

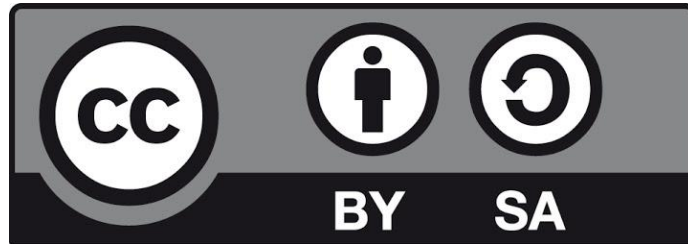
Χαρακτηριστικά Μετάδοσης και Σφάλματα

Εισηγητής: Χρήστος Δαλαμάγκας

cdalamagkas@gmail.com

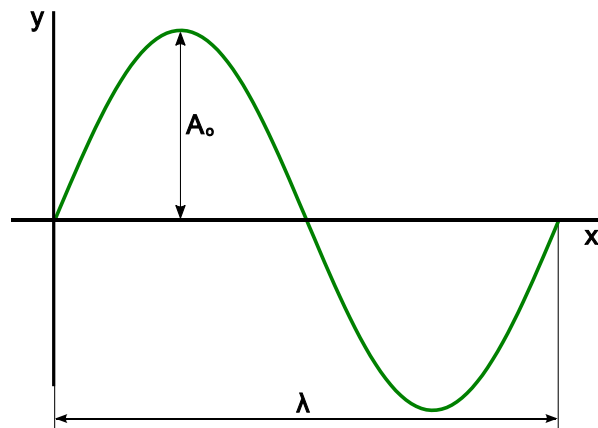
Άδεια χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται στη διεθνή άδεια χρήσης Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).



Σήματα

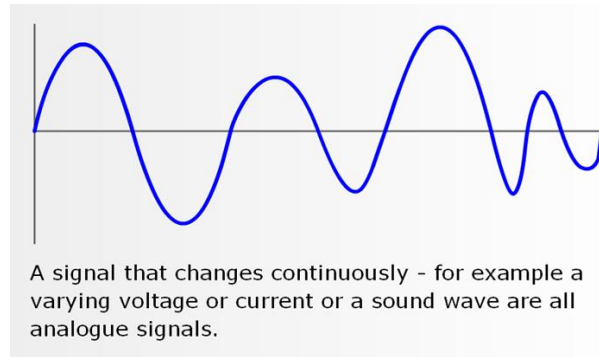
- Η πληροφορία μεταδίδεται με χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμμάτων
- Ένα Η/Μ κύμα χαρακτηρίζεται από τη συχνότητα και το πλάτος του
- Πλάτος: Η μέγιστη μεταβολή της έντασης ή τάσης
- Συχνότητα: Πόσες φορές μεταβάλλεται πλήρως το πλάτος του σήματος στη μονάδα του χρόνου (κύκλοι ανά δευτερόλεπτο)
- Περίοδος: Η διάρκεια ενός πλήρους κύκλου
- Μήκος κύματος (λ): Απόσταση που διανύεται σε έναν πλήρη κύκλο.



Αναλογικά vs Ψηφιακά σήματα

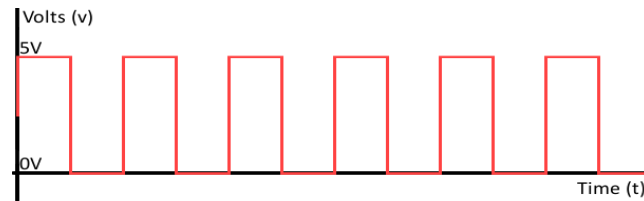
- Αναλογικά σήματα:

- Συνεχείς τιμές στο πεδίο του χρόνου
- Άπειρη ακρίβεια στον χρόνο
- Ηλεκτρικά ή μηχανικά σήματα: Η/Μ ακτινοβολία, ηχητικό σήμα



- Ψηφιακά σήματα:

- Διακριτές τιμές στο πεδίο του χρόνου
- Σε μορφή παλμών
- Ψηφιακό σήμα: Αλληλουχία bit με διακριτές καταστάσεις 0 και 1
- Για να μεταδοθεί ένα ψηφιακό σήμα σε ένα μέσο μετάδοσης, χρειάζεται να μετατραπεί σε αναλογικό, διατηρώντας όμως διακριτές καταστάσεις.



