

# ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

## ΔΙΑΛΕΞΗ 5

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΑΝΑΡΓΥΡΟΣ ΣΙΔΕΡΗΣ

`<sideris@epp.teiher.gr>`

`<https://eclass2.teicrete.gr/courses/TP182/>`

ΤΜΗΜΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ  
ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ



# Αξιολόγηση της Απόδοσης IP Δικτύων



# Γενικά

- Απόδοση ενός IP δικτύου;
  - Πόσο αποτελεσματικά (“καλά”) μεταφέρει τις ροές δεδομένων.
- Πώς τι μετράμε;
  - Η Internet Engineering Task Force (IETF) έχει ορίσει τα παρακάτω ποσοτικά metrics:
    - connectivity
    - one-way delay and loss
    - round-trip delay.
    - delay variation
    - loss patterns
    - packet reordering
    - bulk transport capacity
    - link bandwidth capacity
    - packet duplication



# Connectivity Metric

## RFC 2678 (1)

- Το RFC περιγράφει διάφορους τρόπους για να μετρήσουμε τη συνδεσιμότητα.
- Μπορούμε να το συνοψίσουμε ως εξής:
  - Για μονόδρομες συνδέσεις:
    - Συνδεσιμότητα έχω όταν το πακέτο φύγει από τη πηγή και φτάσει στο προορισμό.
  - Για αμφίδρομες συνδέσεις:
    - Συνδεσιμότητα έχω όταν το πακέτο φύγει από τη πηγή φτάσει στο προορισμό και αντίστροφα.
- Η εφαρμογή που χρησιμοποιείται ευρέως για να ελέγξω συνδεσιμότητα είναι η:
  - ?



# Connectivity Metric

## RFC 2678 (2)

- Ερωτήσεις:
  - Έχω επιχείρηση στην έρημο (εξάγω άμμο, επιδοτείται, :P) και έχω δορυφορική σύνδεση στο Διαδίκτυο.
  - Ο ISP στο συμβόλαιο μου υπόσχεται 50% συνδεσιμότητα το 24ωρο με το υποκατάστημα στο μιτάτο.
  - Πως θα ελέγξω εάν λέει αλήθεια (μη στείλω άδικα τα κοπέλια να καθαρίσουν- :P) ;



# One-way Delay Metric

## RFC 2679 (1)

- Το `metric` ορίζει το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ της αποστολής και της λήψης ενός πακέτου.
- Μεθοδολογία:
  - Εάν  $t_1$  ο χρόνος αποστολής και  $t_2$  ο χρόνος λήψης του πακέτου τότε  $\text{Delay} = t_2 - t_1$
- Γιατί χρειάζεται;
  - Κάποιες εφαρμογές δεν λειτουργούν αποτελεσματικά όταν η καθυστέρηση μεταξύ δύο υπολογιστών είναι μεγάλη.

# One-way Delay Metric

## RFC 2679 (2)

- Γιατί χρειάζεται;
  - Μεγάλη καθυστέρηση οδηγεί συνήθως και σε μικρή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων.
  - Η ελάχιστη τιμή αυτού του metric μπορεί να θεωρηθεί σε κάποιες περιπτώσεις ίση με τη καθυστέρηση λόγω διάδοσης (propagation- $P\_Delay$ ), εκπομπής (transmission- $T\_Delay$ ) και επεξεργασίας/ουράς (processing- $Queuing-PQ\_Delay$ ).
    - $Delay = P\_Delay + T\_Delay + PQ\_Delay$ .
  - Η ελάχιστη τιμή αυτού του metric μπορεί να θεωρηθεί ίση με τη καθυστέρηση που θα υπάρξει όταν το δίκτυακό μονοπάτι είναι ελαφρά φορτωμένο.

