

ΕΑΠ ΘΕ ΠΛΗ-22/ΗΛΕ.41

1^η ΟΣΣ

16/10/2021

Νίκος Δημητρίου

*Σημείωση: Οι διαφάνειες αυτές βασίζονται στην παρουσίαση
PLH22_OSS1_Networks_2021_2022_v3.pptx που είναι διαθέσιμη στο 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 ≥ 25
- Επιτυχής εξέταση
 - Βαθμός Εξετάσεων ≥ 5
- Τελικός Βαθμός
 - $70\% \times \text{Βαθμ.Εξετασης} + 30\% \times \text{Μ.Ο.Βαθμ.Εργασιών}$

Πρόσθετα

- Τηλεδιασκέψεις
- Εξάσκηση
- 6^η / έκτακτη ΟΣΣ
- Site με υλικό (φετινό, έτη 2012-2018)
 - <http://users.iit.demokritos.gr/~nikodim/index.html>
- Παλιό site της ΠΛΗ-22
 - <http://p-comp.di.uoa.gr/eap/index.html>

Γραπτές Εργασίες

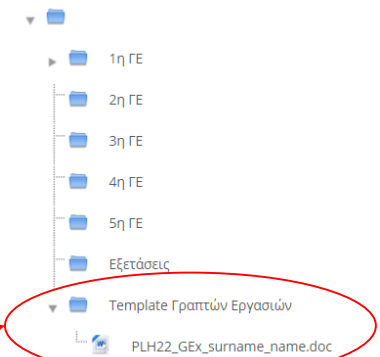
- Υποβολή εργασιών μέσω study.eap.gr
- 1 ενιαίο αρχείο MS.Word format για σχόλια [Μέγεθος < 2MB]
- Μαθηματικές εκφράσεις είτε μέσω MS Equation είτε μέσω εφαρμογών όπως π.χ. Mathtype : <https://www.wiris.com/en/mathtype/>
- Καταληκτική Ημέρα: Τετάρτη 23:59
- Μεγαλύτερο περιθώριο: Συνεννόηση ΣΕΠ-Συντονιστή
- *Καταληκτική Ημερομηνία Διόρθωσης: 3 εβδομάδες μετά τη δημοσίευση των λύσεων*
- **Σκοπός Εργασιών: Μάθηση / Εξάσκηση / Προετοιμασία για τις εξετάσεις**
- **Ναι στη Συνεργασία - Όχι στην Αντιγραφή**

Ενημερωτικά

- Ενημερωθείτε για τον κανονισμό σπουδών
 - <https://www.eap.gr/education/study-regulations/>
- Γενικά περί ΠΛΗ22
- Σωστή διαχείριση του χρόνου σας για την εμπρόθεσμη κατάθεση της ΓΕ
 - Δεν θα γίνονται δεκτές εκπρόθεσμες εργασίες
 - Δεν θα δίνονται παρατάσεις
 - Όχι αντιγραφές! (θα μηδενίζονται και θα παίρνουν -2)
 - Δεν γίνονται δεκτές σκαναρισμένες χειρόγραφες εργασίες
 - Δυσκολία στη διόρθωση
- Ερωτήματα και απορίες στο forum
- ΓΕ μόνο σε format word με τη χρήση του template
- Κατάθεση στο study σε Word & pdf
- Όχι σκαναρισμένες χειρόγραφες εργασίες
 - Δυσκολία στη διόρθωση

Εργασίες

Φάκελος Γραπτών Εργασιών



Οριζόντια ΟΣΣ

- Υπεύθυνος Σ-Κ: Απόστολος Γκάμας
- Ανακοινώθηκε το χρονοδιάγραμμα των Οριζοντίων ΟΣΣ
 - Βοηθητικό Υλικό ΟΣΣ → ΟΣΣ 2021-2022 → Οριζόντια ΟΣΣ
 - PLH22_meleti_Or_OSS_v02
- Αίθουσα Τηλεδιάσκεψης
 - <https://hou.webex.com/meet/gkamas.apostolos>
- Κάθε Τετάρτη στις 20:30 εκτός από τις εβδομάδες που υπάρχει παράδοση ΓΕ
 - 1η Οριζόντια ΟΣΣ, Τετάρτη 20/10

ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΓΡΑΠΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ Θ.Ε.ΠΛΗ22 ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ ΕΤΟΥΣ 2021-2022						
Α/Α ΕΒΔΟΜΑ ΔΩΝ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ Σ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΑΠΟ)	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΕΩΣ)	ΚΕΦΑΛΑΙΑ	ΓΡΑΠΤΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΟΣΣ τμημάτων	Αντικείμενο Οριζόντιας ΟΣΣ
1	4/10/2021	10/10/2021	ΤΟΜΟΣ Γ ΚΕΦ 1.2, ΚΕΦ 1.3, ΚΕΦ1.4, ΚΕΦ1.5 BIBΛΙΟ ΕΥΔΟΣΟΣ ΚΕΦ. 1.1-1.4			
2	11/10/2021	17/10/2021	ΤΟΜΟΣ Γ, ΚΕΦ. 2 BIBΛΙΟ ΕΥΔΟΣΟΣ ΚΕΦ. 1.5 (1.5.1, 1.5.2)		1η ΟΣΣ	
3	18/10/2021	24/10/2021	ΤΟΜΟΣ Γ, ΚΕΦ. 2, ΚΕΦ.3 BIBΛΙΟ ΕΥΔΟΣΟΣ ΚΕΦ. 6.2 (6.2.1 έως 6.2.3)			Δίκτυα 1: Εισαγωγικά θέματα (ενθυλάκωση κλπ), Ασκήσεις σε δίκτυα Store and Forward
4	25/10/2021	31/10/2021	ΤΟΜΟΣ Γ, ΚΕΦ.4 BIBΛΙΟ ΕΥΔΟΣΟΣ ΚΕΦ. 3.4 (3.4.1 έως 3.4.4)			Δίκτυα 2: Ασκήσεις σε πρωτόκολλα επανεκπομπής (ABP, GBN, SRP)
5	1/11/2021	7/11/2021	ΤΟΜΟΣ Γ, ΚΕΦ. 5 BIBΛΙΟ ΕΥΔΟΣΟΣ ΚΕΦ. 6.3 (6.3.1 έως 6.4.4))			Δίκτυα 3: Τοπικά δίκτυα / Ασκήσεις CSMA/CD / Ασκήσεις CRC
6	8/11/2021	14/11/2021	ΤΟΜΟΣ Γ, ΚΕΦ. 5 BIBΛΙΟ ΕΥΔΟΣΟΣ ΚΕΦ. 6.3 (6.3.1 έως 6.4.4) BIBΛΙΟ ΕΥΔΟΣΟΣ ΚΕΦ. 7.3 (7.3.1 - 7.3.6)	1η Εργασία		Δίκτυα 4: Ασκήσεις σε επίπεδο 2 (Hub, Ethernet, VLANs)
7	15/11/2021	21/11/2021	ΤΟΜΟΣ Β-ΜΕΡΟΣ Α, ΚΕΦ 1 ΤΟΜΟΣ Β-ΜΕΡΟΣ Β, ΚΕΦ 1	Παράδοση 1ης Εργασίας		

Επικοινωνία

- Κινητό : 6944 569818
- Email
 - dimitriou.nikolaos@ac.eap.gr
 - nikodim@iit.demokritos.gr

Γνωστικό Αντικείμενο ΠΛΗ-22

- **Δίκτυα Η/Υ** Τόμος Γ / βιβλίο Kurose - Ross
 - 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

- Δίκτυα Υπολογιστών (ΟΣΣ 1 – ΓΕ 1)
- Ψηφιακές Επικοινωνίες (ΟΣΣ 2,3 – ΓΕ 2,3)
 - Τόμος Β:
 - ΟΣΣ/ΓΕ 2: Σήματα/Συστήματα, ΜΣ Fourier
 - ΟΣΣ/ΓΕ 3: Αναλογικές/Ψηφιακές Διαμορφώσεις, Δειγματοληψία
- Θεωρία Πληροφορίας (ΟΣΣ 4,5 – ΓΕ 4,5)
 - Τόμος Α:
 - ΟΣΣ/ΓΕ 4: Μέτρα Πληροφορίας, Κωδικοποίηση Πηγής, Κανάλια Επικοινωνίας
 - ΟΣΣ/ΓΕ 5: Κώδικες Διόρθωσης Σφαλμάτων
- Εξετάσεις:
 - (Δια Ζώσης: Διάρκεια 3 ½ ώρες)
 - Ανοικτά βιβλία
 - Βαρύτητα Τόμων ανάλογη της βαρύτητάς τους στις εργασίες

Αναπαράσταση/Μετάδοση Σημάτων



Τόμοι Β(I,II)

Δειγματοληψία / Κβάντιση / Ψηφιοποίηση



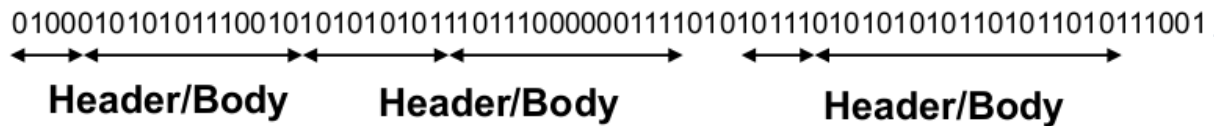
Τόμοι Β(I,II)

Κωδικοποίηση Πηγής/Καναλιού

0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1

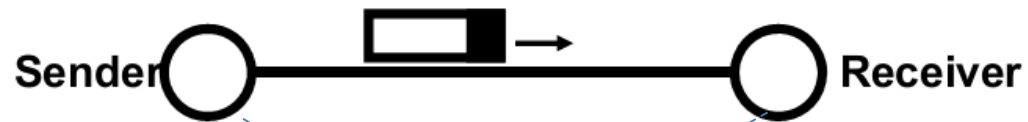
Τόμος Α

Οργάνωση bits σε πακέτα



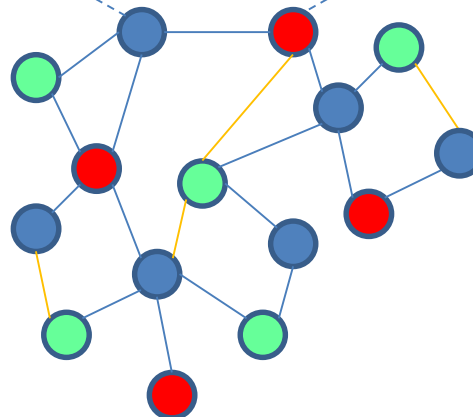
Τόμος Γ

Μετάδοση Πακέτων



Τόμος Γ

Δίκτυο



Δίκτυα Η/Υ

Τόμος Γ

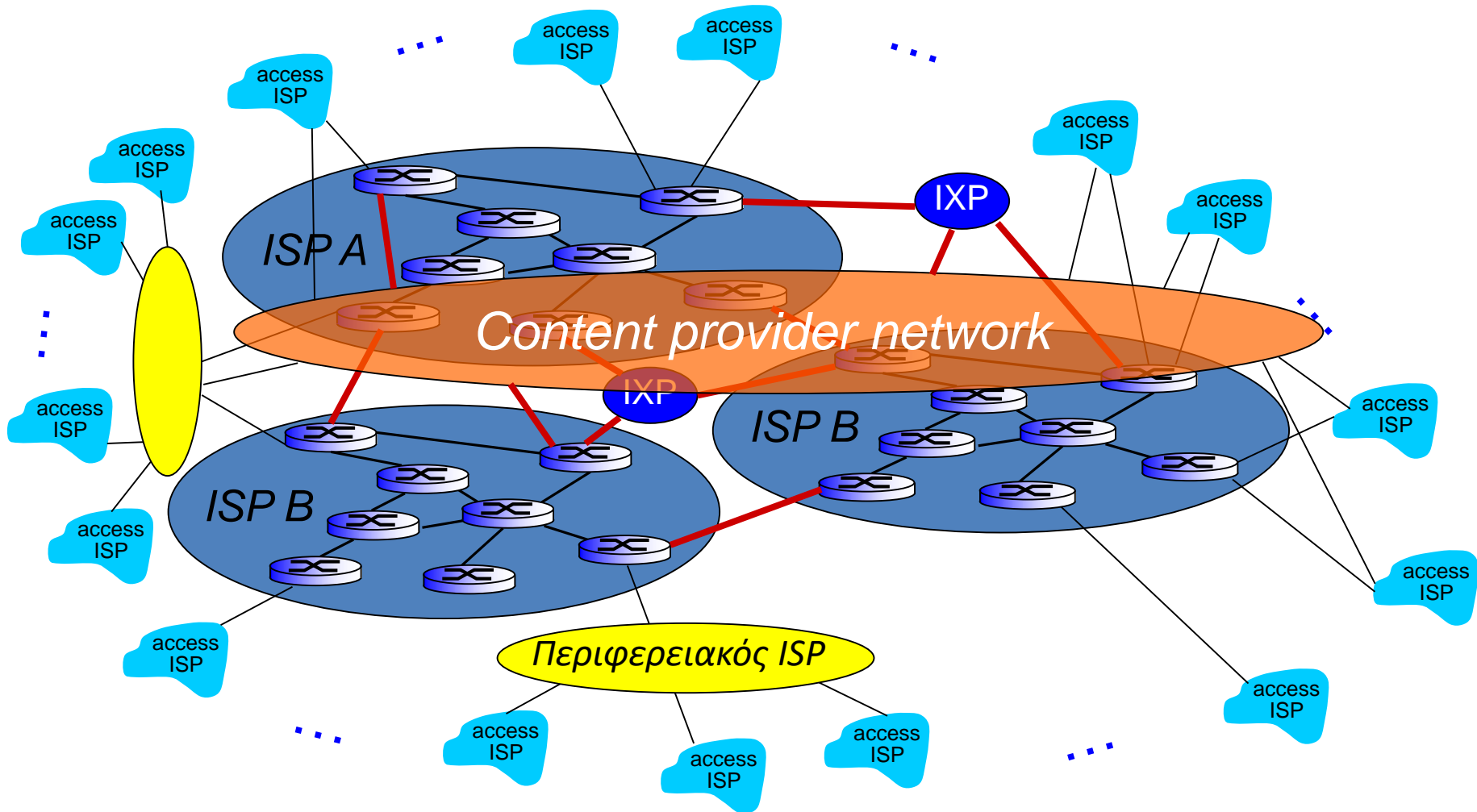
- Κεφ.1, Εισαγωγή στα Δίκτυα Η/Υ
 - Μεταγωγή κυκλώματος/Πακέτου
 - Μετάδοση-Προώθηση Πακέτων
 - Καθυστέρηση Μεταφοράς
 - Απόδοση Δικτύου
- Κεφ.2, Αρχιτεκτονική Δικτύου
 - Μοντέλο Αναφοράς OSI
 - Μοντέλο Διαδικτύου (TCP/IP)
- Κεφ.3, Απευθείας σύνδεση κόμβων
 - Πρωτόκολλα πλαισίωσης
 - Έλεγχος Σφαλμάτων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

Kurose-Ross

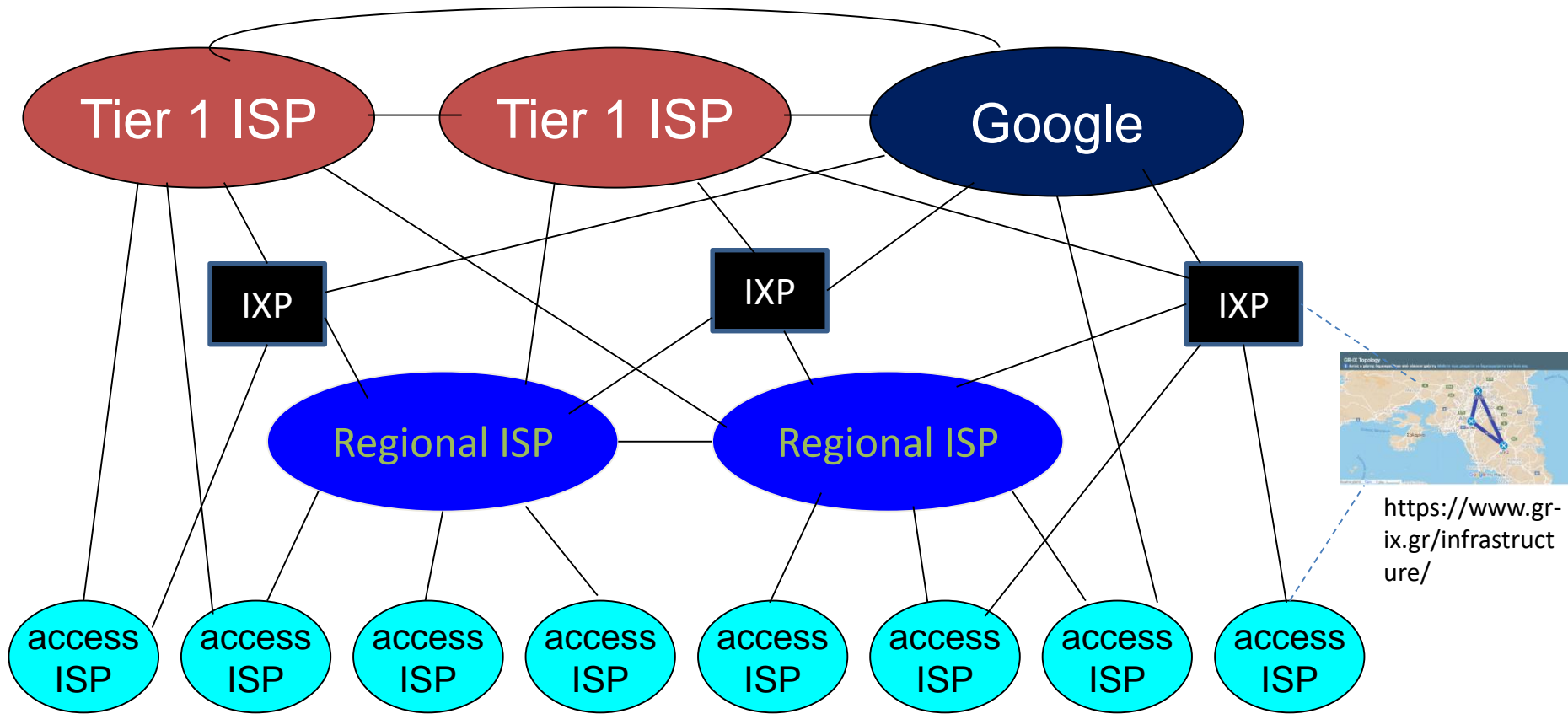
- 1.1 Τι Είναι το Διαδίκτυο;
- 1.2 Τα Άκρα των Δικτύων
- 1.3 Ο Πυρήνας του Δικτύου
- 1.4 Καθυστέρηση, Απώλεια και Διεκπεραιωτική Ικανότητα
- 1.5 Επίπεδα Πρωτοκόλλων και τα Μοντέλα Υπηρεσιών τους
- 6.2 Τεχνικές Ανίχνευσης και Διόρθωσης Σφαλμάτων
- 3.4 Αρχές Αξιόπιστης Μεταφοράς Δεδομένων
- 6.3 Πρωτόκολλα και Ζεύξεις Πολλαπλής Προσπέλασης
- 6.4.4 Εικονικά Δίκτυα Τοπικής Περιοχής (VLAN)

Εισαγωγικές Διαφάνειες

Internet : ένα δίκτυο επιμέρους δικτύων (I)



Internet : ένα δίκτυο επιμέρους δικτύων (II)



- Στον πυρήνα: μικρός αριθμός από καλά συνδεδεμένα μεγάλα δίκτυα
 - “**tier-1**” ISPs (π.χ., Level 3, Sprint, AT&T, NTT), με εθνική και διεθνή κάλυψη
 - **δίκτυα παρόχων περιεχομένου** (π.χ., Google): ιδιωτικά δίκτυα που διασυνδέουν τα κέντρα δεδομένων τους (data centers) στο Internet, συχνά αποφεύγοντας τους tier-1 και τους περιφερειακούς ISPs

Στο ακόλουθο βίντεο, του euro-ix, επεξηγείται ο ρόλος και η σημασία του IXP (δείτε το link):

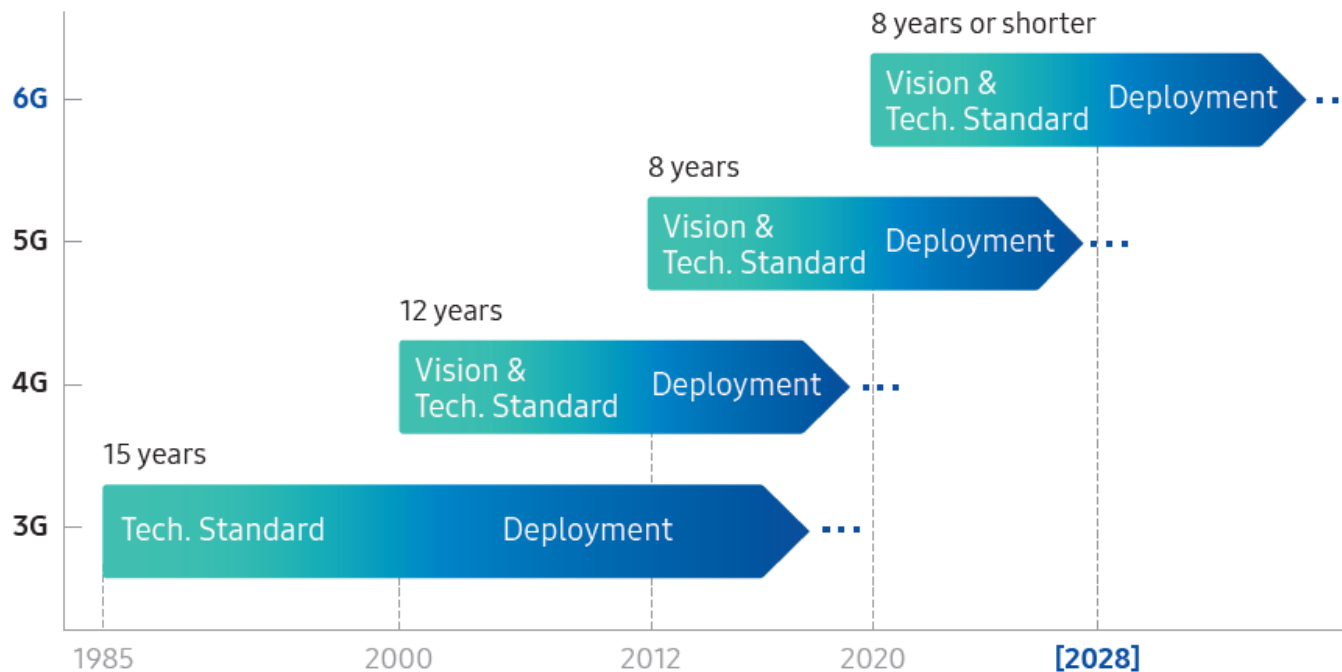
<https://www.gr-ix.gr/el/%cf%83%cf%87%ce%b5%cf%84%ce%b9%ce%ba%ce%ac/>



Εξέλιξη Ασυρμάτων δικτύων



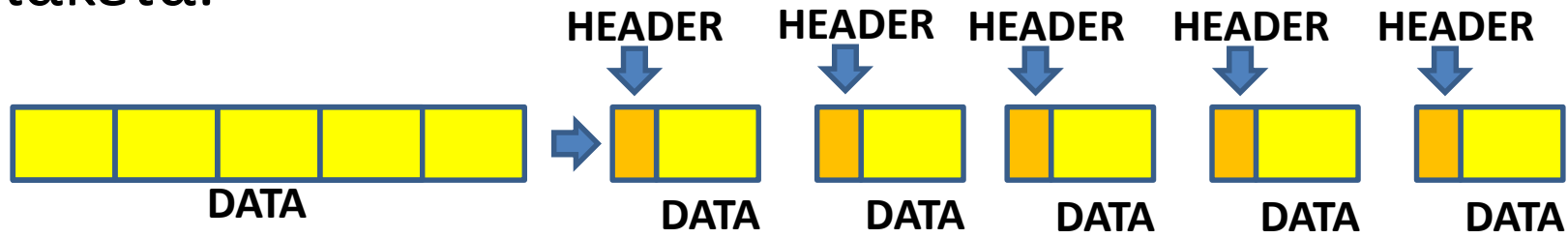
- Διαδίκτυο των Πραγμάτων
- Ευφυείς Εφαρμογές
- Extended Reality (XR)



Μεταγωγή

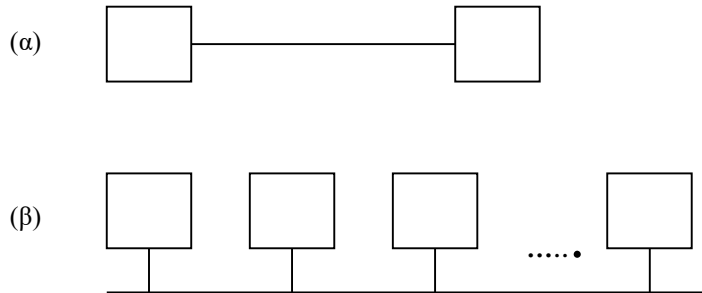
Μετάδοση περιεχομένου-΄Πακετοποίηση΄

- Σκοπός: Διαίρεση αρχείων σε κατάλληλου μεγέθους πακέτα.

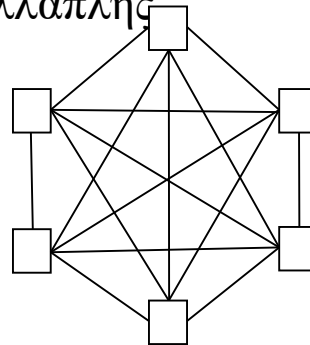


- Πλεονεκτήματα
 - Εντοπισμός και αντιμετώπιση σφαλμάτων μετάδοσης με αποδοτικό τρόπο
 - Πιο εύκολη πολυπλεξία πολλαπλών χρηστών και μεταδόσεων
- Προσθήκη επικεφαλίδας σε κάθε πακέτο για προσθήκη πληροφοριών
 - Δρομολόγησης
 - Σειράς
 - Ελέγχου σφαλμάτων

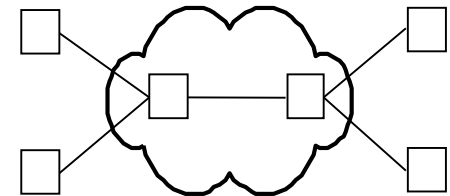
Διασυνδεσιμότητα/ Μεταγωγή



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



(α)

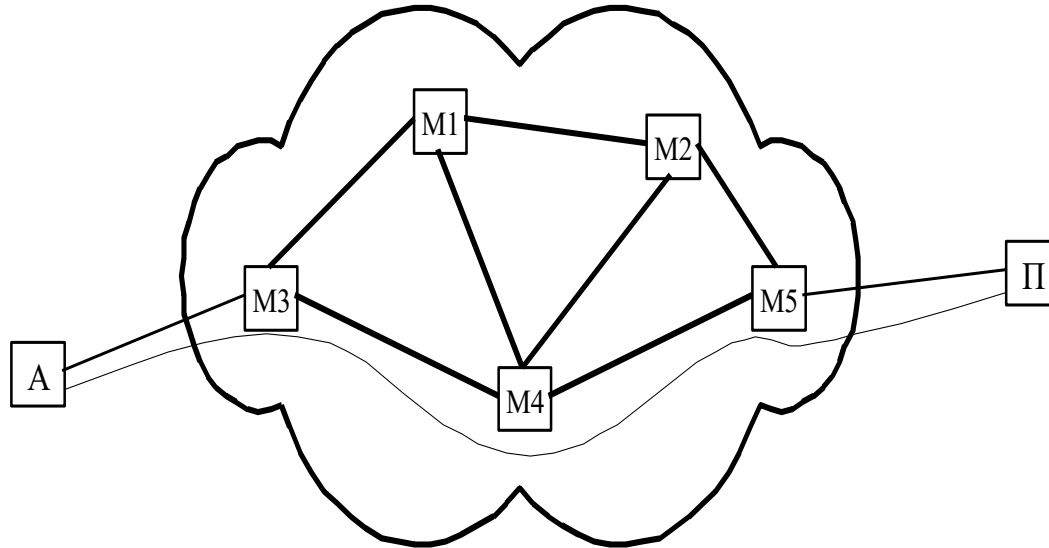


(β)

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

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

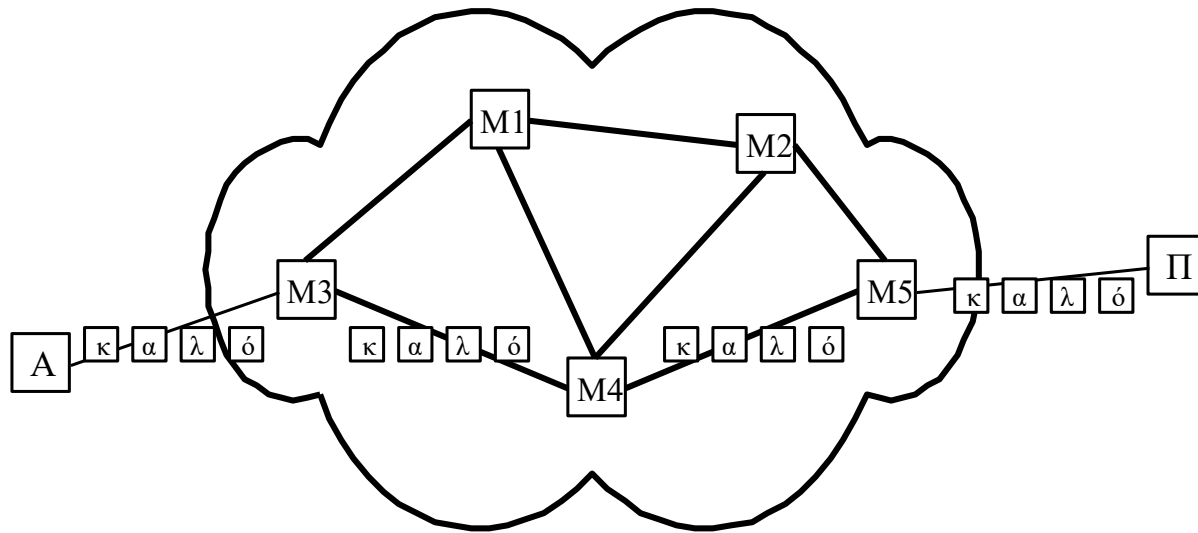
Δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος



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.

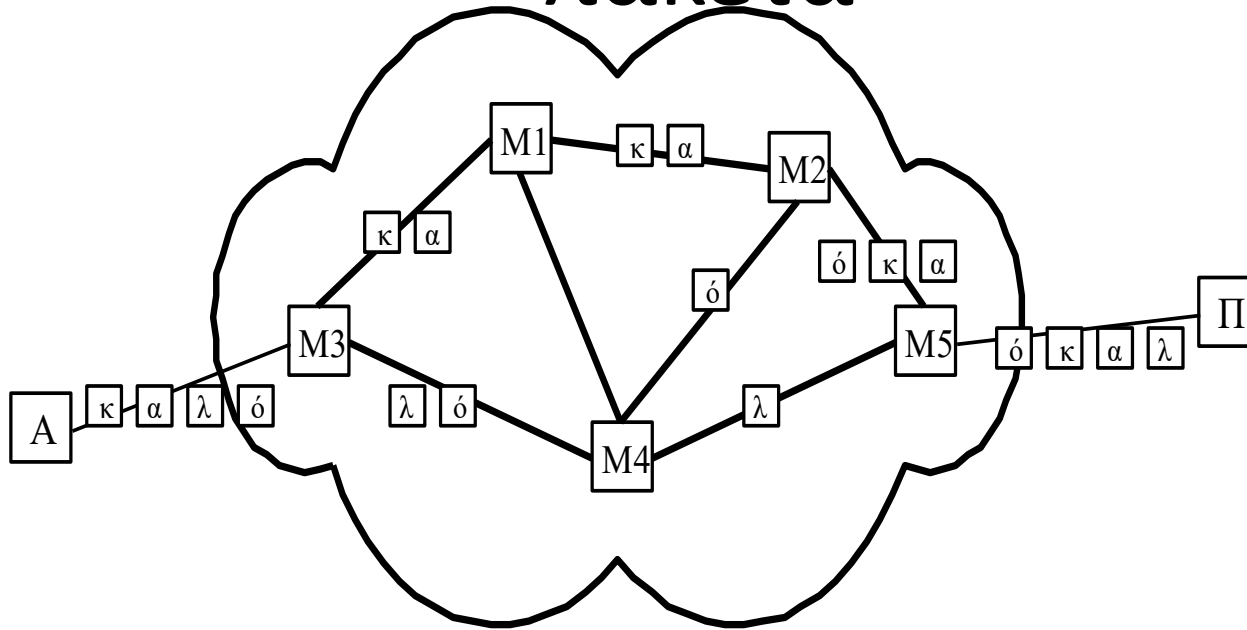
Δίκτυα μεταγωγής πακέτων με ιδεατά κυκλώματα



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).

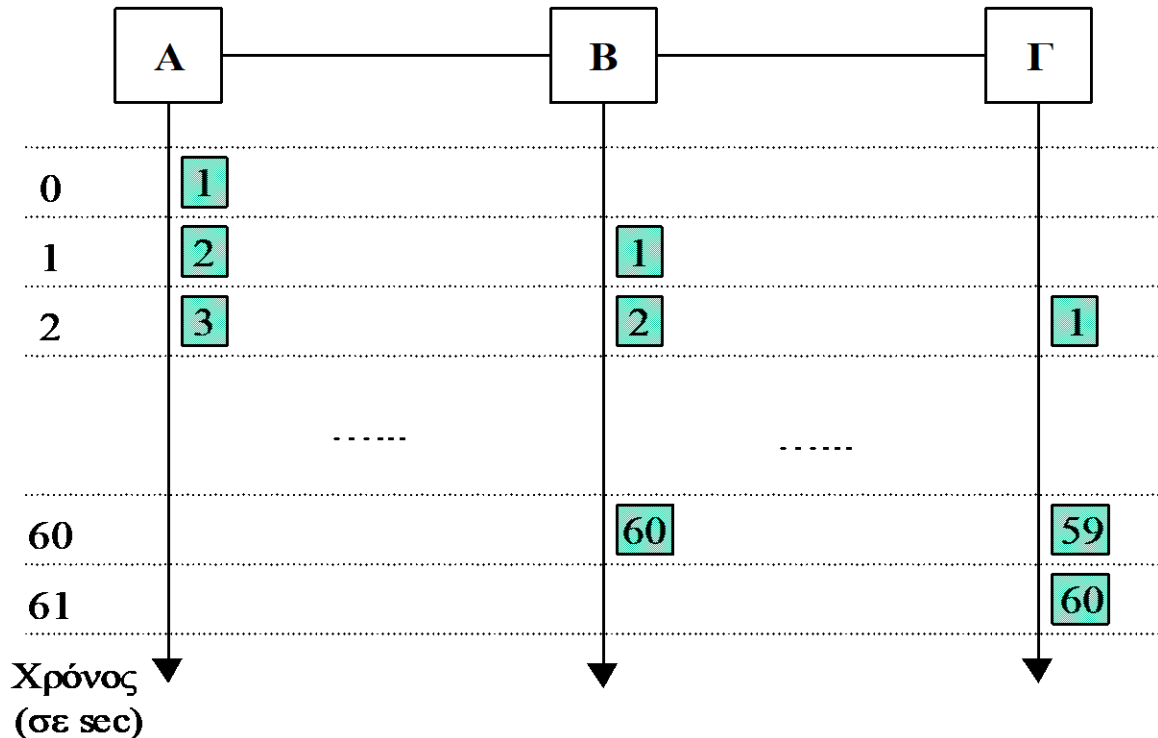
Δίκτυα μεταγωγής με αυτοδύναμα πακέτα



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

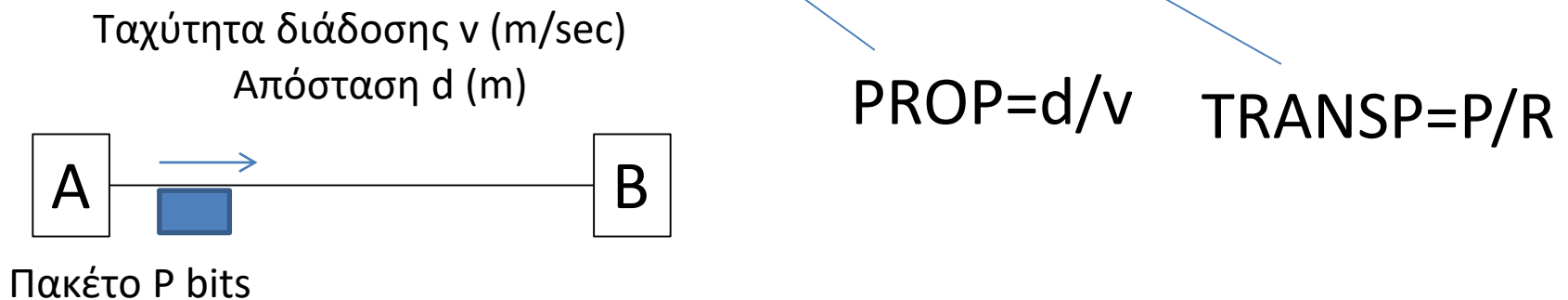
Τα πακέτα στέλνονται συνεχόμενα στο δίκτυο και έτσι μειώνουμε τον απαιτούμενο χρόνο μετάδοσης της πληροφορίας.

