

**\*Επικαιροποιημένη διαφάνεια 7 της παρουσίασης oss\_2013\_slides\_A\***

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  $n=8$

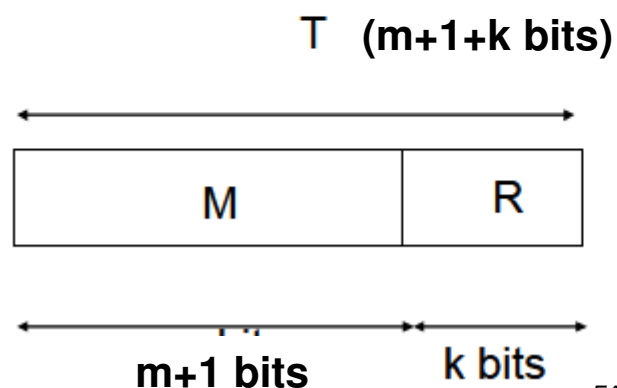
**Αλγόριθμος CRC:**

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  $T(x) = M(x)x^k + R(x)$



# Σχόλια για την 3<sup>η</sup> εργασία

- **Θέμα 1:** Σχετίζεται με την κωδικοποίηση CRC, να δείτε και το ΕΞ2008Α/Θ3 στη διαφάνεια 4 . Στο ερώτημα Δ, κάποιο bit του υπολοίπου της διαίρεσης CRC θεωρείται τυχαίοποιημένο εφόσον η πιθανότητα να είναι '0' ή '1' ισούται με  $\frac{1}{2}$ .
- **Θέμα 2:** Ζητείται η κατάλληλη εφαρμογή των γνωστών τύπων της απόδοσης για τα πρωτόκολλα GoBackN και ABP. Να δείτε και το ΕΞ2011Α/Θ3 στη διαφάνεια 10.
- **Θέμα 3:** Ζητείται η κατάλληλη εφαρμογή των γνωστών τύπων της απόδοσης για τα πρωτόκολλα GoBackN και ABP(Stop'n'Wait), και ο προσδιορισμός του goodput. Να δείτε και το ΓΕ3/1011/Θ4 στη διαφάνεια 13.
- **Θέμα 4:** Σχετίζεται με τους υπολογισμούς μιας ζεύξης γης-σελήνης για μεταφορά έγχρωμων εικόνων. Κάθε ρικελ περιλαμβάνει 3 χρώματα και για καθένα χρησιμοποιούνται 16 bits. Πάλι, ζητείται η κατάλληλη εφαρμογή των γνωστών τύπων της απόδοσης για τα πρωτόκολλα GoBackN και ABP με σφάλματα.
- **Θέμα 5:** Ζητείται εφαρμογή των τύπων για τη μεταγωγή πακέτου και ιδεατού κυκλώματος. Να δείτε την Α.Α.1.2 (διαφάνεια 5 του Α μέρους των σημειώσεων) και το ΓΕ3/0506/Θ3 στη διαφάνεια 25.
- **Θέμα 6:** Σχετίζεται με πρωτόκολλο τυχαίας πρόσβασης και τους σχετικούς υπολογισμούς των στοχαστικών μεγεθών. Δείτε και τα ΓΕ3/1011/Θ1 (διαφάνεια 27) , ΓΕ3/0809/Θ3 (διαφάνεια 37).
- **Θέμα 7:** Σχετίζεται με υπολογισμούς του χρόνου μετάδοσης σε μονοπάτι με διαδοχικούς μεταγωγείς πακέτων. Να δείτε και τα ΓΕ3/1112/Θ5 (διαφάνεια 32) και ΓΕ3/1011/Θ3 (διαφάνεια 34), προσέχοντας ότι στην περίπτωση του θέματος 7 δεν υπάρχει πρωτόκολλο επανεκπομπής

# Ασκήσεις-Παραδείγματα

### ΕΞ2008Α/Θ3

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

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

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

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

*(Υπόδειξη: Εφόσον χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος CRC και με δεδομένο ότι το πολυώνυμο γεννήτορας είναι  $3^{00}$  βαθμού ( $k=3$ ), το μήνυμα  $T$  (ή  $T(x)$  σε πολυωνυμική μορφή) που θα μεταδοθεί τελικά πάνω από το ασύρματο κανάλι μετά και την προσθήκη του κυκλικού πλεονασμού  $R(x)$ , θα αποτελείται από 10 bits εφόσον  $T(x)=M(x)*x^3+R(x)$ . Το μήνυμα  $T(x)$  - λόγω κατασκευής- όταν διαιρεθεί με το πολυώνυμο γεννήτορα  $G(x)$ , αφήνει υπόλοιπο 0. Η άσκηση επίσης μας δίνει ότι στο κάθε μήνυμα  $T(x)$  υπεισέρχεται θόρυβος  $E(x)$ , οπότε το μήνυμα που παραλαμβάνεται δίνεται από τη σχέση  $T'(x) = T(x)+E(x)$ . Εάν διαιρέσουμε το  $T'(x)$  με το  $G(x)$  και με δεδομένο ότι  $T(x)/G(x)=0$  προκύπτει ότι  $T'(x)/G(x) = E(x)/G(x)$ )*

**α)**

Τα πακέτα που μεταδίδονται μεταξύ των Α και Β έχουν μήκος

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**β)**

Ο ρυθμός ροής πακέτων  $\lambda$  είναι

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

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

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

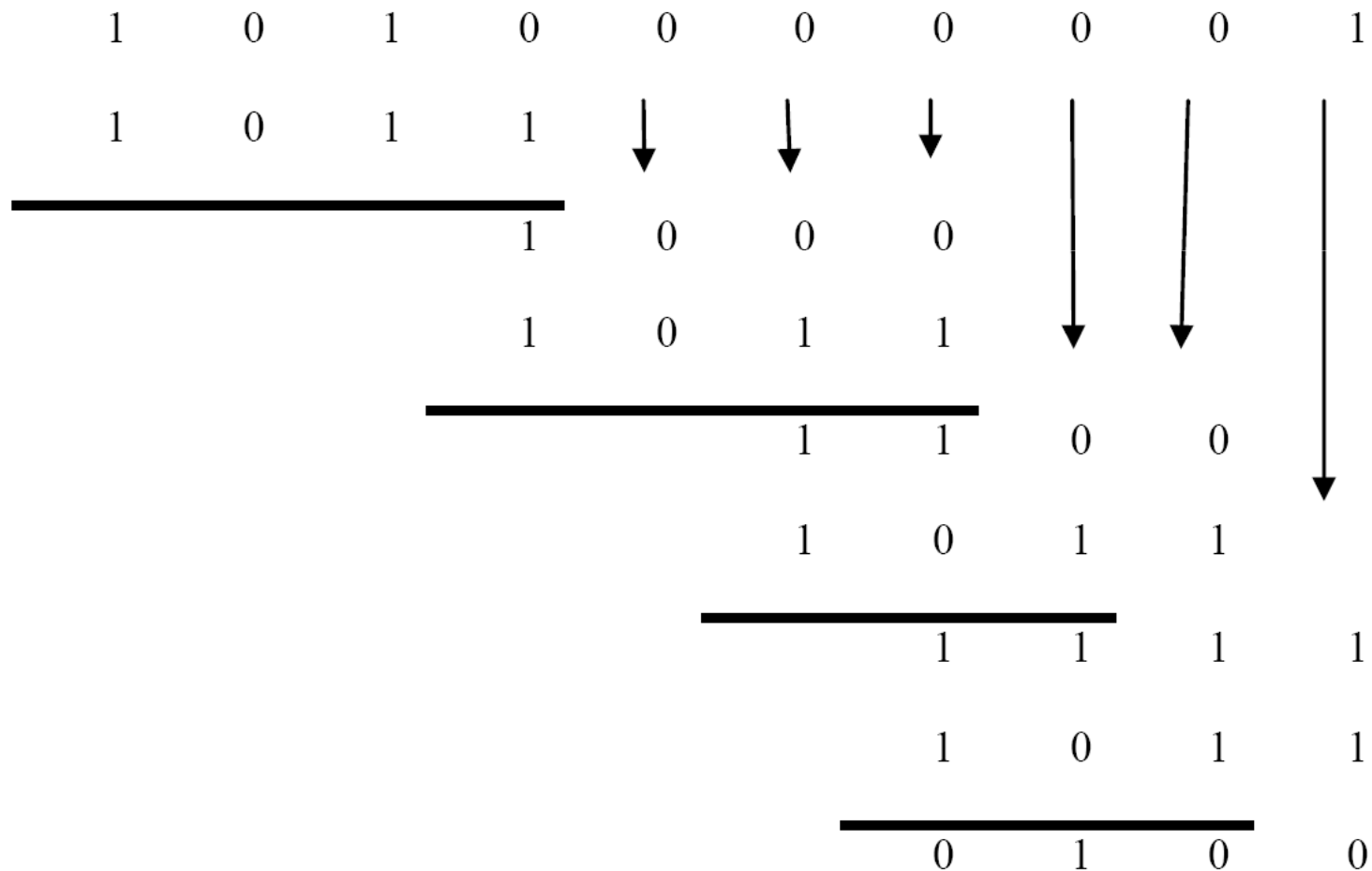
$$\lambda = n \cdot R = 0,624 \cdot 5000 = 3120 \text{ bits/sec} \quad (9)$$

