

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ 2021-2022
6ο ΕΞΑΜΗΝΟ

Διδάσκων

Γεώργιος Δ. Σταμούλης

Βοηθοί: Ιάκωβος Πιτταράς, Διονύσης Δαμασιώτης, Θεοδόσης Γιαννόπουλος

Επιμέλεια Ασκήσεων: Μαριλένα Μήνου, Θεοδόσης Γιαννόπουλος

Λύσεις φροντιστηρίου Επιπέδου 2

GBN

Μέγεθος παραθύρου αποστολέα: Αποθηκεύει τα πλαίσια που δεν έχουν επιβεβαιωθεί. Μέγεθος μικρότερο ή ίσο από τη μέγιστη τιμή του που είναι ίση με

$$w_{max} = \left\lfloor \frac{\text{round trip time}}{\text{frame transmission time}} \right\rfloor$$

Μεγαλύτερο μέγεθος παραθύρου δεν μπορεί να βελτιώσει ακόμη περισσότερο. Απλά θα αποθηκεύονταν περισσότερα πλαίσια.

Μικρότερο μέγεθος παραθύρου θα μείωνε την αξιοποίηση του συνδέσμου

$$\alpha \leq \frac{w}{w_{max}}$$

Μέγεθος παραθύρου παραλήπτη:1 (Με τη σειρά)

Αριθμοί ακολουθίας: Αν για παράδειγμα χρησιμοποιούμε τους αριθμούς 0,1,2,...,7 τότε το παράθυρο του αποστολέα δεν μπορεί να είναι 8 ή παραπάνω. Για παράδειγμα

Έστω ότι το παράθυρο του αποστολέα είναι $w=8$ και στέλνονται τα πλαίσια 0,1,...,7. Αν ο παραλήπτης λάβει το πλαίσιο 0 μπορεί να

A) Επιβεβαιωθεί σωστά οπότε ο αποστολέας μετακινεί το παράθυρό του κατά μία θέση και αποτελείται από τους αριθμούς 1,2,...,7,0 οπότε ο παραλήπτης θα λάβει ένα νέο πλαίσιο με αριθμό 0

B) Να μην επιβεβαιωθεί σωστά οπότε ο αποστολέας θα στείλει ένα αντίγραφο με αριθμό 0

Γενικά αν 0,1,2,...,M είναι οι αριθμοί ακολουθίας θα είναι $w \leq M$

SRP

Μέγεθος παραθύρου αποστολέα: Το ίδιο με πριν

Μέγεθος παραθύρου παραλήπτη: k

Αριθμοί ακολουθίας: Πρέπει κάθε φορά που προχωρά το παράθυρό του ο αποστολέας οι νέοι αριθμοί που εισάγονται να μην επικαλύπτονται με τους αριθμούς που έφυγαν.

Αν για παράδειγμα χρησιμοποιούμε τους αριθμούς $0,1,2,\dots,7$ και το παράθυρο του αποστολέα έχει μέγεθος 5 τότε Έστω ότι το παράθυρο του αποστολέα είναι $0,1,\dots,4$. και ότι εκκρεμεί η επιβεβαίωση του πλαισίου 0.

Αν ο παραλήπτης λάβει το πλαίσιο 0 μπορεί αυτό να

A) Επιβεβαιωθεί σωστά οπότε ο αποστολέας μετακινεί το παράθυρό του και θα αποτελείται από τους αριθμούς $5,6,7,0,1$, οπότε ο παραλήπτης μπορεί να λάβει ένα νέο πλαίσιο με αριθμό 0.

B) Να μην επιβεβαιωθεί σωστά οπότε ο αποστολέας θα στείλει ένα αντίγραφο με αριθμό 0.

Γενικά αν $0,1,2,\dots,M$ είναι οι αριθμοί ακολουθίας το παράθυρο του αποστολέα θα πρέπει να είναι $w \leq \left\lfloor \frac{M+1}{2} \right\rfloor$

Το παράθυρο του παραλήπτη δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το παράθυρο του αποστολέα

Άσκηση 2

Έστω μια επικοινωνιακή γραμμή AB ταχύτητας 96 Kbps, με καθυστέρηση διάδοσης από άκρη σε άκρη, 200 msec. Στη γραμμή αυτή εγκαθίσταται μια σύνδεση όπου εφαρμόζεται το πρωτόκολλο go-back-n, που αφορά τη μετάδοση πλαισίων μεγέθους 1000 bytes, στην κατεύθυνση AB και πλαισίων επιβεβαίωσης μεγέθους 300 bytes στην κατεύθυνση BA.