# One-way Delay Metric

## RFC 2679 (3)

- Γιατί χρειάζεται;
  - Τιμές πάνω από το ελάχιστο μπορούν να υποδείξουν την ύπαρξη συμφόρησης σε ένα δικτυακό μονοπάτι.
- Προβλήματα στη μέτρηση:
  - **Synchronization**: Μετράει πόσο συμφωνούνε τα ρολόγια του αποστολέα και του παραλήπτη.
  - **Accuracy**: Δίνει το μέγεθος συμφωνίας κάθε ρολογιού με το UTC.
  - **Resolution**: Δίνει την ακρίβεια ενός ρολογιού.
  - **Skew**: Δίνει τη ακρίβεια ενός ρολογιού στη διάρκεια του χρόνου.

# One-way Delay Metric

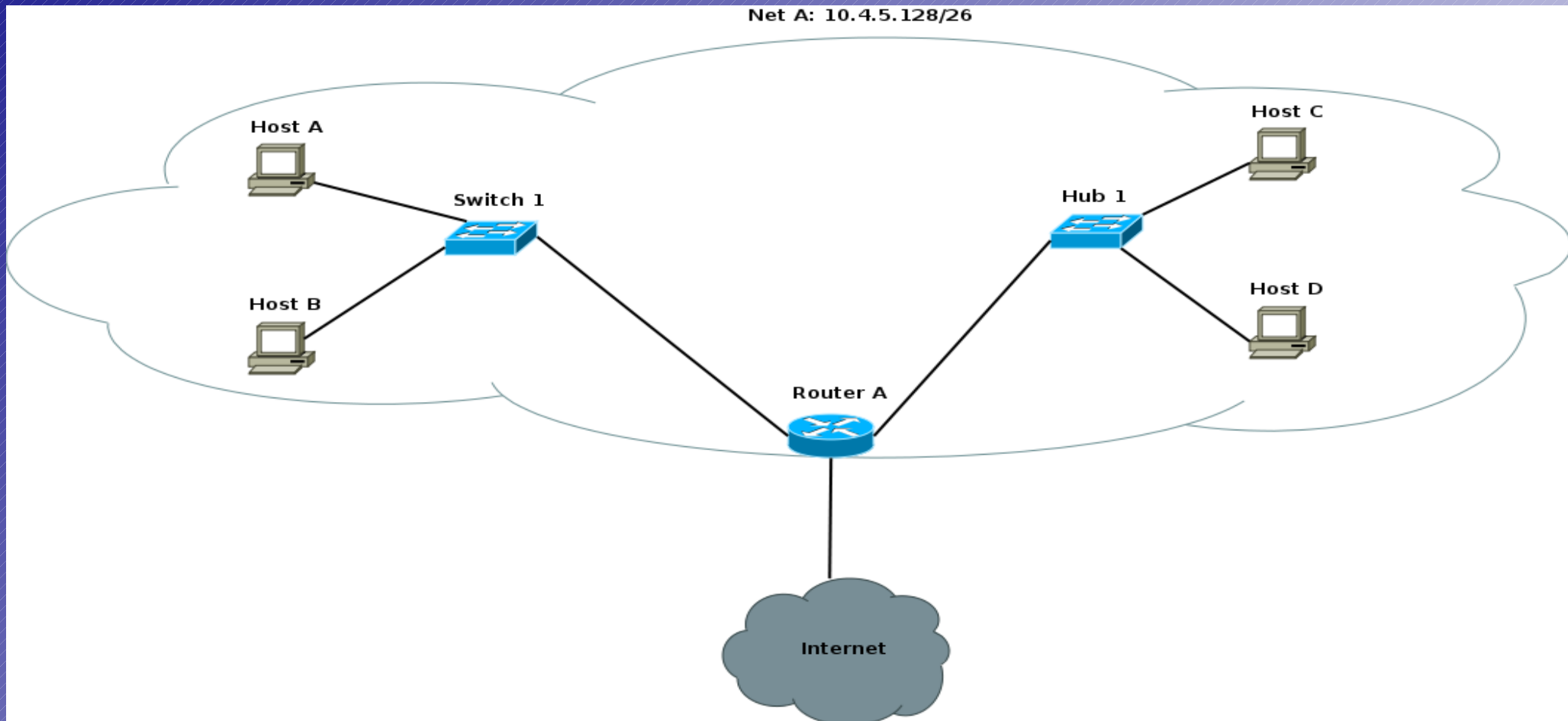
## RFC 2679 (4)

