

# ΕΑΠ ΘΕ ΠΛΗ-22

## 1<sup>η</sup> ΟΣΣ

### 19/10/2014

Συμπληρωματικές Διαφάνειες  
(στην παρουσίαση της 1<sup>ης</sup> ΟΣΣ  
PLH22\_1st\_OSS\_Networks\_2014\_2015 )

Νίκος Δημητρίου

# 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

# Portal ΕΑΠ

- **study.eap.gr**
  - Διαχείριση υλικού Θ.Ε.
  - Forum Φοιτητών
  - Forum Καθηγητών
  - Διαχείριση Εργασιών
- **open.eap.gr**
  - Διαχείριση ΟΣΣ
  - Διαχείριση βαθμολογίας Γ.Ε.
- **edy.eap.gr**
  - Αποθετήριο ΕΔΥ
- **centra.eap.gr**
  - Τηλεδιασκέψεις

# 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
  - $70\% \times \text{Βαθμ.Εξετασης} + 30\% \times \text{Μ.Ο.Βαθμ.Εργασιών}$

# Οργάνωση Ύλης

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

# Γραπτές Εργασίες

- Υποβολή εργασιών μέσω [study.eap.gr](http://study.eap.gr)
- MS.Word format για σχόλια [Μέγεθος < 2MB]
- Mathtype link: <http://www.dessci.com/en/products/mathtype/trial.asp>
- Καταληκτική Ημέρα: Κυριακή
- Έλεγχος υποβολών: Δευτέρα πρωί
- Ενημέρωση για τη χρήση του περιθωρίου μέχρι την Τετάρτη: μέχρι Δευτέρα πρωί
- Μεγαλύτερο περιθώριο: Συνεννόηση ΣΕΠ-Συντονιστή
- *Καταληκτική Ημερομηνία Διόρθωσης: 2 εβδομάδες μετά τη δημοσίευση των λύσεων*
- **Σκοπός Εργασιών: Μάθηση / Εξάσκηση / Προετοιμασία για τις εξετάσεις**
- **Ναι στη Συνεργασία - Όχι στην Αντιγραφή**

# Επικοινωνία

- Δευτέρα-Παρασκευή 210 6503156
- Κινητό : 6947 960626
- Email [nikodim@phys.uoa.gr](mailto:nikodim@phys.uoa.gr)
- Εναλλακτικό email: [nikodim@iit.demokritos.gr](mailto:nikodim@iit.demokritos.gr)

# Πρόσθετα

- Τηλεδιασκέψεις
- Εξάσκηση
- 6<sup>η</sup> / έκτακτη ΟΣΣ
- Site με υλικό των ΟΣΣ/ΑΘΗ.4
  - <http://users.uoa.gr/~nikodim/>
- Παλαιό site της ΠΛΗ-22
  - <http://p-comp.di.uoa.gr/eap/index.html>

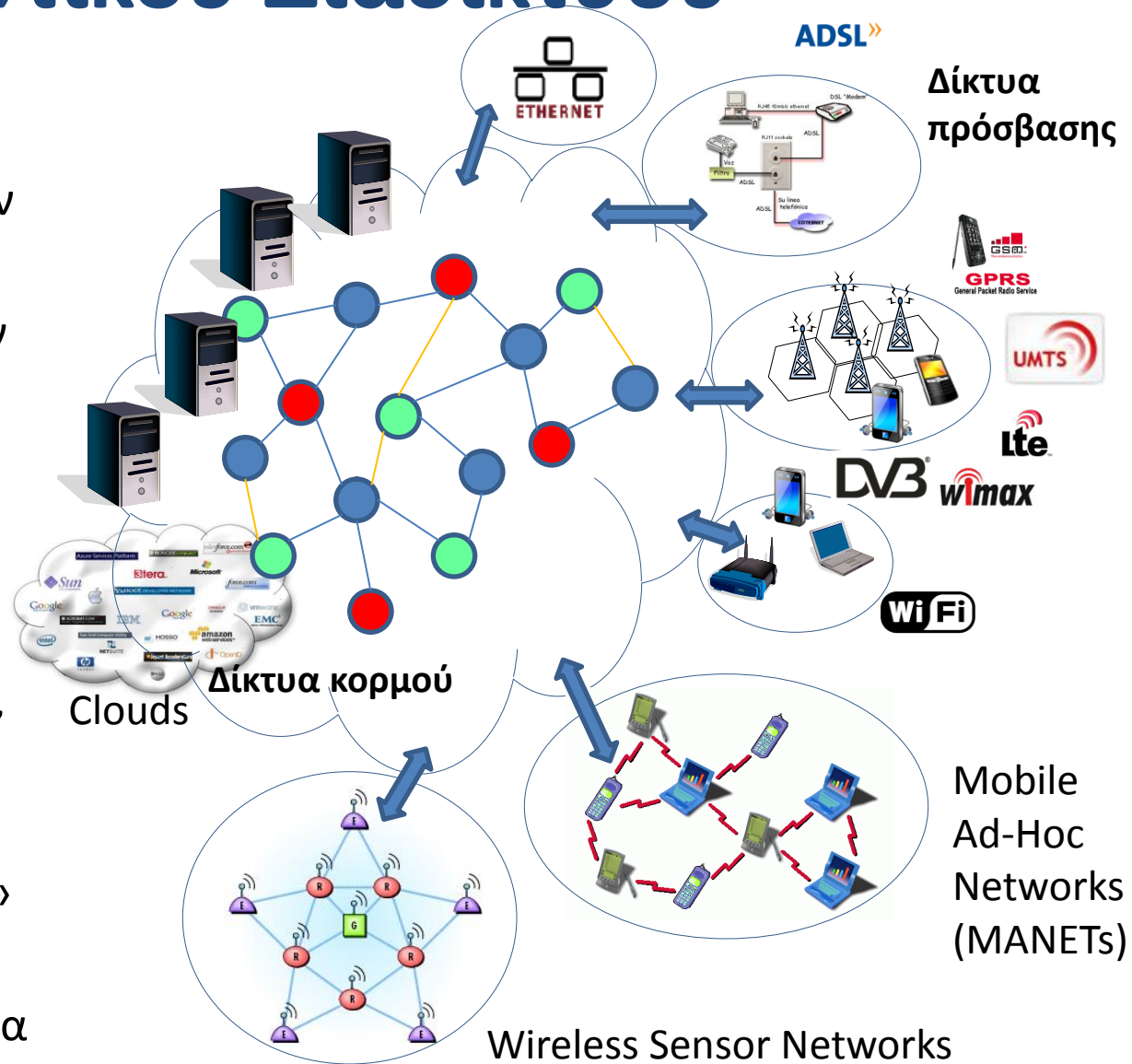


# Εισαγωγικές Διαφάνειες

# Εικόνα Μελλοντικού Διαδικτύου

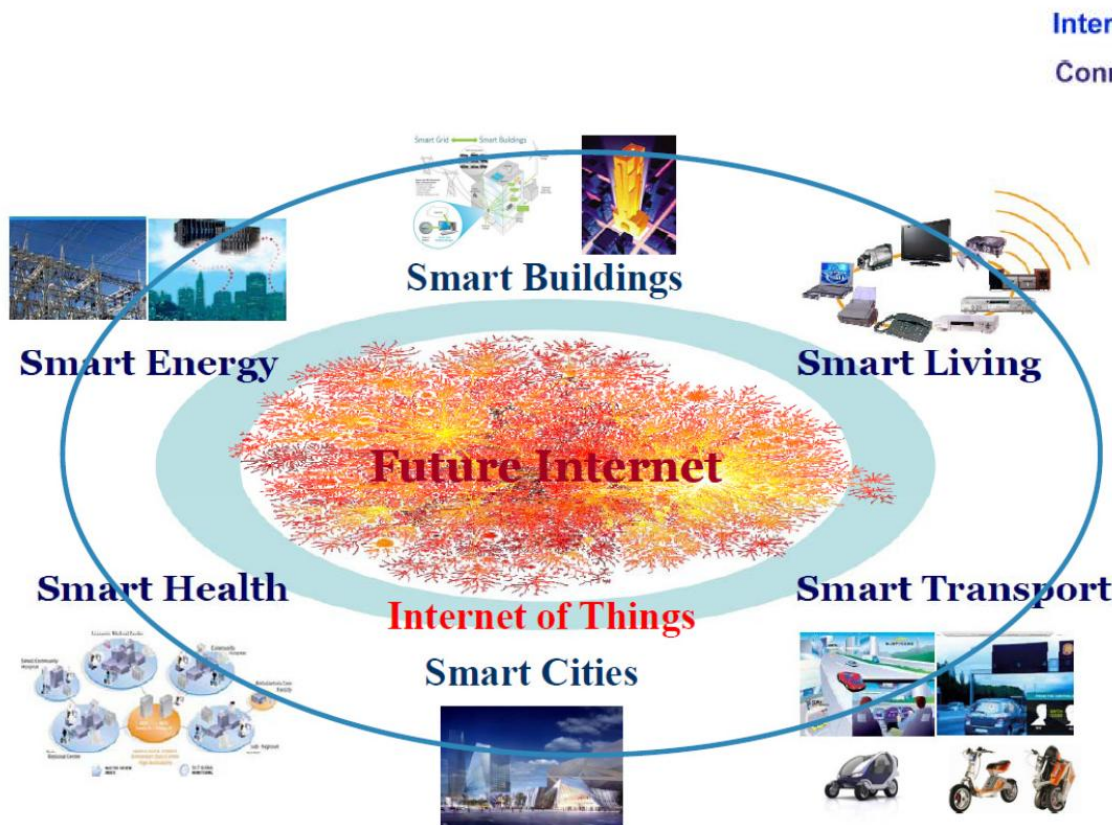
## Σύνθετα Δίκτυα

- 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



# ‘Διαδικτύωση’ ανθρώπων-αντικειμένων

- Κάθε χρήστης ή συσκευή θα συμμετέχει σε κάποιο υποδίκτυο
- Δυνατότητα επικοινωνίας και ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ ετερογενών δικτύων και συσκευών/τερματικών



Internet of Things  
Connecting:

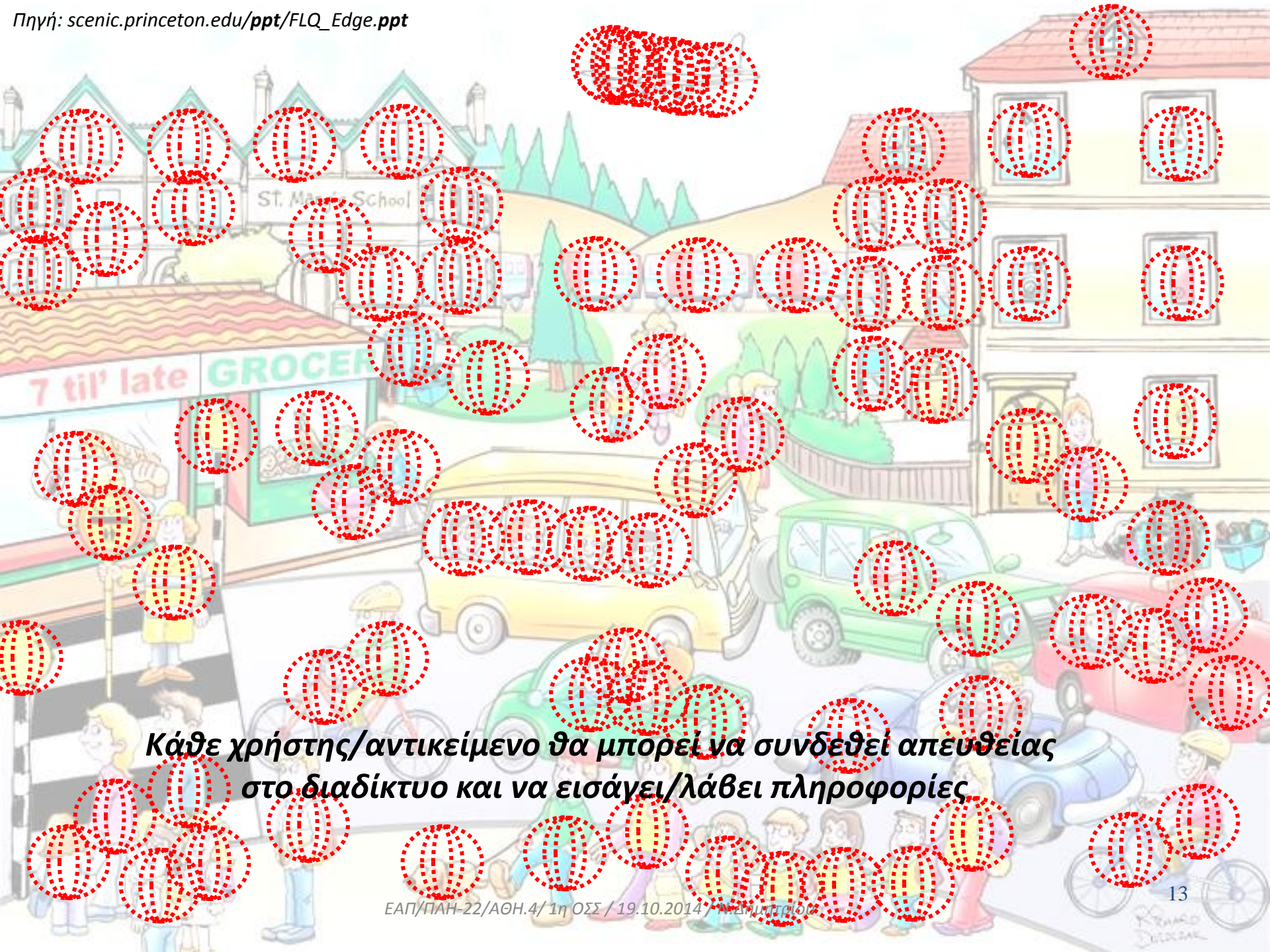


ΕΑΠ/ΠΛΗ-22/ΑΘΗ.4/ 1η ΟΣΣ / 19.10.2014 /  
Ν.Δημητρίου









**Κάθε χρήστης/αντικείμενο θα μπορεί να συνδεθεί απευθείας στο διαδίκτυο και να εισάγει/λάβει πληροφορίες**

# 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.
  - Εξοικείωση με τις λειτουργίες των βασικών δικτυακών συσκευών
  - Εξοικείωση με τις βασικές λειτουργίες των Δικτύων TCP/IP

Αναπαράσταση/Μετάδοση Σημάτων



Τόμοι Β(I,II)

Δειγματοληψία / Κβάντιση / Ψηφιοποίηση



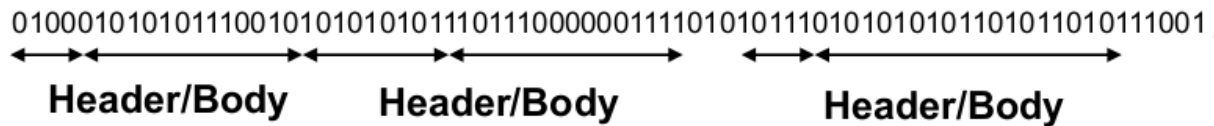
Τόμοι Β(I,II)

