

Πρωτόκολλα επανεκπομπής

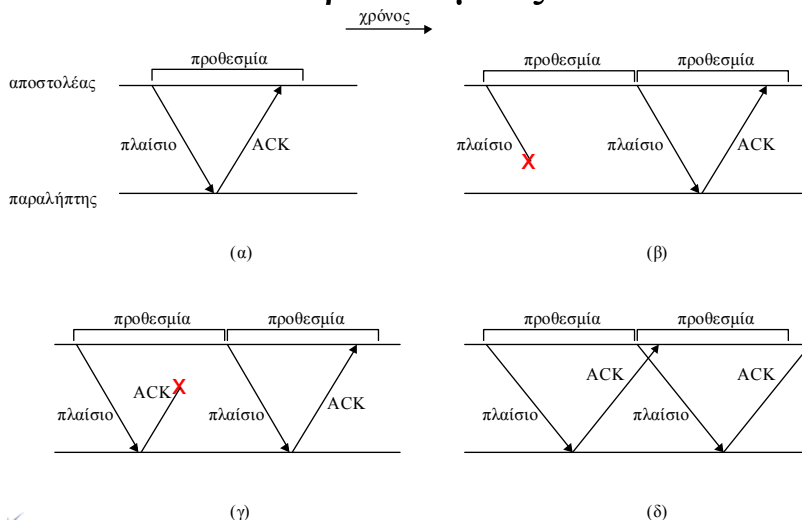
Πρωτόκολλα επανεκπομπής

- Πρωτόκολλα:
 - Εναλλασσομένου bit (Alternating Bit Protocol)
 - Επιλεκτικής επανάληψης (Selective Repeat Protocol)
 - Οπισθοχώρησης κατά N (Go Back N)
- Μηχανισμοί:
 - Χρονομετρητές (Χρόνος προθεσμίας)
 - Επιβεβαιώσεις Λήψης/ Αρνητικές Επιβεβαιώσεις
 - Διασωλήνωση (pipelining)

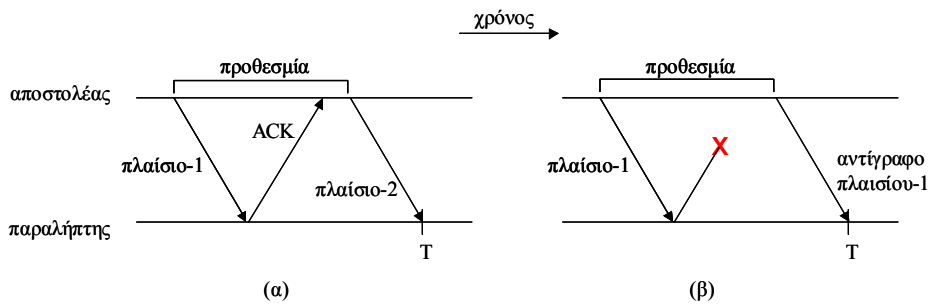
Εισαγωγή

- Δίκτυα μεταγωγής πακέτων.
- Κάθε πακέτο εξοπλίζεται με πληροφορίες ελέγχου και προωθείται στο Επίπεδο Σύνδεσης Δεδομένων (Data Link) για την πλαισίωσή του και τη μεταφορά του πάνω από το φυσικό μέσο.
- Το φυσικό μέσο μετάδοσης δεν μπορεί να εγγυηθεί μία μεταφορά πλαισίου απαλλαγμένη από σφάλματα.
- Τα δίκτυα επικοινωνιών πρέπει να περιλαμβάνουν μηχανισμούς για τον εντοπισμό (π.χ., CRC) και το χειρισμό των σφαλμάτων μεταφοράς.

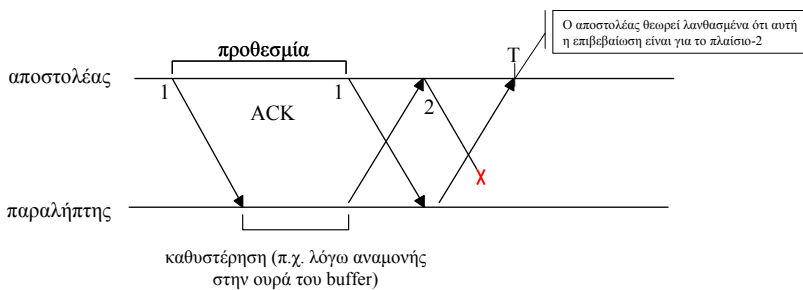
Επιβεβαιώσεις Λήψης & Χρόνοι Προθεσμίας



Αρίθμηση Πλαισίων



Αρίθμηση επιβεβαιώσεων



Αν τα ACK δεν είναι αριθμημένα, τότε, τη χρονική στιγμή T, ο αποστολέας αντιλαμβάνεται λανθασμένα ότι το πλαίσιο -2 παραδόθηκε χωρίς σφάλματα στον παραλήπτη

