



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Δίκτυα Επικοινωνίας Υπολογιστών

Ενότητα 10: Στρώμα δικτύου

Μιχαήλ Λογοθέτης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Συνιστώμενο Βιβλίο:

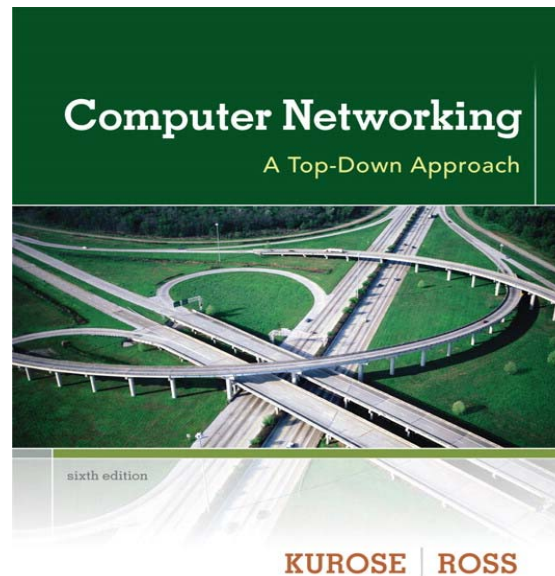
Δικτύωση Υπολογιστών
Προσέγγιση από Πάνω προς τα Κάτω
KUROSE | ROSS

Τίτλος στην Αγγλική: Computer Networking: A Top-Down Approach

Επιμέλεια Ελληνικής Μετάφρασης: Μαυρίδης Ιωάννης - Φουληράς Παναγιώτης

Εκδόσεις : Μ. Γκιούρδας

Έκτη Έκδοση



Η πλειονότητα των διαφανειών της 10^{ης} ενότητας αποτελούν προσαρμογή και απόδοση στα ελληνικά των διαφανειών του 4^{ου} κεφαλαίου που συνοδεύουν το βιβλίο «Computer Networking: A Top-Down Approach» J.F Kurose and K.W. Ross, 6/E, Addison-Wesley (**Copyright © Pearson Education Inc**).

Η παρούσα προσαρμογή βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε απόδοση των διαφανειών αυτών στα ελληνικά, την επιμέλεια της οποίας είχε ο καθηγητής του Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, κ. Λάζαρος Μεράκος.



Σκοποί ενότητας

- Ανάλυση του πρωτοκόλλου δρομολόγησης στο Διαδίκτυο Routing Information Protocol (RIP)
- Ανάλυση του πρωτοκόλλου δρομολόγησης στο Διαδίκτυο Open Shortest Path First (OSPF)
- Ανάλυση του πρωτοκόλλου δρομολόγησης στο Διαδίκτυο Border Gateway Protocol (BGP)



Περιεχόμενα ενότητας

- Δρομολόγηση intra-AS
- Routing Information Protocol (RIP)
- Open Shortest Path First (OSPF)
- Ιεραρχικό OSPF
- Border Gateway Protocol (BGP)



Κεφάλαιο 4: Στρώμα Δικτύου

4.1 Εισαγωγή

4.2 Δίκτυα εικονικού κυκλώματος και δεδομενογράμματος

4.3 Τι βρίσκεται μέσα σ' ένα δρομολογητή

4.4 IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol)

- Μορφή δεδομενογράμματος
- Διευθυνσιοδότηση IPv4
- ICMP
- IPv6

4.5 Αλγόριθμοι δρομολόγησης

- Κατάστασης ζεύξης (link state)
- Διανύσματος απόστασης (distance vector)
- Ιεραρχική δρομολόγηση (hierarchical routing)

4.6 Δρομολόγηση στο Διαδίκτυο

- RIP
- OSPF
- BGP



Δρομολόγηση intra-AS

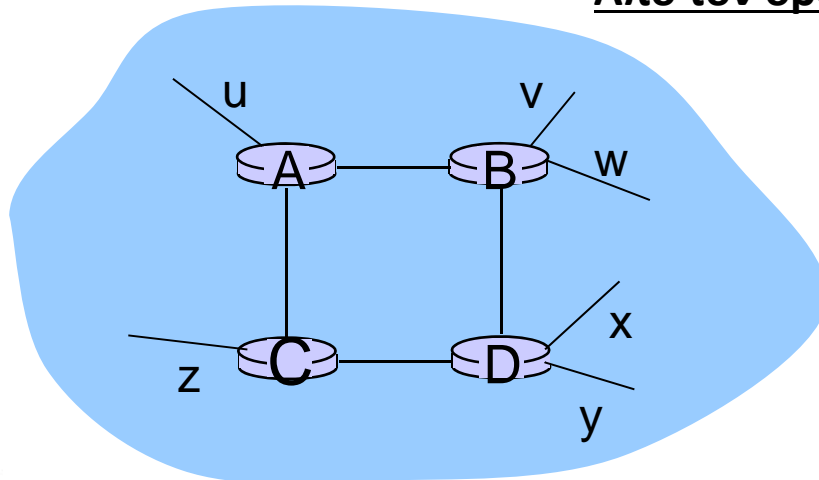
- ❖ Γνωστά και ως **Interior Gateway Protocols (IGP)** (πρωτόκολλα εσωτερικής πύλης)
- ❖ Τα πιο κοινά Intra-AS πρωτόκολλα δρομολόγησης :
 - RIP: Routing Information Protocol
 - OSPF: Open Shortest Path First
 - IGRP: Interior Gateway Routing Protocol (ιδιοσταγές της Cisco)



RIP (Routing Information Protocol)

- ❖ Περιελήφθη στη διανομή BSD-UNIX το 1982
- ❖ Αλγόριθμος διανύσματος απόστασης
 - Μετρική απόστασης: # αλμάτων (max = 15 hops), κάθε ζεύξη έχει κόστος 1
 - Ανταλλάσσει DVs με τους γείτονες κάθε 30 sec σε απαντητικό μήνυμα (**δημοσιοποίηση**)
 - Κάθε δημοσιοποίηση: λίστα μέχρι και 25 υποδικτύα προορισμοί (υπό την έννοια της IP διευθυνσιοδότησης)