Κωδικοποίηση Πηγής/Καναλιού

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

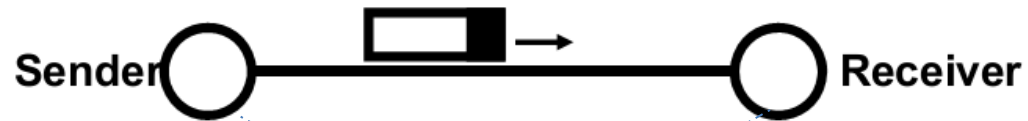
Τόμος Α

Οργάνωση bits σε πακέτα



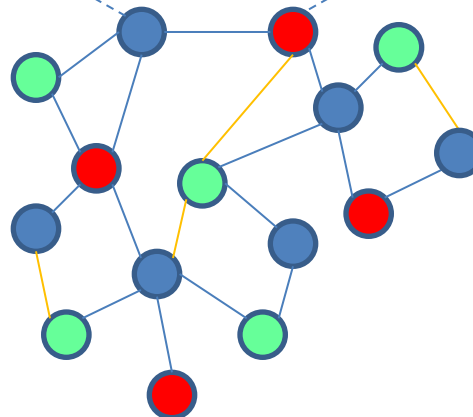
Τόμος Γ

Μετάδοση Πακέτων



Τόμος Γ

Δίκτυο

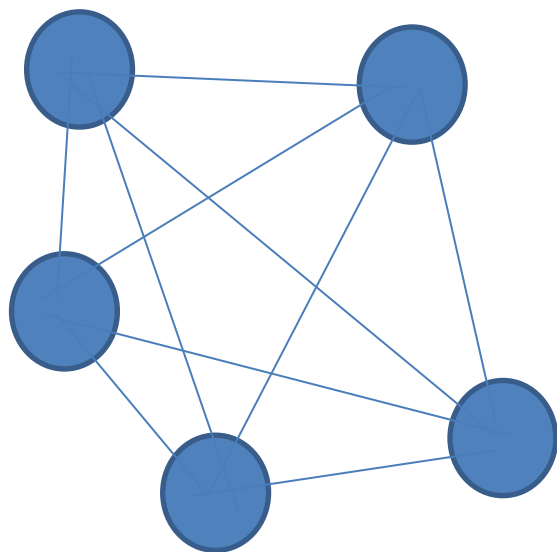


# Δίκτυα – Σκοπός – Τοπολογίες – Διαστρωμάτωση OSI

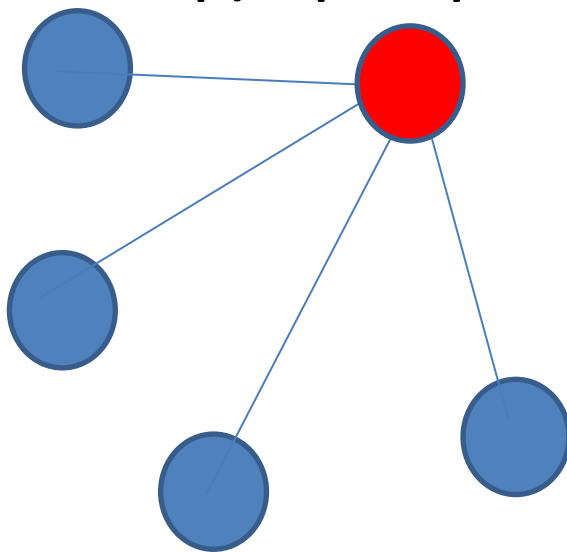


# Δίκτυα-Χρησιμότητα

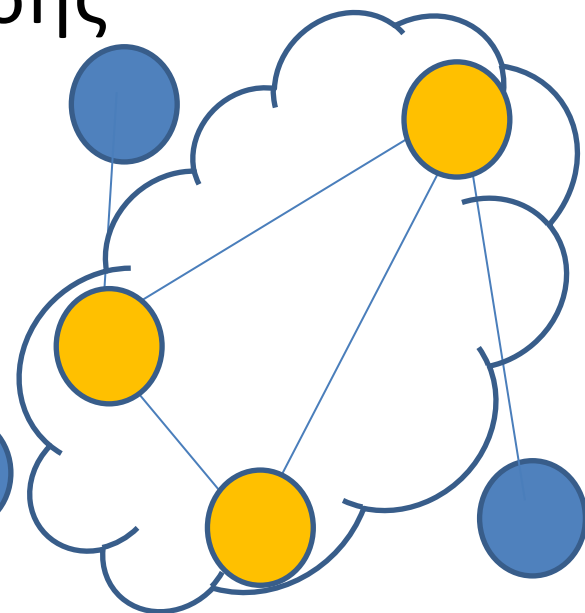
- Αποδοτική Διασύνδεση κόμβων (χρηστών, υπολογιστών, τερματικών, διακομιστών κλπ).
  - Χρήση κοινόχρηστων κόμβων και ζεύξεων
- Τοπολογίες πολλαπλής πρόσβασης



mesh



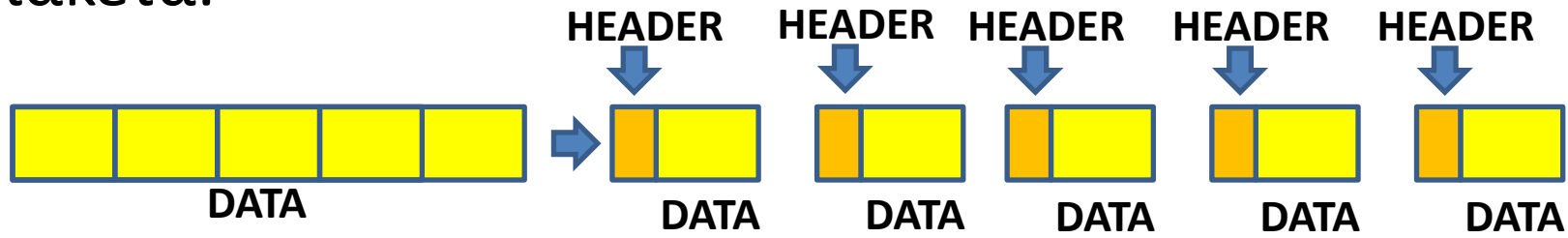
star



access-core

# Μετάδοση περιεχομένου-΄Πακετοποίηση΄

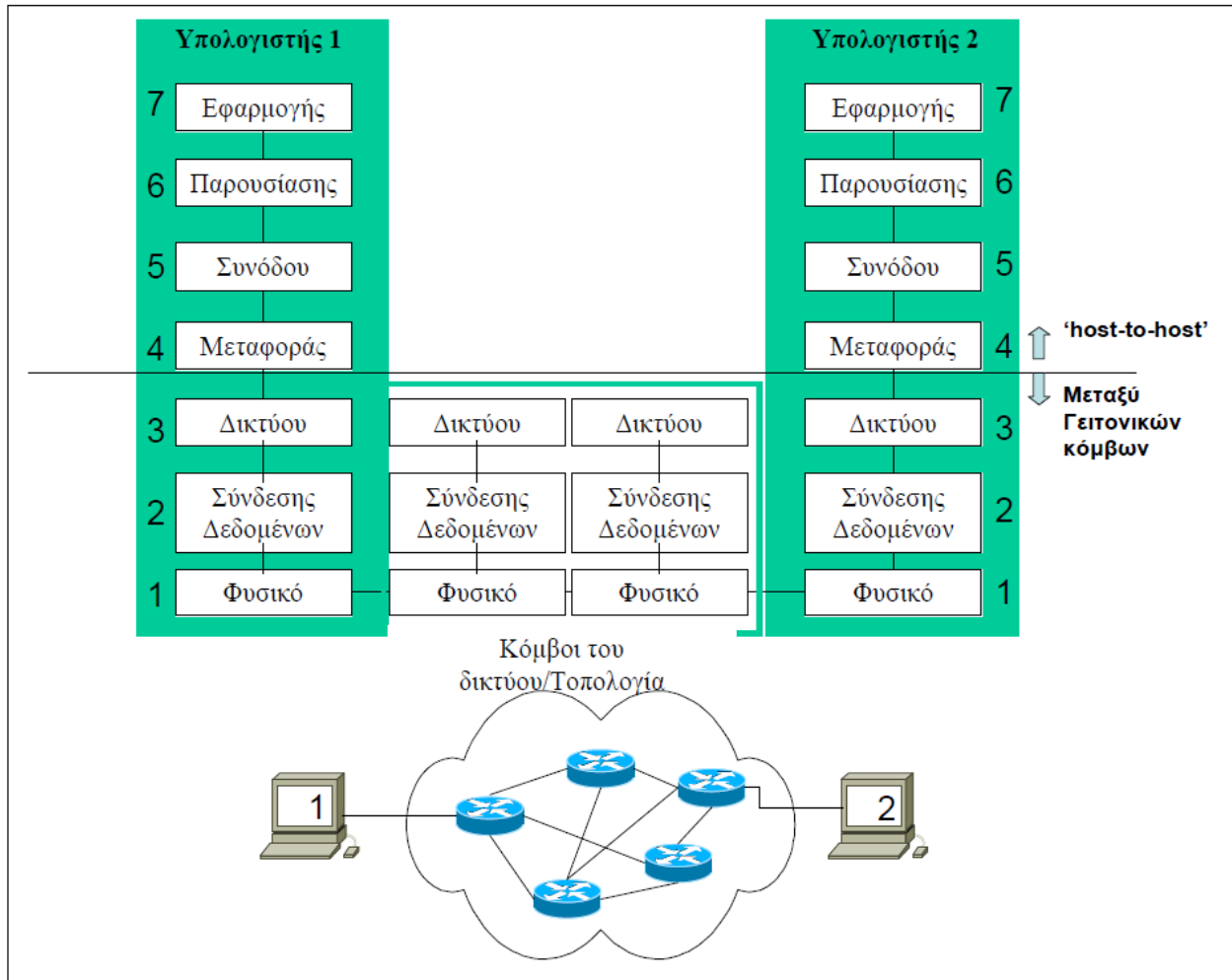
- Σκοπός: Διαίρεση αρχείων σε κατάλληλου μεγέθους πακέτα.



- 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

# ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Σκοπός: Επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών / ανταλλαγή μηνυμάτων πληροφορίας και ελέγχου: Σύνθετη Υπηρεσία που οι διαδικασίες της ιεραρχούνται σε 7 στρώματα υπηρεσιών με βάση το Open Systems Interconnection Reference Model (OSI/RM) (σελ.50):



**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»)

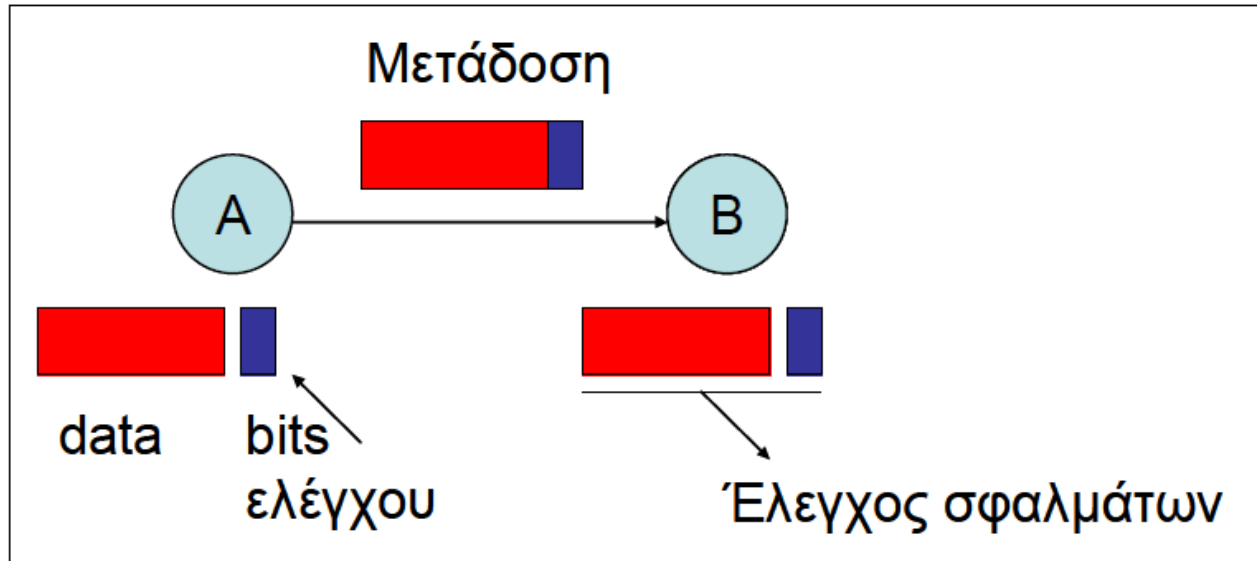
Για το Διαδίκτυο (σελ.58-61)έχουμε την εξής διαστρωμάτωση:

- 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)

# 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  $n$

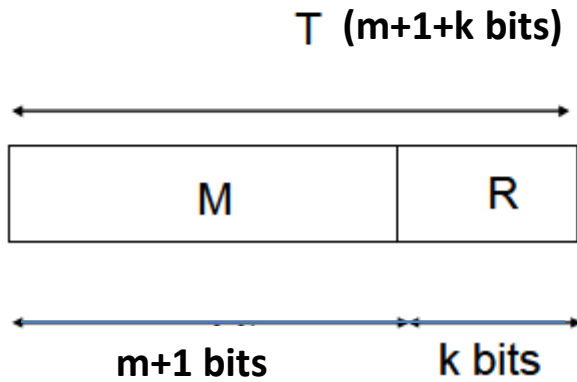
π.χ CRC-8 σελ.82  $\overset{8\ 7\ 6\ 5\ 4\ 3\ 2\ 1\ 0}{100000111} \leftrightarrow 1x^8 + 0x^7 + 0x^6 + 0x^5 + 0x^4 + 0x^3 + 1x^2 + 1x^1 + 1x^0 =$   
 $= x^8 + x^2 + x + 1$  Εδώ ο κώδικας μήκους  $n+1=9$  bits αντιστοιχεί σε πολυώνυμο βαθμού  $n=8$

**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  $G(x)$





## 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

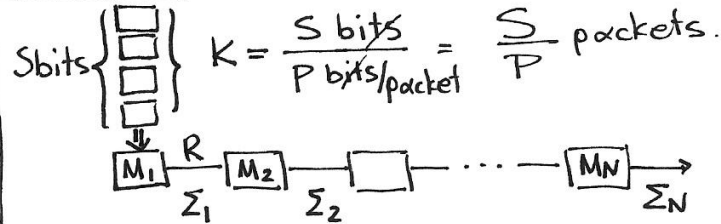
της διαίρεσης  $\frac{E(x)}{G(x)}$  διότι  $\frac{T'(x)}{G(x)} = \frac{T(x)+E(x)}{G(x)} = \frac{T(x)}{G(x)} + \frac{E(x)}{G(x)}$



# Μετάδοση πακέτων store & forward

Χρόνος Μετάδοσης Αρχείου

A. A. 1.2  
 Αρχείο S bits  
 N σύνδεσμοι  
 R bits/s  
 P bits/packet  
 α.  $T = ?$   
 β.  $P' = ?$   $T' = T/2$



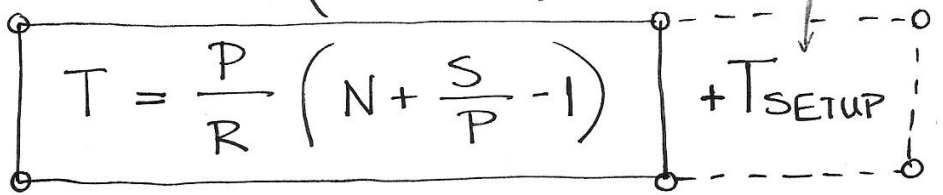
Καθυστέρηση 1 συνδέσμου  
 $T_{\Sigma} = \frac{P \text{ bit}}{R \text{ bits/sec}} = \frac{P}{R} \text{ sec}$

