ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Συστήματα Επικοινωνιών

Ενότητα 3: Σύγκριση ψηφιακών Συστημάτων

Σαγκριώτης Εμμανουήλ
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Σκοποί ενότητας

1. Ανάδειξη τεχνικών για τη σύγκριση των επιδόσεων σε ισχύ και ρυθμό διαβίβασης των κυριοτέρων ψηφιακών συστημάτων.
2. Διάταξη των ψηφιακών συστημάτων με βάση την επίδοσή τους ως προς την απαιτούμενη εύρος ζώνης και την ισχύ και το εύρος ζώνης.
3. Γνωριμία με τις θεωρητικά οριακές επιδόσεις ενός ψηφιακού συστήματος.

Περιεχόμενα ενότητας

1. Η απόδοση του εύρους ζώνης σε ρυθμό των κυριότερων ψηφιακών συστημάτων.
2. Οι δείκτες d^2_{min}/E_{av} και d^2_{min}/E_b και η χρήση τους στη σύγκριση των επιδόσεων των γνωστών ψηφιακών συστημάτων ως προς την απαίτηση ισχύος.
3. Σύγκριση των κυριοτέρων ψηφιακών συστημάτων με βάση την απαιτούμενη ισχύ και εύρος ζώνης.
4. Οι οριακές επιδόσεις του βέλτιστου ψηφιακού συστήματος

Ενότητα 4

Σύγκριση ψηφιακών Συστημάτων

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΒΙΒΑΣΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (1/2)

Η ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ, B_c ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΥ ΣΥΜΒΟΛΩΝ R ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΈΙΝΑΙ:

1. PAM ΒΑΣ. ΖΩΝΗΣ: $R=2B_c$
2. PAM ΜΕ ΔΙΑΜΟΡΦ. (ASK): $R=B_c$
3. PSK,QAM: $R=B_c$
4. MFSK-Coh: $B_c = MR/2 \quad M\geq 8$
5. MFSK N-Coh: $B_c=MR \quad M\geq 8$

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΒΙΒΑΣΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (2/2)

Επειδή σε ένα σύστημα με *M* σύμβολα ισχύει:

$$R_b = \log_2(M) R$$

Προκύπτει εύκολα η τιμή του πηλίκου R_b/B_c για ένα Μιαδικό Σύστημα.

1. PAM ΒΑΣ. ΖΩΝΗΣ: $R_b/B_c = 2\log_2(M)$
2. PAM ΜΕ ΔΙΑΜΟΡΦ. (ASK): $R_b/B_c = \log_2(M)$
3. PSK,QAM: $R_b/B_c = \log_2(M)$
4. MFSK-Coh: $R_b/B_c = 2\log_2(M)/M$ $\quad M \geq 8$
5. MFSK N-Coh: $\mathrm{R_b/B_c = \log_2(M)\,/M}$ $\quad \mathrm{M \geq 8}$

Επίσης θυμηθείτε τη σχέση μεταξύ της πιθανότητα σφάλματος ανά bit, P_b και της πιθανότητας σφάλματος ανά σύμβολο, P_e .

Στα *M*-PAM, *M*-PSK και *M*-QAM, στα οποία τα σύμβολα του αστερισμού απέχουν άνισες αποστάσεις μεταξύ τους, χρησιμοποιείται κώδικας Gray στην απεικόνιση των τιμών των bits στα σύμβολα του αστερισμού και επιτυγχάνεται η σχέση:

$$P_b = P_e / k,\ k = \log_2(M).$$

Στα Ορθογώνια όμως M-δικά συστήματα τα σύμβολα όλα ισαπέχουν, ο κώδικας Gray ωφελεί να εφαρμοστεί και ισχύει:

$$P_b = P_e / 2$$

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΟΝ ΙΔΙΟ ΑΡΙΘΜΟ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΟΤΑΝ Ο ΘΟΡΥΒΟΣ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΕΙΝΑΙ ΛΕΥΚΟΣ GAUSSIAN

Η σύγκριση των επιδόσεων δύο συστημάτων ως προς την πιθανότητα σφάλματος γίνεται εύκολα όταν έχουμε τους αναλυτικούς τύπους των πιθανοτήτων:

Παράδειγμα

Χρησιμοποιείστε τους τύπους του *M*-PSK και του *M*-PAM για να συγκρίνετε ως προς την πιθανότητα σφάλματος ένα QPSK με ένα 4-PAM.

