

Διαδίκτυωση Το Επίπεδο Δικτύου στο Internet

Μ. Αναγνώστου

8/6/2022

Διαδικτύωση

- Ετερογένεια δικτύων
- Τρόποι διασύνδεσης
- Tunneling
- Κατατεμαχισμός πακέτων

Το Επίπεδο Δικτύου στο Internet

- Δομή του πακέτου στο IPv4
- Διευθύνσεις κατά IPv4
- IPv6

Διασύνδεση δικτύων

- ▶ Θα εξετάσουμε ζητήματα που προκύπτουν από τη διασύνδεση δικτύων [TFW21].
- ▶ Ένα σύνολο διασυνδεδεμένων δικτύων σχηματίζουν ένα *διαδίκτυο* (internetwork ή internet).
- ▶ Γιατί υπάρχουν διαφορετικά δίκτυα;
 - ▶ Επειδή είναι εξειδικευμένα σε διαφορετικά περιβάλλοντα, π.χ. ασύρματα, δορυφορικά.
 - ▶ Γιατί ξεκίνησαν από διαφορετικές υποδομές, π.χ. χρησιμοποιώντας το τηλεφωνικό δίκτυο ή το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος.
 - ▶ Γιατί και για τα δίκτυα ισχύει ο νόμος του Δαρβίνου για την εξέλιξη, όπου γίνεται ένας αγώνας για την επιβίωση διαφόρων δικτύων.
- ▶ Υπάρχει προστιθέμενη αξία από τη σύνδεση κατά το «νόμο» του Metcalfe: Η αξία ενός δικτύου με N κόμβους είναι ανάλογη του N^2 .
- ▶ Ωστόσο για τη διασύνδεση δικτύων πρέπει να λυθούν προβλήματα ετερογένειας, κλιμάκωσης κ.α.

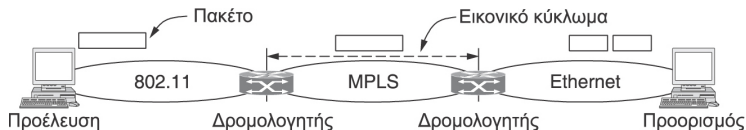
Διαφορές στο επίπεδο δικτύου

Ζήτημα	Μερικές δυνατότητες
Παρεχόμενη υπηρεσία	Συνδεσμοστρεφής ή ασυνδεσμική
Διευθυνσιοδότηση	Διαφορετικά μεγέθη, επίπεδη ή ιεραρχική
Εκπομπή	Υπάρχει ή δεν υπάρχει δυνατότητα (το ίδιο και για την πολυδιανομή)
Μέγεθος πακέτων	Κάθε δίκτυο έχει το δικό του μέγιστο όριο
Σειρά παράδοσης	Διατεταγμένη και μη διατεταγμένη παράδοση
Πολυδιανομή	Παρούσα ή απούσα (όπως και η εκπομπή)
Ποιότητα υπηρεσιών	Παρούσα ή απούσα· πολλά διαφορετικά είδη
Αξιοπιστία	Διαφορετικά επίπεδα απωλειών
Ασφάλεια	Κανόνες προστασίας απορρήτου, κρυπτογραφία κ.λπ.
Παράμετροι	Διαφορετικά χρονόμετρα, προδιαγραφές ροής κ.λπ.
Λογιστική χρέωσης	Ως προς το χρόνο σύνδεσης, ανά πακέτο, ανά byte, ή καθόλου

Πώς μπορούμε να συνδέσουμε δυο δίκτυα;

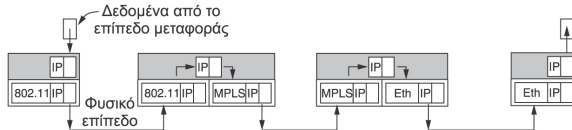
- ▶ Υπάρχουν δυο βασικές μέθοδοι
 1. Να γίνεται μετατροπή πακέτων,
 2. να προστεθεί ένας φλοιός που θα κρύβει τις λεπτομέρειες (layer of indirection) και πάνω από αυτόν ένας κοινός φλοιός.
- ▶ Οι Cerf & Kahn [CK74] πρότειναν το 1974 ένα κοινό φλοιό που εξελίχθηκε στο TCP/IP. Το 2004 πήραν γι' αυτό το βραβείο Turing.
- ▶ Το IP ορίζει ένα τύπο πακέτου αναγνωρίσιμο από όλους τους δρομολογητές.

