

ΕΑΠ ΘΕ ΠΛΗ-22/ΑΘΗ.3

1<sup>η</sup> ΟΣΣ

03/11/2018

Νίκος Δημητρίου

*Σημείωση: Οι διαφάνειες αυτές βασίζονται στην παρουσίαση  
PLH22\_1st\_OSS\_Networks\_2018\_2019.ppt που είναι διαθέσιμη στο [study.eap.gr](http://study.eap.gr)  
και περιλαμβάνουν πρόσθετα παραδείγματα και υποδειγματικά λυμένες ασκήσεις*

# Οργάνωση ΘΕ

- 5 γραπτές εργασίες
- Δικαίωμα Εξετάσεων:
  - 4/5 εργασίες να παραδοθούν τουλάχιστον
  - Σύνολο Βαθμών Εργασιών  $\geq 25$
- Επιτυχής εξέταση
  - Βαθμός Εξετάσεων  $\geq 5$
- Τελικός Βαθμός
  - $70\% \times \text{Βαθμ.Εξετασης} + 30\% \times \text{Μ.Ο.Βαθμ.Εργασιών}$

# Portal ΕΑΠ

- [study.eap.gr](http://study.eap.gr)
  - Διαχείριση υλικού Θ.Ε.
  - Forum Φοιτητών
  - Forum Καθηγητών
  - Διαχείριση Εργασιών
  - Διαχείριση βαθμολογίας Γ.Ε.
- [open.eap.gr](http://open.eap.gr)
  - Διαχείριση ΟΣΣ
- [apothesis.eap.gr](http://apothesis.eap.gr)
  - Αποθετήριο Εναλλακτικού Διδακτικού Υλικού
- [vclass.eap.gr](http://vclass.eap.gr)
  - Τηλεδιασκέψεις

# Πρόσθετα

- Τηλεδιασκέψεις
- Εξάσκηση
- 6<sup>η</sup> / έκτακτη ΟΣΣ
- Site με υλικό των ΟΣΣ/ΑΘΗ.3
  - <http://users.iit.demokritos.gr/~nikodim/index.html>
- Παλιό site της ΠΛΗ-22
  - <http://p-comp.di.uoa.gr/eap/index.html>

# Γραπτές Εργασίες

- Υποβολή εργασιών μέσω [study.eap.gr](http://study.eap.gr)
- 1 ενιαίο αρχείο MS.Word format για σχόλια [Μέγεθος < 2MB]
- Mathtype link: <http://www.dessci.com/en/products/mathtype/trial.asp>
- Καταληκτική Ημέρα: Τετάρτη βράδυ (23:59)
- Μεγαλύτερο περιθώριο: Συνεννόηση ΣΕΠ-Συντονιστή
- *Καταληκτική Ημερομηνία Διόρθωσης: 3 εβδομάδες μετά τη δημοσίευση των λύσεων*
- **Σκοπός Εργασιών: Μάθηση / Εξάσκηση / Προετοιμασία για τις εξετάσεις**
- **Ναι στη Συνεργασία - Όχι στην Αντιγραφή**
- *Κατόπιν σχετικής οδηγίας του ΕΑΠ θα λαμβάνεται υπόψη στη διόρθωση των εργασιών το turnitin, το οποίο - εκτός του ποσοστού ομοιότητας - μπορεί να αναδείξει αναλυτικά τις συνάψεις (στο κείμενο αλλά και στα σχήματα) στις υποβληθείσες εργασίες φοιτητών από όλα τα τμήματα και τα σχετικά αποτελέσματα είναι ορατά στον εκάστοτε ΣΕΠ, στο συντονιστή της ΘΕ αλλά και στον ακαδημαϊκό υπεύθυνο.*

# Επικοινωνία

- Κινητό : 6947 960626
- Email [nikodim@iit.demokritos.gr](mailto:nikodim@iit.demokritos.gr)

# Σκοπός της Θ.Ε

- Ο βασικός στόχος είναι η εξοικείωση με τις τεχνολογίες δικτύωσης των υπολογιστών, καθώς και με τα μέσα και τους τρόπους επικοινωνίας και μετάδοσης της πληροφορίας που θα επιτευχθεί με την απόκτηση γνώσεων στους εξής τομείς:
  - Φυσικά μέσα μετάδοσης και τρόπους μετάδοσης πληροφορίας
  - Θεωρία της πληροφορίας και της κωδικοποίησης της.
  - Βασικές έννοιες δικτύων υπολογιστών, πρωτόκολλα και αρχιτεκτονικές αυτών.

# Γνωστικό Αντικείμενο ΠΛΗ-22

- **Δίκτυα Η/Υ Τόμος Γ**
  - Αρχιτεκτονική Δικτύου
  - Μοντέλο Αναφοράς OSI
  - Πρωτόκολλα Επανεκπομπής
  - Τοπικά Δίκτυα
  - Ασύρματα Δίκτυα
- **Ψηφιακές Επικοινωνίες Τόμοι Β-I, Β-II**
  - Σήματα & Συστήματα
  - Περιγραφή στα πεδία χρόνου & συχνότητων
  - Μετασχηματισμός Fourier
  - Αναλογικές – Ψηφιακές Διαμορφώσεις
  - Δειγματοληψία Σήματος
- **Θεωρία Πληροφορίας & Κωδικοποίησης Τόμος Α**
  - Ποσότητα Πληροφορίας
  - Πηγές Συμβόλων
  - Κωδικοποίηση πηγής
  - Κανάλια Επικοινωνίας
  - Κωδικοποίηση ελέγχου σφάλματος



# Οργάνωση Ύλης

- Ψηφιακές Επικοινωνίες (ΟΣΣ 2,3 – ΓΕ 2,3)
- Δίκτυα Υπολογιστών (ΟΣΣ 1 – ΓΕ 1)
- Θεωρία Πληροφορίας (ΟΣΣ 4,5 – ΓΕ 4,5)
- Εξετάσεις:
  - Διάρκεια 3 ½ ώρες
  - Ανοικτά βιβλία
  - Βαρύτητα Τόμων ανάλογη της βαρύτητάς τους στις εργασίες

Αναπαράσταση/Μετάδοση Σημάτων



Τόμοι Β(I,II)

Δειγματοληψία / Κβάντιση / Ψηφιοποίηση



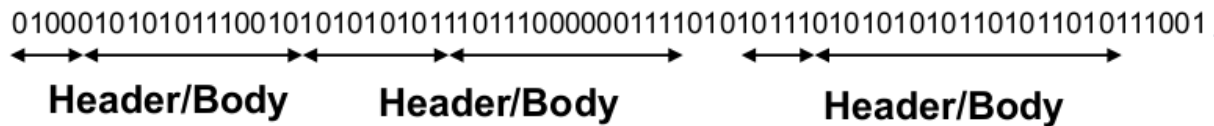
Τόμοι Β(I,II)

Κωδικοποίηση Πηγής/Καναλιού

**0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1**

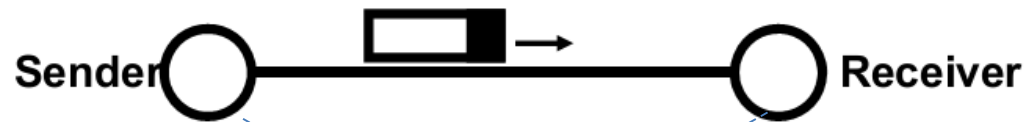
Τόμος Α

Οργάνωση bits σε πακέτα



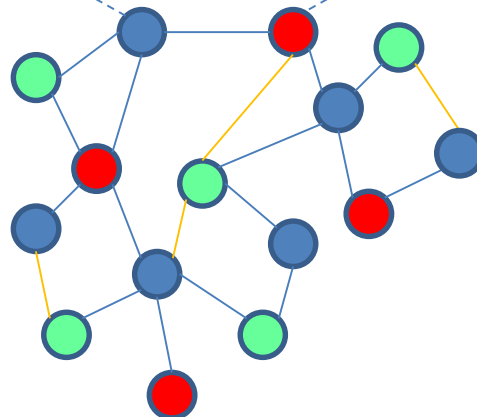
Τόμος Γ

Μετάδοση Πακέτων



Τόμος Γ

Δίκτυο



# Δίκτυα Η/Υ Τόμος Γ

- Κεφ.1, Εισαγωγή στα Δίκτυα Η/Υ
  - Μεταγωγή κυκλώματος/Πακέτου
  - Μετάδοση-Προώθηση Πακέτων
  - Καθυστέρηση Μεταφοράς
  - Απόδοση Δικτύου
- Κεφ.2, Αρχιτεκτονική Δικτύου
  - Μοντέλο Αναφοράς OSI
  - Μοντέλο Διαδικτύου (TCP/IP)
- Κεφ.3, Απευθείας σύνδεση κόμβων
  - Πρωτόκολλα πλαισίωσης
  - Έλεγχος Σφαλμάτων (Κωδικοποίηση CRC)
- Κεφ.4, Πρωτόκολλα Επανεκπομπής
  - ABP, GoBackN, SRP
- Κεφ.5, Τοπικά Δίκτυα
  - Ethernet
  - Μηχανισμός CSMA/CD

# Επικαιροποιημένο Χρονοδιάγραμμα Μελέτης

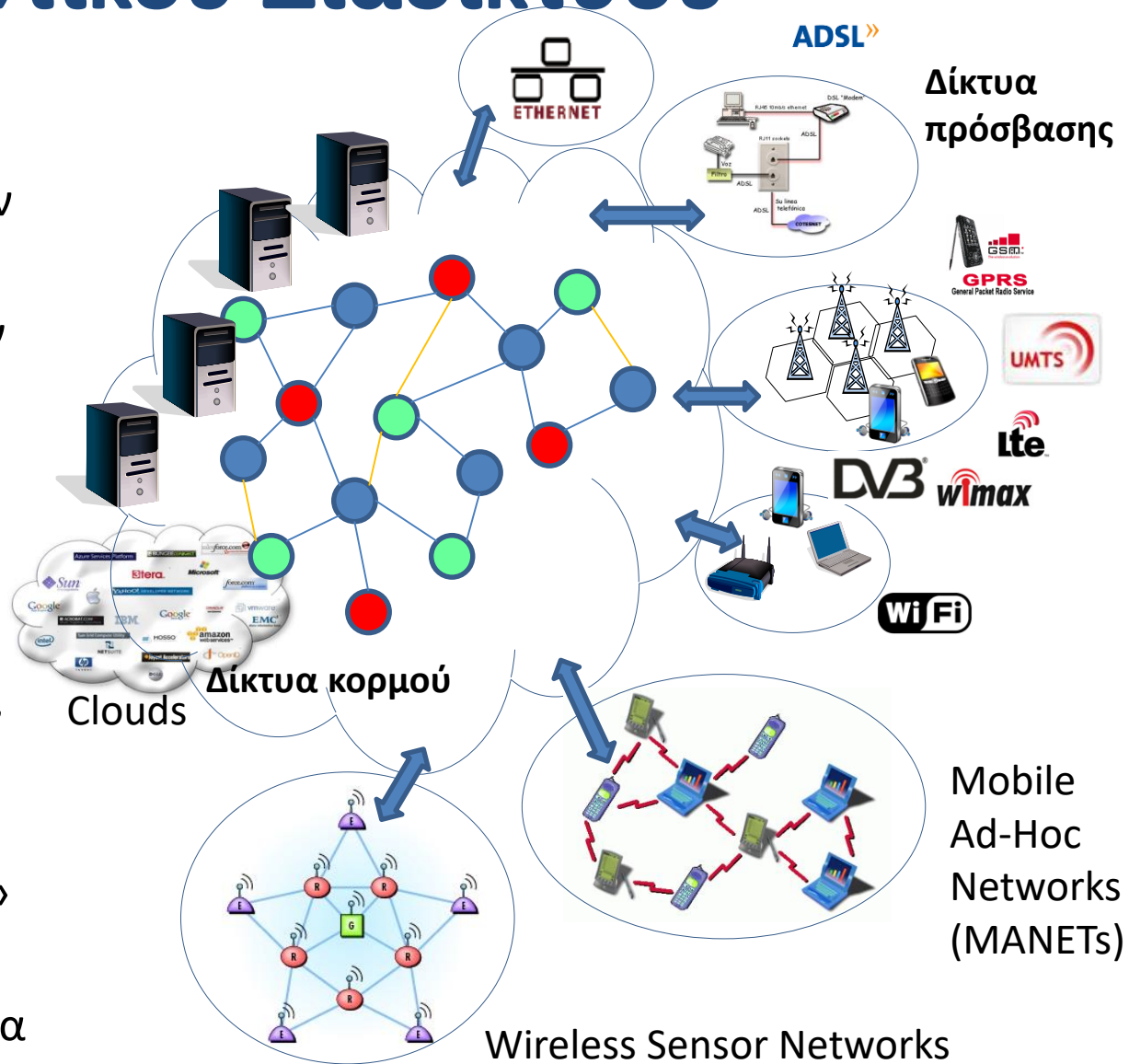
- Περιγράφεται στο PLH22\_meleti\_NEO.xls
- Δεν αφορά τον Τόμο Γ (1<sup>η</sup> εργασία, 1<sup>η</sup> ΟΣΣ)
- Δεν αυξάνει την ύλη
- Οργανώνει την ύλη των τόμων Β, Α σε μεγαλύτερο χρονικό εύρος
  - Τόμος Β:
    - ΟΣΣ/ΓΕ 2: Σήματα/Συστήματα, ΜΣ Fourier
    - ΟΣΣ/ΓΕ 3: Αναλογικές/Ψηφιακές Διαμορφώσεις, Δειγματοληψία
  - Τόμος Α:
    - ΟΣΣ/ΓΕ 4: Μέτρα Πληροφορίας, Κωδικοποίηση Πηγής, Κανάλια Επικοινωνίας
    - ΟΣΣ/ΓΕ 5: Κώδικες Διόρθωσης Σφαλμάτων

# Εισαγωγικές Διαφάνειες

# Εικόνα Μελλοντικού Διαδικτύου

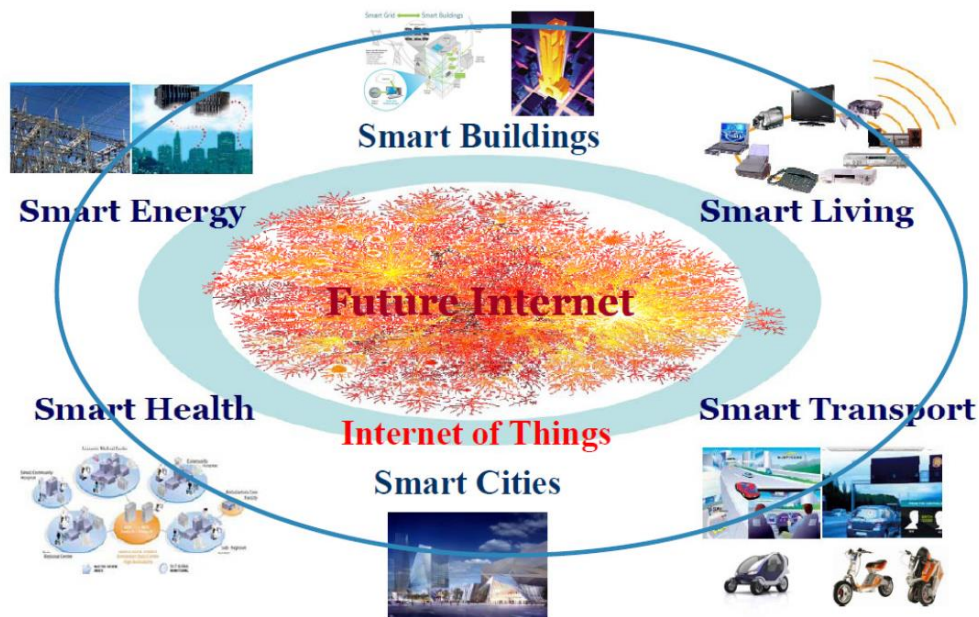
## Σύνθετα Δίκτυα

- Συνένωση διαφόρων δικτύων κορμού και πρόσβασης
- Δίκτυα διαφορετικών σκοπών και χαρακτηριστικών (Τηλεπικοινωνίες, Πολυμέσα, Αισθητήρες κτλ.)
- Τοπολογίες διαφόρων ειδών (star, mesh), μεγεθών (macro-femto) και δικτύωσης (cellular, MANET)
- Δυνατότητα εκτέλεσης εφαρμογών σε ένα «σύννεφο» απόμακρων δικτύων
- Περιαγωγή σε διάφορα δίκτυα πρόσβασης ακόμα και κατά τη διάρκεια μιας κλήσης



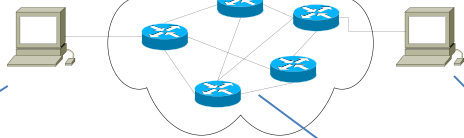
# Προοπτική: Διαδικτύωση ανθρώπων-αντικειμένων

- Κάθε χρήστης ή συσκευή θα μπορεί να συμμετέχει σε κάποιο υποδίκτυο
- Δυνατότητα επικοινωνίας και ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ ετερογενών δικτύων και συσκευών/τερματικών
- Νέες 'έξυπνες' εφαρμογές για την αξιοποίηση των πληροφοριών αυτών

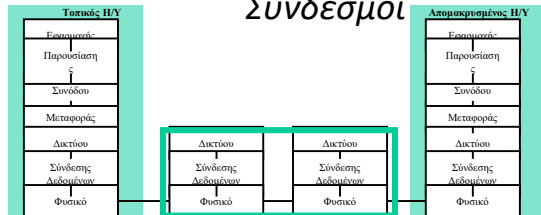


# Δίκτυα Τηλεπικοινωνιών – ύλη

Δίκτυο

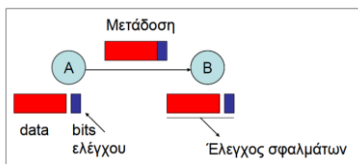


Σύνδεσμοι

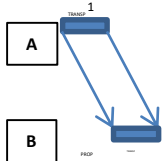


Στρώματα Επικοινωνίας

Μεταφορά Πακέτων Ενθυλάκωση



Έλεγχος Σφαλμάτων

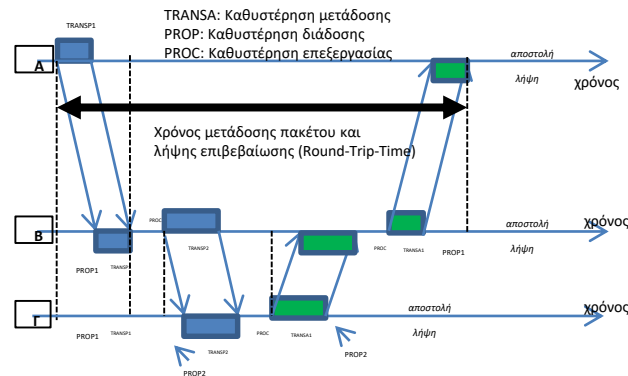


Καθυστέρηση Μεταφοράς πακέτου

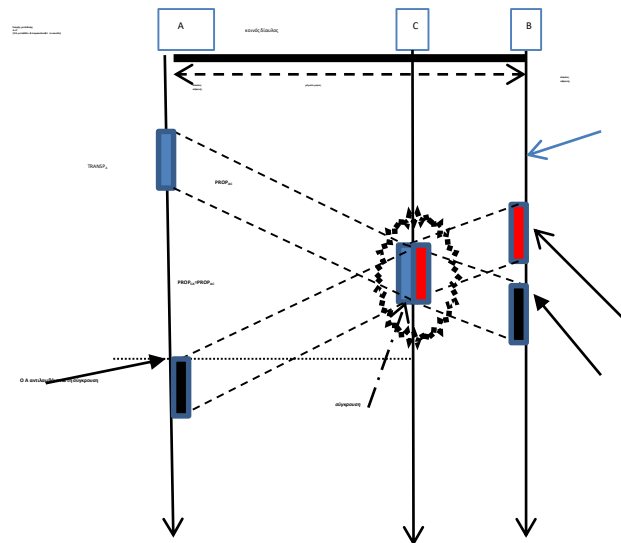
Μεταγωγή Πακέτων



Πρωτόκολλα Επανεκπομπής

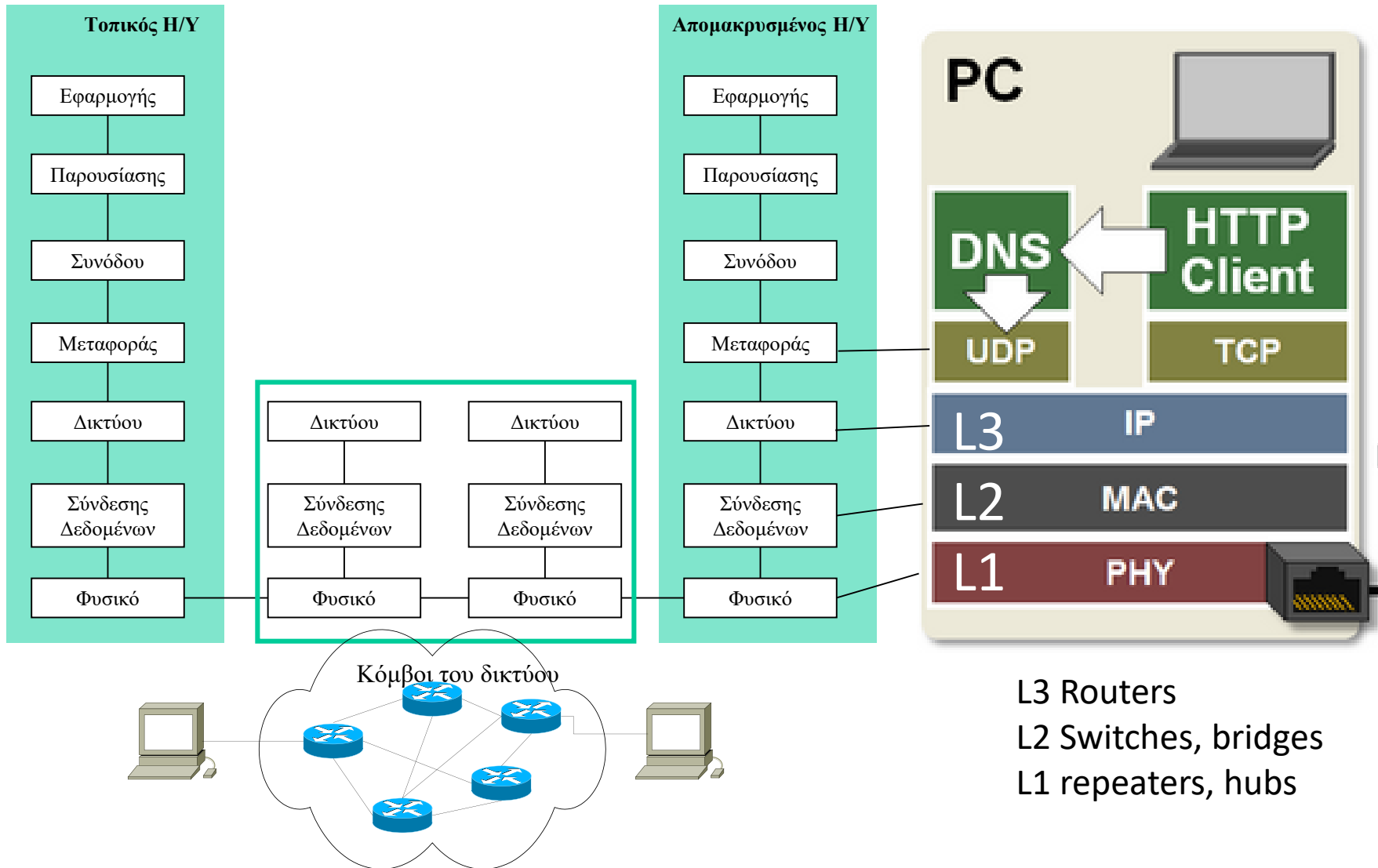


Έλεγχος Πρόσβασης σε τοπικά δίκτυα





# Το Μοντέλο Αναφοράς ISO/OSI



L3 Routers  
L2 Switches, bridges  
L1 repeaters, hubs

**Επίπεδο Εφαρμογής:** Προδιαγράφει τις Υπηρεσίες που εκτελούνται από τις τελικές εφαρμογές (e-mail, ftp κλπ)

**Επίπεδο Παρουσίασης:** Αναπαράσταση Δεδομένων, Συμπύεση, Κρυπτογράφηση. (θα ασχοληθούμε με τέτοια θέματα στο βιβλίο «Θεωρία Πληροφορίας»)

**Επίπεδο Συνόδου:** Εγκαθίδρυση-Επίβλεψη-τερματισμός sessions μεταξύ τερματικών υπολογιστών (επιλογή simplex/half duplex/duplex σύνδεσης κλπ)

**Επίπεδο Μεταφοράς:** Αφορά το κανάλι επικοινωνίας μεταξύ των τερματικών υπολογιστών. Διάσπαση Δεδομένων σε πακέτα, Ανασύνθεση, έλεγχος ορθής αποστολής, διόρθωση σφαλμάτων, πρωτόκολλα επανεκπομπής, σύνδεση με νοητά κυκλώματα/αυτοδύναμα πακέτα, πολυπλεξία μηνυμάτων κλπ. (Θα ασχοληθούμε με τέτοια θέματα σε ασκήσεις του βιβλίου «Δίκτυα Υπολογιστών»)

**Επίπεδο Δικτύου:** Δρομολογήση πακέτων μεταξύ γειτονικών κόμβων, έλεγχος συμφόρησης κόμβων, διευθυνσιοδότηση πακέτων

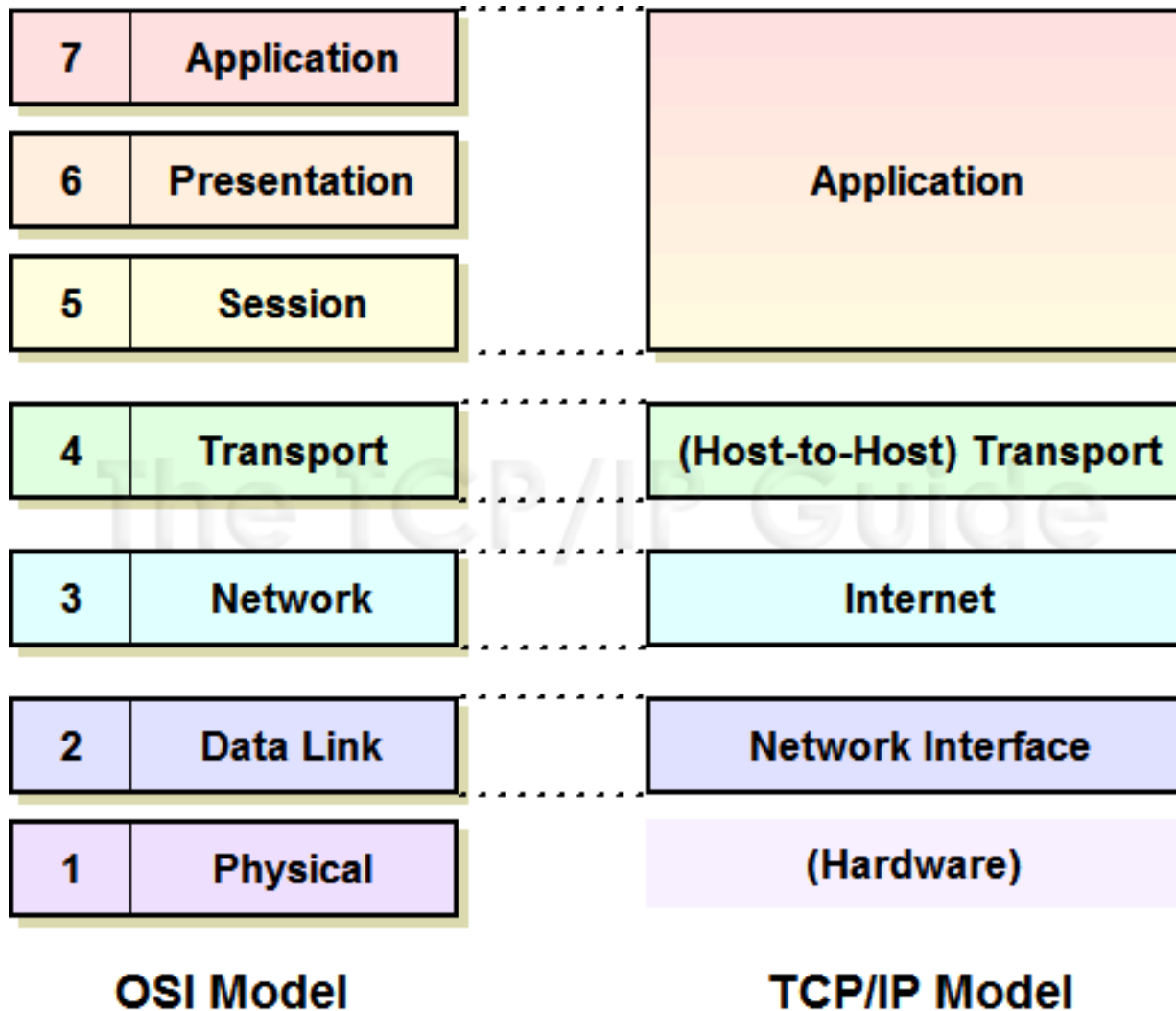
**Επίπεδο Σύνδεσης Δεδομένων:** Οργάνωση πακέτων σε πλαίσια, πρόσθεση πληροφοριών ελέγχου, έλεγχος σφαλμάτων, διόρθωση σφαλμάτων, πρωτόκολλα επανεκπομπής(Θα ασχοληθούμε με τέτοια θέματα σε ασκήσεις του βιβλίου «Δίκτυα Υπολογιστών»)

**Φυσικό επίπεδο:** Ηλεκτρικές/Μηχανικές/Λειτουργικές προδιαγραφές μετάδοσης σημάτων μεταξύ κόμβων (Χαρακτηριστικά Μετάδοσης, Διαμόρφωσης Σήματος, Κωδικοποίησης Καναλιού κλπ) (Ασχοληθήκαμε με τέτοια θέματα σε ασκήσεις του βιβλίου «Ψηφιακές Επικοινωνίες»)

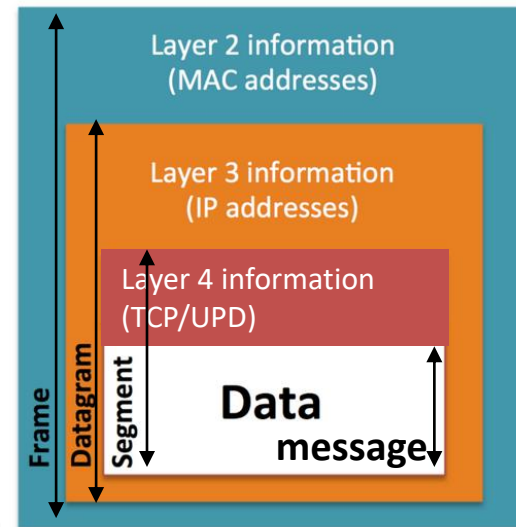
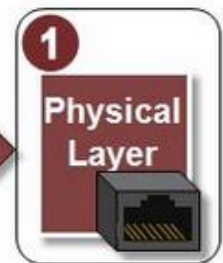
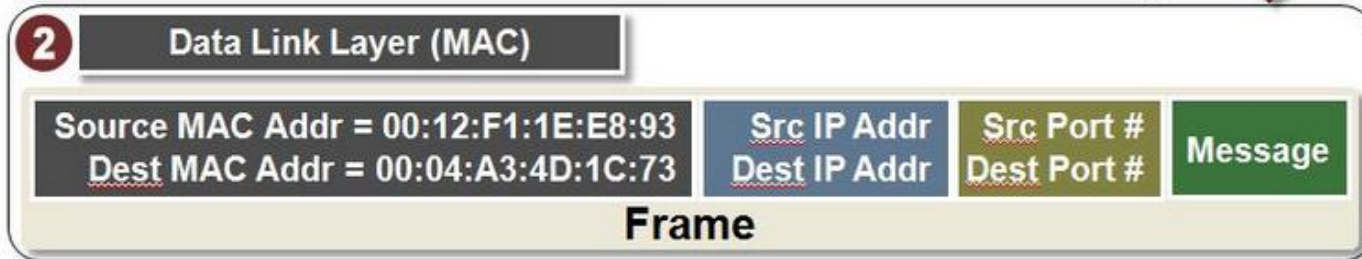
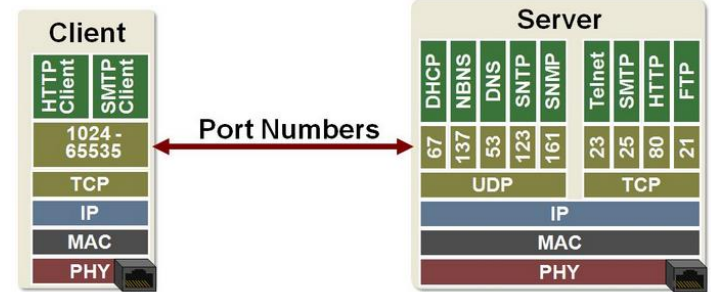
Για το Διαδίκτυο (σελ.58-61)έχουμε την εξής διαστρωμάτωση:

- Επίπεδο Εφαρμογής (περιλαμβάνει τα OSI επίπεδα 7,6,5)
- Επίπεδο Μεταφοράς (TCP/UDP) (περιλαμβάνει το OSI επίπεδο 4)
- Επίπεδο Δικτύου (IP) (περιλαμβάνει το OSI επίπεδο 3)
- Επίπεδο Πρόσβασης (περιλαμβάνει τα OSI επίπεδα 2,1)

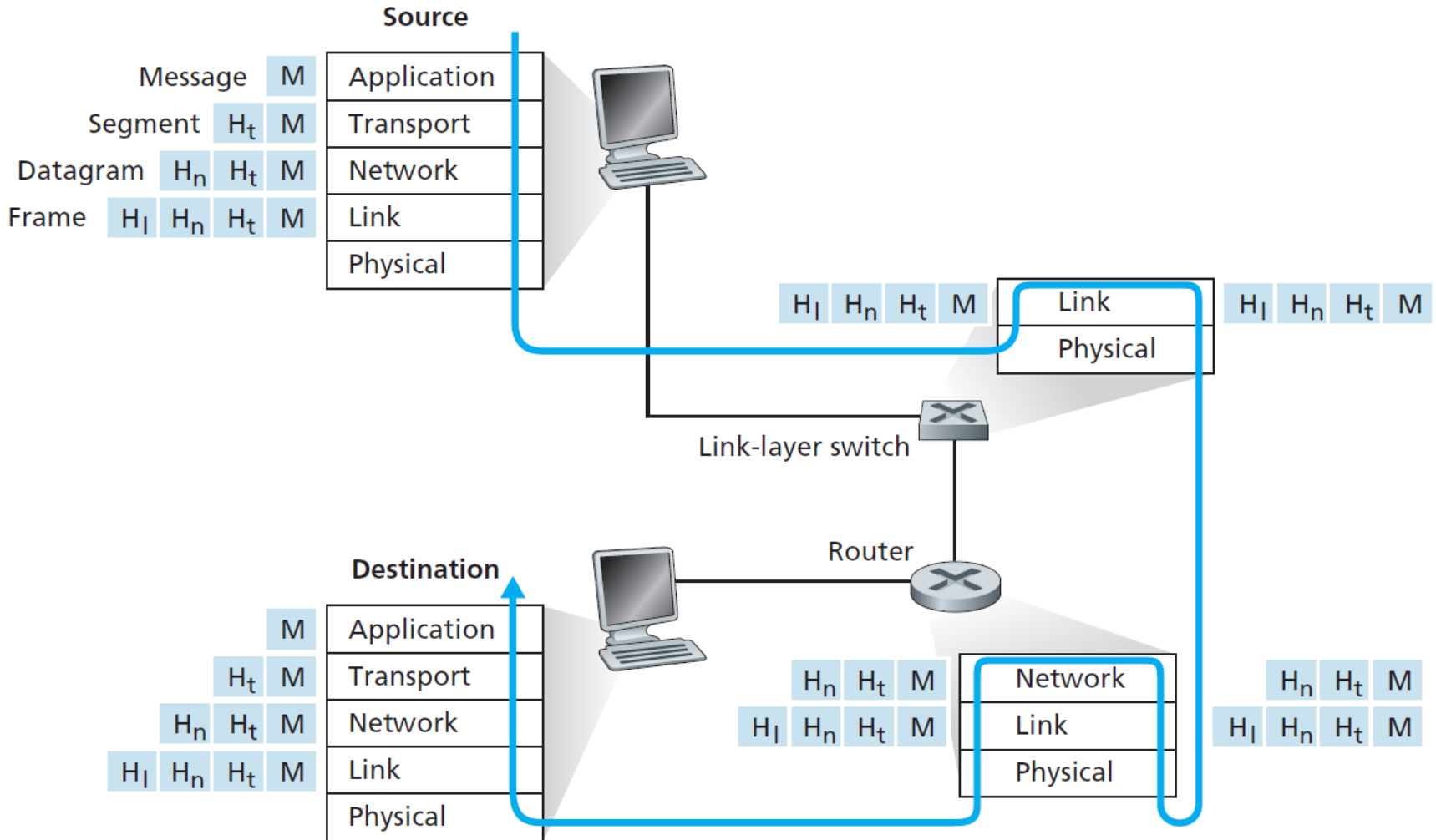
# OSI – TCP/IP layers



# Ενθυλάκωση-Παράδειγμα



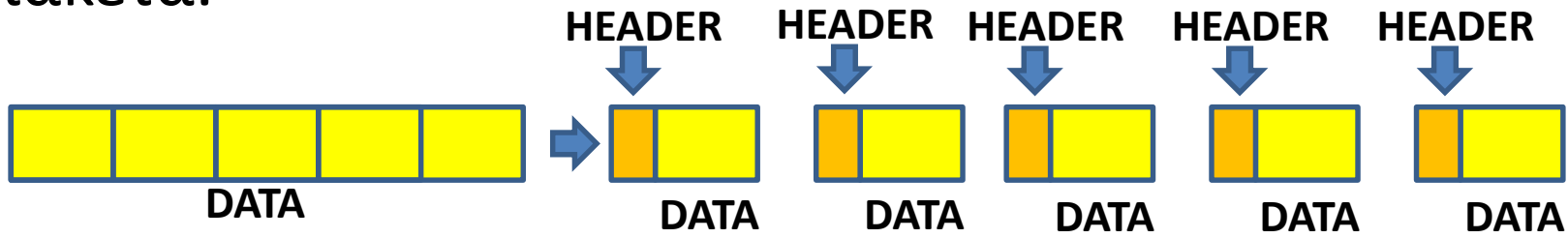
# Ενθυλάκωση



[PLH22 1st OSS Networks 2015 2016 final](#)

# Μετάδοση περιεχομένου-΄Πακετοποίηση΄

- Σκοπός: Διαίρεση αρχείων σε κατάλληλου μεγέθους πακέτα.

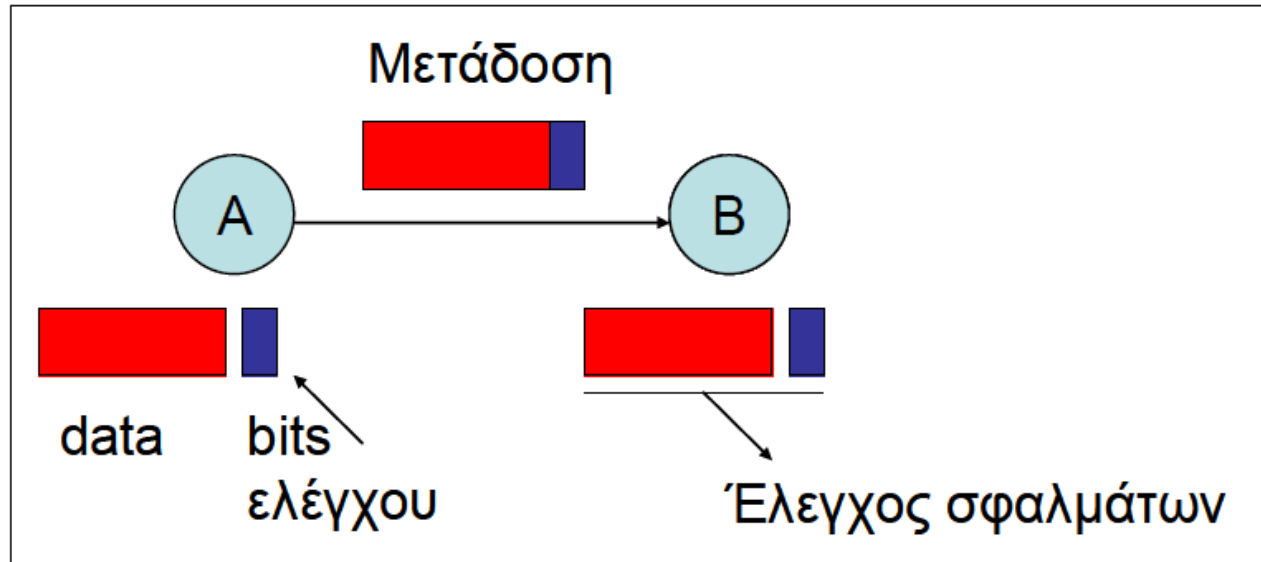


- Πλεονεκτήματα
  - Εντοπισμός και αντιμετώπιση σφαλμάτων μετάδοσης με αποδοτικό τρόπο
  - Πιο εύκολη πολυπλεξία πολλαπλών χρηστών και μεταδόσεων
- Προσθήκη επικεφαλίδας σε κάθε πακέτο για προσθήκη πληροφοριών
  - Δρομολόγησης
  - Σειράς
  - Ελέγχου σφαλμάτων

# Ανίχνευση Σφαλμάτων CRC

# Τεχνικές Εντοπισμού Σφαλμάτων

Cyclic Redundancy Check (CRC) .σελ. 78-82



Αν εντοπίζεται ότι υπάρχει σφάλμα -> αίτηση για επανεκπομπή.



Υπάρχει μια ακολουθία bits γνωστή σε πομπό και δέκτη – Πολυώνυμο Γεννήτορας  $G(x)$

Αντιστοίχιση σε ακολουθία μήκους  $n+1$  bits ενός πολυωνύμου βαθμού  $n$

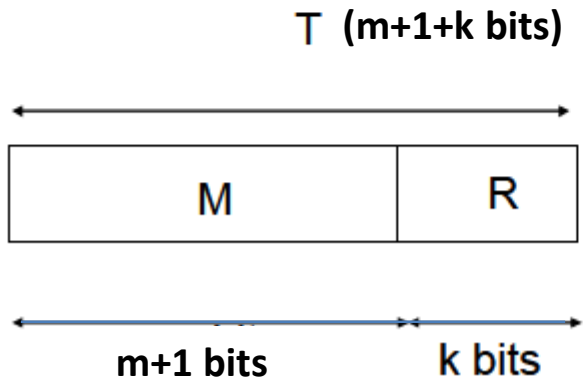
π.χ CRC-8 σελ.82  $\overset{8\ 7\ 6\ 5\ 4\ 3\ 2\ 1\ 0}{100000111} \leftrightarrow 1x^8 + 0x^7 + 0x^6 + 0x^5 + 0x^4 + 0x^3 + 1x^2 + 1x^1 + 1x^0 =$   
 $= x^8 + x^2 + x + 1$  Εδώ ο κώδικας μήκους  $n+1=9$  bits αντιστοιχεί σε πολυώνυμο βαθμού  $n=8$

**Αλγόριθμος CRC:**

Το μήνυμα  $M(x)$  βαθμού  $m$  (δηλ.  $m+1$  bits) κωδικοποιείται από το Πολυώνυμο Γεννήτορας  $G(x)$  βαθμού  $k$  (δηλ.  $k+1$  bits) ως εξής:

Εκτελούμε τη διαίρεση  $\frac{M(x)x^k}{G(x)}$  και υπολογίζουμε το ΥΠΟΛΟΙΠΟ  $R(x)$  (το οποίο θα έχει  $k$  bits)

Μεταδίδουμε το πλαίσιο  $T(x) = M(x)x^k + R(x)$



Το πλαίσιο  $T(x)$  στη διαδρομή μπορεί να επηρεαστεί από θόρυβο και κάποια bits να αλλοιωθούν οπότε να ληφθεί το πλαίσιο  $T'(x)=T(x)+E(x)$  όπου το  $E(x)$  είναι ακολουθία bits ίσου μεγέθους με το  $T(x)$  και έχει bits ίσα με 1 στις αντίστοιχες θέσεις όπου έχουν αλλοιωθεί τα bits του  $T(x)$ .

$$\text{Γίνεται η διαίρεση } \frac{T'(x)}{G(x)} = \frac{T(x) + E(x)}{G(x)} = \frac{T(x)}{G(x)} + \frac{E(x)}{G(x)}$$

Εάν δεν υπάρχει σφάλμα, ( $E(x)=000000\dots000$ ) τότε το υπόλοιπο θα ισούται με μηδέν.

