



Ελληνική Δημοκρατία
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό
Ίδρυμα Ηπείρου

Προχωρημένα Θέματα

Προγραμματισμού Δικτύων

Ενότητα 10: Έλεγχος Ροής Κλειστού Βρόχου (2)

Φώτης Βαρζιώτης



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Ανοιχτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Ηπείρου



Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής ΤΕ

Προχωρημένα Θέματα Προγραμματισμού Δικτύων

Ενότητα 10: Έλεγχος Ροής Κλειστού Βρόχου (2)

Φώτης Βαρτζιώτης

Καθηγητής Εφαρμογών

Άρτα, 2015



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.





Χρηματοδότηση

- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «**Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση**» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Ηπείρου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Περιεχόμενα Ενότητας

- Τεχνικές DECbit.
- TCP, NetBLT, Packet-pair.
- ATM Forum End-to-End Rate Control.
- Σύγκριση τεχνικών ελέγχου ροής πακέτων κλειστού βρόχου.
- Υβριδικές τεχνικές ελέγχου ροής πακέτων.



Έλεγχος Ροής Πακέτων Κλειστού Βρόχου “DECbit” (1/3)

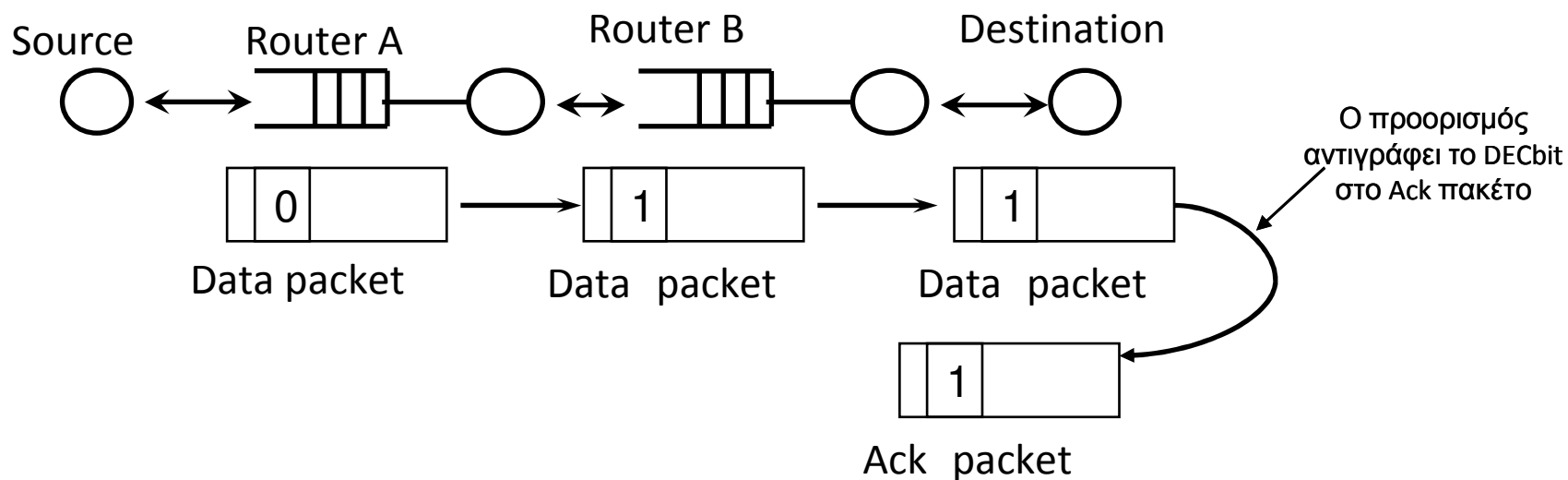
Τεχνική DECbit

- Κάθε πακέτο διαθέτει ένα bit σημαία στην κεφαλίδα.
- Οι ενδιάμεσοι δρομολογητές θέτουν το bit αν έχει δημιουργηθεί ουρά,
 - το παράθυρο της πηγής είναι πολύ μεγάλο.
- Ο παραλήπτης, αντιγράφει το bit στο ack που επιστρέφει στην πηγή.
- Αν έχει τεθεί το bit, η πηγή μειώνει το μέγεθος του παραθύρου.
- Τελικά, το μέγεθος παραθύρου ταλαντώνεται γύρω από την μέγιστη τιμή.