- Μέση καθυστέρηση:
  - $\text{Mean Delay} = \text{sum}(d1 \dots dn) / n.$
- Ερωτήσεις: (μα καλά δε θα σταματήσεις?)
  - Για τα πακέτα που δε φτάνουνε στο παραλήπτη η καθυστέρηση τη τιμή έχει; Για τα πακέτα που φτάνουνε διπλότυπα στο παραλήπτη;
  - Εάν η καθυστέρηση έχει υπερβεί ένα όριο που έχει οριστεί (αυθαίρετα από εμάς) για μια εφαρμογή μπορούμε να θεωρήσουμε τα πακέτα χαμένα (όχι κορμιά);
  - Εάν μια μέτρηση μου βγάλει αρνητική τιμή τι συμπεράσματα μπορώ να βγάλω;
  - Γιατί να έχω metric για μονόδρομο delay και όχι μόνο για αμφίδρομο;
  - Εάν το Resolution μου είναι 10 ms πότε ή μέτρηση θα έχει μεγάλο ποσοτού λάθους;



# One-way Delay Metric RFC 2679 (5)

- Ερωτήσεις: (συνέχεια :P)
  - Πως επιτυγχάνω συγχρονισμό στο παρακάτω δίκτυο για να μετρήσουμε το one way delay απο το Host A στο Host B;



# One-way Packet Loss Metric

## RFC 2680 (1)

- Το `metric` ορίζει τον αριθμό των πακέτων που χάθηκαν κατά τη μετάδοση από τη πηγή στο παραλήπτη.
- Μεθοδολογία:
  - Εάν  $n$  τα πακέτα από τη πηγή και  $k$  τα πακέτα που έφτασαν στο παραλήπτη τότε  $Loss=n-k$ .
  - Συνήθως οι απώλειες παρουσιάζονται και σαν ποσοστό %:
    - $loss\_ratio=(n-k)/n * 100$
- Γιατί χρειάζεται;
  - Οι εφαρμογές δεν λειτουργούν αποτελεσματικά όταν οι απώλειες μεταξύ δύο υπολογιστών είναι πάνω από ένα όριο.

# One-way Packet Loss Metric

## RFC 2680 (2)

- Γιατί χρειάζεται;
  - Μεγάλες απώλειες οδηγούν και σε μικρή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων.
  - Οι τιμές αυτού του metric μπορεί υποδείξουν το βαθμό συμφόρησης στο δικτυακό μονοπάτι.
- Ερωτήσεις: (Είμαι ασταμάτητος!!)
  - Τα πακέτα που φτάνουνε διπλότυπα στο παραλήπτη τα μετράμε στις απώλειες; Τα αλλοιωμένα;
  - Εάν η καθυστέρηση έχει υπερβεί ένα όριο που έχει οριστεί (αυθαίρετα από εμάς) για μια εφαρμογή μπορούμε να θεωρήσουμε τα πακέτα χαμένα (όχι κορμιά); Εάν ναι τι πρέπει να προσέξω;
  - Εάν μια μέτρηση μου βγάλει 150% τι συμπεράσματα μπορώ να βγάλω;

# Round-trip Delay Metric

## RFC 2681 (1)

- Το `metric` ορίζει το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ της αποστολής ενός πακέτου και της λήψης του αντίστοιχου απαντητικού πακέτου.
- Στο TCP είναι ο χρόνο μεταξύ ενός `tcp segment` και της λήψης της επιβεβαίωσης του.
- Μεθοδολογία:
  - Εάν  $t_1$  ο χρόνος αποστολής και  $t_2$  ο χρόνος λήψης του απαντητικού πακέτου τότε  $RTD=t_2-t_1$
- Γιατί χρειάζεται;
  - Ισχύει ότι και στο `one way delay`.