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

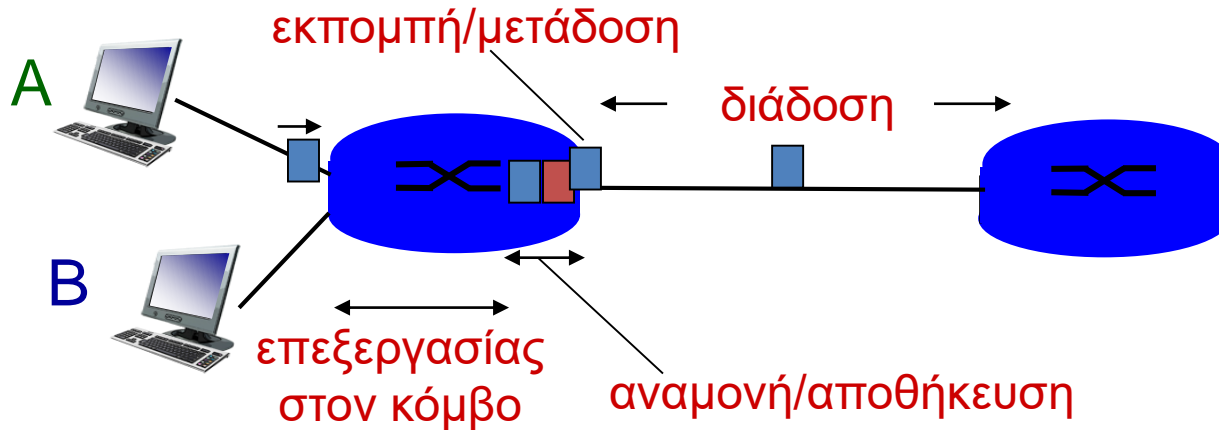


[Link to demo](#)

Ρυθμός μετάδοσης
 R (bits/sec)

Διαμετακομιστική (Διεκπαιραιωτική Ικανότητα Ρυθμαπόδοση Throughput
Η διαμετακομιστική ικανότητα συνήθως εκφράζεται ως το πλήθος των bits που μπορούν να μεταφερθούν αξιόπιστα μέσα από το δίκτυο σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

4 πηγές καθυστέρησης σε μια αναπήδηση



$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

d_{proc} : επεξεργασία στον κόμβο

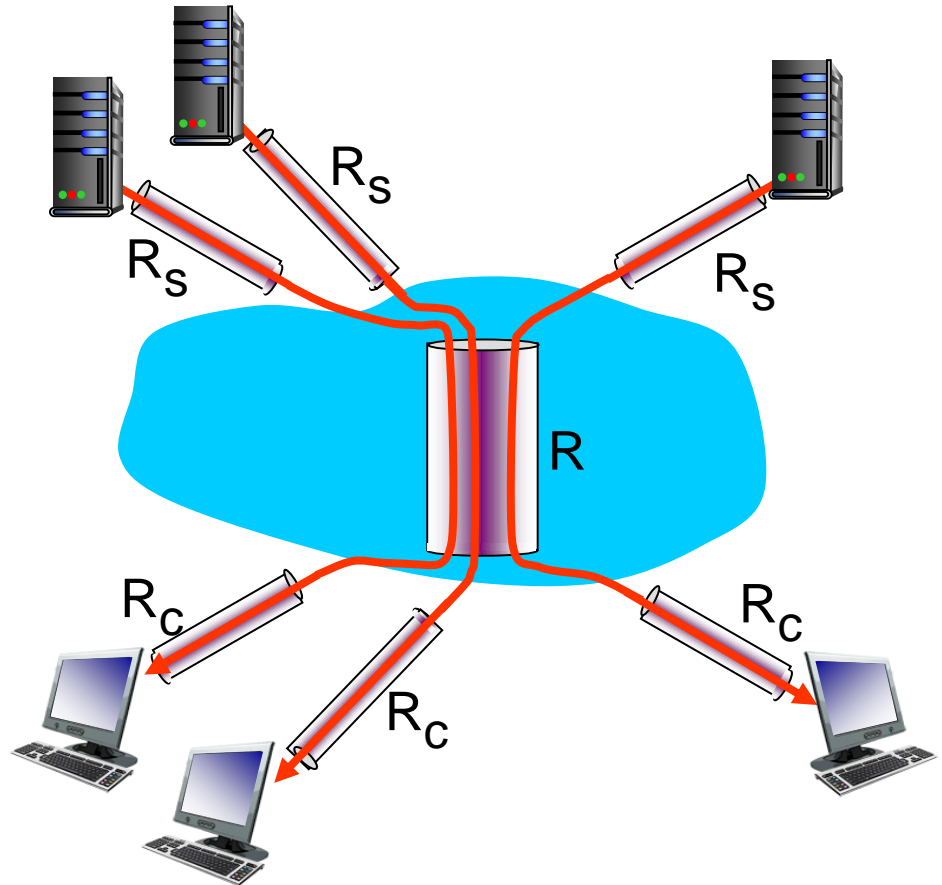
- Έλεγχος σφαλμάτων
- Καθορισμός ζεύξης εξόδου
- τυπικά < msec

d_{queue} : καθυστέρηση αναμονής

- Χρόνος αναμονής στην ουρά της ζεύξης εξόδου για εκπομπή
- Εξαρτάται από το συνωστισμό στο δρομολογητή

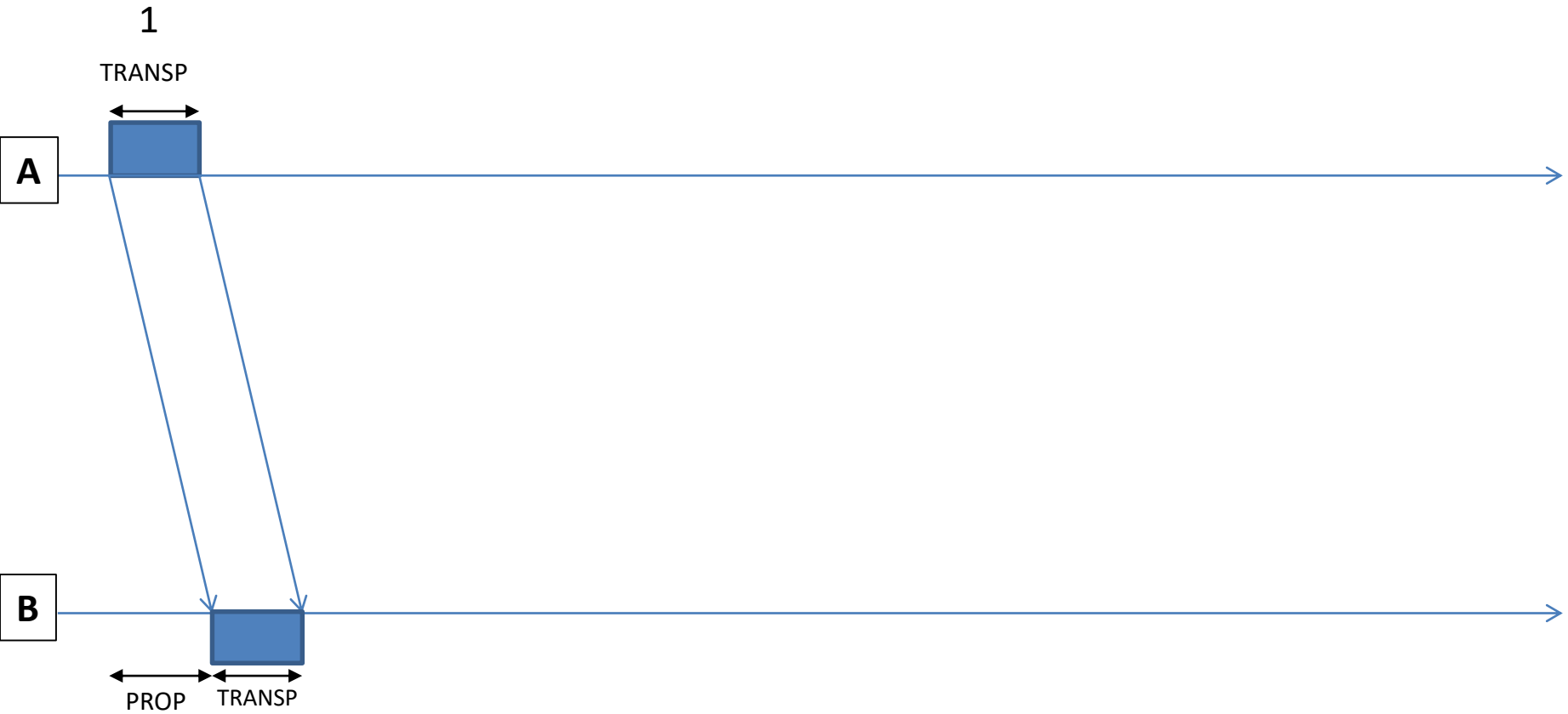
Ρυθμαπόδοση: Internet σενάριο

- Ανά σύνδεση end-end ρυθμαπόδοση:
 $\min(R_c, R_s, R/10)$
- Στην πράξη : R_c ή R_s είναι συνήθως τα bottlenecks

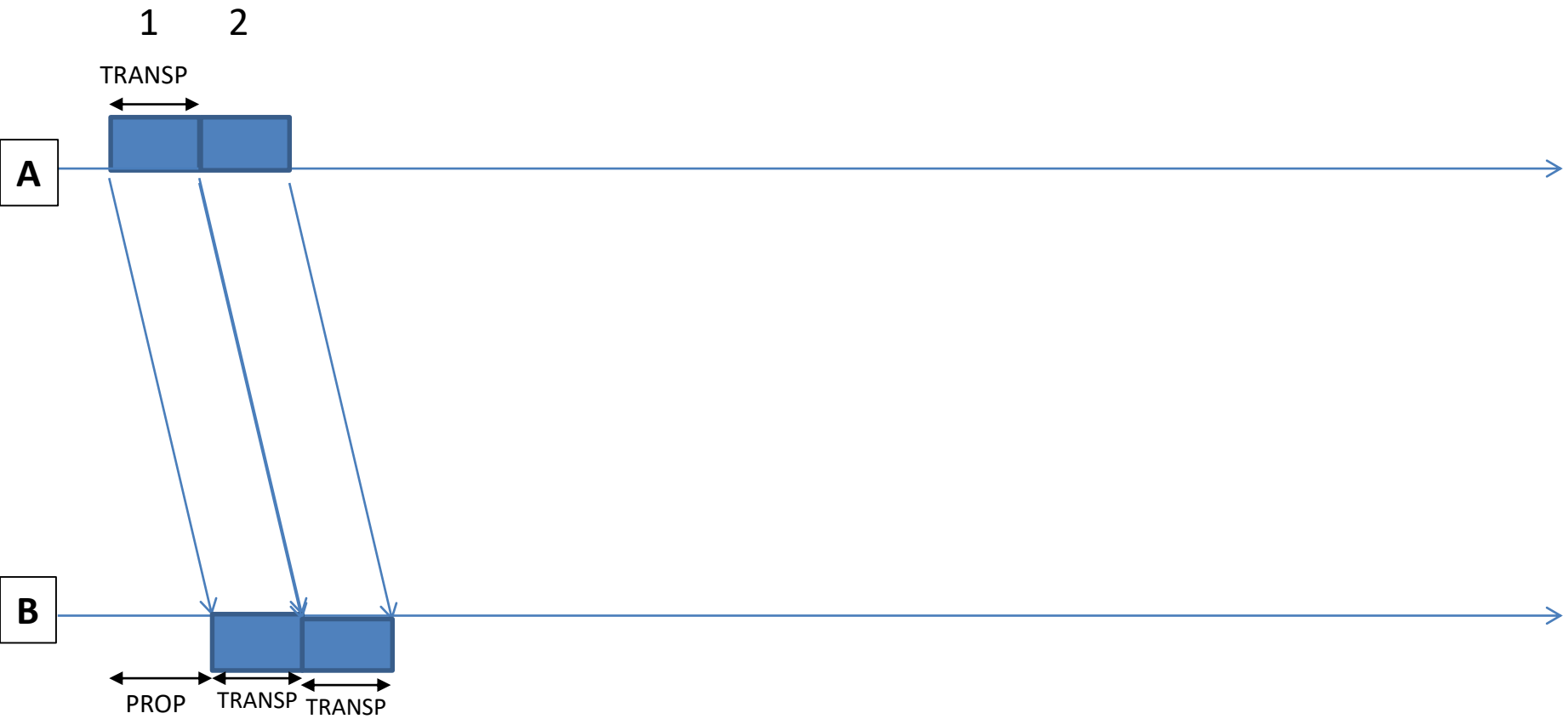


10 συνδέσεις (δίκαια) μοιράζονται τη bottleneck ζεύξη R bits/sec

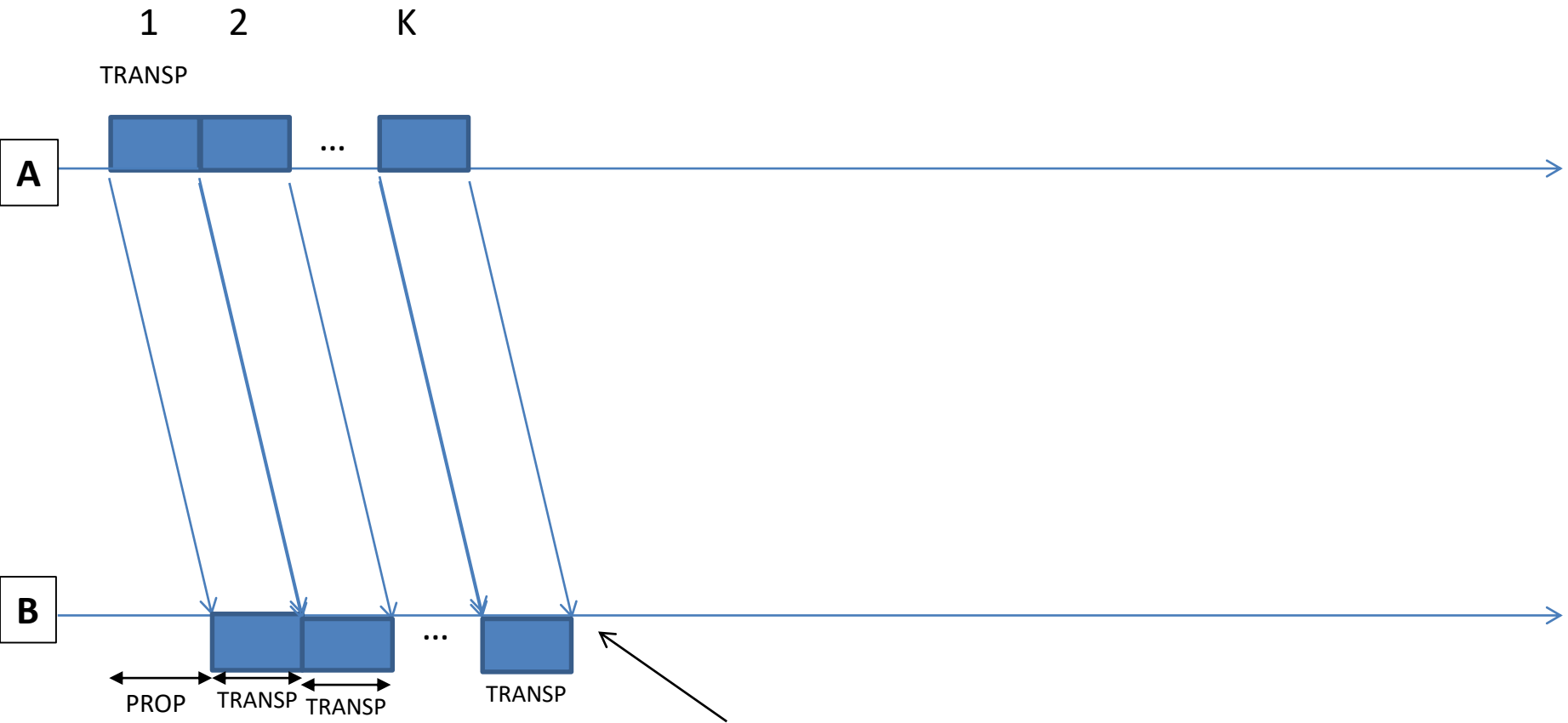
1 πακέτο



2 πακέτα



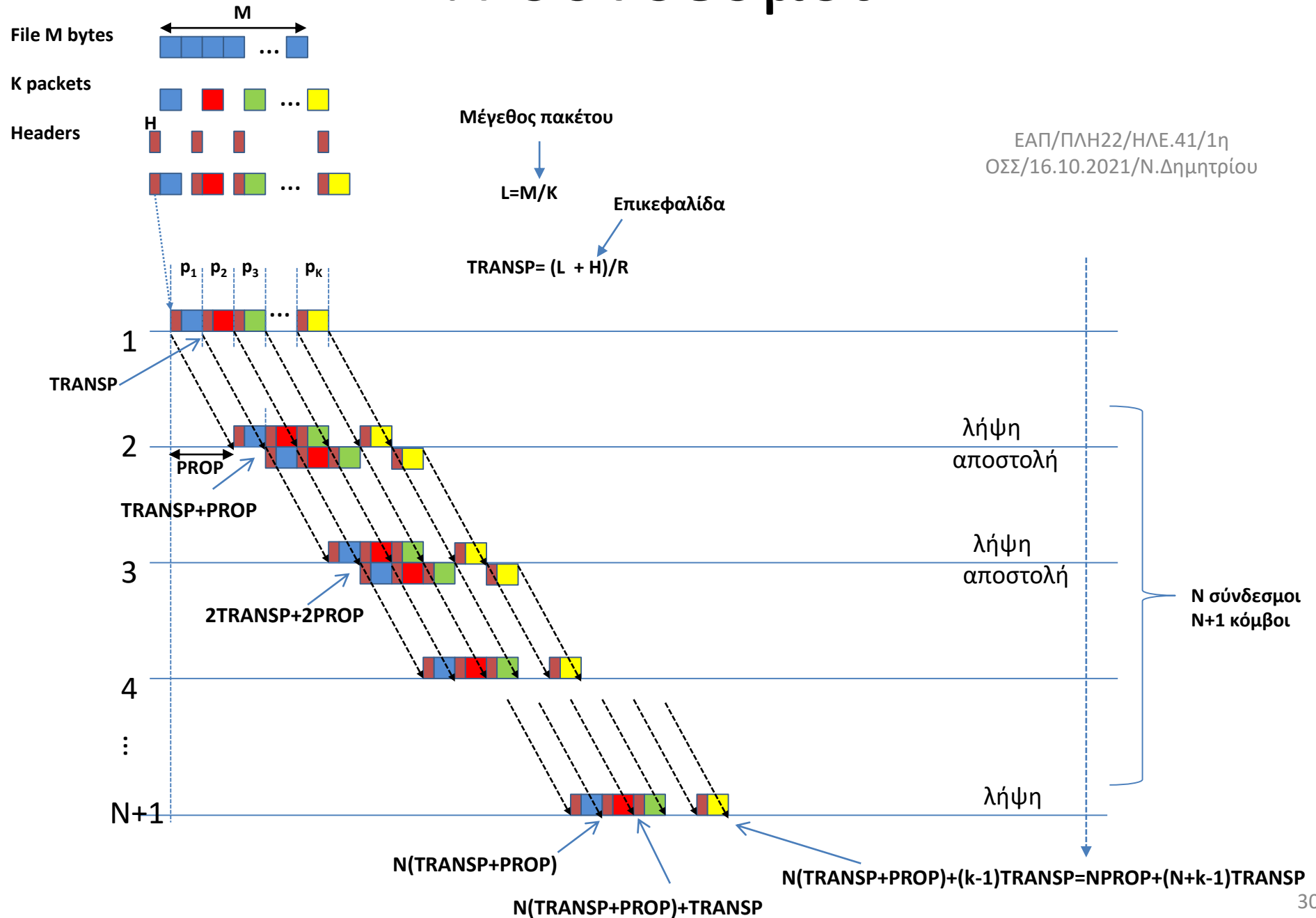
Κ πακέτα



Συνολική καθυστέρηση μεταφοράς $PROP + K \times TRANSP$

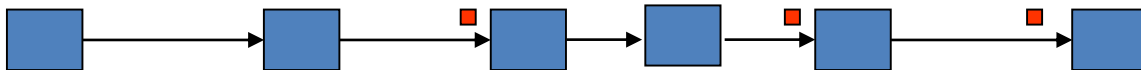
N σύνδεσμοι

ΕΑΠ/ΠΛΗ22/ΗΛΕ.41/1η
 ΟΣΣ/16.10.2021/Ν.Δημητρίου



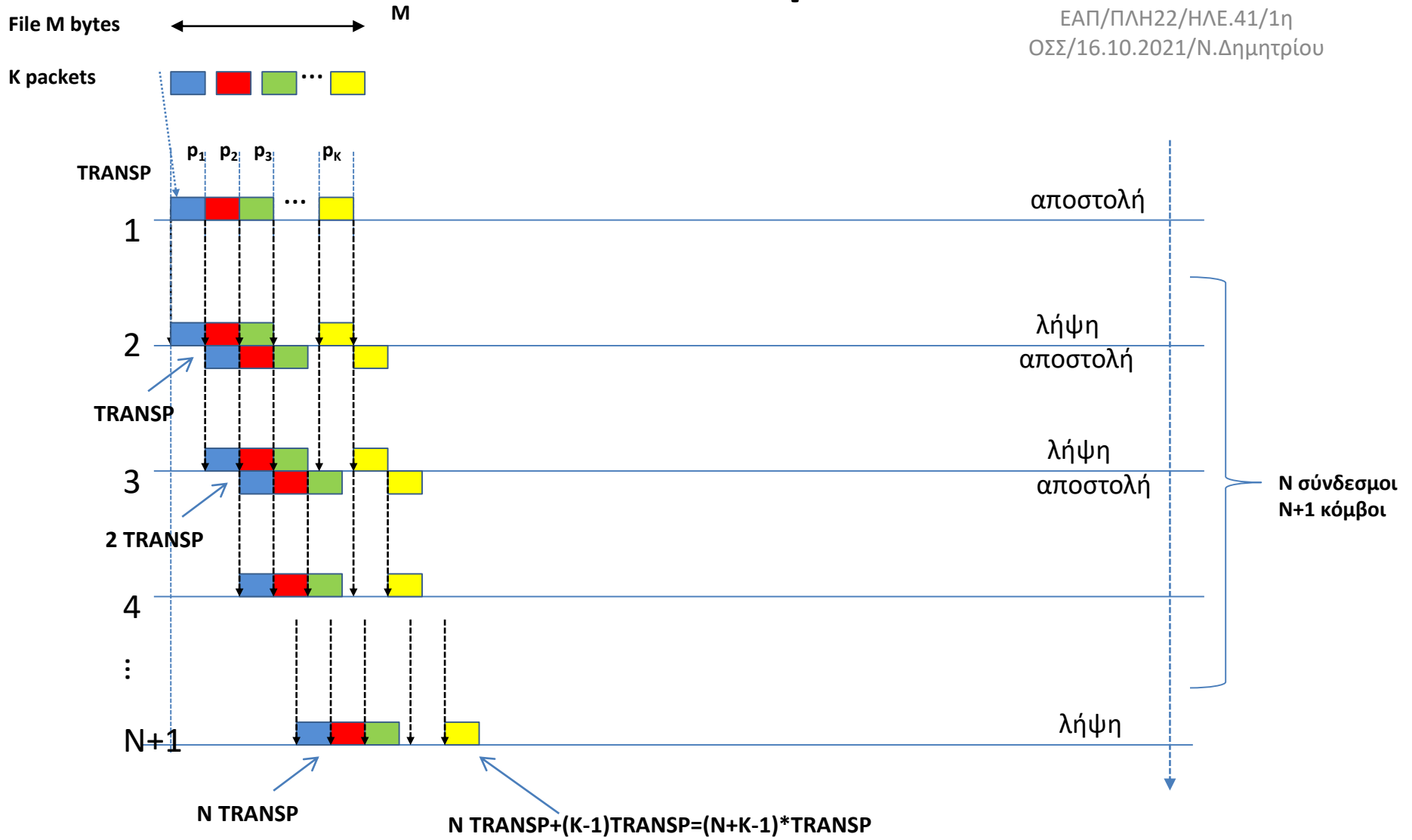
Έστω ότι θέλουμε να μεταφέρουμε ένα αρχείο μεγέθους S bits μέσα από ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων N συνδέσμων. Εάν ο κάθε σύνδεσμος μπορεί να μεταδίδει R bits σε κάθε sec (δηλαδή έχει ρυθμό μετάδοσης R bits/sec) και το μέγεθος πακέτου είναι P bits, τότε υπολογίστε το συνολικό χρόνο μεταφοράς T του αρχείου. 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 $K-1$ σύνδεσμους.
- 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/ΗΛΕ.41/1η
ΟΣΣ/16.10.2021/Ν.Δημητρίου



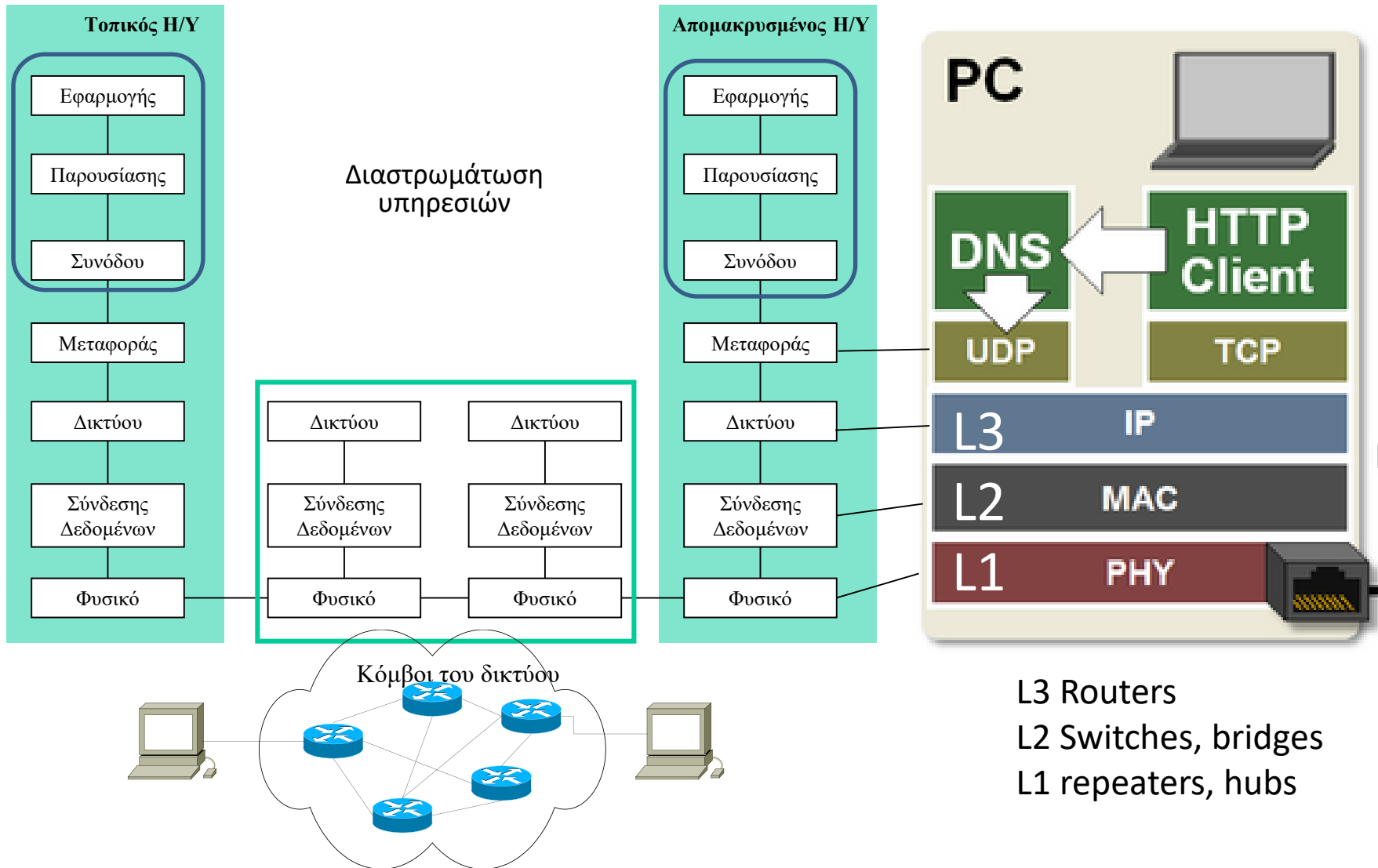
Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 1.4

- **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 $T_{vc} = 100 + \frac{(P+5)}{R} * (N+K-1)$
 - Αυτοδύναμα πακέτα είναι $T_D = \frac{(P+10)}{R} * (N+K-1)$
 - $T_{vc} - T_D > 0$
- $(N+K-1) * TRANSP$

OSI, TCP/IP

Το Μοντέλο Αναφοράς ISO/OSI



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

Επίπεδο Παρουσίασης: Αναπαράσταση Δεδομένων, Συμπίεση, 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

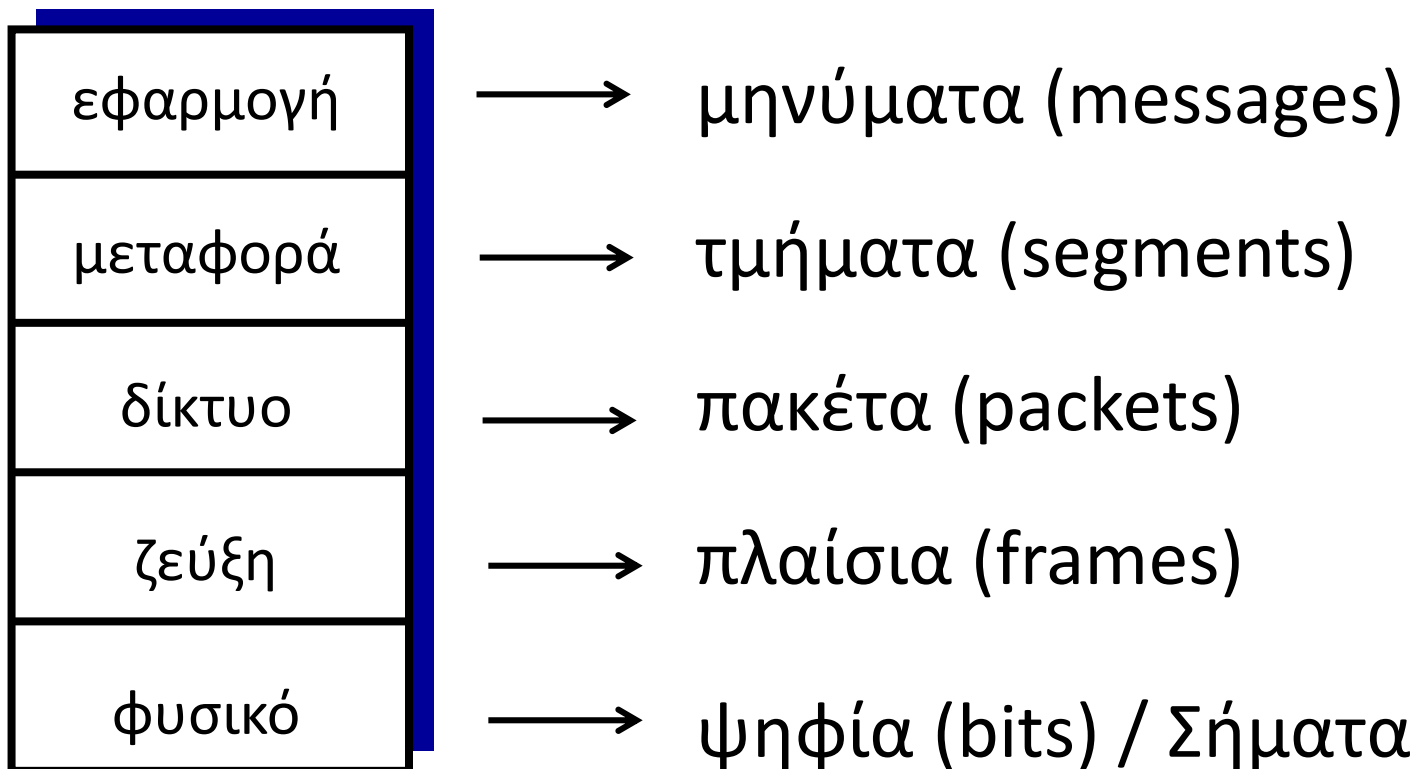
Επίπεδο Σύνδεσης Δεδομένων Οργάνωση πακέτων σε πλαίσια, πρόσθεση πληροφοριών ελέγχου, έλεγχος σφαλμάτων, διόρθωση σφαλμάτων, πρωτόκολλα επανεκπομπής(Θα ασχοληθούμε με τέτοια θέματα σε ασκήσεις του βιβλίου «Δίκτυα Υπολογιστών»)

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

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

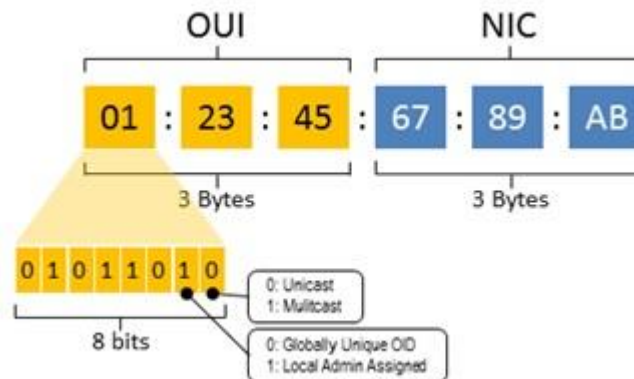
- Επίπεδο Εφαρμογής (περιλαμβάνει τα OSI επίπεδα 7,6,5)
- Επίπεδο Μεταφοράς (TCP/UDP) (περιλαμβάνει το OSI επίπεδο 4)
- Επίπεδο Δικτύου (IP) (περιλαμβάνει το OSI επίπεδο 3)
- Επίπεδο Πρόσβασης (περιλαμβάνει τα OSI επίπεδα 2,1)

Στοίβα πρωτοκόλλων και μονάδες δεδομένων



MAC – IP addresses

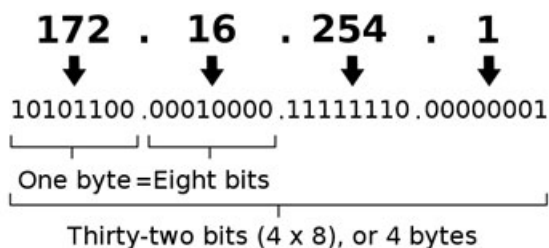
- Each device interface has 2 address types:
 - MAC address (a.k.a. LAN/link layer/physical address)
 - Analogy: a person's ID/passport number
 - Flat address, to be used everywhere



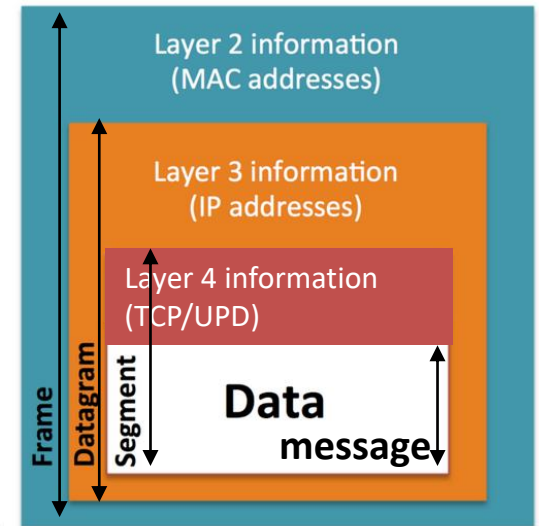
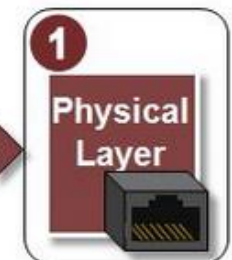
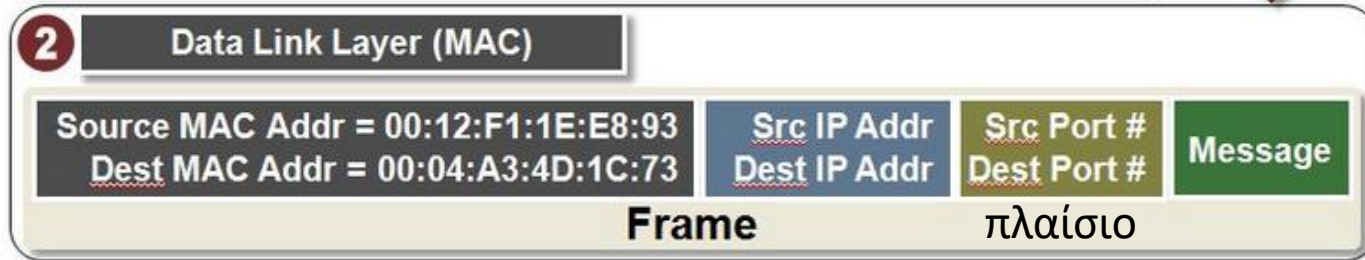
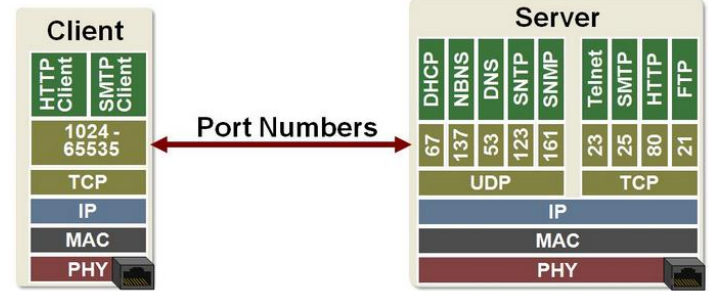
– IP address

- Analogy: a person's contact telephone number
 - Hierarchical address, depends on the subnet to which the device connects

An IPv4 address (dotted-decimal notation)



Ενθυλάκωση-Παράδειγμα



ψηφία -> σήματα

Επίπεδα πρωτοκόλλων και κόμβοι

- ❖ Κάθε κόμβος στο δίκτυο υλοποιεί λειτουργίες που σχετίζονται με όλα τα επίπεδα ή ένα υποσύνολό τους



PC

Εξυπηρετητής

Laptop με
ασύρματη
σύνδεση

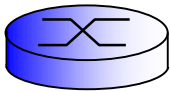
: όλα τα επίπεδα

εφαρμογές,

TCP/IP ως μέρος λειτουργικού συστήματος,

κάρτες δικτύου για πρωτόκολλα επιπέδου

ζεύξης και φυσικού επιπέδου



δρομολογητής

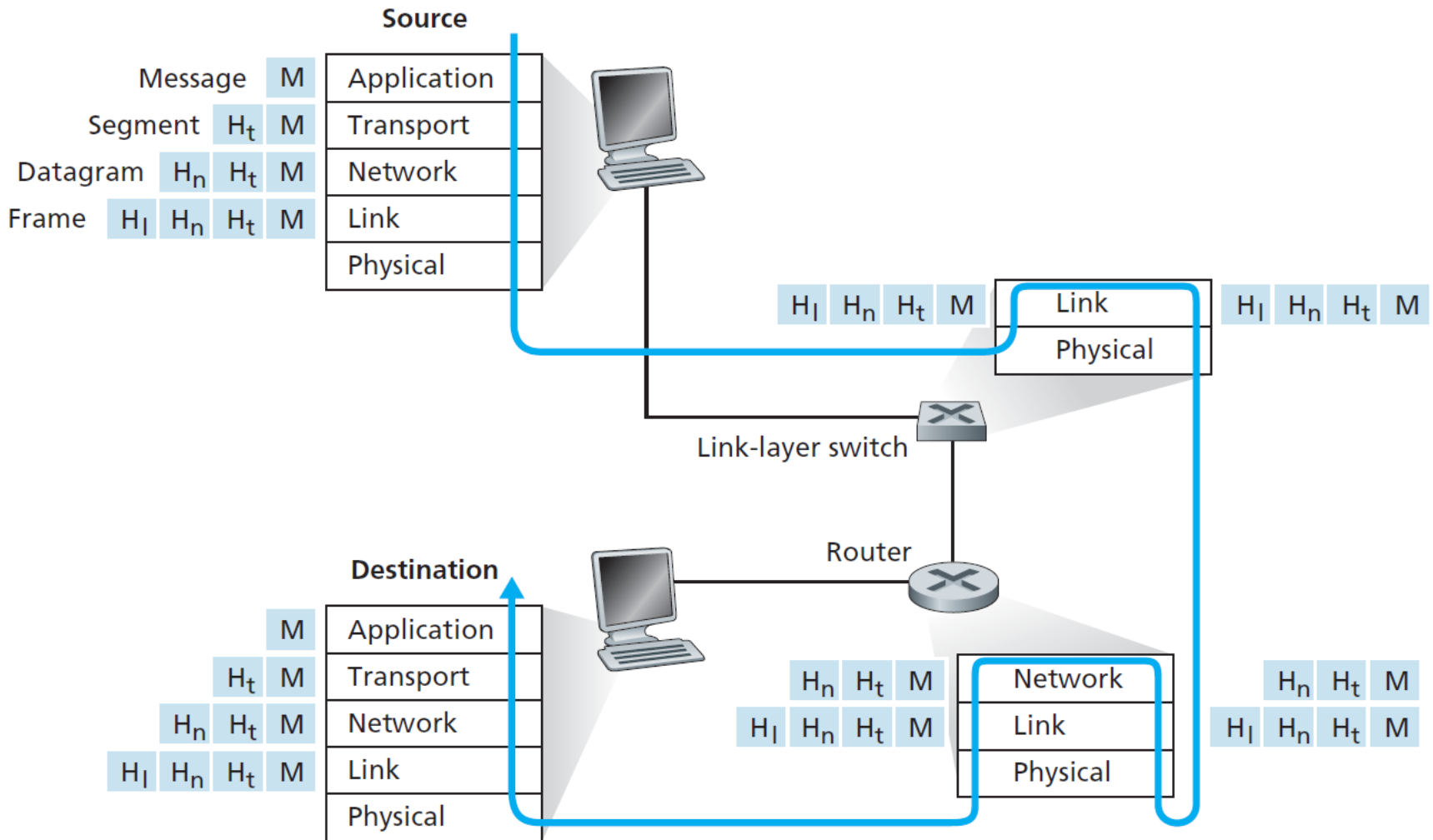
: φυσικό επίπεδο, επίπεδο ζεύξης και δρομολόγησης



μεταγωγέας

: φυσικό επίπεδο, επίπεδο ζεύξης

Ενθυλάκωση



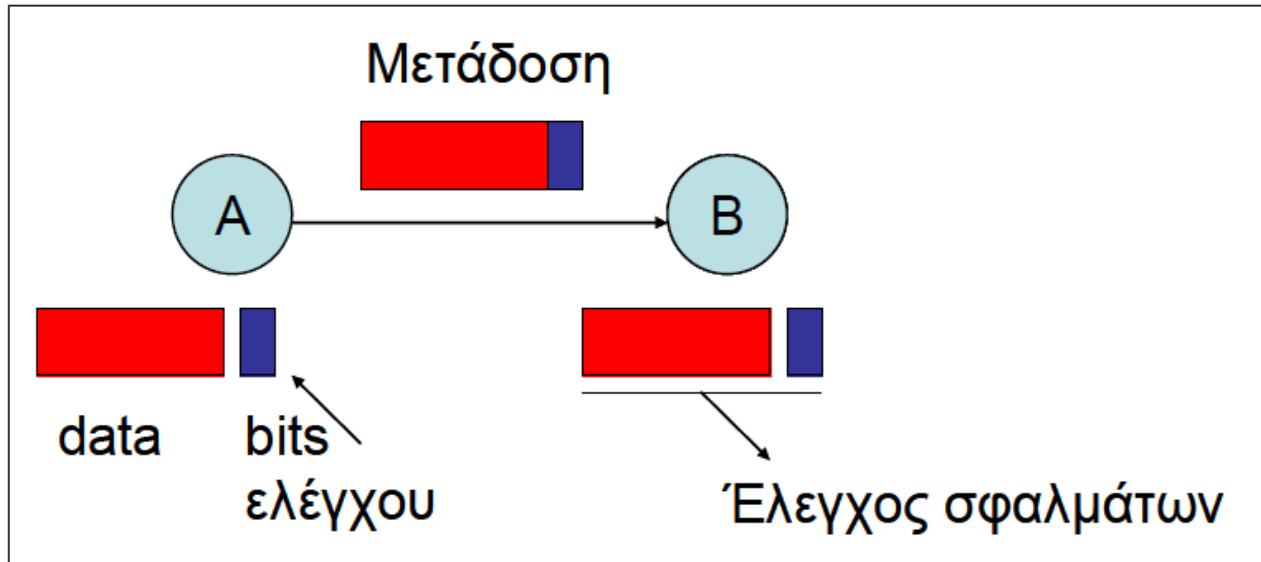
Υπηρεσίες επιπέδου ζεύξης

- **Πλαισίωση**
 - Ενθυλάκωση datagrams σε πλαίσια με προσθήκη κεφαλίδας και ουράς
 - Διευθύνσεις επιπέδου ζεύξης (MAC) στις κεφαλίδες των πλαισίων για να αναγνωριστούν ο κόμβος πηγή και ο κόμβος προορισμός
 - Διαφορετικές από τις IP διευθύνσεις
- **Έλεγχος πρόσβασης στο μέσο**
 - Αν το μέσο διαμοιράζεται, υπάρχει MAC πρωτόκολλο για έλεγχο της πρόσβασης σε αυτό
- **Έλεγχος ροής**
 - Ρυθμίζει τη ροή πληροφορίας μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη στη ζεύξη
- **Αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων** μεταξύ γειτονικών κόμβων
 - **Ανίχνευση/διόρθωση σφαλμάτων**, ιδίως σε ασύρματες ζεύξεις
 - μηχανισμός CRC, πρωτόκολλα επανεκπομπής

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

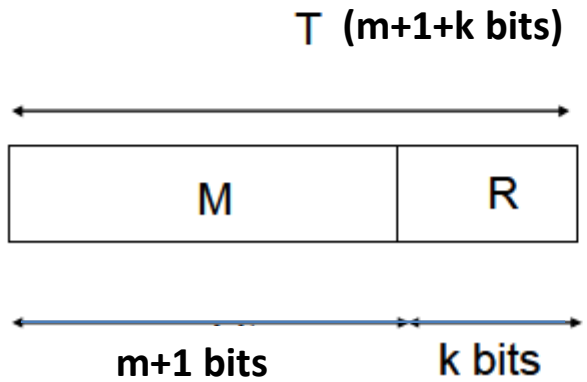
π.χ CRC-8 σελ.82 $\overset{8\ 7\ 6\ 5\ 4\ 3\ 2\ 1\ 0}{100000111} \leftrightarrow 1x^8 + 0x^7 + 0x^6 + 0x^5 + 0x^4 + 0x^3 + 1x^2 + 1x^1 + 1x^0 =$
 $= x^8 + x^2 + x + 1$ Εδώ ο κώδικας μήκους $n+1=9$ bits αντιστοιχεί σε πολυώνυμο βαθμού $n=8$

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.