Χαρακτηριστικά Μετάδοσης

Χαρακτηριστικά Μετάδοσης / Αξιολόγηση

- Ρυθμός μετάδοσης

- Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (bitrate)
- Ρυθμός μετάδοσης διαμορφωμένου σήματος (baud rate)
- Ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας (information rate)
- Χωρητικότητα καναλιού (channel capacity) – Εύρος ζώνης (bandwidth)
- Διεκπεραιώτικότητα (throughput)
- Διεκπεραιωτικότητα ωφέλιμης πληροφορίας (goodput)

- Καθυστέρηση

- Καθυστέρηση μετάδοσης (transmission delay)
- Καθυστέρηση διάδοσης (propagation delay)

- Διακύμανση καθυστέρησης (jitter)

Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων

- Bitrate: Ο αριθμός των bit που μεταδίδονται στη μονάδα του χρόνου
- Πχ: Ο χρήστης λαμβάνει ένα αρχείο με ταχύτητα 10 Mbps -> 10 Megabit κάθε δευτερόλεπτο
- Μονάδα μέτρησης: bit per second (bps)

$$R = 1 / T$$

R: Ο ρυθμός μετάδοσης

T: Η διάρκεια ή καθυστέρηση μετάδοσης ενός bit σε δευτερόλεπτα

Ρυθμός μετάδοσης διαμορφ. σήματος

- Σειρά bit αντιστοιχίζονται σε σύμβολα
- Baudrate: Ο ρυθμός μετάδοσης των συμβόλων

$$F_s = R / N$$

F_s : Το baud rate

R : Το bitrate

N : Πλήθος bit ανά σύμβολο

- Πρέπει: $N = \log_2(M)$

M : Το πλήθος των διαφορετικών δυνατών συμβόλων.

Ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας

- Ο ρυθμός μετάδοσης που προκύπτει, αφαιρώντας επιβαρύνσεις του φυσικού επιπέδου
- Ωφέλιμα δεδομένα: Τα δεδομένα που αναπαριστούν ωφέλιμη πληροφορία που παραδίδεται στον τελικό χρήστη και προκύπτουν αφού αφαιρεθούν bit επιβαρύνσεις
- Παραδείγματα επιβαρύνσεων:
 - Πρόσθετα bit για έλεγχο σφαλμάτων
 - Bit για συγχρονισμό πομπού/δέκτη
 - Bit για έλεγχο του καναλιού μετάδοσης

Εύρος ζώνης

- Αναλογική προσέγγιση: (Hz)
 - Κάθε σήμα μεταδίδεται σε μια συχνότητα (ή εκεί είναι το peak του)
 - Σε ένα μέσο μετάδοσης, μπορούμε να μεταδώσουμε σήματα που «πιάνουν» πολλές συχνότητες (πχ ραδιόφωνο)
 - Εύρος ζώνης: Η διαφορά μεταξύ της υψηλότερης με την χαμηλότερη συχνότητα που μπορεί να μεταδοθεί
- Ψηφιακή προσέγγιση (bps):
 - Μέγιστος δυνατός επιτεύξιμος ρυθμός μετάδοσης
 - Κατανάλωσιμος πόρος: Πόσα δεδομένα μεταδίδει κάθε χρήστης στη μονάδα του χρόνου
 - Περιορίζεται από τον θόρυβο