Παράδειγμα διασύνδεσης



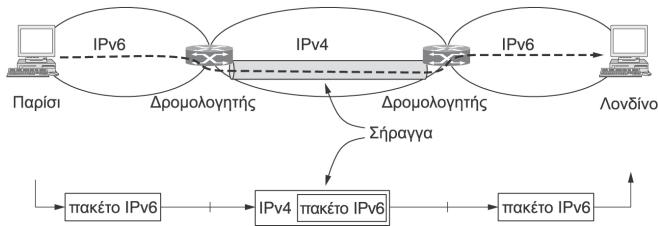
- ▶ Στην εικόνα φαίνονται δύο υπολογιστές που ανταλλάσσουν δεδομένα. Ο πρώτος είναι σε ασύρματο δίκτυο WiFi, ο δεύτερος σε σταθερό δίκτυο Ethernet, ενώ παρεμβάλλεται δίκτυο MPLS.
- ▶ Ένα αρχικό πακέτο φέρει διευθύνσεις δικτύου και περνάει μέσω του 802.11 στον δρομολογητή στο όριο με το MPLS.
- ▶ Δεδομένου ότι το MPLS λειτουργεί με νοητά κυκλώματα, το πακέτο περνάει ως το δεύτερο δρομολογητή μέσα από ένα νοητό κύκλωμα.
- ▶ Ωστόσο αν το Ethernet λειτουργεί με μικρότερο μέγεθος πακέτου, θα γίνει κατατεμαχισμός (fragmentation) και τα τεμάχια θα επανενωθούν στον προορισμό.

Παράδειγμα διασύνδεσης: Πρωτόκολλα



- ▶ Τα δεδομένα από το επίπεδο μεταφοράς ενθυλακώνονται από το IP σε ένα πακέτο με την επικεφαλίδα του IP που περιέχει και την διεύθυνση προορισμού. Επομένως το πακέτο πρέπει να πάει στον επόμενο δρομολογητή.
- ▶ Στη συνέχεια το πακέτο ενθυλακώνεται σε ένα πλαίσιο του επιπέδου 2 του 802.11, με διεύθυνση προορισμού αυτήν του δρομολογητή.
- ▶ Ο δρομολογητής βλέπει ότι ο επόμενος δρομολογητής είναι αυτός μέσω του MPLS, οπότε προσθέτει επικεφαλίδα του MPLS και το πλαίσιο φτάνει στην άλλη πλευρά μέσα από ένα νοητό κύκλωμα.
- ▶ Στον 2ο δρομολογητή αφαιρείται το περίβλημα MPLS και απομένει το πακέτο IP, το οποίο όμως πρέπει να φτάσει μέσω Ethernet στον προορισμό. Ωστόσο λόγω μήκους γίνεται fragmentation. Κάθε τεμάχιο ενθυλακώνεται σε ένα περίβλημα Ethernet και φτάνει στον προορισμό.
- ▶ Εκεί ανακτάται κάθε τεμάχιο, αφαιρείται το περίβλημα Ethernet, γίνεται ανασύσταση του αρχικού πακέτου από τα τεμάχια, και στη συνέχεια χωρίς τις επικεφαλίδες IP αποδίδεται στο επίπεδο μεταφοράς.

Tunneling



- ▶ Αν τα δύο άκρα είναι σε παρόμοια δίκτυα, μπορεί να εφαρμοσθεί *σηράγγωση* (tunneling).
- ▶ Το αποτέλεσμα είναι *υπερκείμενο* δίκτυο (overlay network).
- ▶ Το VPN είναι ένα υπερκείμενο δίκτυο που παρέχει και ασφάλεια.



Διαδικτυακή δρομολόγηση

- ▶ Η δρομολόγηση μέσα από ένα διαδίκτυο θέτει το πρόβλημα της δρομολόγησης με επιπρόσθετες περιπλοκές.
- ▶ Τα δίκτυα μπορεί εσωτερικά να χρησιμοποιούν διαφορετικούς αλγόριθμους δρομολόγησης (π.χ. link state vs distance vector).
- ▶ Αν ανήκουν σε διαφορετικούς παρόχους μπορεί να ελαχιστοποιούν διαφορετικές ποσότητες, π.χ. καθυστέρηση, κόστος.
- ▶ Ένας πάροχος μπορεί να αποκρύπτει λεπτομέρειες των διαδρομών του (π.χ. τα βάρη των ακμών) σε άλλους παρόχους.
- ▶ Κατά κανόνα εφαρμόζεται δρομολόγηση δύο επιπέδων, άλλη εσωτερικά στο κάθε δίκτυο (interior gateway protocol) και άλλη ανάμεσα σε δίκτυα (exterior gateway protocol). Στο Internet το δεύτερο είναι το BGP (Border Gateway Protocol).
- ▶ Δεδομένου ότι κάθε δίκτυο λειτουργεί ανεξάρτητα από τα άλλα συχνά ονομάζεται *Αυτόνομο Σύστημα* (Autonomous System).
- ▶ Η δρομολόγηση μπορεί να εξαρτάται από τις οικονομικές συμφωνίες ανάμεσα σε ISPs ή από την πολιτική να αποφεύγονται κάποιες περιοχές.

