

Το επίπεδο δικτύου

Μιλτιάδης Αναγνώστου

5 Ιουνίου 2015

1/46

Λειτουργίες του επιπέδου δικτύου

Σχεδιαστικές απόψεις

Εικονικά κυκλώματα ή δεδομενογράμματα;

Αλγόριθμοι δρομολόγησης

Ιδιότητες των αλγορίθμων δρομολόγησης

Μερικοί δημοφιλείς αλγόριθμοι δρομολόγησης

Δρομολόγηση με ειδικές απαιτήσεις

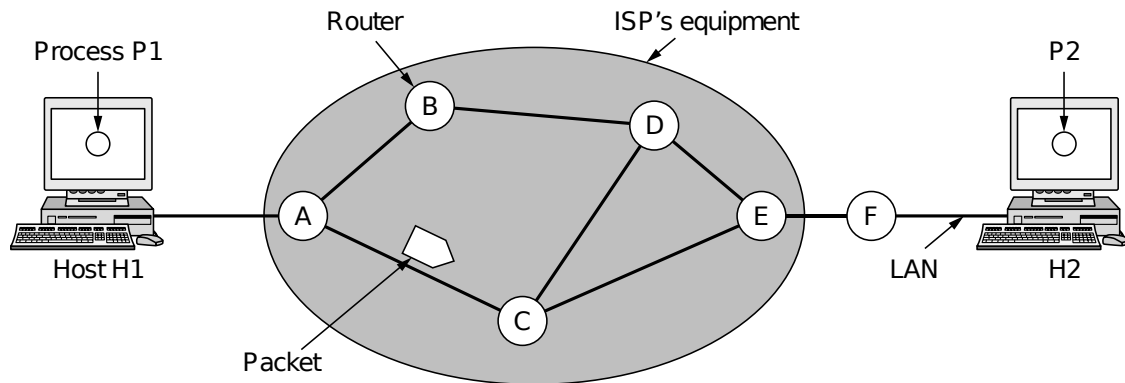
Ιδιότητες των αλγορίθμων δρομολόγησης

Συμφόρηση

2/46

Μεταγωγή κυκλώματος με αποθήκευση και προώθηση

Ας δούμε πρώτα σε τι είδους περιβάλλον λειτουργούν τα πρωτόκολλα δικτύου ...



3/46

Προδιαγραφές για τις υπηρεσίες το επίπεδο δικτύου

Προδιαγραφές για τις υπηρεσίες που πρέπει να προσφέρει το επίπεδο δικτύου στο επίπεδο μεταφοράς:

1. Οι υπηρεσίες πρέπει να είναι ανεξάρτητες από την τεχνολογία του υποδικτύου.
2. Το στρώμα μεταφοράς πρέπει να μην είναι υποχρεωμένο να ασχοληθεί με τον αριθμό, τον τύπο ή την τοπολογία των υπαρχόντων υποδικτύων.
3. Οι δικτυακές διευθύνσεις που βλέπει το στρώμα μεταφοράς πρέπει να χρησιμοποιούν ομοιόμορφο σχέδιο αριθμοδότησης, ακόμη κι όταν περνάμε τα σύνορα προς τοπικά δίκτυα.

4/46

Σχεδιαστικές απόψεις για το επίπεδο δικτύου

1. Το επίπεδο δικτύου πρέπει απλώς να διακινεί τα πακέτα με αποδοτικό τρόπο (άποψη της κοινότητας Internet).
2. Το επίπεδο δικτύου πρέπει να παρέχει μια υπηρεσία διακίνησης πακέτων που θα είναι αξιόπιστη και θα εγγυάται την ποιότητα της «σύνδεσης» (άποψη της τηλεπικοινωνιακής κοινότητας).

Σήμερα το Internet ακολουθεί τη μεθοδολογία 1 μέσω του Internet Protocol, αλλά ταυτόχρονα αναπτύσσει χαρακτηριστικά από τη 2 για την περίπτωση που θα χρειαστούν (π.χ. MultiProtocol Label Switching, Virtual LANs).

5/46

Η άποψη για ένα λιτό επίπεδο δικτύου

- ▶ Το υποδίκτυο πρέπει απλώς να διακινεί τα bits.
- ▶ Το υποδίκτυο είναι ούτως ή άλλως αναξιόπιστο, οπότε οι ακραίοι κόμβοι (hosts) θα (ξανα-)κάνουν έλεγχο σφαλμάτων.
- ▶ Οι κόμβοι του υποδικτύου δεν χρειάζεται να κάνουν έλεγχο ροής, ακολουθίας πακέτων κ.λπ. αφού ούτως ή άλλως θα (ξανα-)γίνει στα άκρα.

Το αποτέλεσμα αυτής της αντίληψης είναι το Internet.

6/46

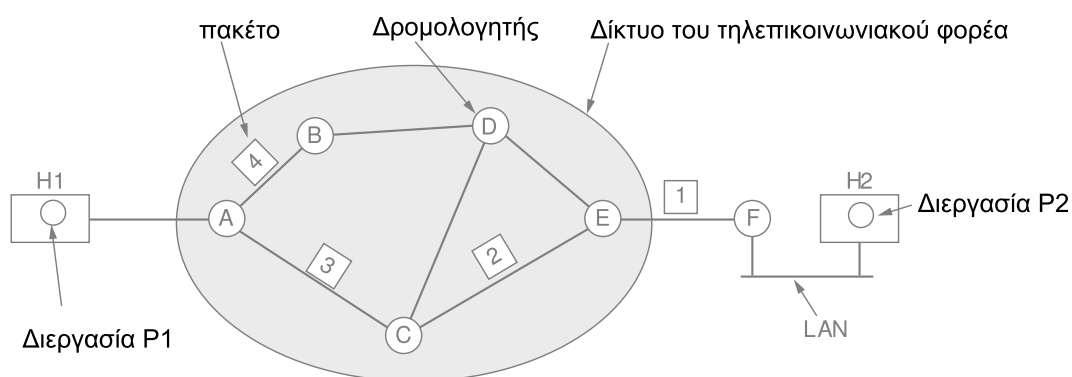
Η άποψη για ένα επίπεδο δικτύου που παρέχει υπηρεσίες σύνδεσης

- ▶ Το υποδίκτυο πρέπει να κάνει ό,τι μπορεί για να δώσει μια αξιόπιστη υπηρεσία μεταφοράς πακέτων.
- ▶ Το επίπεδο δικτύου θα δημιουργεί κάθε φορά μια σύνδεση ανάμεσα στα δύο άκρα με συγκεκριμένη ταυτότητα, που θα χρησιμοποιείται στα πακέτα της.
- ▶ Κατά την φάση δημιουργίας της σύνδεσης θα γίνεται διαπραγμάτευση ποιότητας και κόστους.
- ▶ Η επικοινωνία είναι αμφίδρομη και τα πακέτα θα παραδίδονται με τη σειρά αποστολής τους.
- ▶ Προκειμένου να αποφεύγεται η συμφόρηση, θα γίνεται έλεγχος ροής.