Χωρητικότητα καναλιού

- Χωρητικότητα (capacity): Πόσα bit μπορεί να μεταδώσει ένα κανάλι επικοινωνίας στη μονάδα του χρόνου
- Για κανάλι χωρίς θόρυβο ισχύει:

$$C = 2*B$$

- Για κανάλι με θόρυβο:

$$C = B * \log_2(1 + S/N)$$

C: Χωρητικότητα σε bps

B: Εύρος ζώνης καναλιού σε Hz

S/N: Λόγος σήματος προς θόρυβο

Διεπεραιωτικότητα

- Διεκπεραιωτικότητα (throughput): Το πραγματικό πλήθος των bit που μεταδίδονται στη μονάδα του χρόνου.
- Πρακτικά: Πόσο γρήγορα διεκπεραιώνονται τα δεδομένα
- Πλήθος εφαρμογών:
 - Αξιολόγηση καναλιού επικοινωνίας: Πόσο γρήγορα προστίθενται νέα bit στη γραμμή
 - Αξιολόγηση συσκευής ή εφαρμογής: Πόσα δεδομένα διεκπεραιώνονται στη μονάδα του χρόνου
- Διεκπεραιωτικότητα ωφέλιμης πληροφορίας (goodput): Το πλήθος των bit που μεταδίδονται/διεπεραιώνονται στη μονάδα του χρόνου **και** αναπαριστούν ωφέλιμη πληροφορία (payload).

Καθυστέρηση μετάδοσης

- Καθυστέρηση μετάδοσης (transmission delay): Ο χρόνος που χρειάζεται μια συσκευή για να τοποθετήσει ένα bit.
- Μονάδα μέτρησης το δευτερόλεπτο.
- Πάντα αντίστροφη του ρυθμού μετάδοσης. Δηλαδή:

$$T = 1 / R$$

T: Καυστέρηση μετάδοσης

R: Ρυθμός μετάδοσης

Καθυστέρηση διάδοσης

- Καθυστέρηση διάδοσης (propagation delay): Ο χρόνος τον οποίον χρειάζεται ένα bit για να διασχίσει το μέσο μετάδοσης.
- Στο κενό: 299.792.458 m/s. ή $2.998 \cdot 10^8$ m/s.
- Μειώνεται στο κάθε φυσικό μέσο μετάδοσης
 - Στην οπτική ίνα, πέφτει στο 70% της ταχύτητας του φωτός
- Επηρεάζει σημαντικά τις δορυφορικές και οπτικές επικοινωνίες

Καθυστέρηση πακέτου και διακύμανση

- Καθυστέρηση πακέτου (delay/latency): Ο χρόνος τον οποίο χρειάζεται μια μονάδα δεδομένων για να φτάσει στον προορισμό του.
- Στόχος: Χαμηλή καθυστέρηση και σταθερή μεταξύ διαδοχικών πακέτων
- Πρόβλημα όταν τα πακέτα φτάνουν με διαφορετική καθυστέρηση
- Διακύμανση καθυστέρησης: Πόσο διαφέρει η καθυστέρηση του κάθε πακέτου που λαμβάνουμε

Διόρθωση σφαλμάτων

Σφάλματα και τεχνικές

- Σφάλμα: Αθέμιτη αλλαγή στην τιμή κάποιου bit που προκαλεί αλλοίωση στην πληροφορία
- Αποτέλεσμα θορύβου, δηλαδή παρασιτικού σήματος που μεταδίδεται μαζί με το κανονικό σήμα
- Αλλοίωση στο μέσο μετάδοσης που παραμορφώνει το μεταδιδόμενο σήμα
- Συναντάται ως bit error rate (BER) και είναι ανάλογο του ρυθμού μετάδοσης
- Τεχνικές:
 - Έλεγχος ισοτιμίας
 - Δισδιάστατες τεχνικές ελέγχου ισοτιμίας
 - Κυκλικοί κώδικες πλεονασμικού
 - Κώδικες σταθερού λόγου

Έλεγχος ισοτιμίας

- Το πλήθος των 1 σε κάθε χαρακτήρα (ομάδα bit) θα πρέπει να είναι ζυγός (άρτια ισοτιμία – even parity) ή μονός (περιττή ισοτιμία – odd parity).
- Ανάλογα με τη συνθήκη ισοτιμίας, προστίθεται ένα bit στο τέλος κάθε χαρακτήρα για να ικανοποιείται η συνθήκη (bit ισοτιμίας – parity bit)
- άρτια ισοτιμία $M = 01001101$
- περιττή ισοτιμία $M = 11001101$
- Δεν εντοπίζει παραπάνω από δυο σφάλματα στον ίδιο χαρακτήρα!!