Οι δύο μαθ. τύποι είναι:

4-PAM

$$P_{4-PAM} = \frac{3}{2} Q\left(\sqrt{\frac{2E_{av-4PAM}}{5N_0}}\right)$$

QPSK

$$P_{4-PSK} = 2Q\left(\sqrt{\frac{E_{av-QPSK}}{N_0}}\right)$$

Αν θεωρήσουμε αμελητέα τη διαφορά μεταξύ των 3/2 και 2 τότε για να έχουμε την ίδια πιθανότητα σφάλματος αρκεί να επιλεγεί: $E_{άν\text{-QPSK}}=2E_{αν\text{-4PAM}}/5$

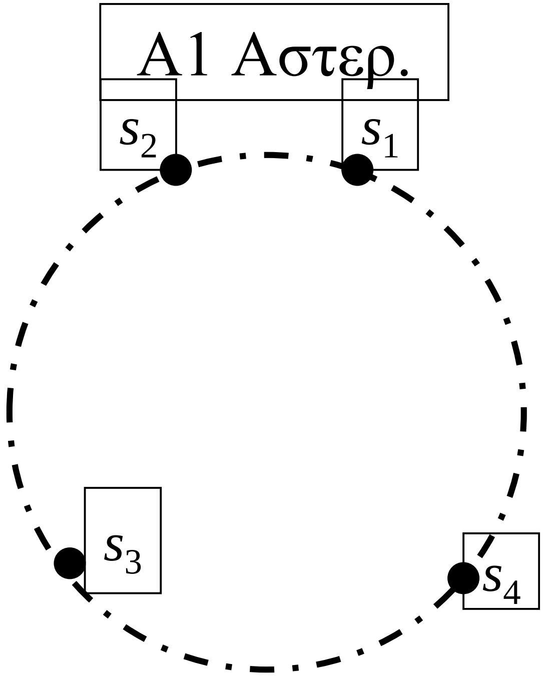
Δηλαδή τα δύο αυτά συστήματα για να έχουν την ίδια πιθανότητα σφάλματος πρέπει $E_{αν\ \text{4PAM}}=2.5E_{αν\ \text{QPSK}}$.

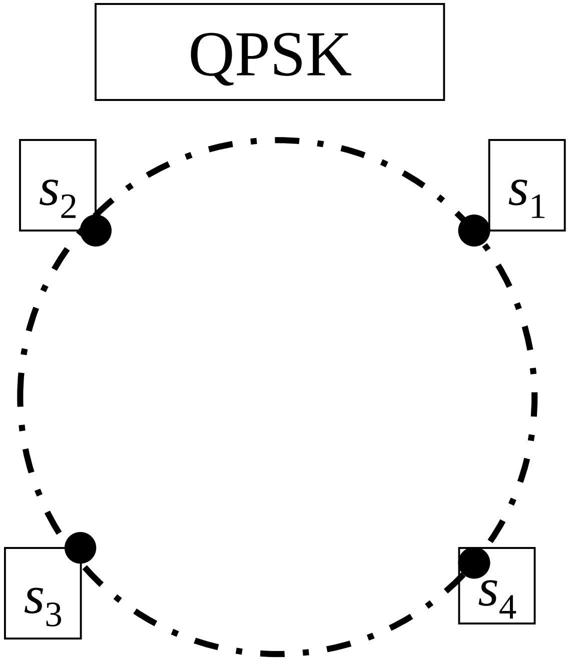
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΟΝ ΙΔΙΟ ΑΡΙΘΜΟ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΟΤΑΝ Ο ΘΟΡΥΒΟΣ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΕΙΝΑΙ ΛΕΥΚΟΣ GAUSSIAN

Λόγω του ότι ο θόρυβος είναι προσθετικός και η φώραση γίνεται με βάση την αρχή της ελάχιστης απόστασης, μπορούμε να αντιληφθούμε ότι τα σύμβολα του αστερισμού με την μικρότερη απόσταση αποτελούν τον αδύναμο κρίκο του αστερισμού.

Δηλαδή για τα σύμβολα αυτά η υποσυνθήκη πιθανότητα να συμβεί λάθος είναι πολύ αυξημένη

Για παράδειγμα, ο αστερισμός A1 υστερεί του γνωστού QPSK αστερισμού, που έχει την ίδια μέση ενέργεια ανά σύμβολο, λόγω της μικρής απόστασης των s_1 και s_2





Ένας εύκολος τρόπος λοιπόν, για να συγκρίνουμε τις επιδόσεις δύο αστερισμών, είναι να υπολογίσουμε το λόγο

$$\frac{d_{\min}^2}{E_{av}}$$

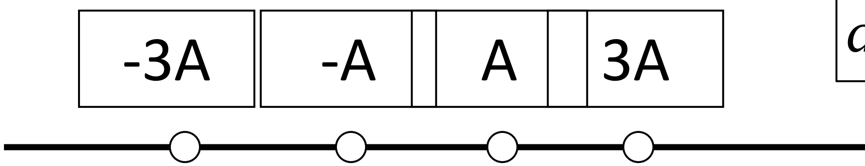
για κάθε αστερισμό και αυτός που παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή του λόγου αυτού έχει τις καλύτερες επιδόσεις.

