



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Δίκτυα Επικοινωνίας Υπολογιστών

Ενότητα 3: Εισαγωγή

Μιχαήλ Λογοθέτης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Συνιστώμενο Βιβλίο:

*Δικτύωση Υπολογιστών
Προσέγγιση από Πάνω προς τα Κάτω*

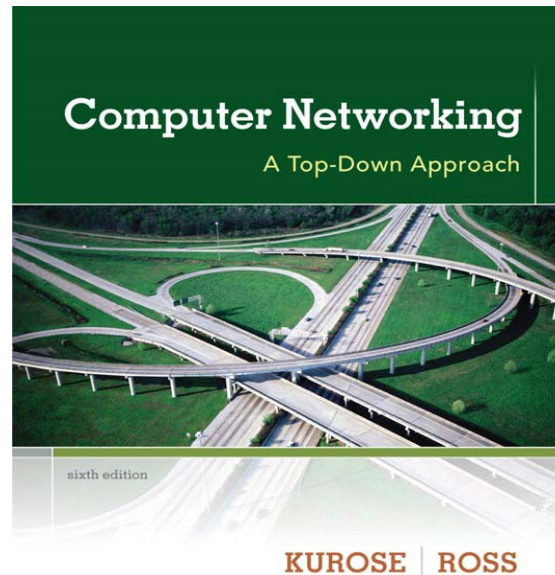
KUROSE | ROSS

Τίτλος στην Αγγλική: Computer Networking: A Top-Down Approach

Επιμέλεια Ελληνικής Μετάφρασης: Μαυρίδης Ιωάννης - Φουληράς Παναγιώτης

Εκδόσεις : Μ. Γκιούρδας

Έκτη Έκδοση



Η πλειονότητα των διαφανειών της 3^{ης} ενότητας αποτελούν προσαρμογή και απόδοση στα ελληνικά των διαφανειών του 1^{ου} κεφαλαίου που συνοδεύουν το βιβλίο «Computer Networking: A Top-Down Approach» J.F Kurose and K.W. Ross, 6/E, Addison-Wesley (**Copyright © Pearson Education Inc**).

Η παρούσα προσαρμογή βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε απόδοση των διαφανειών αυτών στα ελληνικά, την επιμέλεια της οποίας είχε ο καθηγητής του Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, κ. Λάζαρος Μεράκος.



Σκοποί ενότητας

- Περιγραφή των εννοιών «απώλειες πακέτων» και «καθυστέρηση πακέτων»
- Περιγραφή των βασικών συνιστωσών καθυστέρησης ενός πακέτου
- Περιγραφή της έννοιας «διεκπεραιωτική ικανότητα»



Περιεχόμενα ενότητας

- Καθυστερήσεις πακέτων
- Τέσσερις συνιστώσες καθυστέρησης πακέτου
- Καθυστερήσεις και δρόμοι στο Διαδίκτυο
- Απώλεια πακέτων
- Διεκπεραιωτική ικανότητα



Κεφάλαιο 1: Περιεχόμενα

1.1 Τι είναι το Διαδίκτυο?

1.2 Περιφέρεια δικτύου (network edge)

- Τερματικά συστήματα, δίκτυα πρόσβασης, ζεύξεις

1.3 Πυρήνας δικτύου (network core)

- Μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος, δομή δικτύου

1.4 Απώλειες, καθυστέρηση, διεκπεραιωτική ικανότητα στα δίκτυα

1.5 Στρώματα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών (service models)