Έλεγχος ισοτιμίας σε δυο διαστάσεις (άσκηση εκτός ύλης)

- Τοποθετούμε τους χαρακτήρες σε δυο διαστάσεις
- Κρατάμε το bit ισοτιμίας και προσθέτουμε έναν ακόμη χαρακτήρα (LRC) με bit ισοτιμίας για να ελέγχουμε «ανά στήλη»
- Στο παράδειγμα, εντοπίζεται η θέση δυο σφαλμάτων ελέγχοντας την ισοτιμία ανά στήλη και ανά γραμμή
- Βρίσκοντας τη θέση του σφάλματος, μπορούμε και να το διορθώσουμε

Δεδομένα
εκπομπής

		1	2	3	4	5	6	7	Pj	← Bit
Byte 1	H	0	0	0	1	0	0	1	1	VRC
Byte 2	E	1	0	1	0	0	0	1	0	
Byte 3	L	0	0	1	1	0	0	1	0	
Byte 4	L	0	0	1	1	0	0	1	0	
Byte 5	O	1	1	1	1	0	0	1	0	
Byte 6	(SP)	0	0	0	0	0	1	0	0	
...	J	0	1	0	1	0	0	1	0	LRC
...	I	1	0	0	1	0	0	1	0	
Byte n	M	1	0	1	1	0	0	1	1	
		1	1	0	0	1	0	1	1	

Δεδομένα
στον δέκτη

		1	2	3	4	5	6	7	Pj	← Bit
Byte 1	H	0	0	0	1	0	0	1	1	VRC
Byte 2	E	1	0	1	0	0	0	1	0	
Byte 3	L	0	0	1	1	0	0	1	0	
Byte 4	L	0	0	1	1	0	0	1	0	
Byte 5	O	1	1	0	1	1	0	1	0	
Byte 6	(SP)	0	0	0	0	0	1	0	0	
...	J	0	1	0	1	0	0	1	0	LRC
...	I	1	0	0	1	0	0	1	0	
Byte n	M	1	0	1	1	0	0	1	1	
		1	1	1	0	0	0	1	1	

Σχήμα 2.18 Ανίχνευση σφαλμάτων με διδιάστατο κώδικα

Κυκλικός Έλεγχος Πλεονασμού (CRC)

(άσκηση εκτός ύλης)

- Ελέγχει αν σε ένα block δεδομένων υπάρχει σφάλμα – Απλή και οικον. λύση
- Αποστολέας και παραλήπτης συμφωνούν σε ένα πολυώνυμο-γεννήτορα $G(x)$
- Η ακολουθία bit αναπαρίσταται ως πολυώνυμο. Για παράδειγμα:

$$1101011011 \rightarrow M(x) = x^9 + x^8 + x^6 + x^4 + x^3 + x^1 + x^0$$

- Ο αποστολέας πολλαπλασιάζει το $M(x)$ με την k δύναμη του $G(x)$ και διαιρεί το αποτέλεσμα με το $G(x)$. Δηλαδή:

$$R(x) = M(x) \cdot x^k / G(x)$$

- Ο αποστολέας μεταδίδει το εξής: $T(x) = M(x) \cdot x^k + R(x)$
- Ο παραλήπτης διαιρεί το $T(x)$ με το $G(x)$. Αποτέλεσμα 0 σημαίνει μετάδοση χωρίς σφάλματα

Εμπροσθόδοτη Διόρθωση Σφαλμάτων (FEC)

- Forward Error Correction: Ειδική κατηγορία κωδίκων πλεονασμού
- Τα δεδομένα χωρίζονται σε ομάδες bit και σε κάθε ομάδα προστίθεται μια πλεονάζουσα ομάδα bit του κώδικα.
- Μια ομάδα bit δεδομένων μαζί με τα bit ελέγχου ονομάζεται κωδικολέξη (codeword)
- Επιτρέπει και τη διόρθωση σφαλμάτων
- Παράδειγμα: Κώδικας των Reed-Solomon.