Παράδειγμα

Να συγκρίνετε ως προς την πιθανότητα σφάλματος ένα QPSK με ένα 4-PAM χρησιμοποιώντας τους αστερισμούς των συστημάτων αυτών.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ 4-PAM και QPSK (1/2)

1. Για 4-PAM

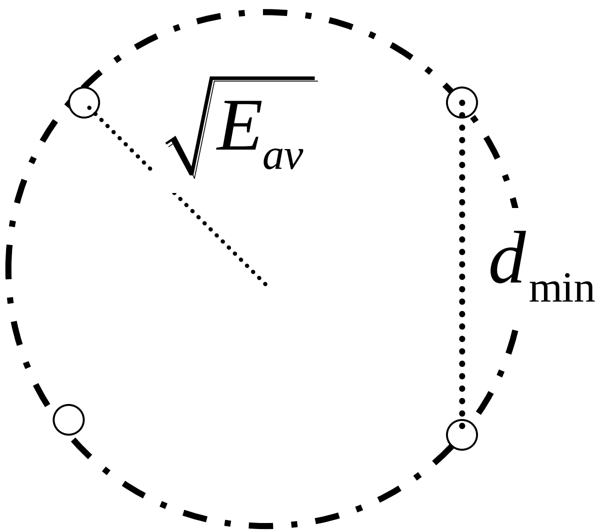


$$d_{\min}^2 = 4A^2$$

$$E_{av} = \tfrac{1}{4}\left(9A^2 + A^2 + A^2 + 9A^2\right) = 5A^2$$

$$\left(d_{\min}^2 / E_{av}\right)_{4-PAM} = 4/5$$

1. Για QPSK



$$d_{\min}^2 = 2R^2$$

$$E_{av} = R^2$$

$$\left(d_{\min}^2 / E_{av}\right)_{4-PSK} = 2$$

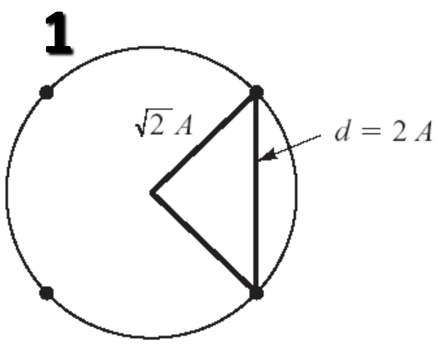
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ 4-PAM και QPSK (2/2)

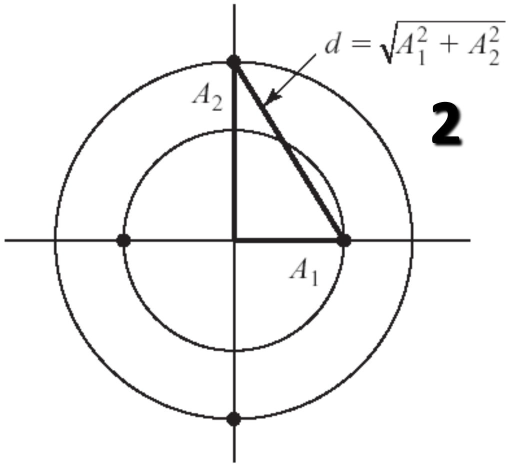
Τα δύο αυτά συστήματα για να έχουν τον ίδιο λόγω δείκτη πρέπει να παρουσιάζουν $E_{av\mathrm{4PAM}}=2.5E_{av\ \mathrm{QPSK}}$.

Δηλαδή φτάνουμε στο ίδιο συμπέρασμα, όπως και όταν χρησιμοποιήσαμε τους μαθηματικούς της πιθανότητας σφάλματος.

Παράδειγμα

Να συγκρίνετε ως προς την πιθανότητα σφάλματος δύο τετραδικά συστήματα επικοινωνιών.





