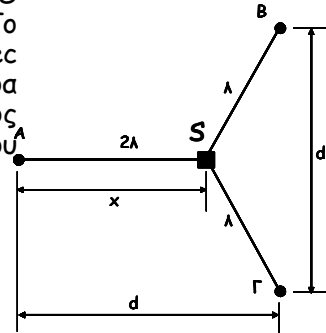




## ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

### Ασκήσεις για το φυσικό στρώμα

1. Στο δίκτυο του σχήματος, ο κόμβος Α μεταδίδει  $\lambda$  bit/sec προς τον κόμβο Β και  $\lambda$  bit/sec προς τον κόμβο Γ. Το δίκτυο κατασκευάζεται με μια ζεύξη χωρητικότητας  $2\lambda$  bit/sec από τον κόμβο Α προς τον κόμβο μεταγωγής S και δύο ζεύξεις από τον κόμβο S προς τους Β και Γ αντίστοιχα, χωρητικότητας  $\lambda$  bit/sec. Το κόστος ανά μονάδα μήκους μιας ζεύξης χωρητικότητας  $a$  bit/sec είναι  $K \cdot d^{0.5}$ , δηλαδή, το κόστος της ζεύξης μεγαλώνει αργότερα από τον ρυθμό μετάδοσής της. Υποθέτοντας ότι ο κόμβος μεταγωγής προσφέρεται δωρεάν, υπολογίστε τη θέση του κόμβου μεταγωγής για την οποία ελαχιστοποιείται το κόστος του δικτύου.



Αν το κόστος του κόμβου μεταγωγής είναι  $D$ , για ποιες τιμές του  $D$  συμφέρει να χρησιμοποιηθεί μεταγωγέας από το να χρησιμοποιηθούν απ' ευθείας ζεύξεις από τον Α προς τον Β και από τον Α προς τον Γ;

[Απάντηση:  $x = d/2$ ,  $D \leq 0.11 dK/\lambda$ ]

2. 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)  $S + \frac{L}{R} = \left(\frac{L}{P-H} + N-1\right) \cdot \frac{P}{R}$ , (β)  $P = H + \sqrt{\frac{L \cdot H}{N-1}}$ ]

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 οπότε 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)  $8.41 \times 10^{-21}$ , (δ)  $\sum_{n=21}^{30} \binom{30}{n} (0.1)^n (0.9)^{30-n}$  ]

6. Ηλεκτρομαγνητικό κύμα οδεύει κατά μήκος οπτικής ίνας με εξασθένηση 0.5 dB/km. Βρείτε την απόσταση μετά την οποία η ισχύς του κυματος έχει μειωθεί κατά 50%.

[Απάντηση: 6km ]

7. 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  $2 \times 10^5$  km/sec, πόσα bit έχουν μεταδοθεί και οδεύουν επάνω στη ζεύξη, όταν το πρώτο bit φθάνει στον κόμβο B;

[Απάντηση: 46.08 Mbit ]

8. 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]

9. Σήμα μετάδοσης βασικής ζώνης χρησιμοποιεί μέγιστες στάθμες  $\pm 1$  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]

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

[Απάντηση: 64.2 dB ]

11. Μήνυμα  $1.46 \times 10^6$  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;
- γ) Αν μονοκόμματη ενσύρματη ζεύξη 600 km, ποια θα ήταν η απάντηση για το (β) ερώτημα;

**[Απάντηση: (α)  $\geq 36.06$  kHz, (β)  $\geq 354.35$  kHz, (γ)  $\geq 35.43$  kHz ]**

12. Δύο τερματικά Α και Β επικοινωνούν μέσω δικτύου μεταγωγής πακέτου και χρησιμοποιούν υπηρεσία με σύνδεση. Μεταξύ των σταθμών υπάρχουν τρεις ζεύξεις. Ο σταθμός Α στέλνει μήνυμα 10-kilobyte στον Β 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)  $10 \times (1-p)^{-3}$  ]**

13. Αρχείο 1 Mbyte πρόκειται να μεταδοθεί μέσω γραμμής χωρητικότητας 1 Mbps και ρυθμού εσφαλμένων bit  $p = 10^{-6}$ .