# Round-trip Delay Metric RFC 2681 (2)

- Προβλήματα στη μέτρηση:
  - Resolution: Δίνει την ακρίβεια ενός ρολογιού.
  - Skew: Δίνει τη ακρίβεια ενός ρολογιού στη διάρκεια του χρόνου.
- Μέση καθυστέρηση:
  - Mean RTD=  $\text{sum}(\text{rtd1} \dots \text{rtdn}) / n$ .
- Ερώτηση;
  - Πιο είναι το πλεονέκτημα του metric αυτού σε σχέση με το one way delay.



# Packet Delay Variation Metric-RFC 3393 (1)

- Το `metric` ορίζει τη διακύμανση του χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ της αποστολής και της λήψης ενός πακέτου.
  - Το `metric` αυτό είναι γνωστό και ως `jitter`.
- Μεθοδολογία:
  - Εάν  $S_i$  ο χρόνος αποστολής και  $R_i$  ο χρόνος λήψης του πακέτου, όπου  $i=1,2,3\dots n$  πακέτο τότε  $IPdn=abs((S_i-S_{i-1})-(t_i-t_{i-1}))$
- Γιατί χρειάζεται;
  - Κάποιες εφαρμογές (ειδικά εφαρμογές `video` και ήχου) δεν λειτουργούν αποτελεσματικά όταν το `jitter` μεταξύ δύο υπολογιστών είναι μεγάλη.



# Packet Delay Variation Metric-RFC 3393 (2)

- Γιατί χρειάζεται;
  - Μεγάλες τιμές jitter υποδηλώνουν φόρτο εργασίας στις ουρές των δρομολογητών.
- Προβλήματα στη μέτρηση:
  - Resolution: Δίνει την ακρίβεια ενός ρολογιού.
  - Skew: Δίνει τη ακρίβεια ενός ρολογιού στη διάρκεια του χρόνου.
- Μέση διακύμανση:
  - $\text{Mean IPdv} = \text{sum}(\text{IPdv}_1 \dots \text{IPdv}_n) / n.$
- Ερώτηση:
  - Γιατί δε χρειαζόμαστε συγχρονισμό για το υπολογισμό του jitter;

# Bulk Transfer Capacity

## Metrics-RFC 3148

- Το `metric` αυτό καθορίζει τη δυνατότητα ενός IP δικτύου αναφορικά με την αποστολή δεδομένων.
  - Είναι γνωστό και ως `system throughput`.
- Μεθοδολογία:
  - $BTC=d/t$ , όπου  $d$  το πλήθος των απεσταλμένων δεδομένα και  $t$  ο χρόνος αποστολής.
- Προσοχή!!!!
  - Στο αριθμητή του τύπου περιλαμβάνουμε:
    - Μόνο το `payload` κάθε πακέτου;
    - Το `payload` και το `header`;
    - Τις επανεκπομπές τις λογαριάζουμε;
  - Που το μετράμε στον αποστολέα ή στον παραλήπτη;



