

Επισκόπηση Συστημάτων Μεταγωγής Πληροφορίας



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



Σύνοψη

- 1 Εισαγωγή στα δίκτυα μεταγωγής πακέτου
 - 1.1 Μεταγωγή κυκλώματος
 - 1.2 Μεταγωγή Πακέτου
 - 1.3 Συστήματα Μεταγωγής βασισμένα σε ATM
 - 1.4 Συστήματα δρομολόγησης βασισμένα σε IP
 - 1.5 Κριτήρια σχεδίασης και απαιτήσεις επίδοσης





Μεταγωγή κυκλώματος (1)

- Χρησιμοποιείται στα κλασικά τηλεφωνικά δίκτυα – προϋποθέτει την εγκατάσταση κυκλώματος καθόλη τη διάρκεια χρήσης μιας υπηρεσίας
- Μέθοδος προσανατολισμένη σε σύνδεση (connection oriented)
- Απαραίτητες οι λειτουργίες σηματοδοσίας για την εγκατάσταση / κατάργηση του νοητού κυκλώματος

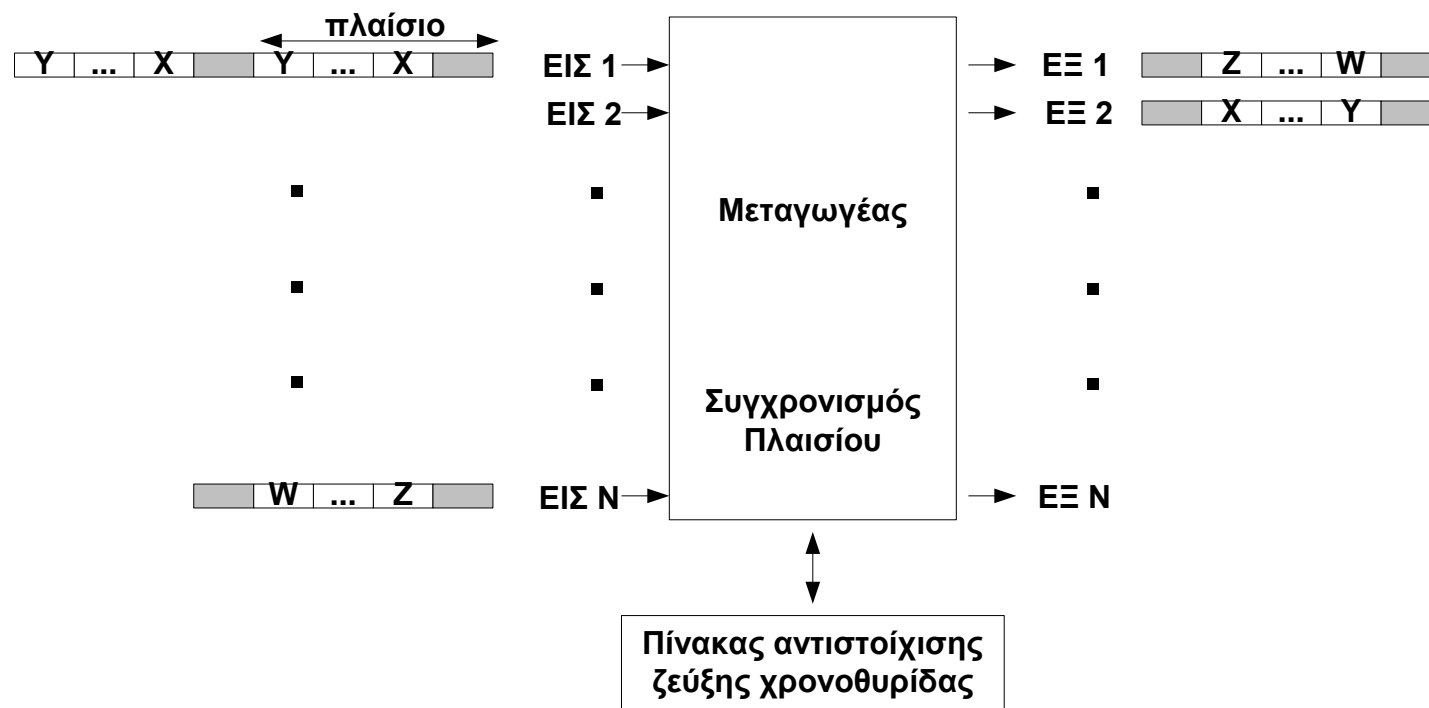


Μεταγωγή κυκλώματος (2)

- Η μεταγωγή κυκλώματος αναφέρεται και ως **Τρόπος Σύγχρονης Μεταφοράς** (Synchronous Transfer Mode, STM)
- Η πληροφορία μεταφέρεται με μια συγκεκριμένη συχνότητα επανάληψης, π.χ. 8bits/125μsec για ρυθμό μετάδοσης 64Kbps
- Η συχνότητα επανάληψης καλείται **χρονική θυρίδα**, ενώ ο ρυθμός μετάδοσης καλείται **κανάλι βασικού ρυθμού**
- Οι εξυπηρετούμενες συνδέσεις πολυπλέκονται με βάση την **Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου** (Time Division Multiplexing, TDM)
- Κάθε σύνδεση καταλαμβάνει μία ή περισσότερες χρονικές θυρίδες (ανάλογα με τις απαιτήσεις σε εύρος ζώνης), οι οποίες παραμένουν οι ίδιες καθόλη τη διάρκεια της κλήσης

Μεταγωγή κυκλώματος (3)

Παράδειγμα



Μεταγωγή κυκλώματος (4)

Εισερχόμενη Ζεύξη	Χρονική θυρίδα	Εξερχόμενη Ζεύξη	Χρονική θυρίδα
ΕΙΣ1	1 ... N	ΕΞ2 ... ΕΞ2	N ... 1
ΕΙΣ1	1 ... N
...
ΕΙΣN	1 ... N	ΕΞ1 ... ΕΞ1	N ... 1





Μεταγωγή κυκλώματος (5)

■ Πλεονεκτήματα

- Εγγύηση της ποιότητας υπηρεσίας, αφού υπάρχει εκ των προτέρων δέσμευση των πόρων του δικτύου
- Διατήρηση της ορθής σειράς παράδοσης των δεδομένων

