

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ Η/Υ

1.1 Υπολογισμός μέσης τιμής

Για να βρούμε την μέση τιμή ενός μεγέθους, το οποίο αναπαριστά μια τυχαία μεταβλητή, ακολουθούμε την εξής μεθοδολογία:

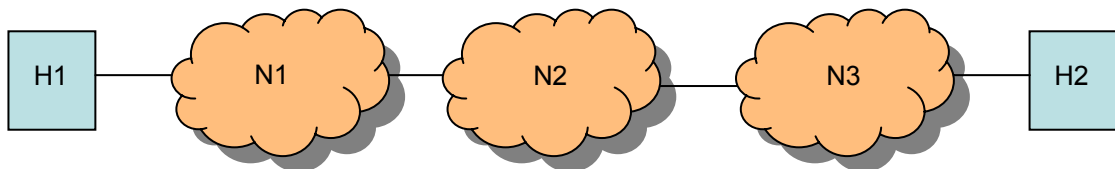
- Αναζητούμε όλα τα δυνατά γεγονότα της εν λόγω μεταβλητής.
- Βρίσκουμε τις πιθανότητες των εν λόγω γεγονότων.
- Υπολογίζουμε τις τιμές της μεταβλητής στο κάθε γεγονός.
- Αθροίζουμε τα γινόμενα πιθανότητας με τιμή μεταβλητής για όλα τα γεγονότα.

Π.χ., Έστω ότι αναζητούμε την μέση τιμή μεταβλητής X , η οποία μπορεί να απαντηθεί στα γεγονότα A και B με πιθανότητες p_1 και p_2 και αντίστοιχες τιμές x_1 και x_2 , τότε η ζητούμενη μέση τιμή είναι $p_1x_1+p_2x_2$.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.1

[ΘΕΜΑ 8 Περίοδος 2005-2006 Κανονική Εξέταση]

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 H1 συνδεδεμένου με το δίκτυο N1, που είναι συνδεδεμένο στο N2, που είναι συνδεδεμένο στο N3 και μετά στον host προορισμού H2 (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. Προσοχή: δεν ζητείται ο μέσος αριθμός βημάτων μέχρι την επιτυχή λήψη του πακέτου.



ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Ο αριθμός βημάτων ενός εκπεμπόμενου πακέτου αποτελεί τυχαία μεταβλητή με τιμές 1, 2, 3 και 4, της οποίας ζητούμε τη μέση τιμή.

Η πιθανότητα να έχουμε τέσσερα βήματα, ισούται με $(1 - p_1) (1 - p_2) (1 - p_3)$.

Η πιθανότητα το πακέτο να κάνει ένα μόνον βήμα, δηλαδή να απορριφθεί το πακέτο μετά το πρώτο βήμα (και να απαιτηθεί επανεκπομπή) είναι p_1 .

Η πιθανότητα να απορριφθεί το πακέτο μετά το δεύτερο βήμα (και να απαιτηθεί επανεκπομπή) είναι $p_2(1 - p_1)$.

Τέλος, η πιθανότητα να απορριφθεί το πακέτο μετά το τρίτο βήμα (και να απαιτηθεί επανεκπομπή) είναι $p_3(1 - p_1) (1 - p_2)$.

Συνεπώς ο μέσος αριθμός βημάτων που κάνει ένα πακέτο ανά μετάδοση είναι

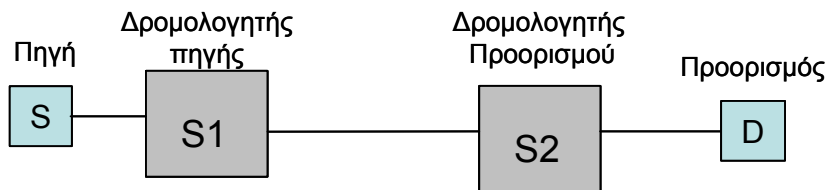
$$N = 4 * (1 - p_1) (1 - p_2) (1 - p_3) + 1 * p_1 + 2 * p_2(1 - p_1) + 3 * p_3(1 - p_1) (1 - p_2)$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.2

[ΘΕΜΑ 2 Περίοδος 2003 - 2004 ΓΕ #3]

Ένα υποδίκτυο επιτρέπει στους δρομολογητές του να απορρίπτουν τα πακέτα όποτε είναι αναγκαίο. Η πιθανότητα να απορρίψει το πακέτο ένας δρομολογητής είναι p . Θεωρήστε την περίπτωση ενός host πηγής συνδεδεμένου με δρομολογητή πηγής, που είναι συνδεδεμένος στον δρομολογητή προορισμού και μετά στον host προορισμού (δες το ακόλουθο σχήμα). Εάν οποιοσδήποτε από τους δρομολογητές απορρίψει ένα πακέτο, ο host πηγής διαπιστώνει την εκπνοή του χρόνου και ξαναπροσπαθεί. Εάν τόσο οι γραμμές host-δρομολογητή όσο και οι γραμμές δρομολογητή-δρομολογητή μετρούν ως βήματα, ποιος είναι ο μέσος αριθμός

- (α) των βημάτων που κάνει ένα πακέτο ανά μετάδοση; και
- (β) των μεταδόσεων που γίνονται για ένα πακέτο μέχρι την επιτυχή λήψη του;



ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Α) Η πιθανότητα να απορριφθεί το πακέτο μετά το πρώτο βήμα και να έχουμε επανεκπομπή είναι ίση με p .

Η πιθανότητα να απορριφθεί το πακέτο μετά από δύο βήματα και να έχουμε επανεκπομπή ισούται με $p(1-p)$.

Τέλος, η πιθανότητα να έχουμε τρία βήματα (επιτυχής λήψη) ισούται με $(1-p)^2$

Έστω N ο ζητούμενος μέσος αριθμός βημάτων, τότε ισχύει:

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

$$N = 3 + p^2 - 3p$$

Β) Έστω K ο μέσος αριθμός μεταδόσεων μέχρι την επιτυχή λήψη του. Τότε, για ένα πακέτο με πιθανότητα $(1-p)^2$ έχουμε μια μετάδοση και με πιθανότητα $1-(1-p)^2$ έχουμε πλήθος μεταδόσεων ίσο με $1 + K$.

Συνεπώς

$$K = (1-p)^2 + (1-(1-p)^2)(1+K) \Rightarrow K = 1/(1-p)^2.$$

Το ίδιο αποτέλεσμα προκύπτει και ως εξής:

Η πιθανότητα να μεταφερθεί σωστά ένα πακέτο με την πρώτη προσπάθεια είναι $P=(1-p)^2$, να μεταφερθεί σωστά με την δεύτερη προσπάθεια είναι $(1-P)P$, με την τρίτη προσπάθεια $(1-P)^2P$, κοκ, οπότε η μέση τιμή των μεταδόσεων ανά πακέτο είναι

$$\sum_{i=1}^{\infty} iP(1-P)^{i-1} = P \sum_{i=1}^{\infty} i(1-P)^{i-1} = \frac{1}{P} = \frac{1}{(1-p)^2}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.3

[Θέμα 1 Περίοδος 2006-2007 ΓΕ #3]

Πακέτα καταφθάνουν, σε κάθε χρονική στιγμή, σε δέσμες σε ένα κόμβο προς μετάδοση. Ο κόμβος διαθέτει μνήμη προσωρινής αποθήκευσης (buffer). Τα πακέτα έχουν μήκος p bits και ο ρυθμός μετάδοσης του κόμβου είναι R kbps. Μία δέσμη μπορεί να περιέχει (με την ίδια πιθανότητα) 1, 2, 3, ... ή N πακέτα. Υπολογίστε την μέση καθυστέρηση ανά πακέτο.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Η πιθανότητα να βρεθεί ένα πακέτο σε δέσμη των 1, 2, 3 ,..., N πακέτων είναι η ίδια και ίση με 1/N για όλες τις δέσμες.

Επιπρόσθετα, για ένα πακέτο που ανήκει σε κάποια τυχαία δέσμη των 1, 2, 3 ,..., κ πακέτων με $1 \leq \kappa \leq N$, η πιθανότητα να βρεθεί στην 1η, 2η,...,κ^η θέση είναι επίσης η ίδια και ίση με 1/κ για όλα τα πακέτα.

Η καθυστέρηση εξυπηρέτησης ενός πακέτου κ^{ης} θέσης είναι $T=\kappa*p/R$ για όλες τις δέσμες. Για $d=p/R$, έχουμε $T=\kappa*d$.

Η μέση καθυστέρηση εξυπηρέτησης ενός τυχαίου πακέτου μιας τυχαίας δέσμης είναι ίση με

$$E[T] = 1/N [d + (1/2)*d + (1/2)*2d + (1/3)*d+(1/3)*2d+(1/3)*3d +...+(1/N)*d+(1/N)*2d+...+(1/N)*Nd] \quad (1)$$

Η άνω σχέση προκύπτει ως ακολούθως:

Για δέσμη ενός πακέτου πιθανότητας 1/N να συμβεί, η καθυστέρηση εξυπηρέτησης είναι d.

Για δέσμη δύο πακέτων πιθανότητας 1/N να συμβεί, η καθυστέρηση εξυπηρέτησης είναι (1/2)*d, εάν πρόκειται για το πρώτο πακέτο και (1/2)*2d, εάν πρόκειται για το δεύτερο πακέτο.

Για δέσμη τριών πακέτων πιθανότητας 1/N να συμβεί, η καθυστέρηση εξυπηρέτησης είναι (1/3)*d, εάν πρόκειται για το πρώτο πακέτο, (1/3)*2d, εάν πρόκειται για το δεύτερο πακέτο και (1/3)*3d, εάν πρόκειται για το τρίτο πακέτο.

κ.ο.κ για να φτάσουμε στο τελευταίο άθροισμα που αφορά δέσμη N πακέτων.

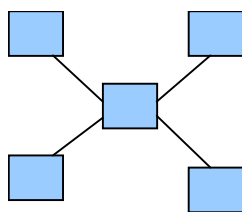
Κάνοντας πράξεις στην (1) έχουμε

$$E[T] = 1/N \left(\sum_{k=1}^N (1/k) * [1 + 2 + 3... + k] \right) * d = d/N \sum_{k=1}^N (1/k) * k(k+1)/2 = d/N \sum_{k=1}^N (k+1)/2$$

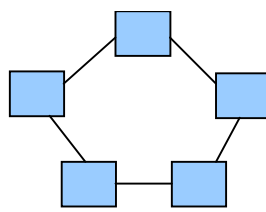
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.4

[Θέμα 1 Περίοδος 2004 - 2005 ΓΕ #3]

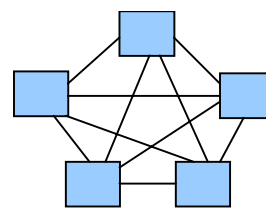
Έστω τρία δίκτυα μεταγωγής πακέτων τα οποία και τα τρία αποτελούνται από n μεταγωγούς ($n \geq 3$). Το πρώτο δίκτυο έχει τοπολογία «αστέρα» με έναν κεντρικό μεταγωγό, το δεύτερο τοπολογία «δακτυλίου» (διπλής κατεύθυνσης) και το τρίτο τοπολογία πλήρους διασύνδεσης με ένα φυσικό σύνδεσμο από κάθε κόμβο προς κάθε άλλο. Στο σχήμα, δίνεται παράδειγμα για $n = 5$. Για κάθε τοπολογία, υπολογίστε το μέγιστο, ελάχιστο και μέσο αριθμό συνδέσμων (hops) που θα διανύσει ένα πακέτο. Θεωρείστε ότι όλα τα ζεύγη μεταγωγών πηγής και προορισμού είναι ισοπίθανα, καθώς και ότι ένα πακέτο είναι δυνατό να μεταδίδεται μεταξύ τερματικών συσκευών που είναι συνδεδεμένες στον ίδιο μεταγωγό (δηλ. ο μεταγωγός πηγής είναι και μεταγωγός προορισμού). Επίσης θεωρείστε ότι πάντα ακολουθείται ο συντομότερος δρόμος μεταξύ δυο μεταγωγών.



Τοπολογία
Αστέρα



Τοπολογία
Δακτυλίου



Τοπολογία Πλήρους
Διασύνδεσης

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Όλοι οι μεταγωγοί (συμπεριλαμβανομένου και του μεταγωγού πηγής) έχουν την ίδια πιθανότητα να είναι προορισμοί ίση με $1/n$.

Α) Για την τοπολογία αστέρα:

Μέγιστο = 2 σύνδεσμοι

Ελάχιστο = 0 σύνδεσμοι

Για τον υπολογισμό του μέσου πλήθους διανυθέντων συνδέσμων:

Για καθένα από τους ακραίους κόμβους ισχύει ότι με πιθανότητα $1/n$ το πακέτο διανύει 0 συνδέσμους (το τερματικό προορισμού θα είναι στον ίδιο μεταγωγό με το τερματικό πηγής), με πιθανότητα $1/n$ το πακέτο κατευθύνεται από (προς) τον κεντρικό μεταγωγό προς (από) κάποιον άλλο μεταγωγό, άρα διανύει 1 σύνδεσμο και με πιθανότητα $(n-2) / n$ κατευθύνεται από κάποιον ακραίο μεταγωγό προς κάποιον άλλο ακραίο μεταγωγό, άρα διανύει 2 συνδέσμους. Οπότε:

$$\text{Μέσος-ακραίου-κόμβου} = 1 \cdot 1/n + 2 \cdot (n-2) / n = (2n-3)/n$$

Για τον κεντρικό κόμβο ισχύει ότι με πιθανότητα $1/n$ το πακέτο διανύει 0 συνδέσμους (το τερματικό προορισμού θα είναι στον ίδιο μεταγωγό με το τερματικό πηγής), ενώ με πιθανότητα $(n-1)/n$ διανύει 1 σύνδεσμο. Οπότε:

$$\text{Μέσος-κεντρικού-κόμβου} = (n-1)/n$$

Επειδή έχουμε $n-1$ ακραίους κόμβους και 1 κεντρικό:

$$\text{Μέσος} = (n-1)/n \cdot \text{Μέσος-ακραίου-κόμβου} + (1/n) \cdot \text{Μέσος-κεντρικού-κόμβου}$$

$$= \frac{2n-3}{n} \cdot \frac{n-1}{n} + \frac{n-1}{n} \cdot \frac{1}{n} = \frac{2(n-1)^2}{n^2}$$

Β) Για την τοπολογία δακτυλίου:

Για τον υπολογισμό του μέγιστου πλήθους διανυθέντων συνδέσμων, η χειρότερη περίπτωση είναι το πακέτο να διανύσει το μισό δακτύλιο άρα $[n/2]$ συνδέσμους (δηλ. ακέραιο μέρος του $n/2$).

Ελάχιστο = 0

Για τον υπολογισμό του μέσου πλήθους διανυθέντων συνδέσμων, πρέπει να διακρίνουμε δυο περιπτώσεις:

Αν το n είναι άρτιος ($n=2k$, k ακέραιος), τότε με πιθανότητα $1/n$ το πακέτο θα διανύσει 0 συνδέσμους (το τερματικό προορισμού θα είναι στον ίδιο μεταγωγό με το τερματικό πηγής), με πιθανότητα επίσης $1/n$ θα διανύσει $n/2$ συνδέσμους (θα κατευθύνεται στο διαμετρικά αντίθετο μεταγωγό) ενώ θα διανύσει από 1 ως $(n/2)-1$

συνδέσμους με πιθανότητα $1/n$ δεξιόστροφα και $1/n$ αριστερόστροφα (προς τους υπόλοιπους μεταγωγούς). Οπότε:

$$\text{Μέσο} = 0 \frac{1}{n} + (1 + 2 + \dots + \frac{n}{2} - 1) \frac{2}{n} + \frac{n}{2} \frac{1}{2n} = \frac{\frac{n}{2}(\frac{n}{2} - 1)}{2} \frac{2}{n} + \frac{1}{2} = \frac{n}{4}$$

Το μέγιστο είναι $\lfloor n/2 \rfloor = n/2$.

Αν το n είναι περιττός ($n = 2k+1$, k ακέραιος), τότε με πιθανότητα $1/n$ το πακέτο θα διανύσει 0 συνδέσμους (το τερματικό προορισμού θα είναι στον ίδιο μεταγωγό με το τερματικό πηγής), ενώ θα διανύσει από 1 ως $\lfloor n/2 \rfloor = k = (n-1) / 2$ συνδέσμους με πιθανότητα $1/n$ δεξιόστροφα και $1/n$ αριστερόστροφα. Οπότε:

$$\text{Μέσο} = 0 \frac{1}{n} + (1 + 2 + \dots + \lfloor n/2 \rfloor) \frac{2}{n} = \frac{\lfloor n/2 \rfloor (\lfloor n/2 \rfloor + 1)}{2} \frac{2}{n} = \frac{\frac{n-1}{2} (\frac{n-1}{2} + 1)}{n} = \frac{n^2 - 1}{4n}$$

Το μέγιστο είναι $\lfloor n/2 \rfloor = (n-1)/2$.

Γ) Για την τοπολογία πλήρους διασύνδεσης:

Ελάχιστο = 0

Μέγιστο = 1

Για τον υπολογισμό του μέσου πλήθους διανυθέντων συνδέσμων, με πιθανότητα $1/n$ το πακέτο θα διανύσει 0 συνδέσμους (το τερματικό προορισμού θα είναι στον ίδιο μεταγωγό με το τερματικό πηγής), ενώ με πιθανότητα $1/n$ θα κατευθύνεται στους υπολοίπους $n-1$ μεταγωγούς διανύοντας 1 σύνδεσμο,

$$\text{Μέσο} = 0 \cdot (1/n) + 1 \cdot (1/n) \cdot (n-1) = (n-1)/n$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.5

[Θέμα 6 Περίοδος 2005 - 2006 ΓΕ #3]

Μεταξύ δύο κόμβων εφαρμόζεται το πρωτόκολλο Stop-And-Wait. Έστω ότι T_r συμβολίζει τη μέση τιμή του χρόνου μετάδοσης ενός πακέτου, T_f το χρόνο μετάδοσης της επιβεβαίωσης και T_d το χρόνο διάδοσης και επεξεργασίας του κάθε πακέτου σε κάθε μια κατεύθυνση. Εάν q_e συμβολίζει την πιθανότητα να μεταδοθεί με λάθος ένα πακέτο κάθε φορά που μεταδίδεται και q_f την πιθανότητα να παραληφθεί η επιβεβαίωσή του λάθος,

A. Να βρείτε την πιθανότητα p , να μεταφερθεί σωστά ένα πακέτο στον παραλήπτη του.

B. Βρείτε τη μέση τιμή του αριθμού των μεταδόσεων ενός πακέτου μέχρις ότου μεταφερθεί σωστά.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

A.

Η πιθανότητα p να μεταφερθεί σωστά ένα πακέτο είναι η πιθανότητα και το πακέτο αλλά και η επιβεβαίωσή του να μεταφερθούν σωστά. Επειδή τα δύο γεγονότα, η πιθανότητα σωστής μετάδοσης του πακέτου που είναι ίση με $(1-q_f)$ και η πιθανότητα σωστής μετάδοσης της επιβεβαίωσης που είναι ίση με $(1-q_r)$ είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, συμπεραίνουμε ότι,

$$p=(1-q_r)*(1-q_f) \quad (1)$$

B.

Η πιθανότητα να μεταφερθεί σωστά ένα πακέτο με την πρώτη προσπάθεια είναι p , να μεταφερθεί σωστά με την δεύτερη προσπάθεια είναι $(1-p)p$, με την τρίτη προσπάθεια $(1-p)^2p$, κ.ο.κ, οπότε η μέση τιμή των μεταδόσεων ανά πακέτο είναι

$$\sum_{i=1}^{\infty} ip(1-p)^{i-1} = p \sum_{i=1}^{\infty} i(1-p)^{i-1} = p \left[\sum_{i=0}^{\infty} (1-p)^i \right]' = \frac{1}{p} \stackrel{(1)}{=} \frac{1}{(1-q_r)(1-q_f)} \quad (2)$$

1.2 Επιλογή τεχνολογίας μεταγωγής

Για επιλέξουμε ανάμεσα σε τεχνολογίες μεταγωγής, συγκρίνουμε τις εν λόγω τεχνολογίες επί την βάση κάποιου κριτηρίου, το οποίο εκφράζεται ως μετρική απόδοσης του όλου συστήματος. Όλες οι πιθανές μετρικές συσχετίζονται με τις ακόλουθες εκφράσεις της συνολικής καθυστέρησης μεταφοράς για τις περιπτώσεις τεχνικών μεταγωγής ιδεατών κυκλωμάτων και αυτοδύναμων πακέτων που προκύπτουν από την Α.Α 1.4 (σελ. 185).

Για την περίπτωση των ιδεατών κυκλωμάτων $T_{VC} = T_{setup} + (N + k - 1) \frac{L_{VC}}{C_{VC}}$

Για την τεχνική αυτοδύναμων πακέτων $T_D = (N + k - 1) \frac{L_D}{C_D}$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.6

[Θέμα 2 Περίοδος 2004 - 2005 ΓΕ #3]

A. Προκειμένου να σχεδιάσετε ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων, πρέπει να κάνετε μια οικονομοτεχνική εκτίμηση ώστε να επιλέξετε μεταξύ της τεχνικής ιδεατών κυκλωμάτων ή αυτοδύναμων πακέτων. Η τοπολογία του δικτύου περιλαμβάνει 12 μεταγωγούς και 16 συνδέσμους. Το δίκτυο θα μεταφέρει ροές δεδομένων, για τις οποίες υποθέτουμε ότι μια ροή δεδομένων (που θα αντιστοιχεί και σε ένα ιδεατό κύκλωμα) αντιστοιχεί στη μετάδοση κατά μέσο όρο 200 πακέτων με περιεχόμενο 1024 bytes μέσω 4 κατά μέσο όρο συνδέσμων. Η χωρητικότητα των συνδέσμων πρέπει να είναι τέτοια ώστε μια τέτοια ροή δεδομένων να μεταδίδεται εντός 1sec, εφόσον δεν υπάρχει άλλη κίνηση στους συνδέσμους (θεωρούμε μετάδοση χωρίς σφάλματα και επιβεβαιώσεις, καθώς και αμελητέα καθυστέρηση διάδοσης και αναμονής). Ο χρόνος εγκατάστασης ενός ιδεατού κυκλώματος είναι 100 msec.

Σε κάθε μεταγωγό θα υπάρχουν το πολύ 30 ενεργές ροές δεδομένων κάθε στιγμή.

Στην περίπτωση χρήσης ιδεατών κυκλωμάτων, το μήκος επικεφαλίδας θα είναι 3 bytes, αλλά κάθε μεταγωγός θα πρέπει να διαθέτει μνήμη 1024 bytes ανά ιδεατό κύκλωμα για την εγγραφή του ιδεατού κυκλώματος στον πίνακα μεταγωγής.

Στην περίπτωση της χρήσης αυτοδύναμων πακέτων, το μήκος επικεφαλίδας θα είναι 12 bytes αλλά οι απαιτήσεις μνήμης για πίνακες μεταγωγής είναι σταθερές (ανεξάρτητες της κίνησης στο δίκτυο) και ίσες προς 1024 bytes μνήμης σε κάθε μεταγωγό.

Το κόστος της μνήμης είναι 1€ ανά 1024 bytes, ενώ το κόστος της χωρητικότητας μετάδοσης είναι 1€ ανά 1Kbps. Ποια από τις δυο τεχνικές θα είναι οικονομικά αποδοτικότερη?

B. Ομάδα N χρηστών χρησιμοποιεί τον ίδιο απομακρυσμένο υπολογιστή μέσω διαφορετικών νοητών κυκλωμάτων. Ο κάθε χρήστης δημιουργεί κατά μέσο όρο την ώρα L πακέτα μέσου μήκους P bytes. Ο τηλεπικοινωνιακός φορέας χρεώνει C € για κάθε byte δεδομένων χρήστη που μεταφέρει, συν X € την ώρα για κάθε ανοικτό νοητό κύκλωμα. Υπό ποιες προϋποθέσεις είναι οικονομική η πολυπλεξία όλων των N συνδέσεων μεταφοράς στο ίδιο νοητό κύκλωμα, εάν η πολυπλεξία του τύπου αυτού προσθέτει 2 byte δεδομένων σε κάθε πακέτο; Υποθέστε στην δεύτερη περίπτωση ότι το κοινό νοητό κύκλωμα διαθέτει αρκετό εύρος ζώνης για όλους τους χρήστες.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

A.

Πρέπει να υπολογίσουμε την απαιτούμενη χωρητικότητα των συνδέσμων καθώς και την απαιτούμενη μνήμη σε κάθε περίπτωση.

Για την περίπτωση των ιδεατών κυκλωμάτων, με βάση την ασκ. αυτοαξιολόγησης 1.4 (σελ. 185),

$$T_{VC} = T_{setup} + (N + k - 1) \frac{L_{VC}}{C_{VC}}$$

όπου σύμφωνα με τα δεδομένα μας $T_{setup} = 0,1 \text{ sec}$, $N = 200$, $k = 4$, $L_{VC} = 1027 \cdot 8 = 8216 \text{ bits}$ και C_{VC} είναι η ζητούμενη χωρητικότητα.

Αφού θέλουμε $T_{VC} = 1 \text{ sec}$, προκύπτει:

$$C_{VC} = \frac{(N + k - 1)L_{VC}}{T_{VC} - T_{setup}} = \frac{(200 + 4 - 1) \cdot 8216}{1 - 0,1} = 1.853.165 \text{ bps}$$

Άρα το κόστος χωρητικότητας κάθε συνδέσμου είναι 1.853,165 € οπότε συνολικά οι σύνδεσμοι θα κοστίσουν: 16 (σύνδεσμοι) x 1.853,165 € = 29.650,64 €.

Η απαιτούμενη μνήμη ανά μεταγωγό θα είναι: 30 (ιδεατά κυκλώματα) x 1024 bytes = 30720 bytes, τα οποία κοστίζουν 30€.

Άρα η μνήμη συνολικά θα κοστίσει: 12 (μεταγωγοί) x 30 € = 360 €

Οπότε το συνολικό κόστος για την τεχνική ιδεατού κυκλώματος θα είναι:

$$29.650,64 \text{ €} + 360 \text{ €} = 30.010,64 \text{ €}$$

Για την τεχνική αυτοδύναμων πακέτων, πάλι με βάση την ασκ. αυτοαξιολόγησης 1.4 (σελ. 185)

$$T_D = (N + k - 1) \frac{L_D}{C_D}$$

οπότε αφού θέλουμε επίσης $T_D = 1 \text{ sec}$ και επειδή $L_D = 1024 + 12 = 1036 \text{ bytes} = 8288 \text{ bits}$ προκύπτει:

$$C_D = (200 + 4 - 1) 8288 \text{ bits} / 1 \text{ sec} = 1.682.464 \text{ bps}$$

Άρα το κόστος χωρητικότητας κάθε συνδέσμου είναι 1.682,464 € οπότε συνολικά οι σύνδεσμοι θα κοστίσουν: 16 (σύνδεσμοι) x 1.682,464 € = 26.919,42 €.

Η απαιτούμενη μνήμη ανά μεταγωγό είναι 1024 bytes, τα οποία κοστίζουν 1 €.

Άρα η μνήμη συνολικά θα κοστίσει: 12 (μεταγωγοί) x 1 € = 12 €

Οπότε το συνολικό κόστος για την τεχνική αυτοδύναμων πακέτων θα είναι:

$$26.919,42 \text{ €} + 12 \text{ €} = 26.931,42 \text{ €}$$

Επομένως οικονομικότερη είναι η τεχνική αυτοδύναμων πακέτων.

B.

$$NX + NPLC > X + NL(P+2)C \Rightarrow$$

$$X(N-1) > NL(P+2)C - NPLC \Rightarrow$$

$$X(N-1) > NLC(P+2-P) \Rightarrow$$

$$X > 2NLC/(N-1)$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.7

[ΘΕΜΑ 7 Περίοδος 2005 - 2006 ΓΕ #5]

Ένας μηχανικός ενδιαφέρεται να μεταφέρει φωνή μεταξύ δύο τερματικών σημείων, A, B. Αυτά τα τερματικά σημεία θα συνδέονται με έναν δικτυακό κόμβο X με οπτική ίνα, ενώ η απόσταση της ζεύξης AX θα είναι 200 Km και της XB θα είναι 100 Km. Γνωρίζει επίσης ότι η φωνή στη πηγή, η οποία βρίσκεται στον κόμβο A κωδικοποιείται με σταθερό ρυθμό 64 kbps, τα οποία στη συνέχεια τοποθετούνται ανά L bytes σε πακέτα στον κόμβο A για να σταλούν στον κόμβο B μέσω του κόμβου X. Η διαδικασία αυτή της μετατροπής της φωνής σε bytes και τοποθέτησής των σε πακέτα είναι γνωστή με τον όρο ‘καθυστέρηση πακετοποίησης’ (**packetization delay**). Καθυστερήσεις πακετοποίησης μεγαλύτερη των 20 msec είναι δυνατόν να δημιουργήσουν μια ενοχλητική ηχώ κατά τη διάρκεια της συνομιλίας. Επίσης ο μηχανικός θέλει να εξασφαλίσει παράδοση των πακέτων που μεταφέρουν φωνή μεταξύ των δύο άκρων A και B μέσα σε 10 msec. Τα πακέτα εκτός από τα L bytes φωνής φέρουν και επικεφαλίδα μεγέθους H bytes η οποία προστίθεται σε αυτά. Από μετρήσεις έχει βρεθεί ότι ο κόμβος X λόγω συμφόρησης της κίνησης είναι δυνατόν να παρουσιάσει μέγιστη καθυστέρηση 8,45 msec. Ο μηχανικός έχει να επιλέξει μεταξύ των τεχνολογιών Ethernet και ATM τις οποίες θα πρέπει να εγκαταστήσει στους κόμβους A, X, B. Ένα δίκτυο ATM χρησιμοποιεί πακέτα συνολικού σταθερού μήκους 53 bytes εκ των οποίων τα 5 bytes είναι η επικεφαλίδα H, ενώ το δίκτυο Ethernet είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσει πακέτα με ελάχιστο συνολικό μήκος 64 bytes και μέγιστο 1500 bytes ενώ η επικεφαλίδα H είναι σταθερού μήκους 14 bytes. Ποια τεχνολογία πρέπει να επιλέξει ο μηχανικός έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι παραπάνω συνθήκες (καθυστέρηση πακετοποίησης και χρόνος παράδοσης) και ποιο είναι το μήκος L με το οποίο θα πρέπει να ‘πακετοποιήσει’ τη φωνή; (Δίδεται ότι ο ρυθμός μετάδοσης στον κόμβο A είναι 10 Mbps και στον κόμβο X είναι 160 Mbps, ενώ η ταχύτητα διάδοσης στην οπτική ίνα είναι 200000 Km/sec.)

