

HY335: Δίκτυα Υπολογιστών Χειμερινό Εξάμηνο 2011-2012  
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Κρήτης  
Διδάσκουσα: Μαρία Παπαδοπούλη

**Φροντιστήριο:** 10/11/2011

**Βοηθός:** Παύλος Χαρωνυκτάκης

### Problems & Questions on MAC Layer

1. Είναι το Ethernet ένα βελτιωμένο πρωτόκολλο σε σχέση με το *Slotted Aloha*? Δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

#### 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 κατακευματισμένο 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:

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

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

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

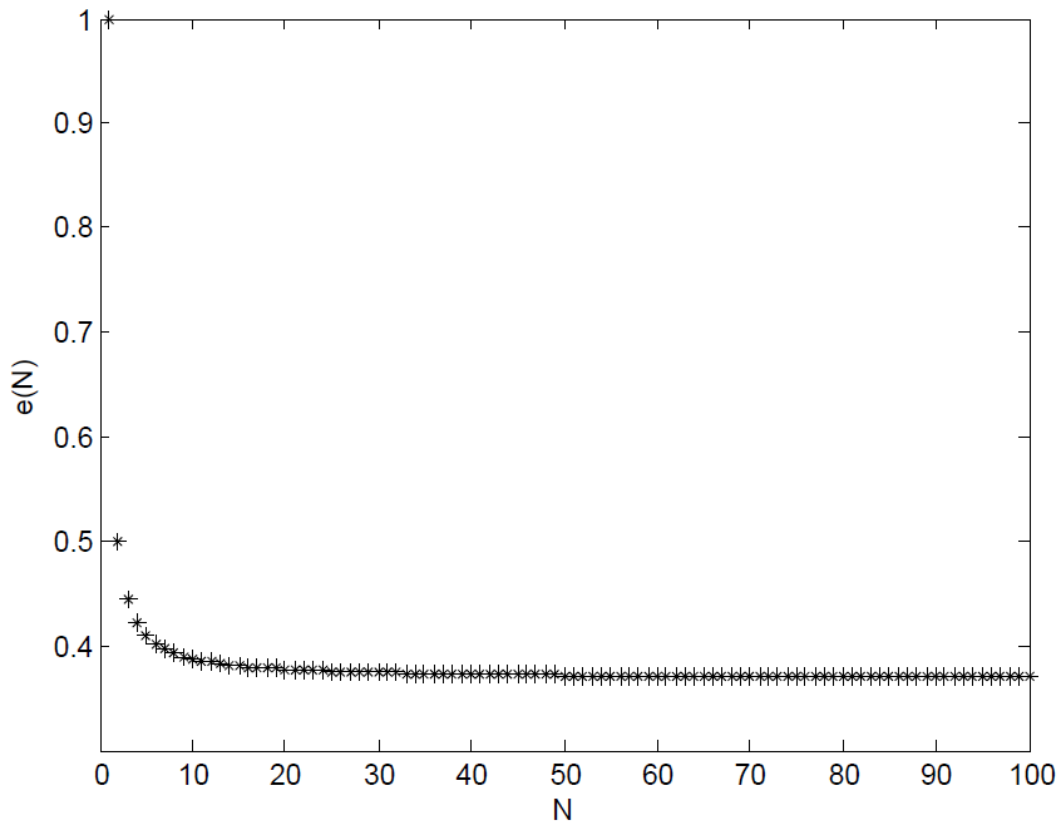
Όταν το  $d_{\text{prop}}$  τείνει στο 0, η αποδοτικότητα του CSMA/CD τείνει στο 1.

Ενώ στο slotted ALOHA η αποδοτικότητα είναι:

$$e_N(p) = N \cdot p^* (1-p)^{N-1}$$

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

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.  $e'(p_i) = 0$   
 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

```

2. Αντιπαραθέσετε το hub/repeater, την (γέφυρα) bridge, και τον router (δρομολογητή). Τονίστε τις διαφορές τους.

Απάντηση:

**Routers:** είναι συσκευές επιπέδου δικτύου.

τροποποιούν τα δεδομενογράμματα (μείωση του TTL).

οι Hosts και οι άλλοι routers πρέπει να ξέρουν την ύπαρξη τους.

**Bridges (or layer-2 switches):**

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).

Νοιάζονται μόνο για τα frames, δεν τροποποιούν τα δεδομενογράμματα Διαφανή στο δίκτυο.

Εφαρμόζουν CSMA/CD (σε αντίθεση με τα hubs).

Μπαίνουν σε εκθετικό backoff όταν διαπιστώσουν σύγκρουση ενώ μεταδίδουν.

**Hubs (68-73slides του MAC-layer ppt):**

Λειτουργούν σαν repeater.

Είναι συσκευή φυσικού επιπέδου.

Χειρίζονται bits και όχι frames.

Δεν έχουν buffering μηχανισμό.

Εκπέμπουν τα εισερχόμενα bit σε όλα τα ports, εκτός αυτού από που προήλθε.

Όλα τα ports είναι σε single collision domain. Όχι CSMA/CD. (οι adapters εντοπίζουν τις συγκρούσεις).

**Πλεονεκτήματα:** απλό, επεκτείνει το LAN (τη μέγιστη απόσταση μεταξύ κόμβων), restores signal, δυνητικά γρήγορο παρόλο που δεν έχει buffer

**Μειονεκτήματα:** χαμηλό bandwidth λόγω συγκρούσεων (μιας και ξεχωριστοί collision domains γίνονται ένας μεγάλος collision domain)

3. Μετά την 5<sup>η</sup> 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)?

Απάντηση:

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

Μετά τη 2<sup>η</sup> 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<sup>η</sup> σύγκρουση ....

Μετά την 5<sup>η</sup> σύγκρουση, ο Ethernet adapter θα επιλέξει με ομοιόμορφη κατανομή έναν τυχαίο αριθμό από το σύνολο {0,1,2,...,2<sup>5</sup>-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 κ-οστή σύγκρουση ο Ethernet adapter θα επιλέξει έναν τυχαίο αριθμό x με ομοιόμορφη κατανομή από το σύνολο {0,1,...,2<sup>κ</sup>-1}, θα "βάλει» στον χρονομετρητή της backoff διαδικασίας την τιμή x, και θα περιμένει x slots πριν δοκιμάσει να ξανά-μεταδώσει το πακέτο.

4. Έστω ένα LAN με slotted ALOHA στο οποίο είναι ενεργές N συσκευές (δηλ. η κάθε μία έχει πακέτα να στείλει). As ορίσομε 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 αλλάξετε το πρωτόκολλο το ίδιο (τον τρόπο που λειτουργεί), παρά μονάχα να ορίσετε 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.

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<sup>ης</sup> 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 hg335a\_mac\_F10-11 (MAC layer, slides 34, 35, 36 out of 87)

5. 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?

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.

6. Οι συσκευές A και B είναι συνδεδεμένες στο Ethernet και έχουν ένα μόνο πακέτο να στείλουν η κάθε μια. Δεν υπάρχουν άλλες συσκευές στο Ethernet στο οποίο είναι συνδεδεμένες που να θέλουν να στείλουν εκείνη την περίοδο. Ας υποθέσουμε ότι στο slot 0 οι δύο αυτές συσκευές στέλνουν ταυτόχρονα το πακέτο και υπάρχει σύγκρουση (packet collision). Ας θεωρήσουμε ότι η λέξη "slot" αναφέρεται στην ελάχιστη χρονική περίοδος που χρειάζεται για την μετάδοση του πακέτου και η κάθε μία από τις παρακάτω ακολουθίες ξεκινά με την ίδια αρχική σύγκρουση. Ποια/ποιες από τις παρακάτω ακολουθίες είναι δυνατό να συμβεί/συμβούν και γιατί?

Ακολουθία A:

Slot 0: A και B και οι δύο στέλνουν το πακέτο (πρώτη τους σύγκρουση)

Slot 1: A και B και οι δύο "σιωπούν" (idle)

Slot 2: A και B και οι δύο "σιωπούν" (idle)

Slot 3: A στέλνει, B "σιωπά" (επιτυχημένη μετάδοση)

Slot 4: A σιωπά, B στέλνει (επιτυχημένη μετάδοση)

Ακολουθία B:

Slot 0: A και B και οι δύο στέλνουν το πακέτο (πρώτη τους σύγκρουση)

Slot 1: A και B και οι δύο στέλνουν (σύγκρουση)  
 Slot 2: A και B και οι δύο "σιωπούν" (idle)  
 Slot 3: A στέλνει, B "σιωπά" (επιτυχημένη μετάδοση)  
 Slot 4: A και B σιωπούν (idle)  
 Slot 5: A σιωπά, B στέλνει (επιτυχημένη μετάδοση)

Ακολουθία Γ:

Slot 0: A και B και οι δύο στέλνουν το πακέτο (πρώτη τους σύγκρουση)  
 Slot 1: A στέλνει, B "σιωπά" (επιτυχημένη μετάδοση)  
 Slot 2: A και B και οι δύο "σιωπούν" (idle)  
 Slot 3: A και B και οι δύο "σιωπούν" (idle)  
 Slot 4: A σιωπά, B στέλνει (επιτυχημένη μετάδοση)

Απάντηση:

Η ακολουθία Β είναι μόνο δυνατή. Την πρώτη φορά με backoff 2 (backoff [0,1]), και οι δύο επέλεξαν την τιμή 0 και ξαναέγινε σύγκρουση. Επομένως διπλασιάστηκε το backoff interval στο [0,3] στο slot1. Ο Α επιλέγει την τιμή 1, και ο Β την τιμή 3. Στις άλλες ακολουθίες δεν λειτουργεί σωστά ο εκθετικός αλγόριθμος/backoff του Ethernet.

7. Για καθένα από τα παρακάτω MAC πρωτόκολλα, βάλετε «X» όταν η συγκεκριμένη ιδιότητα ισχύει σε αυτό το πρωτόκολλο.

Attribute	Ethernet	Slotted Aloha	Token Passing	TDMA	FDMA
Χρησιμοποιεί έλεγχο σύγκρουσης (Collision Detection)	x	x			
Χρησιμοποιεί Carrier Sense	x				
Χρησιμοποιεί εκθετικό backoff	x				
Ενας κόμβος μπορεί δυνητικά να χρησιμοποιήσει (σχεδόν) όλη τη χωρητικότητα του LAN	x	x	x		
Λειτουργεί αποδοτικά όταν πολλοί κόμβοι έχουν ταυτόχρονα δεδομένα να στείλουν			x	x	x
Είναι ευάλωτο στη δυσλειτουργία μιας συσκευής			x		

Χρησιμοποιεί την τυχαιότητα για να αποφύγει τον συγχρονισμό	x	x			
---	---	---	--	--	--

Κοινά προβλήματα:

1. Ενώ το Slotted Aloha χρησιμοποιεί ένα είδος backoff όταν εντοπίζει μία σύγκρουση, δεν είναι εκθετικό (δεν υποχωρεί παραπάνω σε κάθε επόμενη σύγκρουση).
2. Το Token passing επιτρέπει σε ένα μοναδικό κόμβο να χρησιμοποιεί σχεδόν όλο το capacity, καθώς το πέρασμα της σκυτάλης συμβαίνει πολύ πιο γρήγορα από τον χρόνο που χρειάζεται για την μετάδοση ενός μεγάλου frame.
3. Το Ethernet δεν λειτουργεί αποδοτικά όταν πολλοί κόμβοι έχουν δεδομένα να στείλουν, αφού αυτοί παράγουν πολύ συχνά συγκρούσεις.
4. Το Ethernet χρησιμοποιεί τυχαιότητα κατά την διάρκεια του exponential backoff ώστε να κάνει απίθανο οι κόμβοι να επιλέξουν το ίδιο backoff interval.
5. Και με το token passing και με το TDMA, ένας κόμβος πρέπει να περιμένει μέχρι την προγραμματισμένη σειρά του για μετάδοση. Με το FDMA, οι κόμβοι δεν χρειάζεται να περιμένουν, αφού είναι ελεύθεροι να χρησιμοποιήσουν την ανατιθέμενη σε αυτούς συχνότητα όποτε θελήσουν.
6. Το Token passing λειτουργεί αποδοτικά όταν πολλοί κόμβοι έχουν δεδομένα να στείλουν αφού κάθε πέρασμα της σκυτάλης σε έναν νέο κόμβο επιτρέπει γενικά τον κόμβο να μεταδώσει και να κάνει αποδοτική χρήση του δικτύου.
7. Η φράση "avoid synchronization" αναφέρεται σε κόμβους που προσπαθούν να μεταδώσουν την ίδια στιγμή. Δεν αναφέρεται σε clock synchronization.

8. Έχουμε ένα δίκτυο με σύνδεση Ethernet, όπου θέλουν να μεταδώσουν μόνο δύο συσκευές, η συσκευή A, τα frames A1, και A2, και η συσκευή B, τα frames B1 και B2. Θεωρούμε ότι τα frames έχουν τέτοιο μέγεθος, ώστε το κάθε frame να μπορεί να μεταδοθεί σε ένα slot. Οι A και B ξεκινούν ταυτόχρονα την μετάδοση του A1 και B1, αντίστοιχα, και βέβαια συμβαίνει σύγκρουση (collision). Δεδομένου ότι συμβαίνει αυτό το collision, με ποιά πιθανότητα οι συσκευές A και B θα μεταδώσουν τα frames επιτυχημένα με την σειρά A1, A2, B1, B2 και με την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση?

Απάντηση:

Δεδομένου ότι οι δύο συσκευές A και B έχουν επιχειρήσει μια μετάδοση των πλαισίων (frame) τους και έχει συμβεί ένα collision, ανιχνεύουν αυτό το collision και εισέρχονται και οι δύο, σε μια φάση εκθετικής καθυστέρησης (exponential backoff). Η συσκευή A που θέλει να αποστείλει το frame A1 μπαίνει σε backoff, επιλέγοντας πρώτα μια τιμή



από το σύνολο  $\{0,1\}$ , με ομοιόμορφη κατανομή, και περιμένοντας για χρονικό διάστημα  $t_1 = K \cdot \tau$ , όπου  $\tau$  είναι ο χρόνος της χρονοθυρίδας και  $K$  ο αριθμός που επιλέγει. Παρόμοια ο κόμβος  $B$  μπαίνει κι αυτό σε backoff αφού επιλέξει μια τιμή με τυχαίο τρόπο, χρησιμοποιώντας την ομοιόμορφη κατανομή από το σύνολο  $\{0,1\}$ .

Ορίζουμε το γεγονός  $E_{i,p}(t) =$  "η συσκευή  $i$  στέλνει το frame  $p$  τη χρονική στιγμή  $t$ ".

Ενδιαφερόμαστε να υπολογίσουμε την πιθανότητα που θα συμβεί το γεγονός  $E = E_{A,A1}(t_1)$  και  $E_{A,A2}(t_2)$  και  $E_{B,B1}(t_3)$  και  $E_{B,B2}(t_4)$ , και  $t_1 < t_2 < t_3 < t_4$  και  $t_1$  και  $t_2$  και  $t_3$  και  $t_4$  είναι τα ελάχιστα δυνατά", όπου

$t_1$  χρονική στιγμή όπου ξεκινά η μετάδοση του πλαισίου  $A1$ ,  
 $t_2$  χρονική στιγμή όπου ξεκινά η μετάδοση του πλαισίου  $A2$ ,  
 $t_3$  χρονική στιγμή όπου ξεκινά η μετάδοση του πλαισίου  $B1$   
 $t_4$  χρονική στιγμή όπου ξεκινά η μετάδοση του πλαισίου  $B2$

Αφού θα πρέπει τα frames να σταλούν με την σειρά  $A1, A2, B1, B2$  με την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση, το πλαίσιο  $A1$  πρέπει να σταλεί πρώτα και μετά το πλαίσιο  $B1$ . Οπότε η συσκευή  $A$  θα πρέπει να επιλέξει το 0 από το backoff παράθυρο (το οποίο συμβαίνει με πιθανότητα  $\frac{1}{2}$ ), και να μεταδώσει τη χρονική στιγμή  $t_1$  και η συσκευή  $B$  θα πρέπει να επιλέξει το 1 από το backoff παράθυρο (που συμβαίνει με πιθανότητα  $\frac{1}{2}$ ), και να μεταδώσει τη χρονική στιγμή  $t_1' = t_1 + 1$ . Σε κάθε άλλη περίπτωση διαφορετικής επιλογής δεν θα ικανοποιούνται τα δύο κριτήρια:  
(α) της σειράς  $A1, A2, B1$ , και  $B2$  ( $t_1 < t_2 < t_3 < t_4$ )  
(β) του ελάχιστου χρόνου (το κάθε ένα από τα  $t_1, t_2, t_3$ , και  $t_4$  είναι τα μικρότερα δυνατά).

Συγκεκριμένα, εάν οι συσκευές  $A$  και  $B$  επιλέξουν και οι δύο το 0 ή το 1, θα συμβεί ξανά σύγκρουση, με αποτέλεσμα να έχουμε μια παραπάνω καθυστέρηση, και επομένως να μην ικανοποιείται το δεύτερο κριτήριο (του ελάχιστου χρόνου).

Ενώ αν η  $A$  επιλέξει το 1 και η  $B$  το 0, τότε δεν θα συμβεί σύγκρουση, θα μπορούσε να ικανοποιείται το κριτήριο του ελάχιστου χρόνου, αλλά δεν θα ικανοποιούνταν το κριτήριο της σειράς.

Επομένως, θα χρειαστεί να συμβούν τα παρακάτω γεγονότα:  $E_{A,A1}(t_1)$  και  $E_{B,B1}(t_1')$ . Επιπλέον, μόλις η συσκευή  $A$  μεταδώσει το  $A1$ , θα προετοιμαστεί για τη μετάδοση του  $A2$  και θα μηδενίσει το backoff του παράθυρο. Τη χρονική στιγμή λοιπόν  $t_1' = t_1 + 1$  θα ξεκινήσει να μεταδίδει το  $A2$ . Ωστόσο τότε κι ο  $B$  θα μεταδίδει το  $B1$  και θα συμβεί σύγκρουση. Η σύγκρουση θα γίνει αντιληπτή, και ο  $A$  θα ετοιμάσει να ξαναμεταδώσει το πλαίσιο, επιλέγοντας μια τιμή για το backoff παράθυρο από το σύνολο  $\{0,1\}$ . Παρόμοια ο  $B$  θα ξαναμεταδώσει το πλαίσιο  $B1$ , διπλασιάζοντας το backoff set, το οποίο θα γίνει  $\{0,1,2,3\}$ , και επιλέγοντας μια τιμή με ομοιόμορφη κατανομή από το παράθυρο αυτό.

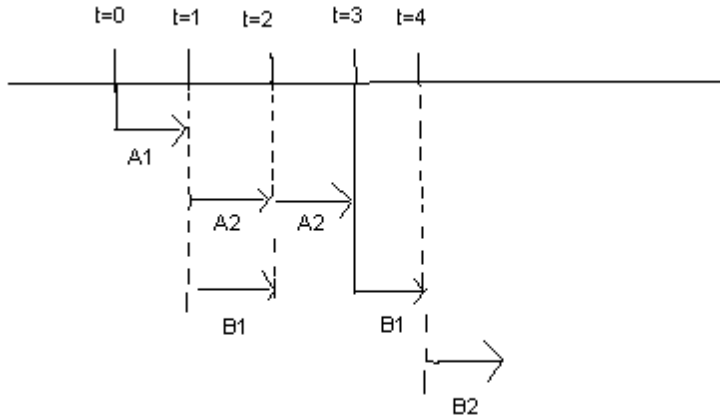
Ωστόσο για να ικανοποιηθούν τα παραπάνω δύο κριτήρια, ο A θα πρέπει να επιλέξει την τιμή 0 (με πιθανότητα  $\frac{1}{2}$ ), και επομένως να μεταδώσει τη χρονική στιγμή  $t_2$ , ενώ ο B θα πρέπει να επιλέξει την τιμή 1 (με πιθανότητα  $\frac{1}{4}$ ), που αντιστοιχεί τη χρονική στιγμή  $t_3=t_2+1$ .

Στην οποιαδήποτε άλλη περίπτωση ένα από τα παραπάνω κριτήρια δεν θα μπορούν να ικανοποιηθούν.

Επομένως θα πρέπει να συμβούν τα παρακάτω γεγονότα  $E_{A,A_2}(t_2)$  και  $E_{B,B_1}(t_3)$ .

Μόλις ολοκληρωθεί η μετάδοση του B1 (το οποίο αυτή τη φορά θα είναι επιτυχημένη, γιατί κανένας άλλος κόμβος δεν μεταδίδει), ο B είναι έτοιμος να μεταδώσει το επόμενο πακέτο του B2, το οποίο το μεταδίδει για πρώτη φορά (και επομένως ΔΕΝ θα μπει σε backoff).

Η μετάδοση του B2 θα ξεκινήσει τη χρονική στιγμή  $t_4=t_3+1$ . Θα είναι επιτυχημένη, μια και δεν υπάρχουν άλλες μεταδώσεις (όπως φαίνεται από τα δεδομένα του προβλήματος). Το γεγονός αυτό,  $E_{B,B_2}(t_4)$ , συμβαίνει με πιθανότητα 1.



Επομένως η πιθανότητα να συμβεί το επιθυμητό γεγονός E, που ικανοποιεί τα παραπάνω δυο κριτήρια είναι η παρακάτω:

$$\text{Prob}[E] = \text{Prob} [ " E_{A,A_1}(t_1) \text{ και } E_{B,B_1}(t_1') \text{ και } E_{A,A_2}(t_2) \text{ και } E_{B,B_1}(t_3) \text{ και } E_{B,B_2}(t_4) " ] =$$

$$\text{Prob} [E_{A,A_1}(t_1)] * \text{Prob}[E_{B,B_1}(t_1')] * \text{Prob}[E_{A,A_2}(t_2)] * \text{Prob}[E_{B,B_1}(t_3)] * \text{Prob}[E_{B,B_2}(t_4)] =$$

$$1/2 * 1/2 * 1/2 * 1/4 * 1 = 1/32.$$

9. Έστω N κόμβοι συνδεδεμένοι σε ένα τοπικό δίκτυο (LAN), και έστω δύο πιθανά media access protocols:

- Ένα random access protocol, όπως το Slotted Aloha.

- Ένα Token Passing protocol όπου μία σκυτάλη μεταβιβάζεται σειριακά σε κάθε κόμβο. Ένας κόμβος μπορεί να στείλει ένα πακέτο μόνο όταν έχει την σκυτάλη. Ένας κόμβος μπορεί να στείλει μόνο ένα πακέτο την φορά. Αν δεν έχει πακέτο προς αποστολή, ο κόμβος απλά περνάει την σκυτάλη στον επόμενο.

Σε κάθε από τις ακόλουθες δύο περιπτώσεις, ποια στρατηγική επιλέγετε και γιατί?

α) Υποθέστε ότι υπάρχει μόνο ένας κόμβος που στέλνει δεδομένα. Ποιό από τα δύο πρωτόκολλα θα πετύχει μεγαλύτερο throughput και γιατί? (Όχι περισσότερες από τρεις προτάσεις)

Το random access protocol αφού ο κόμβος μπορεί να στείλει back-to-back πακέτα. Σε αντίθεση με το Token Passing protocol, στο οποίο ο κόμβος πρέπει να περιμένει την σκυτάλη να περάσει από κάθε άλλο κόμβο (που δεν έχει πακέτα προς αποστολή) προτού στείλει ένα νέο πακέτο.

β) Υποθέστε ότι κάθε κόμβος στο LAN στέλνει δεδομένα. Ποιό από τα δύο πρωτόκολλα θα πετύχει μεγαλύτερο throughput και γιατί? (Όχι περισσότερες από τρεις προτάσεις)

Το Token Passing protocol αφού κάθε κόμβος θα στείλει ένα πακέτο όταν πάρει την σκυτάλη. Σε αντίθεση με το random access protocol, όπου όσο περισσότεροι κόμβοι στέλνουν τόσες περισσότερες συγκρούσεις και packets loss υπάρχουν.

10. Το ARP χρησιμοποιείται από ένα end-host για να βρει την IP ή/και την MAC διεύθυνσή του? Σωστό/Λάθος και γιατί? Περιγράψετε με μερικές προτάσεις τον ρόλο του ARP.

#### Απάντηση:

Το **ARP** επιλύει IP διευθύνσεις μόνο για κόμβους στο ίδιο LAN.

**Πώς θα καθορίσουμε την MAC διεύθυνση του Β, ξέροντας την IP διεύθυνσή του?**

**Κάθε IP κόμβος (Host, Router) στο LAN έχει έναν ARP πίνακα.**

**ARP Πίνακας: Αντιστοιχίσεις IP/MAC διευθύνσεων για κάποιους LAN κόμβους**

< IP διεύθυνση, MAC διεύθυνση, TTL >

**TTL (Time To Live):** ο χρόνος μετά από τον οποίο η αντιστοίχιση μιας διεύθυνσης θα ξεχαστεί (τυπικά 20 λεπτά).

Ο Α θέλει να στείλει ένα δεδομένογραμμα στον Β, και η διεύθυνση του Β δεν είναι στον ARP πίνακα του Α.

Ο Α **εκπέμπει** ένα πακέτο ερωτήματος (query) ARP, που περιέχει την IP διεύθυνση του Β.

Όλοι οι κόμβοι σε αυτό το LAN λαμβάνουν το ARP packet.

Ο  $B$  λαμβάνει το ARP πακέτο, απαντάει στον  $A$  με την MAC διεύθυνσή του και το πλαίσιο στέλνεται στην MAC διεύθυνση του  $A$  (unicast).