- 1. παύση στο δεύτερο μετά  $N \cdot T_{\Sigma}$
- 2. " " " " " "  $N T_{\Sigma} + T_{\Sigma}$
- 3. " " " " " "  $N T_{\Sigma} + 2 T_{\Sigma}$
- ⋮
- K " " " " " "  $N T_{\Sigma} + (K-1) T_{\Sigma}$

ΕΑΠ/ΠΛΗ-22/ΑΘΗ.4/1η  
 ΟΣΣ / 19.10.2014 /  
 Ν.Δημητρίου

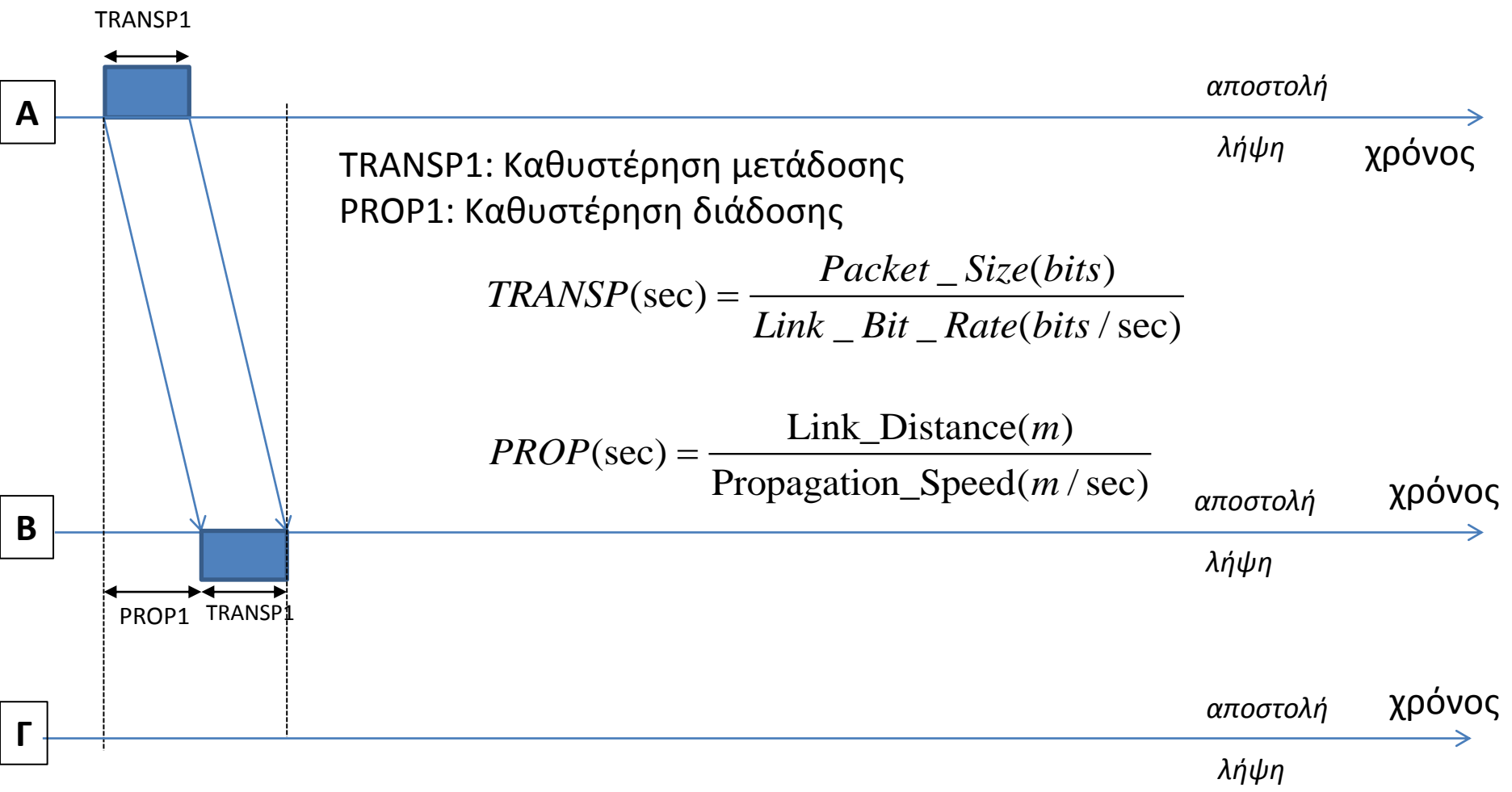
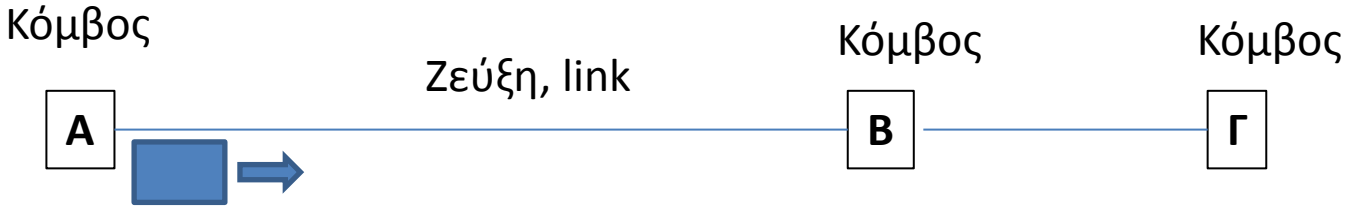
Προσοχή! Εδώ η άσκηση υποθέτει ότι η καθυστέρηση διάδοσης σε κάθε σύνδεσμο είναι αμελητέα  $PROP=0$ .

Άρα  $T = N T_{\Sigma} + (K-1) T_{\Sigma}$   
 $= T_{\Sigma} (N + K - 1)$



$T' = T/2 \Rightarrow \frac{P'}{R} (N + \frac{S}{P'} - 1) = \frac{1}{2} \frac{P}{R} (N + \frac{S}{P} - 1) \Rightarrow P' = \frac{1}{2} P - \frac{S}{2(N-1)}$

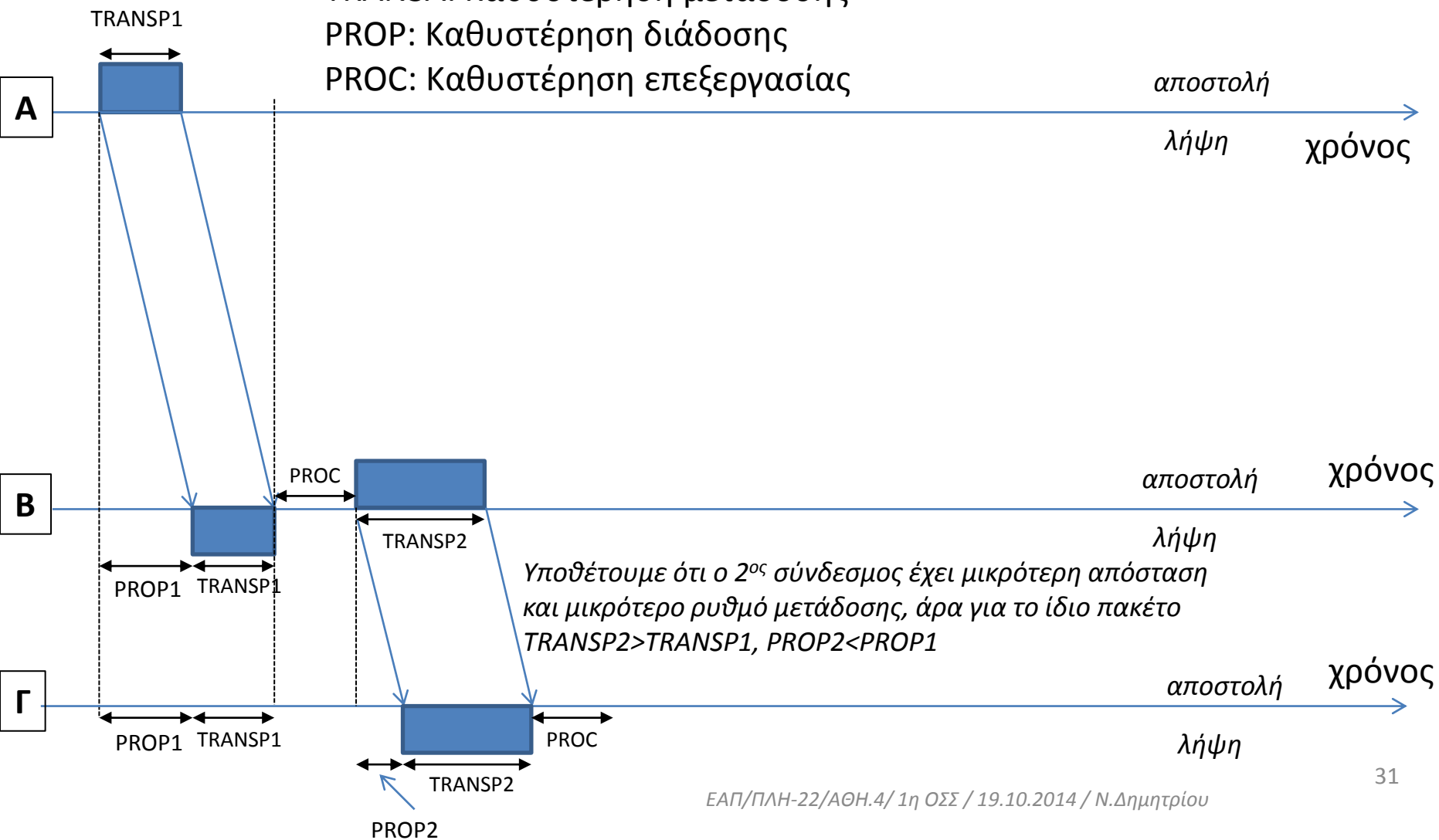
# Αποστολή πακέτου δεδομένων Α-Β



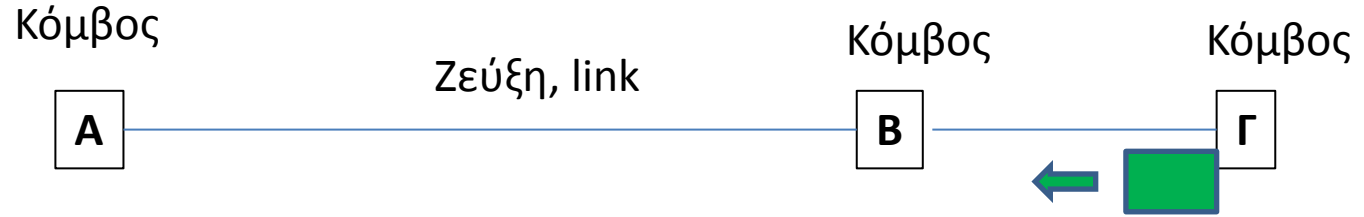
# Αποστολή πακέτου δεδομένων Β-Γ



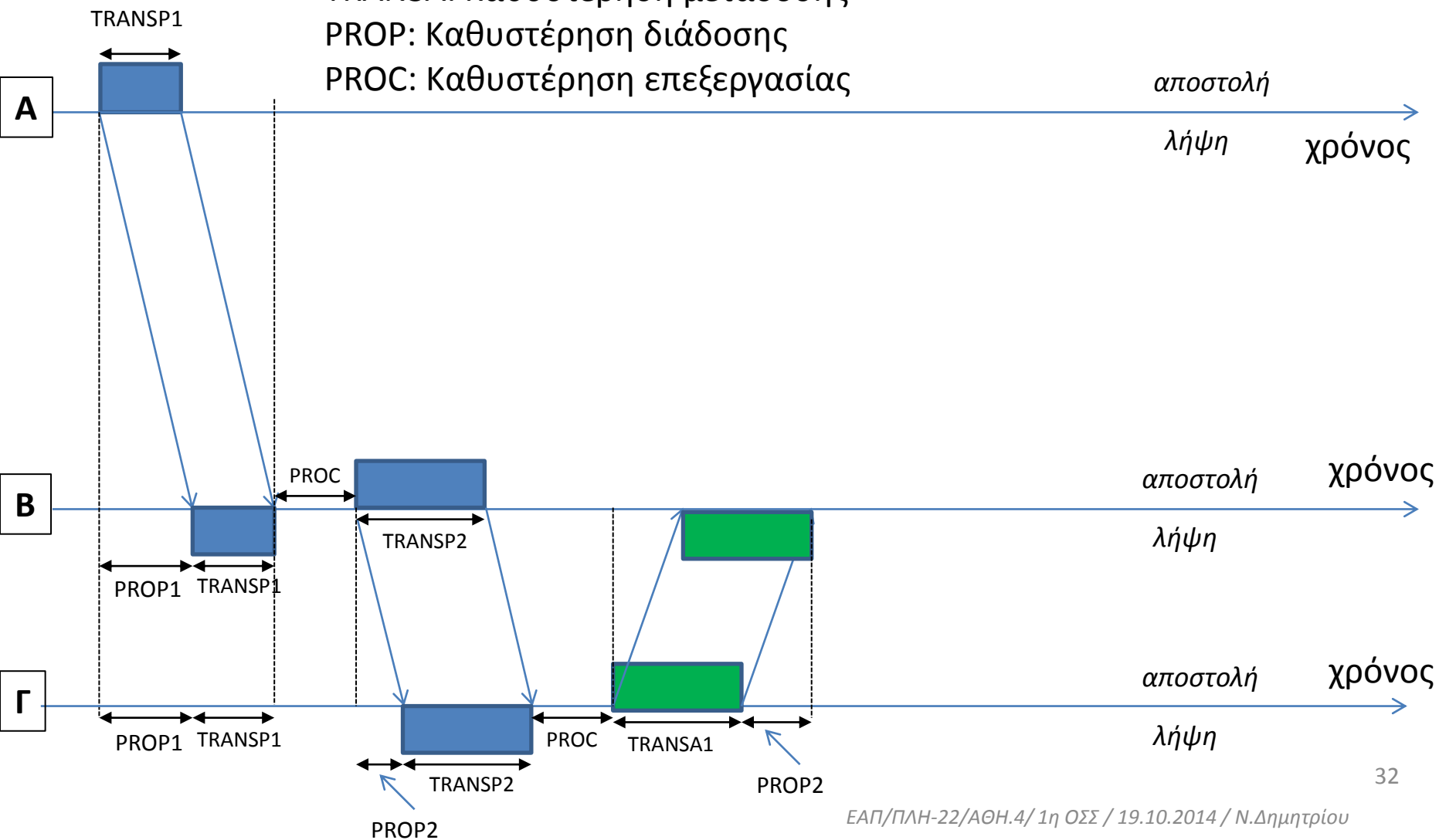
TRANSA: Καθυστέρηση μετάδοσης  
 PROP: Καθυστέρηση διάδοσης  
 PROC: Καθυστέρηση επεξεργασίας