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Με δεδομένα το μέγεθος L σε bytes τα οποία θα τοποθετηθούν μέσα σε πακέτα των οποίων η επικεφαλίδα είναι 5 bytes και του ρυθμού κωδικοποίησης της φωνής (64 kbps), η καθυστέρηση πακετοποίησης είναι

$$\frac{L \times 8}{64 \times 10^3} \text{ sec} = \frac{L \times 8}{64} \text{ msec} \leq 20 \text{ msec} \quad (1)$$

Ο μέγιστος χρόνος μετάδοσης μεταξύ των A και B είναι, T_{AB} :

$$\begin{aligned} T_{AB} &= (\text{Καθυστέρηση λόγω Μετάδοσης και Διάδοσης στη Ζεύξη AX}) \\ &\quad + (\text{Μέγιστη καθυστέρηση λόγω συμφόρησης κίνησης}) \\ &\quad + (\text{Καθυστέρηση λόγω Μετάδοσης και Διάδοσης στη Ζεύξη XB}) \\ &= T_{AX} + D_X + T_{XB} \end{aligned} \quad (2)$$

Οι επιμέρους χρόνοι καθυστέρησης δίδονται από τις σχέσεις

$$T_{AX} = \text{TRANSP}_A + \text{PROP}_{AX} = \frac{(L+H) \times 8}{10^7} + \frac{200}{200000} \text{ sec} \quad (3)$$

$$T_{XB} = \text{TRANSP}_X + \text{PROP}_{XB} = \frac{(L+H) \times 8}{160 \times 10^6} + \frac{100}{200000} \text{ sec} \quad (4)$$

A! ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: Τεχνολογία ATM

Από τις εξισώσεις (3) και (4) και επικεφαλίδα ATM, $H = 5$ bytes έχουμε:

$$\begin{aligned} T_{AX} &= \text{TRANSP}_A + \text{PROP}_{AX} = \frac{(L+5) \times 8}{10^7} + \frac{200}{200000} \text{ sec} \Rightarrow \\ T_{AX} &= \frac{(L+5) \times 8}{10^4} + 1 \text{ msec} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} T_{XB} &= \text{TRANSP}_X + \text{PROP}_{XB} = \frac{(L+5) \times 8}{160 \times 10^6} + \frac{100}{200000} \text{ sec} \Rightarrow \\ T_{XB} &= \frac{(L+5) \times 8}{16 \times 10^4} + \frac{1}{2} \text{ msec} \end{aligned} \quad (6)$$

Από τις εξισώσεις (2), (3) και (4) έχουμε ότι

$$T_{AB} = \frac{(L+5) \times 8}{10^4} + 1 + 8,45 + \frac{(L+5) \times 8}{16 \times 10^4} + \frac{1}{2} \text{ msec} \quad (7)$$

Εφόσον το T_{AB} δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 10 msec τότε από την (7) προκύπτει:

$$T_{AB} = \frac{(L+5) \times 8}{10^4} + 1 + 8,45 + \frac{(L+5) \times 8}{16 \times 10^4} + \frac{1}{2} \leq 10 \text{ msec} \Rightarrow$$

$$L_{ATM} \leq 53,82 \text{ bytes.} \quad (8)$$

Β! ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: Τεχνολογία Ethernet

Από τις εξισώσεις (3) και (4) και επικεφαλίδα Ethernet, $H = 14$ bytes έχουμε:

$$T_{AX} = \text{TRANSP}_A + \text{PROP}_{AX} = \frac{(L+14) \times 8}{10^7} + \frac{200}{200000} \text{ sec} \Rightarrow$$

$$T_{AX} = \frac{(L+14) \times 8}{10^4} + 1 \text{ msec} \quad (9)$$

$$T_{XB} = \text{TRANSP}_X + \text{PROP}_{XB} = \frac{(L+14) \times 8}{160 \times 10^6} + \frac{100}{200000} \text{ sec} \Rightarrow$$

$$T_{XB} = \frac{(L+14) \times 8}{16 \times 10^4} + \frac{1}{2} \text{ msec} \quad (10)$$

Από τις εξισώσεις (2), (3) και (4) έχουμε ότι

$$T_{AB} = \frac{(L+14) \times 8}{10^4} + 1 + 8,45 + \frac{(L+14) \times 8}{16 \times 10^4} + \frac{1}{2} \text{ msec} \quad (11)$$

Εφόσον το T_{AB} δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 10 msec τότε από την (11) προκύπτει:

$$T_{AB} = \frac{(L+14) \times 8}{10^4} + 1 + 8,45 + \frac{(L+14) \times 8}{16 \times 10^4} + \frac{1}{2} \leq 10 \text{ msec} \Rightarrow$$

$$L_{ETH} \leq 43,29 \text{ bytes.} \quad (12)$$

Από την τελευταία σχέση προκύπτει ότι για να πληρούνται οι συνθήκες μετάδοσης φωνής μεταξύ των ΑΒ χρειάζονται πακέτα μήκους μικρότερα από 57 bytes ($L_{ETH} + H_{ETH} = 43 + 14 = 57$ bytes). Όμως η τεχνολογία Ethernet δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αφού λειτουργεί με πακέτα όπου το ελάχιστο συνολικό μήκος πακέτων πρέπει να είναι 64 bytes.

Με βάση την (8) η τεχνολογία ATM είναι δυνατόν να υιοθετηθεί αφού οι συνθήκες πληρούνται και άρα το μήκος L που πρέπει να επιλεγεί είναι 48 bytes σύμφωνα με το format των πακέτων ATM.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.8

[ΘΕΜΑ 1 Περίοδος 2002 - 2003 ΓΕ #3]

Για την μετάδοση πακέτων με μηχανισμό εικονικού κυκλώματος (virtual circuit) θα πρέπει αρχικά να εγκατασταθεί το κύκλωμα και εν συνεχεία να μεταδοθούν τα πακέτα. Το δίκτυο αντιμετωπίζει χαμηλό φόρτο, οπότε τα πακέτα δεν υφίστανται καθυστερήσεις (queuing delay) στους κόμβους του. Ο χρόνος εγκατάστασης του εικονικού κυκλώματος είναι 400ms. Τα πακέτα ταξιδεύουν σε μία διαδρομή μέσω 10 κόμβων, και ο ρυθμός των συνδέσεων είναι 56 kbps. Το κάθε πακέτο φέρει 400 bits δεδομένα, μία επικεφαλίδα 5 bytes για να υποδείξει τον αριθμό του εικονικού κυκλώματος, καθώς και 2 bytes για ανίχνευση λαθών. Όταν χρησιμοποιείται μηχανισμός αυτοδύναμου πακέτου (datagram), δεν απαιτείται η εγκατάσταση εικονικού κυκλώματος αλλά το κάθε πακέτο χρειάζεται μία επικεφαλίδα 10 bytes (αντί για 5) για να προσδιοριστεί η πλήρης διεύθυνση προορισμού, αφετηρίας καθώς και ο αριθμός σειράς του πακέτου. Τα πακέτα φέρουν πληροφορία ανίχνευσης λαθών 2 bytes. Υποθέστε ότι τα αυτοδύναμα πακέτα ακολουθούν πάντα την ίδια διαδρομή μέσα από τους 10 κόμβους. Πόσος χρόνος απαιτείται για την μετάδοση N πακέτων όταν χρησιμοποιείται εικονικό κύκλωμα και πόσος στην περίπτωση αυτοδύναμων πακέτων? Για ποιές τιμές του N είναι προτιμότερη η χρήση εικονικού κυκλώματος.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Αρχικά εξετάζουμε την περίπτωση εικονικού κυκλώματος. Ο χρόνος μετάδοσης ενός πακέτου είναι $(400 + 5*8 + 2*8)/56000 = 8.1 \text{ ms} = \text{TRANSP}$. Η μετάδοση store-and-forward N πακέτων από τους 10 κόμβους θα απαιτήσει $(N+10)$ TRANSP (λόγω της διασωλήνωσης – pipeline – η οποία μπορεί να εφαρμοστεί κατά την μετάδοση). Αν προσθέσουμε τα 0.4 sec που απαιτούνται για την εγκατάσταση του εικονικού κυκλώματος, ο συνολικός χρόνος μετάδοσης είναι:

$$T_{vc} = 0.4 + (N + 10)\text{TRANSP} = [0.4 + (N + 10)0.0081]\text{sec}$$

Με την χρήση αυτοδύναμων πακέτων, ο χρόνος μετάδοσης ενός πακέτου γίνεται $\text{TRANSP}=(400+10*8+2*8)/56000=8.9\text{msec}$.

Ο συνολικός χρόνος μετάδοσης είναι:

$$T_d = (N + 10)\text{TRANSP} = (N + 10) \cdot 0.0089\text{sec}$$

Ο χρόνος μετάδοσης με εικονικό κύκλωμα είναι μικρότερος του αυτοδύναμου πακέτου όταν $N > 490$.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.9

[Θέμα 3 Περίοδος 2004 - 2005 ΓΕ #3]

A. Υποθέστε ότι ένα αρχείο μήκους L bits μεταδίδεται μέσω ενός δικτύου μεταγωγής αυτοδύναμων πακέτων ακολουθώντας ένα μονοπάτι των K συνδέσμων. Κάθε πακέτο περιέχει p bits πληροφορίας και H bits επικεφαλίδας (για απλότητα θεωρούμε ότι το L είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του p). Ο ρυθμός μετάδοσης κάθε συνδέσμου είναι C hps. Θεωρείστε ότι οι χρόνοι διάδοσης και αναμονής είναι αμελητέοι. Υπολογίστε ποια τιμή του p ελαχιστοποιεί τη συνολική καθυστέρηση μεταφοράς. (Υπόδειξη: υπολογίστε τη συνολική καθυστέρηση ως συνάρτηση του p και βρείτε που ελαχιστοποιείται.)

B. Για κάθε δρομολογητή ενός δικτύου, ορίζεται ως διάνυσμα καθυστέρησης, ένα διάνυσμα πλήθους γραμμών ίσο με το πλήθος των δρομολογητών του δικτύου, όπου σε κάθε γραμμή αναγράφεται η καθυστέρηση μετάδοσης του εν λόγω δρομολογητή προς τους υπόλοιπους. Αν οι καθυστερήσεις καταγράφονται ως αριθμοί των 8bits σ' ένα δίκτυο των 50 δρομολογητών και τα διανύσματα καθυστέρησης ανταλλάσσονται μεταξύ των δρομολογητών δύο φορές το δευτερόλεπτο, πόσο εύρος ζώνης ανά γραμμή καταναλώνεται;

Γ. Αν όλα τα πακέτα μιας σύνδεσης έχουν μήκος 50bytes και η μικρότερη μεταξύ τους απόσταση είναι 10msec, ποιος είναι ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης; Αν ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης μιας σύνδεσης είναι 8 Mbps για όλα τα διαστήματα των 15 msec, ποια είναι η μέγιστη ποσότητα δεδομένων που μπορεί να παραχθεί σε 75 msec;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

A.

Με βάση την ασκ. αυτοαξιολόγησης 1.4 (σελ. 185), η συνολική καθυστέρηση θα είναι:

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

Παραγωγίζοντας ως προς p έχουμε:

$$\frac{dT}{dp} = \frac{1}{C} \left(K - 1 - \frac{LH}{p^2} \right)$$

οπότε για να είναι

$$\frac{dT}{dp} = 0 \Rightarrow p = \sqrt{\frac{LH}{K - 1}}$$

B. $50 * 8 * 2 = 800$ bps σε κάθε γραμμή.

Γ. $50 \text{ byte} * 10^{-2} \text{ sec} = 5000 \text{ byte/sec}$, και $8 * 10^6 \text{ bps} * 75 * 10^{-3} \text{ sec} = 600 \text{ Kb}$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.10

[Θέμα 4 Περίοδος 2005 - 2006 ΓΕ #3]

Θεωρήστε την αποστολή ενός μεγάλου αρχείου F bits από τον κόμβο A στον κόμβο B . Υπάρχουν 2 ζεύξεις και ένας μεταγωγός (switch) μεταξύ των A και B . Οι ζεύξεις δεν εμφανίζουν συμφόρηση (η καθυστέρηση αναμονής είναι μηδενική). Ο κόμβος A κατατέμνει το αρχείο σε κατατμήσεις (segments) των S bits και προσθέτει επικεφαλίδα των 40 bits. Τα πακέτα που προκύπτουν έχουν μήκος $L=40 + S$ bits. Η κάθε ζεύξη χαρακτηρίζεται από ρυθμό μετάδοσης R bps. Να βρείτε την τιμή του S που ελαχιστοποιεί την καθυστέρηση μεταφοράς του αρχείου από τον κόμβο A στον B . Αγνοήστε την καθυστέρηση διάδοσης.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Αν το πηλίκο F/S είναι ακέραιος, η καθυστέρηση δίνεται από την σχέση

$$\left(\frac{S+h}{R}\right)\left(\frac{F}{S}+1\right) = \frac{1}{R}\left[F+S+h+\frac{Fh}{S}\right],$$

όπου $h=40$.

Σημείωση: Εάν το F/S δεν είναι ακέραιος, η καθυστέρηση υπολογίζεται ως εξής

$$\left(\frac{S+h}{R}\right)\left(\left\lfloor\frac{F}{S}\right\rfloor+1\right) + \frac{F - \left\lfloor\frac{F}{S}\right\rfloor S + h}{R} = \frac{1}{R}\left[F+S+2h+h\left\lfloor\frac{F}{S}\right\rfloor\right].$$

Υποθέτοντας ότι το πηλίκο F/S είναι ακέραιος, η συνάρτηση της καθυστέρησης που χρησιμοποιούμε στους παρακάτω υπολογισμούς είναι ίση με:

$$T(S) = \frac{1}{R}\left[F+h+S+\frac{hF}{S}\right]$$

Υπολογίζουμε την 1^η παράγωγο ως προς S της παραπάνω συνάρτησης :

$$\frac{dT}{dS} = \frac{d}{dS}\left\{\frac{1}{R}\left[F+h+S+\frac{hF}{S}\right]\right\} = \frac{1}{R}\left(1-\frac{hF}{S^2}\right)$$

και εξισώνουμε με 0, οπότε λύνοντας ως προς S έχουμε την τιμή:

$$S_0 = \sqrt{Fh}.$$

Υπολογίζουμε έπειτα και τη 2^η παράγωγο της συνάρτησης της καθυστέρησης ως προς S :

$$\frac{d^2T}{dS^2} = \frac{d}{dS}\left\{\frac{1}{R}\left[1-\frac{hF}{S^2}\right]\right\} = -\frac{hF}{R}\frac{d}{dS}\left(\frac{1}{S^2}\right) = -\frac{hF}{R}\left(\frac{-2S}{S^4}\right) = \frac{2hF}{RS^3}$$

και αντικαθιστούμε την τιμή S_0 που υπολογίσαμε παραπάνω:

$$\frac{d^2T}{dS^2}(S_0) = \frac{2hF}{RS_0^3} = \frac{2hF}{R(\sqrt{hF})^3} > 0$$

Η 2^η παράγωγος παίρνει θετική τιμή, άρα η τιμή $S_0 = \sqrt{Fh}$ ελαχιστοποιεί την καθυστέρηση μεταφοράς.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.11

[Θέμα 3 Περίοδος 2005 - 2006 ΓΕ #3]

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 ασυνδεδεστική (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.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

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

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

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

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

Δ. Η συνολική καθυστέρηση είναι

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

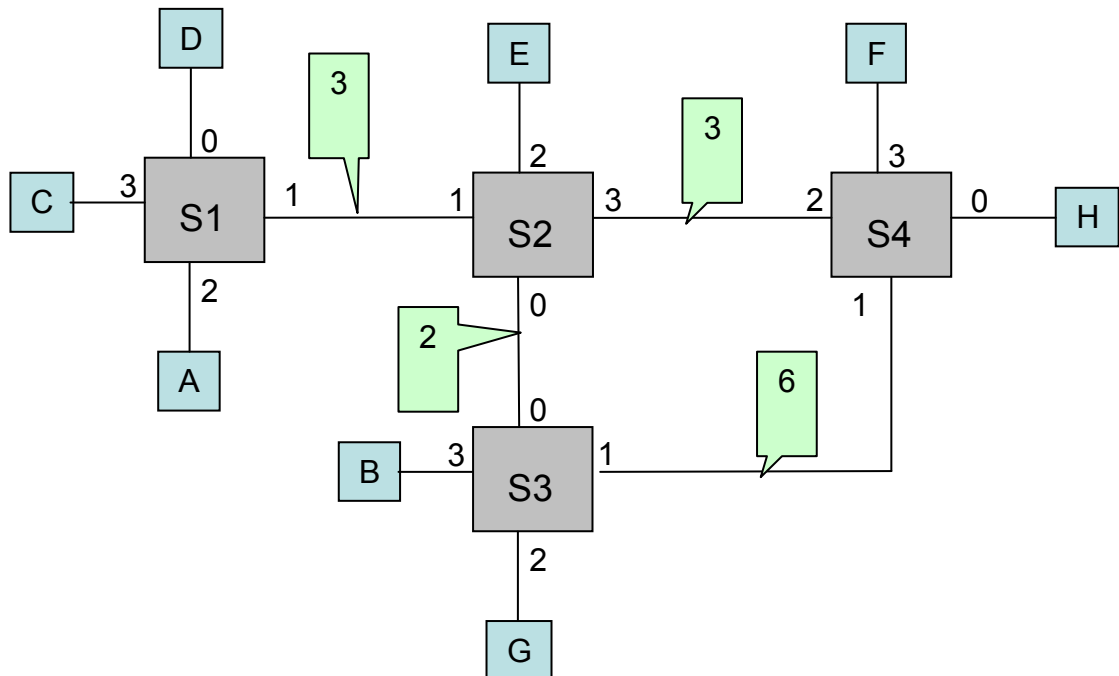
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.12

[ΘΕΜΑ 1 Περίοδος 2003 - 2004 ΓΕ #3]

Το σχήμα παριστάνει δίκτυο με 8 hosts (A, B, C, D, E, F, G, H) και 4 μεταγωγείς (S1, S2, S3 και S4), οι θύρες των οποίων σημειώνονται με τους αριθμούς 0, 1, 2 και 3. Επιπρόσθετα για τους συνδέσμους (links) μεταξύ των μεταγωγέων δίνονται τα αντίστοιχα βάρη, τα οποία καθορίζουν το κόστος κάθε συνδέσμου. Θεωρείστε ότι όσο μικρότερο είναι το βάρος ενός συνδέσμου τόσο καλύτερα.

Υποθέστε μεταγωγή με πακέτα. Καταγράψτε τους πίνακες δρομολόγησης ανά μεταγωγέα στη μορφή (X,n), όπου X το όνομα του host και n ο αριθμός της θύρας όπου αποστέλλονται τα πακέτα με προορισμό τον X. Υποδείξτε ένα τρόπο συντόμευσης του πλήθους εγγραφών των πινάκων.

Στην συνέχεια, υποθέστε ότι χρησιμοποιούνται λογικά κυκλώματα. Οι πίνακες δρομολόγησης τώρα έχουν τη μορφή (V,n), όπου V ο αριθμός του νοητού κυκλώματος και n ο αριθμός της θύρας. Για αμφίδρομα λογικά κυκλώματα χρειάζονται δύο εγγραφές, μία προς κάθε κατεύθυνση. Καταγράψτε τους πίνακες δρομολόγησης ανά μεταγωγέα για λογικά κυκλώματα που εγκαταστάθηκαν μεταξύ των ακόλουθων ζευγών host: (A,B), (C,G), (E,H), (D,F), (F,G) και (H,B).



ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Μεταγωγή με πακέτα

S1	S2	S3	S4
A 2	A 1	A 0	A 2
B 1	B 0	B 3	B 2
C 3	C 1	C 0	C 2
D 0	D 1	D 0	D 2
E 1	E 2	E 0	E 2
F 1	F 3	F 0	F 3
G 1	G 0	G 2	G 2
H 1	H 3	H 0	H 0

Συντόμευση του πλήθους εγγραφών των παραπάνω πινάκων

S1	S2	S3	S4
A 2	Αλλού 1	Αλλού 0	Αλλού 2
Αλλού 1	B 0	B 3	F 3
C 3	E 2	G 2	G 2
D 0	E 2		
	F 3		
	G 0		
	H 3		

Μεταγωγή με λογικά κυκλώματα

Έστω n η θύρα εισόδου του λογικού κυκλώματος στον αντίστοιχο μεταγωγέα. Θα μπορούσε να ήταν και η θύρα εξόδου. Η λύση θα ήταν αντίστοιχη.

S1	S2	S3	S4
(A,B) 2	(A,B) 1	(A,B) 0	(A,B) -
(B,A) 1	(B,A) 0	(B,A) 3	(B,A) -
(C,G) 3	(C,G) 1	(C,G) 0	(C,G) -
(G,C) 1	(G,C) 0	(G,C) 2	(G,C) -
(E,H) -	(E,H) 2	(E,H) -	(E,H) 2
(H,E) -	(H,E) 3	(H,E) -	(H,E) 0

ΕΑΠ/ΠΛΗ-22/Εναλλακτικό Διδακτικό Υλικό/Δίκτυα Υπολογιστών/DRAFT

(D,F)	0	(D,F)	1	(D,F)	-	(D,F)	2
(F,D)	1	(F,D)	3	(F,D)	-	(F,D)	3
(F,G)	-	(F,G)	3	(F,G)	0	(F,G)	3
(G,F)	-	(G,F)	0	(G,F)	2	(G,F)	2
(H,B)	-	(H,B)	3	(H,B)	0	(H,B)	0
(B,H)	-	(B,H)	0	(B,H)	3	(B,H)	2

Ότι εμφανίζεται με πύλα δεν αποτελεί εγγραφή του αντίστοιχου πίνακα.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.13

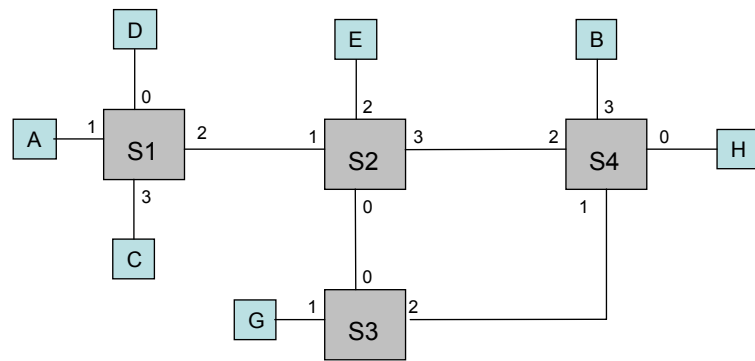
[ΘΕΜΑ 6 Περίοδος 2003-2004 Κανονική Εξέταση]

Για ένα δίκτυο λογικών κυκλωμάτων με 4 μεταγωγείς (S1, S2, S3 και S4), σας δίνονται οι ακόλουθοι πίνακες δρομολόγησης:

S1	S2	S3	S4
A,B,1	A,B,1	C,G,0	A,B,2
C,G,3	C,G,1	G,D,1	E,H,1
G,D,2	G,D,0	E,H,0	H,D,0
H,D,2	E,H,2		
	H,D,3		

Οι πίνακες δρομολόγησης έχουν τη μορφή (S, D, n), όπου για κάθε λογικό κύκλωμα που διέρχεται από τον αντίστοιχο μεταγωγέα, S είναι το όνομα του τερματικού (host) πηγής, D είναι το όνομα του host προορισμού και n ο αριθμός της θύρας εισόδου του λογικού κυκλώματος στον αντίστοιχο μεταγωγέα. Ζητείται να σχεδιαστεί το περιγραφόμενο δίκτυο. Ο σχεδιασμός πρέπει να περιλαμβάνει τους μεταγωγείς με τους αριθμούς των θυρών να σημειώνονται σ' αυτούς, τους hosts και τους συνδέσμους (links), τόσο μεταξύ των μεταγωγέων, όσο και μεταξύ των μεταγωγέων με τους αντίστοιχους hosts.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ



1.3 Υπολογισμός μετρικών απόδοσης δικτύων

Για να υπολογίσουμε την ζητούμενη μετρική απόδοσης ακολουθούμε τον ορισμό της εν λόγω μετρικής ως ακολούθως:

Διαμετακομιστική Ικανότητα: το πλήθος των bits που μπορούν να μεταφερθούν αξιόπιστα μέσα από το δίκτυο σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

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

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.14

[ΘΕΜΑ 5 Περίοδος 2006 - 2007 ΓΕ #5]

Θεωρούμε ότι ένας κόμβος A έχει έτοιμα προς αποστολή, στον κόμβο B, M πακέτα μήκους 1 Mbits($=10^6$ bits). Η μετάδοση μεταξύ των δύο κόμβων γίνεται μέσω 2 ζεύξεων (links) και ενός μεταγωγού (switch). Η 1^η ζεύξη χαρακτηρίζεται από ρυθμό μετάδοσης (διαμετακομιστική ικανότητα, throughput) 1 Gbps, ο μεταγωγός από χρόνο εξυπηρέτησης πακέτου (service time) ίσο με 1 msec και η 2^η ζεύξη από 0,2 Gbps. Ο χρόνος διάδοσης (propagation time) σε κάθε μία από τις 2 ζεύξεις είναι ίσος με 1 msec. Υποθέτουμε ότι ο χρόνος επεξεργασίας (service time) στους κόμβους A και B είναι αμελητέος. Ζητούνται τα ακόλουθα:

(α) Ο ρυθμός μετάδοσης (διαμετακομιστική ικανότητα) πακέτων των 2 ζεύξεων, καθώς και ο ρυθμός εξυπηρέτησης του μεταγωγού σε πακέτα/sec. Επίσης, ο ρυθμός άφιξης πακέτων στον μεταγωγό, στη 2^η ζεύξη και στον κόμβο B.

(β) Η καθυστέρηση (ή χρόνος συστήματος, latency ή delay ή system time) μεταφοράς των M πακέτων από τον κόμβο A στον κόμβο B.

(γ) Ο μέσος χρόνος αναμονής (mean waiting time) ενός πακέτου για τη μετάδοση σε κάθε ζεύξη και για επεξεργασία στον μεταγωγό.

(δ) Να επαναλάβετε τους υπολογισμούς των ερωτημάτων (β) και (γ), θεωρώντας ότι η 1^η ζεύξη έχει ρυθμό μετάδοσης 0,2 Gbps και η 2^η ζεύξη 1 Gbps. Ποιό είναι το συμπέρασμά σας σε σχέση με το μέσο χρόνο αναμονής ενός πακέτου;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Ο ρυθμός μετάδοσης της 1^η ζεύξης σε πακέτα/sec είναι ίσος με 1 Gbps/1 Mb=1000 πακέτα/sec, ο ρυθμός εξυπηρέτησης του μεταγωγού είναι ίσος με 1 /1 msec=1000 πακέτα/sec και ο ρυθμός μετάδοσης της 2^η ζεύξης είναι ίσος με 0,2 Gbps/1 Mb=200 πακέτα/sec. Ο ρυθμός άφιξης πακέτων στον μεταγωγό είναι ίσος με το ρυθμό μετάδοσης (ή εξυπηρέτησης) της 1^η ζεύξης, ο ρυθμός άφιξης στη 2^η ζεύξη είναι ίσος με το ρυθμό εξυπηρέτησης του μεταγωγού και ο ρυθμός άφιξης στον κόμβο Β είναι ίσος με το ρυθμό μετάδοσης της 2^{ης} ζεύξης.

Το πρώτο πακέτο χρειάζεται 1 msec για τη μετάδοσή του στην 1^η ζεύξη και 1 msec χρόνο διάδοσης, ακόμα 1 msec για επεξεργασία στον μεταγωγό και 5 msec για μετάδοση και 1 msec χρόνο διάδοσης στη 2^η ζεύξη μέχρι να φθάσει στον κόμβο Β. Η μετάδοση του 2^{ου} πακέτου στη 2^η ζεύξη ξεκινάει αμέσως με την ολοκλήρωση της μετάδοσης του 1^{ου} πακέτου, δηλαδή αφίκνυται στον κόμβο Β 5 msec μετά την άφιξη του 1^{ου} πακέτου, όπως και κάθε ένα από τα επόμενα πακέτα σε σύγκριση με το προηγούμενο. Έτσι, ο συνολικός χρόνος μεταφοράς των M πακέτων S είναι ίσος με $S=(1 + 1 + 1 + 5 + 1) \text{ msec} + (M-1) 5 \text{ msec} = 9-5+5M=4+5M \text{ msec}$.

Ως προς το χρόνο αναμονής, παρατηρούμε ότι αφού τα M πακέτα είναι έτοιμα προς μετάδοση από τον κόμβο Α στην 1^η ζεύξη, το πρώτο πακέτο χωρίς αναμονή μεταδίδεται, ενώ το 2^ο πακέτο πρέπει να αναμείνει την ολοκλήρωση της μετάδοσης του 1^{ου} πακέτου, το 3^ο πακέτο πρέπει να αναμείνει τη μετάδοση των 2 πρώτων κ.ο.κ. Δηλαδή, για όλα τα πακέτα ο χρόνος αναμονής είναι ίσος με $T_1 = [1 + 2 + 3 + \dots + (M-1)] \text{ msec} = (M-1)M/2 \text{ msec}$.

Στον μεταγωγό δεν απαιτείται αναμονή, αφού μόλις ολοκληρωθεί η επεξεργασία του 1^{ου} πακέτου φθάνει το 2^ο, του οποίου η ολοκλήρωση της επεξεργασίας συμπίπτει με την άφιξη του 3^{ου} πακέτου κ.ο.κ.

Στη 2^η ζεύξη αντίθετα απαιτείται αναμονή των πακέτων. Η άφιξη των πακέτων λαμβάνει χώρα με ρυθμό 1 πακέτο ανά msec, έτσι ενώ το 1^ο πακέτο μεταδίδεται χωρίς αναμονή, το 2^ο πακέτο πρέπει να περιμένει (5-1) msec πριν ξεκινήσει η μετάδοσή του ενώ το 3^ο πακέτο, το οποίο είναι έτοιμο προς μετάδοση 2 msec αφού ξεκίνησε η μετάδοση του 1^{ου} πρέπει να αναμείνει την ολοκλήρωση της μετάδοσης του 1^{ου} πακέτου (3 msec) και τη μετάδοση του 2^{ου} πακέτου κ.ο.κ. Έτσι, ο συνολικός χρόνος αναμονής των πακέτων T_2 για μετάδοση στη 2^η ζεύξη υπολογίζεται ως κατωτέρω (όπου $t = 5 \text{ msec}$ ο χρόνος μετάδοσης ενός πακέτου στη 2^η ζεύξη και $\tau=1 \text{ msec}$ ο χρόνος μεταξύ διαδοχικών αφίξεων πακέτων για μετάδοση στη 2^η ζεύξη):

$T_2 = (0+1+2+\dots+(M-1))t - (0+1+2+\dots+(M-1))\tau = [(M-1)M/2](t-\tau) = 4(M-1)M/2$
msec.

Επομένως ο συνολικός χρόνος αναμονής $T = T_1 + T_2 = 5(M-1)M/2$ msec και ο μέσος χρόνος αναμονής ενός πακέτου $W = T/M = 5(M-1)/2$ msec.

Παρατηρούμε ότι λαμβάνουμε και πάλι χρόνο μεταφοράς των M πακέτων $S = 5M + 4$ msec. Όσο για το χρόνο αναμονής, παρατηρούμε ότι έχουμε αναμονή μόνο στη νέα 1^η ζεύξη που τώρα έχει ρυθμό μετάδοσης 0,2 Gbps. Είναι $T = [0+1+2+\dots+(M-1)]5$ msec = $5(M-1)M/2$ msec και ο μέσος χρόνος αναμονής ενός πακέτου $W = T/M = 5(M-1)/2$ msec.

Συμπεραίνουμε από τα ανωτέρω ότι στην περίπτωση δικτύων σειριακής (αλληλοδιαδοχικής) δομής (tandem network) η επίδοσή τους καθορίζεται από το συστατικό στοιχείο του δικτύου με τον ελάχιστο ρυθμό εξυπηρέτησης ή μετάδοσης (service ή transmission rate), το οποίο αποτελεί τη στένωση του δικτύου (bottleneck), χωρίς να επηρεάζεται από τη θέση του σε αυτό.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.15

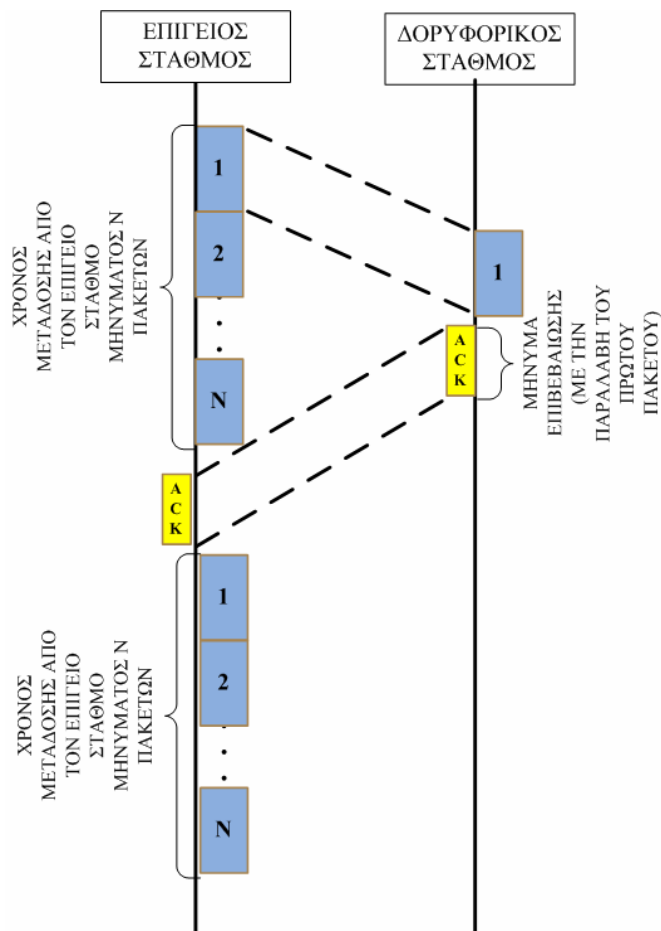
[ΘΕΜΑ 7 Περίοδος 2006-2007 Επαναληπτική Εξέταση]

Επίγειος σταθμός επικοινωνεί με δορυφόρο με σκοπό την μετάδοση δεδομένων. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων τόσο του επίγειου σταθμού όσο και του δορυφόρου είναι 96kbps (όπου 1kb=1000bits).

Τα μηνύματα που μεταδίδονται από τον επίγειο σταθμό στέλνονται σε ομάδες πακέτων (μεταβλητού αριθμού πακέτων ανά ομάδα). Κάθε πακέτο έχει μέγεθος 480bytes (1byte=8bit).

Ο χρόνος διάδοσης μεταξύ δορυφόρου και επίγειου σταθμού είναι 270 msec.