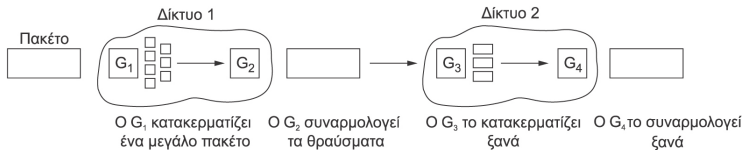
Κατατεμαχισμός πακέτων

- ▶ Κάθε δίκτυο μπορεί να επιβάλει το δικό του όριο στο μέγεθος πακέτου για λόγους όπως:
 1. Hardware (μέγεθος πλαισίου Ethernet)
 2. Λειτουργικό σύστημα (buffers των 512 bytes)
 3. Πρωτόκολλο (που καθορίζει μέγεθος επικεφαλίδας)
 4. Συμμόρφωση με κάποιο πρότυπο
 5. Επιθυμία να μειωθούν οι επαναμεταδόσεις
 6. Επιθυμία να μειωθεί ο χρόνος κατάληψης του καναλιού από ένα πακέτο
- ▶ Το μέγιστο μήκος πακέτου στο Ethernet είναι 1500 bytes, στο 802.11 2272 bytes, στο IP 65515.
- ▶ Γενικά οι hosts προτιμούν τα μεγαλύτερα μεγέθη επειδή μειώνεται το ποσοστό των επικεφαλίδων.

Path Maximum Transmission Unit

- ▶ Μια λύση στο πρόβλημα είναι να μειωθεί εξ αρχής το μέγεθος πακέτου ώστε να μπορεί να περνάει από παντού στη διαδρομή.
- ▶ Το κατάλληλο μέγεθος (ελάχιστο όριο στη διαδρομή) λέγεται *Path Maximum Transmission Unit* (PMTU).
- ▶ Ωστόσο η διαδρομή δεν είναι πάντοτε γνωστή ή δεν ακολουθούν την ίδια όλα τα πακέτα.
- ▶ Η δρομολόγηση επίσης δεν παραμένει οπωσδήποτε σταθερή.

Κατατεμαχισμός (fragmentation)



(α)



(β)

- ▶ Θα γίνει κατατεμαχισμός στη διάρκεια της διαδρομής, μόλις δηλαδή κάποιο δίκτυο απαιτήσει μικρότερο μέγεθος πακέτου.
- ▶ Πότε θα επανενωθούν τα τεμάχια; Δύο λύσεις: (α) Στην έξοδο από το συγκεκριμένο δίκτυο (διαφανής κατατεμαχισμός), (β) στον τελικό προορισμό.

Σύγκριση των δύο μεθόδων

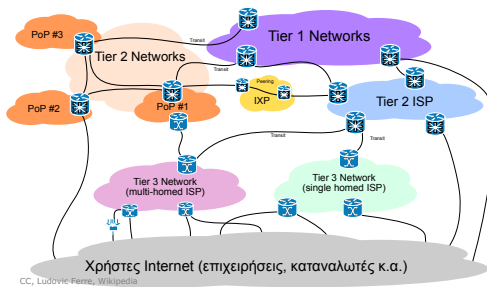
- ▶ Η μέθοδος (α) υποχρεώνει όλα τα τεμάχια να βγουν στο ίδιο σημείο από το δίκτυο, δηλαδή περιορίζει τη δρομολόγηση. Επίσης προσθέτει φόρτο συναρμολόγησης, χωρίς να είναι βέβαιο ότι δεν θα ξαναχρειαστεί πιο κάτω κατατεμαχισμός.
- ▶ Η μέθοδος (β) μειώνει τις αποδόσεις λόγω αύξησης του ποσοστού της επικεφαλίδας στα τεμάχια, ενώ σε περίπτωση που διαπιστωθεί πρόβλημα στον προορισμό απαιτείται συνολική επαναμετάδοση.

