

Δίκτυα Υπολογιστών

Καθηγητής: Χρήστος Δουληγέρης

Γραφείο: 302

E-mail : cdoulig@unipi.gr



Τμήμα Πληροφορικής
Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Κεφάλαιο 3: Επίπεδο Σύνδεσης Δεδομένων

Δεδομένα

Κεφάλαιο 3: Επίπεδο Σύνδεσης

Εισαγωγή

ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Το **επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (Data Link Layer)** ασχολείται με θέματα όπως:

- η πλαισίωση των δεδομένων (Data Framing),
- ο έλεγχος (πειθαρχίας) της γραμμής (Line Discipline),
- ο έλεγχος ροής (Flow Control) και
- ο έλεγχος σφαλμάτων (Error Control).

Πλαισίωση Δεδομένων

- Τα δεδομένα ομαδοποιούνται σε πλαίσια (frames) των οποίων το μέγεθος είναι κυμαινόμενο και εξαρτάται από τις ιδιαιτερότητες του πρωτοκόλλου που χρησιμοποιείται.
- Τα πλαίσια χωρίζονται σε πεδία (fields), τα bits ή bytes των οποίων είτε χρησιμεύουν για τις λειτουργικές ανάγκες του καναλιού επικοινωνίας (ή γενικότερα του συστήματος επικοινωνίας), είτε απλά μεταφέρουν τα δεδομένα των χρηστών.
- Έτσι, υπάρχουν τα πεδία:
 - διευθύνσεων (Address Field),
 - ελέγχου (Control Field),
 - πληροφορίας (Information Field)
 - και άλλα, ανάλογα με το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται.

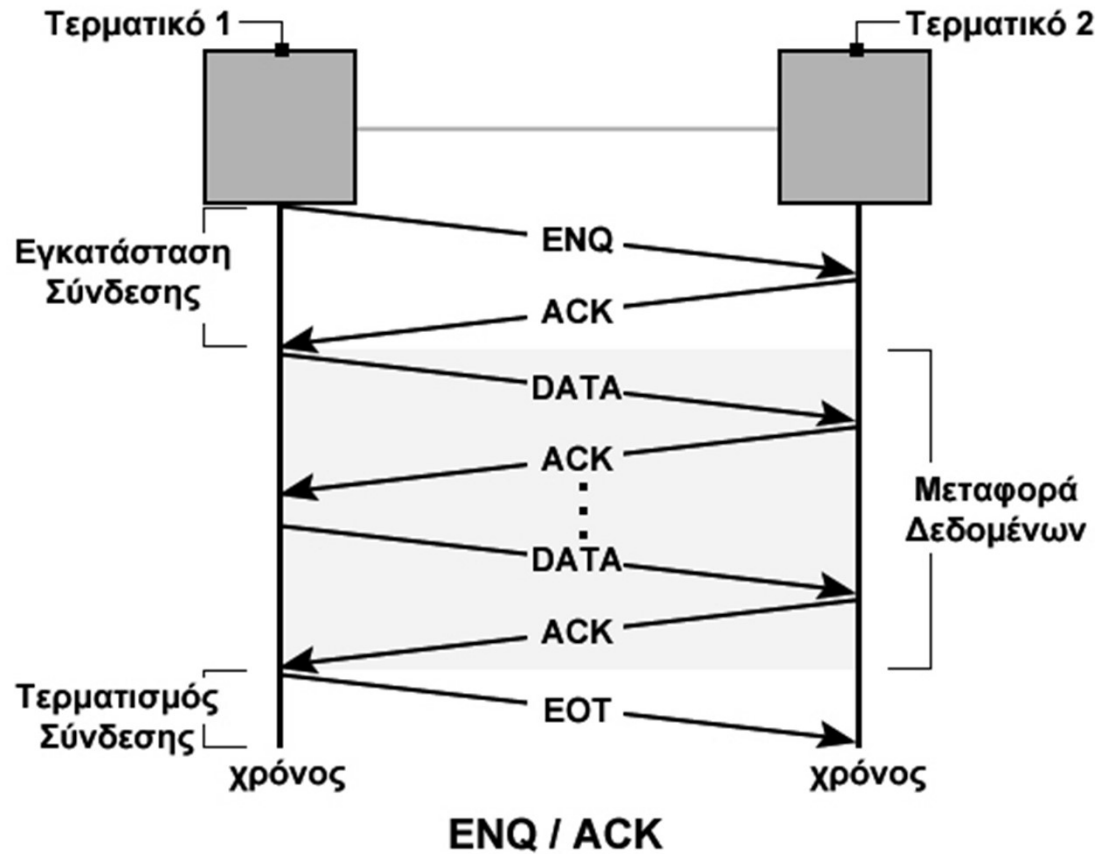
Έλεγχος Γραμμής

Ευελεχοζ Γραμμήζ

Enquiry / Acknowledgement

- Χρησιμοποιείται για επικοινωνία μεταξύ 2 ισοτίμων (peer-to-peer) συσκευών.
- Η επικοινωνία πραγματοποιείται είτε σε full duplex, είτε σε half duplex μορφή.
- Η συσκευή που θέλει να στείλει δεδομένα, στέλνει στην άλλη ένα ENQ frame.
- Αν ο υποψήφιος δέκτης είναι σε θέση να δεχθεί τα δεδομένα, επιστρέφει ένα ACK frame, αλλιώς στέλνει ένα NACK (Negative Acknowledgement) frame.
- Αν ο δέκτης δεν αποκριθεί μέσα σε κάποιο χρονικό διάστημα, ο πομπός κάνει μέχρι 3 προσπάθειες, στέλνοντας ENQ frames.
- Αν δεν λάβει απάντηση, αποσυνδέεται και περιμένει κάποια άλλη χρονική στιγμή.
- Το τέλος αποστολή δεδομένων δηλώνεται με ένα πλαίσιο EOT (End of Transmission).

Enquiry / Acknowledgement (συνέχεια)



Τεχνική ENQ / ACK για τον έλεγχο της γραμμής

Γενικά

- Χρησιμοποιείται όταν στη γραμμή υπάρχουν πολλές συσκευές (multipoint τοπολογίες).
- Η μία από αυτές είναι η πρωτεύουσα (primary) συσκευή, ενώ οι άλλες είναι οι δευτερεύουσες (secondary).
- Όλες οι επικοινωνίες μπορούν να γίνουν διαμέσου της πρωτεύουσας συσκευής, καθώς αυτή ελέγχει τη γραμμή (line).

Poll / Select (συνέχεια)

Poll

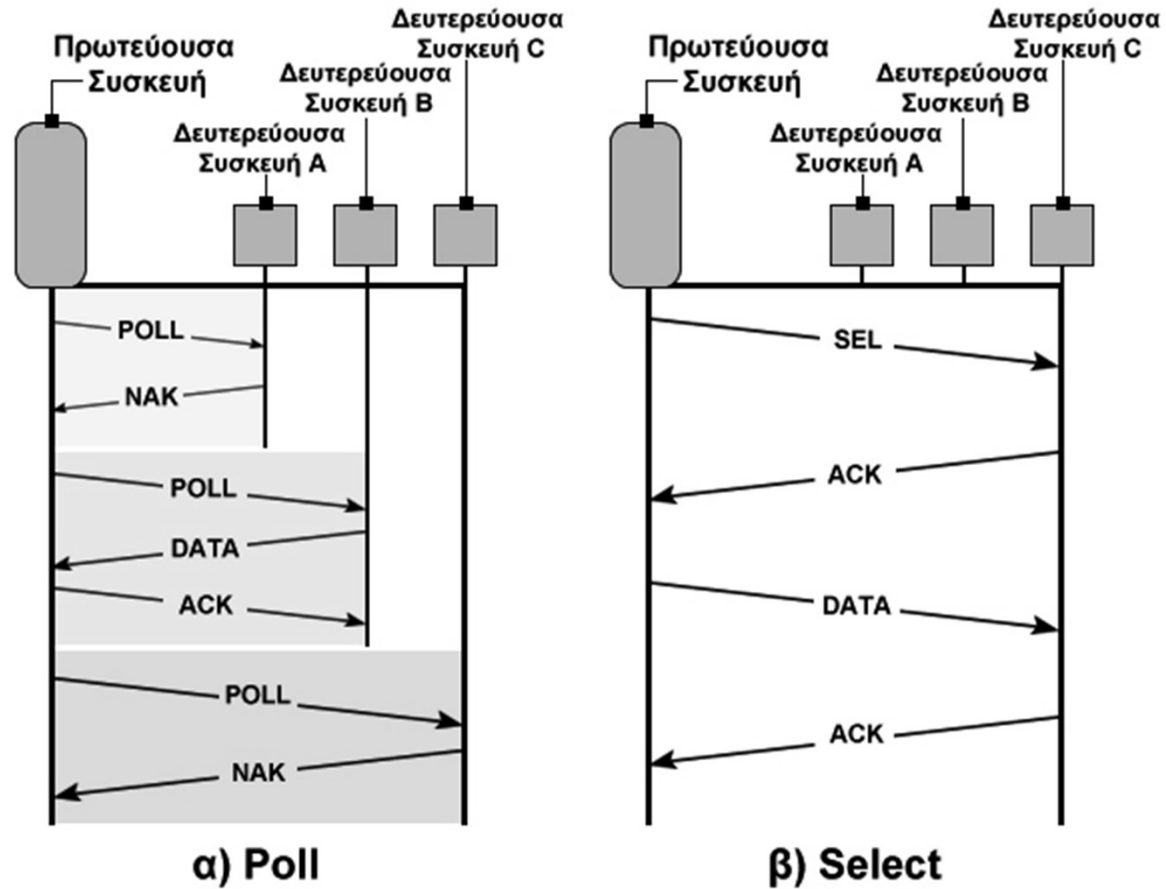
- Με την ‘poll’ διαδικασία, η πρωτεύουσα “ρωτάει” την κάθε δευτερεύουσα αν έχει δεδομένα να στείλει.
 - Αν **ΝΑΙ**, η δευτερεύουσα απαντάει στέλνοντας πλαίσια δεδομένων.
 - Αν **ΟΧΙ**, στέλνει ένα NAK frame και η primary συσκευή περνάει στη επόμενη secondary.
- Ανάλογα με το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται, η πρωτεύουσα συσκευή, είτε επιβεβαιώνει (ACK) το κάθε πλαίσιο δεδομένων, είτε αφήνει τη δευτερεύουσα να στέλνει συνεχώς πλαίσια.
- Ο τερματισμός αποστολής γίνεται είτε με ένα πλαίσιο EOT, είτε η πρωτεύουσα συσκευή διακόπτει τη σύνδεση μετά από κάποιο χρονικό διάστημα.