Όταν παραλαμβάνεται το πρώτο πακέτο ομάδας στέλνεται πίσω ένα μήνυμα επιβεβαίωσης 96 bytes για όλη την ομάδα (λειτουργώντας προληπτικά για να πετύχει καλύτερη επίδοση λόγω της μεγάλης απόστασης μεταξύ επίγειου σταθμού και δορυφόρου) και μπορεί άμεσα να ξεκινήσει η αποστολή της επόμενης ομάδας πακέτων (όπως στο ακόλουθο σχήμα).



Να βρείτε:

(α) Να υπολογίσετε τη ρυθμαπόδοση (bps) της σύνδεσης επίγειου σταθμού – δορυφόρου για ομάδες με 6 πακέτα,

(β) Τον αριθμό πακέτων ανά ομάδα σύμφωνα με τον οποίο πετυχαίνουμε συνεχή μετάδοση δεδομένων από τον επίγειο σταθμό

{Υπόδειξη: Για να βρείτε την απάντηση στο ερώτημα (α) βρείτε πρώτα τον ρυθμό μετάδοσης πακέτων (packets/sec) και μετά μετατρέψτε τον σε bits/sec.}

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

(α)

Ο χρόνος αρχίζει να μετράει από $t=0$

Για ομάδα με 6 πακέτα

Για ομάδα 6 πακέτων ο χρόνος μετάδοσης είναι $t_1 = 6 \cdot 8 \cdot 480 / 96000 \text{ sec} = 240 \text{ msec}$. Μετά ο επίγειος σταθμός σταματά να μεταδίδει και περιμένει το πρώτο μήνυμα επιβεβαίωσης. Αυτό το μήνυμα θα φτάσει μετά από τον χρόνο που χρειάζεται το πρώτο πακέτο της ομάδας να φτάσει στον δορυφόρο, να μεταδοθεί και να διαδοθεί το μήνυμα επιβεβαίωσης.

Το πρώτο πακέτο φτάνει στον δορυφόρο μετά από $t_2 = [\text{χρόνος μετάδοσης από επίγειο σταθμό}] + [\text{χρόνος διάδοσης}] = 8 \cdot 480 / 96000 \text{ sec} + 270 \text{ msec} = 310 \text{ msec}$.

Μετά από $t_3 = t_2 + 8 \cdot 96 / 96000 \text{ msec} = 318 \text{ msec}$ μεταδίδεται και το τελευταίο bit μηνύματος επιβεβαίωσης από τον δορυφόρο.

Μετά από $t_4 = t_3 + 270 \text{ msec} = 588 \text{ msec}$ φτάνει στον επίγειο σταθμό η επιβεβαίωση οπότε μπορεί να ξεκινήσει η αποστολή της επόμενης ομάδας πακέτων.

Άρα έχουν μεταδοθεί $6 \cdot 8 \cdot 480 = 23040 \text{ bits}$ σε χρόνο 588 msec , δηλαδή **39,18kbps**

(β)

Για συνεχή μετάδοση

Για συνεχή μετάδοση θα πρέπει ο επίγειος σταθμός να στέλνει πακέτα για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από τα 588 msec ώστε να μην μεσολαβεί καμία παύση μεταξύ μιας ομάδας πακέτων και της επόμενης. Άρα υπολογίζω το ελάχιστο αριθμό πακέτων n όπου $n \cdot 8 \cdot 480 / 96000 \text{ sec} \geq 0,588 \text{ sec} \rightarrow n \geq 14.7$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.16

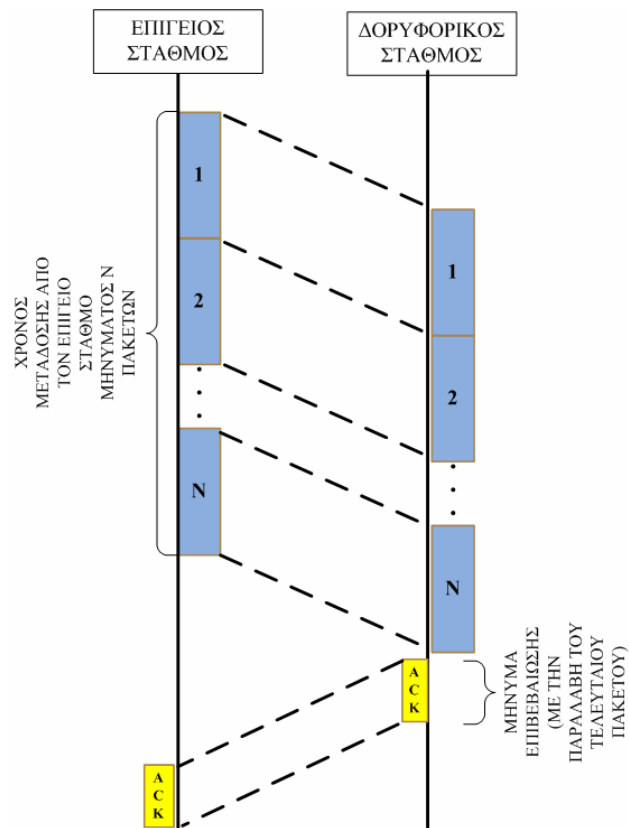
[Θέμα 2 Περίοδος 2007-2008 – ΓΕ#3]

Επίγειος σταθμός επικοινωνεί με δορυφόρο με σκοπό την μετάδοση δεδομένων. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων τόσο του επίγειου σταθμού όσο και του δορυφόρου είναι 96kbps (όπου 1kb=1000bits).

Τα μηνύματα που μεταδίδονται από τον επίγειο σταθμό στέλνονται σε ομάδες πακέτων (μεταβλητού αριθμού πακέτων ανά ομάδα). Κάθε πακέτο έχει μέγεθος 480bytes (1byte=8bits).

Ο χρόνος διάδοσης μεταξύ δορυφόρου και επίγειου σταθμού είναι 270 msec.

Βρείτε την ρυθμαπόδοση (bps) της σύνδεσης επίγειου σταθμού – δορυφόρου για ομάδες με 1 και 6 πακέτα. Επιπρόσθετα, βρείτε το μέγιστο πλήθος πακέτων της ομάδας για την οποία επιτυγχάνεται μέγιστη ρυθμαπόδοση. Όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα, με την παραλαβή του τελευταίου bit του τελευταίου πακέτου της ομάδας ο δορυφόρος στέλνει πίσω ένα μήνυμα επιβεβαίωσης 96 bytes για όλη την ομάδα.



ΑΠΑΝΤΗΣΗ

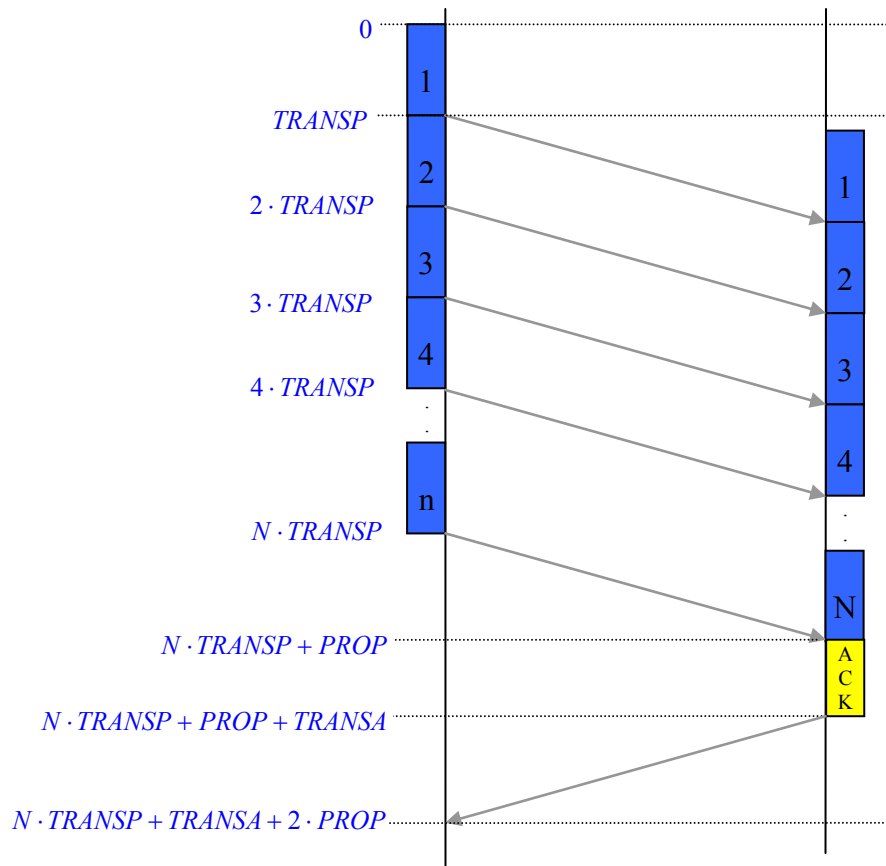
$$R = 96Kbps = 96 \cdot 10^3 \text{ bit}/s$$

$$B_p = 480\text{byte} = 480\text{byte} \cdot 8 \text{ bit}/\text{byte} = 3840\text{bit}$$

$$B_{ACK} = 96\text{byte} = 96\text{byte} \cdot 8 \text{ bit}/\text{byte} = 768\text{bit}$$

$$PROP = 270\text{ms} = 27 \cdot 10^{-2} s$$

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η μετάδοση ομάδας N πακέτων και της επιβεβαίωσης, χωρίς σφάλματα μεταφοράς.



Για ομάδα πακέτων πλήθους N πακέτων, θα ισχύουν τα:

$$\text{TRANSP} = \frac{B_p}{R} = \frac{3840 \text{ bit}}{96 \cdot 10^3 \text{ bit/s}} = 4 \cdot 10^{-2} \cdot \text{s}$$

$$\text{TRANSA} = \frac{B_{\text{ACK}}}{R} = \frac{768 \text{ bit}}{96 \cdot 10^3 \text{ bit/s}} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$S = N \cdot \text{TRANSP} + \text{TRANSA} + 2 \cdot \text{PROP} = 4 \cdot 10^{-2} \cdot N_s + 8 \cdot 10^{-3} \text{ s} + 2 \cdot 27 \cdot 10^{-2} \text{ s} = (4 \cdot N + 54,8) \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

$$n = \frac{N \cdot \text{TRANSP}}{S} = \frac{4 \cdot 10^{-2} \cdot N_s}{(4 \cdot N + 54,8) \cdot 10^{-2} \text{ s}} = \frac{4 \cdot N}{4 \cdot N + 54,8} = \frac{1}{1 + \frac{54,8}{4 \cdot N}} = \frac{1}{1 + \frac{13,7}{N}}$$

$$\Delta I = n \cdot R = \frac{1}{1 + \frac{13,7}{N}} \cdot 96 \cdot 10^3 \text{ bit/s} \Leftrightarrow \Delta I = \frac{96000}{1 + \frac{13,7}{N}} \text{ bps}$$

1) Με βάση την τελευταία σχέση και για ομάδα του ενός πακέτου (N=1):

$$\Delta I = \frac{96000}{1 + \frac{13,7}{1}} \text{ bps} \Leftrightarrow \Delta I = 6.530,6 \text{ bps}$$

2) Για ομάδα των 6 πακέτων:

$$\Delta I = \frac{96000}{1 + \frac{13,7}{6}} \text{ bps} \Leftrightarrow \Delta I = 29.238,6 \text{ bps}$$

Με βάση την τελευταία σχέση, μέγιστη ρυθμαπόδοση (διακομιστική ικανότητα, ΔI) επιτυγχάνεται όταν ελαχιστοποιείται ο παρονομαστής, δηλαδή όταν ελαχιστοποιείται το κλάσμα 13,7/N του παρονομαστή. Συνεπώς μέγιστη ρυθμαπόδοση επιτυγχάνεται όταν μεγιστοποιείται το πλήθος πακέτων ομάδας

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.17

[ΘΕΜΑ 7 Περίοδος 2003 - 2004 ΓΕ #3]

1. Για δίκτυο του 1 Gbps σε απόσταση 4.000 km ο περιοριστικός παράγοντας είναι η καθυστέρηση κι όχι το εύρος ζώνης. Θεωρείστε ένα MAN, στο οποίο ο μέσος αποστολέας και ο μέσος αποδέκτης απέχουν 20 km. Σε ποιον ρυθμό δεδομένων εξισώνεται η καθυστέρηση διάδοσης με επιστροφή (λόγω της ταχύτητας του φωτός) με τον χρόνο μετάδοσης ενός πακέτου του 1 KB;

2. Αν ο τεμαχισμός είναι επιβλαβής, γιατί δεν υποστηρίζουν όλα τα δίκτυα αυθαίρετα μεγάλα πακέτα;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

1. Πράγματι για δίκτυο του 1 Gbps σε απόσταση 4.000 km έχουμε για την μεταφορά ενός bit, χρόνο μετάδοσης ίσο με $1/10^9 = 10^{-9}$ sec και καθυστέρηση διάδοσης ίση με $4/300 = 0,013$ sec, σημαντικά μεγαλύτερη.

Για την μεταφορά ενός πακέτου μεγέθους 1KB = 10^4 bit με ζητούμενο ρυθμό δεδομένων X bit/sec, έχουμε χρόνο μετάδοσης $10^4/X$ sec. Καθυστέρηση διάδοσης ίση με $2/30000$ sec.

Επιθυμούμε $10^4/X = 2 * 2/30000 \Rightarrow \mathbf{X = 75Mb/sec}$.

Σημείωση: Η ταχύτητα διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ισούται με την ταχύτητα του φωτός και είναι ίση με $V = 300.000$ km/sec.

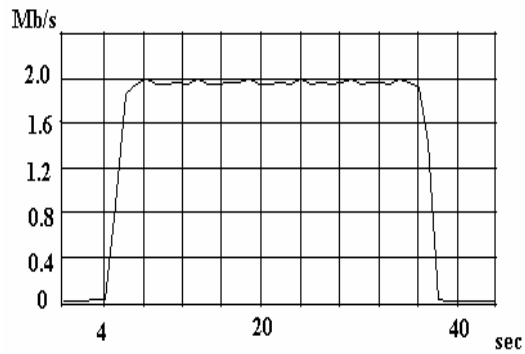
2.

Τα μεγάλα πακέτα θα μείωναν τις ταχύτητες μεταγωγής των δρομολογητών, θα απαιτούσαν μεγαλύτερους αποθηκευτικούς χώρους στα δικτυακά στοιχεία, οι αναμεταδόσεις θα φόρτιζαν σημαντικά το δίκτυο, δύσκολότερη η παροχή ποιότητας υπηρεσίας, κτλ.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.18

[ΘΕΜΑ 3 Περίοδος 2003 - 2004 ΓΕ #3]

Το διάγραμμα απεικονίζει τον χρόνο για την μεταφορά ενός αρχείου μεγέθους 7Mbytes. Ποιά η ρυθμοαπόδοση (throughput) που μετρά ο διαχειριστής; Πόσος έπρεπε να είναι ο χρόνος μεταφοράς για να μετρούσε ο διαχειριστής ρυθμοαπόδοση ίση με 2Mb/s.



ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Παρατηρούμε από το διάγραμμα ότι ο χρόνος μεταφοράς του αρχείου είναι περίπου 34sec. Άρα η ρυθμοαπόδοση που μετρά ο διαχειριστής είναι Throughput = $7*8/34 = 1,65\text{Mb/s}$.

Για να είχαμε Throughput =2Mb/s, θα έπρεπε $t = 7*8/2 = 28\text{sec}$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΟΜΒΩΝ

3.1 Εκτέλεση αλγορίθμου CRC

Βασικές αρχές

- Υπάρχει μια ακολουθία bits γνωστή σε πομπό και δέκτη, ήτοι πολυώνυμο γεννήτορας $G(x)$.
- Η ακολουθία n bits προς μετάδοση (ή καλούμενη διαφορετικά μήνυμα μετάδοσης $M(x)$) αντιστοιχίζεται σε ένα πολυωνύμου $n-1$ βαθμού,

$$\begin{aligned} \text{π.χ } & \overset{8\ 7\ 6\ 5\ 4\ 3\ 2\ 1\ 0}{100000111} \leftrightarrow 1x^8 + 0x^7 + 0x^6 + 0x^5 + 0x^4 + 0x^3 + 1x^2 + 1x^1 + 1x^0 = \\ & = x^8 + x^2 + x + 1 \end{aligned}$$

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

$$\circ \text{ Εκτελούμε τη διαίρεση } \frac{M(x)x^k}{G(x)} \text{ και υπολογίζουμε το}$$

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 $T(x)$.
- 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, ($E(x) = 000000\dots 000$) 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.

- Όλα τα σφάλματα 2 bit αρκεί το $G(x)$ να έχει περισσότερους από 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	0	0	1
$M(x)$														$R(x)$												

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

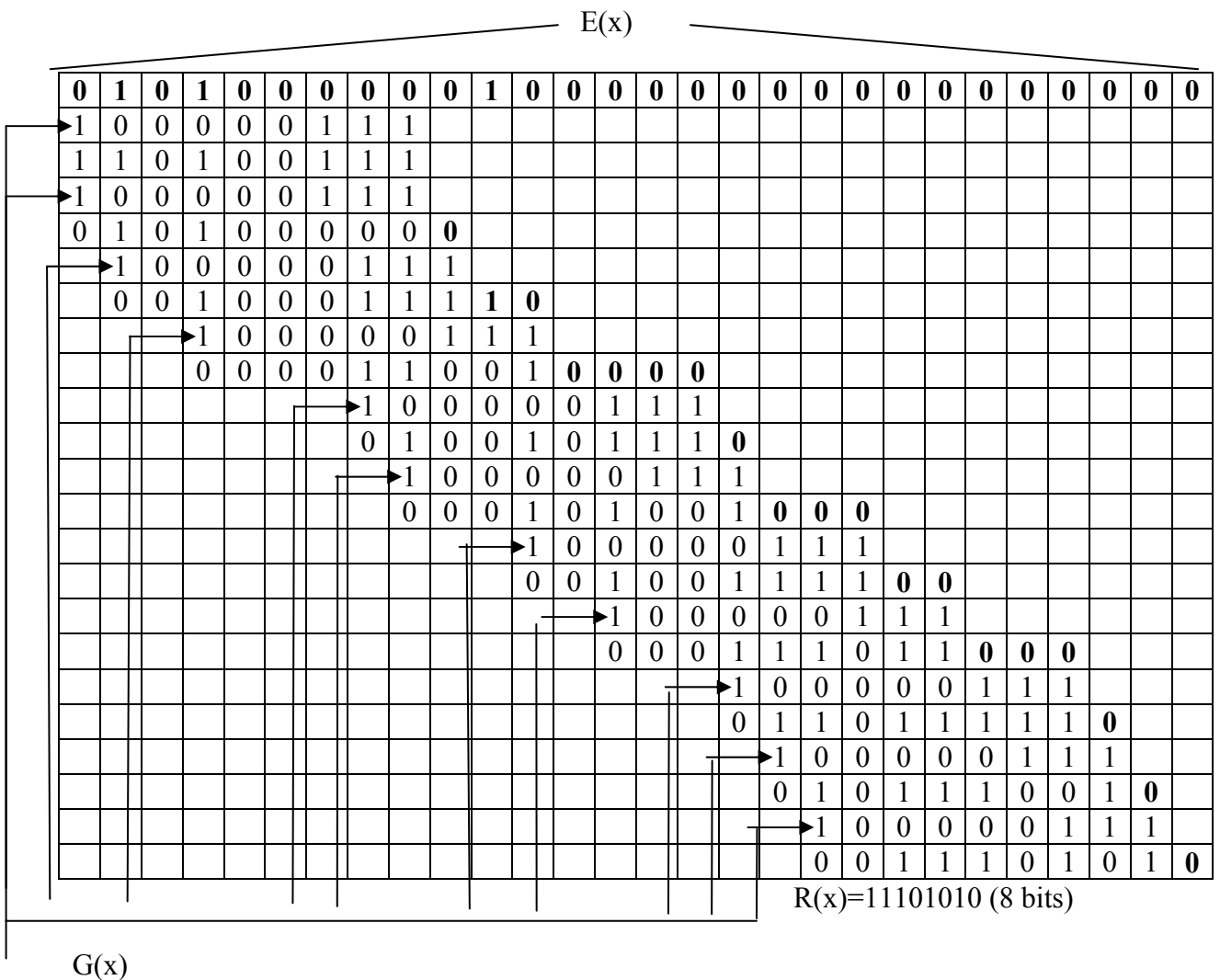
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Και το $T'(x) = T(x) + E(x)$ θα είναι:

1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	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 $\frac{T'(x)}{G(x)} = \frac{T(x) + E(x)}{G(x)} = \frac{T(x)}{G(x)} + \frac{E(x)}{G(x)}$



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.2

[ΘΕΜΑ 5 Περίοδος 2003 - 2004 ΓΕ #3]

Έστω ότι θέλετε να μεταφέρετε τα δεδομένα 1101001101001110101 και θέλετε να τα προστατέψετε από τα σφάλματα μεταφοράς εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο CRC με πολυώνυμο γεννήτορα το CRC-10.

(α) Ποιό το μήνυμα που θα αποστείλετε στο δίκτυο;

(β) Εάν αλλοιωθούν κατά την μεταφορά το δεύτερο, το τέταρτο και το ενδέκατο bit του μηνύματος, ποιό θα είναι το υπόλοιπο της διαίρεσης του μηνύματος με το πολυώνυμο γεννήτορα στον παραλήπτη; Τι παρατηρείτε;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

α) $M(x)=1101001101001110101$, πολυώνυμο γεννήτορας **CRC-10=11000110011**
το οποίο είναι βαθμού $k=10$ οπότε $M(x) x^k= 11010011010011101010000000000$.
Διαιρούμε με το πολυώνυμο γεννήτορα και έχουμε:

Το υπόλοιπο της διαίρεσης είναι $R(x)=10100010$. Το μήνυμα που τελικά αποστέλλεται στο δίκτυο είναι

$$T(x) = M(x)x^k + R(x) = 11010011010011101010010100010.$$

β) Εάν υπάρξει αλλοίωση κατά τη μεταφορά στο δεύτερο, τέταρτο και ενδέκατο bit του μηνύματος στη διαίρεση του λανθασμένου $T(x)$ θα βρούμε το παρακάτω υπόλοιπο:

Το υπόλοιπο της διαίρεσης είναι $R(x)=11110110$, διαφορετικό από το 0, άρα υπάρχει σφάλμα κατά τη μεταφορά.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.3

[ΘΕΜΑ 5 Περίοδος 2002 - 2003 ΓΕ #3]

Υπολογίστε τα bits ανίχνευσης σφάλματος CRC για $G=1001$ και $M=10010010011$. Αποτελεί η τιμή $G=1001$ μία καλή επιλογή για τον υπολογισμό του CRC?

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Η εφαρμογή του υπολογισμού CRC μας δίνει $R(x)=001$. Το συγκεκριμένο πολυώνυμο γεννήτορας μπορεί να ανιχνεύσει:

- Σφάλματα μονού bit εφόσον οι όροι x^k και x^0 είναι μη μηδενικοί.
- Σφάλματα (τυχαία καταναμημένα - random) περιττού πλήθους εφόσον ο γεννήτορας έχει παράγοντα τον όρο $(x+1)$
- Σφάλματα 1-2-3 bits σε ριπή (διαδοχικά) ή αναδιπλούμενης στα άκρα ριπής

Δεν μπορεί να ανιχνεύσει σφάλματα διπλού (random) bit εφόσον δεν περιέχει τρεις μη μηδενικούς όρους.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.4

[Θέμα 2 Περίοδος 2005 - 2006 ΓΕ #3]

Τηλεπικοινωνιακός φορέας παρέχει πρωτόκολλο πλαισίωσης όπου οι χρήστες μπορούν να καθορίζουν τις δικές τους σημαίες για την αρχή και το τέλος των προς μετάδοση πλαισίων. Υποθέστε ότι ο χρήστης χρησιμοποιεί σημαία 8bits, της μορφής “aSbc”, όπου τα a, b και c είναι αυθαίρετα bit και S είναι ένας τυχαίος συνδυασμός των 5bits. Ο τηλεπικοινωνιακός φορέας καθιερώνει τον εξής κανόνα: όταν απαντάται ο συνδυασμός S στα προς μετάδοση πλαίσια, τότε παραγемίζεται ένα bit συμπλήρωμα του b μετά από το S. Σημειώστε ότι ο κανόνας παραγемισμού του τηλεπικοινωνιακού φορέα μοιάζει με τον κανόνα παραγемισμού του HDLC.

Έστω σημαία 00100000, και 0010000000000000 το προς μετάδοση πλαίσιο του χρήστη. Εφαρμόζοντας τον άνω κανόνα, ποιά η ακολουθία των bits που θα μεταδωθεί στο δίκτυο; Τι παρατηρείτε; Ποιά τα αντίστοιχα αποτελέσματα για σημαία 00000000;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Εφαρμόζοντας τον κανόνα προκύπτει η ακολουθία 001000100000000000. Παρατηρούμε ότι το bit παραγεμίσματος δημιουργεί ένα νέο συρμό από 8 bits που ταιριάζει στην σημαία. Συνεπώς, για αυτή την σημαία, ο άνω κανόνας αποτυγχάνει.

Για σημαία 00000000, προκύπτει η ακολουθία 001000001000001000. Παρατηρούμε ότι σ' αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει πρόβλημα με το προς αποστολή πλαίσιο.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.5

[Θέμα 1 Περίοδος 2005 - 2006 ΓΕ #3]

Έστω ένας κόμβος A ο οποίος μεταδίδει δεδομένα, $M(x)$, μήκους 10 bits πάνω από ένα ασύρματο κανάλι σε ένα κόμβο B. Επειδή το κανάλι έχει θόρυβο το καθένα από αυτά τα δεδομένα προστατεύεται από σφάλματα μεταφοράς με την προσθήκη του κυκλικού πλεονασμού (CRC) χρησιμοποιώντας το πολυώνυμο γεννήτορα $G(x)=x^5+x^4+x+1$.

A) Υποθέστε ότι ο κόμβος θέλει να στείλει τα δεδομένα $M_1(x)$ και $M_2(x)$, στα οποία αφού προστεθεί ο κυκλικός πλεονασμός μεταδίδονται ως μηνύματα $T_1(x)$ και $T_2(x)$ πάνω από το ασύρματο κανάλι. Εάν κατά τη στιγμή της μετάδοσης στο μεταδιδόμενο μήνυμα $T_1(x)$ υπεισέρχεται θόρυβος $E_1(x)=100000010000001$, ενώ στο μήνυμα $T_2(x)$, υπεισέρχεται θόρυβος $E_2(x)=100000001110011$ να βρείτε εάν ο παραλήπτης κόμβος έχει τη δυνατότητα εντοπισμού του λάθους που υπεισέρχεται λόγω θορύβου στο κάθε ένα από τα μηνύματα.

B) Μεταξύ των κόμβων A και B επιπρόσθετα με το CRC χρησιμοποιείται και το πρωτόκολλο GoBackN, $N=32$. Υποθέστε επίσης ότι η χρήση του CRC συνδυάζεται και με κάποιο κώδικα διόρθωσης σφαλμάτων ο οποίος μείωσε τα σφάλματα μετάδοσης πακέτων σχεδόν στο 0. Να βρεθεί ποια είναι η απόδοση του πρωτοκόλλου, αν γνωρίζετε ότι η επικεφαλίδα του πακέτου που περιέχει τα δεδομένα είναι 10 bits, τα πλεονάζοντα bit που προσθέτει ο κώδικας διόρθωσης είναι 5 bits, η απόσταση μεταξύ των κόμβων A και B είναι 3×10^4 Km, ο ρυθμός μετάδοσης των κόμβων A και B είναι 5 Kbits/sec, το μέγεθος της επιβεβαίωσης είναι 20 bits, ενώ η ταχύτητα διάδοσης είναι 3×10^5 km/sec.

Γ) Εάν υποθέσουμε ότι καταργούμε τη χρήση του κώδικα διόρθωσης σφαλμάτων (άρα των πλεονάζοντων bit) μεταξύ των κόμβων A και B και ότι αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η πιθανότητα ένα πακέτο να μεταδοθεί με σφάλμα να είναι ίση με 0.10, να βρείτε σε ποια από τις δύο περιπτώσεις (με κώδικα διόρθωσης από το ερώτημα B, ή χωρίς κώδικα διόρθωσης) επιτυγχάνεται καλύτερος **ρυθμός ροής** (bits/sec) των δεδομένων, $M(x)$. Θεωρείστε ότι ο χρόνος εκπνοής προθεσμίας αναμετάδοσης πακέτου T, είναι ίσος με τον χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής, S.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Α.

Εφόσον χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος CRC και με δεδομένο ότι το πολυώνυμο γεννήτορας είναι 5^{00} βαθμού ($\kappa=5$), το μήνυμα $T(x)$ που θα μεταδοθεί τελικά πάνω από το ασύρματο κανάλι μετά και την προσθήκη του κυκλικού πλεονασμού $R(x)$, θα αποτελείται από 15 bits εφόσον $T(x)=M(x)*x^5+R(x)$. Το μήνυμα $T(x)$ λόγω κατασκευής όταν διαιρεθεί με το πολυώνυμο γεννήτορας $G(x)$, 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

$$T'(x) = T(x) + E(x) \quad (1)$$

Εάν διαιρέσουμε τη σχέση (1) με το $G(x)$ και με δεδομένο ότι $T(x)/G(x)=0$ προκύπτει ότι

$$T'(x)/G(x) = E(x)/G(x) \quad (2)$$

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: $E_1(x)=100000010000001$

α! Τρόπος

Παρατηρούμε ότι το πολυώνυμο γεννήτορας περιέχει τον όρο $(x+1)$ και ότι τα σφάλματα είναι περιττού πλήθους. Άρα ο αλγόριθμος CRC είναι σε θέση να εντοπίσει την ύπαρξη σφάλματος (βλ. σελ. 82 του Τόμου Γ)

β! Τρόπος

Εκτελούμε την διαίρεση $E_1(x)/G(x)$ όπως παρακάτω όπου διαπιστώνουμε ότι το υπόλοιπο είναι 1101 και άρα διάφορο του μηδενός. Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμος είναι σε θέση να εντοπίσει το λάθος.

1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
1	1	0	0	1	1	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
	1	0	0	1	1	0											
	1	1	0	0	1	1											
		1	0	1	0	1	1										
		1	1	0	0	1	1		↓	↓	↓	↓					
			1	1	0	0	0	0									
			1	1	0	0	1	1									
								1	1	0	0	0	0				
								1	1	0	0	1	1				
														1	1	0	1

Περίπτωση 2^η: $E_2(x)=100000001110011$

Σε αυτή την περίπτωση δεν γνωρίζουμε τη δυνατότητα του αλγορίθμου λόγω του ότι το πλήθος των σφαλμάτων είναι ζυγός αριθμός οπότε αναγκαστικά θα κάνουμε τη διαίρεση $E(x)/G(x)$ όπως παρακάτω.

1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1			
1	1	0	0	1	1	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓			
	1	0	0	1	1	0											
	1	1	0	0	1	1											
		1	0	1	0	1	0										
		1	1	0	0	1	1		↓	↓	↓	↓	↓	↓			
			1	1	0	0	1	1									
			1	1	0	0	1	1									
								0	0	0	0	0	0				
										1	1	0	0	1	1		
										1	1	0	0	1	1		
														0	0	0	0

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

B.

Τα πακέτα που μεταδίδονται μεταξύ των Α και Β έχουν μήκος

$P_1 = \text{Μήκος Επικεφαλίδας} + \text{Μήκος Δεδομένων} + \text{Μήκος CRC} + \text{Μήκος Πλεοναζόντων bits Κώδικα Διόρθωσης} \Rightarrow$

$$P_1 = 10 + 10 + 5 + 5 = 30 \text{ bits} \quad (3)$$

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

$$S_1 = \text{TRANSP}_1 + \text{TRANSA} + 2 * \text{PROP} \quad (4)$$

$$\text{TRANSP}_1 = P_1 \text{ bits}/5\text{Kbps} = 30 \text{ bits}/5 \text{ Kbps} = 0.006 \text{ sec} \quad (5)$$

$$\text{TRANSA} = 20 \text{ bits}/5 \text{ Kbps} = 0.004 \text{ sec} \quad (6)$$

$$\text{PROP} = 3 * 10^4 / 3 * 10^5 \text{ sec} = 0.1 \text{ sec} \quad (7)$$

Αντικαθιστώντας τις (5)-(7) στην (4) έχουμε,

$$S_1 = 0.006 + 0.004 + 2 * 0.1 = 0.01 + 0.2 = 0.210 \text{ sec} \quad (8)$$

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

$$\eta_{GBN} = \min \left\{ 1, \frac{N \times \text{TRANSP}_1}{S_1} \right\} = \min \left\{ 1, \frac{32 \times 0,006}{0,210} \right\} = 0,914 \quad (9)$$

Γ.

