

Δίκτυα Υπολογιστών I

Δίκτυα Μεταγωγής και Διαδίκτυα: Μέρος Β'



Ευάγγελος Παπαπέτρου

Τμ. Μηχ. Η/Υ & Πληροφορικής, Παν. Ιωαννίνων

- 1 Διευθυνσιοδότηση
- 2 Μεταγωγή πληροφορίας
 - Μεταγωγή Πακέτου
 - Μεταγωγή Εικονικού Κυκλώματος
 - Δρομολόγηση προέλευσης
 - Γέφυρες και μεταγωγή LAN



Διάρθρωση

1 Διευθυνσιοδότηση

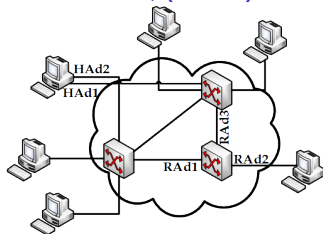
2 Μεταγωγή πληροφορίας

- Μεταγωγή Πακέτου
- Μεταγωγή Εικονικού Κυκλώματος
- Δρομολόγηση προέλευσης
- Γέφυρες και μεταγωγή LAN



Αναγκαιότητα της διευθυνσιοδότησης

- Σε όλα τα δίκτυα υπάρχει η ανάγκη κάθε κόμβος να προσδιορίζεται με μοναδικό τρόπο
 - ▶ απαίτηση: ένα καθολικά μοναδικό αναγνωριστικό (global unique identifier, GUID) που καλείται διεύθυνση (address)



Διεύθυνση και διασυνδέσεις

- ⇒ Μια διεύθυνση προσδιορίζει την διασύνδεση ενός κόμβου με το δίκτυο

Διευθύνσεις ειδικού σκοπού

- ⇒ Ένα σχήμα διευθυνσιοδότησης συνήθως προβλέπει ειδικές διευθύνσεις για την αποστολή δεδομένων σε όλους (broadcast address) ή σε ομάδες υπολογιστών (multicast addresses)

Παραδείγματα διευθυνσιοδότησης

- Διευθύνσεις IPv4: ένας αριθμός μεγέθους 32 bit
 - ▶ συνήθως αναπαρίστανται με τη μορφή $x.y.z.w$, όπου x, y, z, w δεκαδικοί αριθμοί ($0 \leq x, y, z, w \leq 255$), καθένας από τους οποίους αναπαριστά ένα από τα bytes της διεύθυνσης
 - ▶ παραδείγματα: 195.130.121.200, 255.255.255.255 (broadcast)
- Διευθύνσεις IPv6: ένας αριθμός μεγέθους 128 bit
 - ▶ συνήθως αναπαρίστανται ως ένα σύνολο 8 ομάδων από τέσσερα δεκαεξαδικά ψηφία
- Διευθύνσεις Ethernet: ένας αριθμός μεγέθους 48 bit
 - ▶ συνήθως μια διεύθυνση αναπαρίσταται ως ένα σύνολο 6 ομάδων από δύο δεκαεξαδικά ψηφία
 - ▶ παραδείγματα: A3:F2:12:3C:55:09, FF:FF:FF:FF:FF:FF (broadcast)



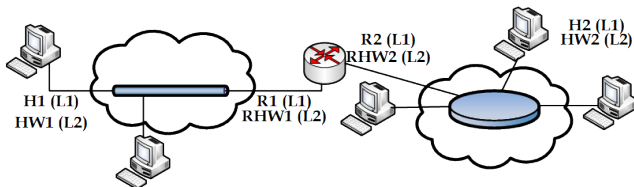
Διευθυνσιοδότηση και Διαδίκτυο (1/2)

- Στο Διαδίκτυο χρησιμοποιείται ένα σχήμα διευθυνσιοδότησης με **ιεραρχία**
 - ▶ οι υπολογιστές οργανώνονται σε ομάδες που καλούνται **δίκτυα (networks)**
 - ▶ ένα τμήμα της διεύθυνσης δηλώνει το δίκτυο (**network part**) και το υπόλοιπο τον υπολογιστή υπηρεσίας (**host part**)
 - ▶ παράδειγμα: IP address: 195.130.121.201, Network part: 195.130.121, Host part: 201
- Το μέγεθος του network part καθορίζεται **στατικά** ή **δυναμικά**
 - ▶ στατικά: με τις προκαθορισμένες τάξεις διευθύνσεων A,B και C
 - network part: A→7 bits, B→14 bits, C→21 bits
 - ▶ δυναμικά: με τη χρήση μιας **μάσκας δικτύου (network mask)**
 - μάσκα δικτύου: ένας αριθμός 32 bits με συνεχόμενα 1 όσα και το μέγεθος του network part, π.χ. 255.255.0.0, 255.255.128.0