Poll / Select (συνέχεια)

Select

- Με τη διαδικασία **'select'**, η πρωτεύουσα συσκευή επιλέγει τη δευτερεύουσα, στην οποία θα στείλει δεδομένα.
- Πρώτα, στέλνει σε αυτή ένα πλαίσιο SEL (Select).
- Αυτό περνάει από όλες τις δευτερεύουσες συσκευές, αλλά μόνο αυτή που αναγνωρίζει τη διεύθυνσή της μπορεί να διαβάσει το πλαίσιο.
- Αν η δευτερεύουσα συσκευή είναι σε θέση να δεχθεί δεδομένα, επιστρέφει ένα πλαίσιο ACK

ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
Poll / Select (συνέχεια)



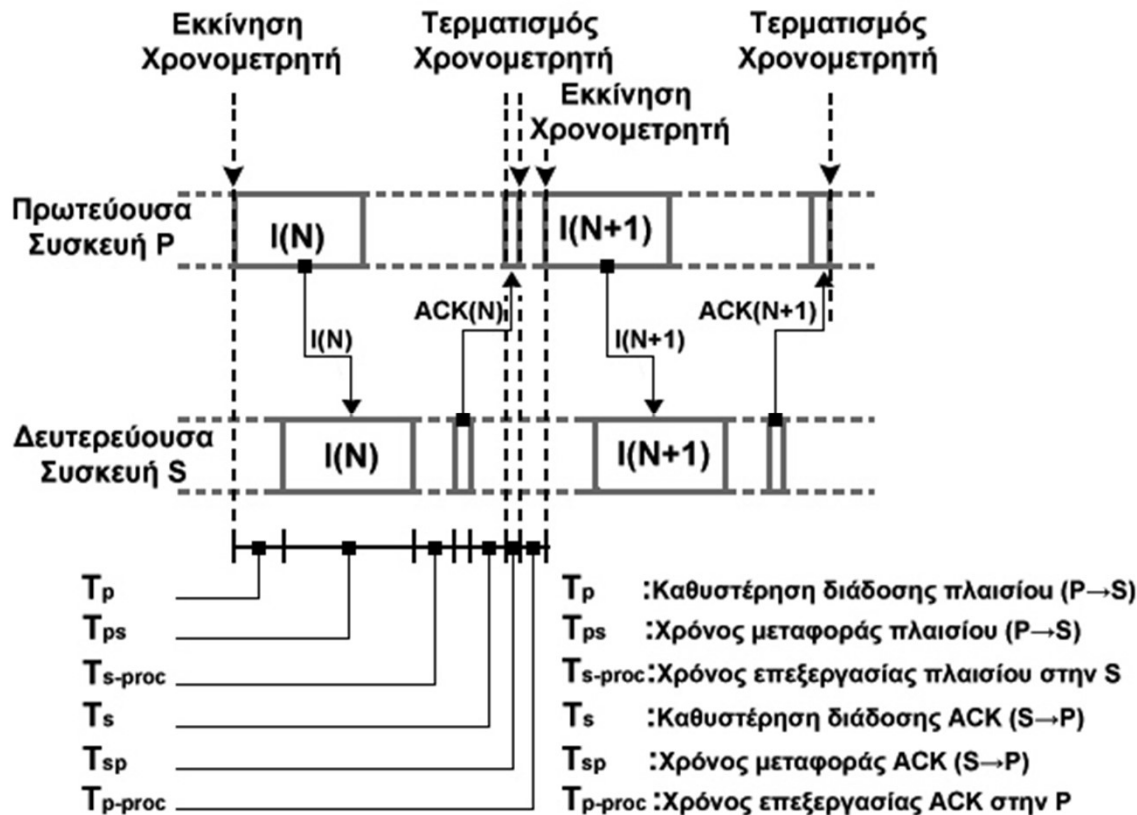
Διαδικασίες Poll και Select για τον έλεγχο της γραμμής επικοινωνίας

Έλεγχος Ροής

ΕΥΕΛΧΟΣ ΡΟΗΣ

Πρωτόκολλα Παύσης / Αναμονής

- Ο πομπός στέλνει το κάθε πλαίσιο χωριστά και περιμένει την επιβεβαίωση λήψης (ACK) για να συνεχίσει με την αποστολή ενός επόμενου πλαισίου.
- Τα πρωτόκολλα αυτά παρουσιάζουν σημαντικό μειονέκτημα, αφού είναι αργά και χρονοβόρα, ενώ δεν γίνεται χρήση όλου του εύρους ζώνης.



Το πρωτόκολλο παύσης – αναμονής χωρίς διόρθωση σφαλμάτων

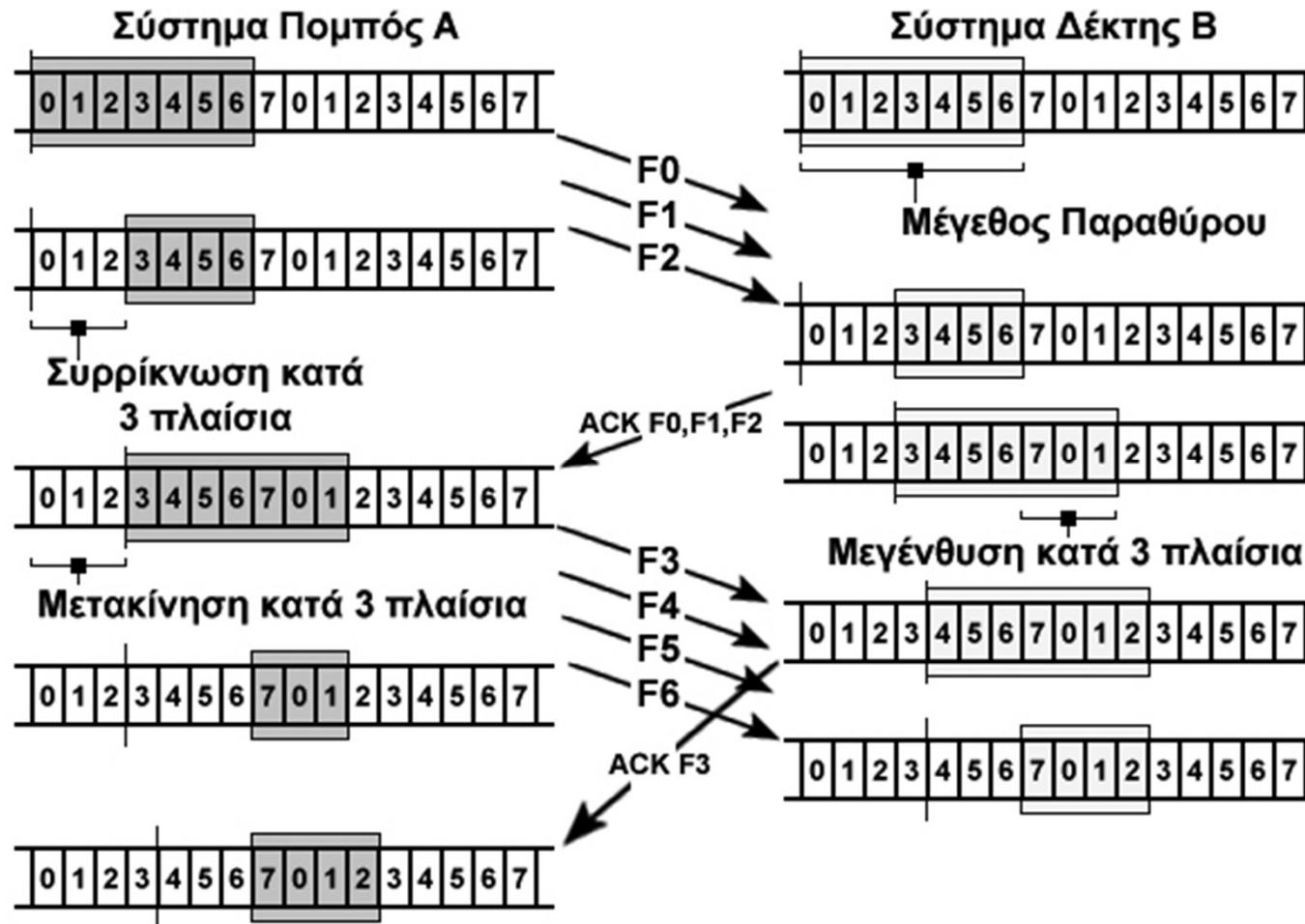
Τμήμα Πληροφορικής
Πανεπιστήμιο Πειραιώς



Πρωτόκολλα Συρόμενου Παράθυρου

- Ο όρος συρόμενο παράθυρο (Sliding Window) αναφέρεται στη μέγιστη ομάδα από frames που μπορούν να περάσουν διαμέσου της γραμμής μετάδοσης. Τα frames φέρουν αύξοντα αριθμό από 0 έως $n-1$, οπότε το συρόμενο παράθυρο περιλαμβάνει n frames.
- Στον **αποστολέα**, το συρόμενο παράθυρο εκφράζει ένα τμήμα των, προς αποστολή, frames, τα οποία βρίσκονται στον ενταμιευτή του (buffer). Καθώς τα frames φεύγουν, το παράθυρο συρρικνώνεται, ενώ όταν ληφθεί κάποιο ACK τότε το παράθυρο μεγαλώνει για να συμπεριλάβει τόσα frames, όσα επιβεβαιώθηκαν στον παραλήπτη.
- Στον **δέκτη**, το συρόμενο παράθυρο εκφράζει άδειες θέσεις στον ενταμιευτή. Καθώς λαμβάνονται πακέτα, αυτό συρρικνώνεται. Όταν στέλνεται στον πομπό κάποιο ACK frame, το παράθυρο αυξάνει κατά τόσες κενές θέσεις, όσα είναι τα frames που επιβεβαιώθηκαν.
- Τα πρωτόκολλα συρόμενου παραθύρου κάνουν σχεδόν πλήρη εκμετάλλευση του εύρους ζώνης και είναι ταχύτερα από τα πρωτόκολλα παύσης / αναμονής.

Πρωτόκολλα Συρόμενου Παραθύρου (συνέχεια)