Το υπόδειγμα αυτής της αντίληψης είναι ο *Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς* (asynchronous transfer mode, ATM).

7/46

Δρομολόγηση με δεδομενογράμματα (datagrams)



Πίνακας του A
αρχικά αργότερα

| | | | |
|---|---|---|---|
| A | — | A | — |
| B | B | B | B |
| C | C | C | C |
| D | B | D | B |
| E | C | E | B |
| F | C | F | B |

Πίνακας
του C

| | |
|---|---|
| A | A |
| B | A |
| C | — |
| D | D |
| E | E |
| F | E |

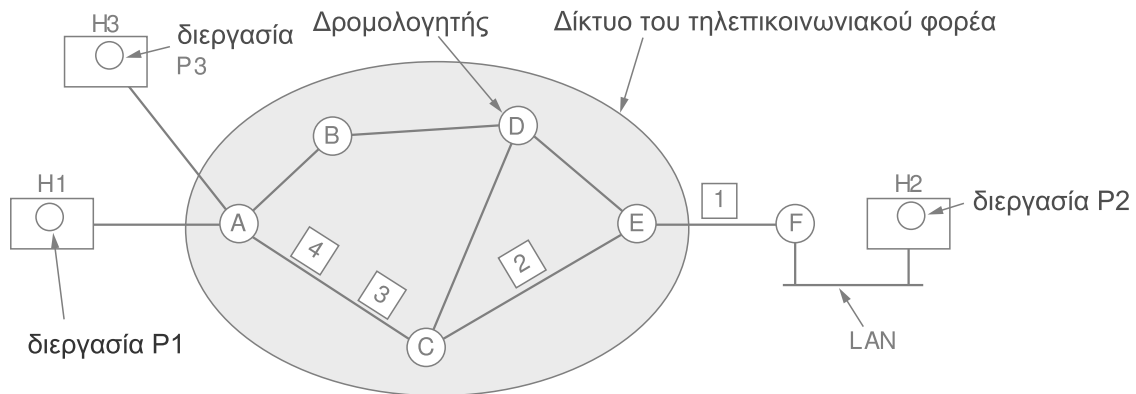
Πίνακας
του D

| | |
|---|---|
| A | C |
| B | D |
| C | C |
| D | D |
| E | — |
| F | F |

προορισμός επόμενος
 κόμβος

8/46

Δρομολόγηση με εικονικά κυκλώματα



Πίνακας του A

| | | | |
|----|---|---|---|
| H1 | 1 | C | 1 |
| H3 | 1 | C | 2 |

είσοδος έξοδος

Πίνακας του C

| | | | |
|---|---|---|---|
| A | 1 | E | 1 |
| A | 2 | E | 2 |

Πίνακας του E

| | | | |
|---|---|---|---|
| C | 1 | F | 1 |
| C | 2 | F | 2 |

9/46

MultiProtocol Label Switching (MPLS)

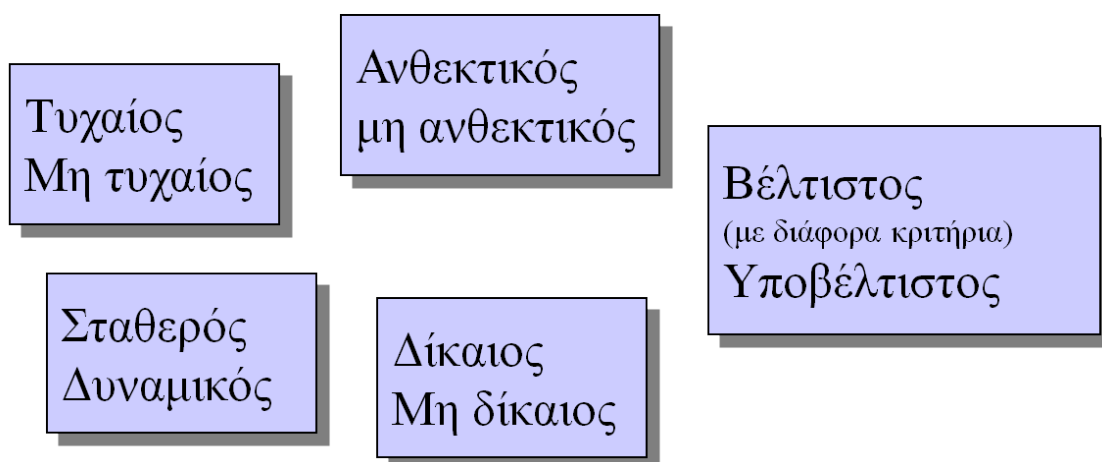
- ▶ Τέτοιου είδους συνδεδεισμένης υπηρεσίας είναι το MPLS.
- ▶ Το MPLS χρησιμοποιείται εσωτερικά στα δίκτυα των ISP για τη δημιουργία μακροπρόθεσμων ρευμάτων κίνησης και για να ρυθμιστεί η ποιότητα υπηρεσίας.
- ▶ Στα πακέτα του IP προστίθεται ένα περίβλημα (wrapper) του MPLS, που έχει μια επιγραφή 20 bit.

Σύγκριση

| Ζήτημα | δεδομενογράμματα | εικονικά κυκλώματα |
|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| αποκατάσταση κυκλώματος | - | χρειάζεται |
| διευθυνσιοδότηση | διεύθυνση προορισμ. ανά πακέτο | αριθμός VC ανά πακέτο |
| πληροφορία κατάστασης | όχι | για κάθε VC στον πίνακα δρομ. |
| δρομολόγηση | ανεξάρτητη ανά πακέτο | επιλέγεται διαδρομή ανά VC |
| συνέπειες της βλάβης δρομολογητή | μερικά χαμένα πακέτα | τερματισμός των διερχομένων VC |
| ποιότητα υπηρεσίας | δύσκολη | προϋποθέτει πόρους |
| έλεγχος συμφόρησης | δύσκολος | προϋποθέτει πόρους και μηχανισμούς |