Ανακάλυψη του χαμηλότερου ορίου στο μέγεθος πακέτου



- ▶ Σκοπός της μεθόδου είναι να ανιχνευθεί το χαμηλότερο MTU σε μια διαδρομή, ώστε να μη γίνει fragmentation.
- ▶ Η πηγή δοκιμάζει να στείλει κάθε φορά ένα πακέτο με το “no fragmentation” bit = 1 και εφόσον δεν περάσει παίρνει πίσω error.

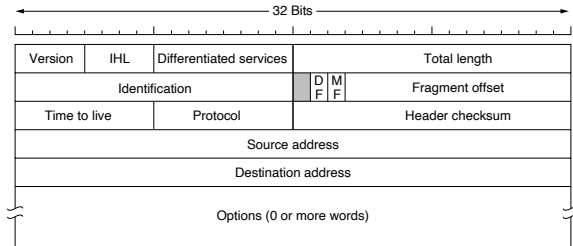
Το Επίπεδο Δικτύου στο Internet



- ▶ Στο επίπεδο δικτύου το Internet αποτελείται από μια συλλογή αυτόνομων δικτύων (Autonomous Systems - AS).
- ▶ Συνδέονται με δίκτυα κορμού (backbone), Tier 1/2/3 networks.¹
- ▶ Όλα χρησιμοποιούν για το Internet Protocol (IP). Οι δρομολογητές IP φροντίζουν να φτάσουν τα πακέτα στον προορισμό τους. Εκεί παραδίδονται στο επίπεδο μεταφοράς.

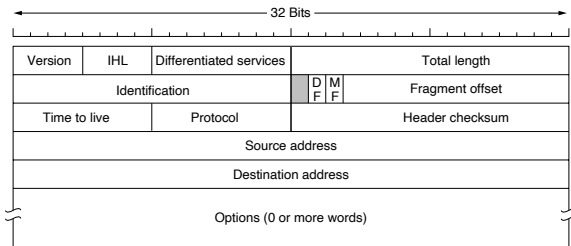
¹https://en.wikipedia.org/wiki/Tier_1_network

IPv4



- ▶ Στο σχήμα φαίνεται η επικεφαλίδα ενός πακέτου του IPv4 (RFC 791).
- ▶ Περιλαμβάνει ένα σταθερό μέρος των 20 bytes και ένα μεταβλητού μήκους προαιρετικό μέρος.
- ▶ Τα bits μεταδίδονται από αριστερά προς τα δεξιά, πρώτο το υψηλότερης τάξης bit του πεδίου Version (“big endian”).

IPv4 header

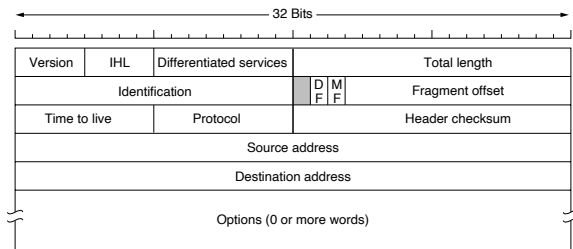


Version =4 για το IPv4.

IHL = μήκος του πακέτου σε πολλαπλάσια των 32 bits, ελάχιστη τιμή 5, μέγιστη 15 (άρα Options = 40 bytes).

Differentiated Services Τα άνω 6 bits *service class*, τα κάτω 2 ένδειξη συμφόρησης.

IPv4 header



Total length μαζί με τα δεδομένα ≤ 65535 bytes.

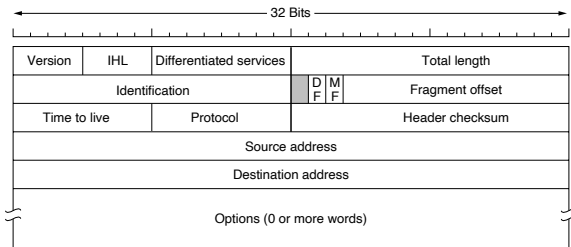
Identification έχει την ίδια τιμή για όλα τα fragments ενός πακέτου.

DF Don't fragment.

MF More fragments, =1 όταν υπάρχει επόμενο τεμάχιο, στο τελευταίο τεμάχιο ενός πακέτου =0.

Fragment offset δηλώνει τη θέση ενός τεμαχίου στο πακέτο.

IPv4 header



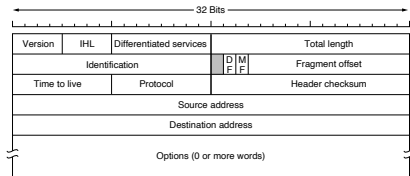
TTL Time to Live, μειώνεται κατά 1 για κάθε hop, όταν μηδενισθεί το πακέτο διαγράφεται και αποστέλλεται ένα μήνυμα σφάλματος στην πηγή του (default TTL = 64, max 255, εξαρτάται από το λειτουργικό).²

Protocol σε ποια διεργασία επιπέδου μεταφοράς θα παραδοθεί το πακέτο (TCP, UDP, ...)

