

Δίκτυα Απευθείας Ζεύξης

Επικοινωνία μεταξύ δύο υπολογιστών οι οποίοι είναι απευθείας συνδεδεμένοι.

Περίληψη

- Ζεύξεις σημείου προς σημείο (point-to-point links)
 - Πλαισίωση (framing)
 - Ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων (error detection and correction)

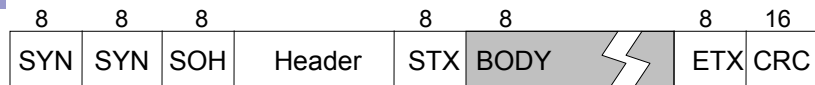
Πλαισίωση (Framing)

- Στο επίπεδο «ζεύξης δεδομένων» δύο υπολογιστές ανταλλάσσουν **πλαίσια** (frames).
- Ένα πλαίσιο περιέχει:
 - Διεύθυνση παραλήπτη
 - Δεδομένα
 - Κώδικα ανίχνευσης σφαλμάτων κατά την επικοινωνία
 - Αρχή και τέλος!
 - Πρωτόκολλο (προαιρετικό: σε περίπτωση που κάποια μηχανή υποστηρίζει διάφορα πρωτόκολλα)

Πλαίσια βασισμένα σε χαρακτήρες (bytes)

- **Binary Synchronous Communication (BISYNC)**
 - IBM, 1960's
- **Digital Data Communication Message Protocol (DDCMP)**
 - Digital Equipment Corporation DECNET.
- **Point-to-Point Protocol (PPP)**

Binary Synchronous Communication (BISYNC)

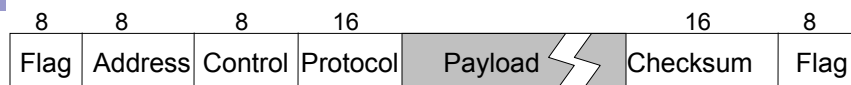


- SYN: Synchronization (χαρακτήρας συγχρονισμού)
- SOH: Start of Header (αρχή της επικεφαλίδας)
- STX: Start of Text (Αρχή δεδομένων)
- ETX: End of Text (Τέλος δεδομένων)
- CRC: Cyclic Redundancy Check (κώδικας ανίχνευσης σφάλματος)
- BODY: Πληροφορίες

Πρόβλημα:

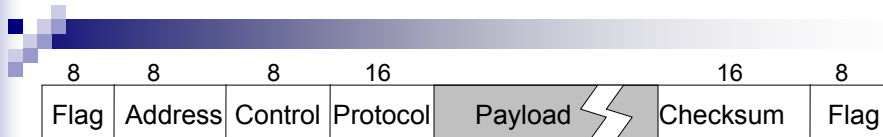
Λύση:

Point-to-Point Protocol (PPP)



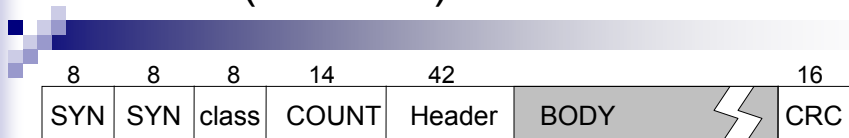
- Flag: Χαρακτήρας συγχρονισμού
- Protocol: LCP, NCP, IP ή IPX
- Το Payload έχει σταθερό μέγεθος το οποίο «διαπραγματεύονται» ο αποστολέας και παραλήπτης
 - Συνήθως 1500 bytes.
- Το PPP επιτρέπει όπως ο αποστολέας και παραλήπτης διαπραγματευθούν το μέγεθος των διαφόρων χαρακτήρων.

Point-to-Point Protocol (PPP)



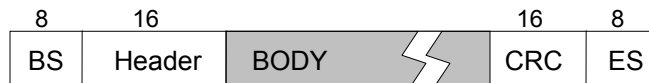
- Χρησιμοποιείται ευρέως για τις συνδέσεις στο διαδίκτυο.
 - Επιτρέπει τον διαχωρισμό των πλαισίων
 - LCP (Link Control Protocol): υποστηρίζει την αυτόματη ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των ζεύξεων
 - NCP (Network Control Protocol): Παρέχει υπηρεσίες στο επίπεδο δικτύου, π.χ., διαπραγματεύεται τη διεύθυνση IP.

