

Καθυστερήσεις σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων

ΑΣΚΗΣΗ 1

Έστω 2 τερματικά συστήματα A, B που είναι συνδεδεμένα με ζεύξη μετάδοσης χωρητικότητας $R=1.2\text{Mbps}$, η απόσταση (μήκος) ανάμεσα στα A και B είναι $d=10\text{ km}$. Η ταχύτητα διάδοσης είναι $2 \cdot 10^8\text{ m/s}$.

A. Βρείτε καθυστέρηση διάδοσης.

B. Βρείτε τη καθυστέρηση μετάδοσης, αν μέγεθος πακέτου $L=1.2\text{ kb}$.

Γ. Τι μέγεθος πρέπει να έχει ένα πακέτο ώστε ο B να λαμβάνει το πρώτο bit την ίδια στιγμή που ο A στέλνει το τελευταίο;

Δ. Έστω ότι το μήκος της ζεύξης είναι διπλάσιο. Τι θα συμβεί στις καθυστερήσεις

Απάντηση

A. Η καθυστέρηση διάδοσης από το A στο B (ο χρόνος από την στιγμή που το πρώτο bit μεταδίδεται στο A μέχρι που λαμβάνεται από το B) είναι $d/u = 10^4\text{m}/(2 \cdot 10^8\text{m/s}) = 5 \cdot 10^{-5}\text{ s} = \mathbf{0,05\ ms}$

B. Η καθυστέρηση μετάδοσης του πακέτου στο A (ο χρόνος από την στιγμή που μπαίνει το πρώτο bit στην ζεύξη μέχρι την στιγμή που μπαίνει το τελευταίο bit του ίδιου πακέτου στη ζεύξη) είναι $L/R = (1.2 \cdot 10^3\text{ bits}) / (1.2 \cdot 10^6\text{ bits/s}) = \mathbf{1\ ms}$

Γ. Αυτό συμβαίνει όταν $d_{\text{trans}} = d_{\text{prop}} \Leftrightarrow d/u = L/R$. Λύνουμε ως προς $L = d \cdot R/u$ Μετά από τις πράξεις παίρνουμε $L = \mathbf{60\ bits}$

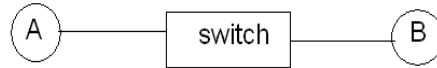
Δ. Η νέα καθυστέρηση διάδοσης από το A στο B είναι $d_{\text{prop}}' = d'/u = 2d/u = 2d_{\text{prop}} = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-5}\text{ sec} = \mathbf{0,1\ ms}$

Η καθυστέρηση μετάδοσης παραμένει ίδια αφού δεν εξαρτάται από το μήκος της ζεύξης

ΑΣΚΗΣΗ 2

Έστω ότι στέλνουμε ένα μεγάλο αρχείο μεγέθους $f\text{ bits}$ από το τερματικό σύστημα A προς το B. Δεν υπάρχει συμφόρηση στις ζεύξεις αυτές. Θεωρείστε την καθυστέρηση λόγω επεξεργασίας του κάθε πακέτου αμελητέα. Ο A τεμαχίζει το αρχείο και το στέλνει σε πακέτα, το ένα αμέσως μετά το άλλο. Ο μεταγωγέας (switch) είναι store and forward. Το κάθε πακέτο έχει μέγεθος $p\text{ bits}$, εκ των οποίων τα $e\text{ bits}$ αποτελούν την επικεφαλίδα (headers). Κάθε ζεύξη έχει ρυθμό μετάδοσης $r\text{ bits/sec}$. Θεωρείστε ότι

η ταχύτητα διάδοσης του μέσου της κάθε ζεύξης είναι v και το μήκος λ . Εάν θεωρήσουμε τα f , e , r και ρ γνωστά, ποια είναι η σχέση μεταξύ του λ και v , ώστε η συνολική καθυστέρηση αποστολής του αρχείου από το A στο B να είναι το πολύ 1 sec;