■ Μειονεκτήματα

- Η αρχική δέσμευση των πόρων του δικτύου (εύρος ζώνης) οδηγεί σε κατασπατάληση, ιδιαίτερα για εφαρμογές δεδομένων που χαρακτηρίζονται από εκρηκτική κίνηση
- Μη βέλτιστη ανάθεση πόρων / μειωμένη ευελιξία διαχείρισης εξαιτίας του κβαντισμένου καναλιού - ακόμα και υπηρεσίες μικρών απαιτήσεων σε εύρος ζώνης καταλαμβάνουν ολόκληρο το κανάλι βασικού ρυθμού
- αδυναμία δυναμικής εκχώρησης εύρους ζώνης



Μεταγωγή κυκλώματος πολλαπλού ρυθμού

- Σε υπηρεσίες με μεγάλες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, μπορούν να ανατεθούν περισσότερα του ενός κανάλια βασικού ρυθμού (ή αντίστοιχα περισσότερες της μίας χρονικές θυρίδες)
- Πλεονεκτήματα
 - Δυνατότητα εξυπηρέτησης υπηρεσιών με πολύ υψηλές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, π.χ. τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας
- Μειονεκτήματα
 - Αυξάνει σημαντικά η πολυπλοκότητα του συστήματος, εξαιτίας της απαίτησης συγχρονισμού των επιμέρους καναλιών
 - Δυσκολία επιλογής βασικού ρυθμού, ώστε να ανταποκρίνεται ορθολογιστικά στις απαιτήσεις εύρους ζώνης των διαφόρων υπηρεσιών (από τηλεμετρία μέχρι Τηλεόραση Υψηλής Ευκρίνειας)



Γρήγορη Μεταγωγή κυκλώματος

- Η μέθοδος αυτή προτάθηκε για την αντιμετώπιση του προβλήματος της μη βέλτιστης διαχείρισης εύρους ζώνης εξαιτίας εκρηκτικότητας της πληροφορίας του χρήστη
- Σε αντίθεση με τα κλασικά συστήματα μεταγωγής κυκλώματος, οι πόροι του δικτύου δεν δεσμεύονται εκ των προτέρων
- Τοι εύρος ζώνης ανατίθεται μόνο όταν υπάρχει πληροφορία προς μετάδοση και αποδεσμεύονται μετά την αποστολή
- Πλεονεκτήματα
 - Αποτελεσματικότερη διαχείριση των πόρων του δικτύου
- Μειονεκτήματα
 - Πιθανότητα αδυναμίας εξυπηρέτησης μιας σύνδεσης, σε περίπτωση που οι αντίστοιχοι πόροι δικτύου δεν είναι διαθέσιμοι τη στιγμή που η πηγή έχει δεδομένα προς αποστολή



Μεταγωγή Πακέτου

- Η πληροφορία χρήστη οργανώνεται σε πακέτα
- Τα πακέτα περιέχουν, εκτός της πληροφορίας χρήστη, επιπλέον πληροφορία (γνωστή ως **επικεφαλίδα**), η οποία χρησιμοποιείται για λειτουργίες του δικτύου, π.χ. δρομολόγηση, διόρθωση λαθών, έλεγχο ροής κ.α.
- Η εγκατάσταση σύνδεσης υποστηρίζεται, αλλά είναι προαιρετική
- Κύριες κατηγορίες Δικτύων Μεταγωγής Πακέτου
 - Δίκτυα X25
 - Δίκτυα Αναμετάδοσης Πλαισίου (Frame Relay)
 - Διαδίκτυο (Internet)



Δίκτυα X25 (1)

- Χρησιμοποιούνται για μεταφορά πληροφορίας χαμηλού ρυθμού (μέχρι 64Kbps)
- Τα δεδομένα αποστέλλονται υπό τη μορφή πακέτων μέγιστου μήκους 128 οκτάδων
- Βασίζονται στην εγκατάσταση σύνδεσης πριν την έναρξη της διαδικασίας μετάδοσης, χρησιμοποιώντας ένα εκ των παρακάτω:
 - **Επιλεγόμενο νοητό κύκλωμα** (Switched Virtual Circuit, SVC):
Εγκαθίσταται κατά την έναρξη της κλήσης και καταργείται στο πέρας
 - **Μόνιμα νοητά κυκλώματα** (Permanent Virtual Circuit, PVC):
Εγκαθίσταται προκαταβολικά με τη συμφωνία πελάτη και φορέα και είναι πάντα διαθέσιμο, ανεξάρτητα με το αν υπάρχουν δεδομένα προς αποστολή – ανάλογο με μία μισθωμένη γραμμή



Δίκτυα X25 (2)

- Πλεονεκτήματα
 - Η ύπαρξη σύνδεσης εγγυάται αξιοπιστία μετάδοσης, καθώς και ορθή σειρά παράδοσης των πακέτων
 - Εκτελείται έλεγχος ροής, ώστε να εξασφαλιστεί ότι ένας “γρήγορος” αποστολέας δε θα πλημμυρίσει έναν αργό ή απασχολημένο δέκτη
 - Εκτελούνται λειτουργίες αναμετάδοσης σε περίπτωση εσφαλμένων ή χαμένων πακέτων
- Μειονεκτήματα
 - Χαμηλός ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας
 - Τα πακέτα έχουν μεταβλητό μήκος, γεγονός που δυσχεραίνει και καθιστά χρονοβόρα τη διαχείριση των ενταμιευτών στους κόμβους μεταγωγής
 - Πρόσθετη καθυστέρηση λόγω των λειτουργιών αναμετάδοσης





Δίκτυα X25 (3)