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

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

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

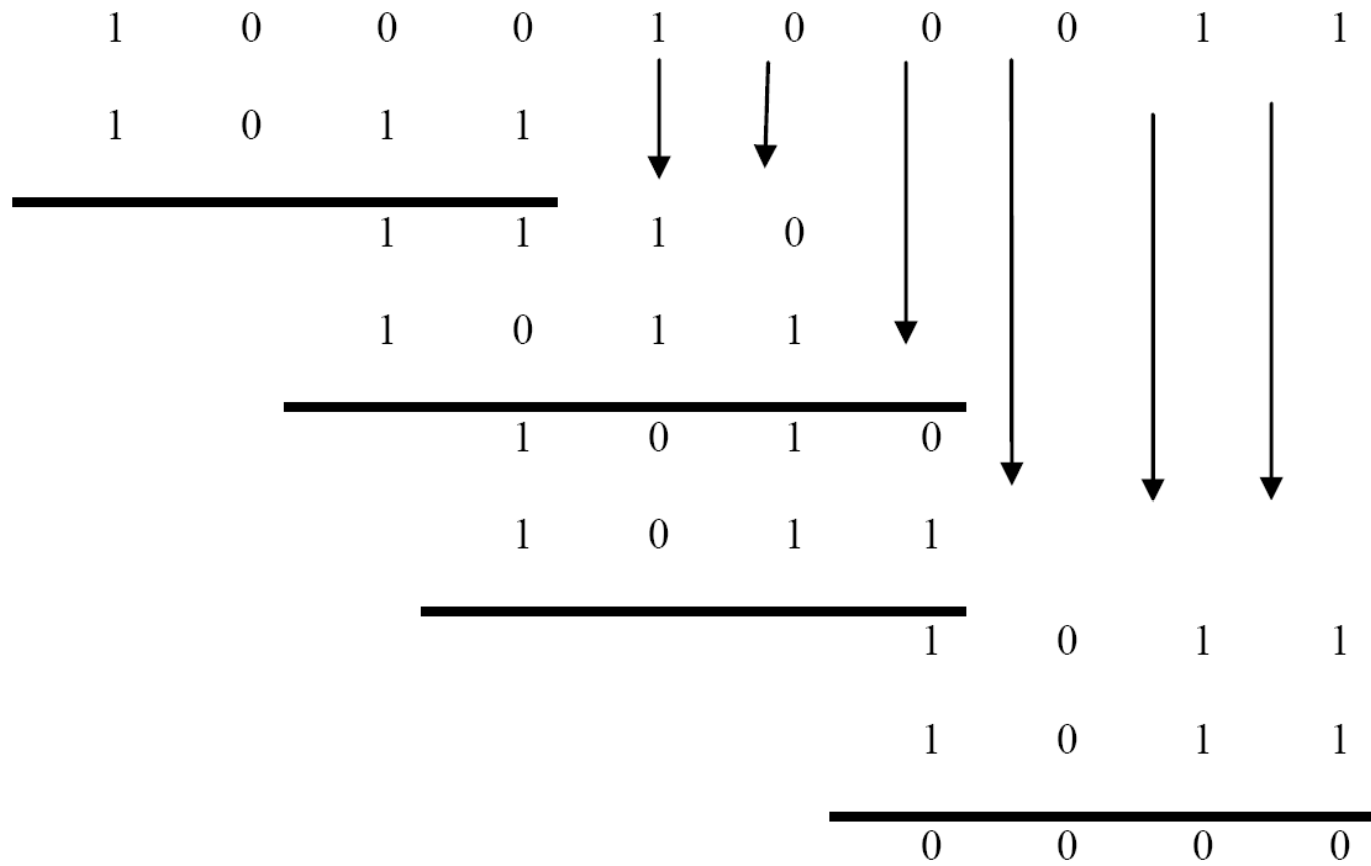
Περίπτωση 1<sup>η</sup>:  $E_1(x) = 1010000001$



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



Περίπτωση 2<sup>η</sup>:  $E_2(x) = 1000100011$



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

**ΘΕΜΑ 3**

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

Έχετε τα εξής δεδομένα:

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

Ζητούνται:

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

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

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

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

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

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  $\eta_P = 10\%$   $p_F = 0,05 \Rightarrow p_S = 0,95$

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

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

$$RTT = TRANSP + \overset{0}{TRANSA} + 2PROP = 3 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

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

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

**ΘΕΜΑ 4**

ΓΕ3 /1011

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

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



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

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

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

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

### Για τη ζεύξη GEO:

Πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης Bit:

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

Πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης Packet :

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

Πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης πακέτου δεδομένων και επιτυχούς λήψης επιβεβαίωσης :

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

Απόδοση πρωτοκόλλου SRP :

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

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

Ρυθμαπόδοση GEO:

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

## Για τη ζεύξη LEO:

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

Πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης πακέτου δεδομένων και επιτυχούς λήψης επιβεβαίωσης:

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

Απόδοση πρωτοκόλλου GBN:

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

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

Ρυθμαπόδοση LEO:

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



### Για τη ζεύξη OPT:

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

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

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:

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

Ρυθμαπόδοση OPT:

$$T_{\text{OPT}} = R \cdot \min \{ n_{\text{E}_1\text{-OPT}}, n_{\text{OPT-E}_2} \} = R \cdot n_{\text{OPT-E}_2} = 20 \text{ Mbps} \cdot 0.1 = 2 \text{ Mbps}$$

(β)

