρματα και Ραδιοτηλεπικοινωνιακά Κανάλια

Εξασθένηση Καναλιού

- Είδαμε ότι κατά τη μετάδοση ενός σήματος μέσα από AWGN κανάλι η **πιθανότητα σφάλματος** εξαρτάται από το λαμβανόμενο SNR/bit ($=E_b/N_0$ κατά την εκπομπή)
- Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το λαμβανόμενο SNR/bit είναι η **εξασθένηση του καναλιού**
- **Μοντέλο Εξασθένησης (στην απλή περίπτωση):**
 - μεταδιδόμενο σήμα $s(t)$
 - λαμβανόμενο σήμα $r(t) = \alpha s(t) + n(t)$
- Πώς λαμβάνουμε υπόψη και πώς αντιμετωπίζουμε την εξασθένηση καναλιού
 - σε ενσύρματα
 - και ασύρματα κανάλια;

Επαναλήπτες

- Αν η ενέργεια του μεταδιδόμενου σήματος είναι E_b
- Τότε, η ενέργεια του λαμβανόμενου σήματος είναι $\alpha^2 E_b$
- Άρα,
 - το λαμβανόμενο SNR είναι $\alpha^2 E_b/N_0$
 - η εξασθένηση καναλιού κατά α καθιστά το σύστημα επικοινωνίας πιο ευάλωτο στον προσθετικό θόρυβο
- **Αναλογικά συστήματα:**
 - χρησιμοποιούνται ενισχυτές που ενισχύουν περιοδικά το σήμα, που λέγονται **επαναλήπτες**
 - όμως κάθε ενισχυτής ενισχύει και το θόρυβο
- **Ψηφιακά συστήματα:**
 - χρησιμοποιούνται **αναγεννητικοί επαναλήπτες**
 - εκτελούν φώραση και αναγέννηση του μεταδιδόμενου συμβόλου, χωρίς να ενισχύουν το θόρυβο

Αναγεννητικοί Επαναλήπτες

- Αποτελείται:
 - από έναν **δέκτη** (αποδιαμορφωτή και φωρατή) που αποφασίζει ποιο σύμβολο στάλθηκε
 - από έναν **πομπό** που διαμορφώνει το σύμβολο που αποφασίστηκε και το στέλνει στον επόμενο επαναλήπτη
- Χαρακτηριστικά:
 - το σήμα αναγεννάται χωρίς το θόρυβο, οπότε δε συσσωρεύεται ο προσθετικός θόρυβος
 - ωστόσο, όταν συμβεί ένα σφάλμα φώρασης σε έναν επαναλήπτη, αυτό μεταδίδεται στους επόμενους
- Θέλουμε να μελετήσουμε την επίδραση των σφαλμάτων στην επίδοση του συνολικού συστήματος

Αναγεννητικοί Επαναλήπτες

- Έστω ότι χρησιμοποιείται **δυσδικό PAM**
- Η πιθανότητα σφάλματος bit για ένα «άλμα» (δηλαδή από έναν επαναλήπτη στον επόμενο) είναι

$$P_2 = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$$

- **Υπόθεση:** επειδή τα σφάλματα συμβαίνουν σπάνια, υποθέτουμε ότι ένα λανθασμένο bit, δεν ανιχνεύεται λανθασμένα δεύτερη φορά
- Αν έχουμε **K αναγεννητικούς επαναλήπτες**, τότε ο αριθμός των σφαλμάτων αυξάνεται **γραμμικά** και η **συνολική πιθανότητα σφάλματος** προσεγγίζεται ως

$$P_b \approx KQ\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$$

ΤΜΗΥΠ / ΕΕΣΤ

5

Αναγεννητικοί Επαναλήπτες

- Αντίθετα, αν χρησιμοποιήσουμε **K αναλογικούς επαναλήπτες** στο κανάλι,
- τότε το SNR ελαττώνεται κατά K και ισχύει

$$P_b \approx Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{KN_0}}\right)$$

- Συμπέρασμα:
 - για την ίδια πιθανότητα σφάλματος, οι αναγεννητικοί επαναλήπτες επιτυγχάνουν σημαντική **εξοικονόμηση μεταδιδόμενης ισχύος**
 - στα συστήματα ψηφιακών επικοινωνιών προτιμώνται οι αναγεννητικοί επαναλήπτες

ΤΜΗΥΠ / ΕΕΣΤ

6

Ανάλυση Ισολογισμού Ισχύος Ραδιοζεύξης

- Θέλουμε να σχεδιάσουμε ένα ασύρματο ραδιο-τηλεπικοινωνιακό σύστημα
- Εφαρμογή: Μικροκυματικές επίγειες ζεύξεις και δορυφορικά κανάλια οπτικής επαφής (**Line Of Sight - LOS**)
- Θέλουμε να καθορίσουμε το **SNR** που πρέπει να έχουμε στο δέκτη προκειμένου να πετύχουμε μια συγκεκριμένη πιθανότητα σφάλματος
- Θα πρέπει να μελετήσουμε την **επίδραση της κεραίας**

ΤΜΗΥΠ / ΕΕΣΤ

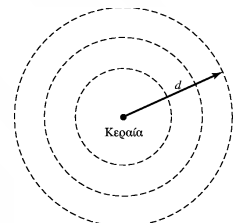
7

Κέρδος Κεραίας Εκπομπής

- **Ισοτροπική κεραία εκπομπής:** ακτινοβολεί ισοτροπικά προς όλες τις κατευθύνσεις στον ελεύθερο χώρο με ισχύ P_T Watt