- α) Ποια είναι η πιθανότητα να μεταφερθεί όλο το αρχείο χωρίς λάθη; Σημειώστε ότι, για μεγάλο  $n$  και πολύ μικρό  $p$ ,  $(1-p)^n \approx e^{-np}$ .
- β) Αν το αρχείο χωριστεί σε  $N$  τμήματα ίσου μεγέθους τα οποία μεταδίδονται ξεχωριστά, ποια είναι η πιθανότητα να μεταδοθούν όλα τα τμήματα χωρίς σφάλματα; Βοηθάει η υποδιαίρεση του αρχείου σε μικρότερα τμήματα;
- γ) Υποθέτοντας ότι η καθυστέρηση διάδοσης είναι αμελητέα, εξηγήστε πώς μπορεί το πρωτόκολλο παύσης και αναμονής να βοηθήσει την μετάδοση του αρχείου χωρίς σφάλματα. Πόσος χρόνος κατά μέσο όρο θα παρέλθει για τη μετάδοση ολόκληρου του αρχείου, αν το πρωτόκολλο μεταδίδει ολόκληρο το αρχείο κάθε φορά;
- δ) Στη συνέχεια θεωρήστε ότι το αρχείο χωρίζεται σε  $N$  τμήματα (αμελήστε τον πλεονασμό από τα bit της επικεφαλίδας και του CRC). Πόσος χρόνος κατά μέσο όρο θα παρέλθει για τη μετάδοση ολόκληρου του αρχείου, αν το πρωτόκολλο μεταδίδει ένα τμήμα κάθε φορά; Επαληθεύσατε την απάντησή σας για  $N = 80, 800, \text{ and } 8000$ .
- ε) Εξηγήστε ποιοτικά τι θα συμβεί στις απαντήσεις του ερωτήματος (δ) αν ληφθεί υπόψη ο πλεονασμός.

**[Απάντηση: (α)  $3.35 \times 10^{-4}$ , (β)  $3.35 \times 10^{-4}$ , (γ) 6.62 h, (δ)  $8e^{Lp/N}$ ,  $T(N=80) = 8.84$  sec,  $T(N=800) = 8.08$  sec,  $T(N=8000) = 8.008$  sec]**

14. Σε δίκτυο αποθήκευσης και προώθησης ο σταθμός Α μεταδίδει πακέτα στον σταθμό Β 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  $\mu$ s. Ο χρόνος επεξεργασίας σε κάθε κόμβο μεταγωγής είναι αμελητέος.

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

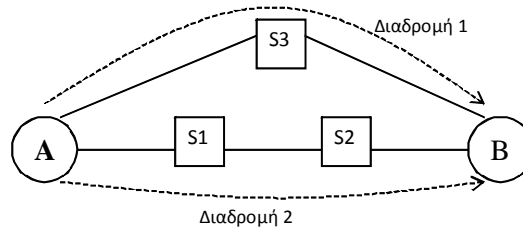
- α) Κάθε πακέτο που φθάνει σε κάθε κόμβο μεταγωγής βρίσκει τον καταχωρητή του κόμβου κενό.
- β) Κάθε πακέτο που φθάνει σε κάθε κόμβο μεταγωγής βρίσκει 7 πακέτα να είναι ήδη στον καταχωρητή. Υποθέστε ότι ο κόμβος μεταγωγής μεταδίδει τα πακέτα από τον καταχωρητή του κατ' απόλυτη προτεραιότητα.

**[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 **A** στέλνει το επόμενο πακέτο αφού λάβει την επαλήθευση από τον **B** για το προηγούμενο πακέτο που έστειλε και οι επαληθεύσεις έχουν αμελητέο χρόνο μετάδοσης.

- (α) Ποια είναι η μέση ταχύτητα μετάδοσης από τον **A** στον **B**;  
 (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 **A** και **B** συνδέονται μεταξύ τους μέσω κόμβου μεταγωγής **Γ**, ο οποίος αποθηκεύει και προωθεί τα πακέτα. Η χωρητικότητα της ζεύξης **A-Γ** είναι 10Mbps και της ζεύξης **Γ-B** 5Mbps. Η καθυστέρηση διάδοσης σε κάθε ζεύξη είναι 22ms. Υποθέστε ότι ο **A** στέλνει ένα αρχείο 30000 byte στον **B**.
- 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 **A** και **B**;  
 β) Ποια είναι η διαφορά μεταξύ των χρόνων άφιξης του πρώτου και του δεύτερου πακέτου στον κόμβο **B**;  
 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 **A** δεν μπορεί να στείλει νέο πακέτο πριν να επαληθευτεί το προηγούμενο από τον **B**; Αγνοήστε τον χρόνο μετάδοσης των επαληθεύσεων.

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

17. 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]**

18. 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 ρολοί του δέκτη είναι κατά 1% ταχύτερο από το ρολοί του πομπού;

**[Απάντηση:  $N < 49$ ]**