Εαν υπάρχει σφάλμα (το  $E(x)$  μη μηδενικό) αυτό θα ισούται με το υπόλοιπο της διαίρεσης  $\frac{E(x)}{G(x)}$  μια και η διαίρεση  $\frac{T(x)}{G(x)}$  έχει μηδενικό υπόλοιπο.

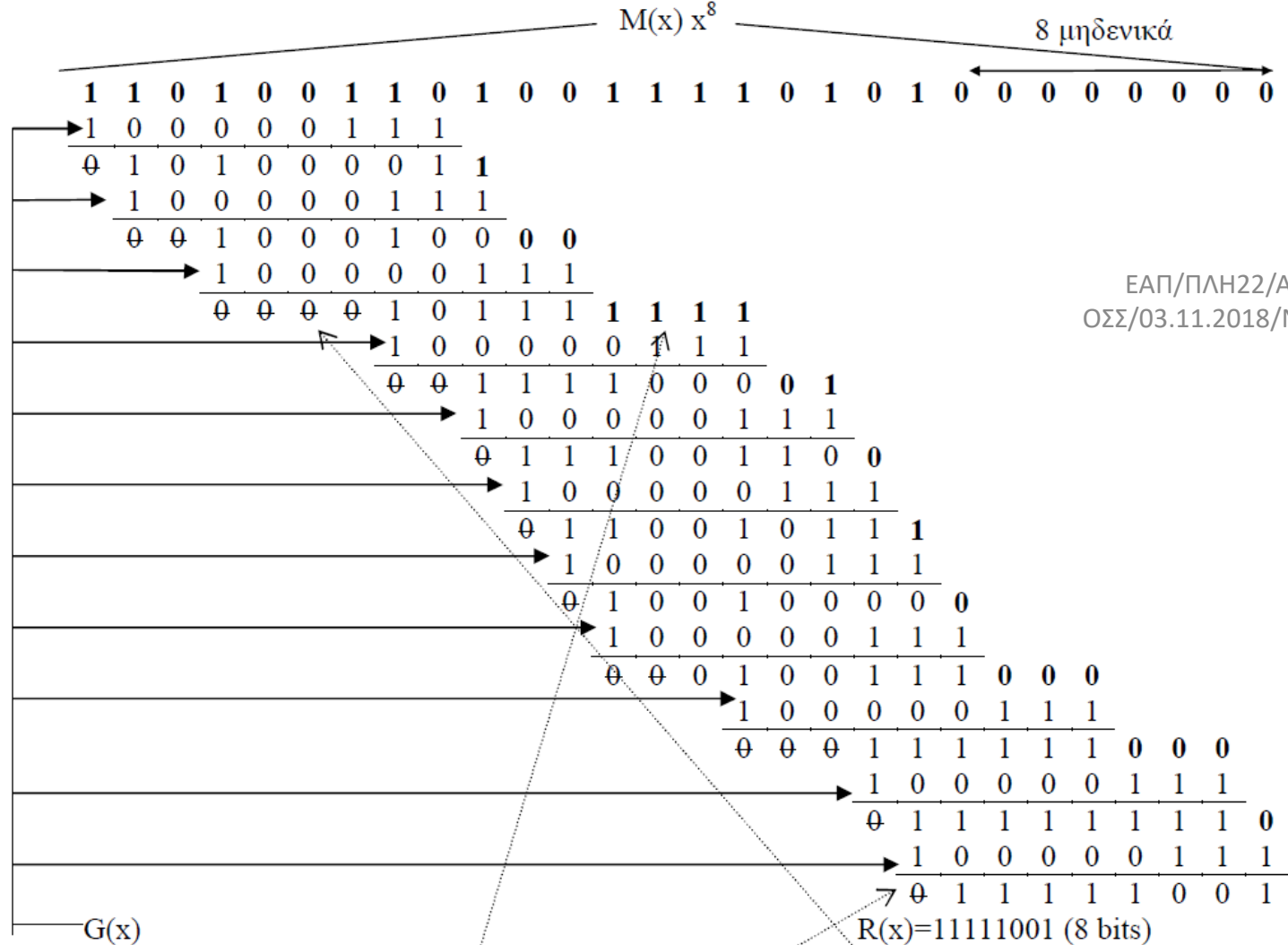
### A.A. 3.5

$M(x)=11010011010011110101$  20bits

$G(x)=100000111$  (9 bits)  $k=8$

Εκτελούμε τη διαίρεση ως εξής:

Προσθέτουμε στο τέλος του  $M(x)$   $k$  μηδενικά και διαδοχικά προσθέτουμε από αριστερά προς τα δεξιά το  $G(x)$



Κάθε φορά ‘κατεβάζουμε’ τόσα bits του  $M(x) x^8$ , όσα και τα μηδενικά αριστερά του  $1^{ου}$  ‘1’.

Οι προσθέσεις που γίνονται δεν έχουν κρατούμενο  $1+1=0+0=0$ ,  $1+0=0+1=1$ .

Το υπόλοιπο προκύπτει όταν το αποτέλεσμα της πρόσθεσης οδηγεί σε αποτέλεσμα με  $k+1$  bits και το  $1^{ο}$  τουλάχιστον (από αριστερά) bit ίσο με μηδέν.

Δυνατότητες Εντοπισμού σφαλμάτων:

- Όλα τα σφάλματα περιττού πλήθους bit (1,3,5,...) αρκεί το  $G(x)$  να περιέχει το  $(x+1)$  δηλ. να παραγοντίζεται ως  $G(x)=(x+1) H(x)$ , όπου  $H(x)$  τυχαίο πολυώνυμο.
- Όλα τα σφάλματα 1 bit αρκεί οι όροι  $x^k$  και  $x^0$  του  $G(x)$  να αντιστοιχούν σε '1'
- Όλα τα σφάλματα 2 bit αρκεί το  $G(x)$  να έχει τουλάχιστον 3 μη μηδενικούς όρους

Άρα, το πακέτο προς μετάδοση  $T(x)$  θα είναι

<span style="background-color: #f4a460; padding: 2px 5px;">1 1 0 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1</span>	<span style="background-color: #a4f4f4; padding: 2px 5px;">1 1 1 1 1 0 0 1</span>
$M(x)$	$R(x)$

Στο κανάλι αλλοιώνονται το  $2^o$ ,  $4^o$ , και  $11^o$  bits  
 Άρα το  $E(x)$  θα είναι

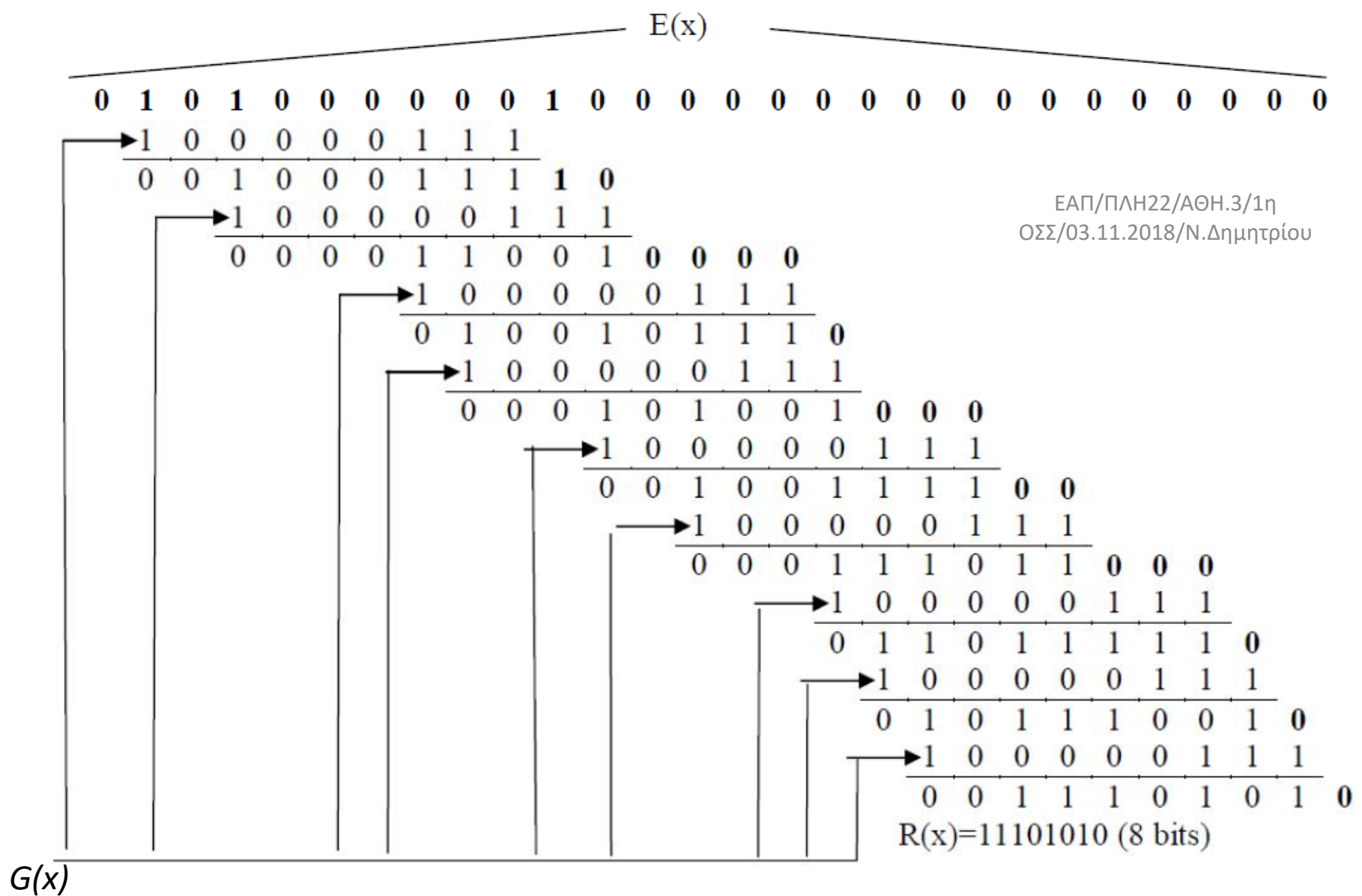
<span style="background-color: #ffff00; padding: 2px 5px;">0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</span>
---

Και το  $T'(x)=T(x)+E(x)$  θα είναι:

<span style="background-color: #f4a460; padding: 2px 5px;">1 <u>0</u> 0 <u>0</u> 0 0 1 1 0 1 <u>1</u> 0 1 1 1 1 0 1 0 1</span>	<span style="background-color: #a4f4f4; padding: 2px 5px;">1 1 1 1 1 0 0 1</span>
--	---

Στο δέκτη, η διαίρεση  $\frac{T'(x)}{G(x)}$  θα δώσει μη μηδενικό υπόλοιπο (ίσο με το υπόλοιπο

της διαίρεσης  $\frac{E(x)}{G(x)}$  διότι  $\frac{T'(x)}{G(x)} = \frac{T(x)+E(x)}{G(x)} = \frac{T(x)}{G(x)} + \frac{E(x)}{G(x)}$



Προσοχή! Πάντα στα επιμέρους αθροίσματα με το  $G(x)$  αγνοούμε τα '0' αριστερά (ο όρος που αθροίζεται με το  $G(x)$  έχει το αριστερότερο ψηφίο του ίσο με '1').

[link](#)

# Εντοπισμός Σφαλμάτων

# 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.
- Πλεονάζουσα πληροφορία =  $8 + n$  bits, όπου  $n = dataBits/7$ 
  - Πολύ πιο αποδοτικό από το να σταλούν όλα τα δεδομένα 2 φορές και επίσης υπάρχει καλύτερη πιθανότητα ανίχνευσης των σφαλμάτων

# Παράδειγμα Δισδιάστατης Ισοτιμίας (1)

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 (2)

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

Bits ισοτιμίας  
(parity bits)

# Παράδειγμα Δισδιάστατης Ισοτιμίας (3)

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

λάθος

λάθος

# Παράδειγμα Δισδιάστατης Ισοτιμίας (4)

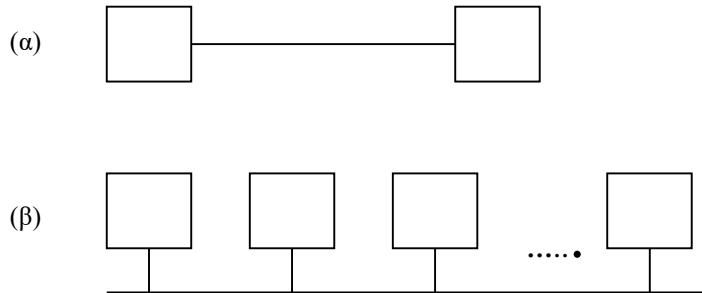
Ο δέκτης παρέλαβε το πιο κάτω πλαίσιο:

0	1	0	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	0	1	0
1	0	1	1	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!

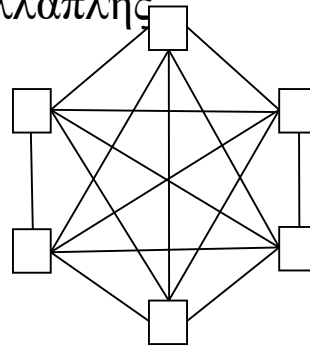
# Μεταγωγή Πακέτων

# Διασυνδεσιμότητα/ Μεταγωγή

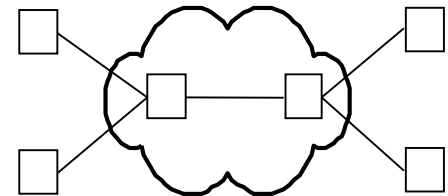


ΕΑΠ/ΠΛΗ22/ΑΘΗ.3/1η  
ΟΣΣ/03.11.2018/Ν.Δημητρίου

Σύνδεσμος (α) σημείου με σημείο, (β) πολλαπλής πρόσβασης.



(α)

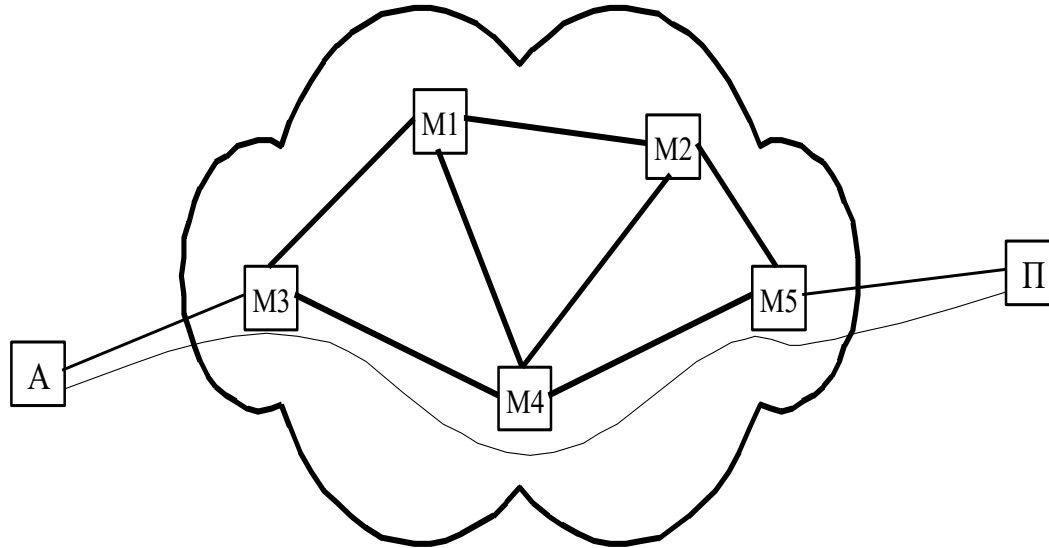


(β)

(α) Το δίκτυο διασύνδεσης 6 κόμβων χρησιμοποιώντας μόνο απευθείας συνδέσεις,

(β) ένα δίκτυο μεταγωγής για τη διασύνδεση 6 κόμβων.

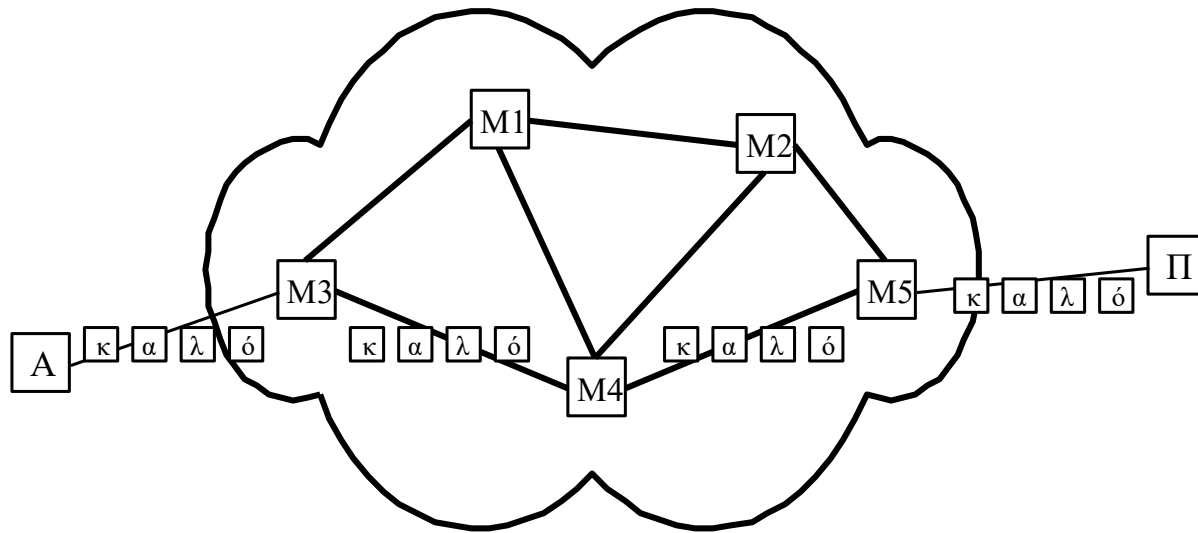
# Δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος



## Δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος

Η μετάδοση δεδομένων μεταξύ A και Π είναι εφικτή μόνο μετά την εγκαθίδρυση ενός ανάλογου κυκλώματος (π.χ. του A-M3-M4-M5-Π). Το κύκλωμα παραμένει ενεργό καθ' όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας των κόμβων και αποδεσμεύεται με το πέρας αυτής.

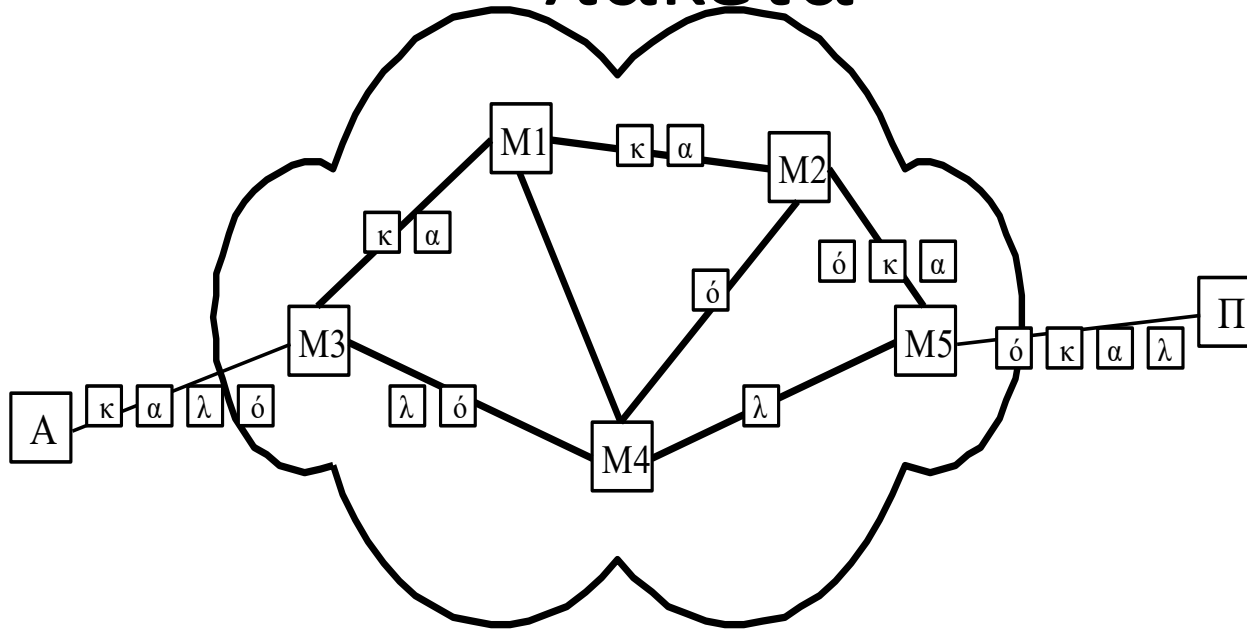
# Δίκτυα μεταγωγής πακέτων με ιδεατά κυκλώματα



## Ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων με ιδεατά κυκλώματα

Σε κάθε μεταγωγέα του δικτύου τα πακέτα μιας ροής δεδομένων δρομολογούνται πάντα από τον ίδιο σύνδεσμο. Έτσι, μπορούμε να σκιαγραφήσουμε στο δίκτυο ένα ιδεατό κύκλωμα που αφιερώνεται για την εξυπηρέτηση του συγκεκριμένου ζευγαριού (αποστολέα - παραλήπτη).

# Δίκτυα μεταγωγής με αυτοδύναμα πακέτα

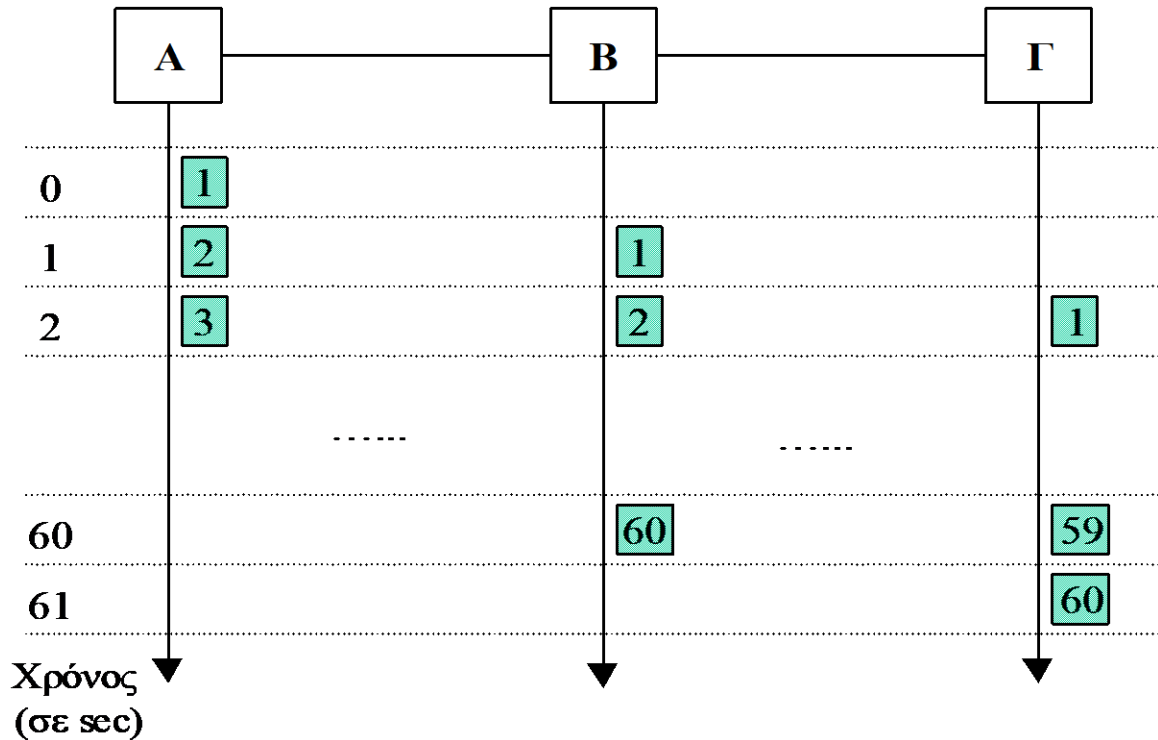


## Ένα δίκτυο μεταγωγής με αυτοδύναμα πακέτα

Σε κάθε μεταγωγέα του δικτύου τα πακέτα μιας ροής δεδομένων δρομολογούνται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Έτσι, μπορούν να ακολουθήσουν διαφορετικές διαδρομές κατά τη διέλευσή τους από το δίκτυο.



# Δίκτυα μεταγωγής πακέτων – Μετάδοση με αποθήκευση και προώθηση



**παράδειγμα της μετάδοσης με αποθήκευση και προώθηση**

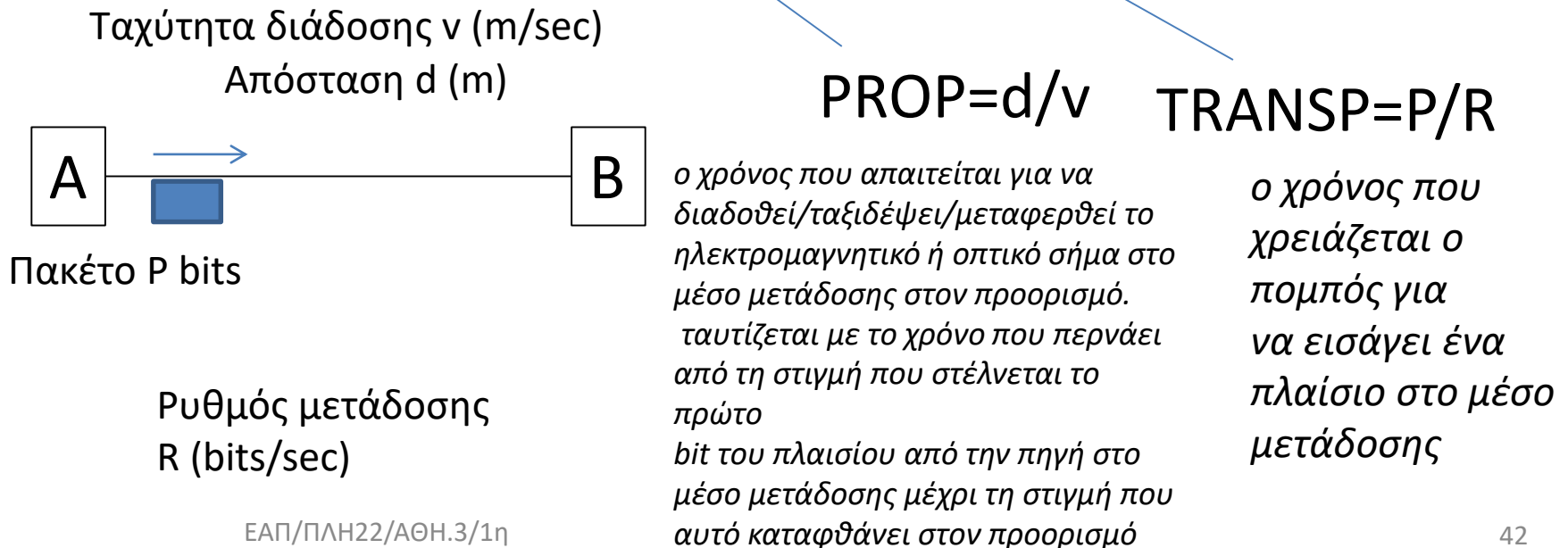
Τα πακέτα στέλνονται συνεχόμενα στο δίκτυο και έτσι μειώνουμε τον απαιτούμενο χρόνο μετάδοσης της πληροφορίας.

# Καθυστέρηση μεταφοράς πακέτου

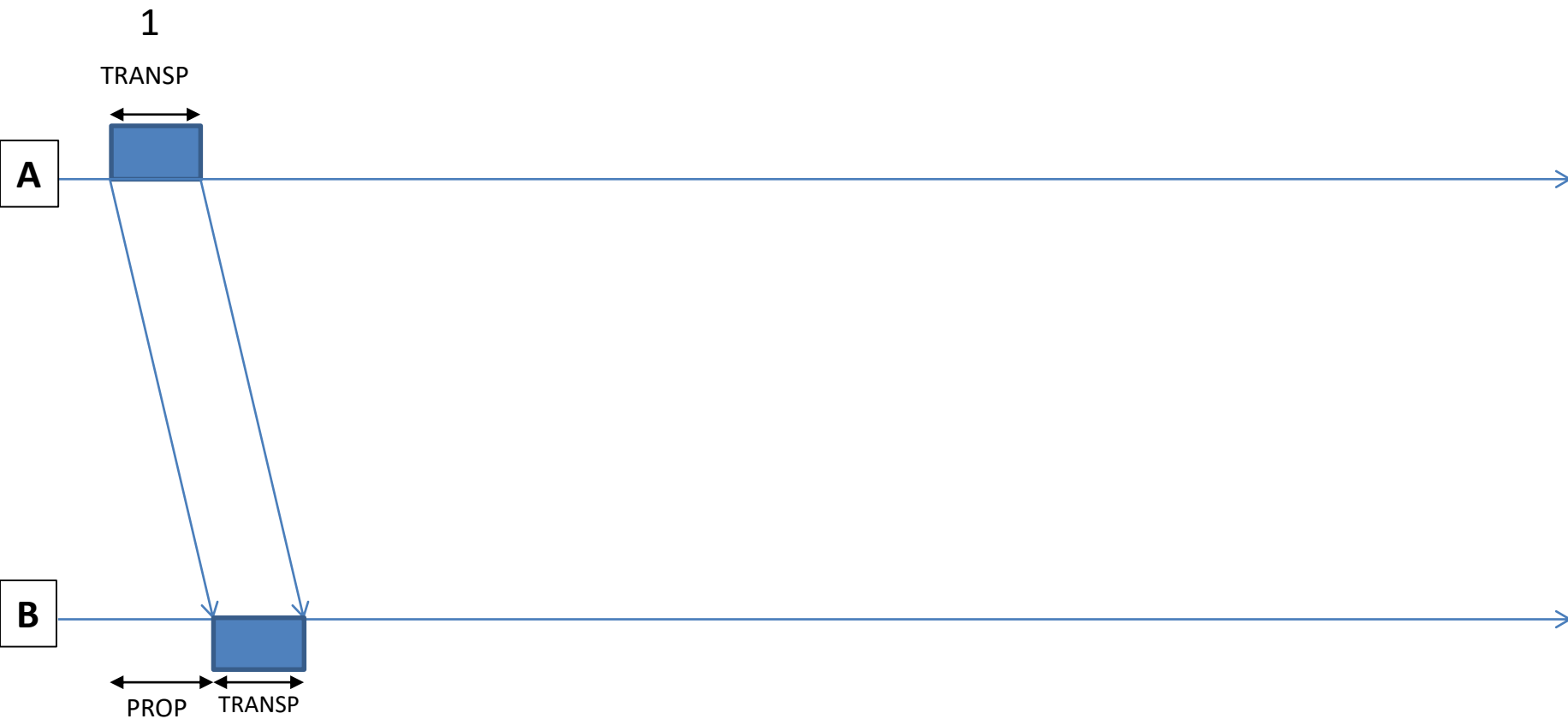
## 1.5.2 Καθυστέρηση Μεταφοράς

Η καθυστέρηση μεταφοράς εκφράζει το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να μεταφερθεί ένα bit από ένα άκρο του δικτύου σε ένα άλλο άκρο και ισούται με το ακόλουθο άθροισμα:

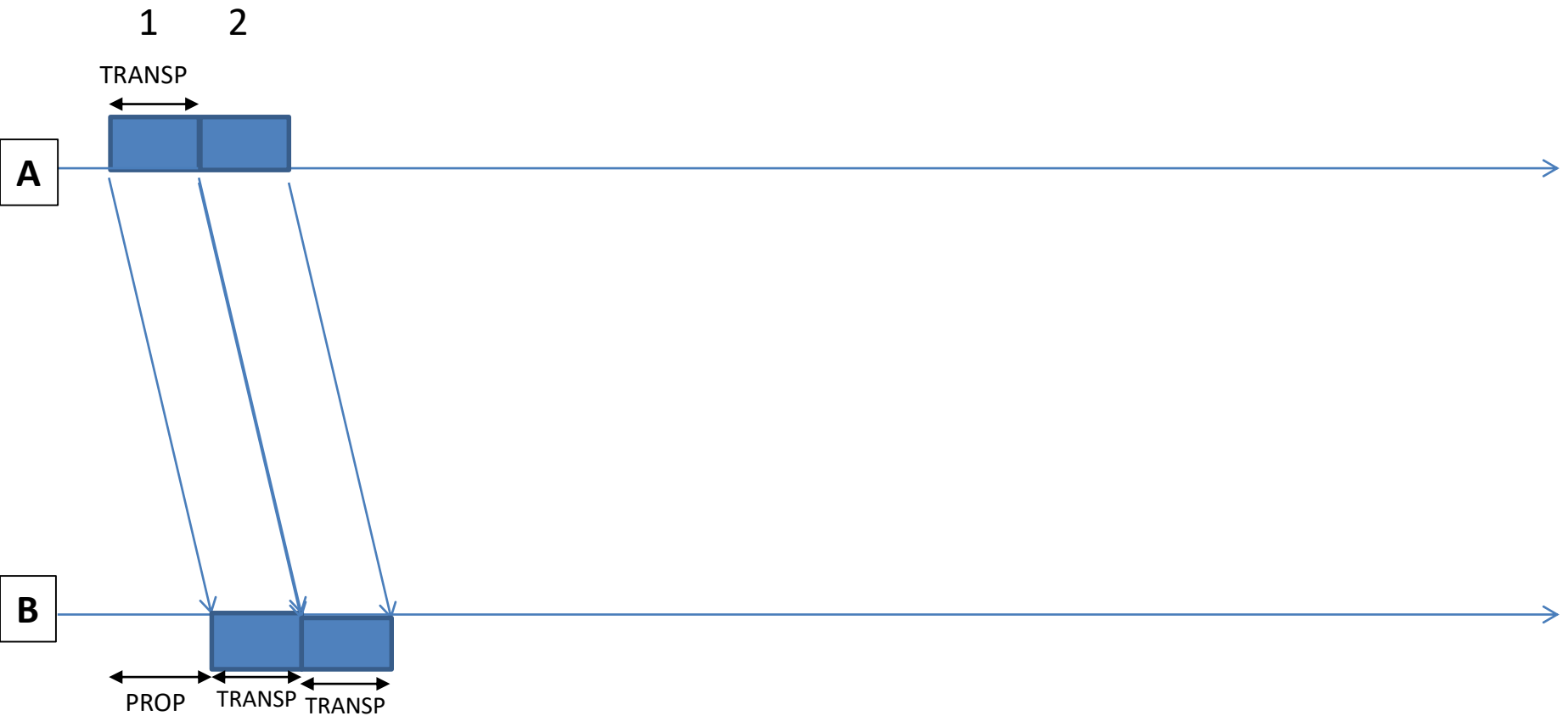
*Καθυστέρηση Μεταφοράς = Χρόνος Διάδοσης + Χρόνος Μετάδοσης + Χρόνος Αναμονής*



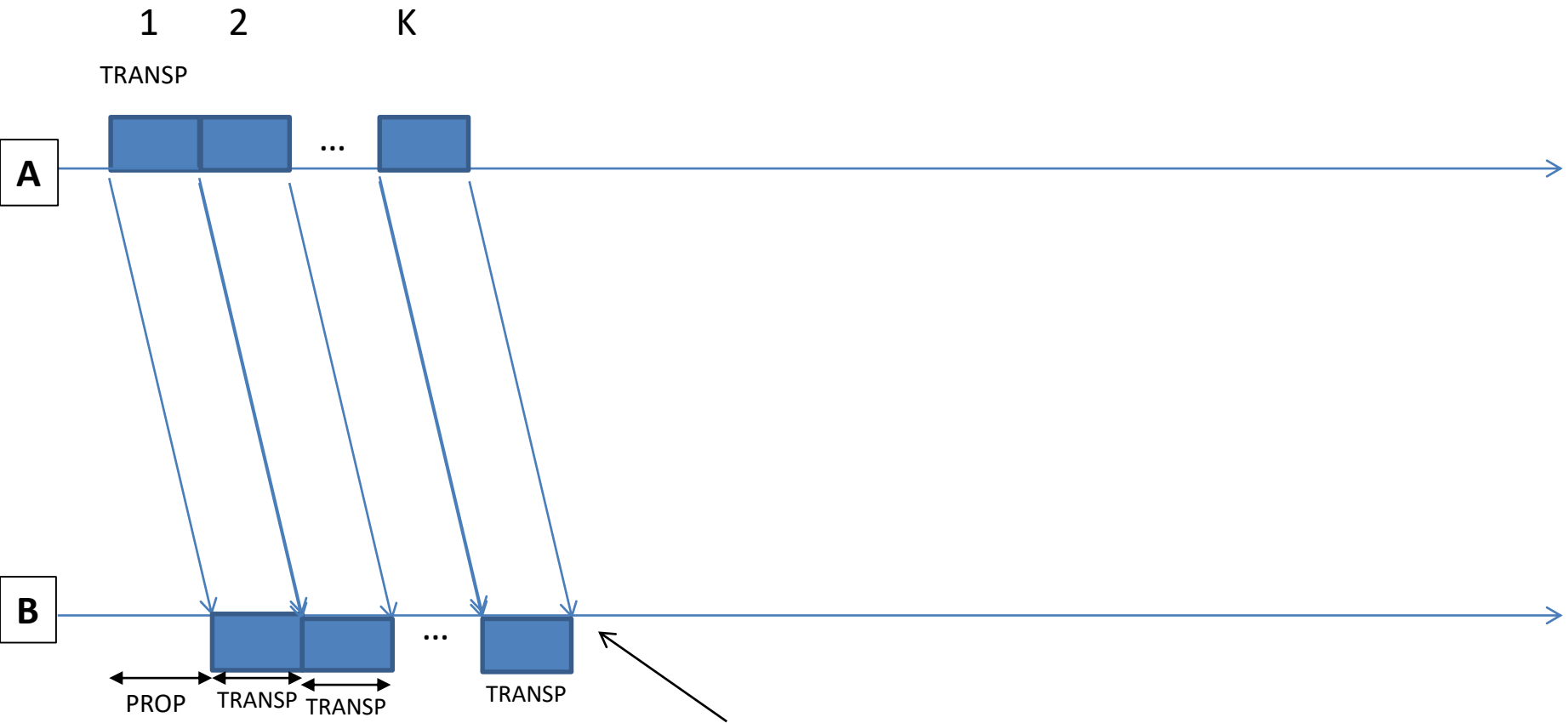
# 1 πακέτο



# 2 πακέτα



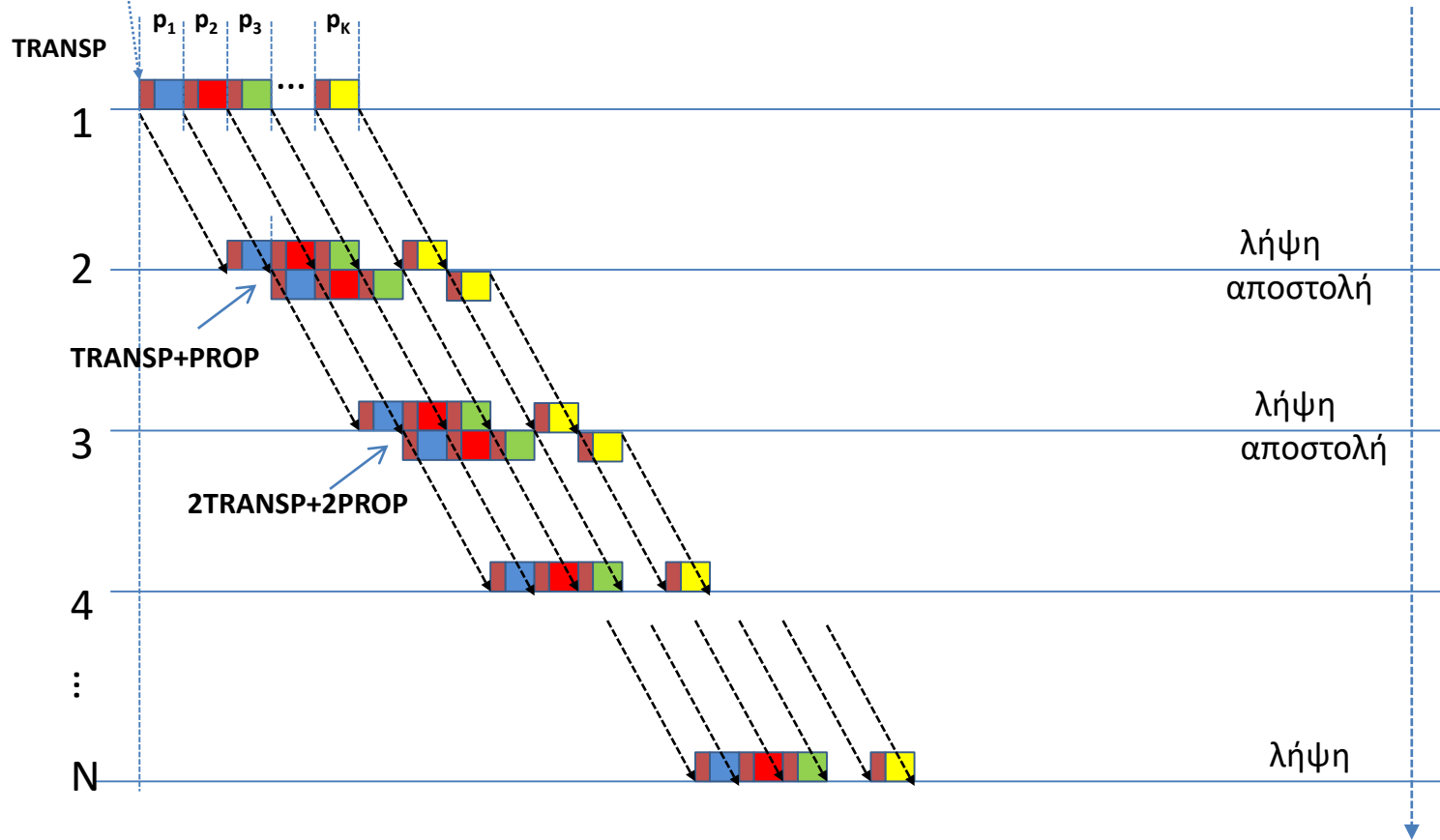
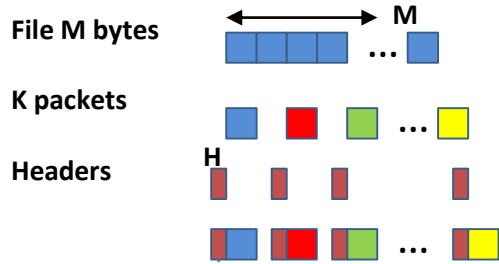
# Κ πακέτα