- i. Αν χρησιμοποιούνται στην κατεύθυνση AB τιμές για το timeout και το μέγεθος παραθύρου τέτοιες που οδηγούν στη μεγαλύτερη απόδοση, ποια βάση αρίθμησης modulo μπορεί να χρησιμοποιηθεί;
- ii. Αν εφαρμόζεται πρωτόκολλο Selective Repeat πώς θα γινόταν η αρίθμηση για το ίδιο μέγεθος παραθύρου;

Ο χρόνος μετάδοσης του πλαισίου στην κατεύθυνση AB:

$$T_{ab} = 1000 * 8 / 96000 = 83 \text{ msec}$$

Ο χρόνος μετάδοσης της επιβεβαίωσης στην κατεύθυνση BA:

$$T_{ba} = 300 * 8 / 96000 = 25 \text{ msec}$$

Κάθε πλαίσιο έχει μέγεθος $L=1000\text{bytes}=8000 \text{ bits}$. Άρα στη γραμμή με ταχύτητα 9600bps, μπορούν να σταλούν

$$96000\text{bps}/8000\text{bits} = 12 \text{ πλαίσια/sec}$$

Ο συνολικός χρόνος αποστολής ενός πλαισίου και λήψης ACK είναι:

$$T_{total} = T_{ab} + T_{ba} + 2 * T_{prop} = 83 + 25 + 2 * 200 = 508 \text{ msec} = 0,508 \text{ sec}$$

Επομένως, ο συνολικός αριθμός πλαισίων που μπορούν να σταλούν σε 0,508 sec είναι

$$Total_{frames} = \lceil 12 * 0.508 \rceil = \lceil 6,12 \rceil = 7 \text{ πλαίσια}$$

Εναλλακτικά,

$$Total_frames = \lceil T_{total} / T_{ab} \rceil = \lceil 6,12 \rceil = 7 \text{ πλαίσια}$$

Άρα Window size : $k=7$!

Άσκηση 2 (Συνέχεια)

Συνεπώς, δεδομένου ότι πρόκειται για πρωτόκολλο Go-Back-n, για την αρίθμηση των αριθμών σειράς πρέπει να χρησιμοποιηθεί modulo 8. (Αφού ο μέγιστος αριθμός ακολουθίας είναι 7) (modulo (k+1)), δηλαδή η αρίθμηση των πλαισίων είναι: 0,1,2,...,7,0,1,2,...

i. Το ελάχιστο timeout που έχει νόημα, και μάλιστα ασχέτως μεγέθους παραθύρου είναι ίσο με $T_{total} = T_{ab} + T_{ba} + 2 \cdot T_{prop}$.

Οποιαδήποτε μικρότερη τιμή θα έχει σαν συνέπεια να επαναμεταδίδονται ασκόπως όλα τα πλαίσια, γιατί δεν θα προλαβαίνει να φθάσει το ACK, ενώ .

ii. Εάν εφαρμόζοταν Selective repeat : πρέπει να χρησιμοποιηθεί αρίθμηση modulo(2k) = modulo 14 αφού

$$w \leq \left\lfloor \frac{M+1}{2} \right\rfloor$$

$$w \leq \frac{M+1}{2}$$

$$M \geq 2w - 1$$

$$M \geq 2 \cdot 7 - 1$$

$$M \geq 13$$

Επομένως μπορούμε να επιλέξουμε αρίθμηση mod $M + 1 = 14$

Άσκηση 3

Ένας ασύρματος σύνδεσμος με ρυθμό μετάδοσης $R = 128$ Kbps χρησιμοποιείται για να μεταδώσει πλαίσια (frames) μήκους $L_f = 1024$ bits χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο stop-and wait. Η καθυστέρηση διάδοσης από άκρη σε άκρη είναι $Prop = 120$ msec, ενώ το μέγεθος των πλαισίων επιβεβαίωσης είναι $L_a = 256$ bits.

A) Να υπολογίσετε την απόδοση του πρωτοκόλλου με χρόνο προθεσμίας ίσο με το χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής.