# Network Capacity metrics

## RFC 5136 (1)

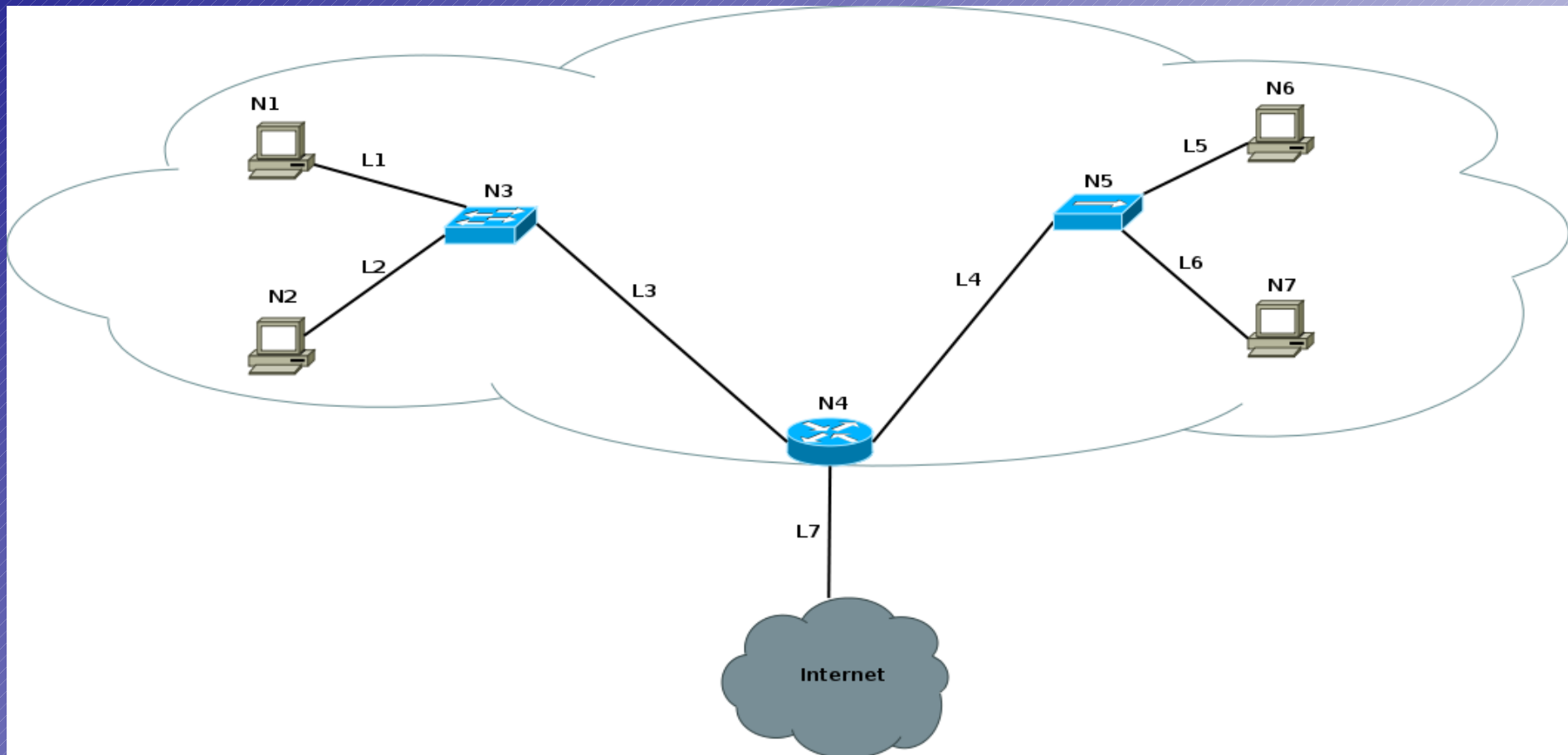
- Περιλαμβάνει μια σειρά από μεθόδους για τον υπολογισμό της χωρητικότητας ενός δικτύου.
- Πρώτα κάποιοι ορισμοί:
  - Node (Κόμβος): Μια συσκευή σε ένα δίκτυο (π.χ. Υπολογιστής, δρομολογητής).
  - Link (Ζεύξη): Η (απευθείας) σύνδεση μεταξύ δύο κόμβων.
  - Path (Μονοπάτι): Η διαδρομή μεταξύ δύο κόμβων η οποία μπορεί να περιλαμβάνει πολλά links και nodes.
    - Μήκος μονοπατιού ορίζουμε τον αριθμό των ενδιάμεσων links.
    - Άρα path με μήκος 1 είναι ισοδύναμο με:
      - Το ξάδερφο του πατζανάκη του Ζεββεδαίου;
      - Αναδιάρθρωση του χρέους της Ελλάδος;
      - Άλλο; Τί;



# Network Capacity metrics

## RFC 5136 (2)

- $\text{Path}_{N1 \rightarrow N7} = (L1, N3, L3, N3, L4, N5, L6)$ .
- Μήκος Μονοπατιού 4.