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

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

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

- **Ζεύξη GEO:**

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

$$\Leftrightarrow R_{GEO} = \frac{2Mbps}{n_{GEO} \cdot 0.6} = 8,15Mbps$$

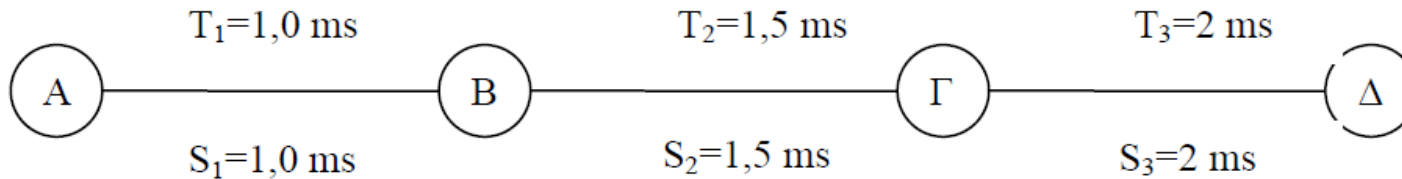
- **Ζεύξη LEO:**

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

$$\Leftrightarrow R_{LEO} = \frac{2Mbps}{n_{LEO} \cdot 0.8} = 4,22Mbps$$

### ΘΕΜΑ 3 ΕΞ 2011B

Έστω σταθμός A που επικοινωνεί με σταθμό Δ μέσω των σταθμών B και Γ και τριών συνδέσμων (σύνδεσμος 1 μεταξύ AB, σύνδεσμος 2 μεταξύ BΓ, σύνδεσμος 3 μεταξύ ΓΔ). Οι χρόνοι μετάδοσης πλαισίου είναι ίδιοι σε κάθε σύνδεσμο ( $\text{TRANSP1} = \text{TRANSP2} = \text{TRANSP3} = 10^{-4}$  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;

$$E \equiv 2011 B / \theta_3$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Συμμετρώς  $n_2 > n_3 > n_1$

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



### Θέμα 3 ΓΕ3 /0506

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

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

**B.** Υποθέστε ότι το δίκτυο μετάγει αυτοδύναμα πακέτα (datagrams) και χρησιμοποιείται ασυνδεσμική (connectionless) υπηρεσία. Το κάθε πακέτο φέρει επικεφαλίδα  $2h$  bits. Πόσος χρόνος απαιτείται για την μεταφορά του αρχείου.

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

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

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

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

Β.  $(Q + M - 1)(L + 2h) / R$

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

Δ. Η συνολική καθυστέρηση είναι

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

**ΘΕΜΑ 1**

ΓΕ3 /1011

*Στόχος της άσκησης είναι η εξοικείωση με βασικές έννοιες και μετρικές δικτύων υπολογιστών. Σχετικές ασκήσεις: ΓΕ3/0506/06, ΕΞ2006Α/08, ΓΕ3/0910/01.*

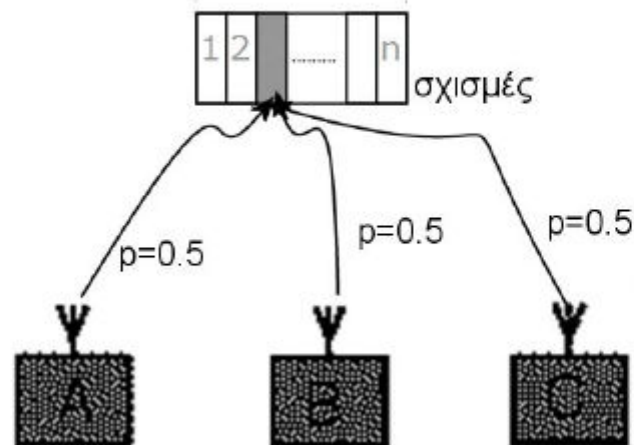
Στο δίκτυο του σχήματος υπάρχουν τρεις ενεργοί κόμβοι, οι Α, Β, C οι οποίοι ανταγωνίζονται για πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης. Οι κόμβοι μεταδίδουν ισομεγέθη πακέτα δεδομένων. Επίσης, είναι συγχρονισμένοι και ο χρόνος χωρίζεται σε σχισμές διάρκειας ίσης με τη διάρκεια μετάδοσης ενός πακέτου. Υποθέστε ότι κάθε ένας από τους παραπάνω κόμβους σε κάθε σχισμή επιχειρεί μετάδοση πακέτου με πιθανότητα  $p=0.5$ . Να απαντηθούν τα παρακάτω:

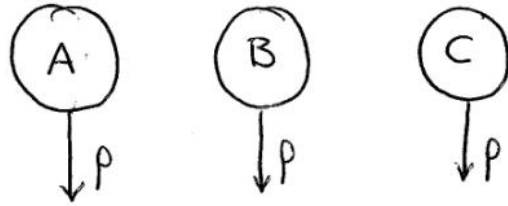
Α) Ποιά η πιθανότητα πρώτης επιτυχούς μετάδοσης πακέτου του κόμβου Α στη σχισμή  $a$ , όπου  $1 \leq a \leq n$ , θεωρώντας ότι η προσπάθεια μετάδοσης του πακέτου αυτού στις προηγούμενες χρονικές σχισμές (έως και τη χρονική σχισμή  $(a-1)$ ) ήταν αποτυχημένη;

Β) Ποιά η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης κάποιου εκ των τριών κόμβων σε μια οποιαδήποτε σχισμή;

Γ) Ποιά η πιθανότητα η πρώτη επιτυχής μετάδοση οποιουδήποτε των κόμβων να λάβει χώρα στην  $4^{\text{η}}$  σχισμή;

Δ) Αν το μέσο μετάδοσης έχει χωρητικότητα 1 Mbps, ποιά η ρυθμαπόδοση του παραπάνω δικτύου των τριών κόμβων;





α) Πιθανότητα ο A να μεταδώσει επιτυχώς  
 πακέτο μετά από  $a-1$  αποτυχημένες προσπάθειες

$$P_{A,a} = \underbrace{P_{A,fail} \cdot P_{A,fail} \cdots P_{A,fail}}_{a-1} \cdot P_{A,success}$$

$$P_{A,success} = P(A=on, B=off, C=off) = \underline{p \cdot (1-p) \cdot (1-p)}$$

$$P_{A,fail} = P(A=off, B=on \dot{\vee} C=on) =$$

$$= P(A=off, B=on, C=off) + P(A=off, B=off, C=on) +$$

$$+ P(A=off, B=on, C=on) =$$

$$= p \cdot p \cdot (1-p) + p \cdot (1-p) \cdot p + p \cdot p \cdot p = 2 \cdot p^2(1-p) + p^3$$

$$\text{Άρα, } P_{A,a} = \left[ 2 \cdot p^2(1-p) + p^3 \right]^{a-1} \cdot p(1-p)^2$$

Εναλλακτική λύση //

$$P_{A, \text{fail}} = 1 - P_{A, \text{success}} = P_{A, \text{idle}} = 1 - \rho(1-\rho)(1-\rho) - (1-\rho) =$$
$$= 1 - \rho(1-\rho)^2 - (1-\rho)$$

\* Στην εναλλακτική λύση το  $P_{A, \text{idle}}$  αντιπροσωπεύει το ενδεχόμενο ο A να μην προσπαθεί να στείλει πακέτο στη χρονοθυρίδα ( $A = \text{off}$ ), που δε συμπεριλαμβάνεται στα ενδεχόμενα αποτυχούς μετάδοσης του A.

β) Πιθανότητα <sup>επιτυχούς</sup> μετάδοσης κάποιου από τους A, B, C σε μια βίσιμη.