Έλεγχος Ροής Πακέτων Κλειστού Βρόχου "DECbit" (2/3)

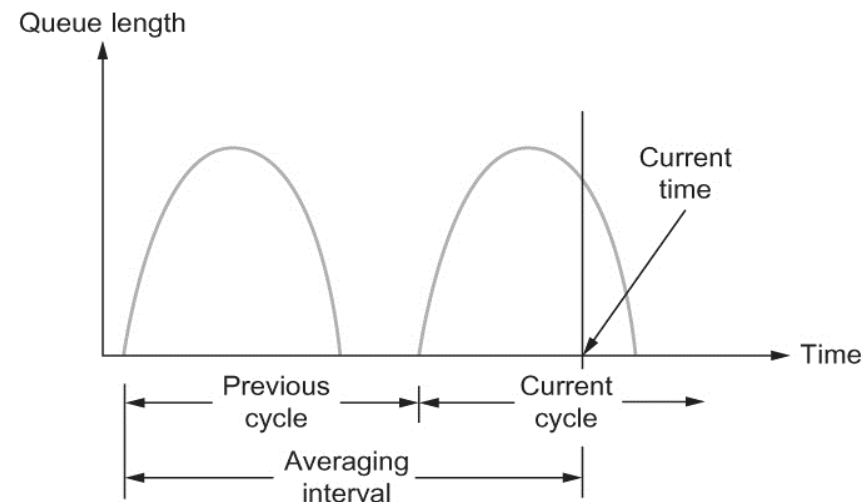
- Λειτουργία του DECbit





Έλεγχος Ροής Πακέτων Κλειστού Βρόχου “DECbit” (3/3)

- Πότε οι ενδιαμέσοι δρομολογητές θέτουν το bit (flag);
- Ο δρομολογητής μετρά:
 - Την ζήτηση σε εύρος ζώνης μιας πηγής και
 - το μέσο μήκος ουράς που σχηματίζεται από το σύνολο των πηγών.
- Οι υπολογισμοί γίνονται σε κύκλους «αναγέννησης» της ουράς.
- Επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ ευαισθησίας και σταθερότητας.





Ενέργειες δρομολογητή

- Αν το μέσο μήκος ουράς > 1.0 :
 - Θέσε το bit των πηγών που η ζήτησή τους ξεπερνά το μερίδιό τους όπως αυτό προκύπτει από τον max-min fair,
- Αν ξεπερνά το 2.0:
 - Θέσε τα bits όλων των πηγών,
 - «Κατάσταση Ανάγκης!».



Ενέργειες Πηγής

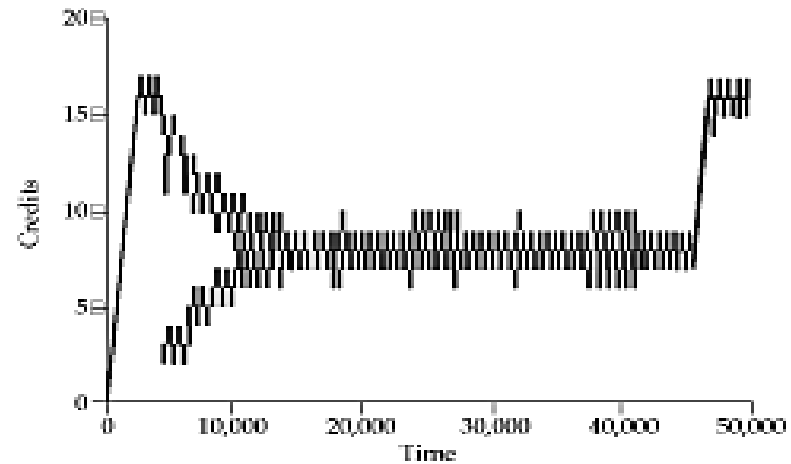
Η πηγή

- Επιτηρεί την τιμή του bit στο Ack,
- Σε περίπτωση που κάποιο bit έχει τεθεί, η πηγή δεν ενεργεί άμεσα,
- Περιμένει ώστε η προηγούμενη αλλαγή να επιδράσει στο σύνολο του μονοπατιού,
- Μετρά τον αριθμό bits που ισούται με:
 προηγούμενο + τρέχων μέγεθος παραθύρου ($2RTT$),
- Αν πάνω από 50% των bits έχουν τεθεί,
 - τότε μειώνει το παράθυρο,
 - αλλιώς το αυξάνει,
- Το παράθυρο
 - αυξάνεται αθροιστικά (κατά 1 πακέτο ανά $2 RTT$) και
 - μειώνεται πολλαπλασιαστικά (π.χ. $* 0.875$)



