



Κριτήρια Αξιολόγησης Ψηφιακών Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων

Αθ. Δ. Παναγόπουλος,
Καθηγητής ΕΜΠ





Σημαντικά Μεγέθη στις Τηλεπικοινωνίες

Ισχύς ή Ενέργεια: προφανώς όσο μεγαλύτερη ισχύ τόσο πιο αξιόπιστη η επικοινωνία. Ωστόσο ο στόχος είναι να μειώσουμε την απαιτούμενη ισχύ μετάδοσης και να μεγιστοποιήσουμε τη διαθεσιμότητα ζεύξης.

Ρυθμός Δεδομένων: Ο στόχος είναι να έχουμε μεγάλο ρυθμό δεδομένων. Ωστόσο για μια σταθερή ισχύ εκπομπής η ενέργεια που μεταδίδεται ανά δυαδικό ψηφίο θα μειωθεί γιατί θα μειωθεί το χρόνος διάρκειας ενός bit.

Εύρος Ζώνης

Πιθανότητα Λάθους

Απαιτήσεις για Καθυστέρηση

Πολυπλοκότητα



Κριτήρια Αξιολόγησης

Λόγος Σήματος προς Θόρυβο:
Signal to noise ratio, SNR ή S/N

Ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος προς την ισχύ θορύβου που εισάγει ο δέκτης

$$SNR = \frac{P_r}{P_N}$$

$$ASN R = average SNR = E[SNR]$$

Ισχύς του σήματος – τυχαία μεταβλητή



Κριτήρια Αξιολόγησης

Λόγος Σήματος προς Θόρυβο συν Παρεμβολή:

Εκτός από το θόρυβο ένας άλλος παράγοντας υποβάθμισης Είναι η παρεμβολή (interference).

- Οφείλεται είτε σε χρήστες του ίδιου τηλεπικοινωνιακού συστήματος (π.χ. Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών-Ενδοσυστημική)
- Π.χ. Από άλλα ασύρματα συστήματα – Διασυστημική

$$SNIR = \frac{P_r}{P_N + P_I}$$

$$ASNIR = average SNIR = E[SNIR]$$

Ισχύς επιθυμητού σήματος / ισχύς παρεμβάλλοντος– τυχαίες μεταβλητές





Κριτήρια Αξιολόγησης

Λόγος Σήματος προς Παρεμβολή:

$$SIR = \frac{P_r}{P_I}$$

$$SNIR = \begin{cases} \frac{S}{N}, N \gg I \text{ noise dominant} \\ \frac{S}{I}, I \gg N, \text{ interference dominant} \end{cases}$$



Κριτήρια Αξιολόγησης

Ρυθμός Σφάλματος bit ή συμβόλου:

**Ο ρυθμός σφάλματος bit/symbol
Bit Error Rate/Symbol Error Rate**

BER/SER

Μετρούμενο, εκτιμώμενο, θεωρητικό

μέσο ποσοστό σφαλμάτων σε bits/symbols



Κριτήρια Αξιολόγησης

Αποδοτικότητα Ισχύος: Power Efficiency

- ορίζεται το απαιτούμενο SNR που απαιτείται για την επίτευξη συγκεκριμένης επίδοσης της πιθανότητας σφάλματος bit/συμβόλου.



Κριτήρια Αξιολόγησης

Φασματική Απόδοση: Spectral Efficiency

$$\frac{R}{B} \text{ (bps/ Hz)}$$

Όπου R ο ρυθμός εκπομπής bits/sec

Και

B: το διαθέσιμο εύρος ζώνης

Συμψηφισμός/Ανταλλαγή/Trade off :
Μεταξύ αποδοτικότητας ισχύος και αποδοτικότητα φάσματος

Κριτήρια Αξιολόγησης

Θεμελιώδες Άνω Όριο Φασματικής Απόδοσης=
Ρυθμός Μετάδοσης Πληροφορίας
Χωρητικότητα Καναλιού (channel capacity)

$$C = B \log_2(1 + SNR) \text{ (bps)}$$

Αυξάνεται

Είτε με αύξηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης

Είτε με τη Σηματοθορυβική σχέση



Χωρητικότητα Shannon

Το **Θεώρημα του Shannon** δίνει το άνω όριο στη χωρητικότητα μιας ζεύξης σε bits per second (bps) συναρτήσει του διαθέσιμου εύρους ζώνης και του Διαθέσιμου SNR (signal-to-noise ratio) της ζεύξης).