Header checksum άθροισμα όλων των 16άδων της επικεφαλίδας.

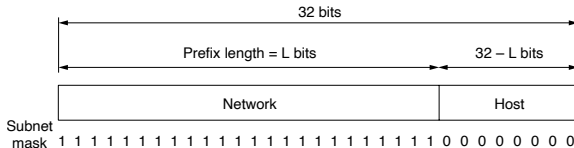
²Δοκιμάστε ping και δείτε το TTL. Συγκρίνετε με traceroute.

Options



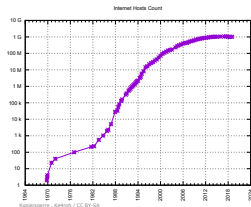
Option	Περιγραφή
Security	πόσο μυστική είναι η πληροφορία
Strict source routing	προκαθορίζει όλη τη διαδρομή
Loose source routing	προκαθορίζει μερικούς επιθυμητούς routers
Record route	καταγράφει τη διαδρομή
Timestamp	Record route με χρονοσήμανση

Διευθύνσεις IPv4



- ▶ Οι διευθύνσεις IP έχουν μήκος 32 bits, εκ των οποίων τα L πρώτα είναι η διεύθυνση ενός δικτύου και τα τελευταία $32 - L$ η διεύθυνση ενός υπολογιστή. Το δίκτυο προφανώς διαθέτει 2^{32-L} διευθύνσεις, που αποτελούν ένα block διευθύνσεων, το οποίο λέγεται *prefix*.
- ▶ Οι διευθύνσεις γράφονται σε δεκαδική γραφή με τελείες (dotted decimal notation), π.χ. 147.102.222.46, όπου καθένα από τα 4 bytes γράφεται ως δεκαδικός (0-255).
- ▶ Ένα prefix περιγράφεται από την χαμηλότερη διεύθυνσή του και το μήκος L . Π.χ. 128.208.0.0/24 είναι ένα prefix με 2^8 διευθύνσεις, 128.208.0.0 – 128.208.0.255.
- ▶ Subnet mask είναι ένας αριθμός που αποτελείται από L «1» και $32 - L$ μηδενικά. Όταν γίνει AND με μια διεύθυνση δικτύου, αφήνει μόνο το μέρος του δικτύου.

Ιεραρχική δρομολόγηση



- ▶ Η παραπάνω δομή των διευθύνσεων χρησιμεύει στην ιεραρχική δρομολόγηση, δηλαδή ένας δρομολογητής έχει στον πίνακα δρομολόγησης μόνο το prefix για υπολογιστές που δεν ανήκουν στο «δικό του» δίκτυο.
- ▶ Στο Internet υπάρχουν $\simeq 10^9$ hosts, αλλά λιγότερα από 850000 prefixes.³
- ▶ Μειονεκτήματα: (α) Η διεύθυνση ενός υπολογιστή εξαρτάται από τη θέση του. (β) Γίνεται σπατάλη διευθύνσεων.

³<https://www.cidr-report.org/as2.0/>.

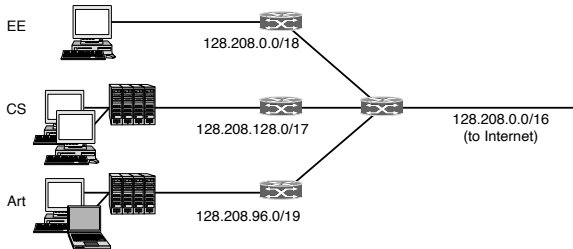
Υποδίκτυα

- ▶ Τους αριθμούς δικτύου διαχειρίζεται ο οργανισμός ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers), που στη συνέχεια εκχωρεί το δικαίωμα διαχείρισης τμημάτων του χώρου των διευθύνσεων σε τοπικούς οργανισμούς (authorities), που στη συνέχεια εκχωρούν δικαιώματα σε εταιρίες και ISPs.
- ▶ Ένα block διευθύνσεων μπορεί χωριστεί σε τμήματα εφόσον τα δίκτυα που χρησιμοποιούν κάθε τμήμα φαίνονται προς τα έξω ως ενιαίο δίκτυο. Αυτό λέγεται *subnetting* και τα δίκτυα *subnets*.