1.6 Δίκτυα υπό επίθεση: ασφάλεια

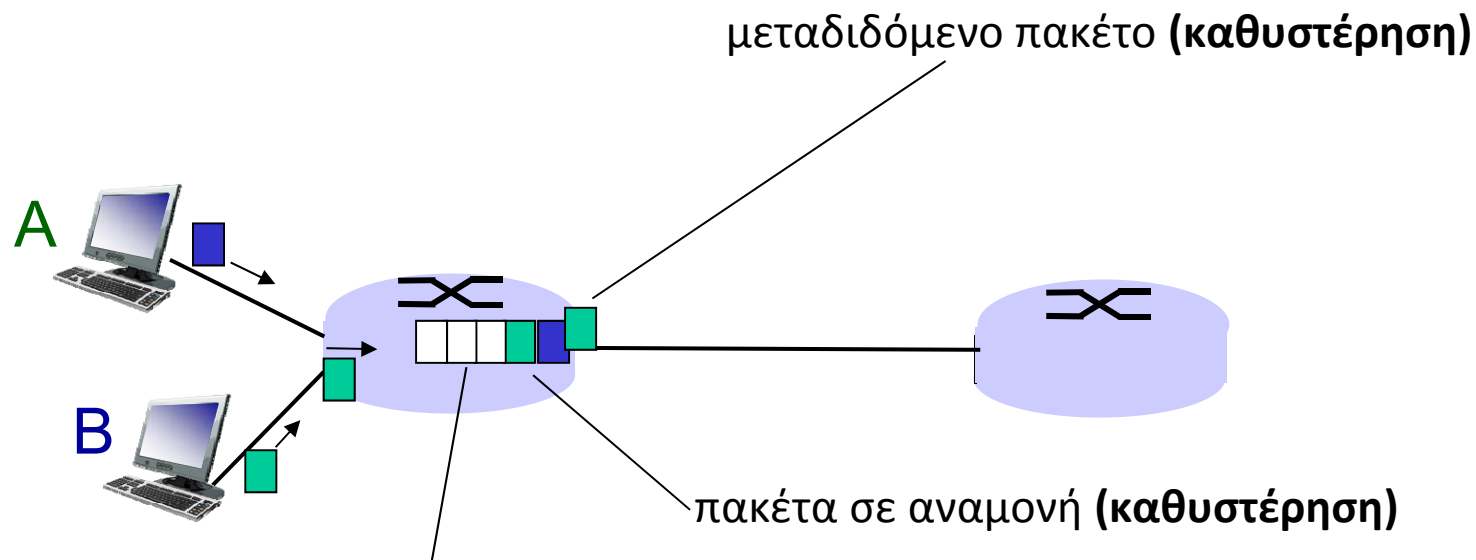
1.7 Ιστορική αναδρομή



Που οφείλονται οι απώλειες και η καθυστέρηση;

Τα πακέτα μπαίνουν σε μια ουρά αναμονής στους buffers των δρομολογητών

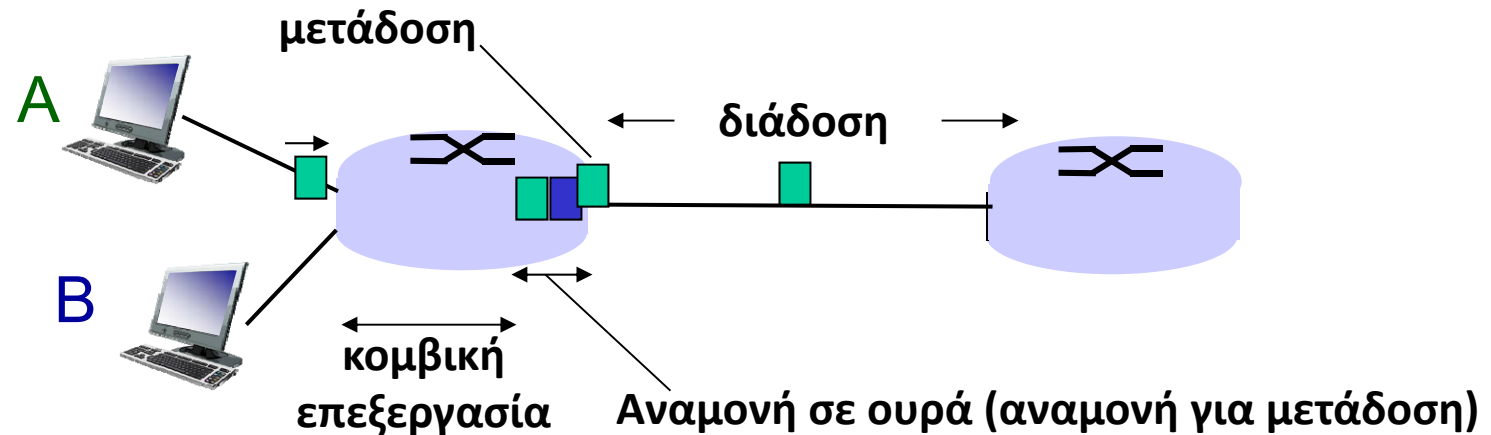
- ❖ Ο ρυθμός άφιξης των πακέτων στη ζεύξη υπερβαίνει (προσωρινά) τη χωρητικότητα της ζεύξης εξόδου
- ❖ Τα πακέτα μπαίνουν στην ουρά, περιμένοντας την σειρά τους να μεταδοθούν