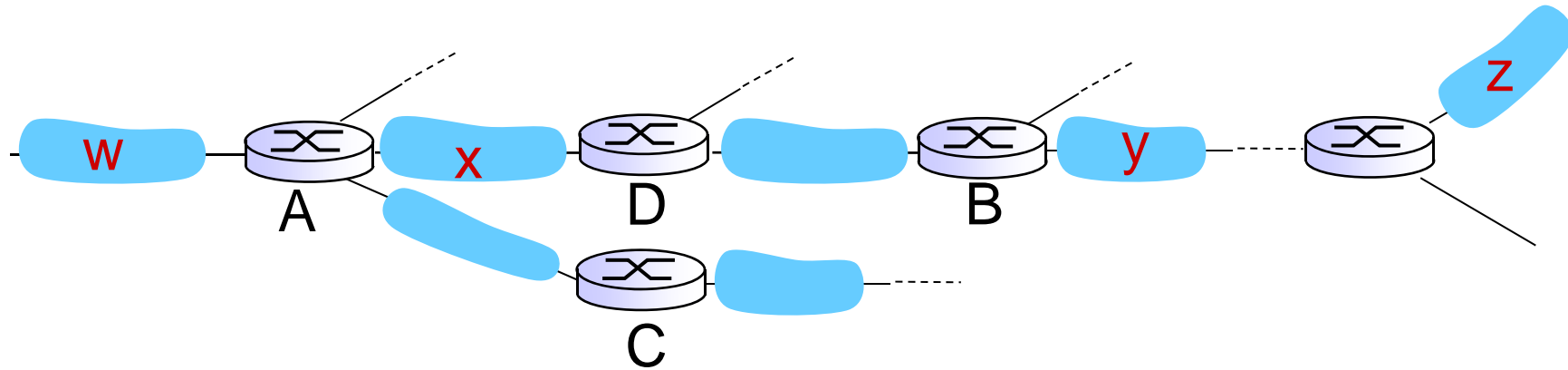
Από τον δρομολογητή A στα υποδίκτυα προορισμού



<u>Προορισμός</u>	<u>Άλματα</u>
u	1
v	2
w	2
x	3
y	3
z	2



RIP: Παράδειγμα



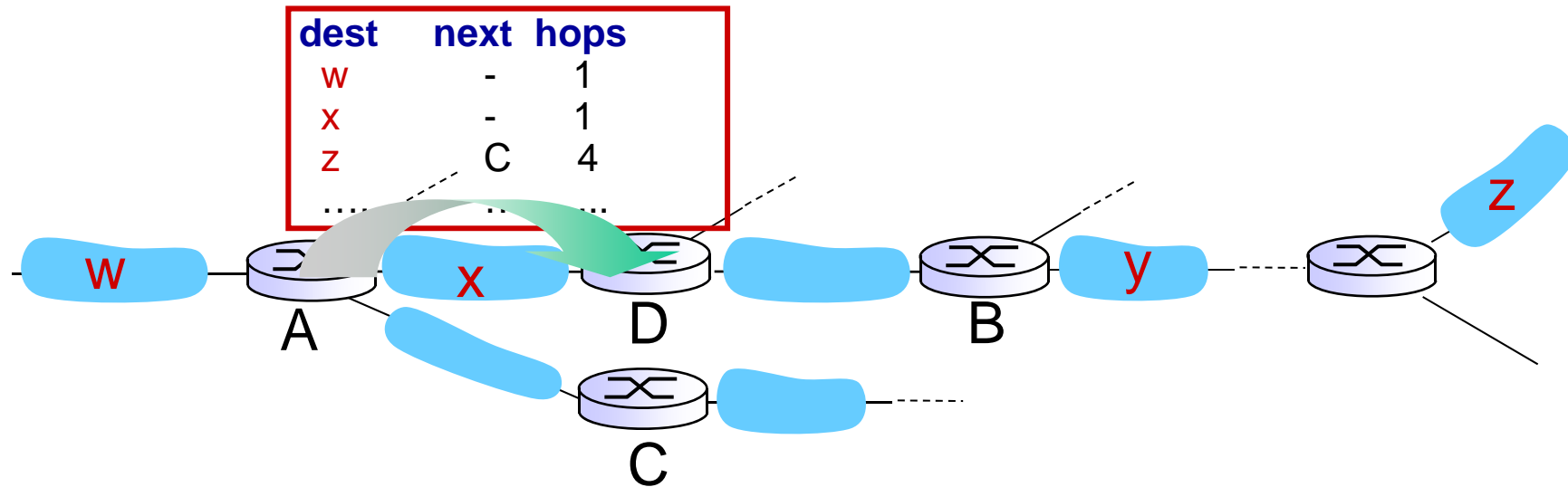
Πίνακας δρομολόγησης στο δρομολογητή D

Υποδίκτυο προορισμού	Επόμενος δρομολογητής	Πλήθος αλμάτων για προορισμό
W	A	2
Y	B	2
X	--	1
....



RIP: Παράδειγμα

Δημοσιοποίηση από το A-στο-D



Πίνακας δρομολόγησης στο δρομολογητή D

Υποδίκτυο προορισμού	Επόμενος δρομολογητής	Πλήθος αλμάτων για προορισμό
W	A	2
Y	B	2
Z	B A	7 5
X	--	1
....



RIP: Αποτυχία ζεύξης και ανάνηψη

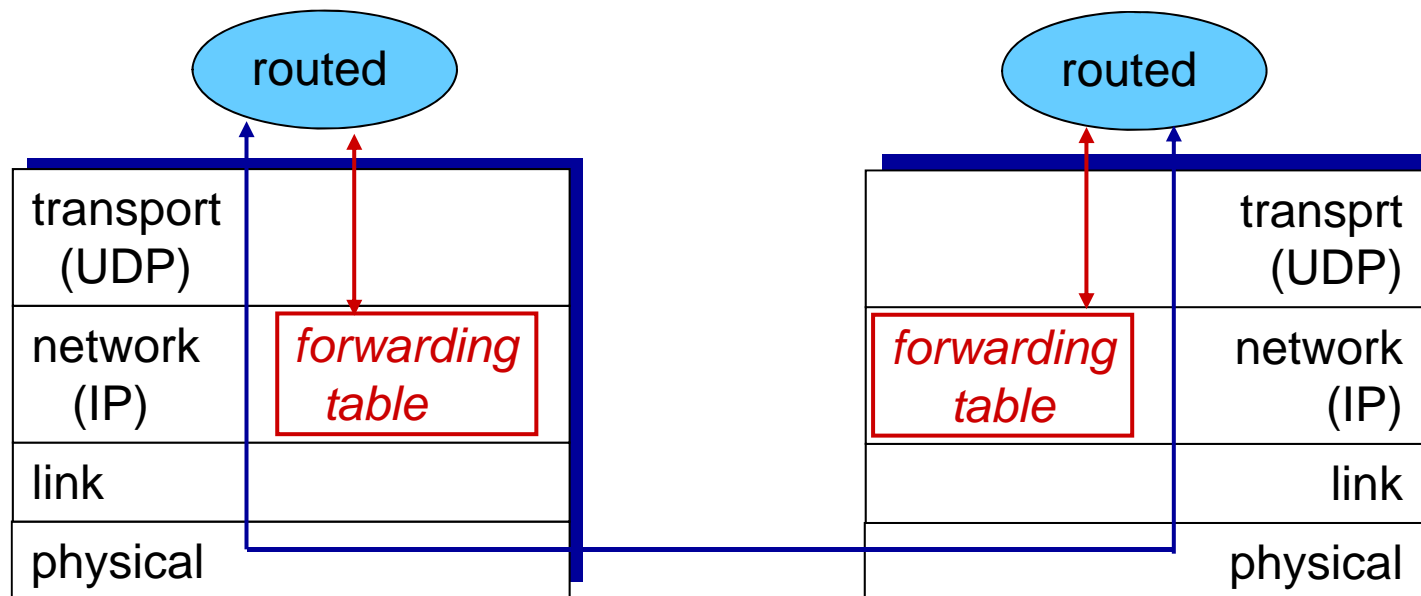
Αν δεν ακουστεί διαφήμιση μετά από 180 sec --> ο γείτονας/η ζεύξη θεωρείται νεκρός