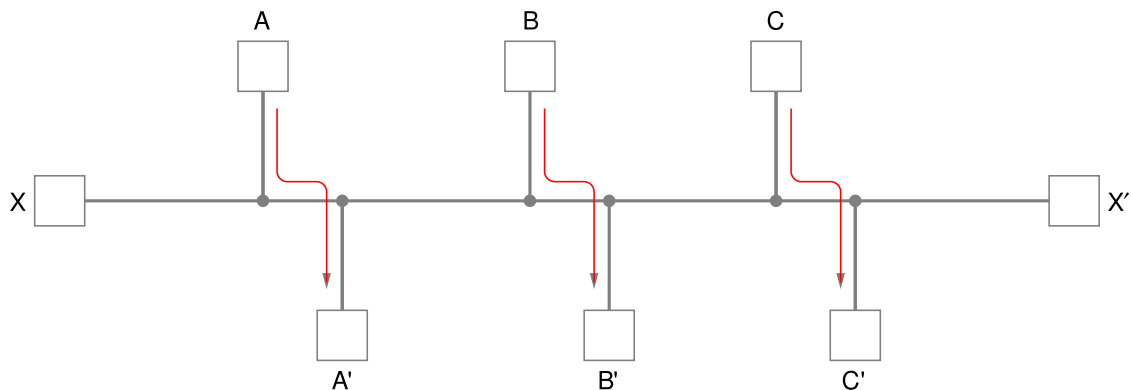
11/46

Ταξινόμηση των αλγορίθμων δρομολόγησης



12/46

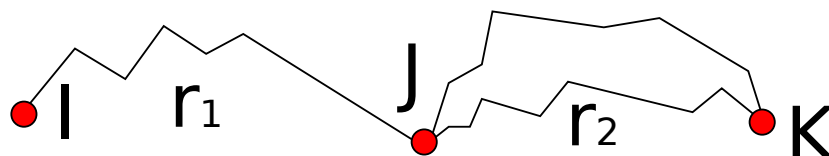
Μπορεί η δρομολόγηση να είναι συγχρόνως
δίκαιη και βέλτιστη;



13/46

Η αρχή του βέλτιστου

Λήμμα: Αν ο κόμβος J βρίσκεται πάνω στη βέλτιστη διαδρομή από τον κόμβο I στον κόμβο K , η βέλτιστη διαδρομή από τον J στον K είναι απλώς το υπόλοιπο αυτής της διαδρομής.

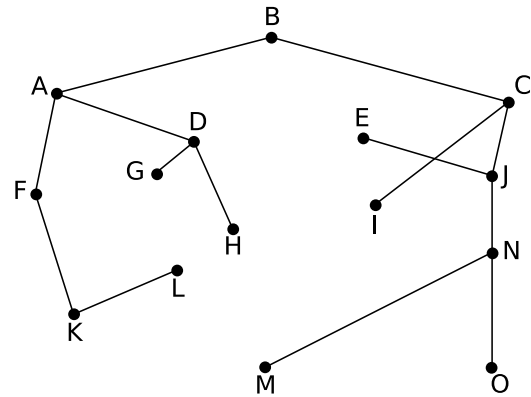
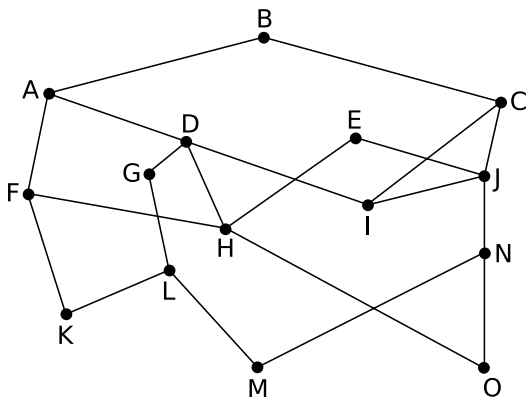


Απόδειξη: Έστω ότι $r_1 - J - r_2$ είναι η βέλτιστη διαδρομή από τον I στον K . Αν από τον J υπάρχει μια άλλη καλύτερη διαδρομή r_3 , η $r_1 - J - r_3$ είναι καλύτερη από την $r_1 - J - r_2$, άτοπο.

14/46

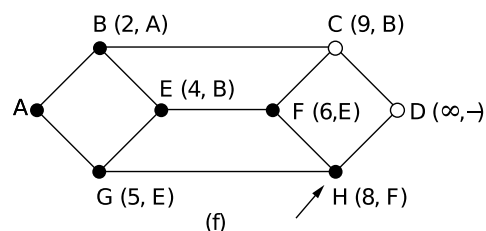
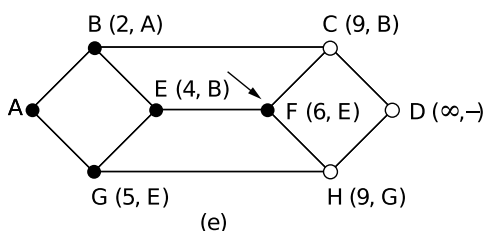
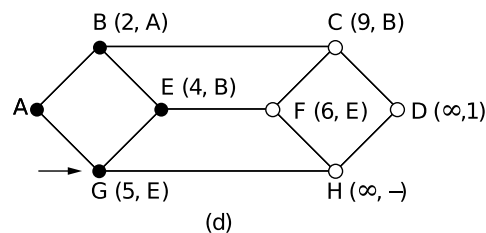
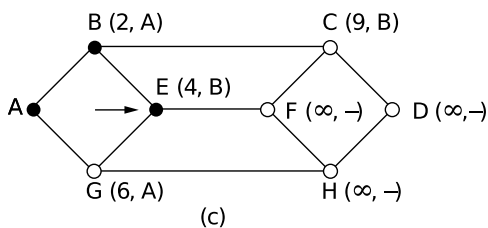
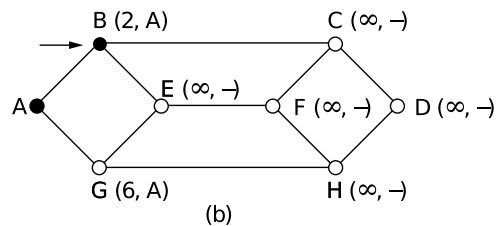
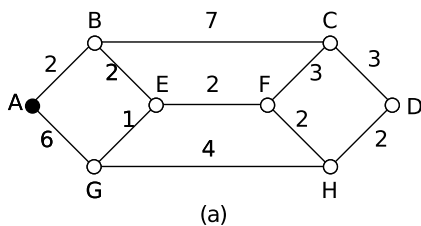
Το δέντρο προορισμού (sink tree)

- ▶ Λήμμα: Αν ο κόμβος J βρίσκεται πάνω στη βέλτιστη διαδρομή από τον κόμβο I στον κόμβο K , η βέλτιστη διαδρομή από τον J στον K είναι μέρος της προηγούμενης διαδρομής.
- ▶ Συμπέρασμα: Οι βέλτιστες διαδρομές ανάμεσα σε ένα κόμβο και σε κάθε άλλο κόμβο σχηματίζουν ένα δέντρο με ρίζα τον πρώτο κόμβο.