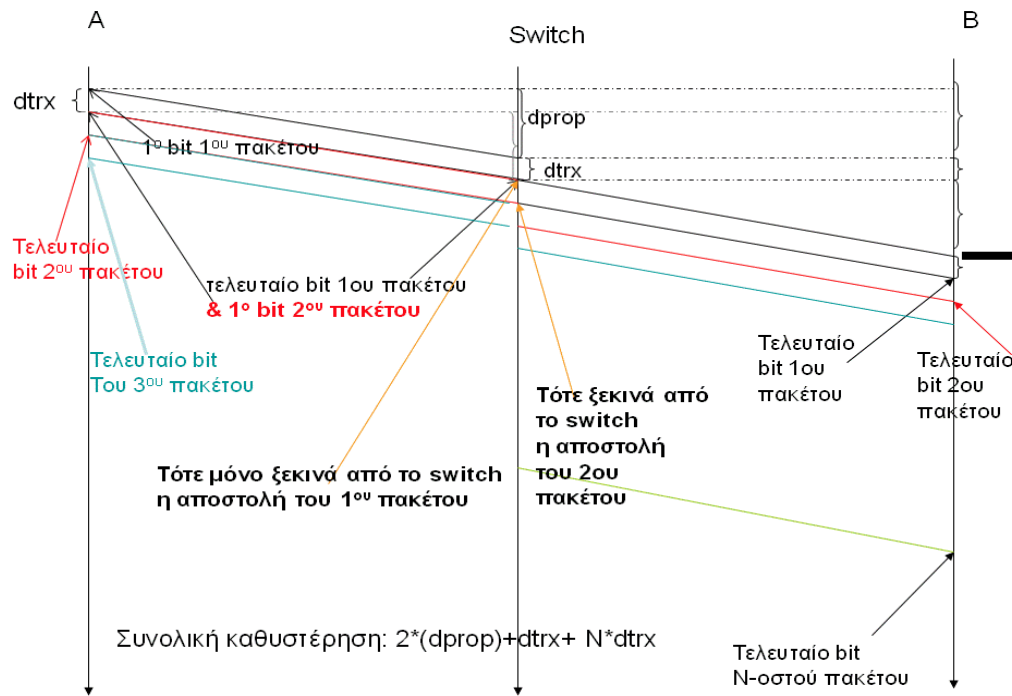


Απάντηση

Θα χρειαστεί να στείλουμε $N = f/(p-e)$ πακέτα

Σε ένα sec μπορούν να μεταδοθούν r bits, επομένως για τη μετάδοση ενός πακέτου στο switch, θα χρειαστεί χρόνος $d_{trans} = p/r$

Η καθυστέρηση διάδοσης ενός bit είναι $d_{prop} = \lambda/v$.



Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, βλέπουμε ότι το πρώτο πακέτο θα φτάσει στο switch τον χρόνο $\delta = d_{prop} + d_{trans}$. Εφόσον, το switch είναι store and forward, θα περιμένει να φτάσουν όλα τα bits του πακέτου, πριν να ξεκινήσει να το προωθεί στην επόμενη ζεύξη (προς το B).

Όπως φαίνεται στο σχήμα, το πρώτο πακέτο θα φτάσει στον προορισμό B την χρονική στιγμή: $2*d_{prop} + 2*d_{trans}$.

Το δεύτερο πακέτο θα φτάσει στον προορισμό B την χρονική στιγμή: $2 * d_{prop} + 2 * d_{trans} + d_{trans} = 2 d_{prop} + 3d_{trans}$

Γενικότερα το **v-οστό πακέτο** θα φτάσει στον προορισμό την χρονική στιγμή $2d_{prop} + (N+1) d_{trans}$

Επομένως θα πρέπει $2d_{prop} + (N+1)d_{trans} \leq 1$, δηλαδή $\lambda \leq (1 - (N+1) * d_{trans}) * v / 2$

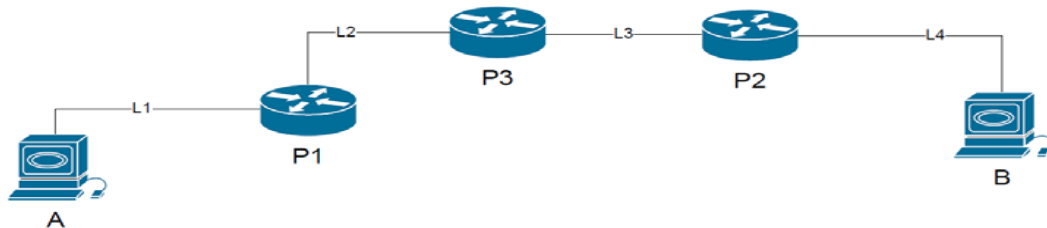
ΑΣΚΗΣΗ 3

Έστω ένα μικρό δίκτυο, που συνδέει δύο υπολογιστές A και B, με τρεις δρομολογητές P1, P2, P3. Γράψτε ένα γενικό τύπο που να υπολογίζει τη συνολική καθυστέρηση των πακέτων που στέλνονται από τον A μέχρι να τα λάβει ο B.

i. Θεωρείστε ότι οι ζεύξεις είναι της ίδιας τεχνολογίας και έχουν το ίδιο μήκος

ii. Θεωρείστε ότι οι ζεύξεις είναι διαφορετικής τεχνολογίας

iii. Έστω ότι στην ζεύξη από το A στον P1 τα πακέτα χάνονται με πιθανότητα π_1 , από τον P1 στον P2 με πιθανότητα π_2 , από τον P2 στον P3 με πιθανότητα π_3 και από τον P3 στον B με πιθανότητα π_4 . Έστω οι απώλειες που συμβαίνουν στην κάθε ζεύξη είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Με ποια πιθανότητα θα φτάσουν τα πακέτα από τον A στον B? Εάν ο A στείλει N πακέτα πόσα από αυτά θα ληφθούν από τον B;



Απάντηση

Η απάντηση απαιτεί σχήμα(αντίστοιχο με αυτό της παραπάνω άσκησης), το οποίο θα γίνει στο φροντιστήριο!