- Οι διαδρομές μέσω του γείτονα παύουν να είναι έγκυρες
- Νέες διαφημίσεις στέλνονται στους γείτονες
- Οι γείτονες με τη σειρά τους στέλνουν νέες διαφημίσεις (αν άλλαξαν οι πίνακες)
- Η πληροφορία αποτυχίας της ζεύξης διαδίδεται γρήγορα (;) σε ολόκληρο το δίκτυο
- **Χρησιμοποιείται poison reverse** για την αποφυγή βρόχων ring-rong (άπειρη απόσταση = 16 άλματα)



Επεξεργασία πίνακα RIP

- ❖ Η διαχείριση των πινάκων δρομολόγησης του RIP γίνεται από διεργασία **επιπέδου εφαρμογής** που ονομάζεται route-d (daemon)
- ❖ Οι διαφημίσεις στέλνονται σε πακέτα UDP, επαναλαμβάνονται περιοδικά



OSPF (Open Shortest Path First)

- ❖ “Ανοικτό”: δημόσια διαθέσιμη προδιαγραφή
- ❖ Χρησιμοποιεί αλγόριθμο κατάστασης ζεύξης (link state)
 - Διάδοση πακέτου LS
 - Χάρτης τοπολογίας σε κάθε κόμβο
 - Υπολογισμός διαδρομής με χρήση του αλγορίθμου του Dijkstra
- ❖ Η δημοσιοποίηση του OSPF μεταφέρει μόνο μία καταχώριση για κάθε γειτονικό δρομολογητή
- ❖ Οι δημοσιοποιήσεις διαδίδονται σε **ολόκληρο** το AS (μέσω πλημμύρας (flooding))
 - Μεταφέρονται σε μηνύματα του OSPF απευθείας επάνω στο IP (αντί για TCP ή UDP)
- ❖ **Πρωτόκολλο δρομολόγησης IS-IS**: σχεδόν πανομοιότυπο με το OSPF

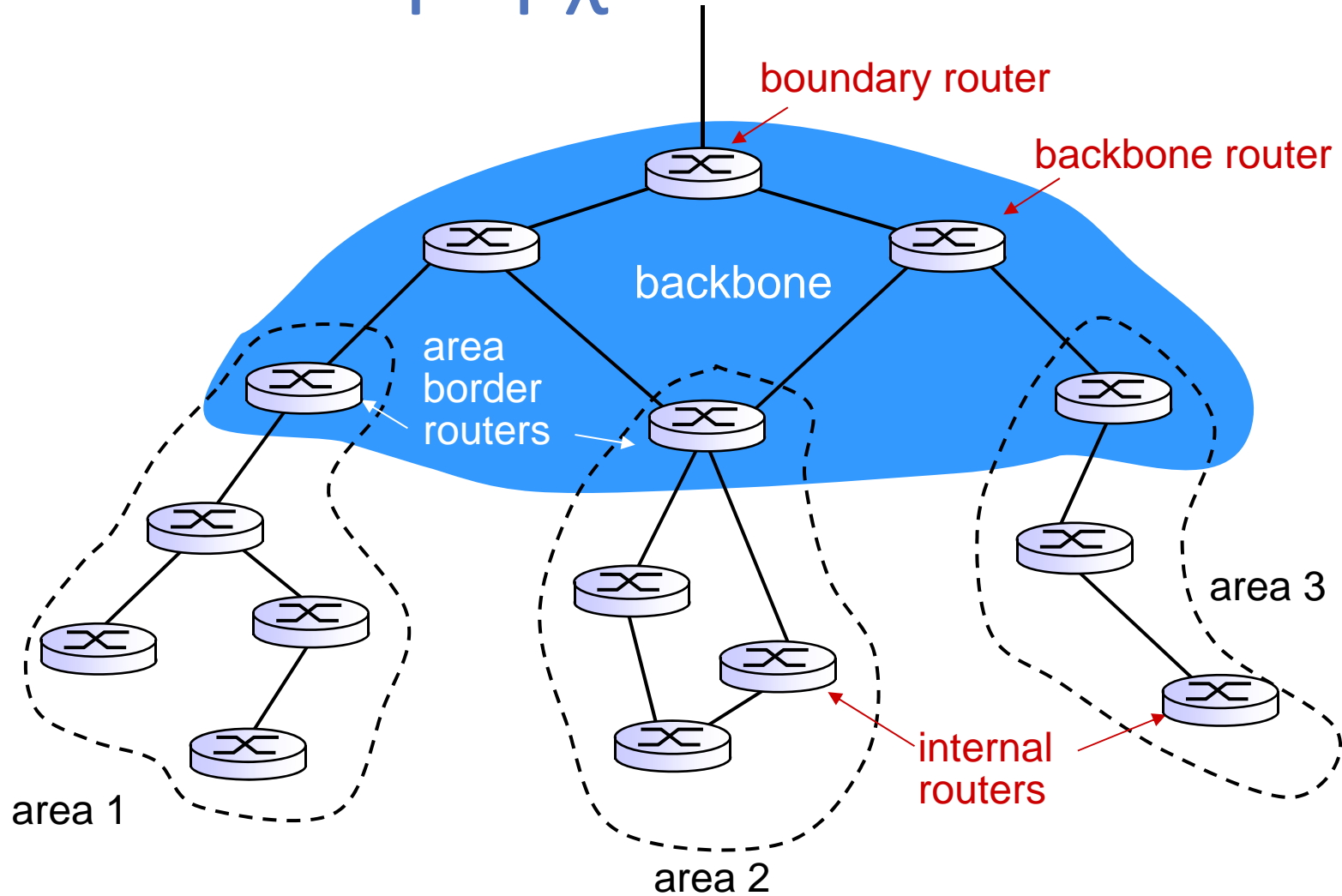


«Προηγμένα» χαρακτηριστικά του OSPF (όχι στο RIP)

- ❖ **Ασφάλεια:** όλα τα μηνύματα του OSPF αυθεντικοποιούνται (για αποφυγή κακόβουλων εισβολών)
- ❖ Επιτρέπει **πολλαπλές διαδρομές** ίδιου κόστους (μόνο μία διαδρομή στο RIP)
- ❖ Για κάθε ζεύξη, πολλαπλές μετρικές κόστους για διαφορετικό **TOS** (π.χ., κόστος δορυφορικής ζεύξης θεωρείται «χαμηλό» για TOS βέλτιστης προσπάθειας, υψηλό για TOS πραγματικού χρόνου)
- ❖ Ενσωματωμένη υποστήριξη μονο- και πολυ-εκπομπής (unicast/multicast):
 - Το Multicast OSPF (MOSPF) (OSPF πολυ-εκπομπής) χρησιμοποιεί την ίδια βάση δεδομένων τοπολογίας με το OSPF
- ❖ **ιεραρχικό** OSPF σε μεγάλους τομείς (domains)