ενός κόμβου  
 $P_{\text{success}} = P(\text{on, off, off}) = p(1-p)(1-p)$

$\underbrace{P_{\text{succ}}(A \text{ ή } B \text{ ή } C)}$

οποιοδήποτε  
 $P_{\text{success, any}} = P_{\text{success}}^A + P_{\text{success}}^B + P_{\text{success}}^C =$

$= 3 p(1-p)(1-p)$

γ) Πιθανότητα η 1η επιτυχής μετάδοση οποιουδήποτε κόμβου να γίνει την 4η βίση

$$P_{\text{success, any}, 4} = \underbrace{P_{\text{fail}} \cdot P_{\text{fail}} \cdot P_{\text{fail}}}_3 \cdot P_{\text{success, any}}$$

$$P_{\text{fail}} = 1 - P_{\text{success, any}} = 1 - 3p(1-p)(1-p)$$

$$P_{\text{success, any}, 4} = \left[ 1 - 3p(1-p)^2 \right]^3 \cdot 3p(1-p)^2$$

δ) Ρυθμολόγηση Δικτύου A, B, C

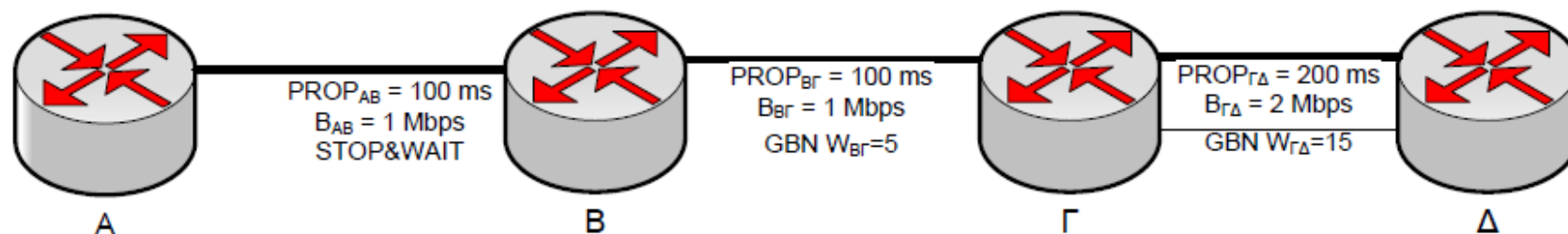
$$T = P_{\text{success, any}} \cdot R = 3(1-p)^2 p \cdot 1 \text{ Mbps} = 375 \text{ Kbps}$$



## ΘΕΜΑ 5 / ΓΕ3 1112

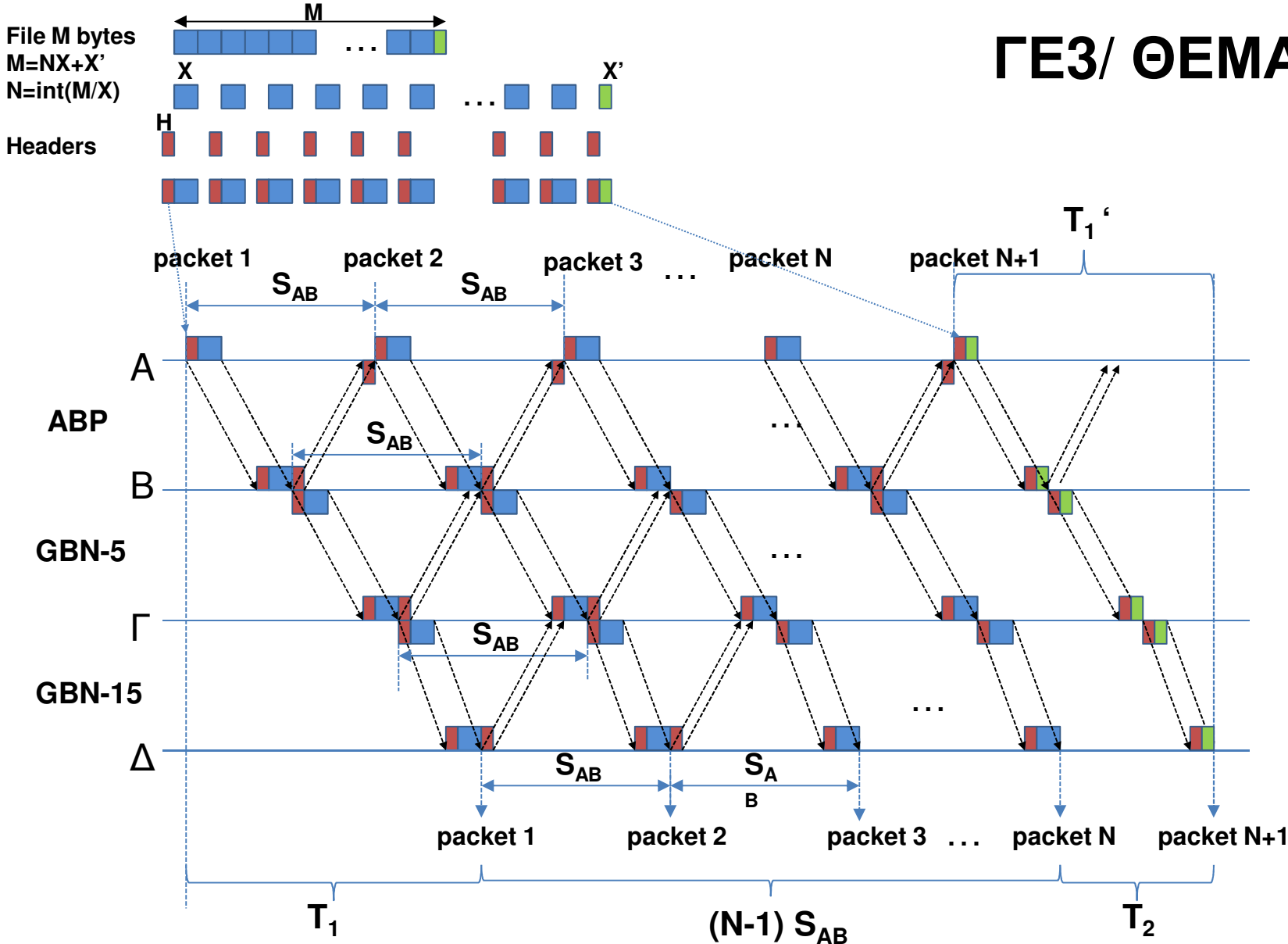
*Στόχος της άσκησης είναι η εξοικείωση με την μεταγωγή πακέτων και την μεταγωγή κυκλώματος, όπως επίσης και με τα βασικά πρωτόκολλα επανεκπομπής. Σχετικές ασκήσεις: ΓΕ3/0405/Θ3, ΓΕ5/0506/Θ7, ΓΕ3/0506/Θ3, ΓΕ5/0607/Θ5, ΓΕ5/0910/Θ5, ΓΕ3/1011/Θ6*

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



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

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

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

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

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

**ΘΕΜΑ 6**

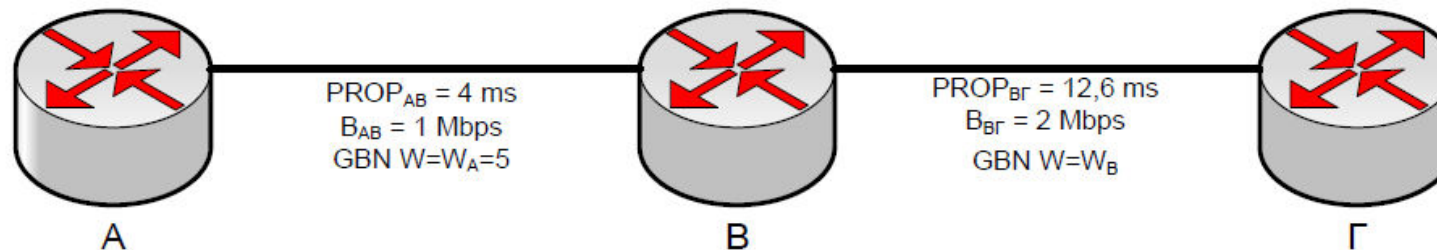
ΓΕ3 /1011

*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.

Α. 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.

