



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Δίκτυα Επικοινωνίας Υπολογιστών

Ενότητα: Ασκήσεις για τις ενότητες 1 – 4 (Εισαγωγή)

Ιωάννης Μοσχολιός

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά μαθήματα ΠΠ

Περιεχόμενα

1. Σκοποί ενότητας	5
2. Περιεχόμενα ενότητας.....	5
3. Ασκήσεις για τις Ενότητες 1-4: (Εισαγωγή)	7

1. Σκοποί ενότητας

Ο βασικός σκοπός αυτής της ενότητας είναι η παρουσίαση ασκήσεων για την κατανόηση της ύλης των ενότητων 1 έως 4 της θεωρίας του μαθήματος Δίκτυα Επικοινωνίας Υπολογιστών. Οι ασκήσεις που παρουσιάζονται καλύπτουν όλο το φάσμα της αντίστοιχης ύλης της θεωρίας, ενώ κάθε άσκηση συνοδεύεται από λεπτομερή περιγραφή της διαδικασίας επίλυσης.

2. Περιεχόμενα ενότητας

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται ασκήσεις, καθώς και οι λύσεις τους, για την κατανόηση: 1) της καθυστέρησης διάδοσης, της καθυστέρησης μετάδοσης, της καθυστέρησης στην ουρά αναμονής, της καθυστέρησης επεξεργασίας 2) της έννοιας του γινομένου εύρους ζώνης - καθυστέρησης, 3) της έννοιας του τεμαχισμού μηνύματος, 4) της έννοιας της μεταγωγής κυκλώματος και πακέτου, 5) του νόμου του Little.

3. Ασκήσεις για τις Ενότητες 1-4: (Εισαγωγή)

Άσκηση 1

Έστω ότι στέλνετε ένα πακέτο μεγέθους L bits μέσω μιας διαδρομής Q ζεύξεων. Κάθε ζεύξη έχει ταχύτητα μετάδοσης R bps. Έστω επίσης ότι τόσο η καθυστέρηση στις ουρές αναμονής όσο και η καθυστέρηση μετάδοσης είναι αμελητέες. Να υπολογιστεί ο χρόνος που χρειάζεται για να φτάσει το πακέτο στον προορισμό του στις παρακάτω περιπτώσεις:

α) Το δίκτυο είναι μεταγωγής πακέτου εικονικού κυκλώματος. Στην περίπτωση αυτή θεωρήστε ότι ο χρόνος εγκατάστασης ενός εικονικού κυκλώματος (VC setup time) είναι t_s sec ενώ το συνολικό μέγεθος της κεφαλίδας (header) ενός πακέτου είναι h bits.

β) Το δίκτυο παρέχει ασυνδεσμική (connectionless) υπηρεσία. Στην περίπτωση αυτή έστω ότι κάθε πακέτο έχει κεφαλίδα ίση με $2h$ bits.

γ) Το δίκτυο είναι μεταγωγής κυκλώματος. Στην περίπτωση αυτή θεωρήστε ότι ο ρυθμός μετάδοσης του κυκλώματος μεταξύ της πηγής και του προορισμού είναι R bps, ο χρόνος εγκατάστασης του κυκλώματος είναι t_s sec και η κεφαλίδα κάθε πακέτου έχει μέγεθος h bits.

Λύση

α) Ο χρόνος μετάδοσης ενός πακέτου στην ζεύξη είναι $(L+h)/R$. Ο συνολικός χρόνος μετάδοσης μέσω των Q ζεύξεων είναι $Q(L+h)/R$. Επομένως, ο ζητούμενος χρόνος είναι $t_s + Q(L+h)/R$ sec.

β) $Q(L+2h)/R$ sec.

γ) $t_s + (h+L)/R$ sec.

Άσκηση 2

Η άσκηση αυτή μελετά την καθυστέρηση διάδοσης (propagation delay) και την καθυστέρηση μετάδοσης (transmission delay). Έστω ότι έχετε δύο υπολογιστές A και B συνδεδεμένους με μία μόνο ζεύξη ρυθμού R bps. Υποθέστε ότι οι δύο υπολογιστές απέχουν m μέτρα και υποθέστε ότι η ταχύτητα διάδοσης (propagation speed) στην ζεύξη είναι s m/sec. Ο υπολογιστής A πρόκειται να στείλει ένα πακέτο μεγέθους L bits στον υπολογιστή B.

α) Εκφράστε την καθυστέρηση διάδοσης, d_{prop} ως προς το m και το s .

β) Καθορίστε τον χρόνο μετάδοσης του πακέτου, d_{trans} ως προς το L και το R .

γ) Αγνοώντας τις καθυστερήσεις επεξεργασίας και ουράς, βρείτε μια έκφραση για την καθυστέρηση από άκρο-σε-άκρο (end-to-end delay).

δ) Υποθέστε ότι ο υπολογιστής A αρχίζει να μεταδίδει το πακέτο σε χρόνο $t=0$. Στον χρόνο $t = d_{\text{trans}}$ που βρίσκεται το τελευταίο bit του πακέτου;

ε) Υποθέστε ότι το d_{prop} είναι μεγαλύτερο του d_{trans} . Σε χρόνο $t = d_{trans}$ που βρίσκεται το πρώτο bit του πακέτου;

στ) Υποθέστε ότι το d_{prop} είναι μικρότερο του d_{trans} . Σε χρόνο $t = d_{trans}$ που βρίσκεται το πρώτο bit του πακέτου;

ζ) Υποθέστε ότι $s = 2.5 \cdot 10^8$, $L = 200$ bits και $R = 28$ kbps. Βρείτε την απόσταση m έτσι ώστε $d_{prop} = d_{trans}$.

Λύση

α) $d_{prop} = m / s$ sec.

β) $d_{trans} = L / R$ sec.

γ) $d_{end-to-end} = (m / s + L / R)$ sec.

δ) Το bit μόλις έφυγε από τον υπολογιστή A.

ε) Το πρώτο bit είναι στην ζεύξη και δεν έχει φτάσει στον υπολογιστή B.

στ) Το πρώτο bit έχει φτάσει στον υπολογιστή B.

ζ) Θέλουμε να ισχύει:

$$d_{prop} = d_{trans} \Rightarrow \frac{m}{s} = \frac{L}{R} \Rightarrow m = \frac{200}{28 \times 10^3} (2.5 \times 10^8) = 1786 \text{ km.}$$

Άσκηση 3

Θεωρήστε την καθυστέρηση στην ουρά αναμονής ενός καταχωρητή. Υποθέτουμε ότι τα πακέτα έχουν μέγεθος L bits, η ταχύτητα μετάδοσης είναι R bps και ότι N πακέτα φτάνουν ταυτόχρονα στον καταχωρητή κάθε LN/R sec. Να υπολογιστεί η μέση καθυστέρηση ενός πακέτου στην ουρά αναμονής.

(Υπόδειξη: Η καθυστέρηση στην ουρά αναμονής για το πρώτο πακέτο είναι μηδέν sec; για το δεύτερο πακέτο L/R sec; για το τρίτο πακέτο $2L/R$ sec κτλ. Επίσης, θεωρήστε ότι το N -οστό πακέτο έχει ήδη μεταδοθεί όταν φτάνει στον καταχωρητή η δεύτερη ομάδα από N πακέτα.)

Λύση

Για την μετάδοση των N πακέτων απαιτούνται LN/R sec. Επομένως, ο καταχωρητής είναι άδειος όταν φτάνει σ' αυτόν μια ομάδα N πακέτων.