ελεύθερες (διαθέσιμες) θέσεις στους buffers: πακέτα απορρίπτονται (χάνονται) εάν δεν υπάρχουν ελεύθερες θέσεις στους buffers



Τέσσερις πηγές καθυστέρησης πακέτου



$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

d_{proc} : καθυστέρηση κομβικής επεξεργασίας

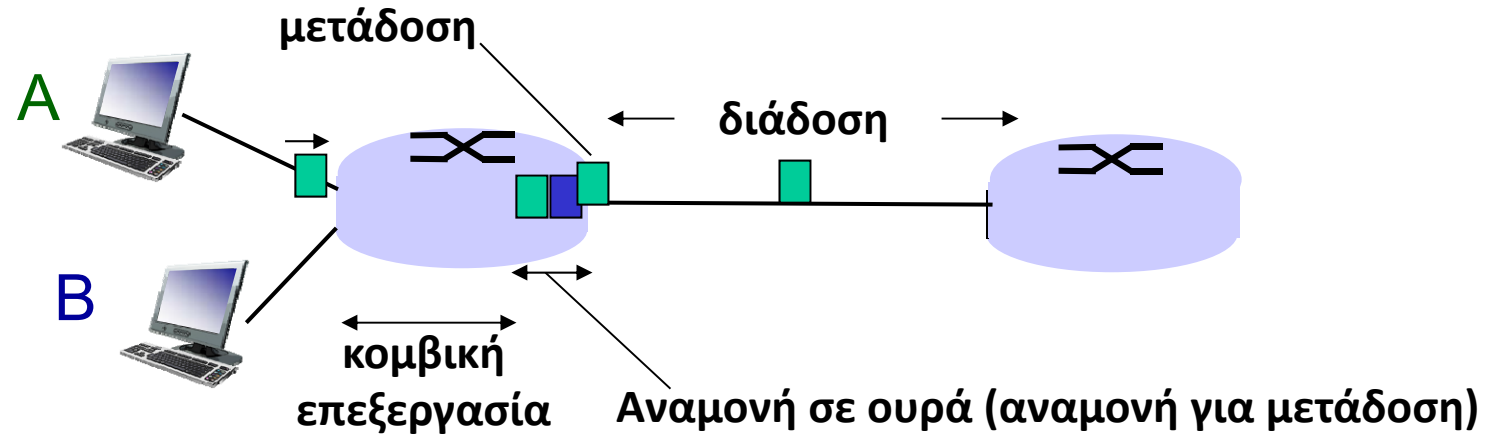
- Έλεγχος σφαλμάτων bit
- Καθορισμός ζεύξης εξόδου
- Συνήθως < msec

d_{queue} : καθυστέρηση αναμονής

- Χρόνος αναμονής στη ζεύξη εξόδου για μετάδοση
- Εξαρτάται από το βαθμό συμφόρησης του δρομολογητή



Τέσσερις πηγές καθυστέρησης πακέτου



$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

d_{trans} : καθυστέρηση μετάδοσης:

- L : μήκος πακέτου (bits)
- R : εύρος ζώνης ζεύξης (bps)
- $d_{\text{trans}} = L/R$

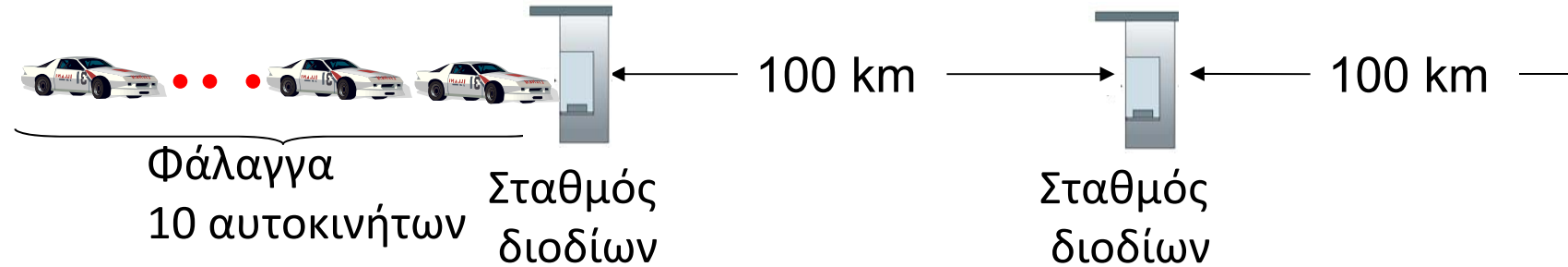
d_{prop} : καθυστέρηση διάδοσης:

- d : μήκος φυσικής ζεύξης
- s : ταχύτητα διάδοσης στο μέσο ($\sim 2 \times 10^8$ m/sec)
- $d_{\text{prop}} = d/s$

d_{trans} και d_{prop}
εντελώς
διαφορετικά



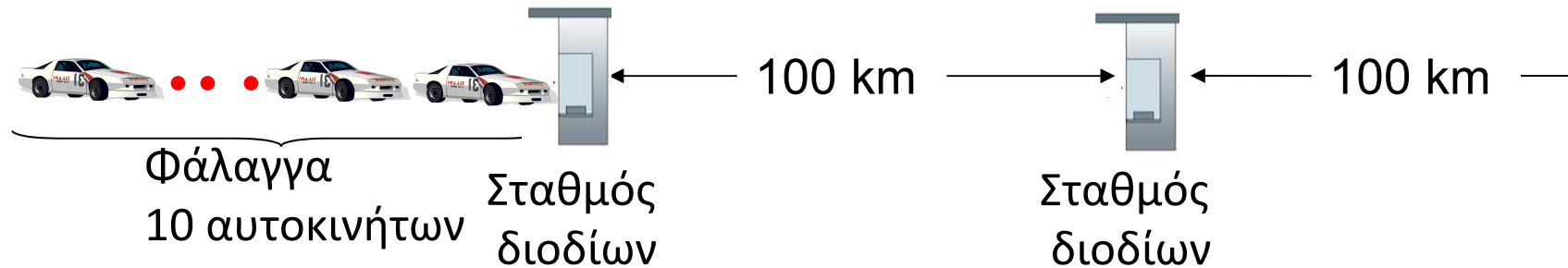
Φάλαγγα αυτοκινήτων



- ❖ Αυτοκίνητα ταξιδεύουν (διαδίδονται) με 100 km/hr
 - ❖ Κάθε σταθμός διοδίων κάνει 12 sec για να εξυπηρετήσει ένα αυτοκίνητο (χρόνος μετάδοσης bit)
 - ❖ αυτοκίνητο ~ bit; φάλαγγα ~ πακέτο
 - ❖ **E: Πόσος χρόνος απαιτείται μέχρι να φτάσει η φάλαγγα στο δεύτερο σταθμό διοδίων;**
- Χρόνος για να προωθήσει ο σταθμός διοδίων όλη την φάλαγγα στην εθνική οδό = $12 * 10 = 120 \text{ sec}$
 - Χρόνος για να ταξιδέψει το τελευταίο αυτοκίνητο από την έξοδο του 1^{ου} σταθμού διοδίων έως τον 2^ο σταθμό διοδίων:
 $100\text{km}/(100\text{km/hr}) = 1 \text{ hr}$
 - **A: 62 λεπτά**



Φάλαγγα αυτοκινήτων (περισσότερα)