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



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

(α)

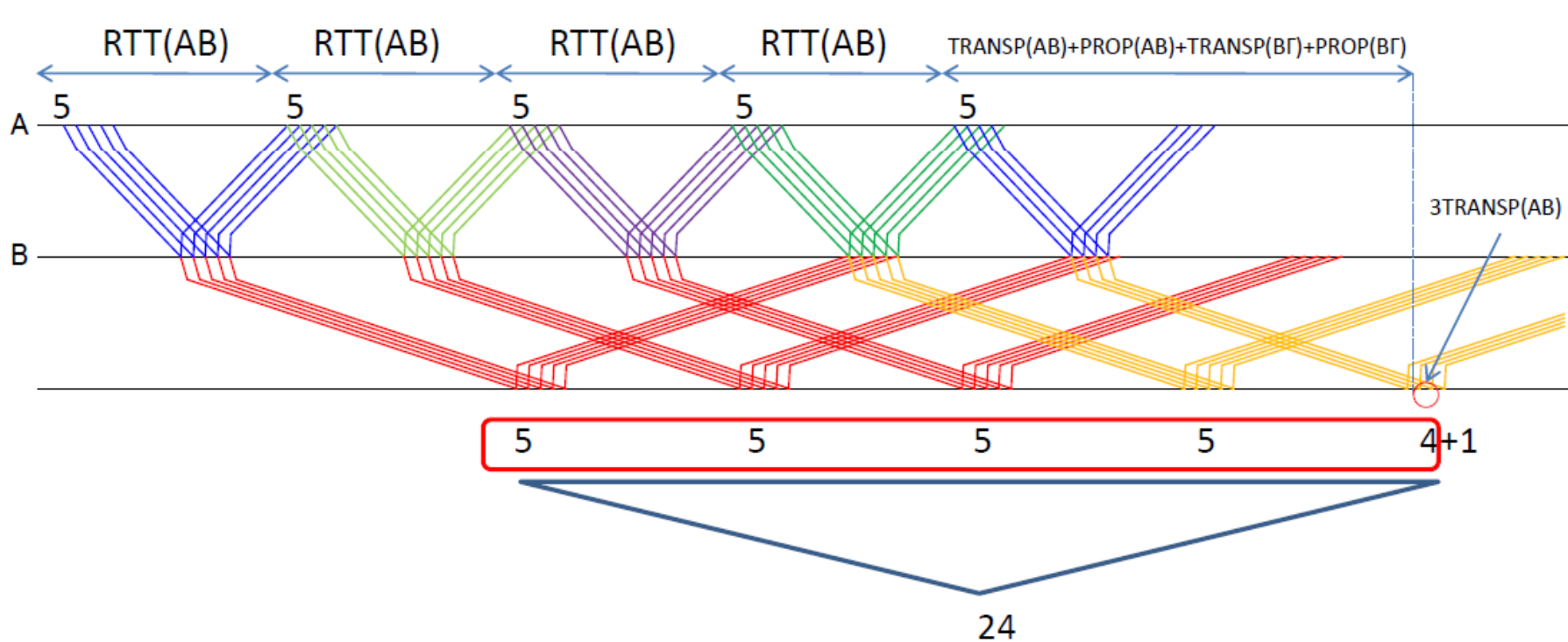
Για να μεταδίδει ο Β ότι πακέτο λαμβάνει από τον Α αμέσως θα πρέπει να μη δημιουργείται συμφόρηση στον Β. Η απαραίτητη συνθήκη είναι η ρυθμαπόδοση του συνδέσμου Α-Β να είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με τη ρυθμαπόδοση του συνδέσμου Β-Γ

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

(β)

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

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



### ΓΕ3/0809/Θ3

Έστω ότι σε μία αρτηρία είναι συνδεδεμένοι 10 σταθμοί. Ο μηχανισμός ελέγχου προσπέλασης στο μέσο είναι το CSMA/CD και υποθέτουμε ότι κάθε στιγμή μόνο οι μισοί από τους σταθμούς είναι ενεργοί. Υπολογίστε:

**A.** Την πιθανότητα ( $p_{\text{nocol}}$ ) να μεταδώσει επιτυχώς ακριβώς ένας ενεργός σταθμός, δεδομένου ότι η πιθανότητα ( $p$ ) μετάδοσης ενός ενεργού σταθμού σε ένα τυχαίο αδρανές χρονικό διάστημα είναι ίση με 0.2.

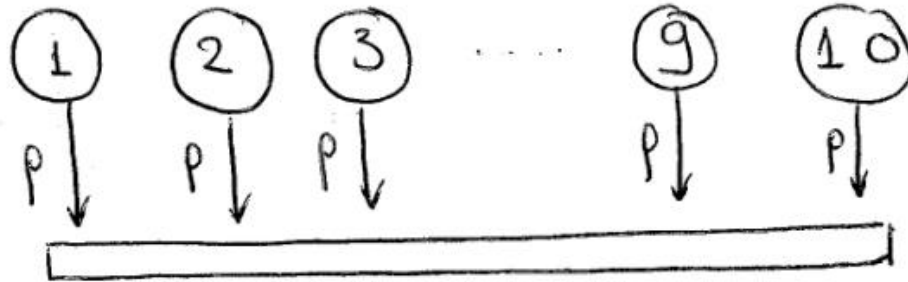
**B.** Την πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης ενός σταθμού μετά από 5 αποτυχημένες μεταδόσεις.

**Γ.** Τον μέσο αριθμό προσπαθειών ενός σταθμού για επιτυχημένη μετάδοση.

**Δ.** Για ποια τιμή του  $p$ , το  $p_{\text{nocol}}$  μεγιστοποιείται;

**Ε.** Έστω ότι ο μέγιστος χρόνος διάδοσης μεταξύ δύο σταθμών είναι  $T=2$  ms. Να υπολογίσετε τον μέσο χρόνο που χρειάζεται να ανταγωνιστούν οι σταθμοί μέχρι να μεταδώσουν με επιτυχία ένα πακέτο. Χρησιμοποιείστε ως πιθανότητα μετάδοσης ( $p$ ) ενός ενεργού σταθμού σε ένα τυχαίο αδρανές χρονικό διάστημα αυτή που υπολογίσατε στο προηγούμενο ερώτημα.

A) Πιθανότητα να μεταδώσει επιτυχώς ένας ενεργός σταθμός



Για συγκεκριμένο σταθμό  $k$ :

$$P_{succ,k} = P(\text{ο } k \text{ μεταδίδει, οι υπόλοιποι 4 ενεργοί off})$$

$$= p \cdot (1-p)^4$$

Για οποιοδήποτε ενεργό σταθμό

$$P_{succ} = 5 \cdot P_{succ,k} = 5 p (1-p)^4 = 0,4096$$

Σημείωση: Στην ενδεικτική λύση  
στο site η πιθανότητα  $P_{succ}$   
αντιστοιχεί στην  $P_{nocol}$

β) Πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης μετά από 5 ανεπιτυχείς προσπάθειες / επαναμεταδόσεις.

$$P_{\text{succ}, 5+1} = (1 - P_{\text{succ}})^5 \cdot P_{\text{succ}} = 0,029.$$

Γ) Μέσος αριθμός προσπαθειών για 1 επιτυχή μετάδοση:

$$E(x) = \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot (1 - P_{\text{succ}})^{i-1} \cdot P_{\text{succ}} =$$

$$= P_{\text{succ}} \sum_{i=1}^{\infty} i (1 - P_{\text{succ}})^{i-1} = P_{\text{succ}} \cdot \sum_{i=1}^{\infty} \left[ (1 - P_{\text{succ}})^i \right]' =$$