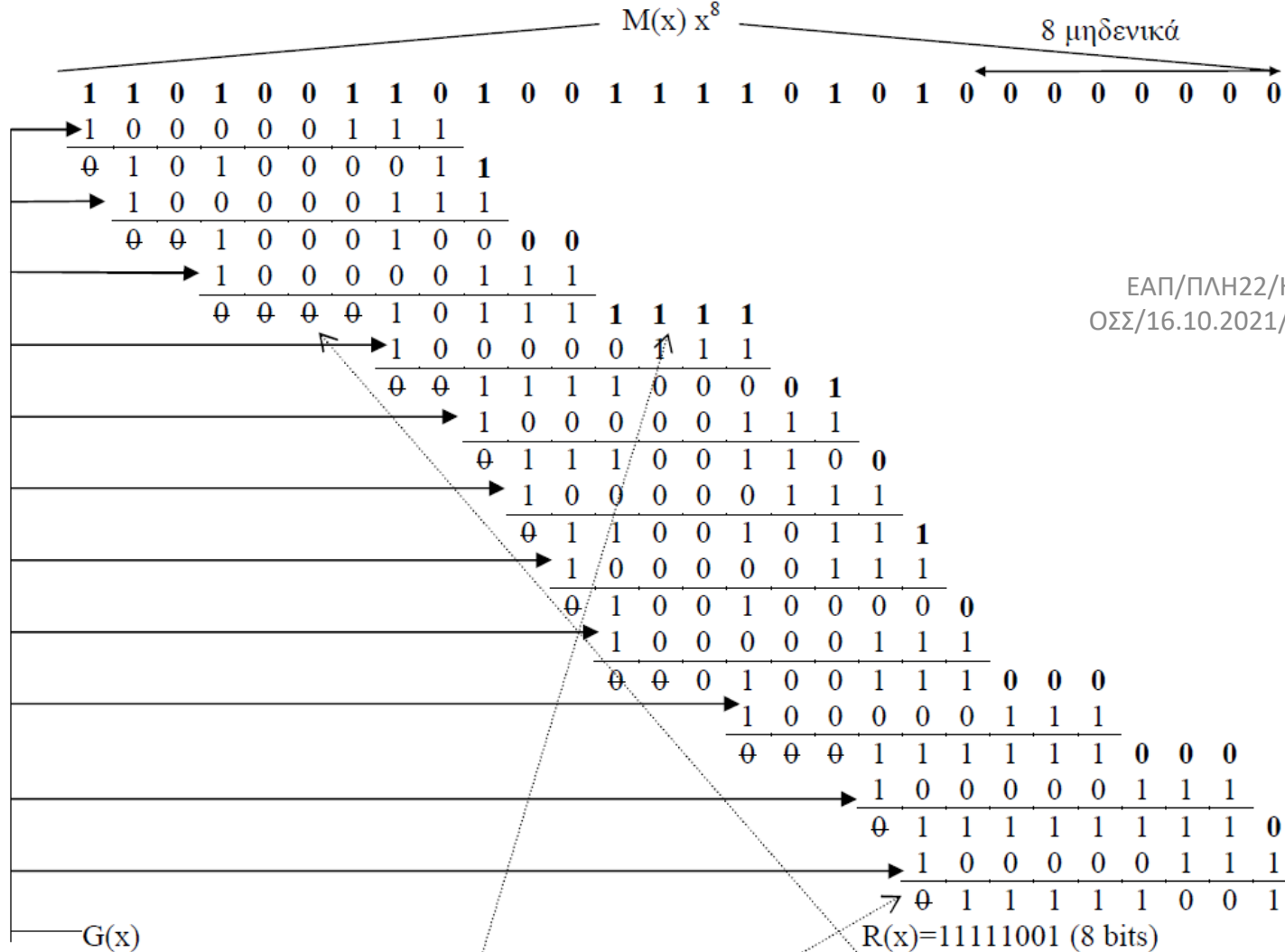
A.A. 3.5

$M(x)=11010011010011110101$ 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

1 1 0 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1	1 1 1 1 1 0 0 1
$M(x)$	$R(x)$

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

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

Και το $T'(x)=T(x)+E(x)$ θα είναι:

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	1 1 1 1 1 0 0 1
--	-----------------

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

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 (Περιττής) 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 (Περιττής) 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 (Περιττής) 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!

Πρωτόκολλα Επανεκπομπής & Απόδοση

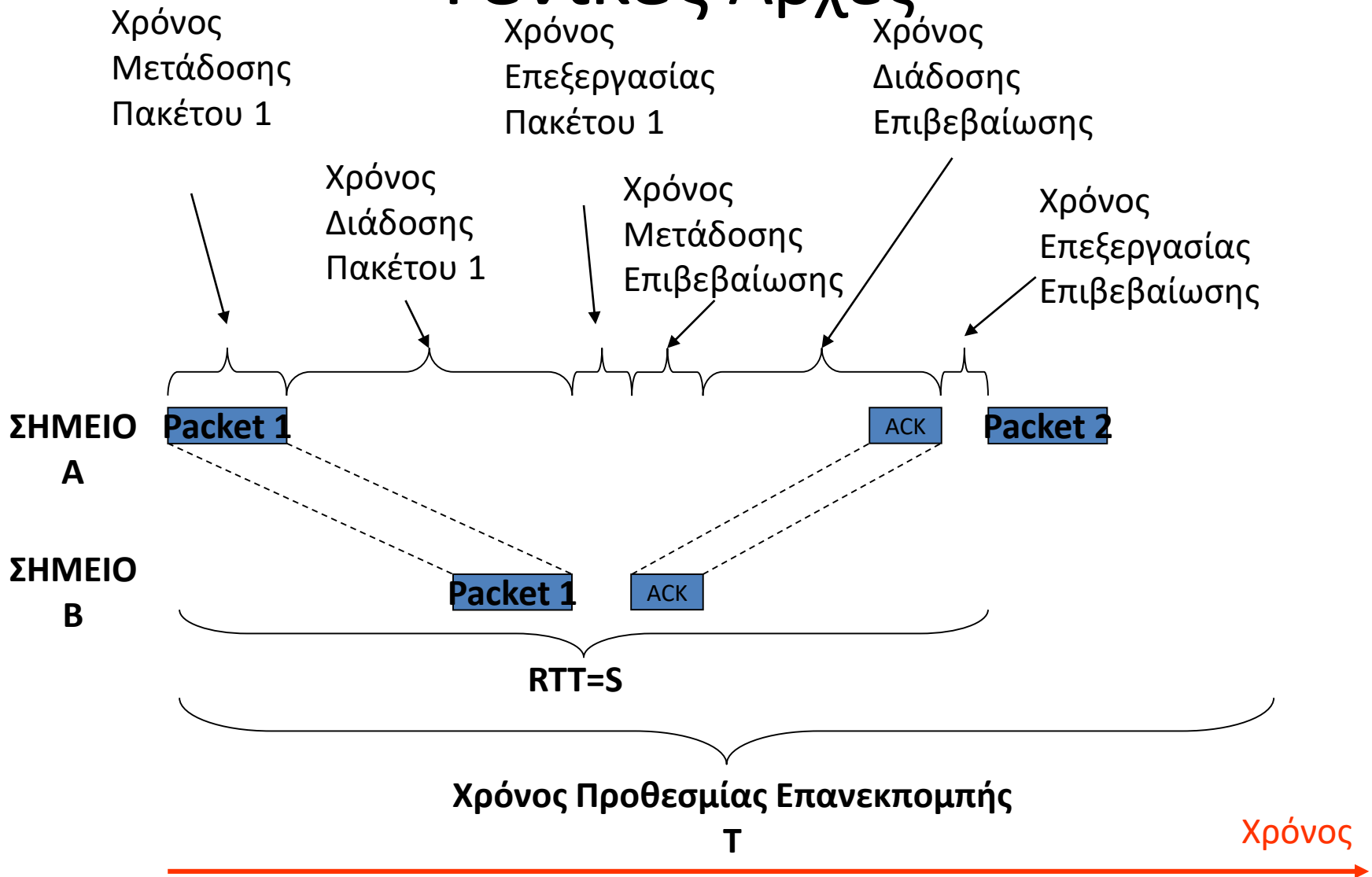
Γενικές Αρχές

- Δίκτυα μεταγωγής πακέτων.
- Κάθε πακέτο εξοπλίζεται με πληροφορίες ελέγχου και προωθείται στο Επίπεδο Ζεύξης / 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*

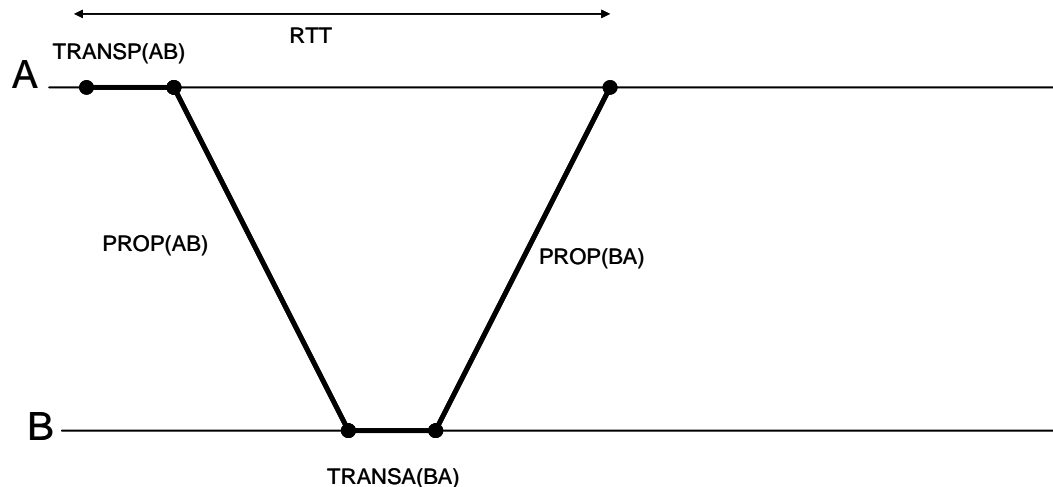
Γενικές Αρχές



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

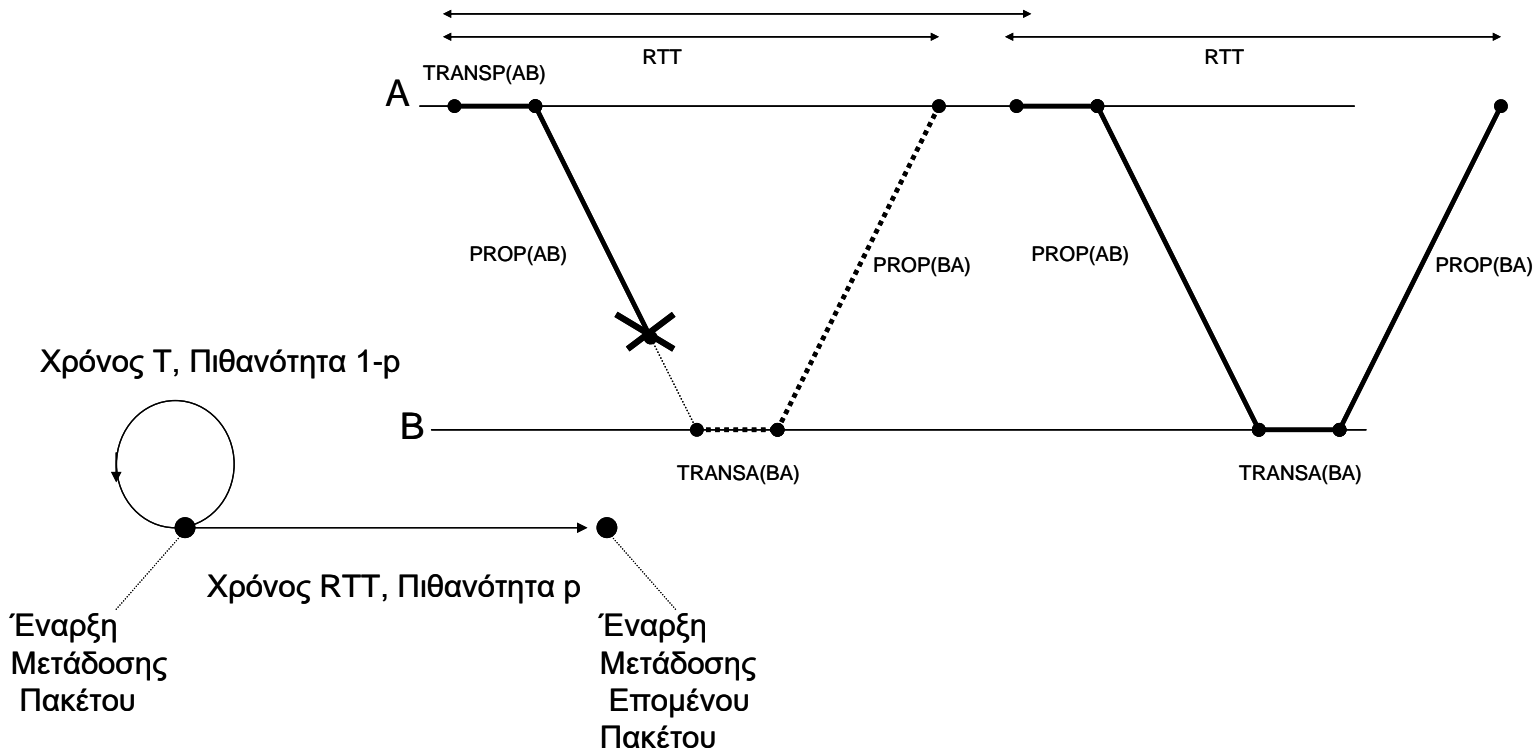
Η απόδοση της ABP χωρίς σφάλματα [$p(\text{success})=100\%$] θα είναι ίση με

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

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

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

Απόδοση Πρωτοκόλλου Επανεκπομπής ABR_T – 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

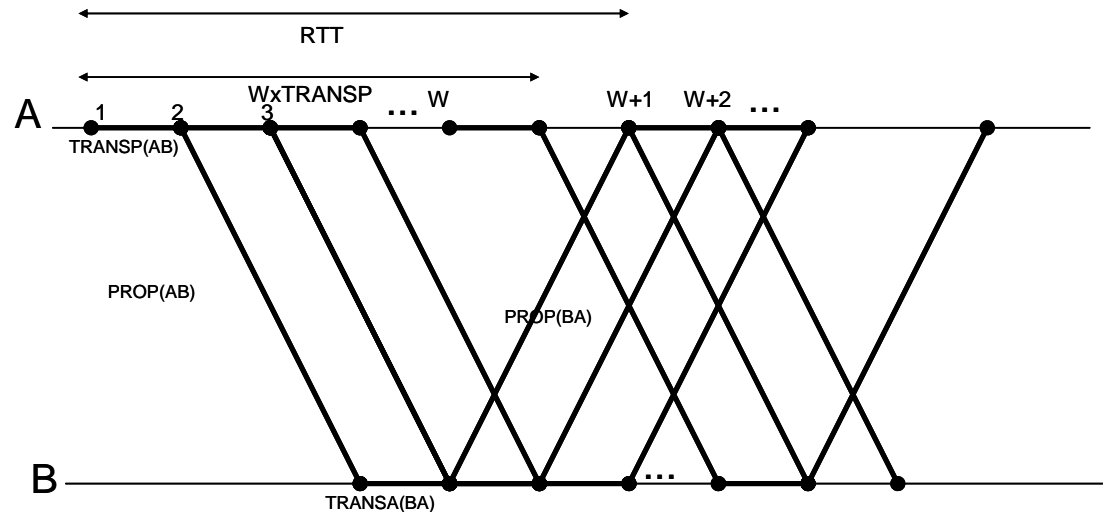
Μέσος ρυθμός ροής πακέτων: $\lambda = 1 \text{ πακέτο κάθε } E(x) \text{ sec} = \frac{1}{E(x)} \frac{\text{πακέτα}}{\text{sec}}$

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

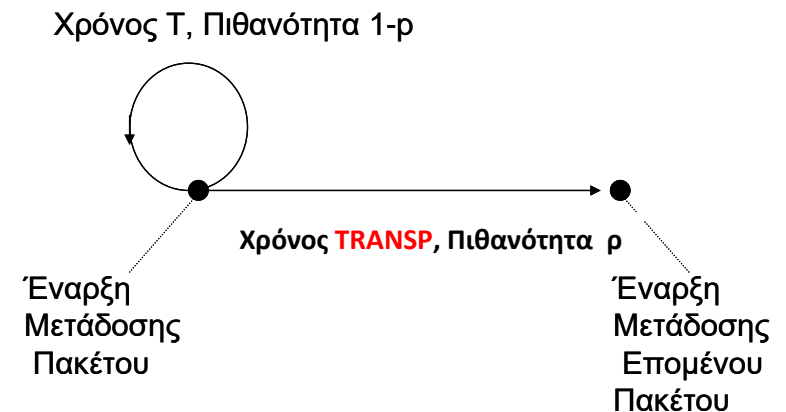
$$E(x) = p \cdot \text{TRANSP} + (1-p)[T + E(x)] \Rightarrow E(x) = \text{TRANSP} + T \frac{1-p}{p}$$

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

Αν $T = W \times \text{TRANSP}$,

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

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

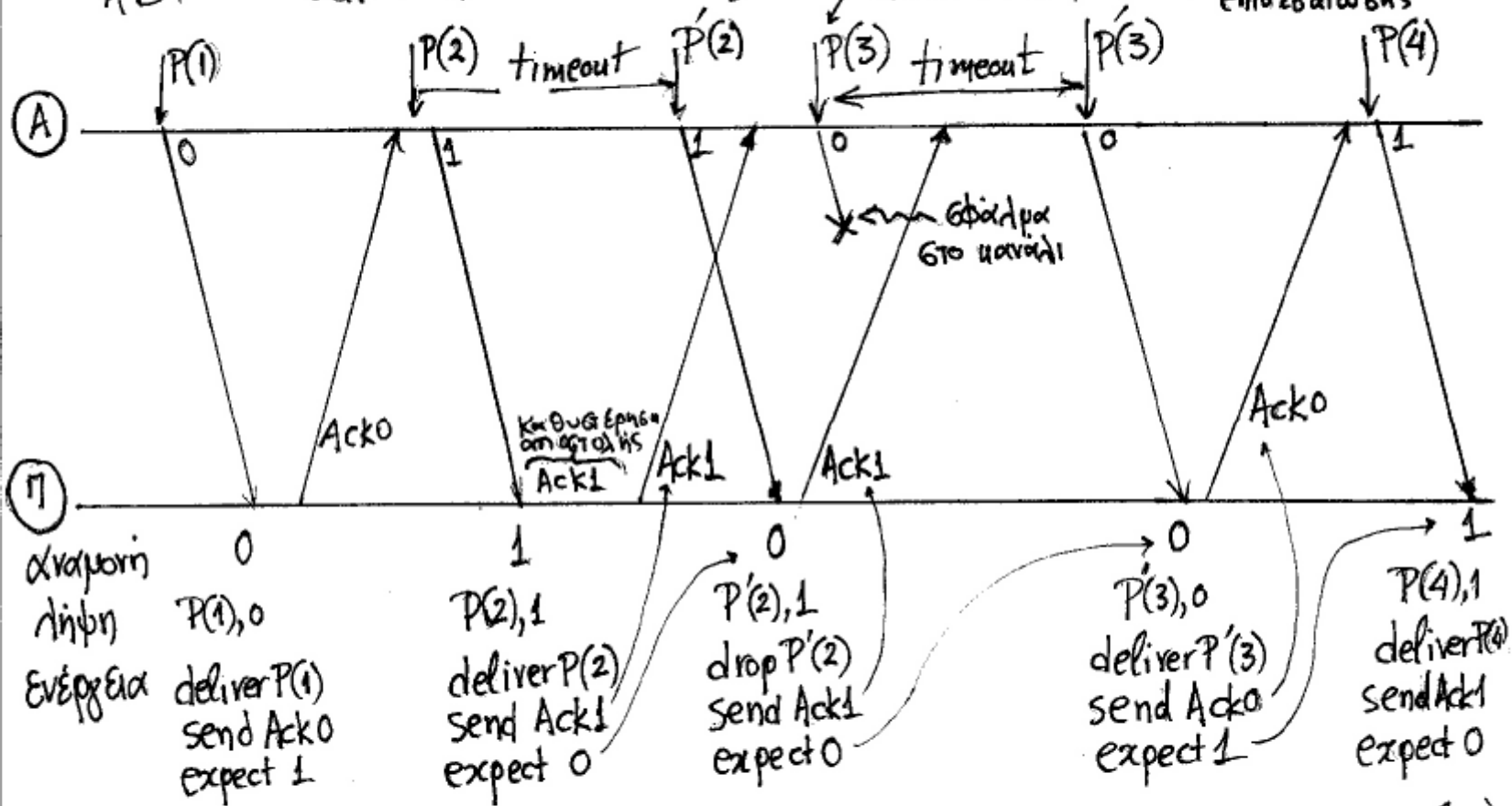


Selective Repeat Protocol

- 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*](#)

Σχόλια για Παράδειγμα 4.3
 ABP. σελ. 106.



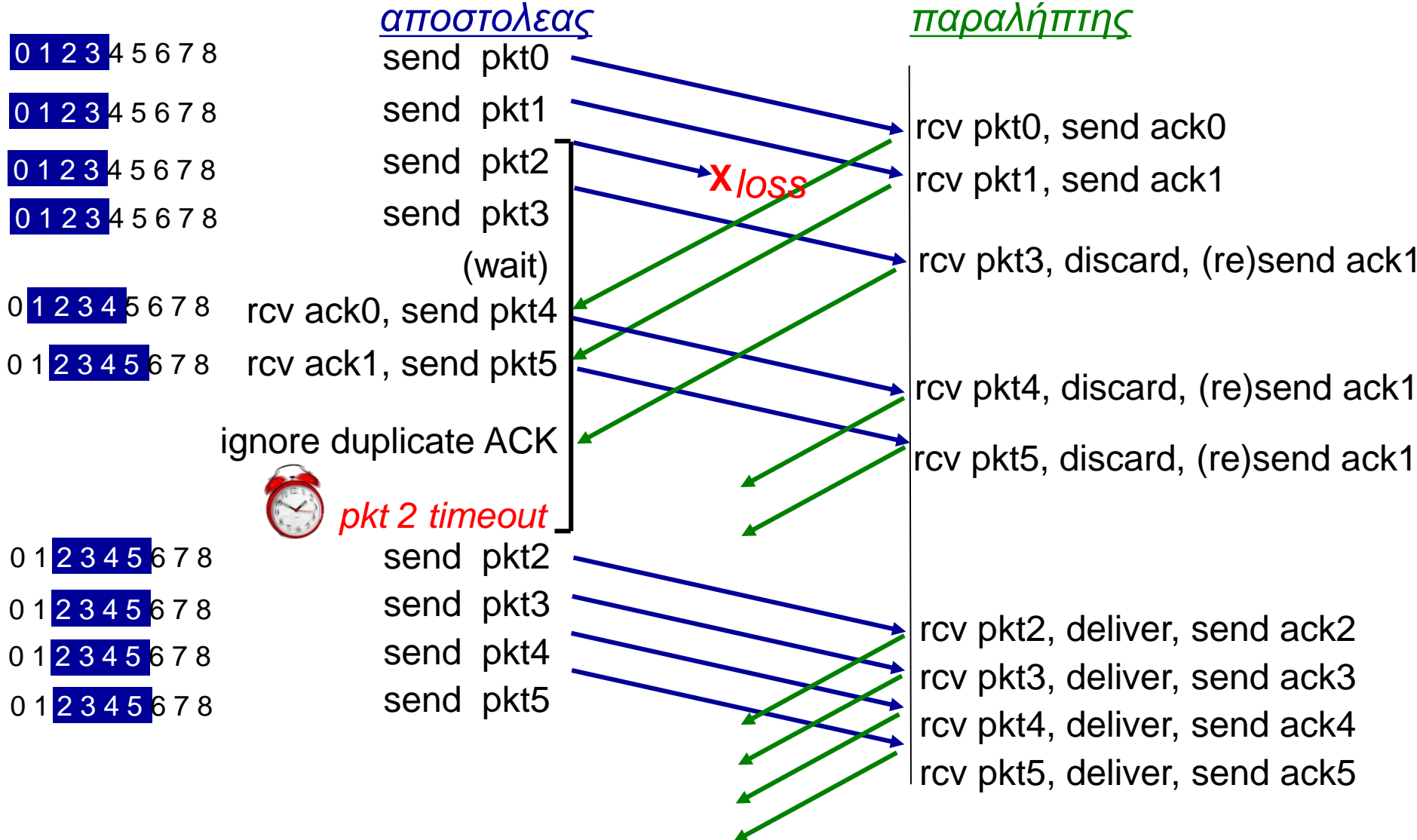
Αποστολέας (A) : Στέλνει πακέτα και 1 bit επικεφαλίδα (0/1)

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

Σημείωση για την προηγούμενη διαφάνεια: Επειδή τόσο ο αποστολέας όσο και ο παραλήπτης τηρούν την ακολουθία επικεφαλίδων 0-1-0-1-... δεν επηρεάζεται η σειρά των πακέτων που μεταφέρονται μεταξύ Α-Π από οποιαδήποτε εσφαλμένα πακέτα δεδομένων ή επιβεβαιώσεων. Αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί είναι κάποιες πλεονάζουσες επαναποστολές πακέτων (δεδομένων ή επιβεβαιώσεων), τα οποία απορρίπτονται στον Π ή στον Α αντίστοιχα.

GBN σε δράση

Παράθυρο εκπομπής ($W=4$)



Selective repeat σε δράση

Παράθυρο εκπομπής (W=4)

αποστολέας

παραλήπτης

0 1 2 3 4 5 6 7 8

0 1 2 3 4 5 6 7 8

0 1 2 3 4 5 6 7 8

0 1 2 3 4 5 6 7 8

0 1 2 3 4 5 6 7 8

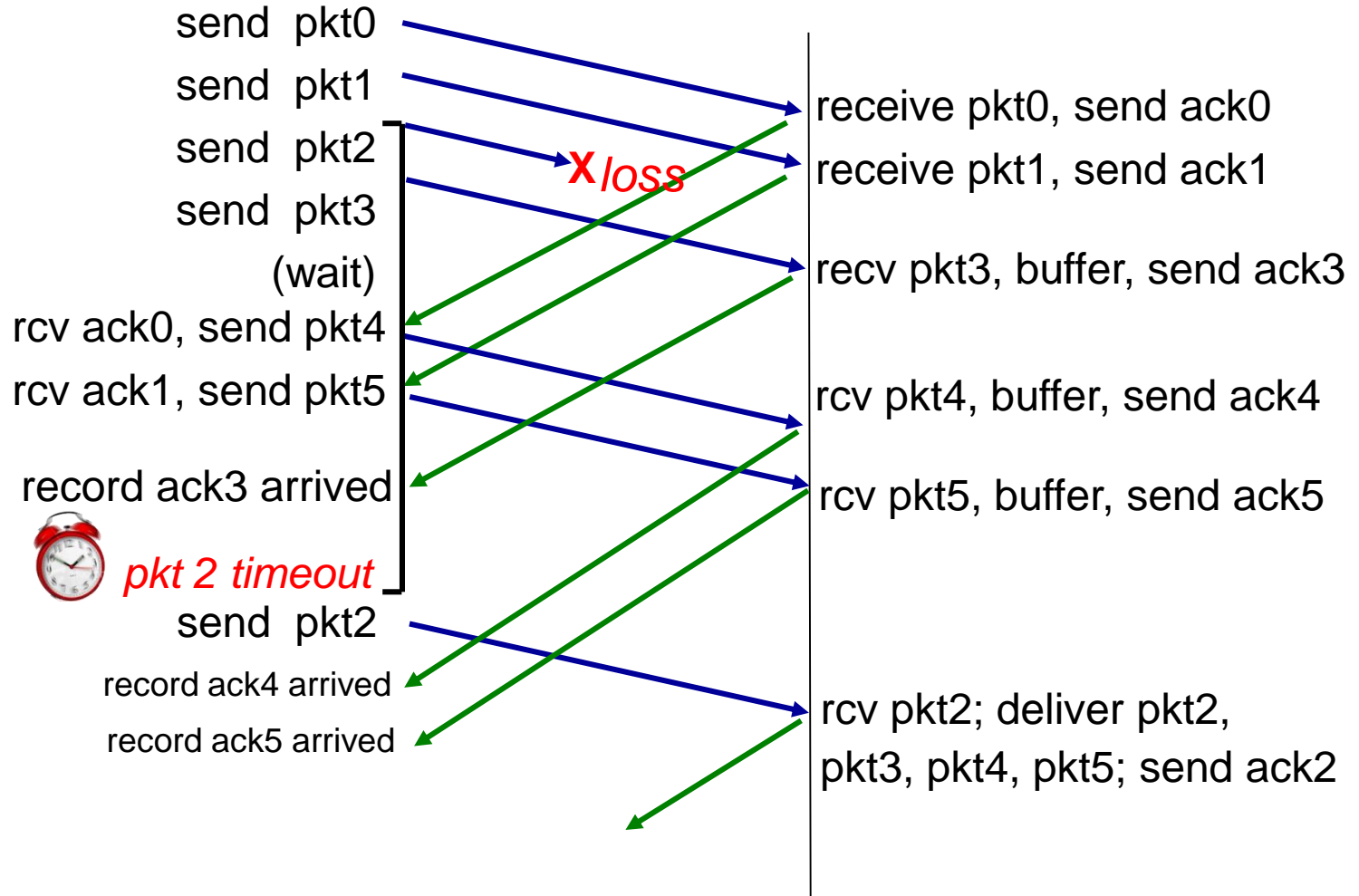
0 1 2 3 4 5 6 7 8

0 1 2 3 4 5 6 7 8

0 1 2 3 4 5 6 7 8

0 1 2 3 4 5 6 7 8

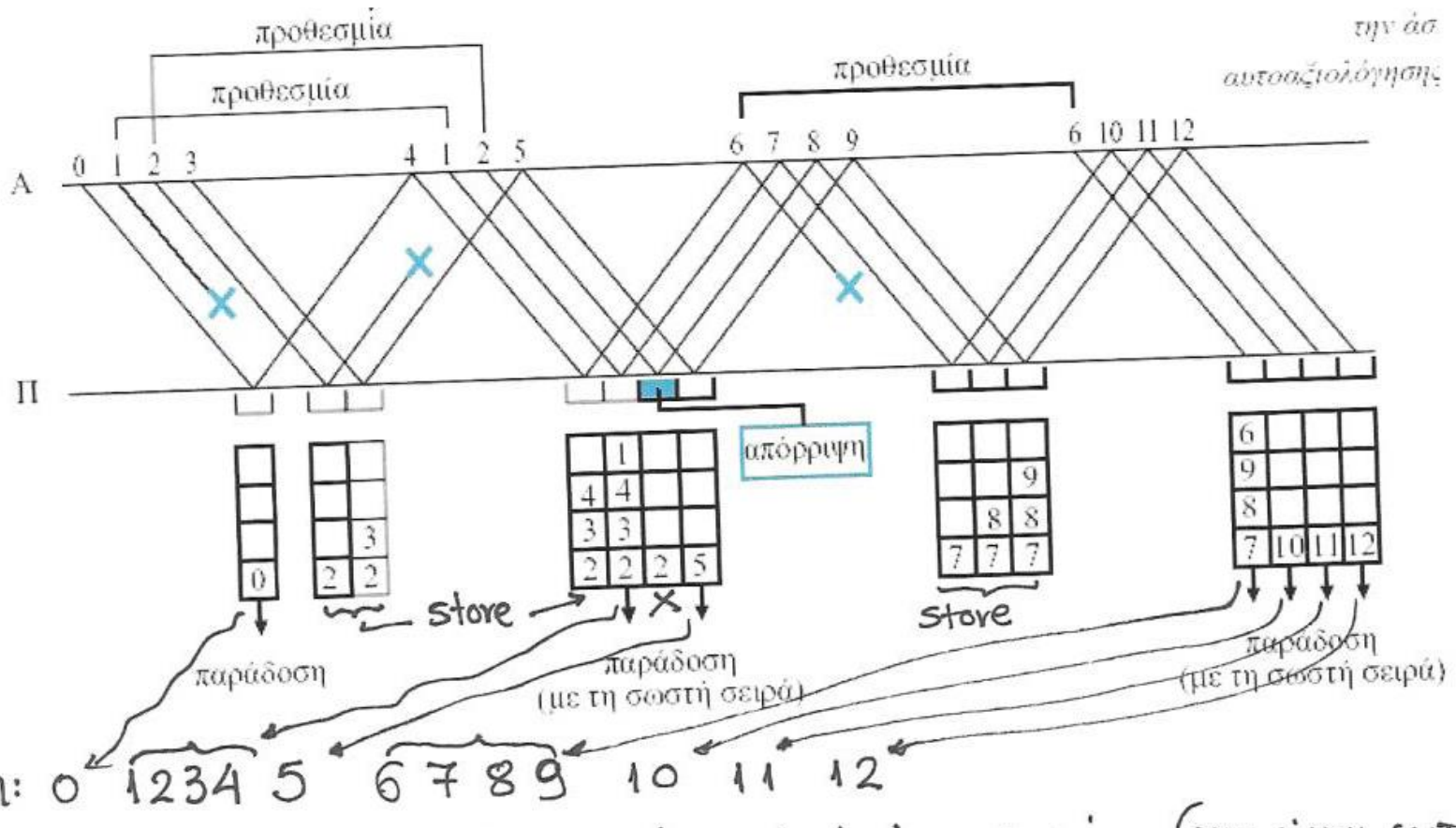
0 1 2 3 4 5 6 7 8



σελ. 123

σχ. 4.13

SRP.



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

Μειονέκτηρα 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.