ΑΣΤ. 1

$$d_{\min}^2 = 4A^2 \qquad E_{av} = 2A^2$$

$$\left(d_{\min}^2 / E_{av}\right)_1 = 2$$

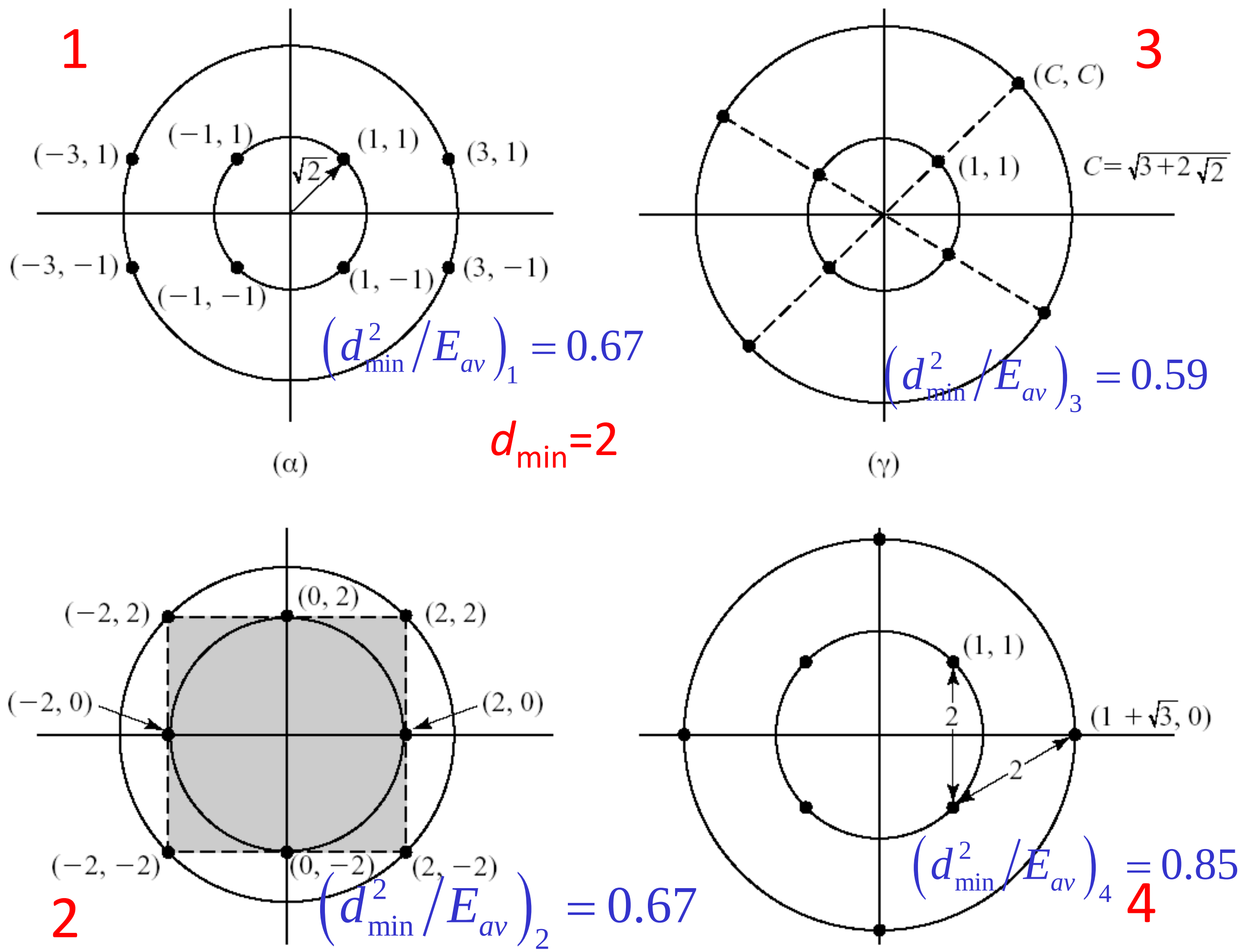
ΑΣΤ. 2

$$d_{\min}^2 = A_1^2 + A_2^2 \quad E_{av} = \frac{1}{4}\left(A_1^2 + A_1^2 + A_2^2 + A_2^2\right) = \left(A_1^2 + A_2^2\right)/2$$

$$\left(d_{\min}^2 / E_{av}\right)_2 = 2$$

Δηλαδή τα δύο συστήματα πρέπει να παρουσιάζουν τις ίδιες επιδόσεις ως προς τη σχέση $P_e = f(E_b)$

Για τους πιο κάτω αστερισμούς υπολογίζονται εύκολα οι αντίστοιχες τιμές των λόγων



Οπότε για την ίδια πιθανότητα σφάλματος πρέπει

$E_3 > E_2 = E_1 > E_4$

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΟΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΑΡΙΘΜΟ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΟΤΑΝ Ο ΘΟΡΥΒΟΣ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΕΙΝΑΙ ΛΕΥΚΟΣ GAUSSIAN

Στην περίπτωση αυτή η σύγκριση μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας το λόγο:

$$\frac{d_{\min}^2}{E_{bav}}$$

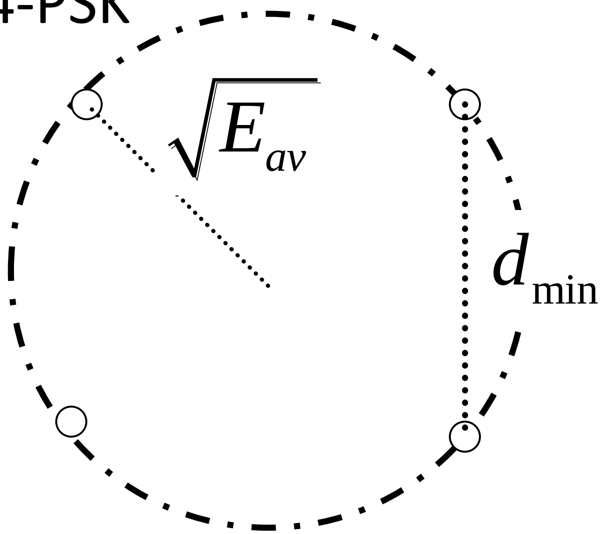
Παράδειγμα

Να συγκρίνετε ως προς την πιθανότητα σφάλματος ένα 8-FSK με ένα QPSK και ένα B-PSK (όλα σύμφωνα συστήματα).