Απόδοση πρωτοκόλλων επανεκπομπής

- Η απόδοση μετριέται ως το μέσο ποσοστό χρόνου κατά το οποίο ο αποστολέας μεταδίδει καινούργια πλαίσια δεδομένων, θεωρώντας ότι πάντα υπάρχουν πακέτα προς μετάδοση. Τον υπόλοιπο χρόνο το πρωτόκολλο ασχολείται με επαναμεταδόσεις ή περιμένει επιβεβαιώσεις

Παράδειγμα απόδοσης

Έστω πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο δημιουργεί πακέτα μεγέθους 2048 bits και μεταδίδει με ταχύτητα 64Kbps.

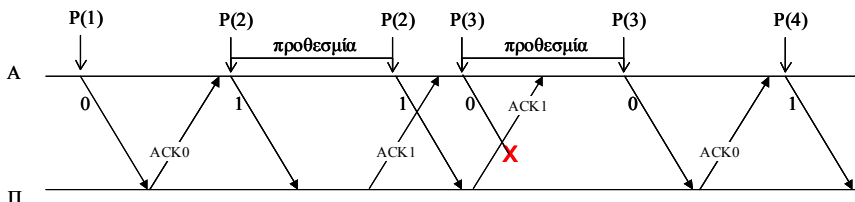
Εάν η απόδοση του πρωτοκόλλου επανεκπομπής είναι 100%, τότε ο αποστολέας μεταδίδει: $64K/2K=32$ πλαίσια ανά δευτερόλεπτο.

Αν η απόδοση ήταν 30% τότε θα μετέδιδε πλαίσια μόνο στο 30% του χρόνου δηλαδή 9,6 πλαίσια ανά δευτερόλεπτο.

Το πρωτόκολλο εναλλασσομένου bit (Alternating Bit Protocol - ABP)

- Βασική ιδέα λειτουργίας: *παύση και αναμονή* (stop-and-wait): μόλις ο αποστολέας μεταδώσει ένα πλαίσιο, περιμένει το ACK από τον παραλήπτη πριν προχωρήσει στην αποστολή του επόμενου πλαισίου.
- Εάν το ACK δεν φτάσει μέσα στον προσυμφωνημένο χρόνο προθεσμίας, τότε μεταδίδει ξανά το πλαίσιο.
- Η *αρίθμηση* των πλαισίων γίνεται χρησιμοποιώντας *1 bit*, δηλαδή, τα πιθανά νούμερα πλαισίων είναι τα 0 και 1.
- Τα ACKs περιέχουν αναφορές στην αρίθμηση των αντίστοιχων πλαισίων δεδομένων που επιβεβαιώνουν.
- Προϋπόθεση λειτουργίας είναι ότι το μέσο είναι «καλωδιακό», παραδίδει, δηλαδή, τα πλαίσια με τη σειρά αποστολής τους
- Παράδειγμα υλοποίησης το XMODEM

Alternating Bit Protocol



Απόδοση ABP (χωρίς σφάλματα μετάδοσης)

- Το πρωτόκολλο μεταδίδει ένα πακέτο και περιμένει επιβεβαίωση. Επομένως, ο χρόνος S που μεσολαβεί μεταξύ της εκπομπής δύο πακέτων είναι ο χρόνος μετάβασης με επιστροφή RTT :

$$\begin{aligned} S = RTT &= TransP + PropP + TransA + PropA = \\ &= TransP + TransA + 2 \times Prop \end{aligned}$$