Συνολική καθυστέρηση μεταφοράς  $PROP + K \times TRANSP$

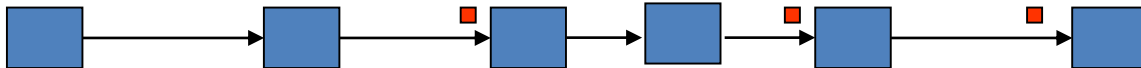
# N σύνδεσμοι

ΕΑΠ/ΠΛΗ22/ΑΘΗ.3/1η  
ΟΣΣ/03.11.2018/Ν.Δημητρίου



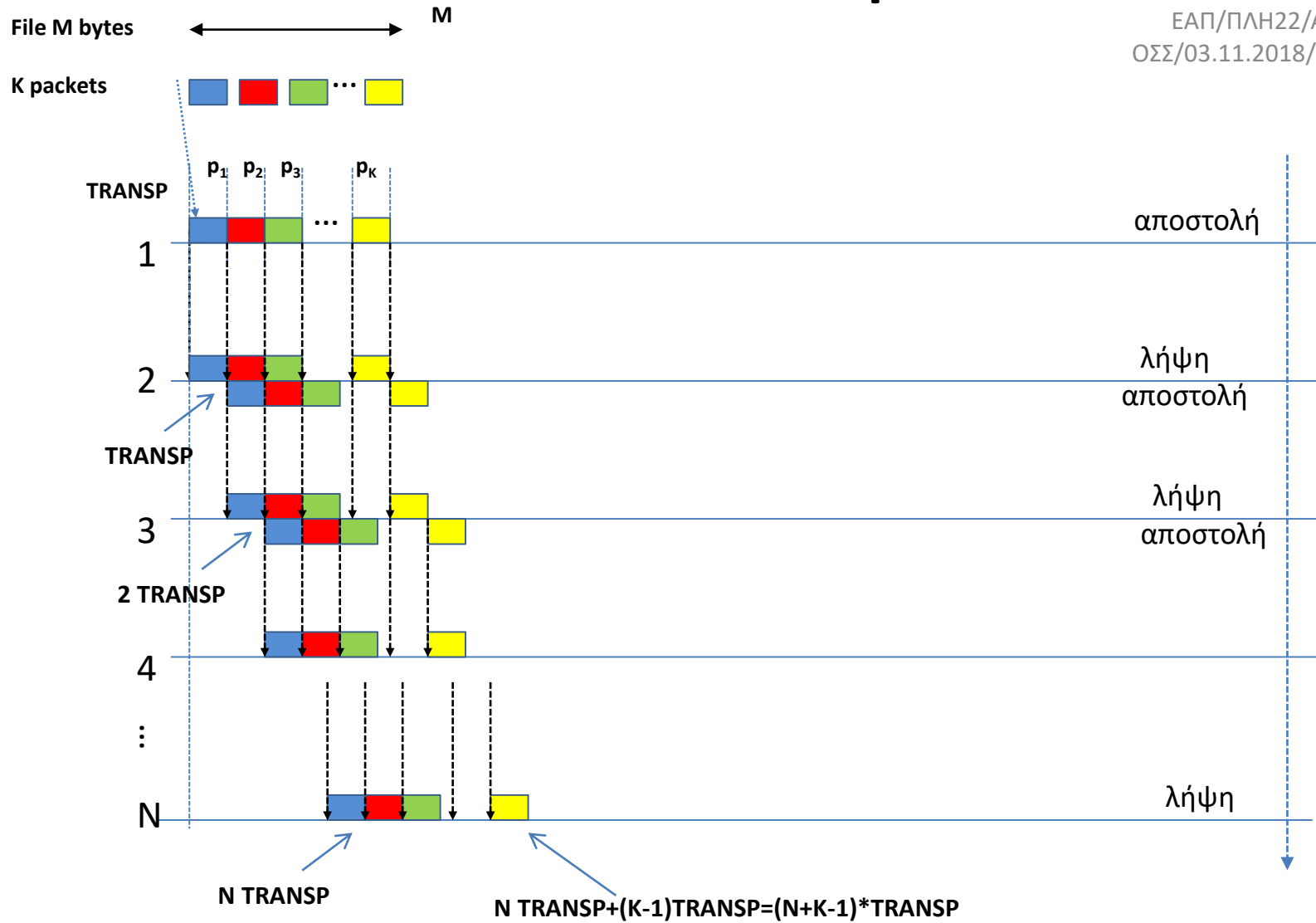
Έστω ότι θέλουμε να μεταφέρουμε ένα αρχείο μεγέθους  $S$  bits μέσα από ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων  $N$  συνδέσμων. Εάν ο κάθε σύνδεσμος μπορεί να μεταδίδει  $R$  bits σε κάθε sec (δηλαδή έχει ρυθμό μετάδοσης  $R$  bits/sec) και το μέγεθος πακέτου είναι  $P$  bits, τότε υπολογίστε το συνολικό χρόνο μεταφοράς  $T$  του αρχείου. Επίσης, πόσο θα πρέπει να μειώσουμε το μέγεθος του πακέτου έτσι ώστε να μεταφέρουμε το αρχείο στο μισό χρόνο;

- **Αρχείο  $S$  bits,  $N$  σύνδεσμοι, Ρυθμός  $R$  bits/sec, Μέγεθος Πακέτου  $P$  bits. Χρόνος Μετάδοσης  $T$  του  $S$ ;**
- Αριθμός Πακέτων:  $K=S/P$
- Χρόνος μετάδοσης πακέτου ανά σύνδεσμο:  $t_1=P/R$
- Χρόνος Μετάδοσης σε όλους τους  $N$  συνδέσμους:  $t_N=t_1*N$
- Όταν το πρώτο από τα πακέτα διανύσει και τον τελευταίο σύνδεσμο θα έχει παρέλθει χρόνος  $t_N$  ενώ τα υπόλοιπα  $K-1$  πακέτα θα βρίσκονται στους υπόλοιπους  $K-1$  συνδέσμους.
- Ο συνολικός χρόνος  $T= t_N+t_1*(K-1)=P/R*(N+K-1)$ .
- Αν θέλουμε να μειώσουμε το χρόνο μετάδοσης στο μισό θα πρέπει να λύσουμε ως προς  $P'$  τη σχέση  $T'=T/2$ .



# Λύση

ΕΑΠ/ΠΛΗ22/ΑΘΗ.3/1η  
ΟΣΣ/03.11.2018/Ν.Δημητρίου





# Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 1.4

- **K=91 πακέτα, N=10 σύνδεσμοι, R=10kbps,**
- **α) Μεταγωγή με ιδεατά κυκλώματα**
  - Εγκαθίδρυση ιδεατού κυκλώματος 100 ms
  - Επιβάρυνση επικεφαλίδας H=5 bits
- **β) Μεταγωγή με αυτοδύναμα πακέτα**
  - Δεν έχουμε εγκαθίδρυση ιδεατού κυκλώματος
  - Επιβάρυνση είναι διπλάσια, 10 bits
- Με βάση την άσκηση αξιολόγησης 1.2 έχουμε ότι ο χρόνος μετάδοσης για,
  - Ιδεατά κυκλώματα είναι  $T_{vc} = 100 + (P+5)/R * (N+K-1)$
  - Αυτοδύναμα πακέτα είναι  $T_D = (P+10)/R * (N+K-1)$
  - $T_{vc} - T_D > 0$

# Πρωτόκολλα Επανεκπομπής & Απόδοση

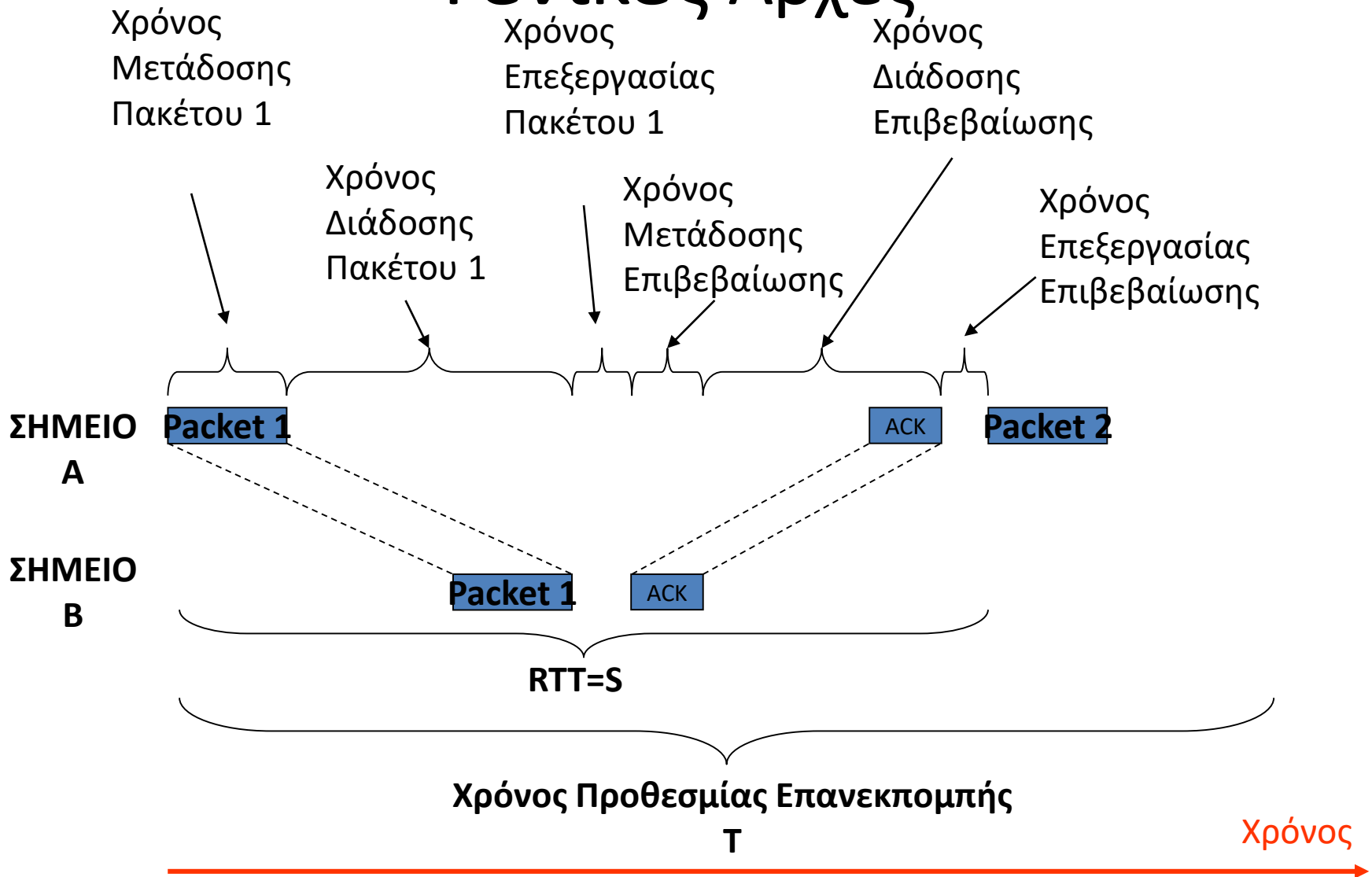
# Γενικές Αρχές

- Δίκτυα μεταγωγής πακέτων.
- Κάθε πακέτο εξοπλίζεται με πληροφορίες ελέγχου και προωθείται στο Επίπεδο Σύνδεσης Δεδομένων (Data Link) για την πλαισίωσή του και τη μεταφορά του πάνω από το φυσικό μέσο.
- Το φυσικό μέσο μετάδοσης δεν μπορεί να εγγυηθεί μία μεταφορά πλαισίου απαλλαγμένη από σφάλματα.
- Τα δίκτυα επικοινωνιών πρέπει να περιλαμβάνουν μηχανισμούς για τον εντοπισμό (π.χ., CRC) και το χειρισμό των σφαλμάτων μεταφοράς.
- Παρ' όλα αυτά πακέτα φτάνουν με λάθη όποτε για την αξιόπιστη παράδοσή τους εφαρμόζονται μηχανισμοί επανεκπομπής

# Γενικές Αρχές

- Πρωτόκολλα:
  - *Εναλλασσομένου bit (Alternating Bit Protocol)*
    - *Παύση και Αναμονή (Stop and Wait)*
  - *Οπισθοχώρησης κατά N (Go Back N)*
  - *Επιλεκτικής επανάληψης (Selective Repeat Protocol)*
- Μηχανισμοί:
  - *Χρονομετρητές (Χρόνος προθεσμίας)*
  - *Επιβεβαιώσεις Λήψης/ Αρνητικές Επιβεβαιώσεις*

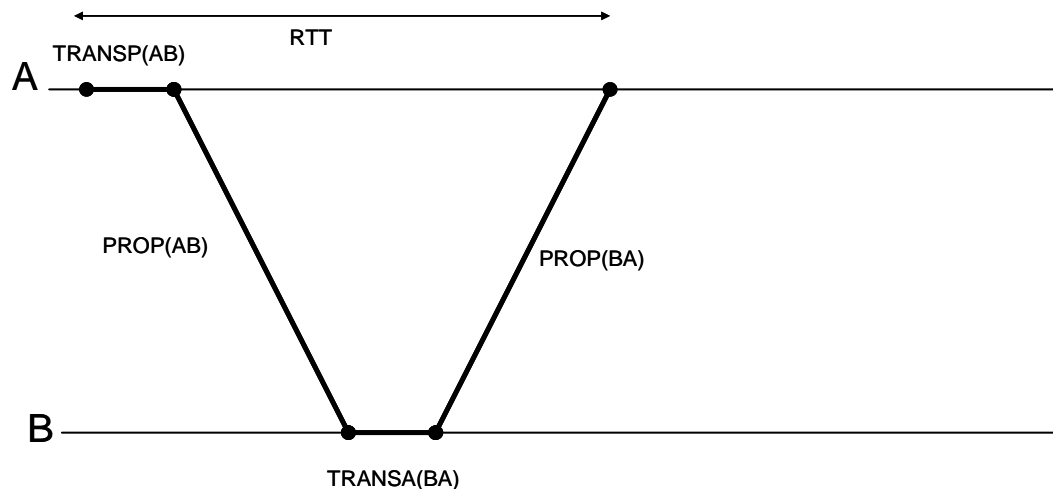
# Γενικές Αρχές



# Πρωτόκολλο Επανεκπομπής ABP

- Η παύση και αναμονή (stop-and-wait) είναι η βασική ιδέα του πρωτοκόλλου ABP: μόλις ο αποστολέας μεταδώσει ένα πλαίσιο, περιμένει το ACK από τον παραλήπτη πριν προχωρήσει στην αποστολή του επόμενου πλαισίου.
- Εάν το ACK δεν φτάσει μέσα στον προσυμφωνημένο χρόνο προθεσμίας, τότε μεταδίδει ξανά το πλαίσιο.
- Για την αποφυγή παρεξηγήσεων, η διάταξη των πλαισίων δεδομένων αποτυπώνεται δεσμεύοντας 1 bit στην επικεφαλίδα του πλαισίου. Δηλαδή, τα πιθανά νούμερα πλαισίων είναι τα 0 και 1.
- Τα ACKs περιέχουν αναφορές στην αρίθμηση των αντίστοιχων πλαισίων δεδομένων που επιβεβαιώνουν.

# Απόδοση Πρωτοκόλλου Επανεκπομπής ABP



- Καθυστέρηση Μεταφοράς = Χρόνος Διάδοσης (PROP)+Χρόνος Μετάδοσης (TRANSP ή TRANSA) +Χρόνος Αναμονής
- Χρόνος αποστολής πακέτου δεδομένων και επιστροφής επιβεβαίωσης (Round Trip Time)

$$S=RTT=TRANSP(AB)+PROP(AB)+TRANSA(BA)+PROP(BA)$$

# Απόδοση Πρωτοκόλλου Επανεκπομπής ABP – δίχως σφάλματα

Η απόδοση της ABP χωρίς σφάλματα [ $p(\text{success})=100\%$ ] θα είναι ίση με

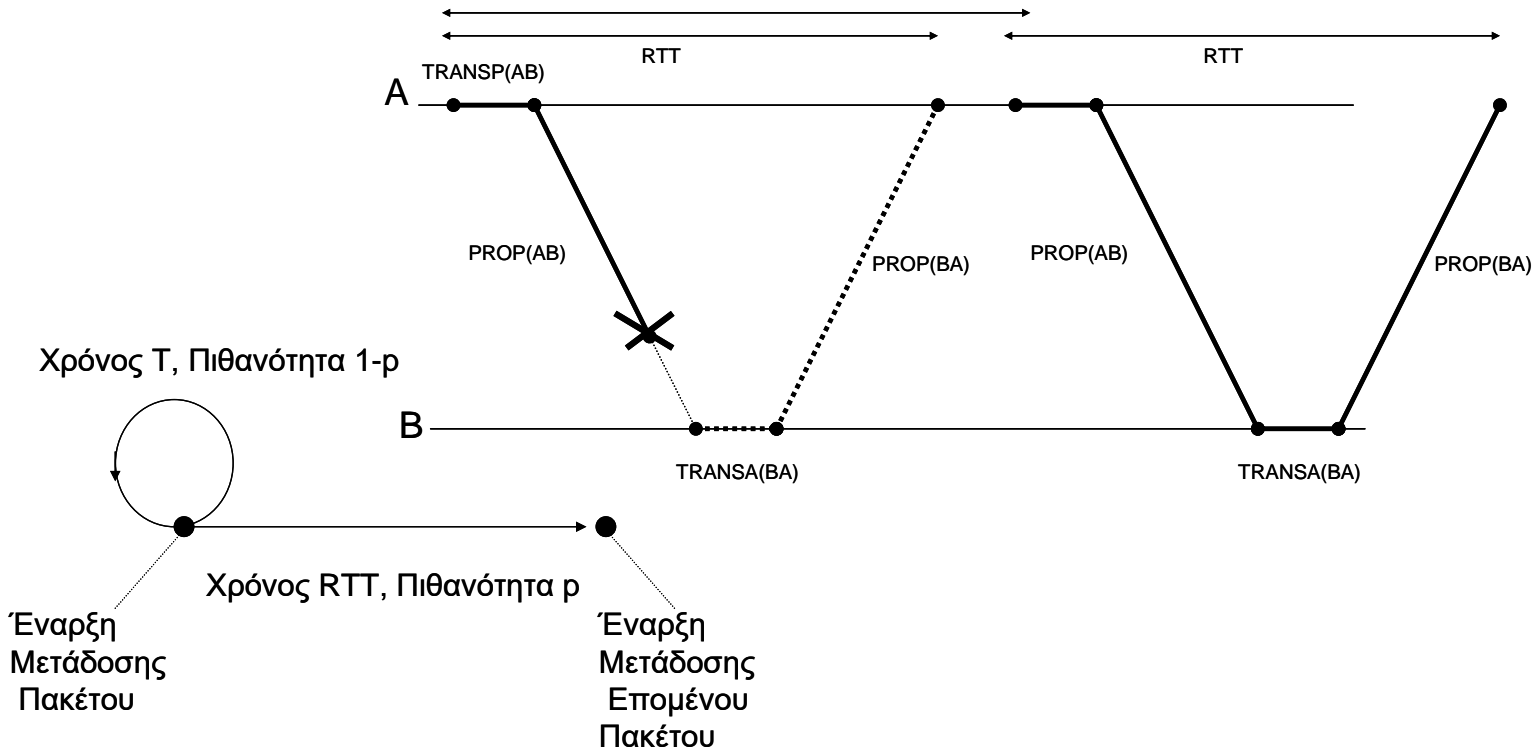
$$n_{ABP} = \frac{TRANSP(AB)}{S} \text{ (duty cycle του κόμβου-αποστολέα A)}$$

$$\text{Ρυθμός ροής πακέτων: } \lambda = 1 \text{ πακέτο κάθε RTT sec} = \frac{1}{RTT} \frac{\text{πακέτο}}{\text{sec}}$$

$$\text{Ρυθμός ροής δεδομένων } r = \lambda \frac{\text{πακέτα}}{\text{sec}} \cdot D \frac{\text{data\_bits}}{\text{πακέτο}} = \lambda D \frac{\text{data\_bits}}{\text{sec}}$$



# Απόδοση Πρωτοκόλλου Επανεκπομπής ABR<sub>T</sub> – με σφάλματα



Μέσος Χρόνος Αποστολής πακέτου

$$E(x) = p \cdot RTT + (1 - p)[T + E(x)]$$

.....↓ αν αποτύχει η μετάδοση (που το αντιλαμβάνεται ο αποστολέας μετά χρόνο T), ο μέσος χρόνος για την επιτυχή επανεκπομπή θα είναι πάλι E(x), διότι η διαδικασία επανεκπομπής δεν έχει μνήμη και η πιθανότητα επιτυχίας της δεν εξαρτάται από το τι συνέβη πριν.

# Απόδοση Πρωτοκόλλου Επανεκπομπής ABP – με σφάλματα

$$E(x) = RTT + \frac{(1-p)}{p} T$$

Και η απόδοση θα είναι  $n_{ABP} = \frac{TRANSP}{E(x)} = \frac{TRANSP}{RTT + T \frac{1-p}{p}}$ , σχέση (4.4) σελ.109

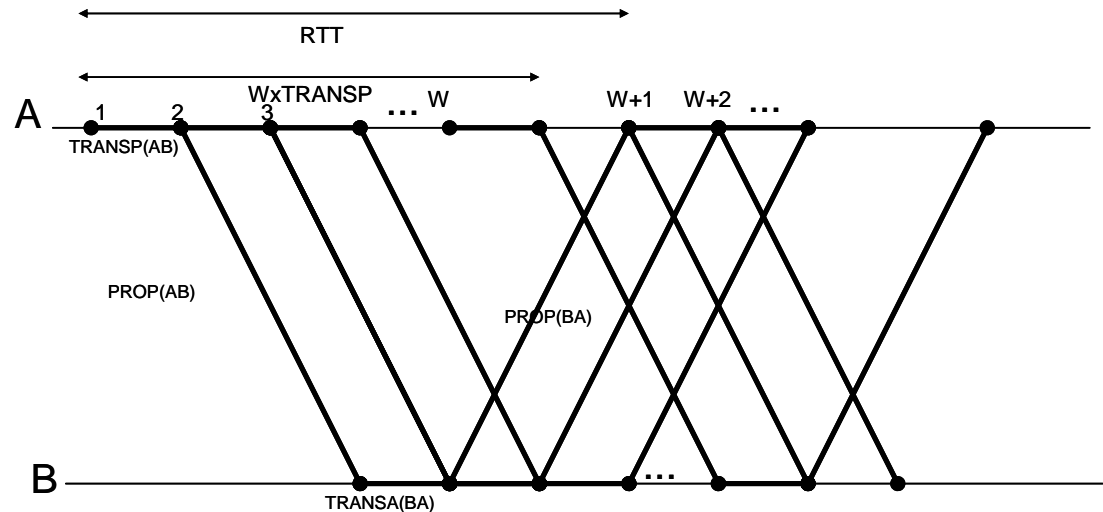
Μέσος ρυθμός ροής πακέτων:  $\lambda = 1 \text{ πακέτο κάθε } E(x) \text{ sec} = \frac{1}{E(x)} \frac{\text{πακέτα}}{\text{sec}}$

Μέσος ρυθμός ροής δεδομένων  $r = \lambda \frac{\text{πακέτα}}{\text{sec}} \cdot D \frac{\text{data\_bits}}{\text{πακέτο}} = \lambda D \frac{\text{data\_bits}}{\text{sec}}$

# Πρωτόκολλο Επανεκπομπής Go-Back-N (GBN)

- Ο αποστολέας μπορεί να στείλει ένα πλήθος από πλαίσια δεδομένων πριν λάβει το 1ο ACK από τον παραλήπτη. Το πλήθος αυτών των ανεπιβεβαίωτων πλαισίων ονομάζεται μέγεθος παραθύρου και συμβολίζεται με  $n$  (ή με  $W$ =window).
- Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι για να εκμεταλλευτεί την χωρητικότητα της ζεύξης για όσο χρόνο κάνει ένα πακέτο να μεταδοθεί, να διαδοθεί και στη συνέχεια να αποσταλεί η επιβεβαίωση.
- Ο αποστολέας μεταδίδει τα πλαίσια - εφόσον υπάρχουν - με αριθμό 0, 1, 2, ...,  $n-1$  και μετά αναμένει, για κάποιο χρόνο  $T$ , την άφιξη του αντίστοιχου ACK για κάθε μεταφερόμενο πλαίσιο.
- Μόλις ο αποστολέας παραλάβει την επιβεβαίωση λήψης ACK-0 για το πλαίσιο 0, τότε μεταδίδει το επόμενο πλαίσιο  $W$ . Ανάλογα, μόλις παραλάβει το ACK-1, τότε αποστέλλει το πλαίσιο  $W+1$ . Έτσι, φροντίζει κάθε στιγμή να βρίσκονται υπό μεταφορά ένα παράθυρο  $W$  ανεπιβεβαίωτων πλαισίων.
- Στην πράξη, συνήθως η σύμβαση είναι ότι αντι να κάνει ACK το  $i$ , μπορεί να κάνει request το  $i+1$  (request number  $RN=i+1$ )

# Απόδοση Πρωτοκόλλου Επανεκπομπής Go Back N – Χωρίς σφάλματα



Αποστολή  $W$  διαδοχικών πακέτων.

Αν επιβεβαιωθεί εντός προθεσμίας  $T \geq RTT$  το πακέτο 1, τότε αποστέλλονται διαδοχικά τα πακέτα  $W+1, W+2, \dots, 2W$ . Αν δεν ληφθεί η επιβεβαίωση του πακέτου  $k$ , τότε επανεκπέμπονται όλα τα πακέτα από το  $k$  και μετά (πάντα τα παράθυρα εκπομπής έχουν  $W$  πακέτα).

Και στην GoBackN, ισχύει ότι

$$S = RTT = \text{TRANSP}(AB) + \text{PROP}(AB) + \text{TRANSA}(BA) + \text{PROP}(BA)$$

Απόδοση χωρίς σφάλματα:

$$n_{GBN} = \frac{W \cdot \text{TRANSP}(AB)}{S} = W \cdot n_{ABP}$$

Αν  $W \cdot \text{TRANSP} \geq RTT$  τότε  $n_{GBN} = 100\%$  οπότε έχουμε ότι,

$$n_{GBN} = \min\left(1, \frac{W \cdot \text{TRANSP}(AB)}{S}\right)$$

# Απόδοση Πρωτοκόλλου Επανεκπομπής Go Back N – Με σφάλματα

Μέσος Χρόνος Αποστολής πακέτου

$$E(x) = p \cdot \text{TRANSP} + (1-p)[T + E(x)] \Rightarrow E(x) = \text{TRANSP} + T \frac{1-p}{p}$$

$$n_{GBN} = \frac{\text{TRANSP}}{E(x)} = \frac{\text{TRANSP}}{\text{TRANSP} + T \frac{1-p}{p}}$$

Αν  $T = W \times \text{TRANSP}$ ,

$$n_{GBN} = \frac{1}{1 + W \frac{1-p}{p}}$$

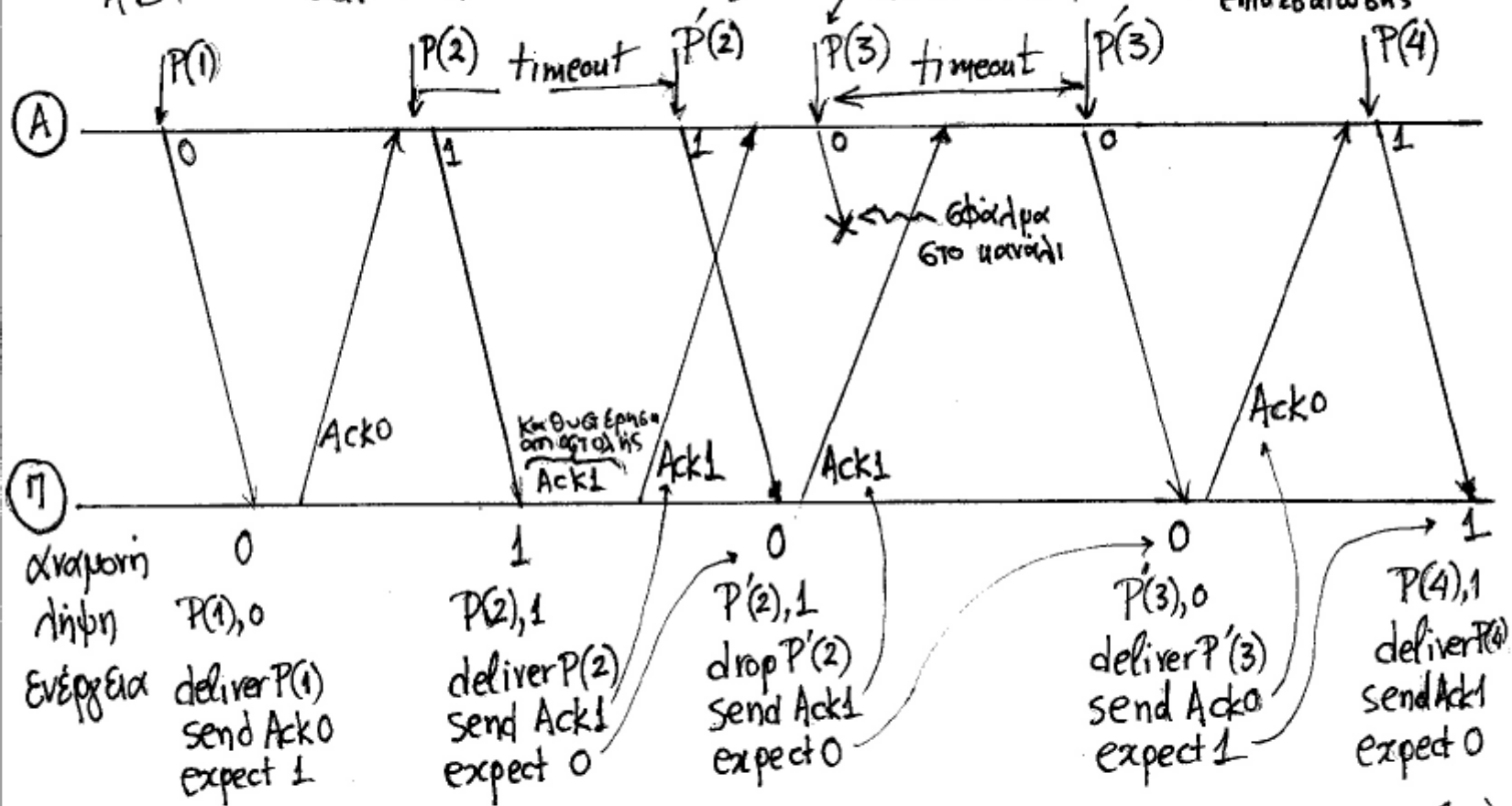
Μέσος ρυθμός ροής πακέτων:  $\lambda = 1 \text{ πακέτο κάθε } E(x) \text{ sec} = \frac{1}{E(x)} \frac{\text{πακέτα}}{\text{sec}}$

# Selective Repeat Protocol

- Το πρωτόκολλο επιλεκτικής επανάληψης βασίζεται στους μηχανισμούς επιβεβαίωσης λήψης και χρόνου προθεσμίας και επιτρέπει περισσότερα από ένα ανεπιβεβαίωτα πλαίσια να βρίσκονται κάθε στιγμή υπό μεταφορά.
- Χρησιμοποιεί έναν ενταμιευτή στον αποστολέα, για να αποθηκεύει προσωρινά τα ανεπιβεβαίωτα πλαίσια.
- Χρησιμοποιεί προσωρινό ενταμιευτή και στον παραλήπτη κόμβο, στον οποίο αποθηκεύονται τα πλαίσια που λαμβάνονται εκτός σειράς, μέχρις ότου έρθει η στιγμή για να προωθηθούν προς περαιτέρω επεξεργασία. Και αυτή η στιγμή έρχεται, όταν ο παραλήπτης λαμβάνει τα πλαίσια που έλειπαν από την επιθυμητή διάταξη.

[\*Link\\_demo\*](#)

Σχήμα για Παράδειγμα 4.3  
 ABP. σελ. 106.

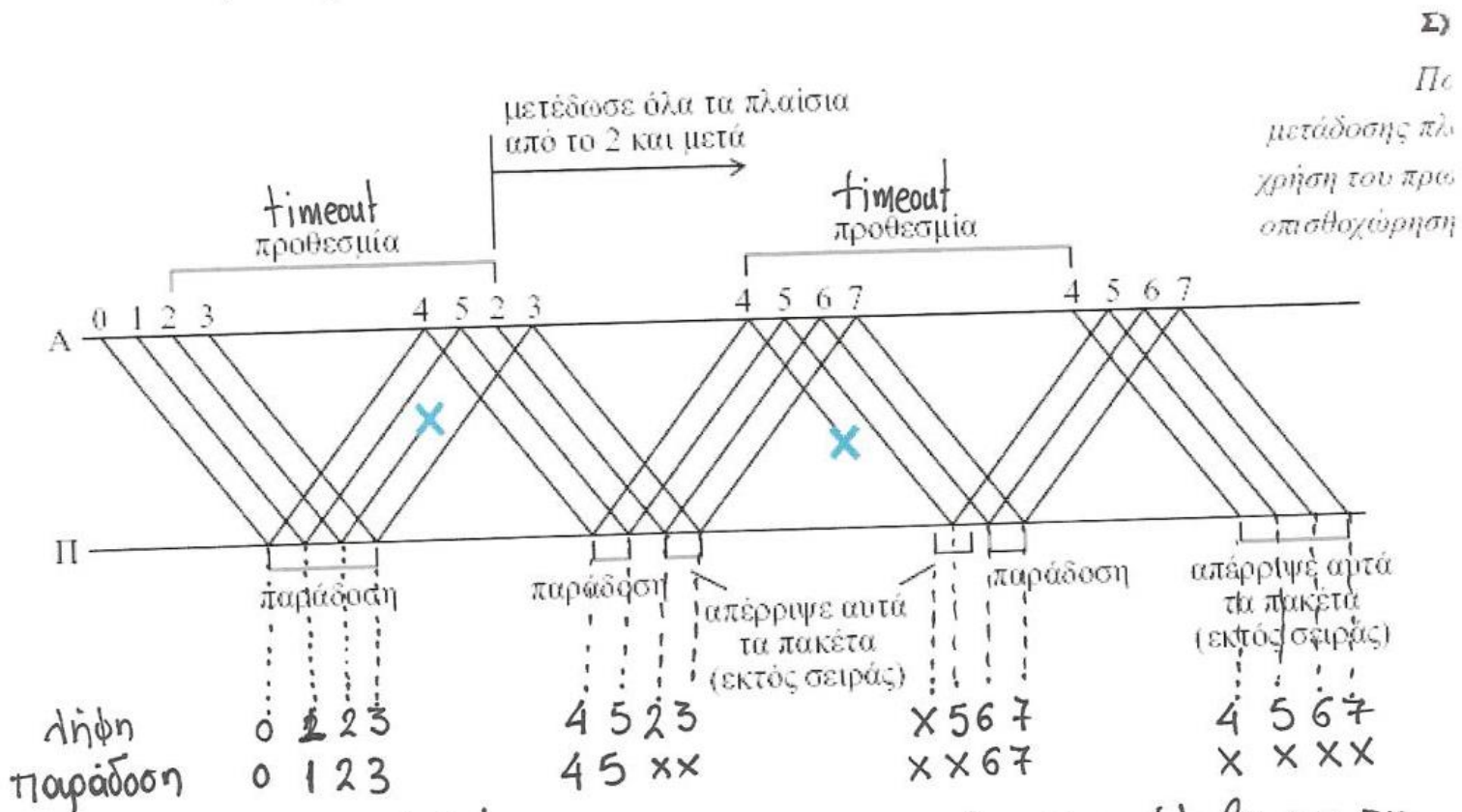


Αποστολέας (A) : Στέλνει πακέτα και 1 bit επικεφαλίδα (0/1)

Παραλήπτης (Π) : Αρπάζει αντίστοιχη επικεφαλίδα (0/1) και στέλνει επιβεβαιώσεις

# Σχέδια για Go Back-N & SRP.

σελ. 113 Παράδειγμα 4.5 Go Back-N



Ο παραλήπτης παραδίδει/προωθεί μόνο τα πακέτα που έλαβε με τη σωστή σειρά & απαιτεί επανεκπομπή όλων των πακέτων μετά το 'αποτυχημένο' => Πρόβλημα Go Back N: Άσυστη χρήση παραλίου/συνδέσμου για αναμετάδοση όλων των πακέτων.

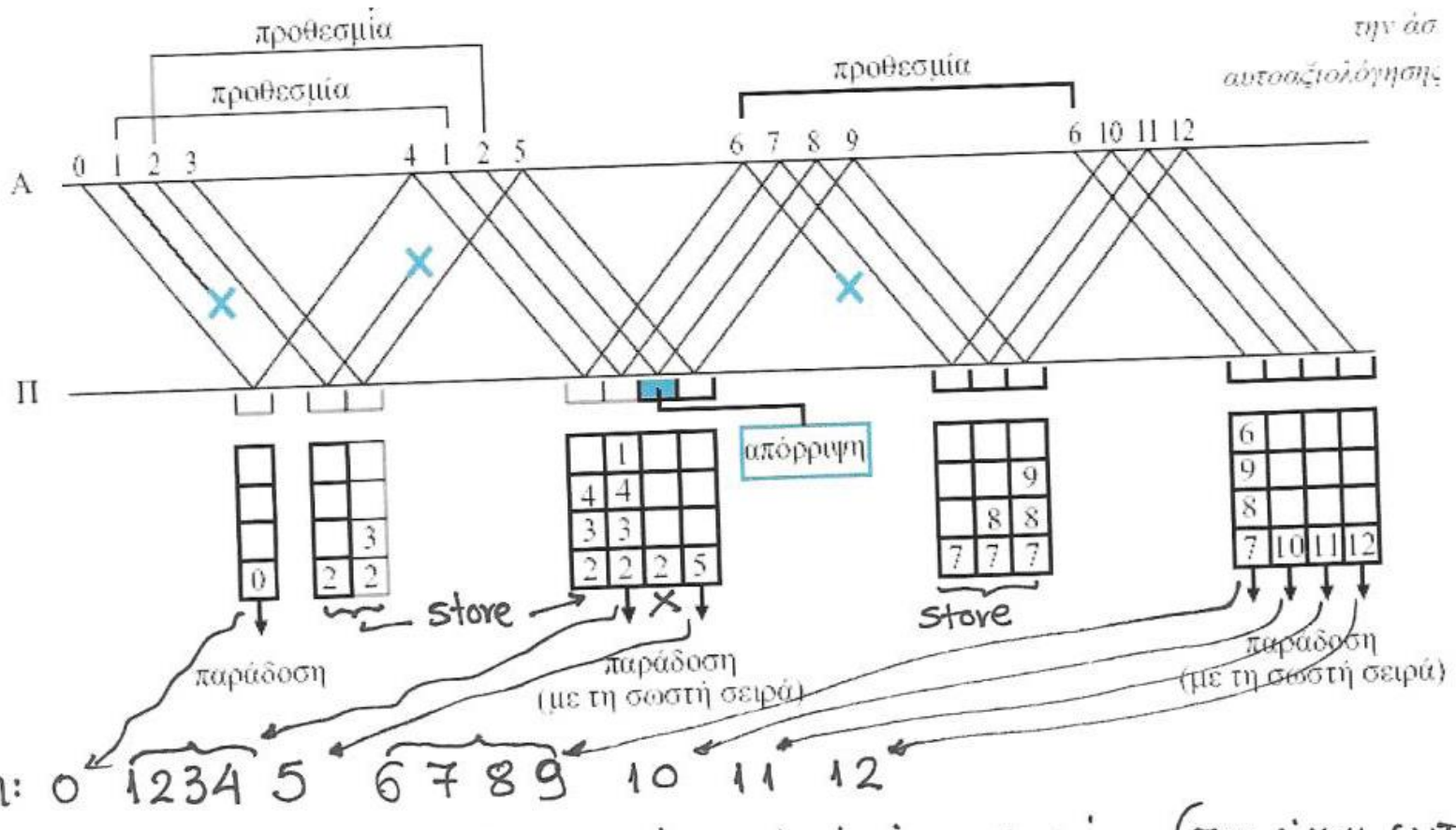
1ο σενάριο μετά πλαίσια



σελ. 123

σχ. 4.13

SRP.



Παράδοση: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

ο παραλήπτης αποθηκεύει προσωρινά τα ήδη φθέρτα πακέτα (που είναι εντός σειράς) και αναμένει αναμετάδοση μόνο των "αποτυχημένων". ώστε να προωθεί τελικά τα πακέτα στη σωστή σειρά

Μειονέκτημα SRP: Απαιτήσεις μνήμης στον παραλήπτη για αποθήκευση πακέτων.

