



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

### 1<sup>η</sup> Σειρά Ασκήσεων

- Μήνυμα μήκους  $L$  bit πρόκειται να μεταδοθεί από τον υπολογιστή  $A$  στον  $B$ . Μεταξύ των δύο υπολογιστών 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 πακέτου και ότι το μήνυμα διασπάται σε ακέραιο αριθμό πακέτων. Το μήκος των πακέτων είναι  $P$  bit, από τα οποία τα  $H$  bit αποτελούν την επικεφαλίδα. Ο χρόνος εγκατάστασης κλήσης για τη μεταγωγή κυκλώματος είναι  $S$  sec και η καθυστέρηση διάδοσης σε κάθε ζεύξη είναι  $D$  sec.
  - Κάτω από ποιες συνθήκες οι ολικές καθυστερήσεις της μετάδοσης του μηνύματος με τις δύο τεχνικές είναι ίσες;
  - Ποια τιμή του μήκους πακέτου δίνει την ελάχιστη καθυστέρηση μετάδοσης με μεταγωγή πακέτου;
- Υπολογίστε τον κώδικα CRC που αντιστοιχεί στο μήνυμα  $m = 1001001011$  και στην πολυωνυμική γεννήτρια  $g = 10011$
- Έστω  $g = 1011$  η πολυωνυμική γεννήτρια και  $m = 1001$  το προς μετάδοση μήνυμα.
  - Βρείτε την κωδικοποιημένη πληροφορία που θα μεταδοθεί.
  - Αν κατά τη μετάδοση η κωδικοποιημένη πληροφορία εμφανίσει λάθος στο πρώτο bit, τι θα προκύψει στον δέκτη μετά τον έλεγχο λαθών;
- Μήνυμα του στρώματος δικτύου χωρίζεται σε 10 πλαίσια προκειμένου 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 μέσον 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;
- Θεωρήστε δύο υπολογιστές που επικοινωνούν μέσω δικτύου. Κάθε υπολογιστής συνδέεται με έναν κόμβο μεταγωγής. Οι δύο κόμβοι μεταγωγής συνδέονται μέσω ενός τρίτου με ζεύξεις που δεν εμφανίζουν λάθη μετάδοσης. Οι κόμβοι μεταγωγής, λόγω υπερφόρτισης, μπορεί να απορρίπτουν πακέτα, όποτε αυτό είναι αναγκαίο. Η πιθανότητα απόρριψης ενός πακέτου από έναν 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:
  - το μέσο μήκος διαδρομής, σε βήματα, που αναμένεται να διανύσει ένα πακέτο
  - ο μέσος αριθμός (ανα)μεταδόσεων ανά επιτυχημένη μετάδοση