Διευθυνσιοδότηση και Διαδίκτυο (2/2)

- Στο Διαδίκτυο οι υπολογιστές διαθέτουν **δύο διευθύνσεις για κάθε διασύνδεσή τους**
 - ▶ μια χρησιμοποιείται για την μεταγωγή της πληροφορίας
 - ▶ μια χρησιμοποιείται για τη μετάδοση/λήψη πληροφορίας στο φυσικό δίκτυο που υλοποιεί τη διασύνδεση
- Η χρήση δύο διευθύνσεων επιτρέπει την συνύπαρξη φυσικών δικτύων **διαφορετικών τεχνολογιών** με **διαφορετικούς τρόπους διευθυνσιοδότησης**
 - ▶ είναι απαραίτητος ένας **μηχανισμός αντιστοίχισης** των δύο διευθύνσεων (π.χ. πρωτόκολλο ARP)



Διάρθρωση

1 Διευθυνσιοδότηση

2 Μεταγωγή πληροφορίας

- Μεταγωγή Πακέτου
- Μεταγωγή Εικονικού Κυκλώματος
- Δρομολόγηση προέλευσης
- Γέφυρες και μεταγωγή LAN



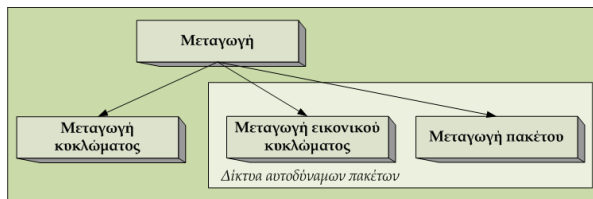
Εισαγωγή

- Βασικό ζήτημα: Ποιο τρόπο και ποια πληροφορία χρησιμοποιεί ο μεταγωγέας για να αποφασίσει τη θύρα εξόδου για ένα πακέτο;
- Δύο θεμελιώδεις προσεγγίσεις για τις τεχνικές μεταγωγής:
 - ▶ connectionless: κάθε πακέτο μετάγεται ως αυτόνομο και ανεξάρτητα από τα άλλα
 - ▶ connection oriented: τα πακέτα μέταγονται ως μέρη μια ροής πακέτων από τον αποστολέα στον παραλήπτη
- Οι τεχνικές μεταγωγής διαφέρουν επίσης στην έκταση των πληροφοριών που χρησιμοποιούν οι μεταγωγείς
- Η τεχνική μεταγωγής επηρεάζει σημαντικά το μοντέλο υπηρεσίας που προσφέρει ένα δίκτυο



Είδη Μεταγωγής

- Στα δίκτυα αυτοδύναμων πακέτων δύο είναι οι σημαντικότερες τεχνικές μεταγωγής:
 - ▶ μεταγωγή πακέτου (packet switching)
 - ▶ μεταγωγή εικονικού κυκλώματος (virtual circuit switching)
 - είναι επέκταση της τεχνικής μεταγωγής κυκλώματος για εφαρμογή σε δίκτυα αυτοδύναμων πακέτων



- Μια τρίτη αλλά λιγότερο σημαντική τεχνική μεταγωγής είναι η δρομολόγηση προέλευσης (source routing)



Διάρθρωση

- 1 Διευθυνσιοδότηση
- 2 Μεταγωγή πληροφορίας
 - Μεταγωγή Πακέτου
 - Μεταγωγή Εικονικού Κυκλώματος
 - Δρομολόγηση προέλευσης
 - Γέφυρες και μεταγωγή LAN



Κεντρική ιδέα

- Κάθε υπολογιστής υπηρεσίας μπορεί, όποτε το επιθυμεί, να **μεταδώσει άμεσα** πακέτα στο δίκτυο
- Το δίκτυο (μεταγωγείς) **δεν δεσμεύει εκ των προτέρων πόρους** για την μετάδοση των πακέτων
- Το δίκτυο προωθεί κάθε πακέτο ως **αυτόνομο** και ανάλογα με τους διαθέσιμους πόρους
 - ▶ connectionless προσέγγιση

⇒ Η μεταγωγή πακέτου χρησιμοποιείται στο Internet



Πρώθηση πακέτων (1/3)

- Κάθε πακέτο περιέχει την πλήρη διεύθυνση του προορισμού
- Σε κάθε μεταγωγέα υπάρχει ένας πίνακας που αντιστοιχίζει τις διευθύνσεις προορισμού με τις θύρες εξόδου του μεταγωγέα
 - ▶ ο πίνακας καλείται **πίνακας πρώθησης (forwarding table)** ή **πίνακας δρομολόγησης (routing table)**
 - ▶ ο αλγόριθμος δρομολόγησης είναι υπεύθυνος για την κατασκευή και την διατήρηση του πίνακα πρώθησης
- Για κάθε εισερχόμενο πακέτο ο μεταγωγέας:
 - ▶ διαβάζει τη διεύθυνση προορισμού
 - ▶ αποφασίζει την εξερχόμενη θύρα χρησιμοποιώντας τη διεύθυνση προορισμού και τον πίνακα πρώθησης

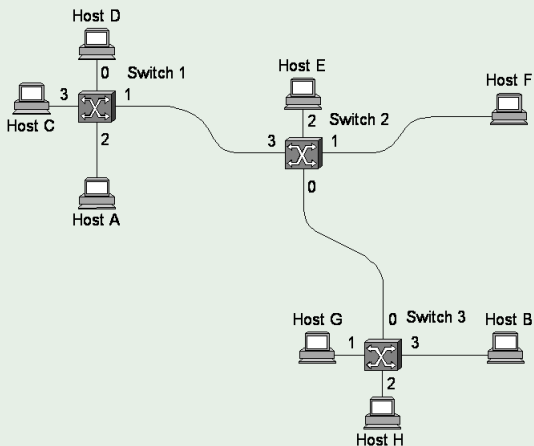


Πρώθηση πακέτων (2/3)

Πρώθηση σε ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτου

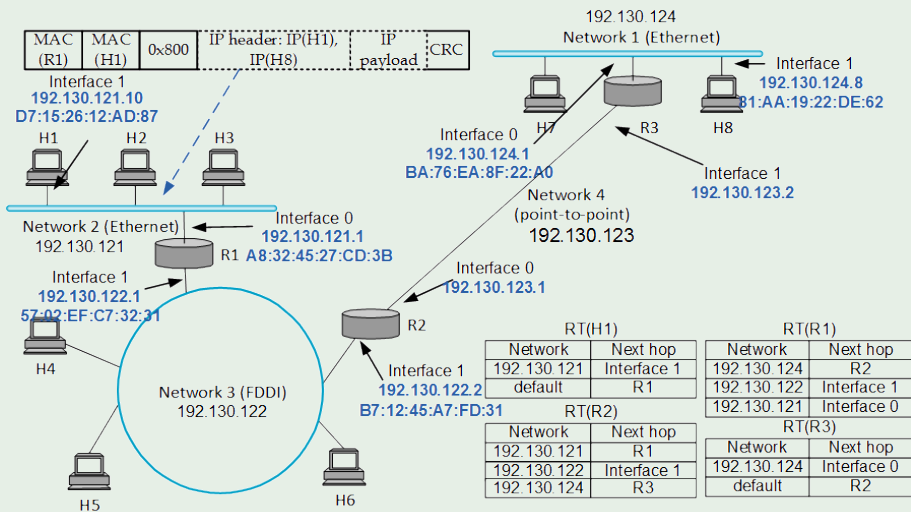
Πίνακας Πρώθησης
για τον
Μεταγωγέα 2 (Switch 2)

Προορισμός	Θύρα
A	3
B	0
C	3
D	3
E	2
F	1
G	0
H	0



Πρώθηση πακέτων (3/3)

Πρώθηση στο Διαδίκτυο



Μεταγωγή πακέτου: Μοντέλο υπηρεσίας και κόστος

- Η μεταγωγή πακέτου είναι μια **connectionless** και επομένως **stateless** προσέγγιση
 - ▶ **stateless**: οι μεταγωγείς **δεν διατηρούν πληροφορίες κατάστασης (state)** για τα μεταδιδόμενα πακέτα
 - ▶ παραδείγματα πληροφοριών κατάστασης: αναγνωριστικό πακέτου, αναγνωριστικό ροής δεδομένων στην οποία ανήκει το πακέτο
- Η **stateless** προσέγγιση χαρακτηρίζεται από **χαμηλό κόστος υλοποίησης**
 - ▶ οι μεταγωγείς **δεν επιφορτίζονται με την εγγραφή, διαγραφή, ενημέρωση και αναζήτηση** των πληροφοριών κατάστασης
- Η μεταγωγή πακέτου προσφέρει ένα **best effort** μοντέλο υπηρεσιών
 - ▶ η ορθή παράδοση ενός πακέτου **δεν είναι εγγυημένη**
 - ▶ η ρυθμαπόδοση **δεν είναι εγγυημένη**
 - ▶ διαδοχικά πακέτα **ενδέχεται να παραδοθούν εκτός σειράς**
 - ▶ η εμφάνιση συμφόρησης στους μεταγωγείς **δεν μπορεί να αποκλειστεί**



Διάρθρωση

1 Διευθυνσιοδότηση

2 Μεταγωγή πληροφορίας

- Μεταγωγή Πακέτου
- Μεταγωγή Εικονικού Κυκλώματος
- Δρομολόγηση προέλευσης
- Γέφυρες και μεταγωγή LAN



Εισαγωγή

- Κεντρική ιδέα: η χρήση του **εικονικού κυκλώματος (virtual circuit, VC)**
 - ▶ **εικονικό κύκλωμα**: ένα σύνολο πόρων κατά μήκος ενός μονοπατιού
- Κάθε υπολογιστής υπηρεσίας πριν μεταδώσει πακέτα στο δίκτυο πρέπει να **εγκαθιδρύσει ένα εικονικό κύκλωμα**:
 - ▶ οι μεταγωγείς **δεσμεύουν τους πόρους** για την μετάδοση των πακέτων του VC και **αποθηκεύουν** τις απαραίτητες **πληροφορίες κατάστασης (state)**
 - ▶ η εγκαθίδρυση του VC είναι αδύνατη αν δεν υπάρχουν οι απαραίτητοι πόροι
- Η αποστολή των δεδομένων ξεκινά μόλις ολοκληρωθεί η εγκαθίδρυση του εικονικού κυκλώματος
 - ▶ Το δίκτυο αντιμετωπίζει τα πακέτα του VC ως ένα σύνολο (**connection oriented** προσέγγιση)

⇒ Η μεταγωγή εικονικού κυκλώματος εφαρμόζεται σε γνωστά και επιτυχημένα δίκτυα όπως τα ATM και X.25

Αναπαράσταση εικονικού κυκλώματος (1/2)

- Πρόβλημα: Απαιτείται η κατασκευή ενός **καθολικού μοναδικού αναγνωριστικού** για κάθε εικονικό κύκλωμα στο δίκτυο
 - ▶ αδύνατον να υπάρξει **κοινή απόφαση** όλων των κόμβων ή απόφαση από έναν κεντρικό κόμβο
- Λύση: **Αναγνωριστικό εικονικού κυκλώματος (virtual circuit identifier, VCI)**
 - ▶ είναι ένα αναγνωριστικό **τοπικής εμβέλειας (local scope)**: αφορά τον προσδιορισμό ενός εικονικού κυκλώματος σε ένα σύνδεσμο
 - ▶ το ζεύγος τιμών **θύρα εισόδου** και **εισερχόμενο VCI** προσδιορίζει μοναδικά ένα εικονικό κύκλωμα σε έναν μεταγωγέα
- Εικονικό κύκλωμα: προσδιορίζεται μοναδικά χωρίς την ανάγκη κεντρικού ελέγχου χρησιμοποιώντας μια ακολουθία από τιμές **<θύρα, VCI>**



Αναπαράσταση εικονικού κυκλώματος (2/2)

- Σε κάθε μεταγωγή υπάρχει ένας πίνακας VC που περιέχει μια εγγραφή για κάθε εξυπηρετούμενο εικονικό κύκλωμα
- Κάθε εγγραφή περιέχει:
 - ▶ ένα VCI για τα εισερχόμενα εικονικά κυκλώματα
 - ▶ τη θύρα εισόδου μέσω της οποίας καταφθάνουν στο μεταγωγέα τα πακέτα του εικονικού κυκλώματος
 - ▶ ένα VCI για τα εξερχόμενα εικονικά κυκλώματα
 - ▶ τη θύρα εξόδου μέσω της οποίας προωθούνται τα πακέτα του εικονικού κυκλώματος

Παράδειγμα πίνακα VC

Θύρα εισόδου	Εισερχόμενο VCI	Θύρα εξόδου	Εξερχόμενο VCI
2	5	1	11



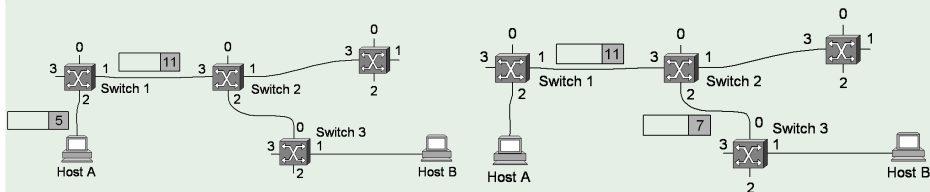
Πρώθηση πακέτων (1/2)

- Κάθε πακέτο που ανήκει σε ένα εικονικό κύκλωμα μεταφέρει το ίδιο αναγνωριστικό εικονικού κυκλώματος VCI
- Ο μεταγωγέας, για κάθε πακέτο που λαμβάνει, εξετάζει τη **θύρα εισόδου** και το VCI που αυτό μεταφέρει για να εντοπίσει την κατάλληλη εγγραφή στον πίνακα VC
- Ακολουθώς:
 - ▶ αντικαθιστά στο πακέτο την τιμή VCI με αυτήν που καθορίζεται ως **εξερχόμενο VCI** στην εγγραφή του πίνακα VC
 - ▶ προωθεί το πακέτο στη θύρα εξόδου που καθορίζεται στην εγγραφή του πίνακα VC



Πρώθηση πακέτων (2/2)

Πρώθηση σε ένα δίκτυο μεταγωγής εικονικού κυκλώματος



Πίνακας VC στον μεταγωγέα 1

Θύρα εισόδου	Εισερχόμενο VCI	Θύρα εξόδου	Εξερχόμενο VCI
2	5	1	11

Πίνακας VC στον μεταγωγέα 2

Θύρα εισόδου	Εισερχόμενο VCI	Θύρα εξόδου	Εξερχόμενο VCI
3	11	2	7

Πίνακας VC στον μεταγωγέα 3

Θύρα εισόδου	Εισερχόμενο VCI	Θύρα εξόδου	Εξερχόμενο VCI
0	7	1	4

Εγκαθίδρυση εικονικού κυκλώματος (1/3)

- Κάθε φορά που δημιουργείται ένα εικονικό κύκλωμα πρέπει να γίνει η **εγκαθίδρυση** του:
 - ▶ να αποδοθεί μια τιμή VCI για κάθε σύνδεσμο στο μονοπάτι που αυτό θα διασχύσει
 - ▶ κάθε μεταγωγέας στο μονοπάτι που ακολουθεί το εικονικό κύκλωμα να ενημερώσει τον πίνακα VC
- Υπάρχουν δύο τεχνικές για την εγκαθίδρυση ενός εικονικού κυκλώματος:
 - ▶ η **δυναμική εγκαθίδρυση** με την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των υπολογιστών υπηρεσίας και των μεταγωγέων
 - ▶ η **στατική εγκαθίδρυση** από το διαχειριστή του δικτύου



Εγκαθίδρυση εικονικού κυκλώματος (2/3)

- Μηχανισμός δυναμικής εγκαθίδρυσης:
 - ▶ ο υπολογιστής προέλευσης στέλνει ένα μήνυμα εγκαθίδρυσης που διέρχεται από τους μεταγωγείς που θα εξυπηρετήσουν το VC
 - ▶ κάθε μεταγωγέας που λαμβάνει το μήνυμα επιλέγει μια τιμή VCI για τον εισερχόμενο κλάδο και ενημερώνει τον επόμενο μεταγωγέα
 - ▶ ο υπολογιστής προορισμού απαντά με ένα μήνυμα επιβεβαίωσης
 - ▶ με το μήνυμα επιβεβαίωσης επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία στην αντίστροφη κατεύθυνση
 - ▶ για τη διαγραφή της σύνδεσης ο υπολογιστής προέλευσης στέλνει ένα μήνυμα διαγραφής το οποίο λαμβάνουν με τη σειρά οι μεταγωγείς
- Η επιλογή του μεταγωγέα για την προώθηση του μηνύματος εγκαθίδρυσης γίνεται με τον αλγόριθμο δρομολόγησης
 - ▶ ο αλγόριθμος δρομολόγησης χρησιμοποιείται μόνο στην εγκατάσταση του VC



Εγκαθίδρυση εικονικού κυκλώματος (3/3)

- Η ανταλλαγή μηνυμάτων για την εγκαθίδρυση του εικονικού κυκλώματος ονομάζεται **σηματοδότηση (signalling)**
 - ▶ τα εικονικά κυκλώματα ονομάζονται κυκλώματα **μεταγωγής (switched virtual circuits, SVC)**
- Στατική εγκαθίδρυση:
 - ▶ ο διαχειριστής του δικτύου είναι υπεύθυνος για την απόδοση των τιμών VCI αλλά και την ενημέρωση των μεταγωγέων (εγγραφή και διαγραφή)
 - ▶ στην περίπτωση αυτή τα εικονικά κυκλώματα χαρακτηρίζονται ως **μόνιμα (permanent virtual circuits, PVC)** καθώς είναι κυκλώματα μακράς διάρκειας
 - ▶ η τεχνική είναι **ανέφικτη** σε δίκτυα με πολλούς υπολογιστές



Μεταγωγή εικονικού κυκλώματος: Κόστος

- Η μεταγωγή εικονικού κυκλώματος είναι μια **connection oriented** και επομένως **stateful προσέγγιση**
 - ▶ κάθε μεταγωγέας στο μονοπάτι του εικονικού κυκλώματος **διατηρεί πληροφορίες κατάστασης (state)** για αυτό (π.χ. εισερχόμενο και εξερχόμενο VCI, πληροφορίες δέσμευσης πόρων)
- Η stateful προσέγγιση χαρακτηρίζεται από **υψηλό κόστος υλοποίησης**
 - ▶ οι μεταγωγείς επιφορτίζονται με την **εγγραφή, διαγραφή, ενημέρωση και αναζήτηση** των πληροφοριών κατάστασης
 - ▶ υψηλό αποθηκευτικό κόστος σε μεγάλα δίκτυα
- Η κατανάλωση εύρους ζώνης λόγω της σηματοδότησης κατά την εγκαθίδρυση του εικονικού κυκλώματος είναι σημαντική
- Ωστόσο, κάθε πακέτο μεταφέρει μόνο το VCI και όχι τη διεύθυνση προορισμού



Μεταγωγή εικονικού κυκλώματος: Μοντέλο υπηρεσίας

- Η μεταγωγή εικονικού κυκλώματος μπορεί να προσφέρει ένα πιο σύνθετο μοντέλο υπηρεσιών από το μοντέλο best effort και να παρέχει **ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service, QoS)**
 - ▶ μπορούν να υπάρξουν εγγυήσεις για μια ελάχιστη ρυθμαπόδοση
 - ▶ η εν σειρά παράδοση των πακέτων είναι εγγυημένη εφόσον δεν υπάρχουν μεταβολές στο δίκτυο (όλα τα πακέτα ακολουθούν την ίδια διαδρομή)
 - ▶ η εμφάνιση συμφόρησης στους μεταγωγείς είναι σπανιότερο φαινόμενο
- Ωστόσο υπάρχουν και κάποια αρνητικά χαρακτηριστικά:
 - ▶ απαιτείται καθυστέρηση (τουλάχιστον RTT) πριν την έναρξη της επικοινωνίας
 - ▶ Σε περίπτωση αστοχίας (συνδέσμου ή μεταγωγέα) το **εικονικό κύκλωμα καταστρέφεται** και πρέπει να **εγκαθιδρυθεί εκ νέου**
 - η διαδικασία νέας εγκαθίδρυσης ονομάζεται **handover** και εισάγει νέο κόστος
 - όλοι οι μεταγωγείς πρέπει να διαγράψουν το παλιό εικονικό κύκλωμα



Κατανομή πόρων και είδος μεταγωγής

- Μεταγωγή πακέτου και εικονικού κυκλώματος: δύο διαφορετικές προσεγγίσεις στη αξιοποίηση-κατανομή των πόρων του δικτύου
- Μεταγωγή εικονικού κυκλώματος → συντηρητική προσέγγιση
 - ▶ η εκ των προτέρων δέσμευση πόρων επιτρέπει στους μεταγωγείς να έχουν έλεγχο των διαθέσιμων πόρων και να απορρίπτον αιτήματα
 - ▶ οι πόροι ενός μεταγωγέα ενδεχομένως υποαξιοποιούνται: είναι απίθανο ένα VC να αξιοποιεί συνεχώς όλους τους πόρους που του έχουν αποδοθεί
 - ▶ η δημιουργία συμφόρησης είναι σπάνια ή και αδύνατη
- Μεταγωγή πακέτου → επιθετική προσέγγιση
 - ▶ η απουσία ελέγχου στους μεταγωγείς επιτρέπει την καλύτερη αξιοποίηση των πόρων τους \Leftrightarrow εξυπηρέτηση περισσότερων χρηστών
 - ▶ ωστόσο δεν υπάρχει εγγύηση για τις προσφερόμενες υπηρεσίες



Διάρθρωση

- 1 Διευθυνσιοδότηση
- 2 Μεταγωγή πληροφορίας
 - Μεταγωγή Πακέτου
 - Μεταγωγή Εικονικού Κυκλώματος
 - Δρομολόγηση προέλευσης
 - Γέφυρες και μεταγωγή LAN



Εισαγωγή

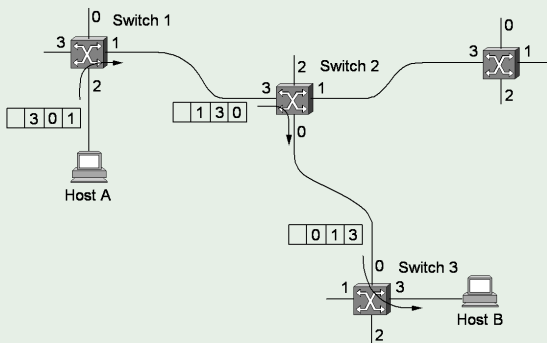
- Κεντρική ιδέα: οι πληροφορίες που είναι απαραίτητες για τη μεταγωγή του πακέτου μέχρι τον προορισμό παρέχονται από τον υπολογιστή υπηρεσίας προέλευσης (source host)
 - ▶ η τεχνική ονομάζεται **δρομολόγηση προέλευσης (source routing)**
 - ▶ προϋπόθεση: ο αλγόριθμος δρομολόγησης πρέπει να παρέχει στον υπολογιστή προέλευσης τη διαδρομή μέχρι τον προορισμό
- Οι απαραίτητες πληροφορίες για τη μεταγωγή (θύρα εξόδου σε κάθε μεταγωγέα) αποθηκεύονται στην κεφαλίδα του πακέτου
- Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα μεταγωγής πακέτου και μεταγωγής εικονικού κυκλώματος
 - ▶ π.χ. στο IP υπάρχει πρόβλεψη για δρομολόγηση προέλευσης
 - ▶ ορισμένα δίκτυα μεταγωγής εικονικού κυκλώματος χρησιμοποιούν την τεχνική κατά την εγκαθίδρυση του VC



Πρώθηση πακέτων

- Κάθε μεταγωγέας:
 - ▶ διαβάζει την πρώτη θύρα στην κεφαλίδα του πακέτου και τη μεταφέρει στην τελευταία θέση της κεφαλίδας
 - ▶ μεταδίδει το πακέτο στη θύρα εξόδου που διάβασε

Παράδειγμα πρώτωσης με δρομολόγηση προέλευσης



Κόστος

- Πλεονέκτημα: δεν υπάρχει αποθηκευτικό κόστος στους μεταγωγείς και το κόστος επεξεργασίας ενός πακέτου είναι σχετικά χαμηλό
- Μειονέκτημα: η μεταφορά των πληροφοριών μεταγωγής στην κεφαλίδα του πακέτου αποτελεί σημαντικό κόστος
 - ▶ εύρος ζώνης χρησιμοποιείται για τη μετάδοση των πληροφοριών μεταγωγής
- Διάφορες τεχνικές μπορούν να μειώσουν το κόστος
 - ▶ ένας μεταγωγέας μπορεί να αφαιρεί από την κεφαλίδα τη θύρα που μόλις διάβασε
 - ▶ στην κεφαλίδα είναι δυνατόν να καθορίζονται μόνο ορισμένοι από τους μεταγωγείς του δρομολογίου που πρέπει να ακολουθήσει το πακέτο (χαλαρή δρομολόγηση)
 - ο καθορισμός όλων των ενδιάμεσων μεταγωγέων ονομάζεται **αυστηρή δρομολόγηση**



Διάρθρωση

- 1 Διευθυνσιοδότηση
- 2 Μεταγωγή πληροφορίας
 - Μεταγωγή Πακέτου
 - Μεταγωγή Εικονικού Κυκλώματος
 - Δρομολόγηση προέλευσης
 - Γέφυρες και μεταγωγή LAN



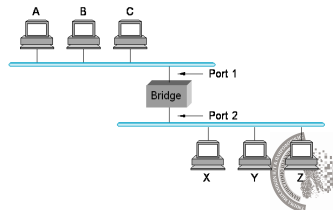
Εισαγωγή

- Σε πολλές περιπτώσεις είναι επιθυμητό να διασυνδέσουμε πολλά δίκτυα άμεσου συνδέσμου της **ίδιας τεχνολογίας**
 - ▶ π.χ., να διασυνδέσουμε δίκτυα Ethernet
- Η διασύνδεση με επαναλήπτη είναι μη ικανοποιητική λύση:
 - ▶ το δίκτυο που δημιουργείται λειτουργεί ως ένα ενιαίο: όλοι οι κόμβοι ανταγωνίζονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα τη μείωση της ρυθμαπόδοσης
 - ▶ το συνδεδεμένο δίκτυο υπόκειται στους ίδιους φυσικούς περιορισμούς για τη μέγιστη απόσταση λειτουργίας
- Λύση: Διασύνδεση με ειδικούς μεταγωγείς που ονομάζονται **γέφυρες (bridges)** ή **μεταγωγείς LAN** ή **μεταγωγείς επιπέδου-2 (layer-2 switches)**
 - ▶ οι μεταγωγείς αυτοί λειτουργούν μόνο με το πρωτόκολλο του δικτύου άμεσου συνδέσμου
 - ▶ το δίκτυο που σχηματίζεται ονομάζεται **επεκτεταμένο (extended) LAN**



Γέφυρες με δυνατότητα μάθησης

- Ένας **μεταγωγέας LAN** μπορεί να κατασκευάσει τον πίνακα προώθησης και να υλοποιήσει τη **μεταγωγή πακέτου**
 - ▶ καταγράφει τη διεύθυνση προέλευσης κάθε πακέτου και τη θύρα λήψης και ενημερώνει τον πίνακα προώθησης
 - ▶ οι εγγραφές του πίνακα προώθησης διατηρούνται για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ύστερα από το οποίο διαγράφονται
- Ο μεταγωγέας:
 - ▶ προωθεί τα πακέτα σύμφωνα με τον πίνακα προώθησης που έχει κατασκευάσει
 - ▶ προωθεί όλα τα πακέτα προς προορισμούς για τους οποίους δεν υπάρχει εγγραφή στον πίνακα προώθησης
 - ▶ δεν προωθεί πακέτα που κατευθύνονται στην ίδια θύρα από την οποία ελήφθησαν



Περιορισμοί γεφυρών

- Οι μεταγωγείς LAN υπόκεινται σε δύο βασικούς περιορισμούς που σχετίζονται με την κλιμάκωση και την ετερογένεια
- Περιορισμένη δυνατότητα κλιμάκωσης
 - ▶ αιτία: ο αλγόριθμος του δένδρου κάλυψης δεν έχει καλές ιδιότητες κλιμάκωσης
 - ▶ δεν έχει προβλεφθεί κάποια ιεραρχική οργάνωση των επεκτεταμένων LAN
- Περιορισμένη δυνατότητα διασύνδεσης δικτύων διαφορετικών τύπων
 - ▶ αιτία: οι μεταγωγείς LAN χρησιμοποιούν την κεφαλίδα του πλαισίου για τη μεταγωγή
 - ▶ μόνο δίκτυα που χρησιμοποιούν την ίδια μορφή διευθύνσεων μπορούν να διασυνδεθούν