- i. Τα d_{prop} και d_{trans} είναι τα ίδια για όλες τις ζεύξεις. Επίσης, υποθέτουμε ότι τα D_{proc} και D_{queue} είναι ίδια σε κάθε router. Από το σχήμα προκύπτει:

$$\begin{aligned}
 \text{Λήψη } 1^{ou} \text{ πακέτου: } & t_1 = 4D_{trans} + 4D_{prop} + 3(D_{proc} + D_{queue}) \\
 \text{Λήψη } 2^{ou} \text{ πακέτου: } & t_2 = 5D_{trans} + 4D_{prop} + 3(D_{proc} + D_{queue}) \\
 \text{Λήψη } N^{ou} \text{ πακέτου: } & t_N = (N+3)D_{trans} + 4D_{prop} + 3(D_{proc} + D_{queue})
 \end{aligned}$$

ii. Διαφορετικά D_{prop} και D_{trans} , όπως και διαφορετικά D_{queue} στους δρομολογητές.

$$\text{Λήψη } 1^{\text{ου}} \text{ πακέτου } t_1 = (D_{propL1} + D_{transL1}) + (D_{propL2} + D_{transL2}) + (D_{propL3} + D_{transL3}) + (D_{propL4} + D_{transL4}) + (D_{procP1} + D_{queueP1}) + (D_{procP2} + D_{queueP2}) + (D_{procP3} + D_{queueP3}).$$

Ομοίως για περισσότερα πακέτα.

iii. Η πιθανότητα να μεταδοθεί σωστά ένα πακέτο στη ζεύξη L1 είναι $(1 - \pi_1)$, ομοίως για τις L2, L3, L4 είναι $(1 - \pi_2), (1 - \pi_3), (1 - \pi_4)$. Επομένως, η συνολική πιθανότητα να σταλεί σωστά ένα πακέτο από τον A στον B είναι $(1 - \pi_1) * (1 - \pi_2) * (1 - \pi_3) * (1 - \pi_4)$.

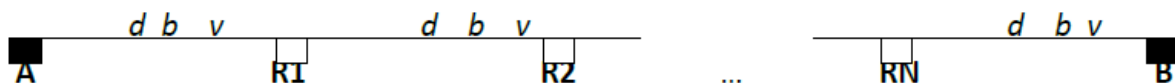
Συνεπώς, ο αριθμός N' των πακέτων που θα ληφθούν σωστά από τον B αν ο A στείλει N πακέτα είναι: $N' = (1 - \pi_1) * (1 - \pi_2) * (1 - \pi_3) * (1 - \pi_4) * N$.

Σημείωση: Στην άσκηση ορίζουμε την καθυστέρηση επεξεργασίας μόνο για τους δρομολογητές. Υπάρχει και καθυστέρηση επεξεργασίας στην συσκευή αποστολέα, καθώς πρέπει να μεταφερθούν τα προς αποστολή δεδομένα από την εφαρμογή στην μνήμη της κάρτας δικτύου και να αποσταλούν. Τώρα τη θεωρούμε αμελητέα.