Ιεραρχικό OSPF



Ιεραρχικό OSPF

- ❖ **Δύο επίπεδα ιεραρχίας:** τοπική περιοχή, δικτυακός κορμός.
 - Δημοσιοποιήσεις κατάστασης ζεύξης μόνο στην περιοχή
 - Κάθε κόμβος έχει τη λεπτομερή τοπολογία; Γνωρίζει μόνο την κατεύθυνση (βραχύτερη διαδρομή) προς δίκτυα σε άλλες περιοχές
- ❖ **Παραμεθόριοι συνοριακοί δρομολογητές (area border routers):** “συνοψίζουν” τις αποστάσεις προς δίκτυα στη δική τους περιοχή, τις δημοσιοποιούν σε άλλους παραμεθόριους συνοριακούς δρομολογητές
- ❖ **Δρομολογητές δικτυακού κορμού (backbone routers):** τρέχουν δρομολόγηση OSPF περιορισμένη στον δικτυακό κορμό.
- ❖ **Συνοριακοί δρομολογητές (boundary routers):** συνδέουν με άλλα AS.



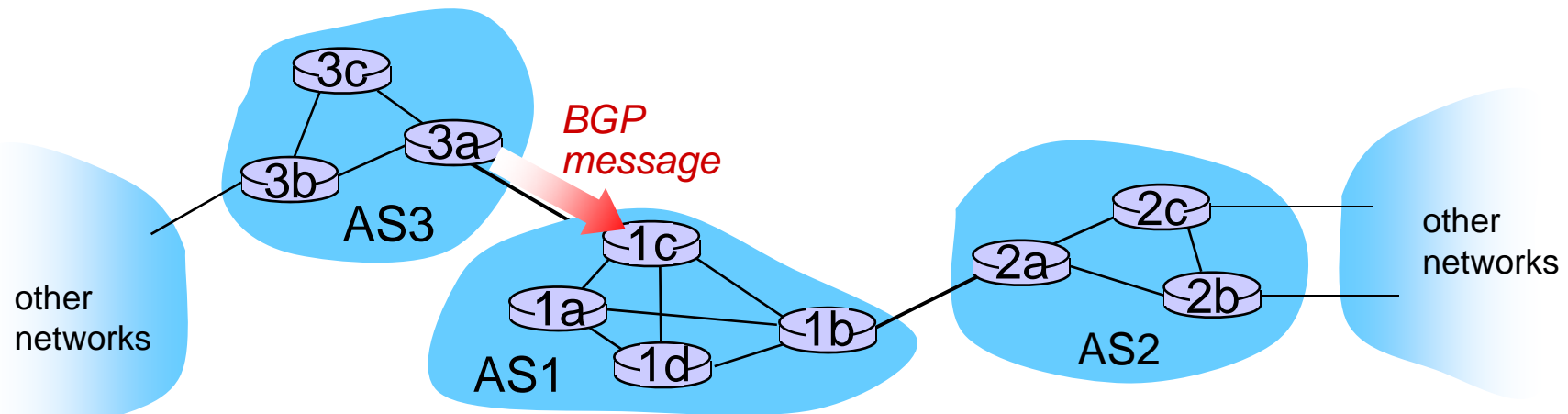
Δρομολόγηση inter-AS στο Διαδίκτυο: BGP

- ❖ **BGP (Border Gateway Protocol):** το de facto πρωτόκολλο δρομολόγησης μεταξύ τομέων (domains)
- ❖ Το BGP παρέχει σε κάθε AS ένα τρόπο για:
 - **eBGP:** να λαμβάνει πληροφορίες προσέγγισης υποδικτύου από γειτονικά AS.
 - **iBGP:** να διαδίδει τις πληροφορίες προσέγγισης σε όλους τους δρομολογητές που είναι εσωτερικοί στο AS
 - Να καθορίζει τις “καλές” διαδρομές προς άλλα δίκτυα με βάση τις πληροφορίες προσέγγισης και μια πολιτική
- ❖ Επιτρέπει σε κάθε υποδίκτυο να διαφημίζει την ύπαρξή του στο υπόλοιπο Διαδίκτυο: **“Είμαι εδώ”**



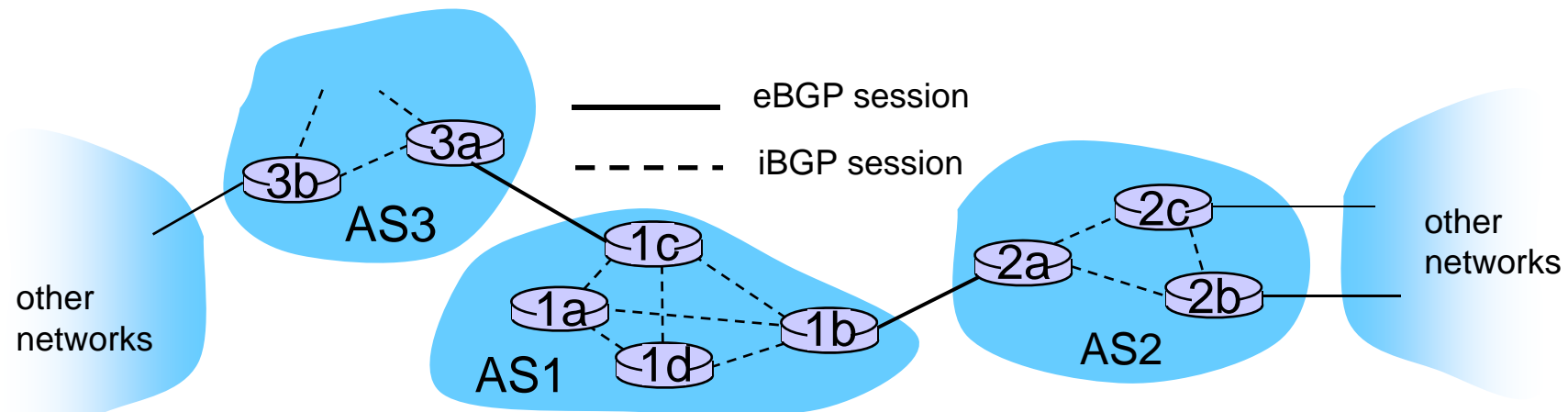
Τα βασικά του BGP

- ❖ **Σύνοδοι BGP (BGP sessions):** 2 BGP δρομολογητές (ομότιμοι) ανταλλάσσουν BGP μηνύματα:
 - Δημοσιοποιούν **διαδρομές** προς διαφορετικού προορισμού δικτυακά προθέματα (πρωτόκολλο “διανύσματος διαδρομής”)
 - Ανταλλάσσονται πάνω από ημι-μόνιμες TCP συνδέσεις
- ❖ Όταν το AS3 διαφημίζει ένα πρόθεμα στον AS1:
 - Το AS3 **υπόσχεται** ότι θα προωθήσει datagrams προς αυτό το πρόθεμα.
 - Το AS3 μπορεί να ομαδοποιήσει τα προθέματα στη δημοσιοποίησή του