Παράδειγμα subnetting

Ας υποθέσουμε ότι γίνεται η εξής ανάθεση διευθύνσεων σε τρία τμήματα ενός πανεπιστημίου ως εξής:

Computer Science:	10000000	11010000	11xxxxxxx	xxxxxxxx
Electrical Eng.:	10000000	11010000	001xxxxxx	xxxxxxxx
Art:	10000000	11010000	011xxxxxx	xxxxxxxx

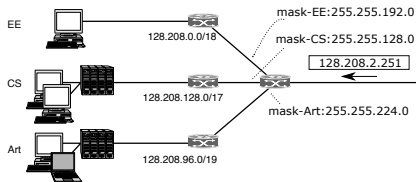


Παράδειγμα subnetting

Το αρχικό block 128.208.0.0/16 με $2^{16} = 65536$ διευθύνσεις, δηλαδή από 128.208.0.0 ως 128.208.255.255 έχει διαιρεθεί σε τρία τμήματα:

1. Τις μισές ($2^{15} = 32768$) διευθύνσεις με την τρίτη οκτάδα να αρχίζει από 1, δηλαδή γράφοντας μόνο τα τελευταία δύο bytes από ...10000000.00000000 ως ...11111111.11111111, άρα από 128.208.128.0 ως 128.208.255.255. Με τη γνωστή σύμβαση αυτό το block γράφεται ως 128.208.128.0/17. Αυτές έχουν δοθεί στο CS Dept.
2. Οι άλλες μισές έχουν την τρίτη οκτάδα να αρχίζει από 0. Εξ αυτών οι μισές ($2^{14} = 16384$) αρχίζουν από 00 και όλες έχουν δοθεί στο EE Dept. Αυτές είναι από ...00000000.00000000 ως ...00111111.11111111, δηλ. από 128.208.0.0 ως 128.208.63.255 και σημειώνονται συμβατικά ως 128.208.0.0/18.
3. Από τις υπόλοιπες 16384, που αρχίζουν στην 3η οκτάδα από 01, μόνο οι μισές έχουν δοθεί στο Art Dept., αυτές που αρχίζουν από 011, δηλαδή από ...0110000.00000000 ως ...01111111.11111111, σε δεκ. γραφή από 128.208.96.0 ως 128.208.127.255. Το αντίστοιχο block γράφεται 128.208.96.0/19.
4. Προφανώς έχουν μείνει αδιάθετες οι 16384 διευθύνσεις από ...0100000.00000000 ως ...01011111.11111111, δηλαδή από 128.208.64.0 ως 128.208.95.255.

Παράδειγμα subnetting: Δρομολόγηση



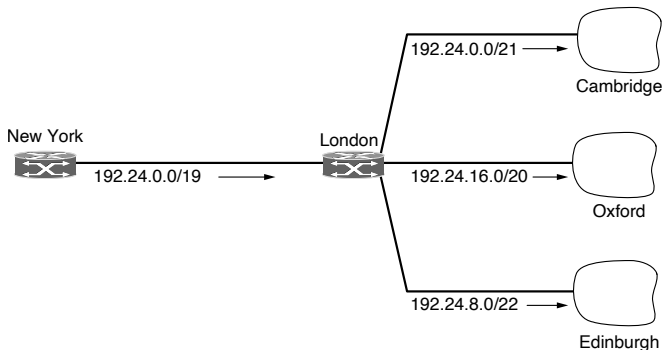
- ▶ Ας υποθέσουμε ότι στον εξωτερικό router φτάνει πακέτο με προορισμό 128.208.2.151.
- ▶ Ο δρομολογητής ελέγχει αν $\langle \text{μάσκα} \rangle \text{AND} \langle \text{ip-address} \rangle = \langle \text{χαμηλότερη τιμή στο prefix} \rangle$.
- ▶ Ισχύουν τα εξής:
 - ▶ $128.208.2.151 \text{ AND } 255.255.128.0 = 128.208.0.0 \neq 128.208.128.0$
 - ▶ $128.208.2.151 \text{ AND } 255.255.192.0 = 128.208.0.0 = 128.208.0.0$
 - ▶ $128.208.2.151 \text{ AND } 255.255.224.0 = 128.208.0.0 \neq 128.208.96.0$
- ▶ Άρα το πακέτο πάει στο EE.