# Network Capacity metrics

## RFC 5136 (3)

- Χωρητικότητα φυσικής ζεύξης ( $C_{PL}$ ):
  - Η θεωρητική τιμή του εύρους ζώνης που προσφέρει μια τεχνολογία διασύνδεσης.
    - π.χ. Τεχνολογία ethernet 100BaseT έχει  $C_{PL}=100\text{Mbps}$ .
- Χωρητικότητα IP ζεύξης ( $IP_{CL}$ ):
  - Το μέγιστο πλήθος IP δεδομένων  $\text{maxData}$  που μπορεί να μεταφερθεί απο μιά ζεύξη σε ένα χρονικό διάστημα  $dt$  δια το  $dt$ .
    - $IP_{CL}=\text{maxdata}/dt$ .
  - Είναι γνωστό και σα  $\text{network throughput}$ .
  - Σαν IP δεδομένα θεωρούμε όλο το IP πακέτο.

# Network Capacity metrics

## RFC 5136 (4)

- Χωρητικότητα IP Path ( $IP_{Cpath}$ ):
  - Είναι ίσο με το ελάχιστο  $IP_{CL}$  που υπάρχει κατά μήκος του path.
- Χρήση IP ζεύξης ( $IP_{CL_{us}}$ ):
  - Το πραγματικό πλήθος IP δεδομένων (Data) που μεταφέρθηκε απο μιά ζεύξη σε ένα χρονικό διάστημα dt δια το dt.
    - $IP_{CL_{us}} = Data / dt$ .
- Βελτιστοποίηση IP ζεύξης ( $IP_{CL_{ut1}}$ ):
  - Το ποσοστό χρήσης της χωρητικότητας μιας IP ζεύξης.
    - $IP_{CL_{ut1}} = IP_{CL_{us}} / IP_{CL}$ .

# Network Capacity metrics

## RFC 5136 (5)

- Διαθεσιμότητα χωρητικότητας IP ζεύξης ( $IP_{CL\_avl}$ ):
  - Η διαθέσιμη χωρητικότητα μιας IP ζεύξης.
    - $IP_{CL\_avl} = IP_{CL} * (1 - IP_{CL\_utl})$ .
- Διαθεσιμότητα χωρητικότητας IP path ( $IP_{Cpath\_avl}$ ):
  - Η ελάχιστη διαθέσιμη χωρητικότητα μιας IP ζεύξης κατά μήκος ενός μονοπατιού.