- (γ) ο μέσος ρυθμός διέλευσης πακέτων
6. Δύο κόμβοι A και B χρησιμοποιούν μεταξύ τους πρωτόκολλο παύσης και αναμονής (stop and wait). Ο χρόνος μετάδοσης ενός πλαισίου είναι  $TF$  και μιας επιβεβαίωσης  $TA$ . Ο χρόνος διάδοσης ενός πλαισίου από το A στο B ή μιας επιβεβαίωσης (ACK) από το B στο A είναι ίσος με  $T$ , ενώ ο χρόνος επεξεργασίας στους κόμβους είναι αμελητέος. Επιβεβαιώσεις στέλνονται μόνο αν ληφθεί ένα σωστό πλαίσιο. Ένα κλάσμα  $\alpha$  των πλαισίων και  $\beta$  των επιβεβαιώσεων χάνονται από σφάλματα μετάδοσης.
    - α. Ποια είναι η πλέον κατάλληλη τιμή για τον χρόνο αναμονής για επιβεβαίωση (timeout);
    - β. Να βρεθεί ο μέσος χρόνος που απαιτείται για την αποστολή ενός σωστού πλαισίου από το A στο B.
    - γ. Να βρεθεί η διέλευση του πρωτοκόλλου.
  7. Ένας δίαυλος έχει χωρητικότητα 40 kbits/sec και καθυστέρηση διάδοσης 20ms. Για ποια μήκη πλαισίων είναι η χρησιμοποίηση του καναλιού μεγαλύτερη από 50% όταν χρησιμοποιείται πρωτόκολλο α) stop-and-wait, β) Go-back-N με μήκος παραθύρου 7 πλαίσια;
  8. Πρόκειται να σχεδιαστεί δορυφορική ζεύξη χωρητικότητας 64000 bps και με καθυστέρηση διάδοσης, από επίγειο σε επίγειο σταθμό, ίση με 320ms. Τα πλαίσια και οι επιβεβαιώσεις έχουν μήκος 1000 bits και οι χρόνοι επεξεργασίας σε κάθε σταθμό είναι 5ms. Η ζεύξη είναι αμφίδρομη (full-duplex) και χρησιμοποιεί πρωτόκολλο Go-back-N.
    - α) Ποιο ελάχιστο μήκος παραθύρου προτείνετε;
    - β) Ποιος είναι ο μέσος χρόνος μετάδοσης πλαισίου, αν η πιθανότητα λανθασμένης μετάδοσης είναι  $p = 0,1\%$ ;
    - γ) Ποια η διέλευση του πρωτοκόλλου;
  9. Σε σύστημα πομπού-δέκτη εφαρμόζονται τα πρωτόκολλα Stop-and-Wait, και Go-back-N. Υποθέστε ότι ο πομπός έχει πάντα πλαίσια διαθέσιμα για μετάδοση. Τα πλαίσια είναι ίσου μήκους και το καθένα έχει χρόνο μετάδοσης 10 ms. Η απάντηση ACK/NAK φθάνει στον πομπό 40 ms μετά το τέλος της μετάδοσης του πλαισίου. Το κανάλι είναι full-duplex και έχει την εξής ιδιομορφία: Μετά από κάθε δύο (2) επιτυχημένες μεταδόσεις η τρίτη είναι λανθασμένη.
 

Να βρεθεί η διέλευση κάθε πρωτοκόλλου.
  10. Στον κόμβο A ενός δικτύου φτάνει ένα αρχείο μήκους 1 Mbyte (1byte = 8bits) που πρέπει να προωθηθεί στον κόμβο B. Η χωρητικότητα της ζεύξης μεταξύ των κόμβων A και B είναι 64kbits/s και η ζεύξη είναι full-duplex. Το μήνυμα κόβεται σε πακέτα 512 bits εκ των οποίων 16 bits είναι η επικεφαλίδα. Για τη μετάδοσή τους εφαρμόζονται εναλλάξ τα πρωτόκολλα Stop-and-Wait και Go-back-N. Η απάντηση ACK/NAK για ένα πακέτο φθάνει στον πομπό κατά τη διάρκεια της μετάδοσης, 48 ms μετά το τέλος της μετάδοσης του πακέτου αυτού. Το κανάλι παρουσιάζει πιθανότητα λανθασμένης μετάδοσης ενός bit ίση με  $1 \times 10^{-5}$ . Να υπολογιστεί ο χρόνος για τη μετάδοση του αρχείου για κάθε πρωτόκολλο.
  11. Θεωρήστε τη μετάδοση πλαισίων μήκους 1000 bit σε δορυφορικό κανάλι χωρητικότητας 1 Mbps. Ποια είναι η μέγιστη χρησιμοποίηση της ζεύξης για:
    - (α) Πρωτόκολλο παύσης και αναμονής;
    - (β) Πρωτόκολλο Go-Back-N με μέγεθος παραθύρου 7;
    - (γ) Πρωτόκολλο Go-Back-N με μέγεθος παραθύρου 127;
  12. Υπολογίστε το κλάσμα του εύρους ζώνης που σπαταλιέται σε επιβαρύνσεις (επικεφαλίδα και αναμεταδόσεις) για το πρωτόκολλο selective repeat σε ένα πολύ φορτωμένο δορυφορικό κανάλι των 50 kbps, με πλαίσια δεδομένων μήκους 4000 bit

