



Ελληνική Δημοκρατία  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό  
Ίδρυμα Ηπείρου

# Προχωρημένα Θέματα

## Προγραμματισμού Δικτύων

### Ενότητα 5: ΠΠΔ για “Guaranteed-Service” συνδέσεις

Φώτης Βαρζιώτης



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής ΤΕ

## Προχωρημένα Θέματα Προγραμματισμού Δικτύων

Ενότητα 5: ΠΠΔ για “Guaranteed-Service” συνδέσεις

Φώτης Βαρτζιώτης

Καθηγητής Εφαρμογών

Άρτα, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# 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



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



# Περιεχόμενα Ενότητας

- WFQ και θεώρημα Parekh-Gallager.
- Earliest-due-date τεχνική.
- Rate-controlled scheduling.

# *Guaranteed-service* συνδέσεις

- Συνδέσεις best-effort
  - στόχος η δίκαιη κατανομή πόρων.
- Συνδέσεις guaranteed-service
  - Στόχοι:
    - a) να δοθούν εγγυήσεις σχετικά με την απόδοση μιας σύνδεσης,
    - b) να υλοποιεί εύκολα και αποτελεσματικά το "admission control".



# WFQ

- Αποδεικνύεται ότι:
  - η μέθοδος WFQ παρέχει και εγγυήσεις στην απόδοση μιας σύνδεσης.
- Εγγυήσεις στο εύρος ζώνης:
  - λόγος των βαρών \* Χωρητικότητα Γραμμής,
  - π.χ. έστω τρεις συνδέσεις με βάρη 1, 2, 7 και χωρητικότητα γραμμής 10 μονάδων.
  - κάθε σύνδεση κατέχει 1, 2 και 7 μονάδες b/w
- Εγγυήσεις για την καθυστέρηση μετάδοσης (End-to-end delay):
  - θεωρεί ότι η σύνδεση δεν είναι άπληστη,
  - διαφορετικά τα παραπάνω πακέτα μένουν στις ουρές.
  - η σύνδεση ρυθμίζεται με τη χρήση ενός *leaky-bucket*.

# Θεώρημα Parekh-Gallager

- Έστω μια σύνδεση κατά μήκος ενός μονοπατιού,
  - ο κάθε προγραμματιστής πόρων WFQ της αποδίδει βάρη,
  - το ελάχιστο εύρος ζώνης που χρησιμοποιεί έστω  $g$ .
- η σύνδεση ρυθμίζεται με leaky-bucket ( $\sigma, g$ ),
- το μονοπάτι περιλαμβάνει  $K$  προγραμματιστές, όπου ο  $k$ ος προγραμματιστής εξυπηρετεί με ρυθμό  $r(k)$
- το μεγαλύτερο επιτρεπόμενο πακέτο στο δίκτυο είναι  $P$ , τότε:

$$\text{end\_to\_end\_delay} \leq \sigma / g + \sum_{k=1}^{K-1} P / g + \sum_{k=1}^K P / r(k)$$





# Συμπεράσματα

- Το Parekh-Gallager θεώρημα αποδεικνύει ότι η WFQ παρέχει end-to-end delay εγγυήσεις.
- Άρα:
  - η WFQ παρέχει δίκαια κατανομή πόρων και
  - εγγυήσεις για την απόδοση των συνδέσεων.
- Το end-to-end delay όριο είναι ανεξάρτητο:
  - από τον φόρτο του δικτύου και
  - από την συμπεριφορά των συνδέσεων (άπληστες ή μη).
- Μπορεί να γενικευτεί για δίκτυα,
  - με διαφοροποιημένες υλοποιήσεις της WFQ,
  - με ρυθμούς εξυπηρέτησης γραμμής που μεταβάλλονται με τον χρόνο.



# Πρόβλημα

- Για να παρέχει όριο καθυστέρησης απαιτεί συγκεκριμένο  $g$ :
  - μικρότερη καθυστέρηση => μεγαλύτερο  $g$ ,
  - μεγάλο  $g$  => Απόρριψη πολλών συνδέσεων στη γραμμή).
  - Ο ρυθμός  $g$  μπορεί να είναι πολύ μεγάλος,
    - έως και 80 φορές μεγαλύτερος από τον επιθυμητό μέγιστο ρυθμό μετάδοσης της σύνδεσης.
- Οι πηγές πρέπει να ρυθμίζονται μέσω ενός μηχανισμού leaky-bucket.
  - Η επιλογή των παραμέτρων του leaky-bucket μπορεί να αποδειχθεί προβληματική.
- Η τεχνική WFQ συσχετίζει την καθυστέρηση με το εύρος ζώνης.
  - Μικρή καθυστέρηση => απαιτείται μεγάλο bandwidth,
  - ασύμφορη προσέγγιση για low-bandwidth low-delay πηγές.