B-PSK

$$\left(d_{\min}^{2} / E_{bav}\right)_{B-PSK} = 4$$

4-PSK



$$\left(d_{\min}^{2} / E_{bav}\right)_{4-PSK} = 4$$

8-FSK

Τα σύμβολα του αστερισμού είναι:

$$\mathbf{s}_1 = \left(\sqrt{E_{av}},0,0,0,0,0,0,0\right)^T$$

$$\mathbf{s}_2 = \left(0,\sqrt{E_{av}},0,0,0,0,0,0\right)^T$$

$$\vdots$$

$$\mathbf{s}_8 = \left(0,0,0,0,0,0,0,\sqrt{E_{av}}\right)^T$$

Παρατηρείστε ότι στο σύστημα αυτό η απόσταση μεταξύ οποιουδήποτε ζεύγους συμβόλων του αστερισμού έχει τιμή ίση με τη σταθερή ποσότητα $2E_{av}$.

Για παράδειγμα η απόσταση $d_{ij}=||\mathbf{s}_i-\mathbf{s}_j||^2$

$$d_{ij} = \left\|\mathbf{s}_i - \mathbf{s}_j\right\|^2 = \sum_{k=1}^{8}\left(s_{ik} - s_{jk}\right)^2 = 2E_{av}$$

Επομένως:

$$d_{\min}^2 = 2E_{av} = 6E_{bav}$$

Και τελικά

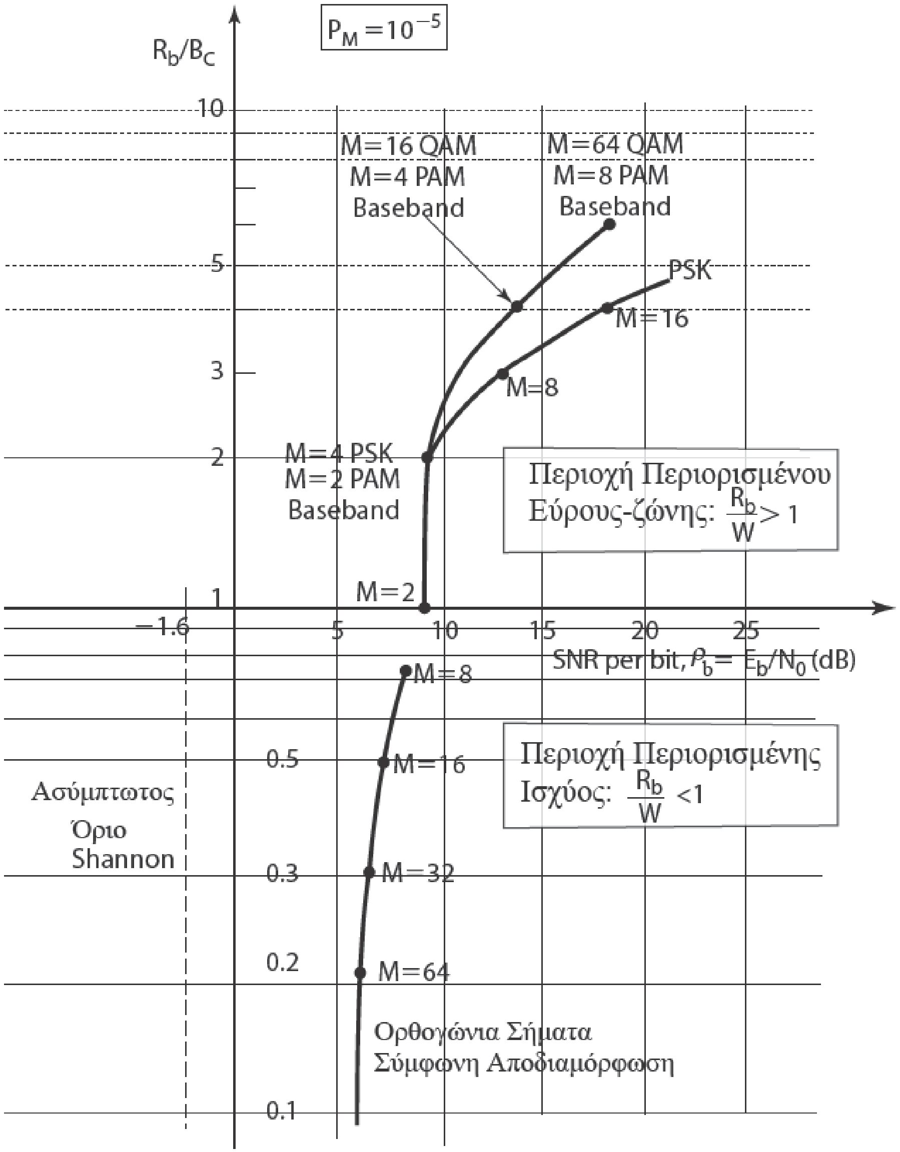
$$\left(d_{\min}^2 / E_{bav}\right)_{8-FSK} = 6$$