Η καθυστέρηση στην ουρά αναμονής για το πρώτο πακέτο είναι μηδέν sec; για το δεύτερο πακέτο L/R sec; για το τρίτο πακέτο $2L/R$ sec και γενικά για το n πακέτο $(n-1)L/R$ sec.

Επομένως, η μέση καθυστέρηση ισούται με:

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (n-1)L/R = \frac{L}{R} \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} n = \frac{L}{R} \frac{1}{N} \frac{(N-1)N}{2} = \frac{L}{R} \frac{(N-1)}{2}.$$

Άσκηση 4

Υποθέστε ότι δύο υπολογιστές, A και B, απέχουν 10,000 km και συνδέονται με μία απευθείας σύνδεση $R = 1$ Mbps. Υποθέστε επίσης ότι ο ρυθμός διάδοσης επάνω στην ζεύξη είναι $2.5 \cdot 10^8$ m/sec.

α) Υπολογίστε το γινόμενο εύρους ζώνης-καθυστέρησης, $R \cdot d_{\text{prop}}$

β) Σκεφτείτε την αποστολή ενός αρχείου 400,000 bits από τον υπολογιστή A στον υπολογιστή B. Υποθέστε ότι το αρχείο στέλνεται συνεχόμενα, ως ένα μεγάλο μήνυμα. Ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός bit που θα βρίσκονται επάνω στην ζεύξη μια δεδομένη στιγμή;

γ) Δώστε μια ερμηνεία του γινομένου εύρους ζώνης-καθυστέρησης.

δ) Ποιο είναι το πλάτος ενός bit (σε μέτρα) μέσα στην ζεύξη; Είναι μεγαλύτερο από ένα γήπεδο ποδοσφαίρου;

ε) Πόσος χρόνος απαιτείται για την μετάδοση του αρχείου, αν θεωρήσουμε ότι στέλνεται συνεχόμενα;

στ) Υποθέστε ότι το αρχείο σπάει σε 10 επιμέρους πακέτα όπου κάθε πακέτο αποτελείται από 40000 bits. Υποθέστε επίσης ότι ο παραλήπτης επιβεβαιώνει την λήψη κάθε πακέτου και ότι ο χρόνος μετάδοσης του πακέτου επιβεβαίωσης είναι αμελητέος. Τέλος, υποθέστε ότι ο αποστολέας δεν μπορεί να στείλει νέο πακέτο προς τον παραλήπτη αν δεν λάβει επιβεβαίωση λήψης του προηγούμενου πακέτου. Πόσος χρόνος απαιτείται για την μετάδοση του αρχείου;

Λύση

α) 40,000 bits

β) 40,000 bits

γ) Το γινόμενο εύρους ζώνης – καθυστέρησης εκφράζει τον μέγιστο αριθμό bits που μπορούν να βρίσκονται στην ζεύξη.

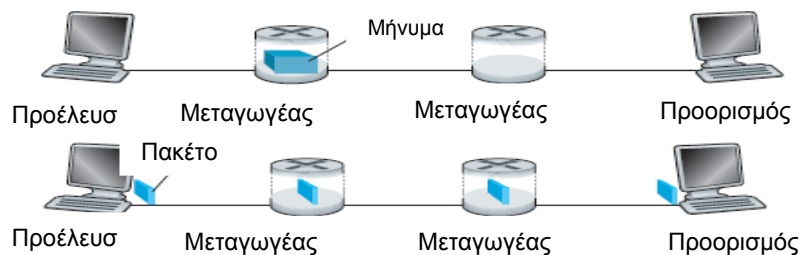
δ) Το πλάτος ενός bit = μήκος ζεύξης / γινόμενο εύρους ζώνης – καθυστέρησης. Επομένως, το πλάτος 1 bit είναι 250 μέτρα, που είναι μεγαλύτερο από ένα γήπεδο ποδοσφαίρου.

ε) $t_{\text{trans}} + t_{\text{prop}} = 400 \text{ msec} + 40 \text{ msec} = 440 \text{ msec}$

στ) $10 * (t_{\text{trans}} + 2 t_{\text{prop}}) = 10*(40 \text{ msec} + 80 \text{ msec}) = 1.2 \text{ sec}$

Άσκηση 5

Στα μοντέρνα δίκτυα μεταγωγής πακέτου, συμπεριλαμβανομένου του Διαδικτύου, ο υπολογιστής προέλευσης (source host) τεμαχίζει μεγάλα μηνύματα του επιπέδου εφαρμογής (π.χ. ένα αρχείο μουσικής) σε μικρότερα πακέτα και στέλνει τα πακέτα μέσα στο δίκτυο. Ο δέκτης κατόπιν ανασυνθέτει τα πακέτα και δημιουργεί το πρωτότυπο μήνυμα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται τεμαχισμός μηνύματος (message segmentation). Η εικόνα 1 δείχνει την μεταφορά από άκρο-σε-άκρο με και χωρίς τεμαχισμό πακέτου. Θεωρήστε ένα μήνυμα μεγέθους 7.5×10^6 bits, που στέλνεται από την προέλευση στον προορισμό (βλ. εικόνα 1). Υποθέστε ότι κάθε ζεύξης της εικόνας είναι 1.5 Mbps. Αγνοήστε τις καθυστερήσεις διάδοσης, ουράς και επεξεργασίας.



Εικόνα 1: Μεταφορά μηνύματος από-άκρο-σε-άκρο: α) χωρίς τεμαχισμό μηνύματος, β) με τεμαχισμό μηνύματος.

α) Θεωρήστε ότι στέλνετε ένα μήνυμα από την προέλευση στον προορισμό χωρίς τεμαχισμό μηνύματος. Πόσος χρόνος απαιτείται για να μεταφερθεί το μήνυμα από τον υπολογιστή προέλευσης στον πρώτο μεταγωγέα πακέτων; Έχοντας υπόψη ότι κάθε μεταγωγέας χρησιμοποιεί μεταγωγή αποθήκευσης-και-προώθησης πακέτου, ποιος είναι ο συνολικός χρόνος μεταφοράς ενός μηνύματος από τον υπολογιστή προέλευσης στον υπολογιστή προορισμού;

β) Υποθέστε τώρα ότι το μήνυμα τεμαχίζεται σε 5000 πακέτα, όπου το κάθε πακέτο έχει μήκος 1500 bits. Πόσος χρόνος απαιτείται για να μεταφερθεί το πρώτο πακέτο από τον υπολογιστή προέλευσης στον πρώτο μεταγωγέα; Όταν το πρώτο πακέτο στέλνεται από τον πρώτο μεταγωγέα στον δεύτερο μεταγωγέα, το δεύτερο πακέτο στέλνεται από τον υπολογιστή προέλευσης στον πρώτο μεταγωγέα. Ποια στιγμή θα έχει αφιχθεί πλήρως το δεύτερο πακέτο στον πρώτο μεταγωγέα;

γ) Πόσος χρόνος απαιτείται για την μεταφορά του αρχείου από τον υπολογιστή προέλευσης στον υπολογιστή προορισμού, όταν χρησιμοποιείται τεμαχισμός πακέτου; Συγκρίνετε αυτό το αποτέλεσμα με την απάντηση στο μέρος (α) και σχολιάστε.

δ) Συζητήστε τα μειονεκτήματα του τεμαχισμού μηνυμάτων.

