



## Θ.Ε. ΠΛΗ22 – Περίοδος 2012-2013. ΓΡΑΠΤΗ ΕΡΓΑΣΙΑ #3

### Στόχος

Βασικό στόχο της 3<sup>ης</sup> εργασίας αποτελεί η κατανόηση των συστατικών στοιχείων των δικτύων H/Y (Κεφάλαιο 1), η εξοικείωση με τις αρχιτεκτονικές δικτύων (Κεφάλαιο 2), η περιγραφή πρωτοκόλλων πλαισίωσης και βασικές αρχές εντοπισμού και διόρθωσης σφαλμάτων (Κεφάλαιο 3), τα πρωτόκολλα επανεκπομπής (Κεφάλαιο 4) και η εισαγωγή στα τοπικά δίκτυα (Κεφάλαιο 5).

### **ΘΕΜΑ 1**

*Στόχος της άσκησης είναι η εξοικείωση με τον κώδικα κυκλικού πλεονασμού. Σχετικές ασκήσεις ΓΕ3/0506/Θ2, ΓΕ3/0506/Θ1, ΓΕ3/0910/Θ4, ΓΕ3/1011/Θ7*

Υποθέστε ότι χρησιμοποιούμε έναν κώδικα ελέγχου κυκλικού πλεονασμού (Cyclic Redundancy Check, CRC) με πολυώνυμο γεννήτορα  $G(x)$  (τα check bits μπαίνουν στο τέλος).

Ποιά είναι η αποστελλόμενη πληροφορία, (πολυώνυμο  $M(x)$ ), αν μπορεί να βρεθεί, όταν ο δέκτης λαμβάνει το παρακάτω μήνυμα  $T'(x)$  ενώ ο προκαθορισμένος διαιρέτης (ή πολυώνυμο γεννήτορας)  $G(x)$  είναι:

A.  $T'(x) : 101010010011100010$ ,  $G(x) : 101101$

B.  $T'(x) : 101011110000011110101$ ,  $G(x) : 1010101$

Γ.  $T'(x) : 101011110000011110111$ ,  $G(x) : 1010101$

Δ. Σε περίπτωση που θεωρηθεί (i) ότι δεν υπήρξε λάθος στην μετάδοση του block πληροφορίας του (α) και (ii) ότι το πολυώνυμο γεννήτορας τυχαioποιεί τα bits του υπολοίπου, ποιά είναι η πιθανότητα να έχει αλλοιωθεί μεγάλος αριθμός bits κατά την μετάδοση και να μην ανιχνευθεί το λάθος αυτό από τον δέκτη;

**Ενδεικτική Μεθοδολογία:** Κάνετε την διαίρεση των κατάλληλων πολυωνύμων για να βρείτε το υπόλοιπο και ελέγξτε εάν αυτό είναι μηδέν.

### ΛΥΣΗ

A. Η διαδικασία ελέγχου σφάλματος στο δέκτη είναι να διαιρεθεί το  $T'$  με το  $G$  και να ελεγχθεί το υπόλοιπο. Αν το υπόλοιπο είναι 0, τότε συμπεραίνεται ότι δεν έχει συμβεί σφάλμα, διαφορετικά το πλαίσιο θεωρείται ότι είναι εσφαλμένο. Η διαδικασία της διαίρεσης του  $T'$  με το  $G$  φαίνεται παρακάτω:



M															G								
1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1
1	0	1	1	0	1																		
0	0	0	1	1	1	0	1	0															
			1	0	1	1	0	1															
			0	1	0	1	1	1	0														
				1	0	1	1	0	1														
					0	0	0	0	1	1	1	1	0										
									1	0	1	1	0	1									
										0	1	0	0	1	1	0							
											1	0	1	1	0	1							
												0	0	1	0	1	1	0	1				
													1	0	1	1	0	1					
														0	0	0	0	0	0				

Το υπόλοιπο της διαίρεσης είναι μηδενικό, άρα δεν ανιχνεύεται σφάλμα από τον δέκτη και είναι δυνατόν να προσδιορισθεί η καθαρή αποστελλόμενη πληροφορία (μήνυμα). Αφού ο προκαθορισμένος διαιρέτης (G) είναι 101101, άρα το πολυώνυμο γεννήτορας  $G(x) = x^5 + x^3 + x^2 + 1$  με βαθμό  $k=5$ . Άρα κατά την αποστολή είχαν προστεθεί  $k=5$  bits, άρα αφαιρούμε 5 bits από το τέλος του T' για να βρούμε την καθαρή αποστελλόμενη πληροφορία (μήνυμα) (M). Άρα το M είναι 1010100100111.

B. Η διαδικασία ελέγχου σφάλματος στο δέκτη είναι να διαιρεθεί το T' με το G και να ελεγχθεί το υπόλοιπο. Αν το υπόλοιπο είναι 0, τότε συμπεραίνεται ότι δεν έχει συμβεί σφάλμα, διαφορετικά το πλαίσιο θεωρείται ότι είναι εσφαλμένο. Η διαδικασία της διαίρεσης του T' με το G φαίνεται παρακάτω:

M																			G						
1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0	1																			
0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0														
					1	0	1	0	1	0	1														
						0	0	0	0	1	0	1	0	1	1										
									1	0	1	0	1	0	1										
										0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1				
															1	0	1	0	1	0	1				
																0	0	0	0	0	0				

Το υπόλοιπο της διαίρεσης είναι μηδενικό, άρα δεν ανιχνεύεται σφάλμα από τον δέκτη και είναι δυνατόν να προσδιορισθεί η καθαρή αποστελλόμενη πληροφορία (μήνυμα). Αφού ο προκαθορισμένος διαιρέτης (G) είναι 1010101, άρα το πολυώνυμο γεννήτορας  $G(x) = x^6 + x^4 + x^2 + 1$  με βαθμό  $k=6$ . Άρα κατά την αποστολή είχαν προστεθεί  $k=6$  bits, άρα αφαιρούμε 6 bits από το τέλος του T' για να βρούμε την καθαρή αποστελλόμενη πληροφορία (μήνυμα) (M). Άρα το M είναι 101011110000011.