Από τα πιο πάνω προκύπτει ότι τα τρία συστήματα για να παρουσιάζουν την ίδια πιθανότητα σφάλματος οι λόγοι ενεργειών ανά bit πρέπει να είναι:

$$E_{b-BPSK} / E_{b-QPSK} = 1$$

$$E_{b-BPSK} / E_{b-8-FSK} = 1.5$$

ΓΡΑΦΗΜΑ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΒΙΒΑΣΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ



Στο διάγραμμα αυτό δίνονται για τα πιο γνωστά συστήματα για $P_e=10^{-5}$ οι απαιτήσεις σε Εύρος – Ζώνης (R_b/B_c) και ισχύ (E_b/N_0)

Μπορείτε να διαπιστώσετε ότι εν γένει όσο μικρότερη ισχύ απαιτεί ένα σύστημα τόσο μεγαλύτερο Εύρος – Ζώνης χρειάζεται για να λειτουργήσει.

Ειδικότερα, στο διάγραμμα αυτό μπορείτε να διακρίνετε δύο περιοχές με συστήματα που παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά.

Περιοχή Περιορισμένου Εύρους-Ζώνης στην οποία ισχύει $R_b/B_c>1$

Περιοχή Περιορισμένης Ισχύος στην οποία ισχύει $R_b/B_c<1$

Στην περιοχή περιορισμένου Εύρους-Ζώνης βρίσκουμε τα μονοδιάστατα και δυδιάστατα (μιγαδικά) συστήματα, τα οποία εν γένει επιτυγχάνουν να διαβιβάζουν περισσότερα από 1 bit/sec για κάθε διαθέσιμο Hz Εύρους-Ζώνης.

Στην περιοχή περιορισμένης ισχύος βρίσκουμε τα πολυδιάστατα ορθογώνια συστήματα, όπως το σύμφωνο (και το ασύμφωνο PSK), τα οποία για κάθε bit/sec που διαβιβάζουν απαιτούν πολλαπλάσια Hz Εύρους-Ζώνης.

Αντίθετα η απαίτησης ισχύος στα συστήματα της πρώτης περιοχής είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή της δεύτερης.

Ειδικά για τα ορθογώνια συστήματα, όσο αυξάνει το πλήθος των συμβόλων του αστερισμού *M*, τόσο ελαττώνεται η απαιτούμενη ισχύς.

Το γεγονός αυτό μας οδηγεί να αναρωτηθούμε αν στα συστήματα αυτά αυξάνοντας το *M* προς το άπειρο μήπως πετυχαίνουμε τη διαβίβαση δεδομένων με ισχύ που τείνει στο μηδέν.

Όπως θα διαπιστώσουμε, όμως, μετά από μερικές διαφάνειες όταν το *M* τείνει στο άπειρο τότε το $(E_b/N_0)_{\mathrm{dB}}$ τείνει στην τιμή -1.6 dB ή ισοδύναμα το E_b/N_0 τείνει στο ln(2)

Η τιμή αυτή καλείται "Όριο Shannon"

ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΑΚΡΙΤΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ

Θεωρήστε ένα διακριτό κανάλι με ρυθμό διαβίβασης δυαδικών δεδομένων R_b και αντίστοιχη πιθανότητα σφάλματος P_b.

Στη Θεωρία Πληροφορίας αποδεικνύεται ότι αν επιλεγεί να χρησιμοποιηθεί ένας αρκούντως ισχυρός κώδικας καναλιού σε ένα τέτοιο κανάλι, γίνεται δυνατόν να διαβιβαστούν μέσα από αυτό πληροφορία με μέγιστο ρυθμό *C* και με πιθανότητα σφάλματος όσο μικρή επιθυμούμε.

Η τιμή αυτή του ρυθμού αξιόπιστης διαβίβασης δεδομένων, *C*, αποτελεί σταθερά του δεδομένου διακριτού καναλιού, και καλείται *Χωρητικότητα Καναλιού* (*Channel Capacity*).

Η χωρητικότητα του καναλιού C είναι τόσο μικρότερη από το ρυθμό διαβίβασης του καναλιού R_b όσο μεγαλύτερη είναι η P_b

Για παράδειγμα για ένα κανάλι με αντίποδα σύμβολα ο λόγος C/R_b για διαφορετικές τιμές της P_b

P_b	0.5	0.2	0.1	10^{-2}	10^{-3}	10^{-5}
C/R_b	0	0.2871	0.5310	0.9192	0.9886	0.9998

Από το παράδειγμα αυτό συμπεραίνουμε ότι για πολύ μικρές τιμές της πιθανότητας σφάλματος ισχύει C/R_b=1. Στο διάγραμμα λοιπόν Σύγκρισης των Συστημάτων μπορούμε να δεχθούμε ότι ισχύει $R_b/B_c=C/B_c$

ΘΕΩΡΗΜΑ των Shannon Hartley:

Θεωρείστε ένα ηλεκτρικό κανάλι με Εύρος-Ζώνης B_c με προσθετικό λευκό Gaussian θόρυβο. Όποια τεχνική κα αν χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση ενός διακριτού καναλιού αυτό θα έχει χωρητικότητα C μικρότερη από:

Θεώρημα Shannon Hartley: $C \leq B_c \log_2[1+P_R/N]$

όπου P_R/N το πηλίκο σήμα προς θόρυβο στην είσοδο του δέκτη.