Έλεγχος ροής με την μέθοδο
συρόμενου παραθύρου

Σφάλματα Μετάδοσης

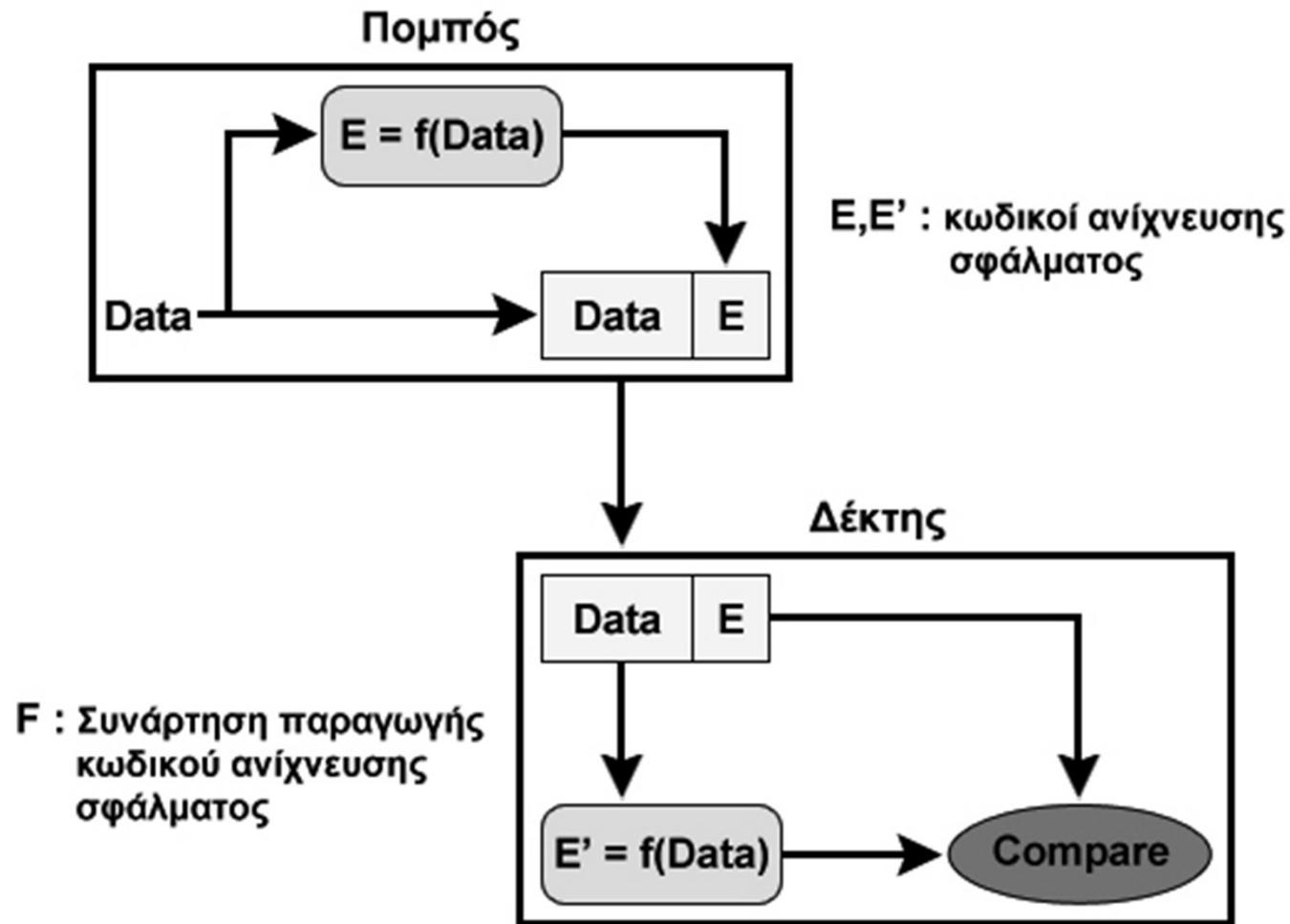
Σφάλματα Μετάδοσης

Γενικά

- Κατά τη μετάδοση των αναλογικών, κυρίως, σημάτων είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν αλλαγές στη μορφή τους και χρονικές καθυστερήσεις, εξαιτίας φαινομένων θορύβου.
- Υπάρχουν 2 τύποι σφαλμάτων μετάδοσης:
 - **Σφάλματα απλού Bit (Single-Bit Errors):** Μόνο ένα bit έχει αλλάξει στην μονάδα των δεδομένων (Data Unit, π.χ. Byte, ...), από '0' σε '1' ή από '1' σε '0'. Τέτοιου είδους σφάλματα συναντώνται, κυρίως, σε περιπτώσεις παράλληλης μετάδοσης. Για να συμβούν σε σειριακή μετάδοση, πρέπει ο θόρυβος να είναι στιγμιαίος (πολύ μικρός σε διάρκεια), πράγμα εξαιρετικά απίθανο.
 - **Σφάλματα Καταιγισμού (Burst Errors):** Περισσότερα από ένα bit έχουν αλλάξει τιμή. Ο αριθμός των bit από το πρώτο ως το τελευταίο εσφαλμένο bit αποτελεί το μήκος του (σφάλματος) καταιγισμού. Αυτού του είδους τα σφάλματα είναι συνηθέστερα και πραγματοποιούνται στη σειριακή μετάδοση.

εμφάνιση κειμένου?

Ανίχνευση Σφαλμάτων - Γενικά



Διαδικασία ανίχνευσης σφαλμάτων

Ανίχνευση Σφαλμάτων - Μέθοδοι

Vertical Redundancy Check (VRC)

- Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή και ως parity check (έλεγχος ισοτιμίας).
- Σύμφωνα με αυτή, στο τέλος του κάθε Data Unit εισάγεται ένα bit ισοτιμίας (parity bit). Αν ενδιαφέρει ο έλεγχος άρτιας ισοτιμίας, τότε:
 - Αν ο αριθμός των '1' είναι περιττός, το bit ισοτιμίας είναι το '1' ώστε ο αριθμός να γίνει άρτιος.
 - Αν ο αριθμός των '1' είναι άρτιος, το bit ισοτιμίας είναι το '0' ώστε ο αριθμός να παραμείνει άρτιος.
- Όταν το data unit φθάσει στο δέκτη, αυτός μετράει τους άσσους και αν τους βρει περιττούς, αποβάλλει το data unit.
- Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει αδυναμία όταν ένας άρτιος αριθμός από bits αλλάξει τιμή, λόγω θορύβου.
- Τα αντίθετα συμβαίνουν σε περιπτώσεις όπου ενδιαφέρει η περιττή ισοτιμία.

Ανίχνευση Σφαλμάτων – Μέθοδοι (συνέχεια)

Longitudinal Redundancy Check (LRC)

- Σύμφωνα με την τεχνική LRC, στο τέλος του κάθε πλαισίου προστίθεται ένα byte (8 bits):
 - Το πρώτο bit αποτελεί το bit ισοτιμίας όλων των πρώτων bits που υπάρχουν στα bytes δεδομένων του πλαισίου,
 - το δεύτερο bit είναι bit ισοτιμίας όλων των δεύτερων bits, κ.ο.κ.
- Σε σύγκριση με τη μέθοδο VRC:
 - η LRC **αυξάνει** την πιθανότητα εύρεσης σφαλμάτων,
 - **μειονεκτεί** όταν πραγματοποιηθεί άρτιος αριθμός αλλαγών σε bits που βρίσκονται σε ίδια θέση μέσα στα bytes των πλαισίων (περίπτωση άρτιας ισοτιμίας).

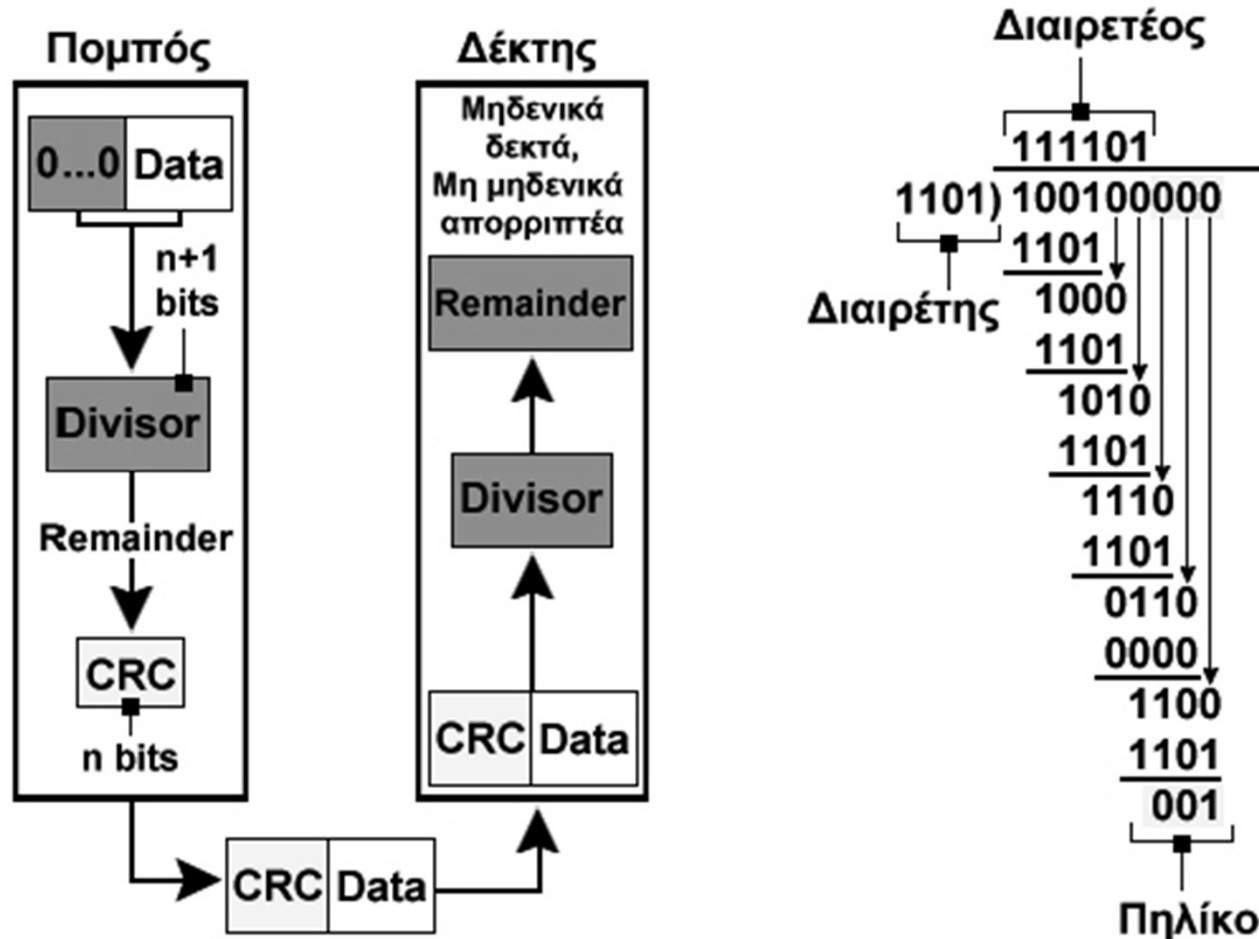
Ανίχνευση Σφαλμάτων – Μέθοδοι (συνέχεια)

Cyclic Redundancy Check (CRC)

- Η τεχνική αυτή είναι πιο αποτελεσματική στην ανίχνευση σφαλμάτων.
- Βασίζεται στη δυαδική διαίρεση.
- Ο πομπός προσαρμόζει μια ακολουθία από $n-1$ '0' στο τέλος των δεδομένων και διαιρεί το σύνολο με ένα διαιρέτη (CRC Generator των n bits).
- Ο δέκτης επαναλαμβάνει τη δυαδική διαίρεση και αν είναι τέλεια, δέχεται τα δεδομένα, αλλιώς απορρίπτει το frame.
- Ο γεννήτορας CRC μπορεί να αναπαρασταθεί και με μορφή πολυωνύμων, για συντομία και για τη μαθηματική τεκμηρίωση της τεχνικής.
- Με βάση τα πολυώνυμα, ο γεννήτορας CRC επιλέγεται έτσι ώστε να μην διαιρείται από το x και να διαιρείται από το $(x + 1)$.
- Η μέθοδος αυτή μπορεί να ανιχνεύει σε περιττού αριθμού bits, τα λάθη μήκους μικρότερου ή ίσου του βαθμού του πολυωνύμου, και με μεγάλη πιθανότητα τα λάθη καταιγισμού, μήκους μεγαλύτερου του βαθμού του πολυωνύμου.
- Τα πιο γνωστά πρωτόκολλα είναι τα: CRC –12, CRC – 16, CRC – 32 και CRC – ITU – T.