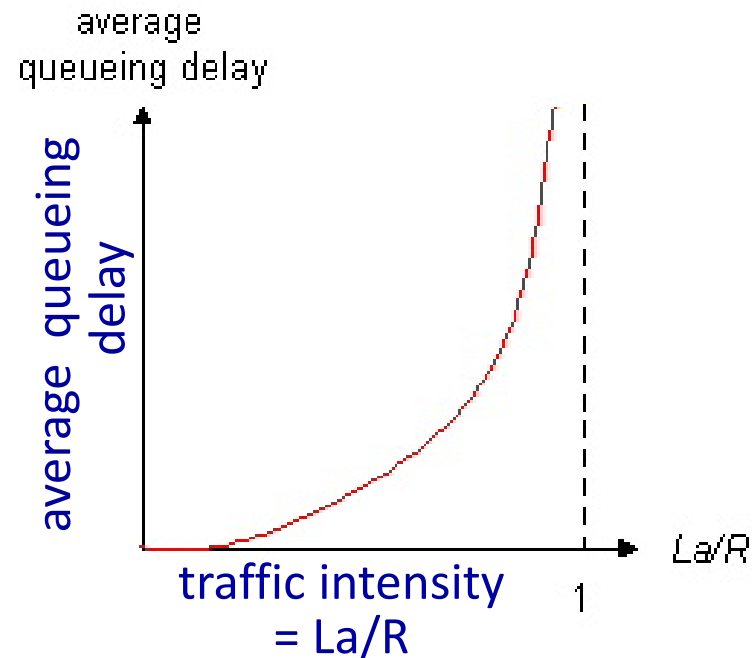


- ❖ Υποθέτουμε τώρα ότι τα αυτοκίνητα ταξιδεύουν με ρυθμό 1000 km/hr
- ❖ Υποθέτουμε ότι ο σταθμός διοδίων κάνει 1 min για να εξυπηρετήσει ένα αυτοκίνητο
- ❖ **Ε: Θα φτάσουν αυτοκίνητα στο 2^ο σταθμό διοδίων πριν εξυπηρετηθούν όλα τα αυτοκίνητα από τον 1^ο σταθμό;**
 - **Α: Ναι!** Μετά από 7 min, το 1^ο αυτοκίνητο φτάνει στα δεύτερα διόδια, ενώ 3 αυτοκίνητα βρίσκονται ακόμα στα πρώτα διόδια.



Καθυστέρηση αναμονής

- ❖ R : εύρος ζώνης ζεύξης (bps)
- ❖ L : μήκος πακέτου (bits)
- ❖ a : μέσος ρυθμός άφιξης πακέτων



- ❖ $La/R \sim 0$: μέση καθυστέρηση αναμονής μικρή
- ❖ $La/R \rightarrow 1$: καθυστερήσεις μεγαλώνουν
- ❖ $La/R > 1$: περισσότερη «κίνηση» φτάνει από όση μπορεί να εξυπηρετηθεί, μέση καθυστέρηση άπειρη!



$La/R \sim 0$

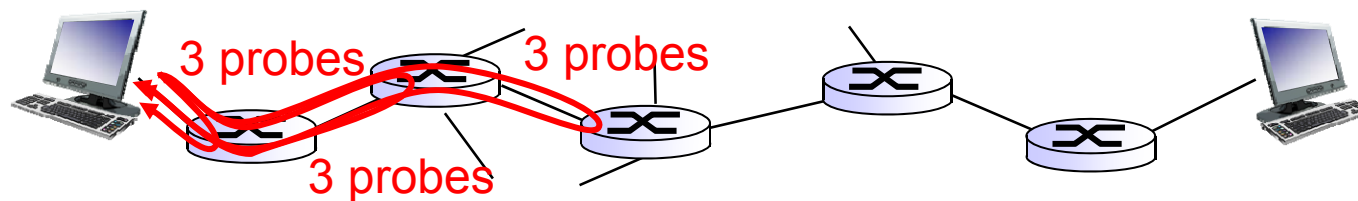


$La/R \rightarrow 1$



«Πραγματικές» καθυστερήσεις και δρόμοι (routes) στο Διαδίκτυο

- ❖ Πρόγραμμα **traceroute**: παρέχει μέτρηση καθυστερήσεων από την πηγή στον δρομολογητή κατά μήκος της πλήρους διαδρομής στο Διαδίκτυο προς τον προορισμό. Για κάθε δρομολογητή i :
 - Στέλνει 3 πακέτα που θα φτάσουν στον δρομολογητή i στη διαδρομή προς τον προορισμό
 - Ο δρομολογητής i θα επιστρέψει πακέτα αναφοράς στον αποστολέα
 - Ο αποστολέας καταγράφει το χρονικό διάστημα μεταξύ μετάδοσης και απόκρισης