Διανομή πληροφορίας προσέγγισης

- ❖ Χρησιμοποιώντας σύνοδο eBGP μεταξύ των 3a και 1c, το AS3 στέλνει πληροφορίες δυνατότητας προσέγγισης προθέματος στο AS1.
 - Το 1c μπορεί τότε να χρησιμοποιήσει iBGP για να διανείμει νέες πληροφορίες προθέματος σε όλους τους δρομολογητές του AS1
 - Το 1b μπορεί τότε να διαφημίσει εκ νέου τις νέες πληροφορίες προσέγγισης στο AS2 μέσω της συνεδρίας eBGP από το 1b-στο-2a
- ❖ Όταν κάποιος δρομολογητής μαθαίνει για νέο πρόθεμα δημιουργεί καταχώριση για το πρόθεμα στον πίνακα προώθησής του



Ιδιοχαρακτηριστικά διαδρομής & διαδρομές BGP

- ❖ Ένα δημοσιοποιούμενο πρόθεμα περιλαμβάνει χαρακτηριστικά του BGP
 - Πρόθεμα + ιδιοχαρακτηριστικά = “διαδρομή” (route)
- ❖ Δύο σημαντικά ιδιοχαρακτηριστικά:
 - **AS Path:** περιλαμβάνει τα AS μέσω των οποίων έχει περάσει η διαφήμιση για το πρόθεμα: π.χ., AS 67, AS 17
 - **Next Hop:** υποδεικνύει συγκεκριμένο εσωτερικό στο AS δρομολογητή προς το AS επόμενου άλματος (ενδέχεται να υπάρχουν πολλαπλές ζεύξεις από το τρέχον AS στο AS επόμενου άλματος)
- ❖ Όταν ένας δρομολογητής πύλης λαμβάνει τη διαφήμιση διαδρομής, χρησιμοποιεί την **πολιτική εισαγωγής (import policy)** για να δεχτεί/απορρίψει
 - π.χ., ποτέ μη δρομολογείς μέσω του AS x
 - δρομολόγηση βασισμένη σε κάποια πολιτική



Επιλογή διαδρομής BGP

Ο δρομολογητής ενδέχεται να μάθει για περισσότερες από μία διαδρομές για το AS προορισμού. Επιλέγει διαδρομή βασισμένος σε:

1. Ιδιοχαρακτηριστικό τιμής τοπικής προτίμησης: απόφαση πολιτικής
2. Βραχύτερο AS-PATH
3. Πλησιέστερος δρομολογητής NEXT-HOP: δρομολόγηση καυτής πατάτας
4. Πρόσθετα κριτήρια

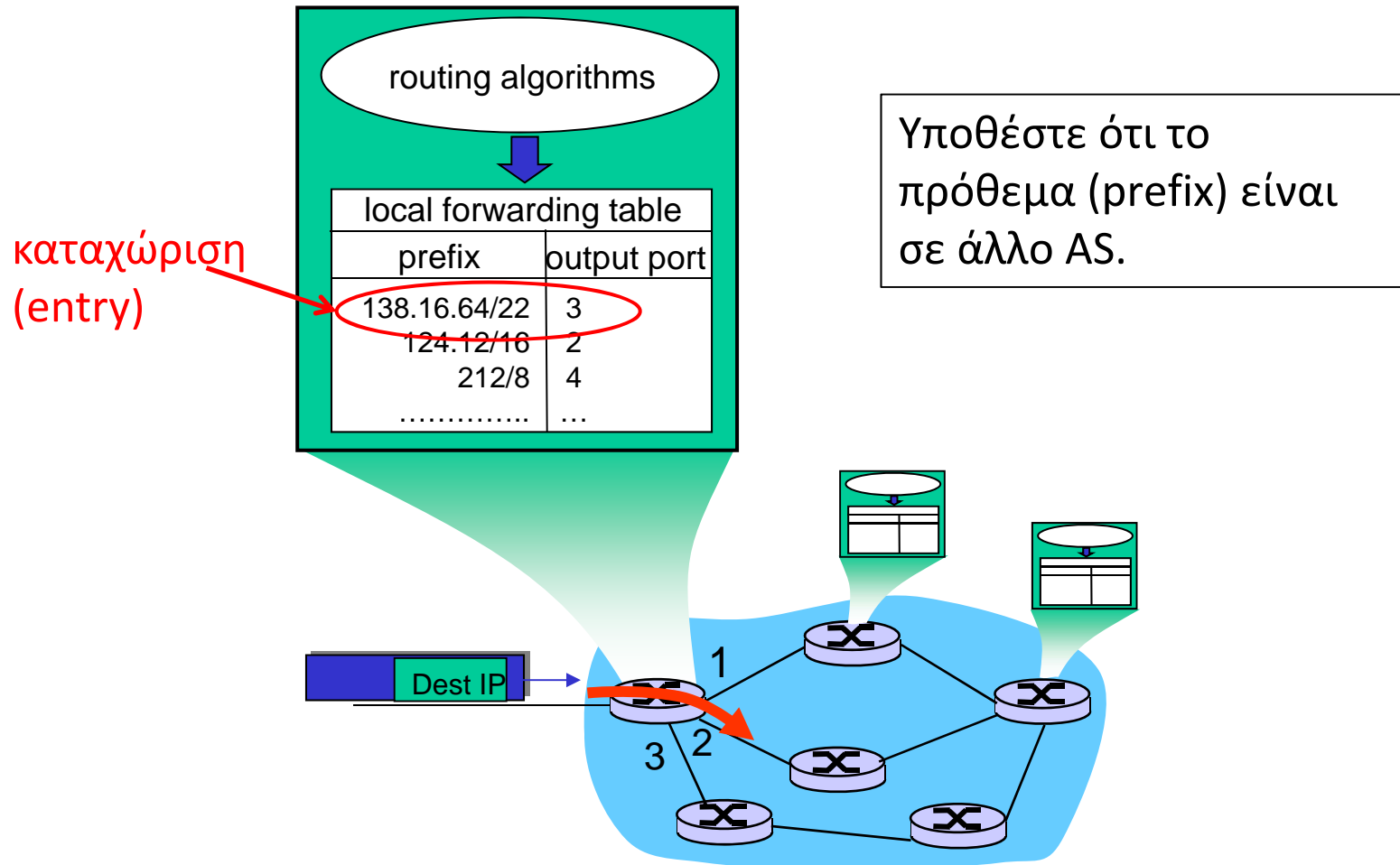


Μηνύματα BGP

- ❖ Τα μηνύματα BGP ανταλλάσσονται μεταξύ ομότιμων πάνω από TCP σύνδεση.
- ❖ Μηνύματα BGP:
 - **OPEN:** ανοίγει σύνδεση TCP προς τον ομότιμο και ταυτοποιεί τον αποστολέα
 - **UPDATE:** δημοσιοποιεί νέα διαδρομή (ή αποσύρει παλιά)
 - **KEEPALIVE:** διατηρεί τη σύνδεση ζωντανή ελλείψει UPDATES. Επίσης επιβεβαιώνει αίτηση OPEN
 - **NOTIFICATION:** αναφέρει σφάλματα σε προηγούμενο μήνυμα και χρησιμοποιείται για το κλείσιμο σύνδεσης