15/46

Η ελάχιστη διαδρομή με τον αλγόριθμο του Dijkstra



16/46

Το μέτρημα ως το άπειρο

| A | B | C | D | E |
|---|----|----|----|---|
| • | • | • | • | • |
| | •• | •• | | |
| | 1 | •• | • | |
| | 1 | 2 | •• | |
| | 1 | 2 | 3 | • |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |

| A | B | C | D | E |
|---|----|----|---|---|
| • | • | • | • | • |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 3 | 2 | 3 | 4 |
| | 3 | 4 | 3 | 4 |
| | 5 | 4 | 5 | 4 |
| | 5 | 6 | 5 | 6 |
| | 7 | 6 | 7 | 6 |
| | 7 | 8 | 7 | 8 |
| | | ⋮ | | |
| | •• | •• | | |

19/46

Δρομολόγηση ως προς την κατάσταση συνδέσμων

- ▶ Η δρομολόγηση με το διάνυσμα απόστασης ήταν σε χρήση στο ARPANET μέχρι το 1979, οπότε αντικαταστάθηκε με τη δρομολόγηση ως προς την κατάσταση συνδέσμων (Link State Routing).
- ▶ Ο βασικός λόγος ήταν η αργή σύγκλιση.
- ▶ Παραλλαγές της δρομολόγησης ως προς την κατάσταση συνδέσμων είναι οι αλγόριθμοι IS-IS (Intermediate System-Intermediate System) & OSPF (Open Shortest Path First) που χρησιμοποιούνται σε μεγάλα δίκτυα και στο Internet.

20/46

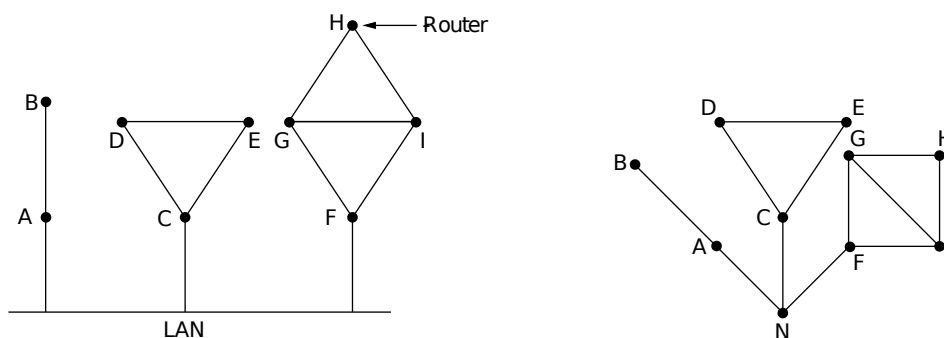
Δρομολόγηση ως προς την κατάσταση συνδέσμων

Ο αλγόριθμος περιλαμβάνει τα εξής βήματα ενός κόμβου:

- ▶ Ανακάλυψη των γειτόνων του κόμβου και των διευθύνσεών τους.
- ▶ Καθορισμός της απόστασης απ' τον καθένα ή του «κόστους» του συνδέσμου.
- ▶ Κατασκευή ενός πακέτου με τις πληροφορίες που μαζεύτηκαν.
- ▶ Αποστολή του πακέτου στους άλλους κόμβους και λήψη των ανάλογων πακέτων απ' αυτούς.
- ▶ Υπολογισμός του ελάχιστου μονοπατιού προς κάθε κόμβο (Dijkstra).

21/46

Ανακάλυψη των γειτόνων



- ▶ Ο κόμβος αποστέλλει ένα πακέτο HELLO σε κάθε εξερχόμενο σύνδεσμο.
- ▶ Κάθε κόμβος που παίρνει HELLO απαντάει δίνοντας το όνομά του.
- ▶ Στην περίπτωση ενός τοπικού δικτύου το μέσο αποτελεί άλλον ένα «κόμβο», το ρόλο του οποίου παίζει ένας από τους κόμβους του τοπικού δικτύου.

22/46

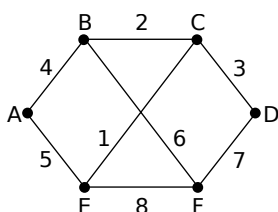
Καθορισμός του κόστους κάθε συνδέσμου.

Το «κόστος» ενός συνδέσμου μπορεί να καθορισθεί με διάφορες μεθόδους:

- ▶ Βάζοντας το κόστος αντιστρόφως ανάλογο του εύρους ζώνης, π.χ. 1 Gbps Ethernet → 1, 100 Mbps Ethernet → 10.
- ▶ Μπορεί να προστεθεί μια εκτίμηση για τις καθυστερήσεις διάδοσης και αναμονής.
- ▶ Η καθυστέρηση μπορεί να μετρηθεί με πακέτα ECHO.

23/46

Δημιουργία των πακέτων κατάστασης των συνδέσμων



| A | B | C | D | E | F |
|------|------|------|------|------|------|
| Seq. | Seq. | Seq. | Seq. | Seq. | Seq. |
| Age | Age | Age | Age | Age | Age |
| B 4 | A 4 | B 2 | C 3 | A 5 | B 6 |
| E 5 | C 2 | D 3 | F 7 | C 1 | D 7 |
| | F 6 | E 1 | | F 8 | E 8 |

Το πακέτο που κατασκευάζει κάθε κόμβος έχει την εξής δομή:

- ▶ Όνομα του κόμβου,
- ▶ αύξων αριθμός,
- ▶ ηλικία,
- ▶ κατάλογος γειτόνων με αποστάσεις.

Τα πακέτα μπορεί να δημιουργούνται περιοδικά ή όταν υπάρξουν μεταβολές στα κόστη.

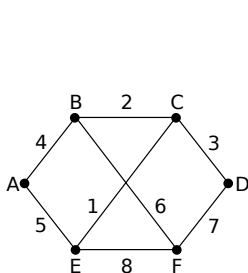
24/46

Διανομή των πακέτων κατάστασης των συνδέσμων

- ▶ Η διανομή γίνεται με πλημμύρα. Κάθε φορά ο αύξων αριθμός αυξάνει κατά ένα.
- ▶ Ο αποδέκτης ενός πακέτου το στέλνει στους γειτονικούς κόμβους εκτός του κόμβου προέλευσης.
- ▶ Αν όμως φέρει ίδιο ή παλαιότερο α/α από το τελευταίο πακέτο του ίδιου κόμβου, καταστρέφεται και δεν αποστέλλεται.
- ▶ Για την αρίθμηση διατίθενται 32 bits.
- ▶ Προβλήματα θα δημιουργηθούν αν ένας κόμβος γίνει reset ή αν γίνει σφάλμα μετάδοσης στο πεδίο αρίθμησης. Για τη λύση τους συνδυάζεται η πληροφορία της ηλικίας.
- ▶ Η ηλικία μειώνεται κατά ένα σε κάθε μετάδοση και επίσης με την πάροδο του χρόνου.