«Πραγματικές» καθυστερήσεις και δρόμοι (routes) στο Διαδίκτυο

traceroute: gaia.cs.umass.edu to www.eurecom.fr

3 μετρήσεις καθυστέρησης από
gaia.cs.umass.edu to cs-gw.cs.umass.edu

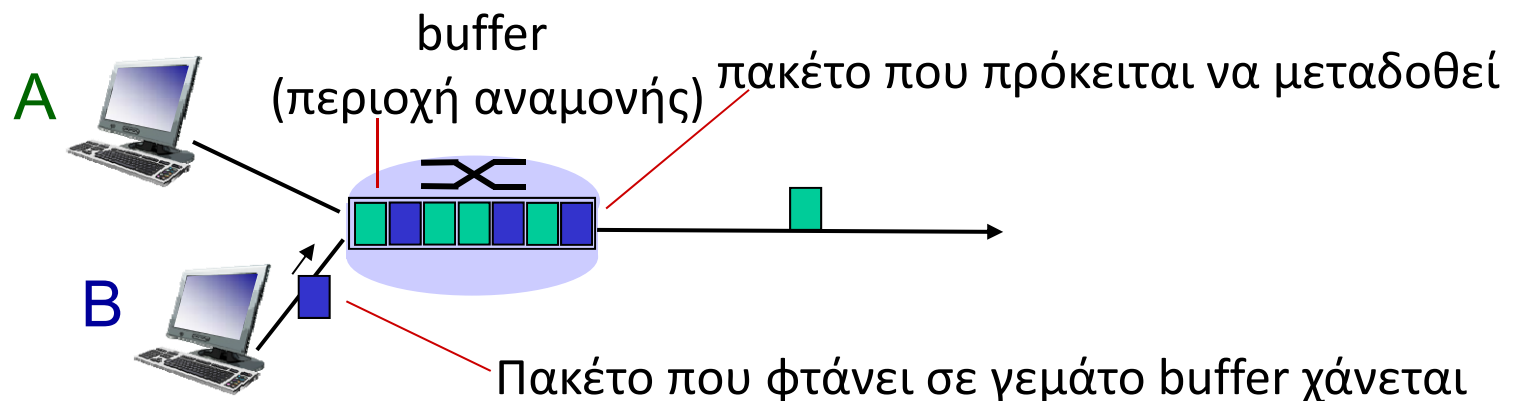
1	cs-gw (128.119.240.254)	1 ms	1 ms	2 ms	
2	border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145)	1 ms	1 ms	2 ms	
3	cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130)	6 ms	5 ms	5 ms	
4	jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129)	16 ms	11 ms	13 ms	
5	jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136)	21 ms	18 ms	18 ms	
6	abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9)	22 ms	18 ms	22 ms	
7	nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46)	22 ms	22 ms	22 ms	
8	62.40.103.253 (62.40.103.253)	104 ms	109 ms	106 ms	Υπο-ατλαντική ζεύξη
9	de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129)	109 ms	102 ms	104 ms	
10	de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50)	113 ms	121 ms	114 ms	
11	renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54)	112 ms	114 ms	112 ms	
12	nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13)	111 ms	114 ms	116 ms	
13	nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102)	123 ms	125 ms	124 ms	
14	r3t2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110)	126 ms	126 ms	124 ms	
15	eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54)	135 ms	128 ms	133 ms	
16	194.214.211.25 (194.214.211.25)	126 ms	128 ms	126 ms	
17	* * *				
18	* * *				* (απώλεια πακέτου, δρομολογητής δεν αποκρίνεται)
19	fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142)	132 ms	128 ms	136 ms	