$\left\langle \text{ΔΙΟΤΙ } \left[ - (1 - P_{\text{succ}})^i \right]' = - i (1 - P_{\text{succ}})^{i-1} \cdot (-P_{\text{succ}})' = + i (1 - P_{\text{succ}})^{i-1} \right\rangle$

$$= P_{\text{succ}} \left\{ - \left[ \sum_{i=1}^{\infty} (1 - P_{\text{succ}})^i \right] \right\}' = P_{\text{succ}} \left\{ - \left[ \sum_{i=0}^{\infty} (1 - P_{\text{succ}})^i - 1 \right] \right\}' =$$

$$= P_{\text{succ}} \cdot \left\{ - \left[ \frac{1}{1 - (1 - P_{\text{succ}})} - 1 \right] \right\}' = P_{\text{succ}} \left[ \left( \frac{1}{P_{\text{succ}}} - 1 \right)' \right] = P_{\text{succ}} \cdot \frac{1}{P_{\text{succ}}^2} = \boxed{\frac{1}{P_{\text{succ}}}}$$



Διότι ισχύει ότι  $a + ar + ar^2 + \dots + ar^n + \dots = \frac{a}{1-r}$ ,  $|r| < 1$

οπότε  $\sum_{i=0}^{\infty} (1 - P_{\text{succ}})^i = \frac{1}{1 - (1 - P_{\text{succ}})}$

Βασική παρατήρηση:

Αν για την επιτυχία ενός παραβάτος η αντίστοιχη πιθανότητα είναι  $P_{\text{succ}}$ , τότε ο μέσος αριθμός προσπαθειών για την παρατήρηση της επιτυχίας είναι

$$E(x) = \frac{1}{P_{\text{succ}}}$$

$$E(x) = \frac{1}{0,4096} = 2,44.$$

Δ) Το  $P_{succ}$  μεγιστοποιείται για εκείνη την τιμή του  $\rho$  που ηδενίζει την ln παράγωγο  $\frac{dP_{succ}}{d\rho} = \frac{d}{d\rho} \left\{ \eta_{active} \rho (1-\rho)^{\eta_{active}-1} \right\} =$

$$= \eta_{active} \left\{ (1-\rho)^{\eta_{active}-1} + \rho (1-\rho)^{\eta_{active}-2} \cdot (\eta_{active}-1) \cdot (-1) \right\} =$$

$$= \eta_{active} \left\{ (1-\rho)^{\eta_{active}-1} - \rho (\eta_{active}-1) \cdot (1-\rho)^{\eta_{active}-2} \right\}$$

$$= \eta_{active} (1-\rho)^{\eta_{active}-2} \left\{ 1 - \rho - \rho (\eta_{active}-1) \right\} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 - \rho \cdot \eta_{active} = 0 \Rightarrow \rho = \frac{1}{\eta_{active}} = 0.2$$

Ε) Δίνεται ο μέγιστος χρόνος διάδοσης μεταξύ 2 σταθμών  $T = 2ms$

Από το (Γ) υπολογίστηκε ο μέσος <sup>αριθμός προβημάτων</sup> για 1 επιτυχή  
μετάδοση  $E(x) = 2,44$

Κάθε προσπάθεια διαρκεί το πολύ  $2T sec$

Αρα <sup>κατά μέσον όρο</sup> το πάμετο θέλει  $2T \cdot E(x)$  χρόνο μετάδοσης

Αφαιρώντας  $2T sec$  που σκεύονται με την τελευταία

επιτυχή μετάδοση θα έχουμε το <sup>μέσο</sup> χρόνο ανταγωνισμού

των σταθμών:  $E(c) = 2T E(x) - 2T$

## ΓΕ3/0607/Θ5

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

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

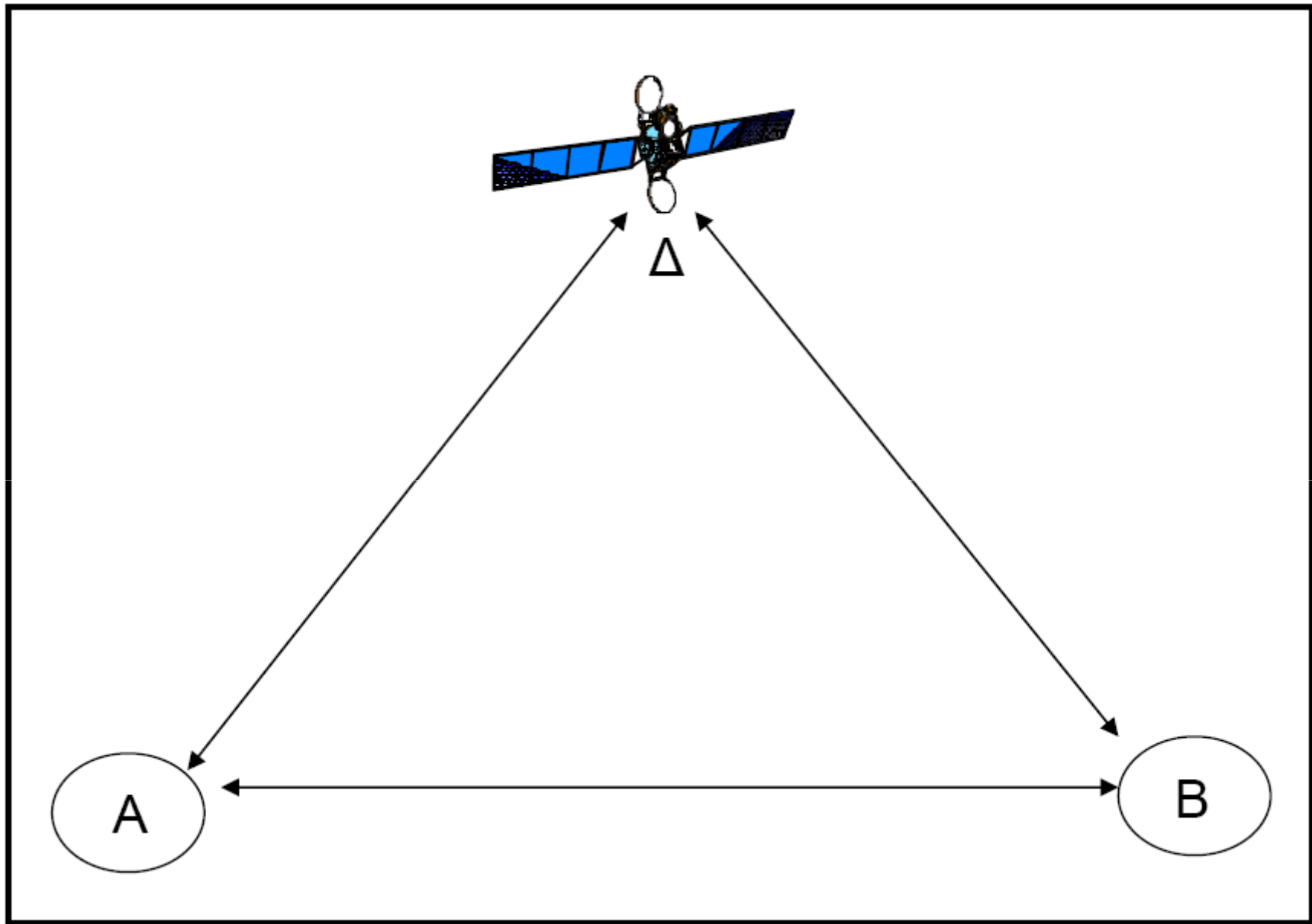
Το μέγεθος των πακέτων δεδομένων και επιβεβαίωσης είναι 1kbits.

