

HY335: Δίκτυα Υπολογιστών
Χειμερινό Εξάμηνο 2010-2011
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Διδάσκουσα: Μαρία Παπαδοπούλη
 2 Δεκεμβρίου 2010

Δεύτερη Πρόοδος (συνολικά 100 μονάδες)

Απαντήσεις & σχολιασμός*

***Σημείωση:** Το κύριο μέρος των απαντήσεων είναι σε bold font. Έχω συνοδεύσει τις απαντήσεις με διάφορα σχόλια, προσπαθώντας να αποδώσω αυτά που συζητήσαμε την ώρα του φροντιστηρίου-extra μαθήματος που έγινε στις 15/12/2010.

2. 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 end-to-end καθυστέρηση). Σωστό/Λάθος? Δικαιολογήσετε την απάντησή σας. (10 μονάδες)

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 μετάδοση 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 s & d

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

d_{trans} είναι η καθυστέρηση μετάδοσης στη ζεύξη

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

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 αναμεταδώσεις 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) αναμεταδώσεις. Επίσης, ότι οι αναμεταδώσεις στο MAC layer μπορεί να μη γίνουν αντιληπτές από τα παραπάνω επίπεδα, αν είναι επιτυχημένες. Μόνο συνεχόμενες αποτυχημένες αναμεταδώσεις 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 $s \rightarrow d$, από r_1, r_2, \dots, r_k δρομολογητές. Θεωρούμε ότι. Τότε η συνολική end-to-end καθυστέρηση θα είναι:

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

Όπου, $i \rightarrow i+1$ είναι η ζεύξη που ενώνει τον δρομολογητή r_i με τον δρομολογητή r_{i+1}

$r_0 = s$ και $r_{k+1} = d$

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

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

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

$d_{\text{proc}}(i \rightarrow i+1)$ 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, κάποιιοι 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 d από ότι είναι η s από την d , αλλά το μονοπάτι $s' \rightarrow d$ να αποτελείται από συνδέσεις υψηλών ταχυτήτων (πχ Gbits links) ενώ το μονοπάτι $s \rightarrow d$ από συνδέσεις με πολύ χαμηλές ταχύτητες. Τότε η συνολική καθυστέρηση μετάδοσης (transmission delay) στο $s' \rightarrow d$ θα είναι πολύ μικρότερη από ότι στο $s \rightarrow d$ και αυτό μπορεί να επηρεάσει και τη συνολική end-to-end καθυστέρηση του πακέτου.

3. Είναι το Ethernet είναι ένα βελτιωμένο πρωτόκολλο σε σχέση με το *Slotted Aloha*? Δικαιολογήσετε την απάντησή σας (10 μονάδες)

Απάντηση:

Μία βασική προϋπόθεση είναι οι συσκευές να είναι συγχρονισμένες, κάτι που δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί με ακρίβεια και "δίχως extra κόστος" (πχ hardware, software) σε ένα καταναμημένο σύστημα, όπως αυτό ενός LAN. Στο Slotted Aloha μπορεί να υπάρχουν ανενεργές σχισμές, μιας και μετά από μια σύγκρουση ένας κόμβος ξανα-μεταδίδει το πακέτο με πιθανότητα p .

Δεν γίνεται ανίχνευση μετάδοσης πακέτου, πριν ξεκινήσει μια μετάδοση, ούτε σταμάτημα της μετάδοσης στην περίπτωση της ανίχνευσης σύγκρουσης κατά τη διάρκεια μιας μετάδοσης (λειτουργίες που υποστηρίζονται από το Ethernet, μέσω του CSMA/CD μηχανισμού).