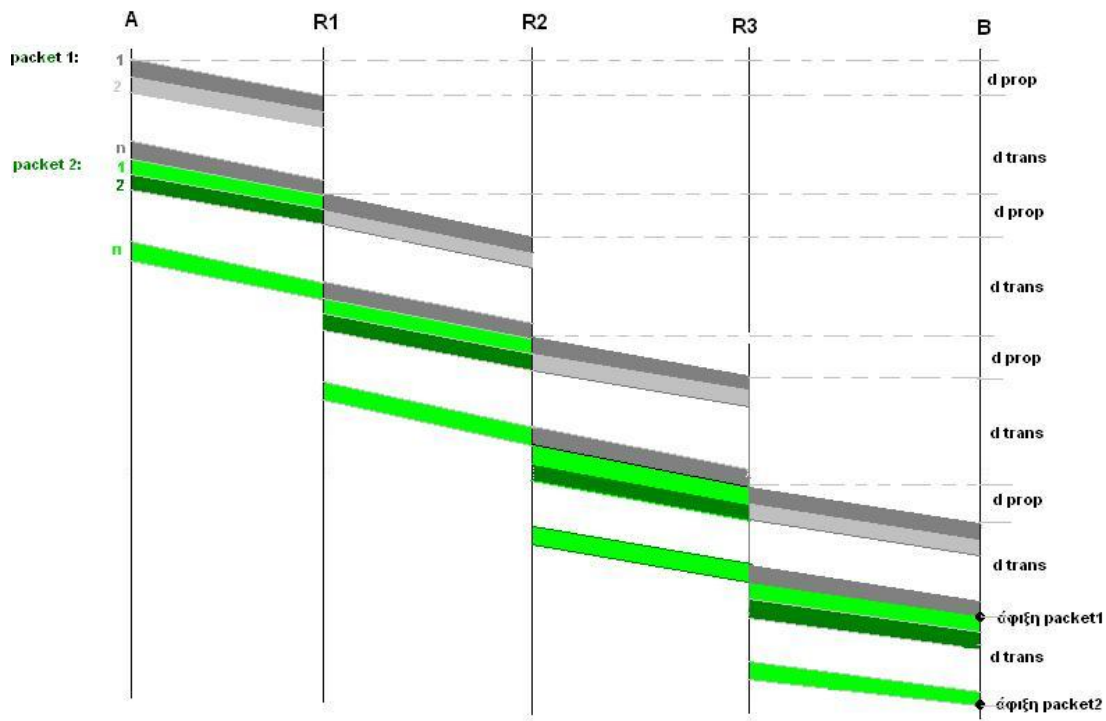
ΑΣΚΗΣΗ 4

Έστω ένα αρχείο μεγέθους M bits που ένας κόμβος A θέλει να στείλει στον B. Το μοναδικό μονοπάτι μεταξύ του A και B αποτελείται από N store-and-forward μεταγωγείς/δρομολογητές, και όλες οι ζεύξεις είναι της ίδιας τεχνολογίας, δηλαδή έχουν το ίδιο bandwidth b (bits/s), και propagation speed v (m/s) και του ίδιου μήκους d (m). (Δείτε το σχήμα) Τα πακέτα έχουν μέγεθος p bits, από τα οποία η επικεφαλίδα (header) έχει μέγεθος h (bits). Ο A στέλνει το ένα πακέτο αμέσως μετά το άλλο. Υπολογίστε τη συνολική καθυστέρηση για τη μετάδοση του αρχείου, από τη στιγμή που αρχίζει να μεταδίδεται από ένα πομπό A μέχρι να ληφθεί εξολοκλήρου από το δέκτη B

Σημείωση: Φτιάξτε το διάγραμμα με τους δύο κόμβους, τους ενδιάμεσους μεταγωγείς, και τον οριζοντα χρόνο (κάτω από τον κάθε κόμβο/μεταγωγέα), και παρακολουθήστε *προσεχτικά* το χρόνο που φτάνει το πρώτο πακέτο. Μετά βρείτε πότε θα φτάσει το δεύτερο πακέτο. Προσπαθήστε τώρα να γενικεύσετε την απάντησή σας για το συνολικό αριθμό πακέτων (βλέποντας πότε φτάνει και το τελευταίο πακέτο στο B)



Απάντηση



Καθυστέρηση διάδοσης $d_{prop} = d/v$

$L = M/(p-h)$

Καθυστέρηση μετάδοσης $d_{trans} = p/b$

Πρώτο πακέτο:

Θα φτάσει στον router 1 την χρονική στιγμή: $d_{trans} + d_{prop}$

Θα φτάσει στον router 2 την χρονική στιγμή: $2d_{trans} + 2d_{prop}$

Θα φτάσει στον router 3 την χρονική στιγμή: $3d_{trans} + 3d_{prop}$

Θα φτάσει στον προορισμό B την χρονική στιγμή: $4d_{trans} + 4d_{prop}$

Δεύτερο Πακέτο:

Θα φτάσει στον προορισμό B την χρονική στιγμή: $4d_{trans} + 4d_{prop} + d_{trans}$

Ομοίως για το τρίτο πακέτο:

Θα φτάσει στον προορισμό B την χρονική στιγμή: $4d_{trans} + 4d_{prop} + 2d_{trans}$

Ομοίως για το τελευταίο πακέτο(n):

Θα φτάσει στον προορισμό B την χρονική στιγμή: $4d_{trans} + 4d_{prop} + (n-1)d_{trans}$

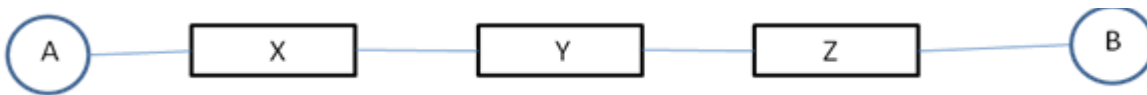
Άρα, για αριθμό routers = 3 έχουμε $4d_{trans} + 4d_{prop} + (n-1)d_{trans}$

Για N αριθμό routers έχουμε: $(N+1)d_{prop} + N d_{trans} + n d_{trans} = (N+1)d_{prop} + (N+n)d_{trans}$

$T = (N+1)d_{prop} + (L + N)d_{trans} = (N+1) * d/v + (M/(p-h) + N) * (p/b)$

ΑΣΚΗΣΗ 5

Στην παρακάτω τοπολογία, υπέθεσε ότι η κάθε ζεύξη έχει ταχύτητα μετάδοσης 1000Mbps και μήκος 250m, ενώ η καθυστέρηση λόγω επεξεργασίας και ουράς είναι αμελητέα. Η ταχύτητα διάδοσης είναι $2 * 10^8$ m/s. Πόσο θα χρειαστεί για ένα πακέτο 125B να «ταξιδέψει» από τον κόμβο A στον κόμβο B, υποθέτοντας ότι οι δρομολογητές (στο ενδιάμεσο, όπως φαίνεται στο σχήμα) υλοποιούν μια store-and-forward προώθηση πακέτων.



Απάντηση

Total Propagation delay = $4 d_{prop} = 4 * (250m / (2 * 10^8 m/s)) = (1000m) / (2 * 10^8 m/s) = 5 \mu s$

Total Transmission delay = $4 d_{trans} = 4 * (125 B * 8b/B) / (10^9 b/s) = 4 \mu s$

Total delay = $9 \mu s$

Στο cut-through τα bits μπορούν να αρχίσουν να μεταδίδονται αμέσως, επομένως η συνολική καθυστέρηση περιλαμβάνει ένα μόνο transmission delay, αλλά το propagation delay είναι ακριβώς το ίδιο με το ερώτημα (α) (με το store-and-forward switch).