- Ο αποστολέας μεταδίδει ένα πακέτο κάθε S δευτερόλεπτα κι επειδή χρειάζεται $TransP$ χρόνο για να μεταδώσει το πακέτο τότε η απόδοση του πρωτοκόλλου ABP θα είναι:

$$n_{ABP} = \frac{TransP}{S}$$

Παράδειγμα

- Έστω, κανάλι ένα πλήρως αξιόπιστο κανάλι οπτικής ίνας μήκους 100Km, που συνδέει δύο κόμβους με $BW=64Kbps$ και λειτουργεί χρησιμοποιώντας ABP. Έστω ότι τα πλαίσια δεδομένων έχουν μέγεθος 2048 bits ενώ τα πλαίσια επιβεβαίωσης 1024 bits. Να βρεθεί η απόδοση του πρωτοκόλλου.

$$\begin{aligned} S = RTT &= TransP + TransA + 2 \times Prop = \\ &= \frac{2048}{64Kbps} + \frac{1024}{64Kbps} + 2 \times \frac{100Km}{2 \times 10^8 m/sec} = 0,049 sec \end{aligned}$$

$$n_{ABP} = \frac{TransP}{S} = 0,66$$

- Ακόμα, δηλαδή, και χωρίς σφάλματα έχω απώλειες της τάξης του 35%.

Άσκηση

- Πώς αλλάζει η απόδοση του προηγούμενου παραδείγματος αν η απόσταση μειωθεί στα 10Km ή ο ρυθμός μετάδοσης αυξηθεί στα 2Mbps;

Απόδοση ABP (με σφάλματα μετάδοσης)

Έστω p η πιθανότητα να συμβεί σφάλμα σε ένα πλαίσιο. Τότε, η πιθανότητα να μεταφερθεί σωστά θα είναι $(1-p)$.

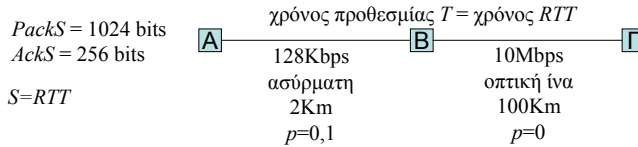
Έστω, επίσης, X η τυχαία μεταβλητή που περιγράφει το χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών μεταδόσεων πλαισίων στο δίκτυο. Αν δεν υπάρχουν σφάλματα ο χρόνος αυτός θα είναι ίσος με S . Αν υπάρχει σφάλμα τότε ο αποστολέας περιμένει να περάσει ο χρόνος προθεσμίας T και ξαναπροσπαθεί. Η μέση τιμή του χρόνου X μεταξύ δύο διαδοχικών μεταδόσεων πακέτων δίνεται από τη σχέση:

$$E[X] = (1-p)S + p(T + E[X]) \Rightarrow E[X] = S + T \frac{p}{1-p}$$

$$n_{ABP}(p) = \frac{TransP}{E[X]} = \frac{(1-p)TransP}{(1-p)S + pT}$$

Παράδειγμα

(βρείτε τη διαμετακομιστική ικανότητα του δικτύου από το Α ως το Γ)



$$E[X_{AB}] = S_{AB} + T_{AB} \frac{p}{1-p} = \left(\frac{1}{128} + \frac{0,25}{128} + 2 \times \frac{2}{3 \times 10^8} \right) + 9,76 \times 10^{-3} \frac{0,1}{1-0,1} = 10,84 \text{ m sec}$$

$$E[X_{B\Gamma}] = S_{B\Gamma} = \frac{1}{10 \times 1024} + \frac{0,25}{10 \times 1024} + 2 \times \frac{100 \text{ Km}}{2 \times 10^8} = 1,12 \text{ m sec}$$

Ο $E[X_{B\Gamma}]$ είναι για όλα τα πακέτα σταθερός και κατά πολύ μικρότερος από τον $E[X_{AB}]$.



Δρ. Κ. Σ. Χειλάς, Δίκτυα Η/Υ ΙΙΙ, Τ.Ε.Ι. Σερρών, © 2007

Παράδειγμα (συνέχεια)

Έτσι, αν θέλουμε να στείλουμε K πακέτα, ο μέσος χρόνος μετάδοσής τους θα είναι $KE[X_{AB}] + S_{B\Gamma}$, επειδή μέχρι να μεταφερθεί το πακέτο από το Α στο Β, σίγουρα μέσα στον ίδιο χρόνο θα έχει πάει το προηγούμενο από το Β στο Γ. Αυτό ισχύει για όλα εκτός από το τελευταίο. Για μεγάλο K , είναι $KE[X_{AB}] \gg S_{B\Gamma}$ και η διαμετακομιστική ικανότητα από το Α στο Γ είναι:

$$th_{A\Gamma} = \frac{K \cdot PackS}{K \cdot E[X_{AB}] + S_{B\Gamma}} = \frac{PackS}{E[X_{AB}]} = th_{AB} = 94.46 \text{ Kbps}$$