- Τα μειονεκτήματα των δικτύων X25 σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις των νέων υπηρεσιών για υψηλές ταχύτητες οδήγησε στην ανάγκη αναθεώρησης του υπάρχοντος συστήματος μεταγωγής πακέτου
- Τελικός στόχος η μείωση της συνολικής καθυστέρησης μετάδοσης των πακέτων στο δίκτυο
- Δεδομένης της ύπαρξης γρήγορων ζεύξεων (ανάπτυξη της τεχνολογίας οπτικών ινών), το πρόβλημα της επίδοσης μεταφέρθηκε στους κόμβους μεταγωγής
- Για την ελάττωση της καθυστέρησης λόγω των λειτουργιών αναμετάδοσης και ελέγχου:
 - Περιορίστηκαν σε σημαντικό βαθμό οι λειτουργίες των μεταγωγέων, με ανάθεση ενός μέρους τους στα τερματικά
 - Οι λειτουργίες που παρέμειναν στους μεταγωγείς υλοποιήθηκαν σε υλικό αντί λογισμικό, παρέχοντας σαφώς υψηλότερη ταχύτητα
- Δύο νέες μέθοδοι τέθηκαν υπό αξιολόγηση:
 - Η **Αναμετάδοση Πλαισίου** (Frame Relay)
 - Ο **Τρόπος Ασύγχρονης Μεταφοράς** (Asynchronous Transfer Mode, ATM)





Δίκτυα Αναμετάδοσης Πλαισίου (1)

- Τα δεδομένα αποστέλλονται υπό τη μορφή πακέτων μέγιστου μήκους 1600 οκτάδων
- Υπάρχει η δυνατότητα αποστολής προς πολλαπλούς παραλήπτες (Multicast)
- Η πληροφορία μεταφέρεται με ρυθμούς που αντιστοιχούν στη βασική και την πρωτεύουσα πρόσβαση ISDN ($2B+D = 64+64+ 16 = 144\text{Kbps}$ και $30B + D = 1.936\text{Mbps}$ αντίστοιχα)
- Παρέχονται οι στοιχειώδεις λειτουργίες
 - Οριοθέτησης πλαισίων με εισαγωγή σημαιών στην αρχή και το τέλος κάθε πλαισίου
 - Παρεμβολής μηδενικών κάθε 5 άσσους, ώστε να μην επαναλαμβάνεται η σημαία στο εσωτερικό του πλαισίου
- Δεν παρέχεται επαλήθευση παράδοσης πακέτων και έλεγχος ροής



Δίκτυα Αναμετάδοσης Πλαισίου (2)

– Χρήση πεδίου CRC

- Παρέχονται, επίσης, λειτουργίες ανίχνευσης και διόρθωσης λανθασμένων δυαδικών ψηφίων με χρήση του πεδίου **Ελέγχου Κυκλικής Πλειονότητας** (Cyclic Redundancy Error, CRC)
- Στο CRC αποθηκεύεται το υπόλοιπο της mod2 διαίρεσης του πολυωνύμου που αντιστοιχεί στη σειρά δυαδικών ψηφίων του πλαισίου με ένα καθορισμένο πολυώνυμο γεννήτορα
- Το CRC υπολογίζεται για όλο το πλαίσιο εκτός των σημαιών
- Στην περίπτωση ανίχνευσης λάθους μετάδοσης, το πακέτο απλώς απορρίπτεται, χωρίς να γίνεται καμία προσπάθεια αναμετάδοσης από το δίκτυο, όπως θα γινόταν στα δίκτυα X25
- Τα πρωτόκολλα ανώτερων στρωμάτων είναι υπεύθυνα για τις απαραίτητες ενέργειες ανάκαμψης



Δίκτυα Αναμετάδοσης Πλαισίου (3)

– Στατιστική Πολυπλεξία (1)

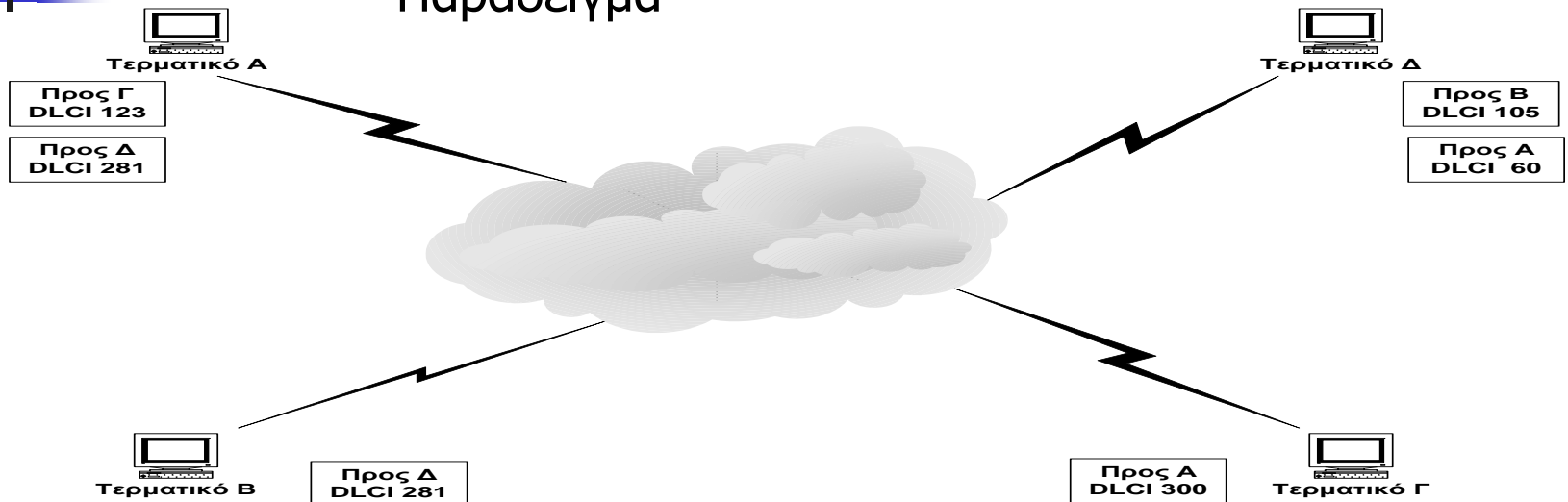
- Υποστηρίζονται λειτουργίες στατιστικής πολυπλεξίας πλαισίων (γνωστή και ως πολυπλεξία ετικέτας, label multiplexing)
- Κάθε σύνδεση κωδικοποιείται σε ένα πεδίο **Ενδείκτη Σύνδεσης** (Data Link Control Identifier, DLCI) μήκους 10 bits, το οποίο επιτρέπει την παροχή 1024 συνδέσεων ανά χρήστη
- Η τιμή του DLCI έχει τοπική σημασία και ισχύει μόνο στο δίαυλο επικοινωνίας ενός χρήστη με το δίκτυο
- Έτσι, διατηρείται υψηλό το πλήθος των διαθέσιμων συνδέσεων ανά χρήστη
- Το δίκτυο, εσωτερικά, μεταφράζει το αρχικό DLCI σε άλλα DLCI