# Πρωτόκολλα επανεκπομπής -τυπολόγιο

## ABP

Όταν PER=0

$$n_{ABP} = \frac{TRANSP}{RTT}$$

Όταν PER>0

$$n_{ABP} = \frac{TRANSP}{RTT + T \frac{1-p}{p}}$$

## GBN

Όταν PER=0

$$n_{GBN} = \min \left\{ 1, W \frac{TRANSP}{RTT} \right\}$$

Όταν PER>0

$$n_{GBN} = \frac{TRANSP}{TRANSP + T \frac{1-p}{p}}$$

Όταν PER>0

και  $T=W \times TRANSP$

$$n_{GBN} = \frac{1}{1 + W \frac{1-p}{p}}$$

$p = \text{Prob}(\text{succ.data packet Tx AND succ. ACK Rx})$

## SRP

Όταν PER=0

$$n_{SRP} = \min \left\{ 1, W \frac{TRANSP}{RTT} \right\}$$

Όταν PER>0

και  $T=W \times TRANSP$

$$n_{SRP} \approx \frac{2 + (1-p)(W-1)}{2 + (1-p)(3W-1)}$$

και  $(1-p)W \leq 10\%$

# Βασικές Σχέσεις.

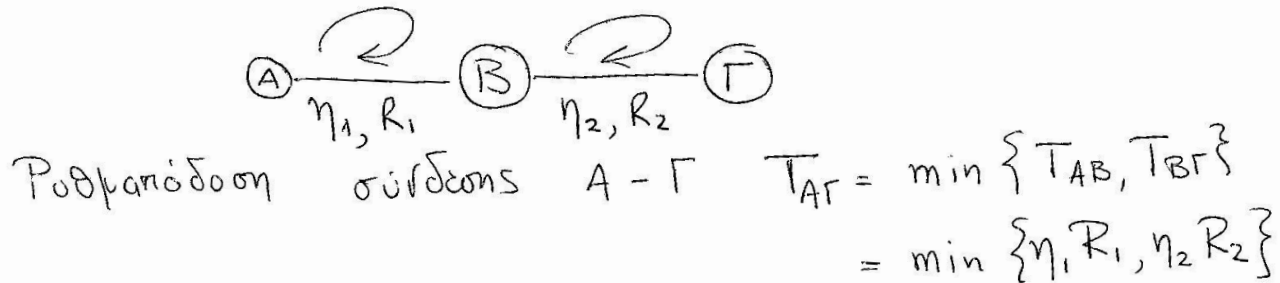
Ρυθμιάδοση ή Διαμεταμορφωτική Ικανότητα ή Throughput.

$$T = \eta \cdot R$$

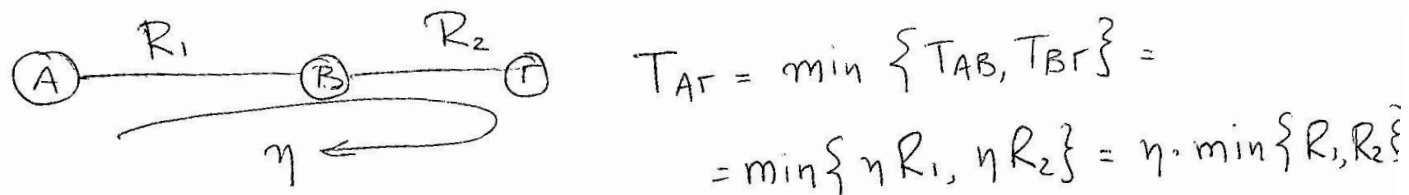
$\uparrow$  αμιάδοση συνδέσμου-πρωτοκόλλου επανειληφής  
 $\nwarrow$  Ρυθμός Μετάδοσης Συνδέσμου

## Περιπτώσεις

α) Διαδοχικοί Σύνδεσμοι με επιμέρους πρωτόκολλα επανειληφής



β) Διαδοχικοί Σύνδεσμοι με ένα πρωτόκολλο επανειληφής end-end



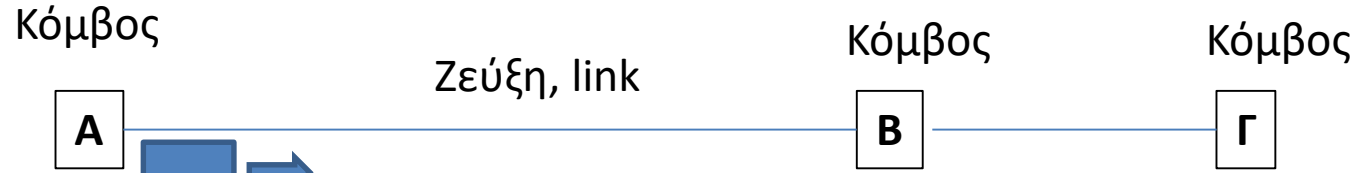
Ωφέλιμος / Καθαρός Ρυθμός Δεδομένων ή Goodput.

$$G = T \cdot \frac{\text{data bits per packet}}{\text{total bits per packet}}$$

↑  
ρυθμότητα =  $\eta R$

# Παράδειγμα πρωτοκόλλου επανεκπομπής σε σενάριο με διαδοχικούς συνδέσμους

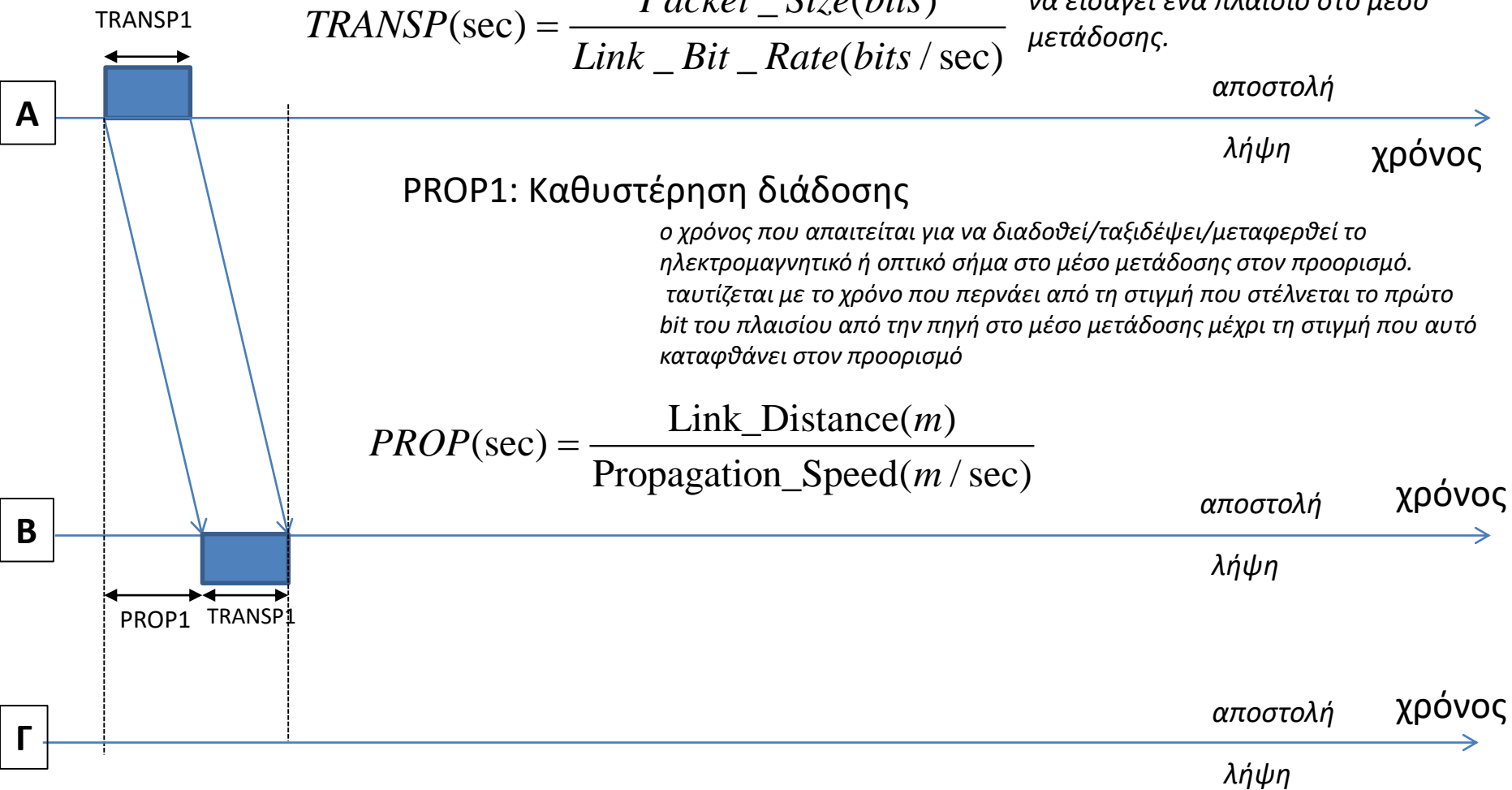
# Αποστολή πακέτου δεδομένων Α-Β



TRANSP1: Καθυστέρηση μετάδοσης

$$TRANSP(sec) = \frac{Packet\_Size(bits)}{Link\_Bit\_Rate(bits/sec)}$$

ο χρόνος που χρειάζεται ο πομπός για να εισάγει ένα πλαίσιο στο μέσο μετάδοσης.



PROP1: Καθυστέρηση διάδοσης

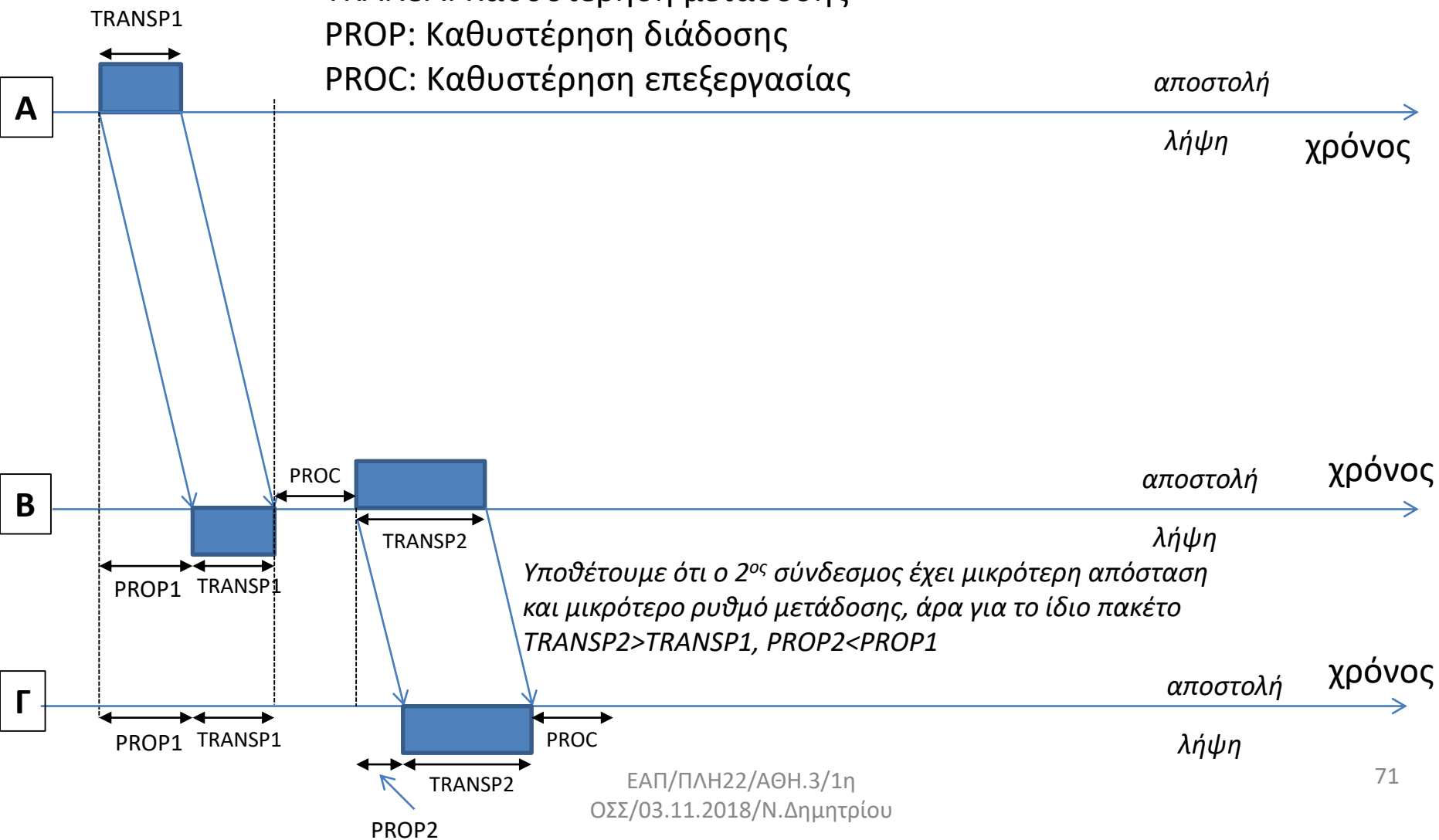
ο χρόνος που απαιτείται για να διαδοθεί/ταξιδέψει/μεταφερθεί το ηλεκτρομαγνητικό ή οπτικό σήμα στο μέσο μετάδοσης στον προορισμό. ταυτίζεται με το χρόνο που περνάει από τη στιγμή που στέλνεται το πρώτο bit του πλαισίου από την πηγή στο μέσο μετάδοσης μέχρι τη στιγμή που αυτό καταφθάνει στον προορισμό

$$PROP(sec) = \frac{Link\_Distance(m)}{Propagation\_Speed(m/sec)}$$

# Αποστολή πακέτου δεδομένων Β-Γ



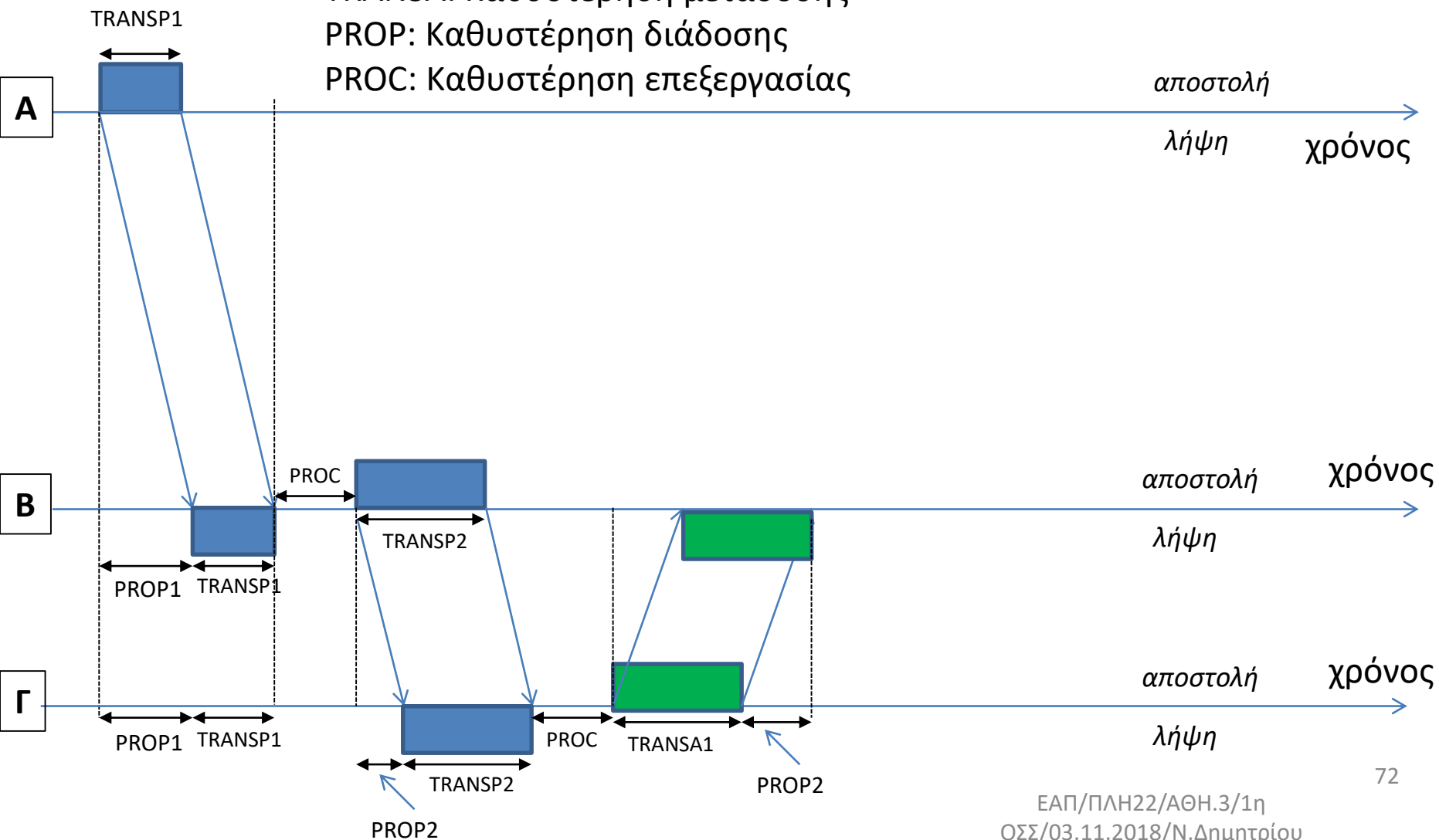
TRANSA: Καθυστέρηση μετάδοσης  
 PROP: Καθυστέρηση διάδοσης  
 PROC: Καθυστέρηση επεξεργασίας



# Αποστολή πακέτου επιβεβαίωσης Γ-B

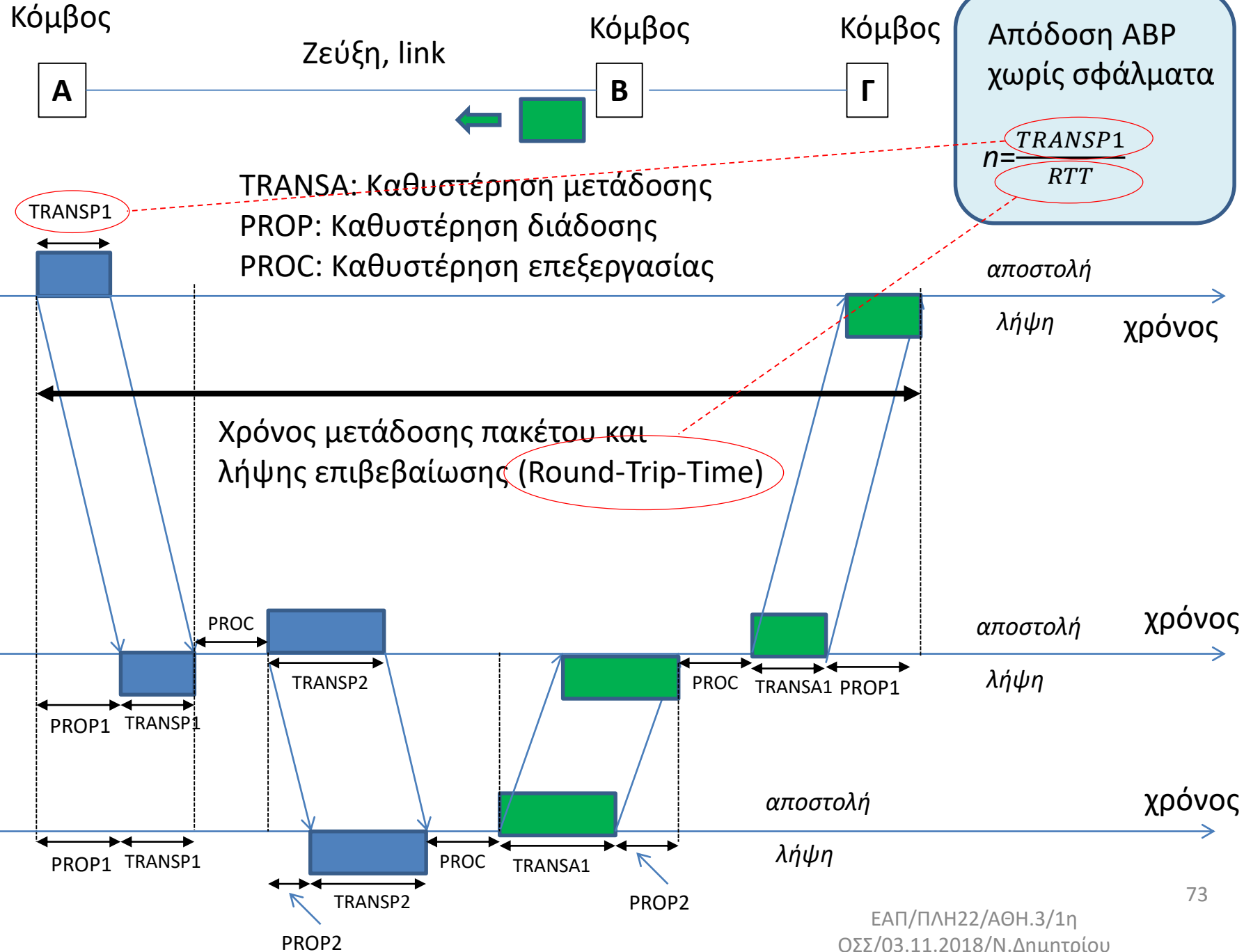


TRANSA: Καθυστέρηση μετάδοσης  
 PROP: Καθυστέρηση διάδοσης  
 PROC: Καθυστέρηση επεξεργασίας





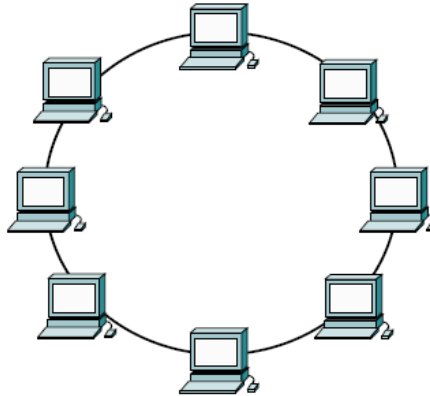
# Αποστολή πακέτου επιβεβαίωσης B-A



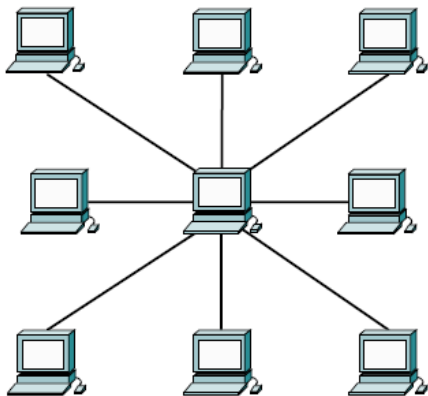
# Τοπικά Δίκτυα - Τοπολογίες



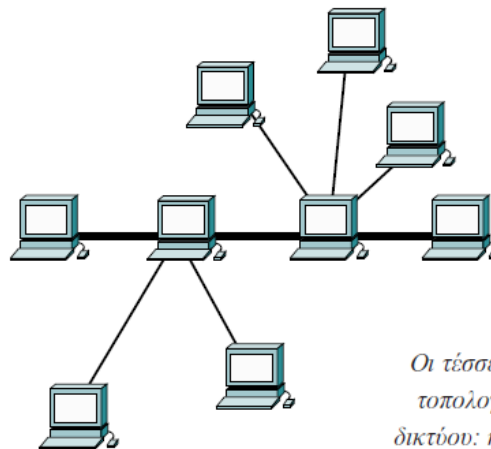
(α) αρτηρία



(β) δακτύλιος



(γ) αστέρας



(δ) δέντρο

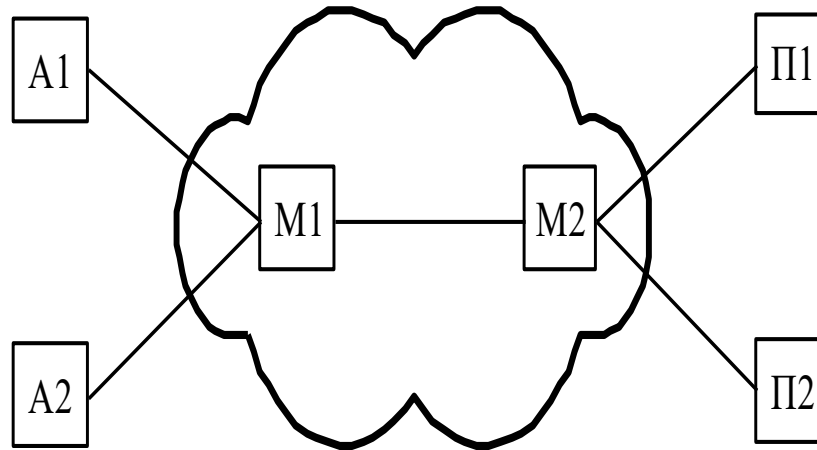
**Σχήμα 5.3**

Οι τέσσερις βασικές τοπολογίες τοπικού δικτύου: η αρτηρία, ο δακτύλιος, ο αστέρας και το δέντρο.

# Διευθυνσιοδότηση και Δρομολόγηση

- Η μεταγωγή καθίσταται δυνατή μέσω
  - της εκχώρηση μιας μοναδικής διεύθυνσης σε κάθε κόμβο του δικτύου, ικανής να τον διαφοροποιεί από τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου.
  - διαδικασίας επιλογής του συνδέσμου επαναπροώθησης των πακέτων στους μεταγωγείς (που ονομάζεται δρομολόγηση (routing)).

# Διαμοιρασμός Πορων

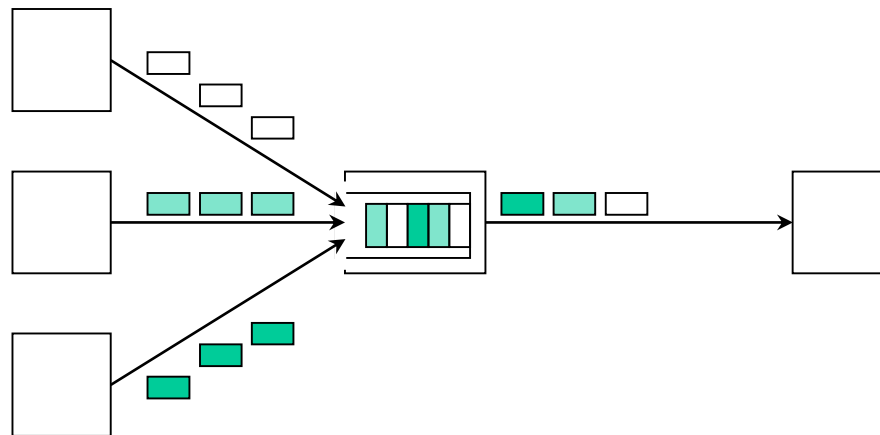


## Ένα παράδειγμα δικτύου με διαμοιραζόμενο σύνδεσμο

Οι ροές δεδομένων A1-Π1 και A2-Π2 πολυπλέκονται σε μια ενιαία ροή δεδομένων πριν από την είσοδό τους στο διαμοιραζόμενο σύνδεσμο M1-M2 και αποπλέκονται κατά την έξοδό τους από αυτόν.

# Μέθοδοι Πολυπλεξης

- Πολύπλεξη Χρονου (Time-Division Multiplexing – TDM).
- Πολυπλεξη Συχνοτήτων (Frequency-Division Multiplexing – FDM)
- Στατιστική πολύπλεξη (statistical multiplexing)

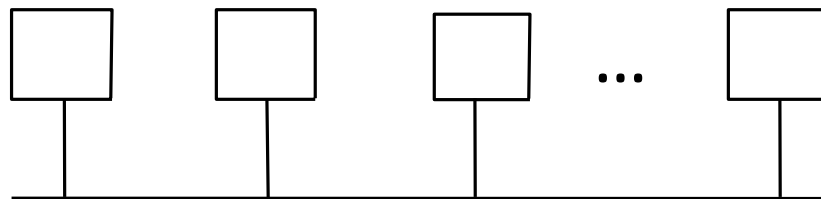


## Η αρχή λειτουργίας της στατιστικής πολύπλεξης πακέτων

Τα μεταβιβαζόμενα πακέτα αποθηκεύονται σε έναν προσωρινό ενταμιευτή, από όπου και εξυπηρετούνται από το διαμοιραζόμενο σύνδεσμο. Έτσι, ο κάθε κόμβος δεσμεύει χρόνο εξυπηρέτησης μόνο όταν έχει δεδομένα προς μετάδοση.

# Συστήματα Πολλαπλής Πρόσβασης

- Συστήματα πολλαπλής πρόσβασης (multiple access)
- Οι κόμβοι συνδέονται σε κοινό κανάλι επικοινωνίας
- Συγκρούσεις συμβαίνουν όταν δύο ή περισσότεροι σταθμοί αποφασίσουν να στείλουν πακέτα ταυτόχρονα
- Έλεγχος πρόσβασης (access control): περιορίζει τη μείωση της απόδοσης λόγω συγκρούσεων και κενών περιόδων

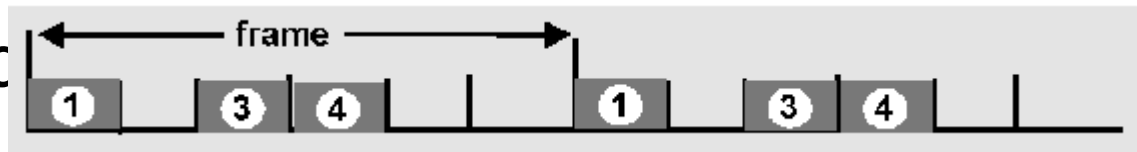


# Έλεγχος Πολλαπλής Πρόσβασης

- TDM, FDM: χρησιμοποιούνται ευρέως σε ασύρματα συστήματα
- Ethernet: βασίζεται στο Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection (CSMA/CD)
  - περίμενε μέχρι το κανάλι να είναι κενό, τότε στείλε πακέτο
  - σταμάτησε τη μετάδοση αν συμβεί σύγκρουση
  - περίμενε τυχαίο χρόνο μετά την σύγκρουση
- ALOHA: λιγότερο “ευγενικό” από το Ethernet
  - μετέδωσε όταν ένα πακέτο είναι έτοιμο
  - περίμενε τυχαίο χρόνο μετά την σύγκρουση

# Πρωτόκολλα TDMA

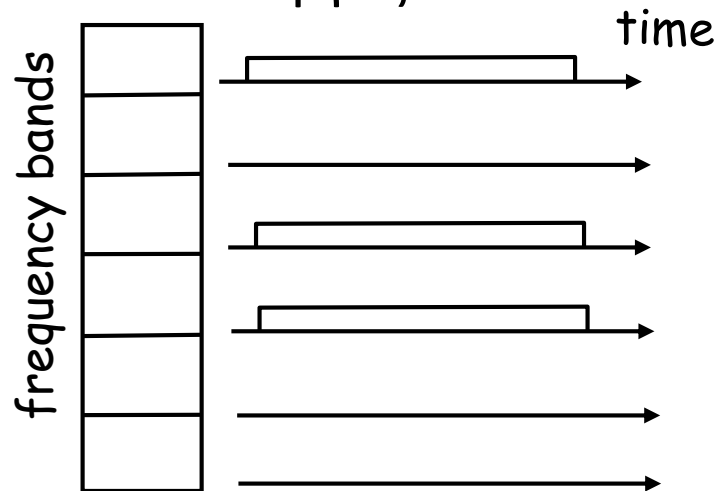
- Πρόσβαση στο κανάλι σε «γύρους»
- Κάθε σταθμός δεσμεύει μία σχισμή σταθερού μήκους (μήκος = χρόνος μετάδοσης πακέτου) σε κάθε γύρο
- Οι μη χρησιμοποιούμενες σχισμές παραμένουν ανενεργές
- παράδειγμα: 6-σταθμών LAN, 1,3,4 έχουν πακέτα, ο





# Πρωτόκολλα FDMA

- το φάσμα του καναλιού χωρίζεται σε ζώνες συχνοτήτων
- σε κάθε σταθμό δίνεται συγκεκριμένη ζώνη συχνότητας
- στις ζώνες συχνοτήτων που δεν χρησιμοποιούνται, το αντίστοιχο φάσμα μένει ανενεργό
- παράδειγμα: 6-σταθμοί LAN, 1,3,4 έχουν πακέτα, οι ζώνες συχνοτήτων 2,5,6 είναι ανενεργές



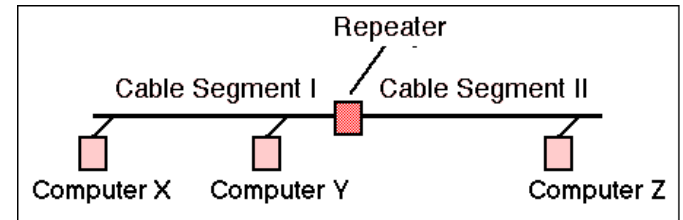
# Πρωτόκολλα Τυχαίας Προσπέλασης

- Όταν ένας κόμβος έχει πακέτο να στείλει
  - Μεταδίδει στον πλήρη ρυθμό του καναλιού
  - Δεν υπάρχει συγχρονισμός μεταξύ των κόμβων
- Δύο οι περισσότεροι κόμβοι μεταδίδουν  $\Rightarrow$  «σύγκρουση»
- το MAC πρωτόκολλο τυχαίας πρόσβασης καθορίζει:
  - Πως να ανιχνευθούν οι συγκρούσεις
  - Πως να ανακάμψει από τις συγκρούσεις (π.χ., μέσω καθυστερημένης αναμετάδοσης)
- Παραδείγματα από MAC πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης:
  - slotted ALOHA
  - ALOHA
  - CSMA/CD, CSMA/CA

# Τοπολογίες αρτηρίας και αστέρα

## “Παραδοσιακό” Ethernet

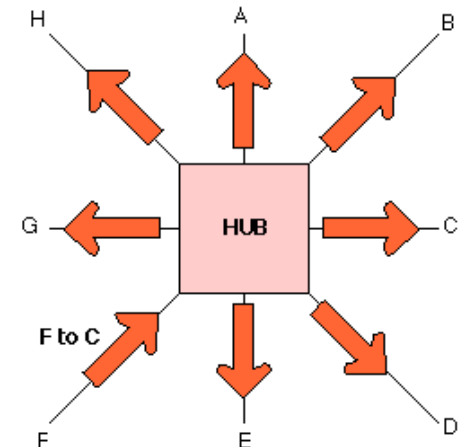
Όλοι οι κόμβοι είναι πάνω σε ένα bus (αρτηρία), πράγμα που σημαίνει μακρύ καλώδιο. Το πρωτόκολλο είναι το CSMA/CD.



## “Hub” Ethernet

Οι κόμβοι συνδέονται στο hub (συγκεντρωτής), το οποίο λειτουργεί ως επαναλήπτης προς όλους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στα 100 Mbps. Το πρωτόκολλο είναι το CSMA/CD.

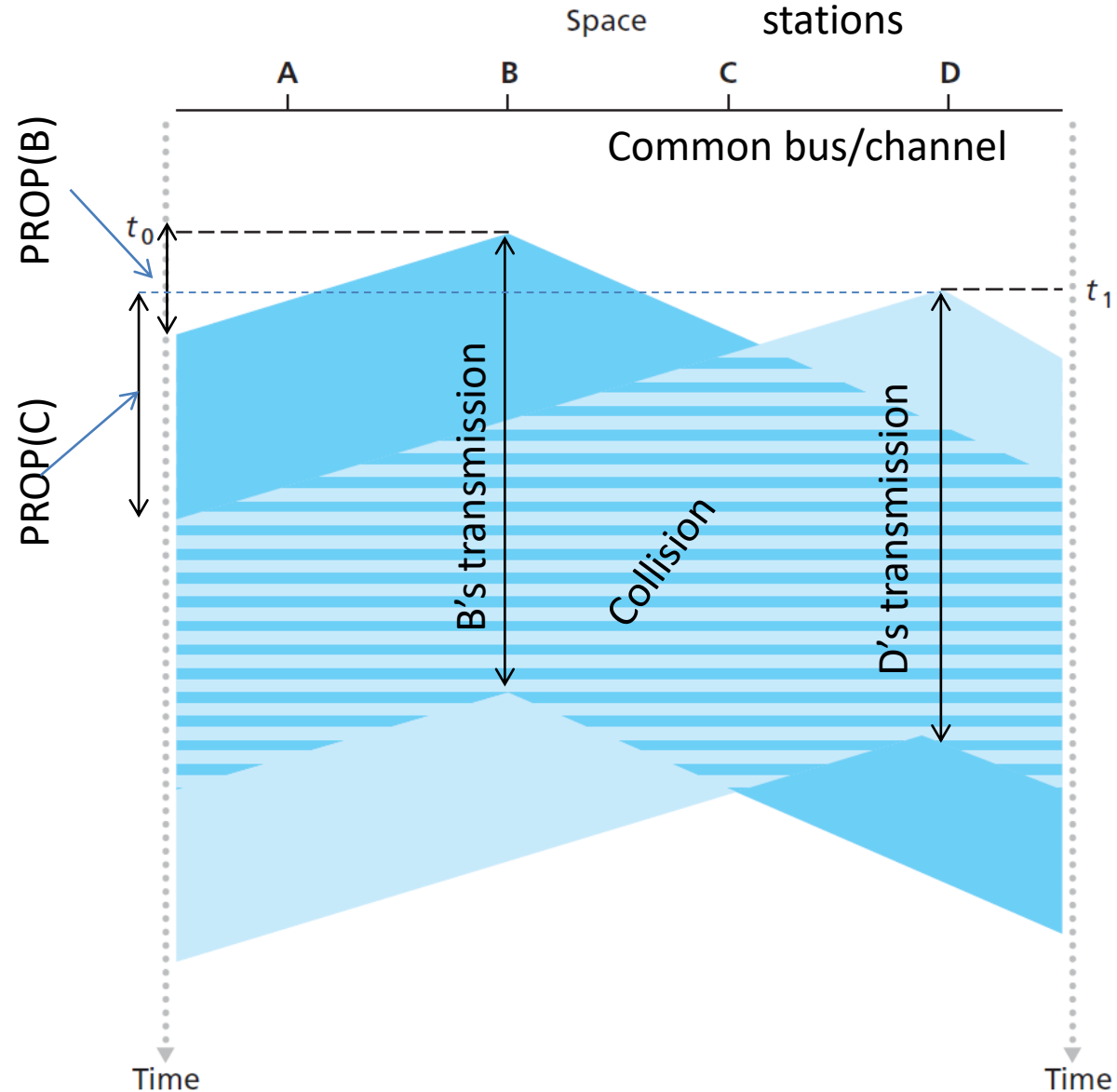
Ευκολότερο να αυξήσεις ή να μειώσεις τον αριθμό των χρηστών και να εντοπίσεις τυχόν βλάβες.



# Carrier Sense

- “Αισθανόμενος” τον φορέα (Carrier sensing) (“άκου πριν μιλήσεις”)
  - Ένας κόμβος “ακούει” το κανάλι πριν στείλει
  - Εάν υπάρχει μετάδοση στο κανάλι:
    - ένας κόμβος περιμένει για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα (“backs off”) και μετά αισθάνεται ξανά το κανάλι
  - Εάν ένα ο κόμβος δεν ανιχνεύσει μετάδοση/κίνηση, τότε ξεκινάει η μετάδοση του πλαισίου
- Εντοπισμός σύγκρουσης (Collision detection) (“Εάν κάποιος άλλος αρχίζει να μιλάει την ίδια ώρα, σταμάτα να μιλάς”)
  - Ένας κόμβος που μεταδίδει ακούει το κανάλι καθώς μεταδίδει
  - Εάν εντοπίσει ότι κάποιος άλλος κόμβος μεταδίδει ένα πλαίσιο που προκαλεί παρεμβολές:
    - σταματάει να μεταδίδει και χρησιμοποιεί κάποιο πρωτόκολλο για να προσδιορίσει πότε θα προσπαθήσει ξανά να μεταδώσει

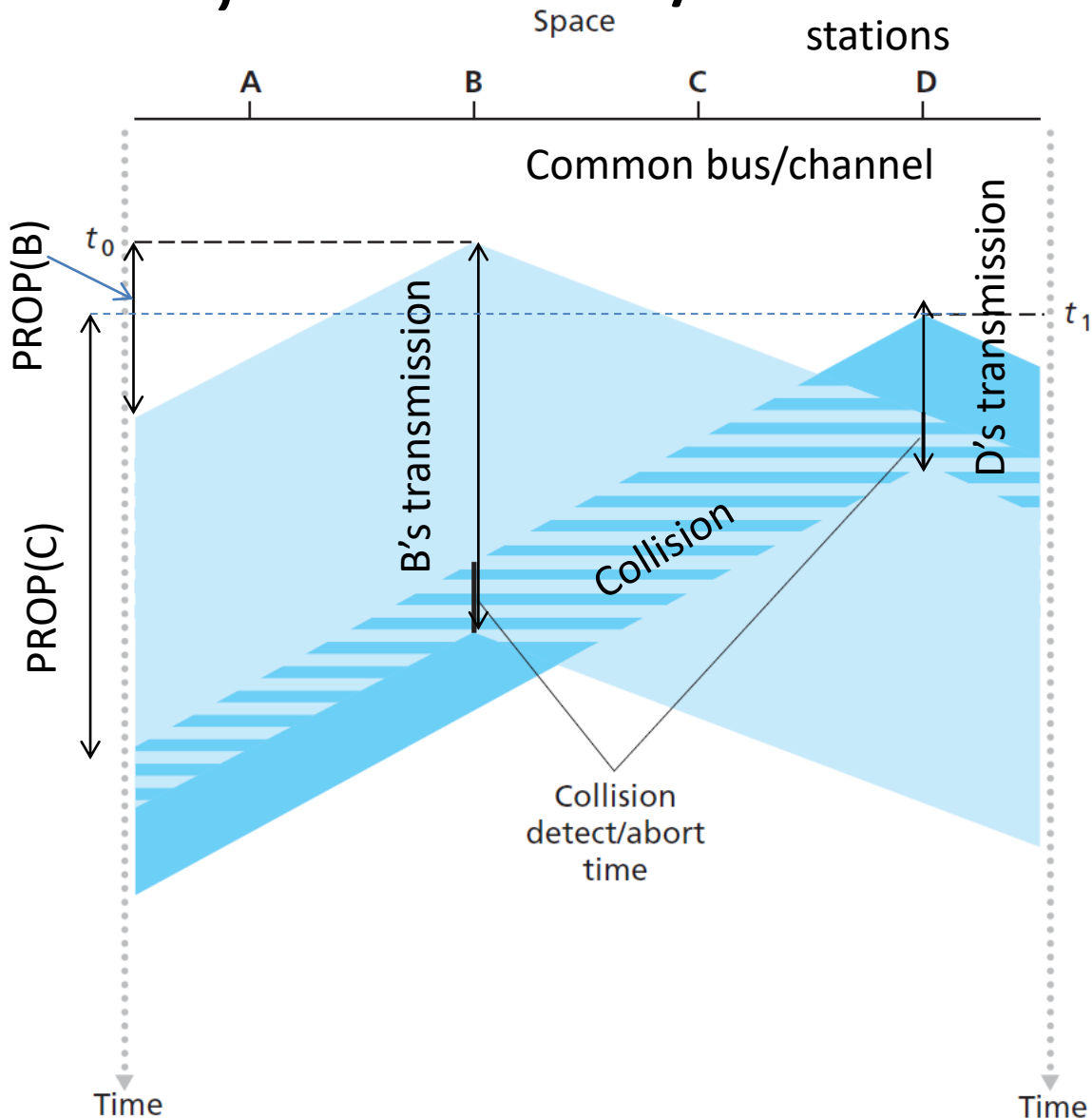
# Συγκρούσεις στο CSMA



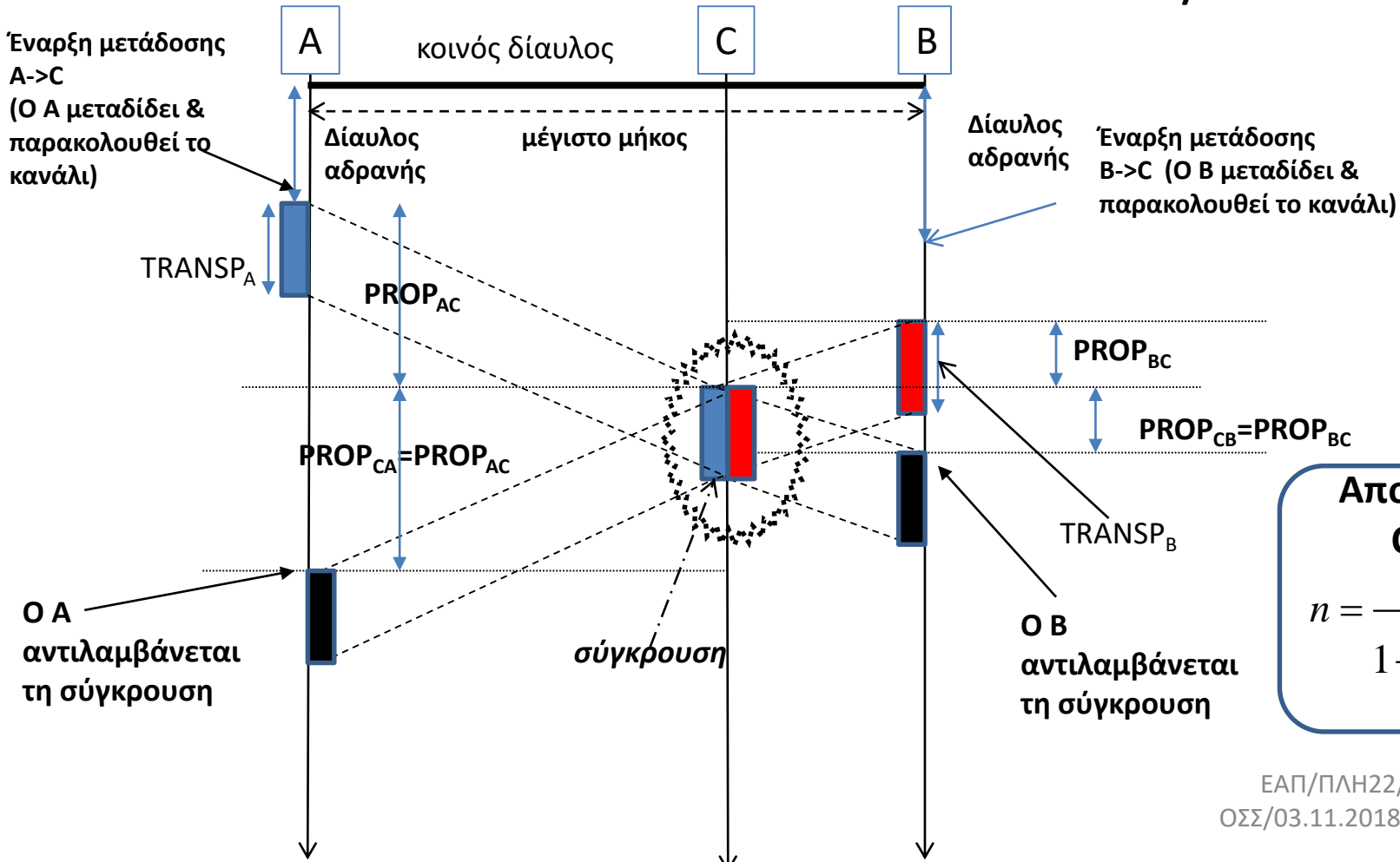
- No Collision detection assumed here
- A nonzero amount of time is needed the transmitted bits to propagate (albeit at near the speed of light) along the broadcast medium