Λύση

α) Ο χρόνος που απαιτείται για να μεταφερθεί το μήνυμα από τον υπολογιστή προέλευσης στον πρώτο μεταγωγέα πακέτων ισούται με: $\frac{7.5 \times 10^6}{1.5 \times 10^6} \text{sec} = 5 \text{sec}$. Ο συνολικός χρόνος μεταφοράς ενός μηνύματος από τον υπολογιστή προέλευσης στον υπολογιστή προορισμού, λόγω του ότι κάθε μεταγωγέας χρησιμοποιεί μεταγωγή αποθήκευσης-και-προώθησης πακέτου, ισούται με: $5 \text{sec} \times 3 \text{ hops} = 15 \text{sec}$.

β) Ο χρόνος που απαιτείται για να μεταφερθεί το πρώτο πακέτο από τον υπολογιστή προέλευσης στον πρώτο μεταγωγέα ισούται με: $\frac{1.5 \times 10^3}{1.5 \times 10^6} \text{sec} = 1 \text{msec}$. Ο χρόνος που απαιτείται για να μεταφερθεί το δεύτερο πακέτο από τον υπολογιστή προέλευσης στον πρώτο μεταγωγέα = χρόνο που απαιτείται για να μεταφερθεί το πρώτο πακέτο στον δεύτερο μεταγωγέα = $2 \times 1 \text{msec} = 2 \text{msec}$.

γ) Ο χρόνος που απαιτείται για την μεταφορά του πρώτου πακέτου από τον υπολογιστή προέλευσης στον υπολογιστή προορισμού = $1 \text{msec} \times 3 \text{hops} = 3 \text{msec}$. Κάθε 1 msec, μετά τα πρώτα 3 msec, θα έχουμε άφιξη πακέτου στον υπολογιστή προορισμού. Επομένως, ο χρόνος που απαιτείται για την μεταφορά του τελευταίου πακέτου (5000-οστού) ισούται με: $3 \text{msec} + 4999 * 1 \text{msec} = 5.002 \text{sec}$. Άρα, στην περίπτωση του τεμαχισμού μηνύματος η καθυστέρηση μειώθηκε περίπου στο 1/3 σε σχέση με την αντίστοιχη του ερωτήματος (α).

δ) Μειονεκτήματα:

- 1) Τα πακέτα θα πρέπει να μπουν στην σειρά όταν φτάσουν στον προορισμό τους.
- 2) Ο τεμαχισμός μηνύματος οδηγεί σε πολλά μικρότερα πακέτα. Επειδή το μέγεθος της κεφαλίδας είναι το ίδιο για όλα τα πακέτα (ανεξάρτητα από το μέγεθος τους) είναι φανερό ότι ο τεμαχισμός μηνύματος οδηγεί σε αύξηση των συνολικών bytes κεφαλίδας.

Άσκηση 6

Θεωρήστε ότι στέλνετε ένα μεγάλο αρχείο F bits από τον υπολογιστή A στον υπολογιστή B. Υπάρχουν δύο ζεύξεις (και ένας μεταγωγέας) ανάμεσα στον A στον B και οι ζεύξεις είναι χωρίς συμφόρηση (δηλ. δεν υπάρχουν καθυστερήσεις ουράς). Ο υπολογιστής A τεμαχίζει το αρχείο σε τμήματα των S bits το καθένα και προσθέτει 30 bits κεφαλίδα σε κάθε τμήμα, δημιουργώντας πακέτα των $L = 30 + S$ bits. Κάθε ζεύξη έχει ρυθμό μετάδοσης R bps. Βρείτε την τιμή του S που ελαχιστοποιεί την καθυστέρηση μεταφοράς του αρχείου από τον υπολογιστή A στον υπολογιστή B. Αγνοήστε την καθυστέρηση διάδοσης.

Λύση

Το πρώτο πακέτο φτάνει στον υπολογιστή B σε χρόνο $\frac{S+30}{R} \times 2 \text{sec}$. Μετά τον χρόνο

αυτό, έχουμε την επόμενη άφιξη πακέτου στον υπολογιστή B κάθε $\frac{S+30}{R} \text{sec}$. Επομένως

η καθυστέρηση για την μετάδοση ολόκληρου του αρχείου ισούται με:

$$\text{delay} = \frac{S+30}{R} \times 2 + \left(\frac{F}{S} - 1\right) \times \left(\frac{S+30}{R}\right) = \frac{S+30}{R} \times \left(\frac{F}{S} + 1\right).$$

Προκειμένου να υπολογίσουμε την τιμή του S που ελαχιστοποιεί την καθυστέρηση μεταφοράς του αρχείου από τον υπολογιστή A στον υπολογιστή B έχουμε ότι:

$$\frac{d}{dS} delay = 0 \Rightarrow \frac{F}{R} \left(\frac{1}{S} - \frac{30+S}{S^2} \right) + \frac{1}{R} = 0 \Rightarrow S = \sqrt{30F}.$$

Άσκηση 7

Θεωρήστε την αποστολή φωνής πραγματικού χρόνου από τον υπολογιστή A στον υπολογιστή B μέσω ενός δικτύου μεταγωγής πακέτου (VoIP). Ο υπολογιστής A μετατρέπει αμέσως την αναλογική φωνή σε ψηφιακό ρεύμα bits 64 kbps. Κατόπιν, ο υπολογιστής A ομαδοποιεί τα bit σε πακέτα των 66 bytes. Υπάρχει μόνο μια ζεύξη ανάμεσα στον υπολογιστή A και στον υπολογιστή B η οποία έχει ρυθμό μετάδοσης 2 Mbps και καθυστέρηση διάδοσης (propagation delay) 10 msec. Μόλις υπολογιστής A συλλέξει ένα πακέτο, το στέλνει στον υπολογιστή B. Μόλις ο υπολογιστής B λάβει ένα ολόκληρο πακέτο, μετατρέπει τα bit του πακέτου σ' ένα αναλογικό σήμα. Πόσος χρόνος περνάει απ' την στιγμή που δημιουργείται ένα bit (από το αρχικό αναλογικό σήμα στον υπολογιστή A) έως ότου το bit αποκωδικοποιηθεί (ως τμήμα του αναλογικού σήματος στον υπολογιστή B);

Λύση

Θεωρήστε το πρώτο bit του πακέτου. Προτού μεταδοθεί το bit αυτό, θα πρέπει να έχουν δημιουργηθεί όλα τα bits του πακέτου. Ο χρόνος που απαιτείται για την δημιουργία αυτή

είναι: $\frac{66 * 8}{64 * 10^3} \text{sec} = 8.25 \text{msec}.$

Ο χρόνος που απαιτείται για την μετάδοση του πακέτου ισούται με: $\frac{66 * 8}{2 * 10^6} \text{sec} = 264 \mu\text{sec}.$

Επειδή η καθυστέρηση διάδοσης είναι 10 msec ο χρόνος που περνάει απ' την στιγμή που δημιουργείται ένα bit (από το αρχικό αναλογικό σήμα στον υπολογιστή A) έως ότου το bit αποκωδικοποιηθεί (ως τμήμα του αναλογικού σήματος στον υπολογιστή B) ισούται με: $8.25 \text{msec} + 264 \mu\text{sec} + 10 \text{msec} = 18.514 \text{msec}.$

Άσκηση 8

Υποθέστε ότι οι χρήστες μοιράζονται μία ζεύξη 6 Mbps. Επίσης, υποθέστε ότι κάθε χρήστης απαιτεί 150 kbps όταν μεταδίδει αλλά κάθε χρήστης μεταδίδει μόνο κατά το 10% του χρόνου.