25/46

Ο πίνακας διανομής

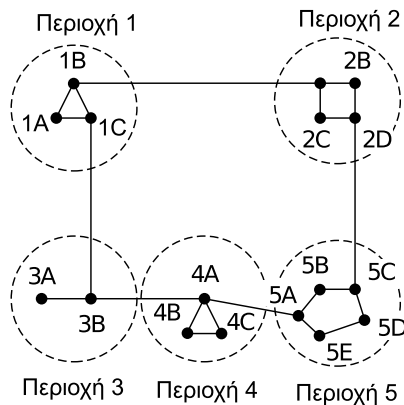


| Source | Seq. | Age | Send flags | | | ACK flags | | | Data |
|--------|------|-----|------------|---|---|-----------|---|---|------|
| | | | A | C | F | A | C | F | |
| A | 21 | 60 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| F | 21 | 60 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| E | 21 | 59 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | |
| C | 20 | 60 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | |
| D | 21 | 59 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | |

- ▶ Ο πίνακας διανομής (εδώ του κόμβου B) δείχνει τις ενέργειες που θα κάνει ένας κόμβος για τα εισερχόμενα πακέτα.
- ▶ Το πακέτο προέλευσης A θα φύγει προς C και F και θα σταλεί επιβεβαίωση προς τον A.
- ▶ Το πακέτο προέλευσης E έχει έρθει δυο φορές, μέσω EAB και EFB, οπότε θα φύγει προς τον C και θα σταλούν επιβεβαιώσεις προς A και F.

26/46

Ιεραρχική δρομολόγηση



Πλήρης πίνακας του 1A

Προορ. γραμμή βήματα

| | | |
|----|----|---|
| 1A | – | – |
| 1B | 1B | 1 |
| 1C | 1C | 1 |
| 2A | 1B | 2 |
| 2B | 1B | 3 |
| 2C | 1B | 3 |
| 2D | 1B | 4 |
| 3A | 1C | 3 |
| 3B | 1C | 2 |
| 4A | 1C | 3 |
| 4B | 1C | 4 |
| 4C | 1C | 4 |
| 5A | 1C | 4 |
| 5B | 1C | 5 |
| 5C | 1B | 5 |
| 5D | 1C | 6 |
| 5E | 1C | 5 |

Ιεραρχικός πίνακας του 1A

Προορ. γραμμή βήματα

| | | |
|----|----|---|
| 1A | – | – |
| 1B | 1B | 1 |
| 1C | 1C | 1 |
| 2 | 1B | 2 |
| 3 | 1C | 2 |
| 4 | 1C | 3 |
| 5 | 1C | 4 |

27/46

Δρομολόγηση για εκπομπή

Η πληροφορία πρέπει να διαδοθεί σε όλους τους κόμβους.

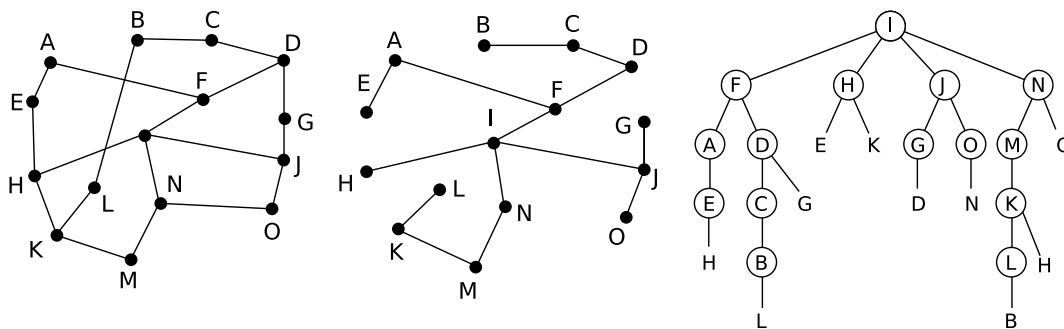
Μέθοδοι υλοποίησης της εκπομπής:

- ▶ Αποστολή χωριστού πακέτου σε κάθε κόμβο.
- ▶ Πλημμύρα.
- ▶ Δρομολόγηση με πακέτα πολλών προορισμών: Το πακέτο περιέχει τις διευθύνσεις ενός συνόλου προορισμών. Κάθε κόμβος εξετάζει ποιες γραμμές εξόδου χρειάζονται. Για κάθε μια γεννάει ένα πακέτο με τις διευθύνσεις που της αντιστοιχούν.
- ▶ Χρήση του διατρέχοντος δέντρου.
- ▶ Προώθηση αντίστροφης διαδρομής (βλ. επόμενη σελίδα).

28/46

Πρώθηση αντίστροφης διαδρομής

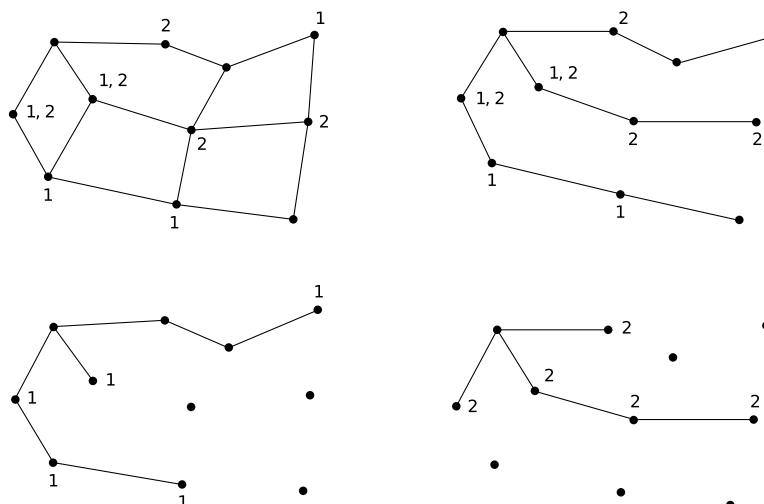
- ▶ Όταν φτάνει ένα πακέτο εκπομπής σε ένα κόμβο, αυτός εξετάζει αν έφτασε μέσα από τη ζεύξη, που θα είχε χρησιμοποιήσει ο κόμβος για να στείλει πακέτα στον αρχικό αποστολέα του πακέτου.
- ▶ Αν ναι, το πακέτο προωθείται προς όλες τις άλλες ζεύξεις, που βγαίνουν από τον κόμβο. Αλλιώς καταστρέφεται.