Πλεονεκτήματα της τεχνικής DECbit

- Μπορεί να εφαρμοστεί:
 - με απλή FIFO και
 - δεν απαιτείται η διατήρηση ουράς ανά σύνδεση.
- Υλοποίηση στα “endpoints” με λογισμικό
 - Δεν απαιτεί πρόσθετο εξοπλισμό.
- Σταθερότητα





Μειονεκτήματα της τεχνικής DECbit

- Προϋποθέτει συνεργασία της πηγής
 - μια «άπληστη» πηγή μπορεί να επηρεάσει όλες τις άλλες πηγές με τις οποίες μοιράζεται τους πόρους ενός δρομολογητή.
- Είναι συντηρητική
 - αύξησης του μεγέθους του παραθύρου μετάδοσης κατά 1.



Παράδειγμα (1/2)

- Έστω μια σύνδεση με RTT ίσο με 60 ms, το οποίο αντιστοιχεί σε ένα διηπειρωτικό μονοπάτι, ρυθμό εξυπηρέτησης της πηγής 5 Mbps και μέσο μέγεθος πακέτου 500 bytes.
 - A) Να βρεθεί το βέλτιστο παράθυρο,
 - B) Μπορεί να μεταφερθεί ένα αρχείο μεγέθους 3.5 MByte με τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης της πηγής (Γιατί);



Παράδειγμα (2/2)

Λύση

A) Το βέλτιστο παράθυρο για την παραπάνω σύνδεση είναι:

$$w = 5 * 106 * 60 * 10^{-3} = 300 \text{ kbits } \acute{\eta}$$

$$w = 300 \text{ kbits} / (500 * 8 \text{ bits} / \text{πακέτο}) = 75 \text{ πακέτα}$$

B) Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, η πηγή χρειάζεται:

$$150 \text{ RTT} = 150 * 60 * 10^{-3} = 9 \text{ sec}$$

για να φτάσει το μέγεθος του βέλτιστου παραθύρου.

Συνεπώς, το αρχείο θα έχει μεταφερθεί πριν η πηγή προλάβει να στείλει με το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης που υποστηρίζει.



Έλεγχος Ροής Πακέτων Κλειστού Βρόχου στο “TCP”

Μια TCP πηγή έχει:

- Εσωτερική επιτήρηση
- Δυναμικό παράθυρο
- Έλεγχο end-to-end

Εμφανίζει ομοιότητες με DECbit, αλλά

- Δεν υποστηρίζεται από δρομολογητές
- Προσθετική αύξηση ρυθμού μετάδοσης αν δεν υπάρχουν απώλειες
 - Ανίχνευση με timeout
- Πολλαπλασιαστική μείωση παραθύρου
 - Σε περίπτωση timeout



Περιγραφή Λειτουργίας TCP

- Το παράθυρο ξεκινά με μέγεθος 1
- Αυξάνεται εκθετικά για λίγο, μετά γραμμικά
 - εκθετικά => διπλασιάζεται σε κάθε RTT.
 - γραμμικά => αυξάνεται κατά 1 κάθε RTT.
- Διάρκεια εκθετικής φάσης,
 - κάθε ack επιφέρει αύξηση στο μήκος παραθύρου κατά 1.
- Διάρκεια γραμμικής φάσης
 - το παράθυρο αυξάνεται κατά 1 όταν:
$$\# acks = \text{Μήκος Παραθύρου}$$



Περιγραφή Λειτουργίας TCP

Εκθετική φάση: *slow start*

Γραμμική φάση: *congestion avoidance*

- Απώλεια;
 - *slow start threshold* (ή *ssthresh*) = τρέχον μήκος παραθύρου.
- Μετάβαση από εκθετική σε γραμμική φάση:
 - όταν το μέγεθος παραθύρου φθάσει ένα προκαθορισμένο όριο.
- Ανίχνευση απωλειών:
 - είτε με *timeout*.
 - είτε με *fast retransmit* (διπλά acks).