α) όταν χρησιμοποιείται μεταγωγή κυκλώματος, πόσοι χρήστες μπορούν να υποστηριχθούν;

Αν υποθέσουμε ότι εφαρμόζεται μεταγωγή πακέτου:

β) να βρείτε την πιθανότητα να μεταδίδει ένας συγκεκριμένος χρήστης.

γ) υποθέστε ότι υπάρχουν 100 χρήστες. Να βρείτε την πιθανότητα μία συγκεκριμένη στιγμή να μεταδίδουν ακριβώς n χρήστες ταυτόχρονα.

δ) βρείτε την πιθανότητα να μεταδίδουν ταυτόχρονα 31 ή περισσότεροι χρήστες.

Λύση

α) όταν χρησιμοποιείται μεταγωγή κυκλώματος υποστηρίζονται $6\text{Mbps} / 150\text{ kbps} = 40$ χρήστες αφού ο κάθε χρήστης δεσμεύει στατικά 150 kbps (λόγω της μεταγωγής κυκλώματος, κάθε χρήστης δεσμεύει 150 kbps , οπότε δεν μας ενδιαφέρει αν κάθε χρήστης μεταδίδει μόνο κατά το 10% του χρόνου).

β) η πιθανότητα να μεταδίδει ένας χρήστης προκύπτει από το ποσοστό του χρόνου που ο χρήστης είναι ενεργός, δηλαδή 0.1.

γ) η πιθανότητα να μεταδίδουν ταυτόχρονα n χρήστες υπολογίζεται βάσει της διωνυμικής κατανομής:

$$P(n) = \binom{100}{n} (0.1)^n (0.9)^{100-n}$$

δ) η πιθανότητα να μεταδίδουν ταυτόχρονα 31 ή περισσότεροι χρήστες είναι 1 μείον την πιθανότητα να μεταδίδουν 0 έως και 30 χρήστες.

$$P(> 30) = 1 - P(< 31) = 1 - [P(0) + \dots + P(30)] = 1 - \sum_{n=0}^{30} \binom{100}{n} (0.1)^n (0.9)^{100-n}$$

Άσκηση 9

Θεωρήστε μια ζεύξη 1 Mbps . Οι χρήστες παράγουν δεδομένα με ρυθμό 1000 kbps όταν είναι απασχολημένοι, αλλά παράγουν δεδομένα μόνο με πιθανότητα $p = 0.1$. Υποθέστε ότι η ζεύξη 1 Mbps αντικαθίσταται από μια ζεύξη 1 Gbps .

α) Ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός N χρηστών που μπορούν να υποστηρίζονται ταυτόχρονα με μεταγωγή κυκλώματος;

β) Θεωρήστε τώρα μεταγωγή πακέτου και πληθυσμό χρηστών M . Δώστε έναν τύπο (ως προς τα p , M , N) για την πιθανότητα περισσότεροι από N χρήστες να στέλνουν δεδομένα.

Λύση

α) 1000

$$\beta) \sum_{n=N+1}^M \binom{M}{n} p^n (1-p)^{M-n}$$

Άσκηση 10

Θεωρήστε ένα πακέτο μεγέθους L το οποίο ξεκινά από το τερματικό σύστημα A και ταξιδεύει μέσω τριών ζεύξεων προς ένα τερματικό σύστημα προορισμού. Αυτές οι ζεύξεις συνδέονται με δύο μεταγωγείς πακέτων. Έστω d_i , s_i και R_i το μήκος, η ταχύτητα διάδοσης και ο ρυθμός μετάδοσης της ζεύξης i , για $i = 1, 2, 3$. Ο μεταγωγέας πακέτου καθυστερεί κάθε πακέτο κατά d_{proc} . Υποθέτοντας ότι δεν υπάρχουν καθυστερήσεις ουράς, ως προς τα d_i , s_i , R_i , ($i = 1,2,3$) και L , ποια είναι η συνολική καθυστέρηση από άκρο-σε-άκρο για το πακέτο; Υποθέστε τώρα ότι το πακέτο έχει μέγεθος 1.500 bytes, η ταχύτητα διάδοσης και στις τρεις ζεύξεις είναι $2.5 \cdot 10^8$ m/s, οι ρυθμοί μετάδοσης και στις τρεις ζεύξεις είναι 2 Mbps, η καθυστέρηση επεξεργασίας του μεταγωγέα πακέτων είναι 3 msec, το μήκος της πρώτης ζεύξης είναι 5.000 km, το μήκος της δεύτερης ζεύξης είναι 4.000 km και της τελευταίας ζεύξης είναι 1.000 km. Γι' αυτές τις τιμές, ποια είναι η καθυστέρηση από-άκρο-σε-άκρο;

Λύση

Το πρώτο σύστημα απαιτεί χρόνο L/R_1 για την μετάδοση του πακέτου στην πρώτη ζεύξη. Το πακέτο διαδίδεται στην πρώτη ζεύξη σε χρόνο d_1/s_1 . Ο μεταγωγέας πακέτου καθυστερεί κάθε πακέτο κατά d_{proc} . Μόλις ληφθεί το πακέτο, ο μεταγωγέας πακέτου που συνδέει την πρώτη με την δεύτερη ζεύξη απαιτεί χρόνο L/R_2 για την μετάδοση του πακέτου στην δεύτερη ζεύξη. Το πακέτο διαδίδεται στην δεύτερη ζεύξη σε χρόνο d_2/s_2 . Ομοίως, μπορούμε να βρούμε την καθυστέρηση στον δεύτερο μεταγωγέα και στην τρίτη ζεύξη: L/R_3 , d_{proc} και d_3/s_3 .

Αθροίζοντας τις καθυστερήσεις αυτές έχουμε:

$$d_{end-end} = L/R_1 + L/R_2 + L/R_3 + d_1/s_1 + d_2/s_2 + d_3/s_3 + d_{proc} + d_{proc}$$

Προκειμένου να απαντήσουμε στην 2^η ερώτηση αρκεί να αθροίσουμε τις επιμέρους τιμές: $6 + 6 + 6 + 20 + 16 + 4 + 3 + 3 = 64$ msec.

Άσκηση 11

Ένας μεταγωγέας πακέτων δέχεται ένα πακέτο και καθορίζει την εξερχόμενη ζεύξη, προς την οποία πρέπει να προωθηθεί το πακέτο. Όταν φθάνει το πακέτο, ένα άλλο πακέτο είναι στα μισά του δρόμου της μετάδοσης στην εξερχόμενη ζεύξη και τέσσερα ακόμη πακέτα περιμένουν να μεταδοθούν. Τα πακέτα μεταδίδονται με την σειρά άφιξης. Υποθέστε ότι όλα τα πακέτα έχουν μέγεθος 1500 bytes και ο ρυθμός της ζεύξης είναι 4 Mbps. Ποια είναι η καθυστέρηση ουράς για το πακέτο; Γενικότερα, ποια είναι η καθυστέρηση ουράς, όταν όλα τα πακέτα έχουν μέγεθος L , ο ρυθμός μετάδοσης είναι R , έχουν μεταδοθεί x bits του μεταδιδόμενου πακέτου και n πακέτα βρίσκονται ήδη στην ουρά;

Λύση

Όταν φθάνει το πακέτο, ένα άλλο πακέτο είναι στα μισά του δρόμου της μετάδοσης στην εξερχόμενη ζεύξη και τέσσερα ακόμη πακέτα περιμένουν να μεταδοθούν. Επομένως το πακέτο θα πρέπει να περιμένει να μεταδοθούν $750 + 4 \cdot 1500 = 6,750$ bytes ή 54,000 bits. Επειδή ταχύτητα μετάδοσης είναι 4 Mbps, η καθυστέρηση στην ουρά αναμονής είναι 13.5 msec. Γενικά, η καθυστέρηση στην ουρά αναμονής είναι: $(nL + (L - x))/R$.