Αξίζει να δούμε την εξίσωση του πιο πάνω θεωρήματος να χαράσσεται σε ένα διάγραμμα σαν αυτό στο γράφημα σύγκρισης διαστημάτων με άξονες $(E_b/N_0)_{\mathrm{dB}}$ και C/B_c R_b/B_c

Για το σκοπό αυτό θέτουμε:

$$N = B_c N_0, \quad P_R = \varepsilon_b R_b = \varepsilon_b C$$

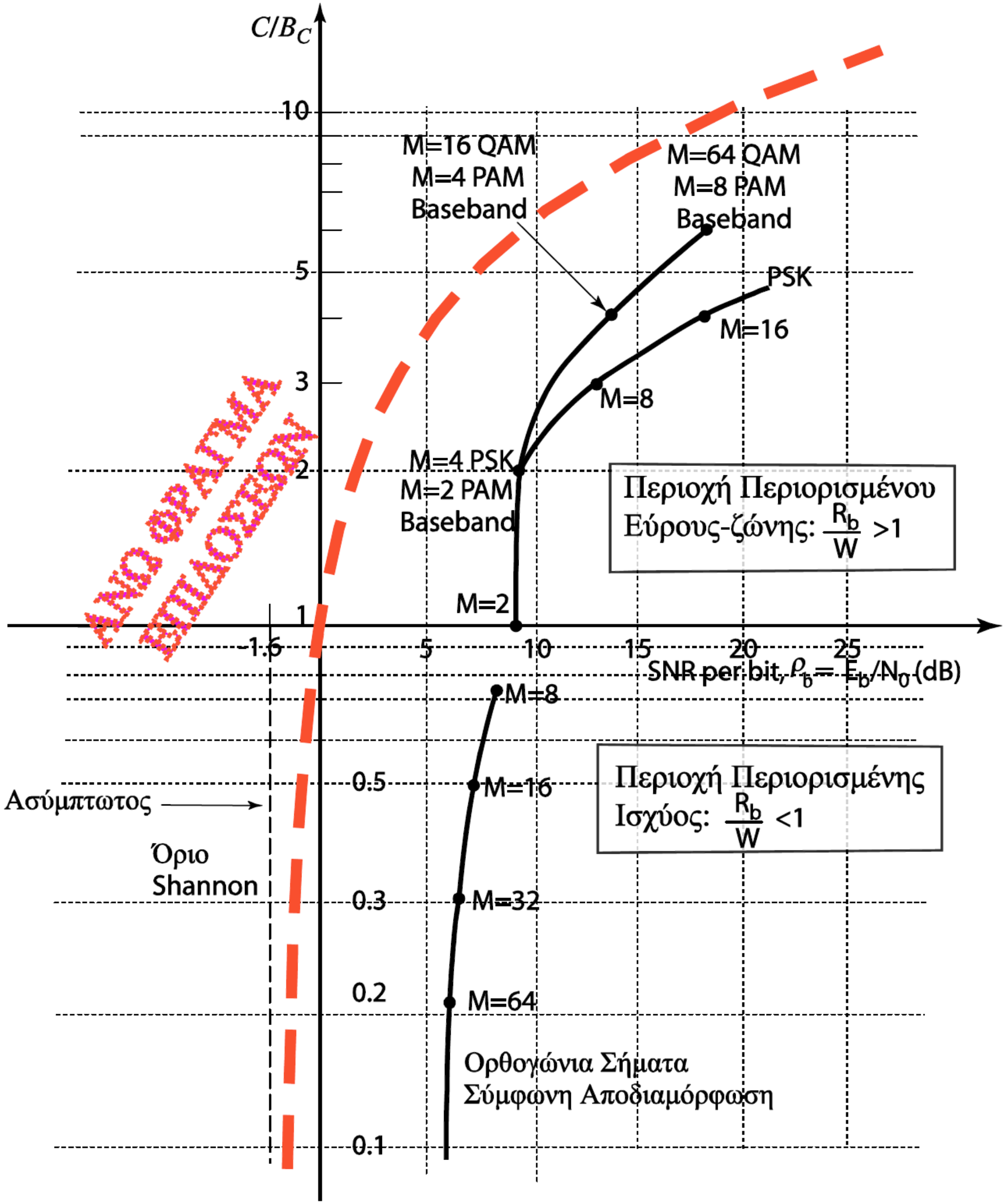
Οπότε

$$C/B_c = \log_2[1 + (C/B_c)(\varepsilon_b/N_0)]$$

ή

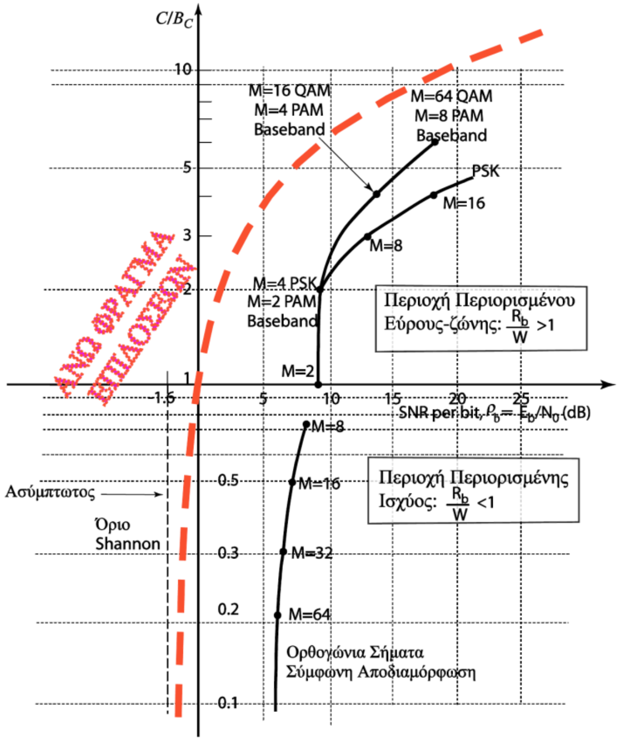
$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \frac{2^{C/B_c} - 1}{C/B_c}$$

Την τελευταία σχέση χαράσσουμε στο ίδιο διάγραμμα με αυτό της σύγκρισης των συστημάτων, στο οποίο έχουμε αντικαταστήσει το R_b/B_c με C/B_c



Στο διάγραμμα αυτό με ερυθρό χρώμα έχει χαραχθεί η σχέση που προέκυψε από το Θεώρημα των Shannon Hartley.

Σύμφωνα με το θεώρημα αυτό κανένα διακριτό κανάλι δεν μπορεί να υλοποιηθεί, το οποίο θα έχει επιδόσεις που θα το τοποθετούν αριστερά από την καμπύλη αυτή.



Μπορείτε να παρατηρήσετε ότι η καμπύλη που καθορίζει τα όρια επιδόσεων ενός υλοποιήσιμου συστήματος, για $C/B_c \rightarrow 0$ (δηλαδή για $B_c \rightarrow$ άπειρο), γίνεται ασύμπτωτος του ορίου της $(E_b/N_0)_{\text{dB}}$=-1.6 dB που έχουμε ήδη αναφέρει νωρίτερα. Η ελάχιστη αυτή τιμή του απαιτούμενου $(E_b/N_0)_{\text{dB}}$ καλείται ***Όριο Shannon***

Η συμπεριφορά αυτή της οριακής καμπύλης μπορούσε να προβλεφθεί και από την εξίσωσή της λαμβάνοντα το όριο του $C/B_c \rightarrow 0$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \frac{2^{C/B_c}-1}{C/B_c} \Rightarrow \lim_{C/B_c \to 0}\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \lim_{C/B_c \to 0}\frac{2^{C/B_c}-1}{C/B_c} = \ln(2)$$