Telephone Line

Για μια τυπική τηλεφωνική γραμμή με SNR 30dB και ένα audio bandwidth of 3kHz , έχουμε μέγιστο ρυθμό δεδομένων

$C = 3000 * \log_2(1001)$ που είναι λίγο λιγότερο από 30 kbps

Satellite TV Channel

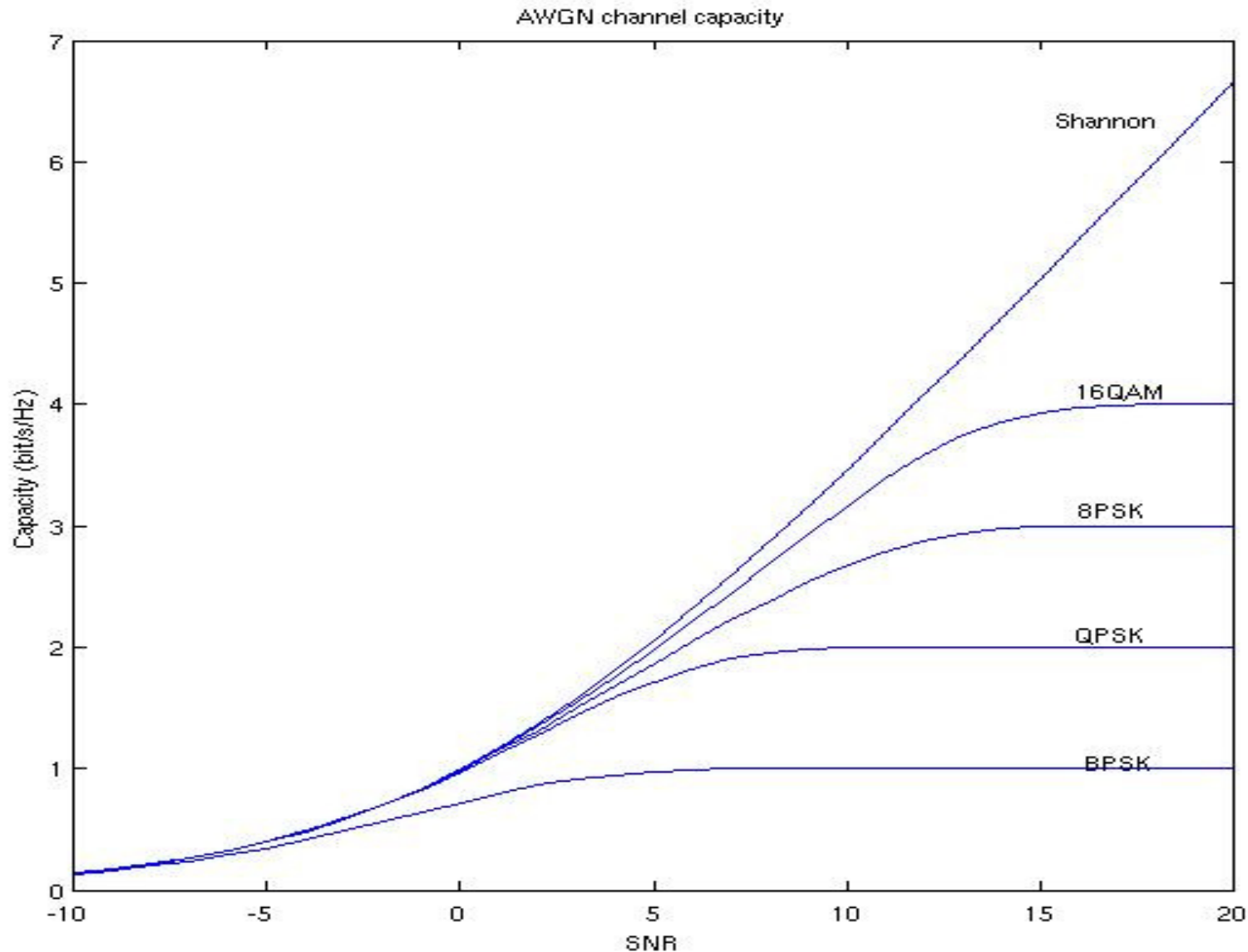
Για ένα κανάλι τηλεοπτικό δορυφορικής τηλεόρασης με SNR 20dB και ένα κανάλι video 10MHz, έχουμε μέγιστο ρυθμό δεδομένων

$C = 10000000 * \log_2(101)$ που είναι περίπου 66 Mbps.





Channel Capacity vs. SNR





Trade Off

Ο Shannon (1948) καθόρισε το trade off μεταξύ:

Ρυθμός μετάδοσης, Εύρος Ζώνης, Ισχύς Σήματος, Ισχύς Θορύβου

$$R < B \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 \cdot B} \right) \text{ (αξιόπιστη επικοινωνία)}$$

$$E_b = \text{energy transmitted per information bit} = \frac{P}{R} \Leftrightarrow P = E_b \cdot R$$