Πως μπαίνει μια καταχώριση στον πίνακα προώθησης ενός δρομολογητή;



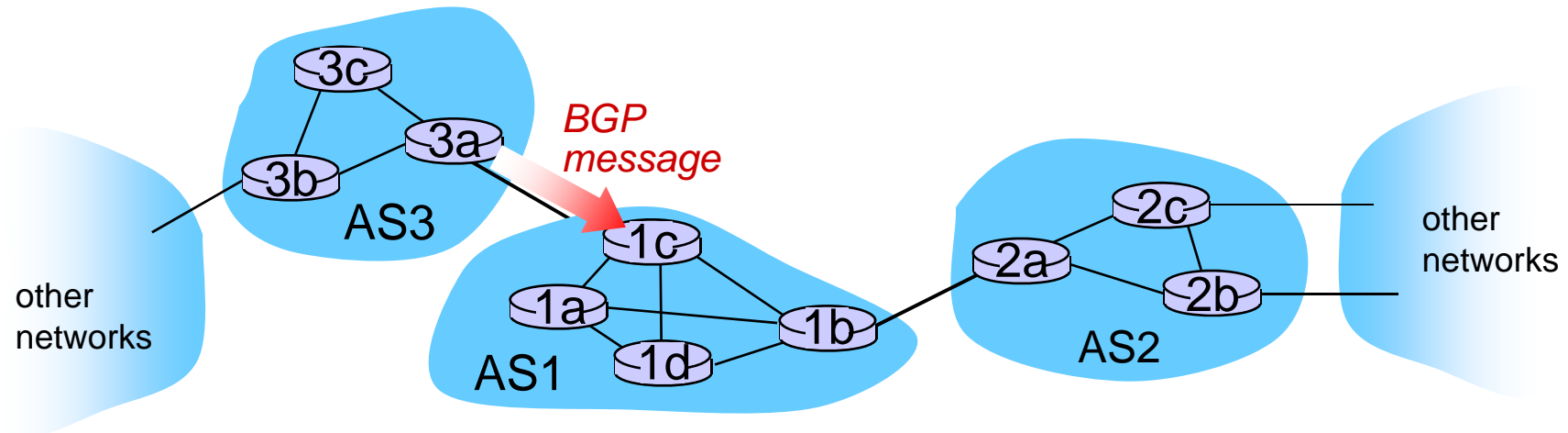
Πως μπαίνει μια καταχώριση στον πίνακα προώθησης ενός δρομολογητή;

Επισκόπηση

1. Ο δρομολογητής μαθαίνει το πρόθεμα
2. Ο δρομολογητής καθορίζει την κατάλληλη θύρα εξόδου για αυτό το πρόθεμα
3. Ο δρομολογητής εισάγει το ζεύγος προθέματος-θύρας μέσα στον πίνακα προώθησης του



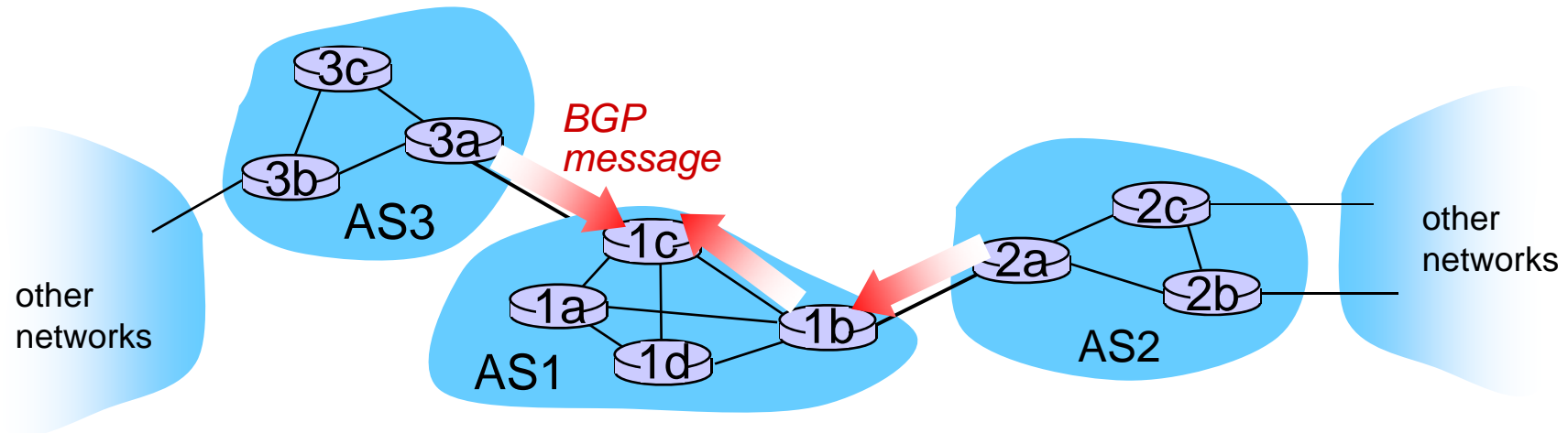
Ο δρομολογητής μαθαίνει το πρόθεμα



- ❖ Ένα μήνυμα BGP περιέχει τις “διαδρομές”
- ❖ Η “διαδρομή” είναι ένα πρόθεμα (prefix) με τα ιδιοχαρακτηριστικά του (attributes): AS-PATH, NEXT-HOP,...
- ❖ Παράδειγμα: Διαδρομή:
 - ❖ Prefix:138.16.64/22 ; AS-PATH: AS3 AS131 ; NEXT-HOP: 201.44.13.125



Ο δρομογητής μπορεί να λάβει περισσότερες από μια διαδρομές



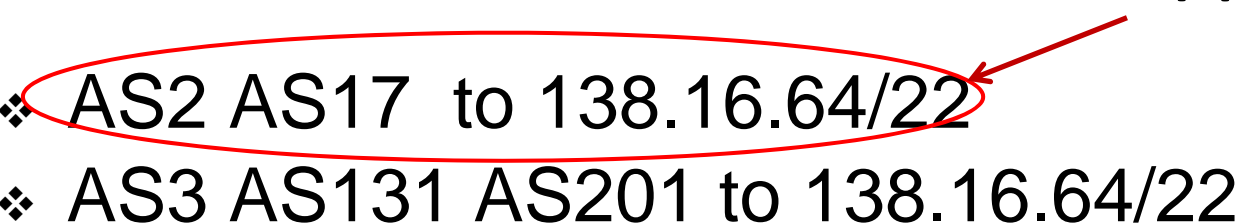
- ❖ Ο δρομολογητής μπορεί να λάβει περισσότερες από μια διαδρομές για το ίδιο πρόθεμα
- ❖ Πρέπει να επιλέξει μια διαδρομή