ΑΣΚΗΣΗ 6

Ποια είναι η σχέση του bandwidth b μιας ζεύξης και του μήκους της d , ώστε η καθυστέρηση διάδοσης ενός πακέτου μεγέθους p , στη ζεύξη που έχει ταχύτητα διάδοσης v , θα είναι μεγαλύτερη από το μισό της καθυστέρηση μετάδοσης του;

Απάντηση

$$d > p \cdot v / (2 \cdot b)$$

ΑΣΚΗΣΗ 7

Two nodes, A and B, communicate through a store-and-forward network. Node A is connected to the network by a 10Mbps link, while node B is connected by a 5Mbps link. Node A sends two back-to-back packets (το ένα μετά το άλλο) of 1000bits each. The difference between the arrival times of the two packets at B is 1ms. What is the smallest capacity of a link along the path between A and B?

Note: Assume that there are *no other packets in the network except the ones sent by A*, and ignore the packet processing time. Assume both packets follow the same path, and they are not reordered. The arrival time of a packet at a node is defined as the time when the last bit of the packet has arrived at that node.

Απάντηση

Since packets are sent back-to-back, the difference between the arrival time of the packets at B represents the transmission time of the second packet on the slowest link in the path. Thus, the capacity of the slowest link is $1000\text{bits}/1\text{ms} = 1\text{Mbps}$.

ΑΣΚΗΣΗ 8

Έστω 2 τερματικά συστήματα A, B που είναι συνδεδεμένα με έναν δρομολογητή Δ με ζεύξεις χωρητικότητας R. Η απόσταση (μήκος) ανάμεσα στο A και τον δρομολογητή είναι d , και μεταξύ του B και του δρομολογητή είναι $2 \cdot d$. Η ταχύτητα διάδοσης στις δύο ζεύξεις είναι v και το μέγεθος του πακέτου L. Τι μέγεθος πρέπει να έχει ένα πακέτο ώστε ο B να λαμβάνει το πρώτο bit την ίδια στιγμή που ο A στέλνει το τελευταίο; Απαντήσετε στο ερώτημα για την περίπτωση που η ζεύξη είναι store-and-forward και για την περίπτωση που είναι cut-through

Απάντηση

Στην περίπτωση του store-and-forward δεν μπορεί να συμβεί κάτι τέτοιο, καθώς την ώρα που ο A στέλνει το τελευταίο bit του πακέτου, ο δρομολογητής δεν έχει αρχίσει καν να το προωθεί στον B. Περιμένει να λάβει και το τελευταίο bit και μετά αρχίζει να το προωθεί.

Για το cut-through, θα πρέπει να ισχύει ότι $d_{trans1} = d_{prop1} + d_{prop2}$. Δηλαδή, $L/R = 3d/v$. Οπότε,

$$L = 3d * R / v$$

ΑΣΚΗΣΗ 10

Θεωρήστε ένα σύνδεσμο από σημείο σε σημείο με μήκος 50 χιλιομέτρων. Σε ποιο εύρος ζώνης η καθυστέρηση διάδοσης (με ταχύτητα ίση με 2×10^8 m/sec) θα ήταν ίση με την καθυστέρηση μετάδοσης για πακέτα με μέγεθος 100 byte; Τι ισχύει για πακέτα με μέγεθος 512 byte;

Απάντηση

Η καθυστέρηση διάδοσης είναι ίση με $50 \times 10^3 \text{ m} / (2 \times 10^8 \text{ m/sec}) = 250 \mu\text{s}$. Η διαίρεση $800 \text{ bit} / 250 \mu\text{s}$ μας δίνει 3,2 Mbit/sec. Για πακέτα με μέγεθος ίσο με 512 byte, αυτό αυξάνεται σε 16,4 Mbit/sec.

ΑΣΚΗΣΗ 11

Έστω ότι εγκαθίσταται ανάμεσα στη Γη και ένα πλανητικό όχημα στον Άρη ένας σύνδεσμος από σημείο σε σημείο στα 128 Kbps. Η απόσταση ανάμεσα στη Γη και στον Άρη (όταν βρίσκονται στο κοντινότερο σημείο μεταξύ τους) είναι περίπου 55 Gm και τα δεδομένα ταξιδεύουν μέσω του συνδέσμου με την ταχύτητα του φωτός ---- 3×10^8 m/s.

- Υπολογίστε τον ελάχιστο χρόνο RTT για το σύνδεσμο.
- Μια κάμερα στο πλανητικό όχημα φωτογραφίζει τον περιβάλλοντα χώρο του και στέλνει τις φωτογραφίες στη Γη. Από τη στιγμή της λήψης της φωτογραφίας, πόσο γρήγορα μπορεί αυτή να φτάσει στο Κέντρο Ελέγχου Αποστολής στη Γη; Υποθέστε ότι η κάθε εικόνα έχει μέγεθος 5 Mb.