Εφόσον καταργήθηκε η χρήση του κώδικα διόρθωσης λαθών άρα και τα επιπρόσθετα bits που χρησιμοποιούνταν στο κάθε πακέτο σημαίνει ότι το νέο μήκος των πακέτων που μεταδίδονται μεταξύ των Α και Β έχουν μήκος

$P_2 = \text{Μήκος Επικεφαλίδας} + \text{Μήκος Δεδομένων} + \text{Μήκος CRC} \Rightarrow$

$$P_2 = 10 + 10 + 5 = 25 \text{ bits} \quad (10)$$

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

$$S_2 = \text{TRANSP}_2 + \text{TRANSA} + 2 * \text{PROP} \quad (11)$$

$$\text{TRANSP}_2 = P_2 \text{ bits}/5\text{Kbps} = 25 \text{ bits}/5 \text{ Kbps} = 0.005 \text{ sec} \quad (12)$$

$$\text{TRANSA} = 20 \text{ bits}/5 \text{ Kbps} = 0.004 \text{ sec} \quad (13)$$

$$\text{PROP} = 3 * 10^4 / 3 * 10^5 \text{ sec} = 0.1 \text{ sec} \quad (14)$$

Αντικαθιστώντας τις (12)-(14) στην (11) έχουμε,

$$S_2 = 0.009 + 0.2 = 0.209 \text{ sec} \quad (15)$$

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (4.7) του βιβλίου και αντικαθιστώντας σε αυτή τις τιμές από τις εξισώσεις (12) και (15) αφού $T=S$, έχουμε

$$E[X] = \text{TRANSP}_2 + T * (1-p) / p \Rightarrow$$

$$E[X] = 0.005 + 0.209 * (1-0,9) / 0,9 \Rightarrow$$

$$E[X] = 0.0282 \text{ sec} \quad (16)$$

Από την (16) προκύπτει ότι ο ρυθμός ροής πακέτων λ_2 (χωρίς CRC) είναι

$$\lambda_2 = 1/E[X] = 35,43 \text{ πακέτα/sec} \quad (17)$$

Άρα ο ρυθμός ροής δεδομένων $\lambda_{2M(x)}$ είναι

$$\lambda_{2M(x)} = 35,43 * 10 \text{ bits/sec} = 354 \text{ bits/sec} \quad (18)$$

Στην περίπτωση όπου έχουμε προσθέσει πλεονάζοντα bits λόγω της ύπαρξης κώδικα διόρθωσης λαθών όπως προκύπτει από το ερώτημα (ii) ο ρυθμός ροής πακέτων λ_1 (με CRC) είναι

$$\lambda_1 = 32/S_1 = 32/0,210 \text{ πακέτα/sec} = 152,38 \text{ πακέτα/sec} \quad (19)$$

|

Παρατηρείστε εδώ ότι στο ίδιο αποτέλεσμα με την (19) θα καταλήγαμε εάν παρατηρούσαμε τα εξής:

$$1/TRANSP_1 = 1/0.006 = 166,6 \text{ πακέτα/sec} \quad (19a)$$

αποτελεί το ρυθμό ροής πακέτων από μια πηγή η οποία μεταδίδει χωρίς σφάλματα και με μέγεθος παραθύρου τέτοιο ώστε η απόδοση να είναι 100% (δηλαδή $N \geq 35$). Επειδή όμως η απόδοση του πρωτοκόλλου με μέγεθος 32 είναι 0.914 (βλ. εξίσωση 9) άρα και ο ρυθμός ροής λ_1 θα είναι

$$\lambda_1 = 0.914 * (1/TRANSP_1)^{(19a)} = 0.914 * 166,6 = 152,38 \text{ πακέτα/sec}$$

|

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο ρυθμός ροής δεδομένων $\lambda_{1M(x)}$ είναι

$$\lambda_{1M(x)} = 152,38 * 10 \text{ bits/sec} = 1523,8 \text{ bits/sec} \quad (20)$$

Από τις σχέσεις (18) και (20) συμπεραίνουμε ότι καλύτερος ρυθμός ροής επιτυγχάνεται στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται ο κώδικας διόρθωσης λαθών παρόλο που το πλήθος των πλεοναζόντων bits είναι ίσο με το 50% του πλήθους των bits των δεδομένων αφού με αυτά αποφεύγονται οι επαναμεταδόσεις.

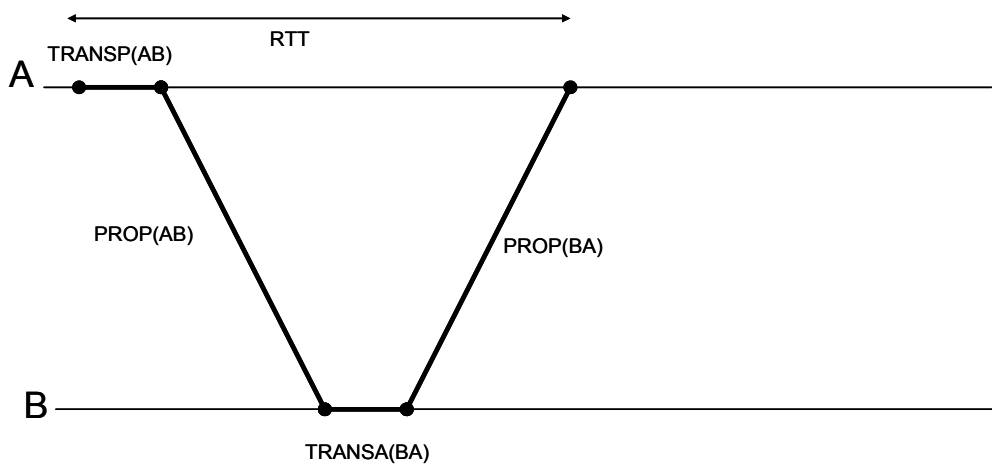
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΑΝΕΚΠΙΟΜΠΗΣ

4.1 Πρωτόκολλο ABP ή “Stop’n’Wait” ή “εναλλασσόμενου bit”

χωρίς σφάλματα μετάδοσης

Η καθυστέρηση μεταφοράς είναι ο χρόνος που απαιτείται για την μεταφορά δεδομένων από το ένα άκρο του δικτύου στο άλλο άκρο του δικτύου και υπολογίζεται από το άθροισμα

Καθυστέρηση Μεταφοράς=Χρόνος Διάδοσης(PROP)+Χρόνος Μετάδοσης(TRANSP ή TRANSA)+Χρόνος Αναμονής



Ο χρόνος αποστολής πακέτου δεδομένων και επιστροφής επιβεβαίωσης (Round Trip Time) όπως δείχνεται στο παραπάνω σχήμα δίνεται ως

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

Η απόδοση της ABP χωρίς σφάλματα θα είναι ίση με

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

Συμπληρωματικά ο ρυθμός ροής πακέτων:

$$\lambda = 1 \text{ πακέτο κάθε RTT sec} = \frac{1}{\text{RTT}} \frac{\text{πακέτο}}{\text{sec}}$$

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

ΠΡΟΣΟΧΗ! Στο βιβλίο χρησιμοποιείται η σύμβαση 1kbps=1024 bps και 1Mbps=1024² bps. Για τις ασκήσεις προτιμότερη είναι η σύμβαση 1kbps=10³ bps και 1Mbps=10⁶ bps. Και οι 2 συμβάσεις είναι σωστές.

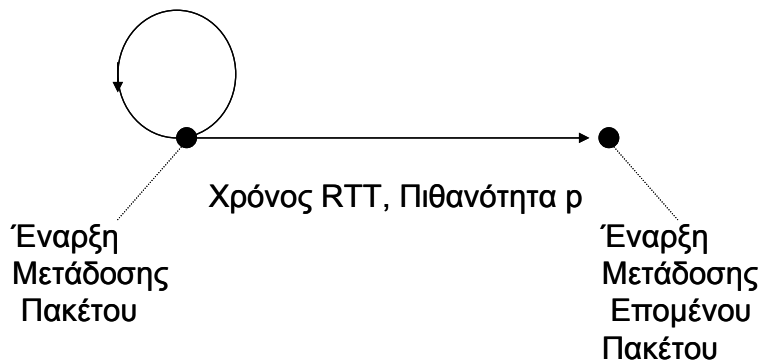
4.2 Πρωτόκολλο ABP ή “Stop’n’Wait” ή “εναλλασσόμενου bit” με σφάλματα μετάδοσης

Αν πιθανότητα να μεταδοθεί σωστά ένα πακέτο και να ληφθεί εμπρόθεσμα η επιβεβαίωσή του είναι μικρότερη του 1, $p < 100\%$ (μετάδοση με σφάλματα), τότε γίνεται επανεκπομπή του πακέτου μετά από κάποιο χρόνο αναμονής.

Μέσος Χρόνος Αποστολής πακέτου όπως εκφράζεται και στο παρακάτω σχήμα είναι $E(x) = p \cdot RTT + (1-p)[T + E(x)]$.

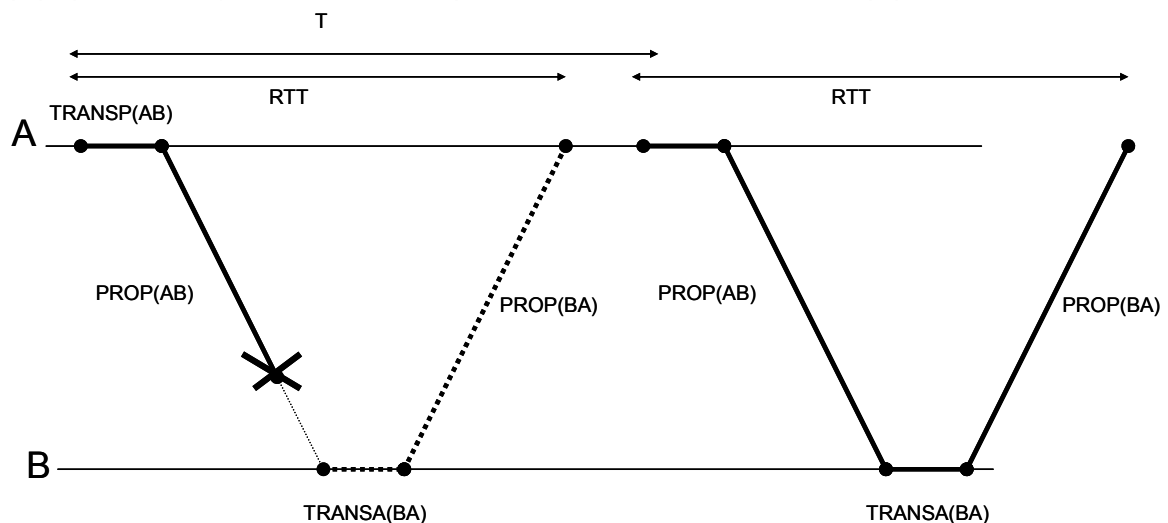
Αν αποτύχει η μετάδοση (κάτι που ο αποστολέας αντιλαμβάνεται μετά χρόνο T), ο μέσος χρόνος για την επιτυχή επανεκπομπή θα είναι πάλι E(x), διότι η διαδικασία επανεκπομπής δεν έχει μνήμη και η πιθανότητα επιτυχίας της δεν εξαρτάται από το τι συνέβη πριν.

Χρόνος T, Πιθανότητα 1-p



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

Η συμπεριφορά του συστήματος μετάδοσης δεδομένων από σημείο A στο B με την χρήση ABP με σφάλματα μετάδοσης επιδεικνύεται στο ακόλουθο σχήμα

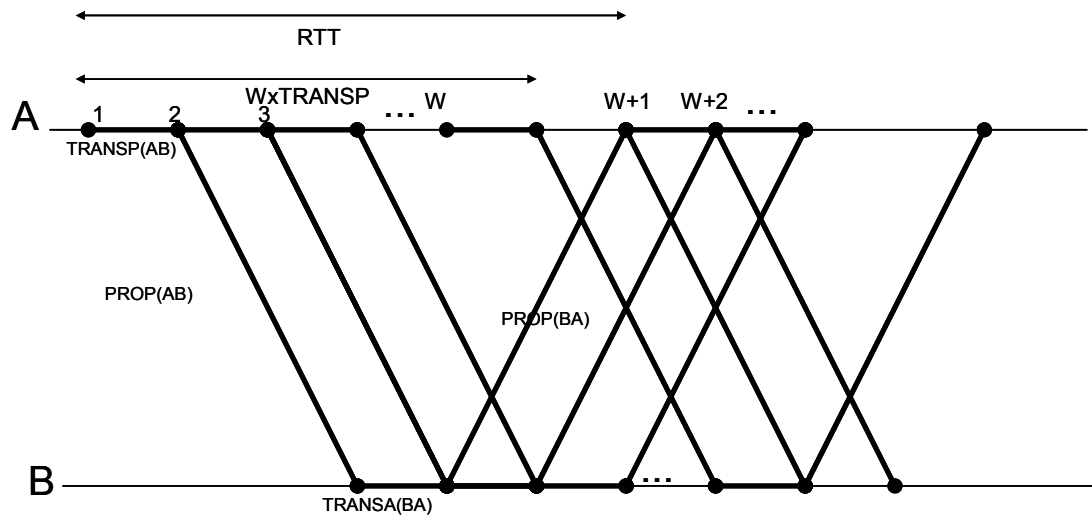


Και η απόδοση θα είναι $n_{ABP} = \frac{TRANSP}{E(x)} = \frac{TRANSP}{RTT + T \frac{1-p}{p}}$

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

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

4.3 Πρωτόκολλο Go Back N ή “Sliding Window” χωρίς σφάλματα μετάδοσης



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:

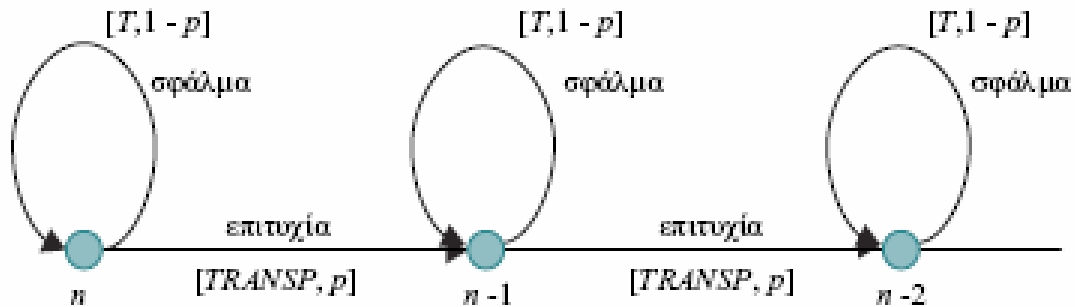
$$n_{GBN} = \frac{W \cdot \text{TRANSP}(AB)}{S} = W \cdot n_{ABP}$$

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

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

4.4 Πρωτόκολλο Go Back N ή “Sliding Window” με σφάλματα μετάδοσης

Αν έχουμε σφάλματα μετάδοσης τότε το πρωτόκολλο εξελίσσεται όπως στο ακόλουθο σχήμα



Οπότε ο Μέσος Χρόνος Αποστολής πακέτου

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

Η απόδοση του πρωτοκόλλου για μέγεθος παράθυρου W είναι

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

Αν ο χρόνος προθεσμίας είναι ίσος με εκείνη την τιμή του χρόνου μετάβασης μετ' επιστροφής που δίνει απόδοση 100% απουσία σφάλματος, δηλαδή $T = W \times TRANSP$, τότε η απόδοση υπολογίζεται σαν

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

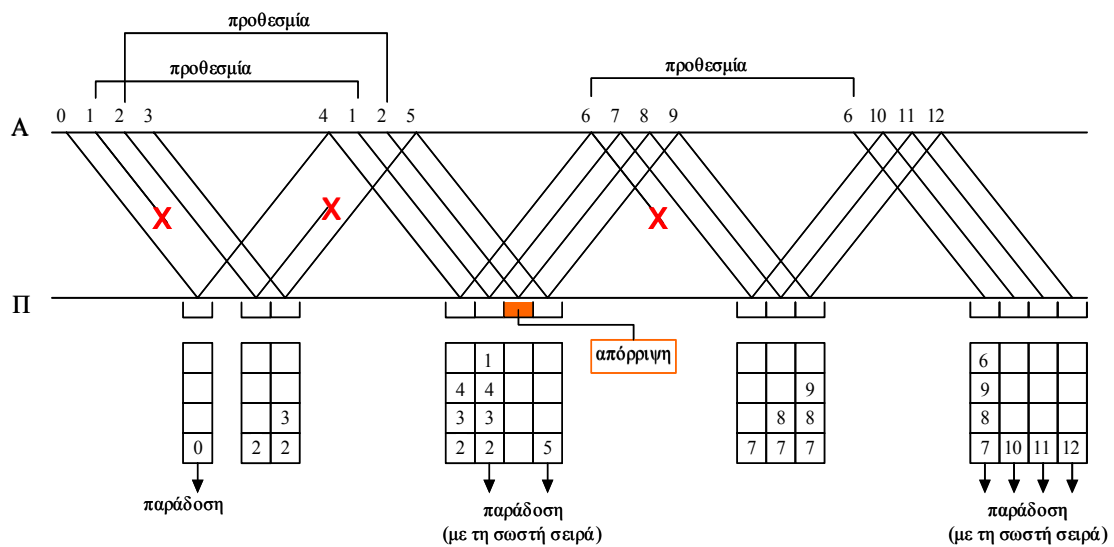
Επίσης ο μέσος ρυθμός ροής πακέτων: $\lambda = 1 \text{ πακέτο κάθε } E(x) \text{ sec} = \frac{1}{E(x)} \frac{\text{πακέτα}}{\text{sec}}$

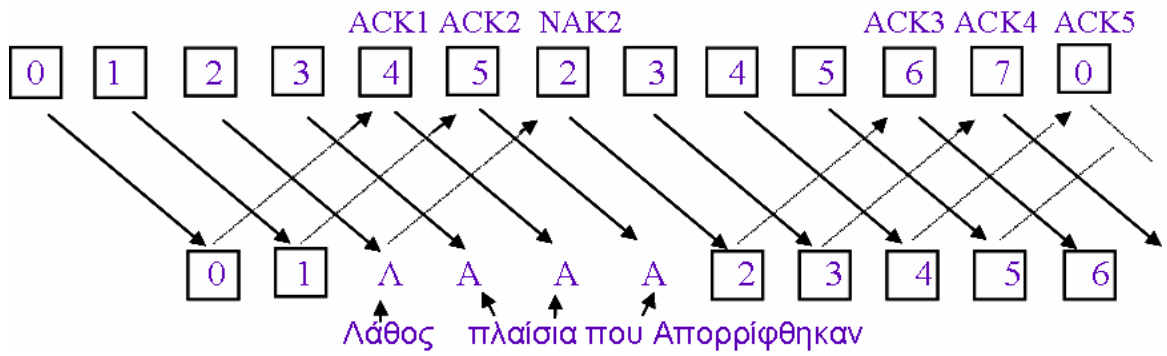
4.5 Πρωτόκολλο Selective Repeat

Το πρωτόκολλο επιλεκτικής επανάληψης βασίζεται στους μηχανισμούς επιβεβαίωσης λήψης και χρόνου προθεσμίας και επιτρέπει σε περισσότερα από ένα ανεπιβεβαίωτα πλαίσια να βρίσκονται κάθε στιγμή υπό μεταφορά.

Χρησιμοποιεί έναν ενταμιευτή στον αποστολέα, για να αποθηκεύει προσωρινά τα ανεπιβεβαίωτα πλαίσια.

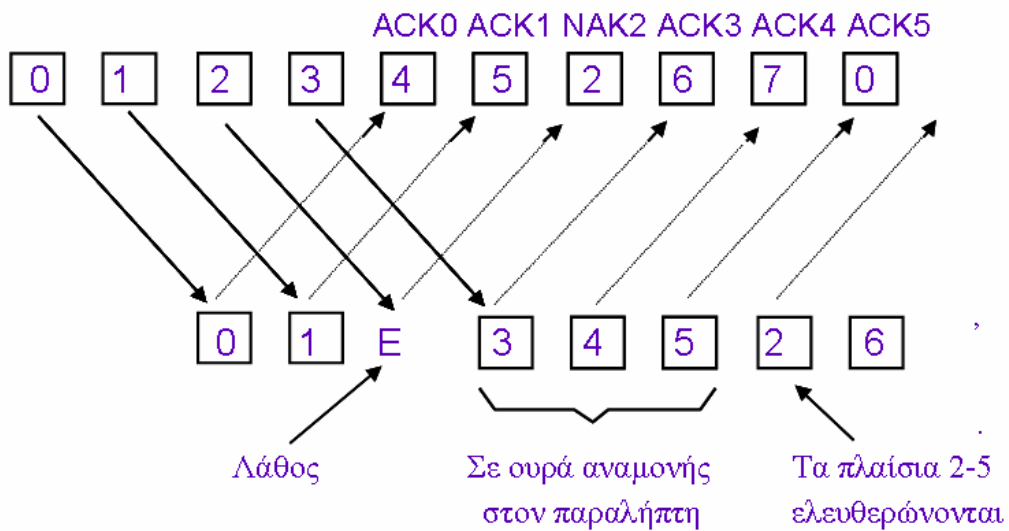
Χρησιμοποιεί προσωρινό ενταμιευτή και στον παραλήπτη κόμβο, στον οποίο αποθηκεύονται τα πλαίσια που λαμβάνονται εκτός σειράς, μέχρις ότου έρθει η στιγμή για να προωθηθούν προς περαιτέρω επεξεργασία. Και αυτή η στιγμή έρχεται, όταν ο παραλήπτης λαμβάνει τα πλαίσια που έλειπαν από την επιθυμητή διάταξη.





Selective-repeat

Μόνο τα πλαίσια με σφάλμα ή με εκπρόθεσμη παράδοση ξαναμεταδίδονται.



4.7 Μεθοδολογία και Παραδείγματα

- Υπολογισμός μήκους πακέτου σε bits
 - Επικεφαλίδα, κύριο μέρος, bits ελέγχου, σημαίες, άλλα.
- Υπολογισμός του χρόνου μετάβασης μετ' επιστροφής (RTT), S
 - Ελέγχουμε τη διαδρομή που ακολουθεί ένα πακέτο και η επιβεβαίωσή του και υπολογίζουμε όλες τις δυνατές καθυστερήσεις (χρόνοι μετάδοσης πακέτου, διάδοσης πακέτου, επεξεργασίας πακέτου, μετάδοσης, διάδοσης και επεξεργασίας επιβεβαίωσης), με βάση τα δεδομένα της άσκησης.
 - Προσοχή στις διαδρομές που ακολουθούν τα πακέτα και οι επιβεβαιώσεις. Είναι δυνατόν να είναι διαφορετικές οπότε λαμβάνουμε υπόψη μας τις διαφορές που υπάρχουν στην κάθε περίπτωση αναφορικά με τα είδη των χρόνων
- Εφαρμογή των τύπων απόδοσης πρωτοκόλλων για τον υπολογισμό $E[X]$ του μέσου χρόνου μετάδοσης μεταξύ δύο διαδοχικών πακέτων
 - Προσοχή στη διάκριση μεταξύ χρόνου επανεκπομπής T και RTT, S. Είναι δυνατόν να είναι διαφορετικοί
- Υπολογισμός ρυθμού ροής λ
 - $1/E[X]$ packets/sec
- Πιθανότητες λάθους μετάδοσης πακέτων
 - Είτε θα σας δίνονται από την άσκηση
 - Είτε θα σας δίνονται πληροφορίες για τον υπολογισμό τους
 - Οι πιθανότητες που αναφέρονται στο βιβλίο σας ισχύουν μεταξύ των σημείων που εφαρμόζεται το πρωτόκολλο επανεκπομπής, δηλαδή έχουν την έννοια της **πιθανότητας επιτυχούς μετάδοσης μετ' επιστροφής**, δηλαδή επιτυχούς μετάδοσης και του πακέτου και της επιβεβαίωσης.
 - Αν μεσολαβούν ζεύξεις οι οποίες είναι δυνατόν να μεταδώσουν το πακέτο με λάθος (συνήθως αναφέρεται ως PER – Packet Error Rate) τότε αυτές οι πιθανότητες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για το συνολικό υπολογισμό της **πιθανότητας επιτυχούς μετάδοσης μετ' επιστροφής**.

4.7.1 Υπολογισμός χρησιμοποίησης (utilization) ξεύξης με ABP και GBNa

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.1

[ΘΕΜΑ 1 Περίοδος 2003 - 2004 ΓΕ #5]

Θεωρείστε ότι χρησιμοποιούνται πλαίσια των 1000 bits σε ένα δορυφορικό κύκλωμα 1 Mbps, με καθυστέρηση 270 msec. Ποιο είναι το μέγιστο του παράγοντα χρησιμοποίησης (utilization) της ζεύξης για

1. Έλεγχο Stop-and-wait ,
2. Έλεγχο διαρκούς ροής με μέγεθος παραθύρου 7,
3. Έλεγχο διαρκούς ροής με μέγεθος παραθύρου 127,
4. Έλεγχο διαρκούς ροής με μέγεθος παραθύρου 255.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Ο χρόνος μετάδοσης του πλαισίου μέσω του δορυφορικού κυκλώματος είναι

$$TRANSP = \frac{1000bits}{1Mbps} = 0,001sec = 1m sec$$

Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά πλαισίου και την μετάδοση της επιβεβαίωσης στο δορυφορικό κύκλωμα είναι:

$$S = TRANSP + TRANSA + 2 * PROP = 270 + 270 + 2 = 542m sec$$

Επομένως

1. Έλεγχο Stop-and-wait ,

Με βάση το πρωτόκολλο Stop-and-Wait για να σταλεί το επόμενο πακέτο θα πρέπει να περάσουν 542 msec.

$$U = \frac{1m sec}{542m sec} \approx 0,001845 \text{ ή } 0,1845\%$$

2. Έλεγχο διαρκούς ροής με μέγεθος παραθύρου W=7,

$$U = \frac{7m sec}{542m sec} \approx 0,012915 \text{ ή } 1,2915\%$$

3. Έλεγχο διαρκούς ροής με μέγεθος παραθύρου W=127,

$$U = \frac{127m sec}{542m sec} \approx 0,2343 \text{ ή } 23,43\%$$

4. Έλεγχο διαρκούς ροής με μέγεθος παραθύρου W=255.

$$U = \frac{255m sec}{542m sec} \approx 0,4704 \text{ ή } 47,04\%$$

4.7.2 Υπολογισμός χρόνου μετάδοσης S για ξεύξη με ABP και λάθη

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.2

[ΘΕΜΑ 3 Περίοδος 2002 - 2003 ΓΕ #3]

Οι κόμβοι Α και Β χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο ABP. Ο χρόνος που απαιτείται για την αποστολή ενός πακέτου από το Α στο Β ή ενός ACK από το Β στο Α είναι T . Οι επιβεβαιώσεις (ACK) στέλνονται αμέσως μετά την ορθή λήψη πακέτων. Ο χρόνος επεξεργασίας είναι αμελητέος. Ο χρόνος μετάδοσης ενός πακέτου είναι TRANSP ενώ ο χρόνος μετάδοσης της επιβεβαίωσης ACK είναι TRANSA. Ποσοστό α των πακέτων και β των επιβεβαιώσεων αλλοιώνονται από λάθη μετάδοσης. Βρείτε τον μέσο χρόνο που απαιτείται για την ορθή μετάδοση ενός πακέτου από το Α στο Β.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Εάν p η πιθανότητα καταστροφής ενός πλαισίου δεδομένων λόγω σφαλμάτων μετάδοσης, του μηνύματος επιβεβαίωσης (ACK) ή και των δύο. Για την πιθανότητα αυτή ισχύει:

$$(1-p)=(1-\alpha)*(1-\beta)$$

Ο μέσος χρόνος T μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$T=S*(1 - p) + p*(\text{time-out} + T)$$

Όπου $S = \text{TRANSP}+2\text{PROP}+\text{TRANSA}$.

4.7.3 Απόδοση SRP με σφάλμα και σύγκριση με GBN

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.3

[ΘΕΜΑ 6 Περίοδος 2003 - 2004 ΓΕ #3]

Πρέπει να σχεδιάσετε ένα σύστημα δορυφορικής μετάδοσης. Ο ρυθμός μετάδοσης είναι 128kbps. Ο χρόνος διάδοσης μεταξύ των επίγειων σταθμών, διαμέσου του δορυφόρου είναι ο χρόνος που χρειάζονται τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα για τη διαδρομή μετ'επιστροφής (round-trip) των 60 χιλιάδων χιλιομέτρων. Τα πακέτα καθώς και οι επιβεβαιώσεις (ACK) περιέχουν 1000 bits. Ο χρόνος επεξεργασίας είναι 5 msec. Η ζεύξη είναι πλήρως αμφίδρομη (full-duplex) μεταξύ των επίγειων σταθμών. Προτείνετε την χρήση SRP. Ποιό είναι το ελάχιστο μήκος παραθύρου το οποίο θα προτείνετε? Υποθέστε πιθανότητα σφάλματος κατά την μετάδοση $p=1\%$. Ποιός είναι ο μέσος ρυθμός μετάδοσης πακέτων για το συγκεκριμένο μέγεθος παραθύρου? Συγκρίνετε τον ρυθμό αυτό με τον ρυθμό μετάδοσης όταν χρησιμοποιείται Go-Back-N.

Σημείωση: Η ταχύτητα διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ισούται με την ταχύτητα του φωτός και είναι ίση με $V = 300.000 \text{ km/sec}$.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Τα δεδομένα από την εκφώνηση είναι τα παρακάτω:

Ρυθμός μετάδοσης $R=128\text{kbps}=128\cdot 1000\text{bits/sec}=128000\text{bits/sec}$

Απόσταση $=60000\text{km}$

Μέγεθος πακέτου $P=1000\text{bits}$

Μέγεθος επιβεβαίωσης (ACN) $A=1000\text{bits}$

Χρόνος επεξεργασίας $T_{\text{επ}}=5\text{msec}=5\cdot 10^{-3}\text{sec}$

Ταχύτητα διάδοσης $V=300000\text{km/sec}$

$$\text{TRANSP}=\frac{P}{R}=\frac{1000\text{bits}}{128000\text{b/sec}}=0,0078125\text{sec}$$

$$\text{TRANSA}=\frac{A}{R}=\frac{1000\text{bits}}{128000\text{b/sec}}=0,0078125\text{sec}$$

Ο χρόνος διάδοσης του πλαισίου και της επιβεβαίωσης είναι:

$$\text{PROP}=\frac{60000\text{km}}{300000\text{km}}=0,2\text{sec}$$

Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά ενός πακέτου είναι:

$$S=\text{TRANSP}+\text{TRANSA}+2\cdot\text{PROP}+2\cdot T_{\text{επ}}=$$

$$(2\cdot 0,0078125+2\cdot 0,2+2\cdot 5\cdot 10^{-3})\text{sec}=0,425625\text{sec}$$

Θεωρούμε ότι η απόδοση του πομπού είναι 100% και δεν έχουμε σφάλματα. Άρα:

$$W\times\text{TRANSP}\geq S\Leftrightarrow W\geq\frac{S}{\text{TRANSP}}\Leftrightarrow W\geq\frac{0,425625\text{sec}}{0,0078125\text{sec}}\Leftrightarrow W\geq 54,48$$

Το ελάχιστο μήκος παραθύρου είναι ακέραιος αριθμός και είναι **W=55**.

Όταν η πιθανότητα σφάλματος είναι $p=1\%=0,01$, η πιθανότητα q να μεταφερθεί σωστά το πακέτο είναι $1-p=1-0,01=0,99$. Άρα η απόδοση του πρωτοκόλλου είναι:

$$n_{\text{SRP}}(p)=\frac{2+(1-q)(W-1)}{2+(1-q)(3W-1)}=\frac{2+p(W-1)}{2+p(W-1)}=\frac{2+0,01(55-1)}{2+0,01(3\cdot 55-1)}=$$

$$\frac{2+0,01\cdot 54}{2+0,01\cdot 164}=\frac{2+0,54}{2+1,64}=\frac{2,54}{3,64}=0,6978=69.78\%$$

Ο μέσος ρυθμός μετάδοσης πακέτων για το πρωτόκολλο SRP είναι:

$$\frac{128000}{1000}\cdot 0,6978=89,32\text{πακέτα/sec}$$

Η απόδοση του δικτύου όταν χρησιμοποιούμε το πρωτόκολλο GBN είναι:

$$n_{\text{GBN}}(p) = \frac{1}{1 + W \frac{p}{1-p}} = \frac{1}{1 + 55 \frac{0,01}{1-0,01}} = \frac{1}{1 + 55 \cdot 0,0101} = \frac{1}{1,556} = 0,6429 = 64,29\%$$

Ο μέσος ρυθμός μετάδοσης πακέτων για το πρωτόκολλο GBN είναι:

$$\frac{128000}{1000} 0,6429 = 82,29 \text{ πακέτα / sec}$$

Παρατηρούμε ότι η απόδοση του πρωτοκόλλου SRP είναι καλύτερη από την απόδοση του GBN.