# Αποστολή πακέτου επιβεβαίωσης Γ-B



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

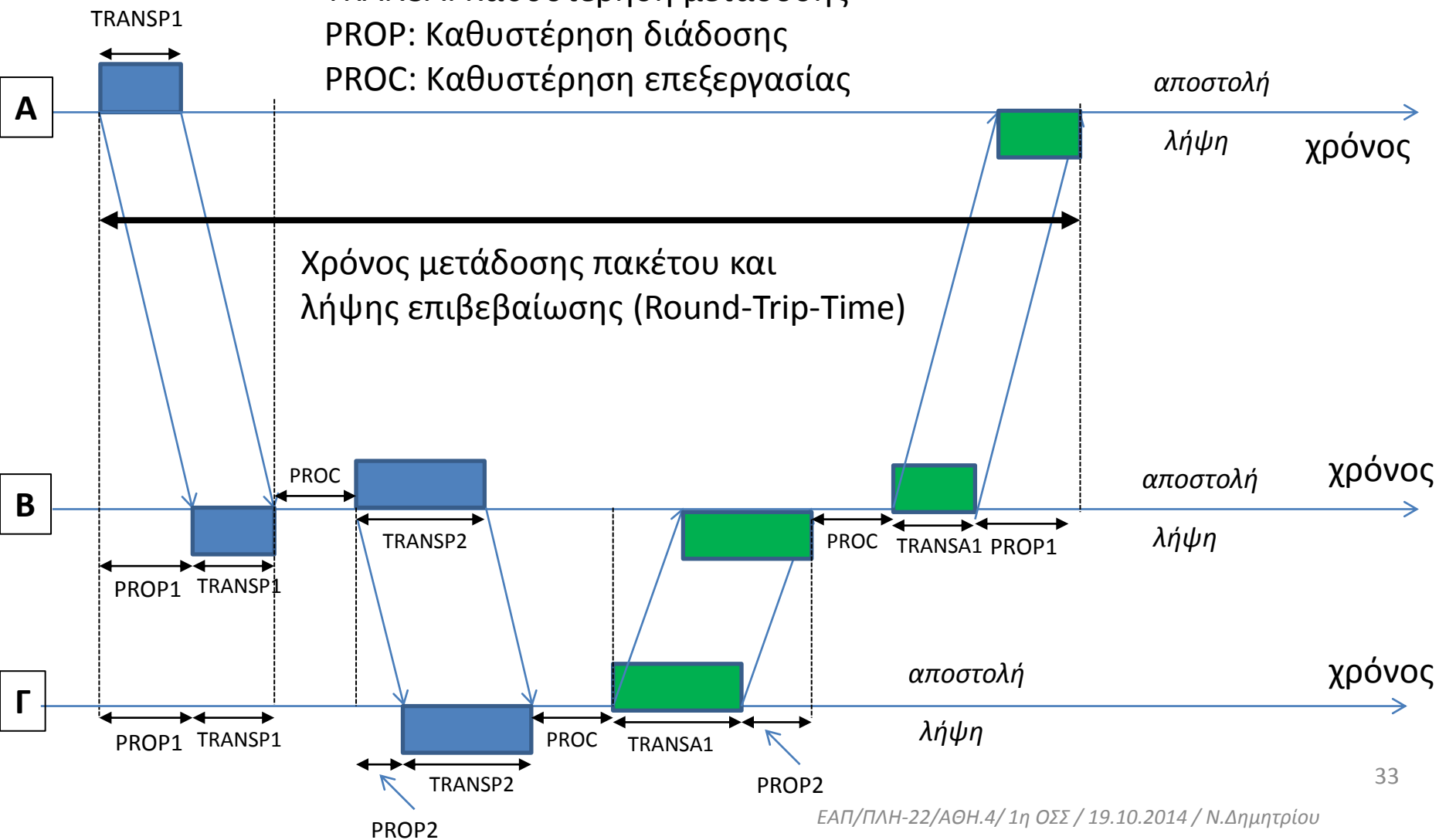




# Αποστολή πακέτου επιβεβαίωσης B-A



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

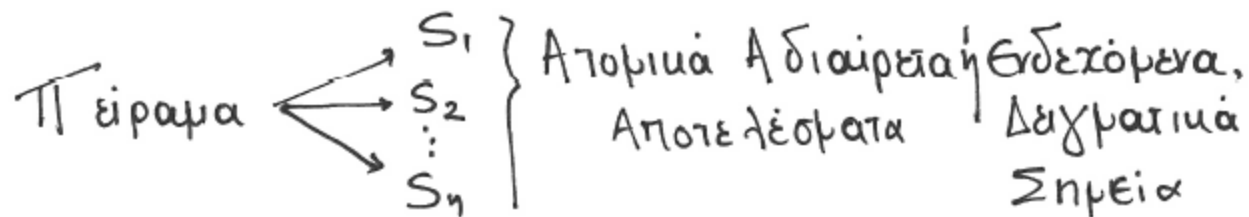


# Μικρή ανασκόπηση θεωρίας πιθανοτήτων

## 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 Πάντα 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?

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

· 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 :

$$P(X_i/Y_j) = P(X_i)$$

$$P(Y_j/X_i) = P(Y_j)$$

· 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 ερδωκάμενα 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:

$$P_S(ABΓBA) = 1 - \underbrace{P_F(ABΓBA)}_{\text{πιθανότητα αποτυχίας}}$$

Ενδεχόμενα αποτυχίας (F)

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

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

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

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

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

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

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)

$$PER = P_F = 1 - P_S$$

# 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  $(1-p)W \leq 10\%$

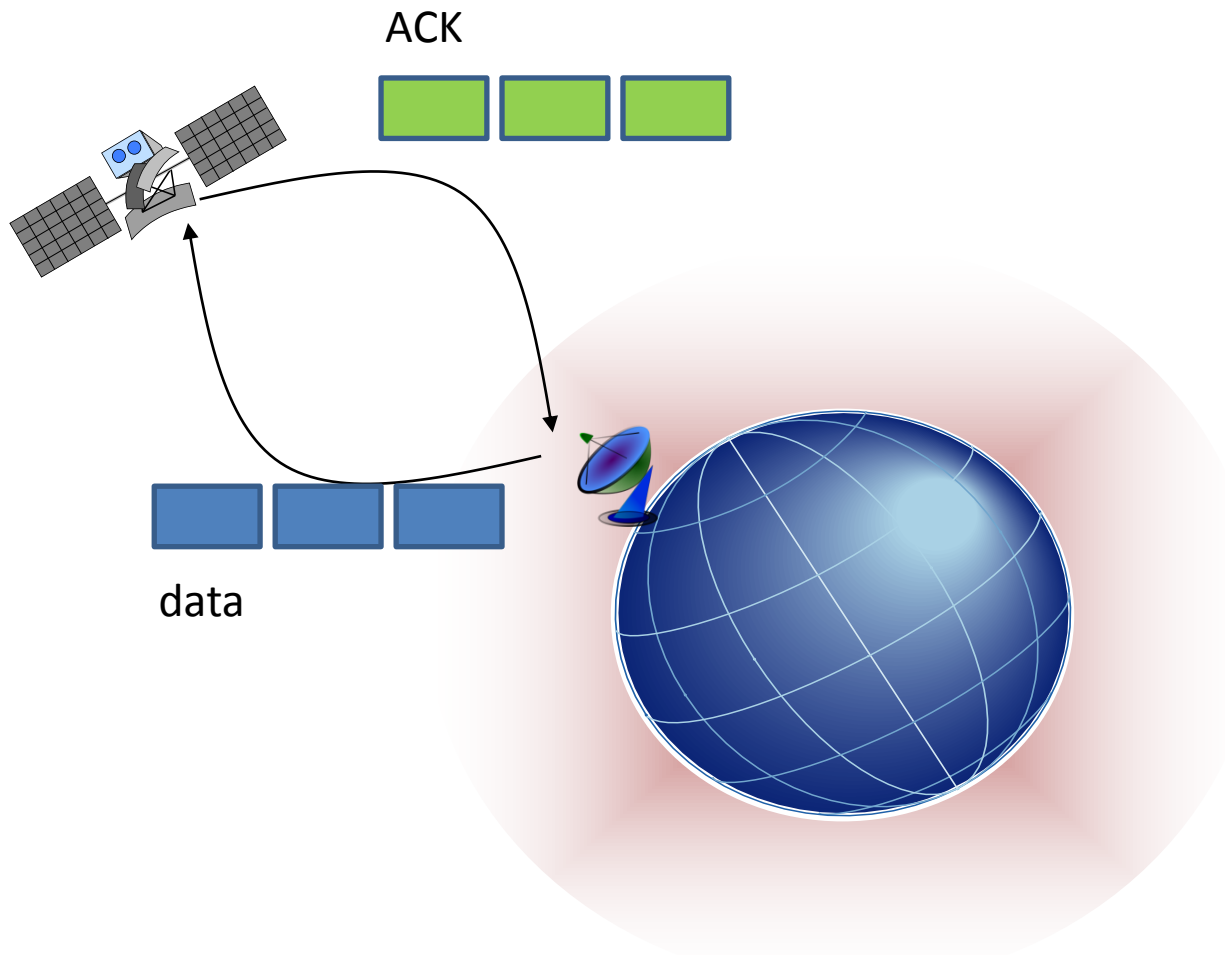
ΕΑΠ/ΠΛΗ-22/ΑΘΗ.4/1η ΟΣΣ / 19.10.2014 /  
Ν.Δημητρίου

# Λυμένες Ασκήσεις

*Αναλυτικές λύσεις των ασκήσεων  
της παρουσίασης της 1ης ΟΣΣ  
PLH22\_1st\_OSS\_Networks\_2014\_2015*

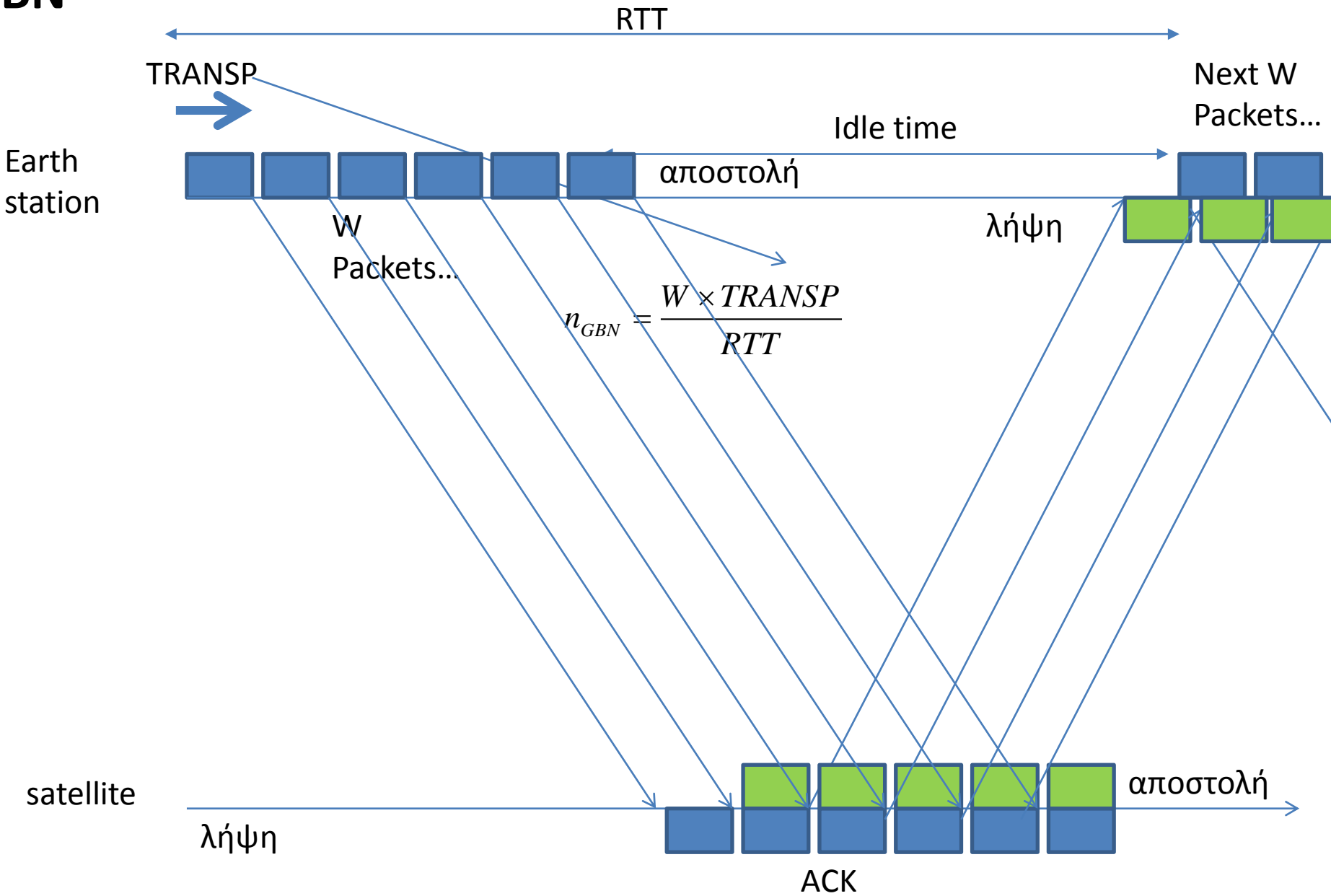
# Άσκηση

- 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

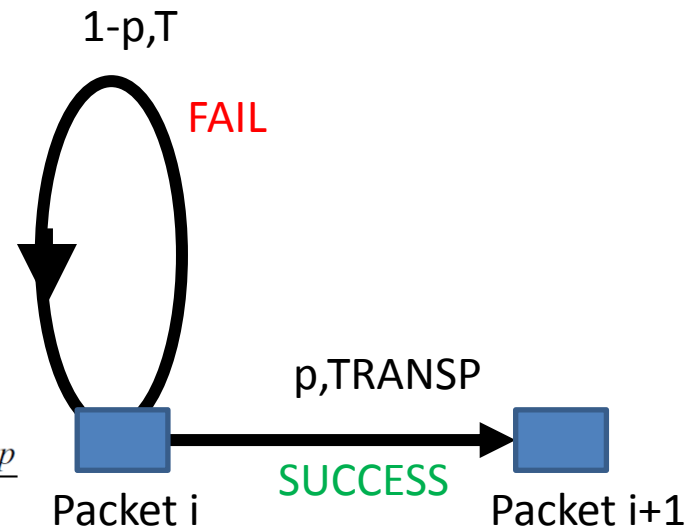
$$T = 1.75 * T_{\min} = 0.378 \text{ sec} \quad (7)$$

Υποθέτουμε ωφέλιμο ρυθμό μετάδοσης πακέτων  $20 \text{ packets/sec}$  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

