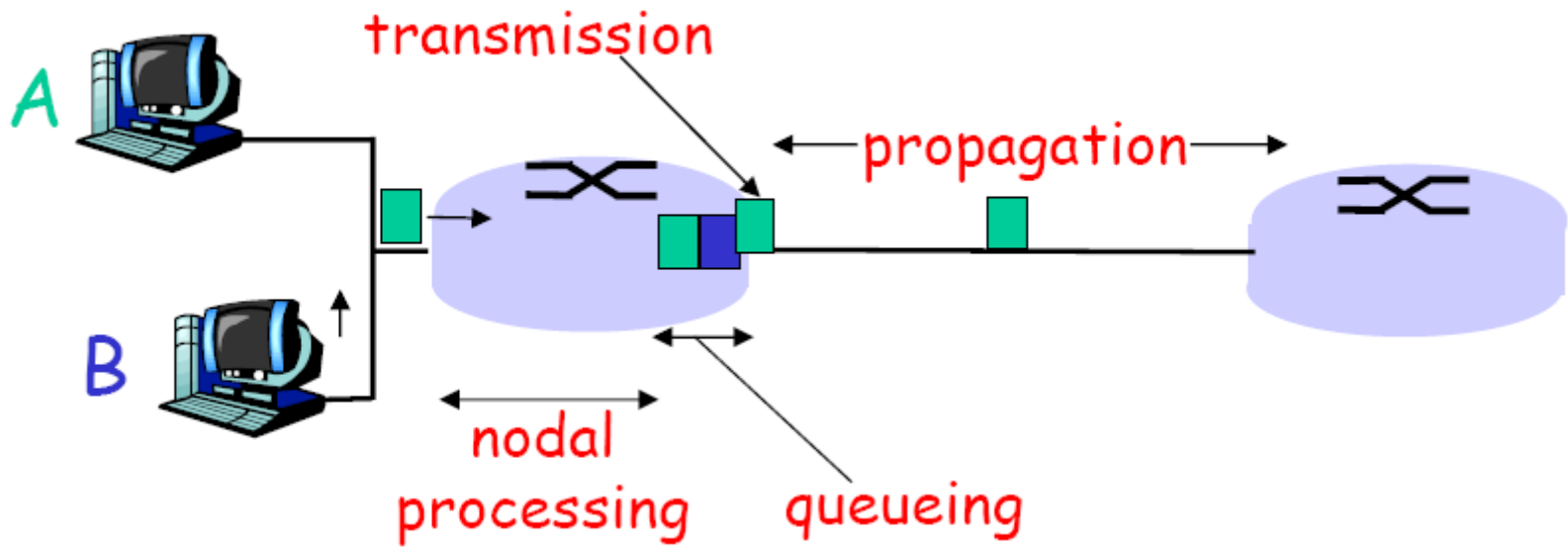




Καθυστέρηση σε δίκτυα  
μεταγωγής πακέτων

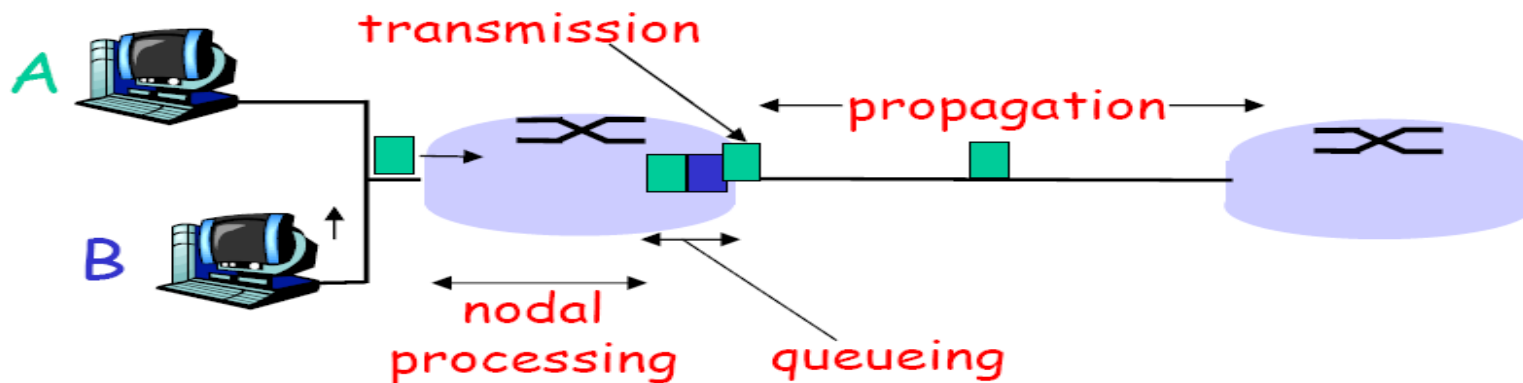
2<sup>ο</sup> Φροντιστήριο  
HY 335

# Οι 4 συνιστώσες της καθυστέρησης ΠΑΚΕΤΩΝ



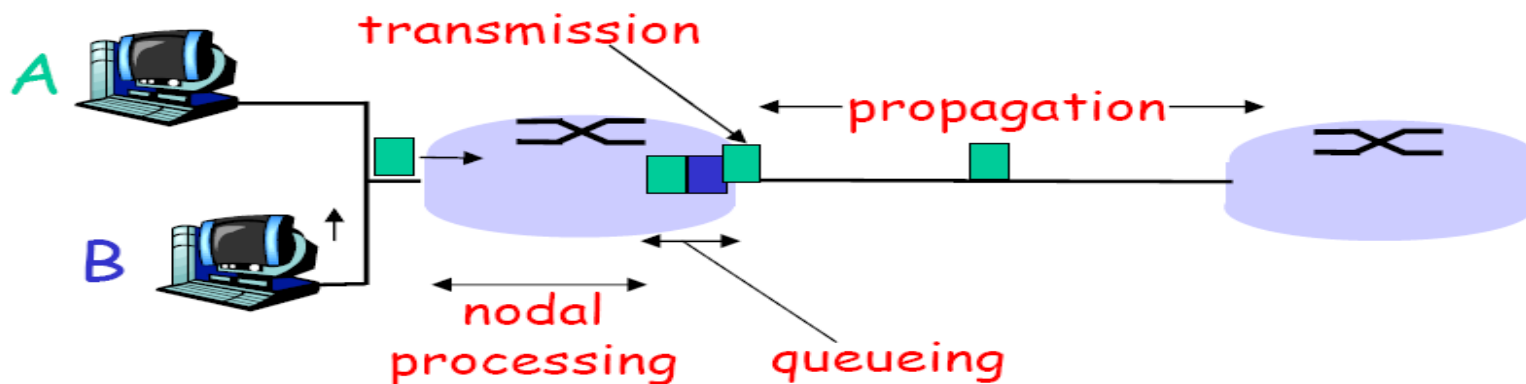
# Καθυστέρηση επεξεργασίας (processing delay)

- Έλεγχος επικεφαλίδας
- Καθορισμός εξερχόμενης ζεύξης



# Καθυστέρηση αναμονής (queuing delay)

- Εξαρτάται από τη συμφόρηση στον δρομολογητή (router)
- Είναι ο χρόνος που το πακέτο περιμένει στην ουρά μέχρι να αρχίσει η μετάδοσή του



# [ Καθυστέρηση μετάδοσης (transmission delay) ]

- $R$  = χωρητικότητα ζεύξης (link bandwidth)
- $L$  = μήκος πακέτου (packet length)
- Η καθυστέρηση μετάδοσης ενός πακέτου είναι ο χρόνος που απαιτείται για να στείλουμε  $L$  bits μέσα από μια ζεύξη χωρητικότητας  $R$
- $d_{trans} = L/R$

# [ Καθυστέρηση διάδοσης (propagation delay) ]

- $d$  = μήκος φυσικής ζεύξης
- $s$  = ταχύτητα διάδοσης του σήματος μέσα στο μέσο ( $\sim 2 \times 10^8$  m/s)
- Η καθυστέρηση διάδοσης είναι ο χρόνος που κάνει το σήμα για να διανύσει απόσταση  $d$
- $d_{prop} = d/s$
- **ΠΡΟΣΟΧΗ:** τα  $s$  και  $r$  είναι διαφορετικά φυσικά μεγέθη