Ανίχνευση Σφαλμάτων – Μέθοδοι (συνέχεια)

Cyclic Redundancy Check (CRC) (συνέχεια)



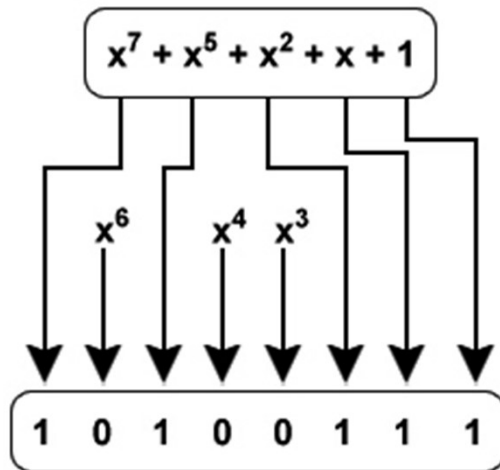
Διαδικασία
ανίχνευσης
σφαλμάτων CRC.
Παράδειγμα
δυναμικής διαίρεσης

Ανίχνευση Σφαλμάτων – Μέθοδοι (συνέχεια)

Cyclic Redundancy Check (CRC) (συνέχεια)

$$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

CRC -32



$$x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

CRC-16

$$x^{12} + x^{11} + x^3 + x + 1$$

CRC - 12

$$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

CRC - ITU

Πολυωνυμική μετατροπή του Διαιρέτη CRC. Τα πρότυπα CRC.

α) Πολυωνυμική Μετατροπή Διαιρέτη

β) Πολυωνυμικά Πρότυπα



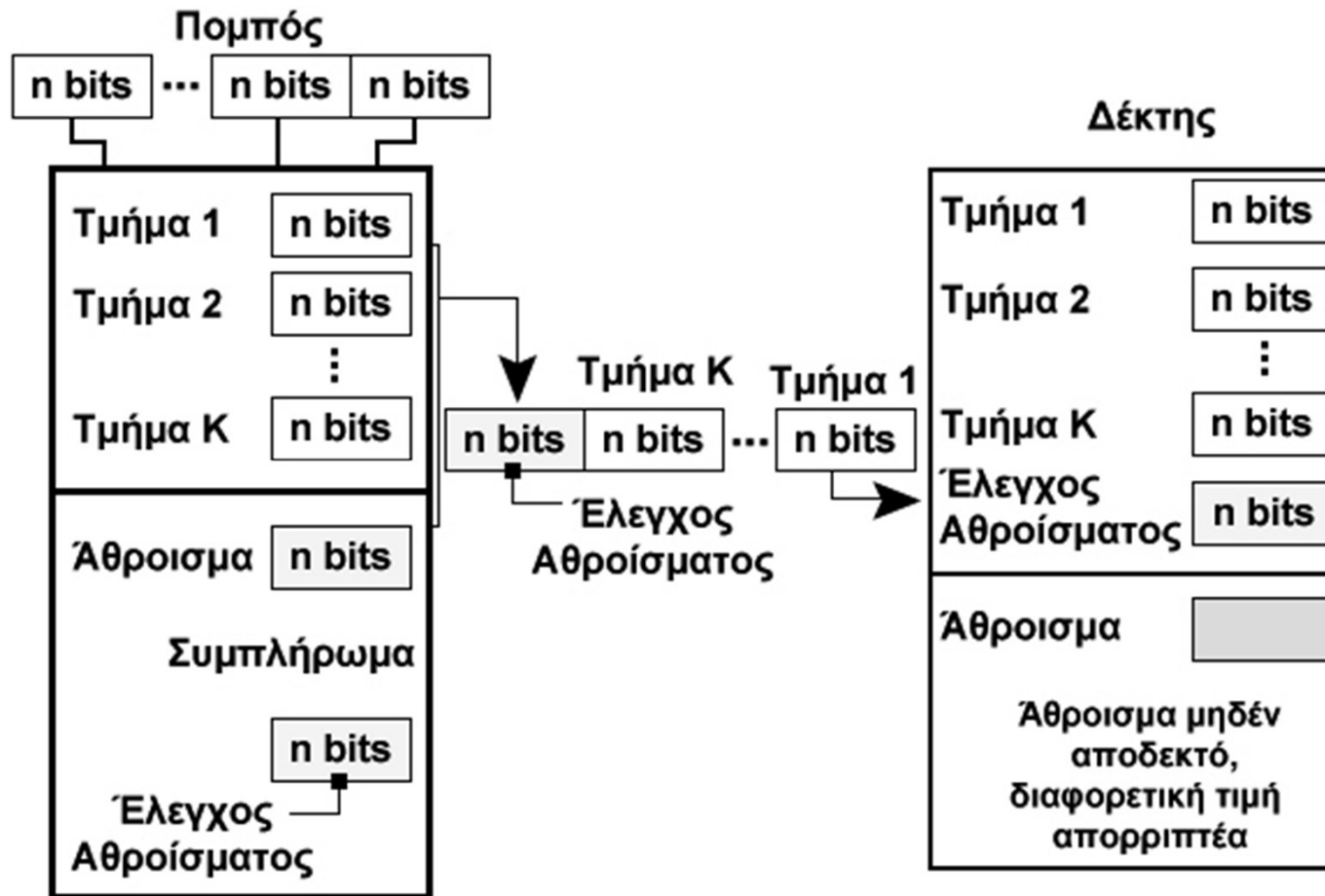
Ανίχνευση Σφαλμάτων – Μέθοδοι (συνέχεια)

Έλεγχος Αθροίσματος (Checksum)

- Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε επίπεδο ανώτερο από το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων.
- Τα μεγάλα πακέτα δεδομένων (data segments) διασπώνται σε μικρότερα και αθροίζονται με χρήση αριθμητικής συμπληρώματος του 1.
- Το άθροισμα ρυθμίζεται έτσι ώστε να είναι συγκεκριμένου μήκους (π.χ. n bits). Στο τέλος του πακέτου δεδομένων (Data Segment) προσαρτάται το συμπληρωματικό του άθροισματος αυτού (Checksum Field).
- Ο δέκτης επαναλαμβάνει την παραπάνω διαδικασία κάνοντας χρήση και του checksum. Έτσι, αν το ολικό άθροισμα είναι μηδέν, το πακέτο λαμβάνεται ως σωστό.
- Στην αντίθετη περίπτωση, κάποιο σφάλμα έχει συμβεί και το πακέτο απορρίπτεται.
- Η μέθοδος είναι αποτελεσματική για όλα του περιπτώσεως αριθμού λάθων και για τα περισσότερα λάθη αρτίου αριθμού.
- Παρουσιάζει αδυναμία όταν αλλάζουν κάποια bits ενός πακέτου και τα αντίστοιχα bits αντίθετων τιμών ενός άλλου, οπότε κατά το άθροισμα στον δέκτη, το ολικό πακέτο γίνεται δεκτό, ενώ είναι λανθασμένο.

Ανίχνευση Σφαλμάτων – Μέθοδοι (συνέχεια)

Έλεγχος Αθροίσματος (Checksum) (συνέχεια)



Η διαδικασία ανίχνευσης σφαλμάτων CheckSum.

Τμήμα Πληροφορικής Πανεπιστήμιο Πειραιώς



Διόρθωση Σφαλμάτων

Γενικά

- Η διαδικασία **διόρθωσης σφαλμάτων** είναι πιο πολύπλοκη από αυτή της ανίχνευσης και για αυτό με μεγαλύτερο κόστος.
- Δημιουργεί την ανάγκη για περισσότερα bits ελέγχου, τόσο για την ανίχνευση, όσο και για τη διόρθωση των λαθών.
- Αναφορικά με την **ανεύρεση και διόρθωση σφαλμάτων** ενός bit, έχει αποδειχθεί ότι αν r είναι αριθμός ο των bits ελέγχου (redundancy bits) και m είναι ο αριθμός των bits των δεδομένων, τότε πρέπει:

$$2^r \geq m + r + 1$$

δηλαδή, το r πρέπει να μπορεί να ξεχωρίζει $m+r+1$ καταστάσεις).

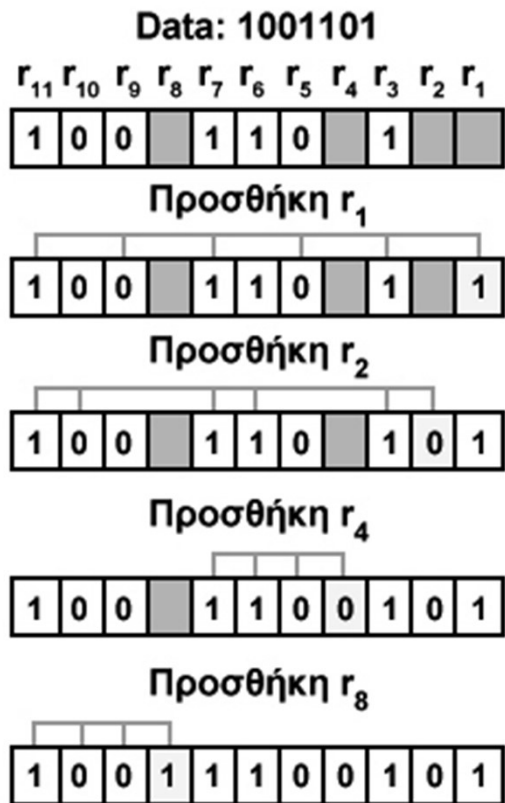
Διόρθωση Σφαλμάτων (συνέχεια)

Κώδικας Hamming

- Αφορά τη διόρθωση σφάλματος απλού bit .
- Το κάθε bit ελέγχου αποτελεί bit άρτιας ισοτιμίας (parity bit) συγκεκριμένων bits μέσα στο frame των δεδομένων.
- Το πρώτο bit ελέγχου κατέχει την 0...001 θέση μέσα στο frame και ελέγχει την άρτια ισοτιμία με όλα τα bits που καταλαμβάνουν θέσεις, των οποίων ο αύξων αριθμός είναι της μορφής $xx\dots xx1$, όπου $x \in \{0,1\}$, κ.ο.κ.
- Όταν το frame των δεδομένων φθάσει στον δέκτη, αυτός κάνει τον έλεγχο άρτιας ισοτιμίας για τις διάφορες ομάδες με το αντίστοιχο bit ελέγχου και σχηματίζει ένα δυαδικό αριθμό με βάση τις καινούργιες τιμές ισοτιμίας.
- Ο σχηματιζόμενος δυαδικός αριθμός δείχνει τη θέση μέσα στο frame, όπου βρίσκεται το λανθασμένο bit. Αν το frame είναι σωστό, ο δυαδικός αριθμός περιλαμβάνει μηδενικά ψηφία (π.χ. 000...0).
- Για τη διόρθωση λαθών καταιγισμού, ο κώδικας Hamming μπορεί να μετασκευαστεί, αλλά τα bit ελέγχου είναι υπερβολικά περισσότερα από αυτά για τη διόρθωση απλού λάθους.