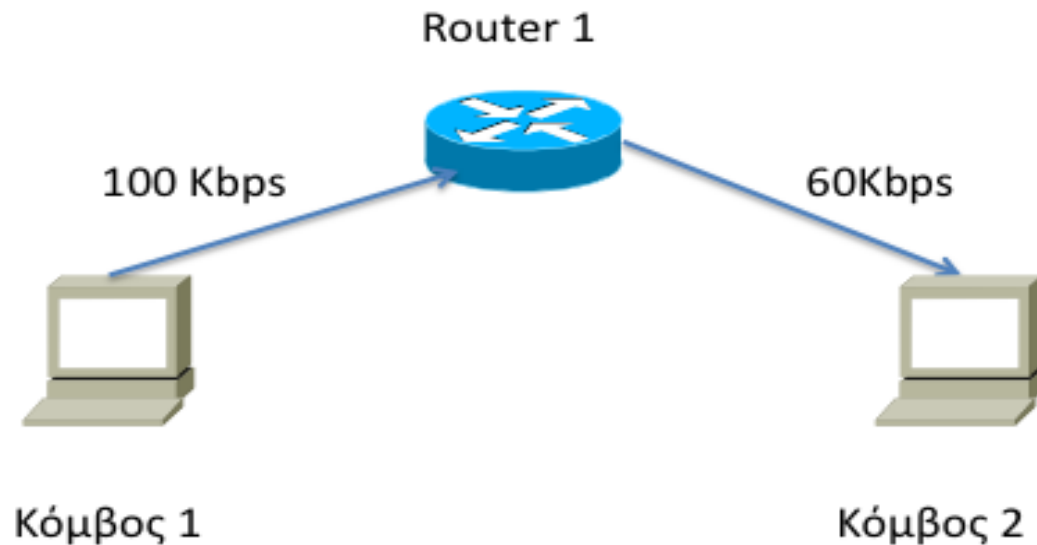
Αυτό σημαίνει ότι οι επιβεβαιώσεις (ACKs) για κάθε πακέτο δεν θα λαμβάνονται από τον αποστολέα έγκαιρα οπότε αυτός θα εξακολουθεί να στέλνει τα ίδια πακέτα (το 1<sup>ο</sup> παράθυρο) συνεχώς

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

$$T \geq S.$$

# 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

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

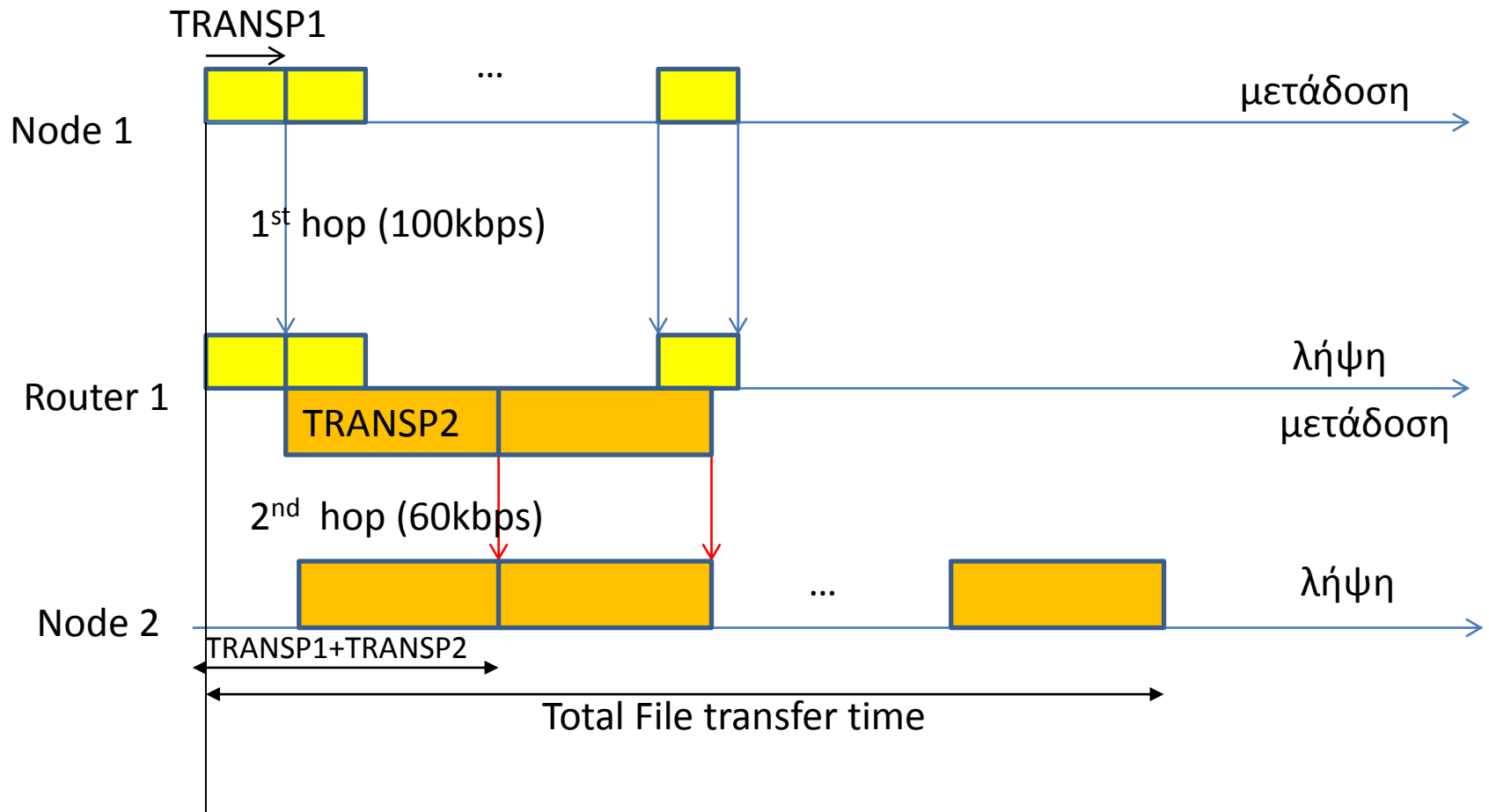
Το 2<sup>ο</sup> πακέτο θα ληφθεί από τον κόμβο 2 μετά από 100/60ms  
 $t_2 = t_1 + 100/60\text{ms}$

Κ.Ο.Κ.

Το 1000<sup>ο</sup> πακέτο θα ληφθεί σε χρόνο  $t_1 + (1000-1)100/60\text{ms}$

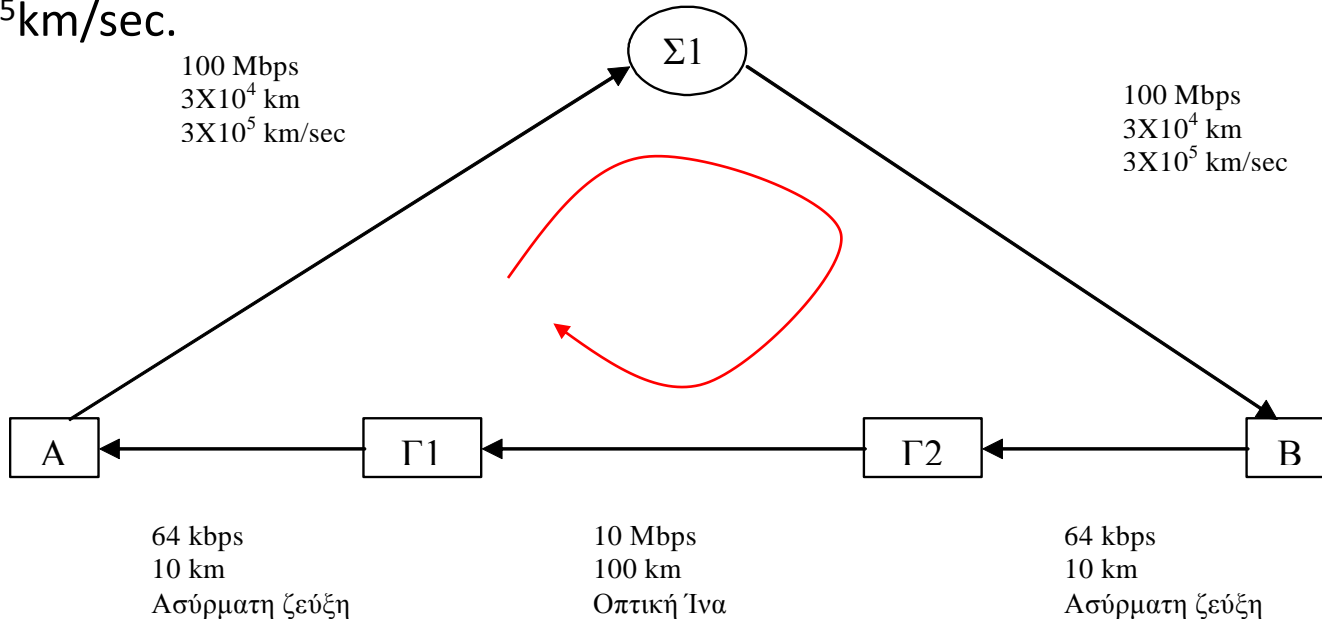
Άρα ο συνολικός χρόνος μετάδοσης του αρχείου θα ισούται με

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



# Άσκηση

- 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 10 bits, 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  $3 \times 10^5 \text{ km/sec}$ .



ΕΑΠ/ΠΛΗ-22/ΑΘΗ.4/1η  
ΟΣΣ / 19.10.2014 /  
N.Δημητρίου



# Συνέχεια

- **(Α)** Αρχικά υποθέστε ότι ο ρυθμός σφαλμάτων είναι πάρα πολύ μικρός. Για την περίπτωση μετάδοσης δεδομένων από τον κόμβο Α στον Β (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. Ποια 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 Β στον Α (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. Ποιο 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 Α στον Β και ιι) από τον κόμβο Β στον κόμβο Α, θεωρώντας ότι κάθε ζεύξη έχει ρυθμό σφαλμάτων 10% όταν ο χρόνος επανεκπομπής παίρνει την ελάχιστη τιμή της.

# Λύση

- Υπολογισμός χρόνων μετάδοσης

- Data packets

$$TRANSP_{ΑΣ1} = TRANSP_{Σ1B} = \frac{10bits}{100Mbps} = 10^{-7} \text{ sec}$$

$$TRANSP_{ΑΣ1B} = TRANSP_{ΑΣ1} + TRANSP_{Σ1B} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ sec}$$

- ACKs

$$TRANSA_{ΒΓ2Γ1Α} = \frac{10bits}{64Kbps} + \frac{10bits}{10Mbps} + \frac{10bits}{64Kbps} = 3.135 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

## Υπολογισμός χρόνων διάδοσης

Καθυστέρηση διάδοσης μέσω δορυφόρου

$$PROP_{ΑΣΙΒ} = \frac{3 \cdot 10^4 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/sec}} + \frac{3 \cdot 10^4 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/sec}} = 0.2 \text{ sec}$$

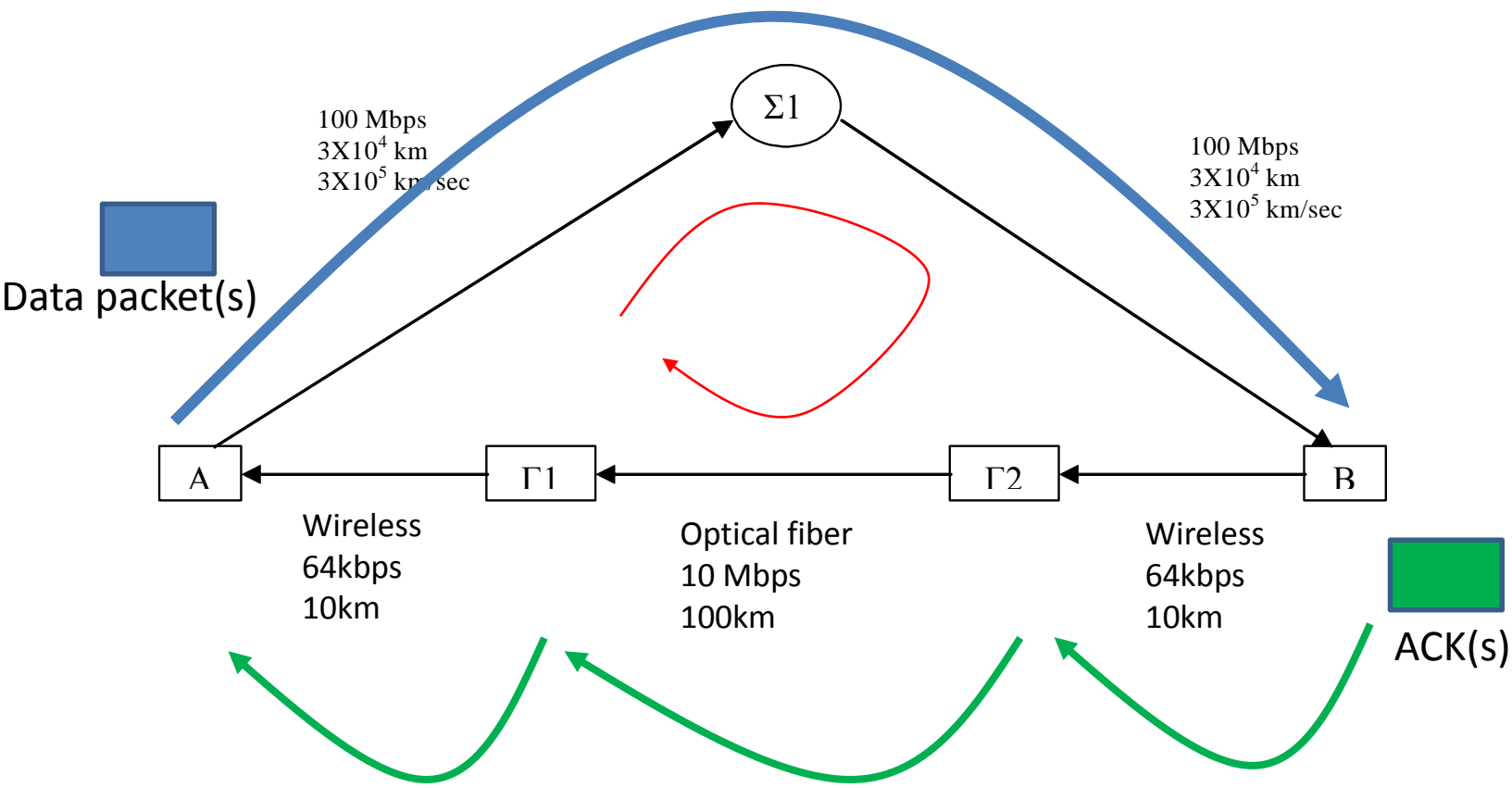
Καθυστέρηση διάδοσης μέσω επίγειων ζεύξεων

$$\begin{aligned} PROP_{ΒΓ2Γ1Α} &= PROP_{ΒΓ2} + PROP_{Γ1Γ2} + PROP_{Γ1Α} = \\ &= \frac{10 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/sec}} + \frac{100 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/sec}} + \frac{10 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/sec}} = 4.0 \cdot 10^{-4} \text{ sec} \end{aligned}$$