Δίκτυα Αναμετάδοσης Πλαισίου (4)

– Στατιστική Πολυπλεξία (2)

Παράδειγμα



Τερματικό Προέλευσης	DLCI	Τερματικό Προορισμού	DLCI
Τερματικό Α	123	Τερματικό Γ	300
Τερματικό Α	281	Τερματικό Δ	60
Τερματικό Β	281	Τερματικό Δ	105



Δίκτυα Αναμετάδοσης Πλαισίου (5)

– Στατιστική Πολυπλεξία (3)

- Το Τερματικό Α χρησιμοποιεί την τιμή $DLCI = 123$ για όλα τα πλαίσια με προορισμό το Τερματικό Γ, την τιμή 281 για πλαίσια προς το Τερματικό Δ κ.τ.λ.
- Ανάλογη διαδικασία ακολουθείται και από τα υπόλοιπα τερματικά
- Σημειώνεται ότι το Τερματικό Β επικοινωνεί με το Δ με χρήση της τιμής $DLCI = 281$, η οποία χρησιμοποιείται και για την επικοινωνία του τερματικού Α με το Δ
- Το γεγονός αυτό επιτρέπεται, διότι η τιμή του $DLCI$ έχει τοπική σημασία





Δίκτυα Αναμετάδοσης Πλαισίου (6)

- Πλεονεκτήματα

- Γρήγορος και ευέλικτος τρόπος μεταγωγής πακέτου
- Υποστήριξη υπηρεσιών δεδομένων (μεταβλητοί και εκρηκτικοί ρυθμοί κίνησης χρήστη) με αποτελεσματική διαχείριση εύρους ζώνης

- Μειονεκτήματα

- Ακατάλληλα για υπηρεσίες σταθερού ρυθμού, όπως τηλεφωνία και video



Δίκτυα IP (1)

- Το διαδίκτυο αποτελείται από υποδίκτυα, συνδεόμενα δια μέσου δρομολογητών (routers), με βάση ένα κοινό πρωτόκολλο επικοινωνίας, το **πρωτόκολλο διαδικτύου** (Internet Protocol, IP)
- Το IP παρέχει υπηρεσία μεταφοράς δεδομένων υπό τη μορφή πακέτων IP (IP datagrams)
- Καμίας μορφής σηματοδότηση δεν υφίσταται
- Δεν παρέχεται εγκατάσταση σύνδεσης πριν την έναρξη της μεταφοράς, αξιοπιστία μετάδοσης και ορθή σειρά παράδοσης των πακέτων
- Δεν υπάρχει καμία απολύτως εγγύηση => **Δίκτυο Βέλτιστης Προσπάθειας** (Best Effort)





Δίκτυα IP (2)

- Πλεονεκτήματα
 - Απίστευτη απλότητα, χαμηλό κόστος επέκτασης του δικτύου
- Μειονεκτήματα
 - Οι λειτουργίες που δεν εκτελούνται από το IP, πραγματοποιούνται στα πλαίσια πρωτοκόλλων ανωτέρων στρωμάτων, όπως μεταφοράς (TCP) και εφαρμογής
=> απαιτείται αυξημένη πολυπλοκότητα και ευφυΐα στα τερματικά



Μεταγωγή με βάση το ATM (1)

- Η πληροφορία οργανώνεται σε πακέτα σταθερού μήκους 53 οκτάδων. Το σταθερό και μικρό μέγεθος των πακέτων ATM συμβάλλει στη μείωση της καθυστέρησης αναμονής στους μεταγωγείς
- Οι 5 πρώτες οκτάδες του πακέτου χρησιμεύουν ως επικεφαλίδα. Η επικεφαλίδα παρέχει μειωμένη λειτουργικότητα, ώστε να επιτρέπει την ταχεία εξυπηρέτηση του πακέτου στους μεταγωγείς
- Δεν υπάρχει προστασία από λάθη ούτε έλεγχος ροής από ζεύξη σε ζεύξη, σε αντίθεση π.χ. με τα δίκτυα X25
- Είναι μέθοδος προσανατολισμένη σε σύνδεση, ώστε να εξασφαλίζεται η δέσμευση των πόρων πριν αρχίσει η μετάδοση πληροφορίας
- Προβλέπεται η ύπαρξη ειδικής μονάδας **Ελέγχου Αποδοχής Κλήσης**, η οποία εξετάζει αν υπάρχουν οι απαιτούμενοι πόροι για την εγκατάσταση κάθε αιτούμενης σύνδεσης και ανάλογως την κάνει δεκτή ή την απορρίπτει



Μεταγωγή με βάση το ATM (2)

- Τα πακέτα της ίδιας σύνδεσης μεταφέρονται πάντα διαδοχικά
- Πακέτα διαφορετικών συνδέσεων πολυπλέκονται στο κοινό ρεύμα δυαδικών ψηφίων βάσει ιεραρχικής πολυπλεξίας ετικέτας
- Οι συνδέσεις οργανώνονται σε **Νοητές Διαδρομές** (Virtual Path) και **Νοητά Κανάλια** (Virtual Channel)
- Κάθε νοητή διαδρομή περιέχει έναν αριθμό νοητών καναλιών
- Η δρομολόγηση βασίζεται στον **Ενδείκτη Νοητής Διαδρομής** (Virtual Path Identifier, VPI) και τον **Ενδείκτη Νοητού Καναλιού** (Virtual Channel Identifier, VCI)
- Ο συνδυασμός των VPI/VCI καθορίζει μια συγκεκριμένη σύνδεση
- Το VPI/VCI δε διατηρείται σταθερό καθόλη τη διάρκεια της διαδρομής μετάδοσης, αλλά καθορίζεται ανά ζεύξη μετάδοσης και αλλάζει σε κάθε μεταγωγή ATM