- Πυκνότητα ισχύος σε απόσταση d

$$\frac{P_T}{4\pi d^2} \text{ Watt / m}^2$$



ΤΜΗΥΠ / ΕΕΣΤ

8

Κέρδος Κεραίας Εκπομπής

- **Κατευθυντική κεραία εκπομπής:** αν η κεραία έχει κατευθυντικότητα προς μια ορισμένη κατεύθυνση, τότε η πυκνότητα ισχύος στην κατεύθυνση αυτή αυξάνεται κατά έναν παράγοντα G_T
- Πυκνότητα ισχύος σε απόσταση d

$$\frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \text{ Watt / m}^2$$
- Το G_T λέγεται **κέρδος της κεραίας εκπομπής**
 - για ιστροπική κεραία ισχύει $G_T=1$
- Το γινόμενο $P_T G_T$ λέγεται **ενεργός ιστροπικά ακτινοβολούμενη ισχύς (Effective Isotropically Radiated Power - EIRP)**
 - είναι η ακτινοβολούμενη ισχύς σχετικά με μια ιστροπική κεραία με $G_T=1$

ΤΜΗΥΠ / ΕΕΣΤ

9

Κεραία Λήψης

- Αν έχουμε μια κατευθυντική κεραία λήψης προσανατολισμένη στην κατεύθυνση ακτινοβολίας ισχύος
- Τότε αυτή συλλέγει μέρος της ισχύος, που είναι ανάλογο του εμβαδού της εγκάρσιας τομής της
- Η λαμβανόμενη ισχύς είναι

$$P_R = \frac{P_T G_T A_R}{4\pi d^2} \text{ Watt}$$

- A_R : η ενεργός επιφάνεια της κεραίας λήψης που εξαρτάται από την επιφάνεια της και άλλα χαρακτηριστικά της και συνδέεται με το κέρδος λήψης μέσω της σχέσης

$$A_R = \frac{G_R \lambda^2}{4\pi} \text{ m}^2$$

- G_R : το κέρδος της κεραίας λήψης
- λ το μήκος κύματος του μεταδιδόμενου σήματος

ΤΜΗΥΠ / ΕΕΣΤ

10

Κεραία Λήψης

- Αντικαθιστώντας την ενεργό επιφάνεια, προκύπτει

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R}{(4\pi d/\lambda)^2} \text{ Watt}$$

- **Απώλεια διάδοσης ελεύθερου χώρου**

$$L_s = (4\pi d/\lambda)^2$$

- Εκτός από την παραπάνω απώλεια, μπορεί να έχουμε κι **άλλες απώλειες** (π.χ. ατμοσφαιρικές, ηλεκτρονικές), που εισάγονται με έναν ακόμα παράγοντα απωλειών L_a

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R}{L_s L_a} \text{ Watt}$$

ΤΜΗΥΠ / ΕΕΣΤ

11

Κεραία Λήψης

- Εκφράζοντας την ισχύ λήψης σε dB, έχουμε

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R}{L_s L_a} \text{ Watt}$$

$$P_R|_{dBW} = P_T|_{dBW} + G_T|_{dB} + G_R|_{dB} - L_s|_{dB} - L_a|_{dB}$$

- Η ενεργός επιφάνεια μιας κεραίας εξαρτάται
 - από το μήκος κύματος λ της ακτινοβολίας
 - τις φυσικές διαστάσεις της κεραίας
 - σχήμα κλπ.

ΤΜΗΥΠ / ΕΕΣΤ

12

Παραδείγματα Κέρδους Κεραιών

- Παραβολική κεραία (πιάτο) διαμέτρου D

$$A_R = \frac{\pi D^2}{4} \eta$$

- $\pi D^2/4$: το εμβαδόν της κεραίας
- η : ο συντελεστής απόδοσης φωτισμού (illumination efficiency factor), $0.5 \leq \eta \leq 0.6$
- κέρδος της παραβολικής κεραίας

$$G_R = \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \eta$$

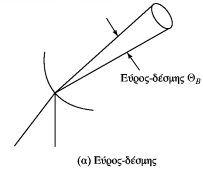
- Χοανοειδής κεραία εμβαδού A

- συντελεστή απόδοσης 0.8
- ενεργό επιφάνεια $A_R = 0.8A$
- κέρδος

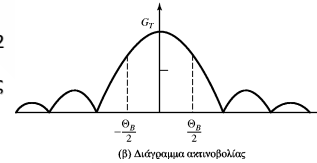
$$G_R = \frac{10A}{\lambda^2}$$

Εύρος Δέσμης (Beamwidth)

- Μια άλλη παράμετρος των κεραιών είναι το εύρος δέσμης, Θ_B
- Εκτιμάται από το διάγραμμα ακτινοβολίας, ως το εύρος μισής ισχύος (-3dB)



- Σε παραβολικές κεραίες ελάττωση του Θ_B κατά 2 (με διπλάσια διάμετρο) => αύξηση του κέρδους κατά 4 (6dB)



$$\Theta_B = \frac{70\lambda}{D} \text{ deg}$$