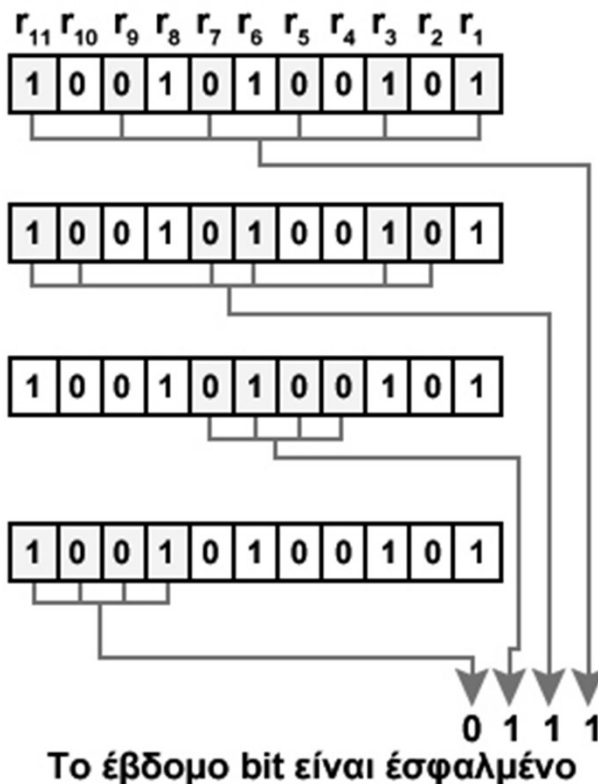
Διόρθωση Σφαλμάτων (συνέχεια)

Κώδικας Hamming (συνέχεια)



Τελικός Κώδικας: 10011100101

α) Κώδικας Hamming 11 bit



β) Ανίχνευση Σφαλμάτος με κώδικα Hamming

Παράδειγμα λειτουργίας του κώδικα Hamming για την διόρθωση σφαλμάτων



Ανάλυση Σφαλμάτων με την χρήση Θεωρίας Πιθανοτήτων

Γενικά

Αν:

p είναι η πιθανότητα ένα bit να είναι λανθασμένο και

N είναι το μήκος του πλαισίου σε αριθμό bit,

τότε η πιθανότητα να υπάρχουν ακριβώς k λανθασμένα bit σε ένα πλαίσιο δίνεται από τη σχέση:

$$P_k = \sum \binom{N}{k} p^k (1-p)^{N-k} \quad \text{όπου} \quad \binom{N}{k} = \frac{N!}{k!(N-k)!}$$

Από τον παραπάνω τύπο προκύπτει ότι:

$$P_0 = (1-p)^N, P_N = p^N \text{ και } P_1 = Np(1-p)^{N-1}$$

Έλεγχος Σφαλμάτων

Γενικά

- Υπάρχουν 2 περιπτώσεις λαθών στο επίπεδο σύνδεσης δεδομένων:
 - Κατεστραμμένο πλαίσιο.
 - Χαμένο πλαίσιο (δεδομένων ή ACK/NACK).
- Η διαδικασία ελέγχου των σφαλμάτων είναι γνωστή ως **ARQ** (**A**utomatic **R**epeat **R**equest) και είναι ενσωματωμένη στα πρωτόκολλα ελέγχου ροής.

Έλεγχος Σφαλμάτων (συνέχεια)

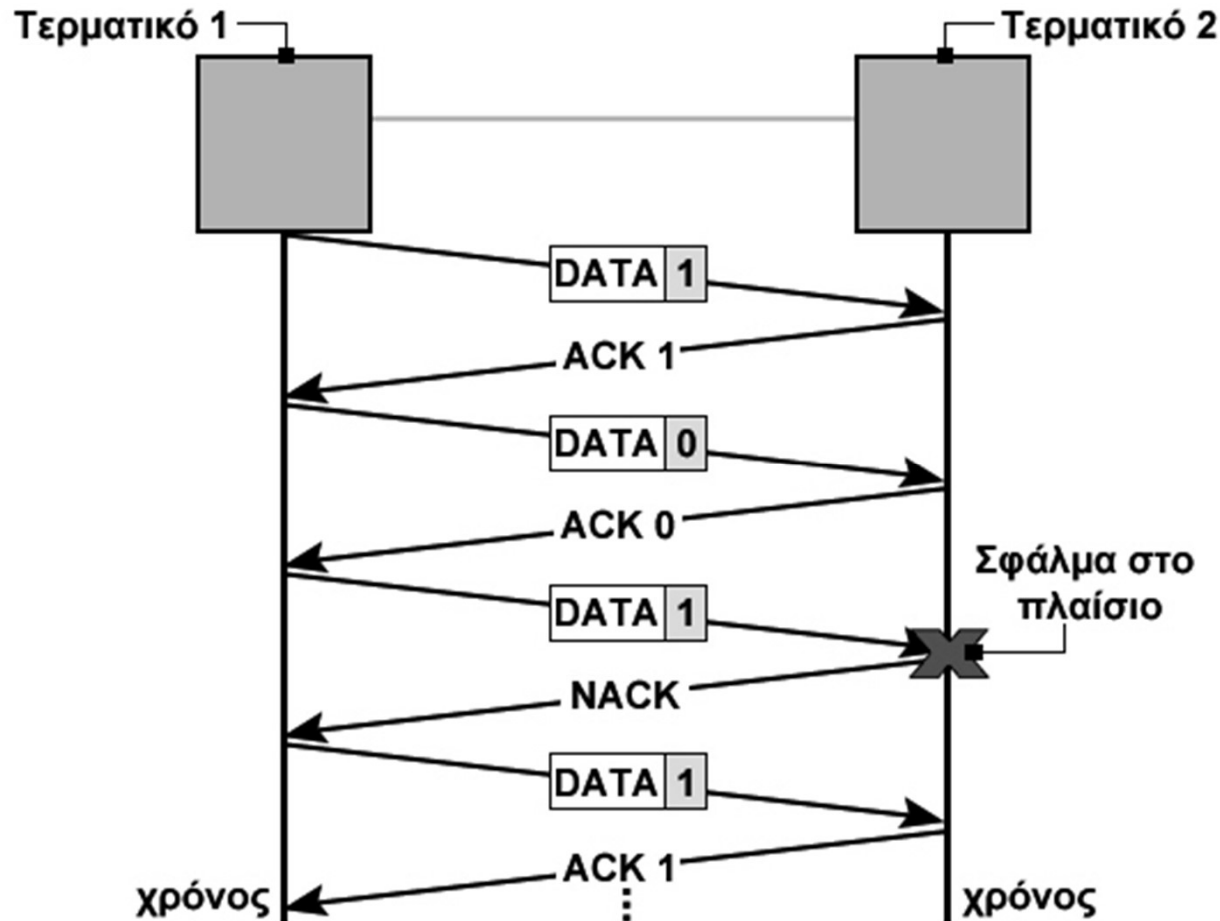
ARQ σε πρωτόκολλο παύσης – αναμονής

Στην περίπτωση των *πρωτοκόλλων παύσης / αναμονής*, ο μηχανισμός ARQ έχει ως εξής:

- Κρατιέται από τον αποστολέα το κάθε πλαίσιο που μεταδίδεται, ώσπου να ληφθεί ένα σήμα ACK για το frame αυτό.
- Τα πλαίσια αριθμούνται διαδοχικά με τους αριθμούς '0' και '1'.
- Αν ο δέκτης ανακαλύψει λάθος σε κάποιο πλαίσιο, στέλνει ένα πλαίσιο NACK στον αποστολέα.
- Ο αποστολέας διαθέτει ένα χρονόμετρο, ώστε να θέτει ένα ανώτατο χρονικό όριο ως τη λήψη κάποιου ACK. Μετά το πέρας του ορίου, ξαναστέλνει το τελευταίο πλαίσιο δεδομένων.

Έλεγχος Σφαλμάτων (συνέχεια)

ARQ σε πρωτόκολλο παύσης – αναμονής (συνέχεια)

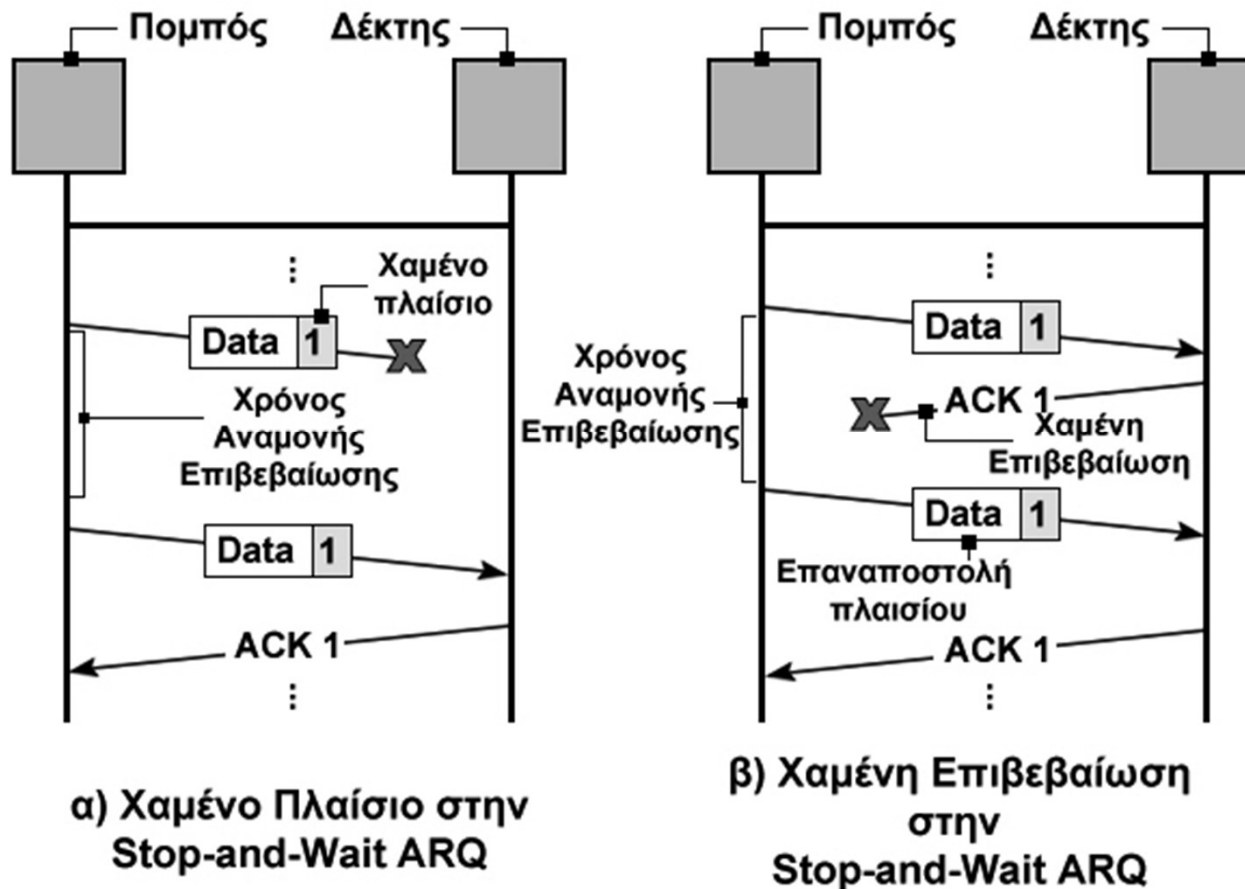


Έλεγχος σφαλμάτων με χρήση του Stop-and-Wait ARQ για τις περιπτώσεις κατεστραμμένου πακέτου.



Έλεγχος Σφαλμάτων (συνέχεια)

ARQ σε πρωτόκολλο παύσης – αναμονής (συνέχεια)



Έλεγχος σφαλμάτων με χρήση του Stop-and-Wait ARQ για τις περιπτώσεις και χαμένου πακέτου (δεδομένων ή επιβεβαίωσης).

Τμήμα Πληροφορικής
Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Έλεγχος Σφαλμάτων (συνέχεια)

ARQ σε πρωτόκολλο συρόμενου παραθύρου

Στην περίπτωση των *πρωτοκόλλων συρόμενου παραθύρου*, ο μηχανισμός ARQ έχει ως εξής:

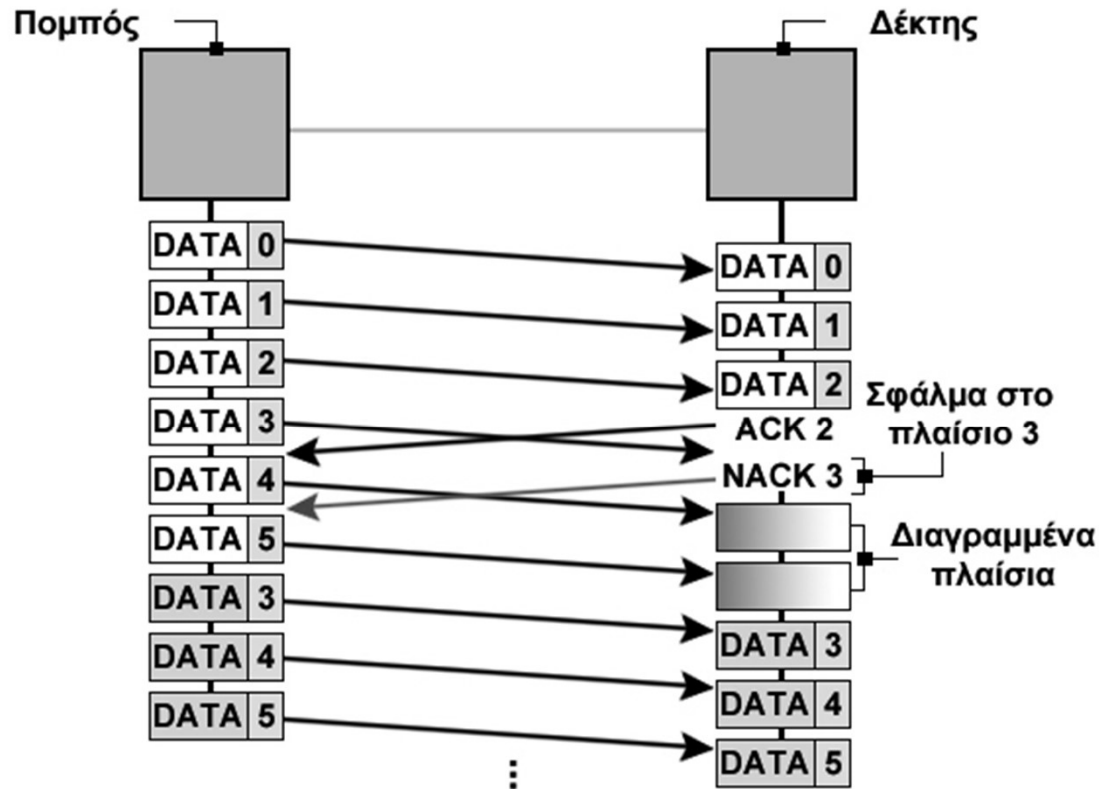
- Ο αποστολέας κρατάει αντίγραφα των πλαισίων που έστειλε και δεν έχουν επιβεβαιωθεί από τον παραλήπτη.
- Ο δέκτης έχει τη δυνατότητα αποστολής ενός πλαισίου NACK με τον αύξοντα αριθμό του κατεστραμμένου πλαισίου.
- Ο αποστολέας διαθέτει χρονόμετρο, ώστε να χειρίζεται τις περιπτώσεις των χαμένων πλαισίων (δεδομένων ή ACK/NACK)
- Σε περιπτώσεις σφαλμάτων, υπάρχουν 2 διαφορετικοί τρόποι αντιμετώπισης.:
 - **Go – Back – n ARQ**
 - **Selective – Reject ARQ**

Έλεγχος Σφαλμάτων (συνέχεια)

ARQ σε πρωτόκολλο συρόμενου παραθύρου (συνέχεια)

Go – Back – n ARQ:

Όταν κάποιο πλαίσιο χαθεί ή καταστραφεί, όλα τα πλαίσια που μεταδόθηκαν μετά από το τελευταίο επιβεβαιωμένο αναμεταδίδονται.



Έλεγχος σφαλμάτων με χρήση του Go-Back-n ARQ για τις περιπτώσεις κατεστραμμένου πλαισίου.

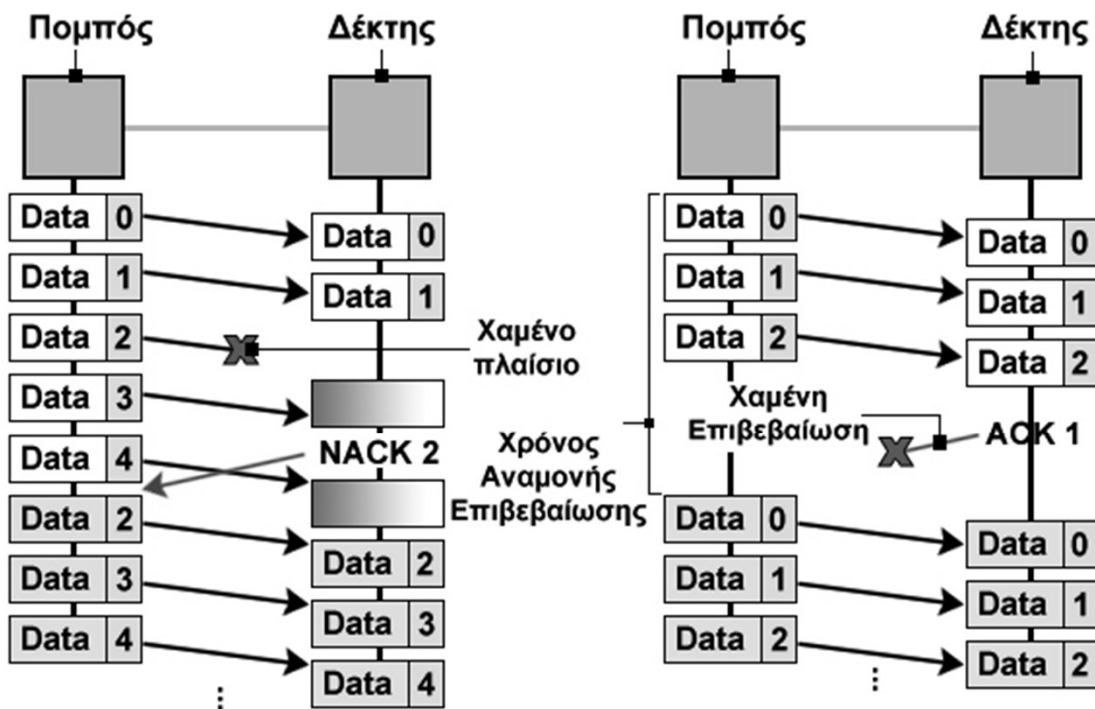
Κατεστραμένο Πλαίσιο στην Go Back n ARQ

Έλεγχος Σφαλμάτων (συνέχεια)

ARQ σε πρωτόκολλο συρόμενου παραθύρου (συνέχεια)

Go – Back – n ARQ (συνέχεια):

Όταν κάποιο πλαίσιο χαθεί ή καταστραφεί, όλα τα πλαίσια που μεταδόθηκαν μετά από το τελευταίο επιβεβαιωμένο αναμεταδίδονται.



Έλεγχος σφαλμάτων με χρήση του Go-Back-n ARQ για τις περιπτώσεις χαμένου πακέτου (δεδομένων ή επιβεβαίωσης).

α) Χαμένο Πλαίσιο στην Go Back n ARQ

β) Χαμένη Επιβεβαίωση στην Go Back n ARQ



Έλεγχος Σφαλμάτων (συνέχεια)

ARQ σε πρωτόκολλο συρόμενου παραθύρου (συνέχεια)

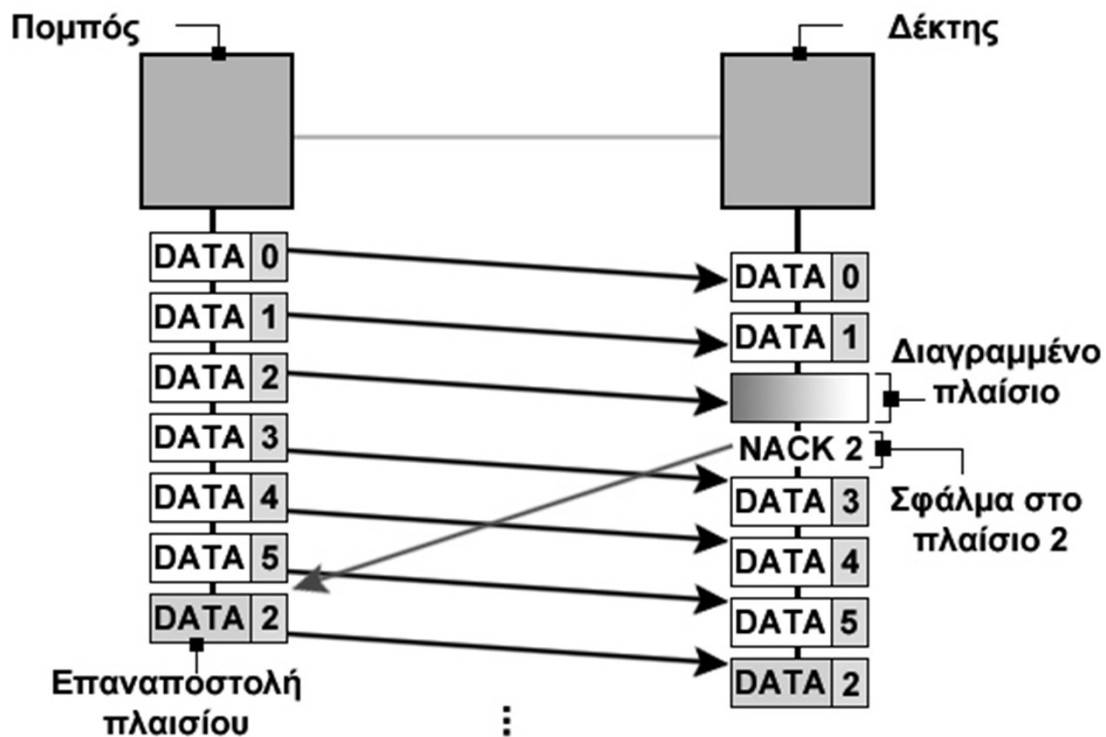
Selective – Reject ARQ:

- Αναμεταδίδεται μόνο το συγκεκριμένο χαμένο ή κατεστραμμένο πλαίσιο.
- Ο δέκτης πρέπει να διαθέτει πιο εξελιγμένο λογισμικό, από ότι στην περίπτωση Go – Back – n.
- Συγκεκριμένα, πρέπει να διαθέτει λογισμικό ταξινόμησης των frames που λήφθηκαν εκτός σειράς και να ξεχωρίζει τα πλαίσια πριν και μετά κάποιο NAK.
- Ο αποστολέας πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει και να βρίσκει τα πλαίσια που του ζητούνται μετά τη λήψη ενός NACK.
- Επιπλέον, δημιουργείται η ανάγκη για μικρότερα μεγέθη παραθύρου από ότι στην περίπτωση Go – Back – n.
- Η αρίθμηση των πλαισίων ACK δηλώνει το ληφθέν ή χαμένο πλαίσιο και όχι το επόμενο προς αναμονή πλαίσιο, για να αυξηθεί η επιλεκτικότητα.

Έλεγχος Σφαλμάτων (συνέχεια)

ARQ σε πρωτόκολλο συρόμενου παραθύρου (συνέχεια)

Selective – Reject ARQ (συνέχεια):



Κατεστραμμένο Πλαίσιο στην Selective - Reject ARQ

Παράδειγμα ελέγχου σφαλμάτων με χρήση του Selective – Reject ARQ

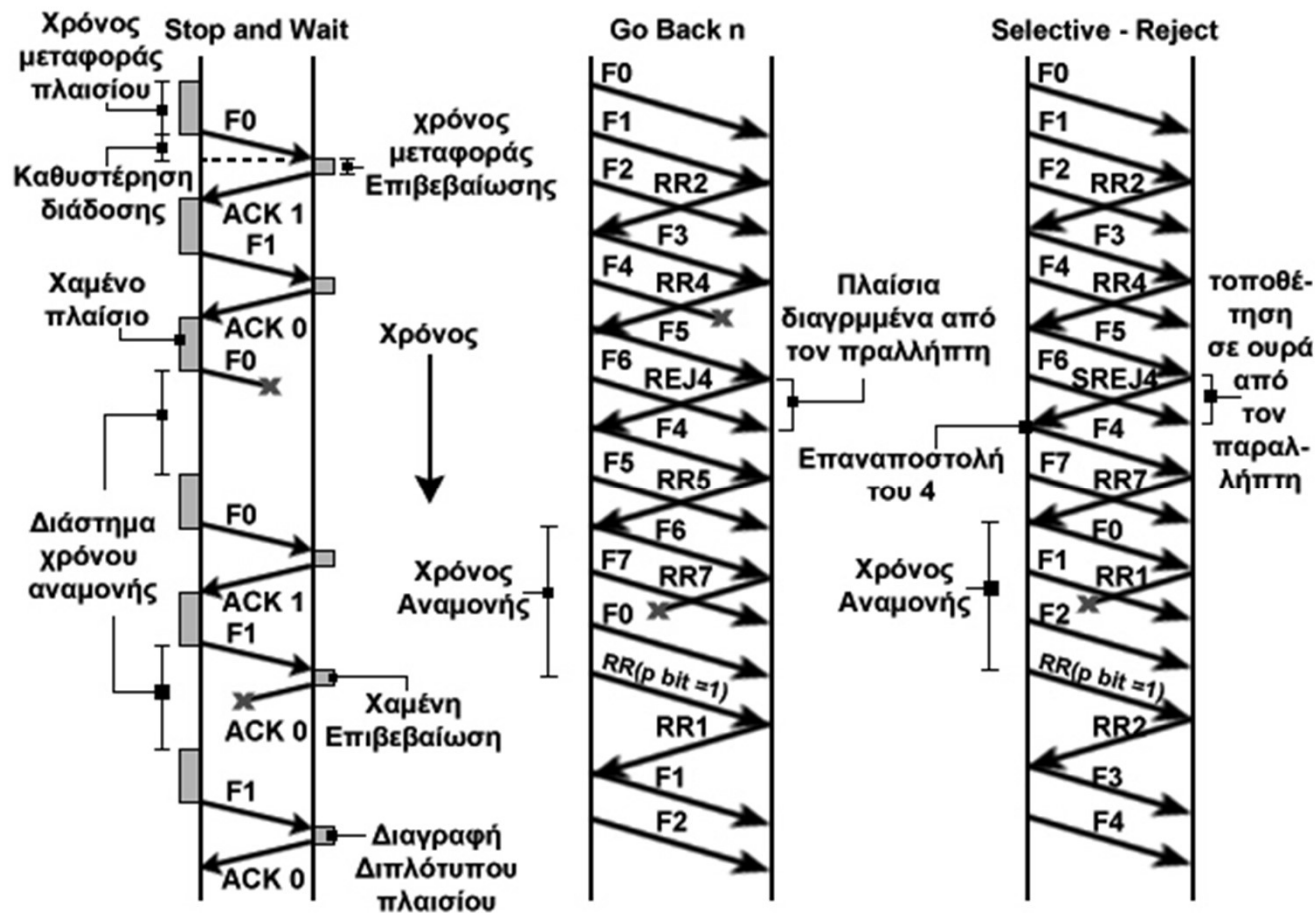
Τμήμα Πληροφορικής
Πανεπιστήμιο Πειραιώς



εμφάνιση μειωμένης

Έλεγχος Σφαλμάτων (συνέχεια)

ARQ σε πρωτόκολλο συρόμενου παραθύρου (συνέχεια)



Σύγκριση Μεθόδων Ανίχνευσης Λάθους

- Σύγκριση των τριών τεχνικών ελέγχου σφαλμάτων (με σειρά):
1. Stop-and-Wait ARQ,
 2. Go-Back-n ARQ
 3. Selective-Reject ARQ)



Μελέτη Επιδόσεων ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΜΕΓΕΤΗ ΕΠΙΡΡΟΕΜΑ

Πρωτόκολλο Stop-And-Wait

Χωρίς Σφάλματα

Υποθέτουμε ότι:

➤ T_{ix} (**Transmission Time**) είναι ο χρόνος μετάδοσης ενός πλαισίου.

και $T_{ix} = \frac{N}{R}$ όπου **N**: ο αριθμός των bit προς μετάδοση
R: ο ρυθμός μετάδοσης των bit από τη γραμμή μετάδοσης (σε bps)

Εξαρτάται από το:

- μήκος του πλαισίου και
- την ταχύτητα μετάδοσης

➤ T_p (**Propagation Time**) είναι ο χρόνος διάδοσης (ή χρόνος καθυστέρησης) του πλαισίου.

και $T_p = \frac{S}{V}$ όπου **S**: η απόσταση (σε μέτρα) ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη
V: η ταχύτητα διάδοσης (σε μέτρα/δευτερόλεπτο)

Εξαρτάται από:

- την απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη και
- την ταχύτητα του φωτός



Πρωτόκολλο Stop-And-Wait (συνέχεια)

Χωρίς Σφάλματα (συνέχεια)

Επί πλέον:

- T_{ax} είναι ο χρόνος μετάδοσης ενός πλαισίου ACK,
- T_{Nx} είναι ο χρόνος μετάδοσης ενός πλαισίου τύπου NACK και
- T_{proc} είναι ο χρόνος επεξεργασίας ενός πλαισίου.

Στην περίπτωση όπου δεν υπάρχουν σφάλματα η **απόδοση (u)** ενός πρωτοκόλλου **stop-and-wait** έχει ως εξής:

$$u = \text{Ωφέλιμος Χρόνος} / \text{Ολικός Χρόνος} = \frac{T_{ix}}{T_{ix} + 2T_p + 3T_{proc}}$$

Πρωτόκολλο Stop-And-Wait (συνέχεια)

Χωρίς Σφάλματα (συνέχεια)

■ Αν θεωρηθεί αμελητέο το T_{proc} η απόδοση του συστήματος δίνεται από τη σχέση:

$$u = \frac{T_{ix}}{T_{ix} + 2T_p}$$

■ Αν θέσουμε:

$$\alpha = T_p / T_{ix} \quad \text{τότε:} \quad u = \frac{1}{1 + 2\alpha}$$

Για περιπτώσεις όπου το α είναι πολύ μικρό, η απόδοση του συστήματος είναι πολύ κοντά στη μονάδα ($u = 1$).

Πρωτόκολλο Stop-And-Wait (συνέχεια)

Με Σφάλματα

Υποθέτουμε ότι N_i είναι αριθμός των bit ενός πλαισίου i .

Αν συμβολίσουμε με p την πιθανότητα ένα bit να είναι λανθασμένο, τότε έχουμε.

$$\begin{aligned} P_f &= P(\text{ένα πλαίσιο να είναι κατεστραμμένο}) = \\ &P(\text{τουλάχιστον ένα λανθασμένο bit}) = \\ &1 - P(\text{κανένα λάθος}) = 1 - (1 - p)^{N_i} \approx N_i \cdot p \ll 1 \end{aligned}$$

Υποθέτουμε ότι N_r είναι ο αριθμός των μεταδόσεων για ένα πακέτο. Ισχύει το εξής:

$$\begin{aligned} N_r &= (1 - P_f) + 2P_f(1 - P_f) + 3P_f^2(1 - P_f) + \dots + kP_f^{k-1}(1 - P_f) = \\ &= (1 - P_f)(1 + 2P_f + 3P_f^2 + \dots + kP_f^{k-1} + \dots) = \frac{1 - P_f}{(1 - P_f)^2} = \frac{1}{1 - P_f}. \end{aligned}$$

Ο τύπος της απόδοσης της προηγούμενης ενότητας τροποποιείται ως εξής:

$$u = \frac{T_{ix}}{N_r T_{ix} + 2N_r T_p} = \frac{1}{N_r(1 + 2a)}$$

Λαμβάνοντας υπόψη τις 2 τελευταίες σχέσεις προκύπτει ότι: $u = \frac{1 - P_f}{1 + 2a}$

Πρωτόκολλο Selective - Reject

Χωρίς Σφάλματα

- Υποθέτουμε ότι το μέγεθος παραθύρου είναι k .
- Η απόδοση του πρωτοκόλλου εξαρτάται από το μέγεθος του παραθύρου.
- Στην περίπτωση όπου το k είναι μεγαλύτερο από τον αριθμό των πακέτων που πρέπει να περάσουν πριν πάρουμε επιβεβαίωση, έχουμε συνεχή ροή, οπότε $u = 100\%$.
- Για να ισχύει αυτό θα πρέπει:

$$kT_{ix} \geq T_{ix} + 2T_p \Rightarrow k \geq 1 + 2\frac{T_p}{T_{ix}} \Rightarrow k \geq 1 + 2a.$$

- Στην περίπτωση όπου: $k \leq 1 + 2a$

η απόδοση του πρωτοκόλλου έχει ως εξής: $u = \frac{kT_{ix}}{T_{ix} + 2T_p} = \frac{k}{1 + 2a}$

Πρωτόκολλο Selective - Reject

Με Σφάλματα

➤ Για την περίπτωση όπου: $k \geq 1 + 2a$, τότε: $u = 1 - P_f$

➤ Αν: $k \leq 1 + 2a$, τότε: $u = \frac{kT_{ix}}{N_r(T_{ix} + 2T_p)} = \frac{k(1 - P_f)}{1 + 2a}$