Άσκηση 12

Υποθέστε ότι N πακέτα φθάνουν ταυτόχρονα σε μια ζεύξη, στην οποία επί του παρόντος δεν μεταδίδονται ούτε αναμένουν πακέτα. Κάθε πακέτο έχει μέγεθος L και η ζεύξη έχει ρυθμό μετάδοσης R . Ποια είναι η μέση καθυστέρηση ουράς για τα N πακέτα;

Λύση

Η καθυστέρηση στην ουρά είναι μηδέν για το πρώτο πακέτο, L/R για το δεύτερο πακέτο και γενικά, $(n-1)L/R$ για το n -οστό πακέτο. Επομένως, η μέση καθυστέρηση ουράς για τα N πακέτα ισούται με:

$$(L/R + 2L/R + \dots + (N-1)L/R)/N$$

$$= L/(RN) * (1 + 2 + \dots + (N-1))$$

$$= L/(RN) * N(N-1)/2$$

$$= LN(N-1)/(2RN)$$

$$= (N-1)L/(2R)$$

Σημειώνεται ότι χρησιμοποιήθηκε η σχέση: $1 + 2 + \dots + N = N(N+1)/2$

Άσκηση 13

Θεωρήστε ότι ένας ενταμιευτής δρομολογητή προηγείται μιας εξερχόμενης ζεύξης. Σε αυτό το πρόβλημα θα χρησιμοποιήσουμε τον νόμο του Little, έναν διάσημο νόμο από την θεωρία ουρών. Έστω N ο μέσος αριθμός πακέτων μέσα στον ενταμιευτή συν το πακέτο που μεταδίδεται. Έστω a ο ρυθμός των πακέτων που φθάνουν στην ζεύξη. Έστω d η μέση συνολική καθυστέρηση (δηλ., την καθυστέρηση ουράς συν την καθυστέρηση μετάδοσης), για ένα πακέτο. Ο νόμος του Little είναι $N = a \cdot d$. Υποθέστε ότι κατά μέσο όρο, αυτός ο ενταμιευτής περιέχει 10 πακέτα, και η μέση καθυστέρηση ουράς ενός πακέτου είναι 10 msec. Ο ρυθμός μετάδοσης της ζεύξης είναι 100 πακέτα/sec. Χρησιμοποιώντας τον νόμο του Little, ποιος είναι ο μέσος ρυθμός άφιξης πακέτων, υποθέτοντας ότι δεν υπάρχει απώλεια πακέτων;

Λύση

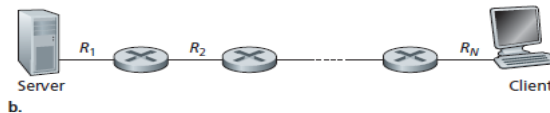
Ο συνολικός αριθμός πακέτων στο σύστημα ισούται με τα πακέτα που υπάρχουν στον ενταμιευτή + το πακέτο που μεταδίδεται. Επομένως, $N=10+1=11$.

Επειδή, $N = a \cdot d$, έχουμε: $(10+1)=a*(\text{καθυστέρηση ουράς} + \text{καθυστέρηση μετάδοσης})$. Άρα:

$$11=a*(0.01+1/100)=a*(0.01+0.01), \text{ και } a=550 \text{ πακέτα/sec.}$$

Άσκηση 14

Θεωρήστε την εικόνα 2. Υποθέστε ότι κάθε ζεύξη ανάμεσα στον εξυπηρετητή και στον πελάτη έχει μια πιθανότητα απώλειας πακέτου p και ότι οι πιθανότητες απώλειας πακέτου γι' αυτές τις ζεύξεις είναι ανεξάρτητες. Ποια είναι η πιθανότητα ότι ένα πακέτο (που στέλνεται από τον εξυπηρετητή) λαμβάνεται επιτυχώς από τον δέκτη; Αν ένα πακέτο χάνεται μέσα στην διαδρομή από τον εξυπηρετητή προς τον πελάτη, τότε ο εξυπηρετητής θα εκπέμψει εκ νέου το πακέτο. Κατά μέσο όρο, πόσες φορές θα εκπέμψει εκ νέου ο εξυπηρετητής το πακέτο, για να μπορέσει ο πελάτης να λάβει επιτυχώς το πακέτο;



Εικόνα 2: Διεκπεραιωτική ικανότητα για μεταφορά ενός αρχείου απ' τον εξυπηρετητή στον πελάτη.

Λύση

Η πιθανότητα να ληφθεί επιτυχώς το πακέτο ισούται με: $p_s = (1-p)^N$.

Ο αριθμός των μεταδόσεων που απαιτούνται μέχρι ένα πακέτο να ληφθεί επιτυχώς από τον πελάτη είναι μια γεωμετρική τυχαία μεταβλητή με πιθανότητα επιτυχίας p_s .

Άρα, ο μέσος αριθμός μεταδόσεων που απαιτούνται ισούται με: $1/p_s$.

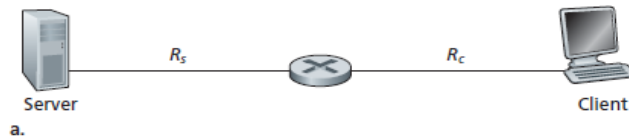
Επίσης, ο μέσος αριθμός των αναμεταδόσεων (re-transmissions) ισούται με: $1/p_s - 1$.

Άσκηση 15

Θεωρήστε την εικόνα 3. Υποθέτουμε ότι γνωρίζουμε ότι η ζεύξη συμφόρησης επάνω στην διαδρομή απ' τον εξυπηρετητή προς τον πελάτη είναι η πρώτη ζεύξη, με ρυθμό R_s bits/sec. Υποθέστε ότι στέλνουμε ένα ζεύγος πακέτων, το ένα αμέσως μετά το άλλο, από τον εξυπηρετητή προς τον πελάτη και δεν υπάρχει άλλη κίνηση σ' αυτήν την διαδρομή. Υποθέστε ότι κάθε πακέτο έχει μέγεθος L bits και ότι οι δύο ζεύξεις έχουν την ίδια καθυστέρηση διάδοσης d_{prop} .

α) Ποιος είναι ο χρόνος ανάμεσα στην άφιξη των πακέτων στον προορισμό; Δηλαδή, πόσος χρόνος διέρρευσε απ' την στιγμή που έφθασε το τελευταίο bit του πρώτου πακέτου μέχρι να φθάσει το τελευταίο bit του δεύτερου πακέτου;

β) Τώρα υποθέστε ότι η δεύτερη ζεύξη είναι η ζεύξη συμφόρησης (δηλαδή, $R_c < R_s$). Είναι πιθανό το δεύτερο πακέτο να περιμένει στην ουρά εισόδου της δεύτερης ζεύξης; Εξηγήστε. Τώρα υποθέστε ότι ο εξυπηρετητής στέλνει το δεύτερο πακέτο T δευτερόλεπτα μετά την αποστολή του πρώτου πακέτου. Πόσο μεγάλο πρέπει να είναι το T για να είστε σίγουροι ότι δεν υπάρχει αναμονή πριν την δεύτερη ζεύξη; Εξηγήστε την απάντησή σας.