Εκδόσεις TCP

Υπάρχουν δύο εκδόσεις TCP

– Tahoe:

- Αν υπάρχουν απώλειες (είτε με timeout είτε με fast retransmit) κάνει το παράθυρο 1.

– Reno:

- σε timeout, κάνει το παράθυρο 1,
- σε fast retransmit κάνει το παράθυρο ίσο με το μισό του προηγούμενου.



Σύγκριση TCP και DECbit

- Και οι δυο χρησιμοποιούν δυναμικό παράθυρο και αθροιστική αύξηση / πολλαπλασιαστική μείωση παραθύρου.
- Η TCP χρησιμοποιεί εσωτερικό μηχανισμό μέτρησης συμφόρησης
 - δοκιμή με “μαύρο κουτί”.
- Η TCP δεν φιλτράρει την πληροφορία.
- Η DECbit την φιλτράρει.
- Η TCP λειτουργεί στο όριο των διαθέσιμων πόρων του δικτύου.

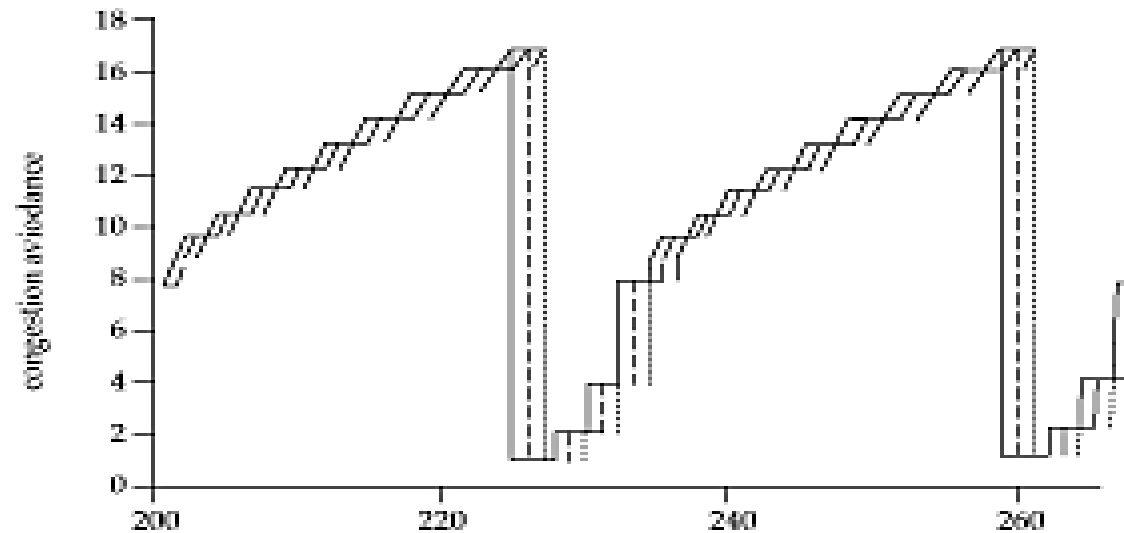


Αποτίμηση TCP

- Δυνατότητες
 - λειτουργεί αποτελεσματικά για κάθε απαιτούμενο εύρος ζώνης,
 - υπάρχει μεγάλη εμπειρία λειτουργία της σε πραγματικά δίκτυα.
- Αδυναμίες
 - απώλειες; Στα ασύρματα δίκτυα δεν συνεπάγεται πρόσθετη πληροφορία
 - υπερφόρτωση δικτύου; => αυτό – τιμωρία των TCP πηγών.
Πρόβλημα με δρομολογητές που εφαρμόζουν FCFS.
 - η υπερφόρτωση ανιχνεύεται μόνο με απώλειες.
 - και σε σταθερή κατάσταση, απώλειες για διάφορους λόγους.
 - ευαισθησία στις αρχικές τιμές των παραμέτρων (π.χ. *ssthresh*).
 - χρειάζεται τουλάχιστον $bR/3$ buffers ανά σύνδεση.