Μεταγωγή με βάση το ATM (3)

- Ο καθορισμός του νέου VPI/VCI για κάθε σύνδεση γίνεται με βάση τον **Πίνακα Πληροφορίας Δρομολόγησης** (Routing Information Table, RIT) του μεταγωγέα
- Το γεγονός ότι το VPI/VCI αλλάζει σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο αυξάνει δραστικά το δυνατό αριθμό των διαδρομών δρομολόγησης στα δίκτυα ATM, αφού αποφεύγεται η ανάγκη οικουμενικά γνωστών και οικουμενικά διαχειρίσιμων ενδεικτών



Μεταγωγή με βάση το ATM (4)

- Πλεονεκτήματα

- Συγκεντρώνονται τα πλεονεκτήματα της μεταγωγής πακέτου και αναμετάδοσης πλαισίου
- Τα Συστήματα ATM είναι κατάλληλα για την υποστήριξη υπηρεσιών δεδομένων με αποτελεσματική διαχείριση εύρους ζώνης
- Παράλληλα, υποστηρίζουν υπηρεσίες σταθερού ρυθμού (τηλεφωνία και video)
- Η υλοποίηση των λειτουργιών που εκτελούνται στους μεταγωγείς με χρήση υλικού, συμβάλλει στη δραστική αύξηση της ταχύτητας

- Μειονεκτήματα

- Αυξημένη πολυπλοκότητα
- Δυσκολία διασυνεργασίας με άλλα δίκτυα

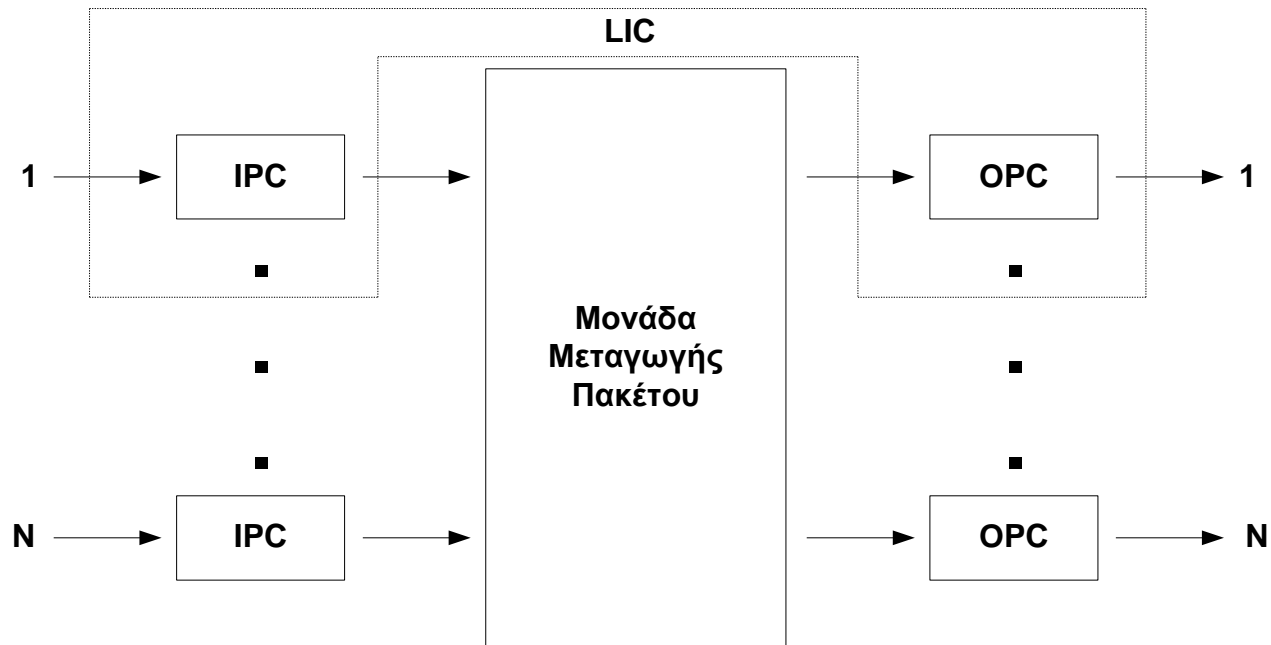


Σύγκριση τεχνολογιών Μεταγωγής Πακέτου

Λειτουργία	X25	Αναμετάδοση Πλαισίου	Δρομολόγηση IP	Μεταγωγή ATM
Αναγνώριση ορίων Πλαισίου	+	+	+	+
Παρεμβολή Ψηφίων	+	+		+
Έλεγχος / Δημιουργία CRC	+	+		+
Έλεγχος ροής	+			+
Στατιστική πολυπλεξία λογικών καναλιών	+			+



Αρχιτεκτονική Μεταγωγών ATM (1)





Αρχιτεκτονική Μεταγωγέων ATM (2)

- Βασικές Δομικές Μονάδες
 - Θύρες Εισόδου & Ελεγκτές θυρών Εισόδου (Input Port Controllers, IPC)
 - Θύρες Εξόδου & Ελεγκτές θυρών Εισόδου (Output Port Controllers, OPC)
 - Μονάδα Μεταγωγής Πακέτου (ΜΜΠ)



Δρομολόγηση στη ΜΜΠ

- Τα πακέτα ATM που καταφθάνουν στις εισόδους του μεταγωγέα αποθηκεύονται στους ενταμιευτές των θυρών εισόδου
- Με βάση την επεξεργασία από τους IPC, ένα πακέτο ανά χρονική θυρίδα αποστέλλεται από μια συγκεκριμένη θύρα εισόδου προς την αντίστοιχη θύρα εξόδου, μέσω της ΜΜΠ
- Εκεί αποθηκεύονται στους ενταμιευτές των θυρών εξόδου
- Οι OPC αποστέλλουν ένα το πολύ πακέτο προς το δίκτυο ανά χρονική θυρίδα
- Γίνεται σαφές ότι η θέση των ενταμιευτών επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την επίδοση και την πολυπλοκότητα υλοποίησης του μεταγωγέα