Εικόνα 3: Διεκπεραιωτική ικανότητα για μεταφορά ενός αρχείου απ' τον εξυπηρετητή στον πελάτη.

Λύση

Έστω A το πρώτο πακέτο και B το δεύτερο.

α) Αν η ζεύξη συμφόρησης είναι η πρώτη ζεύξη τότε το πακέτο B θα περιμένει στην ουρά αναμονής της 1^{ης} ζεύξης μέχρι να μεταδοθεί το πακέτο A. Επομένως, ο χρόνος ανάμεσα στην άφιξη των πακέτων στον προορισμό είναι L/R_s .

β) Αν η ζεύξη συμφόρησης είναι η δεύτερη ζεύξη και εφόσον τα πακέτα στέλνονται το ένα αμέσως μετά το άλλο, τότε το δεύτερο πακέτο θα φτάσει στην είσοδο της ουράς αναμονής της 2^{ης} ζεύξης πριν η δεύτερη ζεύξη ολοκληρώσει την μετάδοση του πρώτου πακέτου. Άρα:

$$L/R_s + L/R_s + d_{prop} < L/R_s + d_{prop} + L/R_c \quad (1)$$

Το αριστερό μέλος της (1) εκφράζει τον χρόνο που χρειάζεται το δεύτερο πακέτο να φτάσει στην είσοδο της ουράς αναμονής της 2^{ης} ζεύξης (η 2^η ζεύξη δεν έχει ακόμα ξεκινήσει την μετάδοση του δεύτερου πακέτου). Το δεξιό μέλος της (1) εκφράζει τον χρόνο που απαιτείται προκειμένου να ολοκληρωθεί η μετάδοση του πρώτου πακέτου στην 2^η ζεύξη.

Η (1) ισχύει επειδή $R_c < R_s$. Επίσης η (1) δείχνει ότι το δεύτερο πακέτο πρέπει να έχει καθυστέρηση στην ουρά αναμονής της 2^{ης} ζεύξης.

Αν στείλουμε το δεύτερο πακέτο T δευτερόλεπτα αργότερα, τότε μπορούμε να εξασφαλίσουμε ότι δεν υπάρξει καθυστέρηση του δεύτερου πακέτου στην ουρά αναμονής της δεύτερης ζεύξης αν ισχύει:

$$L/R_s + L/R_s + d_{prop} + T \geq L/R_s + d_{prop} + L/R_c$$

Δηλαδή θα πρέπει $T = L/R_c - L/R_s$.

Άσκηση 16

Δέσμες πακέτων καταφθάνουν σε ένα κόμβο του δικτύου προς μετάδοση. Στο κόμβο διαμορφώνεται μία ουρά αναμονής για την αποστολή των πακέτων. Τα πακέτα έχουν μήκος 1000 bits και ο ρυθμός μετάδοσης του κόμβου είναι 56 kbps. Μία δέσμη μπορεί να περιέχει (με την ίδια πιθανότητα) από 1 έως και 8 πακέτα. Να υπολογίσετε την μέση καθυστέρηση ανά πακέτο.

Λύση

Η πιθανότητα ένα πακέτο να ανήκει σε μια δέσμη των 1 ή 2 ή 3 ,...ή 8 πακέτων είναι ίση με $1/8$ για όλες τις δέσμες. Παράλληλα, ένα πακέτο μιας δέσμης των K πακέτων με $1 \leq K \leq 8$, θα βρίσκεται (μέσα στην δέσμη) στην θέση 1, 2,...,K με πιθανότητα $1/K$ για όλα τα πακέτα.

Η καθυστέρηση εξυπηρέτησης ενός πακέτου που βρίσκεται στην θέση K μιας δέσμης, δίνεται από την σχέση:

$$T = K \cdot (L/R) = K \cdot d$$

όπου $d=L/R$, $L = 1000$ bits (μήκος πακέτου), $R = 56000$ bps (ρυθμός μετάδοσης κόμβου), άρα $d = 1000/56000 = 1/56$ sec.

Επομένως:

Για δέσμη ενός πακέτου η καθυστέρηση είναι d .

Για δέσμη δύο πακέτων, η καθυστέρηση είναι d για το πρώτο πακέτο και $2d$ για το δεύτερο πακέτο. Οι δύο αυτές καθυστερήσεις πολλαπλασιάζονται με την πιθανότητα $1/2$ να βρεθεί το κάθε πακέτο σε μία από τις δύο θέσεις της δέσμης.

Για δέσμη τριών πακέτων, η καθυστέρηση είναι d για το πρώτο πακέτο, $2d$ για το δεύτερο πακέτο και $3d$ για το τρίτο πακέτο. Οι τρεις αυτές καθυστερήσεις πολλαπλασιάζονται με την πιθανότητα $1/3$ να βρεθεί το κάθε πακέτο σε μία από τις τρεις θέσεις της δέσμης.

Τελικά, για δέσμη οκτώ πακέτων, η καθυστέρηση είναι d για το πρώτο πακέτο, $2d$ για το δεύτερο πακέτο και $8d$ για το τελευταίο (όγδοο) πακέτο. Οι οκτώ αυτές καθυστερήσεις πολλαπλασιάζονται με την πιθανότητα $1/8$ να βρεθεί το κάθε πακέτο σε μία από τις οκτώ θέσεις της δέσμης.

Επομένως, η μέση τιμή της καθυστέρησης ενός πακέτου, $E[T]$, δίνεται από την σχέση:

$$E[T] = \frac{1}{8} \cdot \left[d + \frac{1}{2} \cdot d + \frac{1}{2} \cdot 2d + \frac{1}{3} \cdot d + \frac{1}{3} \cdot 2d + \frac{1}{3} \cdot 3d + \dots + \frac{1}{8} \cdot d + \frac{1}{8} \cdot 2d + \dots + \frac{1}{8} \cdot 8d \right]$$
$$= \frac{22}{8} d = 0.049107 \text{ s}$$

Άσκηση 17

Ένα υποδίκτυο επιτρέπει στους δρομολογητές του να απορρίψουν αυτοδύναμα πακέτα (datagrams) όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι. Η πιθανότητα απόρριψης ενός πακέτου από κάποιο δρομολογητή είναι p . Θεωρήστε μία τοπολογία όπου ένας κόμβος αφετηρίας (source host) S συνδέεται σε ένα δρομολογητή A , ο οποίος με την σειρά του συνδέεται σε ένα δρομολογητή B και ο τελευταίος συνδέεται στον κόμβο προορισμού D . Εάν κάποιος από τους δρομολογητές απορρίψει ένα πακέτο, εκπνέει ο σχετικός χρόνος προθεσμίας (timeout) στον κόμβο αφετηρίας και το πακέτο επαναμεταδίδεται. Εάν οι ζεύξεις κόμβου-δρομολογητή και δρομολογητή-δρομολογητή θεωρηθούν ως άλματα (hops) να υπολογίσετε:

- α) το μέσο αριθμό αλμάτων που διατρέχει ένα πακέτο ανά μετάδοση,
- β) τον μέσο αριθμό των μεταδόσεων που απαιτούνται ανά πακέτο για την επιτυχή λήψη του στον κόμβο D ,
- γ) τον μέσο αριθμό αλμάτων που απαιτείται να διατρέξει το πακέτο μέχρι την επιτυχή λήψη του από το D .