# Παράδειγμα

- Έστω σύνδεση σε ένα δίκτυο με παραμέτρους Leaky-bucket  $(\sigma, \rho) = (16384 \text{ Bytes}, 150 \text{ Kbps})$ . Τα πακέτα της σύνδεσης διατρέχουν ένα μονοπάτι που περιλαμβάνει  $K=10$  WFQ κόμβους. Οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων έχουν όλες την ίδια χωρητικότητα  $C=45 \text{ Mbps}$ . Αν το μέγιστο μέγεθος πακέτου που επιτρέπεται να εισέλθει στο δίκτυο είναι  $P=8192 \text{ Bytes}$ , ποιο είναι το ελάχιστο εύρος ζώνης που πρέπει να δεσμεύσει ο WFQ ΠΠΔ για την σύνδεση προκειμένου να εγγυηθεί ένα end-to-end delay όριο  $100 \text{ ms}$  στα πακέτα της. Θεωρείστε ότι καθυστέρηση διάδοσης κατά μήκος του μονοπατιού είναι  $30 \text{ ms}$ .



# Παράδειγμα (1/3)

## Λύση

- καθυστέρηση: καθυστέρηση διάδοσης + καθυστέρηση λόγω αναμονής / επεξεργασίας σε κάθε κόμβο.

$$d_{\text{total}} = d_{\text{propagation}} + d_{\text{Queuing}}$$

- καθυστέρηση διάδοσης
  - εξαρτάται μόνο από την φυσική υλοποίηση των γραμμών του δικτύου.
- ένας ΠΠΔ μπορεί να επηρεάσει την καθυστέρηση μετάδοσης μόνο με την προσαρμογή της καθυστέρησης λόγω αναμονής / επεξεργασίας του πακέτου σε κάθε κόμβο.



# Παράδειγμα (2/3)

- Επιθυμητό:
  - μέγιστη καθυστέρηση μετάδοσης : 100 ms
  - ο απαιτούμενος χρόνος διάδοσης: 30 ms,

- *Επομένως*

$$\begin{aligned}d_{\text{Queuing}} &= d_{\text{total}} - d_{\text{propagation}} \\ &= 100 - 30 = 70\text{ms}\end{aligned}$$



# Παράδειγμα (3/3)

- Το ελάχιστο εύρος ζώνης,  $g$ , για  $d_{Queueing}=70ms$ , προκύπτει από την σχέση:

$$d_{Queueing} = \sigma / g + \sum_{k=1}^{K-1} P / g + \sum_{k=1}^K P / r(k)$$

$$70 \cdot 10^{-3} = \frac{16384 \cdot 8}{g} + 9 \cdot \frac{8192 \cdot 8}{g} + 10 \cdot \frac{8192 \cdot 8}{g} \Rightarrow$$

$$g = 12.87 \text{ Mbps}$$



# Παράδειγμα- Παρατηρήσεις

## Παρατηρήσεις

- Με βάση το αποτέλεσμα πρέπει να δεσμευτούν 86 φορές περισσότερους πόρους από το μέσο ρυθμό μετάδοσης της πηγής που είναι 150 Kbps προκειμένου να εξασφαλίσουμε το επιθυμητό end-to-end delay όριο των 100 ms.
- Αυτό συμβαίνει γιατί:
  - ο όρος  $(K-1) \times (P_{max}/g)$  συνεισφέρει περίπου τα 45.4 ms στα 70ms του ορίου
  - και ο όρος  $K \times (P_{max}/r)$  άλλα 14.5 ms.
  - Ο όρος  $\sigma/g$  συνεισφέρει μόλις 10.07 ms.
- Συμπέρασμα
  - η αποστολή μεγάλων πακέτων μέσω ενός δικτύου επιδρά σημαντικά στην καθυστέρηση μετάδοσης των πακέτων του δικτύου.



# Delay-Earliest Due Date

## Τεχνική Earliest-Due-Date (EDD)

- σε κάθε πακέτο δίνεται μια ημερομηνία λήξης (deadline).
- επιλέγεται για εξυπηρέτηση το πακέτο με την κοντινότερη ημερομηνία λήξης
- $Deadline = Προβλεπόμενος\ χρόνος\ άφιξης + delay\ bound$
- Delay-EDD **προδιαγράφει** τον τρόπο απόδοσης των deadlines στα πακέτα:
  - Αν μια πηγή στέλνει γρηγορότερα του συμβολαίου σύνδεσης,
  - τότε για τα επιπλέον πακέτα δεν εφαρμόζεται το '*delay bound*'.
- Κάθε πακέτο λαμβάνει αυστηρώς καθορισμένη καθυστέρηση μετάδοσης (hard delay bound).
- Το '*delay bound*' είναι ανεξάρτητο του εύρους ζώνης.
  - για κάθε σύνδεση, πρέπει να δεσμεύεται χωρητικότητα ίση με το *peak rate* της.
- Η υλοποίηση της τεχνικής Delay-EDD απαιτεί:
  - πληροφορία κατάστασης ανά σύνδεση και
  - ύπαρξη ουράς προτεραιότητας.