B) Να υπολογίσετε την απόδοση του πρωτοκόλλου παρουσία σφαλμάτων με πιθανότητα $p=0.1$ και πάλι με χρόνο προθεσμίας ίσο με το χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής.

Ο συνολικός χρόνος ενός γύρου ταξιδιού (χρόνος μετάδοσης πλαισίου + χρόνος διάδοσης πλαισίου + χρόνος μετάδοσης επιβεβαίωσης + χρόνος διάδοσης επιβεβαίωσης) είναι

$$S = TransP + TransA + 2 * Prop = L_f/R + L_a/R + 2 * 120 \text{ msec} = 0.008 + 0.002 + 0.004 = 0.014 \text{ sec} = 14 \text{ msec}.$$

A) $E =$ χρόνος αξιοποίησης καναλιού/ χρόνος ενός γύρου ταξιδιού ή

$E =$ χρόνος μετάδοσης ενός πλαισίου/χρόνος ενός γύρου ταξιδιού

Οπότε $A = TransP/S = 0.008/0.014 = 0.571 = 57.1\%$

B) Αν ο χρόνος προθεσμίας είναι t τότε το πλήθος $X \in \{0,1,2, \dots\}$ των αναμεταδόσεων που θα πραγματοποιηθούν μέχρις ότου ένα πλαίσιο να μεταδοθεί σωστά αποτελεί τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί την γεωμετρική κατανομή

$P(X = x) = (1 - p)p^x$ με μέση τιμή $E(X) = \frac{p}{1-p}$. Επομένως ο μέσος χρόνος $E(T)$ επιτυχούς μετάδοσης θα είναι

$$E(T) = E(X) \cdot t + S = \frac{p}{1-p} t + S$$

Οπότε αν $t = S$ θα έχουμε $E(T) = \frac{S}{1-p} = 0.014/0.9 = 0.0156$ και η μέση απόδοση του πρωτοκόλλου θα είναι

$$TransP/ E(T) = 0.008/0.0156 = 51.3\%$$

Άσκηση 4

Ένας δίαυλος έχει χωρητικότητα $P = 40 \text{ kbits/sec}$ και καθυστέρηση διάδοσης $T_{prop} = 20\text{msec}$. Όταν χρησιμοποιείται πρωτόκολλο

A) stop-and-wait

- i) Για ποια μήκη πλαισίων L είναι η αξιοποίηση του καναλιού μεγαλύτερη από $\alpha = 50\%$; (Θεωρούμε ότι ο χρόνος μετάδοσης της επιβεβαίωσης είναι αμελητέος)
- ii) Εάν θεωρήσουμε πλαίσια μεγέθους 1000bytes εκ των οποίων τα 100bytes αντιστοιχούν στην επικεφαλίδα, ποιος είναι ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας;

B) Go-back-N με μήκος παραθύρου 7 πλαίσια:

- i) Για ποια μήκη πλαισίων είναι η αξιοποίηση του καναλιού μεγαλύτερη από 50%;

Λύση

Ο συνολικός χρόνος T ενός γύρου ταξιδιού (χρόνος μετάδοσης πλαισίου + χρόνος διάδοσης πλαισίου + χρόνος διάδοσης επιβεβαίωσης) είναι

$$T = T_{tran} + 2T_{prop} = L/R + 2T_{prop}$$

A) i)

$E = \text{χρόνος αξιοποίησης καναλιού σε ένα γύρο ταξιδιού} / \text{χρόνος ενός γύρου ταξιδιού}$ ή

$E = \text{χρόνος μετάδοσης ενός πλαισίου} / \text{χρόνος ενός γύρου ταξιδιού}$

$$\begin{aligned} E > \alpha &\Leftrightarrow \frac{L/R}{L/R + 2T_{prop}} > \alpha \Leftrightarrow L/R > \alpha(L/R + 2T_{prop}) \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow L > \alpha L + 2\alpha R T_{prop} \Leftrightarrow (1 - \alpha)L > 2\alpha R T_{prop} \\ &\Leftrightarrow L > \frac{2\alpha R T_{prop}}{1 - \alpha} \end{aligned}$$

Για $\alpha = 0.5$, $R = 40\text{Kbits/sec}$ και $T_{prop} = 0.02\text{sec}$ προκύπτει ότι $L > 1.6\text{kbits}$

Άσκηση 4 (Συνέχεια)

ii) Ο συνολικός χρόνος T ενός γύρου ταξιδιού είναι

$$T = T_{\text{tran}} + 2T_{\text{prop}} = L/R + 2T_{\text{prop}} = \frac{8000}{40000} + 2 \cdot 20 = 240 \text{ msec}$$

Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων = δεδομένα που μεταδίδονται σε ένα γύρο ταξιδιού / χρόνος ενός γύρου ταξιδιού

$$\text{Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων} = (L - \text{Header})/T = (8000 - 800)/240 = 30 \text{ bits/msec} = 30 \text{ Kbps}$$

B) E = χρόνος αξιοποίησης καναλιού σε ένα γύρο ταξιδιού / χρόνος ενός γύρου ταξιδιού οπότε

E = χρόνος μετάδοσης m πλαισίων / χρόνος ενός γύρου ταξιδιού

$$\begin{aligned} E > \alpha &\Leftrightarrow \frac{mL/R}{L/R + 2T_{\text{prop}}} > \alpha \Leftrightarrow mL/R > \alpha(L/R + 2T_{\text{prop}}) \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow mL > \alpha L + 2\alpha RT_{\text{prop}} \Leftrightarrow (m - \alpha)L > 2\alpha RT_{\text{prop}} \\ &\Leftrightarrow L > \frac{2\alpha RT_{\text{prop}}}{m - \alpha} \end{aligned}$$

Για $m = 7$, $\alpha = 0.5$, $R = 40 \text{ Kbits/sec}$ και $T_{\text{prop}} = 0.02 \text{ sec}$ προκύπτει ότι $L > 0.123 \text{ kbits}$

Σημειωτέων, ότι ο ανωτέρω υπολογισμός για τον βαθμό αξιοποίησης ισχύει υπό την προϋπόθεση ότι ο συνολικός χρόνος μετάδοσης για τα 7 πλαίσια δεν υπερβαίνει τον χρόνο του ενός γύρου ταξιδιού που συμβαίνει όταν ισχύει $L < 266,67 \text{ bits}$. Στην αντίθετη περίπτωση, ο βαθμός αξιοποίησης είναι απλώς 100%.

Άσκηση 5

Ένας σύνδεσμος με ρυθμό μετάδοσης 1,544 Mbits/sec και μήκος 6000 km χρησιμοποιείται για να μεταδώσει πλαίσια (frames) μήκους 128 bytes χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο GoBack-N. Αν η καθυστέρηση διάδοσης στο κανάλι είναι 12 microseconds (μsec) ανά km, ποιο είναι το ελάχιστο μήκος του παραθύρου ώστε να μπορεί να επιτευχθεί μέγιστη αξιοποίηση του συνδέσμου? Τι παρατηρείτε για τη μεταβολή του μεγέθους του παραθύρου που απαιτείται σε σχέση με τον ρυθμό μετάδοσης και σε σχέση με την καθυστέρηση διάδοσης/απόσταση? (Θεωρούμε ότι ο χρόνος μετάδοσης της επιβεβαίωσης είναι αμελητέος)

Λύση

Μέγιστη αξιοποίηση καναλιού $E = 1$

$E = \text{χρόνος αξιοποίησης καναλιού σε ένα γύρο ταξιδιού} / \text{χρόνος ενός γύρου ταξιδιού}$ οπότε

$E = \text{χρόνος μετάδοσης } m \text{ πλαισίων} / \text{χρόνος ενός γύρου ταξιδιού}$

$$E = \alpha \Leftrightarrow \frac{mL/R}{L/R + 2T_{\text{prop}}} = \alpha \Leftrightarrow mL/R > \alpha(L/R + 2T_{\text{prop}}) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow m = \alpha R(L/R + 2T_{\text{prop}})/L \Leftrightarrow m = \alpha(L + 2RT_{\text{prop}})/L$$