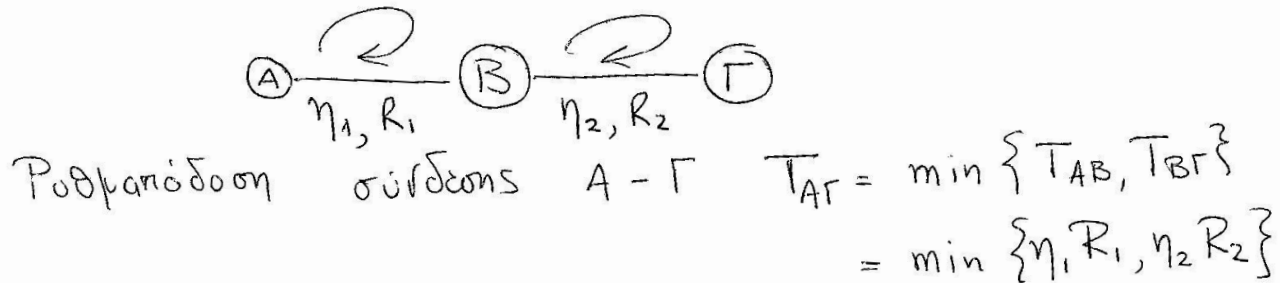
Ρυθμιάδοση ή Διαμεταμορφωτική Ικανότητα ή Throughput.

$$T = \eta \cdot R$$

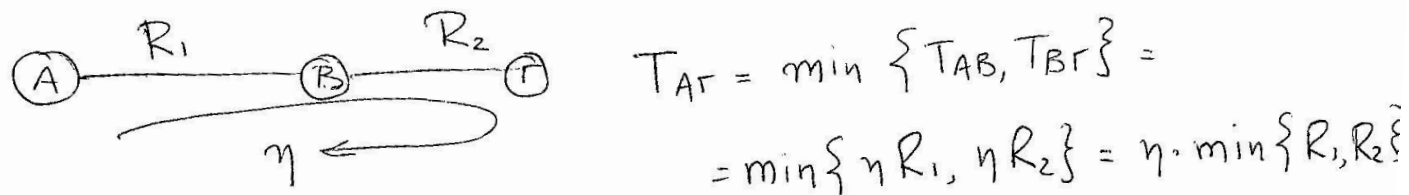
\uparrow αριόδοση συνδέσμου-πρωτοκόλλου επανειληφής
 \nwarrow Ρυθμός Μετάδοσης Συνδέσμου

Περιπτώσεις

α) Διαδοχικοί Σύνδεσμοι με επιμέρους πρωτόκολλα επανειληφής



β) Διαδοχικοί Σύνδεσμοι με ένα πρωτόκολλο επανειληφής end-end

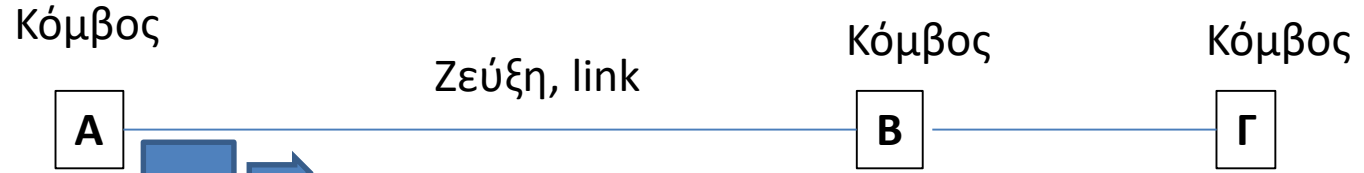


Ωφέλιμος / Καθαρός Ρυθμός Δεδομένων ή Goodput.

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

↑
ρυθμότητα = ηR

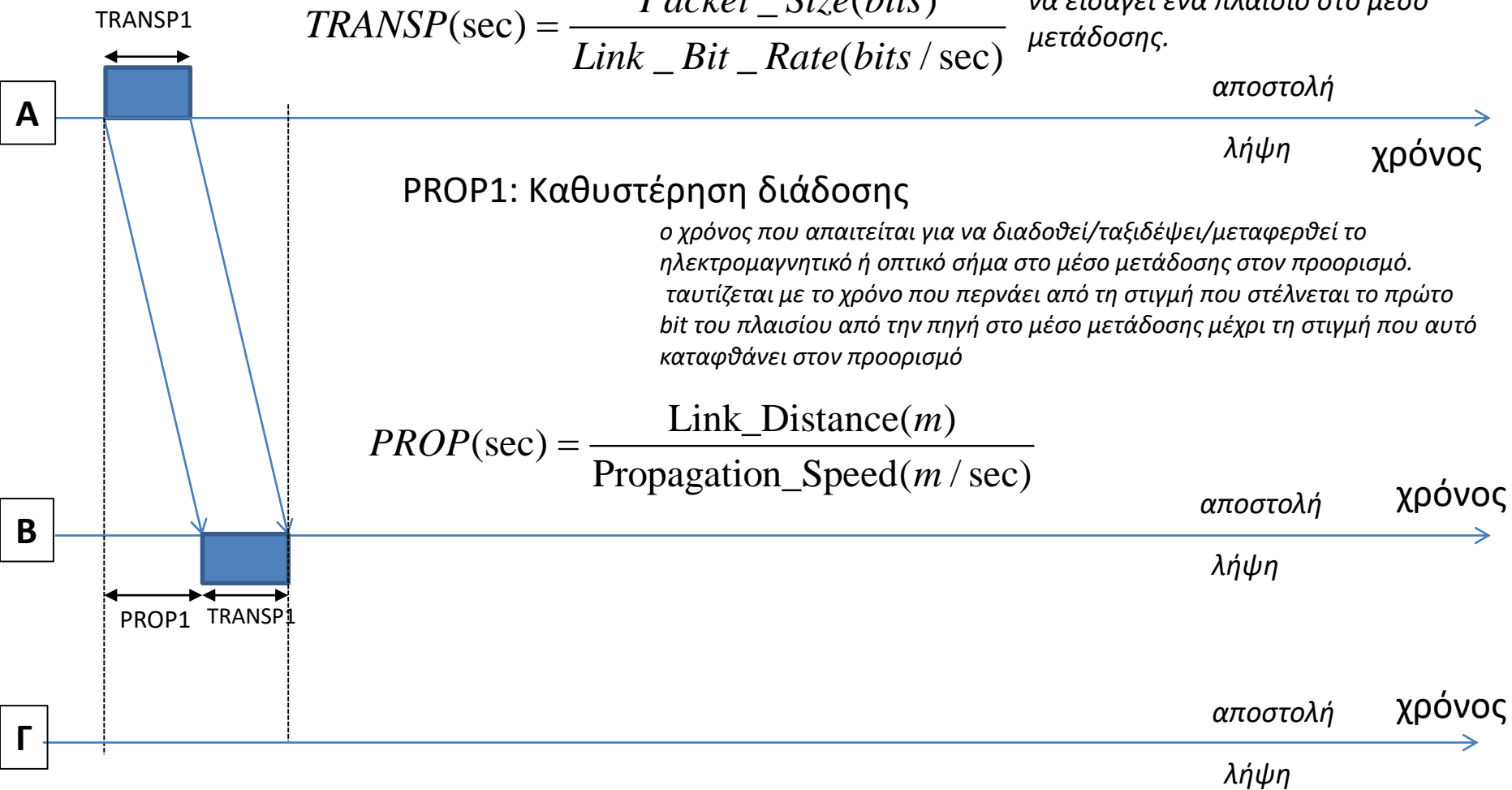
Αποστολή πακέτου δεδομένων Α-Β



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

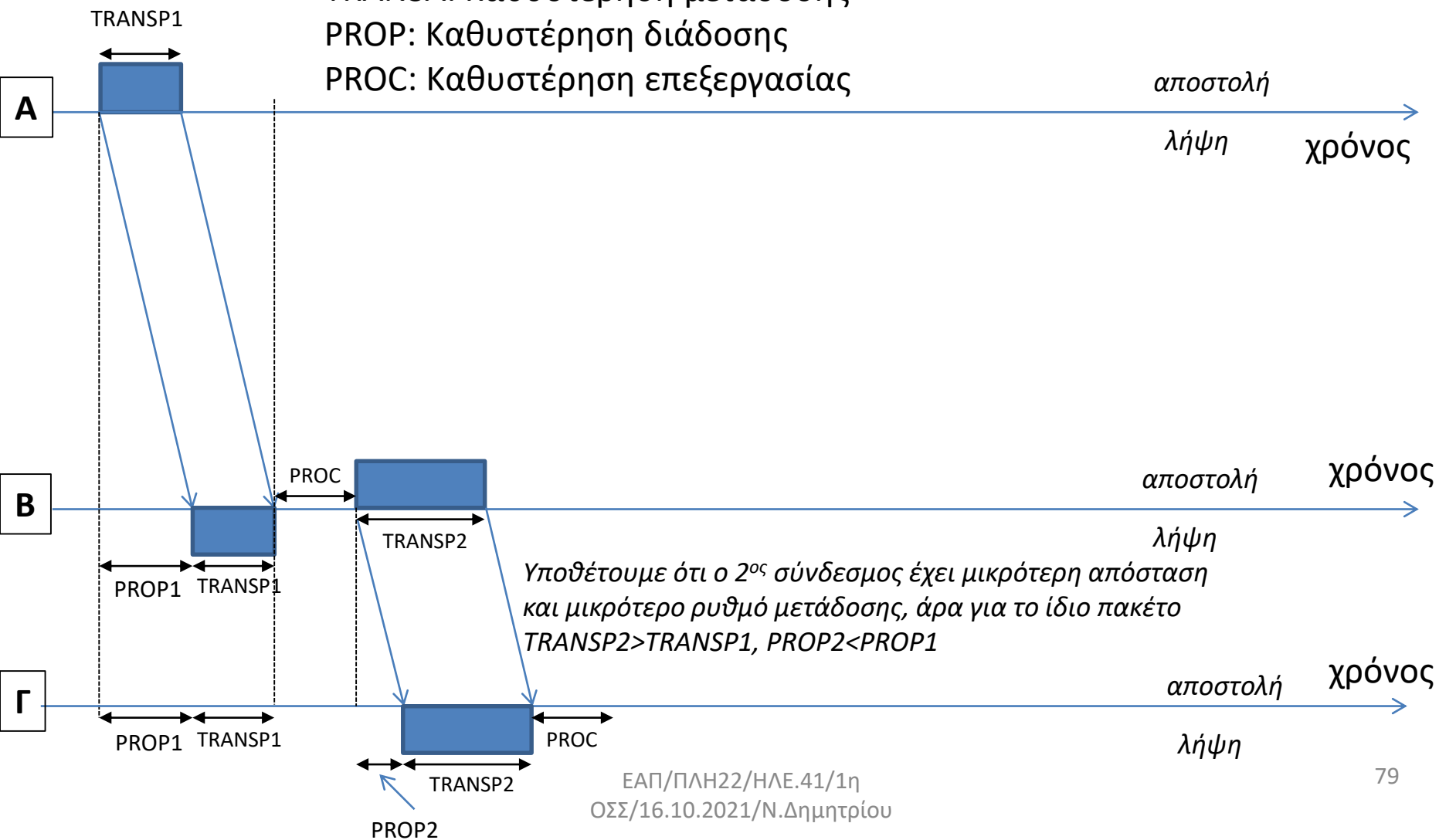
ο χρόνος που απαιτείται για να διαδοθεί/ταξιδέψει/μεταφερθεί το ηλεκτρομαγνητικό ή οπτικό σήμα στο μέσο μετάδοσης στον προορισμό. ταυτίζεται με το χρόνο που περνάει από τη στιγμή που στέλνεται το πρώτο bit του πλαισίου από την πηγή στο μέσο μετάδοσης μέχρι τη στιγμή που αυτό καταφθάνει στον προορισμό

$$PROP(sec) = \frac{Link_Distance(m)}{Propagation_Speed(m/sec)}$$

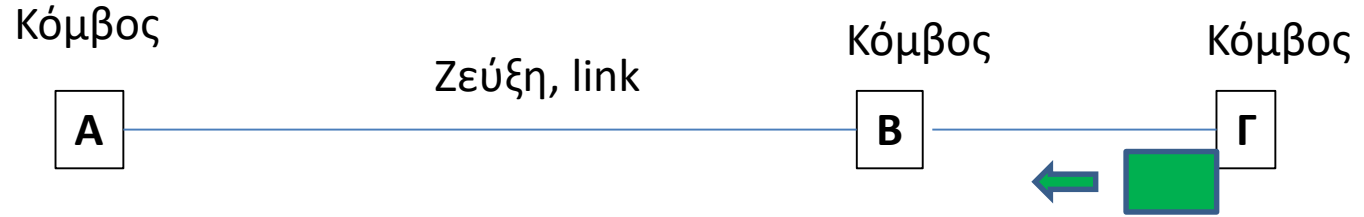
Αποστολή πακέτου δεδομένων Β-Γ



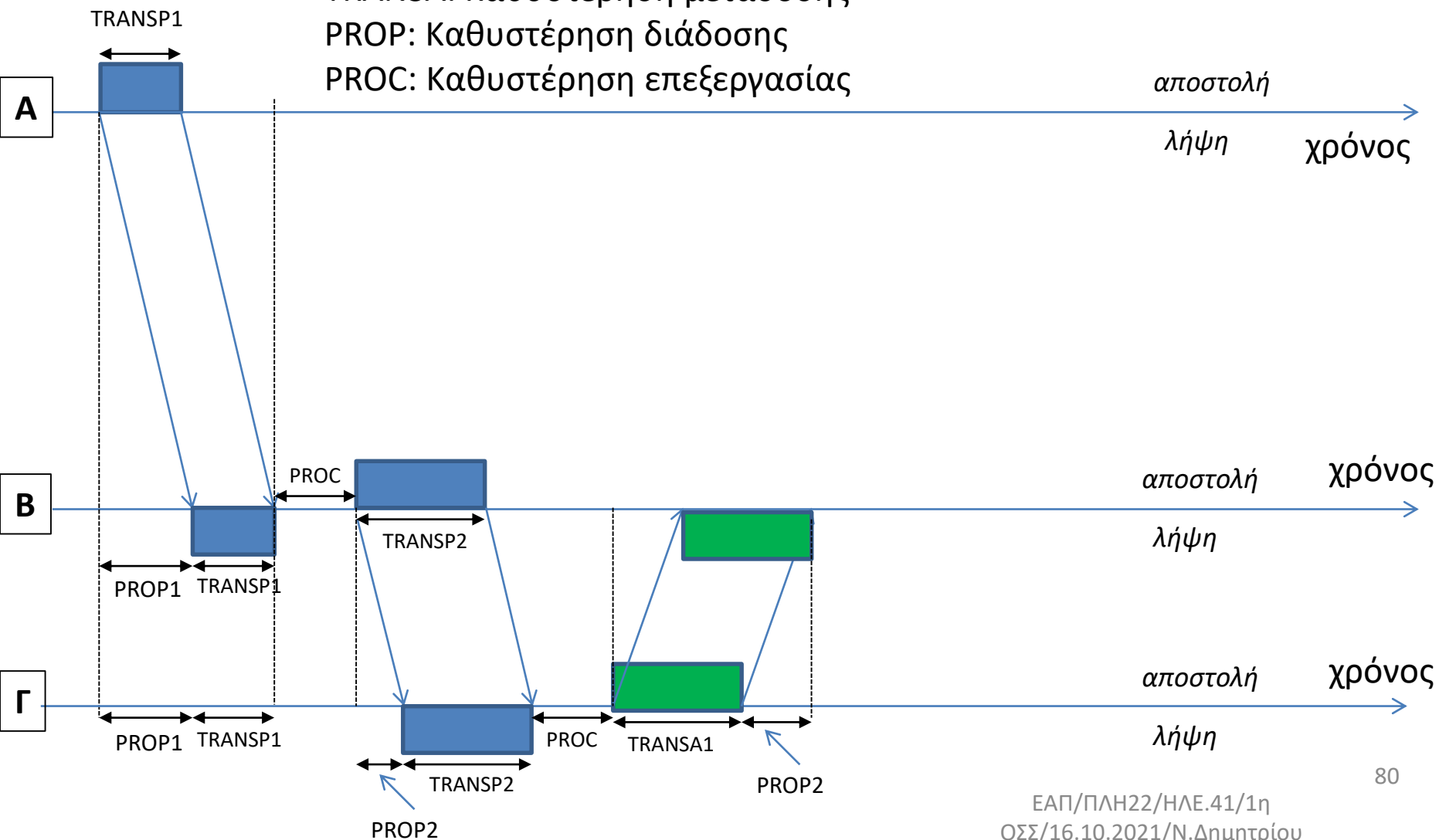
TRANSA: Καθυστέρηση μετάδοσης
 PROP: Καθυστέρηση διάδοσης
 PROC: Καθυστέρηση επεξεργασίας



Αποστολή πακέτου επιβεβαίωσης Γ-B



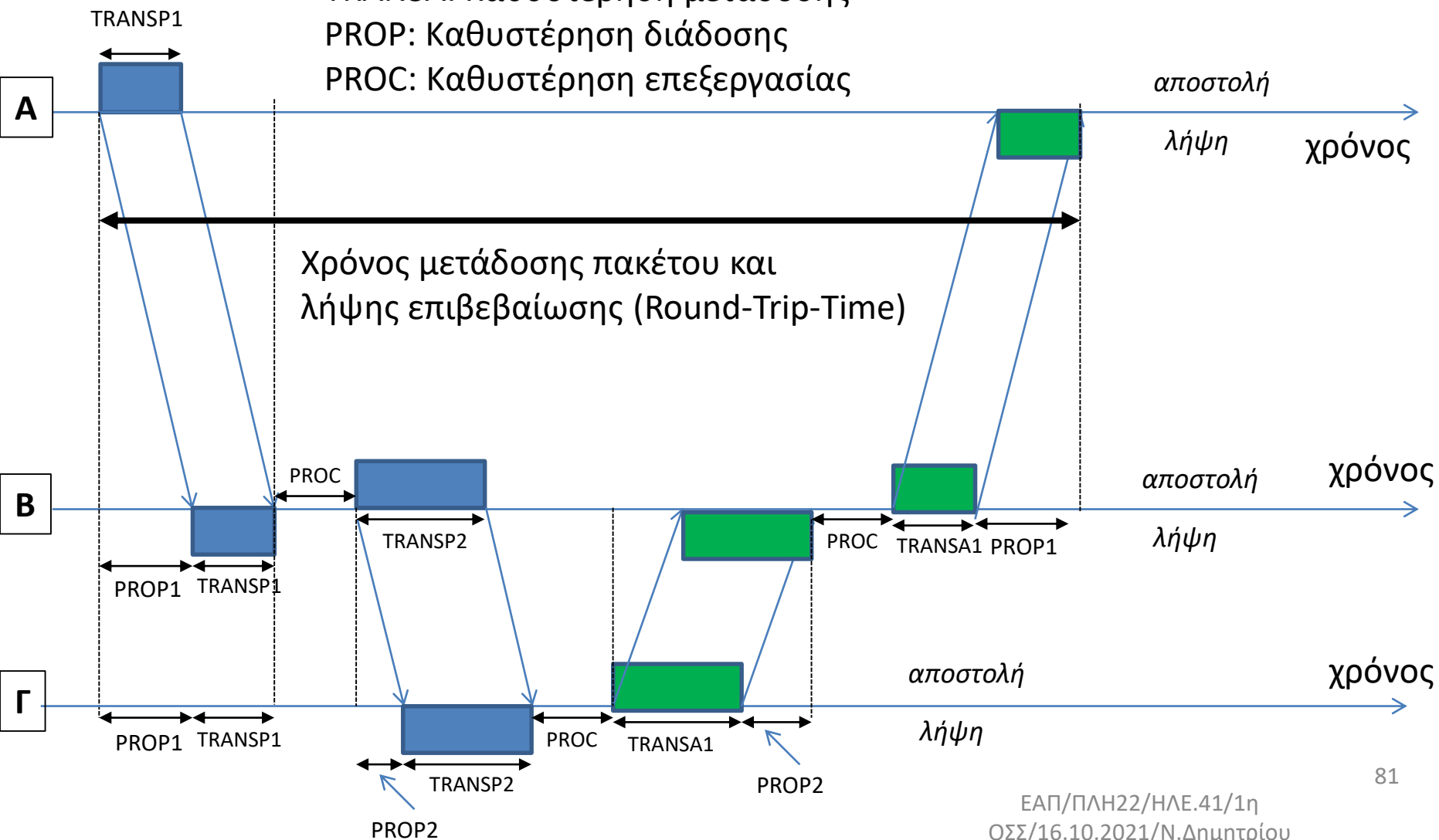
TRANSA: Καθυστέρηση μετάδοσης
 PROP: Καθυστέρηση διάδοσης
 PROC: Καθυστέρηση επεξεργασίας



Αποστολή πακέτου επιβεβαίωσης B-A



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



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 1

ΓΕ1/1819

Στόχος της άσκησης είναι η εξοικείωση με τα βασικά πρωτόκολλα ABP, GBN, SRP και της έννοιας της απόδοσης και ρυθμιαπόδοσης σε δίκτυο αποτελούμενο από 2 συνδέσμους.

Σχετικές ασκήσεις: ΓΕ3/1112/04, ΓΕ1/1415/02, ΓΕ3/1011/04, ΓΕ1/1718/02

Να υποθέσετε ότι 2 επίγειοι σταθμοί (Α,Β) επικοινωνούν μέσω γεωστατικού δορυφόρου (GEO), ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση (ύψος) 36000km από αυτούς. Κάθε πλαίσιο δεδομένων (data frame) μεταδίδεται από τον επίγειο σταθμό Α στο δορυφόρο και ο δορυφόρος το προωθεί στον επίγειο σταθμό Β. Αντίστοιχα, ο επίγειος σταθμός Β στέλνει επιβεβαίωση λήψης του πλαισίου δεδομένων στο δορυφόρο και ο δορυφόρος την προωθεί στον επίγειο σταθμό Α. Ο ρυθμός μετάδοσης των δορυφορικών ζεύξεων είναι 500kbps. Τα πλαίσια καθώς και οι επιβεβαιώσεις (ACK) έχουν ίδιο μέγεθος. Ο χρόνος επεξεργασίας πακέτων δεδομένων και επιβεβαιώσεων σε κάθε κόμβο είναι 10msec.

Α) Εάν υποθέσουμε ότι η μετάδοση των δεδομένων από τον έναν επίγειο σταθμό στον άλλο γίνεται με πρωτόκολλο ABP χωρίς σφάλματα μετάδοσης και η απόδοση του πρωτοκόλλου μετρήθηκε σε 0,001908397, τι μέγεθος πλαισίου (σε bytes) χρησιμοποιείται;

Β) Να υποθέσετε ότι στην ανωτέρω επικοινωνία μεταξύ Α και Β (με το μέγεθος πλαισίου δεδομένων και επιβεβαιώσεων που υπολογίστηκε στο ερώτημα Α) προστίθεται επίγεια διασύνδεση με οπτική ίνα για τη μετάδοση των επιβεβαιώσεων του πρωτοκόλλου ABP, δηλαδή τα πλαίσια δεδομένων αποστέλλονται από τον Α στον Β μέσω του δορυφόρου ενώ οι αντίστοιχες επιβεβαιώσεις από τον Β στον Α μέσω της οπτικής ίνας. Εάν η πιθανότητα σφάλματος σε κάθε δορυφορική ζεύξη ισούται με 0.95×10^{-4} , και η πιθανότητα σφάλματος στη διασύνδεση με την οπτική ίνα είναι μηδενική, να υπολογίσετε τη ρυθμιαπόδοση και το μέσο ρυθμό μετάδοσης πλαισίων. Να υποθέσετε ότι ο χρόνος προθεσμίας του πρωτοκόλλου ABP ισούται με τον αντίστοιχο χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής (RTT). Επίσης, το μήκος της οπτικής ίνας μεταξύ Α και Β είναι 2000km και ο ρυθμός μετάδοσής της είναι 1Gbps.

Γ) Εάν, για τα δεδομένα του ερωτήματος Β, εφαρμόσουμε πρωτόκολλο GBN με μέγεθος παραθύρου $W=200$, χωρίς όμως σφάλματα μετάδοσης στις δορυφορικές ζεύξεις, ποια είναι η ρυθμιαπόδοση και ο μέσος ρυθμός μετάδοσης πλαισίων;

Σημείωση: Η ταχύτητα διάδοσης στις δορυφορικές ζεύξεις είναι ίση με 300.000 km/sec ενώ στην οπτική ίνα η ταχύτητα διάδοσης ισούται με 200.000 km/sec.

(A) Έχουμε τα παρακάτω δεδομένα:
 Ρυθμός μετάδοσης $R=500\text{kbps}$
 Απόσταση $=36000\text{km}$ ανά δορυφορική ζεύξη
 Μέγεθος πακέτου $P=x$ bits
 Μέγεθος επιβεβαίωσης (ACK) $A=x$ bits
 Χρόνος επεξεργασίας $T_{\text{επ}}=10\text{msec}=10^{-2}\text{sec}$
 Ταχύτητα διάδοσης $V=300000\text{km/sec}$

Ο χρόνος TRANSP υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{TRANSP} = \text{TRANSA} = \frac{P}{R} = \frac{x \text{ bits}}{500000 \text{ bits/sec}} = \frac{x}{500000} \text{sec} = y \text{ sec}$$

Ο χρόνος διάδοσης του πλαισίου ή της επιβεβαίωσης ανά δορυφορική ζεύξη υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{PROP} = \frac{36000 \text{ km}}{300000 \text{ km/sec}} = 0.12 \text{sec}$$

Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά ενός πλαισίου και τη λήψη της επιβεβαίωσης υπολογίζεται ως εξής:

$$S = 2 * \text{TRANSP} + 2 * \text{TRANSA} + 4 * \text{PROP} + 4 * T_{\text{επ}} = (2y + 2y + 4 * 0.12 + 4 * 10^{-2}) \text{sec} = (4y + 0.52) \text{sec}$$

Η απόδοση του πρωτοκόλλου ABP χωρίς σφάλματα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\eta_{ABP} = \frac{\text{TRANSP}}{S}$$

κατά συνέπεια $0,001908397 = \frac{y}{4y+0,52}$ και λύνοντας ως προς $y = \text{TRANSP}$ παίρνουμε $y = 0,001$.

Επομένως, $x = 500$.

Κατά συνέπεια τόσο το μέγεθος του πλαισίου όσο και το μέγεθος της επιβεβαίωσης (ACK) ισούνται με

$$P = A = 500 \text{bits} \text{ ή } 500/8 = 62.5 \text{ bytes.}$$

(B) Για το μέγεθος πλαισίου που υπολογίστηκε στο ερώτημα A προκύπτουν τα παρακάτω:

Ρυθμός μετάδοσης στην δορυφορική σύνδεση $R_s=500\text{kbps}$

Ρυθμός μετάδοσης στην οπτική ίνα $R_f=1\text{Gbps}$

Απόσταση=36000km ανά δορυφορικό ζεύξι

Απόσταση=2000km στην σύνδεση οπτική ίνας ανάμεσα στους σταθμούς A και B

Μέγεθος πλαισίου $P=500\text{bits}$

Μέγεθος επιβεβαίωσης (ACK) $A=500\text{bits}$

Χρόνος επεξεργασίας $T_{\text{επ}}=10\text{msec}=10^{-2}\text{sec}$

Ταχύτητα διάδοσης στις δορυφορικές ζεύξεις 300.000km/sec

Ταχύτητα διάδοσης στην οπτική ίνα 200.000km/sec

Χρόνος μετάδοσης πακέτου $\text{TRANSP}=0.001\text{sec}$

Χρόνος μετάδοσης επιβεβαίωσης μέσω οπτικής ίνας $\text{TRANSA}=P/R_f=500\text{bit}/10^9\text{bps}=5*10^{-7}\text{sec}$

Χρόνος διάδοσης πακέτου $\text{PROP}_s=0.12\text{sec}$

Χρόνος διάδοσης επιβεβαίωσης μέσω οπτικής ίνας $\text{PROP}_f=2000\text{km}/(2*10^8\text{ m/sec})=10^{-2}\text{sec}$

Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά ενός πακέτου και τη λήψη της επιβεβαίωσης υπολογίζεται ως εξής:

$$S=2*\text{TRANSP}+2*\text{PROP}_s+\text{TRANSA}+\text{PROP}_f+3T_{\text{επ}}=$$
$$(2*0.001+2*0.12+5*10^{-7}+10^{-2}+3*10^{-2})\text{sec}=0.2820005\text{sec}$$

Όταν η πιθανότητα σφάλματος είναι $p_f=0.95 \times 10^{-4}$, η πιθανότητα να μεταφερθεί σωστά το πλαίσιο (η επιβεβαίωση σύμφωνα με την εκφώνηση μεταδίδεται πάντα σωστά) ανά δορυφορική ζεύξη είναι $p_s=1-p_f=1-0.95 \times 10^{-4}=0,999905$. Συνεπώς, η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης πλαισίου (επίγειος σταθμός Α-δορυφόρος-επίγειος σταθμός Β) και λήψης της επιβεβαίωσης (επίγειος σταθμός Β-οπτική ίνα-επίγειος σταθμός Α) ισούται με $p_{s,t}=0,999905^2=0.99981$. Λαμβάνοντας υπόψη, ότι σύμφωνα με την εκφώνηση ο χρόνος προθεσμίας του πρωτοκόλλου ABP ισούται με τον αντίστοιχο χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής (S), η απόδοση του πρωτόκολλου ABP δίνεται από τον τύπο:

$$n_{ABP} = \frac{TRANSP}{S + S \frac{1 - p_{s,t}}{p_{s,t}}} = 0.00354$$

Η ρυθμαπόδοση θα είναι ίση με $500\text{kbps} \times 0.00354=1.77\text{kbps}$

Ο μέσος ρυθμός μετάδοσης πλαισίων για το πρωτόκολλο ABP είναι:

$$1.77\text{kbps} / (500\text{bits}/\text{packet})= 3.54 \text{ packets}/\text{sec}$$

(Γ) Στο πρωτόκολλο GBN χωρίς σφάλματα μετάδοσης, η απόδοση δίνεται από τον τύπο:

$$\eta_{GBN} = \min \left\{ 1, \frac{WxTRANSP}{S} \right\} = 0.709$$

Η ρυθμαπόδοση θα είναι ίση με $500\text{kbps} \times 0.709 = 354.5\text{kbps}$.

Ο μέσος ρυθμός μετάδοσης πλαισίων για το πρωτόκολλο GBN είναι

$$354.5\text{kbps} / (500\text{bits}/\text{packet}) = 709 \text{ packets}/\text{sec}$$

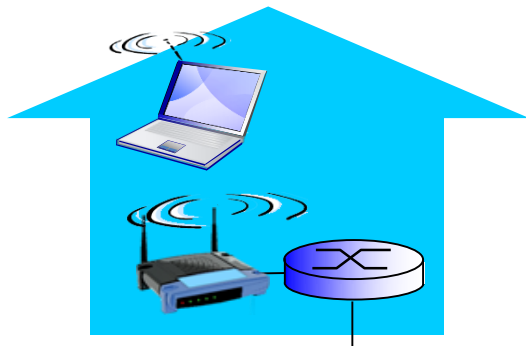
Δίκτυα Πρόσβασης

Ασύρματα δίκτυα πρόσβασης

- Η πρόσβαση διαμοιράζεται, η σύνδεση των γίνεται μέσω σταθμών βάσης (αλλιώς: σημεία πρόσβασης)

Ασύρματα τοπικά δίκτυα

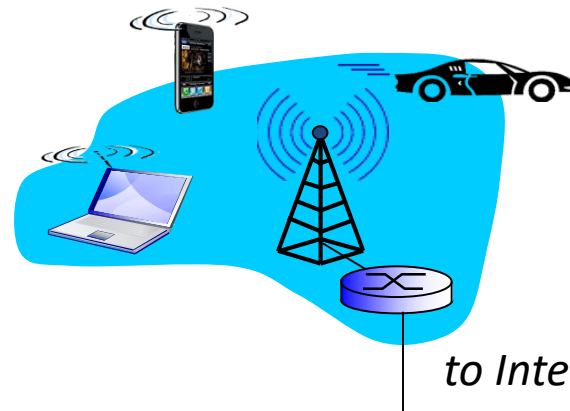
- κυρίως εντός κτιρίων (20-30m)
- 802.11b/g/n/ac (WiFi): 11, 54, 450 Mbps και βάλτε ταχύτητα εκπομπής



προς Internet

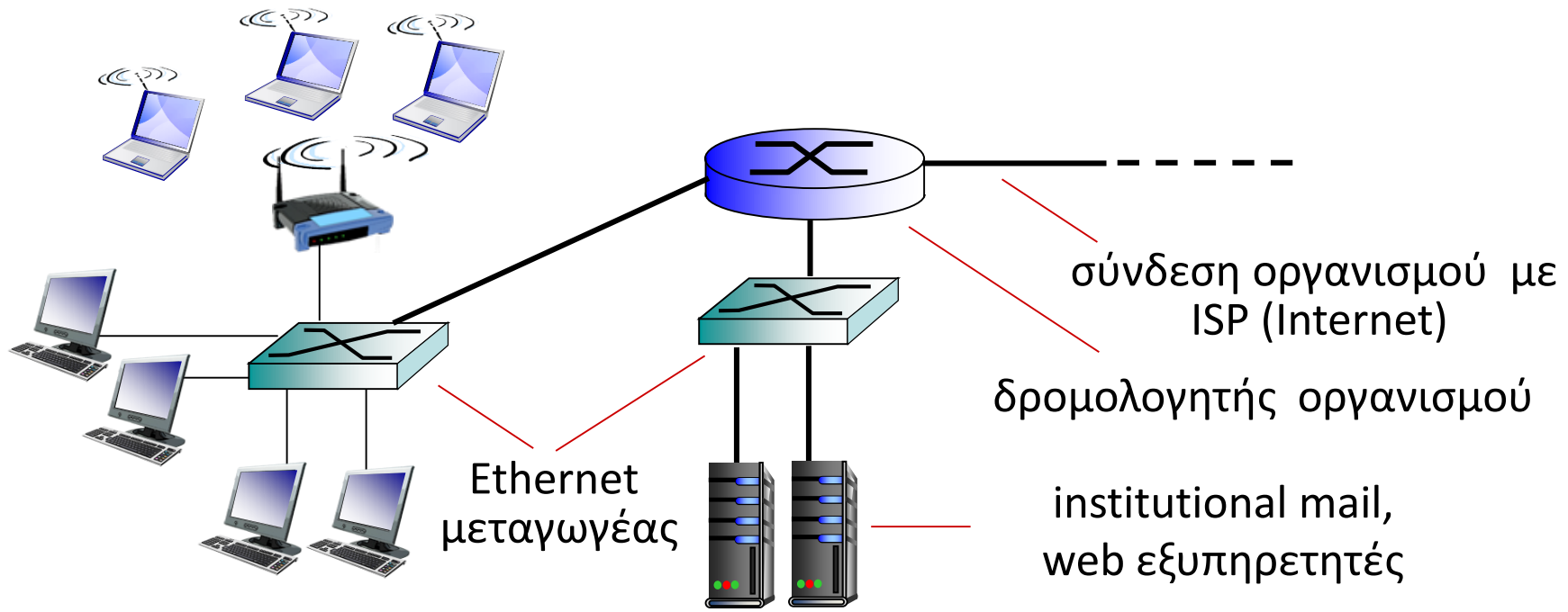
Δίκτυα κινητών επικοινωνιών

- διαθέσιμα από πάροχους κινητής τηλεφωνίας, με εμβέλεια της τάξης των km
- Ταχύτητες κλιμακούμενες μεταξύ 1 και δεκάδων Mbps
- 2.5G, 3G/3G+, 4G/LTE, και μόλις πρόσφατα 5G



to Internet

Εταιρικά δίκτυα πρόσβασης (Ethernet)

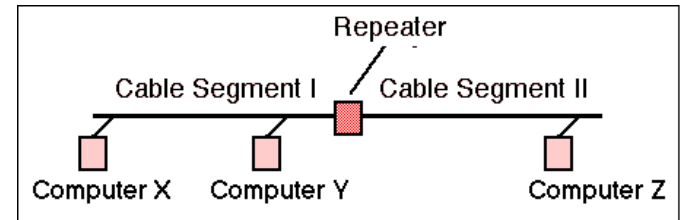
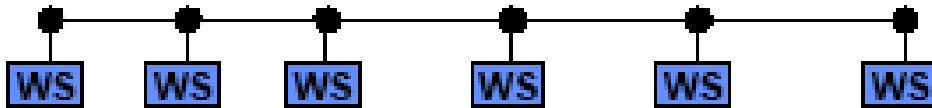


- Συνήθως χρησιμοποιούνται σε εταιρίες, πανεπιστήμια, κτλ
- ❖ 10 Mbps, 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps ταχύτητες εκπομπής
- ❖ σήμερα, τα end systems συνήθως συνδέονται μέσω Ethernet μεταγωγέων (switches)

Τοπολογίες αρτηρίας και αστέρα

“Παραδοσιακό” Ethernet

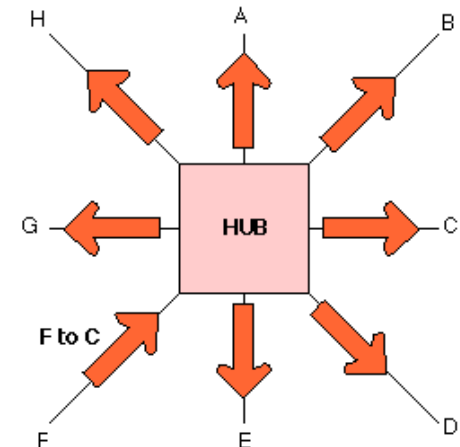
Όλοι οι κόμβοι είναι πάνω σε ένα bus (αρτηρία), πράγμα που σημαίνει μακρύ καλώδιο. Το πρωτόκολλο είναι το CSMA/CD.



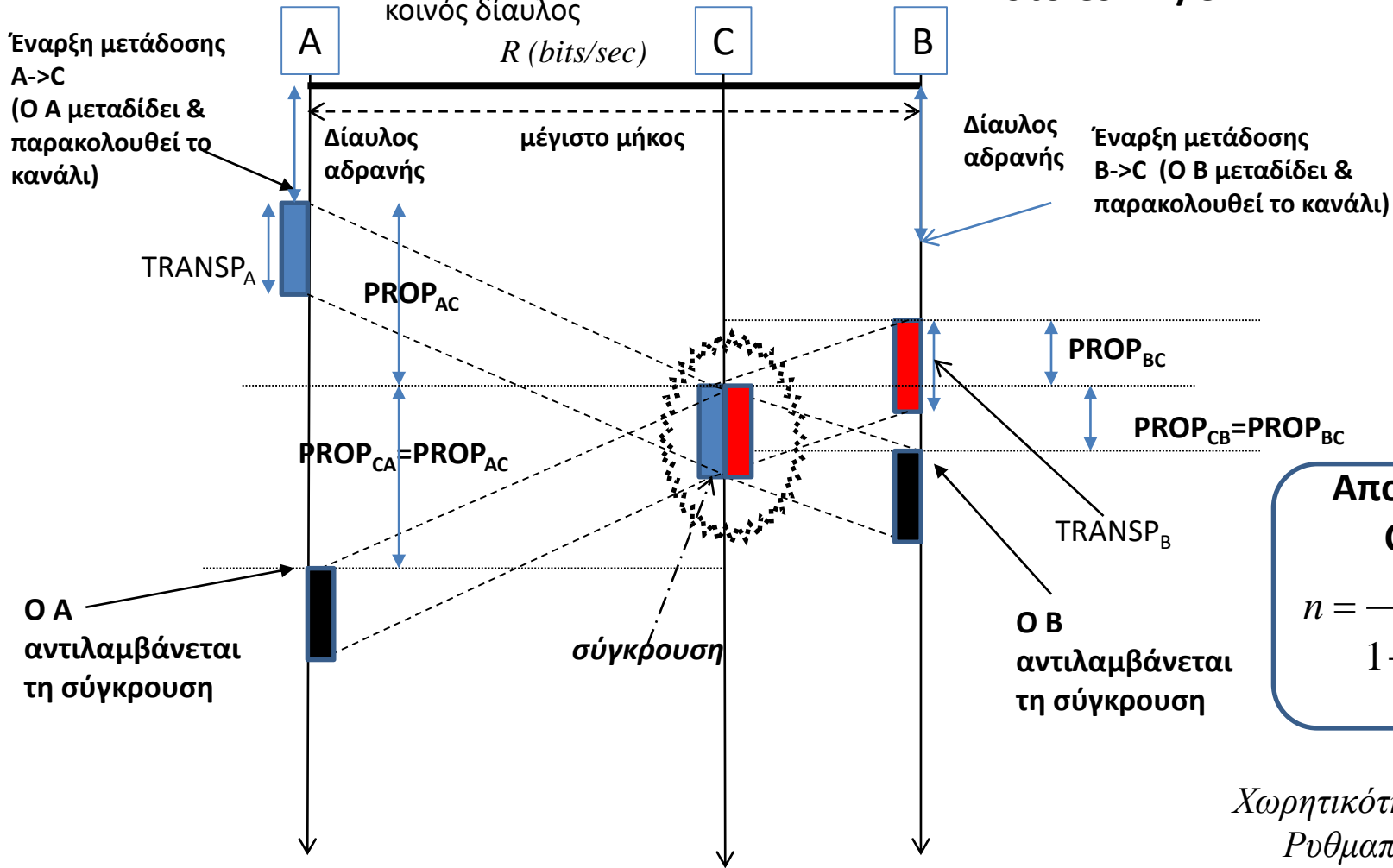
“Hub” Ethernet

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.