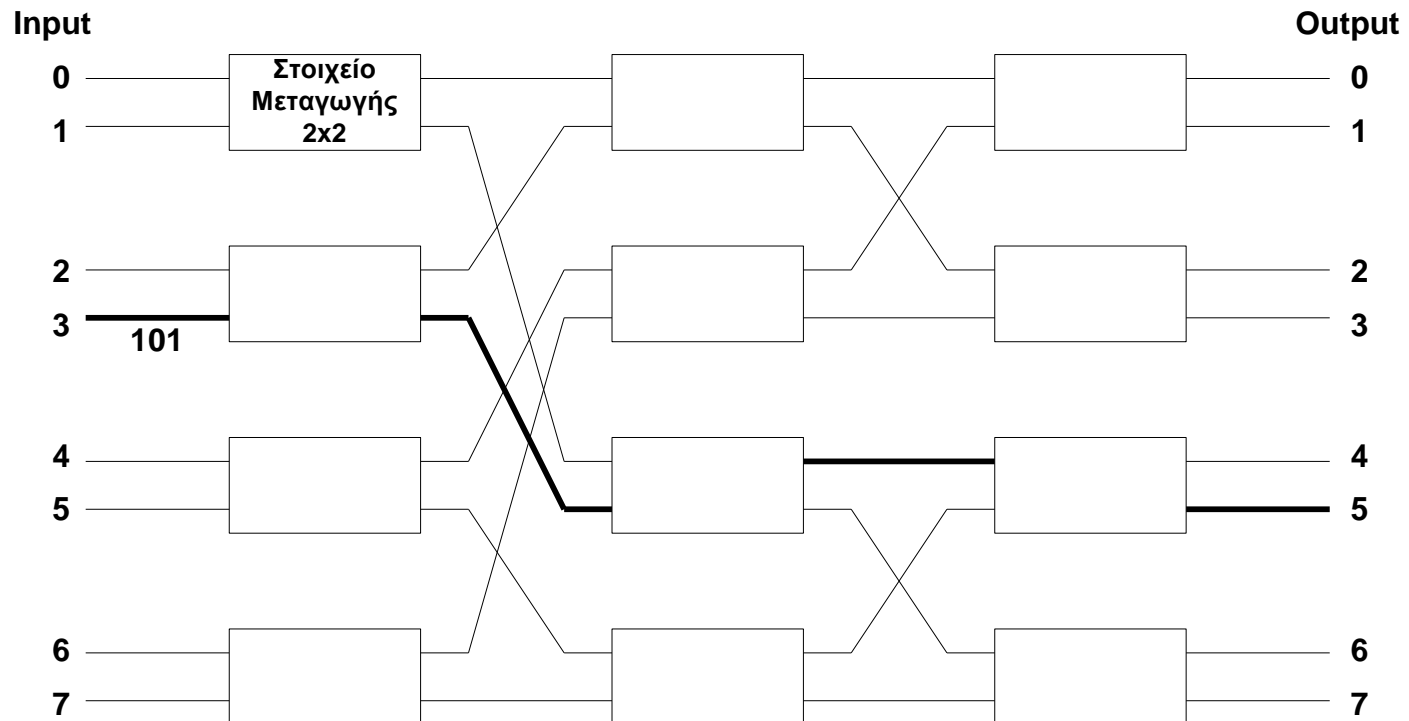
Μεταγωγείς Αυτοδρομολόγησης (1)

- Αυτοδρομολόγηση (self-routing): τα πακέτα φθάνουν στη σωστή θύρα εξόδου, ανεξάρτητα από τη θύρα εισόδου από την οποία προήλθαν
- Χαρακτηριστικό παράδειγμα μεταγωγέα αυτοδρομολόγησης τα **δίκτυα Delta**
- Παράμετροι των εν λόγω δικτύων
 - N ο αριθμός των θυρών Εισόδου κα Εξόδου του μεταγωγέα
 - k ο αριθμός των θυρών Εισόδου κα Εξόδου του εκάστοτε στοιχείου μεταγωγής
 - $\beta = \log_k N$ βαθμίδες και $\delta = N/k$ ο αριθμός των δομικών στοιχείων ανά βαθμίδα
- Έστω ένα δίκτυο Delta με $N=8$ Εισόδους / Εξόδους και με $k=2$ Εισόδους / Εξόδους ανά στοιχείο μεταγωγής
- Επομένως $\beta = 3$ βαθμίδες και $\delta = 4$ στοιχεία μεταγωγής ανά βαθμίδα



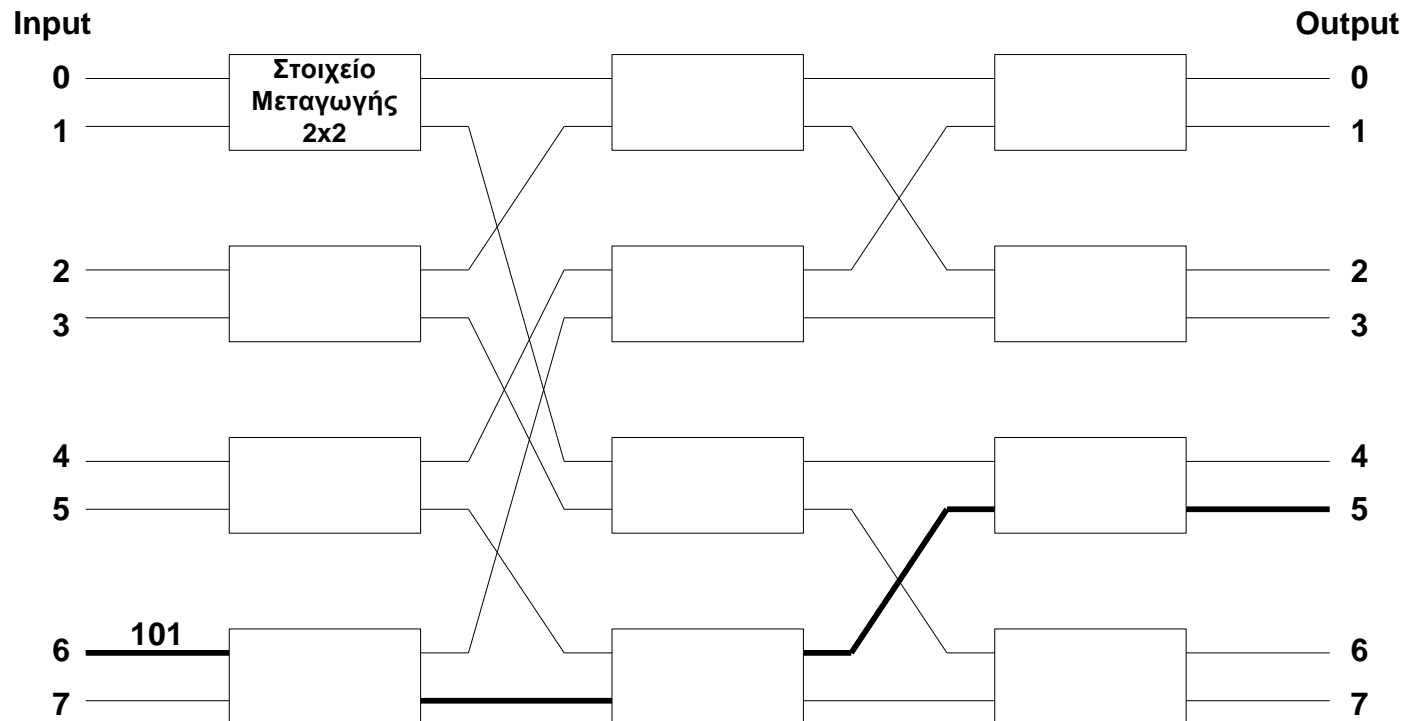
Μεταγωγείς Αυτοδρομολόγησης (2)