Συνολικός χρόνος μετάδοσης πακέτου και λήψης επιβεβαίωσης

$$S = TRANSP_{ΑΣΙΒ} + TRANSA_{ΒΓ2Γ1Α} + PROP_{ΑΣΙΒ} + PROP_{ΒΓ2Γ1Α} = 0.2007137 \text{ sec}$$

# Σενάριο A



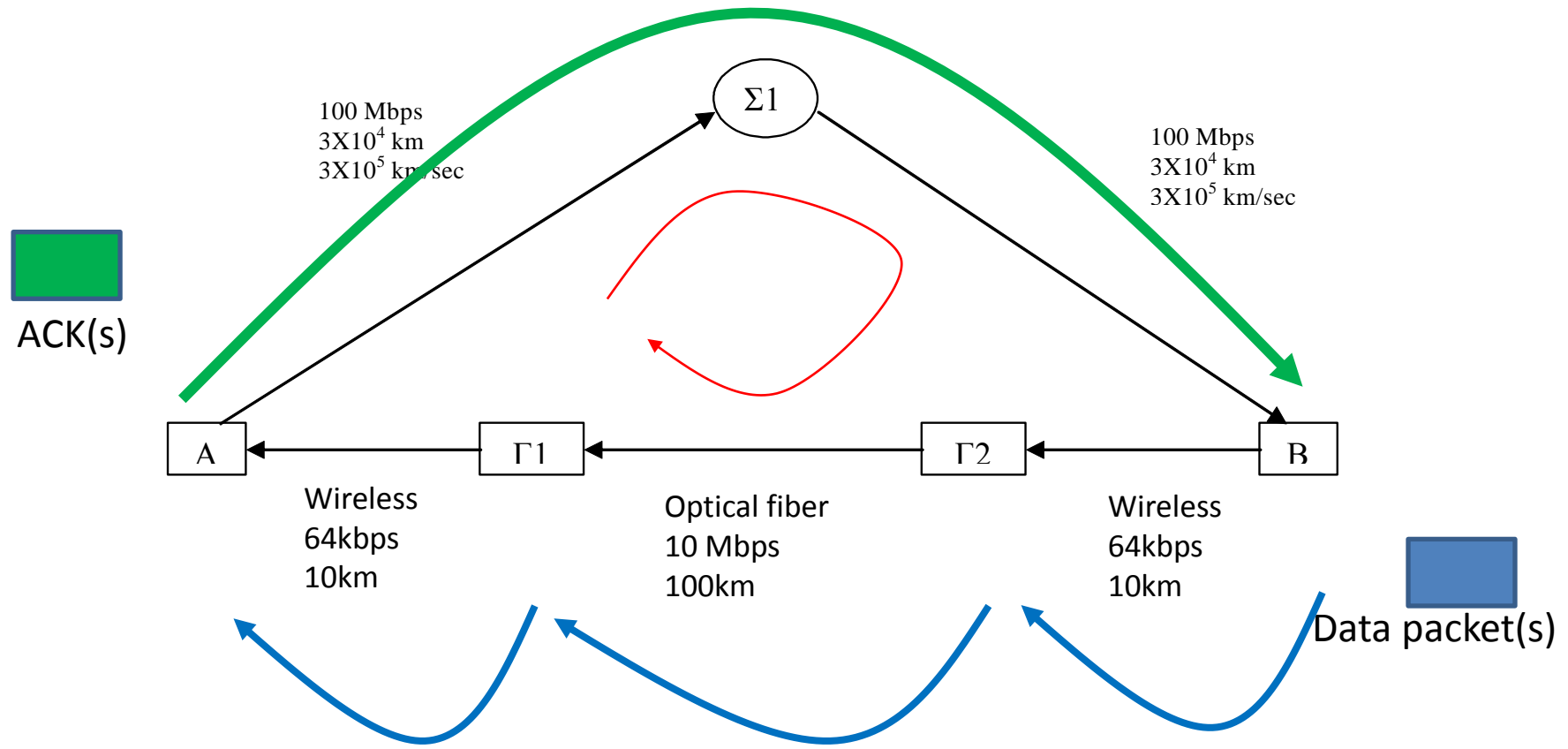
Απόδοση ABP

$$n_{ABP} = \frac{TRANSP_{ΑΣ1}}{S} = \frac{10^{-7}}{0.2007137} = 4.982 \cdot 10^{-7}$$

Απόδοση GBN

$$n_{GBN} = \min \left\{ 1, \frac{W \times TRANSP_{ΑΣ1}}{S} \right\}$$
$$n_{GBN} = \min \left\{ 1, \frac{128 \times TRANSP_{ΑΣ1}}{S} \right\} = \min \left\{ 1, \frac{128 \cdot 10^{-7}}{0.2007137} \right\} = \min \left\{ 1, 637.72 \cdot 10^{-7} \right\} = 637.72 \cdot 10^{-7}$$

# Σενάριο Β



## (b) ABP

$$n_{ABP} = \frac{TRANSP_{B\Gamma 2}}{S} = \frac{1.5625 \cdot 10^{-4}}{0.2007137} = 7.7847 \cdot 10^{-4}$$

## GBN

$$n_{GBN} = \left\{ 1, \frac{W \times TRANSP_{B\Gamma 2}}{S} \right\} \Rightarrow n_{GBN} = \min \left\{ 1, \frac{128 \times 1.5625 \cdot 10^{-4}}{0.2007137} \right\} = 9.9644 \cdot 10^{-2} \cong 0.1$$

(γ) Σε όλες τις ζεύξεις έχουμε τον ίδιο ρυθμό εσφαλμένων πακέτων (Packet Error Rate- PER), άρα η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης πακέτου και λήψης επιβεβαίωσης ισούται με:

$$p = (1 - PER)^5 = 0.59$$

Ελάχιστος χρόνος προθεσμίας:  $T_{min}=S$

**Απόδοση ABP**

$$n_{ABP} = \frac{p \times TRANSP}{pS + (1 - p)T} = \frac{p \times TRANSP}{S}$$

(i). Για το σενάριο A έχουμε

$$n_{ABP} = \frac{p \times TRANSP'_{ΑΣ1}}{S} \quad TRANSP_{ΑΣ1} = \frac{10bits}{100Mbps} = 10^{-7}$$

$$n_{ABP} = \frac{p \times TRANSP_{ΑΣ1}}{S} = \frac{0.59 \times 10^{-7}}{0.2007137} = 2.9395 \cdot 10^{-7}$$

(ii) Για το σενάριο B έχουμε:

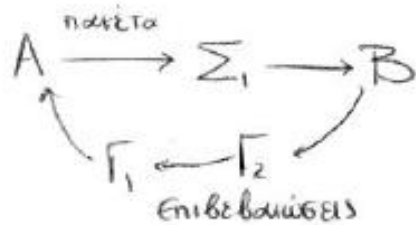
$$n_{ABP} = \frac{p \times TRANSP_{BΓ2}}{S} \quad n_{ABP} = \frac{p \times TRANSP_{BΓ2}}{S} = \frac{0.59 \cdot 1.5625 \cdot 10^{-4}}{0.2007137} = 4.5929 \cdot 10^{-4}$$

$$TRANSP_{BΓ2} = \frac{10bits}{64Kbps} = 1.5625 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$



*Στις επόμενες διαφάνειες παρατίθεται η λύση της ίδιας άσκησης με πιο αναλυτικές πράξεις*

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



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

ΕΑΠ/ΠΛΗ-22/ΑΘΗ.4/1η ΟΣΣ /  
19.10.2014 / Ν.Δημητρίου

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

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

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

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

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

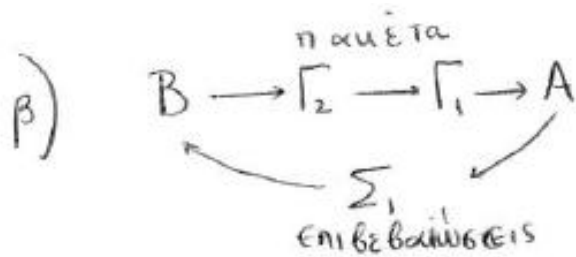
$$\text{TRANSA}(\Gamma_2 \Gamma_1) = \frac{\text{Ack.Size}}{R(\Gamma_2 \Gamma_1)} = \frac{10 \text{ bits}}{10 \text{ Mbps}} = 10^{-6} \text{ sec}$$

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

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

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

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



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

οπότε,

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

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

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

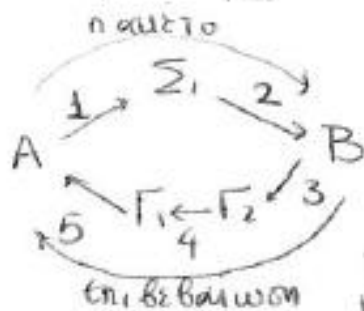
και

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

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 συνδέσεις

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

Τα  $A_{\Sigma_1}, \Sigma_1 B, B\Gamma_2, \Gamma_2\Gamma_1, \Gamma_1 A$  είναι ανεξάρτητα # μεταξί 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.

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

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

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

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

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

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

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

SUCC SUCC SUCC SUCC

# Ενδεικτικά λυμένες ασκήσεις



## Παράδειγμα 4.4 σελ.107

Πρωτόκολλο ABP

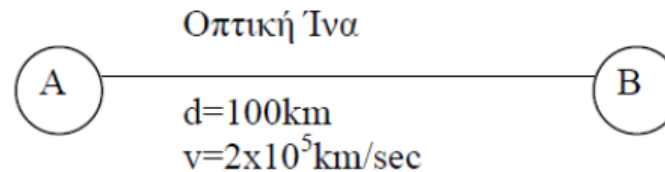
Packet Size=1024 bits

Ack.Size=1024 bits

p(success)=100%

R=64kbps

$n_{ABP}=?$



$$TRANSP(AB) = \frac{Packet\_Size}{R}$$

$$PROP(AB) = PROP(BA) = \frac{d}{v}$$

$$TRANSA(BA) = \frac{Ack\_Size}{R}$$

ΠΡΟΣΟΧΗ! Στο βιβλίο χρησιμοποιείται η σύμβαση 1kbps=1024 bps και 1Mbps=1024<sup>2</sup> bps

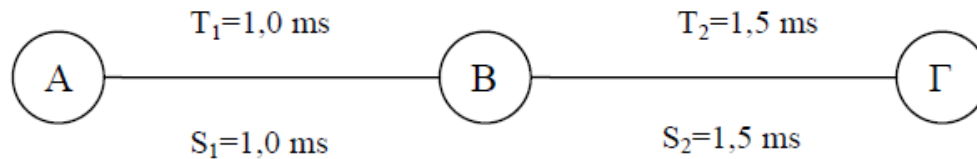
Και οι 2 συμβάσεις είναι σωστές (για τις ασκήσεις προτιμότερη είναι η σύμβαση 1kbps=10<sup>3</sup> bps και 1Mbps=10<sup>6</sup> bps)

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

$$n_{ABP} = \frac{TRANSP(AB)}{S}$$

# ΕΞ2007Α/Θ6

**ΘΕΜΑ 6** - Έστω σταθμός Α που επικοινωνεί με σταθμό Γ μέσω ενός σταθμού Β και δύο συνδέσμων (σύνδεσμος 1 μεταξύ ΑΒ, και σύνδεσμος 2 μεταξύ ΒΓ). 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  $S_1=T_1=1,0\text{ms}$  και  $S_2=T_2=1,5\text{ms}$ .



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 Α και Γ (end-to-end), ενώ ο Β 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 Α,Β και των σταθμών Β,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:

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

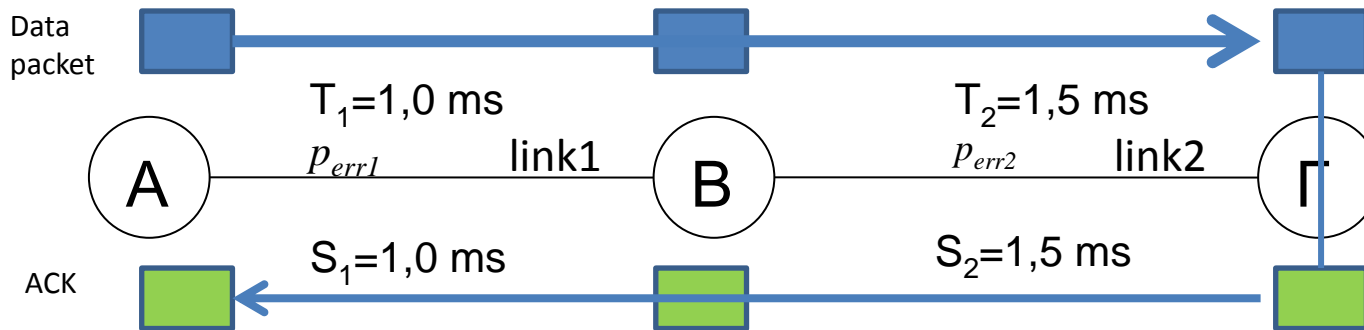
ΕΑΠ/ΠΛΗ-22/ΑΘΗ.4/ 1η ΟΣΣ /  
19.10.2014 / Ν.Δημητρίου

## 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’

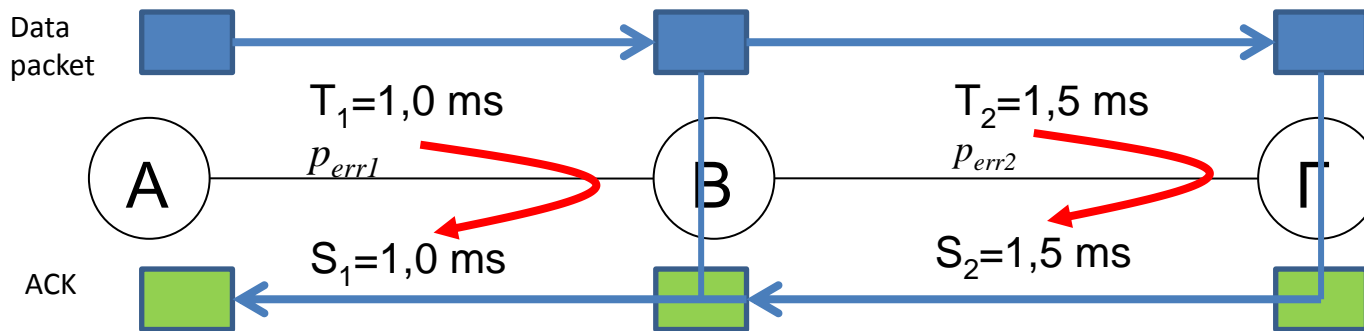
$$\begin{aligned} p_{12} &= P(\text{success, data\_packet\_in\_link\_1}) \times P(\text{success, data\_packet\_in\_link\_2}) \times \\ &\times P(\text{success, ACK\_in\_link\_2}) \times P(\text{success, ACK\_in\_link\_1}) = \\ &= (1 - p_{err1}) \times (1 - p_{err2}) \times (1 - p_{err2}) \times (1 -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

# 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

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

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

# 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  $3^{ov}$  βαθμού ( $k=3$ ), 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  $156*6=936 \text{ bits/sec}$