Η αποδοτικότητα του CSMA/CD είναι

$Efficiency = 1/(1 + 5d_{prop}/d_{trans})$, όπου

d_{prop} : max prop delay between two nodes in LAN

d_{trans} : time to transmit max-size frame

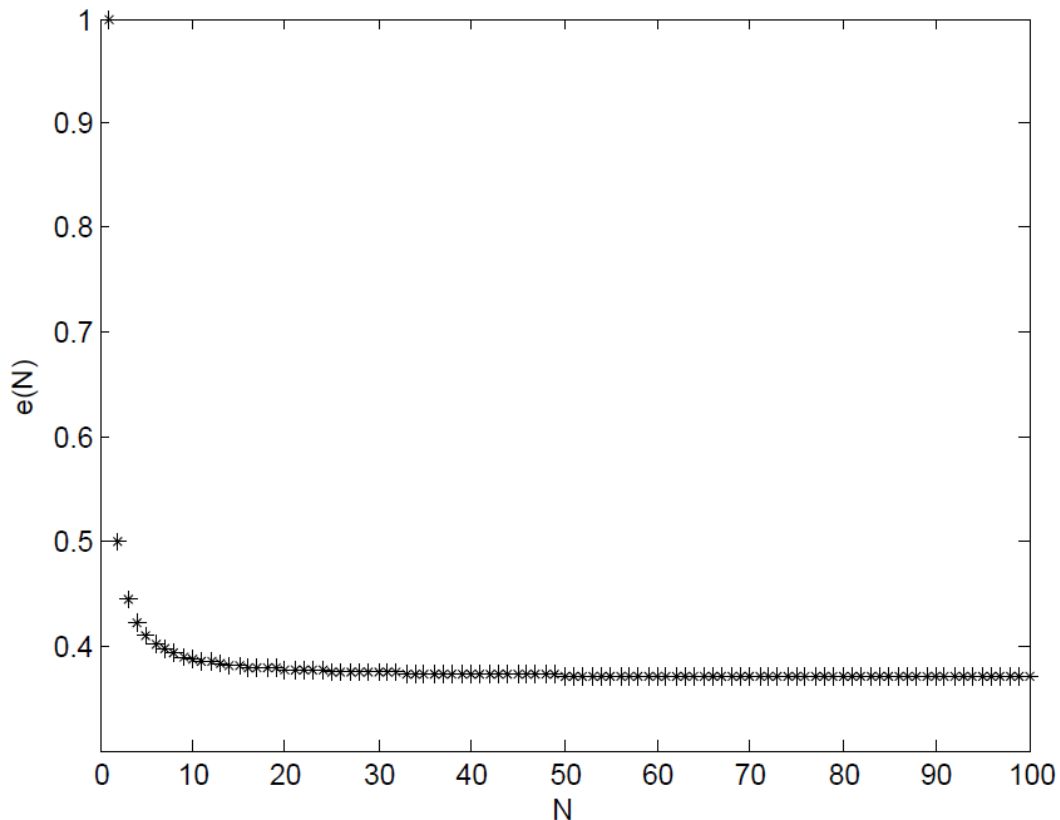
Όταν το d_{prop} τείνει στο 0, η αποδοτικότητα του CSMA/CD τείνει στο 1.

Ενώ στο slotted ALOHA η αποδοτικότητα είναι $e_N(p) = N \cdot p \cdot (1-p)^{N-1}$

Για ένα μεγάλο αριθμό κόμβων (N τείνει στο άπειρο), το $\lim_{N \rightarrow \infty} (N \cdot p \cdot (1-p)^{N-1}) = 1/e = 0.37$.

Βλέπουμε δηλαδή ότι η αποδοτικότητα του CSMA/CD είναι μεγαλύτερη από αυτή του slotted ALOHA.

Στο παρακάτω plot παρουσιάζεται η αποδοτικότητα του slotted ALOHA $e(p^*)$ (κάθετος άξονας) για διαφορετικές τιμές του N (οριζόντιος άξονας), όπου p^* είναι η πιθανότητα που μεγιστοποιεί την αποδοτικότητα για ένα συγκεκριμένο N .



Για να υπολογίσετε το p^* , που μεγιστοποιεί το $e(p)$, για ένα συγκεκριμένο N , αρκεί να πάρετε την πρώτη παράγωγο του $e(p)$ και να βρείτε τις ρίζες της. π.χ. $e'(p) = 0$

Μετά θα χρειαστεί να βρείτε αυτές τις ρίζες για τις οποίες η δεύτερη παράγωγος είναι αρνητική. (δηλ. $e''(p_i) < 0$) Παραπάνω πληροφορίες δίνονται στην απάντηση του προβλήματος 6.