Πακέτο ATM με τιμή 5 (101) στο πεδίο διεύθυνσης θύρας Εξόδου εισερχόμενο από τη θύρα εισόδου 3



Μεταγωγείς Αυτοδρομολόγησης (3)

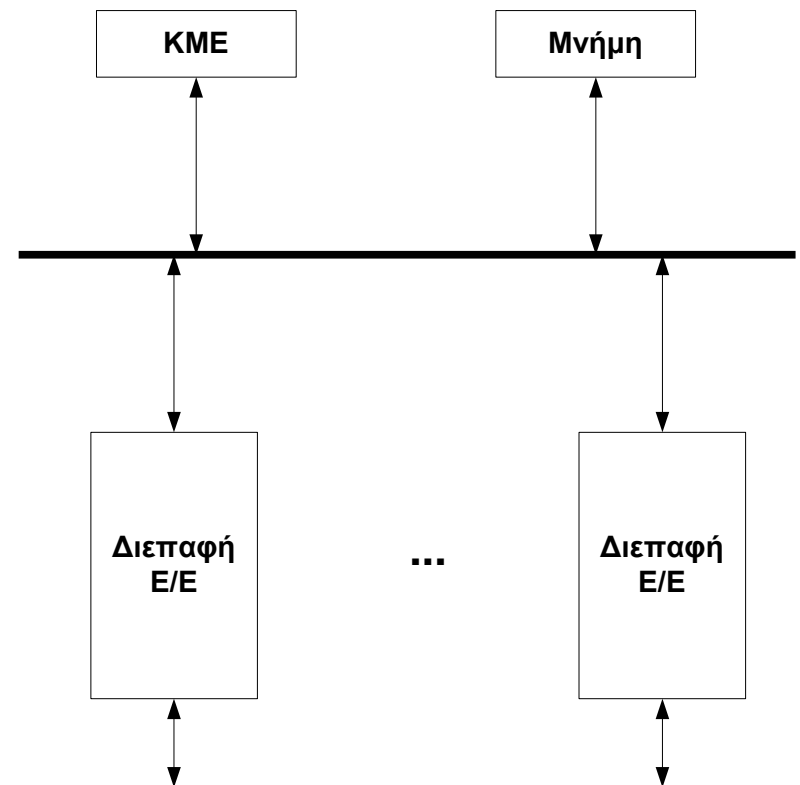
Πακέτο ATM με τιμή 5 (101) στο πεδίο διεύθυνσης θύρας Εξόδου εισερχόμενο από τη θύρα εισόδου 6



Αρχιτεκτονική Δρομολογητών IP (1)

– Δρομολογητές Μικρής κλίμακας

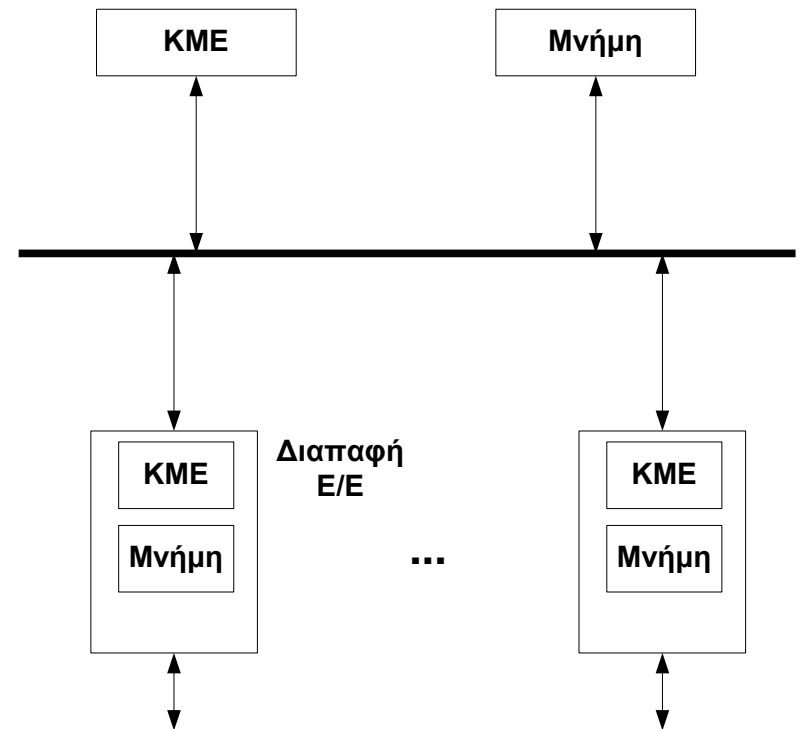
- Διεπαφές Εισόδου / Εξόδου
 - Κεντρικός Επεξεργαστής
 - Κεντρική Μονάδα Μνήμης
 - Συνδεδεμένα δια μέσου διαμοιραζόμενου διαδρόμου
-
- Περιορισμοί καθυστέρησης εξαιτίας του μοναδικού κεντρικού επεξεργαστή
 - Επιπλέον καθυστέρηση εξαιτίας της εκτέλεσης πολλών λειτουργιών σε λογισμικό