Μήκος Παραθύρου σε TCP-Tahoe



Συμπεριφορά τριών πηγών σε TCP-Tahoe



TCP Vegas

η πηγή υπολογίζει τον αναμενόμενο ρυθμό μετάδοσης πακέτων:

*Αναμενόμενος Ρυθμός Μετάδοσης =
Μέγεθος Παραθύρου Μετάδοσης / Καθυστέρηση Μετάδοσης*

- Μέγεθος Παραθύρου Μετάδοσης: είναι γνωστό
- Καθυστέρηση Μετάδοσης: μετράται το ελάχιστο RTT.
- Πραγματικός Ρυθμός Μετάδοσης: είναι επίσης γνωστός

- Διαφορά (αναμενόμενου και πραγματικού ρυθμού μετάδοσης)
 - πόσο πρέπει να αυξήσουμε ή να ελαττώσουμε τον ρυθμό μετάδοσης.



Αλγόριθμος TCP Vegas (1/2)

- Στέλνεται ένα δοκιμαστικό πακέτο,
- Όταν ληφθεί ack, υπολογίζεται
 - ο αναμενόμενος (e) και
 - ο πραγματικός (a) ρυθμός μετάδοσης,
- Υπολογίζεται η διαφορά $e - a$,
- Αν $e < a$, τότε αναπροσαρμογή ρυθμού μετάδοσης
 - καθώς η καθυστέρηση θεωρείται πολύ μεγάλη.



Αλγόριθμος TCP Vegas (2/2)

- Αν $e > a$, τότε συμφόρηση
 - τα $(e-a) * RTT$ πακέτα που μεταδοθήκαν στον προηγούμενο RTT είναι ακόμη σε buffer του κόμβου συμφόρησης.
- Αν ο αριθμός των πακέτων είναι μεταξύ των τιμών a και β (τιμές που επιλέγει ο χρήστης),
 - τότε το παράθυρο μετάδοσης δεν μεταβάλλεται.
- Διαφορετικά γίνεται προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης,
 - ώστε στο επόμενο RTT ο αναμενόμενος αριθμός των πακέτων στον buffer να είναι εντός ορίων.

Ο αλγόριθμος TCP Vegas είναι καλύτερος από τον TCP Reno.



Έλεγχος Ροής Πακέτων Κλειστού Βρόχου “NETBLT”

Πρώτο σχήμα ελέγχου ροής πακέτων κλειστού βρόχου.

- Διαχωρίζει:

- το *Παράθυρο Ελέγχου Σφαλμάτων* και
- το *Παράθυρο Μετάδοσης*.

- Αποτέλεσμα:

- απώλειες πακέτων που δεν σχετίζονται με την υπερφόρτωση του δικτύου και
- επαναμεταδόσεις πακέτων *δεν επηρεάζουν τον ρυθμό*.

- Αργή προσαρμογή αφού υποστηρίζει αλλαγή ρυθμού μόνο μια φορά ανά buffer.