Ακολουθεί ο κώδικας στη Matlab που το υλοποιεί:

```
function plot_figure(Nmax)
% plots the function e(N) for N=1,2,..., Nmax

x = 1:1:Nmax;

%setting the derivative of f(p) = N*p*[(1-p)^(N-1)] equal to 0
%we get that a local maximum of f(p) in the interval [0 1]
%lies at p* = 1/N. According to the above result we get:
%e(N) = (N/N)*((N-1)/N)^(N-1) = ((N-1)/N)^(N-1).
figure;
set(gcf, 'color', [1 1 1]);
plot(x, ((x-1)./x).^(x-1), 'k');
ylabel('e(N)');
xlabel('N');

end
```

4. Αντιπαραθέσετε το hub/repeater, την (γέφυρα) bridge, και τον router (δρομολογητή). Τονίσετε τις διαφορές τους. (10 μονάδες)

Απάντηση:

Routers are network layer devices

Modify IP datagram (decrement TTL)

Hosts and other routers must be aware of them

Bridges (or layer-2 switches) (75 slides, MAC layer ppt)

Είναι link layer συσκευές

Έχουν δύο σημαντικές λειτουργίες: **filtering** και **forwarding**

Filtering: Προσδιορίζει αν ένα πλαίσιο πρέπει να προωθηθεί σε ένα άλλο interface ή απλά να απορριφθεί

Forwarding: Προσδιορίζει τα interface(s) στα οποία ένα πλαίσιο πρέπει να κατευθυνθεί και κατευθύνει αυτό το πλαίσιο σε αυτό το interface

Έχουν **buffering μηχανισμό (σε αντίθεση με τα hubs)**

Only care about frames, don't modify IP datagram

Transparent to network

Εφαρμόζουν CSMA/CD (σε αντίθεση με τα hubs)

μπαίνουν σε εκθετικό backoff όταν διαπιστώσουν σύγκρουση ενώ μεταδίδουν

Hubs (68-73slides του MAC-layer ppt):

Operate as a repeater

Είναι συσκευή φυσικού επιπέδου

Χειρίζονται bits και όχι frames

No buffering of frames

Broadcast an incoming bits to all ports, except for the ingress port

All ports are on single collision domain! No CSMA/CD! (οι adapters

εντοπίζουν τις συγκρούσεις)

Advantages: απλό, επεκτείνει το LAN (τη μέγιστη απόσταση μεταξύ κόμβων),

restores signal, potentially fast since we don't have to buffer or examine frame

Disadvantages: poor bandwidth due to collisions (μια και ξεχωριστοί collision domains γίνονται ένας μεγάλος collision domain)

5. Μετά την 5^η σύγκρουση (collision) ενός πακέτου που μεταδίδει μια συσκευή σε ένα Ethernet, ποιά είναι η πιθανότητα η συσκευή αυτή να επιλέξει ένα backoff παράθυρο 4 χρονο-θυρίδων (slots)? (15 μονάδες)

Μετά την 1^η σύγκρουση, ο Ethernet adapter θα επιλέξει έναν τυχαίο αριθμό X από το σύνολο $\{0,1\}$ με ομοιόμορφη κατανομή, και θα περιμένει χρόνο ίσο με X χρονοθυρίδες.

Μετά τη 2^η σύγκρουση, ο Ethernet adapter θα επιλέξει με ομοιόμορφη κατανομή έναν τυχαίο αριθμό Y από το σύνολο $\{0,1,2,3\}$. και θα περιμένει χρόνο ίσο με Y χρονοθυρίδες.

Μετά την 3^η σύγκρουση

Μετά την 5^η σύγκρουση, ο Ethernet adapter θα επιλέξει με ομοιόμορφη κατανομή έναν τυχαίο αριθμό από το σύνολο $\{0,1,2,\dots,2^5-1\}$.