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

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

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

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



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

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

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

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

όπου,

$$W=100$$

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

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

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

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

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

οπότε έχουμε,

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

Οπότε η ρυθμαπόδοση θα ισούται με

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

**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,

$$W=100$$

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

και στο χρόνο μετάδοσης πακέτων επιβεβαίωσης)

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

και στο χρόνο μετάδοσης πακέτων επιβεβαίωσης)

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

οπότε έχουμε,

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

Οπότε η ρυθμαπόδοση θα ισούται με

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



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

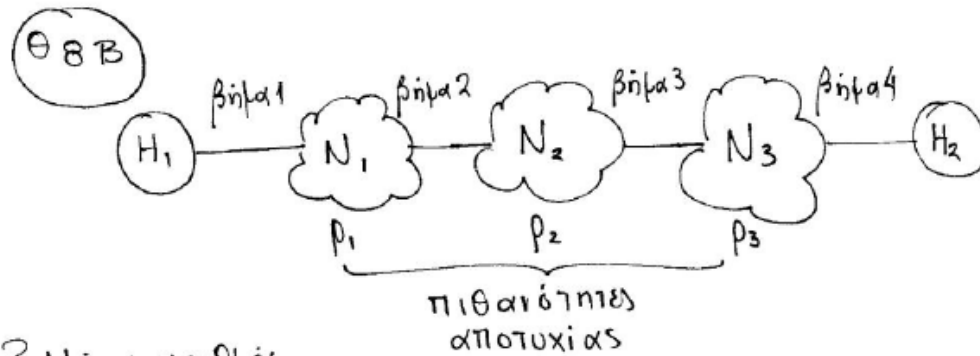
$$\begin{aligned}
 n_{AB,E} R_{AB,E} &\leq n_{AB,\Delta} R_{AB,\Delta} \Rightarrow \\
 \Rightarrow \frac{TRANSP_{AB,E}}{RTT_{AB,E}} R_{AB,E} &\leq 0.0825Mbps = T_0 \Rightarrow \\
 \Rightarrow RTT_{AB,E} &\geq \frac{TRANSP_{AB,E}}{T_0} R_{AB,E} \Rightarrow \\
 \Rightarrow 2(TRANSP_{AB,E} + PROP_{AB,E})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

### ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2006Α - ΘΕΜΑ 8

(B) Δίνεται η τοπολογία του ακόλουθου σχήματος. Για κάθε ένα δίκτυο έχουμε πιθανότητα απόρριψης πακέτων  $p_i$  ( $i=1,2,3$ ). Θεωρείστε την περίπτωση ενός host πηγής συνδεδεμένου με το δίκτυο N1, που είναι συνδεδεμένο στο N2, που είναι συνδεδεμένο στο N3 και μετά στον host προορισμού (βλέπε ακόλουθο σχήμα). Εάν οποιοδήποτε από τα δίκτυα απορρίψει ένα πακέτο, ο host πηγής διαπιστώνει την εκπνοή του χρόνου και το επανεκπέμπει. Εάν τόσο οι γραμμές host-δίκτυο όσο και οι γραμμές δίκτυο-δίκτυο μετρούν ως βήματα, υπολογίστε το μέσο αριθμό των βημάτων που κάνει ένα εκπεμπόμενο πακέτο.



ΕΞ 2006A



? Μέσος αριθμός βημάτων εώς Παιέτου για να φτάσει από το  $H_1$  στο  $H_2$   
Ενδεχόμενα:

$S_1$ : 1 βήμα - αποτυχία στο  $N_1$   $P(S_1) = p_1$

$S_2$ : 2 βήματα - επιτυχία στο  $N_1$   
αποτυχία στο  $N_2$   $P(S_2) = p_2 \cdot (1-p_1)$

$S_3$ : 3 βήματα - επιτυχία στο  $N_1$   
επιτυχία στο  $N_2$   
αποτυχία στο  $N_3$   $P(S_3) = p_3 \cdot (1-p_2) \cdot (1-p_1)$

$S_4$ : 4 βήματα - επιτυχία σε  $N_1, N_2, N_3$   $P(S_4) = (1-p_1)(1-p_2)(1-p_3)$

Μέσος Αριθμός Βημάτων [τ.μ.  $B = \{1, 2, 3, 4\}$ ]

$$E(B) = \sum_{i=1}^4 B_i \cdot P(B_i) = 1 \cdot p_1 + 2(1-p_1)p_2 + 3(1-p_1)(1-p_2)p_3 + 4(1-p_1)(1-p_2)(1-p_3)$$

## ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ 2006B

**ΘΕΜΑ 7** - Σύμφωνα με το ακόλουθο σχήμα οι κόμβοι A και B συνδέονται έμμεσα μέσω των συνδέσεων A\_O1, O1\_O2 και O2\_B. Πλαίσια δεδομένων ή επιβεβαίωσης μεταφέρονται μεταξύ των κόμβων A και O1 μέσω ασύρματης ζεύξης με ταχύτητα μετάδοσης 5Kbps ( $1K=10^3$ ). Πλαίσια δεδομένων ή επιβεβαίωσης μεταφέρονται μεταξύ των κόμβων O2 και B μέσω ασύρματης ζεύξης με ταχύτητα μετάδοσης 10Kbps. Επίσης, πλαίσια δεδομένων ή επιβεβαίωσης μεταφέρονται μεταξύ των κόμβων O1 και O2 μέσω της επίγειας ζεύξης με οπτική ίνα με ταχύτητα μετάδοσης 50Mbps ( $1M=10^6$ ). Τα πακέτα δεδομένων κινούνται από το A στο B ενώ πακέτα επιβεβαίωσης από το B στο A. Έστω ότι τα πακέτα δεδομένων και επιβεβαίωσης έχουν μέγεθος 1000 bits και ότι ο χρόνος διάδοσης τόσο στην ασύρματη ζεύξη όσο και στην οπτική ίνα θεωρείται αμελητέος.

Θεωρούμε τώρα 4 περιπτώσεις εφαρμογής πρωτοκόλλων επανεκπομπής:

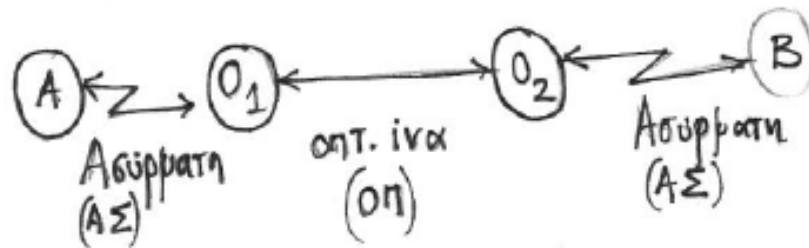
- (i) ABP εφαρμόζεται από άκρη σε άκρη από το A στο B.
- (ii) ABP εφαρμόζεται μόνο σε κάθε ασύρματη ζεύξη.
- (iii) GBN εφαρμόζεται από άκρη σε άκρη από το A στο B.
- (iv) GBN εφαρμόζεται μόνο σε κάθε ασύρματη ζεύξη.