Αρχιτεκτονική Δρομολογητών IP (2)

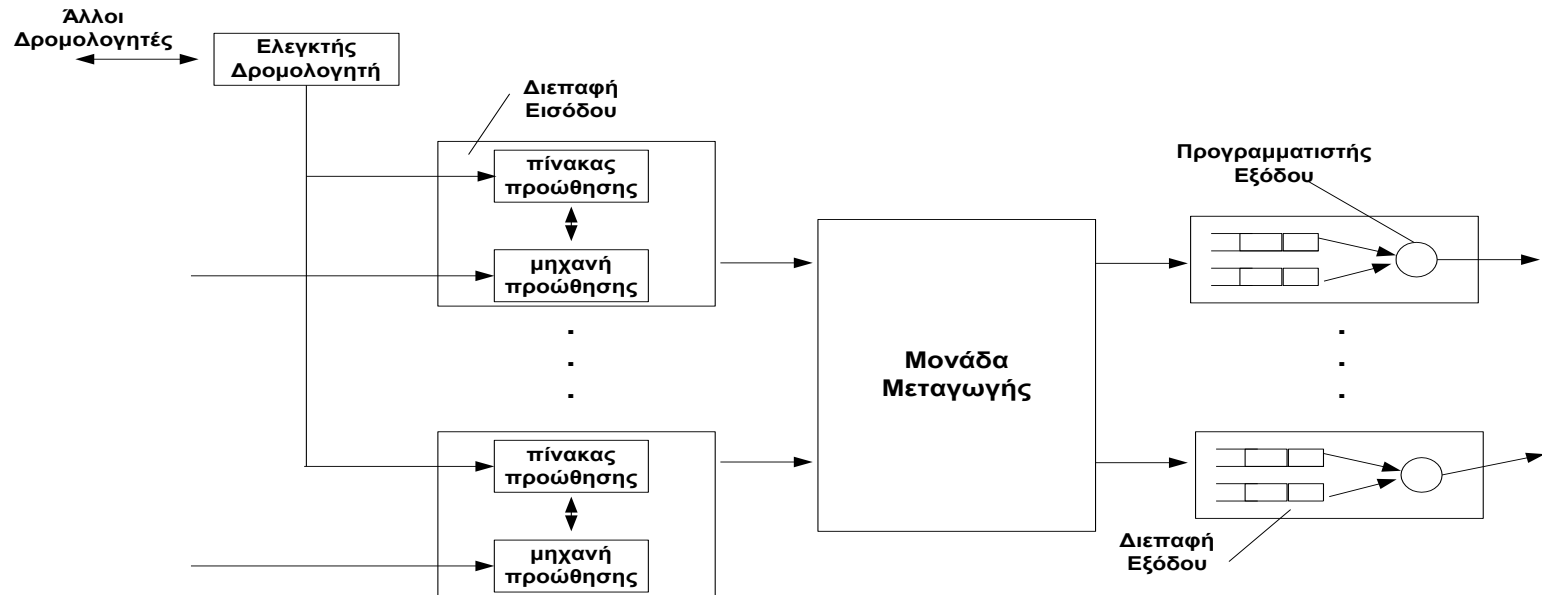
– Δρομολογητές Μεσαίας κλίμακας

- Επιμέρους Επεξεργαστές και Μνήμη σε κάθε διεπαφή E/E
- Διατηρούνται η Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας και η Κεντρική Μονάδα Μνήμης, αλλά επιφορτισμένες με λιγότερες λειτουργίες λόγω των επιμέρους επεξεργαστών και μνημών στις διεπαφές E/E
- Βελτίωση σε σχέση με τους δρομολογητές μικρής κλίμακας, αλλά όχι θεαματική



Αρχιτεκτονική Δρομολογητών IP (3)

– Δρομολογητές Μεγάλης κλίμακας



- Κατάργηση των Κεντρικών Μονάδων Επεξεργασίας και Μνήμης => Θεαματική βελτίωση της ταχύτητας
- Διαφοροποιημένη Ποιότητα Υπηρεσίας για διαφορετικές ροές πακέτων
- Ύπαρξη Ενταμιευτών στις θύρες Εξόδου





Κριτήρια Σχεδίασης και Απαιτήσεις Επίδοσης (1)

- Τρεις κλάσεις Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service, QoS):
 - Κλάση 1: Υπηρεσίες που απαιτούν πολύ χαμηλή απώλεια πακέτων
 - Κλάση 3: Υπηρεσίες προσανατολισμένες σε σύνδεση που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση
 - Κλάση 4: Υπηρεσίες μη προσανατολισμένες σε σύνδεση που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση
- Παράμετροι επίδοσης:
 - Λόγος απώλειας πακέτων
 - Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου (Cell Transfer Delay, CTD)
 - Διακύμανση καθυστέρησης μετάδοσης (Cell Delay Variation, CDV)
 - Ψηφίο απώλειας προτεραιότητας (Cell Loss Priority CLP)

Κριτήρια Σχεδίασης και Απαιτήσεις Επίδοσης (2)

Παράμετρος επίδοσης	CLP	Κλάση 1	Κλάση 3	Κλάση 4
Λόγος απώλειας πακέτων	0	$<10^{-10}$	10^{-7}	10^{-7}
Λόγος απώλειας πακέτων	1	-	-	-
Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου (ποσοστό 99%)	1/0	150μs	150μs	150μs
Διακύμανση καθυστέρησης μετάδοσης (10^{-10})	1/0	250μs	-	-
Διακύμανση καθυστέρησης μετάδοσης (10^{-7})	1/0	-	250μs	250μs



Κριτήρια Σχεδίασης και Απαιτήσεις Επίδοσης (3)

- Τυπική Κατανομή καθυστέρησης πακέτου κατά μήκος ενός μεταγωγέα