NETBLT

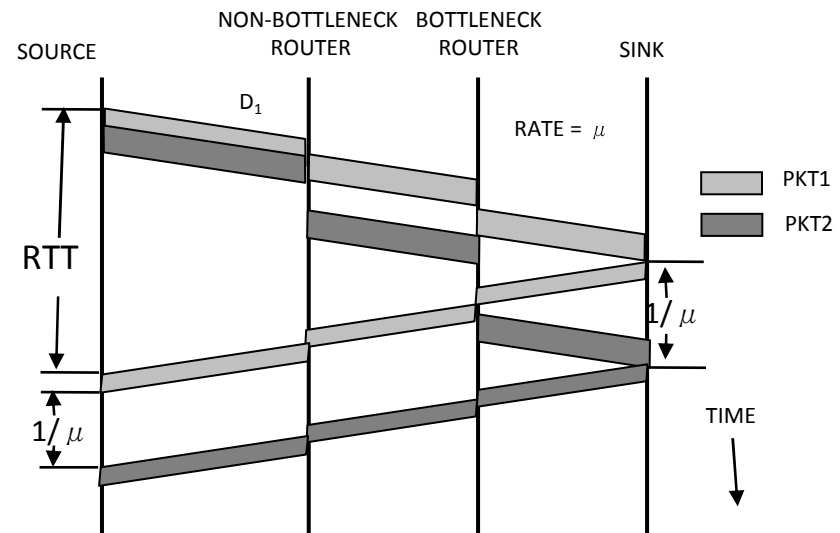
Λειτουργία NETBLT

- Τα δεδομένα της εφαρμογής στέλνονται σε σειρές από *buffers*
 - κάθε *buffer* έχει το δικό του ρυθμό.
- $\text{Ρυθμός} = \text{μέγεθος ριπής} + \text{ρυθμός ριπών}$
- Συνεπώς, μονάδα ελέγχου του ρυθμού είναι πια η ριπή.
- Αρχικά, καμία προσαρμογή στο ρυθμό μετάδοσης.
- Στη συνέχεια, αν ρυθμός λήψης $<$ ρυθμού αποστολής:
 - μείωση του ρυθμού μετάδοσης πολλαπλασιαστικά.



Έλεγχος Ροής Πακέτων Κλειστού Βρόχου “Packet-pair” (1/2)

- Βελτιώνει βασικές ιδέες της NETBLT:
 - Καλύτερες μετρήσεις στον κόμβο συμφόρησης,
 - Έλεγχο βασισμένο στην πρόβλεψη,
 - Έλεγχο με μεγαλύτερη ακρίβεια.





Έλεγχος Ροής Πακέτων Κλειστού Βρόχου “Packet-pair” (2/2)

- Υπόθεση: όλοι οι κόμβοι συμφόρησης εξυπηρετούν πακέτα με σειρά “Round Robin”.
- Τότε, τα διαστήματα άφιξης μεταξύ των πακέτων στον παραλήπτη:
 - διαστήματα μεταξύ $ack = 1 / (\text{Ρυθμό του πιο αργού εξυπηρετητή})$.
- Θεωρεί ότι όλα τα δεδομένα στέλνονται σαν ζεύγη πακέτων
 - δεν γίνεται διάκριση μεταξύ δεδομένων και πακέτων ελέγχου.
- «εσωτερικά» αποφασίζει ποιοι πρέπει να είναι οι ρυθμοί μετάδοσης αν οι εξυπηρετητές είναι τύπου round-robin.

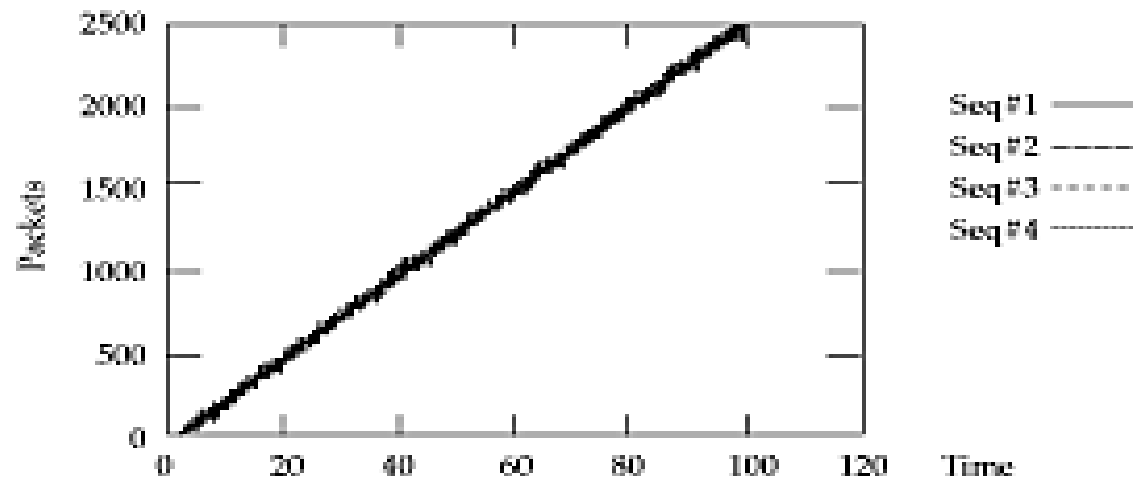


Έλεγχος Ροής Πακέτων Κλειστού Βρόχου “Packet-pair”

- τα *acks* καθορίζουν τον ρυθμό εξυπηρέτησης των πακέτων στην πάροδο του χρόνου.
- Χρησιμοποιούνται (τα *acks*) για την πρόβλεψη του επόμενου αποδεκτού ρυθμού.
- Χρησιμοποιείται ένας εκθετικός μηχανισμός (Exponential averager),
 - με κανόνες fuzzy για επιλογή των παραμέτρων (averaging factor).
- Οι προβλεπόμενοι ρυθμοί υπεισέρχονται στην εξίσωση του ελέγχου ροής πακέτων.



