



ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Ασκήσεις για το φυσικό στρώμα

1. Μήνυμα μήκους L bits πρόκειται να μεταδοθεί μεταξύ δύο υπολογιστών μεταξύ των οποίων μεσολαβούν N ζεύξεις, στις οποίες ρυθμός μετάδοσης είναι R bps. Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί είτε τεχνική μεταγωγής κυκλώματος είτε τεχνική αυτοδύναμου πακέτου (datagram). Υποθέστε στην τελευταία περίπτωση ότι το μήκος του μηνύματος είναι πολύ μεγαλύτερο από το μήκος του πακέτου και ότι το μήνυμα διασπάται σε ακέραιο αριθμό πακέτων. Το μήκος των πακέτων είναι P bits, από τα οποία η επικεφαλίδα καταλαμβάνει H bits. Ο χρόνος εγκατάστασης κλήσης για τη μεταγωγή κυκλώματος είναι S sec και η καθυστέρηση διάδοσης σε κάθε ζεύξη είναι D sec.

α) Κάτω από ποιες συνθήκες οι ολικές καθυστερήσεις της μετάδοσης του μηνύματος με τις δύο τεχνικές είναι ίσες;

β) Ποια τιμή μήκους του πακέτου δίνει την ελάχιστη καθυστέρηση μετάδοσης με αυτοδύναμα πακέτα;

[Απάντηση: (α) $S = \frac{HL}{(P-H)R} + (N-1) \cdot \frac{P}{R}$, (β) $P = H + \sqrt{\frac{L \cdot H}{N-1}}$]

2. Αρχείο n byte πρόκειται να μεταφερθεί μέσω διαδρομής αποτελούμενης από το τερματικό αποστολής, το τερματικό προορισμού, 6 ζεύξεις σημείου προς σημείο χωρητικότητας 4 Mbps και 5 κόμβους μεταγωγής. Η καθυστέρηση διάδοσης σε κάθε ζεύξη είναι 2 ms. Οι κόμβοι μεταγωγής υποστηρίζουν και μεταγωγή κυκλώματος και μεταγωγή πακέτου, οπότε το αρχείο μπορεί να μεταφερθεί είτε ως συρμός από bit, αφού προηγουμένως εγκατασταθεί κύκλωμα μέσω των κόμβων μεταγωγής, ή να διαιρεθεί σε πακέτα ίσου μήκους τα οποία αποστέλλονται το ένα μετά το άλλο. Τα πακέτα έχουν επικεφαλίδα 24 byte και ωφέλιμο φορτίο 1000 byte, η αποθήκευση και προώθηση σε κάθε κόμβο μεταγωγής εισάγει καθυστέρηση 1 ms σε κάθε πακέτο. Η εγκατάσταση κυκλώματος απαιτεί να σταλεί μήνυμα μήκους 1024 byte, να διατρέξει όλη τη διαδρομή με επιστροφή και σε κάθε κόμβο μεταγωγής να εισάγεται καθυστέρηση 1 ms στο μήνυμα. Οι κόμβοι μεταγωγής δεν εισάγουν καθυστερήσεις στα δεδομένα μετά την εγκατάσταση του κυκλώματος. Θεωρούμε, επίσης, ότι το μέγεθος του αρχείου είναι πολλαπλάσιο των 1000 byte.

α) Για ποια τιμή του n είναι ο συνολικός αριθμός των byte που στέλνονται μέσω του δικτύου μικρότερος για την αποστολή του αρχείου με μεταγωγή κυκλώματος από εκείνον με μεταγωγή πακέτου;

β) Για ποια τιμή του n είναι η συνολική καθυστέρηση για την αποστολή του αρχείου με μεταγωγή κυκλώματος μικρότερη από εκείνη για μεταγωγή πακέτου;

[Απάντηση: (α) $n > 85.33$ kbyte, (β) $n > 902.92$ kbyte]

3. Μήνυμα του στρώματος δικτύου χωρίζεται σε 10 πλαίσια για να μεταδοθεί από το στρώμα σύνδεσης δεδομένων. Κάθε πλαίσιο έχει πιθανότητα p να μεταδοθεί σωστά. Δεν γίνεται έλεγχος σφαλμάτων μετάδοσης από το πρωτόκολλο του στρώματος σύνδεσης δεδομένων. Το στρώμα δικτύου επιβεβαιώνει αμέσως την ορθή ή λανθασμένη λήψη του μηνύματος με την αποστολή πλαισίου ACK/NAK. Πόσες φορές, κατά μέσο όρο, πρέπει να αναμεταδοθεί το μήνυμα για να ληφθεί σωστά στο στρώμα δικτύου του προορισμού, εάν μεταξύ πηγής και προορισμού παρεμβάλλονται (α) μία ζεύξη, (β) δύο ζεύξεις; Ποιος είναι ο μέσος χρόνος μετάδοσης ενός επιτυχούς μηνύματος, εάν η μετάδοση ενός πλαισίου διαρκεί T sec και οι χρόνοι διάδοσης και επεξεργασίας αγνοούνται;

[Απάντηση: (α) p^{-11} , $10 \cdot T \cdot p^{-11}$, (β) p^{-22} , $11 \cdot T \cdot p^{-22}$]

4. Θεωρήστε δύο υπολογιστές που επικοινωνούν μέσω δικτύου. Κάθε υπολογιστής συνδέεται με ένα κόμβο μεταγωγής. Οι δύο κόμβοι μεταγωγής συνδέονται μέσω ενός τρίτου με επικοινωνιακές γραμμές που δεν εμφανίζουν λάθη μετάδοσης. Οι κόμβοι μεταγωγής, λόγω υπερφόρτισης, μπορεί να απορρίπτουν πακέτα όποτε αυτό είναι αναγκαίο. Η πιθανότητα απόρριψης ενός πακέτου από ένα κόμβο μεταγωγής είναι p . Οι κόμβοι δεν παράγουν πακέτα επιβεβαίωσης. Η ορθή λήψη των πακέτων επιβεβαιώνεται από τον παραλήπτη υπολογιστή με αποστολή αντίστοιχου μηνύματος. Ο υπολογιστής που στέλνει περιμένει T sec για να λάβει επαλήθευση. Ο μέσος χρόνος μετάδοσης πακέτου από άκρη σε άκρη είναι $X < T/2$. Αν οι ζεύξεις υπολογιστή-κόμβου και κόμβου-κόμβου υπολογίζονται ως βήματα, να βρεθεί:

- α) το μέσο μήκος διαδρομής, σε βήματα, που αναμένεται να διανύσει ένα πακέτο
 β) ο μέσος αριθμός (ανα)μεταδόσεων ανά επιτυχημένη μετάδοση
 γ) ο μέσος ρυθμός διέλευσης πακέτων

[Απάντηση: (α) $\bar{L} = 4 - 6p + 4p^2 - p^3$, (β) $1/(1-p)^6 = 1/\alpha$, (γ) $1/E\{T\}$, όπου

$$E\{T\} = X + \frac{(1-\alpha)T}{\alpha}]$$

5. Πολλοί χρήστες χρησιμοποιούν από κοινού ζεύξη 10 Mbps. Κάθε χρήστης μεταδίδει με ρυθμό 500 kbps, αλλά μόνο για 10% της συνολικής διάρκειας των μεταδόσεων.

- α) Πόσοι χρήστες μπορεί να εξυπηρετηθούν όταν χρησιμοποιείται μεταγωγή κυκλώματος;
 β) Για το υπόλοιπο της άσκησης θεωρούμε ότι χρησιμοποιείται μεταγωγή πακέτου. Μέχρι πόσοι χρήστες μπορεί να μεταδίδουν ταυτόχρονα ώστε να μην υπάρχει καθυστέρηση αναμονής;
 γ) Υποθέστε ότι οι χρήστες είναι 30. Βρείτε την πιθανότητα να μεταδίδουν ταυτόχρονα οποιαδήποτε στιγμή 25 χρήστες.
 δ) Με 30 χρήστες, ποιο είναι το ποσοστό του χρόνου κατά τη διάρκεια του οποίου μεγαλώνει η ουρά αναμονής;

[Απάντηση: (α) 20 χρήστες, (β) μέχρι 20 χρήστες, (γ) 8.41×10^{-21} , (δ)

$$\sum_{n=21}^{30} \binom{30}{n} (0.1)^n (0.9)^{30-n}]$$

6. Μεταδίδεται συρμός bit από τον κόμβο A στον κόμβο B που απέχει από τον A 5120 km. Η μεταξύ των κόμβων ζεύξη είναι οπτική ίνα χωρητικότητας 1.8 Gbps. Αν η ταχύτητα διάδοσης στην οπτική ίνα είναι 2×10^5 km/sec, πόσα bit έχουν μεταδοθεί και οδεύουν επάνω στη ζεύξη, όταν το πρώτο bit φθάνει στον κόμβο B;

[Απάντηση: 46.08 Mbit]

7. Δίαυλος βασικής ζώνης 10 kHz χρησιμοποιείται για ψηφιακή μετάδοση. Ιδανικοί παλμοί στέλνονται με ρυθμό Nyquist και οι παλμοί μπορεί να λάβουν 16 στάθμες. Ποιος είναι ο ρυθμός μετάδοσης στον δίαυλο;

[Απάντηση: 80 kbps]

8. Σήμα μετάδοσης βασικής ζώνης χρησιμοποιεί μέγιστες στάθμες ± 1 V και ο θόρυβος που εμφανίζεται στον δέκτη είναι ομοιόμορφα κατανομημένος στο διάστημα $[-1/16V, 1/16V]$. Πόσες στάθμες παλμών μπορεί να χρησιμοποιήσει το σύστημα πριν ο θόρυβος αρχίσει να εισάγει σφάλματα;

[Απάντηση: 16 στάθμες]

9. Επιθυμούμε να μεταδώσουμε 64 kbps μέσω τηλεφωνικής γραμμής εύρους ζώνης 3 kHz. Ποιος είναι ο ελάχιστος απαιτούμενος SNR;

[Απάντηση: 64.2 dB]

10. Μήνυμα 1.46×10^6 byte μπορεί να μεταδοθεί, με τη μέγιστη χωρητικότητα μέσω δορυφορικής ζεύξης εύρους ζώνης 50 kHz και σηματοθορυβικής σχέσης 25 dB ή μέσω δέκα διαδοχικών

ενσύρματων ζεύξεων που η κάθε μία έχει μήκος 60 km και σηματοθορυβική σχέση 35 dB. Το μήνυμα χωρίζεται σε πλαίσια των 1500 byte εκ των οποίων τα 40 byte αποτελούν επικεφαλίδα.

α) Να βρεθεί το ελάχιστο εύρος ζώνης των ενσύρματων ζεύξεων που καθιστά συντομότερη την ενσύρματη μετάδοση.

β) Ποια είναι η απάντηση στο ερώτημα (α), όταν το μήνυμα μεταδίδεται ολόκληρο;

[Απάντηση: (α) ≥ 36.06 kHz, (β) ≥ 354.35 kHz]

11. Δύο τερματικά A και B επικοινωνούν μέσω δικτύου μεταγωγής πακέτου και χρησιμοποιούν υπηρεσία με σύνδεση. Μεταξύ των σταθμών υπάρχουν τρεις ζεύξεις. Ο σταθμός A στέλνει μήνυμα 10 kbyte στον B χωρισμένο σε πακέτα μήκους 1000 byte (αμελούνται οι επικεφαλίδες). Υποθέστε ότι κάθε πακέτο χωράει σε ένα πλαίσιο του στρώματος ζεύξης δεδομένων. Η πιθανότητα να μεταδοθεί εσφαλμένο πλαίσιο είναι p .

α) Υποθέστε ότι ο έλεγχος σφαλμάτων γίνεται απ' άκρη σ' άκρη και ότι αν εμφανισθούν λάθη επαναμεταδίδεται όλο το μήνυμα. Πόσες φορές πρέπει να μεταδοθεί το μήνυμα κατά μέσον όρο;

β) Υποθέστε ότι ο έλεγχος σφαλμάτων γίνεται απ' άκρη σ' άκρη για κάθε πακέτο. Ποιος είναι ο αριθμός των αναμεταδιδόμενων πακέτων μέχρι να μεταδοθεί όλο το μήνυμα;

[Απάντηση: (α) e^{30p} , (β) $10 \times (1-p)^{-3}$]

12. Θεωρήστε δύο υπολογιστές A και B επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω δικτύου. Η διαδρομή από τον A προς τον B έχει χωρητικότητα 40 kbps και καθυστέρηση διάδοσης 120 msec, ενώ η διαδρομή από τον B προς τον A, έχει χωρητικότητα 80 kbps και καθυστέρηση διάδοσης 80 msec. Τα μεταδιδόμενα πακέτα έχουν μήκος 500 byte από τα οποία 20 byte είναι επικεφαλίδα, οι δε επαληθεύσεις έχουν μήκος 100 byte.

α) Ο A μεταδίδει πακέτα στον B περιμένοντας για κάθε επόμενη αποστολή επαλήθευση για την προηγούμενη. Ποιος είναι ο ρυθμός μετάδοσης ωφέλιμης πληροφορίας από τον A στον B;

β) Πόσα πακέτα στη σειρά μπορεί να στείλει ο A στον B χωρίς να περιμένει επαλήθευση, ώστε να μεταφέρει δεδομένα όσο το δυνατόν ταχύτερα;

γ) Ποιος είναι ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης ωφέλιμης πληροφορίας που μπορεί να πετύχει ο A;

δ) Αν η χωρητικότητα της διαδρομής από τον B προς τον A πέσει στα 800 bps, πόσα πακέτα πρέπει να στέλνει ο A στη σειρά πριν πάρει την πρώτη επαλήθευση και ποιος είναι ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης ωφέλιμης πληροφορίας που μπορεί να πετύχει ο A σ' αυτήν την περίπτωση;

[Απάντηση: (α) 12.39 kbps, (β) 4 πακέτα, (γ) 38.4 kbps, (δ) 13 πακέτα, 3.84 kbps]

13. Στο σύστημα μετάδοσης πακέτων που απεικονίζεται παρακάτω, τα πακέτα και οι επαληθεύσεις έχουν μήκος 2 kbit. Κάθε ασύρματη ζεύξη είναι ημιαμφίδρομη και η ταχύτητα διάδοσης σε όλες τις ζεύξεις είναι 200000 km/sec.

(α) Θεωρώντας αμελητέα τα σφάλματα μετάδοσης πακέτων, υπολογίστε τη μέση διέλευση από το A στο B, όταν σε κάθε ασύρματη ζεύξη χρησιμοποιείται πρωτόκολλο παύσης και αναμονής.

(β) Επαναλάβετε τον υπολογισμό, υποθέτοντας τώρα ότι το πρωτόκολλο παύσης και αναμονής χρησιμοποιείται απ' άκρη σ' άκρη μεταξύ των A και B.



[Απάντηση: (α) 5 kbps, (β) 3.33 kbps]

14. Σε δίκτυο αποθήκευσης και προώθησης ο σταθμός A μεταδίδει πακέτα στον σταθμό B μέσω διαδρομής που διέρχεται από 7 κόμβους μεταγωγής. Τα πακέτα έχουν μήκος 300 byte από τα οποία τα 20 είναι επικεφαλίδα, η ταχύτητα σε όλες τις ζεύξεις είναι 600 kbps και η

καθυστέρηση σε κάθε ζεύξη είναι 250 μ s. Ο χρόνος επεξεργασίας σε κάθε κόμβο μεταγωγής είναι αμελητέος.

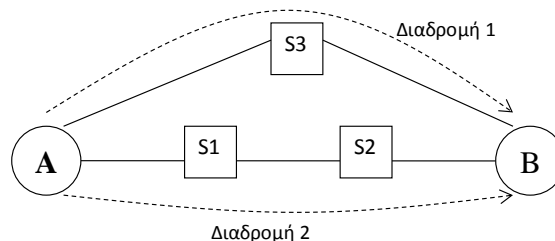
Να βρεθεί ο χρόνος που απαιτείται για τη μετάδοση μηνύματος 16800 byte, όταν

- α) Κάθε πακέτο που φθάνει σε κάθε κόμβο μεταγωγής βρίσκει τον καταχωρητή του κόμβου κενό.
- β) Κάθε πακέτο που φθάνει σε κάθε κόμβο μεταγωγής βρίσκει 7 πακέτα να είναι ήδη στον καταχωρητή. Υποθέστε ότι ο κόμβος μεταγωγής μεταδίδει τα πακέτα από τον καταχωρητή του κατ' απόλυτη προτεραιότητα.

[Απάντηση: (α) 270 ms, (β) 466 ms]

15. Στη διάταξη του σχήματος, η ταχύτητα μετάδοσης σε κάθε ζεύξη είναι 2 Mbps και η καθυστέρηση διάδοσης 1 ms. Τα μεταδιδόμενα πακέτα από τον Α στον Β έχουν μήκος 250 byte και ο Α στέλνει από τη διαδρομή 1 με πιθανότητα $p = 0.7$ και από την 2 με πιθανότητα $1-p$. Ο σταθμός Α στέλνει το επόμενο πακέτο αφού λάβει την επαλήθευση από τον Β για το προηγούμενο πακέτο που έστειλε και οι επαληθεύσεις έχουν αμελητέο χρόνο μετάδοσης.

- (α) Ποια είναι η μέση ταχύτητα μετάδοσης από τον Α στον Β;
- (β) Σε πόσο χρόνο κατά μέσο όρο θα μεταδοθεί μήνυμα μήκους 4.6 Mbyte, αν το μήκος της επικεφαλίδας σε κάθε πακέτο είναι 20 byte;



[Απάντηση: (α) 289 kbps, (β) 138 s]

16. Οι υπολογιστές Α και Β συνδέονται μεταξύ τους μέσω κόμβου μεταγωγής Γ, ο οποίος αποθηκεύει και προωθεί τα πακέτα. Η χωρητικότητα της ζεύξης Α-Γ είναι 10Mbps και της ζεύξης Γ-Β 5Mbps. Η καθυστέρηση διάδοσης σε κάθε ζεύξη είναι 22ms. Υποθέστε ότι ο Α στέλνει ένα αρχείο 30000 byte στον Β.

- α) Το αρχείο χωρίζεται σε δύο πακέτα p_1 και p_2 , όπου το p_1 έχει μήκος 10000 byte, και τα πακέτα στέλνονται το ένα πίσω από το άλλο. Ποια είναι η διέλευση που επιτυγχάνεται μεταξύ Α και Β;
- β) Ποια είναι η διαφορά μεταξύ των χρόνων άφιξης του πρώτου και του δεύτερου πακέτου στον κόμβο Β;
- γ) Αυξάνει ή μειώνεται η διέλευση αν χωρίσουμε το αρχείο σε μικρότερα πακέτα; Γιατί;
- δ) Υποθέστε στη συνέχεια ότι το αρχείο διαιρείται σε 6 πακέτα ίδιου μήκους. Πόσος χρόνος θα χρειαστεί για την αποστολή όλου του αρχείου, αν ο Α δεν μπορεί να στείλει νέο πακέτο πριν να επαληθευτεί το προηγούμενο από τον Β; Αγονήστε τον χρόνο μετάδοσης των επαληθεύσεων.

[Απάντηση: (α) 2.4 Mbps, (β) 32 ms, (γ) αυξάνει, (δ) 600 ms]

17. Ο υπολογιστής Α στέλνει πακέτα στον υπολογιστή Β μέσω ζεύξης ταχύτητας 1 Mbps, η οποία εξυπηρετεί και άλλες μεταδόσεις. Στην ουρά αναμονής της ζεύξης καταφθάνουν τρία πακέτα μήκους 1000 bit από τον Α, τις χρονικές στιγμές 0 ms, 2 ms και 4 ms, αντίστοιχα, ενώ από άλλες μεταδόσεις έρχεται ένα πακέτο μήκους 3000 bit την χρονική στιγμή 0.5 ms και ένα άλλο μήκους 2000 bit τη χρονική στιγμή 3 ms. Τα πακέτα στη ζεύξη μετεδίδονται σύμφωνα με τη σειρά άφιξής τους και η καθυστέρηση διάδοσης στη ζεύξη είναι 1 ms.

- α) Πότε φθάνει το κάθε πακέτο του Α στον Β;

- β) Το περιεχόμενο των πακέτων που φθάνουν στον Β πρέπει να απεικονιστεί από την αντίστοιχη εφαρμογή, το ταχύτερο δυνατόν, με τον ρυθμό που αυτό εστάλη (δηλαδή κάθε 2 ms). Ποια χρονική στιγμή μπορεί η εφαρμογή στον Β να αρχίσει την απεικόνιση των πακέτων, ώστε να είναι σύμφωνη με τον ρυθμό αποστολής τους;

[Απάντηση: (α) $t_1 = 2 \text{ ms}$, $t_2 = 6 \text{ ms}$, $t_3 = 9 \text{ ms}$, (β) $t_1 + 3 \text{ ms}$]

18. Τρεις υπολογιστές X, Y και Z χρησιμοποιούν από κοινού ζεύξη χωρητικότητας 1Mbps για να συνδεθούν στο Internet. Μόνο ένας υπολογιστής μπορεί κάθε στιγμή να χρησιμοποιεί τη ζεύξη. Υπάρχουν δύο δυνατές στρατηγικές πρόσβασης των υπολογιστών στη ζεύξη:

- Χρονικός επιμερισμός της ζεύξης (TDMA), όπου χορηγείται με κυκλική εναλλαγή σε κάθε υπολογιστή μια χρονοσχισμή 100 ms για αποκλειστική χρήση.
- Εκχώρηση σειράς (polling), όπου εκχωρείται η ζεύξη σε κάθε υπολογιστή όταν έχει δεδομένα να μεταδώσει, γεγονός που εισάγει επιπρόσθετη καθυστέρηση 50 ms σε κάθε μετάδοση. Κάθε υπολογιστής μπορεί να χρησιμοποιήσει τη ζεύξη, όταν έχει να δεδομένα να στείλει.

Για κάθε μια από τις παρακάτω δύο περιπτώσεις, ποια στρατηγική θα επιλεγεί και γιατί;

α) Οι X, Y και Z στέλνουν ένα αρχείο των 40000 byte κάθε 1sec.

β) Ο X στέλνει ένα αρχείο των 80000 byte κάθε 1sec, ενώ οι Y και Z στέλνουν από ένα αρχείο των 10000 byte κάθε 1sec.

[Απάντηση: (α) TDMA, (β) Polling]

19. Θεωρήστε σύστημα ασύγχρονης μετάδοσης που μεταδίδει μια ακολουθία από N bit μεταξύ ενός start bit και ενός stop bit. Ποια είναι η μέγιστη τιμή του N, αν το ρολόι του δέκτη είναι κατά 1% ταχύτερο από το ρολόι του πομπού;

[Απάντηση: $N < 49$]