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

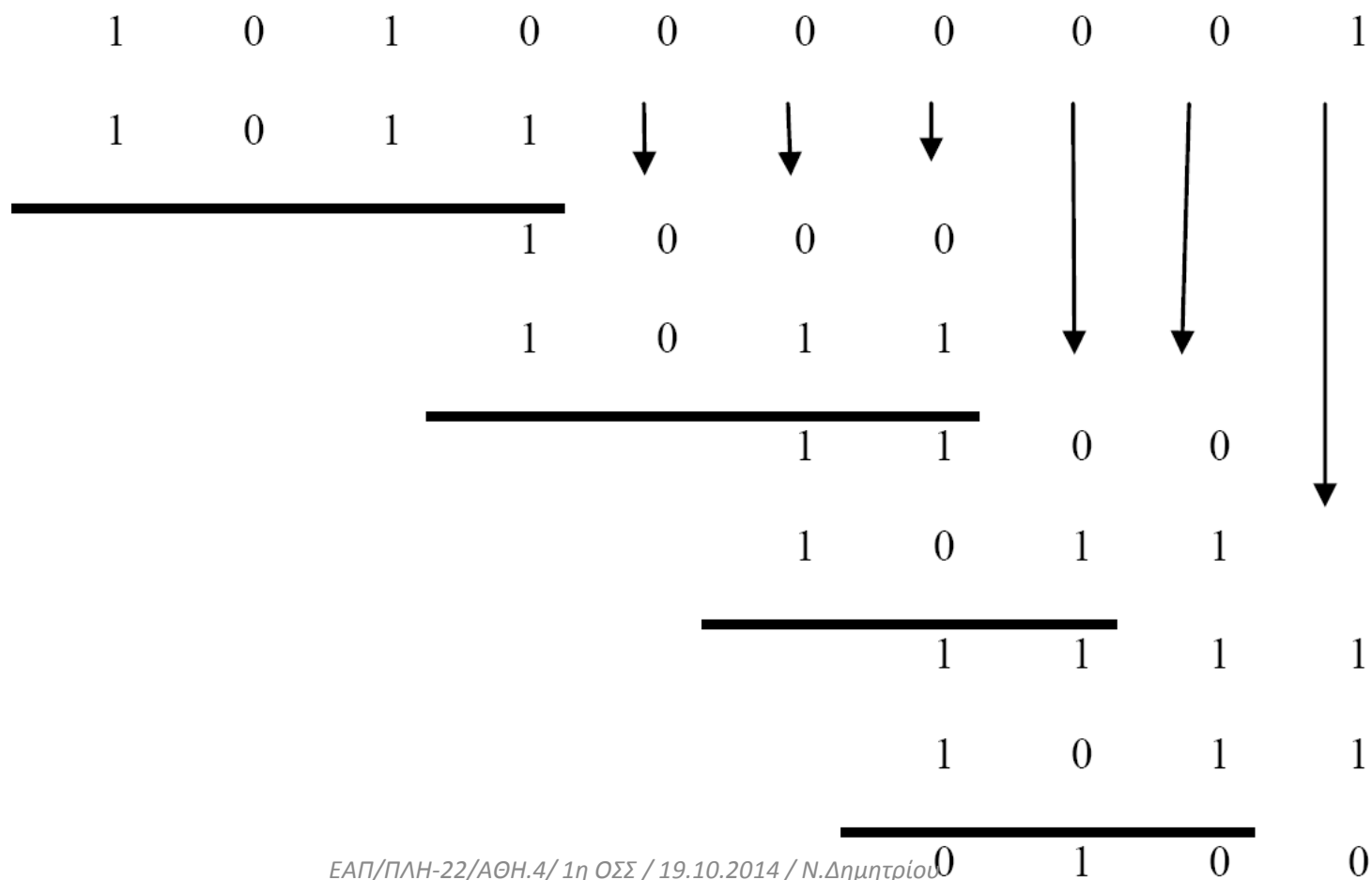
$$\lambda = n * R = 0,624 * 5000 = 3120 \text{ bits/sec} \quad (9)$$

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

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

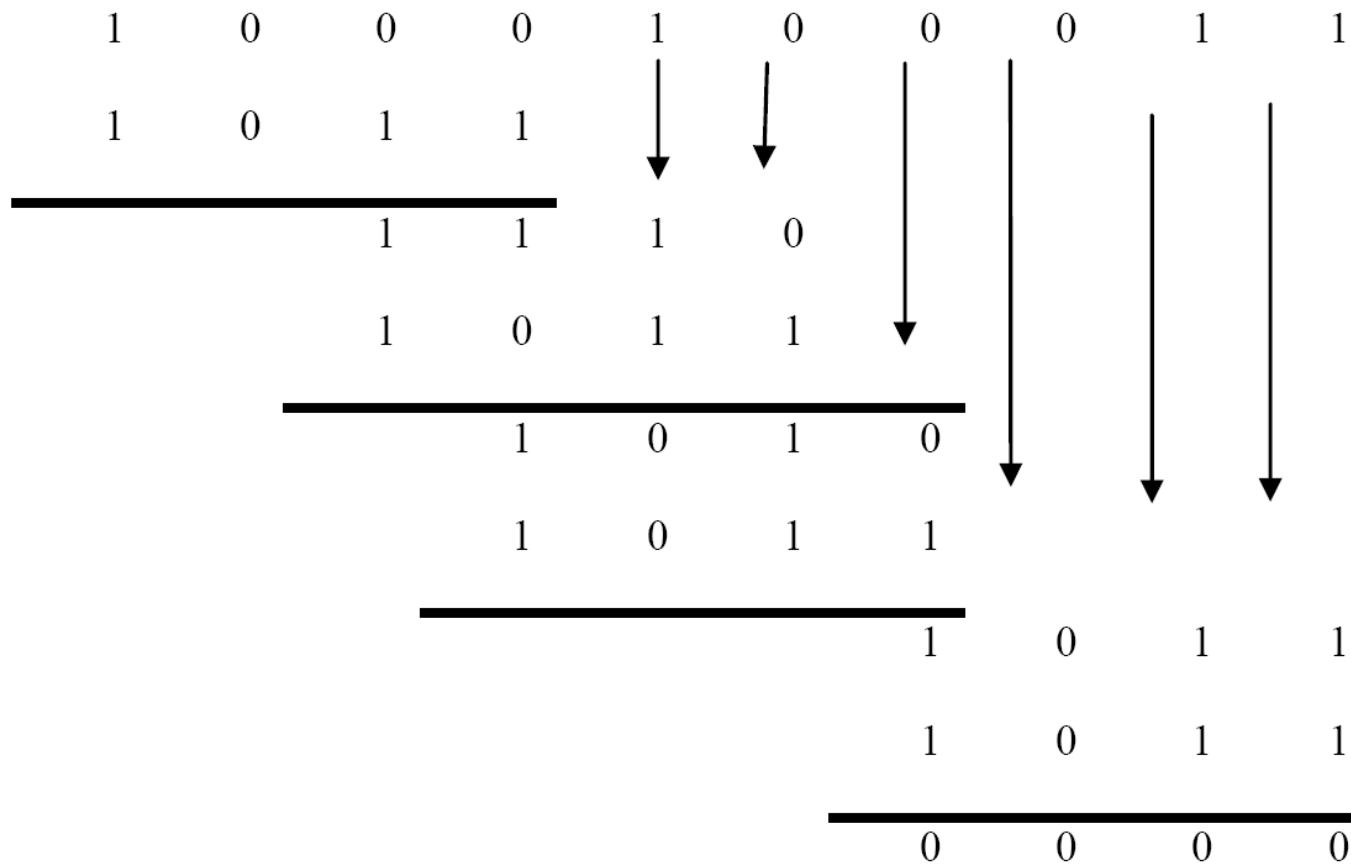
γ) Άρα για να διαπιστώσουμε εάν ο παραλήπτης κόμβος έχει τη δυνατότητα εντοπισμού του λάθους αρκεί να βρει ότι το υπόλοιπο της διαίρεσης  $E(x)/G(x)$  είναι διάφορο του μηδενός.

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**

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  $\eta_P = 10\%$   $P_F = 0,05 \Rightarrow P_S = 0,95$

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

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

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

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

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

*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 ρυθμαπόδοση (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 δίνει 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:

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

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:**

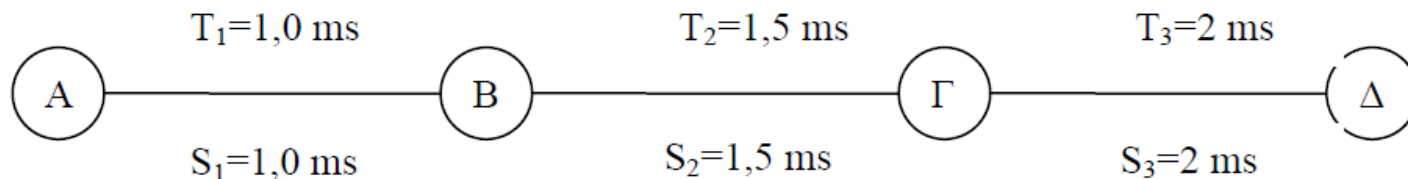
$$G_{LEO} = G_{OPT} \Leftrightarrow T_{LEO} \cdot (1 - 20\%) = G_{OPT} \Leftrightarrow n_{LEO} R_{LEO} \cdot 0.8 = G_{OPT} \Leftrightarrow$$

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



### 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 ΒΓ, 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

### Θέμα 3 ΓΕ3 /0506

Υποθέστε την μετάδοση ενός αρχείου μεγέθους  $F=M \cdot L$  bits μέσω  $Q$  ζεύξεων. Η κάθε ζεύξη μεταδίδει με ρυθμό  $R$  bps. Το δίκτυο διατρέχεται από περιορισμένη κίνηση με αποτέλεσμα η καθυστέρηση αναμονής να είναι μηδενική. Όταν χρησιμοποιείται μεταγωγή πακέτου, τα  $M \cdot L$  bits οργανώνονται σε  $M$  πακέτα των  $L$  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  $t_s$  sec. Υποθέστε ότι το πρωτόκολλο εκπομπής προσθέτει επικεφαλίδα  $h$  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 ασυνδεσμική (connectionless) υπηρεσία. Το κάθε πακέτο φέρει επικεφαλίδα  $2h$  bits. Πόσος χρόνος απαιτείται για την μεταφορά του αρχείου.

**Γ.** Επαναλάβετε το ερώτημα (B) αλλά με μεταγωγή μηνύματος, δηλαδή στο μήνυμα προστίθενται επικεφαλίδα  $2h$  bits και το μήνυμα δεν κατατμείται.

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

A. Ο χρόνος για την μετάδοση ενός πακέτου σε μία ζεύξη είναι  $(L + h) / R$ . Ο χρόνος για την παράδοση του πρώτου από τα  $M$  πακέτα στο προορισμό είναι  $Q(L + h) / R$ . Κάθε  $(L + h) / R$  seconds ένα νέο πακέτο από τα υπολειπόμενα  $M - 1$  πακέτα φτάνει στον προορισμό. Κατά συνέπεια, η συνολική καθυστέρηση είναι

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

B.  $(Q + M - 1)(L + 2h) / R$

Γ. Ο χρόνος που απαιτείται για την μετάδοσης ενός μηνύματος σε μία ζεύξη είναι  $(LM + 2h) / R$ . Ο χρόνος που απαιτείται για την μετάδοση του μηνύματος σε  $Q$  ζεύξεις είναι  $Q(LM + 2h) / R$ .

Δ. Η συνολική καθυστέρηση είναι

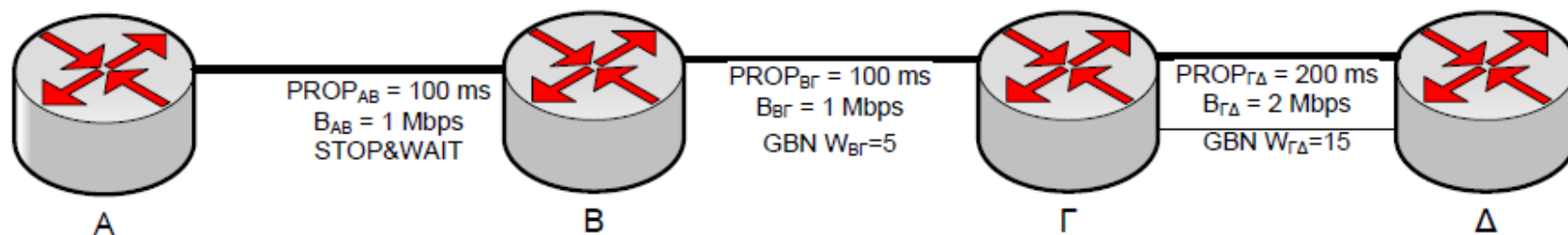
$$t_s + (h + ML) / R.$$



## ΘΕΜΑ 5 / ΓΕ3 1112

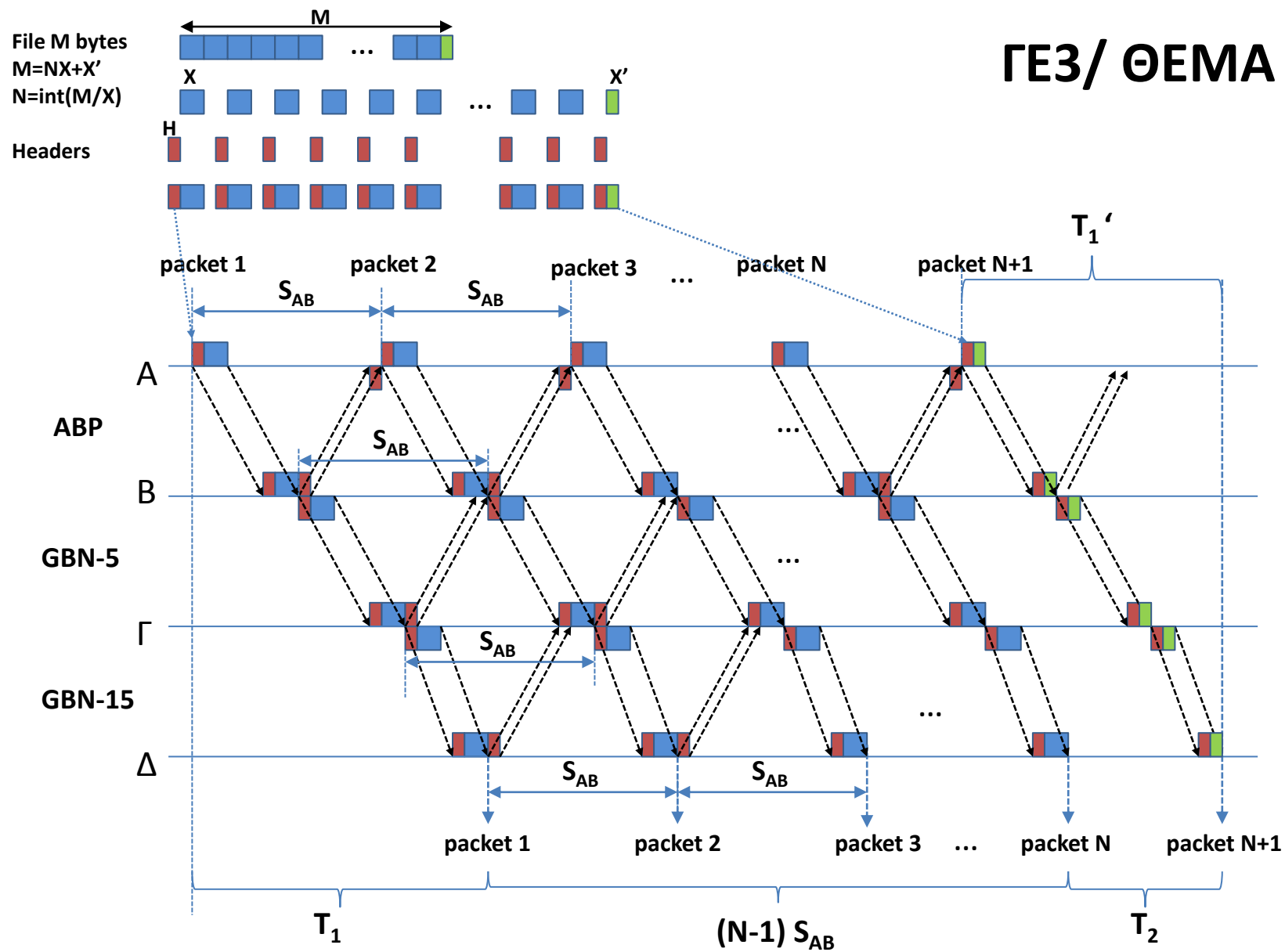
*Στόχος της άσκησης είναι η εξοικείωση με την μεταγωγή πακέτων και την μεταγωγή κυκλώματος, όπως επίσης και με τα βασικά πρωτόκολλα επανεκπομπής. Σχετικές ασκήσεις: ΓΕ3/0405/Θ3, ΓΕ5/0506/Θ7, ΓΕ3/0506/Θ3, ΓΕ5/0607/Θ5, ΓΕ5/0910/Θ5, ΓΕ3/1011/Θ6*