Απάντηση

- Η καθυστέρηση διάδοσης στη ζεύξη είναι ίση με $(55 \times 10^9) / (3 \times 10^8) = 184 \text{ s}$. Επομένως, ο χρόνος RTT είναι ίσος με 368 s
- Από τη στιγμή που λήψης της εικόνας, αφού πρέπει να μεταδοθεί από το σύνδεσμο και να διαδοθεί πλήρως προτού να μπορέσει να ερμηνευθεί από το κέντρο έλεγχου. Η καθυστέρηση μετάδοσης είναι 328 s. Συνεπώς, ο συνολικός χρόνος καθυστέρησης διάδοσης και ο συνολικός χρόνος μετάδοσης είναι 512 s

ΑΣΚΗΣΗ 12

Υπολογίστε το λανθάνοντα χρόνο (από το πρώτο bit που αποστέλλεται μέχρι το τελευταίο bit που λαμβάνεται) για τις εξής περιπτώσεις:

- a. Δίκτυο Ethernet στα 1 Gbps με ένα μεταγωγέα αποθήκευσης και προώθησης στη διαδρομή και μέγεθος πακέτου ίσο με 5.000 bit. Υποθέστε ότι ο κάθε σύνδεσμος εισάγει καθυστέρηση διάδοσης ίση με 10μs και ότι ο μεταγωγέας ξεκινά την αναμετάδοση αμέσως μετά την ολοκλήρωση της λήψης του πακέτου.
- b. Ισχύουν τα ίδια με το (a) ,αλλά με τρεις μεταγωγείς.
- c. Ισχύουν τα ίδια με το (b), όμως υποθέστε ότι ο μεταγωγέας υλοποιεί συνοπτική (cut-through) μεταγωγή: μπορεί να ξεκινήσει την αναμετάδοση του πακέτου μετά τη λήψη των πρώτων 128 bit.

Απάντηση

Σημείωση: Και σε αυτή τη λύση βοηθάει πολύ ένα σχήμα

- a. Για κάθε σύνδεσμο χρειάζονται $D_{trans} = 5 \text{ kb}/1 \text{ Gbps} = 5 \mu\text{s}$ για τη μετάδοση του πακέτου από το σύνδεσμο, και έπειτα από αυτόν το χρόνο απαιτούνται επιπλέον 10 μs μέχρι να διαδοθεί το τελευταίο bit μέσω του συνδέσμου. Κατά συνέπεια, για ένα δίκτυο LAN με ένα μόνο μεταγωγέα ο οποίος αρχίζει να προωθεί μόνο αφού έχει λάβει ολόκληρο το πακέτο, η συνολική καθυστέρηση μεταφοράς είναι ίση με 2 καθυστερήσεις μετάδοσης (D_{trans}) + 2 καθυστερήσεις διάδοσης (D_{prop}) = 30 μs.
- b. Για τρεις μεταγωγείς, άρα τέσσερις συνδέσμους, η συνολική καθυστέρηση είναι ίση με 4 καθυστερήσεις μετάδοσης + 4 καθυστερήσεις διάδοσης = 60 μs.
- c. «Στη συνοπτική» (“cut through”) μεταγωγή ο μεταγωγέας χρειάζεται να αποκωδικοποιήσει μόνο τα πρώτα 128 bit προτού ξεκινήσει την προώθηση. Αυτό απαιτεί $128 \text{ bits}/1 \text{ Gbps} = 128 \text{ ns}$. Αυτή η καθυστέρηση αντικαθιστά τις καθυστερήσεις μετάδοσης του μεταγωγέα στην προηγούμενη απάντηση, οπότε η συνολική καθυστέρηση είναι ίση με 1 καθυστέρηση μετάδοσης + 3 καθυστερήσεις αποκωδικοποίησης συνοπτικής μεταγωγής + 4 καθυστερήσεις διάδοσης = 45,384 μs.

ΑΣΚΗΣΗ 13

Για τις ακόλουθες περιπτώσεις υποθέστε ότι δεν πραγματοποιείται καθόλου συμπίεση δεδομένων. Υπολογίστε το εύρος ζώνης που απαιτείται για μετάδοση σε πραγματικό χρόνο:

- a. Βίντεο υψηλής ευκρίνειας HDTV με ανάλυση 1920 x 1080, 24 bit/pixel, και 30 καρέ/δευτερόλεπτο.

- b. Ηχητικά φωνητικά δεδομένα από τις Κοινές Παλαιές Τηλεφωνικές Υπηρεσίες (Plain Old Telephone Services, POTS) με δειγματοληψία 8 bit στα 8 KHz.
- c. Ηχητικά φωνητικά δεδομένα κινητής τηλεφωνίας GMS με δειγματοληψία 260 bit στα 50 Hz.
- d. Ήχος υψηλής ευκρίνειας HDCD με δειγματοληψία 24 bit στα 88,2 KHz.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

- a. $1.920 \times 1.080 \times 24 \times 30 = 1.492.992.000 \approx 1,5 \text{ Gbps}$.
- b. $8 \times 8.000 = 64 \text{ Kbps}$.
- c. $260 \times 50 = 13 \text{ Kbps}$.
- d. $24 \times 88.200 = 216.800 \approx 2,1 \text{ Mbps}$.

ΕΡΩΤΗΣΗ 1

Κάποιος ισχυρίζεται ότι όσο μεγαλώνει η γεωγραφική απόσταση δύο συσκευών τόσο μεγαλώνει η συνολική καθυστέρηση των πακέτων από τη στιγμή που στέλνονται από τη μία συσκευή μέχρι να ληφθούν από την άλλη (δηλ. η καθυστέρηση). Σωστό/Λάθος? Δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

Απάντηση

Ο παραπάνω ισχυρισμός δεν ευσταθεί. Θα το δικαιολογήσουμε στις παρακάτω παραγράφους, αφού πρώτα κάνουμε κάποια εισαγωγικά σχόλια.