# Συγκρούσεις στο CSMA/CD

- Collision detection assumed here
- the two nodes each abort their transmission a short time after detecting a collision.
- adding collision detection helps protocol performance by not transmitting a useless, damaged frames



# Συνθήκη ανίχνευσης συγκρούσεων στο CSMA/CD



**Αποδοτικότητα CSMA/CD**

$$n = \frac{1}{1 + 5 \frac{PROP}{TRANSP}}$$

ΕΑΠ/ΠΛΗ22/ΑΘΗ.3/1η  
 ΟΣΣ/03.11.2018/Ν.Δημητρίου

Για να μπορέσει ο αποστολέας να αντιληφθεί τη σύγκρουση (ενώ μεταδίδει το πλαίσιο) θα πρέπει  $TRANSP \geq 2 PROP$

Χειρότερη περίπτωση: Ο C ταυτίζεται με το B (είναι στη μέγιστη δυνατή απόσταση από τον Α)  
 $TRANSP \geq 2 PROP_{MAX}$  (μέγιστος χρόνος διάδοσης ενός bit end-end)

# Διευκρινήσεις για τη ΓΕ1

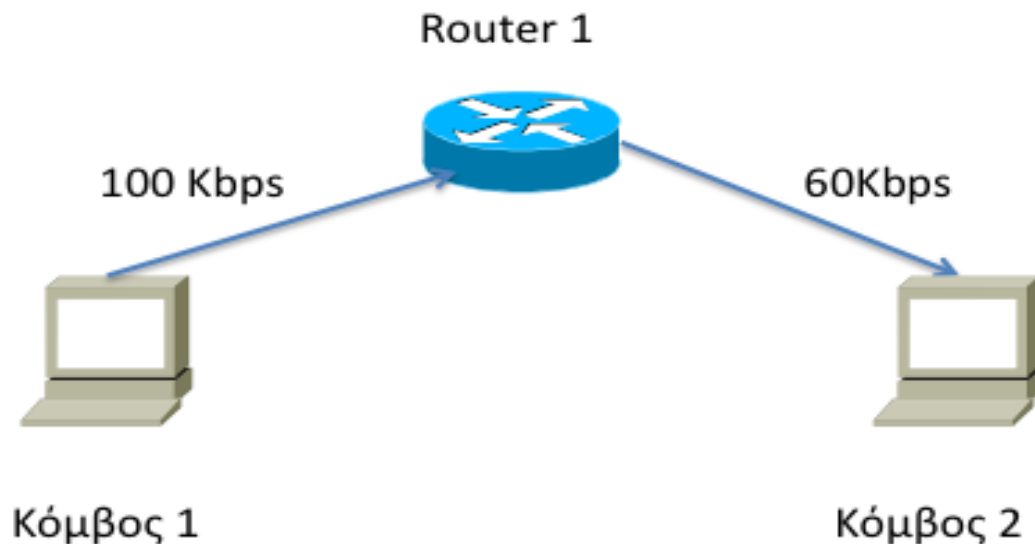
- Θέμα 1: Να προσέξετε ότι στο ερώτημα 1Α οι επιβεβαιώσεις αποστέλλονται από τον Β στον Α μέσω δορυφόρου ενώ στα υπόλοιπα ερωτήματα αποστέλλονται μέσω της επίγειας ζεύξης με την οπτική ίνα
- Θέμα 2: Και στις 3 περιπτώσεις το κάθε segment (layer-4) μεταδίδεται από τον Α εφόσον πρώτα ο Α λάβει επιβεβαίωση λήψης του προηγούμενου segment από τον Π (επίσης η καθυστέρηση μεταφοράς της επιβεβαίωσης από όλους τους συνδέσμους θεωρείται αμελητέα). Και για τις 3 περιπτώσεις σύνδεσης να κάνετε ένα σχήμα για να δείτε και να υπολογίσετε τις επικεφαλίδες/επιβαρύνσεις ανά layer και τις επιμέρους καθυστερήσεις μετάδοσης/διάδοσης.
- Θέμα 3: Να προσέξετε να συμπεριλάβετε στον υπολογισμό του μεγέθους των πακέτων την επικεφαλίδα, τα δεδομένα και τα bytes ανίχνευσης λαθών
- Θέμα 4: Να δείτε το μηχανισμό λειτουργίας των GBN και SRP που αναφέρονται στο παράδειγμα 4.5 και στην Α.Α. 4.5 (που αναλύθηκαν και στην ΟΣΣ στις διαφάνειες 64,65 της παρουσίασης αυτής). Η παραλλαγή της άσκησης αφορά το διπλασιασμό του παραθύρου ο οποίος γίνεται όταν επιβεβαιωθούν τα πακέτα που εστάλησαν στον αμέσως προηγούμενο κύκλο.
- Θέμα 5: Να δείτε τη σχέση της απόδοσης του CSMA/CD καθώς και τη σχετική συνθήκη για ανίχνευση συγκρούσεων που αναλύονται στη διαφάνεια 87. Επίσης, στο 5Δ το μήκος του πλαισίου που θα θεωρήσετε θα συμπεριλαμβάνει το ελάχιστο που δίνεται μαζί με το προοίμιο και το κενό μεταξύ διαδοχικών πλαισίων.



# Λυμένες Ασκήσεις- Παραδείγματα

# Άσκηση

- Δίνεται το δίκτυο του σχήματος που ακολουθεί. Να θεωρήσετε ότι 1000 πακέτα μήκους 100 bits μεταδίδονται από το κόμβο 1 στο κόμβο 2. Να υπολογισθεί ο συνολικός χρόνος μετάδοσης.



# Λύση

Τα πακέτα μεταδίδονται με τη λογική store & forward

Το 1ο πακέτο θα μεταδοθεί από τον κόμβο 1 στον κόμβο 2 σε χρόνο

$$t_1 = \text{TRANSP}_1 + \text{TRANSP}_2 = 100/100\text{ms} + 100/60\text{ms}$$

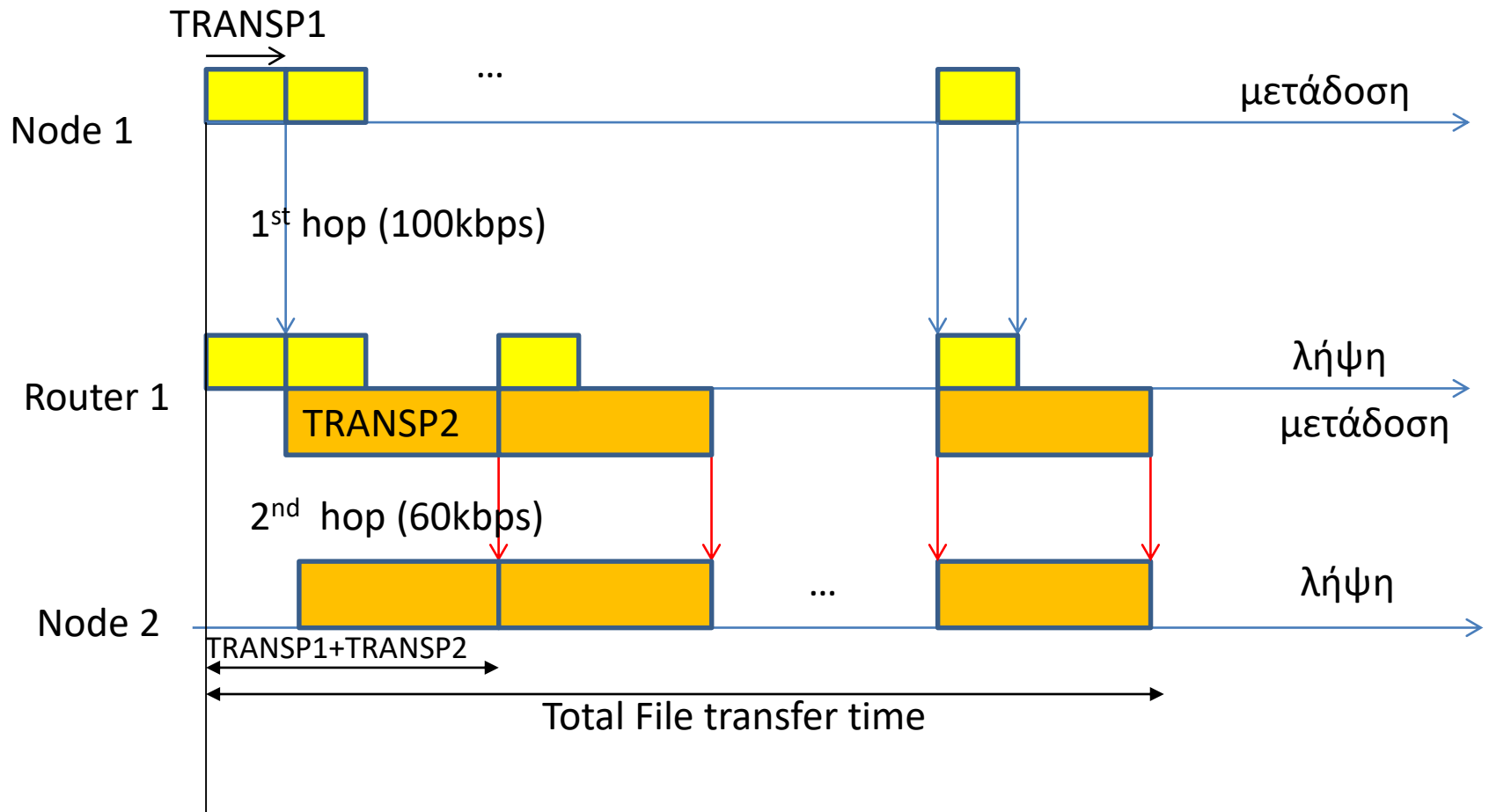
Το 2<sup>ο</sup> πακέτο θα ληφθεί από τον κόμβο 2 μετά από 100/60ms  
 $t_2 = t_1 + 100/60\text{ms}$

Κ.Ο.Κ.

Το 1000<sup>ο</sup> πακέτο θα ληφθεί σε χρόνο  $t_1 + (1000-1)100/600\text{ms}$

Άρα ο συνολικός χρόνος μετάδοσης του αρχείου θα ισούται με

$$t_1 + (1000-1)100/60\text{ms} = 100/100\text{ms} + 100/60\text{ms} + (1000-1)100/60\text{ms} = 1\text{ms} + 1000(100/60)\text{ms} = 1\text{ms} + 1660\text{ms} = 1661\text{ms}$$



## ΓΕ3/0506

### Θέμα 3¶

Υποθέστε την μετάδοση ενός αρχείου μεγέθους  $F = M \cdot L \cdot \text{bits}$  μέσω  $Q$  ζεύξεων. Η κάθε ζεύξη μεταδίδει με ρυθμό  $R \cdot \text{bps}$ . Το δίκτυο διατρέχεται από περιορισμένη κίνηση με αποτέλεσμα η καθυστέρηση αναμονής να είναι μηδενική. Όταν χρησιμοποιείται μεταγωγή πακέτου, τα  $M \cdot L \cdot \text{bits}$  οργανώνονται σε  $M$  πακέτα των  $L \cdot \text{bits}$  έκαστο. Η καθυστέρηση διάδοσης είναι αμελητέα. ¶

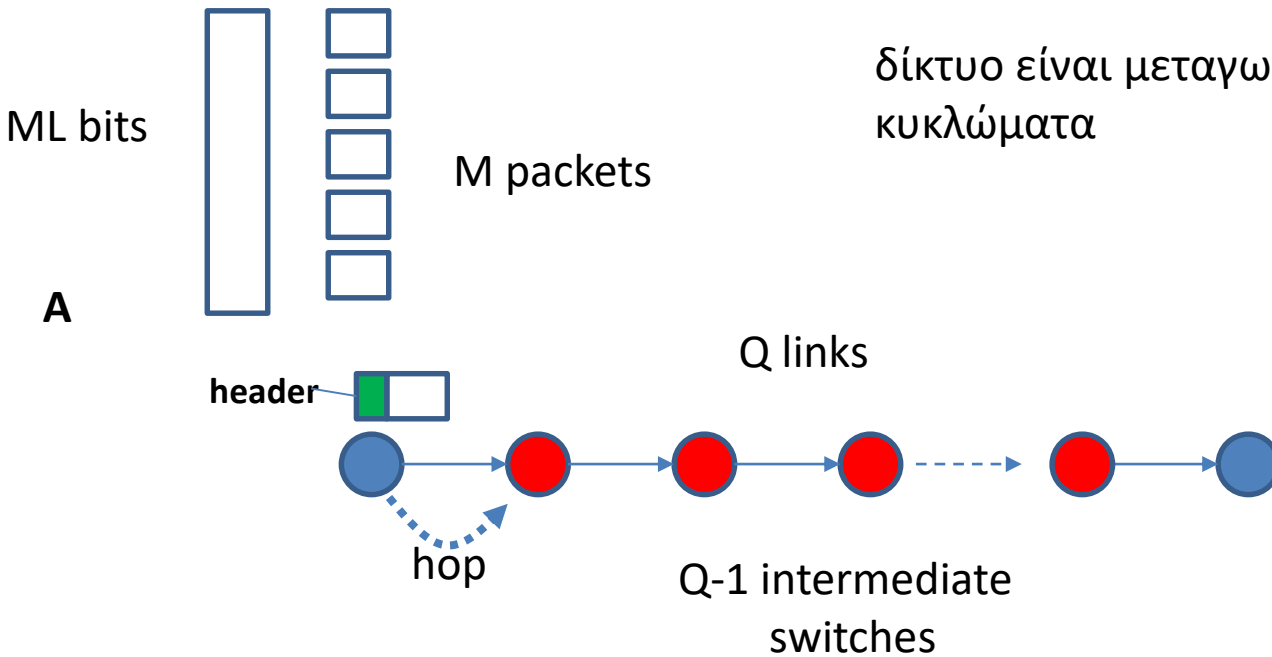
A. υποθέστε ότι το δίκτυο είναι μεταγωγής πακέτου με ιδεατά κυκλώματα. Ο χρόνος εγκατάστασης του ιδεατού κυκλώματος είναι  $t_s \cdot \text{sec}$ . Υποθέστε ότι το πρωτόκολλο εκπομπής προσθέτει επικεφαλίδα  $h \cdot \text{bits}$  σε κάθε πακέτο. Πόσος χρόνος απαιτείται για την μεταφορά του αρχείου από την αφετηρία στον προορισμό. ¶

B. Υποθέστε ότι το δίκτυο μετάγει αυτοδύναμα πακέτα (datagrams) και χρησιμοποιείται ασυνδεδεσμένη (connectionless) υπηρεσία. Το κάθε πακέτο φέρει επικεφαλίδα  $2h \cdot \text{bits}$ . Πόσος χρόνος απαιτείται για την μεταφορά του αρχείου. ¶

Γ. Επαναλάβετε το ερώτημα (B) αλλά με μεταγωγή μηνύματος, δηλαδή στο μήνυμα προστίθενται επικεφαλίδα  $2h \cdot \text{bits}$  και το μήνυμα δεν κατατμείται. ¶

Δ. Υποθέστε ότι το δίκτυο είναι μεταγωγής κυκλώματος. Ο ρυθμός μετάδοσης μεταξύ αφετηρίας και προορισμού είναι  $R \cdot \text{bits}$ . Αν  $t_s \cdot \text{sec}$  είναι ο χρόνος εγκατάστασης του κυκλώματος και σε όλο το αρχείο προστίθεται επικεφαλίδα  $h \cdot \text{bits}$  ποιος είναι ο απαιτούμενος χρόνος μεταφοράς του αρχείου. ¶

δίκτυο είναι μεταγωγής πακέτου με ιδεατά κυκλώματα



Single link-hop delay  $(L + h) / R$

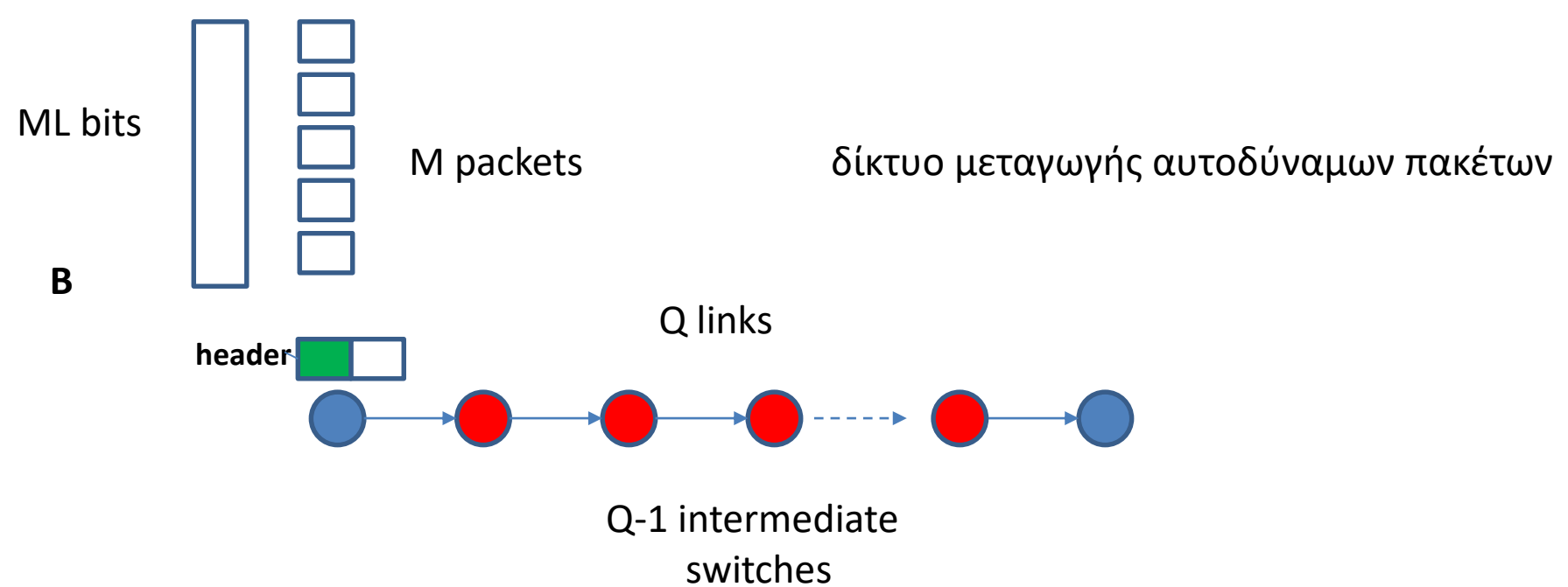
1<sup>ο</sup> πακέτο φτάνει στον προορισμό μετά Q hops  $Q(L + h) / R$

2<sup>ο</sup> πακέτο φτάνει στον προορισμό μετά Q+1 hops  $Q(L + h) / R + \underbrace{(L + h) / R}$

M<sup>ο</sup> πακέτο φτάνει στον προορισμό μετά Q+(M-1) hops  $Q(L + h) / R + \underbrace{(M - 1)(L + h) / R}$

Συνολική καθυστέρηση

$$t_s + (Q + M - 1)(L + h) / R$$



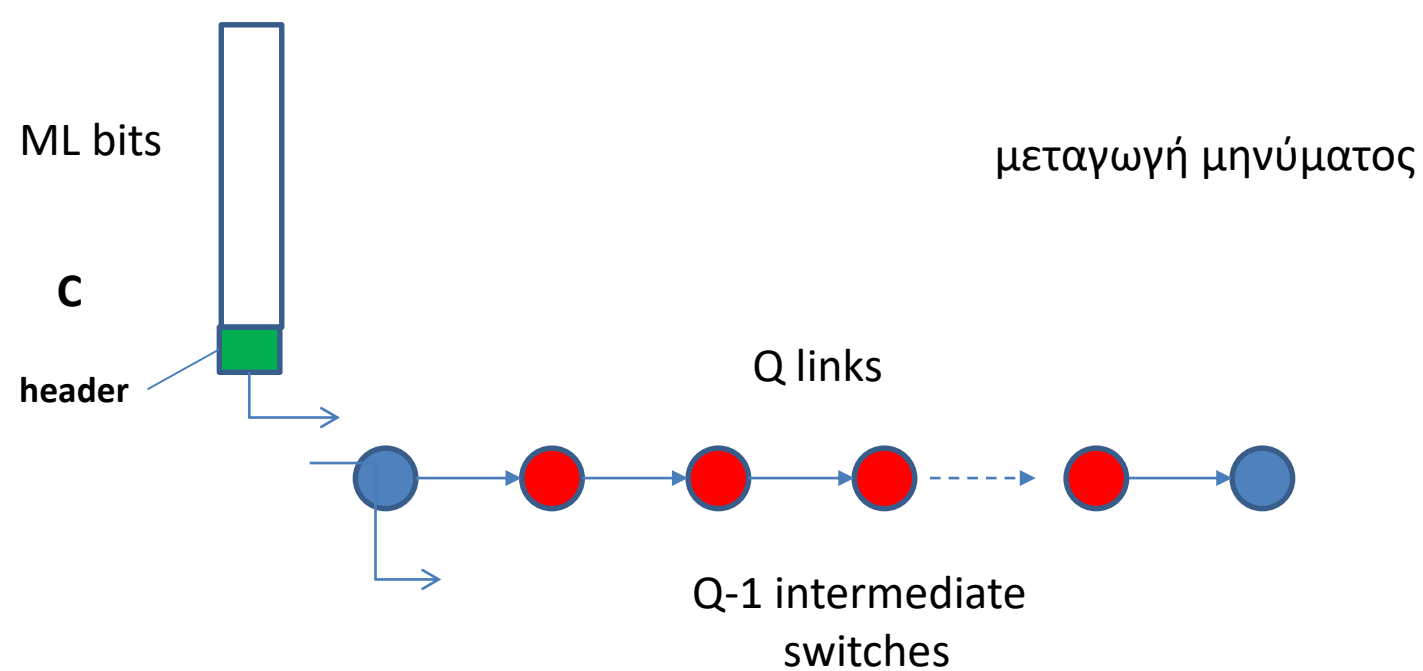
Single link-hop delay  $(L + 2h) / R$

1<sup>ο</sup> πακέτο φτάνει στον προορισμό μετά Q hops  $Q(L + 2h) / R$

2<sup>ο</sup> πακέτο φτάνει στον προορισμό μετά Q+1 hops  $Q(L + 2h) / R + \underbrace{(L + 2h) / R}$

M<sup>ο</sup> πακέτο φτάνει στον προορισμό μετά Q+(M-1) hops  $Q(L + 2h) / R + \underbrace{(M - 1)(L + 2h) / R}$

Συνολική καθυστέρηση  $(Q + M - 1)(L + 2h) / R$

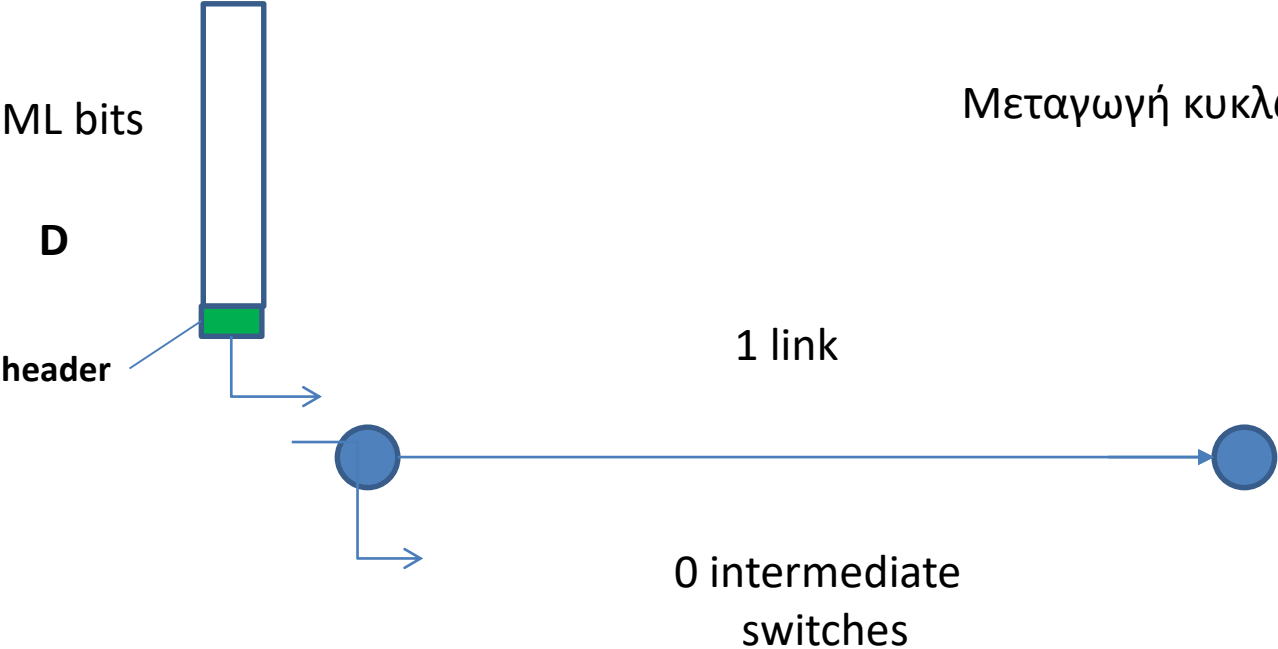


Single link-hop delay  $(ML + 2h) / R$

Το αρχείο φτάνει στον προορισμό μετά Q hops  $Q(ML + 2h) / R$



Μεταγωγή κυκλώματος



link-hop delay  $(ML + h) / R$

Το αρχείο φτάνει στον προορισμό μετά από 1 hop  $(ML + h) / R$

Total file transmission delay  $t_s + (ML + h) / R$

*Στόχος της άσκησης είναι η εξοικείωση με τις έννοιες της μετάδοσης store and forward.*

*Σχετικές ασκήσεις: ΓΕ3/0506/Θ3, ΓΕ3/0405/Θ3*

Υποθέστε την μετάδοση ενός αρχείου μεγέθους 1Mbyte μέσω 10 διαδοχικών συνδέσμων με τη μέθοδο store and forward. Ο ρυθμός μετάδοσης του κάθε συνδέσμου είναι 20 Mbits/sec ενώ η απόσταση μεταξύ διαδοχικών κόμβων είναι ίση με 100 km και η ταχύτητα διάδοσης είναι ίση με  $2 \cdot 10^8$  m/sec. Η καθυστέρηση επεξεργασίας πακέτου σε κάθε κόμβο είναι αμελητέα. Όταν χρησιμοποιείται μεταγωγή πακέτου, το αρχείο οργανώνεται σε πακέτα των 1000 bytes έκαστο.

A. Να υποθέσετε ότι το δίκτυο είναι μεταγωγής πακέτου με ιδεατά κυκλώματα. Ο χρόνος εγκατάστασης του ιδεατού κυκλώματος είναι 100 msec. Υποθέστε ότι το πρωτόκολλο εκπομπής προσθέτει επικεφαλίδα 20 bytes σε κάθε πακέτο. Πόσος χρόνος απαιτείται για τη μεταφορά του αρχείου από την αφετηρία στον προορισμό;

B. Υποθέστε ότι το δίκτυο μεταγεί αυτοδύναμα πακέτα (datagrams) χωρίς την εγκαθίδρυση ιδεατού κυκλώματος, όμως τώρα σε κάθε πακέτο προστίθεται επικεφαλίδα 100 bytes. Να υπολογίσετε τον απαιτούμενο νέο ρυθμό μετάδοσης ανά σύνδεσμο ώστε να επιτευχθεί η ίδια καθυστέρηση μεταφοράς του αρχείου με αυτήν που υπολογίσατε στο προηγούμενο ερώτημα.

Γ. Να υποθέσετε ότι έχουμε μεταγωγή του ενιαίου αρχείου, δηλαδή στο αρχείο προστίθεται μια επικεφαλίδα 1000 bytes και το αρχείο δεν κατατμείται αλλά μεταφέρεται ολόκληρο διαδοχικά μέσω των 10 συνδέσμων με ρυθμό μετάδοσης ανά σύνδεσμο 20 Mbits/sec. Να υπολογίσετε το χρόνο που απαιτείται για τη μεταφορά του αρχείου από την αφετηρία στον προορισμό.

Δ. Υποθέστε ότι το δίκτυο είναι μεταγωγής κυκλώματος δηλ. να θεωρήσετε ισοδύναμα ότι υπάρχει ένας σύνδεσμος μεταξύ αφετηρίας και προορισμού με ρυθμό μετάδοσης 20 Mbits/sec και απόστασης 1000km. Αν ο χρόνος εγκατάστασης του κυκλώματος είναι 1 sec και σε όλο το αρχείο προστίθεται επικεφαλίδα 500 bytes ποιος είναι ο απαιτούμενος χρόνος μεταφοράς του αρχείου?

**Ενδεικτική Μεθοδολογία:** Να εφαρμόσετε τη μεθοδολογία υπολογισμού της καθυστέρησης μεταφοράς πακέτων σε δίκτυα μεταγωγής (μετάδοση store-and-forward)

(α)

Χρόνος Διάδοσης:

$$PROP = \frac{D}{v} = \frac{100km}{2 \cdot 10^8 \frac{m}{sec}} = 0.5m sec$$

Αριθμός συνδέσμων:  $N=10$

$$\text{Αριθμός πακέτων: } K = \frac{File\_size}{Packet\_size} = \frac{1Mbyte}{1000bytes} = 1000 packets$$

Χρόνος μετάδοσης πακέτου:

$$TRANSP = \frac{Packet\_size + Header\_size}{R} = \frac{(1000 + 20) \cdot 8bits}{20 \cdot 10^6 \frac{bits}{sec}} = 0.408m sec$$

Καθυστέρηση μεταφοράς αρχείου

$$T_{\alpha} = T_{setup} + NPROP + (N + K - 1)TRANSP = 0.516 sec$$

**(β)**

$$T_{\beta} = NPROP + (N + K - 1)TRANSP_{\beta} = 0.516 \text{ sec} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow TRANSP_{\beta} = 5.06 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

$$TRANSP_{\beta} = \frac{Packet\_size + [Header\_size]_{\beta}}{R_{\beta}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_{\beta} = \frac{Packet\_size + [Header\_size]_{\beta}}{TRANSP_{\beta}} = \frac{(1000 + 100) \cdot 8 \text{ bits}}{5.06 \cdot 10^{-4} \text{ sec}} = 17.4 \text{ Mbps}$$

(γ)

$$T_\gamma = NPROP + (N + K - 1)TRANSP_\gamma = 5ms + (10 + 1 - 1) \frac{(10^6 + 1000) \cdot 8}{20 \cdot 10^6} \text{sec} = 4.009 \text{sec}$$

(δ)

$$T_\delta = T_{setup,\delta} + PROP' + TRANSP_\delta = 1\text{sec} + 5m\text{sec} + \frac{(10^6 + 500) \cdot 8}{20 \cdot 10^6} \text{sec} \cong 1.4052 \text{sec}$$

# ΕΞ2016Β

## **ΘΕΜΑ 6**

Μέσα από ένα αμφίδρομο δορυφορικό δίαυλο με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 100Kbps στέλνονται πλαίσια των 6000bit. Οι επικεφαλίδες καταλαμβάνουν 600bit από τα 6000bit του πλαισίου. Οι επιβεβαιώσεις είναι πολύ μικρές.

Ποιος είναι ο καθαρός ρυθμός δεδομένων που βλέπει ο τελικός χρήστης αν χρησιμοποιείται:

(α) πρωτόκολλο STOP-AND-WAIT;

(β) πρωτόκολλο GO-BACK-N με μέγεθος για το παράθυρο 7 πλαίσια;

(γ) πρωτόκολλο SELECTIVE-REPEAT με μέγεθος για το παράθυρο 16 πλαίσια;

Εξηγήστε σε κάθε περίπτωση γιατί έχουμε «χαμένο» ρυθμό μετάδοσης σε σχέση με το συνολικό ρυθμό μετάδοσης του δίαυλου. Η καθυστέρηση διάδοσης είναι 300ms για κάθε κατεύθυνση. Να υποθέσετε ότι ο ρυθμός εσφαλμένων πακέτων και επιβεβαιώσεων είναι αμελητέος.

α) Stop & Wait.

$$\text{Goodput} = \text{Throughput} \cdot \frac{\text{data bits\_packet}}{\text{total bits\_packet}}$$

$$\text{Throughput} = \eta \cdot R$$

$$\eta = \frac{\text{TRANSP}}{\text{ABP TRANSP} + 2 \text{PROP}} = \frac{\frac{6000 \text{ bits}}{100 \cdot 10^3 \text{ bits/sec}}}{\frac{6000}{100 \cdot 10^3} \text{ sec} + 2 \cdot 300 \text{ msec}} = \frac{0.06}{0.06 + 0.6} = 0.091$$

Διευκρίνιση ότι TRANSA = 0

$$\text{Goodput} = 0.091 \cdot 100 \text{ kbps} \cdot \frac{5400}{6000} = 8.18 \text{ kbps}$$

β) GBN:

$$\eta = \frac{W \cdot \text{TRANSP}}{\text{TRANSP} + 2 \text{PROP}} = W_B \cdot \eta_{\text{ABP}} = 7 \cdot 0.091 = 0.637 < 1$$

$$\text{Goodput} = 0.637 \cdot 100 \text{ kbps} \cdot \frac{5400}{6000} = 57.3 \text{ kbps}$$

γ) SRP

$$\eta = \frac{W \text{TRANSP}}{\text{TRANSP} + 2 \text{PROP}} = W_F \cdot \eta_{\text{ABP}} = 16 \cdot 0.091 = 1.456 > 1 \Rightarrow \eta = 1$$

$$\text{Goodput} = 1 \cdot 100 \text{ kbps} \cdot \frac{5400}{6000} = 90 \text{ kbps}$$

**ΘΕΜΑ 3**

Ένα ABP πρωτόκολλο (δηλ. πρωτόκολλο παύσης και αναμονής) τρέχει πάνω από ένα κανάλι χρησιμοποιώντας μετρητή (timer) για να αναμεταδίδει μετά από ένα διάστημα προθεσμίας επανεκπομπής (TIMEOUT) πλαίσια για τα οποία δεν λαμβάνεται πίσω θετική επιβεβαίωση (λόγω λαθών στο πλαίσιο με τα δεδομένα ή στις επιβεβαιώσεις). Ο μετρητής ξεκινάει μόλις ο αποστολέας αρχίσει να στέλνει ένα πλαίσιο και όχι αφού το στείλει.

Έχετε τα εξής δεδομένα:

- Ταχύτητα μετάδοσης καναλιού ίση με 2 Mbits/sec.
- Μήκος πλαισίου ίσο με 200 bits.
- Χρόνος μετάδοσης επιβεβαίωσης TRANSA=0 λόγω πολύ μικρού μήκους των επιβεβαιώσεων.
- Απόδοση πρωτοκόλλου δίχως λάθη ίση με 33.3%.
- Πιθανότητα λάθους ίση με  $p=0.05$  (1 στα 20 πλαίσια κατά μέσον όρο χρειάζεται να μεταδοθεί ξανά).
- Απόδοση πρωτοκόλλου με λάθη ίση με 10%.

Ζητούνται:

**α)** Ο χρόνος μετάδοσης ενός πλαισίου TRANSP

**β)** Η καθυστέρηση διάδοσης (μονής κατεύθυνσης) PROP του σήματος στο κανάλι.

**γ)** Η διάρκεια TIMEOUT της προθεσμίας επανεκπομπής.



$$E \equiv 2011A / \text{B}$$

3.

$$a) \text{ TRANSP} = \frac{[P]}{R} = \frac{200 \text{ bits}}{2 \cdot 10^6 \frac{\text{bits}}{\text{sec}}} = 10^{-4} \text{ sec}$$

b) Δίνεται ότι  $\eta_0 = 33,3\%$  (χωρίς σφάλματα)

$$\eta_0 = \frac{\text{TRANSP}}{\text{RTT}} = \frac{\text{TRANSP}}{\text{TRANSP} + \cancel{\text{TRANSA}} + 2\text{PROP}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \eta_0 \cdot \text{TRANSP} + 2\eta_0 \cdot \text{PROP} = \text{TRANSP} \Rightarrow \text{PROP} = \frac{(1 - \eta_0) \text{TRANSP}}{2\eta_0} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{PROP} = \frac{0,66}{0,66} \cdot \text{TRANSP} = 10^{-4} \text{ sec}$$

8) Δίνεται ότι  $\eta_P = 10\%$   $P_F = 0,05 \Rightarrow P_S = 0,95$

$$\eta_P = \frac{\text{TRANSP}}{\text{RTT} + T \cdot \frac{1-P_S}{P_S}} \Rightarrow \eta_P \cdot \text{RTT} + \eta_P \cdot T \cdot \frac{1-P_S}{P_S} = \text{TRANSP} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = \frac{\text{TRANSP} - \eta_P \cdot \text{RTT}}{\eta_P \cdot \frac{1-P_S}{P_S}}$$

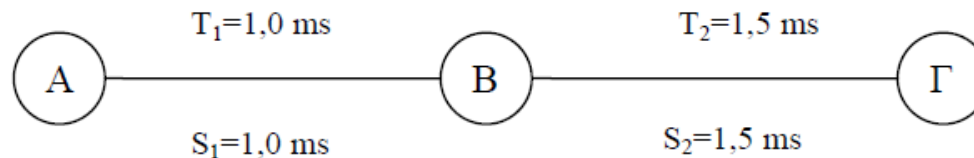
$$\text{RTT} = \text{TRANSP} + \text{TRANSA} + 2\text{PROP} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

$$\Rightarrow T = \frac{10^{-4} \text{ sec} - 10^{-1} \cdot 3 \cdot 10^{-4} \text{ sec}}{10^{-1} \cdot \frac{0,05}{0,95}} = \frac{10^{-3} - 3 \cdot 10^{-4}}{\frac{1}{19}} \text{ sec} =$$

$$= 19 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ sec} = 13,3 \text{ msec}$$

# ΕΞ2007Α/Θ6

**ΘΕΜΑ 6** - Έστω σταθμός A που επικοινωνεί με σταθμό Γ μέσω ενός σταθμού B και δύο συνδέσμων (σύνδεσμος 1 μεταξύ AB, και σύνδεσμος 2 μεταξύ BΓ). Οι χρόνοι μετάδοσης πλαισίου είναι ίδιοι σε κάθε σύνδεσμο ( $TRANSP1 = TRANSP2 = 10^{-4}$  s), ενώ οι χρόνοι μετάβασης με επιστροφή (S) και προθεσμίας (T) είναι αντίστοιχα  $S_1=T_1=1,0$ ms και  $S_2=T_2=1,5$ ms.



Η πιθανότητα σφάλματος πακέτου μονόδρομης μετάδοσης είναι: στον 1ο σύνδεσμο  $p_{err1} = 10^{-2}$ , και στον 2ο σύνδεσμο  $p_{err2} = 2 \times 10^{-2}$ . Πρέπει να επιλέξετε μεταξύ δύο σεναρίων:

- 1) ένα πρωτόκολλο επανεκπομπής ABP υλοποιείται μεταξύ των σταθμών A και Γ (end-to-end), ενώ ο B είναι απλός αναμεταδότης (στην περίπτωση αυτή ο χρόνος προθεσμίας ισούται με το άθροισμα των επιμέρους χρόνων προθεσμίας κάθε συνδέσμου).
- 2) ξεχωριστά πρωτόκολλα επανεκπομπής ABP υλοποιούνται μεταξύ των σταθμών A,B και των σταθμών B,Γ.

Ποιο σενάριο έχει τη μεγαλύτερη απόδοση;

Για τον προσδιορισμό της επίδοσης του κάθε σεναρίου θα υπολογίσουμε την Αντίστοιχη ρυθμαπόδοση που πετυχαίνει.

Γενικά η ρυθμαπόδοση ισούται με

$$\textit{Throughput} = \textit{Efficiency} \times \textit{Link\_Bit\_Rate}$$

Αν έχουμε πολλαπλούς συνδέσμους με ξεχωριστά πρωτόκολλα επανεκπομπής  
Η συνολική ρυθμαπόδοση ισούται με:

$$\begin{aligned} \textit{Throughput} &= \min_{i=1,\dots,N} \{ \textit{Throughput}_i \} = \\ &= \min_{i=1,\dots,N} \{ \textit{Efficiency}_i \times \textit{Link\_Bit\_Rate}_i \} \end{aligned}$$

Αν έχουμε πολλαπλούς συνδέσμους με ένα ενιαίο πρωτόκολλο επανεκπομπής end-end  
Η ρυθμαπόδοση θα ισούται με:

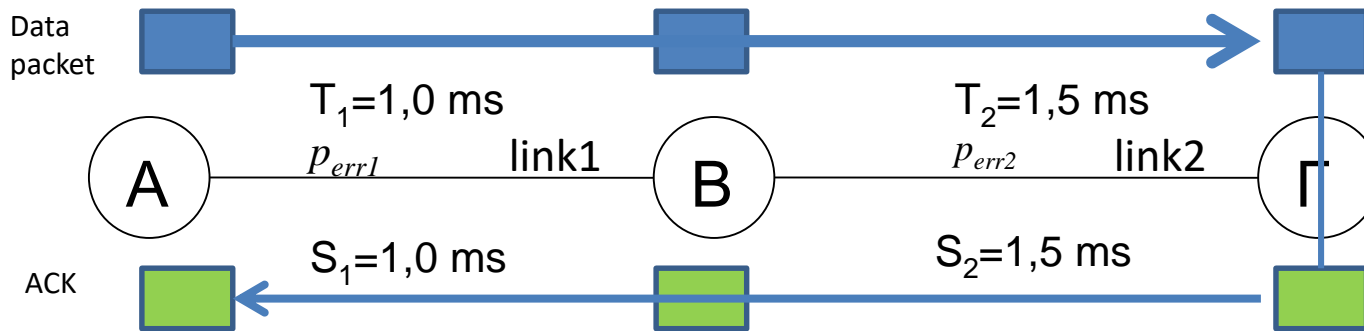
$$\begin{aligned} \textit{Throughput} &= \min_{i=1,\dots,N} \{ \textit{Throughput}_i \} = \\ &= \min_{i=1,\dots,N} \{ \textit{Efficiency} \times \textit{Link\_Bit\_Rate}_i \} = \\ &= \textit{Efficiency} \times \min_{i=1,\dots,N} \{ \textit{Link\_Bit\_Rate}_i \} \end{aligned}$$

## Απόδοση ABP (με Packet Error Rate>0)

$$\eta_{ABP} = \frac{TRANSP}{S + \frac{(1 - p_{success})}{p_{success}} T}$$

# 1<sup>ο</sup> σενάριο

ABP μεταξύ A and Γ (end-end) . Ο B θεωρείται ως απλός αναμεταδότης (ο χρόνος προθεσμίας δίνεται ότι ισούται με  $T_1+T_2$ ).