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



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

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

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

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

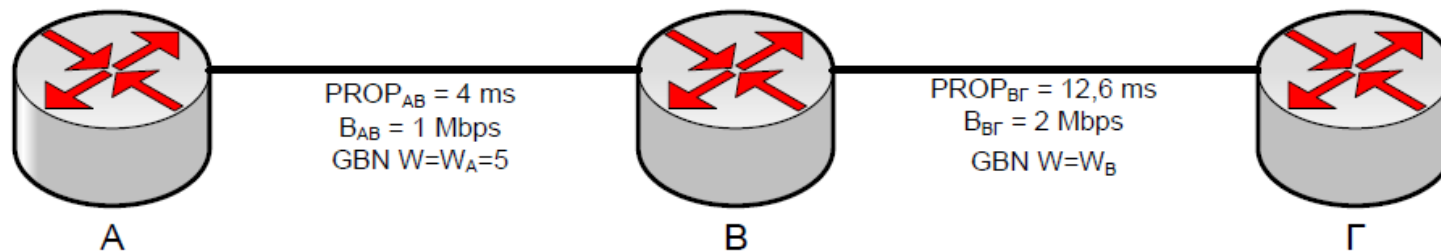
$$T = T_1 + (N-1)S_{AB} + T_2$$

*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)

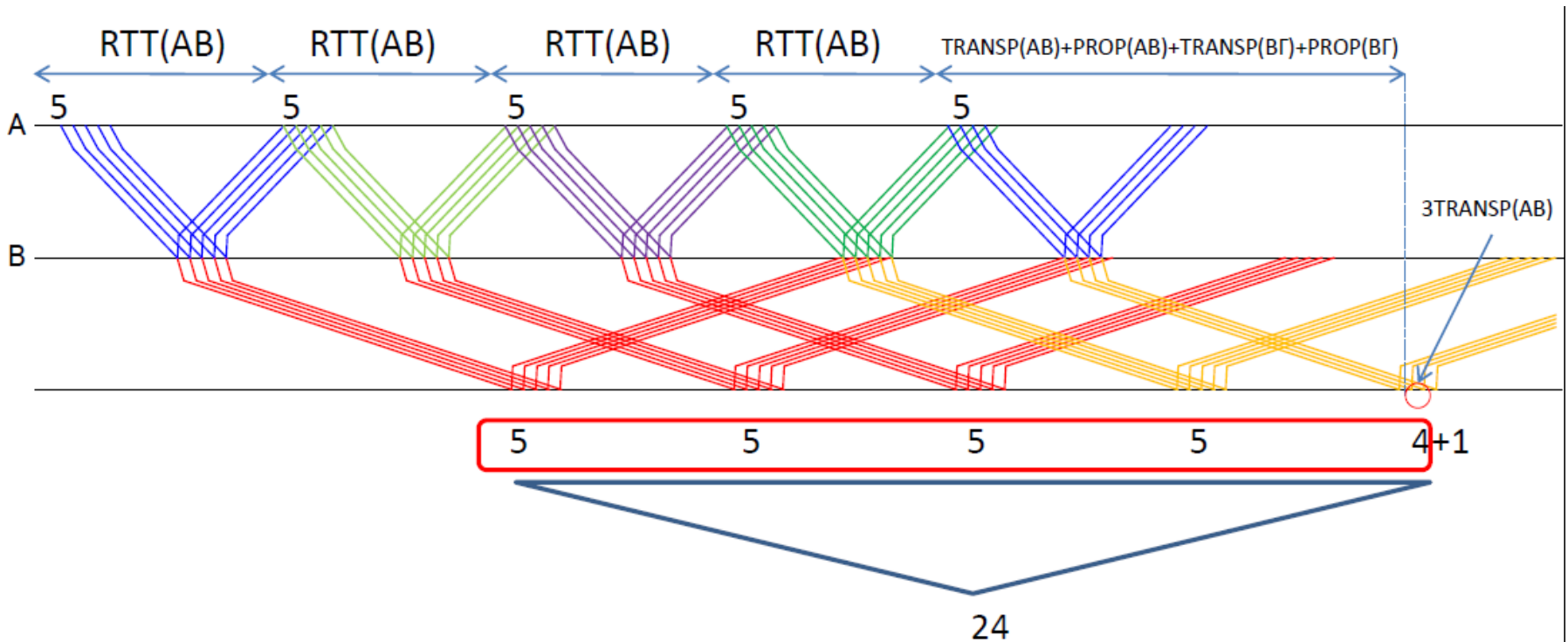
Για να μεταδίδει ο Β ότι πακέτο λαμβάνει από τον Α αμέσως θα πρέπει να μη δημιουργείται συμφόρηση στον Β. Η απαραίτητη συνθήκη είναι η ρυθμαπόδοση του συνδέσμου Α-Β να είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με τη ρυθμαπόδοση του συνδέσμου Β-Γ

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

(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.

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



Δύο κόμβοι Α και Β συνδέονται μεταξύ τους σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα. Πλαίσια δεδομένων και επιβεβαίωσης μεταφέρονται από τον κόμβο Α στον κόμβο Β 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 Α έως Β end-to-end) με μέγεθος παραθύρου 100.
- Μέσω επίγειας ζεύξης με οπτική ίνα. Η απόσταση μεταξύ των σημείων Α και Β 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.

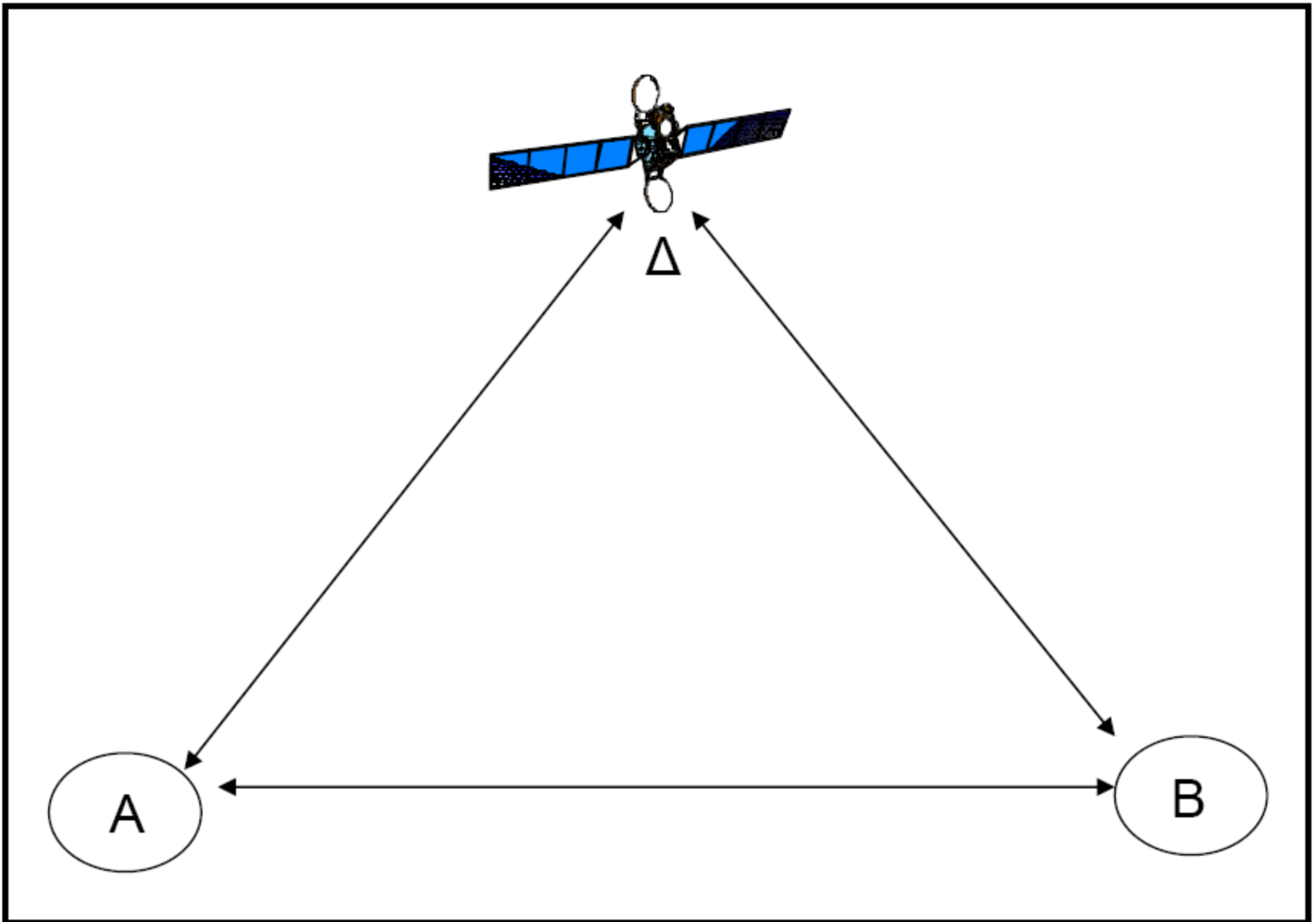
Το μέγεθος των πακέτων δεδομένων και επιβεβαίωσης είναι 1kbits.

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

**Β.** Να βρεθεί η διαμετακομιστική ικανότητα (ή ρυθμαπόδοση) για τη δορυφορική ζεύξη Α-Β 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 Α-Β υποθέτοντας μηδενικό ρυθμό σφαλμάτων στη μετάδοση των πακέτων.

**Δ.** Υποθέτοντας ότι στην επίγεια ζεύξη Α-Β χρησιμοποιείται πρωτόκολλο επανεκπομπής ABP με μηδενικό ρυθμό σφαλμάτων στη μετάδοση των πακέτων και ότι για τη δορυφορική ζεύξη Α-Β ισχύουν τα δεδομένα του ερωτήματος (Β), να υπολογίσετε την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των κόμβων Α,Β 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 ζεύξης, θα πρέπει να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση σε σχέση με την επίγεια ζεύξη, δηλ.

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

ΕΑΠ/ΠΛΗ-22/ΑΘΗ.4/ 1η ΟΣΣ / 19.10.2014 /  
Ν.Δημητρίου

## ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2006B

**ΘΕΜΑ 7** - Σύμφωνα με το ακόλουθο σχήμα οι κόμβοι A και B συνδέονται έμμεσα μέσω των συνδέσμων A\_O1, 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:

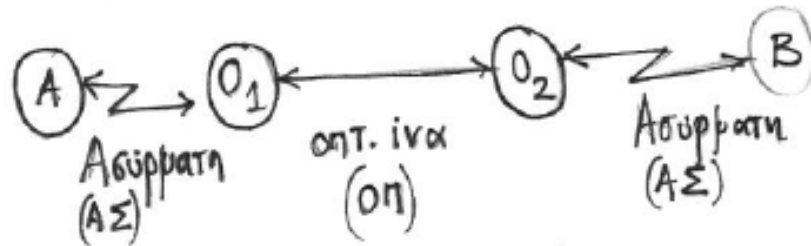
- (i) ABP εφαρμόζεται από άκρη σε άκρη από το A στο B.
- (ii) ABP εφαρμόζεται μόνο σε κάθε ασύρματη ζεύξη.
- (iii) GBN εφαρμόζεται από άκρη σε άκρη από το A στο B.
- (iv) GBN εφαρμόζεται μόνο σε κάθε ασύρματη ζεύξη.

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



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

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

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

$$R_{O_1,O_2} = 50 \text{ Mbps} \quad \text{Pr}op_i = \epsilon \delta = 0 \text{ (ηαντιού)}$$

(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

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

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

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

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

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

$$\text{TRANSP}(O_1, O_2) = \text{TRANSA}(O_2, O_1) = \frac{\langle P \rangle}{R_{O_1, O_2}} = \frac{10^3 \text{ bits}}{50 \cdot 10^6 \text{ bps}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ sec}$$

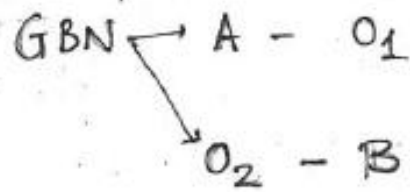
$$\text{TRANSP}(O_2, B) = \text{TRANSA}(B, O_2) = \frac{\langle P \rangle}{R_{O_2, B}} = \frac{10^3 \text{ bits}}{10 \cdot 10^3 \text{ bps}} = 0,1 \text{ sec}$$

Δίνεται  $\text{PROP}(i) = 0$   
011

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

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

Περίπτωση (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

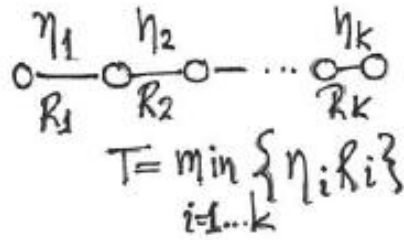
$$P_S \quad (A \rightarrow O_1) = P_S \quad (O_1 A) = P_S (B O_2) = P_S (O_2 B) = 0,9$$

$$T = RTT$$

$\Delta I$ , throughput = ?

(Διαφραγμασμένη Ικανότητα)

$$T = \eta \cdot R$$



(i) ABP end-to-end

$$P_{S,ABA} = P_S(AO_1) \cdot P_S(O_2B) \cdot P_S(BO_2) \cdot P_S(O_1A) = 0,9^4 = 0,65$$

$$\eta_{ABA} = P_{S,ABA} \frac{TRANSPAO_1}{RTT} = 0,65 \cdot \frac{0,2 \text{ sec}}{0,6 \text{ sec}} = 0,22$$

$$\begin{aligned}
 T &= \min \{ \eta_{AO_1} R_{AO_1}, \eta_{O_1O_2} R_{O_1O_2}, \eta_{O_2B} R_{O_2B} \} = \\
 &= \min \{ \eta_{ABA} R_{AO_1}, \eta_{ABA} R_{O_1O_2}, \eta_{ABA} R_{O_2B} \} = \\
 &= \eta_{ABA} \cdot \min \{ R_{AO_1}, R_{O_1O_2}, R_{O_2B} \} = \\
 &= 0,22 \cdot \min \{ 5 \text{ kbps}, 50 \text{ Mbps}, 10 \text{ kbps} \} = 0,22 \cdot 5 \text{ kbps} = 1083 \text{ bps}
 \end{aligned}$$



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

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

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

$$\begin{aligned} T &= \min \{ \eta_i R_i \} = \min \{ \eta_{AO_1A} R_{AO_1}, \frac{1}{2} R_{O_1O_2}, \eta_{O_2BO_2} R_{O_2B} \} = \\ &= \min \{ 0,405 \cdot 5 \text{ kbps}, 50 \text{ Mbps}, 0,405 \cdot 10 \text{ kbps} \} = 0,405 \cdot 5 \text{ kbps} = 2025 \text{ bps} \end{aligned}$$

(iii) end to end GBN

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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