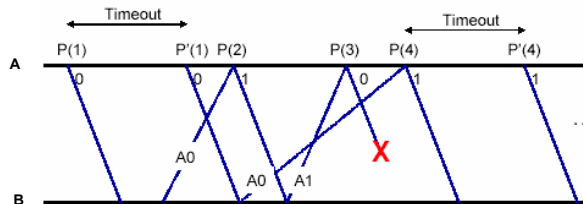
Βλέπουμε ότι ο αργός σύνδεσμος επιβάλλει την ταχύτητά του στο δίκτυο και αποτελεί αυτό που στα δίκτυα συχνά καλείται bottleneck, δηλ. στενωπός ή περιοριστικός σύνδεσμος.



Δρ. Κ. Σ. Χειλάς, Δίκτυα Η/Υ ΙΙΙ, Τ.Ε.Ι. Σερρών, © 2007

Άσκηση

- Στο παρακάτω σχήμα, θεωρώντας ότι το πρωτόκολλο σύνδεσης είναι τύπου ABP να σχολιάσετε τη συμπεριφορά του κόμβου B ως προς την αποδοχή ή μη των μεταδιδόμενων από το A πλαισίων.



Πρωτόκολλο οπισθοχώρησης κατά N (Go back N)

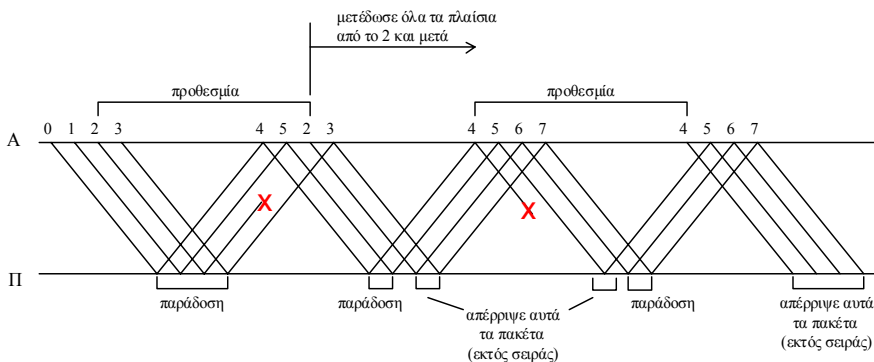
- Ο αποστολέας μπορεί να στείλει ένα πλήθος από πλαίσια δεδομένων πριν λάβει το 1ο ACK από τον παραλήπτη. Το πλήθος αυτών των ανεπιβεβαιωτών πλαισίων ονομάζεται **μέγεθος παραθύρου** και συμβολίζεται με W.
- Ο αποστολέας μεταδίδει τα πλαίσια με αριθμό 0, 1, 2, ..., W-1 και μετά αναμένει, για κάποιο χρόνο T, την άφιξη του αντίστοιχου ACK για κάθε μεταφερόμενο πλαίσιο.
- Μόλις παραλάβει την επιβεβαίωση λήψης ACK-0 για το πλαίσιο 0, τότε μεταδίδει το επόμενο πλαίσιο W. Ανάλογα, μόλις παραλάβει το ACK-1, τότε αποστέλλει το πλαίσιο W+1. Έτσι, φροντίζει κάθε στιγμή να βρίσκονται υπό μεταφορά ένα παράθυρο ανεπιβεβαιωτών πλαισίων.

Go back N

- Σε περίπτωση που ο αποστολέας δε λάβει ένα ACK εντός της προθεσμίας T , μεταδίδει το αντίστοιχο παράθυρο με πλαίσιο έναρξης το ανεπιβεβαίωτο πλαίσιο του οποίου έληξε ο χρόνος προθεσμίας. Δηλαδή, εάν ο αποστολέας δε λάβει, εντός προθεσμίας, επιβεβαίωση για το πλαίσιο n , τότε μεταδίδει ξανά τα πλαίσια $n, n+1, n+W-1$.
- Η ίδια ακολουθία πλαισίων επαναμεταδίδεται και στην περίπτωση που ο αποστολέας λάβει επιβεβαίωση για το πλαίσιο $n+1$ χωρίς να έχει λάβει την επιβεβαίωση λήψης του πλαισίου n .