Digital Data Communication Message Protocol (DDCMP)



- SYN: Synchronization (χαρακτήρας συγχρονισμού)
- COUNT: ο αριθμός των bytes στο BODY του μηνύματος.
- Πως αποκαθίσταται η επικοινωνία σε περίπτωση που το COUNT έχει σφάλμα;
 - Ο Δέκτης μαζεύει όλα τα bytes μέχρι το λανθασμένο COUNT
 - Αντιλαμβάνεται το λάθος από το CRC και αγνοεί το πλαίσιο.
 - Περιμένει για τους επόμενους χαρακτήρες συγχρονισμού.

Πλαίσια βασισμένα σε συρμούς ψηφίων (bit streams)



■ High-level Data Link Control (HDLC)

- BS: Beginning Sequence 01111110
- ES: Ending Sequence 01111110
- Η σειρά 01111110 μεταδίδεται επίσης και όταν το κανάλι είναι ανενεργό.
- Πως αντιμετωπίζεται η περίπτωση όπου η σειρά 01111110 παρουσιάζεται μέσα στα δεδομένα;

Παράδειγμα bit-stuffing

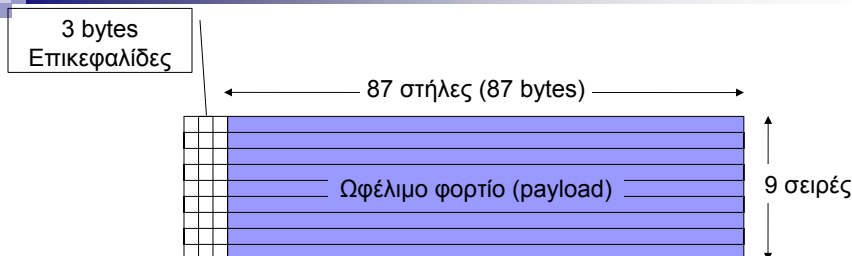
- Πως αντιμετωπίζεται η περίπτωση όπου η σειρά 01111110 παρουσιάζεται μέσα στα δεδομένα;
- Ο αποστολέας μόλις στείλει 5 συνεχόμενα 1, (δεδομένου ότι δεν θέλει να στείλει το ES), τότε στέλνει «0» και μετά συνεχίζει με τα υπόλοιπα ψηφία.
- Ο παραλήπτης, μόλις παραλάβει 5 συνεχόμενα 1, τότε ελέγχει το επόμενο ψηφίο
 - Εάν είναι «0», τότε υποθέτει ότι αποτελεί bit-stuffing, το αγνοεί και συνεχίζει την λήψη των υπολοίπων ψηφίων.
 - Εάν όμως είναι «1», τότε αντιλαμβάνεται ότι το πλαίσιο είτε έχει τελειώσει είτε υπάρχει κάποιο λάθος και παίρνει το επόμενο ψηφίο.
 - Εάν είναι «0», δηλαδή έχει πάρει 01111110, τότε το πλαίσιο έχει τελειώσει.
 -

Πλαίσια βασισμένα σε ρολόι

■ Σύγχρονο Οπτικό Δίκτυο - Synchronous Optical Network (SONET)

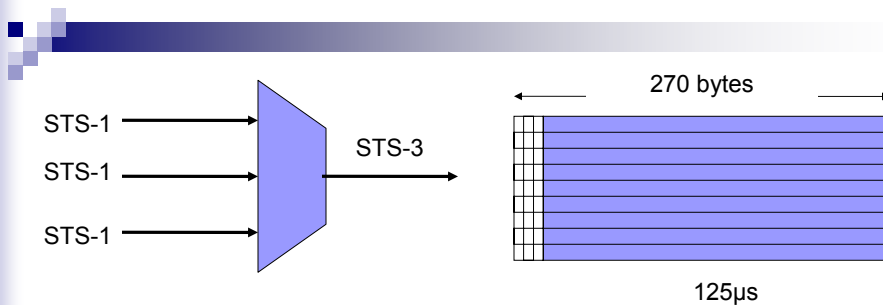
- Το επικρατέστερο πρότυπο για οπτικά δίκτυα μεγάλης απόστασης.
- Χρησιμοποιείται για την πολυπλεξία πολλών ζεύξεων χαμηλής ταχύτητας σε μία ζεύξη υψηλής ταχύτητας.
- Ταχύτητες: STS-1: 51.84Mbps – STS-48: 2488.32Mbps
 - Ακέραια πολλαπλάσια του 51.84Mbps
- Κάθε πλαίσιο διαρκεί 125μs και χρησιμοποιεί κωδικοποίηση NRZ.
 - Για το συγχρονισμό αποστολέα-παραλήπτη, το σήμα αναδεύεται (scrabbled) έτσι ώστε να αποφεύγονται μεγάλες ακολουθίες από 0 ή 1.

Πλαίσιο SONET STS-1



- 2 από τα bytes κάθε επικεφαλίδας αποτελούν κώδικες συγχρονισμού.
- Δεν υπάρχει ανάγκη για byte-stuffing
 - Ο παραλήπτης περιμένει ότι ο κώδικας συγχρονισμού θα εμφανίζεται περιοδικά κάθε 90 bytes.

Πλαίσιο SONET



- Πολυπλεξία byte προς byte
- Το ωφέλιμο φορτίο ενός πλαισίου μπορεί να ξεκινήσουν από οποιοδήποτε σημείο του πλαισίου. Στην επικεφαλίδα υπάρχει ένας δείκτης (pointer) στην αρχή των δεδομένων.

Ανίχνευση Σφαλμάτων (Error Detection)

- Σφάλματα λόγω θορύβου ή παρεμβολών
- Ανίχνευση και Διόρθωση Σφαλμάτων
 - Προϋποθέτουν την αποστολή πλεονάζων πληροφοριών (redundant information).
 - Π.χ. ένα πακέτο αποστέλλεται δύο φορές...
- Μέθοδοι ανίχνευσης σφάλματος
 - Δισδιάστατη Ισοτιμία (two-dimensional parity)
 - Άθροισμα ελέγχου (check sum)
 - Κυκλικός Κώδικας Πλεονασμού (Cyclic Redundancy Check CRC).

Ανίχνευση Σφαλμάτων (Error Detection)

- Τι γίνεται σε περίπτωση που ανιχνευθεί σφάλμα;
 - Επαναμετάδοση (retransmission): Ο δέκτης ζητά από τον αποστολέα να ξαναστείλει το πλαίσιο
 - Στο πλαίσιο μπορεί να περιληφθούν πλεονάζων πληροφορίες έτσι που ο δέκτης να μπορεί να επιδιορθώσει τα σφάλματα (error correction codes).
- Πότε χρησιμοποιούμε επαναμετάδοση και πότε επιδιόρθωση σφάλματος;

Δισδιάστατη Ισοτιμία (Parity)

- 1 bit σε κάθε byte χρησιμοποιείται σαν bit ισοτιμίας.
 - Το άθροισμα όλων των bits να είναι ζυγό (even parity)
 - Το πρωτόκολλο μπορεί να καθορίζει είτε ζυγή (even parity) ισοτιμία είτε μονή ισοτιμία (odd parity)
- Τα δεδομένα τοποθετούνται σε ένα πίνακα (matrix)
 - Το άθροισμα όλων των στηλών και γραμμών να είναι ζυγό (even parity)
- Η μέθοδος ανιχνεύει σφάλματα στις περιπτώσεις που υπάρχουν 1 ή 2 ή 3 σφάλματα σε ένα πλαίσιο ή πολλές φορές ακόμα και 4.
- Πλεονάζων πληροφορίες = $8 + n$ bits, όπου $n = \text{dataBits}/7$
 - Πολύ πιο αποδοτικό από το να σταλούν όλα τα δεδομένα 2 φορές και επίσης υπάρχει καλύτερη πιθανότητα ανίχνευσης των σφαλμάτων

Παράδειγμα Δισδιάστατης Ισοτιμίας

0	1	0	1	0	0	1	
1	1	0	1	0	0	1	
1	0	1	1	1	1	0	
0	0	0	1	1	1	0	
0	1	1	0	1	0	0	
1	0	1	1	1	1	1	

Bits ισοτιμίας
(parity bits)

Παράδειγμα Δισδιάστατης Ισοτιμίας

Ο δέκτης παρέλαβε το πιο κάτω πλαίσιο:

0	1	0	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	0	1	0
1	0	1	0	1	1	0	1
0	0	0	1	1	1	0	1
0	1	1	0	1	0	0	1
1	0	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	0	1	1	0

Ο δέκτης μπορεί επίσης
να επιδιορθώσει το
σφάλμα!

Παράδειγμα Δισδιάστατης Ισοτιμίας

Ο δέκτης παρέλαβε το πιο κάτω πλαίσιο:

0	1	0	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	0	1	0
1	0	1	0	0	1	0	1
0	0	0	1	1	1	0	1
0	1	1	0	1	0	0	1
1	0	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	0	1	1	0

Άθροισμα Ελέγχου (checksum)

- Ο αποστολέας απλά προσθέτει όλες τις λέξεις (words) του πλαισίου και επισυνάπτει το άθροισμα στο πλαίσιο (ones complement addition).
- Ο παραλήπτης κάνει το ίδιο (απλά προσθέτει όλες τις λέξεις του πλαισίου και συγκρίνει το αποτέλεσμα με το Άθροισμα Ελέγχου που παρέλαβε με το πλαίσιο.
 - Εάν τα δύο αθροίσματα είναι τα ίδια, τότε το πλαίσιο είναι αποδεκτό.
 - Εάν τα δύο αθροίσματα διαφέρουν, τότε το πλαίσιο απορρίπτεται.
- Ο αλγόριθμος αυτός συνήθως δεν χρησιμοποιείται στη ζεύξη δεδομένων.

Κυκλικός Κώδικας Πλεονασμού (Cyclic Redundancy Check CRC).

- Βασισμένη στη θεωρία των πεπερασμένων πεδίων.
- Κάθε συρμός (bit stream) αντιπροσωπεύει ένα πολυώνυμο $M(x)$
 - $(n+1)$ -bit συρμός αντιπροσωπεύει πολυώνυμο βαθμού n .
 - $1001 \rightarrow M(x) = 1x^3+0x^2+0x^1+1x^0 = x^3+x^0$
- Επιλογή διαιρέτη: Πολυώνυμο $C(x)$ βαθμού k το οποίο **γνωρίζουν** ο αποστολέας και παραλήπτης.
- Ο αποστολέας στέλνει το πολυώνυμο $P(x)$ το οποίο είναι βαθμού $n+k$ (δηλαδή $n+k+1$ bits).
- Το πολυώνυμο $P(x)$ επιλέγεται έτσι ώστε το υπόλοιπο της διαίρεσης $P(x) / C(x)$ να είναι 0.
 - Ο παραλήπτης κάνει τη διαίρεση και αν υπάρχει υπόλοιπο τότε το δεδομένο πλαίσιο έχει κάποιο σφάλμα.
 - Εάν δεν υπάρχει υπόλοιπο, τότε **πιθανότατα** το πλαίσιο παραλήφθηκε σωστά.

Ιδιότητες Διαίρεσης Πολυωνύμων

- Ένα πολυώνυμο $T(x)$ διαιρείται από το $C(x)$ εφόσον το $T(x)$ είναι μεγαλύτερου βαθμού από το $C(x)$.
- Ένα πολυώνυμο $T(x)$ διαιρείται από το $C(x)$ εφόσον το $T(x)$ είναι ίσου βαθμού με το $C(x)$.
- Το υπόλοιπο της διαίρεσης $T(x) / C(x)$ βρίσκεται με την αφαίρεση του $C(x)$ από το $T(x)$.
- Η αφαίρεση του πολυωνύμου $C(x)$ από το $T(x)$ βρίσκεται απλά με την πράξη Exclusive-OR (XOR) σε κάθε ζεύγος αντίστοιχων συντελεστών.

Κυκλικός Κώδικας Πλεονασμού

- Ο αποστολέας θέλει να μεταδώσει τα δεδομένα που αντιστοιχούν στο πολυώνυμο $M(x)$.
- Αποστολέας και παραλήπτης συμφωνούν τον διαιρέτη $C(x)$ ο οποίος είναι βαθμού k .
- Ο αποστολέας πολλαπλασιάζει $M(x)$ επί x^k για να δημιουργήσει το πολυώνυμο $T(x)$, δηλαδή $T(x) = x^k M(x)$.
- Ο αποστολέας διαιρεί το $T(x)$ δια $C(x)$ και βρίσκει το υπόλοιπο $R(x)$.
- Αφαιρείται το $R(x)$ από το $T(x)$ και το αποτέλεσμα $P(x) = T(x) - R(x)$ αποτελεί το συρμό ή πλαίσιο που αποστέλλεται στον παραλήπτη.

Παράδειγμα

- Ο αποστολέας θέλει να στείλει το συρμό 10011010.
- Αντίστοιχο πολυώνυμο:
- Πολυώνυμο Διαίρεσης $C(x) = x^3 + x^2 + 1$
- Πολλαπλασιάζουμε το $M(x)$ επί x^3 με αποτέλεσμα

- Το οποίο αντιστοιχεί στο συρμό 10011010000
- Στη συνέχεια εκτελούμε τη διαίρεση

$$\frac{x^{10} + x^7 + x^6 + x^4}{x^3 + x^2 + 1}$$

Παράδειγμα

$$\begin{array}{r|l} x^{10} + 0x^9 + 0x^8 + x^7 + x^6 + 0x^5 + x^4 + 0x^3 + 0x^2 + 0x^1 + 0x^0 & x^3 + x^2 + 1 \\ \hline x^{10} + x^9 + 0x^8 + x^7 & \end{array}$$

Για συντομία οι μεταβλητές x δεν χρησιμοποιούνται αλλά απλά εννοούνται.

Παράδειγμα

$$\begin{array}{r|l} 10011010000 & 1101 \\ \hline & \end{array}$$

Παράδειγμα: Επαλήθευση παραλήπτη

1 0 0 1 1 0 1 0 1 0 1 | 1 1 0 1

Πολυώνυμα Διάρθρωσης C(x)

CRC	Πολυώνυμο
CRC-8	$x^8+x^2+x^1+1$
CRC-10	$x^{10}+x^9+x^5+x^4+x^1+1$
CRC-12	$x^{12}+x^{11}+x^3+x^2+x^1+1$
CRC-16	$x^{16}+x^{15}+x^2+1$
CRC-CCITT	$x^{16}+x^{12}+x^5+1$
CRC-32	$x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+$ $+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x^1+1$

Πλαισίωση, έλεγχος σφαλμάτων και θόρυβος...

- Υποθέτουμε πως έχουμε πλαίσιο μεγέθους n bits και η πιθανότητα σφάλματος σε ένα bit = p (ανεξάρτητη από την πιθανότητα σφάλματος σε οποιοδήποτε άλλο bit).
- Πιθανότητα αλάνθαστης μετάδοσης του πλαισίου $(1-p)^n$
- Όσο μεγαλώνει ένα πλαίσιο, μεγαλώνει και η πιθανότητα σφάλματος!
- Όσο μικραίνει ένα πλαίσιο αυξάνονται και οι μη ωφέλιμες πληροφορίες (επικεφαλίδες κλπ) που μεταδίδονται
- Εάν η πιθανότητα λάθους σε ένα πλαίσιο είναι «μικρή» τότε, σε περίπτωση λάθους, ο παραλήπτης μπορεί να ζητήσει επαναμετάδοση του πλαισίου.
- Σε περίπτωση που η πιθανότητα λάθους σε ένα πλαίσιο είναι «μεγάλη», τότε μπορεί να είναι πιο αποδοτικό να χρησιμοποιείται διόρθωση λαθών (π.χ. Forward error correction code FEC).