4.7.4 Απόδοση ABP σε συνάρτηση του PER

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.4

[Θέμα 7 Περίοδος 2007-2008 – ΓΕ#3]

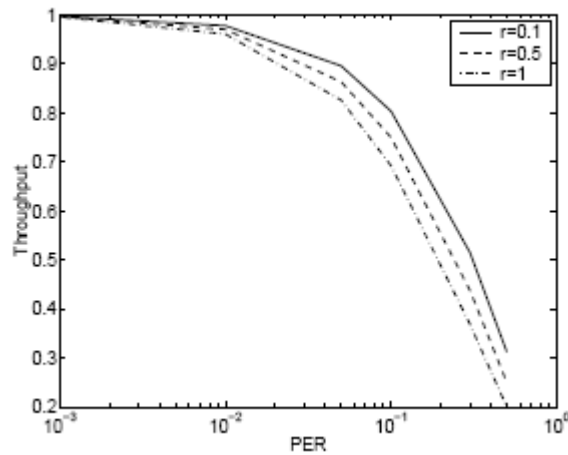
Η μέση θεωρητική ρυθμαπόδοση (throughput) του ABP δίνεται από την ακόλουθη σχέση

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{T_t \left(1 + 2(1+r) \left(\frac{p}{1-p} \right) \right)} \frac{\text{packets}}{\text{sec}}$$

όπου, T_t είναι ο χρόνος μετάδοσης πακέτου (packet transmission time), p είναι ο ρυθμός πακέτων με λάθη (packet error rate - PER)) και r το κλάσμα του χρόνου διάδοσης πακέτου προς το χρόνο μετάδοσης πακέτου (ratio του packet propagation time προς packet transmission time). Να σχεδιαστεί και να σχολιαστεί η μέση θεωρητική ρυθμαπόδοση (throughput) του ABP ως προς τον ρυθμό πακέτων με λάθη (PER) για χρόνους διάδοσης πακέτου (packet propagation time) ίσους με 0.1, 0.5 και 1 sec αντίστοιχα. Θεωρείστε μέγιστο ρυθμό μετάδοσης 1000bits/s και μέγεθος πακέτου 1000bits.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Η μέση θεωρητική ρυθμαπόδοση (throughput) του ABP ως προς τον ρυθμό πακέτων με λάθη (PER) για χρόνους διάδοσης πακέτου (packet propagation time) ίσους με 0.1, 0.5 και 1 sec αντίστοιχα για τα δεδομένα του θέματος δίνεται παρακάτω (η κλίμακα του οριζόντιου άξονα είναι λογαριθμική για καλύτερη απεικόνιση του μεγάλου εύρους τιμών του PER)



Η ρυθμαπόδοση μειώνεται καθώς αυξάνει το PER. Επίσης η ρυθμαπόδοση μειώνεται καθώς αυξάνει ο χρόνος διάδοσης πακέτου. Το μέγιστο throughput ισούται με 1 packet/sec, για μηδενικό PER.

4.7.5 Παράδειγμα Χρήσης GBN ως μηχανισμού ARQ

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.5

[ΘΕΜΑ 8 Περίοδος 2003-2004 Επαναληπτική Εξέταση]

Δύο γειτονικοί σταθμοί A και B χρησιμοποιούν πρωτόκολλο ολισθαίνοντος παραθύρου με 3-bits αριθμούς σειράς (sequence numbers). Σαν μηχανισμός ARQ χρησιμοποιείται το Go-Back-N με μέγεθος παραθύρου 4. Υποθέστε ότι ο A μεταδίδει και ο B λαμβάνει. Δώστε (και εξηγήστε) τις θέσεις του παραθύρου για την ακολουθία γεγονότων

A) Πριν την αποστολή πλαισίων από τον A

B) Μετά την αποστολή των πλαισίων 0, 1, 2 από τον A, την επιβεβαίωση των 0, 1 από τον B και την λήψη των επιβεβαιώσεων από τον A.

Γ) Μετά την αποστολή των 3, 4 και 5 από τον A, την επιβεβαίωση του 4 από τον B και την λήψη της επιβεβαίωσης από τον A.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Στο υποερώτημα (Α) το παράθυρο του αποστολέα είναι:

0, 1, 2, 3 δηλαδή το πρώτο πλαίσιο έχει αριθμό σειράς 0 και το τελευταίο 3.

Στο υποερώτημα Β) μετά την λήψη της επιβεβαίωσης του πλαισίου 1 στον αποστολέα το παράθυρο έχει την μορφή:

2, 3, 4, 5

Στο υποερώτημα Γ) μετά την λήψη της επιβεβαίωσης του πλαισίου 4 στον αποστολέα το παράθυρο έχει τη μορφή:

2, 3, 4, 5

εφόσον δεν έχουν ληφθεί οι επιβεβαιώσεις των 2 και 3 και ο μηχανισμός είναι GBN.

4.7.6 Αρίθμηση πλαισίων στο πρωτόκολλο SRP

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.6

[ΘΕΜΑ 5 Περίοδος 2002-2003 Κανονική Εξέταση]

Υποθέστε την ανάπτυξη ενός πρωτοκόλλου SRP για μία ζεύξη σημείου προς σημείο (point-to-point), ρυθμού 1 Mbps, προς την Σελήνη. Η μονόδρομη καθυστέρηση μετάδοσης (one-way latency) είναι της τάξης των 1,25 sec. Το κάθε πλαίσιο που ανταλλάσσεται μεταξύ των τερματικών σημείων έχει μέγεθος 1000 bytes. Πόσα bits θα απαιτηθούν για τον αριθμό σειράς (sequence number) που φέρουν τα πλαίσια.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Στα συστήματα SRP το μέγεθος παραθύρου W παίρνει τιμή τέτοια ώστε:

$$W * \text{TRANP} \geq S$$

$$\text{Όπου } S = \text{TRANSP} + \text{TRANSA} + 2 \text{ PROP.}$$

Η συνθήκη αυτή εξασφαλίζει (σε ιδανικές συνθήκες, αν δεν υπάρχουν σφάλματα) διαρκή ροή πακέτων από τον αποστολέα προς τον παραλήπτη.

$$\text{Στο πρόβλημα: } \text{TRANSP} = 8 * 1000 \text{ bits} / 1000000 \text{ bps} = 0,008 \text{ sec.}$$

$$\text{Ομοίως } \text{TRANSA} = 0,008 \text{ sec.}$$

$$\text{Άρα } S = 2.516 \text{ sec} = 2 * 1,25 + 2 * 0,008$$

$$\text{Αν λύσουμε την ισότητα } W * \text{TRANSP} = S, \text{ παίρνουμε } W = 2.516 / 0.008 = 314.5$$

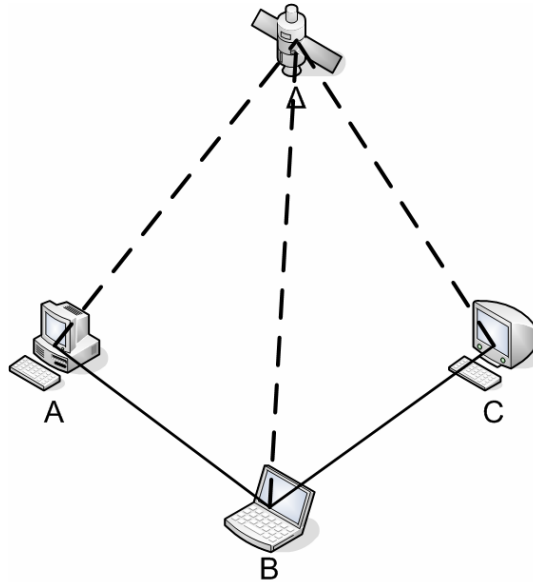
Άρα το μέγεθος του παραθύρου είναι 315. Η αρίθμηση των πλαισίων γίνεται modulo $2W$ (βλέπε βιβλίο ΕΑΠ, σελ. 123) κατά συνέπεια θα απαιτηθούν $2 * 315$ αριθμοί σειράς = 630. Τα bits που αντιστοιχούν στο παραπάνω εύρος αριθμών σειράς είναι 10.

4.7.7 Μετάδοση δεδομένων και επιβεβαιώσεων από διαφορετικές διαδρομές για ABP και GBN με και χωρίς σφάλματα

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.7

[Θέμα 1 Περίοδος 2007-2008 – ΓΕ#3]

Τρεις κόμβοι A, B, C συνδέονται μεταξύ τους σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα. Οι κόμβοι χρησιμοποιούν την δορυφορική σύνδεση με τον δορυφόρο Δ για την μετάδοση πακέτων μηνύματος.



Ο δορυφόρος βρίσκεται σε γεωστατική τροχιά σε ύψος 36000 km από την επιφάνεια της γης. Η ταχύτητα μετάδοσης για καθεμιά από τις δορυφορικές ζεύξεις είναι 10 Mbps, ενώ η ταχύτητα διάδοσης για καθεμιά από τις δορυφορικές ζεύξεις είναι 3×10^8 m/sec. Το μέγεθος πακέτων μηνύματος που μεταφέρονται μέσω της δορυφορικής ζεύξης είναι 10 kbits.

Οι τρεις κόμβοι χρησιμοποιούν την επίγεια διασύνδεσή τους για την αποστολή των μηνυμάτων επιβεβαίωσης. Για αυτή την σύνδεση η ταχύτητα μετάδοσης των μηνυμάτων επιβεβαίωσης είναι 20 kbps, ενώ η ταχύτητα διάδοσης είναι 2×10^8 m/sec. Η απόσταση AB είναι 1000 km και η απόσταση BC είναι επίσης 1000 km. Σημειώνεται ότι δεν υπάρχει απευθείας ενσύρματη σύνδεση AC. Το μέγεθος πακέτων επιβεβαίωσης είναι 1 kbits.

A. Αν το πρωτόκολλο επανεκπομπής είναι το GoBackN (end-to-end), με μέγεθος παραθύρου 100, για κάθε σύνδεση, να βρεθεί η διαμετακομιστική ικανότητα για την μετάδοση μηνυμάτων μεταξύ (α) AB, (β) AC και (γ) BC. Σε αυτή την περίπτωση υποθέτουμε μηδενική πιθανότητα σφάλματος κατά την μετάδοση πακέτου μηνύματος ή επιβεβαίωσης.

B. Να βρεθεί η διαμετακομιστική ικανότητα για την μετάδοση μηνυμάτων μεταξύ (α) AB, (β) AC και (γ) BC αν το πρωτόκολλο επανεκπομπής είναι το

GoBackN (end-to-end), με μέγεθος παραθύρου 100, για κάθε σύνδεση, και ρυθμό σφαλμάτων (Packet Error Rate) 0.1 για κάθε δορυφορική ζεύξη και ρυθμό σφαλμάτων (Packet Error Rate) 0.04 για κάθε επίγεια σύνδεση. Να υποτεθεί 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.

C. Αν το πρωτόκολλο επανεκπομπής είναι το ABP (end-to-end) για κάθε σύνδεση, να βρεθεί η διαμετακομιστική ικανότητα για την μετάδοση μηνυμάτων μεταξύ (α) AB, (β) AC και (γ) BC. Σε αυτή την περίπτωση υποθέτουμε μηδενική πιθανότητα σφάλματος κατά την μετάδοση πακέτου μηνύματος ή επιβεβαίωσης.

D. Να βρεθεί η διαμετακομιστική ικανότητα για την μετάδοση μηνυμάτων μεταξύ (α) AB, (β) AC και (γ) BC αν το το πρωτόκολλο επανεκπομπής είναι το ABP (end-to-end) για κάθε σύνδεση, και ρυθμό σφαλμάτων (Packet Error Rate) 0.1 για κάθε δορυφορική ζεύξη και ρυθμό σφαλμάτων (Packet Error Rate) 0.04 για κάθε επίγεια σύνδεση. Να υποτεθεί ότι ο χρόνος προθεσμίας είναι ίσος με τον χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής

(Σημείωση: 1kbits=1000 bits)

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Γενικά η διαμετακομιστική ικανότητα ή ρυθμαπόδοση ή throughput μεταξύ δύο κόμβων X και Y (στην συνέχεια X, Y μπορεί να πάρουν την τιμή A, B, C) ισούται με:

$$T_{XY} = \eta_{XY} \cdot R_{XY}$$

Όπου η η απόδοση του πρωτοκόλλου και R η ταχύτητα μετάδοσης από τον αποστολέα του μηνύματος.

$$TRANSP_{\chi\lambda} = \frac{\langle \text{Μεγεθος Πακετου} \rangle}{R_{\chi\lambda}} = \frac{10kbits}{1 \cdot 10^6 bps} = 10^{-3} \text{ sec (ο χρόνος αυτός$$

αντιστοιχεί στο χρόνο μετάδοσης πακέτων δεδομένων σε κάθε δορυφορική ζεύξη)

$$TRANSA_{\chi\chi} = \frac{\langle \text{Μεγεθος Πακετου} \rangle}{R_{\chi\chi}} = \frac{1kbits}{20kpbs} = 0.05 \text{ sec (σε αυτή την περίπτωση ο$$

χρόνος αντιστοιχεί σε χρόνο μετάδοσης των πακέτων επιβεβαίωσης μεταξύ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ επίγειων κόμβων)

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

αντιστοιχεί στο χρόνο διάδοσης πακέτων δεδομένων σε κάθε δορυφορική ζεύξη)

$$PROP_{\chi\chi} = \frac{\langle \text{αποσταση γειτονικων επιγειων κομβων} \rangle}{\langle \text{ταχυτητα διαδοσης} \rangle} = \frac{1000 \cdot 10^3 m}{2 \cdot 10^8 m/sec} = 0.005 \text{ sec (ο$$

χρόνος αντιστοιχεί σε χρόνο διάδοσης των πακέτων επιβεβαίωσης μεταξύ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ επίγειων κόμβων).

Σαν αποτέλεσμα των παραπάνω ο χρόνος μετάδοσης μετ' επιστροφής για κάθε ζευγάρι είναι

$$S_{AB} = TRANSP_{A\Delta} + PROP_{A\Delta} + TRANSP_{\Delta B} + PROP_{\Delta B} + TRANSA_{BA} + PROP_{BA} = 0.297 \text{ sec}$$

$$S_{BC} = TRANSP_{B\Delta} + PROP_{B\Delta} + TRANSP_{\Delta C} + PROP_{\Delta C} + TRANSA_{CA} + PROP_{CA} = 0.297 \text{ sec}$$

$$S_{AC} = TRANSP_{A\Delta} + PROP_{A\Delta} + TRANSP_{\Delta C} + PROP_{\Delta C} + TRANSA_{CB} + PROP_{CB} + TRANSA_{BA} + PROP_{BA} = 0.352 \text{ sec}$$

A.

Αναφορικά με το πρώτο ερώτημα για πρωτόκολλο επανεκπομπής GoBackN (end-to-end), με μέγεθος παραθύρου $W=100$ η απόδοση για κάθε ζεύγος κόμβων κατά την μετάδοση πακέτων μηνύματος μέσω της δορυφορικής ζεύξης και πακέτων

επιβεβαίωσης μέσω της επίγειας ζεύξης υποθέτοντας μηδενικό ρυθμό σφαλμάτων ισούται με

$$n_{XY} = \min \left\{ 1, \frac{W \cdot TRANSP_{XA}}{S_{XY}} \right\}$$

οπότε έχουμε,

$$n_{AB} = \min \left\{ 1, \frac{100 \cdot 10^{-3}}{0.297} \right\} = 0.3367$$

$$n_{BC} = \min \left\{ 1, \frac{100 \cdot 10^{-3}}{0.297} \right\} = 0.3367$$

$$n_{AC} = \min \left\{ 1, \frac{100 \cdot 10^{-3}}{0.352} \right\} = 0.2841$$

Οπότε η ρυθμαπόδοση θα ισούται με

$$T_{AB} = 0.3367 \cdot 10Mbps = 3.367Mbps$$

$$T_{BC} = 0.3367 \cdot 10Mbps = 3.367Mbps$$

$$T_{AC} = 0.2841 \cdot 10Mbps = 2.841Mbps$$

B.

Αναφορικά με το δεύτερο ερώτημα για πρωτόκολλο επανεκπομπής GoBackN (end-to-end), με μέγεθος παραθύρου $W=100$ και σφάλματα η απόδοση για κάθε ζεύγος κόμβων X, Y κατά την μετάδοση πακέτων μηνύματος μέσω της δορυφορικής ζεύξης και πακέτων επιβεβαίωσης μέσω της επίγειας ζεύξης [υποθέτοντας ότι ο χρόνος προθεσμίας είναι ίσος με τον χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής που δίνει τη μέγιστη απόδοση του 100% απουσία σφαλμάτων μεταφοράς] ισούται με

$$n_{XY} = \frac{1}{1 + W \frac{1 - p_{XY}}{p_{XY}}}$$

Η πιθανότητα ορθής μετάδοσης πακέτων σε κάθε δορυφορική ζεύξη θα ισούται με $p_{XA} = 1 - PER_{XA} = 1 - 0.1 = 0.9$

Αντίστοιχα, η πιθανότητα ορθής μετάδοσης πακέτων σε κάθε επίγεια ζεύξη θα ισούται με $p_{XY} = 1 - PER_{XY} = 1 - 0.04 = 0.96$

Η συνολική πιθανότητα ορθής μετάδοσης ενός πακέτου μηνύματος και του αντίστοιχου πακέτου επιβεβαίωσης για κάθε ζευγάρι κόμβων θα ισούται με

$$p_{AB} = p_{AA} \cdot p_{AB} \cdot p_{BA} = 0.7776$$

$$p_{BC} = p_{AD} \cdot p_{AC} \cdot p_{BC} = 0.7776$$

$$p_{AC} = p_{AD} \cdot p_{AC} \cdot p_{CB} \cdot p_{BA} = 0.7465.$$

Άρα, θα έχουμε,

$$n_{AB} = \frac{1}{1+100 \frac{1-0.7776}{0.7776}} = 0.0338$$

$$n_{BC} = \frac{1}{1+100 \frac{1-0.7776}{0.7776}} = 0.0338$$

$$n_{AC} = \frac{1}{1+100 \frac{1-0.7465}{0.7465}} = 0.0286$$

και η ρυθμαπόδοση θα ισούται με

$$T_{AB} = 0.0338 \cdot 10Mbps = 0.338Mbps$$

$$T_{BC} = 0.0338 \cdot 10Mbps = 0.338Mbps$$

$$T_{AC} = 0.0286 \cdot 10Mbps = 0.286Mbps$$

C.

Αναφορικά με το τρίτο ερώτημα για πρωτόκολλο επανεκπομπής ABP (end-to-end) η απόδοση για κάθε ζεύγος κόμβων κατά την μετάδοση πακέτων μηνύματος μέσω της δορυφορικής ζεύξης και πακέτων επιβεβαίωσης μέσω της επίγειας ζεύξης υποθέτοντας μηδενικό ρυθμό σφαλμάτων ισούται με

$$n_{XY} = \frac{TRANSP_{XA}}{S_{XY}}$$

οπότε έχουμε,

$$n_{AB} = \frac{10^{-3}}{0.297} = 0.003367$$

$$n_{BC} = \frac{10^{-3}}{0.297} = 0.003367$$

$$n_{AC} = \frac{10^{-3}}{0.352} = 0.002841$$

Οπότε η ρυθμαπόδοση θα ισούται με

$$T_{AB} = 0.003367 \cdot 10Mbps = 0.03367Mbps$$

$$T_{BC} = 0.003367 \cdot 10Mbps = 0.03367Mbps$$

$$T_{AC} = 0.002841 \cdot 10Mbps = 0.02841Mbps$$

D.

Αναφορικά με το τελευταίο ερώτημα για πρωτόκολλο επανεκπομπής ABP (end-to-end) και σφάλματα η απόδοση για κάθε ζεύγος κόμβων X, Y κατά την μετάδοση πακέτων μηνύματος μέσω της δορυφορικής ζεύξης και πακέτων επιβεβαίωσης μέσω της επίγειας ζεύξης [έχοντας επιλέξει το χρόνο προθεσμίας ίσο με τον χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής] ισούται με

$$n_{XY} = p_{XY} \frac{TRANSP_{XA}}{S_{XY}}$$

Η πιθανότητα ορθής μετάδοσης πακέτων σε κάθε δορυφορική ζεύξη θα ισούται με $p_{XA} = 1 - PER_{XA} = 1 - 0.1 = 0.9$

Αντίστοιχα, η πιθανότητα ορθής μετάδοσης πακέτων σε κάθε επίγεια ζεύξη θα ισούται με $p_{XY} = 1 - PER_{XY} = 1 - 0.04 = 0.96$

Η συνολική πιθανότητα ορθής μετάδοσης ενός πακέτου μηνύματος και του αντίστοιχου πακέτου επιβεβαίωσης για κάθε ζευγάρι κόμβων θα ισούται με

$$p_{AB} = p_{AA} \cdot p_{AB} \cdot p_{BA} = 0.7776$$

$$p_{BC} = p_{AA} \cdot p_{AC} \cdot p_{BC} = 0.7776$$

$$p_{AC} = p_{AA} \cdot p_{AC} \cdot p_{CB} \cdot p_{BA} = 0.7465.$$

Άρα, θα έχουμε,

$$n_{AB} = 0.7776 \frac{10^{-3}}{0.297} = 0.002618$$

$$n_{BC} = 0.7776 \frac{10^{-3}}{0.297} = 0.002618$$

$$n_{AC} = 0.7465 \frac{10^{-3}}{0.352} = 0.002121$$

και η ρυθμαπόδοση θα ισούται με

$$T_{AB} = 0.002618 \cdot 10Mbps = 0.02618Mbps$$

$$T_{BC} = 0.002618 \cdot 10Mbps = 0.02618Mbps$$

$$T_{AC} = 0.002121 \cdot 10Mbps = 0.02121Mbps$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.8

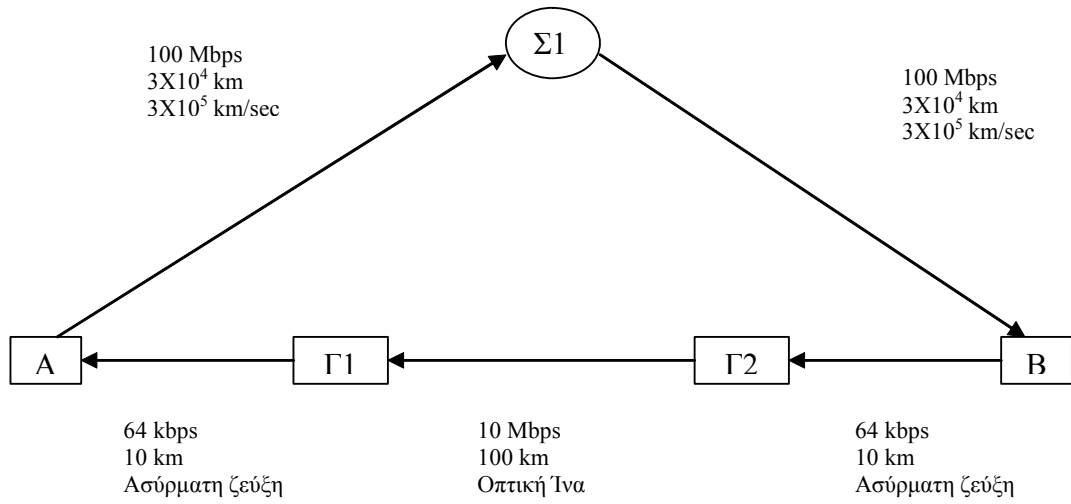
[ΘΕΜΑ 4 Περίοδος 2004-2005 Κανονική Εξέταση]

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 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.

(A) 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;

(B) 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 i) από τον κόμβο A στον B και ii) από τον κόμβο B στον κόμβο A, θεωρώντας ότι κάθε ζεύξη έχει ρυθμό σφαλμάτων 10% όταν ο χρόνος επανεκπομπής παίρνει την ελάχιστη τιμή της.



ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Η απόδοση του πρωτοκόλλου καθορίζεται από την απόδοση του πιο αργού συνδέσμου σε κάθε κατεύθυνση.

Οπότε

(Α) Η διαδρομή των πακέτων είναι Α-Σ1-Β ενώ η διαδρομή των επιβεβαιώσεων είναι Β-Γ2-Γ1-Α.

Η απόδοση του πρωτοκόλλου θα καθορισθεί από τη διαδρομή ΑΣ1

(i). Οπότε για το πρωτόκολλο ABP (σελ. 107, Τόμος Α) ισχύει

$$n_{ABP} = \frac{TRANSP_{ΑΣ1}}{S}$$

Εφαρμόζοντας τα αριθμητικά δεδομένα θα έχουμε

- Για το χρόνο μετάδοσης πλαισίου

$$TRANSP_{ΑΣ1} = TRANSP_{Σ1Β} = \frac{10bits}{100Mbps} = 10^{-7} \text{ sec}$$

$$TRANSP_{ΑΣ1Β} = TRANSP_{ΑΣ1} + TRANSP_{Σ1Β} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ sec}$$

- Για το χρόνο μετάδοσης της επιβεβαίωσης

$$TRANS_{ΑΒΓ2Γ1Α} = \frac{10bits}{64Kbps} + \frac{10bits}{10Mbps} + \frac{10bits}{64Kbps} = 3.135 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

- Για το χρόνο διάδοσης μέσω της δορυφορικής ζεύξης

$$PROP_{ΑΣ1Β} = \frac{3 \cdot 10^4 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/sec}} + \frac{3 \cdot 10^4 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/sec}} = 0.2 \text{ sec}$$

• Για το χρόνο διάδοσης μέσω της επίγειας ζεύξης, θα έχουμε το άθροισμα που προκύπτει από τις ασύρματες ζεύξεις και από τη ζεύξη μέσω οπτικής ίνας.

$$\begin{aligned} PROP_{ΑΒΓ2Γ1Α} &= PROP_{ΒΓ2} + PROP_{Γ1Γ2} + PROP_{Γ1Α} = \\ &= \frac{10 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/sec}} + \frac{100 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/sec}} + \frac{10 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/sec}} = 4.0 \cdot 10^{-4} \text{ sec} \end{aligned}$$

• Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά ενός πακέτου είναι

$$S = TRANSP_{ΑΣ1Β} + TRANS_{ΑΒΓ2Γ1Α} + PROP_{ΑΣ1Β} + PROP_{ΑΒΓ2Γ1Α} = 0.2007137 \text{ sec}$$

Οπότε για την απόδοση του πρωτοκόλλου θα έχουμε

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

(ii). Για το πρωτόκολλο GBN (σελ. 115, Τόμος Α) ισχύει

$$n_{GBN} = \min \left\{ 1, \frac{W \times TRANSP_{ΑΣ1}}{S} \right\}$$

Προηγουμένως υπολογίσαμε όλα τα αριθμητικά μεγέθη, οπότε

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

Οπότε το πρωτόκολλο GBN έχει καλύτερη απόδοση.

(B) Η διαδρομή των πακέτων είναι Β-Γ2-Γ1-Α ενώ η διαδρομή των επιβεβαιώσεων είναι Β-Σ1-Α.

Η απόδοση του πρωτοκόλλου θα καθορισθεί από τη διαδρομή ΒΓ2

(i). Οπότε για το πρωτόκολλο ABP (σελ. 107, Τόμος Α) ισχύει

$$n_{ABP} = \frac{TRANSP_{ΒΓ2}}{S}$$

Εφαρμόζοντας τα αριθμητικά δεδομένα θα έχουμε

$$TRANSP_{ΒΓ2} = \frac{10bits}{64Kbps} = 1.5625 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά ενός πακέτου θα είναι ίδιος με προηγουμένως αφού η συνολική διαδρομή δεν έχει αλλάξει και τα μεγέθη των πακέτων και των επιβεβαιώσεων είναι ίσα.

Επομένως

$$n_{ABP} = \frac{TRANSP_{ΒΓ2}}{S} = \frac{1.5625 \cdot 10^{-4}}{0.2007137} = 7.7847 \cdot 10^{-4}$$

(ii). Για το πρωτόκολλο GBN (σελ. 115, Τόμος Α) ισχύει

$$n_{GBN} = \left\{ 1, \frac{W \times TRANSP_{ΒΓ2}}{S} \right\}$$

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

(Γ) Αφού σε όλες τις ζεύξεις (πέντε) υπάρχει πιθανότητα σφάλματος 10%, η πιθανότητα επιτυχούς μετάβασης μετ' επιστροφής θα ισούται με

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

Με δεδομένου ότι ο χρόνος επανεκπομπής παίρνει την ελάχιστη τιμή του όταν $T=S$, τότε η απόδοση του πρωτοκόλλου με σφάλματα δίνεται από τον τύπο (σελ. 109, Τόμος Α)

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

(i). Για την κατεύθυνση από το Α στο Β, η απόδοση καθορίζεται από τη διαδρομή Α-Σ1

Επομένως

$$n_{ABP} = \frac{p \times TRANSP_{ΑΣ1}}{S}$$

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

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

(ii). Για την κατεύθυνση από το Β στο Α, η απόδοση καθορίζεται από τη διαδρομή Β-Γ2

Επομένως

$$n_{ABP} = \frac{p \times TRANSP_{ΒΓ2}}{S}$$

$$\text{όπου } TRANSP_{ΒΓ2} = \frac{10bits}{64Kbps} = 1.5625 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

οπότε

$$n_{ABP} = \frac{p \times TRANSP_{ΒΓ2}}{S} = \frac{0.59 \cdot 1.5625 \cdot 10^{-4}}{0.2007137} = 4.5929 \cdot 10^{-4}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.9

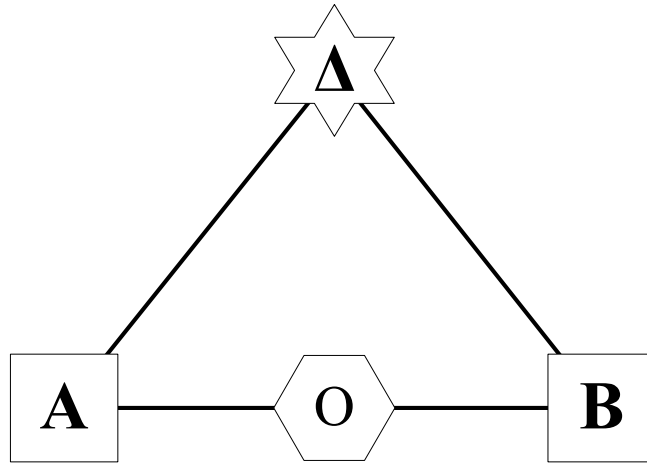
[ΘΕΜΑ 8 Περίοδος 2005 - 2006 ΓΕ #5]

Δύο υπολογιστές Α και Β συνδέονται έμμεσα μεταξύ τους όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Είναι δυνατή η μεταφορά πλαισίων δεδομένων και επιβεβαίωσης από τον κόμβο Α στον κόμβο Β (και από τον κόμβο Β στον Α) όπου το μέγεθος κάθε πλαισίου δεδομένων είναι 1000bits ενώ κάθε πλαίσιο επιβεβαίωσης έχει μέγεθος 10bits. Η μία δυνατή διαδρομή πλαισίων ή επιβεβαιώσεων είναι μέσω δορυφόρου Δ, ο οποίος κινείται σε γεωστατική τροχιά σε ύψος 3×10^4 km, με ταχύτητα μετάδοσης 100Mbps και ταχύτητα διάδοσης τα 3×10^5 km/sec. Επίσης, πλαίσια δεδομένων ή επιβεβαίωσης μεταφέρονται από τον κόμβο Β στον κόμβο Α μέσω του ενδιάμεσου επίγειου κόμβου Ο με οπτική ίνα. Για καθεμιά από τις συνδέσεις ΒΟ και ΟΑ η ταχύτητα μετάδοσης είναι 10Mbps, η απόσταση είναι 30km και ταχύτητα διάδοσης είναι 3×10^5 km/sec.

