

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ

Αρχιτεκτονική & Δρομολόγηση στο Internet (Τμήμα 2/2)

Ορισμοί & Ταξινόμηση Τεχνικών Δρομολόγησης
Δρομολόγηση Επιπέδου Δικτύου (IP) Intra-AS & Inter-AS

Β. Μάγκλαρης

maglaris@netmode.ntua.gr

www.netmode.ntua.gr

15/10/2018

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

- **Διαχειριστικός Έλεγχος**
 - Συγκεντρωτικός: Δημόσια Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτου **X.25/X.75**
 - Κατανεμημένος: **Internet**
- **Δρομολόγηση με ή χωρίς Εναλλακτικούς Δρόμους**
 - Single choice:
 - Δρομολόγηση Επιπέδου 3 στο Internet: **IGP** (OSPF, IS-IS), **BGP**
 - Δρομολόγηση Επιπέδου 2: **Bridged Ethernet LANs**
 - Alternate routing:
 - Δρομολόγηση Επιπέδου 3 στο Internet: **IGP ECMP** (Equal-Cost Multi-Path)
 - Δρομολόγηση Επιπέδου 2 ½: **MPLS/TE** (Multi-Protocol Label Switching / Traffic Engineering)
 - Τηλεφωνικά Δίκτυα **PSTN** (Public Switched Telephone Networks)
- **Διαχειριστική Δυναμική**
 - Στατική δρομολόγηση:
 - **Direct Routing** στο Internet - Default Gateway
 - Υπολογισμός εναλλακτικών δρόμων με σταθερά βάρη γραμμών (**X.25/X.75**)
 - Δυναμική δρομολόγηση:
 - Μεταβαλλόμενα βάρη γραμμών (**ARPANet**)
 - Μεταβολές ανάλογα με διαθεσιμότητα γραμμών (**Internet IGP, BGP**)

ΠΡΟΤΥΠΟ ΤΡΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ (επανάληψη)

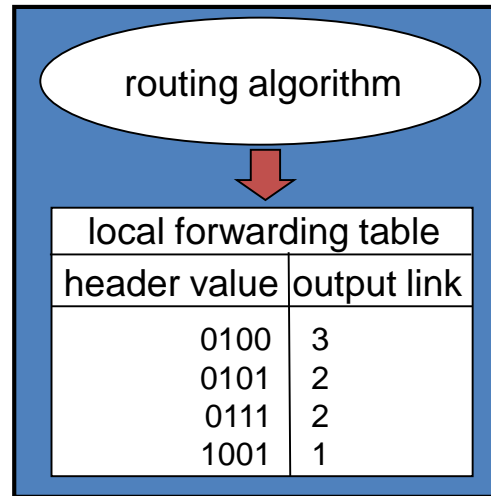
- **Διάσταση Μετάδοσης Δεδομένων - Data (forwarding) Plane**
 - Πολυπλεξία στο φυσικό επίπεδο:
 - Διαμόρφωση πλαισίων TDM: ITU-T SDH/GFP framing (από STM-1=155 Mbps → STM-*n*, εφεδρεία ring protection, virtual concatenation (150 Mbps VC-4, 1 Gbps VC-4-7v = 7 x VC-4)
 - Optical Digital Wrapper (ITU-T G.709: 2.5, 10, 40, 100 Gbps, Forward Error Correction - FEC)
 - Κωδικοποίηση σε πακέτα Ethernet, WiFi (IEEE 802.11), MPLS, IP
 - Προώθηση (forwarding) δεδομένων σε μεταγωγείς (switches) & δρομολογητές (routers)
- **Διάσταση Ελέγχου - Control Plane**
 - ***In-band Signaling***: Σηματοδοσία ενσωματωμένη σε επικεφαλίδες πακέτων (IP headers, MPLS labels, VLAN tags)
 - Ξεχωριστά μηνύματα / πακέτα ελέγχου για σύνταξη πινάκων δρομολόγησης (Interior Gateway Protocol – IGP, Exterior/Border Gateway Protocol – EGP/BGP)
 - Πακέτα ελέγχου «υγείας» του δικτύου – ICMP/ping/traceroute
 - Μηνύματα σηματοδοσίας για αποκατάσταση μονοπατιού – path (RSVP, LDP) & αντιστοίχιση επικεφαλίδων (*labels*) σε γραμμές MPLS
 - Σηματοδοσία αντιστοίχισης time slots (ή χρώματος) σε γραμμές SDH (ή WDM)
 - Πρωτόκολλα ARP & DNS, αντιστοίχιση VLAN tags....
 - ***Out-of band Signaling***: Εξαγωγή των λειτουργιών ελέγχου εκτός μηχανισμών μετάδοσης, εξωτερικές βάσεις δεδομένων και εφαρμογές **ευφυούς δικτύου**:
 - Ψηφιακή τηλεφωνία: Σηματοδοσία Common Channel Signalling CCS7, **Intelligent Networks**
 - Προγραμματιζόμενα ευφυή δίκτυα νέας γενιάς (user programmable networks): **Software Defined Networks - SDN** σε τοπικά δίκτυα **Data Centers** & αρχιτεκτονικές **Future Internet**
- **Διάσταση Διαχείρισης - Management Plane**
 - Μοντέλο Αναφοράς FCAPS: Fault, Configuration, Accounting, Performance & Security Management

ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΟ INTERNET

- **Προώθηση (forwarding):** Μετακίνηση πακέτων από την είσοδο δρομολογητή σε κατάλληλη έξοδο (*λειτουργία data plane*)
- **Δρομολόγηση (routing):** καθορισμός διαδρομής πακέτων από πηγή προς προορισμό, *routing algorithms* (*λειτουργία control plane*)

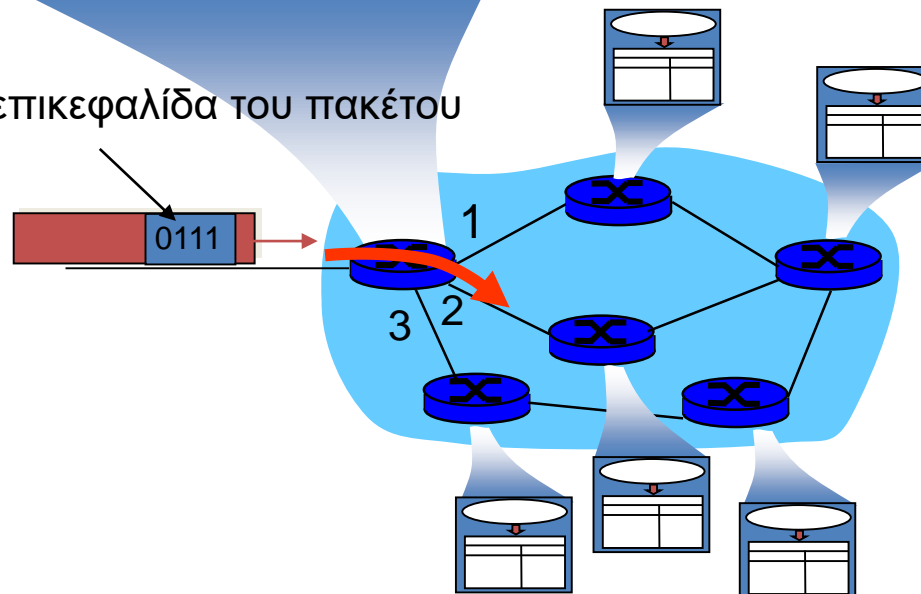
Σημείωση: Στις επόμενες διαφάνειες χρησιμοποιήθηκε υλικό υποστήριξης του βιβλίου των Kurose & Ross “**Computer Networking: A Top-Down Approach,**” Pearson Publisher, 6th Edition.

ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΟ INTERNET



Συσχέτιση Δρομολόγησης – Προώθησης

Τιμή στην επικεφαλίδα του πακέτου



ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Layer 3 Intra-AS Routing

- **Intra- AS Routing, Interior Gateway Protocols (IGP):** Μια έξοδος προς επόμενο Interface για κάθε υποδίκτυο (subnet) τελικό προορισμό
 - RIP (Routing Internet Protocol): Πρωτόκολλο παλαιάς γενιάς, βασισμένο σε αλγόριθμους *distance vector (Bellman Ford)*
 - OSPF (Open Shortest Path First): Το πιο διαδομένο σήμερα, βασισμένο σε αλγόριθμους *link state (Dijkstra)*. Για λόγους κλιμάκωσης, μπορεί να υλοποιηθεί ιεραρχικά γύρω από την περιοχή κορμού (**backbone area 0** ή 0.0.0.0) και με συνδεόμενες περιφερειακές περιοχές (**stub areas**). Για δρομολόγηση πακέτων IPv4, ισχύει η OSPF Version 2: RFC 2328, 1998
 - IS-IS
 - Δυνατότητα πολλαπλών εναλλακτικών δρόμων ίσου κόστους (ECMP): Direct routing μεταξύ γειτονικών δρομολογητών με παράλληλες συνδέσεις και επιλογή εξόδου με proprietary αλγόριθμους (π.χ. Per-Packet Round-Robin, Per-Flow Load Balancing, Per Source -Destination Traffic Engineering...) Για αυτοματισμό του OSPF απαιτείται τροποποίηση του αλγορίθμου *Dijkstra για k-Shortest paths*

ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Layer 3 Inter-AS Routing

- **Inter-AS Routing, Exterior (Border) Gateway Protocols (EGP/BGP):** Πολλές εναλλακτικές διαδρομές με βάρη προς όλα τα γνωστά δίκτυα (περίπου 750.000 σήμερα) μεταξύ ακραίων (border) routers αυτονόμων συστημάτων (Autonomous Systems, AS, περίπου 62.000 σήμερα)
 - Η διαδρομή καταγράφεται στον BGP Table των ακραίων δρομολογητών (border gateways) ενός AS ανά prefix (υποδίκτυο προορισμού) και την σειρά των AS's της προτεινόμενης διαδρομής (μαζί με το βάρος της)
 - Οι πίνακες BGP φυλάσσονται στην ηλεκτρονική μνήμη των border gateways και ανανεώνονται δυναμικά όποτε υπάρχουν αλλαγές στο Internet με ευθύνη των γειτονικών δρομολογητών (border gateways) που ανακοινώνουν τα δίκτυα των αυτονόμων κοινοτήτων (AS's) που γνωρίζουν (**advertising**)
 - Ο υπολογισμός των «βέλτιστων» Inter-AS δρόμων γίνεται κατανεμημένα, βασισμένος σε αλγόριθμους **distance vector (Bellman Ford)** με κόστη τα βάρη των συνδέσεων μεταξύ border gateways. Οι δρόμοι Inter-AS μπορεί να αλλάξουν στη πορεία ενός πακέτου προς τον τελικό του προορισμό