Λύση

α) Για κάθε πακέτο που μεταδίδεται από τον S υπάρχουν τρία ενδεχόμενα:

1. Να απορριφθεί από τον A , άρα να κάνει μόνο 1 άλμα.
2. Να προωθηθεί από τον A , αλλά να απορριφθεί από τον B , άρα να κάνει 2 άλματα.
3. Να προωθηθεί από τον A στη συνέχεια να προωθηθεί και από τον B και έτσι να φτάσει στον D , κάνοντας συνολικά 3 άλματα.

Εφόσον η πιθανότητα απόρριψης ενός πακέτου από κάποιον δρομολογητή είναι p , τότε:

A. το ενδεχόμενο (1) έχει πιθανότητα: p

B. το ενδεχόμενο (2) έχει πιθανότητα: $(1 - p)p$

Γ. το ενδεχόμενο (3) έχει πιθανότητα: $(1 - p)(1 - p) = (1 - p)^2$

Επομένως ένα πακέτο ανά μετάδοση κάνει:

- 1 άλμα με πιθανότητα p
- 2 άλματα με πιθανότητα $(1 - p)p$
- 3 άλματα με πιθανότητα $(1 - p)^2$

και έτσι ο μέσος αριθμός των αλμάτων ενός πακέτου ανά μετάδοση είναι:

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

β) Για έχουμε επιτυχή λήψη ενός πακέτου στον κόμβο προορισμού μπορεί να χρειαστούν 1, 2, 3, 4, 5,...ή και περισσότερες μεταδόσεις. Σε όλες αυτές τις μεταδόσεις συμβαίνει το πακέτο να έχει απορριφθεί στις πρώτες και να επιτυγχάνει να φτάσει στον προορισμό του (μετά από 3 άλματα) στην τελευταία. Είδαμε όμως πριν ότι το τελευταίο (επιτυχής μετάδοση) συμβαίνει με πιθανότητα $(1-p)^2$. Ας ονομάσουμε αυτήν την πιθανότητα a . Τότε $1-a$ είναι η πιθανότητα το πακέτο να μην μεταδοθεί επιτυχώς (να απορριφθεί σε έναν από τους δύο δρομολογητές). Έτσι:

- η πιθανότητα το πακέτο να ληφθεί επιτυχώς με 1 μόνο μετάδοση είναι: a
- η πιθανότητα το πακέτο να ληφθεί επιτυχώς μετά από 2 μεταδόσεις (στην πρώτη απορρίφθηκε) είναι: $(1-a)a$
- η πιθανότητα το πακέτο να ληφθεί επιτυχώς μετά από 3 μεταδόσεις (στις πρώτες δύο απορρίφθηκε) είναι: $(1-a)(1-a)a = (1-a)^2 a$, και ούτω καθεξής.

Επομένως ο μέσος αριθμός των μεταδόσεων που απαιτούνται ανά πακέτο για την επιτυχή λήψη του στον κόμβο D είναι:

$$a + 2(1-a)a + 3(1-a)^2 a + \dots = \frac{1}{a} = \frac{1}{(1-p)^2}$$

γ) Βρήκαμε για το (α) ότι ο μέσος αριθμός των αλμάτων που διατρέχει ένα πακέτο ανά μετάδοση είναι $p^2 - 3p + 3$ και για το (β) ότι ο μέσος αριθμός των μεταδόσεων που απαιτούνται ανά πακέτο για την επιτυχή λήψη του είναι $\frac{1}{(1-p)^2}$. Άρα ο μέσος αριθμός των αλμάτων που απαιτείται να διατρέξει το πακέτο μέχρι την επιτυχή λήψη του είναι $\frac{p^2 - 3p + 3}{(1-p)^2}$.

Άσκηση 18

Υποθέστε ότι 10 τερματικά προσπελαίνουν τυχαία μία σύγχρονη TDMA σύνδεση. Σε κάθε χρονοθυρίδα, ένα τερματικό προσπαθεί να μεταδώσει το μήνυμά του με πιθανότητα 0.1. Εφόσον δεν υπάρχει μηχανισμός συντονισμού μεταξύ των τερματικών, τα μηνύματα μπορούν να «συγκρουστούν». Στην περίπτωση αυτή το τερματικό επιχειρεί να μεταδώσει στην επόμενη χρονοθυρίδα. Να βρεθούν:

- α) η πιθανότητα σύγκρουσης,
- β) η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης σε μία χρονοθυρίδα, και
- γ) ο μέσος αριθμός των χρονοθυρίδων που απαιτούνται για συγκεκριμένο τερματικό και μήνυμα ώστε να μεταδοθεί επιτυχώς.

Λύση

α) Η πιθανότητα σύγκρουσης (P_c) προκύπτει από τα ενδεχόμενα ταυτόχρονης μετάδοσης 2+ τερματικών στην ίδια χρονοθυρίδα. Η πιθανότητα μετάδοσης ενός τερματικού στην εκάστοτε χρονοθυρίδα είναι $p=0.1$

$$\begin{aligned} P_c &= \sum_{i=2}^{10} \binom{10}{i} p^i (1-p)^{10-i} = \\ &= \binom{10}{2} \cdot p^2 \cdot (1-p)^8 + \binom{10}{3} \cdot p^3 \cdot (1-p)^7 + \\ &+ \binom{10}{4} \cdot p^4 \cdot (1-p)^6 + \binom{10}{5} \cdot p^5 \cdot (1-p)^5 + \\ &+ \binom{10}{6} \cdot p^6 \cdot (1-p)^4 + \binom{10}{7} \cdot p^7 \cdot (1-p)^3 + \\ &+ \binom{10}{8} \cdot p^8 \cdot (1-p)^2 + \binom{10}{9} \cdot p^9 \cdot (1-p) + \\ &+ \binom{10}{10} \cdot p^{10} \approx 0.264 \end{aligned}$$

β) Η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης σε μία χρονοθυρίδα προκύπτει από την πιθανότητα (P_s) να μεταδώσει μόνο ένα τερματικό:

$$P_s = \binom{10}{1} \cdot p \cdot (1-p)^9 \cong 0.39$$

γ) το μέσο πλήθος των χρονοθυρίδων που θα απαιτηθούν για την επιτυχή μετάδοση προκύπτει από το γινόμενο των μέσων τιμών των γεωμετρικά κατανομημένων τυχαίων μεταβλητών A και B. A ο αριθμός των δοκιμών μέχρι την επιτυχή λόγω σύγκρουσης και B ο αριθμός των δοκιμών μέχρι την μετάδοση λόγω της πιθανότητας μετάδοσης $p=0.1$. Οι μέσες τιμές προκύπτουν από τους αντιστρόφους των παραπάνω πιθανοτήτων, δηλαδή 0.1^{-1} και 0.39^{-1} . το προκύπτον γινόμενο είναι 25.6 χρονοθυρίδες.

Άσκηση 19

Υποθέστε ότι ένα πακέτο IP τεμαχίζεται σε 10 fragments. Το καθένα εξ αυτών μπορεί να χαθεί με πιθανότητα 0.01 (ανεξάρτητη των υπολοίπων). Να προσδιορίσετε την πιθανότητα απώλειας ενός πακέτου λόγω απώλειας ενός fragment. Ποια είναι η πιθανότητα απώλειας ενός πακέτου εάν αυτό μεταδίδεται εις διπλούν και (α) τα παραληφθέντα fragments πρέπει να προέρχονται από την ίδια μετάδοση, ή, (β) αν το κάθε fragment μπορεί να ανήκει σε οποιαδήποτε μετάδοση.