Γ. Η διαδικασία ελέγχου σφάλματος στο δέκτη είναι να διαιρεθεί το T' με το G και να ελεγχθεί το υπόλοιπο. Αν το υπόλοιπο είναι 0, τότε συμπεραίνεται ότι δεν έχει συμβεί



σφάλμα, διαφορετικά το πλαίσιο θεωρείται ότι είναι εσφαλμένο. Η διαδικασία της διαίρεσης του  $T$  με το  $G$  φαίνεται παρακάτω:

M													G								
1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0	1															
0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0										
					1	0	1	0	1	0	1										
					0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1						
									1	0	1	0	1	0	1						
									0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	
														1	0	1	0	1	0	1	
														0	0	0	0	0	1	0	

Το υπόλοιπο της διαίρεσης είναι μη μηδενικό, άρα ανιχνεύεται σφάλμα από τον δέκτη. Η θέση του σφάλματος δεν μπορεί να εντοπισθεί από τον δέκτη, άρα δεν είναι δυνατόν να προσδιορισθεί η καθαρή αποστελλόμενη πληροφορία (μήνυμα) αφού, σύμφωνα με την παρ. 3,2 του βιβλίου, ο έλεγχος κυκλικού πλεονασμού έχει μόνο δυνατότητα εντοπισμού και όχι διόρθωσης σφαλμάτων.

Δ. Για να μην ανιχνευθεί το λάθος από τον δέκτη θα πρέπει το υπόλοιπο της διαίρεσης να είναι μηδέν. Από την στιγμή που το πολυώνυμο γεννήτορας τυχαioποιεί το bits του υπολοίπου, η πιθανότητα να αλλοιωθεί μεγάλος αριθμός bits κατά την μετάδοση και να μην ανιχνευθεί το λάθος από τον δέκτη, είναι η πιθανότητα το υπόλοιπο της διαίρεσης να είναι μηδέν μετά από τυχαioποίηση των bits του. Αφού η πιθανότητα ένα bit του υπολοίπου να είναι τυχαία μηδέν είναι  $\frac{1}{2}$ , και το υπόλοιπο αποτελείται από πέντε (5) bits όπως φαίνεται και στο ερώτημα Α, τότε η ζητούμενη πιθανότητα είναι  $\frac{1}{2^5}$

## ΘΕΜΑ 2

**Στόχος της άσκησης** είναι η εξοικείωση με τα βασικά πρωτόκολλα επανεκπομπής. Σχετικές ασκήσεις: ΓΕ3/0910/05, ΓΕ3/1011/04, ΓΕ3/1112/02, ΓΕ3/1112/04.

Σε ένα κανάλι μετάδοσης χωρίς σφάλματα και με καθυστέρηση μονόδρομης διάδοσης 320ms και ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 1 Mbit/sec ( $10^6$  bit/sec), γίνεται μετάδοση πλαισίων μεγέθους 512 bytes (1 byte = 8 bits) χρησιμοποιώντας πρωτόκολλο GO-BACK-N με μέγεθος παραθύρου 127. Αν το μέγεθος των κεφαλίδων των πλαισίων και των πλαισίων επιβεβαίωσης (TRANSA=0) θεωρείται αμελητέο<sup>1</sup>, να υπολογισθεί

**A.** η απόδοση  $\eta_{GBN}$  του πρωτοκόλλου,

**B.** αν το μέγεθος παραθύρου είναι 31, να υπολογισθεί το μέγεθος πλαισίου ώστε να επιτευχθεί η ίδια απόδοση  $\eta_{GBN}$ .

<sup>1</sup> Το γεγονός ότι ο χρόνος μετάδοσης των επιβεβαιώσεων θεωρείται αμελητέος αυτό δεν σημαίνει ότι δεν αποστέλλονται αυτές πίσω στο κόμβο που μεταδίδει πακέτα.



Γ. θεωρώντας μέγεθος πλαισίου 512 bytes και μέγεθος παραθύρου 63, να υπολογισθεί ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ώστε να επιτευχθεί η ίδια απόδοση  $\eta_{GBN}$ ,

Δ. αν χρησιμοποιηθεί πρωτόκολλο ABP με μέγεθος πλαισίων 256 bytes, να υπολογισθεί ο ρυθμός μετάδοσης ώστε να επιτευχθεί η ίδια απόδοση.

**Ενδεικτική Μεθοδολογία:** Εφαρμόστε τις βασικές σχέσεις απόδοσης των πρωτοκόλλων GO-BACK-N και ABP σύμφωνα με το βιβλίο.

## ΛΥΣΗ

Α Χρόνος μετάδοσης πλαισίου  $TRANSP = \text{μήκος πλαισίου} / \text{ρυθμός μετάδοσης δεδομένων} = 512 \text{ bytes} / 1 \text{ Mbit/sec} = 8 * 512 \text{ bits} / 10^6 \text{ bits/sec} = 4,096 \text{ ms}$

Ο χρόνος  $S$  μεταξύ της έναρξης της μετάδοσης ενός πλαισίου και της άφιξης της αντίστοιχης επιβεβαίωσης υπολογίζεται από  $S = TRANSP + TRANSA + 2 * PROP$ . Αφού το μέγεθος των πλαισίων επιβεβαίωσης θεωρείται αμελητέο,  $TRANSA = 0$ , άρα  $S = TRANSP + 2 * PROP = 4,096 \text{ ms} + 2 * 320 \text{ ms} = 644,096 \text{ ms}$ .

Αφού  $S \geq W * TRANSP$  επειδή  $644,096 \text{ ms} > 127 * 4,096 \text{ ms} = 520,192 \text{ ms}$ , τότε

$$\eta_{GBN} = W * TRANSP / S = 127 * 4,096 \text{ ms} / 644,096 = 0,8076 = 80,76\%$$

## Β πρωτόκολλο GO-BACK-N

Αν  $L$  είναι το μέγεθος του πλαισίου και  $C$  η ταχύτητα μετάδοσης του κόμβου εκπομπής τότε

$$\eta_{GBN} = \frac{W * TRANSP}{S} = \frac{W * TRANSP}{TRANSP + 2 * PROP} = \frac{W * \frac{L}{C}}{\frac{L}{C} + 2 * PROP} = \frac{W * L}{L + 2 * C * PROP} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow L = \frac{2 * C * \eta_{GBN} * PROP}{W - \eta_{GBN}} = \frac{2 * 10^6 * \text{bits/sec} * 0,8076 * 320 * 10^{-3} \text{ sec}}{31 - 0,8076} \approx 17119 \text{ bits} \Rightarrow L \approx 2140 \text{ bytes}$$

## Γ πρωτόκολλο GO-BACK-N

$$\eta_{GBN} = \frac{W * TRANSP}{S} = \frac{W * TRANSP}{TRANSP + 2 * PROP} = \frac{W * \frac{L}{C}}{\frac{L}{C} + 2 * PROP} = \frac{W * L}{L + 2 * C * PROP} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow C = \frac{L * (W - \eta_{GBN})}{2 * \eta_{GBN} * PROP} = \frac{512 \text{ bytes} * 8 \text{ bits/byte} * (63 - 0,8076)}{2 * 0,8076 * 320 * 10^{-3} \text{ sec}} \approx 492857 \text{ bits/sec} \Rightarrow C \approx 492,857 \text{ Kbit/sec}$$



Δ πρωτόκολλο ABP

$$\eta_{ABP} = \frac{TRANSP}{S} = \frac{TRANSP}{TRANSP + 2 * PROP} = \frac{\frac{L}{C}}{\frac{L}{C} + 2 * PROP} = \frac{L}{L + 2 * C * PROP} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow C = \frac{L * (1 - \eta_{ABP})}{2 * \eta_{ABP} * PROP} = \frac{256 \text{ bytes} \cdot 8 \text{ bits / byte} (1 - 0,8076)}{2 \cdot 0,8076 \cdot 320 \cdot 10^{-3} \text{ sec}} = 762,358 \text{ bits / sec} \Rightarrow C = 762,358 \text{ bits / sec}$$

### **ΘΕΜΑ 3**

**Στόχος της άσκησης** είναι η εξοικείωση με τα βασικά πρωτόκολλα επανεκπομπής. Σχετικές ασκήσεις: ΓΕ3/0506/Θ1, ΓΕ3/1011/Θ4, ΓΕ3/1112/Θ2.

Αν σε μία ζεύξη R Mbps, η πιθανότητα λανθασμένης μετάδοσης ενός πακέτου είναι  $p_{error}$  και οι χρόνοι επεξεργασίας και αναμονής είναι αμελητέοι, να υπολογίσετε τον ωφέλιμο ρυθμό data bits (goodput) μετάδοσης σε περίπτωση που:

**A.** Χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο STOP and WAIT (T=S).

**B.** Χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο Go-Back-N με μέγεθος παραθύρου W (T=S).

**Γ.** Να υπολογίσετε την τον ωφέλιμο ρυθμό data bits (goodput) μετάδοσης και για τις 2 ανωτέρω περιπτώσεις μετάδοσης υποθέτοντας δύο κόμβους A και B που επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω μίας δορυφορικής ζεύξης 1Mbps. Η μετάδοση των δεδομένων γίνεται χωρίζοντας τα δεδομένα σε πακέτα μεγέθους 1 KB. Το κάθε πακέτο συμπεριλαμβάνει επικεφαλίδα μεγέθους 100 bytes, ενώ το μέγεθος των επιβεβαιώσεων είναι αμελητέο. Η πιθανότητα εσφαλμένων bits, Bit Error Rate (BER), στη ζεύξη είναι  $10^{-6}$  σε κάθε κατεύθυνση και η καθυστέρηση μονόδρομης διάδοσης είναι 270ms.

**Ενδεικτική Μεθοδολογία:** Για τον ορισμό του ωφέλιμου ρυθμού data bits (goodput) μετάδοσης δείτε την ΓΕ3/1011/Θ4.

Έστω  $d_{packet}$  το μέγεθος του πακέτου,  $d_{ack}$  το μέγεθος της επιβεβαίωσης και  $d_{header}$  το μέγεθος της επικεφαλίδας. Ο καθαρός ρυθμός μετάδοσης είναι το πηλίκο του  $(d_{packet} - d_{header})$  προς τον μέσο χρόνο μετάδοσης του πακέτου.

### **ΛΥΣΗ**

**A.**

Από τον τύπο (4.4) έχουμε για την απόδοση του πρωτοκόλλου:

$$n = \frac{pTRANSP}{pS + (1-p)T} = \frac{pTRANSP}{pS + (1-p)S} = \frac{pTRANSP}{S} = (1 - p_{error}) \frac{TRANSP}{S}$$



Η ρυθμαπόδοση (throughput) ισούται με  $T = nR$

Ο ωφέλιμος ρυθμός data bits (goodput) ισούται με

$$G = \frac{\text{data\_bits\_per\_packet}}{\text{total\_bits\_per\_packet}} T = \frac{d_{\text{frame}} - d_{\text{header}}}{d_{\text{frame}}} (1 - p_{\text{error}}) \frac{\text{TRANSP}}{[\text{TRANSP} + \text{TRANSA} + 2\text{PROP}]} R$$

Επειδή  $\text{TRANSP} = \frac{d_{\text{packet}}}{R}$

$$G_{\text{ABP}} = (1 - p_{\text{error}}) \frac{d_{\text{packet}} - d_{\text{header}}}{[\text{TRANSP} + \text{TRANSA} + 2\text{PROP}]}$$

## B.

Από τον τύπο (4.8) έχουμε για την απόδοση του πρωτοκόλλου:

$$n = \frac{\text{TRANSP}}{\text{TRANSP} + T \frac{1-p}{p}} = \frac{\text{TRANSP}}{\text{TRANSP} + S \frac{1-p}{p}} = \frac{\text{TRANSP}}{\text{TRANSP} + S \frac{p_e}{1-p_e}}$$

Η ρυθμαπόδοση (throughput) ισούται με  $T = nR$

Ο ωφέλιμος ρυθμός data bits (goodput) ισούται με

$$G = \frac{\text{data\_bits\_per\_packet}}{\text{total\_bits\_per\_packet}} T = \frac{d_{\text{frame}} - d_{\text{header}}}{d_{\text{frame}}} \frac{\text{TRANSP}}{\text{TRANSP} + S \frac{p_e}{1-p_e}} R$$

Επειδή  $\text{TRANSP} = \frac{d_{\text{packet}}}{R}$

$$G_{\text{GBN}} = \frac{\text{data\_bits\_per\_packet}}{\text{total\_bits\_per\_packet}} T = \frac{d_{\text{packet}} - d_{\text{header}}}{\text{TRANSP} + S \frac{p_{\text{error}}}{1-p_{\text{error}}}}$$

## Γ.

Το μέγεθος του πλαισίου  $d_{\text{packet}}$  είναι 1000 bytes = 8000 bits, το μέγεθος της επιβεβαίωσης  $d_{\text{ack}} = 0$  και το μέγεθος της επικεφαλίδας  $d_{\text{header}}$  100 bytes = 800 bits.

Εφόσον το BER είναι  $10^{-6}$  τότε η πιθανότητα ενός πλαισίου με λάθη είναι



$$P_{error} = \left(1 - (1 - BER)^{d_{frame}}\right) = \left(1 - (1 - 10^{-6})^{8000}\right) = \left(1 - (0,999999)^{8000}\right) = (1 - 0,992032)$$

$$P_{error} = 0,007968$$

$$1 - P_{error} = 0,992032$$

Επίσης ο ρυθμός μετάδοσης της ζεύξης R είναι 1 Mbps=10<sup>6</sup> bps και η καθυστέρηση διάδοσης PROP είναι 270 \*10<sup>-3</sup> sec.

$$\text{Η καθυστέρηση μετάδοσης είναι } TRANSP = \frac{d_{packet}}{R} = \frac{8 \times 10^3}{10^6} = 8 \times 10^{-3} \text{ sec}$$

i)

Χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο STOP and WAIT (T=S)

$$n_{ABP} = (1 - P_{error}) \frac{TRANSP}{S} = 0,992032 \frac{8 \times 10^{-3}}{548 \times 10^{-3}} = 0,01448$$

Ο ωφέλιμος ρυθμός data bits (goodput)

$$G_{ABP} = (1 - P_{error}) \frac{d_{packet} - d_{header}}{[TRANSP + TRANSA + 2PROP]} = 0,992032 \times \frac{8 \times 900}{[8 \times 10^{-3} + 0 + 2 \times 270 \times 10^{-3}]} =$$

$$G_{ABP} = 0,013034 \text{ Mbps}$$

ii)

Χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο Go-Back-N (T=S)

$$n_{GBN} = \frac{TRANSP}{TRANSP + S \frac{P_{error}}{1 - P_{error}}} = \frac{8 \times 10^{-3}}{8 \times 10^{-3} + 540 \times 10^{-3} \frac{0,007868}{0,992032}} = 0,651315$$

Ο ωφέλιμος ρυθμός data bits (goodput)

$$G_{GBN} = \frac{d_{packet} - d_{header}}{TRANSP + S \frac{P_{error}}{1 - P_{error}}} = \frac{8 \times 900}{8 \times 10^{-3} + 540 \times 10^{-3} \frac{0,007868}{0,992032}} = 0,585 \text{ Mbps}$$

## ΘΕΜΑ 4

Στόχος της άσκησης είναι η εξοικείωση με τα βασικά πρωτόκολλα επανεκπομπής. Σχετικές



ασκήσεις: ΓΕ5/0607/05, ΓΕ3/0910/05, ΓΕ3/1011/04, ΓΕ3/1112/03, ΓΕ3/1112/04.

Μια σύνδεση παρέχει 1 Mbps ( $10^6$  bps) για επικοινωνία ανάμεσα στη γη και τη σελήνη. Η σύνδεση μεταδίδει έγχρωμες εικόνες από τη σελήνη. Κάθε εικόνα αποτελείται από  $10000 \times 10000$  pixels και 16 bits χρησιμοποιούνται για κάθε ένα από τα τρία βασικά χρώματα που συνθέτουν το κάθε pixel.

**A.** Μέχρι πόσες εικόνες/δευτερόλεπτο μπορούν να μεταδοθούν πάνω από τη σύνδεση αυτή;

**B.** Αν κάθε εικόνα μεταδίδεται σαν ένα μόνο πλαίσιο, πόσος χρόνος θα χρειαστεί από την έναρξη της μετάδοσης μέχρι να φτάσει επιβεβαίωση παραλαβής (ACK) από τη γη? Η απόσταση ανάμεσα στη γη και τη σελήνη είναι περίπου 375000 χιλιόμετρα και ο χρόνος μετάδοσης του ACK είναι αμελητέος (Ταχύτητα του φωτός = 300000 km/sec).

**Γ.** Αν η πιθανότητα σφάλματος για κάθε μεταδιδόμενο bit είναι  $10^{-5}$ , συγκρίνετε την απόδοση των πρωτοκόλλων εναλλασσόμενου bit (ABP, Stop-and-Wait) και οπισθοχώρησης κατά N (Go-Back-N) σε μια τέτοια σύνδεση, στις εξής περιπτώσεις:

- i) όταν κάθε εικόνα μεταδίδεται σαν ένα μόνο πλαίσιο,
- ii) όταν χρησιμοποιούνται πλαίσια των 100 bit.

Θεωρείστε ότι ο χρόνος μετάδοσης του ACK είναι αμελητέος, ότι ο χρόνος προθεσμίας ισούται με το χρόνο που υπολογίστηκε στο ερώτημα β, και ότι στην περίπτωση του Go-Back-N το παράθυρο μεταδότη είναι απεριόριστο.

**Ενδεικτική Μεθοδολογία:** Εφαρμόστε τις βασικές σχέσεις απόδοσης των πρωτοκόλλων ABP και GO-BACK-N, παρουσία σφαλμάτων, σύμφωνα με το κεφ. 4 του βιβλίου.

## ΛΥΣΗ

**A.** ο μέγιστος αριθμός των εικόνων που μπορούν να μεταδοθούν ανά δευτερόλεπτο είναι:

$$10^6 / (10000^2 \times 16 \times 3) = 2.1 \times 10^{-4} \text{ εικόνες/δευτερόλεπτο}$$

**B.**

$$\text{TRANSP} = (10000^2 \times 16 \times 3) / 10^6 = 48 \times 10^2 \text{ sec}$$

$$\text{PROP} = 375000 \text{ km} / (300000 \text{ km/sec}) = 1.25 \text{ sec}$$

$$\text{ACK} = 0$$

Ο συνολικός χρόνος μέχρι να έρθει ACK από την γη είναι:

$$S = \text{TRANSP} + \text{TRANSA} + 2 \times \text{PROP} = 4800 + 2.5 = 4802.5 \text{ sec}$$

**Γ.** BER= $10^{-5}$ . Έστω F το μέγεθος του πλαισίου.

Δεδομένου ότι ο χρόνος μετάδοσης του ACK είναι αμελητέος, το μήκος του θεωρείται μηδενικό και άρα η πιθανότητα σφάλματος σε αυτό είναι επίσης μηδενική.

Επίσης, έχουμε T=4802.5 sec





Έχουμε:

$$\eta_{ABP} = p \text{ TRANSP} / [pS + (1-p)T]$$

$$\eta_{GBN} = \text{TRANSP} / [\text{TRANSP} + T((1-p)/p)]$$

i)  $F = 48 \times 10^8 \text{ bits}$  και  $\text{BER} = 10^{-5}$

Άρα η πιθανότητα λάθους σε ένα frame είναι :  $q = 1 - (1 - \text{BER})^F \approx 1 \rightarrow p \approx 0$ .

Στην περίπτωση αυτή τόσο το ABP όσο και το GBN είναι ακατάλληλα, γιατί η απόδοσή τους είναι περίπου 0.

ii)  $F = 100 \text{ bits}$  και άρα:  $\text{TRANSP} = 100 \text{ bits} / 10^6 \text{ bps} = 10^{-4} \text{ sec}$

και άρα  $S = 10^{-4} + 0 + 2.5 \approx 2.5 \text{ sec}$

Η πιθανότητα λάθους σε ένα frame είναι :  $q = 1 - (1 - \text{BER})^{100} \approx 0.001 \rightarrow p = 0.999$

$$\eta_{ABP} = p \text{ TRANSP} / [pS + (1-p)T] = 1.37 \times 10^{-5}$$

$$\eta_{GBN} = \text{TRANSP} / [\text{TRANSP} + T((1-p)/p)] = 2.08 \times 10^{-5}$$

## **ΘΕΜΑ 5**

**Στόχος της άσκησης είναι η εξάσκηση στον συγκριτικό υπολογισμό της απόδοσης δικτύων μεταγωγής πακέτων με ιδεατά κυκλώματα και δικτύων μεταγωγής με αυτοδύναμα πακέτα. Επίσης, η εξοικείωση με βασικές έννοιες του πρωτοκόλλου επανεκπομπής ABP. Σχετικές ασκήσεις: Α.Α. 1.2 και 1.4, ΓΕ3/2004-5/Θ3.Α και Θ4, ΓΕ3/2005-6/Θ3, ΓΕ3/2006-7/Θ4.Α.**

**Α.** Υποθέστε ότι ένα αρχείο μήκους  $L$  bits μεταφέρεται είτε μέσω ενός δικτύου μεταγωγής αυτοδύναμων πακέτων, είτε μέσω ενός δικτύου ιδεατού κυκλώματος, ακολουθώντας μία διαδρομή  $K$  συνδέσμων. Κάθε πακέτο περιέχει  $p$  bits πληροφορίας (για απλότητα θεωρούμε ότι το  $L$  είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του  $p$ ) και επικεφαλίδα  $2H$  bits για αυτοδύναμο πακέτο και  $H$  bits για ιδεατό κύκλωμα. Ο ρυθμός μετάδοσης κάθε συνδέσμου είναι  $C$  bps. Θεωρείστε ότι οι χρόνοι διάδοσης και αναμονής είναι αμελητέοι. Ο χρόνος εγκατάστασης του ιδεατού κυκλώματος είναι  $T_{\text{setup}}$ . Έστω  $T_D$  και  $T_{VC}$  η συνολική καθυστέρηση μεταφοράς του ως άνω αρχείου για τις περιπτώσεις αυτοδύναμου πακέτου και ιδεατού κυκλώματος, αντίστοιχα. Αποδείξτε ότι  $T_D > T_{VC}$  για  $K > 2$  και  $H = CT_{\text{setup}}$ .

**Β** Ένας φυσικός σύνδεσμος έχει ρυθμό μετάδοσης  $C$  και καθυστέρηση διάδοσης  $PROP$ . Η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης πλαισίου δεδομένων ή επιβεβαίωσης είναι  $p$ . Για πρωτόκολλο επανεκπομπής ABP, υπολογίστε ποια είναι η μέγιστη τιμή του χρόνου προθεσμίας, συναρτήσει των μηκών πλαισίου δεδομένων  $L$  και επιβεβαίωσης  $A$ , του ρυθμού μετάδοσης  $C$ , της καθυστέρησης διάδοσης  $PROP$  και της πιθανότητας  $p$ , ώστε η απόδοση του πρωτοκόλλου να είναι πάνω από 25%. Τι πρέπει να ισχύει για το  $L$  σε σχέση με  $A$ ,  $C$  και  $PROP$ ;



**Ενδεικτική Μεθοδολογία:** Για την απάντηση του ερωτήματος Α, μπορείτε να ακολουθήσετε τον τρόπο λύσης των α.α. 1.2 και 1.4 του βιβλίου. Για την απάντηση του ερωτήματος Β, αρκεί να καταστρώσετε και επιλύσετε την ανισωτική σχέση που πρέπει να πληροί η απόδοση του πρωτοκόλλου σύμφωνα με τα δεδομένα της άσκησης.

## ΛΥΣΗ

**A.** Με βάση την ασκ. αυτοαξιολόγησης 1.4 (σελ. 185), η συνολική καθυστέρηση θα είναι για το δίκτυο ιδεατού κυκλώματος:

$$T_{VC} = T_{setup} + \left(\frac{L}{p} + K - 1\right) \frac{p + H}{C}$$

Για το δίκτυο αυτοδύναμων πακέτων θα είναι:

$$T_D = \left(\frac{L}{p} + K - 1\right) \frac{p + 2H}{C}$$

Θέλουμε

$$T_D > T_{VC}$$

$$T_{setup} < \left(\frac{L}{p} + K - 1\right) \frac{H}{C} \Rightarrow 2 - K < L/p \text{ που ισχύει καθώς } K > 2.$$

**B.** Η απόδοση του πρωτοκόλλου ABP είναι:

$$n_{ABP} = \frac{pTRANSP}{p(TRANSP + TRANSA + 2PROP) + (1-p)T}$$

όπου έχουμε θέσει ότι ο συνολικός χρόνος για τη μετάδοση και επιβεβαίωση ενός πλαισίου είναι  $S = TRANSP + TRANSA + 2PROP$  και  $T$  είναι ο χρόνος προθεσμίας. Άρα για να έχουμε απόδοση πάνω από 25%:

$$\frac{pTRANSP}{p(TRANSP + TRANSA + 2PROP) + (1-p)T} \geq \frac{1}{4} \Rightarrow$$

$$4pTRANSP \geq pTRANSP + pTRANSA + 2pPROP + (1-p)T \Rightarrow$$

$$T \leq \frac{p(3TRANSP - TRANSA - 2PROP)}{1-p}$$

επειδή  $TRANSP = L/C$  και  $TRANSA = A/C$



$T \leq \frac{p}{1-p} \frac{3L - A - 2PROP \cdot C}{C}$ . Επομένως, η μέγιστη τιμή του χρόνου προθεσμίας είναι

ίση με  $T_{\max} = \frac{p}{1-p} \frac{3L - A - 2PROP \cdot C}{C}$ .

Επειδή  $T > 0$ , πρέπει να ισχύει  $3L > A + 2PROP \cdot C$ .

Σημειώνεται ότι ο χρόνος προθεσμίας δεν είναι απλά μεγαλύτερος του 0 αλλά και μεγαλύτερος (ή ίσος) του  $S$ .

## **ΘΕΜΑ 6**

**Στόχος της άσκησης** είναι η εξοικείωση με βασικές έννοιες και μετρικές δικτύων υπολογιστών. Σχετικές ασκήσεις: ΓΕ3/0910/Θ1, ΓΕ3/1011/Θ1, ΓΕ3/1112/Θ1.

Θεωρείστε τρεις κόμβους  $n_1, n_2, n_3$  που μοιράζονται μεταξύ τους δια ανταγωνισμού το ίδιο κανάλι πολλαπλής προσπέλασης. Το κανάλι έχει ρυθμό μετάδοσης RMbps. Τα πακέτα έχουν όλα το ίδιο μήκος. Ο χρόνος χωρίζεται σε σχισμές όπου μια σχισμή ισοδυναμεί με τον χρόνο μετάδοσης ενός πακέτου. Υποθέστε ότι ο κάθε κόμβος έχει έναν άπειρο αριθμό από πακέτα να στείλει. Σε κάθε σχισμή ο κάθε κόμβος  $n_i$  προσπαθεί να μεταδώσει ένα πακέτο με πιθανότητα  $p_i, i=1,2,3$ .

**A.** Ποια είναι η πιθανότητα (ως συνάρτηση των  $p_1, p_2, p_3$ ), με την οποία σε μια δεδομένη σχισμή ένα πακέτο θα μεταδώσει με επιτυχία;

**B.** Ποια είναι η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης για τον κόμβο  $n_1$ . Ποια τιμή του  $p_1$  μεγιστοποιεί την ρυθμαπόδοση του  $n_1$ ;

**Γ** Υποθέστε τώρα ότι ο  $n_3$  μεταδίδει πάντα με πιθανότητα  $p_3=0.2$  και ότι οι κόμβοι  $n_1$  και  $n_2$  αποφασίζουν να «συνεργαστούν» μεταξύ τους και να στέλνουν τα πακέτα τους με πιθανότητα  $p$  (δηλαδή  $p_1=p_2=p$ ). Ποια είναι η τιμή του  $p$  που μεγιστοποιεί την ρυθμαπόδοση του δικτύου; Ποια είναι η τιμή του  $p$  που μεγιστοποιεί την ρυθμαπόδοση του κόμβου  $n_1$ ;

**Δ** 200 κόμβοι συνδέονται σε ένα ομοαξονικό καλώδιο. Με την χρήση κάποιου πρωτοκόλλου, ο κάθε κόμβος μπορεί να μεταδίδει 50 πακέτα/sec, με το μέσο μήκος του κάθε πακέτου να είναι 2000 bits. Ο ρυθμός μετάδοσης του κάθε κόμβου είναι 100 Mbps (όπου 1 Mbps=1.000.000 bps). Ποια είναι η **αποδοτικότητα** του πρωτοκόλλου;

**Ενδεικτική Μεθοδολογία:** Για να μεταδώσει ένας κόμβος σε μια σχισμή, θα πρέπει όταν αυτός επιχειρεί να μεταδώσει, οι υπόλοιποι δύο κόμβοι να μην επιχειρούν.

## **ΛΥΣΗ**

**A.**  $P_s = p_1(1-p_2)(1-p_3) + p_2(1-p_1)(1-p_3) + p_3(1-p_2)(1-p_1)$

**B**  $P_s^1 = p_1(1-p_2)(1-p_3)$ . Για δεδομένες τιμές των  $p_2$  και  $p_3$ , παρατηρούμε ότι  $p_1^* = 1$  είναι η τιμή που μεγιστοποιεί την ρυθμαπόδοση του  $n_1$ .



$$\Gamma:P_s=1.6p(1-p)+0.2(1-p)^2,$$

$$dP_s/dp=1.2(1-p)-1.6p=0 \text{ που δίνει } p^*=3/7.$$

Η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης του  $n_1$  είναι

$$Q=p(1-p)(1-0.2)=0.8p(1-p)$$

Επομένως η  $p^*=0.5$  μεγιστοποιεί την  $Q$ .

Δ

Ρυθμαποδοση κάθε κομβου=50 πακέτα/sec=50x2000 bits/sec=100.000 bits/sec

Ρυθμαποδοση του συστήματος=(200x50)πακέτα/sec=20.000.000 bits/sec=20Mbps

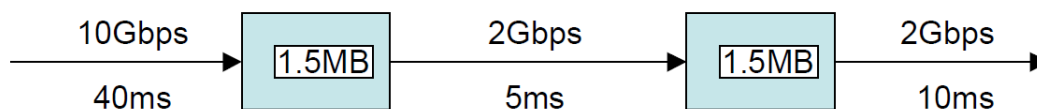
Μέγιστος ρυθμος=100Mbps

Αποδοτικότητα=20Mbps/100Mbps=0,2 ή 20%

## ΘΕΜΑ 7

*Στόχος της άσκησης είναι η εξοικείωση με βασικές έννοιες και μετρικές δικτύων υπολογιστών. Σχετικές ασκήσεις: ΓΕ3/0910/Θ1, ΓΕ3/1011/Θ1, ΓΕ3/1112/Θ1.*

Θεωρείστε το ακόλουθο δικτυακό μονοπάτι που έχει τρεις συνδέσμους και δύο μεταγωγείς πακέτων. Ο κάθε μεταγωγέας πρέπει πρώτα να λάβει ολόκληρο ένα πακέτο προτού αρχίσει να το προωθεί στον επόμενο (store-and-forward packet switches). Οι ρυθμοί μετάδοσης και οι καθυστερήσεις διάδοσης στους συνδέσμους είναι όπως φαίνονται στο σχήμα. Τα πακέτα ρέουν από τα αριστερά προς τα δεξιά. Σημειώστε ότι ο κάθε κόμβος μεταγωγής έχει 1.5MB μνήμης για αποθήκευση και προώθηση πακέτων.



**Α.** Υποθέστε ότι το μονοπάτι είναι τελείως άδειο αρχικά. Ποια είναι η συνολική καθυστέρηση για να μεταδοθεί ένα πακέτο μεγέθους 500KB κατά μήκος αυτού του μονοπατιού (δηλαδή ο χρόνος που περνάει από την στιγμή που το πρώτο πακέτο μπαίνει και μέχρι να εξέλθει το τελευταίο bit)?

**Β.** Υποθέστε ότι μόλις τέλειωσε η μετάδοση ενός άλλου 500KB πακέτου στον πρώτο σύνδεσμο πριν αρχίσει να μεταδίδεται το δικό σας 500KB πακέτο. Σε αυτήν την περίπτωση ποιος είναι ο συνολικός χρόνος για να μεταδοθεί το πακέτο σας δια μέσω του μονοπατιού?

**Γ.** Δεδομένου ότι αυθαίρετη άλλη δικτυακή κίνηση (πιθανώς προερχόμενη και από άλλους εισερχόμενους συνδέσμους στους ενδιάμεσους κόμβους, οι οποίοι σύνδεσμοι δεν φαίνονται στο σχήμα) μπορεί να υπάρχει και να ανταγωνίζεται με το συγκεκριμένο δικό σας πακέτο, αν



ένα πακέτο μήκους 500 KB μεταδοθεί *επιτυχώς* (άρα υποθέτουμε ότι δεν χάνεται από υπερχειλίση μνήμης) από την μια άκρη του μονοπατιού στην άλλη, ποια είναι η χειρότερη (δηλαδή η μεγαλύτερη) καθυστέρηση που μπορεί να έχει?

**Α.** Ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός από bits δεδομένων που αυτό το δικτυακό μονοπάτι μπορεί να κουβαλάει ανά πάσα στιγμή? Ένα MP3 αρχείο είναι περίπου 4MB. Πόσα MP3 αρχεία μπορεί το μονοπάτι να κουβαλάει ανά πάσα στιγμή?

**Ενδεικτική Μεθοδολογία:** Η συνολική καθυστέρηση είναι το άθροισμα των καθυστερήσεων μετάδοσης και διάδοσης στους επιμέρους κόμβους και συνδέσμους. Ο κάθε ενδιάμεσος κόμβος έχει χώρο για 3 το πολύ πακέτα. Από την στιγμή που ένα πακέτο δεν χάνεται (άρα βρίσκει χώρο στους κόμβους όπου φτάνει), σημαίνει ότι θα βρίσκει μπροστά του στους κόμβους όπου φτάνει το πολύ δύο άλλα πακέτα.

## Λύση

**Α.** Αφού το μονοπάτι είναι άδειο, δεν υπάρχουν καθυστερήσεις αναμονής στους ενδιάμεσους κόμβους και άρα η συνολική καθυστέρηση είναι το άθροισμα των καθυστερήσεων μετάδοσης και διάδοσης στους επιμέρους κόμβους και συνδέσμους, δηλαδή

$$T=500 \times 8 / 10^4 \text{ms} + 40 \text{ms} + 500 \times 8 / (2 \times 10^3) \text{ms} + 5 \text{ms} + 500 \times 8 / (2 \times 10^3) \text{ms} + 10 \text{ms} = 0.4 + 40 + 2 + 5 + 2 + 10 \text{ ms} = 59.4 \text{ ms}$$

**Β.** Το δικό σας πακέτο θα φτάσει στον πρώτο ενδιάμεσο κόμβο 0.4 ms μετά το προηγούμενο (όσος δηλαδή είναι ο χρόνος μετάδοσης του πακέτου στον προηγούμενο σύνδεσμο), και άρα θα περιμένει  $(2 - 0.4) = 1.6 \text{ ms}$  (χρόνος αναμονής για την υπολειπόμενη μετάδοση του προηγούμενου πακέτου.)

Στον δεύτερο ενδιάμεσο κόμβο το δικό σας πακέτο θα φτάσει 2 ms μετά το προηγούμενο, και θα περιμένει  $(2 - 2) = 0 \text{ ms}$  (χρόνος αναμονής), δηλαδή καθόλου!

Άρα συνολική καθυστέρηση είναι

$$T = 0.4 + 40 + 1.6 + 2 + 5 + 2 + 10 = 61 \text{ ms}$$

**Γ.** Ο κάθε ενδιάμεσος κόμβος έχει χώρο για 3 το πολύ πακέτα. Από την στιγμή που το συγκεκριμένο πακέτο δεν χάνεται (άρα βρίσκει χώρο στους κόμβους όπου φτάνει), πάει να πει ότι βρίσκει μπροστά του στους κόμβους όπου φτάνει το πολύ δύο άλλα πακέτα (ισοδύναμα, 1MB).

Άρα η χειρότερη καθυστέρηση που μπορεί να έχει είναι

$$T_{\max} = 0.4 + 40 + 2 + 4 \text{ (αναμονή)} + 5 + 2 + 4 \text{ (αναμονή)} + 10 \text{ ms} = 67.4 \text{ ms}$$

**Δ.** Ο πρώτος σύνδεσμος «χωράει» (μπορεί δηλαδή να είναι σε διάδοση πάνω σε αυτόν, ή με άλλα λόγια «εν πτήσει»)

$$10 \text{ Gbps} \times 40 \text{ ms} = 400 \text{ Mbits} = 50 \text{ MB.}$$

Όμοια, ο δεύτερος σύνδεσμος χωράει

$$2 \text{ Gbps} \times 5 \text{ ms} = 10 \text{ Mbits} = 1.25 \text{ MB}$$



Και ο τρίτος

$2\text{Gbps} \times 10\text{ms} = 20\text{Mbits} = 2.5\text{MB}$ .

Άρα αν προσθέσουμε και τα bits που μπορεί να είναι στους αποθηκευτές των κόμβων, το δικτυακό αυτό μονοπάτι μπορεί να κουβαλάει ανά πάσα στιγμή  $53.75\text{MB} + 3\text{MB} = 56,75\text{MB}$  ή  $14,1875\text{ MP3}$  αρχεία που «ρέουν» στο δίκτυο!.

## Τρόπος – Ημερομηνία Παράδοσης

1. Η εργασία σας θα πρέπει να έχει αποσταλεί στον Καθηγητή-Σύμβουλό σας μέχρι την **Κυριακή 24 Φεβρουαρίου 2013**, ώρα 23:59.
2. Περιμένουμε όλες οι εργασίες να σταλούν με χρήση της υπηρεσίας ανάρτησης και διαχείρισης ΓΕ του ΕΑΠ, μέσω του συνδέσμου <http://moodle.eap.gr> και να είναι γραμμένες σε επεξεργαστή κειμένου (π.χ. MS-Word).
3. Την Παρασκευή 01 Μαρτίου 2013 θα δημοσιευθεί ενδεικτική απάντηση για την επίλυση της εργασίας στο site της Θ.Ε. στο <http://moodle.eap.gr> και στην ιστοσελίδα της ΠΛΗ-22 "<http://p-comp.di.uoa.gr/eap/index.html>".

**Κριτήρια αξιολόγησης:**

<b>ΘΕΜΑ 1</b>	A	3
	B	3
	Γ	3
	Δ	4
<b>ΘΕΜΑ 2</b>	A	3
	B	3
	Γ	3
	Δ	3
<b>ΘΕΜΑ 3</b>	A	5
	B	5
	Γ	5
<b>ΘΕΜΑ 4</b>	A	2
	B	3
	Γ	5
<b>ΘΕΜΑ 5</b>	A	5
	B	5
<b>ΘΕΜΑ 6</b>	A	5
	B	5
	Γ	5
	Δ	5
<b>ΘΕΜΑ 7</b>	A	5
	B	5
	Γ	5



# ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

---

	Δ	5
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	100

Ο συνολικός βαθμός θα διαιρεθεί δια 10, ώστε να προκύψει ο τελικός βαθμός της εργασίας.

*Καλή Επιτυχία!*