29/46

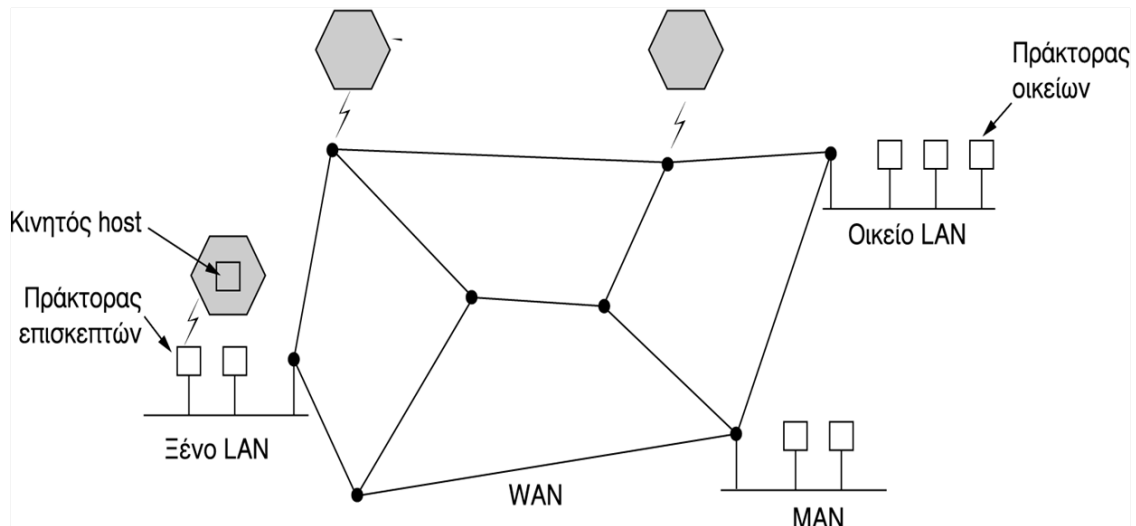
Δρομολόγηση για διανομή

- ▶ Τα πακέτα πρέπει να φτάσουν σε ομάδες κόμβων.
- ▶ Ξεκινώντας από ένα δέντρο με όλους τους κόμβους, δημιουργήσε ένα δέντρο μόνο με τους κόμβους της επιθυμητής ομάδας με αποκοπή των υπόλοιπων κλάδων.



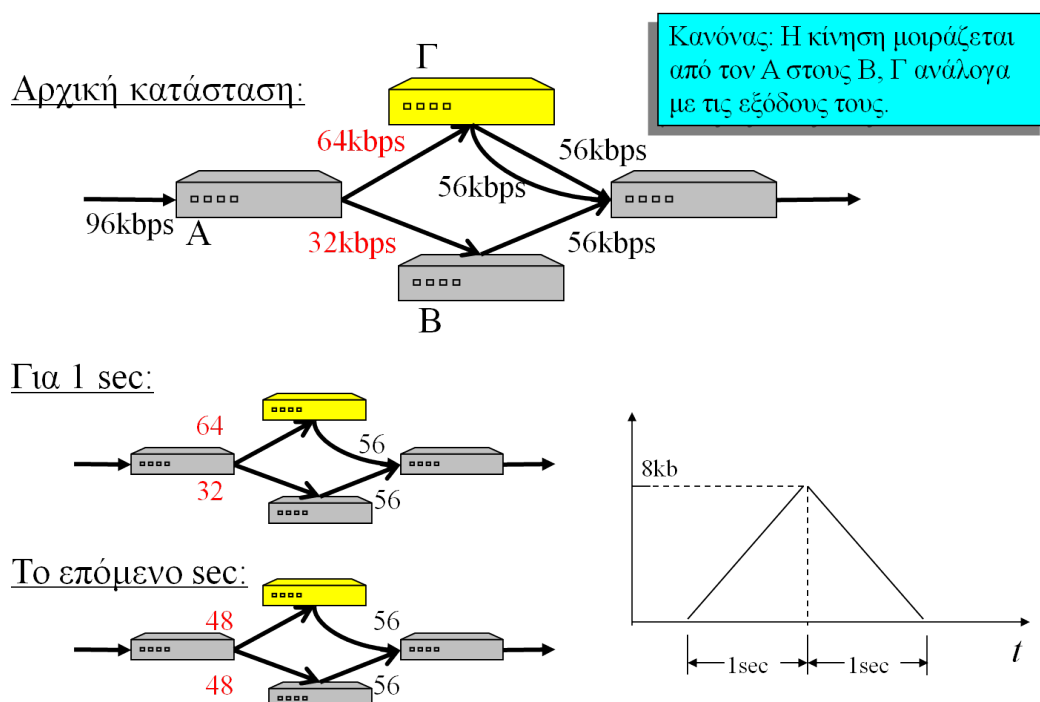
30/46

Δρομολόγηση σε κινητά δίκτυα



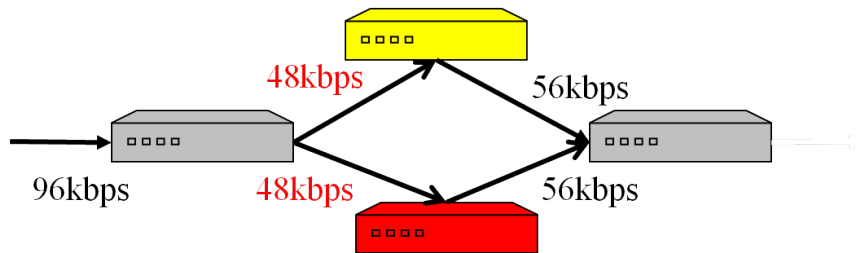
31/46

Αντοχή του αλγορίθμου δρομολόγησης



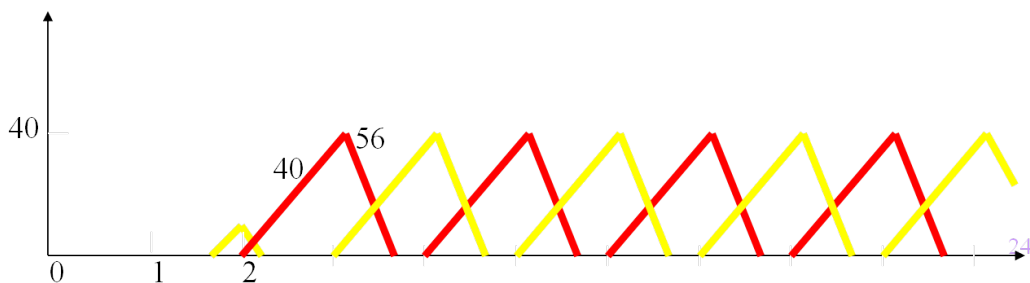
32/46

Σταθερότητα του αλγορίθμου δρομολόγησης



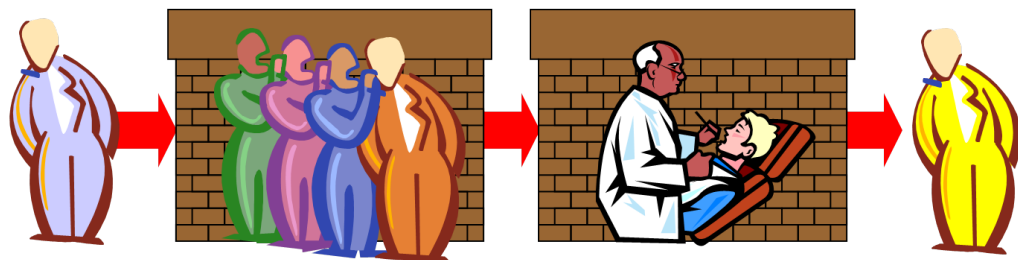
Κανόνας I: Ουρές ίσες \Rightarrow ίση κατανομή