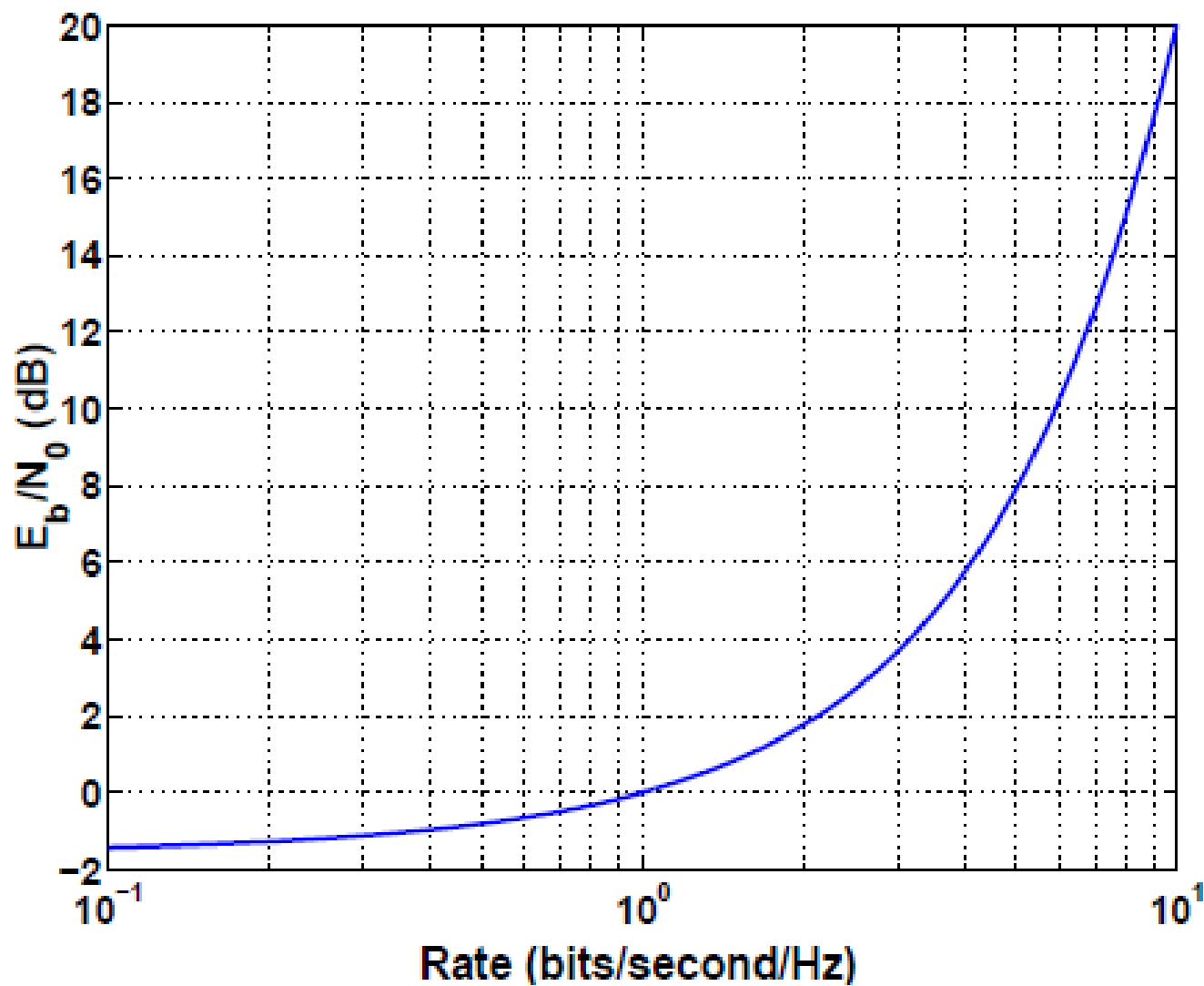
$$\frac{R}{B} < \log_2 \left(1 + \frac{E_b \cdot R}{N_0 \cdot B} \right)$$

$$\frac{E_b}{N_0} > \frac{2^{\frac{R}{B}} - 1}{R/B} \text{ (αξιόπιστη επικοινωνία)} \quad \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{dB} = 10 \log \left(\frac{E_b}{N_0} \right)$$





Channel Capacity vs. E_b/N_0





Κριτήρια Αξιολόγησης

Πιθανότητα Διακοπής της Επικοινωνίας Outage Probability

Ορίζεται ως η πιθανότητα ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας να λάβει τιμή μικρότερη από κάποιο κατώφλι.

$$P_{out} = \text{Prob} [C \leq R_{thr}]$$

Ή εναλλακτικά η πιθανότητα το λαμβανόμενο στο δέκτη SNR να λάβει μικρότερη τιμή από κάποιο κατώφλι.

$$P_{out} = \text{Prob} [SNR \leq SNR_{thr}]$$





Κριτήρια Αξιολόγησης

**Πιθανότητα Διακοπής της Επικοινωνίας
Outage Probability σε επίπεδο ισχύος:**

$$P_{out} = \text{Prob} \left[P_r \leq P_{thr} \right]$$

λαμβάνοντας υπόψη και την παρεμβολή:

$$P_{out} = \text{Prob} \left[SNIR \leq SNIR_{thr} \right]$$

$$P_{out} = \text{Prob} \left[SIR \leq SIR_{thr} \right]$$





Κριτήρια Αξιολόγησης

Διαθεσιμότητα - Availability

$$P_{avail} = 1 - P_{out} = \text{Prob}[P_r \geq P_{thr}]$$

λαμβάνοντας υπόψη και την παρεμβολή:

$$P_{avail} = \text{Prob}[SNIR \geq SNIR_{thr}]$$

$$P_{avail} = \text{Prob}[SIR \geq SIR_{thr}]$$



Ευχαριστώ για την προσοχή σας !!!

“It is dangerous to put limit on wireless”

Guglielmo Marconi (1932)