* Δοκιμάστε το www.traceroute.org



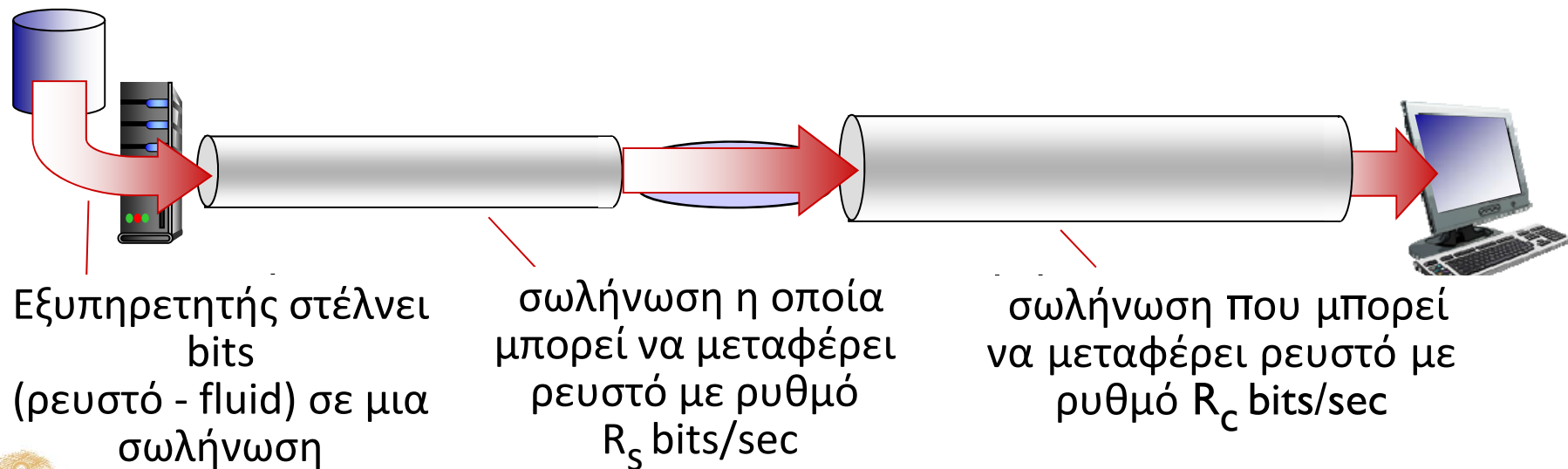
Απώλεια πακέτων

- ❖ Η ουρά (buffer) που προηγείται της ζεύξης έχει πεπερασμένη χωρητικότητα
- ❖ Όταν ένα πακέτο φτάνει σε μια γεμάτη ουρά, απορρίπτεται (χάνεται)
- ❖ Ένα πακέτο που χάνεται μπορεί να επαναμεταδοθεί από το προηγούμενο κόμβο, από την πηγή του τερματικού συστήματος, ή να μην επαναμεταδοθεί καθόλου



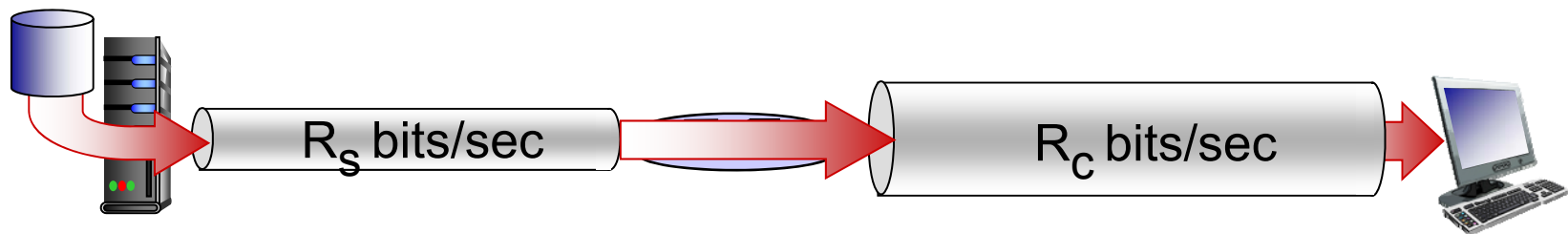
Διεκπεραιωτική ικανότητα (throughput)

- ❖ **Throughput:** ρυθμός (bits/μονάδα χρόνου) με τον οποίο τα bits μεταφέρονται μεταξύ αποστολέα/παραλήπτη
 - **στιγμιαία:** ρυθμός σε δοσμένη χρονική στιγμή
 - **μέση:** ρυθμός σε μια μεγάλη περίοδο χρόνου

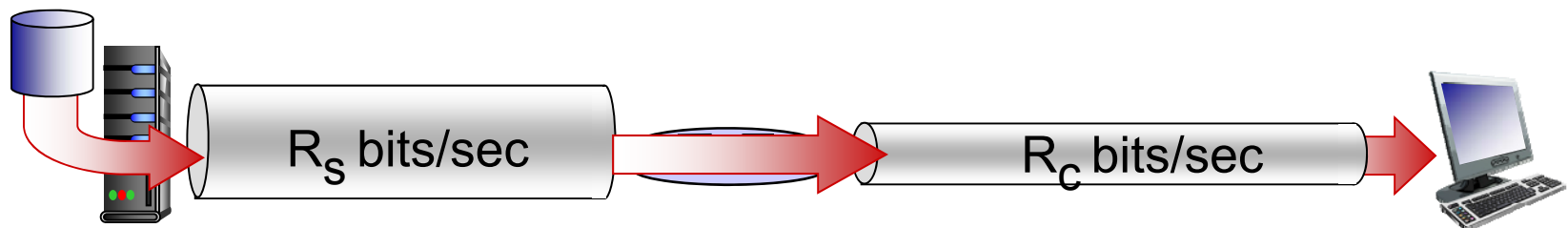


Διεκπεραιωτική ικανότητα (throughput) (περισσότερα)