Classless InterDomain Routing

- ▶ Η μέθοδος αυτή καλείται να μειώσει τους πίνακες δρομολόγησης.
- ▶ Συνίσταται στην σύνθεση μικρών prefixes σε μεγαλύτερα (το νέο prefix λέγεται supernet).
- ▶ Π.χ. μια διεύθυνση /22 μπορεί να ένας δρομολογητής να την εντάξει σε μια διεύθυνση /20.
- ▶ Ο σχεδιασμός αυτός λειτουργεί με το subnetting και λέγεται CIDR (Classless InterDomain Routing).
- ▶ Σύμφωνα με το <https://www.cidr-report.org/as2.0/> στις 18-05-20 από 837410 prefixes μέσω CIDR καταλήγουμε σε 452650.

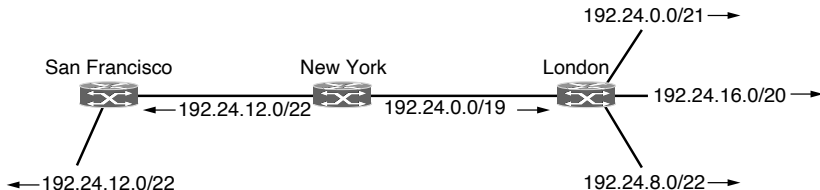
Παράδειγμα

Ίδρυμα	Πρώτη διεύθ.	Τελευταία δ.	πλήθος	Prefix	μάσκα
Cambridge	194.24.0.0	194.24.7.255	2048	/21	255.255.248.0
Edinburgh	194.24.8.0	194.24.11.255	1024	/22	255.255.252.0
-	194.24.12.0	194.24.15.255	1024	/22	
Oxford	194.24.16.0	194.24.31.255	4096	/20	255.255.240.0



Ο κανόνας του μακρύτερου prefix που ταιριάζει

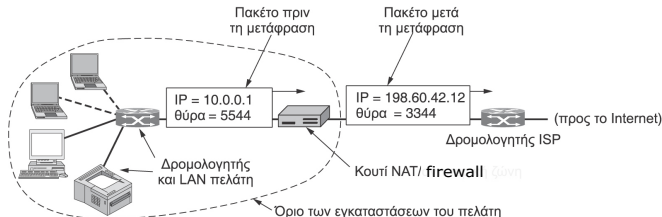
- ▶ Τα prefixes επιτρέπεται επί πλέον να παρουσιάζουν κοινό μέρος. Στην περίπτωση αυτήν ο δρομολογητής επιλέγει το πιο μακρύ prefix που ταιριάζει σε ένα εισερχόμενο πακέτο.
- ▶ Το παράδειγμα του σχήματος επεκτείνει το προηγ. παράδειγμα δίνοντας τις αδιάθετες διευθύνσεις σε δίκτυο στο San Francisco.
- ▶ Ο δρομολογητής στη NY θα χρειαζόταν κανονικά 4 prefixes, αλλά αρκούν δύο αν εφαρμοστεί ο κανόνας.



Ειδικές διευθύνσεις

NAT - Network Address Translation

- ▶ Ο πάροχος δίνει μια μόνο διεύθυνση στο δίκτυο του πελάτη.
- ▶ Εσωτερικά υπάρχει μια διεύθυνση ανά υπολογιστή χρησιμοποιώντας τρεις ειδικές ομάδες διευθύνσεων: 10.0.0.0/8, 172.16.0.0/12, 192.168.0.0/16.
- ▶ Το NAT κωδικοποιεί την εσωτερική διεύθυνση μαζί με το source port σε ένα νέο αριθμό port (από τα διαθέσιμα $2^{16} = 65536$ εφόσον το πεδίο είναι μήκους 16 bits.)
- ▶ Όταν μια μηχανή μέσα στο δίκτυο πρέπει να στείλει ένα πακέτο με δεδομένο ζεύγος (SourceIP, SourcePort), το NAT το μετατρέπει σε (εξωτερικόIP, f{SourceIP, SourcePort}), όπου f είναι η συνάρτηση μετατροπής.
- ▶ Στο πακέτο απάντησης εφαρμόζει τον αντίστροφο μετασχηματισμό για να βρει τη μηχανή για την οποία προορίζεται η απάντηση και το σωστό port.



Διευθύνσεις IPv6

- ▶ Στο IPv6 οι διευθύνσεις έχουν μήκος 16 bytes = 128 bits.
- ▶ Σημειώνονται ως 8 ομάδες των 2 bytes και κάθε ομάδα σημειώνεται ως τετράδα δεκαεξαδικών αριθμών. Π.χ.
8000:0000:0000:0000:0123:4567:89AB:CDEF
- ▶ Τα αρχικά μηδενικά σε μια ομάδα μπορούν να παραλειφθούν, π.χ. 123 αντί του 0123.