Και ισχύει $\ln(2)_{\text{dB}}$=-1.6 dB

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΑΤΩΝ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

1. Αν διαθέτουμε ένα κανάλι με Εύρος Ζώνης, B_C=απεριόριστο, και Φασματική ισχύ Θορύβου $N_0/2=10^{-8}$ Watt/Hz καθώς και δυνατότητα εξασφάλισης της Ισχύος Λήψης στη είσοδο του δέκτη, P_R=2 mWatt, πόση είναι η θεωρητικά μεγαλύτερη τιμή που μπορεί να λάβει ο ρυθμός διαβίβασης δυαδικών δεδομένων R_b;

Απάντηση

$$(E_b/N_0) = [P_R/(R_b N_0)]_{\mathrm{dB}} \Rightarrow R_b = P_R/N_0/(E_b/N_0)$$

Στην πιο πάνω σχέση γίνεται φανερό ότι για να αυξηθεί το R_b πρέπει να βρούμε Τηλπ. Σύστημα με όλο και μικρότερο E_b/N_0.

Είναι γνωστό ότι για κάθε υλοποιήσιμο Τηλ. Σύστημα ισχύει$(E_b/N_0)>=\ln 2$

Επομένως

$$R_b <= P_R/N_0/\ln 2$$

$$R_b < =2*10^{-3}/(2*10^{-8})/\ln 2)=145\ 10^3 \Rightarrow \Rightarrow \boldsymbol{R_b <= 145\ \textbf{Kbits/sec}}$$

Τέλος Ενότητας

Σύγκριση ψηφιακών Συστημάτων

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» 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.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σημειώματα

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικόν και Καποδιστριακόν Πανεπιστήμιον Αθηνών, Σαγκριώτης Εμμανουήλ. «Εισαγωγή στα Συστήματα Επικοινωνιών. Ενότητα 4: Σύγκριση Ψηφιακών Συστημάτων». Έκδοση: 1.01 Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:http://opencourses.uoa.gr/courses/DI11/.

Σημείωμα Αδειοδότησης

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.