Ας εξετάσουμε “τοπολογικά” τη διαδρομή ενός πακέτου που στέλνεται από μία συσκευή (s) σε μία άλλη (d).

Ας θεωρήσουμε πρώτα την περίπτωση όπου γίνεται απευθείας μετάδοσης από την s στην d, δηλαδή χωρίς να μεσολαβούν δρομολογητές ή bridges . Η καθυστέρηση θα είναι:

$$\Delta = d_{proc} + d_{queue} + d_{trans} + d_{prop}$$

d_{prop} είναι η καθυστέρηση διάδοσης στη ζεύξη που ενώνει τους &

d_{queue} είναι η συνολική καθυστέρηση στις ουρές των &

d_{trans} είναι η καθυστέρηση μετάδοσης στη ζεύξη

d_{proc} είναι η καθυστέρηση επεξεργασίας του πακέτου στον κόμβο

Όσο μεγαλώνει η γεωγραφική απόσταση των δύο συσκευών θα μεγαλώνει σίγουρα το d_{prop} , που είναι ανάλογο της απόστασης. Επίσης, στο φυσικό επίπεδο, θα παρατηρηθούν περισσότερα φαινόμενα εξασθένησης του σήματος λόγω της (μεγαλύτερης) απόστασης (path-loss-fading), που γίνονται πιο έντονα στην περίπτωση μεταδόσεων μέσω ασύρματου μέσου. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να

μειώνεται το SNR, με αποτέλεσμα στο φυσικό επίπεδο η μετάδοση να μην είναι επιτυχημένη. Στη περίπτωση που το πρωτόκολλο που υπάρχει στο MAC επίπεδο υποστηρίζει αναμεταδόσεις στην περίπτωση μη επιτυχημένης μετάδοσης, με την αύξηση της απόστασης, θα αυξάνεται η πιθανότητα αναμεταδόσεων, το οποίο συνεπάγει μεγαλύτερη συνολική end-to-end καθυστέρηση του πακέτου, όπως μπορεί να γίνει αντιληπτή από τα πρωτόκολλα που τρέχουν/υποστηρίζοντας τη συγκεκριμένη επικοινωνία των δύο συσκευών στα υψηλότερα επίπεδα, πχ στο TCP (αν αυτό χρησιμοποιείται από τον μηχανισμό/εφαρμογή που προκαλεί την δεδομένη επικοινωνία και τον ίδιο τον μηχανισμό/εφαρμογή).

Προσέξτε ότι υπάρχουν πρωτόκολλα στο MAC που δεν υποστηρίζουν layer2 (MAC Layer) αναμεταδόσεις. Επίσης, ότι οι αναμεταδόσεις στο MAC Layer μπορεί να μη γίνουν αντιληπτές από τα παραπάνω επίπεδα, αν είναι επιτυχημένες. Μόνο συνεχόμενες αποτυχημένες αναμεταδόσεις ενός πακέτου στο MAC μπορεί να γίνουν τελικά αντιληπτές από τα παραπάνω επίπεδα. Στην γενικότερη περίπτωση, όπου η μετάδοση του πακέτου από μία συσκευή (s) σε μία άλλη (d) πραγματοποιείται διαμέσου ενός μονοπατιού s -> d από r_1, \dots, r_k δρομολογητές. Θεωρούμε ότι. Τότε η συνολική καθυστέρηση θα είναι:

$$\Delta = \sum_{i=0} d_{proc}(i \rightarrow i+1) + d_{queue}(i \rightarrow i+1) + d_{trans}(i \rightarrow i+1) + d_{prop}(i \rightarrow i+1)$$

Όπου, $i \rightarrow i+1$ είναι η ζεύξη που ενώνει τον δρομολογητή με τον δρομολογητή r_{i+1} $r_0 = s$ και $r_{i+1} = d$

$d_{prop}(i \rightarrow i+1)$ είναι η καθυστέρηση διάδοσης στη ζεύξη $i \rightarrow i+1$

$d_{queue}(i \rightarrow i+1)$ είναι η καθυστέρηση στην ουρά του δρομολογητή r_{i+1}

$d_{trans}(i \rightarrow i+1)$ είναι η καθυστέρηση μετάδοσης στη ζεύξη $i \rightarrow i+1$

$d_{proc}(i \rightarrow i+1)$ είναι η καθυστέρηση επεξεργασίας του πακέτου στον δρομολογητή r_{i+1} (ή για r_{k+1} στον τελικό κόμβο d)