Συνθήκη ανίχνευσης συγκρούσεων στο CSMA/CD



Αποδοτικότητα CSMA/CD

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

Χωρητικότητα Διαύλου = Ρυθμαπόδοση = nR

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 A)
 $TRANSP \geq 2PROP_{MAX}$ (μέγιστος χρόνος διάδοσης ενός bit end-end)

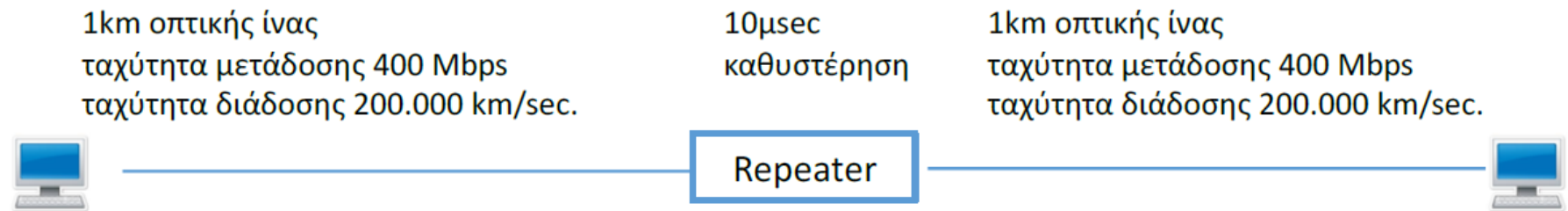
ΘΕΜΑ 5 (20 Μονάδες) ΕΞ 2019Α

Ένα δίκτυο τύπου CSMA/CD αποτελείται από δύο τμήματα οπτικής ίνας το καθένα μήκους 1km. Τα δύο τμήματα ενώνονται με αναμεταδότη (repeater) που εισάγει καθυστέρηση 10 μsec . Οι σταθμοί που συνδέονται στο δίκτυο παράγουν πλαίσια, μήκους διπλάσιου του επιτρεπόμενου ελαχίστου, με ταχύτητα μετάδοσης 400 Mbps.

Ερώτηση 1^η (10 Μονάδες): Ποια θα είναι η ρυθμαπόδοση του δικτύου, αν η επιβάρυνση (overhead) που εισάγει το Επίπεδο Σύνδεσης Δεδομένων ανά μεταδιδόμενο πλαίσιο είναι 500 bits;

Ερώτηση 2^η (10 Μονάδες): Θέλουμε να επιτύχουμε απόδοση του CSMA/CD δικτύου 80%, χωρίς όμως να μεταβάλλουμε το μήκος των πλαισίων και το μήκος του δικτύου. Τι πρέπει να αλλάξουμε στο δίκτυο μας; Ποια η νέα ρυθμαπόδοση?

Θεωρίστε ότι η ταχύτητα διάδοσης στην οπτική ίνα είναι 200.000 km/sec.



Ερώτηση 1^η: Το μέγιστο μήκος του δικτύου είναι 2 km και αποτελείται από 1 επαναλήπτη που ενώνει τα δύο τμήματα.

Η καθυστέρηση διάδοσης PROP είναι ίση με $2\text{km} / (200.000 \text{ km/sec}) = 0.00001\text{sec} = 10 \mu\text{sec}$. Σε αυτήν την τιμή πρέπει να προστεθεί και η καθυστέρηση που εισάγει ο αναμεταδότης. Ως εκ τούτου η συνολική καθυστέρηση είναι $\text{DELAY} = 20\mu\text{sec}$.

Γνωρίζουμε ότι στα δίκτυα CSMA/CD, το ελάχιστο μήκος πλαισίου αντιστοιχεί σε χρονικό διάστημα μετάδοσης διπλάσιο της συνολικής καθυστέρησης διάδοσης (DELAY). Επειδή $2 * \text{DELAY} = 40 \mu\text{sec}$, το ελάχιστο μέγεθος πλαισίου είναι ίσο με $2 * \text{DELAY} * R = 40 \mu\text{sec} * 400 \text{ Mbps} = 16.000 \text{ bits}$.

Εφόσον μεταδίδονται πλαίσια μήκους διπλάσιου του ελαχίστου, κάθε ένα τέτοιο πλαίσιο θα έχει μέγεθος ίσο με 32.000 bits με χρόνο μετάδοσης $\text{TRANSP} = 32.000 / (400 * 10^6) \text{ sec} = 80\mu\text{sec}$.

Επίσης, κάθε ένα τέτοιο πλαίσιο θα μεταφέρει $32.000 - 500 = 31.500 \text{ bits}$ πληροφορίας με αποτέλεσμα το ποσοστό μεταφοράς ωφέλιμης πληροφορίας ανά πλαίσιο να είναι ίσο με $31.500 / 32.000 = 0.98435$.

Εφόσον $\text{PROP} = 20 \mu\text{sec}$, $\text{TRANSP} = 80\mu\text{sec}$, σύμφωνα με τον γνωστό από τη θεωρία τύπο που δίνει την απόδοση ενός CSMA/CD δικτύου ($n = 1 / (1 + 5\beta)$), όπου $\beta = \text{DELAY} / \text{TRANSP}$), προκύπτει ότι η απόδοση του δικτύου θα είναι ίση με $n = 0.444$.

Η ρυθμαπόδοση του δικτύου θα είναι ίση με $n * R = 0.444 * 400 \text{ Mbps} = 177.6 \text{ Mbps}$.

Ερώτηση 2^η: Η παράμετρος που μένει να αλλάξουμε είναι ο ρυθμός μετάδοσης, κάτι που θα μεταβάλει τον χρόνο μετάδοσης σε $TRANSP'$.

Θα πρέπει συνεπώς $n' = 1/(1+5\beta) = 0.8 \Rightarrow \beta = 0.05 \Rightarrow TRANSP' = DELAY / \beta$

$\Rightarrow TRANSP' = 20 * 20 = 400 \mu\text{sec}$.

Έτσι, για τη νέα ταχύτητα μετάδοσης R' θα ισχύει $R' * 400 \mu\text{sec} = 32.000 \text{ bits} \Rightarrow R' = 80 \text{ Mbps}$.

Εφόσον η απόδοση του δικτύου είναι $n' = 0.8$, η ρυθμαπόδοση του δικτύου θα ισούται με $n' * R' = 0.8 * 80 \text{ Mbps} = 64 \text{ Mbps}$.

CSMA/CD exp.backoff (I)

Όταν υλοποιείται ο μηχανισμός CSMA/CD, τότε ο κόμβος του τοπικού δικτύου, που έχει δεδομένα προς μετάδοση, ακολουθεί την ακόλουθη διαδικασία:

1. Περιμένει μέχρις ότου το κανάλι καταστεί αδρανές.
2. Όταν διαπιστώσει ότι το κανάλι είναι αδρανές, τότε μεταδίδει τα δεδομένα του και ταυτόχρονα παρατηρεί το μέσο πολλαπλής πρόσβασης.
3. Στην περίπτωση που ανιχνεύσει σύγκρουση, τότε σταματάει τη μετάδοση δεδομένων, περιμένει για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και ξεκινά πάλι από το βήμα 1.

CSMA/CD exp.backoff (II)

Πόσος είναι ο τυχαίος χρόνος που ένας κόμβος περιμένει μετά την ανίχνευση σύγκρουσης; Η τιμή του υπολογίζεται με βάση τον ακόλουθο αλγόριθμο, ο οποίος ονομάζεται *δυναδική εκθετική υποχώρηση* (binary exponential backoff).

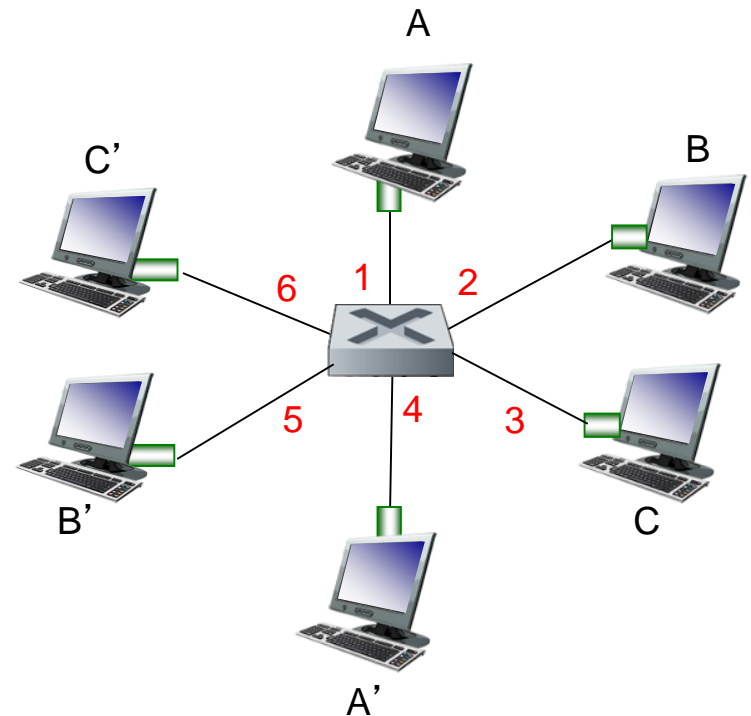
Ας συμβολίσουμε με T το χρόνο που απαιτείται για να διαδοθεί ένα ηλεκτρικό σήμα από το ένα άκρο του φυσικού μέσου στο άλλο, υποθέτοντας ότι το μήκος του φυσικού μέσου είναι το μέγιστο επιτρεπτό.

Εάν ένα πλαίσιο συγκρούστηκε n συνεχόμενες φορές κατά τη μετάδοσή του, τότε ο κόμβος επιλέγει, με ίσες πιθανότητες, έναν τυχαίο αριθμό K από το σύνολο $\{0, 1, 2, 3, \dots, 2^m - 1\}$, όπου $m := \min\{10, n\}$. Στη συνέχεια, ο κόμβος υπολογίζει τον τυχαίο χρόνο αναμονής, ο οποίος ισούται με το γινόμενο $K \times 2T$.

Έτσι, μετά την πρώτη σύγκρουση, ο κόμβος είτε ξαναπροσπαθεί αμέσως, είτε περιμένει χρόνο $2T$ πριν ξεκινήσει τη διαδικασία μετάδοσης. Μετά τη δεύτερη σύγκρουση, περιμένει, με ίσες πιθανότητες, για χρόνο $0, 2T, 4T$ ή $6T$. Αντίστοιχα, μετά από τρεις διαδοχικές συγκρούσεις, ο χρόνος αναμονής μπορεί ισοπίθανα να είναι ένας από τους $0, 2T, 4T, 6T, \dots, 14T$, κ.ο.κ. Έτσι, εξαπλώνοντας σταδιακά το εύρος των χρόνων αναμονής μετά από σύγκρουση, μειώνουμε την πιθανότητα εμφάνισης διαδοχικών συγκρούσεων στο δίκτυο.

Switched Ethernet: πολλαπλές ταυτόχρονες εκπομπές

- Οι ξενιστές έχουν ξεχωριστή, απευθείας σύνδεση στον μεταγωγέα
- Το πρωτόκολλο Ethernet χρησιμοποιείται σε κάθε εισερχόμενη ζεύξη, χωρίς συγκρούσεις; full duplex
 - Κάθε ζεύξη είναι ξεχωριστός τομέας συγκρούσεων
- **Μεταγωγή** : A-to-A' και B-to-B' μπορούν να εκπέμψουν ταυτόχρονα, χωρίς συγκρούσεις



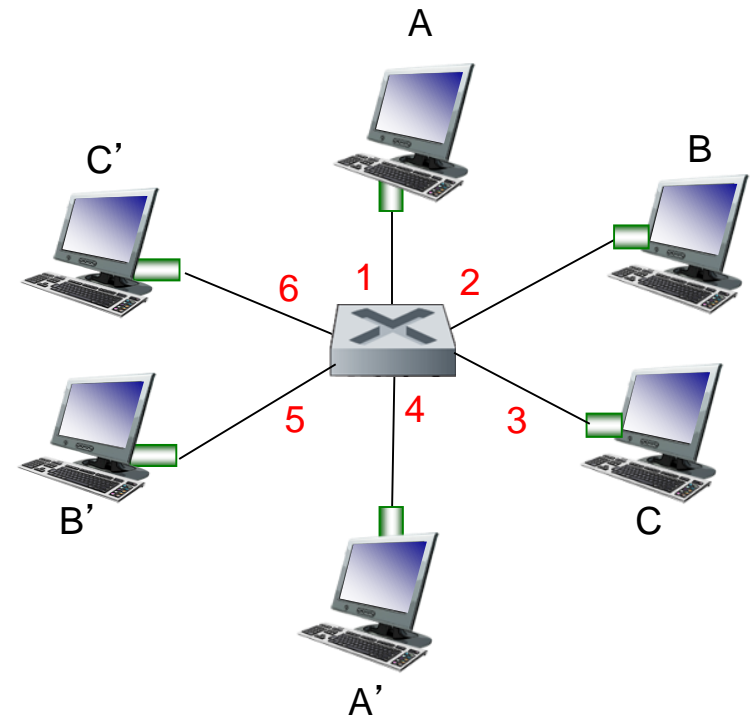
Μεταγωγέας με 6 διεπαφές
(1,2,3,4,5,6)

Μεταγωγέας Ethernet

- **Συσκευή επιπέδου ζεύξης: έχει ενεργό ρόλο**
 - αποθηκεύει και προωθεί πλαίσια Ethernet
 - εξετάζει τις MAC διευθύνσεις των εισερχόμενων πλαισίων, **επιλεκτικά** προωθεί πλαίσια σε μια ή περισσότερες εξερχόμενες ζεύξεις όταν το πλαίσιο πρέπει να προωθηθεί στο αντίστοιχο κομμάτι, παίζει CSMA/CD σε κάθε τμήμα που συνδέει
- **Διάφανη λειτουργία**
 - οι ξενιστές δεν αντιλαμβάνονται την παρουσία των μεταγωγέων
- **plug-and-play, self-learning**
 - δε χρειάζονται ρύθμιση!

Μεταγωγέας: πολλαπλές ταυτόχρονες εκπομπές

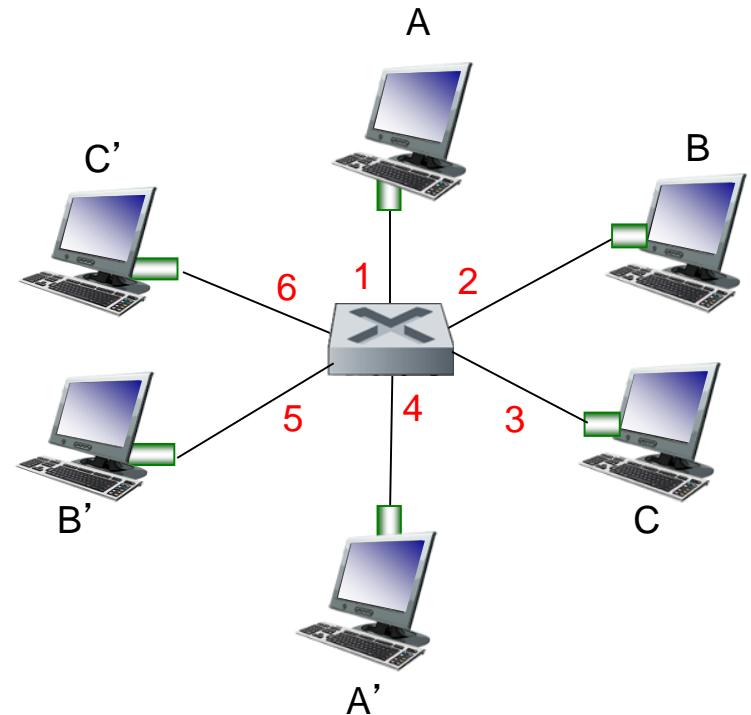
- Οι ξενιστές έχουν ξεχωριστή, απευθείας σύνδεση στον μεταγωγέα
- Το πρωτόκολλο Ethernet χρησιμοποιείται σε κάθε εισερχόμενη ζεύξη, χωρίς συγκρούσεις; full duplex
 - Κάθε ζεύξη είναι ξεχωριστός τομέας συγκρούσεων
- **Μεταγωγή** : A-to-A' και B-to-B' μπορούν να εκπέμψουν ταυτόχρονα, χωρίς συγκρούσεις



Μεταγωγέας με 6 διεπαφές
(1,2,3,4,5,6)

Πίνακας προώθησης μεταγωγέα

- **ΕΡΩΤΗΣΗ:** πώς ξέρει ο μεταγωγέας ότι ο A' είναι προσβάσιμος μέσω της διεπαφής 4, και ο B' μέσω της διεπαφής 5?
- **ΑΠΑΝΤΗΣΗ:** κάθε μεταγωγέας τηρεί έναν πίνακα μεταγωγής με εγγραφές τύπου:
 - (MAC διεύθυνση ξενιστή, διεπαφή πρόσβασης σε αυτόν, χρονοσφραγίδα)
 - Μοιάζει με πίνακα δρομολόγησης !
- **ΕΡΩΤΗΣΗ:** πώς δημιουργούνται και συντηρούνται αυτές οι εγγραφές στον πίνακα μεταγωγής;

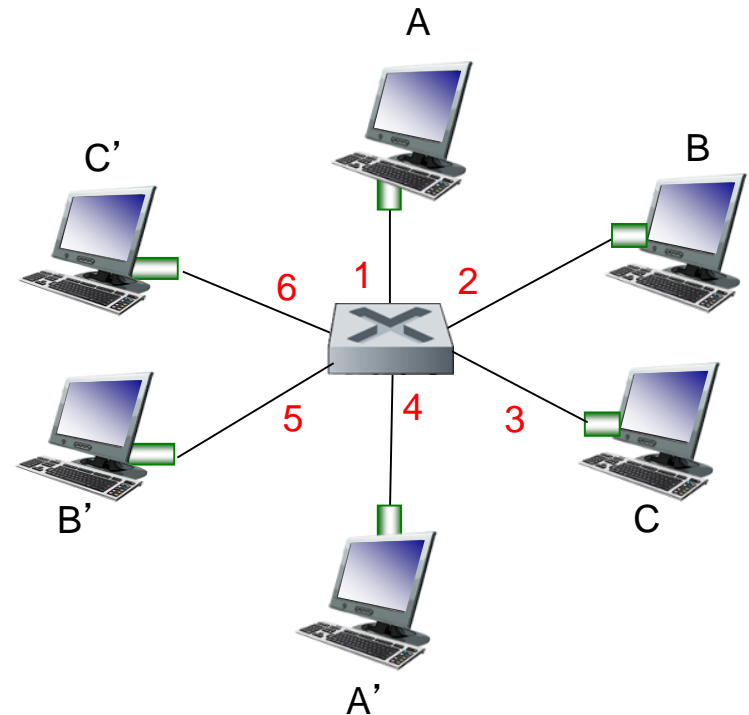


Μεταγωγέας με 6 διεπαφές
(1,2,3,4,5,6)

Μεταγωγέας: self-learning

Με αυτό-εκμάθηση (self-learning)!

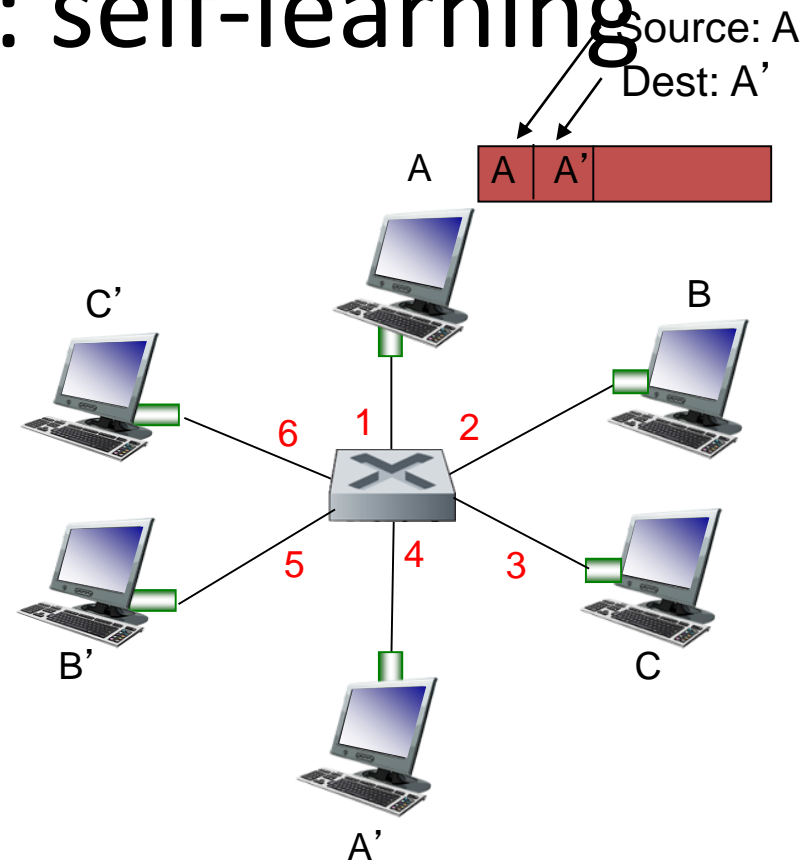
- **Μαθαίνει** ποιους ξενιστές μπορεί να φτάσει μέσω ποιων διεπαφών
 - Όταν λαμβάνει ένα πλαίσιο, “μαθαίνει” και σημειώνει τη θέση του αποστολέα: εισερχόμενη διεπαφή
 - Καταγράφει το ζεύγος αποστολέας – διεπαφή στον πίνακα μεταγωγής



Μεταγωγέας: self-learning

Αυτοδίδακτος!

- **Μαθαίνει** ποιους ξενιστές μπορεί να φτάσει μέσω ποιων διεπαφών
 - Όταν λαμβάνει ένα πλαίσιο, “μαθαίνει” και σημειώνει τη θέση του αποστολέα:
 - εισερχόμενη διεπαφή
 - Καταγράφει το ζεύγος αποστολέας – διεπαφή στον πίνακα μεταγωγής



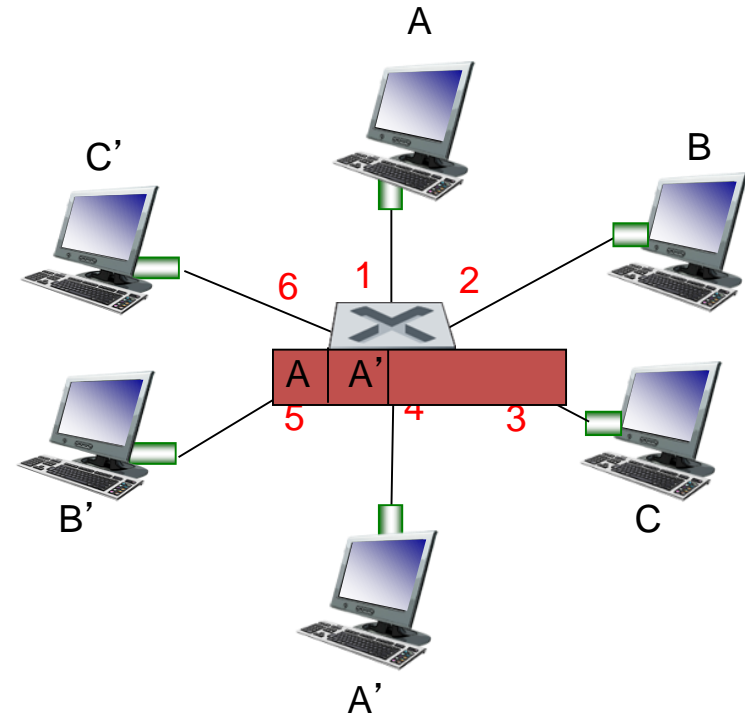
MAC διεύθυνση	διεπαφή	TTL

Πίνακας μεταγωγής
(αρχικά κενός)

Μεταγωγέας: self-learning

Αυτοδίδακτος!

- **Μαθαίνει** ποιους ξενιστές μπορεί να φτάσει μέσω ποιων διεπαφών
 - Όταν λαμβάνει ένα πλαίσιο, “μαθαίνει” και σημειώνει τη θέση του αποστολέα:
εισερχόμενη διεπαφή
 - Καταγράφει το ζεύγος αποστολέας – διεπαφή στον πίνακα μεταγωγής



MAC διεύθυνση	διεπαφή	TTL
A	1	60

Πίνακας μεταγωγής
(αρχικά κενός)

Μεταγωγέας: προώθηση/φιλτράρισμα πλαισίων

όταν λαμβάνεται ένα πλαίσιο, ο μεταγωγέας:

1. Καταγράφει την εισερχόμενη διεπαφή και τη MAC διεύθυνση του αποστολέα ξενιστή
2. Ψάχνει τον πίνακα μεταγωγής χρησιμοποιώντας τη MAC διεύθυνση προορισμού σαν κλειδί

3. Αν βρει εγγραφή

τότε {

αν η διεπαφή είναι η ίδια με αυτή απ' όπου ήρθε το πλαίσιο (διεπαφή προέλευσης)

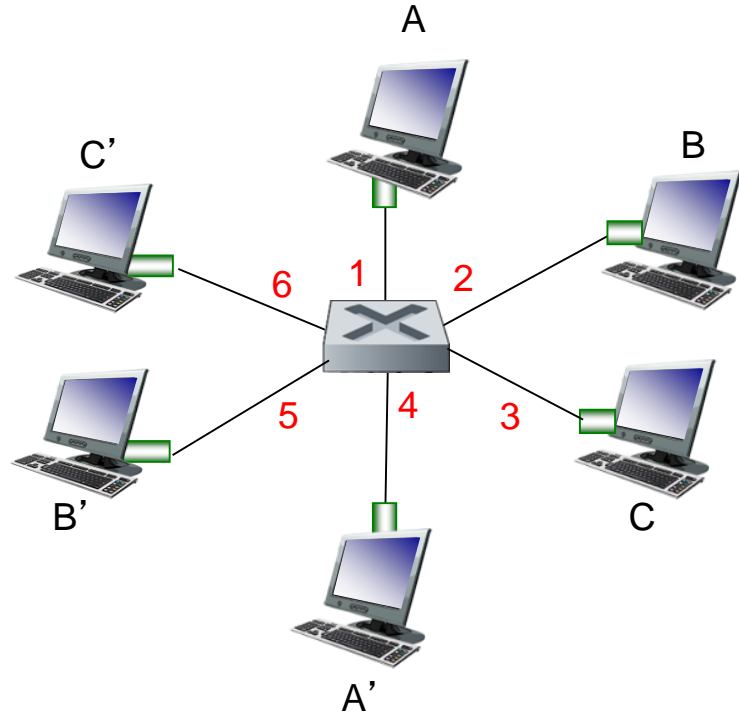
τότε πετά το πλαίσιο /* φιλτράρισμα */

αλλιώς προωθεί το πλαίσιο στη διεπαφή που υποδεικνύει η εγγραφή /* προώθηση */

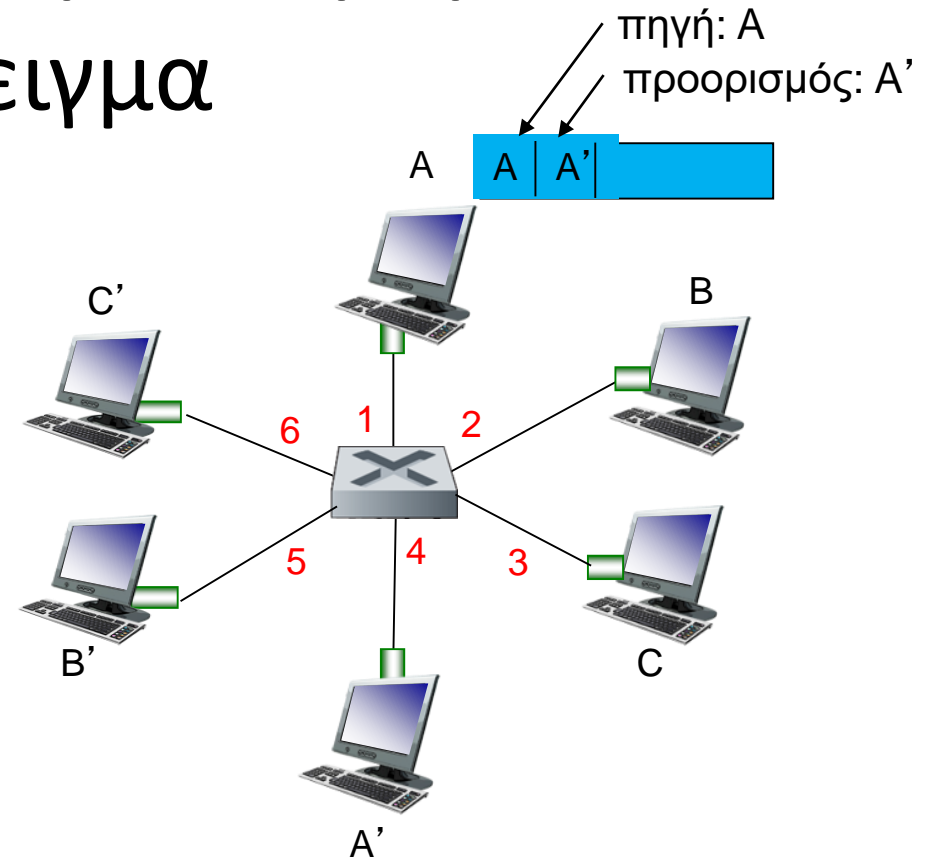
}

αλλιώς «πλημμυρίζει» (flood) /* προωθεί το πλαίσιο σε όλες τις διεπαφές εκτός της διεπαφής προέλευσης */

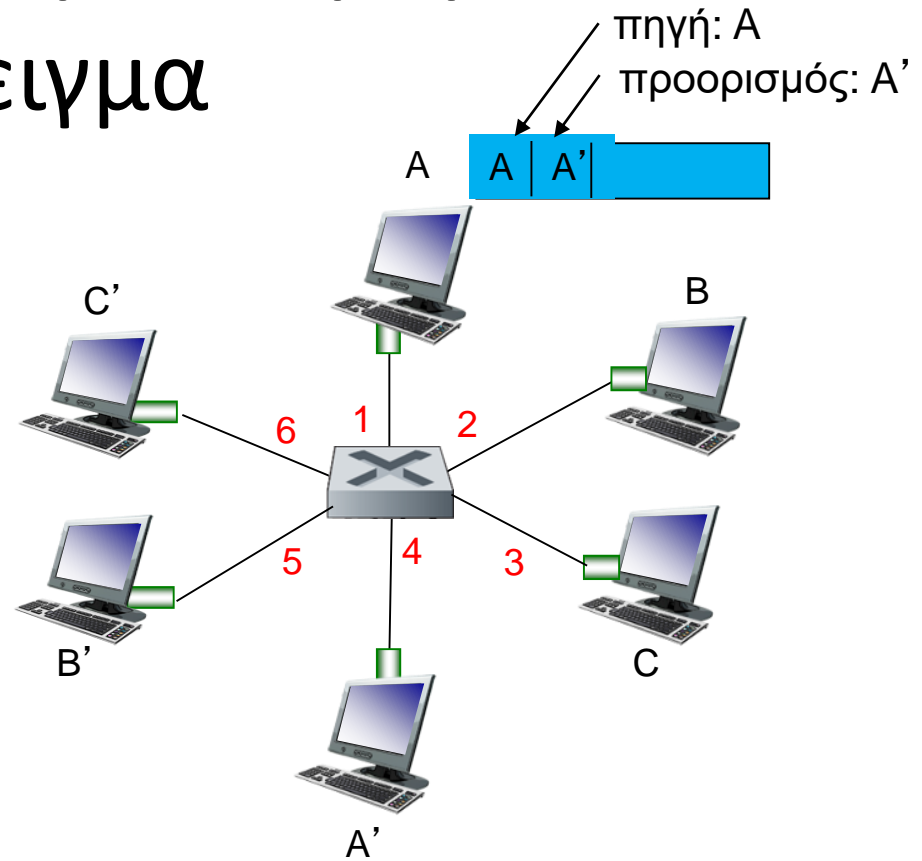
Self-learning, προώθηση: παράδειγμα



Self-learning, προώθηση: παράδειγμα



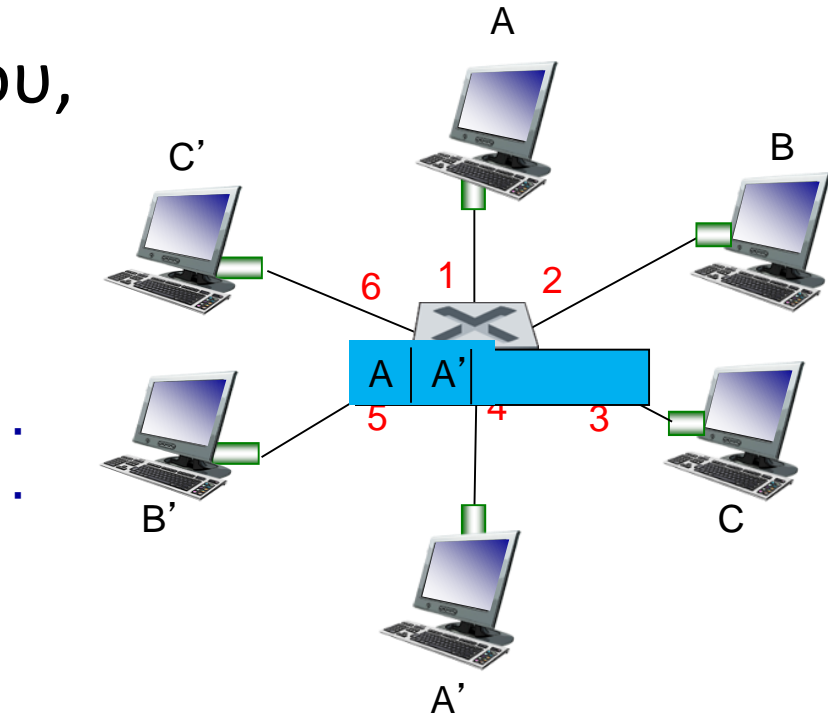
Self-learning, προώθηση: παράδειγμα



MAC διεύθυνση	διεπαφή	TTL

Self-learning, προώθηση: παράδειγμα

- Προορισμός πλαισίου, A', θέση άγνωστη:

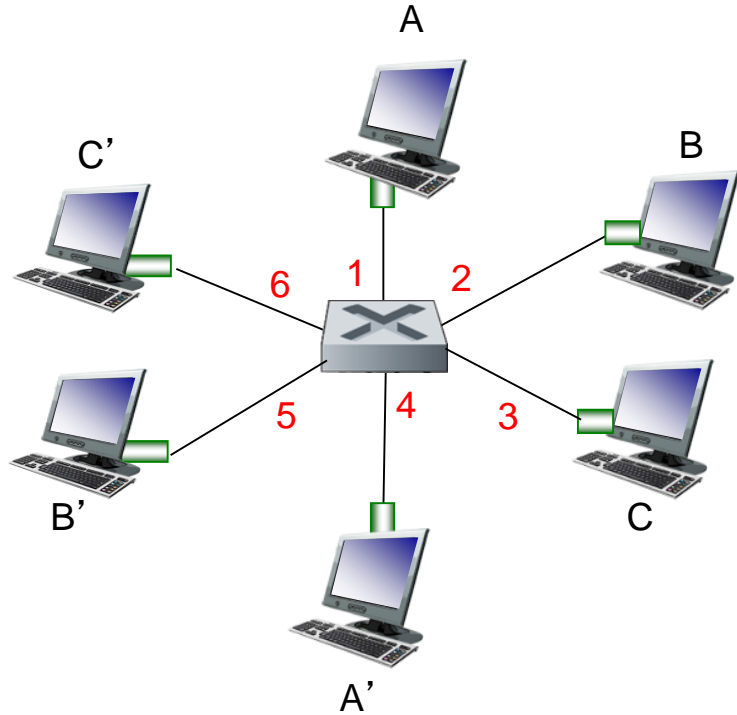


MAC διεύθυνση	διεπαφή	TTL
A	1	60

Self-learning, προώθηση: παράδειγμα

- Προορισμός πλαισίου,
A', θέση άγνωστη:

flood

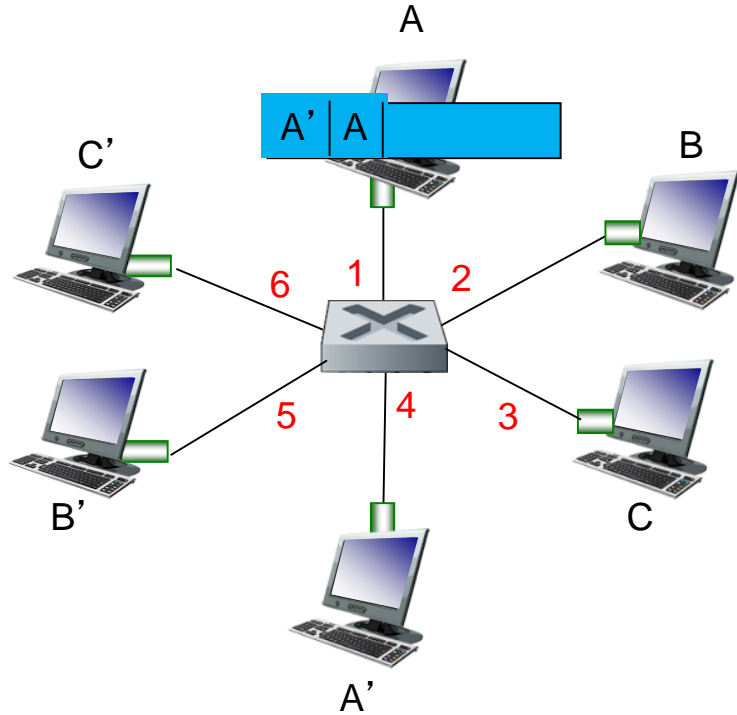


MAC διεύθυνση	διεπαφή	TTL
A	1	60

Self-learning, προώθηση: παράδειγμα

- Προορισμός πλαισίου, A', θέση άγνωστη: **flood**
- ❑ Προορισμός πλαισίου, A, θέση γνωστή

Επιλεκτική προώθηση
σε μια διεπαφή

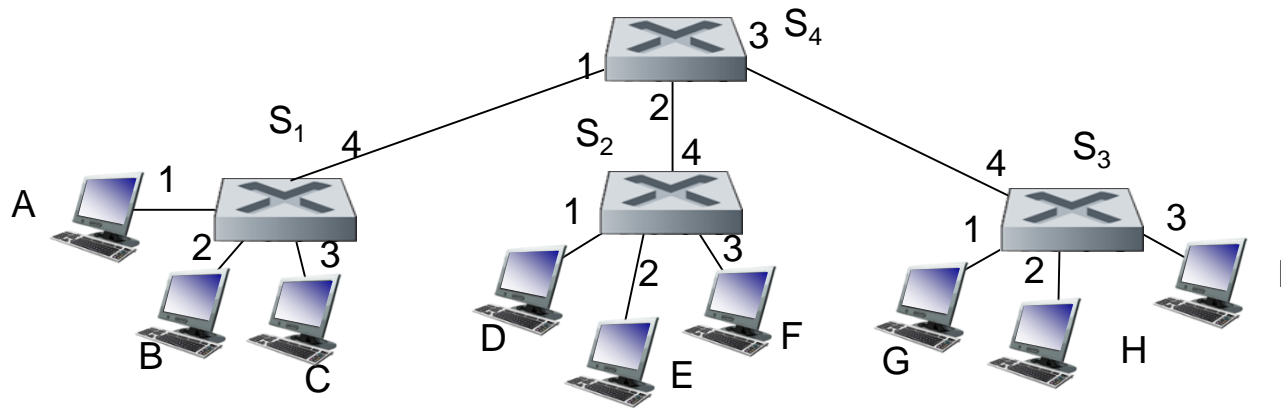


MAC διεύθυνση	διεπαφή	TTL
A	1	60
A'	4	60

Πίνακας μεταγωγής
(αρχικά κενός)

Self-learning με πολλαπλούς μεταγωγείς

- Υποθέστε ότι ο A στέλνει ένα πλαίσιο στον G και ο G απαντά στον A

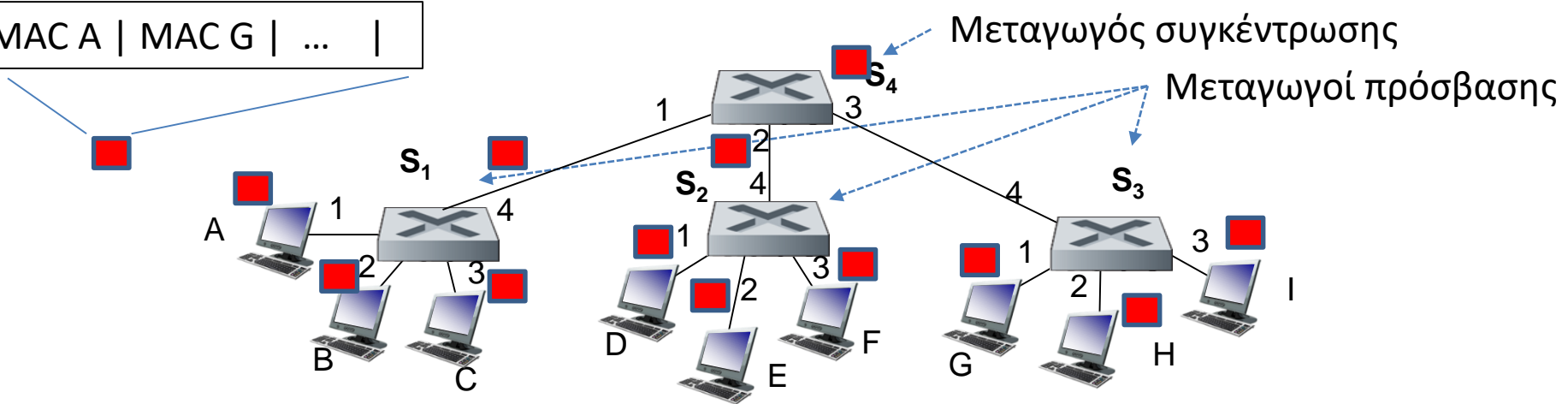


- ΕΡΩΤΗΣΗ:** Ποιοι είναι οι πίνακες μεταγωγής στους S₁, S₂, S₃, S₄ ;

Διασύνδεση μεταγωγέων

- Ο Α στέλνει ένα πλαίσιο στον G

MAC A | MAC G | ... |



- Πίνακες μεταγωγής

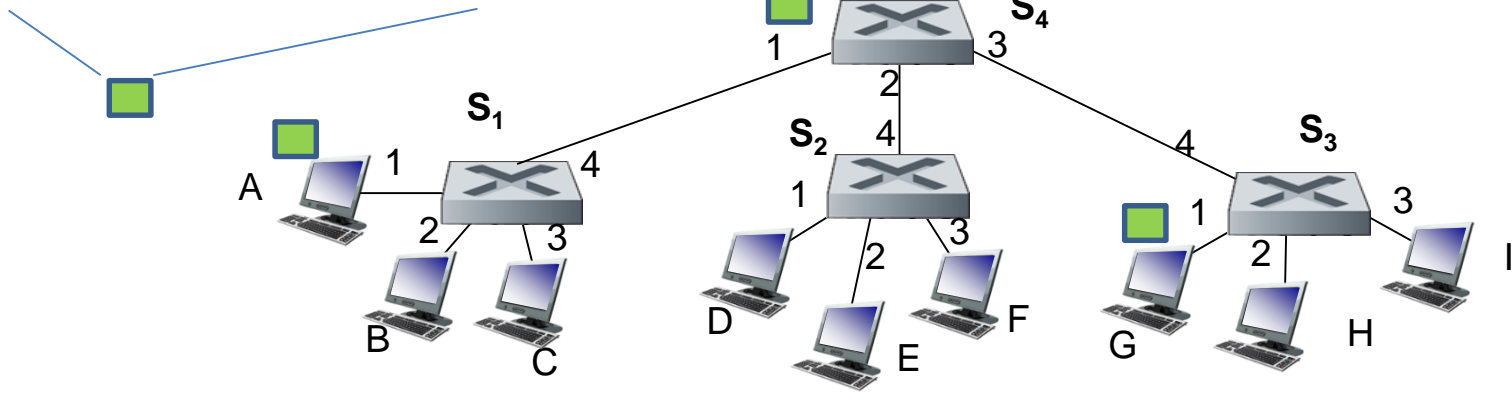
Χρονική στιγμή	S1	S2	S3	S4
t=0	-	-	-	-
t=1	(MAC A, 1)	-	-	-
t=2	(MAC A, 1)	-	-	(MAC A, 1)
t=3	(MAC A, 1)	(MAC A, 4)	(MAC A, 4)	(MAC A, 1)

Self-learning

Διασύνδεση μεταγωγέων

- Ο G στέλνει ένα πλαίσιο στον A

MAC G | MAC A | ... |



- Πίνακες μεταγωγής

Αποστολή
πακέτου
από τον G

Χρονική στιγμή	S1	S2	S3	S4
t=3	(MAC A, 1)	(MAC A, 4)	(MAC A, 4)	(MAC A, 1)
t=4	(MAC A, 1)	(MAC A, 4)	(MAC A, 4) (MAC G, 1)	(MAC A, 1)
t=5	(MAC A, 1)	(MAC A, 4)	(MAC A, 4) (MAC G, 1)	(MAC A, 1) (MAC G, 3)
t=6	(MAC A, 1) (MAC G, 4)	(MAC A, 4)	(MAC A, 4) (MAC G, 1)	(MAC A, 1) (MAC G, 3)

Τυπική οργάνωση δικτύου σε οργανισμό/εταιρία

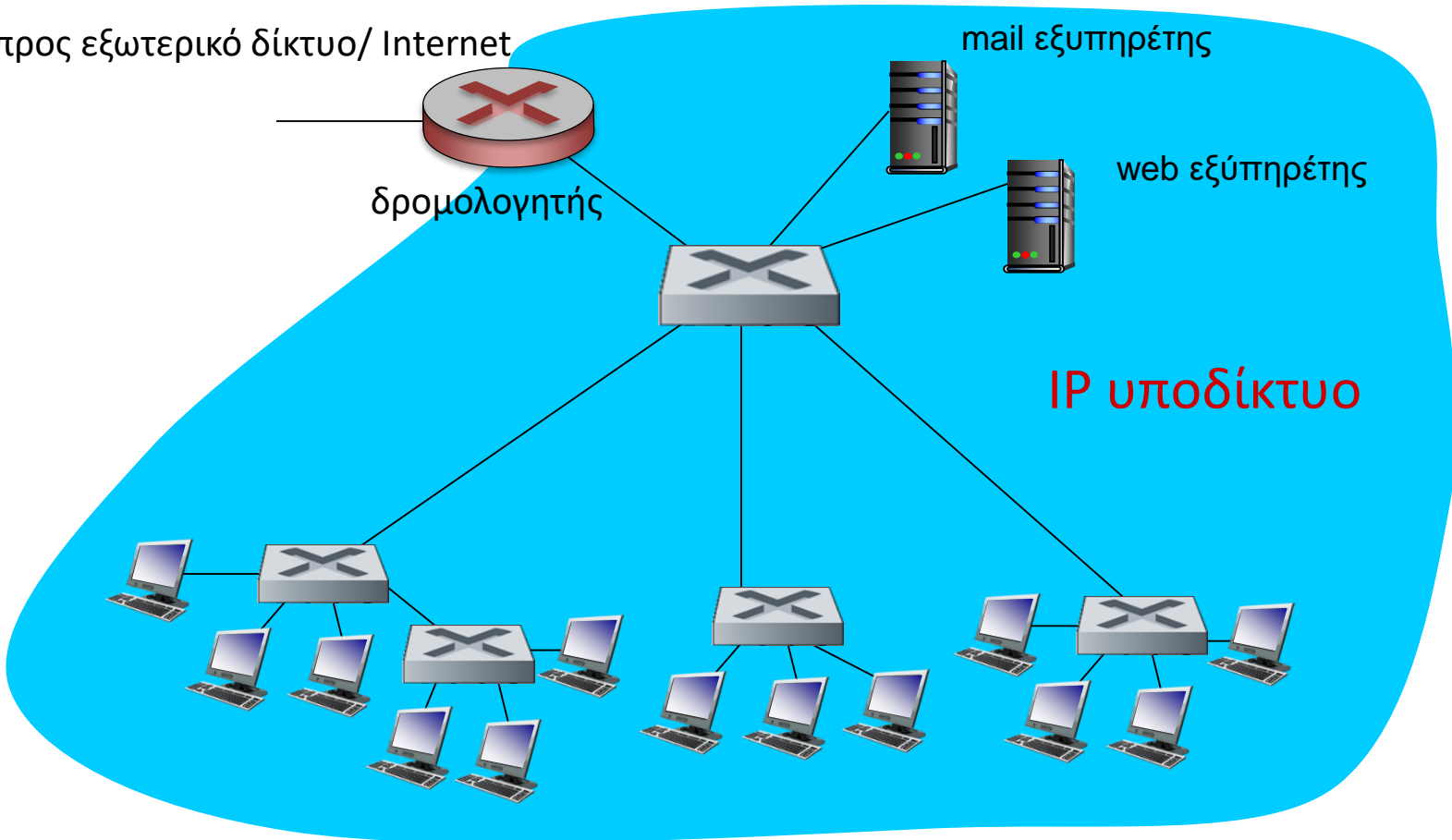
προς εξωτερικό δίκτυο/ Internet

mail εξυπηρέτης

δρομολογητής

web εξυπηρέτης

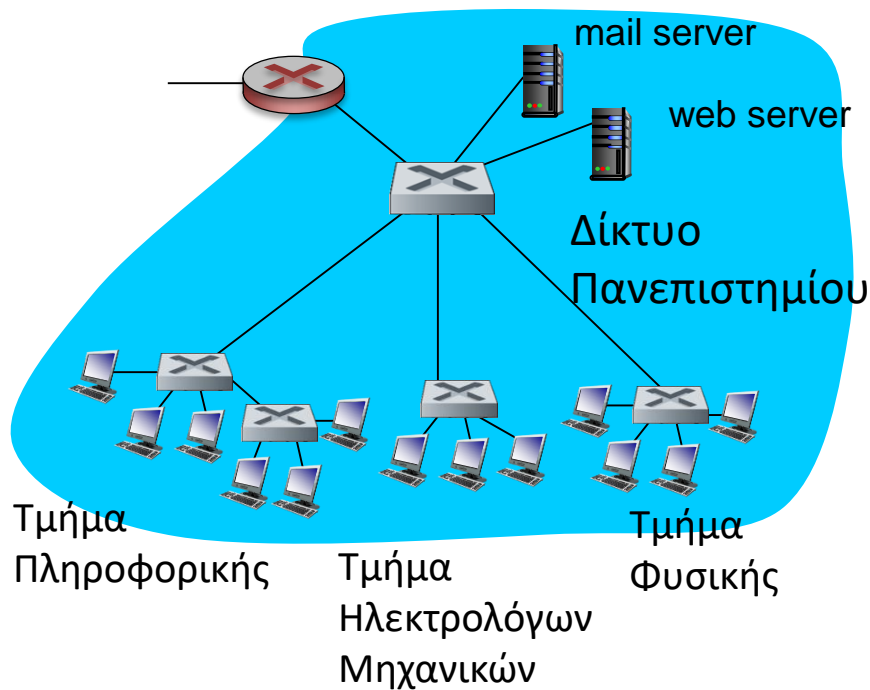
IP υποδίκτυο



- Ιεραρχική οργάνωση, με ομάδες εργασίας/τμήματα να οργανώνονται στο δικό τους τοπικό δίκτυο επιπέδου 2 (μεταγωγής)

Γιατί εικονικά τοπικά δίκτυα (VLANs);

Ζητήματα με την τυπική ιεραρχική δόμηση των τοπικών δικτύων μεταγωγής



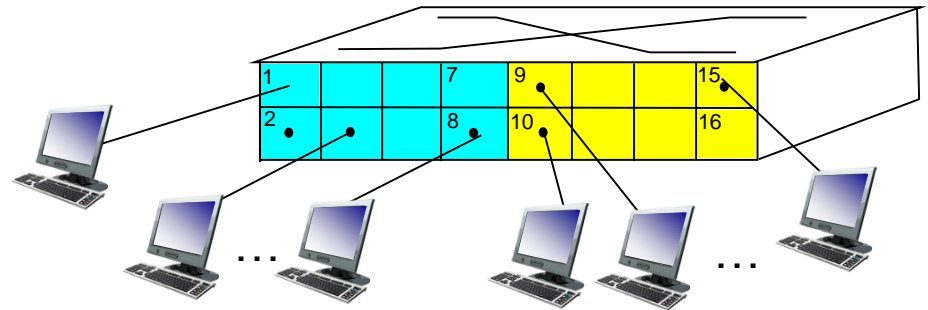
- Ελλιπής απομόνωση της κίνησης
 - η broadcast κίνηση επιπέδου 2 (π.χ. ARP μηνύματα) πρέπει να διασχίσει ολόκληρο το δίκτυο (**single broadcast domain**)
 - Για 10 τμήματα των 25 ατόμων το καθένα, θα αρκούσαν 3 μεταγωγείς των 96 θυρών
 - αντί για 10 που απαιτεί η απομόνωση της κίνησης κάθε τμήματος
 - Για υπαλλήλους που μετακινούνται ή ανήκουν σε 2 τμήματα ή περισσότερα, χρειάζεται επιπλέον καλωδίωση
- ⇒ Συνολικά δημιουργούνται ζητήματα ιδιωτικότητας, ασφάλειας και αποδοτικότητας.

Port-based VLANs : ιδέα

Virtual Local Area Network

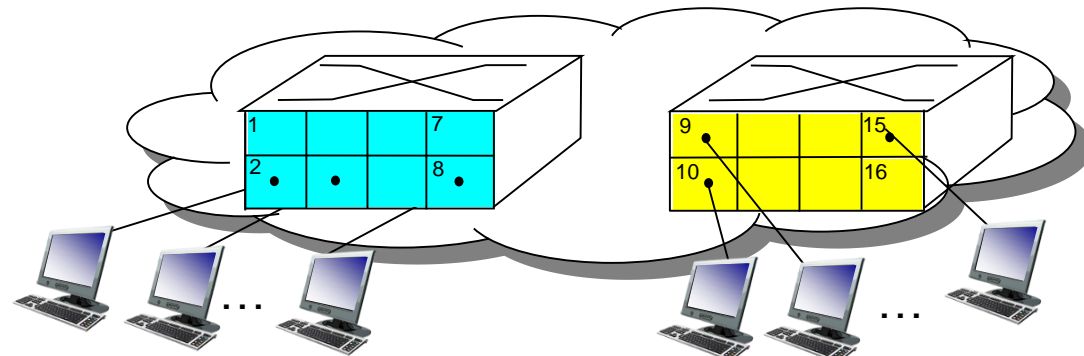
Οι μεταγωγείς που έχουν δυνατότητες λειτουργίας VLAN μπορούν να ρυθμιστούν έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργούν παράλληλα πολλαπλά εικονικά τοπικά δίκτυα πάνω από ένα μοναδικό φυσικό τοπικό δίκτυο μεταγωγής

port-based VLAN: οι πόρτες του μεταγωγέα ομαδοποιούνται (μέσω λογισμικού διαχείρισης του μεταγωγέα) έτσι ώστε ο μοναδικός μεταγωγέας ...



Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (VLAN πόρτες 1-8) Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών (VLAN πόρτες 9-15)

... να λειτουργεί ως **πολλαπλοί** εικονικοί μεταγωγείς

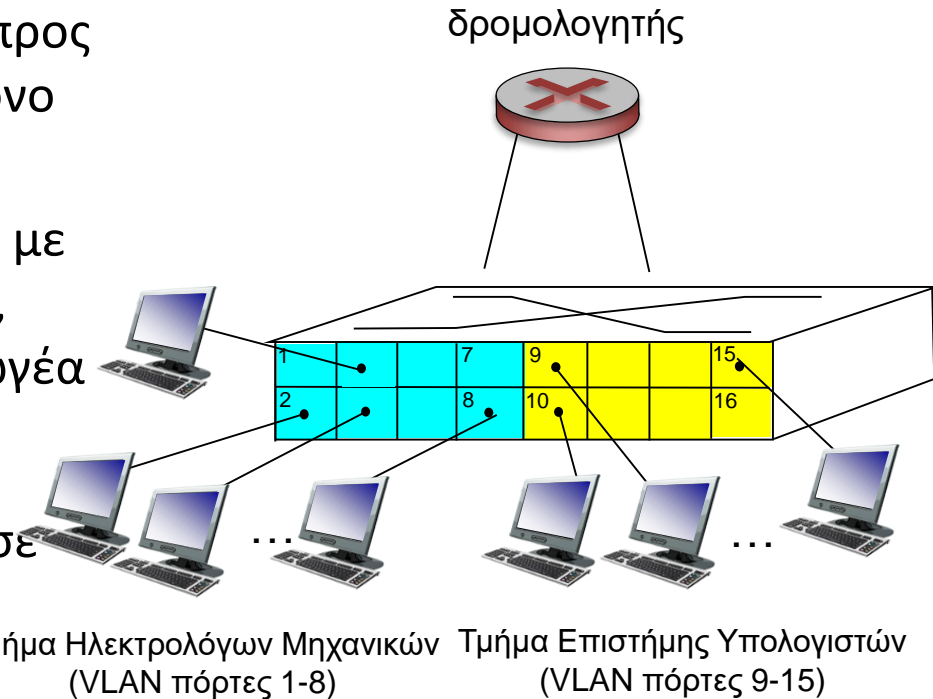


Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (VLAN πόρτες 1-8)

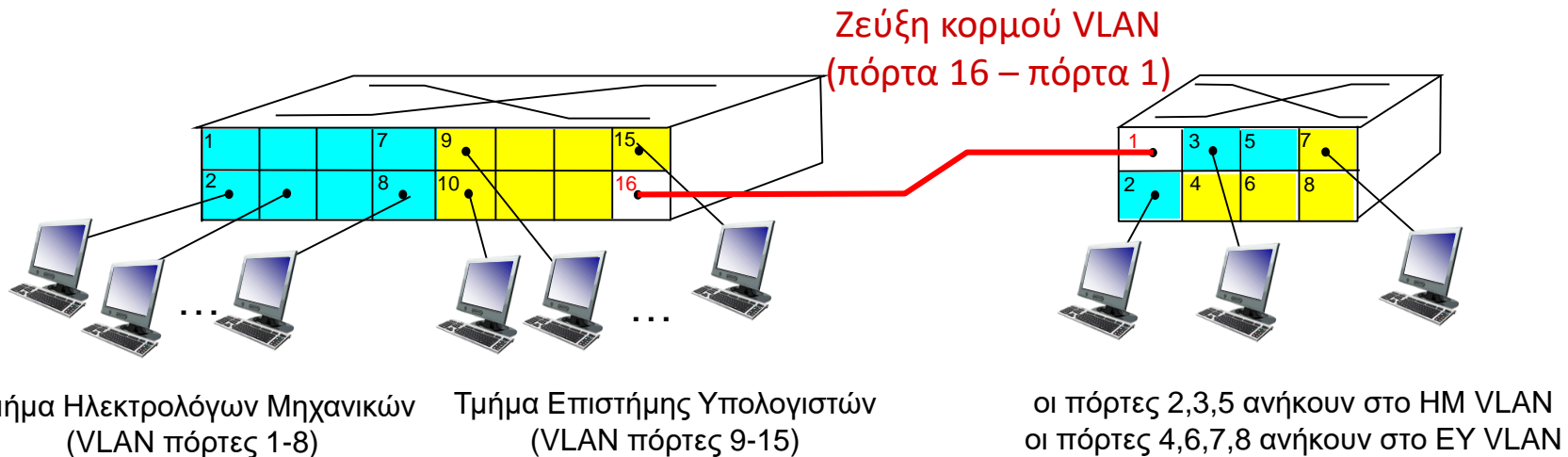
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών (VLAN πόρτες 9-15)

Port-based VLANs : ιδέα

- **Απομόνωση κίνησης:** πλαίσια από/προς πόρτες 1-8 μπορούν να φτάσουν μόνο ως τις πόρτες 1-8
 - Μπορεί κανείς να ορίσει VLANs με βάση MAC διευθύνσεις ή hosts, αντί με βάση τις πόρτες μεταγωγέα
- **Δυναμική συμμετοχή:** οι πόρτες μπορούν να αποδοθούν δυναμικά σε διάφορα VLANs
- **Πρώθηση δεδομένων μεταξύ VLANs:** χωρίς δρομολόγηση (όπως με διαφορετικούς μεταγωγείς)

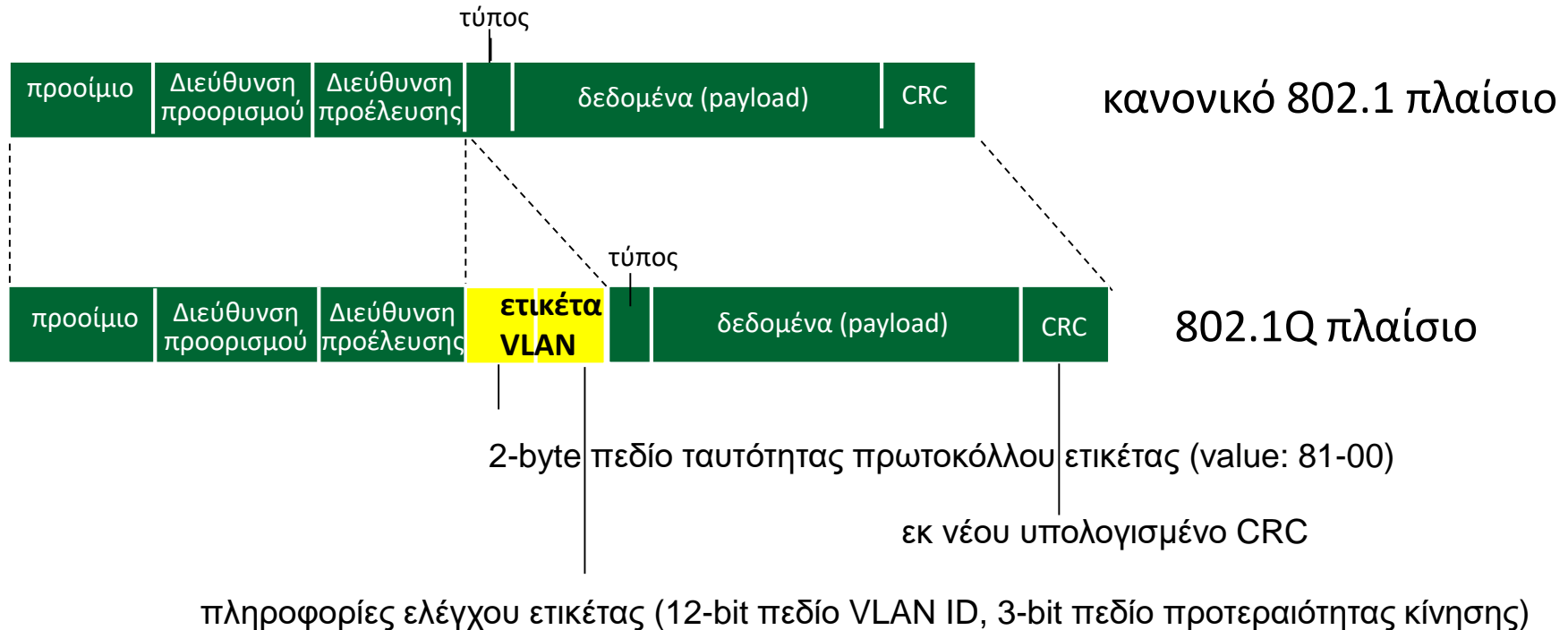


VLANs πάνω από πολλαπλούς μεταγωγείς



- **πόρτα trunk:** ανήκει σε όλα τα VLANs και προωθεί πλαίσια όλων των VLANs, μέσω της διασημειακής (point-to-point) ζεύξης κορμού VLAN (VLAN trunking), στον άλλο μεταγωγέα. Πώς όμως τώρα ο μεταγωγέας γνωρίζει για πιο VLAN προορίζεται ένα πλαίσιο που φτάνει μέσω ζεύξης κορμού VLAN;
 - τα πλαίσια που προωθούνται εντός ενός VLAN μεταξύ μεταγωγέων δεν μπορούν να είναι τα «κανονικά» 802.1 πλαίσια αλλά πρέπει να φέρουν και κάποιο διακριτικό για το VLAN (VLAN ID)
 - Το πρωτόκολλο 802.1q προσθαφαιρεί επιπλέον πεδία κεφαλίδας στα πλαίσια που προωθούνται μέσω των θυρών trunk
- Χρειάζεται να είναι διασυνδεδεμένα όλα τα switches μέσω ζεύξεων κορμού (είτε μεταξύ διαδοχικών switches είτε σε ιεραρχική τοπολογία - αστέρα)

802.1Q VLAN frame format

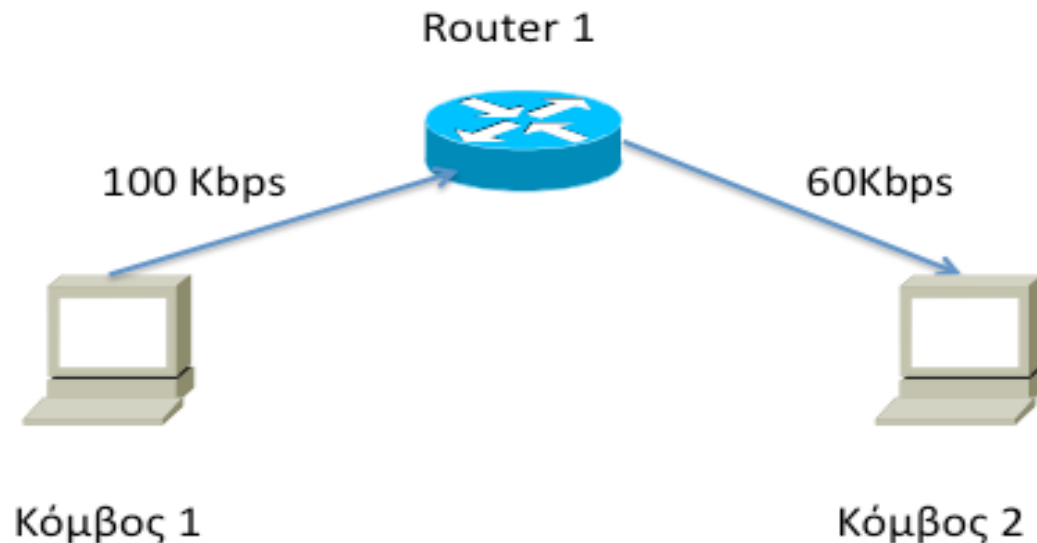


- Η ετικέτα VLAN (**VLAN tag**) προστίθεται από το μεταγωγέα στην πλευρά της αποστολής μιας ζεύξης κορμού
- Ο μεταγωγέας στην πλευρά λήψης της ζεύξης κορμού αφαιρεί και αναλύει την ετικέτα προκειμένου να προωθήσει το πλαίσιο στις σωστές πόρτες

Πρόσθετα 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

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

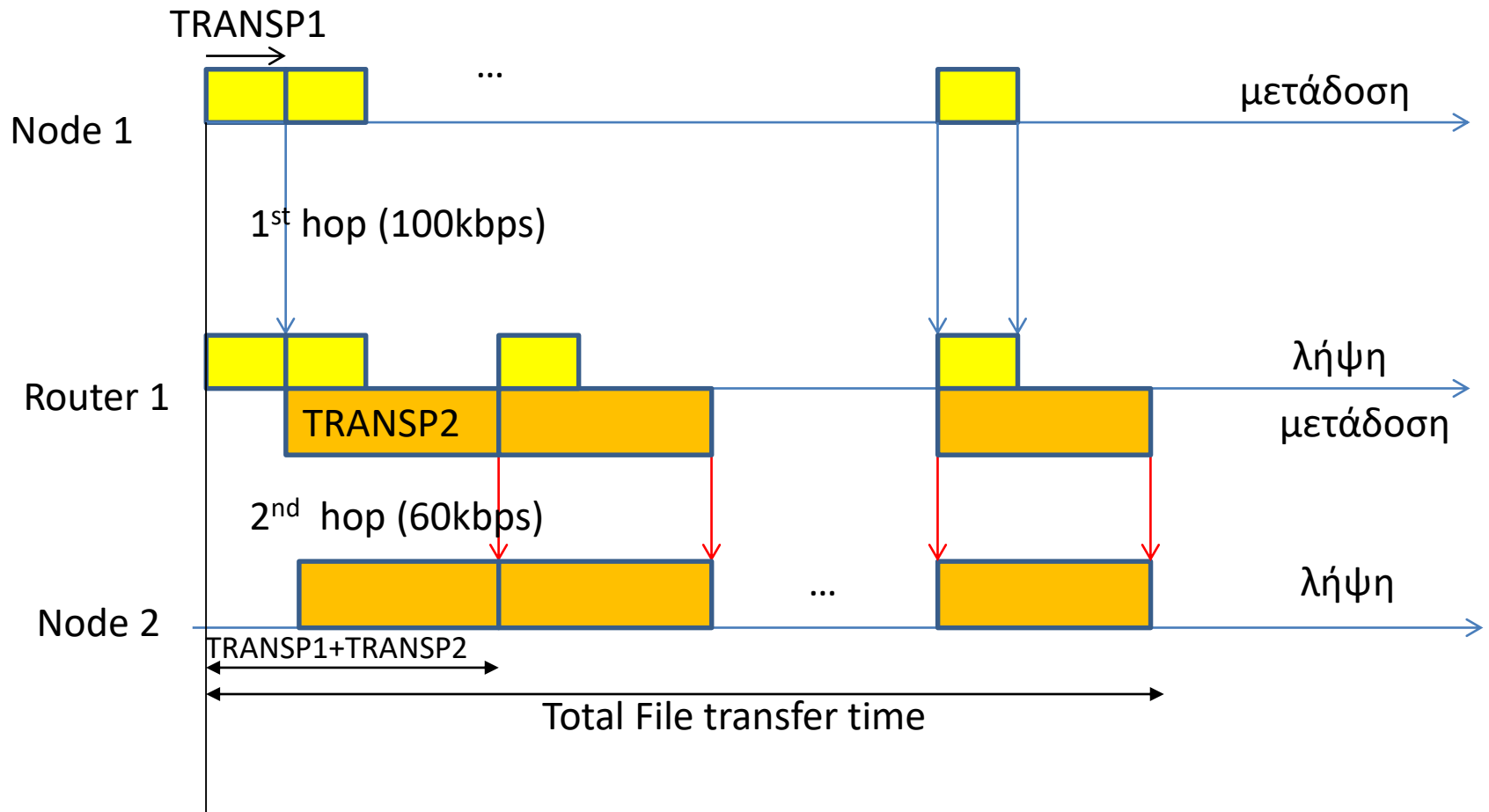
Το 2^ο πακέτο θα ληφθεί από τον κόμβο 2 μετά από 100/60ms
 $t_2 = t_1 + 100/60\text{ms}$

Κ.Ο.Κ.

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

Άρα ο συνολικός χρόνος μετάδοσης του αρχείου θα ισούται με

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



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

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

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

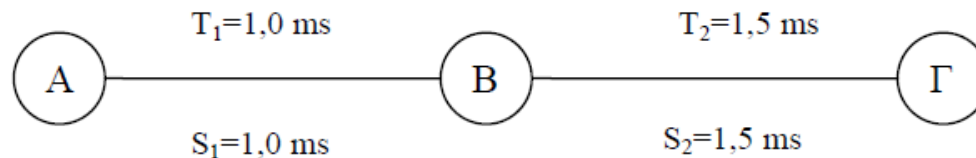
$$\text{RTT} = \text{TRANSP} + \text{TRANSA} + 2\text{PROP} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

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

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

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:

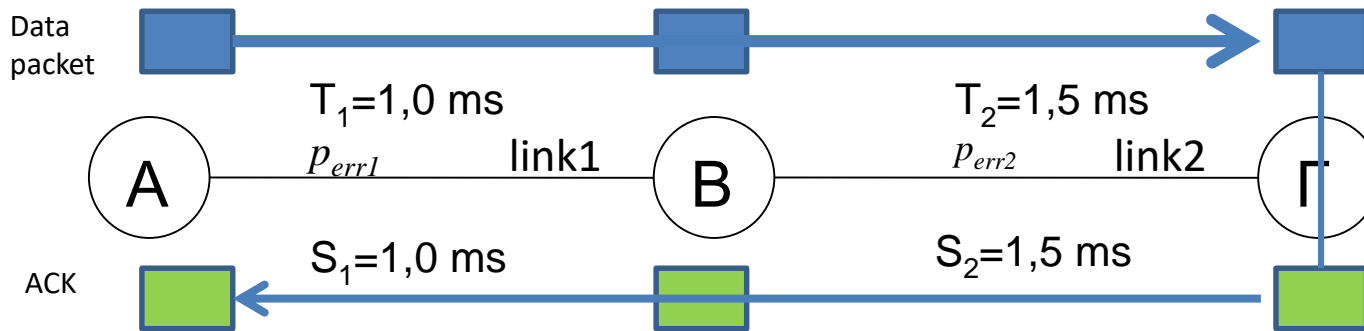
$$\begin{aligned} \textit{Throughput} &= \min_{i=1,\dots,N} \{ \textit{Throughput}_i \} = \\ &= \min_{i=1,\dots,N} \{ \textit{Efficiency} \times \textit{Link_Bit_Rate}_i \} = \\ &= \textit{Efficiency} \times \min_{i=1,\dots,N} \{ \textit{Link_Bit_Rate}_i \} \end{aligned}$$

Απόδοση ABP (με Packet Error Rate>0)

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

1^ο 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’

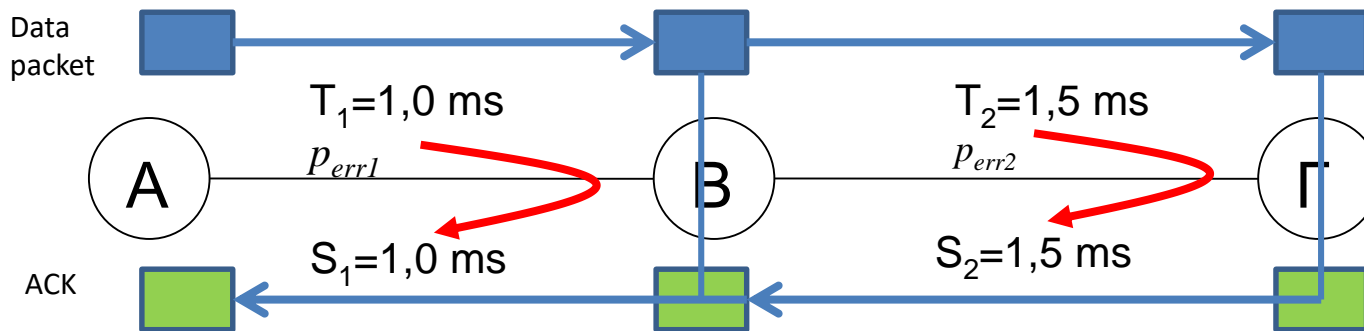
$$\begin{aligned} p_{12} &= P(\text{success, data_packet_in_link_1}) \times P(\text{success, data_packet_in_link_2}) \times \\ &\times P(\text{success, ACK_in_link_2}) \times P(\text{success, ACK_in_link_1}) = \\ &= (1 - p_{err1}) \times (1 - p_{err2}) \times (1 - p_{err2}) \times (1 - p_{err1}) = 0,94128804 \end{aligned}$$

1^ο 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^ο 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^ο 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^ο σενάριο θα είναι πιο αποδοτικό, διότι έχει απόδοση 9.6%, σε σχέση με το 1^ο 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 3×10^4 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 3×10^5 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 λ 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

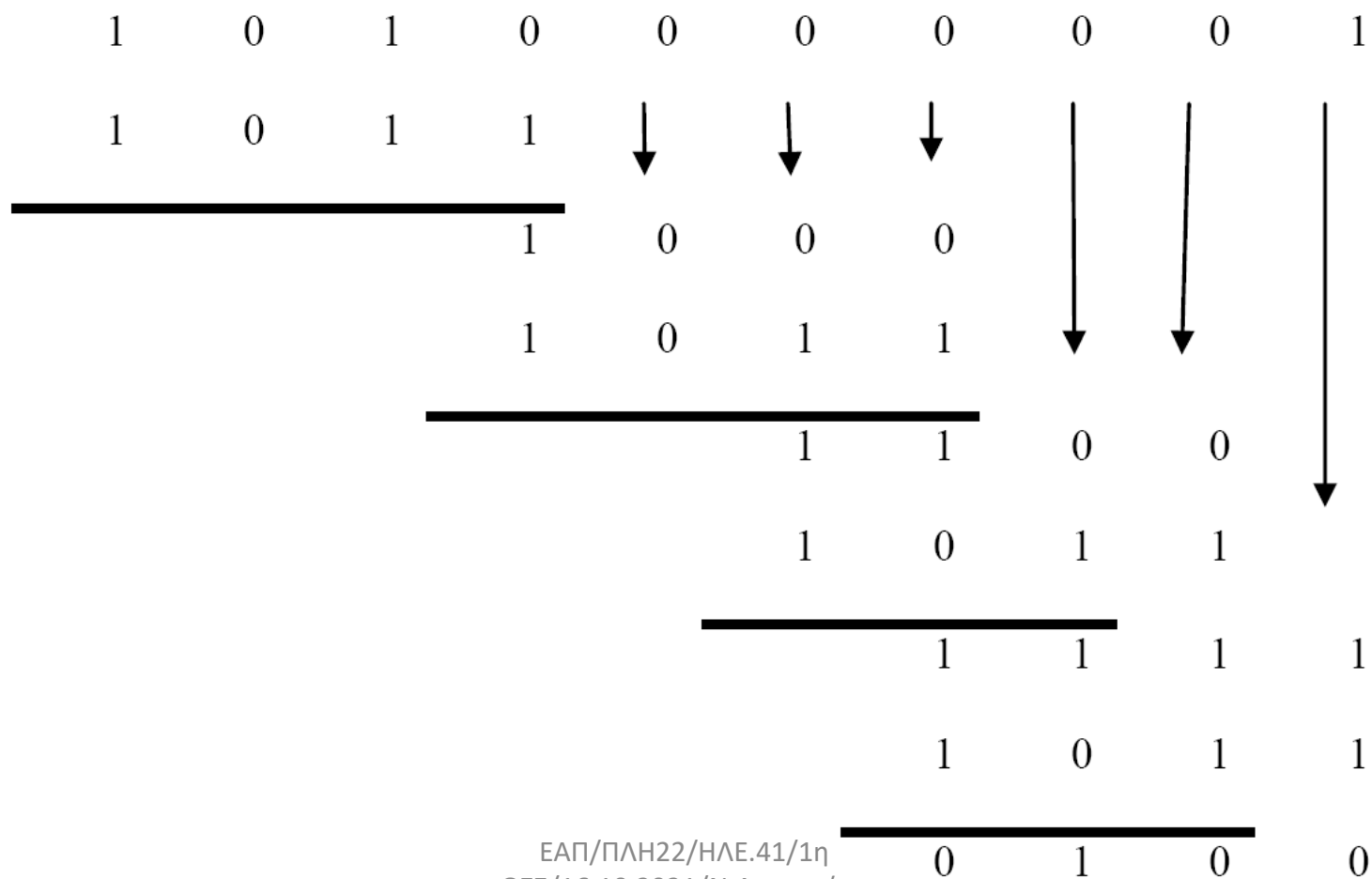
$$\lambda = n \cdot R = 0,624 \cdot 5000 = 3120 \text{ bits/sec} \quad (9)$$

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

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

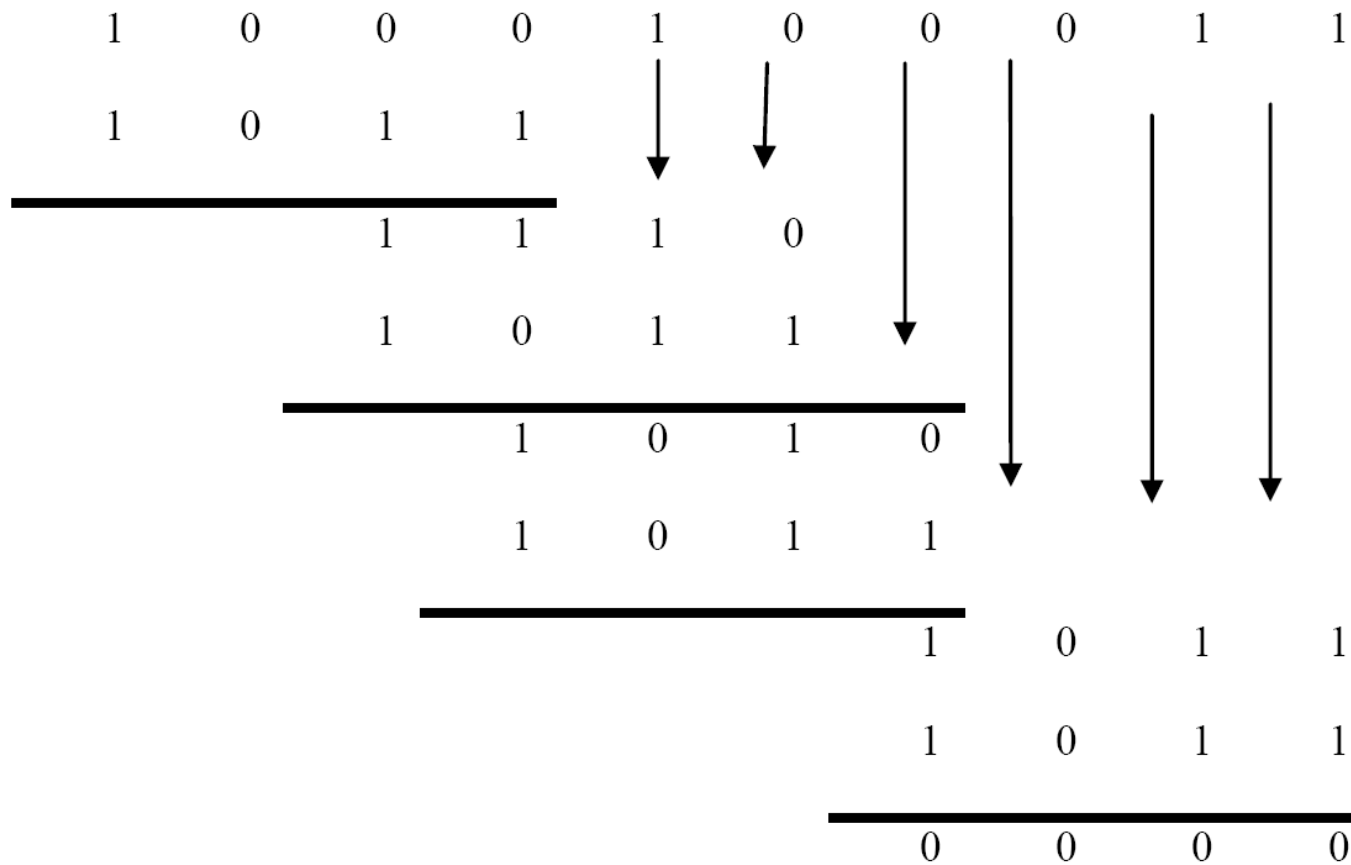
γ) Άρα για να διαπιστώσουμε εάν ο παραλήπτης κόμβος έχει τη δυνατότητα εντοπισμού του λάθους αρκεί να βρει ότι το υπόλοιπο της διαίρεσης $E(x)/G(x)$ είναι διάφορο του μηδενός.

Περίπτωση 1^η: $E_1(x) = 1010000001$



*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 $G(x)=(x+1)*H(x)$.*

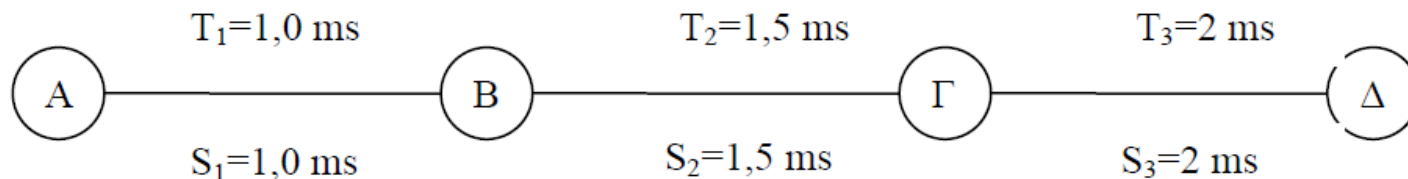
Περίπτωση 2^η: E₂(x)= 1000100011



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 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 3×10^8 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 2×10^8 m/sec. Το πρωτόκολλο επανεκπομπής που χρησιμοποιείται είναι πάλι GoBackN με μέγεθος παραθύρου 100.

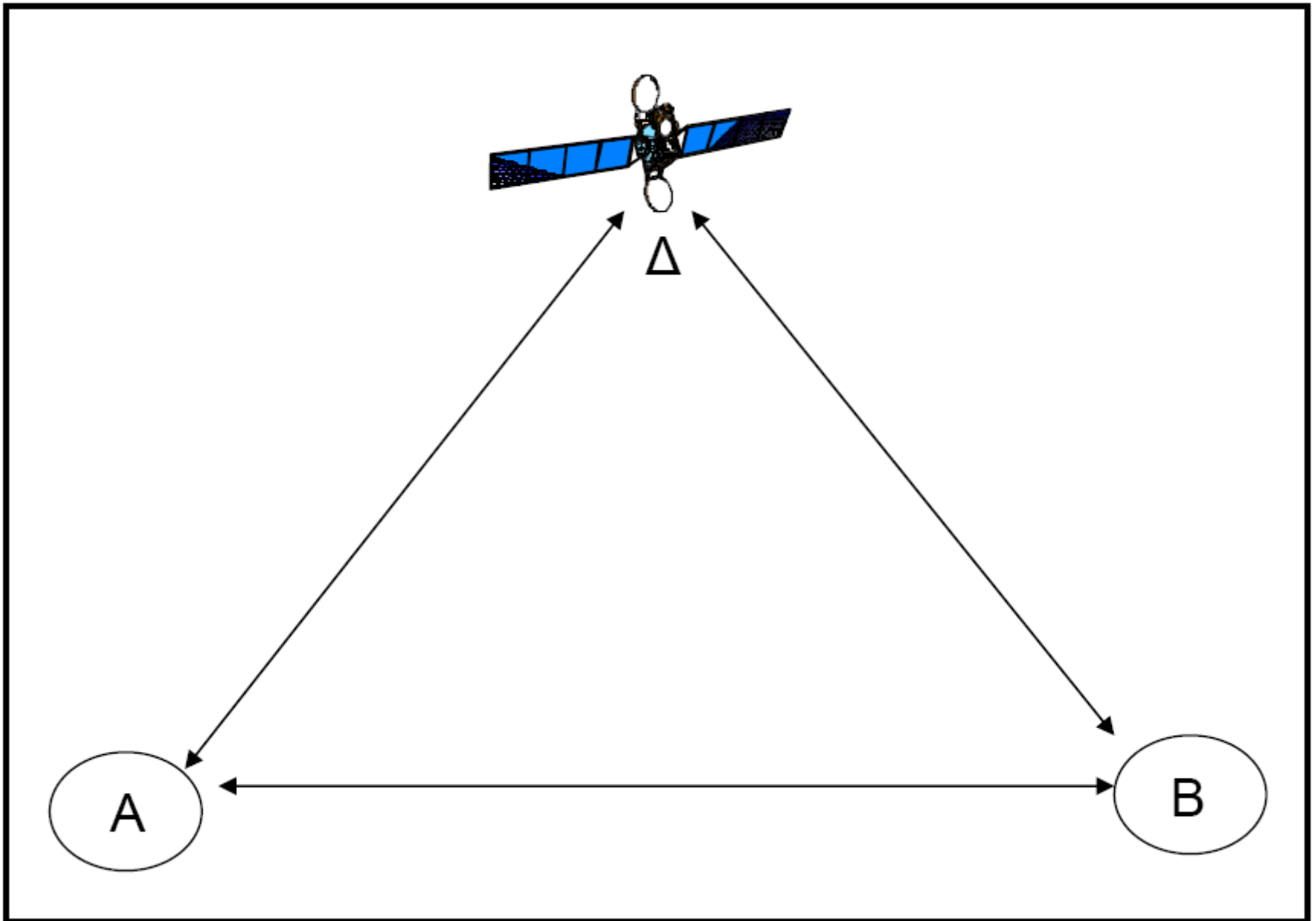
Το μέγεθος των πακέτων δεδομένων και επιβεβαίωσης είναι 1 kbits.

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 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:

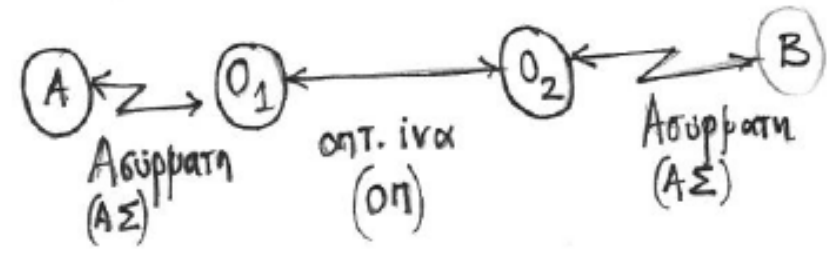
- (i) ABP εφαρμόζεται από άκρη σε άκρη από το A στο B.
- (ii) ABP εφαρμόζεται μόνο σε κάθε ασύρματη ζεύξη.
- (iii) GBN εφαρμόζεται από άκρη σε άκρη από το A στο B.
- (iv) GBN εφαρμόζεται μόνο σε κάθε ασύρματη ζεύξη.

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 δ)

(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 βρόχια μεταφοράς υπολογίστε το βέλτιστο μήκος του παραθύρου

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{RTT}_{ABA} = & \text{TRANSP}(A_0,1) + \text{PROP}(A_0,1) + \text{TRANSP}(0,0_2) + \text{PROP}(0,0_2) + \text{TRANSP}(0_2B) + \text{PROP}(0_2B) + \\ & + \text{TRANSA}(B_0,2) + \text{PROP}(B_0,2) + \text{TRANSA}(0_2,0_1) + \text{PROP}(0_2,0_1) + \text{TRANSA}(0_1,A) + \text{PROP}(0_1,A) \end{aligned}$$

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

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

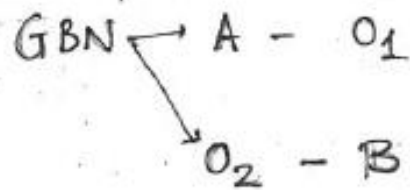
$$\text{TRANSP}(0_2 B) = \text{TRANSA}(B 0_2) = \frac{\langle P \rangle}{R_{0_2 B}} = \frac{10^3 \text{ bits}}{10 \cdot 10^3 \text{ bps}} = 0,1 \text{ sec}$$

Δίνεται $\text{PROP}(i) = 0$
011

α/ρ α. $\text{RTT} = 2 \cdot 0,2 \text{ sec} + 2 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \text{ sec} + 2 \cdot 0,1 \text{ sec} = 0,6 \text{ sec}$

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

Περὶ τὴν (iv)



GBN A - O₁

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

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

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

GBN O₂ - 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

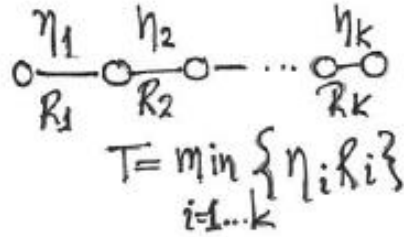
$$P_S \quad (A \rightarrow O_1) = P_S \quad (O_1 A) = P_S (B O_2) = P_S (O_2 B) = 0,9$$

$$T = RTT$$

ΔI , throughput = ?

(Διαφθεταχομετρησιμη Ικανοτητα)

$$T = \eta \cdot R$$



$$T = \min_{i=1 \dots k} \{ \eta_i R_i \}$$

(i) ABP end-to-end

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

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

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

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

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

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

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

(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) GBN $\begin{cases} \rightarrow A \rightarrow O_1 \\ \rightarrow O_2 \rightarrow B \end{cases}$ $P_S(AO_1) = 0,81$
 $P_S(O_2B) = 0,81$

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

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

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

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

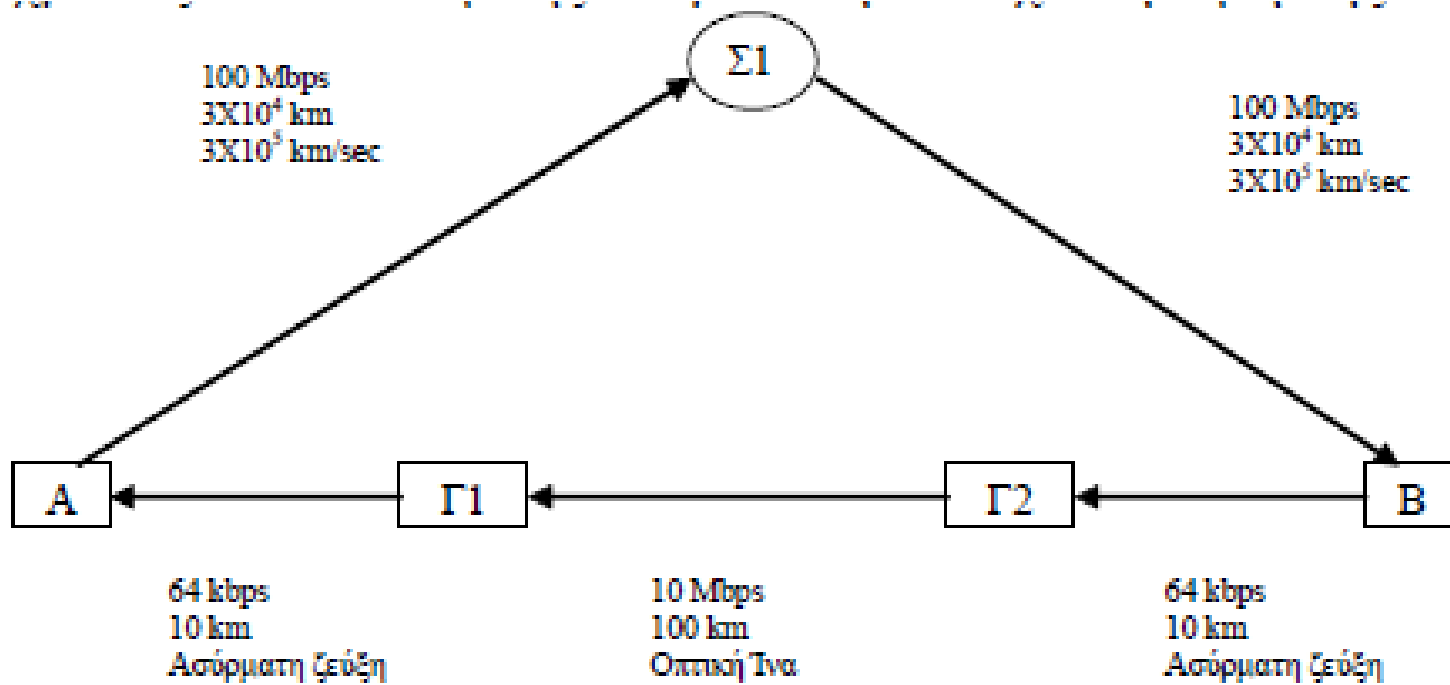
Θέμα 4 - Εξετάσεις 2005Α

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 3×10^4 km. Το μέγεθος κάθε πλαισίου είναι 10bits, η ταχύτητα μετάδοσης είναι 100Mbps ενώ η ταχύτητα διάδοσης είναι 3×10^5 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 3×10^5 km/sec. Για την ζεύξη με οπτική ίνα Γ2-Γ1 η ταχύτητα μετάδοσης είναι 10Mbps, η απόσταση 100km ενώ η ταχύτητα διάδοσης είναι 3×10^5 km/sec.

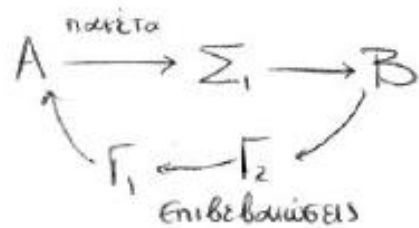
(Α) Αρχικά υποθέστε ότι ο ρυθμός σφαλμάτων είναι πάρα πολύ μικρός. Για την περίπτωση μετάδοσης δεδομένων από τον κόμβο A στον B (τα δεδομένα μέσω του δορυφόρου και οι επιβεβαιώσεις μέσω των επίγειων ζεύξεων) να βρεθεί η απόδοση του πρωτοκόλλου επανεκπομπής ABP και η απόδοση του πρωτοκόλλου Go-Back-N 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.



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



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

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

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

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

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

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

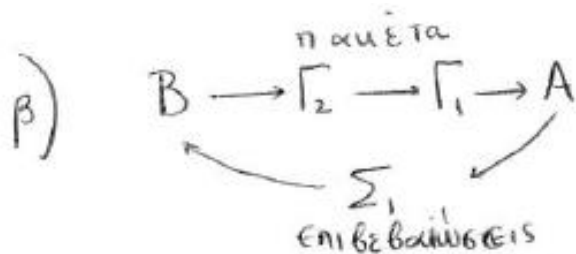
$$\text{TRANSA}(\Gamma_2 \Gamma_1) = \frac{\text{Ack.Size}}{R(\Gamma_2 \Gamma_1)} = \frac{10 \text{ bits}}{10 \text{ Mbps}} = 10^{-6} \text{ sec}$$

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

Αρα $\text{RTT} = 0,2007 \text{ sec}$

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

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



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

οπότε,

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

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

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

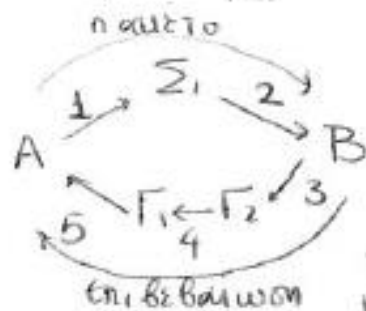
και

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

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_{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 # 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_{succ} παραμένει η ίδια γιατί πάλι έχουμε 5 συνδέσμους με PER=0,1)

Σημείωση:

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

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

Τα εφδεχόμενα αποτυχίας είναι τα ακόλουθα.

$$(A_{\Sigma_1})_{\text{αποτυχία}} \quad p_1 = 0,1$$

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

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

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

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

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

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

succ succ succ succ

Στόχος της άσκησης είναι η εξοικείωση με τα βασικά πρωτόκολλα επανεκπομπής. Σχετικές ασκήσεις: ΓΕ3/0405/Θ3, ΓΕ5/0506/Θ7, ΓΕ3/0506/Θ3, ΓΕ5/0607/Θ5, ΓΕ3/0910/Θ5

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 6.2×10^{-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:**

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

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

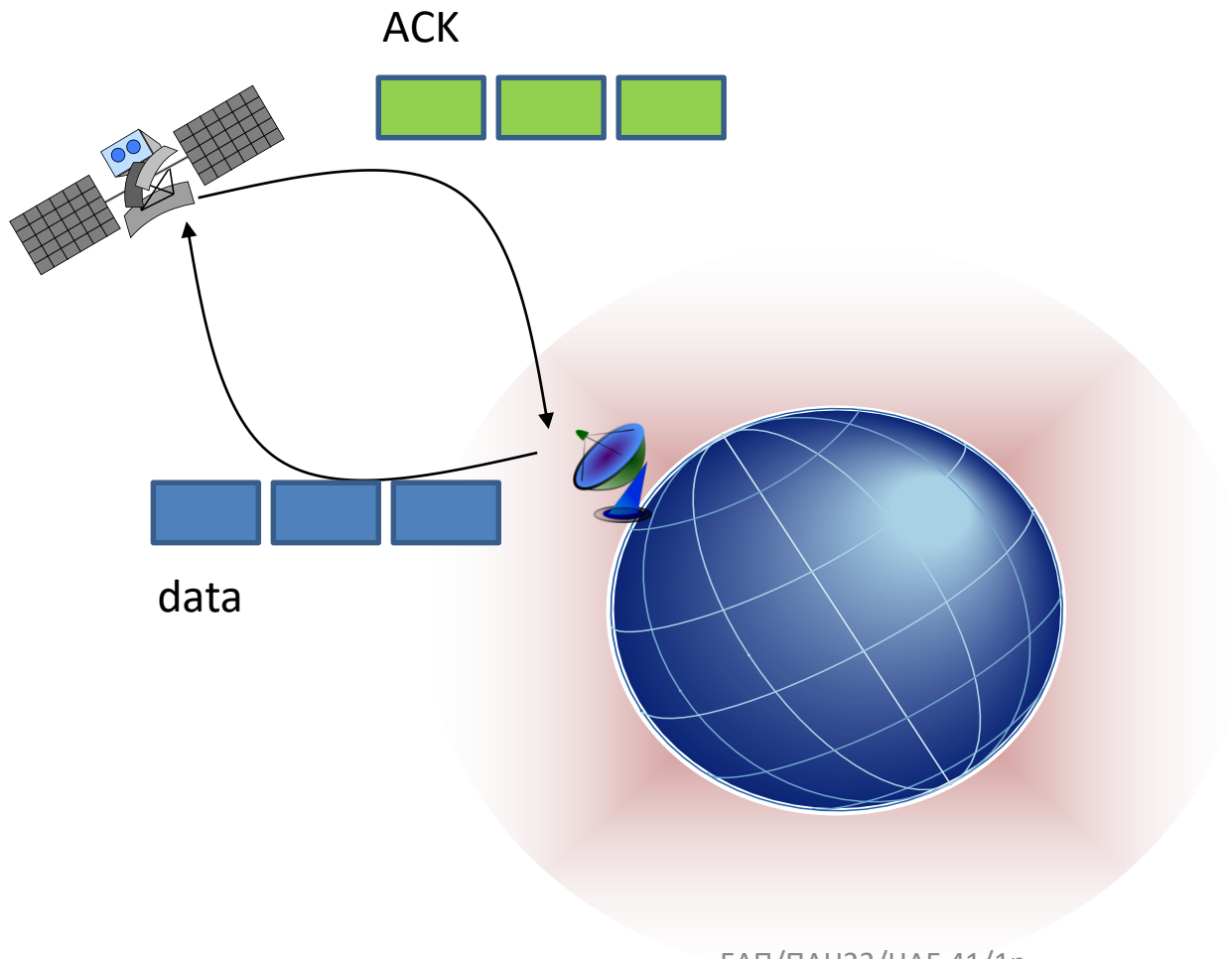
- **Ζεύξη LEO:**

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

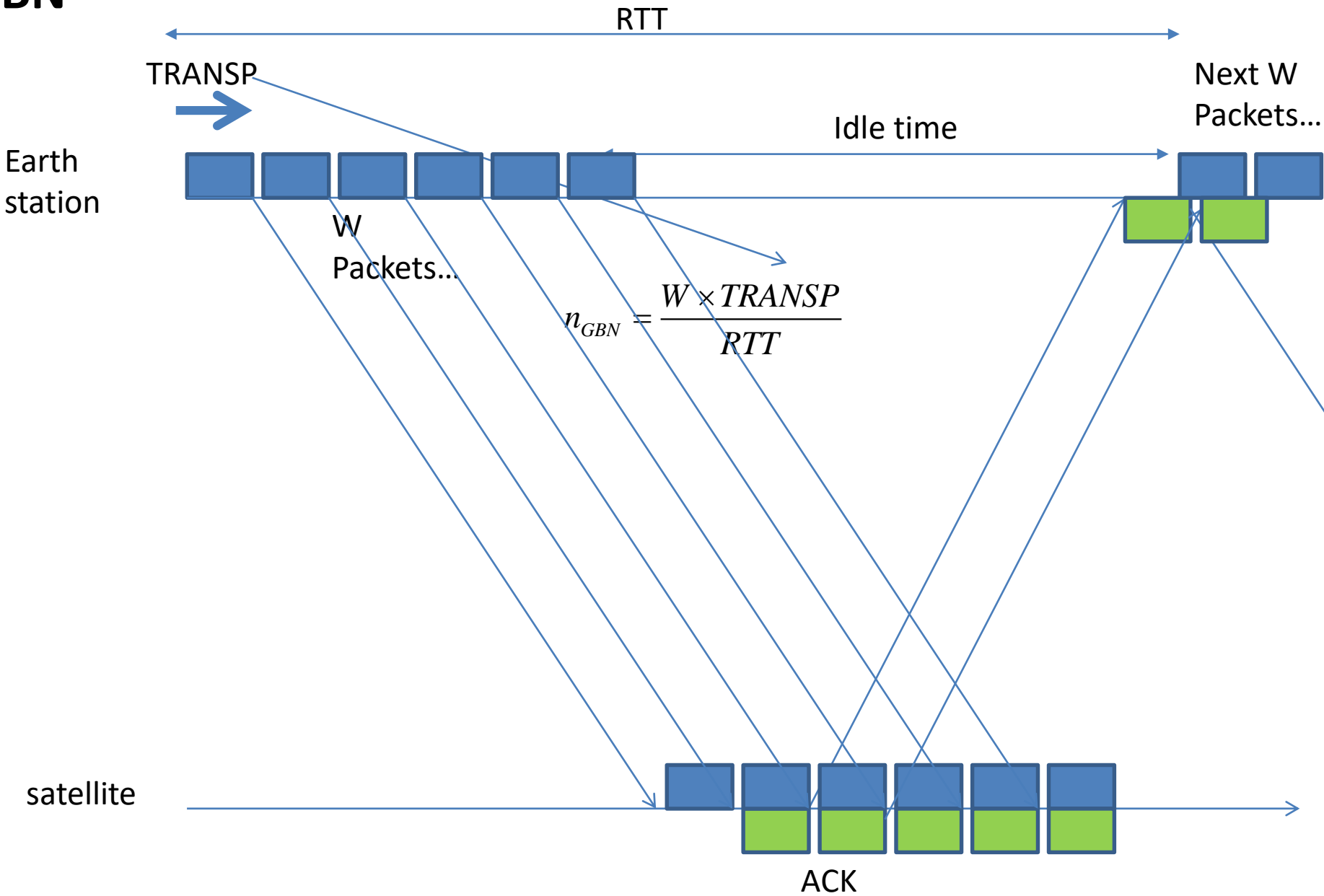
$$\Leftrightarrow R_{LEO} = \frac{2Mbps}{n_{LEO} \cdot 0,8} = 4,22Mbps$$

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 3×10^4 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(log₂(27)))

Λύση (ii)

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

γ) Ο νέος χρόνος προθεσμίας ισούται με

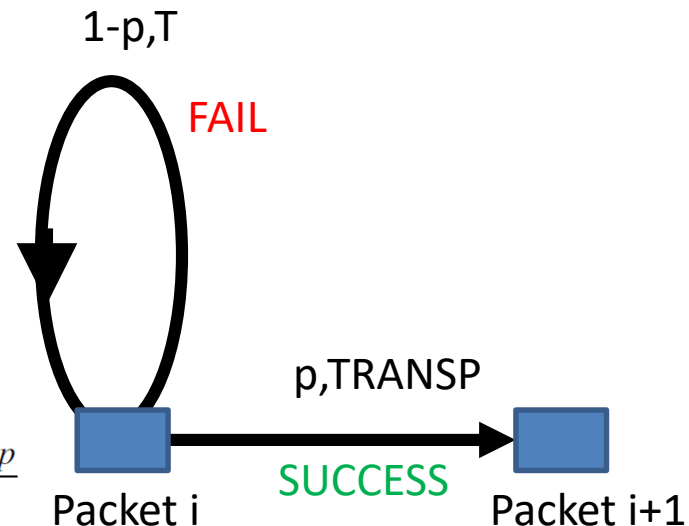
$$T = 1.75 * T_{\min} = 0.378 \text{ sec} \quad (7)$$

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^ο παράθυρο) συνεχώς

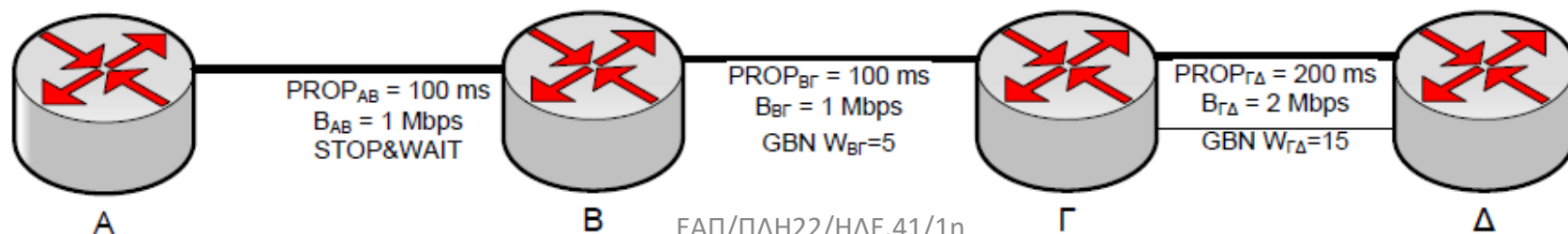
Οπότε ο ανωτέρω ωφέλιμος ρυθμό μετάδοσης πακέτων δεν είναι εφικτός και πάντα θα πρέπει να ισχύει

$$T \geq S.$$

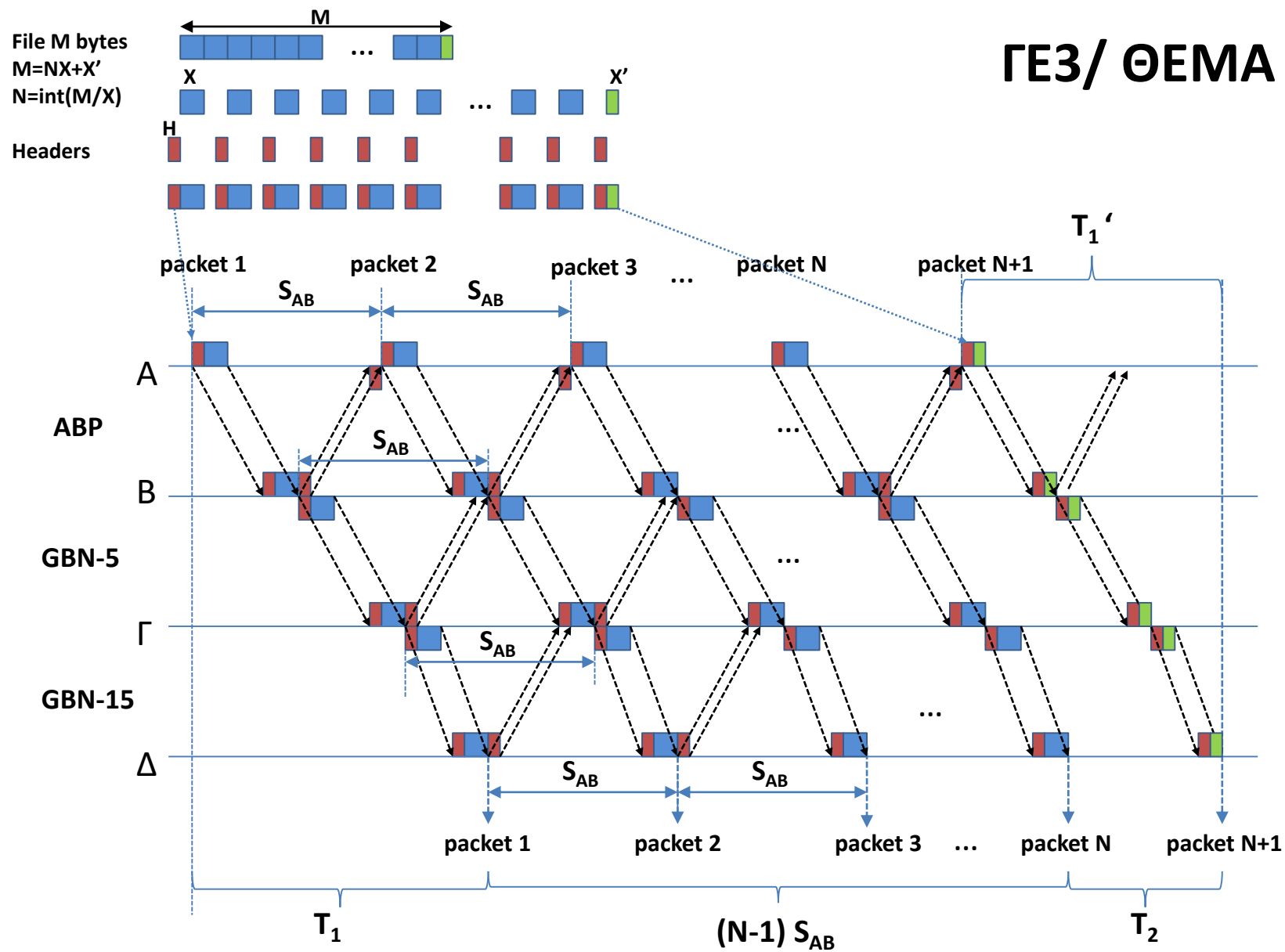
ΘΕΜΑ 5 / ΓΕ3 1112

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



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

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

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

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

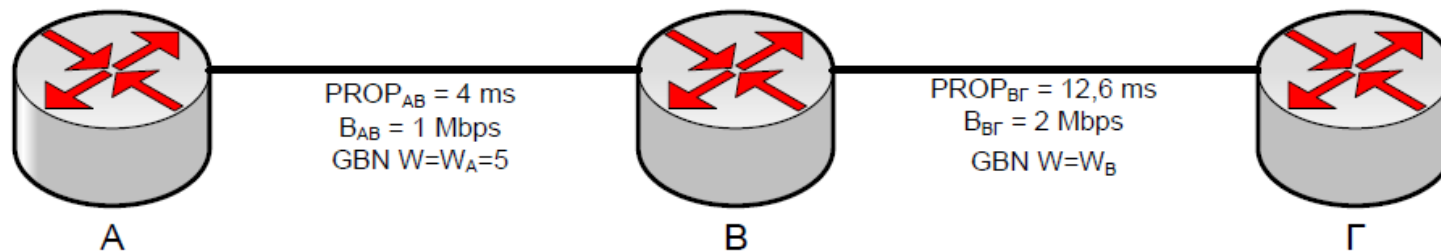
$$T = T_1 + (N-1)S_{AB} + T_2$$

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^{ου} πακέτου από τον κόμβο Γ.

(α)

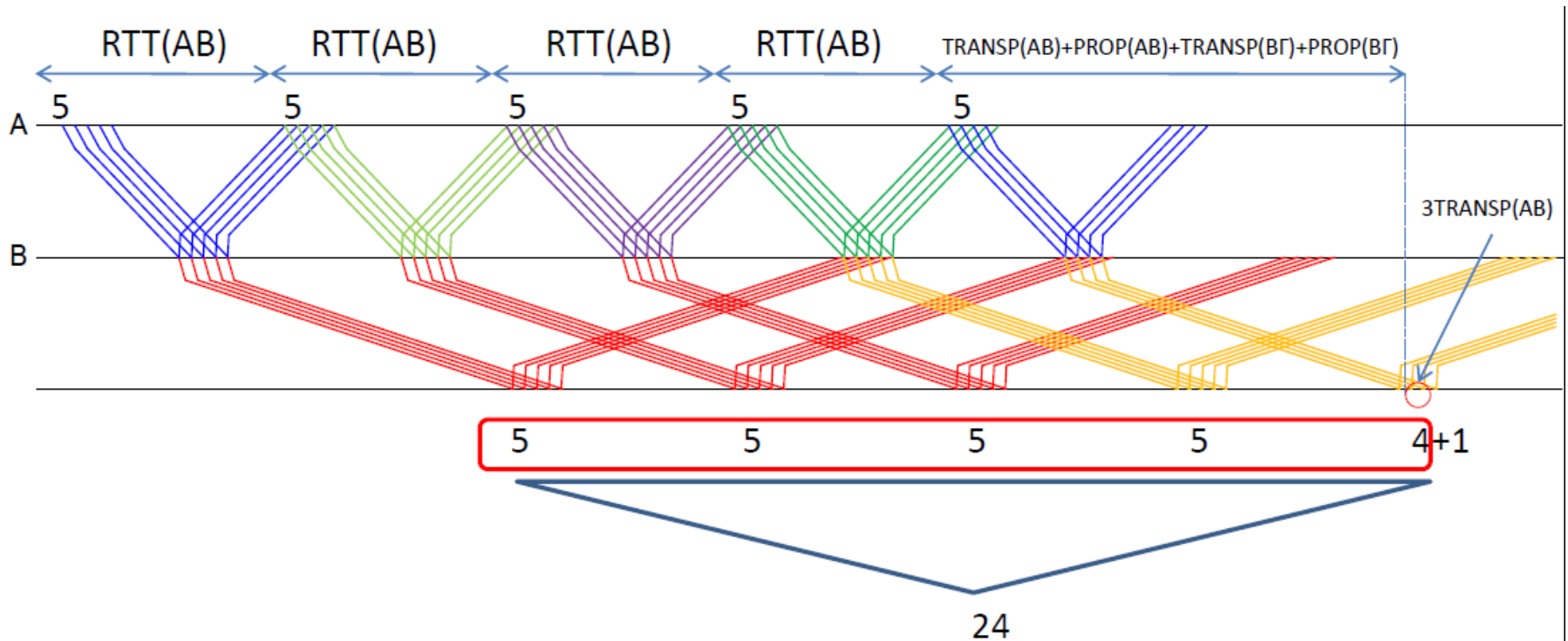
Για να μεταδίδει ο Β ότι πακέτο λαμβάνει από τον Α αμέσως θα πρέπει να μη δημιουργείται συμφόρηση στον Β. Η απαραίτητη συνθήκη είναι η ρυθμαπόδοση του συνδέσμου Α-Β να είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με τη ρυθμαπόδοση του συνδέσμου Β-Γ

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

(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^ο παράθυρο.