Επιλογή καλύτερης διαδρομής BGP προς το πρόθεμα

- ❖ Ο δρομολογητής επιλέγει διαδρομή βασιζόμενος στο βραχύτερο (shortest) AS-PATH

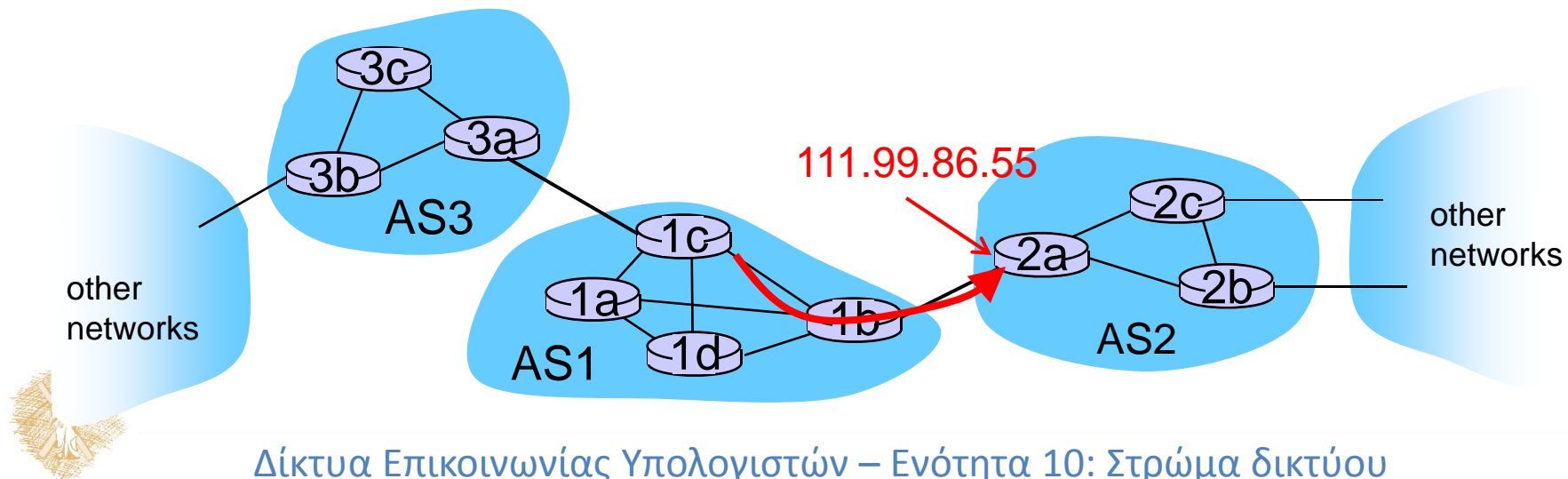
- ❖ **Παράδειγμα:**

- ❖ AS2 AS17 to 138.16.64/22
 - ❖ AS3 AS131 AS201 to 138.16.64/22
- επιλογή
- 



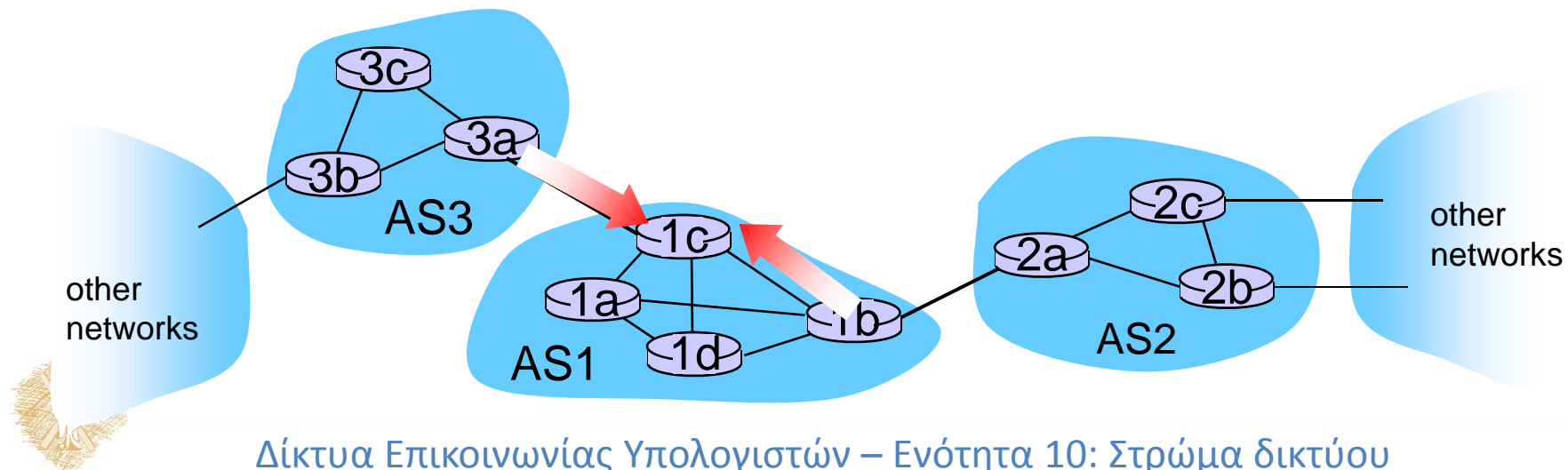
Εύρεση της καλύτερης ενδο-διαδρομής στην διαδρομή BGP

- ❖ Χρήση του NEXT-HOP attribute της επιλεγμένης διαδρομής
 - Το NEXT-HOP attribute είναι η διεπαφή δρομολογητή που αρχίζει το AS PATH.
- ❖ Παράδειγμα:
 - ❖ AS-PATH: AS2 AS17 ; NEXT-HOP: 111.99.86.55
- ❖ Ο δρομολογητής χρησιμοποιεί OSPF για να βρει το συντομότερο μονοπάτι από το 1c στο 111.99.86.55



Δρομολόγηση καυτής πατάτας

- ❖ Υποθέστε ότι υπάρχουν δύο ή περισσότερες καλύτερες inter-routes.
- ❖ Επιλογή της διαδρομής με το πλησιέστερο NEXT-HOP
 - Χρήση OSPF για τον καθορισμό τη πλησιέστερης πύλης
 - Ε: Από το 1c, επιλέγουμε AS3 AS131 ή AS2 AS17;
 - Α: την διαδρομή AS3 AS201 επειδή είναι πλησιέστερη