## Καθυστέρηση σε έναν κόμβο

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

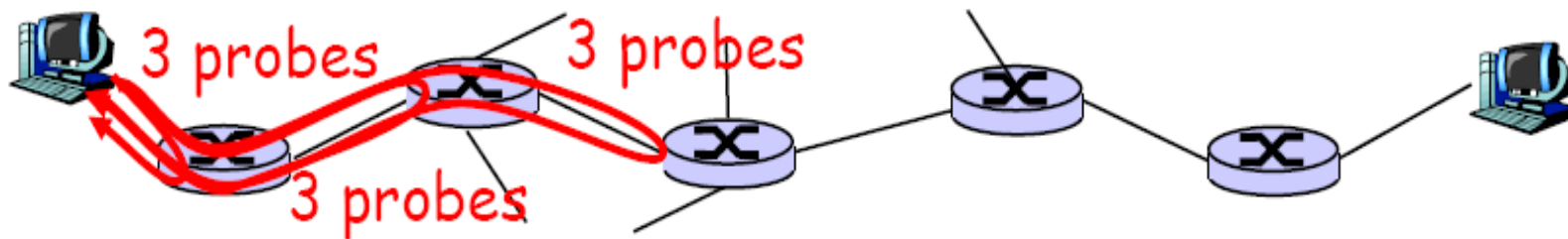
- $d_{\text{proc}}$ : καθυστέρηση επεξεργασίας
  - λίγα msec η και λιγότερο
- $d_{\text{queue}}$ : καθυστέρηση αναμονής
  - εξαρτάται από τη συμφόρηση
- $d_{\text{trans}}$ : καθυστέρηση μετάδοσης
  - $=L/R$ , αρκετά μεγάλο στις αργές ζεύξεις
- $d_{\text{prop}}$ : καθυστέρηση διάδοσης
  - Από λίγα msec μέχρι μερικές εκατοντάδες msec

# “Πραγματικές” καθυστερήσεις στο Internet

- Πως μπορώ να μετρήσω την καθυστέρηση μεταξύ 2 hosts στο internet ;
- Ping: Παρέχει μέτρησεις από άκρο σε άκρο καθυστέρησης από έναν host μέχρι έναν άλλον
- Traceroute: Παρέχει μετρήσεις από άκρο σε άκρο καθυστέρησης από την πηγή μέχρι κάθε δρομολογητή στη διαδρομή από την πηγή μέχρι τον προορισμό



# Traceroute



- Για κάθε  $i$ :
  - Στέλνει 3 πακέτα που φτάνουν μέχρι τον  $i$ -οστό δρομολογητή στο μονοπάτι προς τον προορισμό
  - Ο  $i$ -οστος router επιστρέφει τα πακέτα στην πηγή
  - Η πηγή μετράει το χρόνο από όταν έστειλε το πακέτο μέχρι να λάβει απάντηση
- Θέτει την τιμή του πεδίου TTL ανάλογα
  - π.χ για  $TTL = 1$  τα πακέτα φτάνουν μέχρι τον πρώτο δρομολογητή