Χρειάζεται υπολογισμός της πιθανότητας επιτυχούς αποστολής πακέτου και λήψης επιβεβαίωσης ‘end-end’

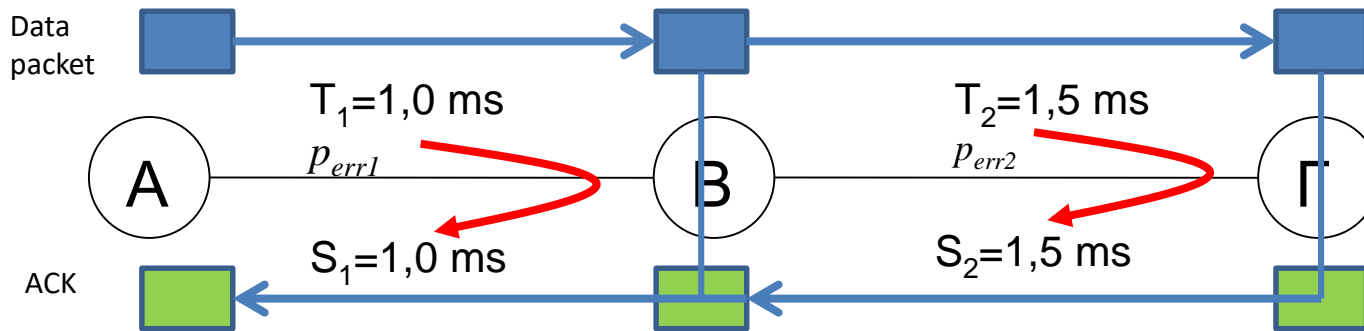
$$\begin{aligned} p_{12} &= P(\text{success, data\_packet\_in\_link\_1}) \times P(\text{success, data\_packet\_in\_link\_2}) \times \\ &\times P(\text{success, ACK\_in\_link\_2}) \times P(\text{success, ACK\_in\_link\_1}) = \\ &= (1 - p_{err1}) \times (1 - p_{err2}) \times (1 - p_{err2}) \times (1 - p_{err1}) = 0,94128804 \end{aligned}$$

# 1<sup>ο</sup> σενάριο

$$\eta_{ABP1} = \frac{TRANSP}{S_{12} + \frac{(1-p_{12})}{p_{12}} T_{12}} = \frac{p_{12} TRANSP}{S_1 + S_2} = \frac{0,94128804 \cdot 10^{-4}}{2,5 \cdot 10^{-3}} = 3,76\%$$

# 2<sup>ο</sup> σενάριο

Ξεχωριστές ABP μεταξύ A-B and B-Γ



Χρειάζεται υπολογισμός της πιθανότητας επιτυχούς αποστολής πακέτου και λήψης επιβεβαίωσης σε καθένα από τους 2 'βρόχους' ABP

$$p_1 = P(\text{success, data\_packet\_in\_link\_1}) \times P(\text{success, ACK\_in\_link\_1}) = \\ = (1 - p_{err1}) \times (1 - p_{err1}) = 0,9801$$

$$p_2 = P(\text{success, data\_packet\_in\_link\_2}) \times P(\text{success, ACK\_in\_link\_2}) = \\ = (1 - p_{err2}) \times (1 - p_{err2}) = 0,9604$$



# 2<sup>ο</sup> σενάριο

$$\eta_{ABP2.1} = \frac{TRANSP}{S_1 + \frac{(1-p_1)}{p_1}T_1} = \frac{p_1TRANSP}{S_1} = 9.8\%$$

$$\eta_{ABP2.2} = \frac{TRANSP}{S_2 + \frac{(1-p_2)}{p_2}T_2} = \frac{p_2TRANSP}{S_2} = 9.6\%$$

Εφόσον ο ρυθμός μετάδοσης και στα δύο links είναι ο ίδιος, η απόδοση του συστήματος θα εξαρτάται από το link με τη μικρότερη επιμέρους απόδοση (bottleneck) , που είναι το link 2.

Με βάση τα αποτελέσματα, το 2<sup>ο</sup> σενάριο θα είναι πιο αποδοτικό, διότι έχει απόδοση 9.6%, σε σχέση με το 1<sup>ο</sup> σενάριο που έχει απόδοση 3.76%

Προσοχή! Κανονικά πρέπει να συγκρίνουμε ρυθμαποδόσεις, αλλά -για τη συγκεκριμένη περίπτωση- αφού έχουμε τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης σε όλα τα links και τα σενάρια, αρκούν οι αντίστοιχες αποδόσεις

Έστω ένας κόμβος A ο οποίος μεταδίδει πακέτα δεδομένων, μήκους 6 bits πάνω από ένα ασύρματο κανάλι σε ένα κόμβο B. Στα πακέτα δεδομένων τοποθετείται επίσης πρόσθετη επικεφαλίδα μήκους 10 bits. Επειδή το κανάλι έχει θόρυβο, το καθένα από αυτά τα πακέτα δεδομένων προστατεύεται από σφάλματα μεταφοράς με την προσθήκη κυκλικού πλεονασμού (CRC) μήκους 4 bits χρησιμοποιώντας το πολυώνυμο γεννήτορα  $G(x)=x^3+x+1$ . Να υποθέσετε επίσης ότι η χρήση του CRC μείωσε τα σφάλματα μετάδοσης πακέτων σχεδόν στο 0. Η απόσταση μεταξύ των κόμβων A και B είναι  $3 \times 10^4$  Km, ο ρυθμός μετάδοσης μεταξύ των κόμβων A και B είναι 5 Kbits/sec, το συνολικό μέγεθος της επιβεβαίωσης είναι 10 bits, ενώ η ταχύτητα διάδοσης είναι  $3 \times 10^5$  km/sec.

**(α)** Μεταξύ των κόμβων A και B χρησιμοποιείται πρωτόκολλο επανεκπομπής GoBackN,  $N=32$ . Να υπολογιστεί η απόδοση του πρωτοκόλλου επανεκπομπής.

**(β)** Να βρεθεί ο ρυθμός ροής (bits/sec) των δεδομένων, δηλαδή πόσα bits δεδομένων μεταδίδονται ανά δευτερόλεπτο.

**(γ)** Να υποθέσετε ότι ο κόμβος θέλει να στείλει τα πακέτα δεδομένων  $M_1$  και  $M_2$ , στα οποία προστίθεται ο κυκλικός πλεονασμός (χρησιμοποιώντας το πολυώνυμο γεννήτορα  $G(x)=x^3+x+1$ ) και μεταδίδονται ως μηνύματα  $T_1$  και  $T_2$  πάνω από το ασύρματο κανάλι. Εάν κατά τη στιγμή της μετάδοσης στο μεταδιδόμενο μήνυμα  $T_1$  υπεισέρχεται θόρυβος  $E_1=1010000001$ , ενώ στο μήνυμα  $T_2$ , υπεισέρχεται θόρυβος  $E_2=1000100011$  να βρείτε εάν ο παραλήπτης κόμβος έχει τη δυνατότητα εντοπισμού του λάθους που υπεισέρχεται λόγω θορύβου στο κάθε ένα από τα μηνύματα.

*(Υπόδειξη: Εφόσον χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος CRC και με δεδομένο ότι το πολυώνυμο γεννήτορας είναι  $3^{\text{ο}}$  βαθμού ( $\kappa=3$ ), το μήνυμα  $T$  (ή  $T(x)$  σε πολυωνυμική μορφή) που θα μεταδοθεί τελικά πάνω από το ασύρματο κανάλι μετά και την προσθήκη του κυκλικού πλεονασμού  $R(x)$ , θα αποτελείται από 10 bits εφόσον  $T(x)=M(x)*x^3+R(x)$ . Το μήνυμα  $T(x)$  - λόγω κατασκευής- όταν διαιρεθεί με το πολυώνυμο γεννήτορα  $G(x)$ , αφήνει υπόλοιπο 0. Η άσκηση επίσης μας δίνει ότι στο κάθε μήνυμα  $T(x)$  υπεισέρχεται θόρυβος  $E(x)$ , οπότε το μήνυμα που παραλαμβάνεται δίνεται από τη σχέση  $T'(x) = T(x)+E(x)$ . Εάν διαιρέσουμε το  $T'(x)$  με το  $G(x)$  και με δεδομένο ότι  $T(x)/G(x)=0$  προκύπτει ότι  $T'(x)/G(x) = E(x)/G(x)$  )*

**a)**

Τα πακέτα που μεταδίδονται μεταξύ των Α και Β έχουν μήκος

$P_1 = \text{Μήκος Επικεφαλίδας} + \text{Μήκος Δεδομένων} + \text{Μήκος CRC} \Rightarrow$

$$P_1 = 10 + 6 + 4 = 20 \text{ bits} \quad (1)$$

Ο χρόνος που απαιτείται για να παραληφθεί μια οποιαδήποτε επιβεβαίωση είναι:

$$S_1 = \text{TRANSP}_1 + \text{TRANSA} + 2 * \text{PROP} \quad (2)$$

$$\text{TRANSP}_1 = P_1 \text{ bits} / 5 \text{ Kbps} = 20 \text{ bits} / 5 \text{ Kbps} = 0.004 \text{ sec} \quad (3)$$

$$\text{TRANSA} = 10 \text{ bits} / 5 \text{ Kbps} = 0.002 \text{ sec} \quad (4)$$

$$\text{PROP} = 3 * 10^4 / 3 * 10^5 \text{ sec} = 0.1 \text{ sec} \quad (5)$$

Αντικαθιστώντας τις (3)-(5) στην (2) έχουμε,

$$S_1 = 0.004 + 0.002 + 2 * 0.1 = 0.005 + 0.2 = 0.205 \text{ sec} \quad (6)$$

Επομένως η απόδοση του πρωτοκόλλου GoBack-N όπου  $N=32$  δίνεται από τον τύπο

$$\eta_{GBN} = \min \left\{ 1, \frac{N \times \text{TRANSP}_1}{S_1} \right\} = \min \left\{ 1, \frac{32 \times 0,004}{0,205} \right\} = 0,624 \quad (7)$$

**β)**

Ο ρυθμός ροής πακέτων  $\lambda$  είναι

$$\lambda = 32/S_1 = 32/0,205 \text{ πακέτα/sec} = 156 \text{ πακέτα/sec} \quad (8)$$

Από αυτά τα πακέτα μόνο 6 bits αφορούν σε δεδομένα και άρα ο ρυθμός ροής των δεδομένων είναι  $156 \cdot 6 = 936 \text{ bits/sec}$

Εναλλακτικά, με χρήση της απόδοσης από (α), θα είχαμε

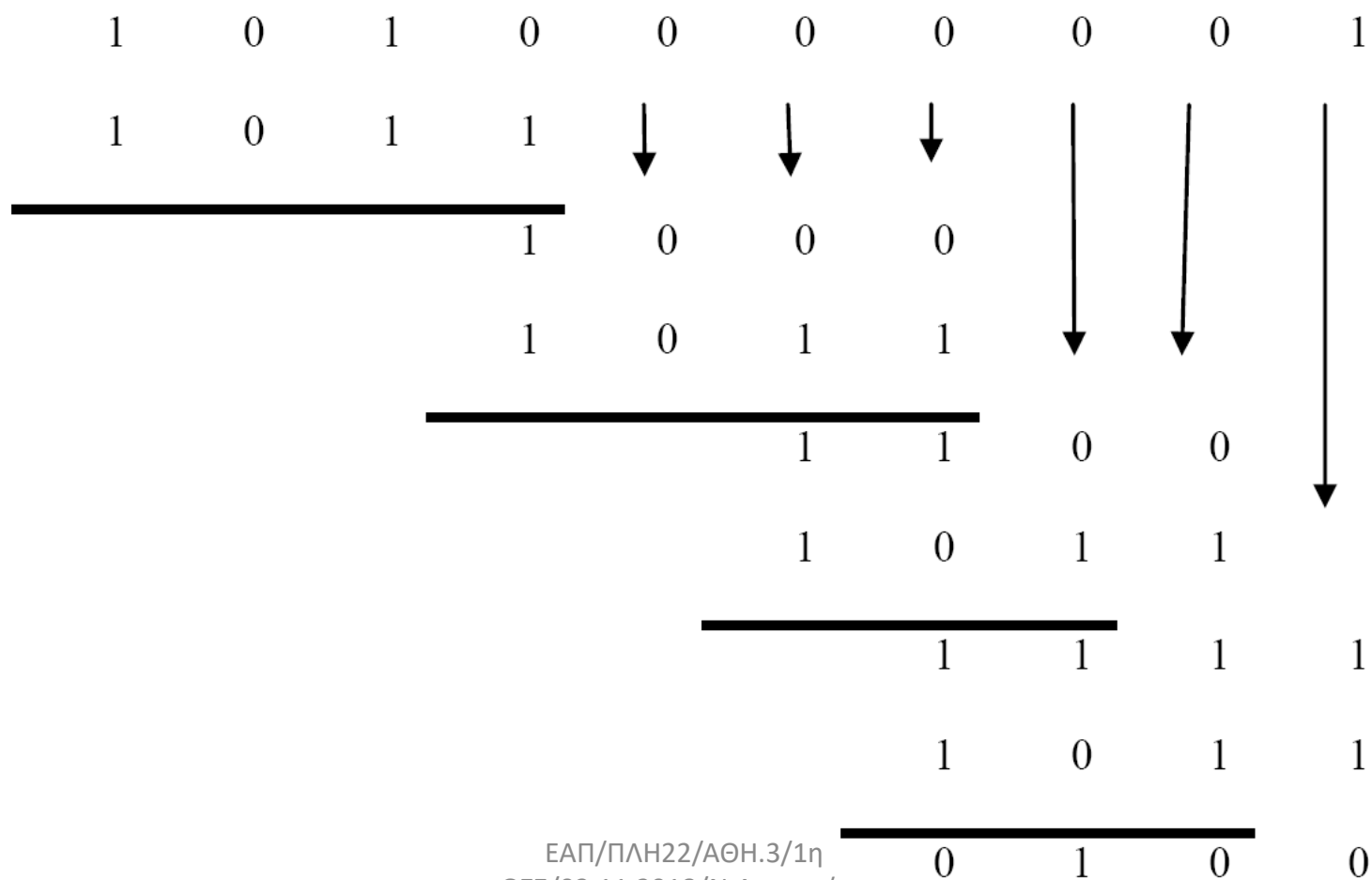
$$\lambda = n \cdot R = 0,624 \cdot 5000 = 3120 \text{ bits/sec} \quad (9)$$

Μόνο 6 bits αφορούν σε δεδομένα και άρα ο ρυθμός ροής των δεδομένων είναι

$$3120 \cdot 6/20 = 936 \text{ bits/sec.}$$

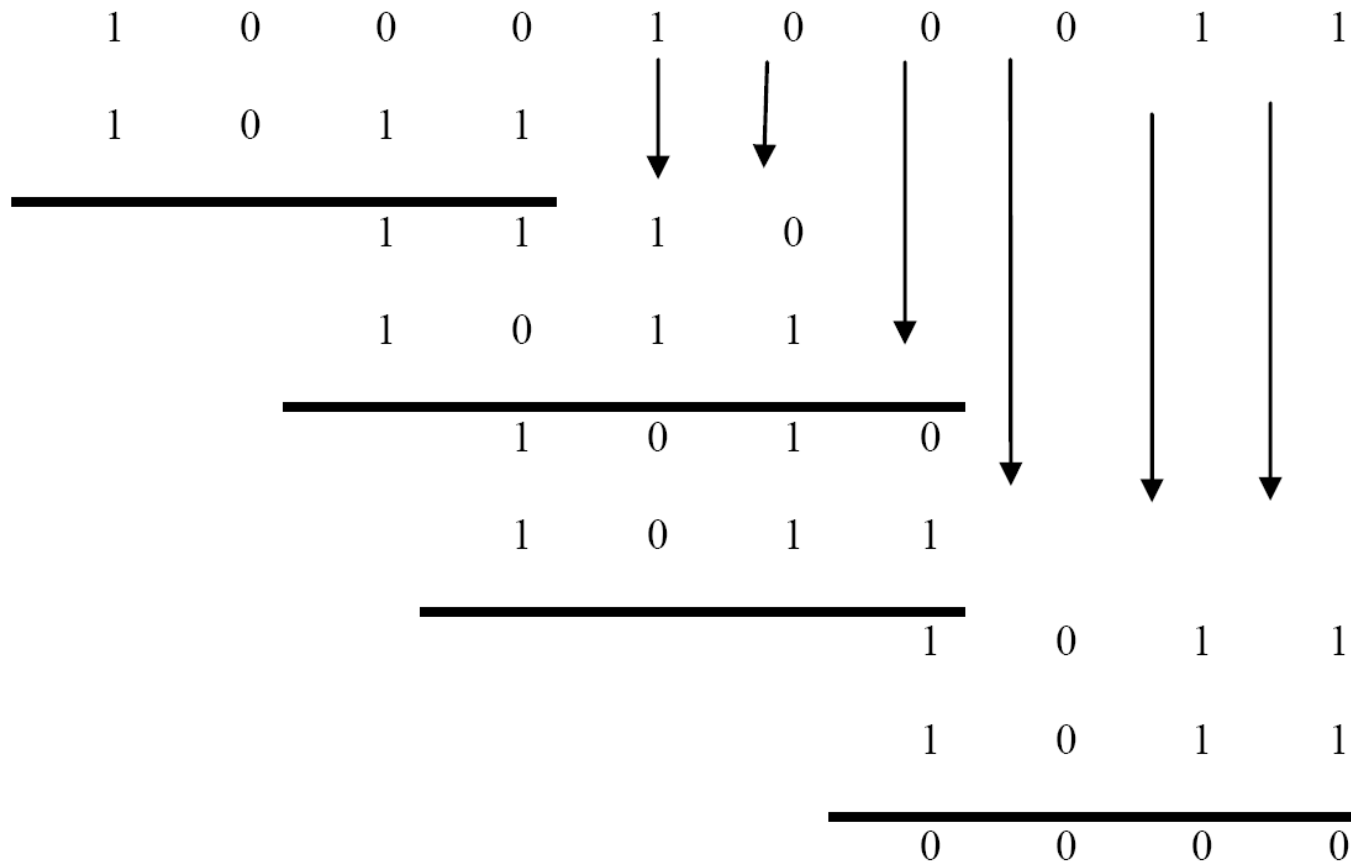
γ) Άρα για να διαπιστώσουμε εάν ο παραλήπτης κόμβος έχει τη δυνατότητα εντοπισμού του λάθους αρκεί να βρει ότι το υπόλοιπο της διαίρεσης  $E(x)/G(x)$  είναι διάφορο του μηδενός.

Περίπτωση 1<sup>η</sup>:  $E_1(x) = 1010000001$



*Σημείωση: Η διαίρεση θα μπορούσε να αποφευχθεί εάν το πολυώνυμο – γεννήτορας είχε ως παράγοντα το  $(x+1)$  , οπότε θα μπορούσε να εφαρμοστεί η ιδιότητα με βάση την οποία ο CRC κώδικας ανιχνεύει περιττό αριθμό σφαλμάτων, όμως στην περίπτωση του δεδομένου  $G(x)$ , αυτό δεν ισχύει διότι δεν μπορεί να γραφεί σε μορφή  $G(x)=(x+1)*H(x)$ .*

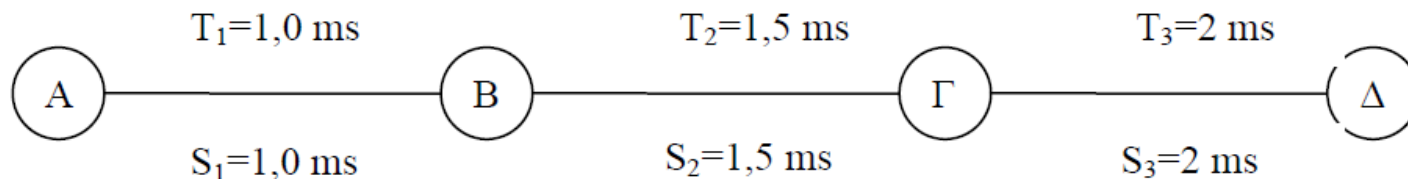
Περίπτωση 2<sup>η</sup>: E<sub>2</sub>(x)= 1000100011



Διαπιστώνουμε ότι το υπόλοιπο είναι 0 και παρά την ύπαρξη λαθών ο αλγόριθμος **δεν** είναι σε θέση να εντοπίσει το λάθος μήνυμα.

### ΘΕΜΑ 3 ΕΞ 2011B

Έστω σταθμός A που επικοινωνεί με σταθμό Δ μέσω των σταθμών B και Γ και τριών συνδέσμων (σύνδεσμος 1 μεταξύ AB, σύνδεσμος 2 μεταξύ BΓ, σύνδεσμος 3 μεταξύ ΓΔ). Οι χρόνοι μετάδοσης πλαισίου είναι ίδιοι σε κάθε σύνδεσμο ( $TRANSP1 = TRANSP2 = TRANSP3 = 10^{-4}$  s), ενώ οι χρόνοι μετάβασης με επιστροφή (S) και προθεσμίας (T) είναι αντίστοιχα  $S_1=T_1=1,0$  ms,  $S_2=T_2=1,5$  ms, και  $S_3=T_3=2,0$ ms.



Η πιθανότητα σφάλματος πακέτου μονόδρομης μετάδοσης είναι: στον 1ο σύνδεσμο και στον 3ο σύνδεσμο  $P_{err1} = 10^{-2}$ , ενώ στον 2ο σύνδεσμο  $P_{err2} = 2 \times 10^{-2}$ .

Πρέπει να επιλέξετε μεταξύ τριών σεναρίων:

- 1) ένα πρωτόκολλο επανεκπομπής ABP υλοποιείται μεταξύ των σταθμών A και Δ (end-to-end), με συνέπεια οι B και Γ να ενεργούν απλά ως αναμεταδότες. Το πρωτόκολλο αυτό έχει μετρηθεί ότι έχει απόδοση **2,05%**.
- 2) ένα πρωτόκολλο επανεκπομπής ABP υλοποιείται μεταξύ των σταθμών A και Γ με συνέπεια ο B να ενεργεί ως απλός αναμεταδότης και ένα πρωτόκολλο επανεκπομπής ABP υλοποιείται μεταξύ των σταθμών Γ και Δ.
- 3) ένα πρωτόκολλο επανεκπομπής ABP υλοποιείται μεταξύ των σταθμών A και B και ένα πρωτόκολλο επανεκπομπής ABP υλοποιείται μεταξύ των σταθμών B και Δ με συνέπεια ο Γ να ενεργεί ως απλός αναμεταδότης.

Ποιό από τα τρία σενάρια επιτυγχάνει την καλύτερη απόδοση;



$$E = 2011 \text{ B} / \theta_3$$

$$ABP_{A-\Delta} : \eta_1 = 2,05\%$$

$$\left. \begin{array}{l} ABP_{A-\Gamma} \\ ABP_{\Gamma-\Delta} \end{array} \right\} \eta_2 = \min \{ \eta_{A\Gamma}, \eta_{\Gamma\Delta} \}$$

$$\eta_{A\Gamma} = \frac{\text{TRANSP}_A}{S_{A\Gamma} + T_{A\Gamma} \cdot \frac{1 - P_{S,A\Gamma A}}{P_{S,A\Gamma A}}}$$

$$S_{A\Gamma} = S_1 + S_2 = 2,5 \text{ ms}$$

$$T_{A\Gamma} = T_1 + T_2 = 2,5 \text{ ms}$$

$$P_{S,A\Gamma A} = P_{S,AB} \cdot P_{S,B\Gamma} \cdot P_{S,\Gamma B} \cdot P_{S,BA}$$

$$= 0,99^2 \cdot 0,98^2 = 0,94128804$$

$$\Rightarrow \eta_{A\Gamma} = \frac{10^{-4} \text{ sec} \cdot 0,94128804}{2,5 \cdot 10^{-4} \text{ sec}} = 3,76\%$$

$$(1 - 10^{-2}) (1 - 2 \cdot 10^{-2}) (1 - 2 \cdot 10^{-2}) (1 - 10^{-2})$$

$$\eta_{\Gamma\Delta} = \frac{\text{TRANSP}_{\Gamma}}{S_{\Gamma\Delta} + T_{\Gamma\Delta} \frac{1 - \rho_{S,\Gamma\Delta\Gamma}}{\rho_{S,\Gamma\Delta\Gamma}}}$$

$$\rho_{S,\Gamma\Delta\Gamma} = \rho_{S,\Gamma\Delta} \cdot \rho_{S,\Delta\Gamma} = (1 - 10^{-2}) (1 - 10^{-2}) = 0,99^2 = 0,9801.$$

$$\eta_{\Gamma\Delta} = \frac{10^{-4} \cdot 0,9801}{2 \cdot 10^{-4} \text{ sec}} = 4,9\%$$

$$\eta_2 = \min \{ 3,76\%, 4,9\% \} = 3,76\%$$

$$\eta_3 = \min \{ \eta_{AB}, \eta_{BD} \}$$

$$\eta_{AB} = \frac{\text{TRANSPA}}{S_{AB} + T_{AB} \cdot \frac{1 - P_{S,ABA}}{P_{S,ABA}}}$$

$$P_{S,ABA} = P_{S,AB} \cdot P_{S,BA} = (1 - 10^{-2}) (1 - 10^{-2}) = 0,99^2 = 0,9801.$$

$$\eta_{AB} = \frac{10^{-4} \cdot 0,9801}{10^{-3}} = 9,8\%$$

$$\eta_{B\Delta} = \frac{\text{TRANSP}_B}{S_{B\Delta} + T_{B\Delta} \cdot \frac{1 - \rho_{B\Delta B}}{\rho_{S, B\Delta B}}}$$

$$S_{B\Delta} = S_2 + S_3 = 3,5 \text{ ms}$$

$$T_{B\Delta} = T_2 + T_3 = 3,5 \text{ ms}$$

$$\rho_{S, B\Delta B} = \rho_{S, B\Delta} \cdot \rho_{S, \Gamma\Delta} \cdot \rho_{S, \Delta\Gamma} \cdot \rho_{S, \Gamma B} =$$

$$= (1 - 2 \times 10^{-2}) (1 - 10^{-2}) \cdot (1 - 10^{-2}) (1 - 2 \times 10^{-2}) = 0,94128804$$

$$\eta_{B\Delta} = \frac{10^{-4} \cdot 0,94128804}{3,5 \cdot 10^{-4}} = 2,68\%$$

$$\eta_3 = \min \{ 9,8\%, 2,68\% \} = 2,68\%$$

Συμπερασματικά  $n_2 > n_3 > n_1$

**Σημείωση:** Κανονικά οι σύνδεσμοι συγκρίνονται βάσει των ρυθμαποδόσεών τους (γινόμενο απόδοσης & ρυθμού μετάδοσης), όμως στην περίπτωση της άσκησης όλοι οι σύνδεσμοι έχουν το ίδιο TRANSP άρα και τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης συνεπώς αρκεί η σύγκριση των αποδόσεών τους

Δύο κόμβοι A και B συνδέονται μεταξύ τους σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα. Πλαίσια δεδομένων και επιβεβαίωσης μεταφέρονται από τον κόμβο A στον κόμβο B με 2 τρόπους:

- Μέσω δορυφόρου ο οποίος κινείται σε γεωστατική τροχιά σε ύψος 36000 km από την επιφάνεια της γης. Η ταχύτητα μετάδοσης για καθεμιά από τις δορυφορικές ζεύξεις είναι 1 Mbps, ενώ η ταχύτητα διάδοσης για καθεμιά από τις δορυφορικές ζεύξεις είναι  $3 \times 10^8$  m/sec. Το πρωτόκολλο επανεκπομπής που χρησιμοποιείται είναι GoBackN (από A έως B end-to-end) με μέγεθος παραθύρου 100.
- Μέσω επίγειας ζεύξης με οπτική ίνα. Η απόσταση μεταξύ των σημείων A και B είναι 1000 km. Η ταχύτητα μετάδοσης της ζεύξης είναι 100 Mbps, ενώ η ταχύτητα διάδοσης είναι  $2 \times 10^8$  m/sec. Το πρωτόκολλο επανεκπομπής που χρησιμοποιείται είναι πάλι GoBackN με μέγεθος παραθύρου 100.

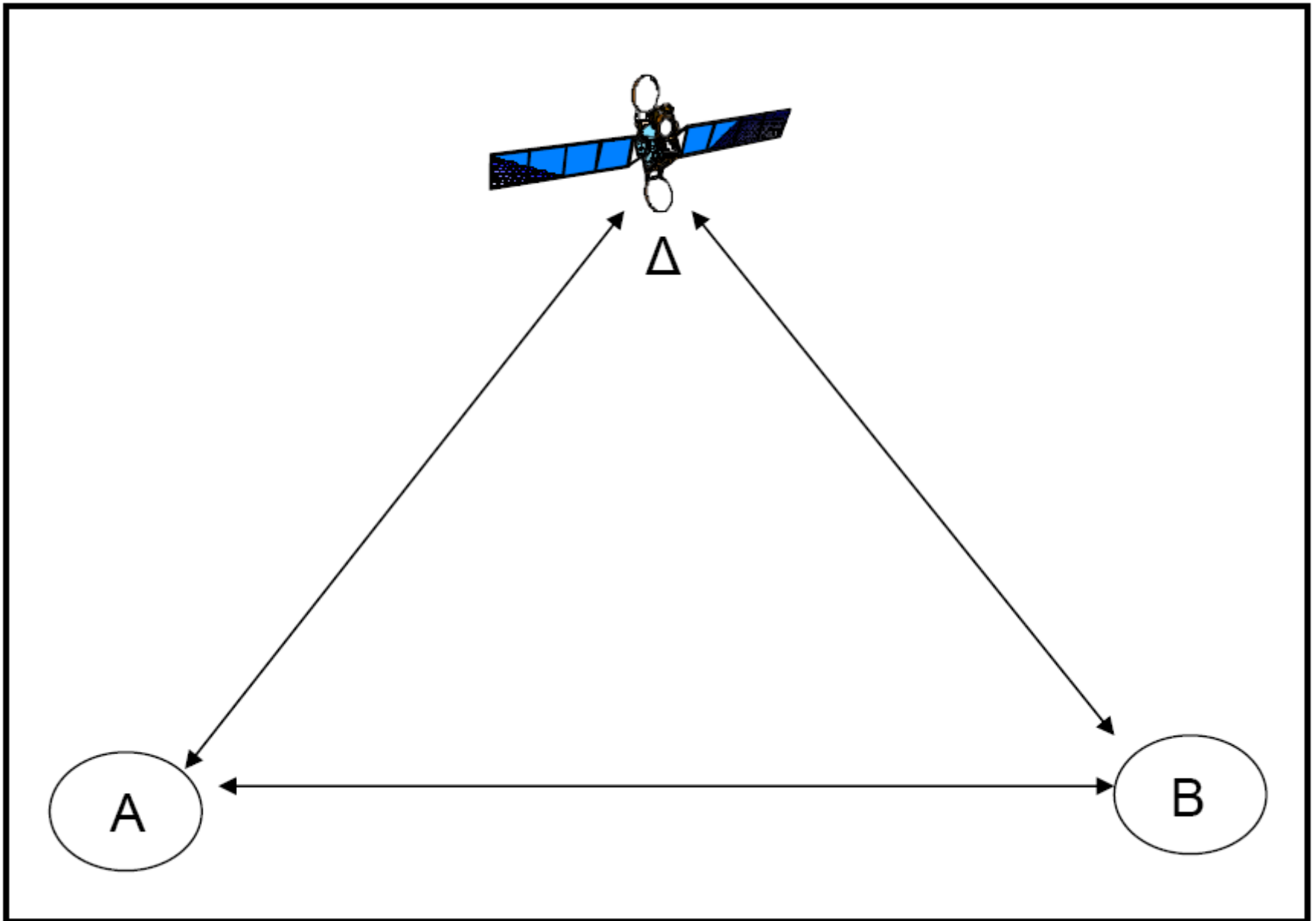
Το μέγεθος των πακέτων δεδομένων και επιβεβαίωσης είναι 1 kbits.

**A.** Να βρεθεί η διαμετακομιστική ικανότητα (ή ρυθμαπόδοση) για τη δορυφορική ζεύξη A-B υποθέτοντας μηδενικό ρυθμό σφαλμάτων κατά τη μετάδοση των πακέτων.

**B.** Να βρεθεί η διαμετακομιστική ικανότητα (ή ρυθμαπόδοση) για τη δορυφορική ζεύξη A-B υποθέτοντας για κάθε δορυφορική ζεύξη ρυθμό σφαλμάτων στη μετάδοση των πακέτων (Packet Error Rate) ίσο με 0.026 και ότι ο χρόνος προθεσμίας είναι ίσος με εκείνη την τιμή του χρόνου μετάβασης μετ' επιστροφής που δίδει τη μέγιστη απόδοση του 100% απουσία σφαλμάτων μεταφοράς.

**Γ.** Να βρεθεί η διαμετακομιστική ικανότητα (ή ρυθμαπόδοση) για την επίγεια ζεύξη A-B υποθέτοντας μηδενικό ρυθμό σφαλμάτων στη μετάδοση των πακέτων.

**Δ.** Υποθέτοντας ότι στην επίγεια ζεύξη A-B χρησιμοποιείται πρωτόκολλο επανεκπομπής ABP με μηδενικό ρυθμό σφαλμάτων στη μετάδοση των πακέτων και ότι για τη δορυφορική ζεύξη A-B ισχύουν τα δεδομένα του ερωτήματος (B), να υπολογίσετε την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των κόμβων A,B για την οποία συμφέρει να χρησιμοποιηθεί η δορυφορική ζεύξη έναντι της επίγειας.



A. Η διαμετακομιστική ικανότητα ή ρυθμαπόδοση ή throughput ισούται με:

$$T_{AB} = n_{AB} \cdot R_{AB}$$

Η απόδοση της δορυφορικής ζεύξης A-B end – to – end υποθέτοντας μηδενικό ρυθμό σφαλμάτων ισούται με

$$n_{AB} = \min \left\{ 1, \frac{W \cdot TRANSP_{\Delta\Delta}}{RTT_{AB}} \right\}$$

όπου,

$$W=100$$

$$TRANSP_{\Delta\Delta} = \frac{\langle \text{Μεγεθος Πακετου} \rangle}{R_{\Delta\Delta}} = \frac{1000 \text{bits}}{1 \cdot 10^6 \text{bps}} = 10^{-3} \text{sec} \text{ (ο χρόνος αυτός αντιστοιχεί στο}$$

χρόνο μετάδοσης πακέτων δεδομένων / επιβεβαίωσης σε όλες τις απαιτούμενες (4) δορυφορικές ζεύξεις)

$$PROP_{\Delta\Delta} = \frac{\langle \text{υψος τροχιας δορυφορου} \rangle}{\langle \text{ταχυτητα διαδοσης} \rangle} = \frac{36000 \cdot 10^3 \text{m}}{3 \cdot 10^8 \text{m/sec}} = 0.12 \text{sec} \text{ (ο χρόνος αυτός}$$

αντιστοιχεί στο χρόνο μετάδοσης πακέτων δεδομένων / επιβεβαίωσης σε όλες τις απαιτούμενες (4) δορυφορικές ζεύξεις)

$$\begin{aligned} RTT_{AB} &= TRANSP_{\Delta\Delta} + PROP_{\Delta\Delta} + TRANSP_{\Delta B} + PROP_{\Delta B} + TRANSA_{B\Delta} + PROP_{B\Delta} + TRANSA_{\Delta\Delta} + PROP_{\Delta\Delta} = \\ &= 4(TRANSP_{\Delta\Delta} + PROP_{\Delta\Delta}) = 4(10^{-3} \text{sec} + 0.12 \text{sec}) = 0.484 \text{sec} \end{aligned}$$

οπότε έχουμε,

$$n_{AB} = \min \left\{ 1, \frac{100 \cdot 10^{-3}}{0.484} \right\} = 0.206$$

Οπότε η ρυθμαπόδοση θα ισούται με

$$T_{AB} = 0.206 \cdot 1 \text{Mbps} = 0.206 \text{Mbps}$$

**B.** Η απόδοση της δορυφορικής ζεύξης A-B end – to – end [υποθέτοντας ότι ο χρόνος προθεσμίας είναι ίσος με εκείνη την τιμή του χρόνου μετάβασης μετ’ επιστροφής που δίδει τη μέγιστη απόδοση του 100% απουσία σφαλμάτων μεταφοράς] θα ισούται με

$$n_{AB} = \frac{1}{1 + W \frac{1-p}{p}}$$

Η πιθανότητα ορθής μετάδοσης πακέτων σε κάθε ζεύξη θα ισούται με  $p_z = 1 - PER = 1 - 0.026 = 0.974$

Για να μεταδοθεί επιτυχώς ένα πακέτο και να ληφθεί επιτυχώς η αντίστοιχη επιβεβαίωση απαιτείται η ορθή μετάδοση διαμέσου 4 διαδοχικών δορυφορικών ζεύξεων, οπότε η συνολική πιθανότητα επιτυχίας θα ισούται με  $p = p_z^4 = 0.9$ .

Άρα, θα έχουμε,

$$n_{AB} = \frac{1}{1 + 100 \frac{1-0.9}{0.9}} = 0.0825$$

και η ρυθμαπόδοση θα ισούται με

$$T_{AB} = 0.0825 \cdot 1Mbps = 0.0825Mbps$$



Γ. Η απόδοση της επίγειας ζεύξης A-B υποθέτοντας μηδενικό ρυθμό σφαλμάτων ισούται με

$$n_{AB} = \min \left\{ 1, \frac{W \cdot TRANSP_{AB}}{RTT_{AB}} \right\}$$

όπου,

$$W=100$$

$$TRANSP_{AB} = \frac{\langle \text{Μεγεθος Πακετου} \rangle}{R_{AB}} = \frac{1000 \text{ bits}}{100 \cdot 10^6 \text{ bps}} = 10^{-5} \text{ sec (ο χρόνος αυτός αντιστοιχεί$$

και στο χρόνο μετάδοσης πακέτων επιβεβαίωσης)

$$PROP_{AB} = \frac{\langle \text{αποσταση AB} \rangle}{\langle \text{ταχυτητα διαδοσης} \rangle} = \frac{1000 \cdot 10^3 \text{ m}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ sec (ο χρόνος αυτός αντιστοιχεί$$

και στο χρόνο μετάδοσης πακέτων επιβεβαίωσης)

$$\begin{aligned} RTT_{AB} &= TRANSP_{AB} + PROP_{AB} + TRANSA_{BA} + PROP_{BA} = \\ &= 2(TRANSP_{AB} + PROP_{AB}) = 2(10^{-5} \text{ sec} + 5 \cdot 10^{-3} \text{ sec}) = 0.01 \text{ sec} \end{aligned}$$

οπότε έχουμε,

$$n_{AB} = \min \left\{ 1, \frac{100 \cdot 10^{-5}}{0.01} \right\} = 0.1$$

Οπότε η ρυθμαπόδοση θα ισούται με

$$T_{AB} = 0.1 \cdot 100 \text{ Mbps} = 10 \text{ Mbps}$$

Δ. Για να συμφέρει η χρήση της δορυφορικής ζευξης, θα πρέπει να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση σε σχέση με την επίγεια ζεύξη, δηλ.

$$\begin{aligned}
 n_{AB,E} R_{AB,E} &\leq n_{AB,\Delta} R_{AB,\Delta} \Rightarrow \\
 \Rightarrow \frac{TRANSP_{AB,E}}{RTT_{AB,E}} R_{AB,E} &\leq 0.0825 Mbps = T_0 \Rightarrow \\
 \Rightarrow RTT_{AB,E} &\geq \frac{TRANSP_{AB,E}}{T_0} R_{AB,E} \Rightarrow \\
 \Rightarrow 2(TRANSP_{AB,E} + PROP_{AB,E}) &\geq \frac{TRANSP_{AB,E}}{T_0} R_{AB,E} \Rightarrow \\
 \Rightarrow PROP_{AB,E} &\geq \frac{\frac{TRANSP_{AB,E}}{T_0} R_{AB,E} - 2TRANSP_{AB,E}}{2} \Rightarrow \\
 \Rightarrow \frac{D}{v_E} &\geq \frac{\frac{TRANSP_{AB,E}}{T_0} R_{AB,E} - 2TRANSP_{AB,E}}{2} \Rightarrow \\
 \Rightarrow D &\geq \left[ \frac{\frac{TRANSP_{AB,E}}{T_0} R_{AB,E} - 2TRANSP_{AB,E}}{2} \right] v_E \Rightarrow \\
 \Rightarrow D_{\min} &= \left[ \frac{\frac{10^{-5} \text{ sec}}{0.0825 \text{ Mbps}} 100 \text{ Mbps} - 2 \cdot 10^{-5} \text{ sec}}{2} \right] \cdot 2 \cdot 10^8 \text{ m/sec} \approx 1210 \text{ km}
 \end{aligned}$$

## ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2006B

**ΘΕΜΑ 7** - Σύμφωνα με το ακόλουθο σχήμα οι κόμβοι A και B συνδέονται έμμεσα μέσω των συνδέσεων A\_01, O1\_O2 και O2\_B. Πλαίσια δεδομένων ή επιβεβαίωσης μεταφέρονται μεταξύ των κόμβων A και O1 μέσω ασύρματης ζεύξης με ταχύτητα μετάδοσης 5Kbps ( $1K=10^3$ ). Πλαίσια δεδομένων ή επιβεβαίωσης μεταφέρονται μεταξύ των κόμβων O2 και B μέσω ασύρματης ζεύξης με ταχύτητα μετάδοσης 10Kbps. Επίσης, πλαίσια δεδομένων ή επιβεβαίωσης μεταφέρονται μεταξύ των κόμβων O1 και O2 μέσω της επίγειας ζεύξης με οπτική ίνα με ταχύτητα μετάδοσης 50Mbps ( $1M=10^6$ ). Τα πακέτα δεδομένων κινούνται από το A στο B ενώ πακέτα επιβεβαίωσης από το B στο A. Έστω ότι τα πακέτα δεδομένων και επιβεβαίωσης έχουν μέγεθος 1000 bits και ότι ο χρόνος διάδοσης τόσο στην ασύρματη ζεύξη όσο και στην οπτική ίνα θεωρείται αμελητέος.