Αν επιλέξει το 4 θα περιμένει 4 χρονοθυρίδες. Η πιθανότητα να διαλέξει το 4 είναι $1/32$.

Σημειώσεις:

Παρατηρήστε ότι ο οποιοσδήποτε αριθμός από το παραπάνω σύνολο μπορεί να επιλεγεί με πιθανότητα $1/32$.

Επομένως, μετά την k -οστή σύγκρουση ο Ethernet adapter θα επιλέξει έναν τυχαίο αριθμό X με ομοιόμορφη κατανομή από το σύνολο $\{0,1,\dots,2^k-1\}$, θα "βάλει» στον

χρονομετρητή της backoff διαδικασίας την τιμή X , και θα περιμένει X slots πριν δοκιμάσει να ξανά-μεταδώσει το πακέτο.

6. Έστω ένα LAN με slotted ALOHA στο οποίο είναι ενεργές N συσκευές (δηλ. η κάθε μία έχει πακέτα να στείλει). Ας ορίσουμε ως *αποδοτικότητα* του LAN την πιθανότητα σε μία χρονο-θυρίδα να πραγματοποιείται *επιτυχημένη* μετάδοση. Περιγράψετε με ποιόν τρόπο θα πρέπει να βρεθεί η τιμή της βασικής παραμέτρου του slotted ALOHA, ώστε να μεγιστοποιηθεί η απόδοση του παραπάνω δικτύου. Προσοχή: δεν μπορείτε να το αλλάξετε το πρωτόκολλο το ίδιο (τον τρόπο που λειτουργεί), παρά μονάχα να ορίσετε με τις επιθυμητές τιμές των παραμέτρων του. Υποθέσετε το LAN που προαναφέραμε. Αναφέρεται ποία είναι αυτή η παράμετρος, και περιγράψετε τον τρόπο που θα πρέπει να υπολογιστεί ώστε να μεγιστοποιεί την απόδοση του slotted ALOHA σε αυτό το LAN. Δικαιολογήσετε την απάντησή σας. (15 μονάδες)

Απάντηση:

Πως λειτουργεί το slotted ALOHA:

- Όταν ένας κόμβος παραλαμβάνει ένα νέο frame, το μεταδίδει στην επόμενη σχισμή
- Αν δεν έγινε σύγκρουση, ο κόμβος μπορεί να στείλει νέο frame στην επόμενη σχισμή
- Σε περίπτωση σύγκρουσης, ο κόμβος ξαναμεταδίδει το frame σε *κάθε* επόμενη σχισμή με πιθανότητα p έως ότου πετύχει

Στο συγκεκριμένο LAN η αποδοτικότητα του slotted ALOHA (σύμφωνα με τον ορισμό της αποδοτικότητας που δόθηκε) είναι: $e_N(p) = N \cdot p \cdot (1-p)^{N-1}$.

Επομένως η παράμετρος που μπορεί να προσδιοριστεί είναι η *πιθανότητα* p .

Πρέπει να βρούμε το p που μεγιστοποιεί την παραπάνω formula και αυτό να χρησιμοποιήσουμε στο πρωτόκολλο του slotted ALOHA. Δηλαδή θα χρειαστεί να λύσουμε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης.

Βρείτε το p^* το οποίο

μεγιστοποιεί το $Np(1-p)^{N-1}$

(bonus points)

Τι ξέρουμε από τον απειροστικό λογισμό:

Το μέγιστο η συνάρτηση $e: [0,1] \rightarrow \mathbb{R}$ με $e(p) = N \cdot p \cdot (1-p)^{N-1}$ το παίρνει στο p^* που μηδενίζει την πρώτη παράγωγο (δηλ. $e'_N(p^*) = 0$) και η δεύτερη παράγωγος είναι αρνητική (δηλ. $e''_N(p^*) < 0$).

Η πρώτη παράγωγος $e'(p)=0$ μηδενίζεται στα σημεία $p=1$ και $p=1/N$.

Η δεύτερη παράγωγος $e''(1)=0$ και $e''(1/N) < 0$.

Παρατηρούμε ότι για $p=1$ δεν ικανοποιείται το κριτήριο της 2^{ης} παραγώγου.

Επομένως, δεν είναι τοπικό μέγιστο. Για την $p=1/N$ ικανοποιείται και επομένως το τοπικό μέγιστο δίνεται στο σημείο $p^*=1/N$.

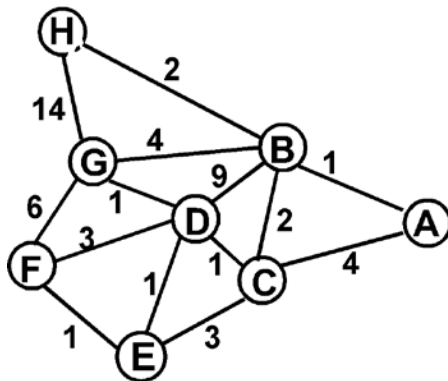
Σημείωση: Διαλέξεις hy335a_mac_F10-11 (MAC layer, slides 34, 35, 36 out of 87)

7. Έστω ένα LAN που συνδέει N συσκευές. Σε ποιές γενικές καταστάσεις φορτίου των κόμβων θα έχουμε μεγαλύτερη αποδοτικότητα όταν οι κόμβοι χρησιμοποιούν ένα TDMA από ότι το Ethernet's CSMA/CD, και γιατί? (15 μονάδες)

Απάντηση

Εάν σχεδόν όλοι οι κόμβοι είναι ενεργοί (δηλ. έχουν πακέτα θέλουν να μεταδώσουν), τότε το TDMA είναι πολύ αποδοτικό, γιατί ελάχιστες χρονο-θυρίδες θα μείνουν ανεκμετάλλετες (δηλ. δεν θα «χρησιμοποιούνται» για μεταδώσεις). Ενώ στο Ethernet κάτω από αυτές τις συνθήκες κίνησης (όπου σχεδόν όλοι οι κόμβοι είναι ενεργοί), θα υπάρξουν πολλές συγκρούσεις και αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη αποδοτικότητα.

8. Έστω ο παρακάτω γράφος που αντιστοιχεί στην τοπολογία ενός δικτύου. Ο αριθμός δίπλα στην κάθε ακμή υποδεικνύει την καθυστέρηση ενός πακέτου όταν μεταδίδεται στην αντίστοιχη ζεύξη. Εφαρμόσετε τον αλγόριθμο του Dijkstra και υπολογίσετε το συντομότερο μονοπάτι από τον F σε όλους τους άλλους κόμβους. Χρειάζεται να παρουσιάσετε τον πίνακα που χρησιμοποιεί το βιβλίο του Kurose & Ross και παρουσιάσαμε στις διαλέξεις για τον αλγόριθμο αυτό. Συμπεριλάβετε όλα τα βήματα του αλγορίθμου. (15 μονάδες)



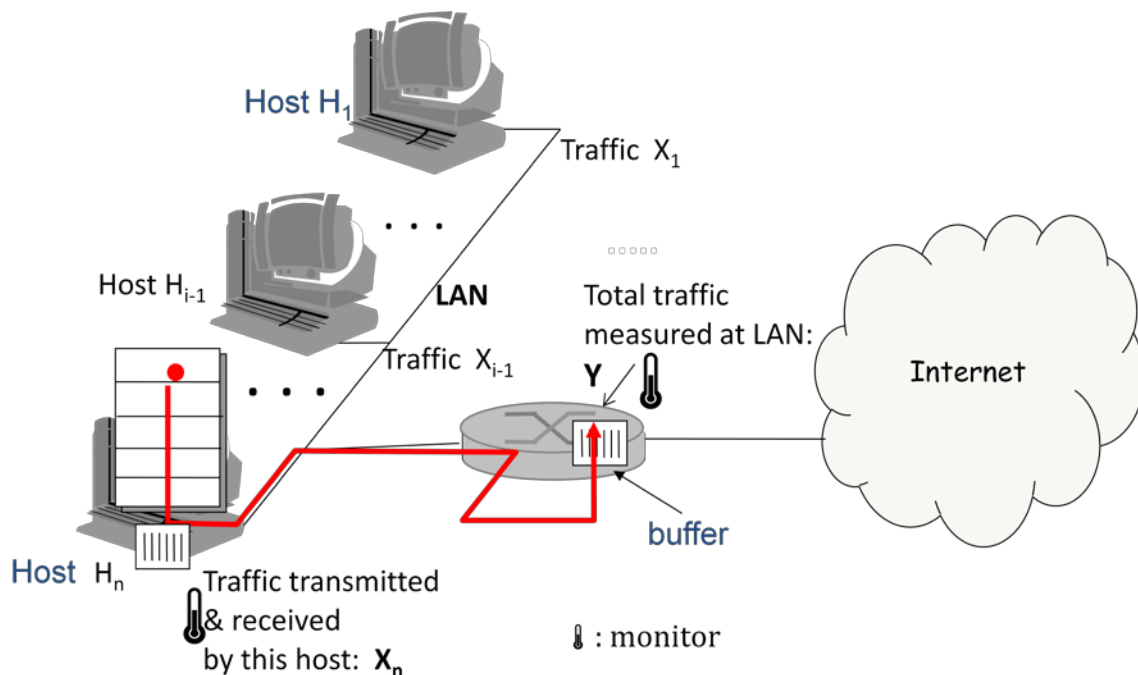
Απάντηση

N	a	b	c	d	E	g	h
	inf	inf	inf	3,f	1,f	6,f	inf
e	inf	inf	4,e	2,e		6,f	inf
ed	inf	11,d	3,d			3,d	inf
edc	7,c	5,c				3,d	inf
edcg	7,c	5,c					17,g
edcgb	6,b						7,b
edcgba						7,b	

1. Η στατιστική *πολυπλεγξία* (statistical multiplexing) του φορτίου που στέλνουν συσκευές σε ένα LAN ελαττώνει το *burstiness* (εκρηκτικότητα) του συνολικού φορτίου που διακινείται στο LAN? Δικαιολογήσετε την απάντησή σας. (10 μονάδες)

Απάντηση:

Το burstiness δείχνει πόσο variance υπάρχει σε μια ακολουθία τιμών και μπορεί να προσδιοριστεί με το λόγος peak/mean.



Σημείωση: Το θέμα αυτό επειδή ήταν κάπως "προχωρημένο" (για το επίπεδο αυτής της εξέτασης/μαθήματος), συνείσφερε τελικά με extra points, δηλ. το άριστα έγινε τελικά "scaleup" (90->100), δηλ. διορθώθηκαν τα 2-8 θέματα, ο βαθμός

πολλαπλασιάστηκε με το 10/9, και σε αυτόν προστέθηκαν μονάδες από το θέμα 1). Συγκεκριμένα δόθηκαν μονάδες σε όσους έχουν προσπαθήσει τα παρακάτω:

Έχουν περιγράψει το burstiness: δείχνει πόσο variance υπάρχει σε μια ακολουθία τιμών και μπορεί να προσδιοριστεί με το λόγος peak/mean. Έχουν ορίσει ως τυχαία μεταβλητή την X_i : που αντιστοιχεί στο φορτίο που διακινεί η συσκευή i στη χρονοθυρίδα t και έχει mean μ_i και variance σ_i^2 , maximum (peak) m_i , και αναλύσουν το mean και variance της τυχαίας μεταβλητής Y , με $Y = X_1 + X_2 + \dots + X_n$, ως προς το variance σ , mean μ , max m . Μετά ο φοιτητής θα πρέπει να αναπτύσσει σωστά τους τύπους που δίνουν το mean, variance, και max του Y συναρτήσει των μ_i , σ_i , m_i και να τα συγκρίνει με αυτά του X_i

Ορθότερο βέβαια θα ήταν να μοντελοποιηθεί το φορτίο της κάθε συσκευής (και το άθροισμα τους) ως μια στοχαστική διαδικασία (arrival process)...