Go back N

Παράθυρο, $W=4$



Απόδοση Go-Back-N

(για μετάδοση χωρίς σφάλματα)

Ο χρόνος S που μεσολαβεί μεταξύ της εκπομπής και της άφιξης της επιβεβαίωσης είναι ο χρόνος μετάβασης με επιστροφή RTT:

$$S = RTT = TransP + TransA + 2 \times Prop$$

Στο χρόνο αυτό μπορεί να στείλει μέχρι και W πλαίσια, αν $S \geq W \times TransP$ έτσι:

$$\eta_{GBN} = \frac{W \times TransP}{S}$$

Αν όμως $S < W \times TransP$ θα μεταδίδει συνεχώς οπότε $n=1$.

Τελικά:

$$\eta_{GBN} = \min \left\{ 1, \frac{W \times TransP}{S} \right\}$$



Δρ. Κ. Σ. Χειλάς, Δίκτυα H/Y III, Τ.Ε.Ι. Σεργίων, © 2007

Άσκηση

Έστω δύο κόμβοι δικτύου που συνδέονται μεταξύ τους με μια οπτική ίνα μήκους 100Km. Αν το μέγεθος πλαισίου δεδομένων είναι 1024 bits, το μέγεθος ACK 256 bits, ο ρυθμός μετάδοσης 34 Mbps και το κανάλι πλήρως αξιόπιστο, να υπολογίσετε την απόδοση του πρωτοκόλλου GBN στο κανάλι και να τη συγκρίνετε με εκείνη του πρωτοκόλλου ABP.

(Απάντηση: $n_{ABP}=2,8\%$. Η απόδοση του GBN εξαρτάται από το W . Για $W \geq 36 \rightarrow n_{GBN}=100\%$.)



Δρ. Κ. Σ. Χειλάς, Δίκτυα H/Y III, Τ.Ε.Ι. Σεργίων, © 2007

Απόδοση GBN παρουσία σφαλμάτων

Η σχέση μοιάζει με την αντίστοιχη του ABP με τη διαφορά ότι μετά την επιτυχή εκπομπή πλαισίου, ο αποστολέας δεν περιμένει χρόνο S για την εκπομπή του επόμενου αλλά το μεταδίδει αμέσως. Επομένως, ο χρόνος μεταξύ δυο επιτυχών εκπομπών είναι ο χρόνος μετάδοσης ενός πλαισίου, δηλ. $TransP$. Έτσι:

$$E[X] = (1-p) \times TransP + p(T + E[X]) \Leftrightarrow E[X] = TransP + T \frac{p}{1-p}$$

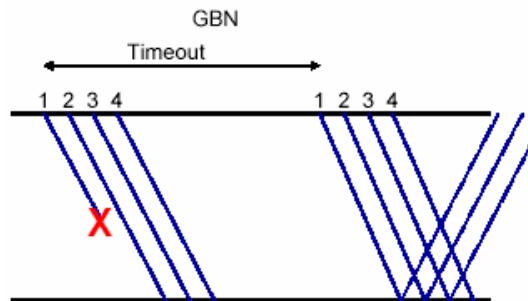
Όπου p η πιθανότητα σφάλματος. Από τον παραπάνω χρόνο ο ωφέλιμος χρόνος είναι $TransP$, οπότε:

$$\eta_{GBN}(p) = \frac{TransP}{E[X]} = \frac{TransP}{TransP + T \frac{p}{1-p}}$$

Αν επιλέξουμε ο χρόνος προθεσμίας να είναι ίσος με εκείνον που θα έδινε τη μέγιστη απόδοση, δηλ., $T = W \times TransP$, τότε:

$$\eta_{GBN}(p) = \frac{1}{1 + W \frac{p}{1-p}}$$

ζητείται να περιγραφεί η συμπεριφορά του B ως προς την αποδοχή ή μη των μεταδιδόμενων από το A πλαισίων.



Πρωτόκολλο επιλεκτικής επανάληψης (Selective Repeat Protocol – SRP)

- Το πρωτόκολλο επιλεκτικής επανάληψης βασίζεται στους μηχανισμούς επιβεβαίωσης λήψης και χρόνου προθεσμίας και επιτρέπει περισσότερα από ένα ανεπιβεβαίωτα πλαίσια να βρίσκονται κάθε στιγμή υπό μεταφορά.
- Χρησιμοποιεί έναν ενταμιευτή (buffer) στον αποστολέα, για να αποθηκεύει προσωρινά τα ανεπιβεβαίωτα πλαίσια.
- Επίσης, χρησιμοποιεί buffer και στον παραλήπτη. Εκεί αποθηκεύονται τα πλαίσια που λαμβάνονται εκτός σειράς, μέχρι να προωθηθούν προς επεξεργασία. Τα αποθηκευμένα πλαίσια προωθούνται όταν ο παραλήπτης λάβει τα πλαίσια που έλειπαν από την επιθυμητή διάταξη.

Λειτουργία SRP

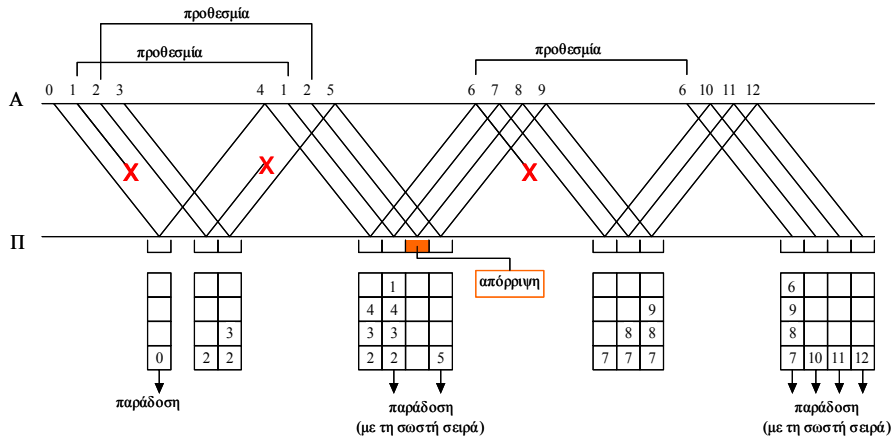
Αποστολέας:

1. Αποθηκεύει τα ανεπιβεβαίωτα πλαίσια. Αν για κάποιο από αυτά περάσει ο χρόνος προθεσμίας T τα επαναμεταδίδει.
2. Πρέπει να έχει τη δυνατότητα να μπορεί να αποθηκεύσει μέχρι W πλαίσια
3. Έστω, ότι σε κάποια τυχαία χρονική στιγμή ο αποστολέας έχει παραλάβει όλες τις επιβεβαιώσεις μέχρι και την L , τότε επιτρέπεται να μεταδώσει μέχρι και το πλαίσιο $L+W$.

Παραλήπτης:

4. Επιβεβαιώνει όλα τα πλαίσια που φτάνουν χωρίς σφάλματα. Αν φτάσουν εκτός σειράς τα αποθηκεύει προσωρινά μέχρι να συμπληρωθεί η σειρά. Τότε, τα παραδίδει, με τη σωστή σειρά, στο ανώτερο επίπεδο.
5. Έστω ότι σε κάποια στιγμή ο παραλήπτης έχει λάβει όλα τα πλαίσια μέχρι το R . Τη στιγμή εκείνη ενδέχεται να λάβει τα πλαίσια με αριθμούς από $R-(W-1)$ έως $R+W$. Όλα τα πλαίσια πριν το R απλώς τα επιβεβαιώνει και τα καταστρέφει. Αν είναι $>R$ τα αποθηκεύει (αν είναι εκτός σειράς) ή τα προωθεί αν είναι στη σειρά. Επομένως πρέπει να μπορεί να αποθηκεύει μέχρι $W-1$ πλαίσια.

Selective Repeat Protocol



Απόδοση SRP

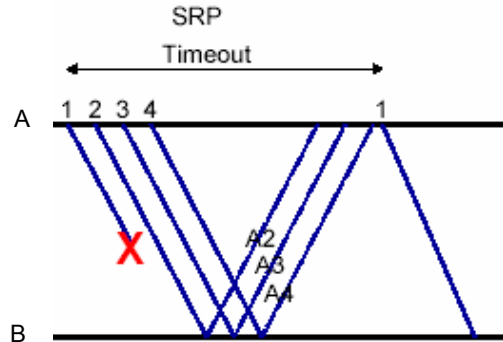
- Χωρίς σφάλματα:

$$\eta_{SRP} = \min \left\{ 1, \frac{W \times TransP}{S} \right\}$$

- Με σφάλματα: αν κάνουμε τις υποθέσεις ότι τα λάθη είναι σπάνια, δηλ. $p < 10\%$, και ότι έχουμε χρόνο καθυστέρησης ίσο με εκείνον που δίνει μέγιστη απόδοση χωρίς σφάλματα, δηλ. $T = W \times TransP$ τότε αποδεικνύεται (Walrand, 1997) ότι:

$$\eta_{SRP}(p) \approx \frac{2 + p(W - 1)}{2 + p(3W - 1)}$$

ζητείται να περιγραφεί η συμπεριφορά του B ως προς την αποδοχή ή μη των μεταδιδόμενων από το A παλαισίων.



Αποδόσεις Πρωτοκόλλων

ABP

$$S = \text{TransP} + \text{TransA} + 2 \times \text{Prop}$$

$$E[X] = (1-p)S + p(T + E[X]) \Leftrightarrow E[X] = S + T \frac{p}{1-p}$$

$$\eta_{ABP} = \frac{\text{TransP}}{S}$$

$$\eta_{ABP}(p) = \frac{\text{TransP}}{E[X]} = \frac{(1-p) \times \text{TransP}}{(1-p)S + pT}$$

GBN

$$S = \text{TransP} + \text{TransA} + 2 \times \text{Prop}$$

$$\eta_{GBN}(p) = \frac{\text{TransP}}{E[X]} = \frac{\text{TransP}}{\text{TransP} + T \frac{p}{1-p}}$$

$$\eta_{GBN} = \min \left\{ 1, \frac{W \times \text{TransP}}{S} \right\}$$

$$E[X] = (1-p) \times \text{TransP} + p(T + E[X]) \Leftrightarrow E[X] = \text{TransP} + T \frac{p}{1-p}$$

SRP

$$\eta_{SRP} = \min \left\{ 1, \frac{W \times \text{TransP}}{S} \right\}$$

$$\eta_{SRP}(p) \approx \frac{2 + p(W-1)}{2 + p(3W-1)}$$

Άσκηση

- Απαιτείται επιλογή πρωτοκόλλου επανεκπομπής για επικοινωνία μεταξύ επίγειου σταθμού και τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου σε απόσταση 57.600 χιλιόμετρα από τη γη. Η ταχύτητα επικοινωνίας είναι 10.000.000 bits/sec, ενώ ο ρυθμός σφαλμάτων (error rate) είναι 10^{-6} . Τα πακέτα δεδομένων είναι μεγέθους 10.000 bits, ενώ τα πακέτα επιβεβαίωσης 1.000 bits. Η ταχύτητα διάδοσης ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κενό είναι 3×10^8 m/s.
- **A.** Υπολογίστε την απόδοση πρωτοκόλλου ABP με χρόνο προθεσμίας ίσο με το χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής
- **B.** Υπολογίστε το μέγεθος παραθύρου που θα έδινε μέγιστη απόδοση σε πρωτόκολλο GBN ή SRP αν υποθέσουμε ότι δεν υπάρχουν σφάλματα
- **Γ.** Υπολογίστε την απόδοση GBN και SRP πρωτοκόλλου στη δορυφορική ζεύξη παρουσία σφαλμάτων, με χρόνο προθεσμίας ίσο με το χρόνο μετάβασης μετ' επιστροφής που δίνει απόδοση 100% απουσία σφαλμάτων, και με μέγεθος παραθύρου αυτό που υπολογίστηκε στο ερώτημα β.
- **Δ.** Ποιο (μόνο ένα) από τα 3 πρωτόκολλα θα προτεινάτε και γιατί;

Σύγκριση αποδόσεων

- Αν $p=0,005$ και το παράθυρο $W=20$ πλαίσια, τότε:

$$n_{ABP} = 5\%$$

$$n_{GBN} = 90,9\%$$

$$n_{ABP} = 91,3\%$$

Βιβλιογραφία

Andrew Tanenbaum, Computer Networks, 4th ed. Pearson Education Inc., New Jersey, 2003.

Jean Walrand, Δίκτυα Επικοινωνιών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 1997.

Άρης Αλεξόπουλος και Γιώργος Λαγογιάννης. Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών, 5η έκδοση, Αθήνα, 1999.

Γιώργος Φούσκας, Βασικά ζητήματα Δικτύων Η/Υ, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα, 2002.