Κανόνας II: Ουρές άνισες \Rightarrow όλο το φορτίο στην πιο μικρή



33/46

Υπόβαθρο: Σύστημα αναμονής $A/B/n$



A: Στατιστική περιγραφή αφίξεων

B: Στατιστική περιγραφή χρόνου εξυπηρέτησης
n: Αριθμός εξυπηρετούντων



25

Υπόβαθρο: Σύστημα αναμονής $M/M/1$

- ▶ $A = M$ = αφίξεις Poisson: Η πιθανότητα να εμφανισθούν N αφίξεις σε διάστημα t είναι

$$\Pr\{N(t) = k\} = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}$$

όπου λ είναι ο ρυθμός αφίξεων (δηλ. $E\{N(t)\} = \lambda t$).

- ▶ $A = M$ = ο χρόνος εξυπηρέτησης T του πελάτη είναι εκθετικά κατανομημένος, ήτοι

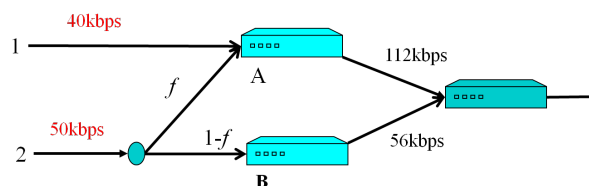
$$\Pr\{T \leq \tau\} = 1 - e^{-\mu\tau}$$

- ▶ Τότε η μέση καθυστέρηση είναι

$$E\{D\} = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

35/46

Δικαιοσύνη



Για πακέτα μήκους 1000 bits.

$$E\{D_A\} = \frac{1}{\mu_A - \lambda_A} = \frac{1}{112 - (40 + f \times 50)}$$

$$E\{D_B\} = \frac{1}{\mu_B - \lambda_B} = \frac{1}{56 - (1 - f)50}$$

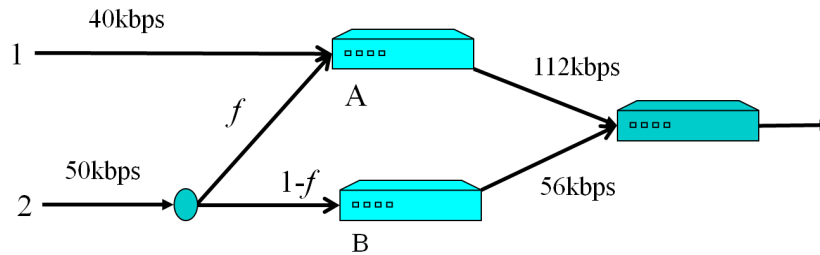
$$E\{D_1\} = E\{D_A\}$$

$$E\{D_1\} = fE\{D_A\} + (1 - f)E\{D_B\}$$

$$E\{D_1\} = E\{D_2\} \Leftrightarrow f = 0,66$$

36/46

Ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης



$$E\{D_A\} = \frac{1}{112 - (40 + f \times 50)}$$

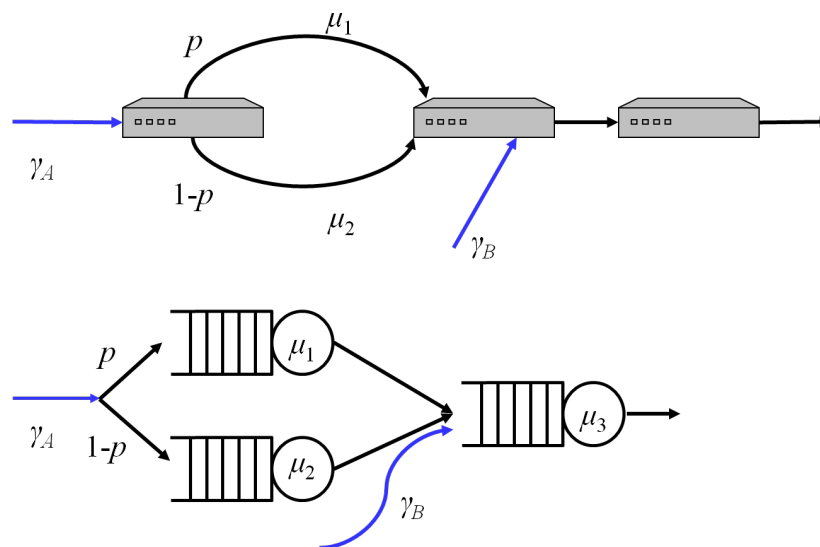
$$E\{D_B\} = \frac{1}{56 - (1 - f)50}$$

$$E\{D_1\} = \frac{40}{90}E\{D_1\} + \frac{50}{90}E\{D_2\}$$

$$\min E\{D\} \Leftrightarrow f = 0,46$$

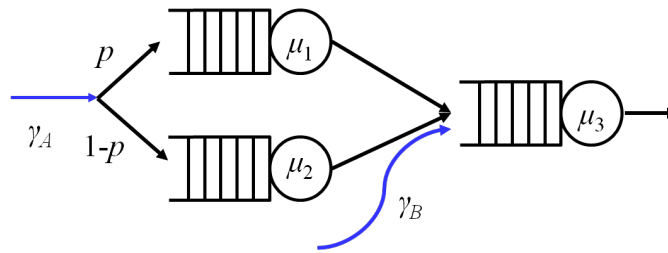
37/46

Πιθανοτική στατική δρομολόγηση



Ποια είναι η πιθανότητα p που διανέμει την κίνηση έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η μέση καθυστέρηση;