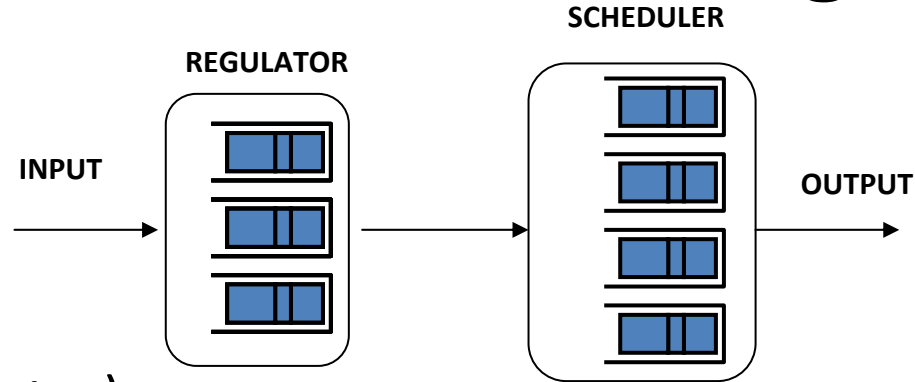
# Rate-controlled scheduling

## Αποτελεί κλάση τεχνικών ΠΠΔ

- Περιλαμβάνει δύο μηχανισμούς:
  - Το ρυθμιστή (Regulator)
  - Και τον προγραμματιστή (Scheduler)
- Τα εισερχόμενα πακέτα τοποθετούνται στον ρυθμιστή και περιμένουν να γίνουν αποδεκτά (eligible).
- Μετά εισέρχονται στον προγραμματιστή και εξυπηρετούνται.



# Μηχανισμοί Rate-controlled scheduling



- Ο ρυθμιστής (Regulator)
  - μορφοποιεί την ροή των πακέτων σύμφωνα με τους περιορισμούς,
- Ο προγραμματιστής (Scheduler)
  - παρέχει εγγυήσεις ως προς την καθυστέρηση μετάδοσης ή/και το εύρος ζώνης της σύνδεσης.



# Rate-controlled scheduling

## Παραδείγματα (1/2)

- Η "Rate-jitter regulator":
  - Οριοθετεί το μέγιστο ρυθμό εξόδου,
- Η "Delay-jitter regulator":
  - Οριοθετεί την καθυστέρηση μετάδοσης ενός πακέτου βάσει της καθυστέρησης στον προηγούμενο κόμβο,
- Η "Rate-jitter regulator + FIFO":
  - Παρόμοια με Delay-EDD,
- Η "Rate-jitter regulator + Multi-priority FIFO":
  - Δίνει εγγυήσεις σε εύρος ζώνης και καθυστέρηση,
- Η "Delay-jitter regulator + EDD":
  - Δίνει εγγυήσεις σε εύρος ζώνης, καθυστέρηση και διακύμανση στην καθυστέρηση.



# Rate-controlled scheduling- Παραδείγματα (2/2)

- Η "Rate-controlled scheduling" προσφέρει δυνατότητα αποσύζευξης
  - εύρους ζώνης
  - και καθυστέρησης μετάδοσης.
- σε μια low-bandwidth σύνδεση παρέχει
  - μικρή καθυστέρηση μετάδοσης
  - χωρίς σπατάλη εύρους ζώνης.



# Παράδειγμα

- Έστω σύνδεση A με ρυθμό αποστολής δεδομένων 64 Kbps σε έναν δρομολογητή με Rate-jitter regulation and Multipriority FCFS scheduling.
  - αφού σταλεί ένα πακέτο μεγέθους  $l$ ,
  - το επόμενο πακέτο είναι αποδεκτό (eligible) σε χρόνο  $t_{\text{Αφιξη}} + l/64 \text{ Kbps}$ .
  - αν στη συνέχεια, τα πακέτα της A τοποθετούνται σε ουρά υψηλής προτεραιότητας του προγραμματιστή, όλα τα πακέτα της θα λαμβάνουν χαμηλή καθυστέρηση μετάδοσης.



# Πλεονεκτήματα

## Rate-controlled scheduling

- Ευελιξία..
- Αποσύζευξη εγγυήσεων ( εύρος ζώνης – καθυστέρηση).
- Εύκολος υπολογισμός 'end-to-end delay' ορίων.
- Ο προγραμματιστής δεν είναι περίπλοκος.
- Παρέχει εγγύηση στην διακύμανση της καθυστέρησης.



# Μειονεκτήματα

## Rate-controlled scheduling

- Απαιτείται πρόσθετος ρυθμιστής σε κάθε θύρα εξόδου δρομολογητή.
- Όρια delay-jitter- αυξημένη μέση καθυστέρηση μετάδοσης.
- Η μέθοδος Delay-jitter regulation είναι ακριβή (clock synch, timestamps).



# 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

ΠΠΔ για “Guaranteed-Service” συνδέσεις



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