Για $\alpha = 1$, $L = 1024 \text{ bits}$, $R = 1544000 \text{ bits/sec}$, $T_{\text{prop}} = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 6000 = 0.072 \text{ sec}$ προκύπτει

$$m = 218.125$$

Επομένως πρέπει $m = 219$

Άσκηση 6

SAW

Υποθέτουμε ότι σε χρόνο ενός γύρου ταξιδιού “χωράν” ακριβώς να σταλούν N πλαίσια και ότι η πιθανότητα σφάλματος στη μετάδοση ενός πλαισίου είναι p . Έστω ότι X είναι το πλήθος των πλαισίων που θα μπορούσαμε να μεταδώσουμε μέχρις ότου να έχουμε μια επιτυχή μετάδοση. Τότε θα είναι

$$E(X) = N(1 - p) + (E(X) + N)p,$$

από όπου προκύπτει ότι

$$E(X) = \frac{N}{1 - p}$$

Επειδή για κάθε $E(X)$ πλαίσια, μεταδίδεται με επιτυχία ένα, η απόδοση του πρωτοκόλλου είναι

$$\varepsilon = \frac{1}{E(X)} = \frac{1 - p}{N}$$

Άσκηση 6

SAW

Διαφορετική προσέγγιση: Έστω X είναι ο χρόνος μέχρι να ολοκληρωθεί επιτυχώς (και να επιβεβαιωθεί) η μετάδοση ενός πλαισίου. Τότε

$$E(X) = N \cdot \text{TRANSP} * (1 - p) + (E(X) + N \cdot \text{TRANSP}) \cdot p$$

από όπου έχουμε

$$E(X) = \frac{N \cdot \text{TRANSP}}{1 - p}$$

Επειδή στον κατά την διάρκεια που αντιστοιχεί (κατά μέσο όρο) σε χρόνο μετάδοσης $E(X)$ πλαισίων γίνεται η επιτυχημένη μετάδοση μόνο ενός πλαισίου, η απόδοση του πρωτοκόλλου είναι.

$$\varepsilon = \frac{\text{TRANSP}}{E(X)}$$

Άσκηση 6

GO Back N

Υποθέτουμε ότι σε χρόνο ενός γύρου ταξιδιού “χωράν” ακριβώς να σταλούν N πλαίσια, ότι η πιθανότητα σφάλματος στη μετάδοση ενός πλαισίου είναι p και ότι το παράθυρο του αποστολέα είναι $s = N$ που σημαίνει ότι ο αποστολέας μεταδίδει πλαίσια συνεχώς. Έστω ότι $X \in \{0, 1, 2, \dots\}$ είναι το πλήθος των πλαισίων που χρειάζεται να μεταδοθούν μέχρις ότου να έχουμε μια επιτυχή μετάδοση. Τότε θα έχουμε

$$E(X) = 1 \cdot (1 - p) + (E(X) + N) \cdot p$$

από όπου προκύπτει τελικά ότι

$$E(X) = 1 + \frac{pN}{1 - p}$$

και η απόδοση του πρωτοκόλλου είναι

$$\varepsilon = \frac{1}{E(X)} = \frac{1 - p}{1 + (N - 1)p}$$

Άσκηση 6

Selective Repeat Protocol (SRP)

Υποθέτουμε ότι σε χρόνο ενός γύρου ταξιδιού “χωράν” ακριβώς να σταλούν N πλαίσια, ότι η πιθανότητα σφάλματος στη μετάδοση ενός πλαισίου είναι p και ότι το παράθυρο του αποστολέα είναι $s = N$ που σημαίνει ότι ο αποστολέας μεταδίδει πλαίσια συνεχώς. Έστω ότι $X \in \{1, 2, \dots\}$ είναι το πλήθος των πλαισίων που χρειάζεται να μεταδοθούν μέχρις ότου να έχουμε μια επιτυχή μετάδοση και να προχωρήσει κατά μία θέση το παράθυρο του αποστολέα. Τότε θα έχουμε

$$E(X) = 1 \cdot (1 - p) + (E(X) + 1) \cdot p$$

από όπου τελικά έχουμε ότι

$$E(X) = \frac{1}{1 - p}$$

και η απόδοση του πρωτοκόλλου είναι

$$\varepsilon = \frac{1}{E(X)} = 1 - p$$

Παρατηρούμε ότι το πρωτόκολλο GBN είναι πάντα πιο αποδοτικό από το SAW και ότι το SRP πιο αποδοτικό από το GBN. Επιπλέον, Καθώς το N αυξάνεται, η αποδοτικότητα του GBN φθίνει προς το 0. Επομένως, για μεγάλες τιμές παραθύρου, η χρήση του SRP είναι σε σημαντικό βαθμό προτιμότερη.