Θεωρούμε τώρα 4 περιπτώσεις εφαρμογής πρωτοκόλλων επανεκπομπής:

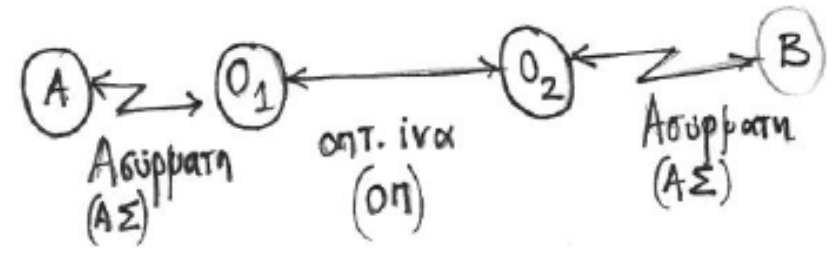
- (i) ABP εφαρμόζεται από άκρη σε άκρη από το A στο B.
- (ii) ABP εφαρμόζεται μόνο σε κάθε ασύρματη ζεύξη.
- (iii) GBN εφαρμόζεται από άκρη σε άκρη από το A στο B.
- (iv) GBN εφαρμόζεται μόνο σε κάθε ασύρματη ζεύξη.

Να απαντήσετε στα παρακάτω ερωτήματα

(A) Στις δύο περιπτώσεις GBN (iii,iv) και θεωρώντας ότι σε καμία σύνδεση δεν παρατηρούνται σφάλματα, ποιο είναι το βέλτιστο μέγεθος παραθύρου;

(B) Έστω ότι στις ασύρματες ζεύξεις παρατηρούνται σφάλματα και ότι η πιθανότητα να μεταφερθεί σωστά (προς μια κατεύθυνση) ένα πλαίσιο σε καθεμιά είναι  $p = 0.9$ . Αν στο σύνδεσμο της οπτικής ίνας δεν παρατηρούνται σφάλματα και (για όλα τα πρωτόκολλα επανεκπομπής) ο χρόνος εκπομπής προθεσμίας αναμετάδοσης πακέτου T είναι ίσος με τον χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής S, ποια είναι η διαμετακομιστική ικανότητα (throughput σε bps) για κάθε περίπτωση (i,ii,iii,iv);

ΕΣ 2006 Β / Θ7



$R_{A,O_1} = 5 \text{ kbps}$

$R_{O_2,B} = 10 \text{ kbps}$

$\langle P \rangle = \langle A \rangle = 1000 \text{ bits}$

$R_{O_1,O_2} = 50 \text{ Mbps}$   $Pr_{OP_i} = \epsilon \delta = 0$  (για το  $\delta$ )

(i) ABP end to end

(ii) ABP  $\begin{cases} A-O_1 \\ O_2-B \end{cases}$

(iii) GBN end to end

(iv) GBN  $\begin{cases} A-O_1 \\ O_2-B \end{cases}$

⊗ Για περιπτώσεις (iii), (iv) χωρίς βλάβη μεταφοράς υπολογίστε το βέλτιστο μήκος του παραθύρου

$$\text{Είναι } \eta = \min \left\{ \frac{\text{TRANSP}}{\text{RTT}} W, 1 \right\}$$

$$\text{Για να είναι } \eta = 100\%, \quad \frac{\text{TRANSP}}{\text{RTT}_A} W = 1 \Rightarrow W = \frac{\text{RTT}}{\text{TRANSP}}$$

$$\text{Περίπτωση (iii)} \quad \text{TRANSP}_{A_0,1} = \frac{\langle P \rangle}{R_{A_0,1}} = \frac{1000 \text{ bits}}{5 \cdot 10^3 \text{ bps}} = 0,2 \text{ sec}$$

$$\begin{aligned} \text{RTT}_{ABA} = & \text{TRANSP}(A_0,1) + \text{PROP}(A_0,1) + \text{TRANSP}(0,0_2) + \text{PROP}(0,0_2) + \text{TRANSP}(0_2,B) + \text{PROP}(0_2,B) + \\ & + \text{TRANSA}(B,0_2) + \text{PROP}(B,0_2) + \text{TRANSA}(0_2,0_1) + \text{PROP}(0_2,0_1) + \text{TRANSA}(0_1,A) + \text{PROP}(0_1,A) \end{aligned}$$

$$\text{Παρατήρηση: } \text{TRANSP}(A_0,1) = \text{TRANSA}(0_1,A) = \frac{\langle P \rangle}{R_{A_0,1}} = 0,2 \text{ sec.}$$

$$\text{TRANSP}(0,0_2) = \text{TRANSA}(0_2 0_1) = \frac{\langle P \rangle}{R_{0,0_2}} = \frac{10^3 \text{ bits}}{50 \cdot 10^6 \text{ bps}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ sec}$$

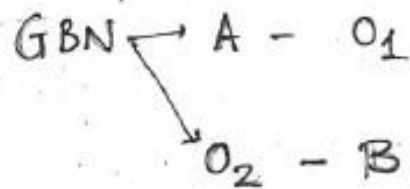
$$\text{TRANSP}(0_2 B) = \text{TRANSA}(B 0_2) = \frac{\langle P \rangle}{R_{0_2 B}} = \frac{10^3 \text{ bits}}{10 \cdot 10^3 \text{ bps}} = 0,1 \text{ sec}$$

Δίνεται  $\text{PROP}(i) = 0$   
011

$$\propto p \propto, \quad \text{RTT} = 2 \cdot 0,2 \text{ sec} + 2 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \text{ sec} + 2 \cdot 0,1 \text{ sec} = 0,6 \text{ sec}$$

$$\Rightarrow W = \frac{0,6}{0,2} = 3$$

Περὶπτωση (iv)



GBN A - O<sub>1</sub>

$$W = \frac{RTT_{A,O_1}}{TRANSP(A,O_1)}$$

$$RTT(A,O_1) = TRANSP(A,O_1) + TRANSA(O_1,A) = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ sec}$$

$$W = \frac{0,4 \text{ sec}}{0,2 \text{ sec}} = 2$$

GBN O<sub>2</sub> - B

$$W = \frac{RTT_{(O_2,B)}}{TRANSP(O_2,B)}$$

$$RTT(O_2,B) = TRANSP(O_2,B) + TRANSA(B,O_2) = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ sec}$$

$$W = \frac{RTT}{TRANSP(O_2,B)} = \frac{0,2 \text{ sec}}{0,1 \text{ sec}} = 2$$

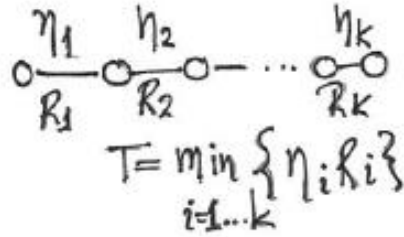
⊗ Σφάλματα Μεταφοράς

$$P_s \quad (A \rightarrow O_1) = P_s \quad (O_1 A) = P_s(B \rightarrow O_2) = P_s(O_2 B) = 0,9$$

$$T = RTT$$

$\Delta I$ , throughput = ?  
(Διαμεταφοριβίτιυή Ικανότητα)

$$T = \eta \cdot R$$



(i) ABP end-to-end

$$P_{s,ABA} = P_s(A \rightarrow O_1) \cdot P_s(O_2 B) \cdot P_s(B \rightarrow O_2) \cdot P_s(O_1 A) = 0,9^4 = 0,65$$

$$\eta_{ABA} = P_{s,ABA} \frac{TRANSP_{AO_1}}{RTT} = 0,65 \cdot \frac{0,2 \text{ sec}}{0,6 \text{ sec}} = 0,22$$

$$\begin{aligned}
 T &= \min \{ \eta_{AO_1} R_{AO_1}, \eta_{O_1 O_2} R_{O_1 O_2}, \eta_{O_2 B} R_{O_2 B} \} = \\
 &= \min \{ \eta_{ABA} R_{AO_1}, \eta_{ABA} R_{O_1 O_2}, \eta_{ABA} R_{O_2 B} \} = \\
 &= \eta_{ABA} \cdot \min \{ R_{AO_1}, R_{O_1 O_2}, R_{O_2 B} \} = \\
 &= 0,22 \cdot \min \{ 5 \text{ kbps}, 50 \text{ Mbps}, 10 \text{ kbps} \} = 0,22 \cdot 5 \text{ kbps} = 1083 \text{ bps}
 \end{aligned}$$



$$\text{ii) ABP} \quad \begin{array}{l} A-O_1 \\ O_2-B \end{array} \quad \begin{array}{l} p_{s,AO_1A} = p_s(AO_1) \cdot p_s(O_1A) = 0,9^2 = 0,81 \\ p_{s,O_2BO_2} = p_s(O_2B) \cdot p_s(BO_2) = 0,9^2 = 0,81 \end{array}$$

$$\eta_{AO_1A} = p_{s,AO_1A} \cdot \frac{\text{TRANSP}(AO_1)}{\text{RTT}(AO_1A)} = 0,81 \cdot \frac{0,2 \text{ sec}}{0,4 \text{ sec}} = 0,405$$

$$\eta_{O_2BO_2} = p_{s,O_2BO_2} \cdot \frac{\text{TRANSP}(BO_2)}{\text{RTT}(BO_2B)} = 0,81 \cdot \frac{0,1 \text{ sec}}{0,2 \text{ sec}} = 0,405$$

$$T = \min \{ \eta_i R_i \} = \min \{ \eta_{AO_1A} R_{AO_1A}, \eta_{O_2BO_2} R_{O_2BO_2} \} = \\ = \min \{ 0,405 \cdot 5 \text{ kbps}, 50 \text{ Mbps}, 0,405 \cdot 10 \text{ kbps} \} = 0,405 \cdot 5 \text{ kbps} = 2025 \text{ bps}$$

(iii) end to end GBN

$$P_s(ABA) = 0,65$$

$$\eta_{ABA} = \frac{\text{TRANSP}(A_0,1)}{RTT(ABA) \frac{1 - P_s(ABA)}{P_s(ABA)} + \text{TRANSP}(A_0,1)}$$

$$RTT(ABA) = 0,6 \text{ sec}$$

$$\eta_{ABA} = \frac{0,2 \text{ sec}}{0,6 \text{ sec} \cdot \frac{1 - 0,65}{0,65} + 0,2 \text{ sec}} = 0,382$$

$$T = \eta_{ABA} \cdot \min \{ R_{A_0,1}, R_{0,1,2}, R_{2,B} \} = 0,382 \cdot 5 \text{ kbps} = 1911 \text{ bps}$$

(iv) GBN  $\begin{cases} \rightarrow A \rightarrow O_1 \\ \rightarrow O_2 \rightarrow B \end{cases}$   $P_S(AO_1) = 0,81$   
 $P_S(O_2BO_2) = 0,81$

$$\eta_{AO_1} = \frac{\text{TRANSP}(AO_1)}{RTT_{AO_1} \frac{1 - P_S(AO_1)}{P_S(AO_1)} + \text{TRANSP}(AO_1)} = \frac{0,2}{0,4 \cdot \frac{1 - 0,81}{0,81} + 0,2} = 0,68$$

$$\eta_{O_2BO_2} = \frac{\text{TRANSP}(O_2B)}{RTT_{O_2BO_2} \frac{1 - P_S(O_2BO_2)}{P_S(O_2BO_2)} + \text{TRANSP}(O_2B)} = \frac{0,1}{0,2 \cdot \frac{1 - 0,81}{0,81} + 0,1} = 0,68$$

$$T = \min \{ \eta_{AO_1} R_{AO_1}, 1 \cdot R_{O_1O_2}, \eta_{O_2BO_2} R_{O_2B} \} =$$

$$= \min \{ 0,68 \cdot 5 \text{ kbps}, 50 \text{ Mbps}, 0,68 \cdot 10 \text{ kbps} \} = 0,68 \cdot 5 \text{ kbps} = 3408 \text{ bps}$$

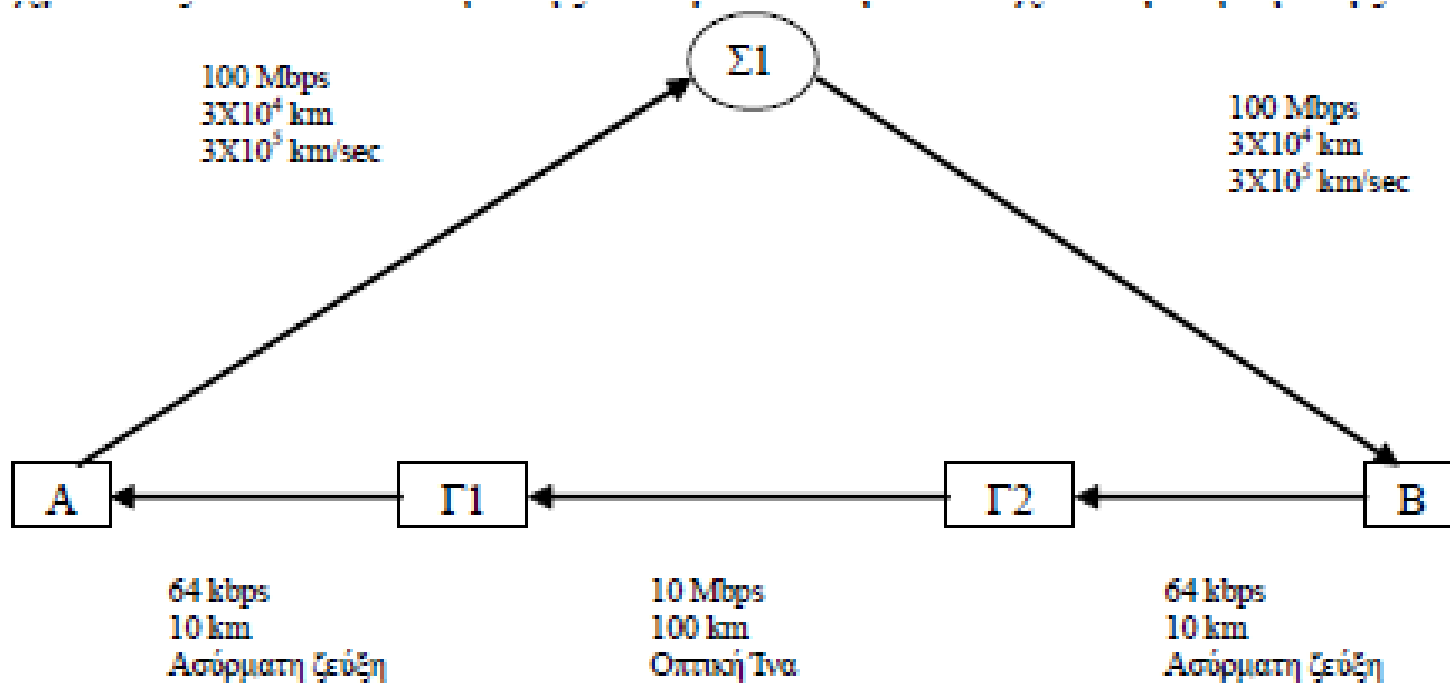
#### Θέμα 4 - Εξετάσεις 2005Α

Δύο κόμβοι A και B συνδέονται μεταξύ τους σύμφωνα με το Σχήμα. Πλαίσια δεδομένων και επιβεβαίωσης μεταφέρονται από τον κόμβο A στον κόμβο B μόνο μέσω δορυφόρου ο οποίος κινείται σε γεωστατική τροχιά σε ύψος  $3 \times 10^4 \text{ km}$ . Το μέγεθος κάθε πλαισίου είναι 10bits, η ταχύτητα μετάδοσης είναι 100Mbps ενώ η ταχύτητα διάδοσης είναι  $3 \times 10^5 \text{ km/sec}$ . Ανάλογα, πλαίσια δεδομένων και επιβεβαίωσης μεταφέρονται από τον κόμβο B στον κόμβο A μόνο μέσω της επίγειας ζεύξης B-Γ2-Γ1-A. Για τις ασύρματες ζεύξεις B-Γ2 και Γ1-A η ταχύτητα μετάδοσης είναι 64kbps, η απόσταση είναι 10km ενώ η ταχύτητα διάδοσης είναι  $3 \times 10^5 \text{ km/sec}$ . Για την ζεύξη με οπτική ίνα Γ2-Γ1 η ταχύτητα μετάδοσης είναι 10Mbps, η απόσταση 100km ενώ η ταχύτητα διάδοσης είναι  $3 \times 10^5 \text{ km/sec}$ .

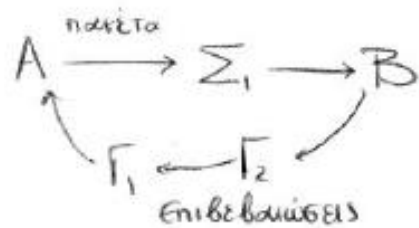
**(Α)** Αρχικά υποθέστε ότι ο ρυθμός σφαλμάτων είναι πάρα πολύ μικρός. Για την περίπτωση μετάδοσης δεδομένων από τον κόμβο A στον B (τα δεδομένα μέσω του δορυφόρου και οι επιβεβαιώσεις μέσω των επίγειων ζεύξεων) να βρεθεί η απόδοση του πρωτοκόλλου επανεκπομπής ABP και η απόδοση του πρωτοκόλλου Go-Back-N με μέγεθος παραθύρου  $W=128$  πλαίσια. Ποιά από τα δύο πρωτόκολλα έχει καλύτερη απόδοση;

**(Β)** Υποθέστε πάλι ότι ο ρυθμός σφαλμάτων είναι πάρα πολύ μικρός. Για την περίπτωση μετάδοσης δεδομένων από τον B στον A (τα δεδομένα μέσω των επίγειων ζεύξεων και οι επιβεβαιώσεις μέσω του δορυφόρου) να βρεθεί η απόδοση του ABP και η απόδοση του Go-Back-N με μέγεθος παραθύρου  $W=128$  πλαίσια. Ποιά από τα δύο πρωτόκολλα έχει καλύτερη απόδοση;

**(Γ)** Υπολογίστε την απόδοση του πρωτοκόλλου επανεκπομπής ABP και για τις δύο περιπτώσεις μετάδοσης δεδομένων ι) από τον κόμβο A στον B και ιι) από τον κόμβο B στον κόμβο A, θεωρώντας ότι κάθε ζεύξη έχει ρυθμό σφαλμάτων 10% όταν ο χρόνος επανεκπομπής παίρνει την ελάχιστη τιμή της.



$$\alpha) P_{\text{success}} = 1.$$



$$\eta_{ABP} = \frac{\text{TRANSP}(A\Sigma_1)}{RTT}$$

$$RTT = \text{TRANSP}(A\Sigma_1) + \text{PROP}(A\Sigma_1) + \text{TRANSP}(\Sigma_1 B) + \text{PROP}(\Sigma_1 B) + \\ + \text{TRANSA}(B\Gamma_2) + \text{PROP}(B\Gamma_2) + \text{TRANSA}(\Gamma_2 \Gamma_1) + \text{PROP}(\Gamma_2 \Gamma_1) + \\ + \text{TRANSA}(\Gamma_1 A) + \text{PROP}(\Gamma_1 A)$$

$$\text{TRANSP}(A\Sigma_1) = \frac{\text{Packet Size}}{R(A\Sigma_1)} = \frac{10 \text{ bits}}{100 \text{ Mbps}} = 10^{-7} \text{ sec} = \text{TRANSP}(\Sigma_1 B)$$

$$\text{PROP}(A\Sigma_1) = \frac{d(A\Sigma_1)}{v(A\Sigma_1)} = \frac{3 \cdot 10^4 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{sec}}} = 0,1 \text{ sec} = \text{PROP}(\Sigma_1 B)$$

$$\text{TRANSA}(B\Gamma_2) = \frac{\text{Ack. Size}}{R(B\Gamma_2)} = \frac{10 \text{ bits}}{64 \text{ kbps}} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ sec} = \text{TRANSA}(\Gamma_1 A)$$

$$\text{PROP}(B\Gamma_2) = \frac{d(B\Gamma_2)}{v(B\Gamma_2)} = \frac{10 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{sec}}} = 0,33 \cdot 10^{-4} \text{ sec} = \text{PROP}(\Gamma_1 A)$$

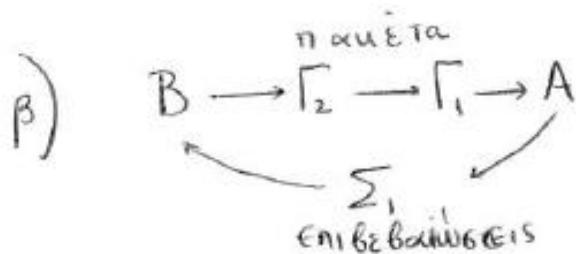
$$\text{TRANSA}(\Gamma_2 \Gamma_1) = \frac{\text{Ack.Size}}{R(\Gamma_2 \Gamma_1)} = \frac{10 \text{ bits}}{10 \text{ Mbps}} = 10^{-6} \text{ sec}$$

$$\text{PROP}(\Gamma_2 \Gamma_1) = \frac{d(\Gamma_2 \Gamma_1)}{v(\Gamma_2 \Gamma_1)} = \frac{100 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{sec}}} = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ sec}$$

Αρα  $\text{RTT} = 0,2007 \text{ sec}$

$$\text{και } \eta_{\text{ABP}}^{\text{A} \rightarrow \text{B}} = \frac{\text{TRANSP}(\text{A}\Sigma_1)}{\text{RTT}} = \frac{10^{-7}}{0,2007}$$

$$\eta_{\text{GBN}}^{\text{A} \rightarrow \text{B}} = \min \left\{ 1, \frac{W \cdot \text{TRANSP}(\text{A}\Sigma_1)}{\text{RTT}} \right\} = 128 \cdot \eta_{\text{ABP}}^{\text{A} \rightarrow \text{B}} = 128 \cdot \frac{10^{-7}}{0,2007}$$



Βασική Παρατήρηση: Επειδή το μέγεθος του πακέτου δεδομένων και του πακέτου επιβεβαίωσης είναι το ίδιο (10bits) το RTT θα είναι το ίδιο

οπότε,

$$\eta_{ABP}^{B \rightarrow A} = \frac{\text{TRANSP}(B\Gamma_2)}{RTT}$$

$$\text{TRANSP}(B\Gamma_2) = \frac{\text{Packet Size}}{R(B\Gamma_2)} = \frac{10\text{bits}}{64\text{kbps}} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ sec}$$

$$\Rightarrow \eta_{ABP}^{B \rightarrow A} = \frac{0,15 \cdot 10^{-3}}{0,2007}$$

και

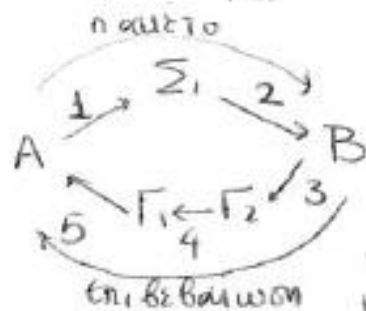
$$\eta_{GBN} = \min \left\{ 1, W \cdot \frac{\text{TRANSP}(B\Gamma_2)}{RTT} \right\} = 127 \cdot \frac{0,15 \cdot 10^{-3}}{0,2007}$$



δ) Δίνεται Packet Error Rate = 0,1 για κάθε σύνδεση.  
PER

$$\begin{aligned} \text{PER} &= \text{ποσοστό πακέτων που δε μεταδίδονται σωστά} \\ &= \text{πιθανότητα αποτυχούς μετάδοσης 1 σύνδεσης} \\ &= 1 - \underbrace{(\text{πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης 1 σύνδεσης})}_{P_{\Sigma}} \end{aligned}$$

Άρα  $P_{\Sigma} = 1 - \text{PER} = 0,9$  (πιθανότητα επιτυχίας για 1 σύνδεση)



Για να βρούμε τη συνολική πιθανότητα επιτυχίας ( $P_{\text{success}}$ ) θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν ότι

το πακέτο 1 διανύει 2 συνδέσεις και η επιβεβαίωση 3 συνδέσεων

$$\text{Άρα } P_{\text{success}} = P\left(\left[A_{\Sigma_1}(\text{success})\right] \text{ και } \left[\Sigma_1 B(\text{success})\right] \text{ και } \left[B\Gamma_2(\text{success})\right] \text{ και } \left[\Gamma_2\Gamma_1(\text{success})\right] \text{ και } \left[\Gamma_1 A(\text{success})\right]\right)$$

Τα  $A_{\Sigma_1}, \Sigma_1 B, B\Gamma_2, \Gamma_2\Gamma_1, \Gamma_1 A$  είναι ανεξάρτητα # μεταξύ τους  
 (π.χ. η επιτυχία στο  $\Sigma_1 B$  δεν επηρεάζει την πιθανότητα επιτυχίας στο  $B\Gamma_2$ )

Άρα η συνολική πιθανότητα επιτυχίας θα ισούται με το γινόμενο των επιμέρους πιθανοτήτων επιτυχίας των συνδέσμων.

$$P_{\text{success}} = P_{\Sigma}(A_{\Sigma_1}) \cdot P_{\Sigma}(\Sigma_1 B) \cdot P_{\Sigma}(B\Gamma_2) \cdot P_{\Sigma}(\Gamma_2\Gamma_1) \cdot P_{\Sigma}(\Gamma_1 A) =$$

$$= 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,59.$$

$$\eta_{ABP}^{A \rightarrow B} = \frac{\text{TRANSP}(A\Sigma_1)}{RTT + T \cdot \frac{1-p}{p}} \cdot \frac{\text{Δίνεται}}{T=RTT} \cdot \frac{\text{TRANSP}(A\Sigma_1)}{RTT + RTT \cdot \frac{1-p}{p}} = \frac{p \cdot \text{TRANSP}(A\Sigma_1)}{RTT}$$

$$= \frac{0,59 \cdot 10^{-7}}{0,2007}$$

$$\eta_{ABP}^{B \rightarrow A} = \frac{p_{\text{succ}} \cdot \text{TRANSP}(B\Gamma_2)}{RTT} = 0,59 \cdot \frac{0,15 \cdot 10^{-3}}{0,2007}$$

(Η  $p_{\text{succ}}$  παραμένει η ίδια γιατί πάλι έχουμε 5 συνδέσμους με PER=0,1)

Σημείωση:

Το  $p_{\text{success}}$  μπορεί να υπολογιστεί και αλλιώς (πιο ποιοτικά)

$$p_{\text{success}} = 1 - p_{\text{failure}}$$

Τα εφδεχόμενα αποτυχίας είναι τα ακόλουθα.

$$(A\Sigma_1) \text{ αποτυχία } p_1 = 0,1$$

$$(A\Sigma_1)_{\text{succ}} (\Sigma_1 B) \text{ αποτυχία } p_2 = 0,9 \cdot 0,1$$

$$(A\Sigma_1)_{\text{succ}} (\Sigma_1 B)_{\text{succ}} (B\Gamma_2) \text{ αποτυχία } p_3 = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,1$$

$$(A\Sigma_1)_{\text{succ}} (\Sigma_1 B)_{\text{succ}} (B\Gamma_2)_{\text{succ}} (\Gamma_2 \Gamma_1) \text{ αποτυχία } p_4 = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,1$$

$$(A\Sigma_1)_{\text{succ}} (\Sigma_1 B)_{\text{succ}} (B\Gamma_2)_{\text{succ}} (\Gamma_2 \Gamma_1)_{\text{succ}} (\Gamma_1 A) \text{ αποτυχία } p_5 = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,1$$

$$p_{\text{failure}} = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5$$

$$p_{\text{success}} = 1 - p_{\text{failure}} = \underline{\underline{0,59}}$$

succ succ succ succ

*Στόχος της άσκησης είναι η εξοικείωση με τα βασικά πρωτόκολλα επανεκπομπής. Σχετικές ασκήσεις: ΓΕ3/0405/03, ΓΕ5/0506/07, ΓΕ3/0506/03, ΓΕ5/0607/05, ΓΕ3/0910/05*

Να υποθέσετε τη ζεύξη μεταξύ δύο επίγειων σταθμών E1 και E2 που απέχουν μεταξύ τους απόσταση 70km . Η επικοινωνία αυτή μπορεί να γίνει με τα εξής διαφορετικά σενάρια:

- Με την εγκατάσταση ζεύξης μέσω γεωστατικού δορυφόρου GEO. Ο ρυθμός μετάδοσης σε κάθε έναν από τους δορυφορικούς συνδέσμους είναι 2Mbps ο ρυθμός σφαλμάτων ανά bit (Bit Error Rate) είναι  $6.2 \times 10^{-5}$  σε κάθε σύνδεσμο και προς κάθε κατεύθυνση. Μεταξύ των επίγειων σταθμών εφαρμόζεται πρωτόκολλο επανεκπομπής Selective Repeat (SRP) με μέγεθος παραθύρου  $W=21$  και χρόνο προθεσμίας  $T$  ίσο με εκείνη την τιμή του χρόνου μετάβασης μετ' επιστροφής που δίδει τη μέγιστη απόδοση του 100% απουσία σφαλμάτων μεταφοράς. Επίσης, για τη διόρθωση σφαλμάτων εφαρμόζεται και ένας κώδικας διόρθωσης σφαλμάτων που απαιτεί ποσοστό πλεονασμού ανά πακέτο 40%.
- Με την εγκατάσταση ζεύξης μέσω δορυφόρου χαμηλής τροχιάς LEO. Ο ρυθμός μετάδοσης σε κάθε έναν από τους δορυφορικούς συνδέσμους είναι 5Mbps ο ρυθμός σφαλμάτων ανά πακέτο (Packet Error Rate) είναι 0.0315 σε κάθε σύνδεσμο και

προς κάθε κατεύθυνση. Μεταξύ των επίγειων σταθμών εφαρμόζεται πρωτόκολλο επανεκπομπής GoBackN με μέγεθος παραθύρου  $W=5$  και χρόνο προθεσμίας  $T$  ίσο με εκείνη την τιμή του χρόνου μετάβασης μετ' επιστροφής που δίδει τη μέγιστη απόδοση του 100% απουσία σφαλμάτων μεταφοράς. Επίσης, για τη διόρθωση σφαλμάτων εφαρμόζεται και ένας κώδικας διόρθωσης σφαλμάτων που απαιτεί ποσοστό πλεονασμού ανά πακέτο 20%.

- Με εγκατάσταση επίγειας ζεύξης με οπτική ίνα μέσω ενδιάμεσου σταθμού OPT (στη νοητή ευθεία που συνδέει τα E1, E2). Η απόσταση μεταξύ του σταθμού OPT και του σταθμού E1 είναι  $d_{E1,OPT} = 30km$ , ο ρυθμός μετάδοσης σε κάθε έναν από τους επίγειους συνδέσμους είναι 20Mbps και ο ρυθμός σφαλμάτων ανά πακέτο (Packet Error Rate) είναι αμελητέος σε κάθε σύνδεσμο και προς κάθε κατεύθυνση. Σε καθέναν από τους 2 συνδέσμους εφαρμόζεται πρωτόκολλο επανεκπομπής ABP. Η ταχύτητα διάδοσης διαμέσου της οπτικής ίνας είναι ίση με  $2 \times 10^8 m/sec$ .

Σε όλες τις περιπτώσεις το μέγεθος των πακέτων δεδομένων και των επιβεβαιώσεων είναι 1000bits.

(α) Να υπολογίσετε την απόδοση του πρωτοκόλλου επανεκπομπής που εφαρμόζεται σε καθένα από τα παραπάνω τρία σενάρια καθώς και την αντίστοιχη ρυθμική απόδοση (throughput) που επιτυγχάνεται (συνολικός ρυθμός μετάδοσης bits δεδομένων και πλεονασμού).

(β) Υποθέτουμε ότι θέλουμε να προσεγγίσουμε τον 'ωφέλιμο' ρυθμό μετάδοσης bits δεδομένων (goodput) της επίγειας ζεύξης από τις άλλες 2 δορυφορικές ζεύξεις. Να υπολογίσετε τόσο για την περίπτωση της ζεύξης E1-GEO-E2 όσο και για την περίπτωση της ζεύξης E1-LEO-E2 τον απαιτούμενο νέο ρυθμό μετάδοσης για κάθε σύνδεσμο.

## Για τη ζεύξη GEO:

Πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης Bit:

$$P_{success,bit} = 1 - BER = 0.9999$$

Πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης Packet :

$$P_{success,packet} = [P_{success,bit}]^{1000} = 0.9399$$

Πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης πακέτου δεδομένων και επιτυχούς λήψης επιβεβαίωσης :

$$P_{success,GEO} = [P_{success,packet}]^4 = 0.7804$$

Απόδοση πρωτοκόλλου SRP :

Επειδή δίνεται ότι εφαρμόζεται πρωτόκολλο επανεκπομπής Selective Repeat (SRP) με χρόνο προθεσμίας  $T$  ίσο με εκείνη την τιμή του χρόνου μετάβασης μετ' επιστροφής που δίδει τη μέγιστη απόδοση του 100% απουσία σφαλμάτων μεταφοράς, χρησιμοποιείται η σχέση (4.12) της σελ.124 .

$$n_{GEO} = \frac{2 + (1 - P_{success,GEO}) \cdot (W_{GEO} - 1)}{2 + (1 - P_{success,GEO}) \cdot (3W_{GEO} - 1)} = 0.4093$$

Ρυθμαπόδοση GEO:

$$T_{GEO} = R_{GEO} \cdot n_{GEO} = 8,1866 \cdot 10^5 \text{ bps}$$

## Για τη ζεύξη LEO:

Πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης Packet :  $P_{success,packet} = 1 - PER = 0.9685$

Πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης πακέτου δεδομένων και επιτυχούς λήψης επιβεβαίωσης:

$$P_{success,LEO} = \left[ P_{success,packet} \right]^4 = 0.879$$

Απόδοση πρωτοκόλλου GBN:

Επειδή δίνεται ότι μεταξύ των επίγειων σταθμών εφαρμόζεται πρωτόκολλο επανεκπομπής GoBackN με χρόνο προθεσμίας  $T$  ίσο με εκείνη την τιμή του χρόνου μετάβασης μετ' επιστροφής που δίνει τη μέγιστη απόδοση του 100% απουσία σφαλμάτων μεταφοράς, εφαρμόζεται η σχέση (4.9) της σελ.117 .

$$n_{LEO} = \frac{1}{1 + W_{LEO} \cdot \frac{1 - P_{success,LEO}}{P_{success,LEO}}} = 0.5942$$

Ρυθμαπόδοση LEO:

$$T_{LEO} = R_{LEO} \cdot n_{LEO} = 2,9710 \cdot 10^6 \text{ bps}$$

### Για τη ζεύξη OPT:

Επειδή δίνεται ότι σε καθέναν από τους 2 συνδέσμους εφαρμόζεται πρωτόκολλο επανεκπομπής ABP, η ρυθμαπόδοση της ζεύξης θα ισούται με τη ρυθμαπόδοση του πιο αργού συνδέσμου:

$$\begin{aligned} T_{OPT} &= \min \{ T_{E_1-OPT}, T_{OPT-E_2} \} = \min \{ R \cdot n_{E_1-OPT}, R \cdot n_{OPT-E_2} \} = \\ &= R \cdot \min \{ n_{E_1-OPT}, n_{OPT-E_2} \}, \text{ όπου } R = 20Mbps \end{aligned}$$

Επειδή η απόσταση μεταξύ E2-OPT είναι μεγαλύτερη της απόστασης E1-OPT, και εφόσον οι 2 επίγειοι σύνδεσμοι έχουν τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης (20Mbps), συμπεραίνουμε ότι η

ζεύξη OPT-E2 θα είναι πιο ‘αργή’, λόγω της μεγαλύτερης καθυστέρησης διάδοσης των πακέτων και επιβεβαιώσεων.



## Μελέτη του πιο 'αργού' συνδέσμου OPT-E2 :

Καθυστέρηση Μετάδοσης πακέτου και επιβεβαίωσης:

$$\text{TRANSP}=\text{TRANSA} = \frac{1000 \text{ bits}}{20 \cdot 10^6 \text{ bps}} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ sec}$$

Καθυστέρηση Διάδοσης πακέτου και επιβεβαίωσης:

$$\text{PROP} = \frac{d_{\text{OPT-E}_2}}{v} = \frac{40 \cdot 10^3 \text{ m}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/sec}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

Συνολικός χρόνος μετάβασης πακέτου μετ' επιστροφής επιβεβαίωσης:

$$\text{RTT} = 2 \cdot (\text{TRANSP} + \text{PROP}) = 5 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

Απόδοση πρωτοκόλλου ABP:

$$\eta_{\text{OPT-E}_2} = \frac{\text{TRANSP}}{\text{RTT}} = 0.1$$

Ρυθμαπόδοση OPT:

$$T_{\text{OPT}} = R \cdot \min \{n_{E_1\text{-OPT}}, n_{\text{OPT-E}_2}\} = R \cdot n_{\text{OPT-E}_2} = 20 \text{ Mbps} \cdot 0.1 = 2 \text{ Mbps}$$

(β)

Για την οπτική ζεύξη η παραπάνω υπολογισθείσα ρυθμαπόδοση συμπίπτει με τον ωφέλιμο ρυθμό data bits διότι δεν εφαρμόζεται κώδικας ελέγχου σφαλμάτων

Συνεπώς ο ωφέλιμος ρυθμός *goodput* θα ισούται με  $G_{OPT} = T_{OPT} = 2Mbps$

Σκοπός είναι να υπολογίσουμε τους απαιτούμενους νέους ρυθμούς μετάδοσης για τις 2 δορυφορικές ζεύξεις ώστε να επιτευχθεί ο ίδιος ωφέλιμος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, συνεπώς θα έχουμε για καθεμιά από τις περιπτώσεις δορυφορικών ζεύξεων τα εξής:

- **Ζεύξη GEO:**

$$G_{GEO} = G_{OPT} \Leftrightarrow T_{GEO} \cdot (1 - 40\%) = G_{OPT} \Leftrightarrow n_{GEO} R_{GEO} \cdot 0.6 = G_{OPT} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow R_{GEO} = \frac{2Mbps}{n_{GEO} \cdot 0,6} = 8,15Mbps$$

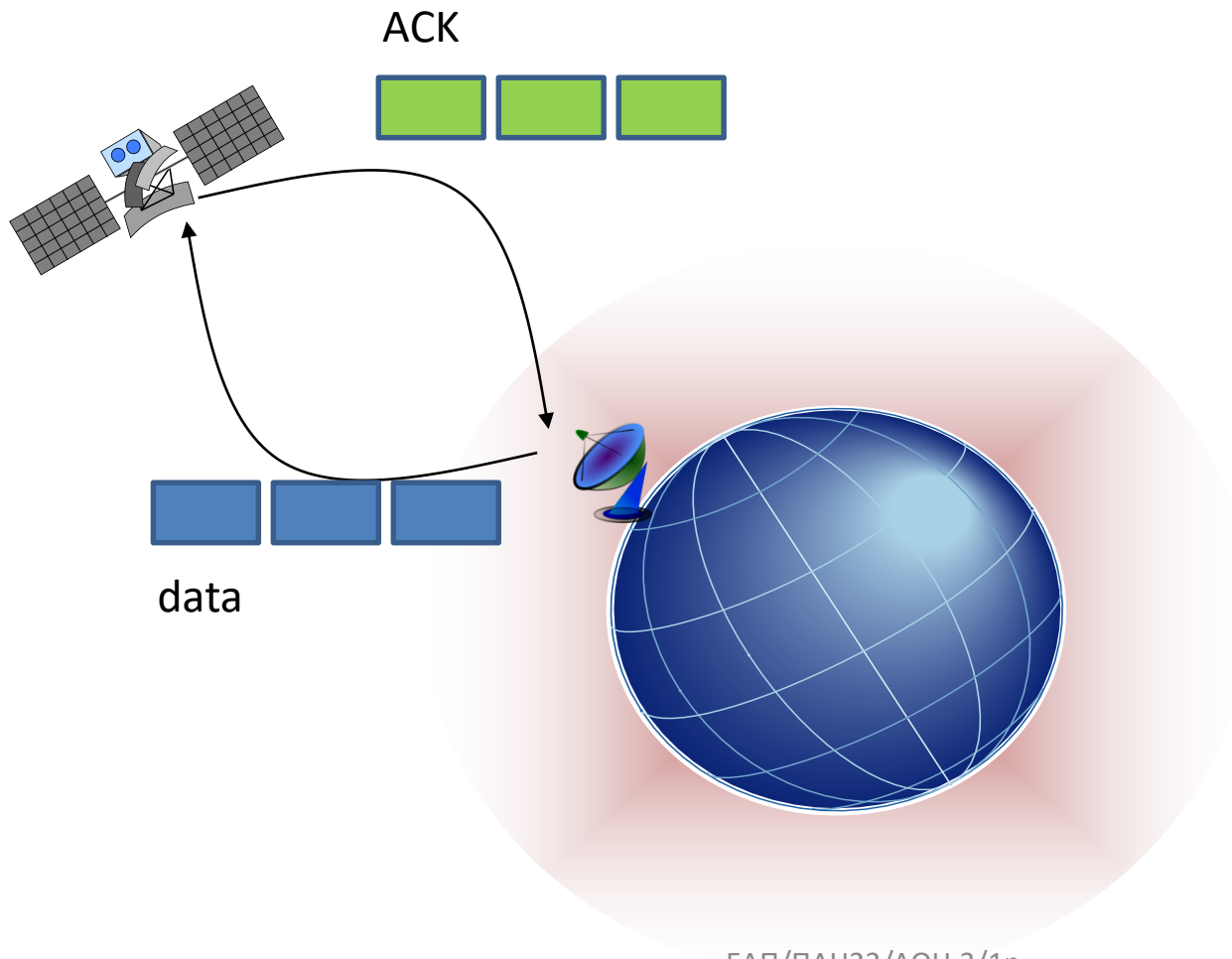
- **Ζεύξη LEO:**

$$G_{LEO} = G_{OPT} \Leftrightarrow T_{LEO} \cdot (1 - 20\%) = G_{OPT} \Leftrightarrow n_{LEO} R_{LEO} \cdot 0.8 = G_{OPT} \Leftrightarrow$$

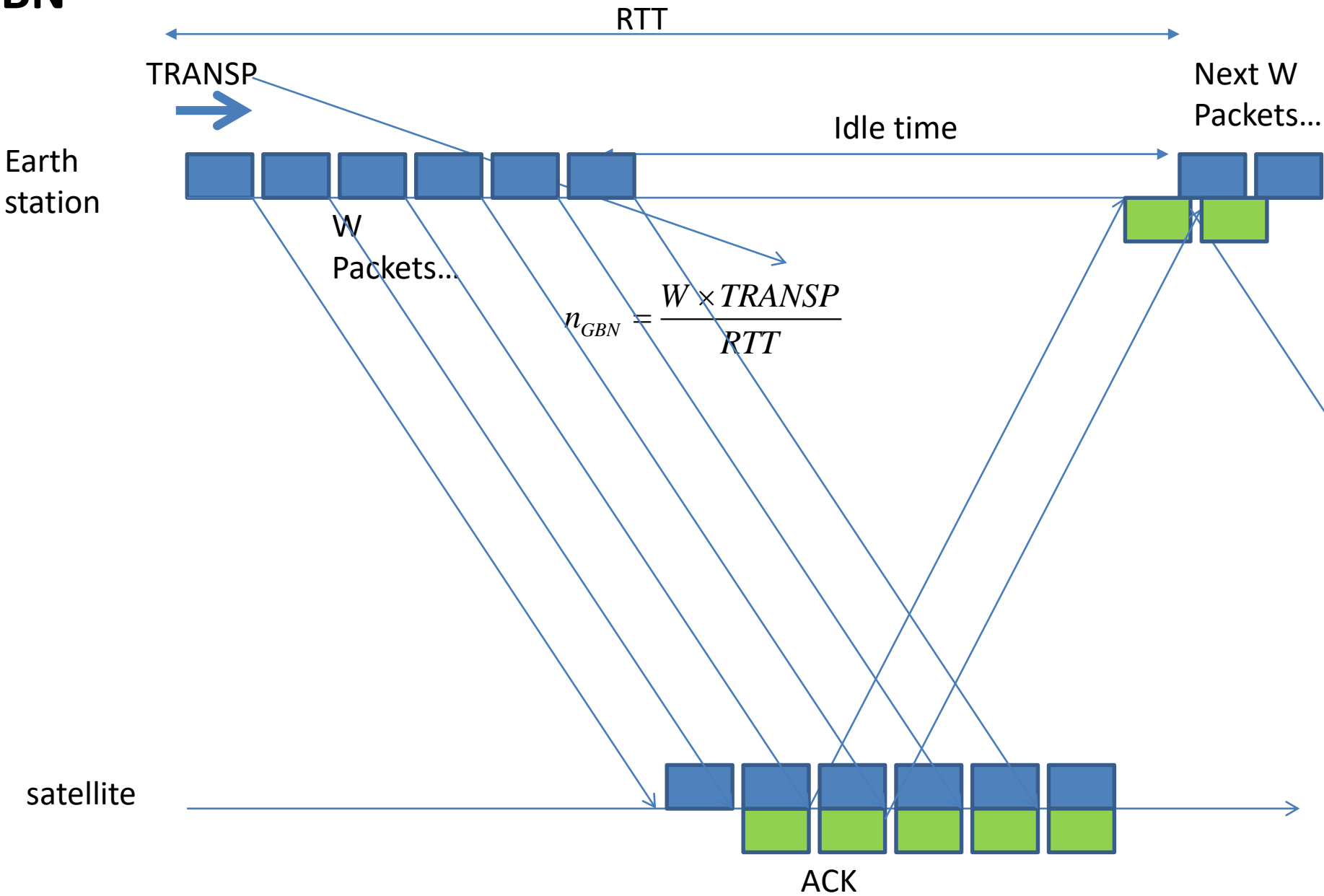
$$\Leftrightarrow R_{LEO} = \frac{2Mbps}{n_{LEO} \cdot 0,8} = 4,22Mbps$$

# Άσκηση

- Υποθέστε ότι σας ζητήθηκε να σχεδιάσετε ένα πρωτόκολλο GBN μεταξύ σταθμών πάνω στην επιφάνεια της Γης και ενός δορυφόρου ο οποίος κινείται σε γεωστατική τροχιά σε ύψος  $3 \times 10^4$  km. Εάν υποθέσουμε ότι το μέγεθος του κάθε πακέτου και της επιβεβαίωσης είναι 1KB και η ταχύτητα μετάδοσης είναι 1Mbps να υπολογίσετε τα ακόλουθα
  - α) Ποιος είναι ο ελάχιστος αριθμός bits που χρειάζεστε για να περιγράψετε το μέγεθος του παραθύρου N;
  - β) Ποια είναι η ελάχιστη τιμή,  $T_{min}$ , που μπορείτε να θέσετε ως χρόνο προθεσμίας επανεκπομπής εάν δεν υπάρχουν σφάλματα κατά τη μεταφορά;
  - γ) Θέτοντας ως χρόνο επανεκπομπής  $T=1.75 \times T_{min}$ , και από μετρήσεις που κάνετε κατά τη διάρκεια λειτουργίας του πρωτοκόλλου που σχεδιάσατε υπολογίσατε ότι επιτυγχάνει ένα ρυθμό ροής  $\lambda=20$  πακέτα/sec. Ποιά είναι η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης πλαισίων στον αέρα;
  - δ) Εάν σας ζητηθεί να βελτιώσετε το ρυθμό ροής κατά 50% ποιος θα πρέπει να είναι ο χρόνος επανεκπομπής που θα πρέπει να θέσετε ως τιμή στο GBN πρωτόκολλο; Είναι εφικτή βελτίωση του ρυθμού ροής κατά 60%; Εξηγείστε την απάντησή σας.