Να απαντήσετε στα παρακάτω ερωτήματα

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

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

ΕΣ 2006 Β / 07



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

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

$$R_{O_1,O_2} = 50 \text{ Mbps} \quad \text{PROP}_i = \tau = 0 \text{ (ηταν τοῦ)}$$

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

(i) ABP end to end

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

(iii) GBN end to end

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{RTT}_{ABA} = & \text{TRANSP}(A_0,1) + \text{PROP}(A_0,1) + \text{TRANSP}(0,0_2) + \text{PROP}(0,0_2) + \text{TRANSP}(0_2B) + \text{PROP}(0_2B) + \\ & + \text{TRANSA}(B_0,2) + \text{PROP}(B_0,2) + \text{TRANSA}(0_2,0_1) + \text{PROP}(0_2,0_1) + \text{TRANSA}(0_1A) + \text{PROP}(0_1A) \end{aligned}$$

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

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

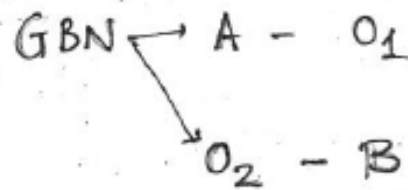
$$\text{TRANSP}(O_2, B) = \text{TRANSA}(B, O_2) = \frac{\langle P \rangle}{R_{O_2, B}} = \frac{10^3 \text{ bits}}{10 \cdot 10^3 \text{ bps}} = 0,1 \text{ sec}$$

Δίνεται  $\text{PROP}(i) = 0$   
ότι

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

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

Περίπτωση (iv)



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

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

$$RTT_{(A,O_1)} = TRANSP_{(A,O_1)} + TRANSA_{(O_1,A)} = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ sec}$$

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

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

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

$$RTT_{(O_2,B)} = TRANSP_{(O_2,B)} + TRANSA_{(B,O_2)} = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ sec}$$

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



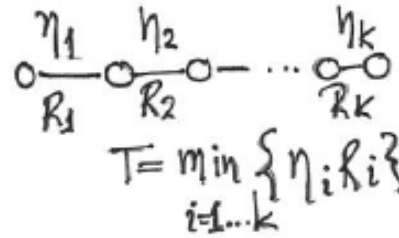
⊗ Σφάλματα Μεταφοράς

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

$$T = RTT$$

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

$$T = \eta \cdot R$$



(i) ABP end-to-end

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

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

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

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

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

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

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

(iii) end to end GBN

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

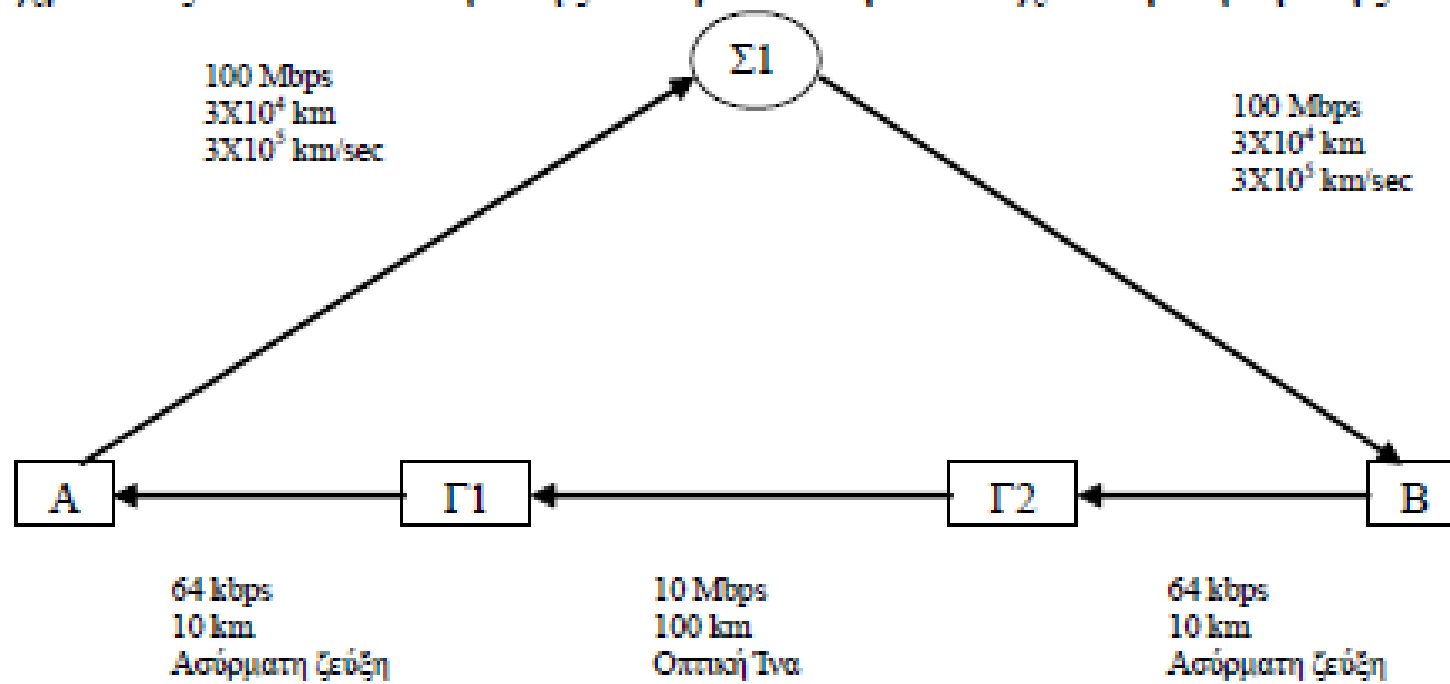
#### **Θέμα 4 - Εξετάσεις 2005Α**

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

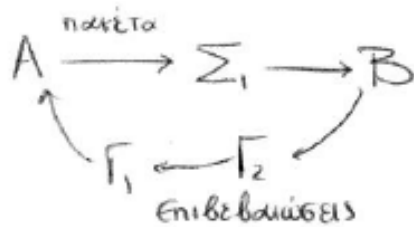
**(Α)** Αρχικά υποθέστε ότι ο ρυθμός σφαλμάτων είναι πάρα πολύ μικρός. Για την περίπτωση μετάδοσης δεδομένων από τον κόμβο A στον B (τα δεδομένα μέσω του δορυφόρου και οι επιβεβαιώσεις μέσω των επίγειων ζεύξεων) να βρεθεί η απόδοση του πρωτοκόλλου επανεκπομπής ABP και η απόδοση του πρωτοκόλλου Go-Back-N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



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



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

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

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

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

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

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

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

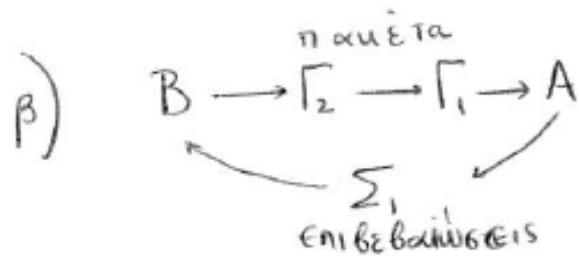
$$\text{PROP}(\Gamma_2 \Gamma_1) = \frac{d(\Gamma_2 \Gamma_1)}{v(\Gamma_2 \Gamma_1)} = \frac{100 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{sec}}} = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ sec}$$

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 η πακέτου επιβεβαίωσης είναι το ίδιο (10bits) το RTT θα είναι το ίδιο

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

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

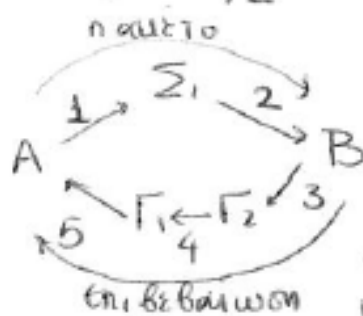
$$\Rightarrow \eta_{ABP} = \frac{0,15 \cdot 10^{-3}}{0,2007}$$

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

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

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

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



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

1) Διακύβει 2 σύνδεσους  
 2) Το πακέτο και η επιβεβαίωση 3 σύνδεσους

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

Τα  $A_{\Sigma_1}, \Sigma_1 B, B\Gamma_2, \Gamma_2\Gamma_1, \Gamma_1 A$  είναι ανεξάρτητα γεγονότα  
 (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.

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

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

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

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

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

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

Σημείωση:

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

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

Τα ερδεδόμενα αποτυχίας είναι τα ακόλουθα.

( $A\Sigma_1$ ) αποτυχία  $p_1 = 0,1$

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

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

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

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

SUCC SUCC SUCC SUCC

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

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