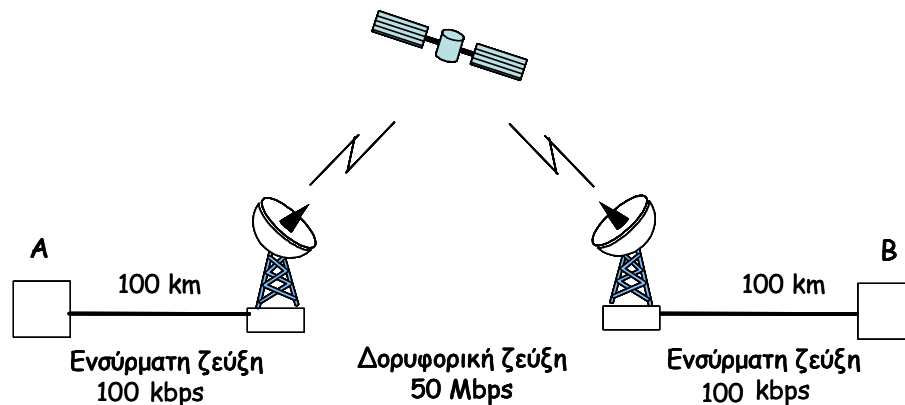
από τα οποία τα 40 bit είναι η επικεφαλίδα. Δεν χρησιμοποιούνται πλαίσια ACK. Τα πλαίσια NAK έχουν μήκος 40 bit. Το ποσοστό εμφάνισης σφαλμάτων για τα πλαίσια δεδομένων είναι 1% και το ποσοστό εμφάνισης για τα πλαίσια NAK είναι αμελητέο. Οι αριθμοί διάταξης είναι 8 bit.

13. Πρωτόκολλο Go Back n ( $n > 3$ ) εφαρμόζεται για τον έλεγχο της ζεύξης μεταξύ των κόμβων A και B. Υποθέτουμε ότι οι χρόνοι μετάδοσης πλαισίων (για αμφότερες τις κατευθύνσεις μετάδοσης) κυμαίνονται μεταξύ μιας ελάχιστης  $T_{min}$  και μιας μέγιστης τιμής  $T_{max}$ . Όλοι ανεξαιρέτως οι χρόνοι διάδοσης και επεξεργασίας των πλαισίων θεωρούνται ίσοι με τη σταθερά  $T_d$ . Η εν λόγω σταθερά  $T_d$  είναι κατά πολύ μικρότερη της  $T_{min}$  πλην όμως θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στους σχετικούς υπολογισμούς. Μόλις ο κόμβος B διαπιστώσει την χωρίς σφάλματα άφιξη συγκεκριμένου πλαισίου αποστέλλει εμβόλιμη επιβεβαίωση στο αμέσως επόμενο (της διαπίστωσης) πλαίσιο προς τον A. Δεχόμαστε (καταρχήν) ότι δεν συμβαίνουν ούτε σφάλματα μετάδοσης, ούτε απώλειες πλαισίων και προς τις δύο κατευθύνσεις. Να αποδειχθεί πως αν ισχύει η ανισότητα:

$$T_{max} < \{[n - 1]/2\} T_{min} - T_d$$

τότε ο κόμβος A (αποστέλλον κόμβος) ουδέποτε θα υποχρεωθεί είτε να αναστείλει τη μετάδοση, είτε να επαναμεταδώσει (προγενέστερο) πλαίσιο.

14. Στο σύστημα του παρακάτω σχήματος τα μεταδιδόμενα πακέτα (και οι επαληθεύσεις) έχουν μήκος 1000 bit. Η ταχύτητα διάδοσης στις ενσύρματες ζεύξεις είναι 200.000 km/s και στη δορυφορική ζεύξη 300.000 km/s. Ο δορυφόρος είναι γεωστατικός και βρίσκεται σε ύψος 36.000 km.



- (α) Αν ο ρυθμός εσφαλμένων πακέτων είναι αμελητέος, να υπολογιστεί η διέλευση από το A έως το B, όταν χρησιμοποιείται πρωτόκολλο παύσης και αναμονής απ' άκρη σ' άκρη.
- (β) Επαναλάβετε τον υπολογισμό, υποθέτοντας τώρα ότι απ' άκρη σ' άκρη μεταξύ των A και B χρησιμοποιείται πρωτόκολλο Go-back-N με μήκος παραθύρου 7 πλαίσια.
- (γ) Για ποιο μέγεθος παραθύρου επιτυγχάνεται η μέγιστη διέλευση στο ερώτημα (β) και πόση είναι αυτή;
15. 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-kilobyte 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;
16. 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  $N = 80, 800,$  and  $8000$ .
- (ε) Εξηγήστε ποιοτικά τι θα συμβεί στις απαντήσεις του ερωτήματος (δ) αν ληφθεί υπόψη ο πλεονασμός.