- ▶ Η μακρύτερη ακολουθία από μηδενικά μπορεί να παραλειφθεί:

8000::123:4567:89AB:CDEF

Αν υπάρχουν περισσότερες του ίδιου μήκους, παραλείπεται η πρώτη από αριστερά, π.χ. από 8000:BD8:0:0:1:0:0:1 σε 8000:BD8::1:0:0:1 και από 0:0:0:0:0:0:0:1 σε ::1.

- ▶ Οι διευθύνσεις IPv4 μπορούν να γράφονται με :: στην αρχή, π.χ.

::147.102.1.1

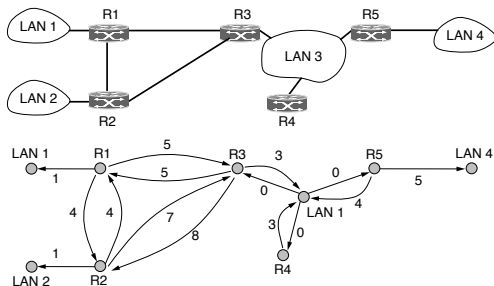
ICMP - Internet Control Message Protocol

- ▶ Το ICMP είναι ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται από τους δρομολογητές για διαχείριση, ήτοι αναφορά σφαλμάτων και δοκιμές.
- ▶ Ορίζει περισσότερους από δέκα τύπους μηνυμάτων που ενσωματώνονται σε πακέτα IP.
- ▶ Ο παρακάτω πίνακας δίνει τα πιο σημαντικά.

Message type	Description
Destination unreachable	Packet could not be delivered
Time exceeded	Time to live field hit 0
Parameter problem	Invalid header field
Source quench	Choke packet
Redirect	Teach a router about geography
Echo and echo reply	Check if a machine is alive
Timestamp request/reply	Same as Echo, but with timestamp
Router advertisement/solicitation	Find a nearby router

Το πρωτόκολλο εσωτερικής δρομολόγησης OSPF

- ▶ Η δρομολόγηση μέσα σε ένα Αυτόνομο Σύστημα (AS) γίνεται είτε με το IS-IS (Intermediate-System to Intermediate-System) είτε με το OSPF (Open Shortest Path First).
- ▶ Και τα δύο χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο Dijkstra, πάνω σε ένα γράφο με βάρη όπως στο σχήμα.
- ▶ Στην περίπτωση που το OSPF βρει δύο ίσες ελάχιστες διαδρομές διαιρείται η κίνηση (ECMP - Equal Cost MultiPath).



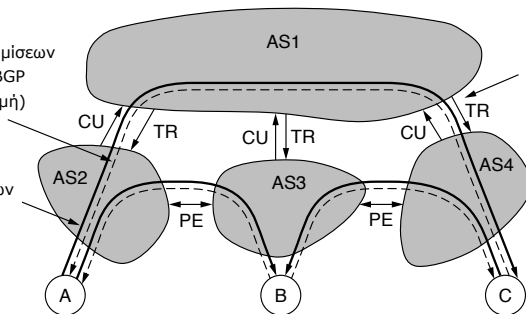
Το πρωτόκολλο εξωτερικής δρομολόγησης BGP

- ▶ Μεταξύ διαφορετικών AS χρησιμοποιείται το BGP (Border Gateway Protocol).
- ▶ Η δρομολόγηση είναι σε θέση να λαμβάνει υπόψη τις επιλογές πολιτικής κάθε παρόχου, με κριτήρια οικονομικά, ασφάλειας, επιδόσεων.
- ▶ Ένας ISP μπορεί να αγοράζει υπηρεσίες μεταφοράς από άλλον ISP.
- ▶ Η σύνδεση διαφορετικών AS μπορεί να γίνεται σε IXPs (Internet eXchange Points), δηλ. κόμβους ανταλλαγής κίνησης.

Παράδειγμα

Διαδρομή των διαφημίσεων
δρομολόγησης του BGP
(διακεκομμένη γραμμή)

Διαδρομή των
πακέτων IP



Routing policy:
TR = Transit
CU = Customer
PE = Peer

Βιβλιογραφία

- [CK74] V. G. Cerf and R. E. Kahn. “A protocol for packet network intercommunication.” In: *IEEE Transactions on Communications* 22.5 (04/1974), pp. 637–648.
- [TFW21] A. Tanenbaum, N. Feamster, and D. J. Wetherall. *Computer Networks*. Pearson Education, Limited, 2021.

Τελευταία ενημέρωση: June 6, 2022 3:25pm