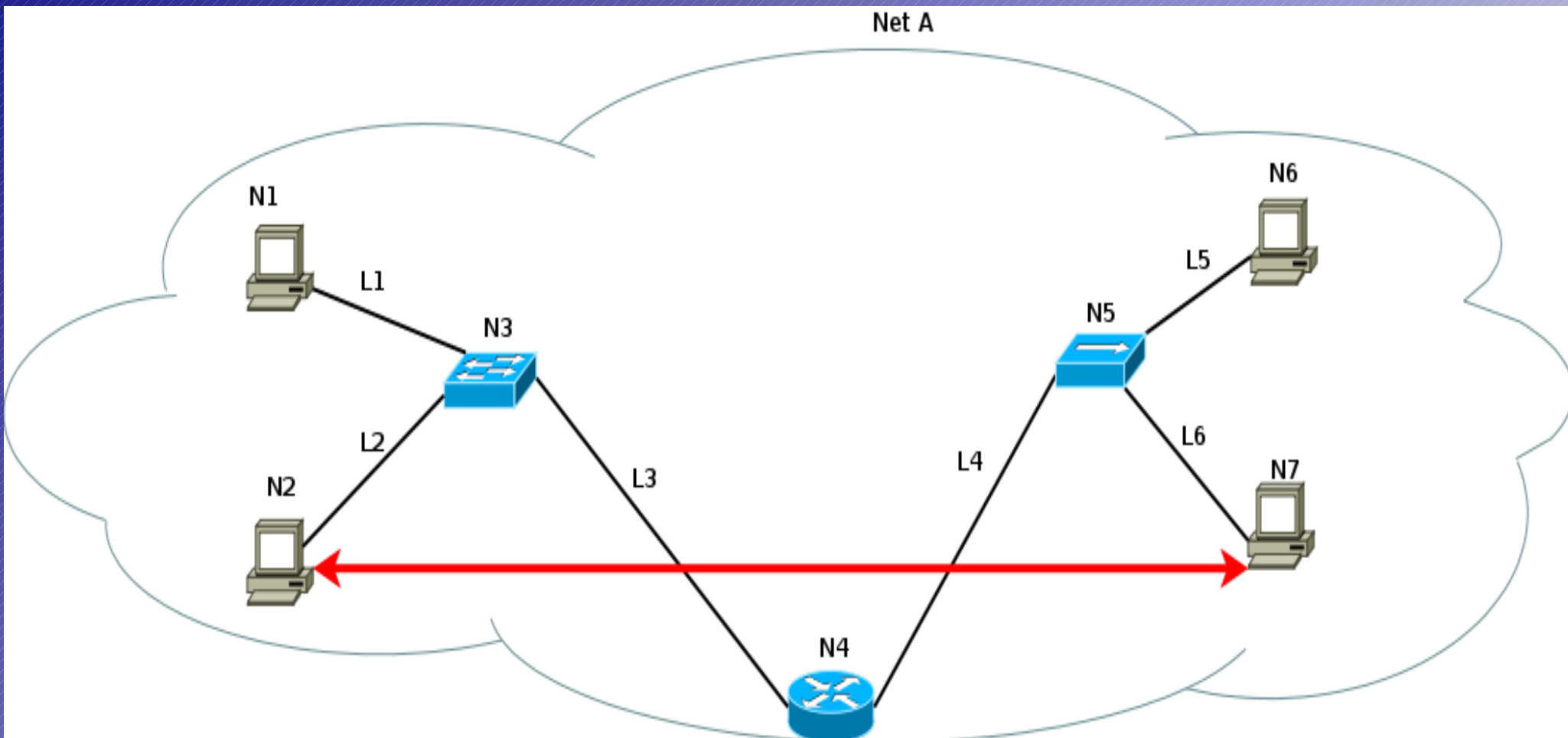
# Network Capacity metrics

## RFC 5136 (6)

- Προσοχή!!
  - Στο υπολογισμό δεν παίρνονται υπόψη IP πακέτα που έχουν αλλοιωθεί ή τμήματα τα οποία δεν έχουν ανασυγκολληθεί.
- Ερωτήσεις (I am back in business :P):
  - Τυχόν επανεκπομπές τις παίρνω υπόψη στον υπολογισμό των παραπάνω metrics;
  - Οι παραπάνω μετρήσεις γίνονται στο παραλήπτη ή στον αποστολέα;
  - Ποιό από τα παραπάνω metrics προσεγγίζει το Bulk Transfer Capacity Metric;

# Παράδειγμα (1)

- Για το παρακάτω δίκτυο:



# Παράδειγμα (2)

- Δίνονται:
  - $C_{PL}(L1, L2, L3, L4, L5) = \text{Ethernet } 100\text{Mbps}$  και  $C_{PL}(L6) = \text{Ethernet } 10\text{Mbps}$  (ναί UTP καλώδιο).
  - Σε περίπτωση απωλειών δεν έχουμε επανεκπομπές.
  - Ο N2 στέλνει 5 IP πακέτα στο N7
    - IP Packet size=1500 bytes (PAYL+OH)
  - Τα ρολόγια είναι αδελφές ψυχές.