Απόδοση Packet-pair





ATM Forum End-to-End Rate Control

- Εφαρμόζεται σε ATM δίκτυα
- Είναι παρόμοια με την τεχνική DECbit,
 - όμως παράγει ολόκληρο κελί αντί για ένα bit.
- Οι πηγές περιοδικά στέλνουν ένα κελί «διαχείρισης πόρων» (Resource Management - RM) με ένα αίτημα για συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης.
 - Τυπικά ένα κάθε 32 κελιά.
- Κάθε εξυπηρετητής επιστρέφει ένα RM κελί με τον ρυθμό που έχει αποδοθεί, αν είναι μικρότερος του αιτήματος.
- Η πηγή στέλνει με τον δοσμένο ρυθμό.



Σύγκριση End-to-End Rate Control με τεχνική DECbit

Συγκριτικά με την τεχνική DECbit,

- η πηγή γνωρίζει τον ακριβή ρυθμό μετάδοσης,
- η σύνδεση δεν ξεκινά με μηδενικό αρχικός ρυθμός μετάδοσης.
- Συνεπώς, το πρόβλημα της αργής αύξησης του ρυθμού μετάδοσης μπορεί να αποφευχθεί.



Σύγκριση Τεχνικών Ελέγχου Ροής Πακέτων Κλειστού Βρόχου

Ποια είναι η καλύτερη τεχνική;

- Μπορούν να τεθούν ορισμένοι κανόνες
 - Ο έλεγχος ροής πακέτων είναι ευκολότερος όταν εφαρμόζεται “Round Robin” προγραμματισμός πόρων
 - Διαφορετικά, απαιτείται υποθετική συνεργασία πηγών ή εποπτεία του ρυθμού μετάδοσης
 - Τα «εξωτερικά» σχήματα είναι ανθεκτικότερα.
 - Τα hop-by-hop σχήματα:
 - άμεση απόκριση,
 - αλλά πιο περίπλοκα.
 - Απαιτείται σαφής διαχωρισμός μεταξύ Ελέγχου Σφαλμάτων και Ελέγχου Ροής Πακέτων.
 - Τα σχήματα που βασίζονται στον ρυθμό είναι “de facto” ασταθή εκτός αν μελετηθούν σωστά.



Υβριδικές Τεχνικές Ελέγχου Ροής Πακέτων

- Οι υβριδικές τεχνικές ελέγχου ροής πακέτων:
 - εξασφαλίζουν έναν ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης,
 - μπορούν να τον αυξήσουν αν το επιτρέπουν οι πόροι του δικτύου.
- Έχουν όλα τα προβλήματα των τεχνικών ανοιχτού και κλειστού βρόχου.
- Πρόβλημα διαμοιρασμού πόρων:
 - τι ποσοστό των πόρων του δικτύου πρέπει να αποδοθεί σε μια σύνδεση και
 - πως;



Βιβλιογραφία

L.Peterson, B. Davie, (2009), Δίκτυα Υπολογιστών: Μια προσέγγιση από τη σκοπιά των συστημάτων, Εκδ.

Κλειδάριθμος.

Keshav, S., (1997), An Engineering Approach to Computer Networking, Εκδ. Addison – Wesley.



Σημείωμα Αναφοράς

Βαρτζιώτης Φ. (2015). Προχωρημένα Θέματα Προγραμματισμού Δικτύων.
ΤΕΙ Ηπείρου, Διαθέσιμο από:
<http://eclass.teiep.gr/courses/COMP120/>





Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 Διεθνές [1] ή μεταγενέστερη. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, Διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.el>



Τέλος Ενότητας

Επεξεργασία: Μαργαρίτη Σπυριδούλα
Άρτα, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Τέλος Ενότητας

Έλεγχος Ροής Κλειστού Βρόχου (2)



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