➤ Υπενθυμίζεται ότι: $N_r = \frac{1}{1 - P_f}$

Πρωτόκολλο Go-Back-N

Χωρίς Σφάλματα

Η περίπτωση αυτή είναι ακριβώς η ίδια με την αντίστοιχη στο πρωτόκολλο Selective-Rject

Με Σφάλματα

$$\text{Αν: } k \leq 1 + 2a \quad \text{τότε: } u = \frac{k(1 - P_f)}{(1 + 2a)(1 + P_f(k - 1))}$$

$$\text{Αν: } k \geq 1 + 2a \quad \text{τότε: } u = \frac{1 + 2a(1 - P_f)}{(1 + 2a)(1 + P_f(k - 1))}$$

Πρωτόκολλα Σύνδεσης Δεδομένων

Πρωτοκογγα Σηλρεαιλζ Δεροηελωλ

Ασύγχρονα Πρωτόκολλα

- Πρόκειται για πρωτόκολλα τα οποία πραγματοποιούν ασύγχρονη επικοινωνία (βλέπε κεφάλαιο 1) μεταξύ του πομπού και του δέκτη.
- Είναι χαμηλού κόστους και όχι ιδιαίτερα πολύπλοκα, αλλά ταυτόχρονα πολύ αργά ώστε να μην έχουν πολλές πρακτικές εφαρμογές σήμερα.
- Τα κυριότερα ασύγχρονα πρωτόκολλα είναι:
 - XMODEM,
 - YMODEM,
 - ZMODEM,
 - BLAST (Blocked Asynchronous Transmission) και
 - Kermit.

Σύγχρονα Πρωτόκολλα

- Πρόκειται για πρωτόκολλα τα οποία πραγματοποιούν σύγχρονη επικοινωνία (βλέπε κεφάλαιο 1) μεταξύ του πομπού και του δέκτη.
- Χωρίζονται σε 2 κατηγορίες:
 - τα **πρωτόκολλα μετάδοσης χαρακτήρων** (character-oriented) και
 - τα **πρωτόκολλα μετάδοσης ψηφίων** (bit-oriented).

Σύγχρονα Πρωτόκολλα (σύγχρονα)

Πρωτόκολλα Μετάδοσης Χαρακτήρων

- Τα πλαίσια που μεταφέρονται αποτελούνται από μια αλληλουχία χαρακτήρων του ενός byte (= 8 bit).
- Έτσι, όλες οι πληροφορίες διαβάζονται ως χαρακτήρες, με τη βοήθεια κάποιου συστήματος κωδικοποίησης, π.χ. **ASCII** (**A**merican **S**tandard **C**ode for **I**nformation **I**nterchange), **EBCDIC** (**E**xtended **B**inary **C**oded **D**ecimal **I**nterchange **C**ode).
- Τα πρωτόκολλα αυτά είναι γνωστά και ως byte-oriented protocols.
- Το αντιπροσωπευτικότερο είναι το πρωτόκολλο **BSC (Binary Synchronous Communication)**, το οποίο αναπτύχθηκε από την IBM το 1964.
 - Αυτό υποστηρίζει half-duplex, point-to-point και multipoint επικοινωνία, ενώ για τον έλεγχο ροής και σφαλμάτων χρησιμοποιεί την τεχνική stop-and-wait ARQ.
 - Τα frames που χρησιμοποιεί, είτε μεταφέρουν πληροφορίες ελέγχου της μετάδοσης (Control Frames), είτε μεταφέρουν τόσο πληροφορίες ελέγχου όσο και δεδομένα (Data Frames).

Σύγχρονα Πρωτόκολλα (σύγχρονα)

Πρωτόκολλα Μετάδοσης Χαρακτήρων (συνέχεια)

- Το κυριότερο πρόβλημα, που αντιμετωπίζουν τα πρωτόκολλα χαρακτήρων, είναι γνωστό ως πρόβλημα διαφάνειας δεδομένων (Data Transparency).
- Το γεγονός ότι, οποιαδήποτε ακολουθία ψηφίων μπορεί να είναι δεδομένα, είναι δυνατό να οδηγήσει σε αδυναμία του δέκτη να ξεχωρίσει ανάμεσα σε χαρακτήρες ελέγχου και χαρακτήρες δεδομένων

Σύγχρονα Πρωτόκολλα (σύγχρονα)

Πρωτόκολλα Μετάδοσης Χαρακτήρων (συνέχεια)

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E | F |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|----|----|-----|
| 0 | NUL | SOH | STX | ETX | EOT | ENQ | ACK | BEL | BS | HT | LF | VT | FF | CR | SO | SI |
| 1 | DLE | DC1 | DC2 | DC3 | DC4 | NAK | SYN | ETB | CAN | EH | SUB | ESC | FS | GS | RS | US |
| 2 | | ! | " | # | \$ | % | & | ' | (|) | * | + | , | - | . | / |
| 3 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | : | ; | < | = | > | ? |
| 4 | @ | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
| 5 | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z | [| \ |] | ^ | - |
| 6 | ` | a | b | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l | m | n | o |
| 7 | p | q | r | s | t | u | v | w | x | y | z | { | | } | ~ | DEL |

Ο κώδικας ASCII

Σύγχρονα Πρωτόκολλα (σύγχρονα)

Πρωτόκολλα Μετάδοσης Χαρακτήρων (συνέχεια)

| Bits Position | | | | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
|---------------|---|---|---|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|----|-----------------|-----|-----|-----|---|---|
| | | | | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | | | | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| | | | | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 8 | 7 | 6 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | NUL | SOH | STX | ETX | PF | HT | LC | DEL | | | SMM | VT | FF | CR | SO | SI | | |
| 0 | 0 | 0 | 1 | DLE | DC ₁ | DC ₂ | DC ₃ | RES | NL | BS | IL | CAN | EM | CC | | IFS | IGS | IRS | IUS | | |
| 0 | 0 | 1 | 0 | DS | SOS | FS | | BYP | LF | EOB | PRE | | | SM | | | ENQ | ACK | BEL | | |
| 0 | 0 | 1 | 1 | | | SYN | | PN | RS | UC | EDT | | | | | DC ₄ | NAK | | SUB | | |
| 0 | 1 | 0 | 0 | SP | | | | | | | | | | ϕ | . | < | (| + | | | |
| 0 | 1 | 0 | 1 | & | | | | | | | | | | ! | \$ | * |) | : | ~ | | |
| 0 | 1 | 1 | 0 | - | / | | | | | | | | | | ' | % | - | > | ? | | |
| 0 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | : | # | @ | , | = | “ | | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | | a | b | c | d | e | f | g | h | i | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 0 | 1 | | j | k | l | m | n | o | p | q | r | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 1 | 0 | | | s | t | u | v | w | x | y | z | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 0 | 0 | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 0 | 1 | | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 0 | | | S | T | U | V | W | X | Y | Z | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | | | □ | | |

Ο κώδικας EBCDIC



Σύγχρονα Πρωτόκολλα (σύγχρονα)

Πρωτόκολλα Μετάδοσης Ψηφίων (Bit-oriented protocols)

Γενικά

- Αυτά αποτελούν εξέλιξη των πρωτοκόλλων χαρακτήρων.
- Μπορούν να μεταφέρουν τις πληροφορίες σε μικρότερα πλαίσια και γενικά αποφεύγουν προβλήματα διαφάνειας.
- Έχουν αναπτυχθεί πολλά τέτοια πρωτόκολλα, όπως το SDLC (Synchronous Data Link Control – IBM, 1975), το HDLC (High-level Data Link Control – ISO, 1979), η σειρά LAP (Link Access Protocols, π.χ. LAPB, LAPD, LAPM, LAPX,...) από την ITU-T κ.α.

Σύγχρονα Πρωτόκολλα (σύγχρονα)

Πρωτόκολλα Μετάδοσης Ψηφίων (Bit-oriented protocols) (συνέχεια)

Το πρωτόκολλο HDLC

- Το HDLC αποτελεί τη βάση όλων των μεταγενέστερων αυτού πρωτοκόλλων μετάδοσης bit. Υποστηρίζει half-duplex ή full-duplex, point-to-point ή multipoint επικοινωνία.
- Υπάρχουν τρεις δυνατοί σχηματισμοί (configurations), τους οποίους υποστηρίζει το πρωτόκολλο HDLC.
 - Ο πρώτος (**Unbalanced Configuration**) μπορεί να είναι είτε point-to-point είτε multipoint και περιλαμβάνει μια πρωτεύουσα συσκευή (primary device) για τον έλεγχο της γραμμής, και μία ή περισσότερες δευτερεύουσες (secondary devices).
 - Ο δεύτερος (**Symmetrical Configuration**) περιλαμβάνει 2 σταθμούς που ο καθένας περιλαμβάνει μια primary και μια secondary συσκευή. Η primary του ενός συνδέεται με τη secondary το άλλου, με μια ξεχωριστή γραμμή.
 - Ο τρίτος σχηματισμός (**Balanced Configuration**) αποτελεί μια point-to-point τοπολογία μεταξύ δύο συσκευών, οι οποίες έχουν διπλή ιδιότητα (combined = primary + secondary) με αποτέλεσμα η γραμμή να ελέγχεται και από τις 2 συσκευές.

Σύγχρονα Πρωτόκολλα (σύγχρονα)

Πρωτόκολλα Μετάδοσης Χαρακτήρων (συνέχεια)

- Η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών είναι τριών καταστάσεων (Communication Modes):
 - **NRM (Normal Response Mode)**: Σε αυτού του είδους την επικοινωνία, η δευτερεύουσα συσκευή πρέπει να ζητήσει την άδεια της πρωτεύουσας για να μεταδώσει.
 - **ARM (Asynchronous Response Mode)**: Η δευτερεύουσα συσκευή μπορεί να μεταδίδει frames χωρίς την άδεια της πρωτεύουσας, όταν το κανάλι είναι άδειο (idle).
 - **ABM (Asynchronous Balance Mode)**: Εκφράζει τη σχέση μεταξύ των συσκευών για την περίπτωση του balance configuration, όπου οποιαδήποτε από τις δύο συσκευές μπορεί να ελέγχει τη γραμμή χωρίς την άδεια της άλλης.

Σύγχρονα Πρωτόκολλα (σύγχρονα)

Πρωτόκολλα Μετάδοσης Χαρακτήρων (συνέχεια)

- Το πρωτόκολλο HDLC χρησιμοποιεί 3 τύπων frames:
 - **I – Frames (Information Frames)**: Χρησιμοποιούνται στη μεταφορά των δεδομένων των χρηστών, αλλά μεταφέρουν ταυτόχρονα και πληροφορίες ελέγχου γραμμής, ροής, σφαλμάτων, ...
 - **S – Frames (Supervisory Frames)**: Χρησιμοποιούνται μόνο στην αποστολή πληροφοριών ελέγχου της γραμμής επικοινωνίας (έλεγχος ροής και σφαλμάτων).
 - **U – Frames (Unnumbered Frames)**: Μεταφέρουν πληροφορίες για την διαχείριση και εποπτεία του συστήματος.

Τέλος Παρουσίασης