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



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. ¶

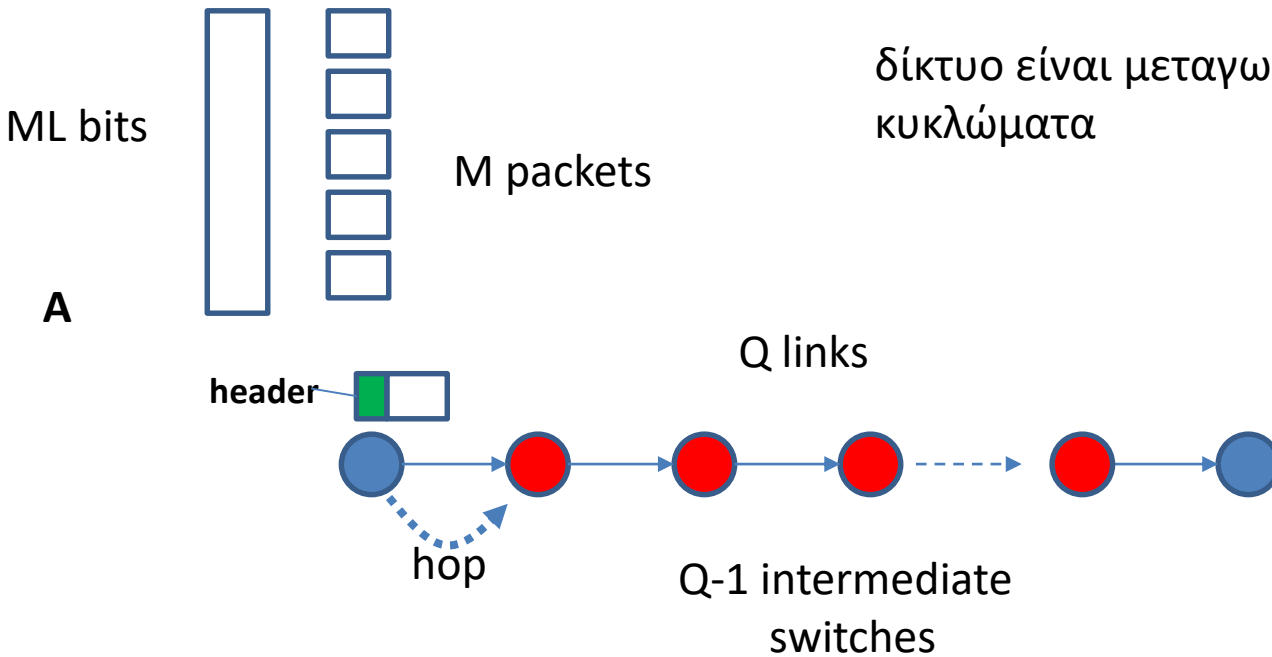
A. υποθέστε ότι το δίκτυο είναι μεταγωγής πακέτου με ιδεατά κυκλώματα. Ο χρόνος εγκατάστασης του ιδεατού κυκλώματος είναι $t_s \cdot \text{sec}$. Υποθέστε ότι το πρωτόκολλο εκπομπής προσθέτει επικεφαλίδα $h \cdot \text{bits}$ σε κάθε πακέτο. Πόσος χρόνος απαιτείται για την μεταφορά του αρχείου από την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

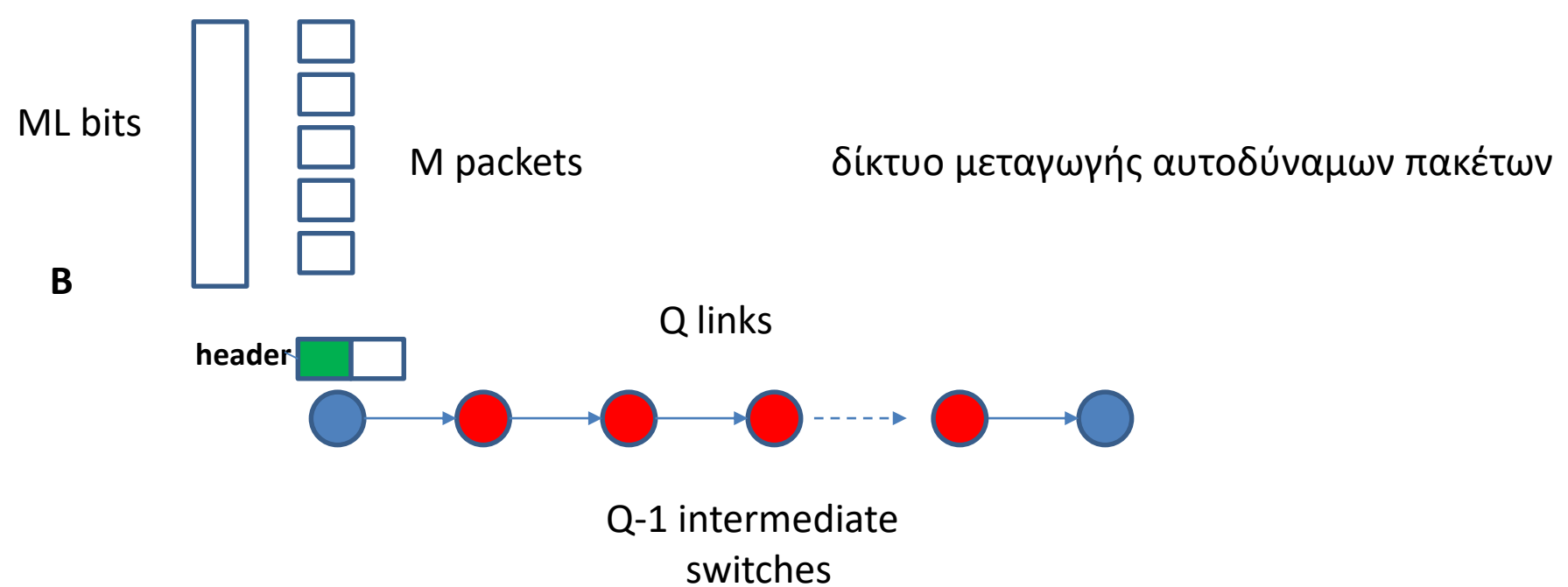
1^ο πακέτο φτάνει στον προορισμό μετά Q hops $Q(L + h) / R$

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

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

Συνολική καθυστέρηση

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



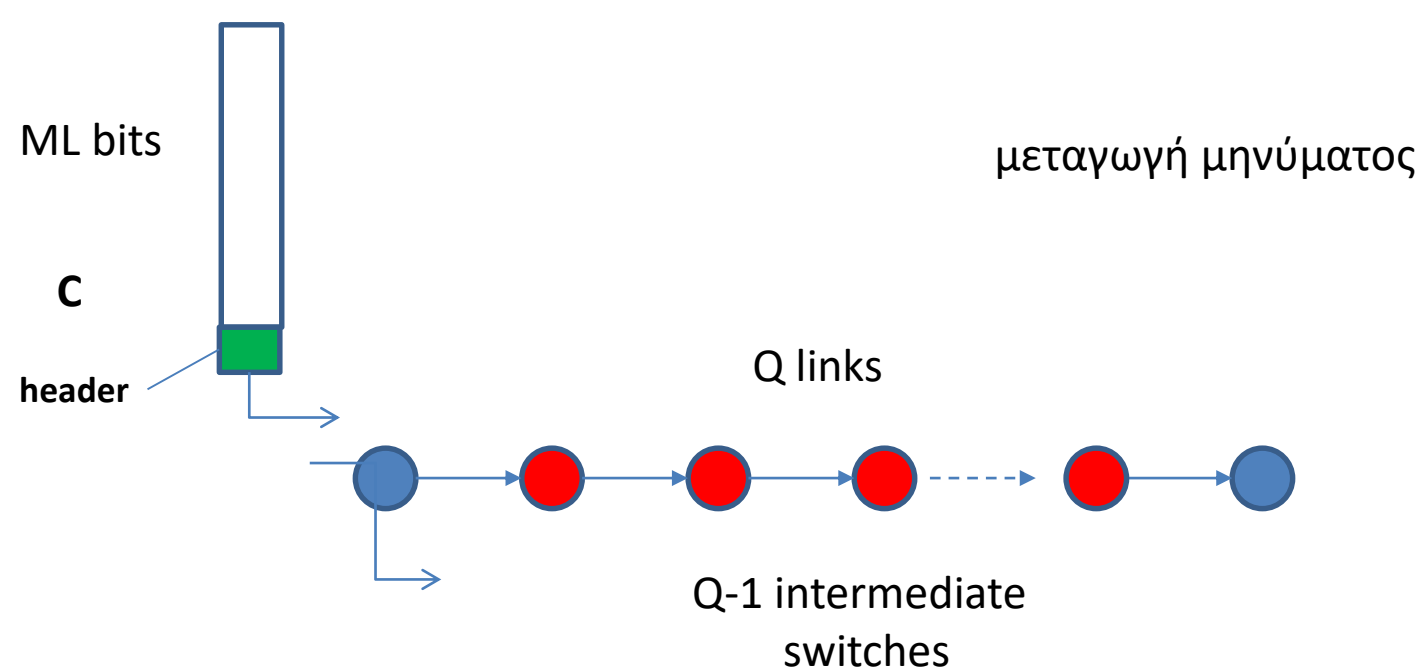
Single link-hop delay $(L + 2h) / R$

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

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

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

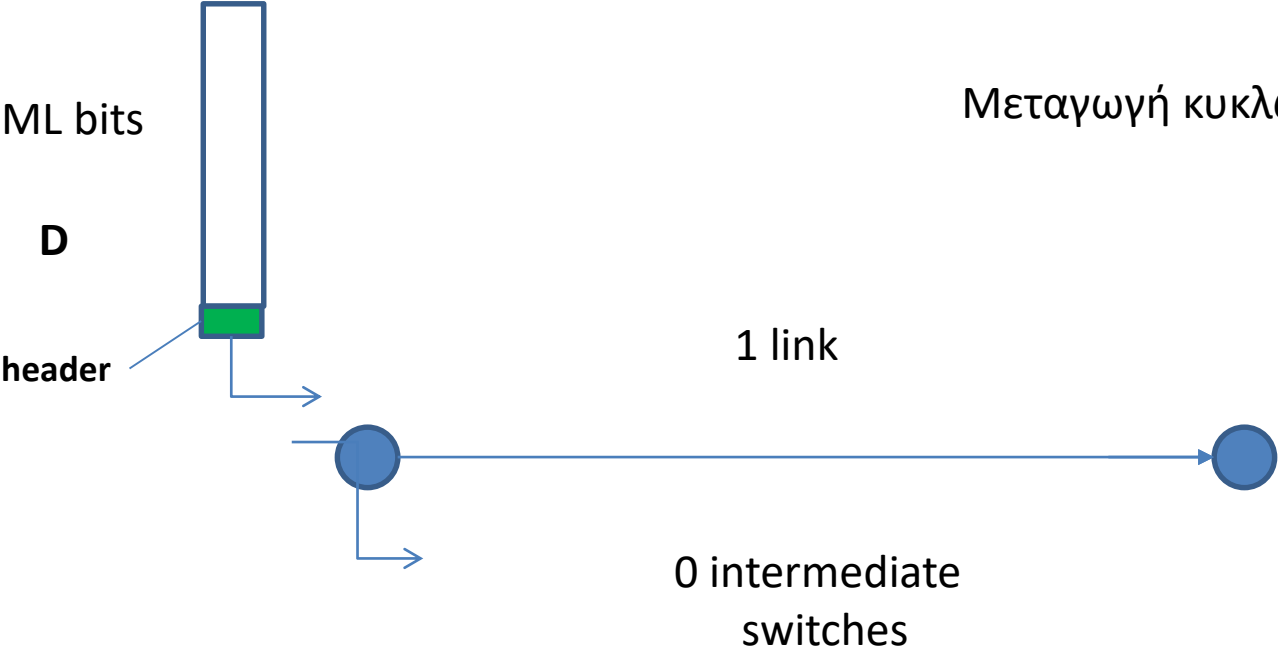
Συνολική καθυστέρηση $(Q + M - 1)(L + 2h) / R$



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 μετάγει 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)

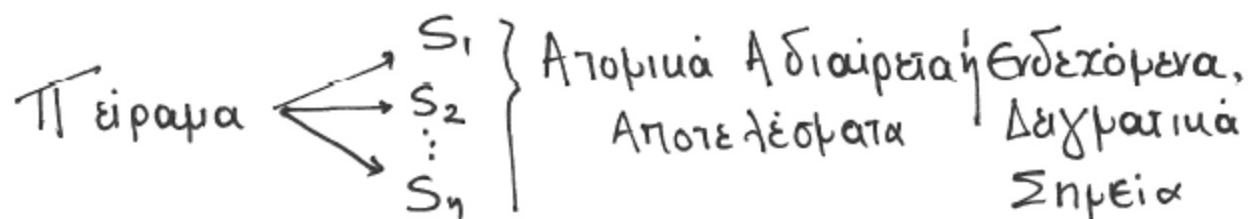
$$T_\delta = T_{setup,\delta} + PROP' + TRANSP_\delta = 1\text{sec} + 5m\text{sec} + \frac{(10^6 + 500) \cdot 8}{20 \cdot 10^6} \text{sec} \cong 1.4052 \text{sec}$$

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 τυχασία 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

Συμπίπτει Συνδυασμένη Πιθανότητα δύο
εξδεχομένων 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 εξδεχόμενο
 \uparrow επιφάνεια

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

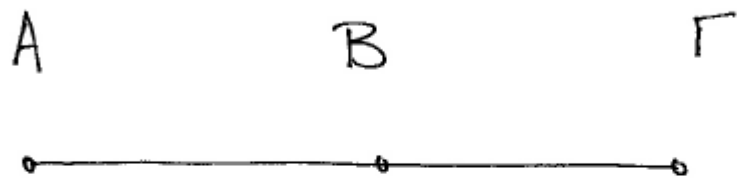
Αν $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ με $\{P(x_1), P(x_2), \dots, P(x_n)\}$

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 ενός 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:

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

Ενδεχόμενα αποτυχίας (F)

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

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

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

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

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

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

Άρα, πιθανότητα επιτυχίας

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

Προσοχή!

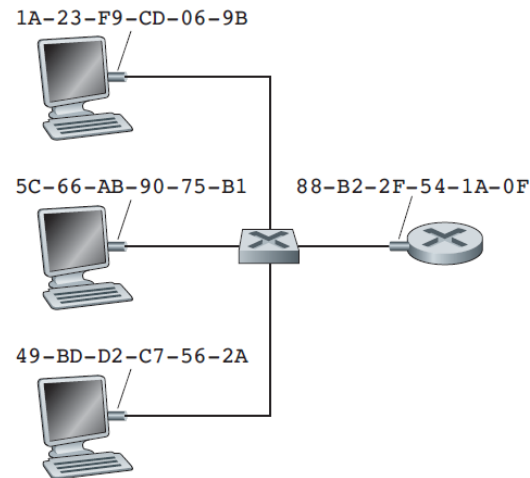
Η πιθανότητα αποτυχίας μετάδοσης ενός πακέτου
Ταυτίζεται με το ρυθμό εσφαλμένων πακέτων,
Packet Error Rate (PER)

$$PER = P_F = 1 - P_S$$

Address Resolution Protocol (ARP)

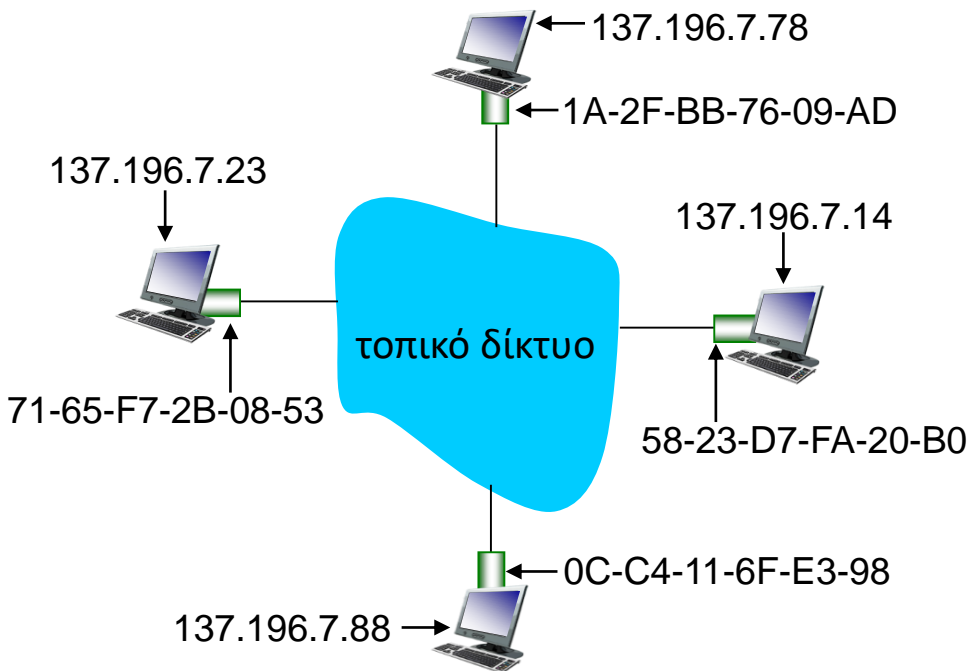
Διευθυνσιοδότηση και Δρομολόγηση

- 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)).



ARP : Πρωτόκολλο αναγωγής διευθύνσεων

Ερώτηση: πώς βρίσκουμε τη MAC διεύθυνση μιας διεπαφής αν γνωρίζουμε την IP διεύθυνσή της;



Πίνακας ARP: κάθε IP κόμβος (ξενοστής, δρομολογητής) στο LAN διατηρεί πίνακα ARP

– Αντιστοιχίσεις IP/MAC διευθύνσεων για κάποιους κόμβους του τοπικού δικτύου:

< IP διεύθυνση; MAC διεύθυνση; πεδίο TTL >

– TTL (Time To Live): χρόνος μετά τον οποίο οι αντιστοιχίσεις των διευθύνσεων απαλείφονται από τη μνήμη (τυπικά: 20 λεπτά)

Λειτουργία ARP πρωτοκόλλου στο ίδιο LAN

- Ο Α θέλει να στείλει ένα πακέτο δεδομένων στον Β
 - Η MAC διεύθυνση του Β δεν είναι στον ARP πίνακα του Α.
- Ο Α στέλνει **broadcast** ένα ARP query πλαίσιο, που περιέχει την IP διεύθυνση του Β
 - θέτοντας MAC διεύθυνση προορισμού = FF-FF-FF-FF-FF-FF
 - Όλοι οι κόμβοι στο LAN λαμβάνουν το ARP query
- Ο Β λαμβάνει το πακέτο ARP και απαντά στον Α με τη MAC διεύθυνσή του
 - το πλαίσιο στέλνεται στη MAC διεύθυνση του Β (unicast)
- Ο Α αποθηκεύει το ζεύγος διευθύνσεων IP-MAC στον ARP πίνακά του μέχρι η πληροφορία να παλιώσει (να περάσει χρόνος TTL)
 - **soft state**: πληροφορία που παλιώνει και απαλείφεται όταν περάσει συγκεκριμένος χρόνος, αλλιώς ανανεώνεται.
- Το ARP είναι “plug-and-play” (τοποθέτησης και άμεσης λειτουργίας):
 - οι κόμβοι δημιουργούν τους πίνακες ARP χωρίς παρέμβαση του διαχειριστή δικτύου

How it works

- Each host and router has an **ARP table in its memory**:
 - **contains mappings of IP** addresses to MAC addresses.
 - also contains a time-to-live (TTL) value, which indicates when each mapping will be deleted from the table.
 - typical expiration time for an entry: 20 minutes

IP Address	MAC Address	TTL
222.222.222.221	88-B2-2F-54-1A-0F	13:45:00
222.222.222.223	5C-66-AB-90-75-B1	13:52:00

Τυπική οργάνωση δικτύου σε οργανισμό/εταιρία

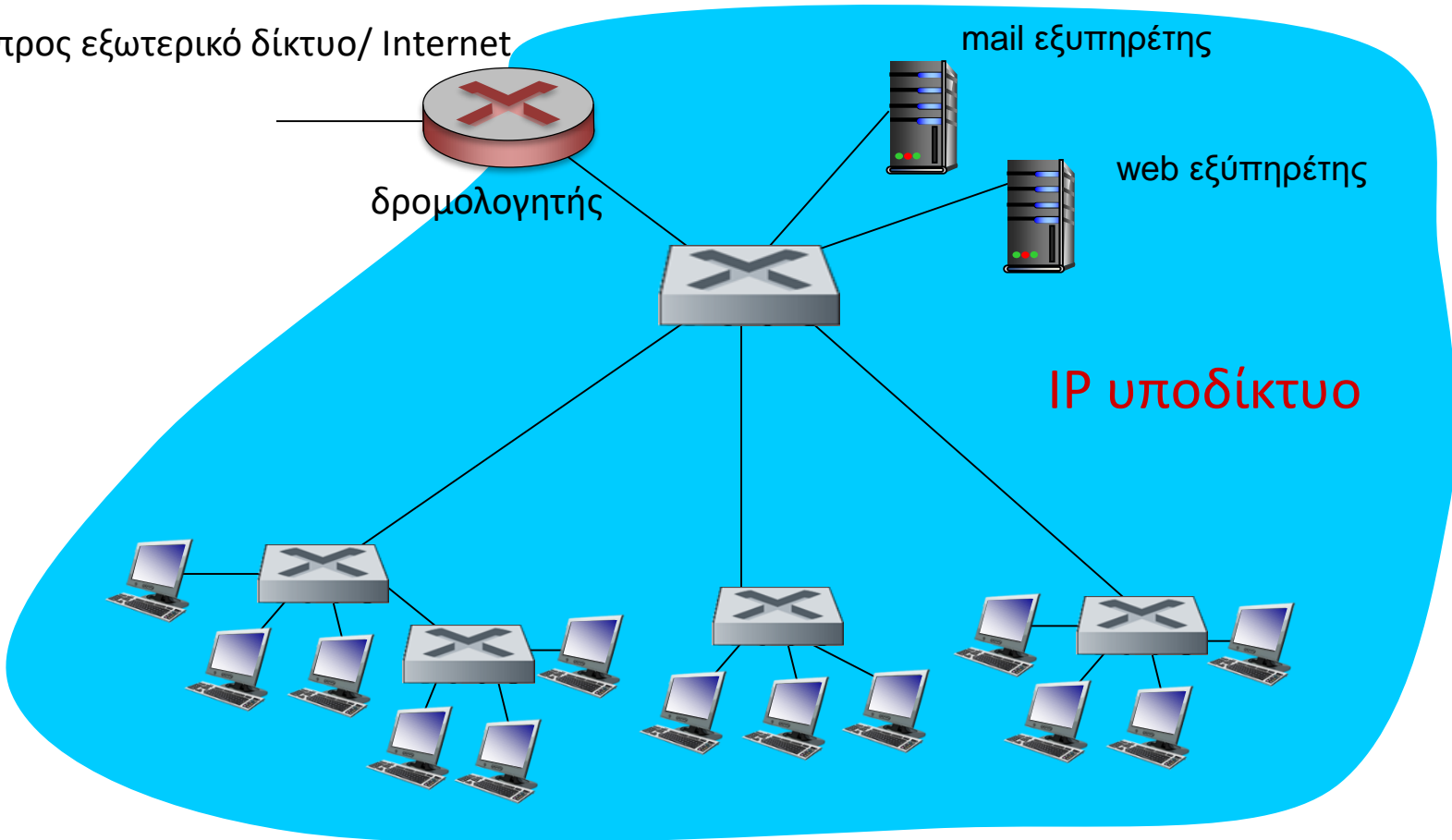
προς εξωτερικό δίκτυο/ Internet

mail εξυπηρέτης

δρομολογητής

web εξυπηρέτης

IP υποδίκτυο

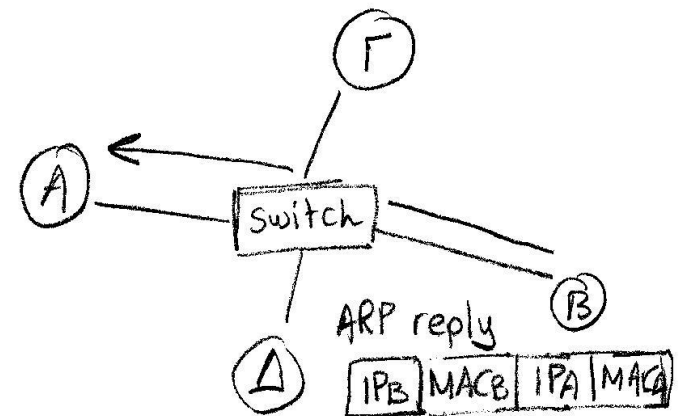
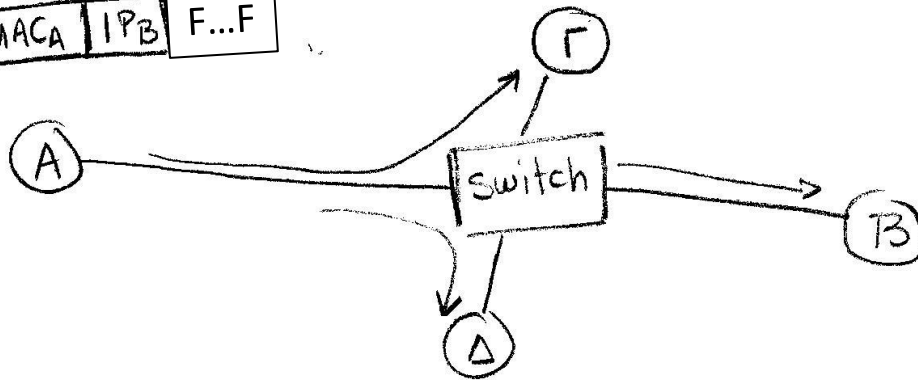
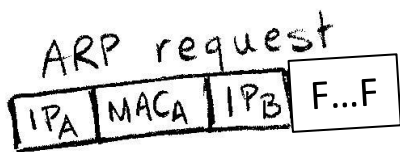


- Ιεραρχική οργάνωση, με ομάδες εργασίας/τμήματα να οργανώνονται στο δικό τους τοπικό δίκτυο επιπέδου 2 (μεταγωγής)

ARP protocol (IP address resolution)

Προκειμένου να λάβει ο παραλήπτης ένα πακέτο χρειάζεται ο αποστολέας να γνωρίζει

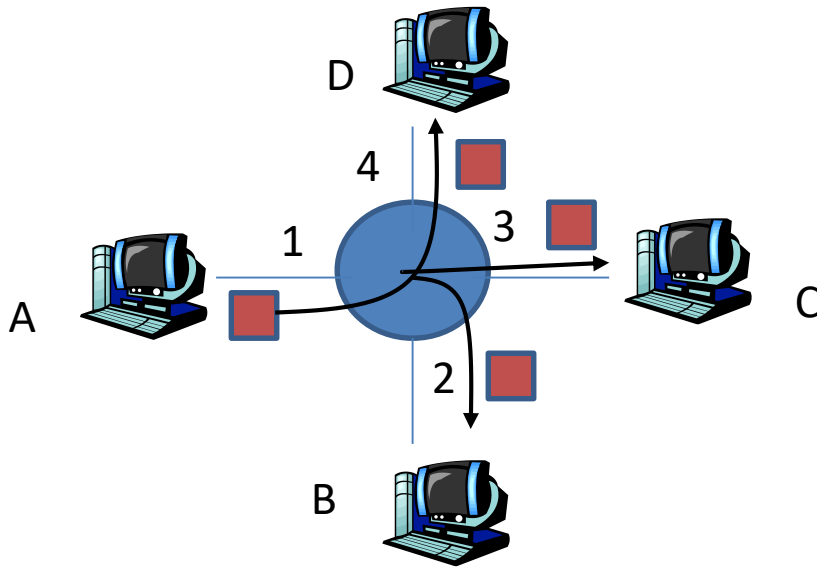
- τη MAC address του παραλήπτη (αν είναι στο ίδιο υποδίκτυο)
- την IP address του παραλήπτη (σε κάθε περίπτωση)



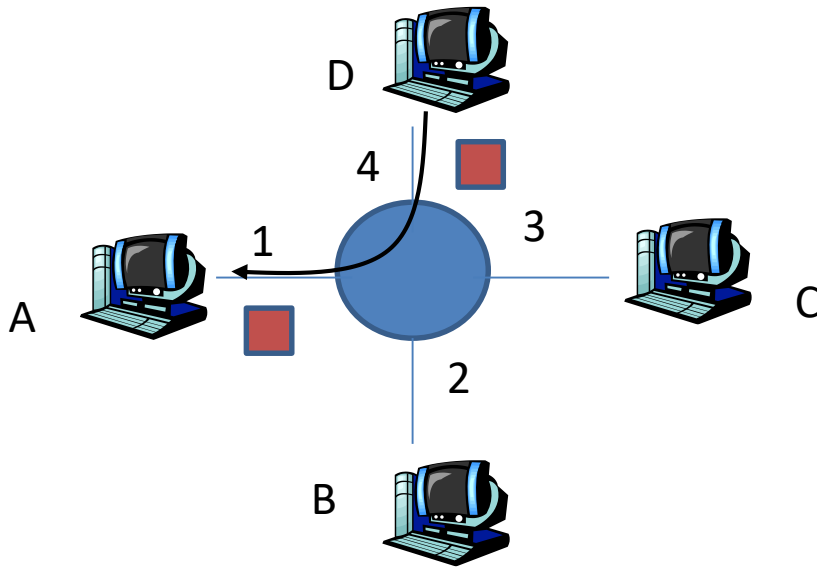
ΘΕΜΑ 1 ΓΕ4/1314

1. Να θεωρήσετε ένα Ethernet LAN switch στο οποίο είναι συνδεδεμένοι τέσσερις hosts: A, B, C, D. Οι κόμβοι χρησιμοποιούν την τοπολογία star για τη διασύνδεση των hosts A, B, C, D. Ο Host A είναι συνδεδεμένος στο interface 1 του μεταγωγέα, ο host B στο interface 2, ο host C στο interface 3 και ο host D στο interface 4. Να θεωρήσετε ότι ο πίνακας μεταγωγής του μεταγωγέα είναι άδειος. Για κάθε ένα από τα παρακάτω γεγονότα να δείξετε πως ανανεώνεται ο πίνακας αυτός και να αναφέρεται τα interfaces όπου τα πλαίσια μεταδίδονται.

- Ο A στέλνει ένα frame στο D
- Ο D στέλνει ένα frame στον A

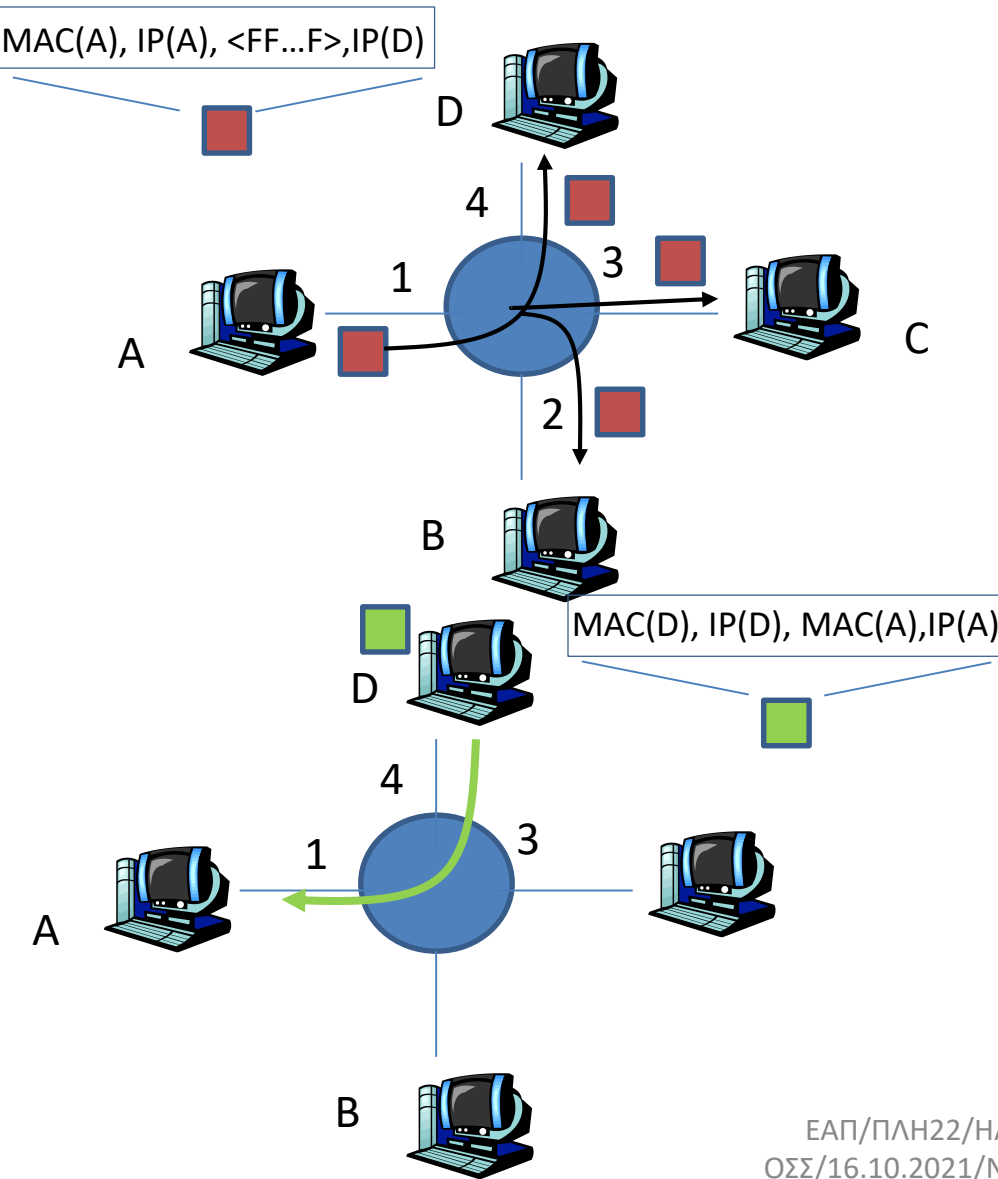


1. Μετάδοση A-D
2. Ο A αποστέλλει ένα πακέτο με τη MAC address του D
3. Ο πίνακας του switch είναι άδειος οπότε το πακέτο αποστέλλεται σε όλες τις θύρες Πλην της εισόδου (2,3,4)
4. Οι B,C απορρίπτουν το πακέτο.
5. Το switch ενημερώνει τον πίνακά του (A,1)



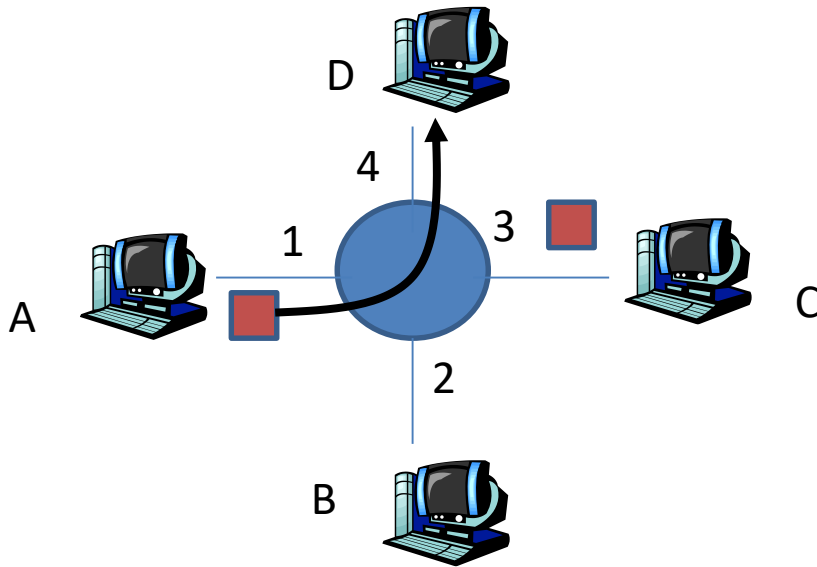
1. Μετάδοση D-A
2. Ο D αποστέλλει ένα πακέτο με τη MAC address του A
3. Ο πίνακας του switch table έχει την εγγραφή (A,1) οπότε το πακέτο αποστέλλεται ΜΟΝΟ στη θύρα 1 και το σταθμό A.
4. Το switch ενημερώνει τον πίνακά του (D,4)

Αν ο A δεν γνωρίζει τη MAC address του D

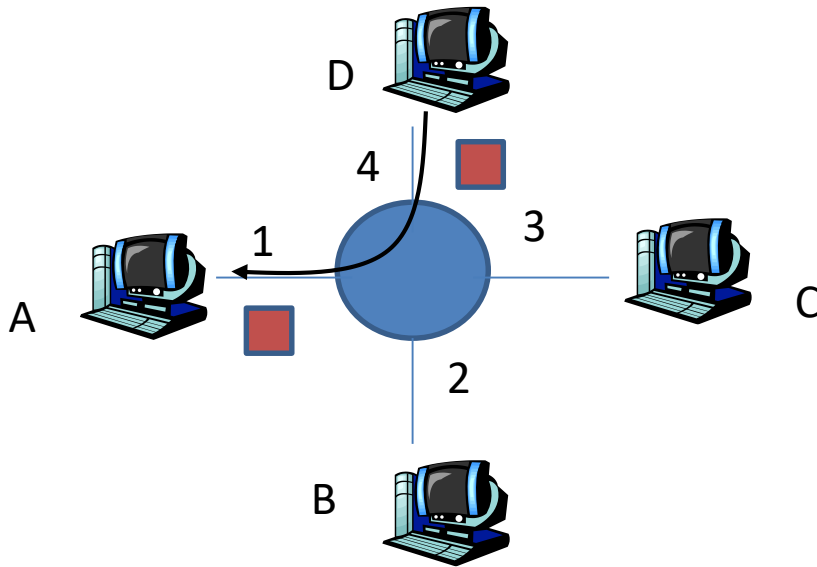


Πρωτόκολλο ARP

1. Ο A στέλνει ένα broadcast ARP query πλαίσιο, που περιέχει την IP διεύθυνση του D θέτοντας MAC διεύθυνση προορισμού = FF-FF-FF-FF-FF-FF
2. Το switch και όλοι οι κόμβοι στο LAN λαμβάνουν το ARP query
3. Όλοι οι κόμβοι ενημερώνουν το ARP table τους με τα στοιχεία (IP, MAC) του A
4. Το switch ενημερώνει τον πίνακά του (A,1)
5. Ο D απαντά στον A με τη MAC διεύθυνσή του
 - το πλαίσιο στέλνεται στη MAC διεύθυνση του B (unicast)
6. Το switch ενημερώνει τον πίνακά του (D,4)



1. Μετάδοση A-D
2. Ο A αποστέλλει το πακέτο με τη MAC address του D
3. Ο πίνακας του switch έχει ενημερωθεί για τη MAC address του D οπότε το πακέτο αποστέλλεται μόνο στη θύρα 4



1. Μετάδοση D-A
2. Ο D αποστέλλει ένα πακέτο με τη MAC address του A
3. Ο πίνακας του switch table έχει την εγγραφή (A,1) οπότε το πακέτο αποστέλλεται ΜΟΝΟ στη θύρα 1 και το σταθμό A.