- ❖ $R_s < R_c$ Μέση διεκπεραιωτική ικανότητα από άκρο σε άκρο;



- ❖ $R_s > R_c$ Μέση διεκπεραιωτική ικανότητα από άκρο σε άκρο;



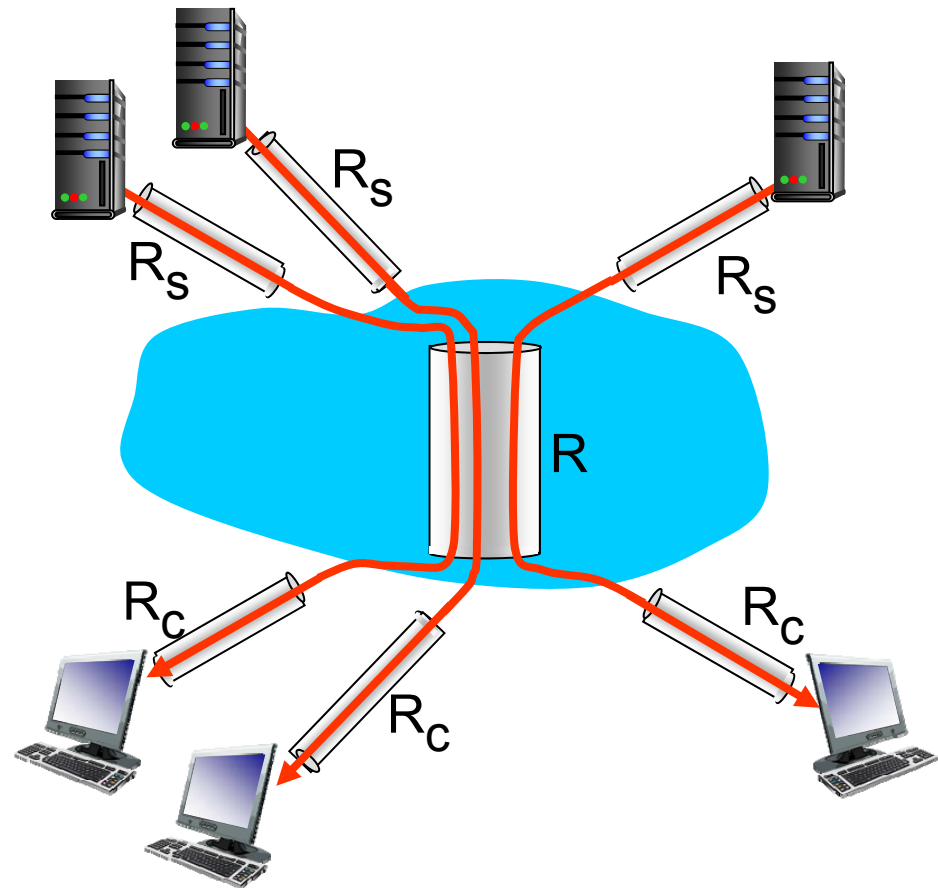
Ζεύξη συμφόρησης

Ζεύξη σε ένα από άκρο σε άκρο μονοπάτι, η οποία περιορίζει την από άκρο σε άκρο διεκπεραιωτική ικανότητα



Throughput (σενάριο Διαδικτύου)

- ❖ Ανά σύνδεση, η από άκρο σε άκρο διεκπεραιωτική ικανότητα είναι: $\min(R_c, R_s, R/10)$
- ❖ Στην πράξη: συχνά η συμφόρηση οφείλεται στο R_c ή R_s



10 συνδέσεις (δίκαια) μοιράζονται τη ζεύξη συμφόρησης του δικτύου υπολογιστών, που είναι ρυθμού R bits/sec



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Πανεπιστημίου Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- 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.



Σημειώματα



Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.00.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Μιχαήλ Λογοθέτης. «Δίκτυα Επικοινωνίας Υπολογιστών. Εισαγωγή». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/EE604/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. 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».



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

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

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



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση του ακόλουθου έργου:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες/Πίνακες

[1] J. Kurose and K. Ross, Δικτύωση Υπολογιστών – Προσέγγιση από Πάνω προς τα Κάτω, 6^η έκδοση, Γκιούρδας, 2013