Όταν αυξάνει η γεωγραφική απόσταση μεταξύ των (s) και (d) συσκευών, υπάρχει ένα ενδεχόμενο να έχουμε περισσότερους δρομολογητές να «συμμετέχουν» στο μονοπάτι, **αλλά δεν είναι απαραίτητο ότι η συνολική end-to-end καθυστέρηση να μεγαλώνει γιατί εξαρτάται από πολλούς στατικούς και δυναμικούς παράγοντες.** Για παράδειγμα, **εξαρτάται από την συμφόρηση (μέγεθος της ουράς) που θα υπάρχει στον κάθε δρομολογητή** (πχ r_i), τη στιγμή που εισέρχεται στην ουρά το πακέτο από αυτόν τον δρομολογητή r_i . Η συμφόρηση στο δίκτυο είναι ένα καθαρά δυναμικό φαινόμενο. Επίσης το συγκεκριμένο μονοπάτι δρομολόγησης που τελικά θα ακολουθηθεί επιλέγεται δυναμικά. Υπάρχει το ενδεχόμενο να μην είναι το βέλτιστο, **κάποιοι δρομολογητές να είναι πολύ αργοί (και επομένως να “συνεισφέρουν” σε μεγάλη processing καθυστέρηση), ή να είναι mis-configured (και ο αλγόριθμος δρομολόγησης να μην τρέχει σωστά ή το routing table να μην είναι σωστά συμπληρωμένο) ή/και το πακέτο να οδηγηθεί σε “loops”, καθώς επίσης να συμβεί απώλεια του πακέτου στη ζεύξη λόγω της ποιότητας του καναλιού της ζεύξης.** Αυτή η απώλεια μπορεί να οδηγήσει σε αναμεταδόσεις του πακέτου. Οι αναμεταδόσεις που μπορεί να γίνουν εξαρτώνται από τα πρωτόκολλα που τρέχουν στα υψηλότερα επίπεδα.

Άλλοι (στατικοί) παράγοντες είναι η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα links/συνδέσεις του μονοπατιού, το οποίο μπορεί να επηρεάσει τόσο την καθυστέρηση μετάδοσης όσο και την καθυστέρηση διάδοσης. Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε τη συσκευή s' που είναι σε πολύ μεγαλύτερη γεωγραφική απόσταση από την από ότι s είναι η από την d, αλλά το μονοπάτι s' -> d να αποτελείται από συνδέσεις υψηλών ταχυτήτων (πχ Gbits links) ενώ το μονοπάτι s -> d από συνδέσεις με πολύ χαμηλές ταχύτητες. Τότε η συνολική καθυστέρηση μετάδοσης (transmission delay) στο s' -> d θα είναι πολύ μικρότερη από ότι στο s -> d και αυτό μπορεί να επηρεάσει και τη συνολική end-to-end καθυστέρηση του πακέτου.

ΕΡΩΤΗΣΗ 2

Κάποιος ισχυρίζεται ότι η καθυστέρηση μετάδοσης ενός πακέτου μεταξύ δυο συσκευών που συνδέονται με μία ζεύξη είναι πάντα μεγαλύτερη από την καθυστέρηση διάδοσης σε μία ζεύξη, ανεξαρτήτου της τεχνολογίας του μέσου και της απόστασης των δύο συσκευών που συνδέονται . Είναι σωστό;

Απάντηση

Η καθυστέρηση μετάδοσης ενός πακέτου μεταξύ δυο συσκευών που συνδέονται με μια ζεύξη δεν είναι πάντα μεγαλύτερη από την καθυστέρηση διάδοσης αλλά εξαρτάται από την τεχνολογία του μέσου που χρησιμοποιούμε. Έτσι είναι δυνατόν να έχουμε ένα μέσο όπου $d_{prop} > d_{trans}$.

Ουσιαστικά, σημαίνει πως κάποια στιγμή όπου θα έχουν φύγει όλα τα bits του πακέτου από την μία συσκευή και δεν θα έχουν φτάσει στην άλλη , όλο το πακέτο θα βρίσκεται πάνω στην ζεύξη.

Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε μία ζεύξη που έχει ρυθμό μετάδοσης 1bit/sec, και έστω ότι η ταχύτητα διάδοσης του μέσου 1m/sec και το μήκος της ζεύξης είναι 3m.

Έτσι, έχω μια καθυστέρηση διάδοσης 3sec.

Αν θέλω να στείλω 4bit τότε η καθυστέρηση μετάδοσης θα είναι 4 sec

Κάποιος ισχυρίζεται ότι όσο μεγαλώνει η γεωγραφική απόσταση δύο συσκευών, τόσο μεγαλώνει και η καθυστέρηση των πακέτων που στέλνονται από την μία συσκευή μέχρι να ληφθούν από την άλλη.

Ο παραπάνω ισχυρισμός δεν ευσταθεί για τον εξής λόγο: Η συνολική καθυστέρηση των πακέτων που στέλνονται από την μια συσκευή στην άλλη είναι όπως γνωρίζουμε $D_{total} = d_{proc} + d_{queue} + d_{trans} + d_{prop}$ Μεγαλώνοντας την γεωγραφική απόσταση των δύο συσκευών θα μεγαλώσει σίγουρα το d_{prop} , παρ όλα αυτά δεν συνεπάγεται ότι δυο συσκευές με μικρότερη γεωμετρική απόσταση θα έχουν μικρότερη καθυστέρηση. Μπορεί δυο συσκευές που συνδέονται στα γεωγραφικά πλαίσια μιας πόλης να υπόκεινται σε πολύ μεγάλη καθυστέρηση λόγω υψηλής συμφόρησης στους ενδιάμεσους δρομολογητές(υψηλό), ενώ αντιθέτως δύο συσκευές σε διαφορετικές ηπείρους μπορεί να διασυνδέονται με δίκτυο όπου οι καθυστερήσεις, είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση.