

# HY335 - Δίκτυα Υπολογιστών

## Χειμερινό εξάμηνο 2010-2011

### Φροντιστήριο – Ασκήσεις στο TCP

#### Άσκηση 1<sup>η</sup> : Καθυστερήσεις

##### Εκφώνηση:

Θεωρείστε μία σύνδεση μεταξύ δύο κόμβων X και Y. Το εύρος ζώνης του συνδέσμου είναι 10Gbits/sec και καθυστέρηση διάδοσης της σύνδεσης είναι 10msec. Ο κόμβος X στέλνει ένα πακέτο μεγέθους 1500bytes στον Y όπου στα 1500bytes περιλαμβάνεται και η επικεφαλίδα. Μόλις ο Y παραλάβει το πακέτο στέλνει μια επιβεβαίωση στον X μεγέθους 40bytes μαζί με το header. Μόλις ο X παραλάβει την επιβεβαίωση, στέλνει πάλι ένα πακέτο μεγέθους 1500bytes στον Y. Αν υποτεθεί ότι ο X ξεκινάει να στέλνει το πρώτο πακέτο τη χρονική στιγμή  $t=0$ , τότε σε ποιες χρονικές στιγμές λαμβάνουν χώρα τα εξής γεγονότα:

- Άφιξη του πρώτου bit του πρώτου πακέτου στον Y?
- Άφιξη του τελευταίου bit του πρώτου πακέτου στον Y?
- Άφιξη του πρώτου bit της αντίστοιχης επιβεβαίωσης στον X?
- Άφιξη του τελευταίου bit του δεύτερου πακέτου στον Y?
- Αν υποτεθεί ότι οι δύο κόμβοι συνέχιζαν επ'άπειρον αυτή τη διαδικασία, (ενός πακέτου δηλαδή για το οποίο στέλνεται η αντίστοιχη επιβεβαίωση που ακολουθείται από άλλη μια αποστολή πακέτου, κ.ο.κ), πόσα bits θα μεταφέρονται σε βάθος χρόνου τελικά από τον X στον Y συμπεριλαμβάνοντας και τις επικεφαλίδες των πακέτων?

##### Απάντηση:

- Το πρώτο bit φτάνει μετά από  $t=10\text{msec}$ . Αν επίσης θεωρηθεί και ο χρόνος μετάδοσης που χρειάζεται για το πρώτο bit τότε σωστή απάντηση μπορεί να θεωρηθεί και η  $t=10\text{msec}+1*(1000\text{msec})/(10*10^9)=10.0000001\text{msec}$

- $t=10\text{msec}$  +

$$10\text{msec} + \frac{1500 * 8}{10 * 10^9 * 10^{-3}} = 10 + \frac{12 * 10^3}{10^7} \text{msec} = 10 + 0,0012\text{msec} = 10,0012\text{msec}$$

- $t=10,0012 + 10 \text{ msec} = 20,0012\text{msec}$

Αντίστοιχα αν θεωρηθεί και ο χρόνος μετάδοσης της πρώτου bit της επιβεβαίωσης, τότε σωστή απάντηση μπορεί να θεωρηθεί και η  $t=10.0012\text{msec}+10\text{msec}+1*(1000\text{msec})/(10*10^9)=20.0012001\text{msec}$

- Για να ληφθεί και το τελευταίο bit του δεύτερου πακέτου θέλουμε ουσιαστικά μετά που θα ληφθεί το πρώτο bit της επιβεβαίωσης, το χρόνο μετάδοσης της επιβεβαίωσης  $(= \frac{40 * 8}{10 * 10^9 * 10^{-3}} \text{msec} = \frac{320}{10^7} = 0,000032\text{msec})$ , μία ακόμα

καθυστερήση διάδοσης για το πρώτο bit του δεύτερου πακέτου και το χρόνο μετάδοσης του δεύτερου πακέτου άρα συνολικά, η λήψη του τελευταίου bit του δεύτερου πακέτου θα γίνει την  $t=20,0012+0,000032+10+0,0012\text{msec}=30,002432\text{msec}$ .

Σε βάθος χρόνου ο ρυθμός με τον οποίο θα μεταφέρονται δεδομένα από τον X στον Y θα είναι *μακροσκοπικά* ίδιος με το ρυθμός με τον οποίο μεταδίδεται ένα πακέτο: για να μεταδοθεί ένα πακέτο πρέπει να αποσταλεί το πακέτο και να ληφθεί η επιβεβαίωση του κάτι που απαιτεί επιπλέον ένα χρόνο μετάδοσης της επιβεβαίωσης μετά που θα ληφθεί το πρώτο bit της. Συνολικά λοιπόν ο χρόνος στον οποίο ολοκληρώνεται η μετάδοση ενός πακέτου και της αντίστοιχης επιβεβαίωσης του είναι  $t=20,0012+0,000032\text{msec} = 20,001232\text{msec}$ . Συνεπώς ο ρυθμός με τον οποίο στέλνει

$$\text{bits ο X στον Y είναι : } \frac{1500 * 8}{20,001232} = 599963\text{bits/sec} = 585.9\text{kbps}$$

## Άσκηση 2<sup>η</sup> : Μηχανισμός ελέγχου συμφόρησης του TCP

### Εκφώνηση - ερώτημα Α:

Θεωρείστε μία σύνδεση TCP η οποία στέλνει 12 πακέτα. Κατά τη διάρκεια της μετάδοσης, το 4<sup>ο</sup> πακέτο χάνεται λόγω συμφόρησης. Υποθέστε ότι η επαναμετάδοση του πακέτου είναι επιτυχής και ότι κανένα άλλο πακέτο δεν χάνεται. Προς χάριν απλότητας θεωρείστε επίσης τα ακόλουθα:

- A) Το RTT παραμένει 1sec συνολικά κατά τη διάρκεια της σύνδεσης
- B) Το TCP retransmission timeout counter είναι ίσο με 2sec συνολικά κατά τη διάρκεια της σύνδεσης
- C) Το πρώτο πακέτο στέλνεται την  $t=0$  και ο χρόνος μετάδοσης είναι 0.

Να συμπληρωθεί ο παρακάτω πίνακας αν θεωρηθεί ότι χρησιμοποιείται η έκδοση Vanilla TCP (απουσία ταχείας επαναμετάδοσης (fast retransmit) και ταχείας επαναφοράς (fast recovery) )

### Απάντηση:

Χρονική στιγμή	Φάση του TCP (SS ή AIMD)	Cwnd (αριθμός πακέτων)	SStresh (αριθμός πακέτων)	Πακέτα προς μετάδοση
0	SS	1	inf	1
1	SS	2	inf	2,3
2	SS	4	inf	4,5,6,7
3	Πάγωμα TCP για διάστημα RTO			
4	SS	1	2	4
5	SS	2	2	8,9
6	AIMD	3	2	10,11,12

### Εκφώνηση - ερώτημα Β:

Κάνοντας τις ίδιες υποθέσεις με αυτές του ερωτήματος και θεωρώντας έκδοση TCP **με** ταχεία επαναμετάδοση (fast retransmit) **χωρίς** όμως ταχεία επαναφορά, συμπληρώστε τον ίδιο πίνακα με πριν.

Απάντηση:

Χρονική στιγμή	Φάση του TCP (SS ή AIMD)	Cwnd (αριθμός πακέτων)	SSthresh (αριθμός πακέτων)	Πακέτα προς μετάδοση
0	SS	1	inf	1
1	SS	2	inf	2,3
2	SS	4	inf	4,5,6,7
3	SS	1	2	4
4	SS	2	2	8,9
5	AIMD	3	2	10,11,12

Εκφώνηση – ερώτημα Γ:

Υπολογίστε τη ρυθμαπόδοση για τις δύο προηγούμενες εκδόσεις του TCP μετρούμενη σε πακέτα ανά δευτερόλεπτο. Η ρυθμαπόδοση ορίζεται σαν Αριθμός πακέτων που έχουν αποσταλεί επιτυχώς όπου:

$$T1 - T2$$

T1: η χρονική στιγμή που παραλαμβάνεται η επιβεβαίωση από τον αποστολέα για το τελευταίο πακέτο που είχε στείλει

T2: η χρονική στιγμή αποστολής του πρώτου πακέτου

Υπολογίστε επίσης την βελτίωση στη ρυθμαπόδοση που επιφέρει ο μηχανισμός του ερωτήματος Β σε σχέση με το μηχανισμό του ερωτήματος Α.

Απάντηση:

Για την περίπτωση του Vanilla TCP, χρειάζονται συνολικά 7 βήματα άρα 7 seconds έως ότου λάβει το τελευταίο ack ο αποστολέας συνεπώς στέλνει 12 πακέτα σε 7 seconds κάτι που σημαίνει ότι το throughput είναι 1.714πακέτα ανά δευτερόλεπτο.

Για το μηχανισμό TCP του Β ερωτήματος έχουμε συνολικά 6 δευτερόλεπτα για να σταλούν 12 πακέτα άρα η ρυθμαπόδοση θα είναι 2 πακέτα ανά δευτερόλεπτο.

Η βελτίωση που επιφέρει στη ρυθμαπόδοση η έκδοση Β είναι της τάξεως του 16.86%.

### **Άσκηση 3<sup>η</sup> : Μέση ρυθμαπόδοση ροής TCP**

Εκφώνηση:

Θεωρείστε μία TCP σύνδεση η οποία βρίσκεται διαρκώς στην κατάσταση προσθετικής αύξησης και πολλαπλασιαστικής μείωσης του παραθύρου συμφόρησης (AIMD) και συνεπώς ποτέ δεν εισέρχεται σε κατάσταση slow start. Θεωρείστε το χρόνο του να σταλεί ένα πακέτο και να ληφθεί η αντίστοιχη επιβεβαίωση του ίσο με RTT. Επίσης όλα τα πακέτα που στέλνει η σύνδεση έχουν το ίδιο μέγεθος, ίσο με 1 MSS (maximum segment size). Εν συνεχεία, υποθέστε ότι κάθε φορά όπου το παράθυρο συμφόρησης γίνεται ίσο με w, χάνεται ένα πακέτο. Ζητείται να υπολογιστεί η μέση ρυθμαπόδοση της σύνδεσης

Απάντηση:

Εφόσον εφαρμόζεται αθροιστική αύξηση και πολλαπλασιαστική μείωση του παραθύρου συμφόρησης, τότε κάθε φορά που θα φτάνει στο  $w$ , θα παρατηρείται ένα συμβάν απώλειας, και το παράθυρο θα πέφτει στο μισό, δηλαδή θα γίνεται  $w/2$ .

Όπως έχει ήδη παρουσιαστεί στον μηχανισμό ελέγχου συμφόρησης του TCP, ανά πάσα στιγμή, ο ρυθμός με τον οποίο ο αποστολέας στέλνει δεδομένα εξαρτάται από δύο μεταβλητές, το MSS, και το μέγεθος του παραθύρου συμφόρησης. Συγκεκριμένα ο ρυθμαπόδοση (throughput) του αποστολέα είναι  $= \frac{w * mss}{RTT}$ . Εφόσον στο

συγκεκριμένο πρόβλημα, το MSS είναι σταθερό αυτό που μένει να υπολογιστεί είναι το μέσο μέγεθος του παραθύρου συμφόρησης. Εφόσον ο αποστολέας βρίσκεται διαρκώς σε φάση AIMD, το παράθυρο κινείται μεταξύ  $[w/2, w]$  άρα η μέση τιμή του είναι  $(w/2+w)/2 = 3w/4$ .

Κατά συνέπεια, η μέση ρυθμαπόδοση θα είναι,  $\frac{3 * w * mss}{4 * RTT}$

### Άσκηση 4<sup>η</sup> : Ουρές

#### Εκφώνηση:

Θεωρείστε δύο κόμβους A και B οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός δρομολογητή τύπου store-and-forward (αποθήκευσης και προώθησης) ο οποίος διαθέτει μια ουρά (buffer) άπειρης χωρητικότητας. Υποθέστε επίσης ότι ο σύνδεσμος (link) από τον κόμβο A στον R έχει απεριόριστη χωρητικότητα (χωράει άπειρο ρυθμό αποστολής από τον A) ενώ ο σύνδεσμος από τον R στον B έχει χωρητικότητα 1 Mbps. Αν δεν γίνεται αντίθετη ρητή αναφορά, θεωρείστε ότι δεν υπάρχει κίνηση στο δίκτυο που να προέρχεται από άλλη πηγή εκτός του A.

#### Εκφώνηση - ερωτήματα A,B:

Για το ερώτημα αυτό υποθέστε ότι ο κόμβος A στέλνει στον B 100 πακέτα, ένα ανά 10msec. Το μέγεθος του κάθε πακέτου είναι 125 bytes. Απαντήστε στα ακόλουθα ερωτήματα:

A) Ποιος θα είναι ο μεγαλύτερος αριθμός από πακέτα τα οποία θα βρεθούν να είναι αποθηκευμένα στην ουρά του R?

B) Ποια θα είναι η μέση καθυστέρηση ουράς (queuing delay) που θα παρουσιαστεί στα πακέτα του A τα οποία βρίσκονται αποθηκευμένα στην ουρά του R?

#### Απάντηση - ερώτημα A:

Τα πακέτα που στέλνει ο A αποθηκεύονται προσωρινά στον R και μετα προωθούνται στο σύνδεσμο R-B. Ο χρόνος μετάδοσης ενός πακέτου στον R-B είναι  $d_{trans} = \frac{125 * 8}{10^6} \text{sec} = 10^{-3} \text{sec} = 1 \text{msec}$ . Άρα εφόσον ο A στέλνει ένα πακέτο ανά

10msec, ο σύνδεσμος R-B θα έχει προλάβει να το στείλει άρα ανά πάσα στιγμή θα υπάρχει **το πολύ ένα** πακέτο στην ουρά του R.

#### Απάντηση - ερώτημα B:

Εφόσον ανά πάσα στιγμή θα υπάρχει 1 πακέτο στην ουρά του R αυτό σημαίνει ότι δεν προλαβαίνουν να συσσωρευτούν πολλά άρα επι της ουσίας το **queuing delay** θα είναι **0**.

#### Εκφώνηση - ερωτήματα Γ,Δ:

Για αυτά τα ερωτήματα υποθέστε ότι ισχύουν όλες οι υποθέσεις που έχουν γίνει ως τώρα με τη διαφορά ότι, το μέγεθος του πακέτου είναι 250bytes. Ζητούνται να υπολογιστούν και πάλι:

Γ) Ποιος θα είναι ο μεγαλύτερος αριθμός από πακέτα τα οποία θα βρεθούν να είναι αποθηκευμένα στην ουρά του R?

Δ) Ποια θα είναι η μέση καθυστέρηση ουράς (queuing delay) που θα παρουσιαστεί στα πακέτα του A τα οποία βρίσκονται αποθηκευμένα στην ουρά του R?

Απάντηση - ερώτημα Γ,Δ:

Ο χρόνος μετάδοσης ενός πακέτου 250bytes είναι 2msec που είναι μικρότερος από το διάστημα ανά το οποίο στέλνει πακέτα ο A (10msec) με αποτέλεσμα ανά πάσα στιγμή να υπάρχει το πολύ ένα πακέτο στην ουρά του R και παρομοίως με πριν, το μέσο queuing delay είναι 0.

Εκφώνηση - ερωτήματα E,Z:

Υποθέστε τώρα ότι παρουσιάζονται τυχαίες απώλειες πακέτων στον σύνδεσμο από το A στο R με αποτέλεσμα να χαθούν τα εξής πακέτα: 31<sup>st</sup>, 32<sup>nd</sup>, 33<sup>rd</sup>, 70<sup>th</sup>. Το μέγεθος όλων αυτών των πακέτων είναι 250bytes και κανένα από αυτά τα πακέτα δεν επαναμεταδίδεται. Τα ερωτήματα είναι ξανά:

E) Ποιος θα είναι ο μεγαλύτερος αριθμός από πακέτα τα οποία θα βρεθούν να είναι αποθηκευμένα στην ουρά του R?

Z) Ποια θα είναι η μέση καθυστέρηση ουράς (queuing delay) που θα παρουσιαστεί στα πακέτα του A τα οποία βρίσκονται αποθηκευμένα στην ουρά του R?

Απάντηση - ερώτημα E,Z:

Από τη στιγμή που χάνονται κάποια πακέτα και κάθε πακέτο προλαβαίνει να μεταδοθεί στον R-B προτού έρθει το καινούργιο από τον A η μόνη διαφορά που εισάγει η απώλεια πακέτων είναι ότι απλά θα αυξηθούν τα στιγμιότυπα που θα δείχνουν την ουρά του R άδεια. Επομένως και πάλι ανά πάσα στιγμή θα υπάρχει 1 πακέτο στην ουρά και το μέσο queuing delay θα είναι 0.

## **Άσκηση 5<sup>η</sup> : Μηχανισμός ελέγχου συμφόρησης**

Εκφώνηση:

Για αυτή την άσκηση θεωρείστε ότι κατά τη διάρκεια που το TCP βρίσκεται στη φάση αποφυγής συμφόρησης, το παράθυρο συμφόρησης ενημερώνεται κάθε φορά που ο αποστολέας λαμβάνει ένα ACK σύμφωνα με τον εξής κανόνα:

$Cwnd = cwnd + MSS / \text{Int}(Cwnd / MSS)$  όπου Int μία υποθετική συνάρτηση που επιστρέφει το ακέραιο μέρος ενός αριθμού.

[Ο παραπάνω τρόπος υπολογισμού του παραθύρου συμφόρησης αποφεύγει υπολογισμού που καταλήγουν σε κλασματικές τιμές για το παράθυρο συμφόρησης και έχει προταθεί προκειμένου να διορθώσει διάφορες μη φυσιολογικές περιπτώσεις σχετικά με τον υπολογισμό του Cwnd. ]

Κατά τη διάρκεια του slow start, το TCP ενημερώνει το παράθυρο συμφόρησης σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο κάθε φορά που λαμβάνει μία επιβεβαίωση:  $Cwnd = Cwnd + MSS$ .

Υπενθυμίζεται ότι το TCP δεν πραγματοποιεί καμία αποστολή δεδομένων εάν δεν έχει πριν διαθέσιμο ένα πλήρες segment (TCP πακέτο).

Στις απαντήσεις που ζητείται να συμπληρωθούν στον παρακάτω πίνακα, σαν 14<sup>th</sup> MSS παριστάνεται το πακέτο που περιέχει τα bytes 1401 έως 1500, ενώ το αντίστοιχο ACK του περιέχει στη πεδίο του αριθμούς ακολουθίας του TCP header τον αριθμό 1501 ο οποίος παριστάνει το επόμενο byte που περιμένει ο παραλήπτης.

Θεωρείστε επίσης τα εξής:

- (i) MSS είναι 1000bytes
- (ii) Η τρέχουσα τιμή του cwnd είναι 1000
- (iii) Το SStresh = 4000
- (iv) Όλα τα δεδομένα με αριθμούς bytes έως 16000 έχουν επιβεβαιωθεί (η τελευταία επιβεβαίωση που έλαβε ο παραλήπτης έφερε τον αριθμό ακολουθίας 16001)

Στον παρακάτω πίνακα ζητείται να συμπληρώσετε την τιμή του cwnd και τα υποψήφια προς αποστολή πακέτα για κάθε βήμα της διαδικασίας που εκτελεί το TCP. Σαν μορφή ένδειξης των σωστών απαντήσεων η πρώτη γραμμή του πίνακα είναι ήδη συμπληρωμένη.

<b>Συμβάν: παραλαβή ACK ή RTO timeout</b>	<b>cwnd</b>	<b>Πακέτα προς αποστολή</b>
Ack για 16 <sup>ο</sup> πακέτο	2000	17, 18
Ack για 17 <sup>ο</sup> πακέτο	3000	19,20
Ack για 18 <sup>ο</sup> πακέτο	4000	21, 22
Ack για 19 <sup>ο</sup> πακέτο	4250	23
Ack για 20 <sup>ο</sup> πακέτο	4500	24
Ack για 21 <sup>ο</sup> πακέτο	4750	25
Ack για 22 <sup>ο</sup> πακέτο	5000	26,27
Ack για 23 <sup>ο</sup> πακέτο	5200	28
Ack για 24 <sup>ο</sup> πακέτο	5400	29
Ack για 24 <sup>ο</sup> πακέτο	5400	χ
Ack για 24 <sup>ο</sup> πακέτο	5400	χ
Timeout για το 25 <sup>ο</sup> πακέτο	1000	25