(α) Αρχικά με πολύ μικρό ρυθμό σφαλμάτων εξετάζουμε την περίπτωση μετάδοσης δεδομένων από την κόμβο Α στον Β (τα δεδομένα μέσω του δορυφόρου και οι επιβεβαιώσεις μέσω της οπτικής ίνας) να βρεθεί η απόδοση του πρωτοκόλλου επανεκπομπής ABP και η απόδοση του πρωτοκόλλου Go-Back-N με μέγεθος παραθύρου $W=128$ πλαίσια. Ποιό από τα δύο πρωτόκολλα έχει καλύτερη απόδοση;

(β) Στην συνέχεια πάλι με πολύ μικρό ρυθμό σφαλμάτων δεδομένα μεταδίδονται από τον Β στον Α (τα δεδομένα μέσω της οπτικής ίνας 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. Ποιό από τα δύο πρωτόκολλα έχει καλύτερη απόδοση;

(γ) Τέλος να υπολογιστεί η απόδοση του πρωτοκόλλου επανεκπομπής ABP και για τις δύο περιπτώσεις μετάδοσης δεδομένων δηλ. από τον κόμβο Α στον Β και από τον κόμβο Β στον κόμβο Α, θεωρώντας ότι κάθε δορυφορική ζεύξη έχει ρυθμό σφαλμάτων 40% ενώ κάθε ζεύξη μέσω οπτικής ίνας έχει ρυθμό σφαλμάτων μόνο 10% όταν ο χρόνος εκπνοής προθεσμίας αναμετάδοσης πακέτου Τ παίρνει την ελάχιστη τιμή του.



ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Η απόδοση του πρωτοκόλλου καθορίζεται από την απόδοση του πιο αργού συνδέσμου σε κάθε κατεύθυνση.

Οπότε

(α) Η διαδρομή των πακέτων είναι Α-Δ-Β ενώ η διαδρομή των επιβεβαιώσεων είναι Β-Ο-Α.

Η απόδοση του πρωτοκόλλου θα καθορισθεί από τη διαδρομή Α-Δ

(i). Οπότε για το πρωτόκολλο ABP (σελ. 107, Τόμος Α) ισχύει

$$n_{ABP} = \frac{TRANSP_{AA}}{S}$$

Εφαρμόζοντας τα αριθμητικά δεδομένα θα έχουμε

- Για το χρόνο μετάδοσης πλαισίου

$$TRANSP_{A\Delta} = TRANSP_{\Delta B} = \frac{1000bits}{100Mbps} = 10^{-5} \text{ sec}$$

$$TRANSP_{A\Delta B} = TRANSP_{A\Delta} + TRANSP_{\Delta B} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ sec}$$

- Για το χρόνο μετάδοσης της επιβεβαίωσης

$$TRANSA_{BOA} = 2 \cdot \frac{10bits}{10Mbps} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ sec}$$

- Για το χρόνο διάδοσης μέσω της δορυφορικής ζεύξης

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

- Για το χρόνο διάδοσης μέσω της επίγειας ζεύξης με οπτικές ίνες

$$\begin{aligned} PROP_{BOA} &= PROP_{BO} + PROP_{OA} = \\ &= \frac{30 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/sec}} + \frac{30 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/sec}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ sec} \end{aligned}$$

- Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά ενός πακέτου είναι

$$S = TRANSP_{A\Delta B} + TRANSA_{BOA} + PROP_{A\Delta B} + PROP_{BOA} = 0.200222 \text{ sec}$$

Οπότε για την απόδοση του πρωτοκόλλου θα έχουμε

$$n_{ABP} = \frac{TRANSP_{AA}}{S} = \frac{10^{-5}}{0.200222} = 5 \cdot 10^{-5}$$

(ii). Για το πρωτόκολλο GBN (σελ. 115, Τόμος Α) ισχύει

$$n_{GBN} = \min \left\{ 1, \frac{W \times TRANSP_{AA}}{S} \right\}$$

Προηγουμένως υπολογίσαμε όλα τα αριθμητικά μεγέθη, οπότε

$$n_{GBN} = \min \left\{ 1, \frac{128 \times TRANSP_{AA}}{S} \right\} = 6.4 \cdot 10^{-3}$$

Οπότε το πρωτόκολλο GBN έχει καλύτερη απόδοση.

(β) Η διαδρομή των πακέτων είναι B-O-A ενώ η διαδρομή των επιβεβαιώσεων είναι A-Δ-B.

Η απόδοση του πρωτοκόλλου θα καθορισθεί από τη διαδρομή BO

(i). Οπότε για το πρωτόκολλο ABP (σελ. 107, Τόμος A) ισχύει

$$n_{ABP} = \frac{TRANSP_{BO}}{S}$$

Εφαρμόζοντας τα αριθμητικά δεδομένα θα έχουμε

- Για το χρόνο μετάδοσης πλαισίου

$$TRANSP_{BOA} = 2 \frac{1000bits}{10Mbps} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

- Για το χρόνο μετάδοσης της επιβεβαίωσης

$$TRANSA_{AA} = TRANSA_{AB} = \frac{10bits}{100Mbps} = 10^{-7} \text{ sec}$$

$$TRANSA_{AAB} = TRANSA_{AA} + TRANSA_{AB} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ sec}$$

- Οι χρόνοι διάδοσης παραμένουν οι ίδιοι οπότε ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά ενός πακέτου είναι

$$S = TRANSA_{AAB} + TRANSP_{BOA} + PROP_{AAB} + PROP_{BOA} = 0.2004002 \text{ sec}$$

Επομένως

$$n_{ABP} = \frac{TRANSP_{BO}}{S} = 5 \cdot 10^{-4}$$

(ii). Για το πρωτόκολλο GBN (σελ. 115, Τόμος A) ισχύει

$$n_{GBN} = \min \left\{ 1, \frac{W \times TRANSP_{BO}}{S} \right\} = 0.0639$$

(γ) Αφού σε δύο ζεύξεις υπάρχει πιθανότητα σφάλματος 40%, και σε δύο υπάρχει πιθανότητα σφάλματος 10% η πιθανότητα επιτυχούς μετάβασης μετ' επιστροφής θα ισούται με

$$p = (1 - 40\%)^2 \cdot (1 - 10\%) = 0.2916$$

Δεδομένου ότι ο χρόνος επανεκπομπής παίρνει την ελάχιστη τιμή του όταν $T=S$, τότε η απόδοση του πρωτοκόλλου με σφάλματα δίνεται από τον τύπο (σελ. 109, Τόμος A)

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

(i). Για την κατεύθυνση από το Α στο Β, η απόδοση καθορίζεται από τη διαδρομή ΑΔ

Επομένως

$$n_{ABP} = \frac{p \times TRANSP_{A\Delta}}{S} = 1.458 \cdot 10^{-5}$$

(ii). Για την κατεύθυνση από το Β στο Α, η απόδοση καθορίζεται από τη διαδρομή ΒΟ

Επομένως

$$n_{ABP} = \frac{p \times TRANSP_{B\Omega}}{S} = 1.458 \cdot 10^{-4}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.10

[Θέμα 5 Περίοδος 2006-2007 ΓΕ #3]

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.

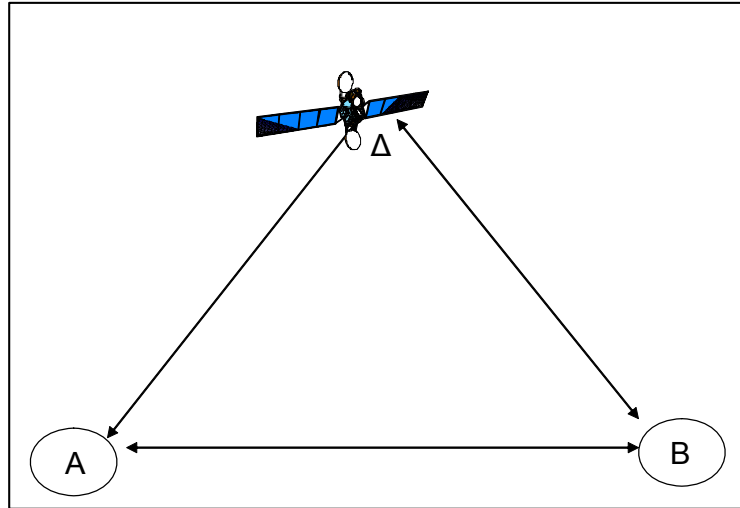
Το μέγεθος των πακέτων δεδομένων και επιβεβαίωσης είναι 1kbits.

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

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

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

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



ΑΠΑΝΤΗΣΗ

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)

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

οπότε έχουμε,

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

Οπότε η ρυθμαπόδοση θα ισούται με

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

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,

$$W = 100$$

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

αντιστοιχεί και στο χρόνο μετάδοσης πακέτων επιβεβαίωσης)

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

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

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

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

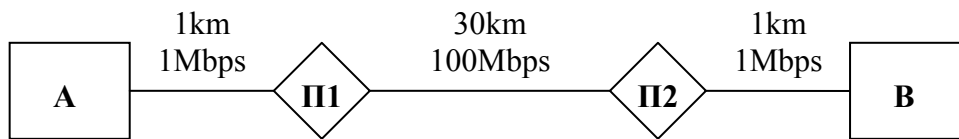
$$\begin{aligned}
 n_{AB,E} R_{AB,E} &\leq n_{AB,\Delta} R_{AB,\Delta} \Rightarrow \\
 \Rightarrow \frac{TRANSP_{AB,E}}{RTT_{AB,E}} R_{AB,E} &\leq 0.0825 Mbps = T_0 \Rightarrow \\
 \Rightarrow RTT_{AB,E} &\geq \frac{TRANSP_{AB,E}}{T_0} R_{AB,E} \Rightarrow \\
 \Rightarrow 2(TRANSP_{AB,E} + PROP_{AB,E})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

4.7.8 Απλές διατάξεις για την εύρεση της απόδοσης για ABP και GBN με και χωρίς σφάλματα

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.11

[ΘΕΜΑ 5 Περίοδος 2004 - 2005 ΓΕ #5]

Μεταξύ των κόμβων A και B πρέπει να ανταλλάσσονται πλαίσια με πεδίο περιεχομένου ίσο με 100 bits για το κάθε πλαίσιο. Στην περίπτωση χρήσης πρωτοκόλλου ABP από άκρου σε άκρο μεταξύ των A και B, η επικεφαλίδα που θα προστεθεί σε κάθε πλαίσιο θα είναι 5 bits ενώ σε περίπτωση χρήσης πρωτοκόλλου Go-Back-N με μέγεθος παραθύρου $W = 64$ πλαίσια, η επικεφαλίδα που θα προστεθεί θα είναι 10 bits (λόγω της ανάγκης για μεγαλύτερο πεδίο αρίθμησης των πλαισίων).



1. Ποιό πρέπει να είναι το ελάχιστο μήκος του πεδίου αρίθμησης των πλαισίων στην περίπτωση χρήσης ABP και ποιο στην περίπτωση χρήσης Go-Back-N με $W=64$; Συμφωνεί αυτό με τη διαφορά ανάμεσα στο μήκος επικεφαλίδας στις δυο περιπτώσεις (5 bits και 10 bits αντίστοιχα);

2. Ποιό από τα δυο πρωτόκολλα θα έχει καλύτερη απόδοση σε περίπτωση που δεν υπάρχει πιθανότητα σφάλματος;

3. Ποιό από τα δύο πρωτόκολλα θα έχει καλύτερη απόδοση σε περίπτωση που στις ζεύξεις A-Π1 και Π2-B υπάρχει πιθανότητα σφάλματος πλαισίου $PER = 1\%$. Θεωρείστε χρόνο προθεσμίας για το ABP ίσο με το χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής και για το Go-Back-N ίσο με $W \times TRANSP$.

Υποδείξεις:

(α) Πλάισια δεδομένων και επιβεβαίωσης έχουν το ίδιο μήκος.

(β) Ταχύτητα διάδοσης: 300000 km/sec

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

i. **ABP**: Με βάση τη λειτουργία του ABP, κάθε φορά εκκρεμεί το πολύ ένα πλαίσιο για επιβεβαίωση. Συνεπώς, αρκεί ένα bit για την αρίθμηση των πλαισίων το οποίο εναλλάσσεται σε κάθε πλαίσιο (εξ ου και Alternating Bit Protocol – ABP), δηλαδή η σειρά αρίθμησης είναι: 0, 1, 0, 1,....

Go-Back-N: Με βάση τη λειτουργία του Go-Back-N, κάθε φορά μπορεί να εκκρεμούν ως και W πλαίσια για επιβεβαίωση. Συνεπώς, πρέπει στην επικεφαλίδα να μπορούμε να αριθμήσουμε ως και W πλαίσια, από 0, 1, ..., $W-1$, δηλαδή το πεδίο αρίθμησης πρέπει να έχει k bits, όπου για το k ισχύει: $2^{k-1} < W \leq 2^k$. Στην περίπτωση μας $k = 6$.

Άρα η διαφορά του μήκους του πεδίου αρίθμησης στις δυο περιπτώσεις είναι 5 bits, όση και η διαφορά στις δυο επικεφαλίδες.

ii. Για μετάδοση χωρίς σφάλματα:

ABP:

$$n_{ABP} = \text{TRANSP}_{\text{ΑΠ1}} / S$$

$$S = \text{TRANSP}_{\text{ΑΠ1Π2B}} + \text{TRANSA}_{\text{ΑΠ1Π2B}} + 2\text{PROP}$$

Το μήκος πλαισίου είναι $100 + 5$ bits.

$$\text{TRANSP}_{\text{ΑΠ1Π2B}} = \text{TRANSA}_{\text{ΑΠ1Π2B}} = 105 / 10^6 + 105 / 10^8 + 105 / 10^6 = 0,21 \text{ msec}$$

$$\text{PROP} = (1 + 30 + 1) \text{ km} / 300000 \text{ km/sec} = 0,11 \text{ msec}$$

$$S = 2 * 0,21 + 2 * 0,11 = 0,64 \text{ msec}$$

$$\text{Άρα } n_{ABP} = (105/10^6) / 0,00064 = 16,41\%$$

Go-Back-N:

$$n_{GBN} = \min\{1, W \times \text{TRANSP}_{\text{ΑΠ1}} / S\}$$

$$S = \text{TRANSP}_{\text{ΑΠ1Π2B}} + \text{TRANSA}_{\text{ΑΠ1Π2B}} + 2\text{PROP}$$

Το μήκος πλαισίου τώρα είναι $100 + 10$ bits, επομένως

$$\text{TRANSA}_{\text{ΑΠ1Π2B}} = 110 / 10^6 + 110 / 10^8 + 110 / 10^6 = 0,22 \text{ msec}$$

$$S = 2 * 0,22 + 2 * 0,11 = 0,66 \text{ msec}$$

$$\text{Οπότε: } W \times \text{TRANSP}_{\text{ΑΠ1}} / S = 64 * (110/10^6) / 0,00066 = 10,67$$

$$\text{Άρα } n_{GBN} = 100\%$$

iii. Για μετάδοση με σφάλματα:

Επειδή στις δυο ζεύξεις Α-Π1 και Π2-Β υπάρχει πιθανότητα σφάλματος πλαισίου ίση με PER, η πιθανότητα επιτυχούς μετάβασης μετ'επιστροφής ενός πλαισίου (δηλ. επιτυχούς αποστολής και επιτυχούς λήψης της επιβεβαίωσης), θα ισούται με

$$p = (1-PER)^4 = 0,96$$

δηλαδή με την πιθανότητα του ενδεχομένου ένα πλαίσιο να μην υποστεί σφάλμα κατά τη διάβασή του από 4 ζεύξεις, δηλαδή κατά την αποστολή στα Α-Π1 και Π2-Β και κατά την επιστροφή της επιβεβαίωσης στα Β-Π2 και Π1-Α.

ABP:

$$n_{ABP}(p) = p * \text{TRANSP}_{\text{ΑΠ1}} / (p * S + (1-p) * T)$$

όπου έχουμε δώσει ότι $T = S$, άρα

$$n_{ABP}(p) = p * \text{TRANSP}_{\text{ΑΠ1}} / S = 0,96 * (105/10^6) / 0,00064 = 15,75\%$$

Go-Back-N:

$$n_{GBN}(p) = \text{TRANSP}_{\text{ΑΠ1}} / (\text{TRANSP}_{\text{ΑΠ1}} + T * (1-p) / p)$$

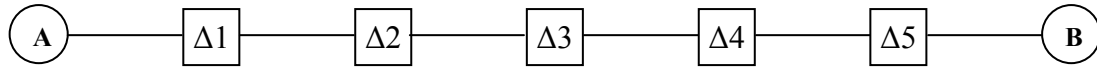
το οποίο επειδή έχουμε ορίσει $T = W * \text{TRANSP}_{\text{ΑΠ1}}$ ισούται με

$$n_{GBN}(p) = 1 / (1 + W(1-p)/p) = 27,24\%$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.12

[ΘΕΜΑ 7 Περίοδος 2005-2006 Κανονική Εξέταση]

Υποθέστε ότι θέλετε να μεταφέρετε ένα αρχείο F μεγέθους 86 Kbytes μεταξύ δύο υπολογιστών A και B τους οποίους συνδέει δίκτυο το οποίο αποτελείται από πέντε (5) διακομιστές συνδεδεμένους σε σειρά (βλ. σχήμα)



Υποθέστε ότι ο κάθε σύνδεσμος έχει καθυστέρηση διάδοσης 2 ms. Οι κόμβοι του δικτύου Δ1-Δ5 έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίξουν την μέθοδο αποστολής του αρχείου με *εγκαθίδρυση ιδεατού κυκλώματος*

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, πριν από την αποστολή του αρχείου F, για την εγκαθίδρυση του ιδεατού κυκλώματος αποστέλλεται μήνυμα μετ' επιστροφής μεγέθους 1 Kbyte από τον κόμβο A προς τον κόμβο B και πάλι πίσω. Κατά την άφιξη του μηνύματος αυτού στον κάθε κόμβο (A,B, Δ1-Δ5) υπάρχει καθυστέρηση 1 ms λόγω επεξεργασίας του μηνύματος από τον κόμβο, ενώ ο κάθε κόμβος (A,B, Δ1-Δ5) έχει ταχύτητα μετάδοσης 4 Mbits/sec. Θεωρούμε ότι η εγκαθίδρυση ολοκληρώνεται με την άφιξη του μηνύματος στον κόμβο A. Μετά την εγκαθίδρυση του ιδεατού κυκλώματος αποστέλλεται όλο το αρχείο F (σαν ένα πακέτο) από τον A στον B μέσω των διακομιστών Δ. Κατά την αποστολή του αρχείου η συμπεριφορά των διακομιστών Δ αλλάζει και ο χρόνος επεξεργασίας και μετάδοσης του αρχείου σε κάθε διακομιστή είναι πλέον σταθερός και ανεξάρτητος του μεγέθους του και ισούται με 1 msec. Επίσης κατά την παραλαβή του αρχείου από τον B υπάρχει καθυστέρηση 1 msec.

Να βρεθεί ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά του αρχείου F από τον κόμβο A στον κόμβο B. (Θεωρείστε ότι 1 Kbyte=1000 bytes και 1 Kbps = 1000bps)

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Έστω T_{VC} , T_P οι χρόνοι μεταφοράς όλου του αρχείου από τον Α στον Β με την μέθοδο του ιδεατού κυκλώματος και των αυτοδύναμων πακέτων, αντίστοιχα.

Έστω **S ο χρόνος καθυστέρησης μεταφοράς ενός πακέτου οποιουδήποτε μεγέθους** από τον κόμβο Α στον Β μέσω των 5 διακομιστών. Οι καθυστερήσεις στις οποίες υπόκειται ένα τέτοιο πακέτο είναι ο χρόνος μετάδοσης **TRANSP** σε κάθε κόμβο (συνολικά 6 κόμβοι), ο χρόνος διάδοσης **PROP** σε κάθε σύνδεση (συνολικά 6 συνδέσεις), και ο χρόνος καθυστέρησης, **D**, στον κάθε διακομιστή Δ λόγω επεξεργασίας του πακέτου (συνολικά 5 διακομιστές), δηλαδή:

$$S = 6*TRANSP + 6* PROP + 6* D \quad (1)$$

όπου,

$PROP = 2 \text{ ms}$, $D = 1 \text{ ms}$, και

$$TRANSP = C / 4 \text{ Mbps}, \quad (2)$$

όπου C το μέγεθος του πακέτου ανάλογα την περίπτωση

Στην περίπτωση χρήσης ιδεατών κυκλωμάτων υπάρχει μία καθυστέρηση εγκαθίδρυσης του ιδεατού κυκλώματος η οποία είναι σταθερή και αντιστοιχεί στον χρόνο καθυστέρησης μετ' επιστροφής (RTT) ενός μηνύματος 1 Kbyte. Άρα από την (2) έχουμε,

$$TRANSP = \frac{1 \text{ KByte}}{4 \text{ Mbps}} = \frac{1000 * 8}{4 * 10^6} \text{ sec} = 2 \text{ msec} \quad (3)$$

Αντικαθιστώντας την (3) στην (1) έχουμε

$$S = 6*2 + 6*2 + 6*1 \text{ msec} = 30 \text{ msec} \quad (4)$$

Άρα ο RTT θα είναι η μετάβαση μετ' επιστροφής του μηνύματος με συνολική καθυστέρηση $2*S$,

$$RTT = 60 \text{ msec} \quad (5)$$

Συνεπώς ο χρόνος μεταφοράς όλου του αρχείου T_{VC} θα είναι ο χρόνος εγκαθίδρυσης του ιδεατού κυκλώματος RTT συν το χρόνο μεταφοράς S_F όλου του αρχείου σαν ένα πακέτο μεγέθους 86000 bytes. Οπότε από τις (5), (2) και (1) και λαμβάνοντας υπόψη ότι η καθυστέρηση λόγω επεξεργασίας και μετάδοσης του αρχείου στους κόμβους Δ είναι πάντα σταθερή και ίση με 1 msec, έχουμε

$$T_{VC} = RTT + S_F \Rightarrow$$

$$T_{VC} = 60 + TRANSP_F + 6*2 + 6*1 \text{ msec} \Rightarrow$$

$$T_{VC} = 78 + 172 \text{ msec} = 250 \text{ msec} \quad (6)$$

όπου $TRANSP_F = \frac{86000bytes * 8bits / byte}{4 * 10^6 bps} = 172 msec$, και είναι ο χρόνος

μετάδοσης από τον αρχικό κόμβο Α.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.13

[ΘΕΜΑ 7 Περίοδος 2005-2006 Επαναληπτική Εξέταση]

Σύμφωνα με το ακόλουθο σχήμα οι κόμβοι A και B συνδέονται έμμεσα μέσω των συνδέσμων A_O1, O1_O2 και O2_B. Πλαίσια δεδομένων ή επιβεβαίωσης μεταφέρονται μεταξύ των κόμβων A και O1 μέσω ασύρματης ζεύξης με ταχύτητα μετάδοσης 5Kbps ($1K=10^3$). Πλαίσια δεδομένων ή επιβεβαίωσης μεταφέρονται μεταξύ των κόμβων O2 και B μέσω ασύρματης ζεύξης με ταχύτητα μετάδοσης 10Kbps. Επίσης, πλαίσια δεδομένων ή επιβεβαίωσης μεταφέρονται μεταξύ των κόμβων O1 και O2 μέσω της επίγειας ζεύξης με οπτική ίνα με ταχύτητα μετάδοσης 50Mbps ($1M=10^6$). Τα πακέτα δεδομένων κινούνται από το A στο B ενώ πακέτα επιβεβαίωσης από το B στο A. Έστω ότι τα πακέτα δεδομένων και επιβεβαίωσης έχουν μέγεθος 1000 bits και ότι ο χρόνος διάδοσης τόσο στην ασύρματη ζεύξη όσο και στην οπτική ίνα θεωρείται αμελητέος.

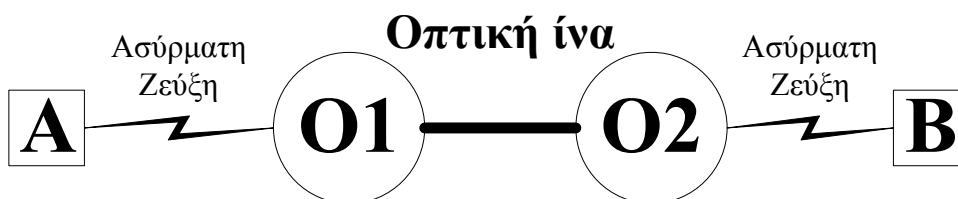
Θεωρούμε τώρα 4 περιπτώσεις εφαρμογής πρωτοκόλλων επανεκπομπής:

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

Να απαντήσετε στα παρακάτω ερωτήματα

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

(B) Έστω ότι στις ασύρματες ζεύξεις παρατηρούνται σφάλματα και ότι η πιθανότητα να μεταφερθεί σωστά (προς μια κατεύθυνση) ένα πλαίσιο σε καθεμιά είναι $p = 0.9$. Αν στο σύνδεσμο της οπτικής ίνας δεν παρατηρούνται σφάλματα και (για όλα τα πρωτόκολλα επανεκπομπής) ο χρόνος εκπνοής 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);



ΑΠΑΝΤΗΣΗ

(A)

Περίπτωση iii: Επιλέγοντας το χρόνο προθεσμίας να είναι ίσος με εκείνη την τιμή του χρόνου μετάβασης μετ' επιστροφής που δίνει τη μέγιστη απόδοση του 100% απουσία σφαλμάτων μεταφοράς, δηλαδή $S=T=W*TRANS_AO1$ (σελίδα 117, κεφ. 4, τόμος Γ) συνεπάγεται ότι

$$W=S / TRANS_AO1$$

Όπου

$$TRANS_AO1 = TRANS_O1A = 1000\text{bits} / 5\text{Kbps} = 0.2 \text{ sec},$$

$$TRANS_O2B = TRANS_BO2 = 1000\text{bits} / 10\text{Kbps} = 0.1 \text{ sec},$$

$$TRANS_O1O2 = TRANS_O2O1 = 1000\text{bits} / 50\text{Mbps} = 0.00002 \text{ sec}$$

$$S = TRANS_AO1 + TRANS_O1A + TRANS_O2B + TRANS_BO2 + TRANS_O1O2 + TRANS_O2O1 = 0.6 \text{ sec}$$

Οπότε

$$W = S / TRANS_AO1 = 0.6 / 0.2 = 3$$

Περίπτωση iv: Σε αυτή την περίπτωση ο χρόνος μετάδοσης για το A είναι 0.2 sec τόσο για τα δεδομένα όσο και για την επιβεβαίωση, οπότε $S = 0.4 \text{ sec}$. Επομένως το βέλτιστο μέγεθος παραθύρου είναι

$$W = S / TRANS_AO1 = 0.4 / 0.2 = 2$$

(B)

Περίπτωση i:

Η συνολική πιθανότητα επιτυχούς λήψης είναι $p = (1 - 0.1)^4 = 0.65$ μια και δεν υφίστανται σφάλματα στην οπτική ίνα.

$$TRANS_AO1 = TRANS_O1A = 1000\text{bits} / 5\text{Kbps} = 0.2 \text{ sec},$$

$$TRANS_O2B = TRANS_BO2 = 1000\text{bits} / 10\text{Kbps} = 0.1 \text{ sec},$$

$$TRANS_O1O2 = TRANS_O2O1 = 1000\text{bits} / 50\text{Mbps} = 0.00002 \text{ sec}$$

$$S = TRANS_AO1 + TRANS_O1A + TRANS_O2B + TRANS_BO2 + TRANS_O1O2 + TRANS_O2O1 = 0.6 \text{ sec}$$

Η απόδοση δίνεται από την σχέση (4.4) (όπου $T = S$) $\eta = p * TRANS_AO1 / S = 0.65 * 0.2 / 0.6 = 0.22$.

Η διαμετακομιστική ικανότητα δίνεται ως

$$(\text{απόδοση} * \text{ταχύτητα μετάδοσης συνδέσμου}) = 0.22 * 5 \text{ kbps} = 1083 \text{bps}.$$

Περίπτωση ii:

Εδώ θέτουμε $p = (1 - 0.1)^2 = 0.81$, $S = \text{TRANS_AO1} + \text{TRANS_O1A} = 0.4 \text{ sec}$

Η απόδοση δίνεται από την σχέση (4.4) (όπου $T = S$) $\eta = p * \text{TRANS_AO1} / S = 0.81 * 0.2 / 0.4 = 0.405$.

Η διαμετακομιστική ικανότητα δίνεται ως

(απόδοση * ταχύτητα μετάδοσης συνδέσμου) = $0.405 * 5 \text{ kbps} = 2025 \text{ bps}$.

Περίπτωση iii:

Εδώ χρησιμοποιείται η σχέση (4.8) $\eta = \text{TRANS_AO1} / [\text{TRANS_AO1} + T(1 - p)/p]$

όπου $T = S$, $p = (1 - 0.1)^4 = 0.65$, $S = 0.6 \text{ sec}$.

$\eta = 0.2 / [0.2 + 0.6 * 0.35 / 0.65] = 0.3824$

Η διαμετακομιστική ικανότητα δίνεται ως

(απόδοση * ταχύτητα μετάδοσης συνδέσμου) = $0.3824 * 5 \text{ kbps} = 1911 \text{ bps}$.

Περίπτωση iv:

Η μόνη διαφορά με την περίπτωση γ είναι ότι $p = (1 - 0.1)^2 = 0.81$ και $S = 0.4$.

$\eta = 0.2 / [0.2 + 0.4 * 0.19 / 0.81] = 0.6807$

Η διαμετακομιστική ικανότητα δίνεται ως

(απόδοση * ταχύτητα μετάδοσης συνδέσμου) = $0.6807 * 5 \text{ kbps} = 3403 \text{ bps}$.

4.7.9 Εύρεση χρόνου προθεσμίας για δεδομένη απόδοση για ABP και GBN με σφάλματα

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.14

[Θέμα 4 Περίοδος 2004 - 2005 ΓΕ #3]

Ένας φυσικός σύνδεσμος έχει ρυθμό μετάδοσης C και καθυστέρηση διάδοσης $PROP$. Η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης πλαισίου δεδομένων ή επιβεβαίωσης είναι p . Για κάθε ένα από τα πρωτόκολλα επανεκπομπής ABP και Go-Back-N, 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 50%.

Για το ABP, απαιτείται κάποιος περιορισμός στη σχέση μεταξύ L και A για να είναι δυνατό η απόδοση να είναι πάνω από 50%; Κάντε εφαρμογή για $C = 128$ kbps, $PROP = 2$ msec και $p = 0,99999$.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

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 50%:

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

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

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

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

$$T \leq \frac{p}{1-p} \frac{L - A - 2PROP \cdot C}{C}$$

Επειδή πρέπει $T > 0$, πρέπει να ισχύει $L > A + 2PROPC$

Π.χ. με τα αριθμητικά δεδομένα που δίνονται:

$$T \leq \frac{99999}{128000} (L - A - 512) \text{ sec, με } L > A + 512 \text{ bits}$$

Η απόδοση του πρωτοκόλλου Go-Back-N είναι:

$$n_{GBN} = \frac{pTRANSP}{pTRANSP + (1-p)T}$$

οπότε

$$\frac{pTRANSP}{pTRANSP + (1-p)T} \geq \frac{1}{2} \Rightarrow T \leq \frac{p}{(1-p)} TRANSP \Rightarrow T \leq \frac{pL}{(1-p)C}$$

Π.χ. με τα αριθμητικά δεδομένα που δίνονται:

$$T \leq \frac{99999}{128000} L \text{ sec}$$

4.7.10 Άμεση εφαρμογή θεωρίας για υπολογισμό αποδόσεων για ABP, GBN και SRP με και χωρίς σφάλματα

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.15

[Θέμα 4 Περίοδος 2006-2007 ΓΕ #3]

Απαιτείται επιλογή πρωτοκόλλου επανεκπομπής για επικοινωνία μεταξύ επίγειου σταθμού και τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου σε απόσταση 57.600 χιλιόμετρα από τη γη. Η ταχύτητα επικοινωνίας είναι 10.000.000 bits/sec, ενώ ο ρυθμός σφαλμάτων (error rate) είναι 10^{-6} . Τα πακέτα δεδομένων είναι μεγέθους 10.000 bits, ενώ τα πακέτα επιβεβαίωσης 1.000 bits. Η ταχύτητα διάδοσης ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κενό είναι 3×10^8 m/s.

A. Υπολογίστε την απόδοση πρωτοκόλλου ABP με χρόνο προθεσμίας ίσο με το χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής

B. Υπολογίστε το μέγεθος παραθύρου που θα έδινε μέγιστη απόδοση σε πρωτόκολλο GBN ή SRP αν υποθέσουμε ότι δεν υπάρχουν σφάλματα

Γ. Υπολογίστε την απόδοση GBN και SRP πρωτοκόλλου στη δορυφορική ζεύξη παρουσία σφαλμάτων, με χρόνο προθεσμίας ίσο με το χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής που δίνει απόδοση 100% απουσία σφαλμάτων, και με μέγεθος παραθύρου αυτό που υπολογίστηκε στο ερώτημα β.

Δ. Ποιο (μόνο ένα) από τα 3 πρωτόκολλα θα προτεινότε και γιατί;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

A. Ο συνολικός χρόνος μετάβασης μετ' επιστροφής ενός πακέτου είναι

$$S = \text{TRANSP} + \text{TRANSA} + 2(\text{PROP} + \text{PROC})$$

όπου:

$$\text{TRANSP} = 10.000 \text{ bits} / 10.000.000 \text{ bits/sec} = 0,001 \text{ sec}$$

$$\text{TRANSA} = 1.000 \text{ bits} / 10.000.000 \text{ bits/sec} = 0,0001 \text{ sec}$$

$$\text{PROC} = 0 \text{ sec}$$

$$\text{PROP} = 57.600 \text{ km} / (3 \times 10^5 \text{ km/sec}) = 0,192 \text{ sec}$$

$$S = 0.001 \text{ sec} + 0.0001 \text{ sec} + 2(0,192 \text{ sec}) = 0.3851 \text{ sec}$$

Ο ρυθμός σφαλμάτων ισούται με την πιθανότητα σφάλματος κατά τη μονόδρομη μετάδοση πακέτου. Συνεπώς, η συνολική πιθανότητα επιτυχούς μεταφοράς ισούται με το γινόμενο της πιθανότητας σωστής αποστολής του πακέτου και σωστής λήψης της επιβεβαίωσης, δηλαδή: $p=(1-10^{-6})(1-10^{-6}) = 0,999998$

Η απόδοση του ABP δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_{ABP}(p) = \frac{p\text{TRANSP}}{pS + (1-p)T}. \quad \text{Όταν } T=S, \quad \text{η σχέση γίνεται}$$

$$\eta_{ABP}(p) = \frac{p\text{TRANSP}}{pS + (1-p)S} = \frac{p\text{TRANSP}}{S} = 0,26\%$$

Συμπληρωματικά: Ο παραπάνω ρυθμός σφαλμάτων αναφέρεται σε Packet Error Rate. (PER) Αν δινόταν ο ρυθμός σφαλμάτων αποστολής bits, δηλαδή το Bit Error Rate – (BER), τότε θα έπρεπε να υπολογισθεί το PER ως εξής: για ένα πακέτο μεγέθους N Bits, η πιθανότητα σωστής μετάδοσης ενός bit είναι (1-BER). Άρα η πιθανότητα σωστής αποστολής ενός πακέτου θα ήταν $(1-\text{BER})^N$. Προφανώς το $\text{PER} = 1 - (1-\text{BER})^N$.

B. Η απόδοση στα GBN και SRP απουσία σφαλμάτων είναι

$$\eta = \min \left\{ 1, \frac{Wx\text{TRANSP}}{S} \right\}. \quad \text{Η μέγιστη απόδοση είναι } 100\% \text{ όταν } Wx\text{TRANSP} = S.$$

Συνεπώς, $W=385,1$ δηλαδή 386 πλαίσια.

Γ. Για $T=Wx\text{TRANSP}$, η απόδοση του GBN παρουσία σφαλμάτων είναι

$$\eta_{GBN}(p) = \frac{1}{1 + W \frac{1-p}{p}} = 99.92\%. \quad \text{Όμοια για το SRP,}$$

$$\eta_{SRP}(p) = \frac{2 + (1-p)(W-1)}{2 + (1-p)(3W-1)} = \frac{2,00077}{2,002314} = 99.92\%$$

Δ. Θα επιλεγθεί το GBN διότι έχει ίδια απόδοση με το SRP αλλά είναι απλούστερο στην υλοποίησή του.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.16

[ΘΕΜΑ 7 Περίοδος 2006-2007 Κανονική Εξέταση]

Η ταχύτητα επικοινωνίας επίγειου σταθμού με τηλεπικοινωνιακό δορυφόρο απόστασης 57.600 χιλιόμετρα από τη γη είναι 10.000.000 bits/sec. Τα πακέτα δεδομένων είναι μεγέθους 10.000 bits, ενώ τα πακέτα επιβεβαίωσης 1.000 bits. Η ταχύτητα διάδοσης ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κενό είναι 3×10^8 m/s.

(α) Για χρόνο προθεσμίας ίσο με το χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής, ποιος ρυθμός σφαλμάτων πακέτων PER (packet error rate) δίνει απόδοση πρωτοκόλλου ABP ίση με 0.1%;

(β) Υπολογίστε την απόδοση GBN και SRP πρωτοκόλλου στη δορυφορική ζεύξη παρουσία σφαλμάτων, με το ρυθμό σφαλμάτων πακέτων PER (packet error rate) που υπολογίστηκε στο ερώτημα α, με χρόνο προθεσμίας ίσο με το χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής που δίνει απόδοση 100% απουσία σφαλμάτων, και με μέγεθος παραθύρου $W=200$ πακέτα.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

(α)

Ο συνολικός χρόνος μετάβασης μετ'επιστροφής ενός πακέτου είναι

$$S = \text{TRANSP} + \text{TRANSA} + 2(\text{PROP} + \text{PROC})$$

όπου:

$$\text{TRANSP} = 10.000 \text{ bits} / 10.000.000 \text{ bits/sec} = 0,001 \text{ sec}$$

$$\text{TRANSA} = 1.000 \text{ bits} / 10.000.000 \text{ bits/sec} = 0,0001 \text{ sec}$$

$$\text{PROC} = 0 \text{ sec}$$

$$\text{PROP} = 57.600 \text{ km} / (3 \times 10^5 \text{ km/sec}) = 0,192 \text{ sec}$$

$$S = 0.001 \text{ sec} + 0.0001 \text{ sec} + 2(0,192 \text{ sec}) = 0.3851 \text{ sec}$$

Η απόδοση του ABP δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_{ABP}(p) = \frac{p \text{TRANSP}}{pS + (1-p)T}. \text{ Όταν } T=S, \text{ η σχέση γίνεται}$$

$$n = p \text{TRANSP}/S \Rightarrow p = nS/\text{TRANSP} \Rightarrow p = 0.3851$$

Ο ρυθμός σφαλμάτων ισούται με την πιθανότητα σφάλματος κατά τη μονόδρομη μετάδοση πακέτου. Συνεπώς, η συνολική πιθανότητα επιτυχούς μεταφοράς ισούται με το γινόμενο της πιθανότητας σωστής αποστολής του πακέτου και σωστής λήψης της επιβεβαίωσης, δηλαδή: $p=(1-\text{PER})(1-\text{PER}) \Rightarrow \text{PER} = 0.379$

(β)

Για $T=W \times \text{TRANSP}$, η απόδοση του GBN παρουσία σφαλμάτων είναι

$$n = \frac{1}{1 + W \frac{1-p}{p}} = \frac{1}{1 + 200 \frac{1-0.3851}{0.3851}} = \frac{1}{320.34} = 3.12 \cdot 10^{-3} = 0.312\%$$

Η απόδοση του SPR παρουσία σφαλμάτων είναι

$$n = \frac{2+(1-p)(W-1)}{2+(1-p)(3W-1)} = \frac{2+(1-0.3851)(200-1)}{2+(1-0.3851)(600-1)} = \frac{124.36}{370.32} = 0.33 = 33\%$$

4.7.11 Απόδοση του ΑΒΡ σε σχέση με το μέγεθος του πλαισίου

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.17

[ΘΕΜΑ 6 Περίοδος 2006-2007 Επαναληπτική Εξέταση]

Έστω δύο σταθμοί A και B που επικοινωνούν με πρωτόκολλο ABP, με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων R (bps) με μέγεθος πλαισίου N bits και χρόνο προθεσμίας T, ίσο με το συνολικό χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής, S. Η πιθανότητα σφάλματος κατά την αποστολή ενός bit από τον A στον B ισούται με P_{BER} και είναι ανεξάρτητη σε κάθε bit. Υποθέτουμε ότι κατά την επιβεβαίωση στέλνεται από τον σταθμό B πλαίσιο μικρού μεγέθους χωρίς σφάλματα. Η ποσότητα TRANSA+2PROP είναι σταθερή και ίση με μία σταθερά C.

(α) Να εκφράσετε την απόδοση του πρωτοκόλλου σαν συνάρτηση των N, P_{BER} και μετά να υπολογίσετε την απόδοση για $R=10^6$ bps, $C=10^{-3}$ s, $P_{BER} = 10^{-4}$ και μεγέθη πλαισίου $N=256$, $N=2048$, $N=2701$, $N=4096$, $N=8192$ και $N=16384$ bits.

(β) Σχολιάστε και εξηγήστε τα αποτελέσματα των αποδόσεων για τις διαφορετικές τιμές του N που βρήκατε από το ερώτημα (α).

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

(α)

Η απόδοση του ABP είναι $\eta_{ABP} = \frac{pTRANSP}{pS + (1-p)T}$. Από την εκφώνηση, $T=S$,

συνεπώς $\eta_{ABP} = \frac{pTRANSP}{S}$.

Η πιθανότητα p , επιτυχούς μεταφοράς ενός πλαισίου είναι $p = (1 - P_{BER})^N$.

Επίσης $TRANSP = N / R$ και $S = TRANSP + TRANSA + 2PROP = N / R + C$.

Συνεπώς, $\eta_{ABP} = (1 - P_{BER})^N \frac{N / R}{N / R + C} = (1 - P_{BER})^N \frac{N}{N + K}$, όπου $K=CR$.

Η παραπάνω έκφραση συσχετίζει την απόδοση με τα N , P_{BER}

Η σταθερά $K=C \cdot R=1000$ και ο τύπος της απόδοσης γίνεται

$$\eta_{ABP} = 0,9999^N \frac{N}{N + 1000}$$

Οι αποδόσεις είναι:

$$N=256 \quad \eta_{ABP}=19,87\%$$

$$N=2048 \quad \eta_{ABP}=54,47\%$$

$$N=2701 \quad \eta_{ABP}=55,7\% \text{ (βέλτιστη τιμή)}$$

$$N=4096 \quad \eta_{ABP}=53,36\%$$

$$N=8192 \quad \eta_{ABP}=39,28\%$$

$$N=16384 \quad \eta_{ABP}=18,31\%$$

(β)

Παρατηρώντας τον τύπο της απόδοσης στο ανωτέρω ερώτημα

$\eta_{ABP} = 0,9999^N \frac{N}{N + 1000}$ γίνεται αντιληπτό ότι είναι γινόμενο δύο όρων. Δηλ. του

όρου $(1 - P_{BER})^N = (0,9999)^N$, και του όρου $N / (N + K) = N / (N + 1000)$.

Ο πρώτος όρος ικανοποιεί την σχέση, αν $N > M$ τότε $(1 - P_{BER})^N < (1 - P_{BER})^M$ δηλ. αυξανόμενου του N ο πρώτος όρος μειώνεται.

Ο δεύτερος όρος, γράφεται ως ακολούθως:

$$\frac{N}{N + K} = \frac{1}{1 + K / N} \Rightarrow \text{Αν } N_1 > N_2 \text{ τότε } \frac{1}{1 + K / N_1} > \frac{1}{1 + K / N_2} \text{ δηλ. αυξανόμενου}$$

του N τότε αυξάνεται ο δεύτερος όρος σε αντίθεση με τον πρώτο που μειώνεται.

Αυτό σημαίνει ότι το γινόμενο των δύο όρων, που είναι η απόδοση του πρωτοκόλλου, θα αποκτά βέλτιστη τιμή σε κάποια ενδιάμεση τιμή του N , αφού οι δύο όροι είναι ανταγωνιστικοί ως προς την αύξηση του μήκους του πλαισίου. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι όταν $N \rightarrow \infty$ η απόδοση $\rightarrow 0$ αφού ο πρώτος όρος μειώνεται πολύ γρηγορότερα από τον δεύτερο. Επίσης όταν $N \rightarrow 0$ τότε η απόδοση $\rightarrow 0$ αφού ο δεύτερος όρος $\rightarrow 0$ και ο πρώτος $\rightarrow 1$. Να σημειωθεί ότι ο πρώτος όρος συνδέεται με την πιθανότητα σφάλματος του πλαισίου, ενώ ο δεύτερος με την αξιοποίηση του καναλιού. Το τελευταίο ισχύει αφού CR δείχνει τον αριθμό των bits που επιτρέπει το κανάλι να μεταδοθούν σε χρόνο C .

Προφανώς, τα πολύ μικρά πλαίσια έχουν μικρή πιθανότητα σφάλματος, αλλά δεν εκμεταλλεύονται το κανάλι, ενώ τα πολύ μεγάλα πλαίσια έχουν μεγάλη πιθανότητα σφάλματος και απαιτούν επανεκπομπές. Με βάση λοιπόν την διακύμανση των τιμών της απόδοσης και την παραπάνω παρατήρηση συμπεραίνουμε ότι πρέπει να υπάρχει μια βέλτιστη τιμή μεγέθους πακέτου η οποία να πετυχαίνει την μεγαλύτερη δυνατή απόδοση του συστήματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η $N=2701$ και η οποία προκύπτει αν παραγωγίσω την απόδοση ως προς N και να βρω το ακρότατο. Υπενθυμίζεται ότι για την παράγωγο μιας συνάρτησης a^x όπου a είναι ένας σταθερός

πραγματικός αριθμός ισχύει ότι $\frac{d}{dx} a^x = a^x \ln a$,

$$\frac{d}{dN} \left[(1 - P_{BER})^N \frac{N}{N + K} \right] = \frac{d}{dN} \left[(1 - P_{BER})^N \right] \frac{N}{N + K} + (1 - P_{BER})^N \frac{d}{dN} \left[\frac{N}{N + K} \right]$$

Ο πρώτος όρος βάσει της υπόδειξης δίνει:

$$\frac{d}{dN} \left[(1 - P_{BER})^N \frac{N}{N + K} \right] = (1 - P_{BER})^N \ln(1 - P_{BER}) \frac{N}{N + K}$$

$$\text{Ο δεύτερος όρος δίνει } (1 - P_{BER})^N \frac{d}{dN} \left[\frac{N}{N + K} \right] = (1 - P_{BER})^N \frac{K}{(N + K)^2}$$

Προσθέτοντας τους 2 όρους παίρνω:

=>

$$\ln(1 - BER) \frac{N}{N + K} + \frac{K}{(N + K)^2} = 0 \Rightarrow \ln(1 - P_{BER}) N^2 + N \ln(1 - P_{BER}) + K = 0$$

Επιλύοντας το τριώνυμο προκύπτει

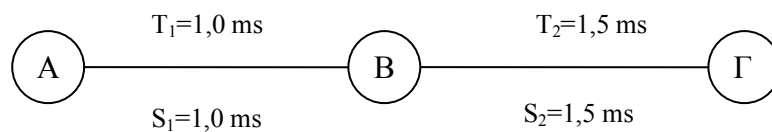
$$N^* = \frac{-K \pm \sqrt{K^2 - \frac{4K}{\ln(1 - P_{BER})}}}{2}$$

4.7.12 Σύγκριση απόδοσης όταν αυτή υλοποιείται end-to-end είτε ξεχωριστά σε κάθε ενδιάμεση ζεύξη

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.18

[ΘΕΜΑ 6 Περίοδος 2006-2007 Κανονική Εξέταση]

Έστω σταθμός Α που επικοινωνεί με σταθμό Γ μέσω ενός σταθμού Β και δύο συνδέσμων (σύνδεσμος 1 μεταξύ ΑΒ, και σύνδεσμος 2 μεταξύ ΒΓ). Οι χρόνοι μετάδοσης πλαισίου είναι ίδιοι σε κάθε σύνδεσμο ($TRANSP1 = TRANSP2 = 10^{-4}$ s), ενώ οι χρόνοι μετάβασης με επιστροφή (S) και προθεσμίας (T) είναι αντίστοιχα $S_1=T_1=1,0$ 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 Α και Γ (end-to-end), ενώ ο Β είναι απλός αναμεταδότης (στην περίπτωση αυτή ο χρόνος προθεσμίας ισούται με το άθροισμα των επιμέρους χρόνων προθεσμίας κάθε συνδέσμου).

2) ξεχωριστά πρωτόκολλα επανεκπομπής ABP υλοποιούνται μεταξύ των σταθμών Α,Β και των σταθμών Β,Γ.

Ποιο σενάριο έχει τη μεγαλύτερη απόδοση;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης πακέτου και παραλαβής της επιβεβαίωσης στον 1ο σύνδεσμο είναι $p_1 = (1 - p_{err1})^2 = (1 - 0,01)^2 = 0,99^2 = 0,9801$

Η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης πακέτου και παραλαβής της επιβεβαίωσης στον 2ο σύνδεσμο είναι $p_2 = (1 - p_{err2})^2 = (1 - 0,02)^2 = 0,98^2 = 0,9604$

Η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης πακέτου και παραλαβής της επιβεβαίωσης στον 1ο και 2ο σύνδεσμο είναι $p_{12} = (1 - p_{err1})^2 (1 - p_{err2})^2 = p_1 p_2 = 0,94128804$

Η απόδοση στο σενάριο 1 είναι

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

Εφόσον στο 2ο σενάριο έχουμε ξεχωριστά πρωτόκολλα επανεκπομπής σε κάθε σύνδεσμο, η απόδοση ως προς τον αποστολέα Α ισούται με την απόδοση της ABP στη ζεύξη AB [9,8%] (υποθέτοντας buffer στον B), ή με την ελάχιστη των αποδόσεων των δυο ζεύξεων (υπολογίζοντας την απόδοση στο bottleneck του συστήματος που είναι η ΒΓ [6.4%])

Άρα το 2ο σενάριο είναι το καλύτερο.

4.7.13 Υπολογισμός χρόνου ή και ρυθμού μετάδοσης, $E[x]$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.19

[ΘΕΜΑ 3 Περίοδος 2004 - 2005 ΓΕ #5]

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

1) Ποιός είναι ο ελάχιστος αριθμός bits που χρειάζεστε για να περιγράψετε το μέγεθος του παραθύρου N;

2) Ποιά είναι η ελάχιστη τιμή, T_{\min} , που μπορείτε να θέσετε ως χρόνο προθεσμίας επανεκπομπής εάν δεν υπάρχουν σφάλματα κατά τη μεταφορά;

3) 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;

4) Εάν σας ζητηθεί να βελτιώσετε το ρυθμό ροής κατά 50% ποιός 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%; Εξηγήστε την απάντησή σας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

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

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

$$\text{TRANSP} = 1\text{KB}/1\text{Mbps} = 8*1024/1*10^6 \text{ sec} \approx 0.008 \text{ sec} \quad (2)$$

$$\text{TRANSA} = 1\text{KB}/1\text{Mbps} = 8*1024/1*10^6 \text{ sec} \approx 0.008 \text{ sec} \quad (3)$$

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

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

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

Το μέγεθος του παραθύρου του Go-Back-N εξαρτάται από το χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής, S , αφού κατά τη διάρκεια αυτή η πηγή θα μπορεί να μεταδίδει συνέχεια πακέτα εφόσον δεν αναμένεται καμία επιβεβαίωση πριν από την ολοκλήρωση αυτού του χρόνου. Ο αριθμός των πακέτων που μπορούν να μεταδοθούν στο διάστημα S είναι,

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

Άρα χρειάζονται 5 bits για να περιγράψει κάποιος το μέγεθος του παραθύρου.

2) Η ελάχιστη τιμή επανεκπομπής, T_{\min} , που μπορεί να τεθεί ισούται με το S και άρα είναι 0.216 sec

3) Ο καινούργιος χρόνος επανεκπομπής χρησιμοποιώντας την απάντηση του ερωτήματος β) είναι

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

Εφόσον ο ρυθμός ροής είναι 20 πακέτα/sec αυτό σημαίνει ότι η μέση τιμή $E[X]$ του τυχαίου χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών πακέτων είναι

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

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (4.7) του βιβλίου και αντικαθιστώντας σε αυτή τις τιμές από τις εξισώσεις (7) και (8) έχουμε

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

$$0.05=0.008+0.378 * (1-p)/p \Rightarrow$$

$$p=0.9 \quad (9)$$

4)

(i) Για να αυξήσουμε το ρυθμό ροής κατά 50% (δηλαδή $20*1.5=30$ πακέτα/sec) με δεδομένο ότι η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης δεν αλλάζει αφού αυτή εξαρτάται

από το μέσο, τον αέρα δηλαδή, εφαρμόζουμε πάλι την εξίσωση (4.7) του βιβλίου και λύνουμε ως προς T , οπότε βρίσκουμε ότι

$$\begin{aligned} T &= (E[X] - \text{TRANSP}) * p / (1-p) \Rightarrow \\ T &= (1/30 - 0.008) * 0.9 / (1-0.9) \Rightarrow \\ T &= 0.228 \text{ sec} \end{aligned} \tag{10}$$

(ii) Σε αυτή την περίπτωση όπου ο ρυθμός ροής θέλουμε να είναι αυξημένος κατά 60% ($20 * 1.6 = 32$ πακέτα/sec) σε σχέση με τον αρχικό βρίσκουμε ότι

$$T = 0.2095 \text{ sec} \tag{11}$$

Παρατηρούμε ότι χρειαζόμαστε γι' αυτό το ρυθμό ροής χρόνο επανεκπομπής μικρότερο του απαιτούμενου χρόνου μετάβασης μετ' επιστροφής, S (βλ. εξίσωση (5)). Αυτό όμως σημαίνει ότι το πρωτόκολλο συνέχεια θα επαναμεταδίδει τα ίδια πακέτα αφού δεν επαρκεί ο χρόνος για να παραλαμβάνει τις επιβεβαιώσεις πριν τη λήξη του χρόνου επανεκπομπής. Άρα μια βελτίωση του ρυθμού ροής της τάξης του 60% δεν είναι εφικτή. Μάλιστα ο μέγιστος ρυθμός ροής που είναι εφικτός συμβαίνει όταν το $T=S$.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.20

[ΘΕΜΑ 4 Περίοδος 2006 - 2007 ΓΕ #5]

Δύο κόμβοι A και B συνδέονται μεταξύ τους με οπτική ίνα για την οποία ισχύει ότι η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης πλαισίου δεδομένων ή επιβεβαίωσης είναι p .

(α) Για κάθε ένα από τα πρωτόκολλα επανεκπομπής Go-Back-N και SRP, υπολογίστε ποια είναι η μέγιστη τιμή του χρόνου προθεσμίας (συναρτήσει της καθυστέρησης μετάδοσης $TRANSP$ και της πιθανότητας p), ώστε η απόδοση του πρωτοκόλλου να είναι πάνω από 90% θεωρώντας ότι για το κάθε πρωτόκολλο ο χρόνος προθεσμίας είναι ίσος με εκείνη την τιμή του χρόνου μετάβασης μετ' επιστροφής που δίδει τη μέγιστη απόδοση του 100% κάτω από συνθήκες απουσίας σφαλμάτων μεταφοράς.

Να κάνετε εφαρμογή για $TRANSP = 2$ msec και $p = 0,99$.

(β) Με δεδομένο ότι επιλέγουμε ένα από τα δύο πρωτόκολλα του ερωτήματος (α) με την απόδοση του πρωτοκόλλου να παραμένει στο 90%, θέλουμε να μεταδώσουμε σε πακέτα ένα αρχείο όγκου 9 Gbytes από το A στο B. Να βρεθεί ο ρυθμός μετάδοσης του κόμβου έτσι ώστε ο χρόνος μετάδοσης όλου του αρχείου να είναι μικρότερος από 8000 sec.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

A) Με δεδομένο ότι ο χρόνος προθεσμίας είναι ίσος με εκείνη την τιμή του χρόνου μετάβασης μετ' επιστροφής που δίδει τη μέγιστη απόδοση του 100% κάτω από συνθήκες απουσίας σφαλμάτων μεταφοράς η απόδοση του πρωτοκόλλου Go-Back-N είναι:

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

οπότε

$$\frac{p}{p + (1-p)W} \geq 0.9 \Rightarrow p \geq 0.9p + 0.9(1-p)W \Rightarrow \frac{0.1p}{0.9(1-p)} \geq W \Rightarrow$$

$$\frac{p}{9(1-p)} \geq W$$

Άρα η μέγιστη τιμή του χρόνου προθεσμίας $T=W \times \text{TRANSP}$ είναι

$$\frac{p}{9(1-p)} \text{TRANSP} \geq T$$

Άρα αντικαθιστώντας τις τιμές στον παραπάνω τύπο έχουμε

$$T_{GBN}=22 \text{ msec}$$

Ομοίως η απόδοση του πρωτοκόλλου SRP είναι:

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

οπότε

$$\frac{2 + (1-p)(W-1)}{2 + (1-p)(3W-1)} \geq 0.9 \Rightarrow 2 + (1-p)(W-1) \geq 0.9[2 + (1-p)(3W-1)] \Rightarrow \frac{0.1(1+p)}{1.7(1-p)} \geq W \Rightarrow$$

$$\frac{1+p}{17(1-p)} \geq W$$

Άρα η μέγιστη τιμή του χρόνου προθεσμίας $T=W \times \text{TRANSP}$ είναι

$$\frac{1+p}{17(1-p)} \text{TRANSP} \geq T$$

Άρα αντικαθιστώντας τις τιμές στον παραπάνω τύπο έχουμε

$$T_{SRP}=23.4 \text{ msec}$$

B) Γνωρίζουμε ότι και στις δύο περιπτώσεις κάθε πακέτο λόγω ύπαρξης σφαλμάτων χρειάζεται ένα μέσο όρο μετάδοσης $E[X]$.

Γνωρίζουμε επίσης ότι η απόδοση ενός πρωτοκόλλου επαναμετάδοσης είναι

$$n = \frac{\text{TRANSP}}{E[X]}$$

Από την οποία προκύπτει ότι ο μέσος χρόνος μετάδοσης κάθε πακέτου είναι

$$E[X] = \frac{TRANSP}{n} \Leftrightarrow E[X] = \frac{TRANSP}{0.9}$$

Αν έχουμε ένα αρχείο μεγέθους F και αυτό το μετατρέψουμε σε k πακέτα μεγέθους P (υποθέτουμε εδώ ότι $F/P=k$ όπου k είναι ακέραιος) τότε ο συνολικός χρόνος μετάδοσης του αρχείου είναι

$$k E[X] \leq 8000 \text{ sec}$$

Από τη σχέση $TRANSP=P/C$ και από τον τύπο του $E[X]$ προκύπτει ότι

$$k \cdot E[X] \leq 8000 \Leftrightarrow \frac{F}{P} \frac{TRANSP}{0.9} \leq 8000 \Leftrightarrow \frac{F}{P} \frac{P}{C} \leq 8000 \Leftrightarrow \frac{F}{0.9C} \leq 8000$$

$$\Leftrightarrow \frac{F}{0.9 \cdot 8000} \leq C$$

Αντικαθιστώντας όπου $F=9 \text{ Gbytes}=9 \cdot 8 \cdot 10^9 \text{ bits}$, βρίσκουμε

$$C \geq 10^7 \text{ bits/sec} = 10 \text{ Mbps}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.21

[ΘΕΜΑ 6 Περίοδος 2002 - 2003 ΓΕ #3]

Πρέπει να σχεδιάσετε ένα σύστημα δορυφορικής μετάδοσης. Ο ρυθμός μετάδοσης είναι 64 kbps. Ο χρόνος διάδοσης μεταξύ των επίγειων σταθμών, διαμέσου του δορυφόρου είναι ο χρόνος που χρειάζονται τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα για τη διαδρομή μετ'επιστροφής (round-trip) των 60 χιλιάδων χιλιομέτρων. Τα πακέτα καθώς και οι επιβεβαιώσεις (ACK) περιέχουν 1000 bits. Ο χρόνος επεξεργασίας είναι 5 msec. Η ζεύξη είναι πλήρως αμφίδρομη (full-duplex) μεταξύ των επίγειων σταθμών. Προτείνετε την χρήση SRP. Ποιό είναι το ελάχιστο μήκος παραθύρου το οποίο θα προτείνετε? Υποθέστε πιθανότητα σφάλματος κατά την μετάδοση $p=0.1\%$. Ποιός είναι ο μέσος ρυθμός μετάδοσης πακέτων για το συγκεκριμένο μέγεθος παραθύρου? Συγκρίνετε τον ρυθμό αυτό με τον ρυθμό μετάδοσης όταν χρησιμοποιείται Go-Back-N.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Το ελάχιστο μέγεθος παραθύρου που μπορείτε να προτείνετε προκύπτει από την ανισότητα:

$$W * \text{TRANSP} \geq S \Rightarrow$$

$$W \geq S / \text{TRANSP}.$$

Η τιμή $S = \text{TRANSP} + \text{TRANSA} + 2 * \text{PROP} + 2 * \text{PROC}$. Για το κάθε πακέτο, $\text{TRANSP} = 1000 \text{ bits} / 64000 \text{ bps} = 15.6 \text{ msec}$. Το ίδιο ισχύει και για τον χρόνο TRANSA . $\text{PROC} = 5 \text{ msec}$. Το $\text{PROP} = 200 \text{ msec}$. Κατα συνέπεια:

$$W \geq (441.2 \text{ msec}) / 15.6 \text{ msec} = 28.28$$

Αρα η ελάχιστη τιμή του παραθύρου είναι 29. Όταν υπάρχουν σφάλματα μεταφοράς (πιθανότητα $p = 10^{-3}$) η απόδοση του SRP δίνεται από την σχέση:

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

Στην συγκεκριμένη περίπτωση $n_{\text{SRP}}(0.001) = 97.2\%$

Απόδοση: ποσοστό χρόνου κατά το οποίο ο αποστολέας μεταδίδει νέα πακέτα. Δηλαδή,

$$n_{\text{SRP}}(p) = \frac{\text{TRANSP}}{E[X]} \Rightarrow \frac{1}{E[X]} = \frac{n_{\text{SRP}}(p)}{\text{TRANSP}}$$

$E[X]$ η μέση τιμή του χρόνου που απαιτείται για την επιτυχή μετάδοση πακέτου. Ο ζητούμενος ρυθμός είναι το αντίστροφο της ποσότητας $E[X]$. Για την συγκεκριμένη περίπτωση ο μέσος ρυθμός ισούται με 62.31 packets/sec. Στο ίδιο ακριβώς αποτέλεσμα καταλήγουμε πολλαπλασιάζοντας τον ρυθμό 64 kbps με την απόδοση n .

Στην περίπτωση GBN, η απόδοση δίνεται από την σχέση:

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

από όπου έχουμε $n_{\text{GBN}}(p) \sim 0.972$. Αρα ο μέσος ρυθμός είναι ο ίδιος με την περίπτωση SRP.

4.8 Ανακεφαλαίωση Πρωτοκόλλων Επανεκπομπής

- Βασική Εφαρμογή των τύπων απόδοσης των πρωτοκόλλων

ABP	$S = \text{TRANSP} + \text{TRANSA} + 2 \times \text{PROP}$ $\eta_{\text{ABP}} = \frac{\text{TRANSP}}{S}$	$E[X] = pS + (1-p)(T + E[X]) \Leftrightarrow E[X] = S + T \frac{1-p}{p}$ $\eta_{\text{ABP}}(p) = \frac{\text{TRANSP}}{E[X]} = \frac{p \times \text{TRANSP}}{pS + (1-p)T}$
------------	--	---

GBN	$S = \text{TRANSP} + \text{TRANSA} + 2 \times \text{PROP}$ $\eta_{\text{GBN}} = \min \left\{ 1, \frac{W \times \text{TRANSP}}{S} \right\}$	$\eta_{\text{GBN}}(p) = \frac{\text{TRANSP}}{E[X]} = \frac{\text{TRANSP}}{\text{TRANSP} + T \frac{1-p}{p}}$ $E[X] = p \times \text{TRANSP} + (1-p)(T + E[X]) \Leftrightarrow E[X] = \text{TRANSP} + T \frac{1-p}{p}$
------------	--	--

SRP	$\eta_{\text{SRP}} = \min \left\{ 1, \frac{W \times \text{TRANSP}}{S} \right\}$	$\eta_{\text{SRP}}(p) \approx \frac{2 + (1-p)(W-1)}{2 + (1-p)(3W-1)}$
------------	---	---

4.9 Ορολογία

- Καθυστέρηση μεταφοράς
 - Ο χρόνος που χρειάζεται ένα πακέτο για να μεταφερθεί από ένα κόμβο του δικτύου σε ένα άλλο. Προσοχή: Οι δύο αυτοί κόμβοι μπορεί να μην είναι διαδοχικοί αλλά να μεσολαβούν και άλλοι ενδιάμεσοι. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να λάβετε υπόψη σας όλες τις τυχόν καθυστερήσεις που μεσολαβούν (π.χ. χρόνοι διάδοσης, μεταφοράς, επεξεργασίας, ή ο,τιδήποτε άλλο σας δίνει η άσκηση)
- Καθυστέρηση διάδοσης
 - Είναι ο χρόνος διάδοσης
- Χρόνος μετάδοσης
 - Ο χρόνος που χρειάζεται ένα πακέτο να μεταδοθεί στο μέσο (TRANSP). Ισούται με το μέγεθος του πακέτου διαιρεμένο με το ρυθμό μετάδοσης. Ακολουθεί μετά ο χρόνος διάδοσης στο μέσο
- Χρόνος διάδοσης
 - Είναι ο χρόνος που χρειάζεται να διανύσει ένα πακέτο την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κόμβων (PROP). Εξαρτάται από την απόσταση και την ταχύτητα διάδοσης π.χ. φωτός. Βρίσκεται από το λόγο (Απόσταση)/(Ταχύτητα Διάδοσης)
- Χρόνος μετάβασης
 - Είναι ο χρόνος μετάβασης από ένα σημείο σε ένα άλλο. Το ίδιο με το χρόνο καθυστέρησης μεταφοράς.
- Καθυστέρηση μετάδοσης
 - Είναι ο χρόνος μετάδοσης
- Καθυστέρηση αναμονής
 - Εξαρτάται από τα συμφραζόμενα. Μπορεί να σημαίνει το χρόνο αναμονής ενός πακέτου σε ουρά ενός κόμβου για να έρθει η σειρά του να μεταδοθεί. Μπορεί να σημαίνει το χρόνο αναμονής μιας επιβεβαίωσης κλπ. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να είναι ξεκάθαρο από την εκφώνηση της άσκησης.
- Χρόνος επεξεργασίας

- Είναι ο χρόνος επεξεργασίας πακέτου κατά την παραλαβή του από ένα κόμβο. Το ίδιο και για την επιβεβαίωση. Συνήθως θεωρείται αμελητέος.
- Χρόνος προθεσμίας
 - Είναι ο χρόνος T που τίθεται από τα πρωτόκολλα επανεκπομπής ως όριο αναμονής της επιβεβαίωσης. Εάν λήξει ο χρόνος αυτός χωρίς να έχει ληφθεί η επιβεβαίωση θα πρέπει να ξαναμεταδοθεί το πακέτο ή τα πακέτα. Θα πρέπει πάντα να ισχύει $T \geq S$ για να μην έχουμε συνέχεια επανεκπομπές.
- Ρυθμός ροής
 - Είναι ο ρυθμός πακέτων στην μονάδα του χρόνου που μεταδίδεται χωρίς σφάλματα, δηλ. το λ στις ασκήσεις
- Ρυθμοαπόδοση
 - Ίδιο με το ρυθμό ροής (βλ. Άσκηση 5α της 3ης εργασίας)
- Διαμετακομιστική ικανότητα
 - Ίδιο με το ρυθμό ροής
- RTT=χρόνος μετάβασης μετ' επιστροφής
 - Είναι ο συνολικός χρόνος, S , που μεσολαβεί από την στιγμή της μετάδοσης ενός πακέτου έως τη στιγμή της παραλαβής της επιβεβαίωσης.
 - Στην πιο αναλυτική του μορφή είναι
 - $S = \text{TRANSP} + \text{PROP} + (\text{Επεξεργ.ΠαραλαβήςΠακέτου}) + \text{TRANSA} + \text{PROP} + (\text{Επεξεργ.Παραλαβής Επιβεβαίωσης}) + (\text{Οποιοσδήποτε άλλες καθυστερήσεις π.χ. αναμονής})$.
 - Στις ασκήσεις συνήθως θεωρήσαμε τους χρόνους επεξεργασίας αμελητέους ενώ δεν συναντήσαμε άλλου είδους καθυστερήσεις. Οπότε έχουμε $S = \text{TRANSP} + \text{TRANSA} + 2\text{PROP}$
- Πιθανότητα λάθους, PER
 - Είναι η πιθανότητα λάθους ενός πακέτου ή επιβεβαίωσης μεταξύ δύο σημείων
- Πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης μετ' επιστροφής
 - Είναι η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης και του πακέτου και της επιβεβαίωσης

- ❑ Προσοχή: Οι δύο αυτές πιθανότητες είναι δυνατόν να μην ταυτίζονται αν το πρωτόκολλο επανεκπομπής εφαρμόζεται μεταξύ πολλών ζεύξεων. Σε αυτή την περίπτωση είναι συναρτήσσει του PER

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

5.1 Μηχανισμοί προσπέλασης φυσικού μέσου

Ξεκινάμε από τους ορισμούς των μηχανισμών προσπέλασης φυσικού μέσου ως ακολούθως

CSMA/CD: Πολλαπλή Πρόσβαση με Ακρόαση Φέροντος και Ανίχνευση Συγκρούσεων

- Ένας κόμβος παρατηρεί το μέσο πολλαπλής πρόσβασης.
- Φαινόμενο σύγκρουσης: Αν δύο ή περισσότεροι κόμβοι μεταδώσουν δεδομένα την ίδια χρονική στιγμή.
- Όταν γίνει σύγκρουση, ο κόμβος περιμένει τυχαίο χρόνο.

CSMA/CA: Πολλαπλή Πρόσβαση με Ακρόαση Φέροντος και Αποφυγή Συγκρούσεων

- Όταν ένας κόμβος έχει δεδομένα προς μετάδοση, ελέγχει εάν το κανάλι είναι αδρανές
- Όταν το κανάλι είναι ενεργό
 - Επιλογή τυχαίου χρόνου αναμονής και καταχωρεί την τιμή του σε ένα απαριθμητή υποχώρησης
 - Όσο χρόνο το κανάλι είναι απασχολημένο, η τιμή του απαριθμητή υποχώρησης δεν μεταβάλλεται
 - Όταν μηδενιστεί η τιμή του απαριθμητή, ο κόμβος επιχειρεί ξανά την μετάδοση των δεδομένων
- Επιβεβαίωση της λήψης των πλαισίων από τον παραλήπτη

Πέρασμα Κουπονιού: Token ring τύπου RAT - Release after Transmit

- Κάθε κόμβος περιμένει να φθάσει το κουπόνι σε αυτόν
- Μόλις λάβει το κουπόνι, αρχίζει η μετάδοση δεδομένων
- Όταν η μετάδοση του πλαισίου ολοκληρωθεί, το κουπόνι αποδεσμεύεται

Πέρασμα Κουπονιού: Token ring τύπου RAR - Release after Receive

- Κάθε κόμβος περιμένει να φθάσει το κουπόνι σε αυτόν
- Μόλις λάβει το κουπόνι, αρχίζει η μετάδοση δεδομένων
- Το κουπόνι απελευθερώνεται με το που ξαναλαμβάνει ο αποστολέας ολόκληρο το πλαίσιο.

Συνήθως ζητούνται μετρικές σχετικές με τις αποδόσεις των άνω μηχανισμών, οι οποίες εκφράζονται από τους τύπους

CSMA/CD: Πολλαπλή Πρόσβαση με Ακρόαση Φέροντος και Ανίχνευση Συγκρούσεων

$$n_{\text{CSMA-CD}} = 1/(1+5\alpha), \alpha = \text{PROP}/\text{TRANSP}$$

Πέρασμα Κουπονιού: Token ring τύπου RAT - Release after Transmit

$$n_{\text{TR}} \approx \frac{1}{1 + \frac{\text{PROP}}{N \cdot \Theta}}, \text{ όπου } \Theta \text{ ο χρόνος κράτησης κουπονιού στο δακτύλιο}$$

Σε περίπτωση που δεν είναι εφικτή η εφαρμογή κάποιου εκ των παραπάνω τύπων, κάνουμε χρήση του βασικού ορισμού της απόδοσης

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

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5.1

[Θέμα 6 Περίοδος 2006-2007 ΓΕ #3]

A. Έστω ότι κανάλι πολλαπλής πρόσβασης απαρτίζεται από N κόμβους και ρυθμό μετάδοσης R bps. Το κανάλι πολλαπλής πρόσβασης επιτρέπει μόνο σε έναν κόμβο κάθε φορά να έχει αποκλειστική χρήση του για τη μετάδοση δεδομένων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η διάθεση του καναλιού σε κάθε κόμβο γίνεται κυκλικά. Συμπληρωματικά, από την στιγμή που ένας κόμβος ολοκληρώσει την μετάδοση μέχρι να επιτραπεί στον επόμενο κόμβο η μετάδοση μεσολαβεί ένα χρονικό περιθώριο ασφαλείας t_{poll} . Έστω ότι κάθε φορά ένας κόμβος μπορεί να μεταδώσει μέχρι Q bits. Ποιό είναι το μέγιστο χρονικό διάστημα που μπορεί να μεσολαβήσει προκειμένου ένας κόμβος να αρχίσει την αποστολή δεδομένων.

B. Έστω 100 Mbs 100BaseT Ethernet. Έστω ότι ο μέγιστος χρόνος διάδοσης μεταξύ δύο κόμβων είναι 0.512μsec. Ποιά η απόδοση του τοπικού δικτύου για μέγεθος πλαισίου 64 bytes?

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

A. Έστω ότι ο τυχαίος κόμβος είναι ο κόμβος 1. Στην χειρότερη περίπτωση ο κόμβος έχει δεδομένα μόλις έχει περάσει η σειρά του και επιπλέον όλοι οι άλλοι κόμβοι έχουν Q bits προς μετάδοση. Μέχρι να έρθει ξανά η σειρά του κόμβου 1, στην χειρότερη των περιπτώσεων όλοι οι υπόλοιποι $N-1$ κόμβοι μεταδίδουν Q bits με ρυθμό R bps για συνολικό χρονικό διάστημα $(N-1)Q/R$. Επιπλέον στον παραπάνω διάστημα προστίθεται και N φορές ο χρόνος ασφασλείας t_{poll} . Συνολικά $(N-1)Q/R + N t_{poll}$.

B. Η απόδοση δίνεται σαν $1/(1+5a)$ όπου $a = \text{χρόνος διάδοσης} / \text{χρόνος μετάδοσης} = \text{PROP} / \text{TRANSP}$.

$$\text{PROP} = 0.512 \mu\text{sec}$$

$$\text{TRANSP} = (8 * 64 \text{bits}) / 100 \text{Mbs} = 5.12 \mu\text{sec}$$

$$\text{Οπότε } 1/(1+5a) = 1/(1+5/10) = 0.6667$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5.2

[ΘΕΜΑ 7 Περίοδος 2002 - 2003 ΓΕ #3]

1. Θεωρείστε ένα δίκτυο Gigabit Ethernet (1Gbps) όπου η ταχύτητα διάδοσης του σήματος είναι 200,000 Km/sec και το μέγιστο μήκος του δικτύου από άκρο σε άκρο είναι 1000m.

a. Υπολογίστε το μήκος των πλαισίων και τον ενεργό ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων έτσι ώστε η απόδοση του δικτύου να είναι 80%.

b. Ποια θα είναι η απόδοση του δικτύου, αν το μήκος του δικτύου τετραπλασιασθεί και το μήκος πλαισίου παραμένει το ίδιο?

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

1. Το μήκος πλαισίου δίνεται από την παρακάτω σχέση.

$$n = \frac{1}{1 + 5 \frac{d * R}{\delta * P}} \Rightarrow 0,8 = \frac{1}{1 + 5 \frac{10^3 * 10^9}{2 * 10^8 * P}} \Rightarrow 0,8 = \frac{2P}{2P + 5 * 10^4} \Rightarrow 1,6P + 4 * 10^4 = 2P \Rightarrow$$

$$P = 100000bits = 12500bytes$$

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Με βάση τα αριθμητικά δεδομένα του προβλήματος, το μέγεθος του πλαισίου είναι πολύ μεγαλύτερο από το μέγιστο δυνατόν, όπως αυτό ορίζεται από το Ethernet standard (72-1526 bytes)

Ο ενεργός ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων είναι $R=0,8*1Gbps=800 Mbps$

Ποια θα είναι η απόδοση του δικτύου, αν το μήκος του δικτύου τετραπλασιασθεί και το μήκος πλαισίου παραμένει το ίδιο?

Στην περίπτωση αυτή ισχύει

$$n = \frac{1}{1 + 5 \frac{d * R}{\delta * P}} \Rightarrow n = \frac{1}{1 + 5 \frac{d * R}{\delta * P}} \Rightarrow n = \frac{1}{1 + 5 \frac{4 * 10^3 * 10^9}{2 * 10^8 * 10^5}} \Rightarrow n = 50\%$$

Στην περίπτωση αυτή η απόδοση του δικτύου θα μειωθεί στο 50%

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5.3

[Θέμα 5 Περίοδος 2007-2008 – ΓΕ#3]

A. Ένα δίκτυο CSMA/CD με ταχύτητα μετάδοσης 1 Gbps έχει αγωγό μήκους 1 km. Η ταχύτητα διάδοσης του σήματος είναι 200000 km/sec

i) Ποιό είναι το ελάχιστο μέγεθος του frame;

ii) Στο δίκτυο είναι συνδεδεμένοι 100 σταθμοί. Πόσα πλαίσια ελαχίστου μήκους (κατά μέσο όρο) μπορεί να στέλνει κάθε δευτερόλεπτο (κατά μέσο όρο) κάθε σταθμός;

B. Ένα token ring που χρησιμοποιείται ως μητροπολιτικό δίκτυο έχει μήκος αγωγού 200 km και ταχύτητα μετάδοσης 100 Mbps. Μετά την αποστολή ενός πλαισίου, κάθε σταθμός περιμένει να λάβει πίσω ολόκληρο το πλαίσιο. Κατόπιν ελευθερώνει τη σκυτάλη. Η ταχύτητα διάδοσης του σήματος είναι 200000 km/sec και το μέγιστο μέγεθος του πλαισίου είναι 1 Kb (όπου 1Kb=1000bits). Ποιά είναι η μέγιστη απόδοση του δικτύου αυτού;

(Σημείωση: 1 Gbps = 10^9 bps, 1 Mbps = 10^6 bps)

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

A.

i) Για να λειτουργήσει σωστά το πρωτόκολλο CSMA/CD θα πρέπει ο χρόνος μετάδοσης του πλαισίου (TRANSP) να είναι μεγαλύτερος από 2PROP, όπου PROP καθυστέρηση διάδοσης. Διαφορετικά μπορεί να υπάρξει σύγκρουση η οποία δεν γίνεται αντιληπτή από τον αποστολέα.

Αυτό εξηγείται αναλυτικά ως εξής.

Θεωρούμε έναν κόμβο A του δικτύου ο οποίος θέλει να εκπέμψει ένα πλαίσιο. Για να είναι δυνατή η ανίχνευση σύγκρουσης, στο κοινό μέσο μετάδοσης, θα πρέπει την χρονική στιγμή στην οποία φθάνει η αρχή κάποιου άλλου πλαισίου από άλλον κόμβο στον A, αυτός να εκπέμπει ακόμα. Με δεδομένο το μήκος του αγωγού του φυσικού μέσου, υπάρχει κάποιος κόμβος ο οποίος είναι ο πιο απομακρυσμένος από τον A, έστω ο B. Έστω PROP ο χρόνος διάδοσης του σήματος από τον A στον B. Θεωρούμε ότι την χρονική στιγμή 0 ο A αρχίζει την μετάδοση του δικού του πλαισίου προς τον B. Θεωρούμε επίσης ότι ο B είχε ξεκινήσει την μετάδοσή του προς τον A κατάλληλη χρονική στιγμή πριν την χρονική στιγμή 0, τέτοια ώστε την χρονική στιγμή 0+PROP να έχει τελειώσει την μετάδοση και να έχει αρχίσει η διάδοση του πλαισίου του B προς τον A. Αυτό το πλαίσιο του B θα χρειαστεί χρόνο PROP για να φθάσει στον A, δηλαδή θα φθάσει την χρονική στιγμή 0+PROP+PROP=2PROP. Όπως είπαμε παραπάνω ο A αυτήν την χρονική στιγμή θα πρέπει να μεταδώσει, έστω το τελευταίο bit του πλαισίου του. Επομένως η μετάδοση του A θα πρέπει να διαρκέσει χρόνο τουλάχιστο 2PROP.

$$2PROP = 2 \times 1 \text{ km} / 200000 \text{ km/sec} = 10 \text{ } \mu\text{sec}.$$

Συμβολίζοντας με K το ελάχιστο μέγεθος του πλαισίου για σωστή λειτουργία του CSMA/CD λαμβάνουμε:

$$K \text{ bits} / 1 \text{ Gbps} > 10 \text{ } \mu\text{sec} \Rightarrow K > 10000 \text{ bits}$$

$$\text{ii) } n_{\text{CSMA-CD}} = 1 / (1 + 5\alpha) \quad (\text{Σχέση 5.1, σελ. 145})$$

$$\alpha = PROP / TRANSP = 5 \times 10^{-6} \text{ sec} / (10000 \text{ bits} / 10^9 \text{ bps}) = 0.5$$

$$\text{Άρα } n = 1 / 3.5 = 0.286$$

Συνεπώς η ρυθμότητα του συστήματος είναι $n \times 1 \text{ Gbps} = 286 \text{ Mbps}$.

Στο δίκτυο έχουμε συνδεδεμένους $M=100$ σταθμούς, συνεπώς αν η ρυθμαπόδοση κάθε σταθμού συμβολιστεί με n_{STA} , τότε είναι:

$$n_{STA}=286/100=2.86 \text{ Mbps}$$

Εφόσον το πλαίσιο ελαχίστου μήκους είναι 10000 bits, προκύπτει ότι κάθε σταθμός στέλνει κατά μέσο όρο $2860000 \text{ bps}/10000 \text{ bits}$ ανά πλαίσιο=286 πλαίσια ανά sec

B.

Σύμφωνα με το βιβλίο της ΘΕ, η απόδοση ενός δακτυλίου με κουπόνι, όπου το κουπόνι απελευθερώνεται μετά την μετάδοση (**token ring τύπου RAT - Release after Transmit**), υπολογίζεται από τη σχέση

$$n_{TR} \approx \frac{1}{1 + \frac{PROP}{N \cdot \Theta}}, \quad \text{όπου } \Theta \text{ ο χρόνος κράτησης κουπονιού στο δακτύλιο}$$

Για χρόνο κράτησης του κουπονιού ίσο με το άθροισμα του χρόνου διάδοσης και του χρόνου μετάδοσης του πλαισίου.

$$\text{χρόνου μετάδοσης } TRANSP = \frac{f}{R} = \frac{10^3 \text{ bits}}{100 \cdot 10^6 \text{ bps}} = \frac{1}{10^5} = 10^{-5} \text{ sec}$$

$$\text{χρόνου διάδοσης } PROP = \frac{L}{U} = \frac{200}{2 \cdot 10^5} = \frac{1}{10^3} = 10^{-3} \text{ sec}$$

θα έχουμε απόδοση

$$n_{TR} \approx \frac{1}{1 + \frac{PROP}{N \cdot \Theta}} = \frac{1}{1 + \frac{10^{-3}}{N \cdot (10^{-5} + 10^{-3})}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{N \cdot (10^{-2} + 1)}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{N \cdot 1,01}}$$

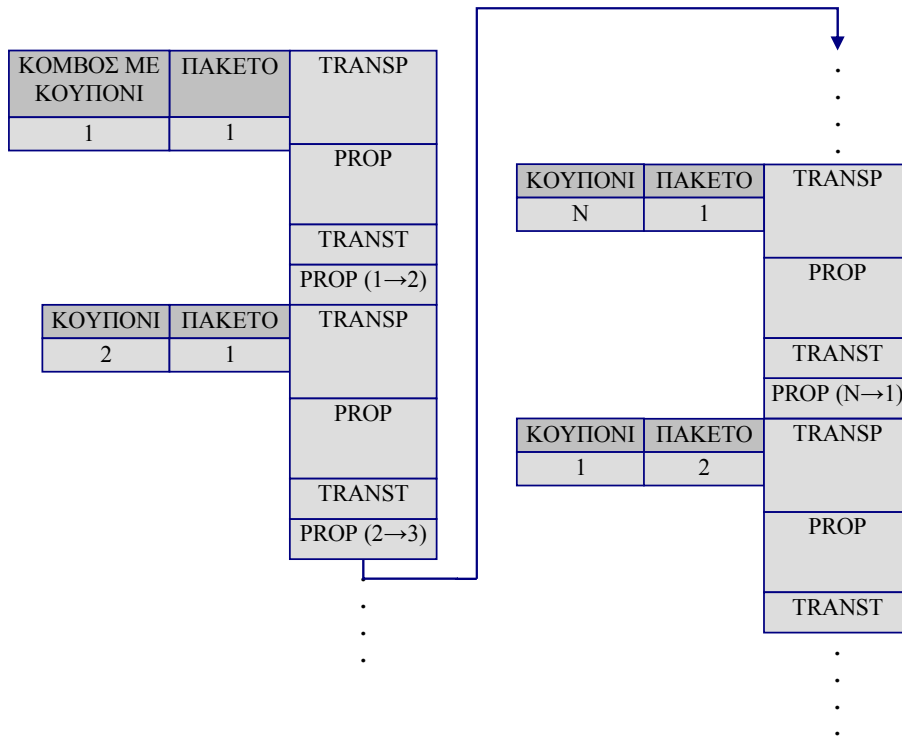
Βλέπουμε ότι όσο αυξάνονται οι σταθμοί (N) αυξάνεται και η απόδοση του δικτύου.

Η εκφώνηση του θέματος ωστόσο αναφέρεται σε απόδοση ενός δακτυλίου με κουπόνι, όπου το κουπόνι απελευθερώνεται με το που ξαναλαμβάνει ο αποστολέας ολόκληρο το πλαίσιο (**token ring τύπου RAR - Release after Receive**).

Η απόδοση η ενός πρωτοκόλλου ορίζεται σαν το κλάσμα του χρόνου κατά τον οποίο αποστέλλονται δεδομένα, προς τον συνολικό χρόνο αναμονής. Αν συμβολίσουμε $TOTAL$ τον χρόνο αυτό τότε θα ισχύει :

$$\eta = \frac{TRANS}{TOTAL} \quad (1)$$

όπου $TRANS$ ο χρόνος αποστολής δεδομένων κατά την διάρκεια του χρονικού διαστήματος $TOTAL$. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η χρονική ακολουθία μεταδόσεων στον δακτύλιο με κουπόνι της άσκησης.



Σχήμα 5.1. Ακολουθία μεταδόσεων για δακτύλιο με κουπόνι

Θεωρούμε ότι την χρονική στιγμή 0 έχει το κουπόνι ο κόμβος 1 και ξεκινά την μετάδοση ενός πακέτου, η οποία διαρκεί χρόνο $TRANSP$. Έπειτα αναμένει χρόνο $PROP$, ώστε το πακέτο να επιστρέψει σ'αυτόν. Για χρονικό διάστημα $TRANST$ μεταδίδει το κουπόνι, το οποίο κάνει χρόνο $PROP(1 \rightarrow 2)$ για να φθάσει στον κόμβο 2.

Η ίδια ακολουθία γίνεται και σε όλους τους υπόλοιπους κόμβους μέχρι και τον $N - οστό$, οπότε παραδίδεται η σκυτάλη ξανά στον κόμβο 1. Θεωρώντας ότι όλοι οι κόμβοι έχουν πακέτα για μετάδοση, τότε ο χρόνος $TOTAL$ θα είναι :

$$TOTAL = TRANSP + PROP + TRANST + PROP(1 \rightarrow 2) +$$

$$+ TRANSP + PROP + TRANST + PROP(2 \rightarrow 3) +$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$+TRANSP + PROP + TRANST + PROP(N \rightarrow 1) \Rightarrow$$

$$TOTAL = N \cdot TRANSP + N \cdot PROP + N \cdot TRANST + \\ + PROP(1 \rightarrow 2) + PROP(2 \rightarrow 3) + \dots + PROP(N \rightarrow 1)$$

Το άθροισμα $PROP(1 \rightarrow 2) + PROP(2 \rightarrow 3) + \dots + PROP(N \rightarrow 1)$ είναι ίσο με $PROP$,
οπότε για τον χρόνο $TOTAL$ θα ισχύει :

$$TOTAL = N \cdot (TRANSP + PROP + TRANST) + PROP$$

Σ'αυτό το διάστημα γίνονται N μεταδόσεις δεδομένων καθεμία από τις οποίες
διαρκεί χρόνο $TRANSP$. Επομένως θα είναι $TRANS = N \cdot TRANSP$, οπότε η σχέση
(1) θα γίνει :

$$\eta = \frac{N \cdot TRANSP}{N \cdot (TRANSP + PROP + TRANST) + PROP} \Rightarrow$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{PROP}{TRANSP} + \frac{TRANST}{TRANSP} + \frac{PROP}{N \cdot TRANSP}}$$

Το πρότυπο 801.5 ορίζει το μέγεθος του κουπονιού σε 3 Byte για τοπικά δίκτυα. Στην
περίπτωσή μας αν και το δίκτυο είναι μητροπολιτικό, θα θεωρήσουμε πάλι ότι το
μέγεθος του κουπονιού ίσο με 3 Byte. Επίσης το ίδιο πρότυπο ορίζει ελάχιστο μήκος
πλαisiού $P_{\min} = 13\text{Byte}$ (χωρίς καθόλου δεδομένα), ενώ η άσκηση δίνει μέγιστο
μήκος πλαisiού $P_{\max} = 1024\text{Byte}$. Αν R είναι η ταχύτητα μετάδοσης του δικτύου θα
ισχύει :

$$P \leq P_{\max} \Rightarrow \frac{P}{R} \leq \frac{P_{\max}}{R} \Rightarrow TRANSP \leq \frac{P_{\max}}{R} \Rightarrow \frac{1}{TRANSP} \geq \frac{R}{P_{\max}} \Rightarrow \quad (2)$$

$$\frac{1}{N \cdot TRANSP} \geq \frac{R}{N \cdot P_{\max}} \quad (3)$$

Από την (2) θα έχουμε :

$$\frac{PROP}{TRANSP} \geq \frac{R \cdot PROP}{P_{\max}} \quad (4)$$

$$\frac{TRANST}{TRANSP} \geq \frac{R \cdot TRANST}{P_{\max}} \quad (5)$$

και από την (3) :

$$\frac{PROP}{N \cdot TRANSP} \geq \frac{R \cdot PROP}{N \cdot P_{\max}} \quad (6)$$

Προσθέτοντας κατά μέλη τις (4), (5), (6) θα έχουμε :

$$\frac{PROP}{TRANSP} + \frac{TRANST}{TRANSP} + \frac{PROP}{N \cdot TRANSP} \geq \frac{R \cdot PROP}{P_{\max}} + \frac{R \cdot TRANST}{P_{\max}} + \frac{R \cdot PROP}{N \cdot P_{\max}} \Rightarrow$$

$$1 + \frac{PROP}{TRANSP} + \frac{TRANST}{TRANSP} + \frac{PROP}{N \cdot TRANSP} \geq 1 + \frac{R}{P_{\max}} \left(PROP + TRANST + \frac{PROP}{N} \right) \Rightarrow$$

$$\eta \leq \frac{1}{1 + \frac{R}{P_{\max}} \left(PROP + TRANST + \frac{PROP}{N} \right)} \Rightarrow$$

$$\eta \leq \frac{1}{1 + \frac{100 \cdot 10^6 \frac{bit}{sec}}{1000Bit} \left(\frac{200Km}{200000 \frac{Km}{sec}} + \frac{24Bit}{100 \cdot 10^6 \frac{bit}{sec}} + \frac{200Km}{200000 \frac{Km}{sec} N} \right)} \Rightarrow$$

$$\eta \leq \frac{1}{1 + 10^5 \frac{1}{sec} \left(0.001sec + 0.00000024sec + \frac{0.001}{N} sec \right)} \Rightarrow$$

$$\eta \leq \frac{1}{101.024 + \frac{100}{N}}$$

Από την παραπάνω ανίσωση θεωρώντας τον όρο $\frac{100}{N} \rightarrow 0$ (όταν υπάρχουν πολλοί κόμβοι κάτι που δικαιολογείται αφού το δίκτυο είναι μητροπολιτικό) η μέγιστη απόδοση του δικτύου θα είναι $\eta_{\max} = 0.00988 = 0.988\%$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5.4

[Θέμα 7 Περίοδος 2006-2007 ΓΕ #3]

Θεωρούμε ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN) δέκα κόμβων με ρυθμό μετάδοσης 2Mb/s.

A. Εάν το ασύρματο τοπικό δίκτυο δεν υποστήριζε προτεραιότητες, οπότε η πιθανότητα πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης είναι η ίδια για όλους τους σταθμούς, ποιά η μέση τιμή ρυθμού μετάδοσης για κάθε ένα από τους δέκα κόμβους του δικτύου;

B. Έστω ότι το ασύρματο τοπικό δίκτυο υποστηρίζει τρεις προτεραιότητες (AC-0, AC-1, AC-2), οπότε η πιθανότητα πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης δεν είναι η ίδια για όλους τους σταθμούς, αλλά κατανέμεται ως εξής: 0.5 για σταθμούς προτεραιότητας AC-2, 0.3 για σταθμούς προτεραιότητας AC-1, και 0.2 για σταθμούς προτεραιότητας AC-0. Εάν θεωρήσουμε ότι έχουμε τέσσερις σταθμούς προτεραιότητας AC-2, τρεις σταθμούς προτεραιότητας AC-1 και τρεις σταθμούς προτεραιότητας AC-0, ποιά η μέση τιμή ρυθμού μετάδοσης για κάθε ένα από τους δέκα κόμβους του δικτύου; Τι παρατηρούμε;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

A. Για κάθε σταθμό έχουμε ρυθμό μετάδοσης $2/10 \text{ Mb/s} = 0.2 \text{ Mb/s}$.

B. Για όλους τους σταθμούς AC-2 έχουμε ρυθμό μετάδοσης $2*0.5 = 1 \text{ Mb/s}$, ανά σταθμό 0.25 Mb/s , για όλους τους σταθμούς AC-1 έχουμε ρυθμό μετάδοσης $2*0.3 = 0.6 \text{ Mb/s}$, ανά σταθμό 0.2 Mb/s , Για όλους τους σταθμούς AC-0 έχουμε ρυθμό μετάδοσης $2*0.2 = 0.4 \text{ Mb/s}$, ανά σταθμό 0.133 Mb/s .

Όπως αναμενόταν, παρατηρούμε ότι οι σταθμοί προτεραιότητας AC-2 τυχάνουν μικρότερης καθυστέρησης μετάδοσης από αυτούς της προτεραιότητας AC-1, οι οποίοι με την σειρά τους τυχάνουν μικρότερης καθυστέρησης από αυτούς της προτεραιότητας AC-0.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5.5

[Θέμα 6 Περίοδος 2007-2008 – ΓΕ#3]

Ένα σύστημα ALOHA με σχισμές (Slotted ALOHA) έχει μόνο δύο χρήστες, A και B. Ο B δεν ακολουθεί το πρωτόκολλο ακριβώς, αλλά προσπαθεί να εκπέμπει συνεχώς, αλλά με πιθανότητα $p = 0.4$ σε κάθε σχισμή (για να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα συγκρούσεων).

A Ποία είναι η πιθανότητα η αποστολή πακέτου από τον A να είναι επιτυχής την πρώτη φορά;

B Ποια είναι η πιθανότητα η εκπομπή του A να είναι επιτυχής μετά από ακριβώς k συγκρούσεις (πακέτων των A και B); Υπολογίστε την πιθανότητα για $k=3$.
[Παρατήρηση: δεν μας ενδιαφέρει πότε ακριβώς εκπέμπει ο A, δηλ. σε πόσες σχισμές μετά την προηγούμενη μετάδοση μεταδίδει και πάλι. Απλά μετράμε k (διαδοχικές) απόπειρες που καταλήγουν σε σύγκρουση πριν από την επιτυχή μετάδοση.]

C Ποιός είναι ο αναμενόμενος αριθμός προσπαθειών του A που απαιτείται για τη επιτυχή μετάδοση ενός πακέτου του (σαν συνάρτηση του p και αριθμητικά);

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

A. Η πιθανότητα να εκπέμπει ο Β κάποια χρονική στιγμή είναι $p = 0.4$, άρα η πιθανότητα η αποστολή από τον Α να είναι επιτυχής είναι να μην εκπέμπει ο Β, δηλαδή

$$\bar{p} = 1 - p = 0.6.$$

B. Η πιθανότητα να μεταφερθεί ένα πακέτο σωστά με την πρώτη προσπάθεια είναι $\bar{p} = 0.6$, με την δεύτερη είναι $(1 - \bar{p}) \bar{p}$, με την τρίτη $(1 - \bar{p}) (1 - \bar{p}) \bar{p}$... οπότε με την k προσπάθεια είναι

$$(1 - \bar{p})^k \bar{p}$$

Αν $k=3$ τότε $(1 - \bar{p})^3 \bar{p} = (1 - 0.6)^3 \cdot 0.6 = 0.4^3 \cdot 0.6 = 0.0384$

C.

Ο αναμενόμενος αριθμός προσπαθειών του Α που απαιτείται για τη επιτυχή μετάδοση ενός πακέτου του είναι:

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{\infty} (k + 1) p^k \bar{p} &= \bar{p} \left(\sum_{k=0}^{\infty} k \cdot p^k + \sum_{k=0}^{\infty} p^k \right) = \\ \bar{p} \left(\frac{p}{p^2} + \frac{1}{p} \right) &= \bar{p} \left(\frac{p + \bar{p}}{p^2} \right) = \\ \bar{p} \frac{1}{p^2} &= \frac{1}{p} = \frac{1}{0.6} = 1.666 \end{aligned}$$