Λύση

(α) Η πιθανότητα εσφαλμένης παραλαβής ενός datagram (χωρίς διπλή μετάδοση) εξαιτίας ενός σφάλματος είναι

$$P(\text{error}; \text{no-dup}) = \binom{10}{1} (10^{-2}) (1-10^{-2})^9$$

Η πιθανότητα εσφαλμένης παραλαβής παρά τη μετάδοση του διπλοτύπου προέρχεται από τον τετραγωνισμό της παραπάνω πιθανότητας:

$$P(\text{error}; \text{dup}) = P(\text{error}; \text{no-dup})^2$$

(β) στην περίπτωση του δευτέρου σεναρίου θεωρούμε ότι έχουμε μία μετάδοση datagram αλλά το κάθε fragment μεταδίδεται εις διπλούν. Η πιθανότητα σφάλματος στο επίπεδο του fragment προκύπτει από τον τετραγωνισμό της πιθανότητας .01.

$$P(\text{fragment}; \text{dup}) = P(\text{fragment}; \text{no-dup})^2 = (.01)^2 = 10^{-4}$$

Η πιθανότητα εσφαλμένου datagram προκύπτει βάσει της παραπάνω πιθανότητας:

$$P'(\text{error}) = \binom{10}{1} (10^{-4}) (1-10^{-4})^9$$

Άσκηση 20

Θεωρούμε έναν πολυπλέκτη TDM ο οποίος πολυπλέκει 20 σήματα των 100 Kbps, χρησιμοποιώντας χρονοθυρίδες (timeslots) του ενός 1 bit. Αν υποθέσουμε ότι επιβάλλεται σε κάθε frame η χρήση ενός extra bit για λόγους συγχρονισμού, να υπολογιστούν: α) το μέγεθος (σε bits) ενός frame στην έξοδο του πολυπλέκτη, β) η τιμή του frame rate, γ) η διάρκεια (duration) ενός frame, δ) η τιμή του data rate στην έξοδο του πολυπλέκτη, ε) η απόδοση (efficiency) του συστήματος.

Λύση

α) Κάθε frame μεταφέρει 1 bit από κάθε πηγή και ένα extra bit για λόγους συγχρονισμού. Επομένως το μέγεθος του frame είναι 21 bits.

β) Frame rate = 100000 frames/s

γ) Η διάρκεια ενός frame = $1/(\text{frame rate}) = 1/100000 = 10 \mu\text{s}$

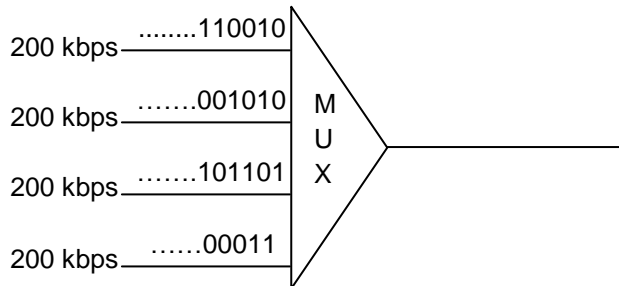
δ) Data rate = $100000 \text{ frames/s} * 21 \text{ bits/frame} = 2.1 \text{ Mbps}$

ε) Η απόδοση του συστήματος = $20/21 = 95 \%$ εφόσον 20 από τα 21 bits είναι bits δεδομένων.

Άσκηση 21

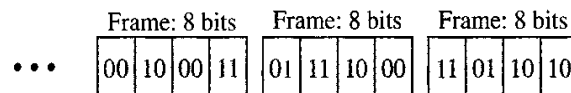
Ο πολυπλέκτης TDM του παρακάτω σχήματος συνδυάζει 4 σήματα των 200 kbps χρησιμοποιώντας χρονοθυρίδες (time slots) των 2 bits.

- α) Με βάση το σχήμα, να σχεδιαστούν τα τρία πρώτα frames στην έξοδο του πολυπλέκτη.
 β) Να υπολογιστούν τα ακόλουθα: 1) frame rate, 2) διάρκεια ενός frame (frame duration), 3) bit rate, 4) διάρκεια ενός bit (bit duration).



Λύση

- α) Τα τρία πρώτα frames στην έξοδο του πολυπλέκτη έχουν την ακόλουθη μορφή:



- β) Η ζεύξη μεταφέρει 100000 frames/s εφόσον κάθε frame περιέχει 2 bits / channel. Επομένως η διάρκεια ενός frame είναι 1/100,000 s ή 10 μs.

Επειδή έχουμε 100,000 frames/s και κάθε frame μεταφέρει 8 bits, θα ισχύει: bit rate = 100,000 x 8 = 800 kbps. Η διάρκεια ενός bit είναι 1/800,000 s, ή 1,25 μs (δηλαδή το 1/8 της διάρκειας ενός frame).

Άσκηση 22

Υποθέτουμε ότι ένα δεδομένο πρωτόκολλο επικοινωνιών απαιτεί 100 bytes header ανά πακέτο δεδομένων. Με την βοήθεια αυτού του πρωτοκόλλου θέλουμε να στείλουμε 1 Mbyte δεδομένων. Τρία από τα πακέτα που μεταδίδονται, καταστρέφονται και χάνονται (δεν γίνεται επαναμετάδοση αυτών). Να δοθεί ο συνολικός αριθμός των overhead + lost bytes αν το μέγεθος των δεδομένων ανά πακέτο είναι: 1.000, 5.000, 10.000 και 20.000 bytes. Ποιο από τα μεγέθη αυτά είναι το βέλτιστο;

Λύση

Συνολικά θέλουμε να στείλουμε 1 Mbyte δεδομένων. Αν D είναι το μέγεθος του payload ενός πακέτου (σε bytes) τότε απαιτούνται $N = \lceil 10^6 / D \rceil$ πακέτα για την μετάδοση. Με δεδομένο ότι το overhead είναι = 100 bytes * N ενώ χάνονται και 3 πακέτα, άρα οι απώλειες είναι 3*D bytes (δεν μετράμε ξανά τα 100 + 100 + 100 bytes των headers των πακέτων που χάθηκαν, αφού τα έχουμε μετρήσει αρχικά στο 100 bytes * N), το συνολικό άθροισμα overhead + losses είναι = 100 * N + 3*D = 100 * $\lceil 10^6 / D \rceil$ + 3*D

Οπότε προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας:

D	overhead + losses
1000	103000
5000	35000
10000	40000
20000	65000

Επομένως το βέλτιστο μέγεθος δεδομένων ανά πακέτο είναι τα 5000 bytes.

Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Ιωάννης Μοσχολιός, 2015.

Ιωάννης Μοσχολιός. «Δίκτυα Επικοινωνίας Υπολογιστών, Ασκήσεις για τις ενότητες 1-4: Εισαγωγή». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/EE604/>.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

- Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:
- το Σημείωμα Αναφοράς

- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό δεν κάνει χρήση εικόνων/σχημάτων/διαγραμμάτων/φωτογραφιών ή πινάκων από έργα τρίτων:

Πηγές:

[1] J. Kurose and K. Ross, Δικτύωση Υπολογιστών – Προσέγγιση από Πάνω προς τα Κάτω, 6^η έκδοση, Εκδόσεις Γκιούρδας, 2015.

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Πανεπιστημίου Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