Χρόνος αποστολής (sec)	Χρόνος λήψης (sec)
p1=10	p1=10.2
p2=10.5	p3=11
p3=10.8	p2=11.4
p4=11.2	p4=lost
p5=12.5	p5=12.9

# Παράδειγμα (3)

- Υπολογίστε:
  - Το μήκος μονοπατιού από το N2 στο N7.
  - Τη μέση μονόδρομη καθυστέρηση από το N2 στο N7.
  - Τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης από το N2 στο N7.
  - Τις απώλειες από το N2 στο N7.
  - Το system throughput.
  - Το network throughput του μονοπατιού N2->N7.
  - Τη βελτιστοποίηση του μονοπατιού N2->N7.
  - Τη διαθέσιμη χωρητικότητα του μονοπατιού N2->N7.
  - Θεωρώντας ότι η καθυστέρηση μετάδοσης για όλα τα link είναι 1ms, αναλύστε τη μονόδρομη καθυστέρηση περαιτέρω.



# Παράδειγμα (4)

- Λύσεις:

- Το μήκος μονοπατιού από το N2 στο N7 είναι 4 (υπάρχουν 4 ενδιάμεσες ζεύξεις).
- Η μέση μονόδρομη καθυστέρηση από το N2 στο N7 είναι ίση με  $D=(d1+d2+d3+d5)/4$ .
  - $d1=10.2-10=0.2$  sec,  $d2=11.4-10.5=0.9$  sec,  
 $d3=11-10.8=0.2$  sec και  $d5=12.9-12.5=0.4$  sec.
- Τη μέση διακύμανση της καθυστέρησης από το N2 στο N7 είναι ίση με  $J=(j1+j2+j3)/3$ .
  - $j1=[(10.5-10)-(11.4-10.2)]$  sec,  $j2=[(10.8-10.5)-(11-11.4)]$  sec,  $j3=[(12.5-10.8)-(12.9-11)]$  sec
- Οι απώλειες από το N2 στο N7 είναι  $L=5-4=1$  πακέτο. Σε ποσοστό  $Lr=((5-4)/5)*100=20\%$
- Το system throughput είναι  $ST=(4*1460)/(12.9-10.2)=2163$  Bps.

# Παράδειγμα (5)

- Το network throughput είναι  $NT = (1500/1526) * 10$  Mbps = 9.8 Mbps.
- Η βελτιστοποίηση του μονοπατιού N2->N7 είναι  $Util = ((1500 * 4) / (12.9 - 10.2)) / NT = 0.0017 = 0.17\%$
- Η διαθέσιμη χωρητικότητα του μονοπατιού N2->N7 είναι  $C_{avail} = NT * (1 - Util) = 9.8 * (1 - 0.0017) = 9.78$  Mbps.
- Καθυστέρηση =  $P\_delay + T\_delay + PQ\_Delay$ .
  - $D\_L2 = 1ms + ((1500 * 5) * 8) / 98$  sec + PQ\_Delay
  - $D\_L3 = 1ms + ((1500 * 5) * 8) / 98$  sec + PQ\_Delay
  - $D\_L4 = 1ms + ((1500 * 5) * 8) / 98$  sec + PQ\_Delay
  - $D\_L6 = 1ms + ((1500 * 5) * 8) / 9.8$  sec + PQ\_Delay
- Άρα  $D\_total = D\_L2 + D\_L3 + D\_L4 + D\_L6$ , όποτε αφού  $D\_total = 2.7$  sec τα PQ\_Delay ισούνται με τι?



**Τώρα μπορείτε να κλάψετε!!!**

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- "Δίκτυα Υπολογιστών", A.S. Tanenbaum, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 3η έκδοση.
- "IP Performance Metrics (ippm)", online <http://datatracker.ietf.org/wg/ippm/>, τελευταία προσπέλαση 30/04/2010.