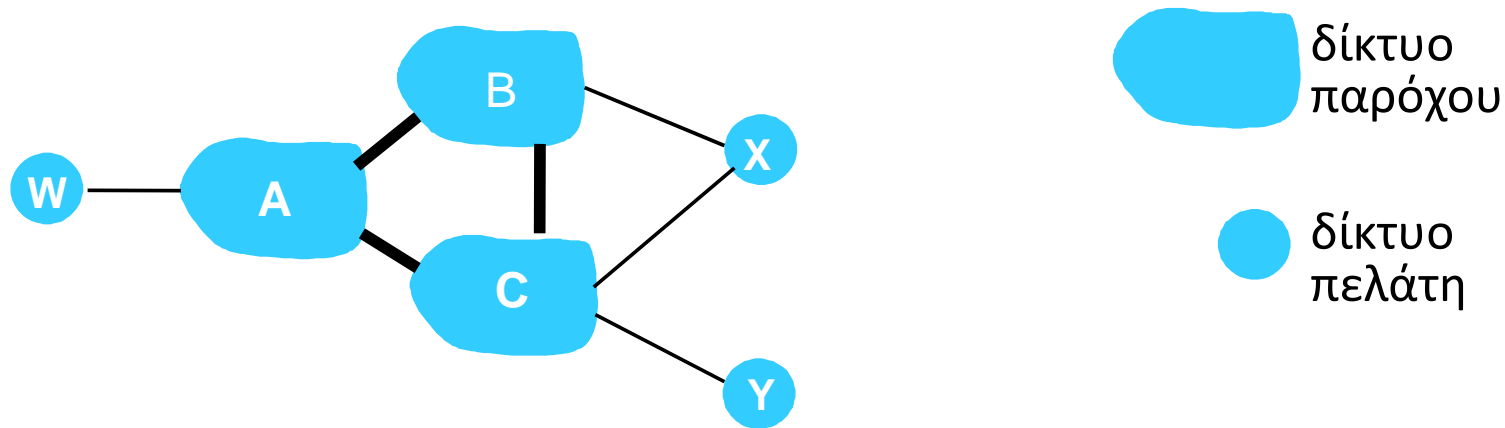
Πως μπαίνει μια καταχώριση στον πίνακα προώθησης ενός δρομολογητή;

Περίληψη

1. Ο δρομολογητής μαθαίνει το πρόθεμα
 - Μέσω μιας διαφήμισης διαδρομής BGP από άλλους δρομολογητές
2. Ο δρομολογητής καθορίζει την κατάλληλη θύρα εξόδου για αυτό το πρόθεμα
 - Χρήση της διεργασίας επιλογής διαδρομής BGP ώστε να βρεθεί η 'βέλτιστη' διαδρομή inter-AS route
 - Χρήση OSPF ώστε να βρεθεί η 'βέλτιστη' διαδρομή intra-AS route που οδηγεί στην 'βέλτιστη' inter-AS route.
3. Ο δρομολογητής εισάγει το ζεύγος προθέματος-θύρας μέσα στον πίνακα προώθησης του



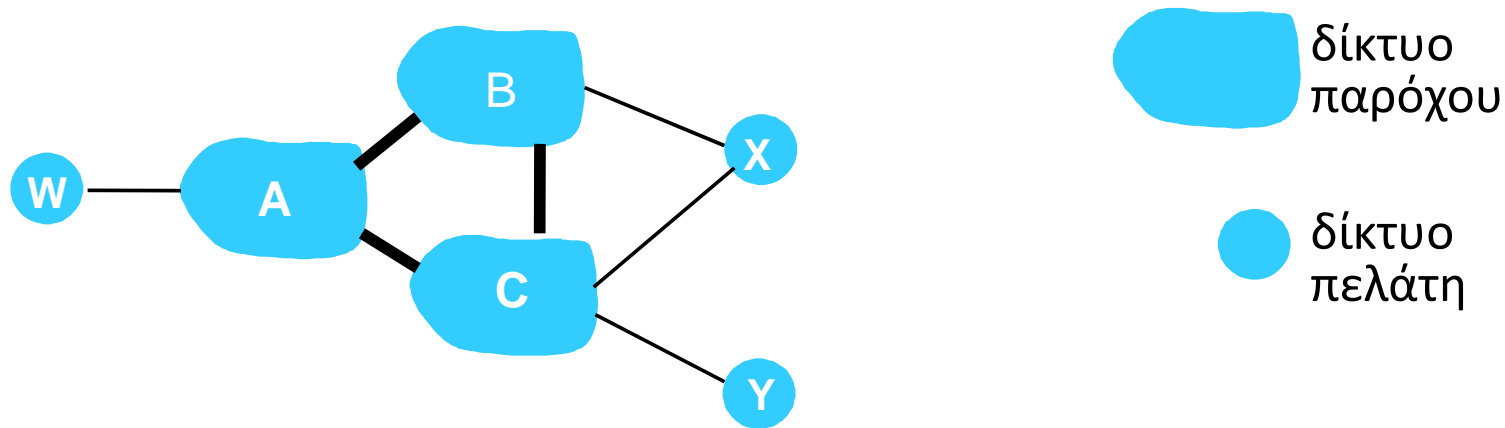
Πολιτική δρομολόγησης BGP



- ❖ Τα A,B,C είναι **δίκτυα παρόχων (provider networks)**
- ❖ Τα X,W,Y είναι πελάτες (των δικτύων παρόχων)
- ❖ Το X είναι **διεστιακό (dual-homed)**: συνδέεται σε δύο δίκτυα
 - Το X δεν θέλει να δρομολογεί από το B μέσω του X προς το C
 - .. έτσι το X δεν θα δημοσιοποιήσει στο B μια διαδρομή προς το C



Πολιτική δρομολόγησης BGP (2)



- ❖ Το A διαφημίζει τη διαδρομή AW στο B
- ❖ Το B διαφημίζει τη διαδρομή BAW στο X
- ❖ Θα πρέπει το B να διαφημίσει τη διαδρομή BAW στο C;
 - Σε καμία περίπτωση! Το B δεν έχει όφελος από τη δρομολόγηση CBAW, καθώς ούτε το W ούτε το C είναι πελάτες του B
 - Το B θέλει να εξαναγκάσει το C να δρομολογεί προς το W μέσω του A
 - Το B θέλει να δρομολογεί **μόνο** προς/από τους πελάτες του!



Γιατί διαφορετική δρομολόγηση Intra- και Inter-AS ;

Πολιτική:

- ❖ Inter-AS: ο διαχειριστής θέλει έλεγχο στο πώς δρομολογείται η κίνησή του, ποιός δρομολογεί μέσω του δικτύου του
- ❖ Intra-AS: μοναδικός διαχειριστής, οπότε δεν χρειάζονται αποφάσεις πολιτικής

Κλίμακα:

- ❖ Η ιεραρχική δρομολόγηση εξοικονομεί μέγεθος πίνακα, μειωμένη κίνηση ενημερώσεων

Απόδοση:

- ❖ Intra-AS: μπορεί να επικεντρώσει στην απόδοση
- ❖ Inter-AS: η πολιτική μπορεί να κυριαρχήσει της απόδοσης



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Πανεπιστημίου Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα



Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.00.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Μιχαήλ Λογοθέτης. «Δίκτυα Επικοινωνίας Υπολογιστών. Στρώμα δικτύου». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/EE604/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση του ακόλουθου έργου:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες/Πίνακες

[1] J. Kurose and K. Ross, Δικτύωση Υπολογιστών – Προσέγγιση από Πάνω προς τα Κάτω, 6^η έκδοση, Γκιούρδας, 2013