# GBN



# Λύση (i)

a) Ο χρόνος μετάδοσης πακέτου και λήψης επιβεβαίωσης (Round-Trip\_Time) είναι

$$S = \text{TRANSP} + \text{TRANSA} + 2 * \text{PROP} \quad (1)$$

όπου

$$\text{TRANSP} = 1\text{KB}/1\text{Mbps} = 8*10^3/1*10^6 \text{ sec} = 0.008 \text{ sec} \quad (2)$$

$$\text{TRANSA} = 1\text{KB}/1\text{Mbps} = 8*10^3/1*10^6 \text{ sec} = 0.008 \text{ sec} \quad (3)$$

$$\text{PROP} = 3*10^4/3*10^5 \text{ sec} = 0.1 \text{ sec} \quad (4)$$

Αντικαθιστώντας τις (2)-(4) στην (1) έχουμε,

$$S = 0.016 + 0.2 = 0.216 \text{ sec} \quad (5)$$

Ελάχιστο πλήθος bits - GBN window size για να έχουμε συνεχή ροή πακέτων :

$$\text{Θα πρέπει } N \times \text{TRANSP} = S,$$

Άρα,

$$N = S/\text{TRANSP} = 0.216/0.008 = 27 \text{ packets} \quad (6)$$

Οπότε θέλουμε τουλάχιστον 5 δυαδικά bits για να αναπαραστήσουμε το μέγεθος του παραθύρου (=round(log<sub>2</sub>(27)))

# Λύση (ii)

β) Ο ελάχιστος χρόνος προθεσμίας  $T_{\min}$ , ισούται με  $S = 0.216 \text{ sec}$

γ) Ο νέος χρόνος προθεσμίας ισούται με

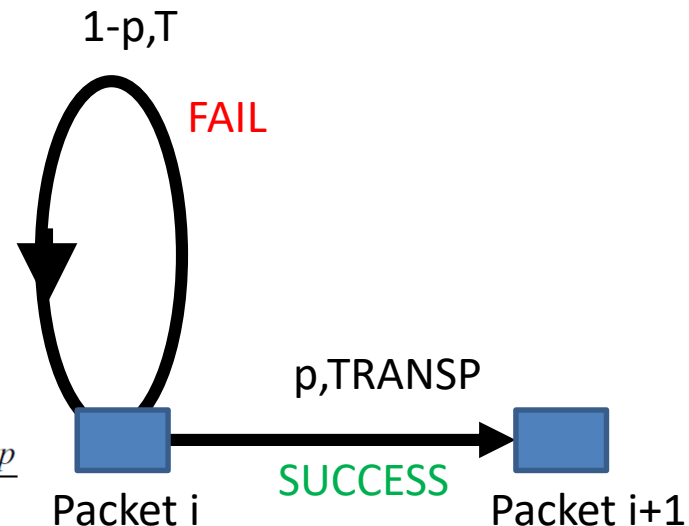
$$T = 1.75 * T_{\min} = 0.378 \text{ sec} \quad (7)$$

Υποθέτουμε ωφέλιμο ρυθμό μετάδοσης πακέτων 20 packets/sec που σημαίνει ότι ο μέσος χρόνος για την αποστολή του κάθε πακέτου θα ισούται με

$$E[X] = 1/\lambda = 1/20 = 0.05 \text{ sec} \quad (8)$$

Συνεπώς έχουμε με αντικατάσταση:

$$\begin{aligned} (1) E[X] &= \text{TRANSP} + T * (1-p)/p \Rightarrow \\ 0.05 &= 0.008 + 0.378 * (1-p)/p \Rightarrow \\ p &= 0.9 \quad (9) \end{aligned}$$



$$(1) E[X] = p \times \text{TRANSP} + (1-p)(T + E[X]) \Leftrightarrow E[X] = \text{TRANSP} + T \frac{1-p}{p}$$

# Λύση (iii)

δ)

(i) Αυξάνοντας τον ωφέλιμο ρυθμό μετάδοσης πακέτων κατά 50% (=20\*1.5=30 packets/sec) και εφόσον η πιθανότητα ορθής αποστολής πακέτου και λήψης επιβεβαίωσης διατηρείται σταθερή έχουμε:

$$T = (E[X] - \text{TRANSP}) * p / (1-p) \Rightarrow$$

$$T = (1/30 - 0.008) * 0.9 / (1 - 0.9) \Rightarrow$$

$$T = 0.228 \text{ sec} > S (=0.216 \text{ sec}) \quad (10)$$

(ii) Αυξάνοντας κατά 60% τον ωφέλιμο ρυθμό μετάδοσης πακέτων (20\*1.6=32 packets/sec) ο χρόνος προθεσμίας γίνεται

$$T = 0.2095 \text{ sec} \quad (11)$$

Που είναι μικρότερος από το χρόνο αποστολής πακέτου και λήψης επιβεβαίωσης S

Αυτό σημαίνει ότι οι επιβεβαιώσεις (ACKs) για κάθε πακέτο δεν θα λαμβάνονται από τον αποστολέα έγκαιρα οπότε αυτός θα εξακολουθεί να στέλνει τα ίδια πακέτα (το 1<sup>ο</sup> παράθυρο) συνεχώς

Οπότε ο ανωτέρω ωφέλιμος ρυθμό μετάδοσης πακέτων δεν είναι εφικτός και πάντα θα πρέπει να ισχύει

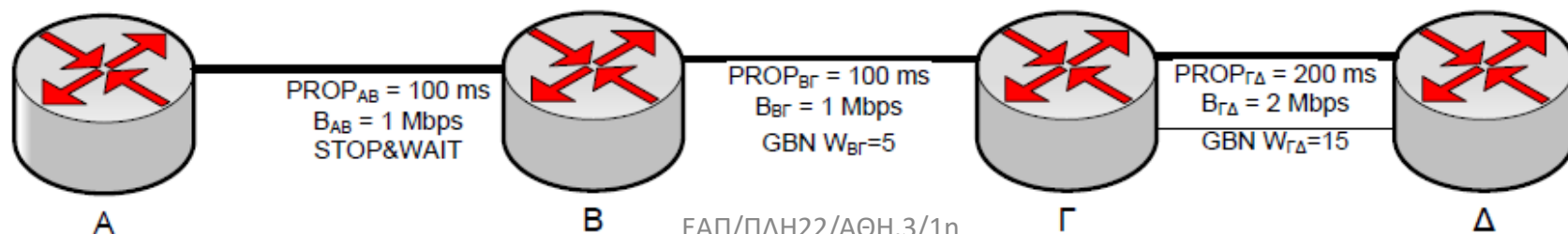
$$T \geq S.$$



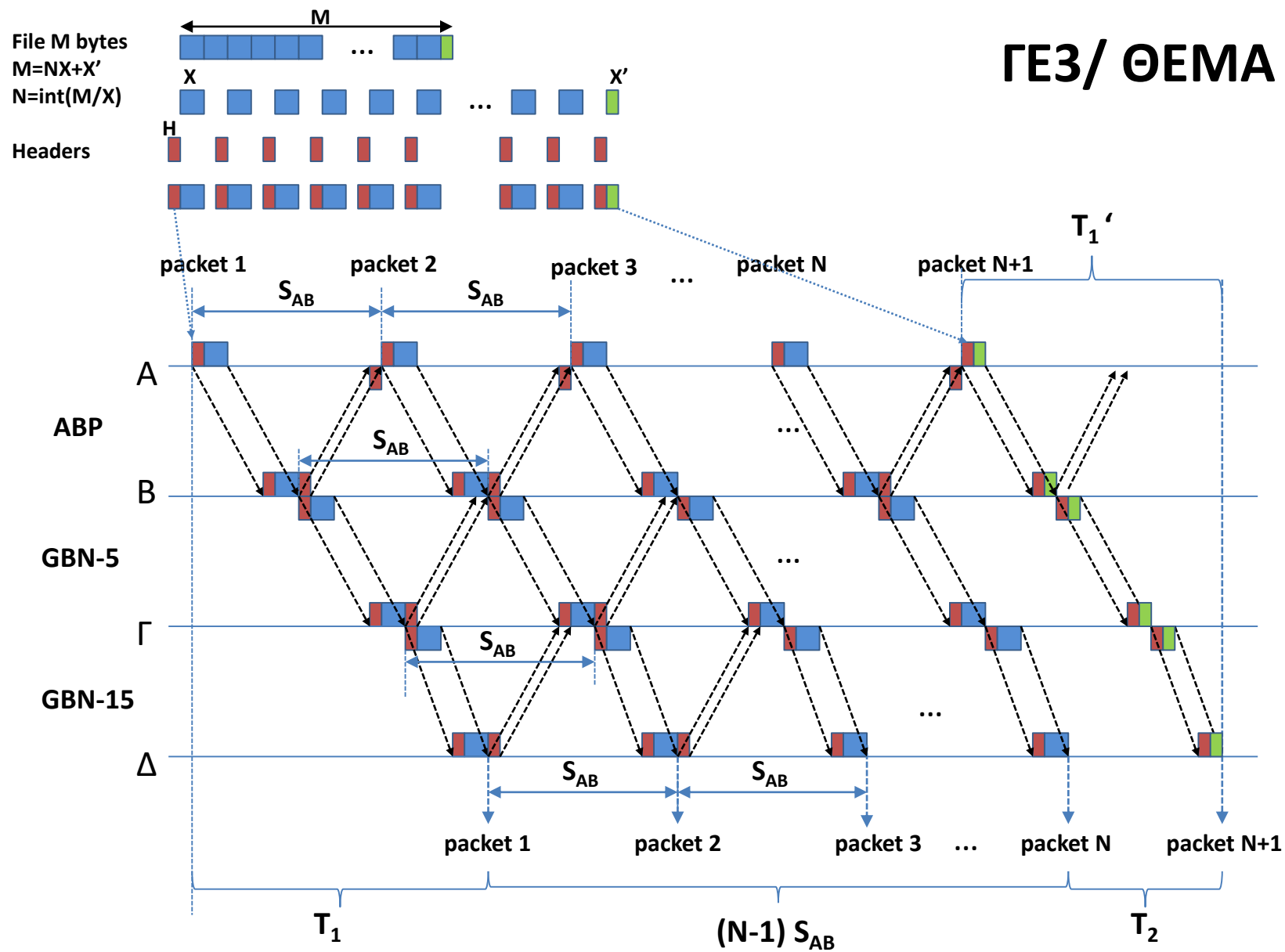
## ΘΕΜΑ 5 / ΓΕ3 1112

*Στόχος της άσκησης είναι η εξοικείωση με την μεταγωγή πακέτων και την μεταγωγή κυκλώματος, όπως επίσης και με τα βασικά πρωτόκολλα επανεκπομπής. Σχετικές ασκήσεις: ΓΕ3/0405/Θ3, ΓΕ5/0506/Θ7, ΓΕ3/0506/Θ3, ΓΕ5/0607/Θ5, ΓΕ5/0910/Θ5, ΓΕ3/1011/Θ6*

Σε ένα δίκτυο υπάρχουν τέσσερις κόμβοι συνδεδεμένοι σε σειρά ο Α, Β, Γ και Δ. Ο Α συνδέεται με τον Β μέσω γραμμής με ρυθμό μετάδοσης  $B_{AB}=1\text{Mbps}$  και καθυστέρηση  $PROP_{AB}=100\text{ms}$ . Ο Β συνδέεται με τον Γ μέσω γραμμής με ρυθμό μετάδοσης  $B_{BG}=1\text{Mbps}$  και καθυστέρηση  $PROP_{BG}=100\text{ms}$ . Ο Γ συνδέεται με τον Δ μέσω γραμμής με ρυθμό μετάδοσης  $B_{GD}=2\text{Mbps}$  και καθυστέρηση  $PROP_{GD}=200\text{ms}$ . Στη ζεύξη Α-Β εφαρμόζεται πρωτόκολλο Stop-Wait, Στη ζεύξη Β-Γ Go-Back-N με παράθυρο  $W_{BG}=5$ , ενώ στη ζεύξη Γ-Δ εφαρμόζεται πρωτόκολλο Go-Back-N με παράθυρο  $W_{GD}=15$ . Τη χρονική στιγμή  $t=0$ , ο κόμβος Α αρχίζει την αποστολή ενός αρχείου  $M=15 \times 10^6$  Byte στον Δ (που δρομολογείται μέσω του Β και Γ). Να υπολογίσετε την χρονική στιγμή που θα ολοκληρωθεί η λήψη του αρχείου από τον κόμβο Δ αν κάθε πακέτο έχει μέγεθος  $X + H$  bytes (δεδομένα και επικεφαλίδα). Τα πακέτα επιβεβαίωσης περιέχουν μόνο την επικεφαλίδα  $H$  bytes. Ποιο είναι το throughput του δικτύου στη ζεύξη ΓΔ; Σημειώνεται ότι δεν υπάρχουν σφάλματα μετάδοσης.



# ΓΕ3/ ΘΕΜΑ 5



$$T_1 = \text{TRANSP}(AB) + \text{PROP}(AB) + \text{TRANSP}(B\Gamma) + \text{PROP}(B\Gamma) + \text{TRANSP}(\Gamma\Delta) + \text{PROP}(\Gamma\Delta)$$

$$S_{AB} = \text{TRANSP}(AB) + \text{PROP}(AB) + \text{TRANSA}(AB) + \text{PROP}(AB)$$

$$T_1' = \text{TRANSP}'(AB) + \text{PROP}(AB) + \text{TRANSP}'(B\Gamma) + \text{PROP}(B\Gamma) + \text{TRANSP}'(\Gamma\Delta) + \text{PROP}(\Gamma\Delta)$$

$$T_2 = S_{AB} - (T_1 - T_1')$$

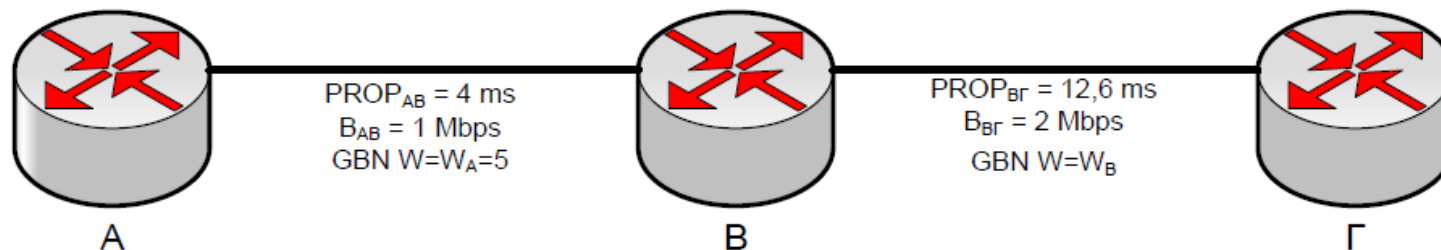
$$T = T_1 + (N-1)S_{AB} + T_2$$

*Στόχος της άσκησης είναι η εξοικείωση με την μεταγωγή πακέτων και την μεταγωγή κυκλώματος, όπως επίσης και με τα βασικά πρωτόκολλα επανεκπομπής. Σχετικές ασκήσεις: ΓΕ3/0405/Θ3, ΓΕ5/0506/Θ7, ΓΕ3/0506/Θ3, ΓΕ5/0607/Θ5, ΓΕ3/0910/Θ5*

Σε ένα δίκτυο υπάρχουν τρεις κόμβοι συνδεδεμένοι σε σειρά ο Α, Β και Γ. Ο Α συνδέεται με τον Β μέσω γραμμής με ρυθμό μετάδοσης  $B_{AB} = 1\text{Mbps}$  και καθυστέρηση διάδοσης  $PROP_{AB} = 4\text{ms}$ . Ο Β συνδέεται με τον Γ μέσω γραμμής με ρυθμό μετάδοσης  $B_{BG} = 2\text{Mbps}$  και καθυστέρηση διάδοσης  $PROP_{BG} = 12,6\text{ms}$ . Στη ζεύξη Α-Β εφαρμόζεται πρωτόκολλο Go-Back-N με παράθυρο  $W_A = 5$ , ενώ στη ζεύξη Β-Γ εφαρμόζεται πρωτόκολλο Go-Back-N με παράθυρο  $W_B$ . Τη χρονική στιγμή  $t=0$ , ο κόμβος Α αρχίζει την αποστολή ενός αρχείου μεγέθους  $M$  (bits) στον Γ (που δρομολογείται μέσω του Β) σε πακέτα μεγέθους  $L_D = 400\text{bits}$ . Επίσης, η αποστολή του πακέτου από τον Β στη Γ γίνεται αμέσως μόλις ληφθεί ολόκληρο ο πακέτο από τον Β.

A. Αν κάθε πακέτο επιβεβαίωσης έχει μέγεθος  $L_{ACK} = 80\text{bits}$ , και η μετάδοση γίνεται χωρίς λάθη, να βρεθεί το ελάχιστο μέγεθος του παραθύρου  $W_B$ , ώστε όλα τα πακέτα που λαμβάνει ο Β να στέλνονται αμέσως.

B. Για το ελάχιστο μέγεθος  $W_B$ , πόσος χρόνος απαιτείται για την λήψη των  $M = 8640\text{bits}$  δεδομένων, αν σε κάθε πακέτο  $L_D$  τα  $L_H = 40\text{bits}$  είναι επικεφαλίδα.



**Ενδεικτική Μεθοδολογία:** Για να στέλνονται αμέσως όλα τα πακέτα που λαμβάνει ο Β, θα πρέπει τη στιγμή που αποστέλλεται το  $W_B + 1$  πακέτο από το κόμβο Β να έχει μόλις ληφθεί από τον κόμβο Β η επιβεβαίωση του 1<sup>ου</sup> πακέτου από τον κόμβο Γ.

(α)

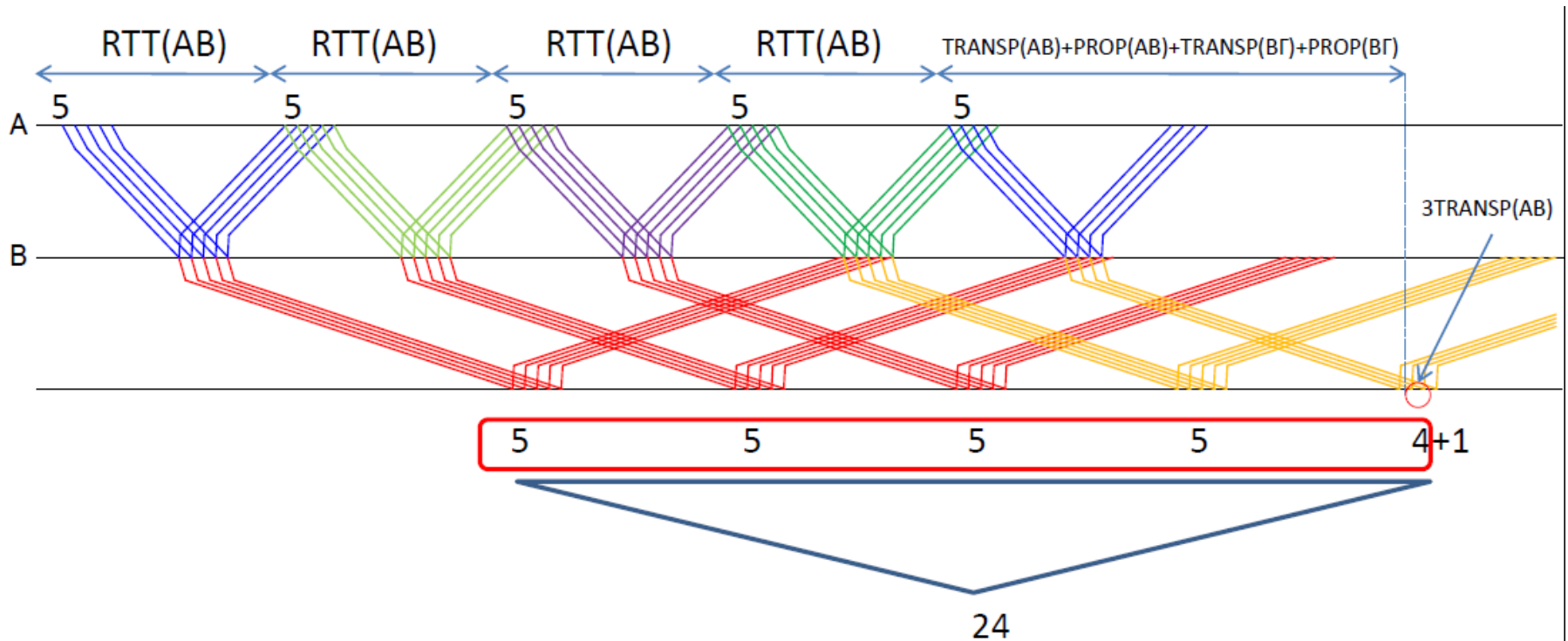
Για να μεταδίδει ο Β ότι πακέτο λαμβάνει από τον Α αμέσως θα πρέπει να μη δημιουργείται συμφόρηση στον Β. Η απαραίτητη συνθήκη είναι η ρυθμαπόδοση του συνδέσμου Α-Β να είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με τη ρυθμαπόδοση του συνδέσμου Β-Γ

$$\begin{aligned} T_{AB} \leq T_{BG} &\Leftrightarrow n_{AB} R_{AB} \leq n_{BG} R_{BG} \Leftrightarrow \frac{W_A \cdot TRANSP_{AB}}{RTT_{AB}} R_{AB} \leq \frac{W_B \cdot TRANSP_{BG}}{RTT_{BG}} R_{BG} \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow \frac{W_A \cdot [Packet\_Size]}{RTT_{AB}} \cdot R_{AB} \leq \frac{W_B \cdot [Packet\_Size]}{RTT_{BG}} \cdot R_{BG} \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow \frac{W_A}{RTT_{AB}} \leq \frac{W_B}{RTT_{BG}} \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow \frac{W_B}{W_A} \geq \frac{RTT_{BG}}{RTT_{AB}} = \frac{0.2ms + 12.6ms + 0.04ms + 12.6ms}{0.4ms + 4ms + 0.08ms + 4ms} = \frac{25.44ms}{8.48ms} = 3 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow W_B \geq 3 \cdot W_A = 15 \end{aligned}$$

(β)

Αφού από τα 400 bits τα 40 είναι επικεφαλίδα για την μετάδοση των 8640 bits απαιτούνται  $8640/(400-40)=24$  πακέτα, δηλαδή 4 παράθυρα ( $W_A=5$ ) και άλλα 4 πακέτα από το 5<sup>ο</sup> παράθυρο.

$$t_{FILE} = 4 \cdot RTT_{AB} + TRANS_{AB} + PROP_{AB} + TRANS_{B\Gamma} + PROP_{B\Gamma} + 3 \cdot TRANS_{AB} = \\ = 4 \cdot 8.48ms + 0.4ms + 4ms + 0.2ms + 12.6ms + 3 \cdot 0.4ms = 52.32ms$$

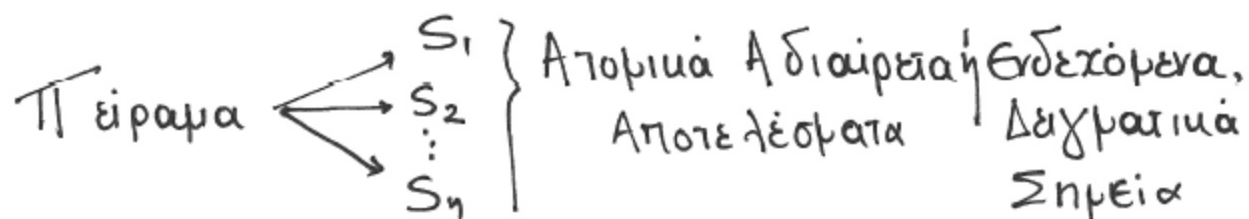


# Μικρή ανασκόπηση θεωρίας πιθανοτήτων

## Πιθανότητες. Εισαγωγή

Τυχαιο Πείραμα (Το αποτέλεσμα του δεν είναι εκ των προτέρων βέβαιο)

Π.χ. ρίψη νομισματος, λάρια, ορθή αποστολή πακέτου από κόμβο Α στον κόμβο Β.



Ο δειγματικός χώρος ορίζεται ως το σύνολο των ενδεχομένων  $\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$

και αντιστοιχίζεται σε μια τυχασια μεταβλητή (τ.μ.)

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  με τη σχέση  $P(S_i) = P(X=x_i) = P(x_i)$   
"πιθανότητα ενδεχομένου  $S_i$ "  
"η τ.μ.  $X$  να ισούται με  $x_i$ "

## Ιδιότητες Πιθανοτήτων

- Το άθροισμα των πιθανοτήτων όλων των ενδεχομένων ισούται με 1  $\sum_{i=1}^n P(x_i) = 1$ .

- Η πιθανότητα ενός ενδεχομένου Παυτα ανήκει στο

διαστήμα  $[0, 1]$

$$0 \leq P(x_i) \leq 1$$

↑ αληθαινο

↑ βεβωιη



Συμπίπηση Συνδυασμένης Πιθανότητας δύο  
επιδεχομένων  $x_i, y_j$  δύο τ.μ.  $X, Y$

$P(x_i, y_j)$  : πιθανότητα  $X = x_i$  και  $Y = y_j$

$P(y_j, x_i)$  : ταυτόχρονα  
Υπο συνθήκη πιθανότητα : πιθανότητα  $X = x_i$  με δεδομένο  
οτι  $Y = y_j$

$$P(x_i / y_j) = \frac{P(x_i, y_j)}{P(y_j)}$$

$\uparrow$  επιδεχόμενο  
επιφάνειας       $\uparrow$  δεδομένο

Ισχύει επίσης ότι:

$$P(y_j / x_i) = \frac{P(y_j, x_i)}{P(x_i)} = \frac{P(x_i, y_j)}{P(x_i)}$$

Παράδειγμα συνδυασμένης πιθανότητας:

Ρίχνουμε ταυτόχρονα 2 ζάρια, ποιά η πιθανότητα να φέρουμε 3 στο 1 και 5 στο άλλο?

$$P(X=3, Y=5)$$

Παράδειγμα υπο συνθήκη πιθανότητας

Με δεδομένο ότι το πρώτο ζάρι έφερε 2

ποιά η πιθανότητα το 2ο ζάρι να φέρει αποτέλεσμα μεγαλύτερο?

$$P(X > Y / Y = 2)$$

$$\text{Άρα, } P(x_i, y_j) = P(x_i/y_j)P(y_j) = P(y_j/x_i)P(x_i)$$

Όταν τα  $x_i, y_j$  είναι μεταξύ τους ανεξάρτητα  
(δηλ το αποτέλεσμα α του ενός δεν επηρεάζει το  
αποτέλεσμα α του άλλου)

Έχουμε :

$$P(x_i/y_j) = P(x_i)$$

$$P(y_j/x_i) = P(y_j)$$

$$\text{Άρα, } P(x_i, y_j) = P(x_i) \cdot P(y_j)$$

Μέση τιμή τυχαίας μεταβλητής  $X$

Αν  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  με  $\{P(x_1), P(x_2), \dots, P(x_n)\}$

Ισχύει ότι

$$E(X) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P(x_i).$$

Παράδειγμα:

Έχουμε τη διασύνδεση 3 κόμβων, Α, Β, Γ



Η πιθανότητα επιτυχίας μετάδοσης πακέτου

σε καθεμία από τους 2 συνδέσμους είναι  $p_s$

Ποιά η πιθανότητα να μεταφερθεί ένα πακέτο

σωστά από τον Α στο Γ και να επιστρέψει

η επιβεβαίωσή του σωστά από το Γ στο Α?

A! Τρόπος

$$P_S(AB\Gamma BA) = P(AB \text{ success}, B\Gamma \text{ success}, \Gamma B \text{ success}, BA \text{ success})$$

Η πιθανότητα ορθής μετάδοσης εώς πακέτου μεταξύ δύο κόμβων (π.χ.  $B \rightarrow A$ ) δεν εξαρτάται από τις αντίστοιχες πιθανότητες ορθής μετάδοσης μεταξύ των άλλων ζευγών κόμβων ( $AB, B\Gamma, \Gamma B$ ) εφόσον λοιπόν τα ερδωόμενα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους θα έχουμε ότι

$$P_S(AB\Gamma BA) = P_S(AB) \cdot P_S(B\Gamma) \cdot P_S(\Gamma B) \cdot P_S(BA) = p_S p_S p_S p_S = p_S^4$$

B! Τρόπος:

$$P_S(ABΓBA) = 1 - \underbrace{P_F(ABΓBA)}$$

πιθανότητα αποτυχίας  
Ενδεχόμενα αποτυχίας (F)

$$S_1 = AB_F \quad P(S_1) = 1 - p_s$$

$$S_2 = \underbrace{AB_S} \underbrace{BΓ_F} \quad P(S_2) = P(AB_S, BΓ_F) = p_s(1 - p_s)$$

$$S_3 = \underbrace{AB_S} \underbrace{BΓ_S} \underbrace{ΓB_F} \quad P(S_3) = p_s \cdot p_s(1 - p_s)$$

$$S_4 = \underbrace{AB_S} \underbrace{BΓ_S} \underbrace{ΓB_S} \underbrace{BA_F} \quad P(S_4) = p_s \cdot p_s \cdot p_s(1 - p_s)$$

$$P_F(ABΓBA) = P(S_1) + P(S_2) + P(S_3) + P(S_4) =$$

$$= 1 - p_s + p_s - p_s^2 + p_s^2 - p_s^3 + p_s^3 - p_s^4 = 1 - p_s^4$$

Άρα, πιθανότητα επιτυχίας

$$P_S(ABΓBA) = 1 - (1 - p_s^4) = p_s^4$$

Προσοχή!

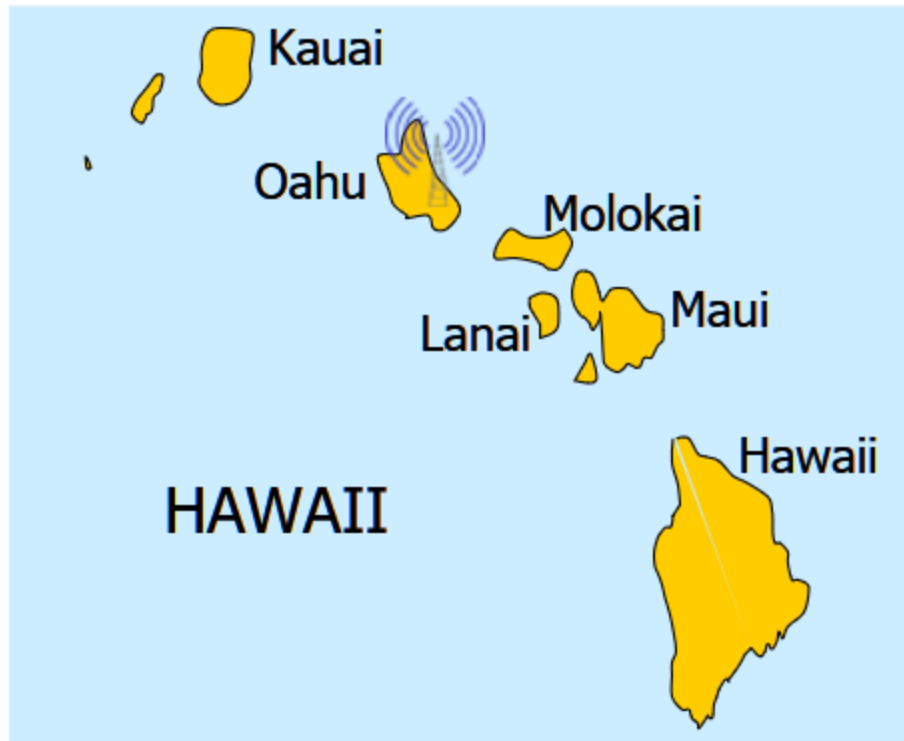
Η πιθανότητα αποτυχίας μετάδοσης ενός πακέτου  
Ταυτίζεται με το ρυθμό εσφαλμένων πακέτων,  
Packet Error Rate (PER)

$$PER = P_F = 1 - P_S$$



# Πρόσθετες διαφάνειες για Aloha/Slotted Aloha

# Aloha motivation



The Aloha protocol was implemented in '70 also in a satellite network, named ALOHAnet.

N. Abramson, "The ALOHA System-Another Alternative for Computer Communications", *Fall Joint Computer Conference*, 1970.

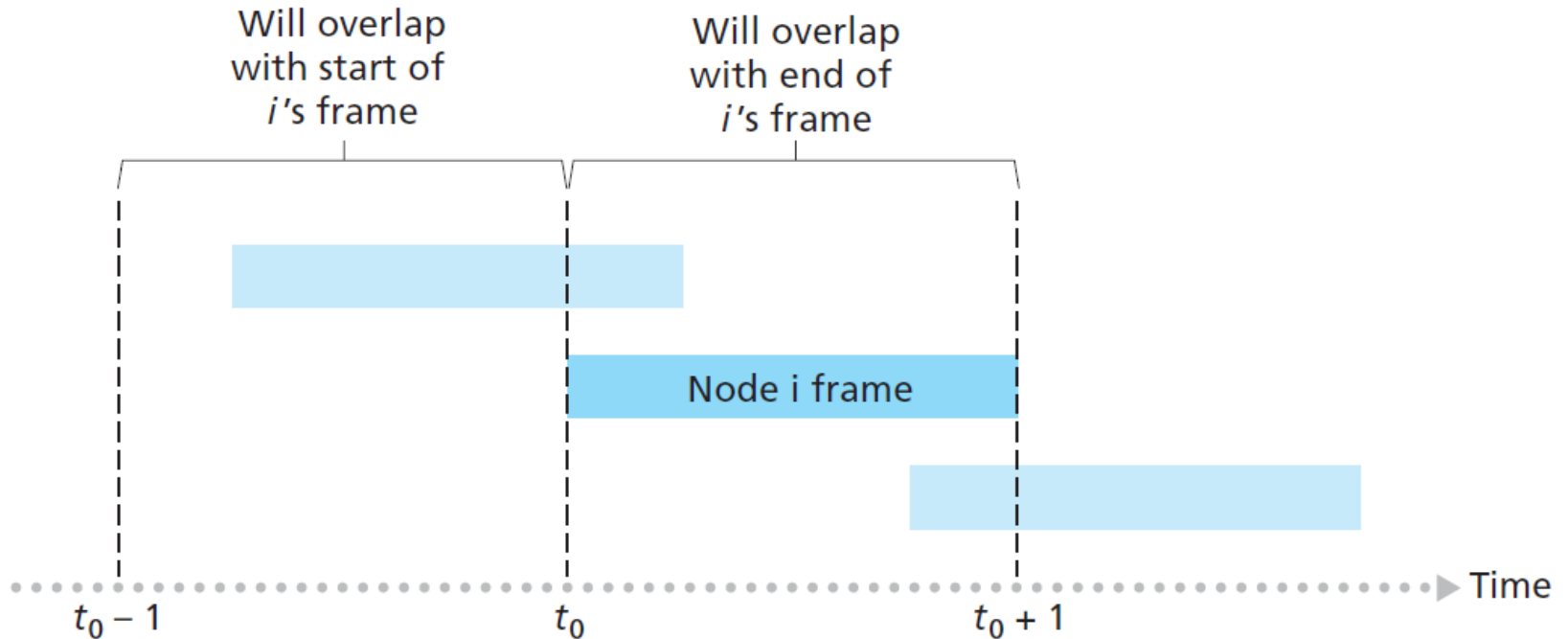
The Aloha protocol was proposed at the beginning of '70 by Professor Norman Abramson who needed to connect terminals dispersed among different islands and a central host (= controller) at the Hawaii University in Honolulu (Oahu island).

The main idea is **allowing terminals to transmit to the central controller as soon as they need to do so.**

- Collisions
- Mechanism to reveal collisions (The Aloha protocol is reliable: ACK and timer based on the round trip propagation delay or use of a broadcast channel)
- Retransmission attempts after a collision are rescheduled using a random **backoff** time

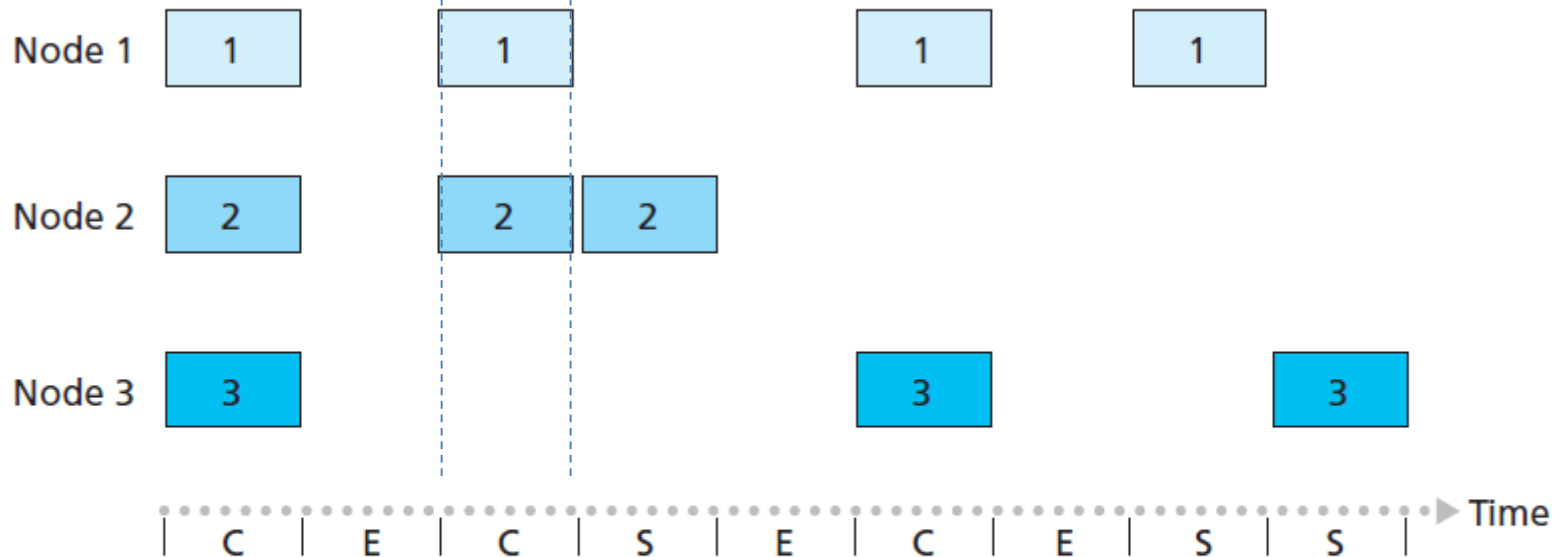
Note: Aloha is not an acronym, but the classical Hawaiian welcome expression.

# pure ALOHA



- Suppose this frame begins transmission at time  $t_0$ .
- To avoid collisions, no other nodes can begin their transmission in the interval of time  $[t_0 - 1, t_0]$  AND  $[t_0, t_0 + 1]$
- That means that all other nodes should be silent for 2 intervals

# slotted ALOHA



Key:

C = Collision slot

E = Empty slot

S = Successful slot

- To avoid collisions, no other nodes can begin their transmission in ONE timeslot duration
- That means that all other nodes should be silent for 1 timeslot (not 2 as shown in pure aloha)

# Επικίνδυνοι Περίοδοι για slotted και unslotted ALOHA