38/46



$$d_1 = \frac{1}{\mu_1 - p\gamma_A} \quad d_2 = \frac{1}{\mu_2 - (1-p)\gamma_A} \quad d_3 = \frac{1}{\mu_3 - (\gamma_A + \gamma_B)}$$

$$d = \frac{p\gamma_A}{\gamma_A + \gamma_B}(d_1 + d_3) + \frac{(1-p)\gamma_A}{\gamma_A + \gamma_B}(d_2 + d_3) + \frac{\gamma_B}{\gamma_A + \gamma_B}d_3$$

$$d = \min \Leftrightarrow p = \min \left\{ \frac{\mu_1\sqrt{\mu_2} - \mu_2\sqrt{\mu_1} + \gamma_A\sqrt{\mu_1}}{\gamma_A(\sqrt{\mu_1} + \sqrt{\mu_2})}, 1 \right\} \quad (\mu_1 > \mu_2)$$

39/46

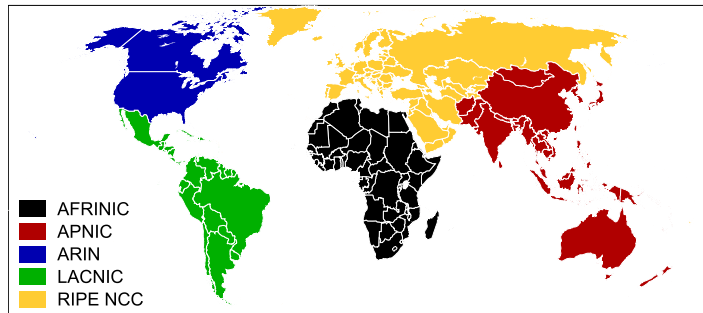
Ονόματα και διευθύνσεις (κατά IR v4) I

- ▶ Για να δρομολογηθεί ένα πακέτο είναι απαραίτητο να υπάρχει η διεύθυνση του παραλήπτη.
- ▶ Οι κόμβοι ενός δικτύου χαρακτηρίζονται από τις μήκους 32 bits διευθύνσεις δικτύου, που συνήθως γράφονται σε τέσσερα τμήματα με τελείες ανάμεσά τους, και καθένα είναι σε δεκαδική μορφή, π.χ. 147.102.250.3.
- ▶ Η διαδικασία παραχώρησης διευθύνσεων επιβλέπεται από μη κερδοσκοπικό οργανισμό που λέγεται Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN). Τα κατά τόπους γραφεία, γνωστά ως regional Internet registry (RIR) διαχειρίζονται σε μια ευρεία περιοχή τη διανομή των διευθύνσεων, μέσα στην οποία η διαχείριση περνάει στα

40/46

Ονόματα και διευθύνσεις (κατά IR v4) II

«τοπικά ληξιαρχεία», local Internet registries (LIR), δηλαδή ISPs και ακαδημαϊκά ιδρύματα.¹



- ▶ Η φυσική διεύθυνση μιας διεπαφής είναι αμετάβλητη (π.χ. μιας κάρτας Ethernet αποτελείται από 48 bits, του δακτυλίου ProNet είναι μόνο 8 bits).

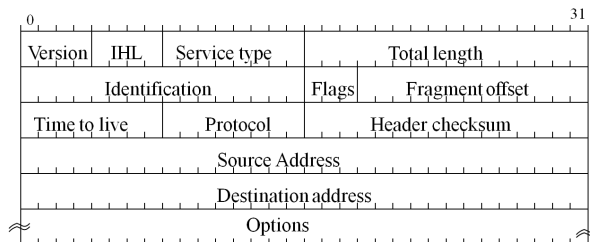
41/46

Ονόματα και διευθύνσεις (κατά IR v4) III

- ▶ Για ευκολία δίνουμε μνημονικά ονόματα, π.χ. central.ntua.gr, που λέγονται *ονόματα τομέα* (domain names).
- ▶ Τα ονόματα τομέα και οι αντιστοιχίες τους με τις διευθύνσεις δικτύου τηρούνται από ένα εξυπηρετητή ονομάτων (name server).
- ▶ Τα ονόματα τομέα παραχωρούνται από τους *καταχωρητές* (ή ληξιαρχους, αγγλ. registrars) που πιστοποιούνται και επιβλέπονται από τον ICANN).

¹<https://www.ripe.net/membership/indices/GR.html>

Επικεφαλίδα πακέτου IPv4



- ▶ Version: έκδοση του πρωτοκόλλου IP
- ▶ IHL: Internet Header Length
- ▶ Service Type: Προσδιορίζει την ποιότητα υπηρεσίας
- ▶ Identification, flags, fragment offset επιτρέπουν την ανασύνθεση πακέτων.
- ▶ Time to live: Πόσα βήματα επιτρέπεται να κάνει το πακέτο.
- ▶ Protocol: Ποιό πρωτόκολλο ανωτέρου επιπέδου κρύβεται στα δεδομένα.
- ▶ Header checksum αφορά στην επαλήθευση της επικεφαλίδας μόνο.

43/46

Προβλήματα του IPv4

- ▶ Το IPv4 διαθέτει διευθύνσεις των 32 bits μόνο.
- ▶ Δεν έχει έλεγχο στην ποιότητα υπηρεσίας.
- ▶ Δεν παρέχει ασφάλεια.

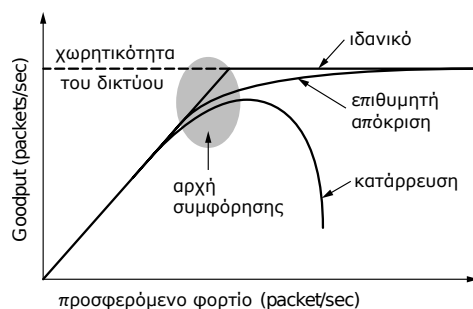
44/46

IPv6

- ▶ Το IPv6 διαθέτει διευθύνσεις των 128 bits, π.χ.:
8000:0000:0000:0000:0123:4567:89AB:CDEF
ή 8000::23:4567:89AB:CDEF
- ▶ Διατίθενται $2^{128} \approx 3,4 \times 10^{38}$ διευθύνσεις.
- ▶ Η επικεφαλίδα του διαθέτει τα εξής πεδία:
[Version—Priority—Flow—Total Length—Next Header—Hop Limit—Source Address—Destination Address]

45/46

Συμφόρηση



- ▶ Συγκέντρωση πολλών πακέτων σ' ένα τμήμα του δικτύου προκαλεί καθυστερήσεις, απώλειες και γενικά υποβάθμιση της ποιότητας. Η κατάσταση αυτή καλείται *συμφόρηση*.
- ▶ Η συμφόρηση γίνεται άμεσα αντιληπτή από το επίπεδο δικτύου, ωστόσο μπορεί να αποφευχθεί μόνο σε συνεργασία με το επίπεδο μεταφοράς, που τροφοδοτεί με κίνηση το δίκτυο.
- ▶ Η επίδοση του δικτύου παρουσιάζει συνήθως μια καμπύλη όπως φαίνεται στο σχήμα.

46/46