# Παράδειγμα traceroute

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

Three delay measurements from  
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
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 * * *
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142) 132 ms 128 ms 136 ms
```

trans-oceanic link

\* means no response (probe lost, router not replying)

## Άσκηση 1α

- Θεωρήστε δυο τερματικά συστήματα *A* και *B* που είναι συνδεδεμένα με μια ζεύξη μετάδοσης των 1.2 Mbps. Το μήκος ενός πακέτου είναι 1.2 Kb (Kilobits). Το μήκος της ζεύξης είναι 10Km.
- Ποια είναι η καθυστέρηση διάδοσης από το *A* στο *B*; (η καθυστέρηση διάδοσης είναι ο χρόνος από τη στιγμή που το πρώτο bit μεταδίδεται στο *A* μέχρι που λαμβάνεται από το *B*)
- Ταχύτητα διάδοσης του σήματος  $\sim 2 * 10^8$
- $D_{prop} = Distance/Speed = 10^3 / 2 * 10^8 = 5 * 10^{-5} \text{ sec}$

## Άσκηση 1β

- Ποια είναι η καθυστέρηση μετάδοσης του πακέτου στο A (ο χρόνος από τη στιγμή που «μπαίνει» το πρώτο bit στη ζεύξη μέχρι τη στιγμή που μπαίνει το τελευταίο bit του πακέτου στη ζεύξη);
- Θεωρώντας πως  $1 \text{ Kbit} = 1000 \text{ bits}$   
 $D_{trans} = L/R = 1.2 * 10^3 \text{ bits} / 1.2 * 10^6 \text{ bps} = 1 \text{ msec}$

## Άσκηση 1γ

- Υποθέστε τώρα πως το μήκος της ζεύξης είναι διπλάσιο. Ποια είναι η καθυστέρηση διάδοσης από το A στο B;
- $Distance' = 2 * Distance$
- $D_{prop} = Distance' / speed =$   
 $2 * Distance / speed =$   
 $2 * 5 * 10^{-5} = 10^{-4} sec$

## Άσκηση 1δ

- Υποθέστε πάλι πως η απόσταση μεταξύ *A* και *B* είναι 10 Km. Τι μήκος πρέπει να έχει ένα πακέτο ώστε το *B* να λαμβάνει το πρώτο *bit* την ίδια στιγμή που το *A* μεταδίδει το τελευταίο *bit*;
- Μήκος πακέτου =  $L$   
Για να συμβεί αυτό πρέπει  $D_{trans} = D_{prop}$  :  
Δηλαδή πρέπει:  $L / 1.2 \text{ Mbps} = 10 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^8$   
(Θεωρώντας  $1 \text{ K} = 10^3$ ):  
 $L = 1.2 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 10^6 / 2 \cdot 10^8 = 120 / 2 = 60$   
*bits*

## Η Φάλαγγα με τα αυτοκίνητα

- Ένα πακέτο αποτελείται από έναν αριθμό bits
- Αν το κάθε bit είναι ένα αυτοκίνητο, τότε το πακέτο είναι μια φάλαγγα αυτοκινήτων
- Ένα πακέτο έχει ληφθεί μόνο όταν **ΟΛΑ** του τα bits έχουν μεταδοθεί
- Αντίστοιχα η φάλαγγα αυτοκινήτων περνάει από έναν σταθμό διοδίων όταν **ΟΛΑ** τα αυτοκίνητα περάσουν το σταθμό

## Άσκηση 2α

- Θεωρήστε την αναλογία αυτοκινήτου-φάλαγγας. Υποθέστε πάλι μια ταχύτητα διάδοσης  $100 \text{ km/h}$ . Υποθέστε ότι μια φάλαγγα 10 αυτοκινήτων ταξιδεύει απόσταση  $200 \text{ km}$ , αρχίζοντας μπροστά από ένα σταθμό διοδίων, περνώντας από ένα δεύτερο σταθμό διοδίων και τελειώνοντας μπροστά ακριβώς από έναν τρίτο σταθμό διοδίων. Ο σταθμός μπορεί να εξυπηρετεί 1 αυτοκίνητο κάθε  $12 \text{ sec}$ . Ποια είναι η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο;
- $L = 10$  αυτοκίνητα,  $s = 100 \text{ km/h}$ , distance =  $200 \text{ km}$ ,  $R = 1/12 \text{ cps}$  (αυτοκίνητα/ sec)
- Συνολική καθυστέρηση =  
καθυστέρηση διάδοσης + καθυστέρηση μετάδοσης =  
 $200 \text{ km} / 100 \text{ km/h} + 2 \text{ σταθμοί} * 10 \text{ αυτοκίνητα} * 12 \text{ s} =$   
 $120 \text{ m} + 4 \text{ m} = 124 \text{ m}$



## Άσκηση 2β

- Επαναλάβετε το (α) υποθέτοντας τώρα ότι υπάρχουν επτά αυτοκίνητα στη φάλαγγα αντί των δέκα
- $L = 7$  αυτοκίνητα
- Συνολική καθυστέρηση =  
καθυστέρηση διάδοσης + καθυστέρηση μετάδοσης =  
 $120m + 2 \text{ σταθμοί} * 7 \text{ αυτοκίνητα} * 12s =$   
 $120m + 2mins + 48sec$

# References

- Βασισμένο στις σημειώσεις του κ. Μεράκου από το τμήμα Πληροφορικής και Τηλ/νων του Ε.Κ.Π.Α