Κεφάλαιο 3ο : ΕΠΙΠΕΔΟ 2Ο - ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ
Διευθυνσιοδότηση - Internet Protocol έκδοση 4 (IPv4)

Το επίπεδο Δικτύου (Network layer) στο μοντέλο OSI ή το αντίστοιχο Διαδικτύου του TCP/IP παρέχει τη **λογική διευθυνσιοδότηση** για όλα τα διασυνδεδεμένα μεταξύ τους δίκτυα. Φροντίζει για την εύρεση της κατάλληλης διαδρομής και παράδοση του πακέτου δεδομένων στον τελικό κόμβο, έργο το οποίο χαρακτηρίζεται ως **δρομολόγηση** (routing). Στην προσπάθεια αυτή το πακέτο μπορεί να χρειαστεί να διασπαστεί σε διάφορα τμήματα τα οποία μπορεί να φτάσουν από άλλες διαδρομές και με διαφορετική σειρά, όμως το επίπεδο δικτύου θα τα επανασυνθέσει και θα αναφέρει οποιαδήποτε προβλήματα παράδοσης προκύψουν.
Το επίπεδο Διαδικτύου στο μοντέλο **TCP/IP** έχει ως βασικό πρωτόκολλο το **πρωτόκολλο Διαδικτύου** (Internet Protocol - **IP**) το οποίο παρέχει υπηρεσίες αποκλειστικά χωρίς σύνδεση. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιεί **αυτοδύναμα πακέτα IP** τα οποία ονομάζονται **datagram** (= data + telegram).
Στο επίπεδο Διαδικτύου, εκτός από το βασικό πρωτόκολλο Διαδικτύου IP, λειτουργεί το **πρωτόκολλο μηνυμάτων ελέγχου Διαδικτύου** (Internet Control Message Protocol - **ICMP**) και το **πρωτόκολλο διαχείρισης ομάδων Διαδικτύου** (Internet Group Management Protocol - **IGMP**). Τα πρωτόκολλα ICMP και IGMP συνήθως δε χρησιμοποιούνται από τους χρήστες και τις εφαρμογές τους αλλά από δικτυακές συσκευές και λογισμικό συστημάτων.
Το **ICMP**, το οποίο συνοδεύει πάντα το IP, χρησιμοποιείται κυρίως για την αναφορά σφαλμάτων μετάδοση ερωτημάτων και αναμετάδοση (relaying) διαγνωστικών μηνυμάτων. Εξαίρεση αποτελούν οι εντολές ping και traceroute.
Όλη η ενδιάμεση υποδομή από γραμμές μετάδοσης (αποκαλούνται και ζεύξεις, κυκλώματα ή κανάλια) και συσκευές μεταγωγής-δρομολογητές χαρακτηρίζεται **επικοινωνιακό υποδίκτυο** και επιτρέπει σε δυο ακραίους υπολογιστές να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Στα δίκτυα τεχνολογίας TCP/IP, το επικοινωνιακό υποδίκτυο έχει λειτουργικότητα μέχρι και το επίπεδο διαδικτύου (3ο επίπεδο OSI). Δύο ή περισσότερα ανεξάρτητα δίκτυα διασυνδεδεμένα μεταξύ τους ώστε να λειτουργούν ως ένα μεγάλο δίκτυο συνθέτουν ένα **διαδίκτυο** (internet - με το **i** μικρό/πεζό).

Τρόπος γραφής μια διεύθυνσης IPv4
Επειδή ένας αριθμός, σε μορφή όπως δίνεται στην προηγούμενη παράγραφο, είναι δυσκολομνημόνευτος έχει επικρατήσει να αναγράφεται ως εξής:
Τα ψηφία του,

- ομαδοποιούνται σε **τέσσερα τμήματα** του ενός byte και
- αναγράφονται τα αντίστοιχα **δεκαδικά** τους ισοδύναμα με τιμές από 0 - 255,
- **διαχωριζόμενα** από τα διπλανά τους **με τελείες**.

Σύμφωνα με αυτόν τον τρόπο γραφής **μια διεύθυνση IP για να είναι σωστή θα πρέπει:**

- να αποτελείται από **τέσσερις δεκαδικούς αριθμούς διαχωρισμένους με τελείες**
- κάθε αριθμός να είναι μεταξύ του μηδενός **0** και του **255** (αφού αυτές είναι οι τιμές που μπορεί να πάρει ένας οκταψήφιος δυαδικός αριθμός – byte, από 0 έως 2^8-1)

Προσδιορισμός τάξης (κλάσης) δικτύου με δοσμένη διεύθυνση IP.
Βλέποντας μια διεύθυνση IP, η τάξη του δικτύου στο οποίο ανήκει, **προκαθορίζεται από την πρώτη οκτάδα (byte)** της και ειδικότερα από τη δυαδική της μορφή (2η στήλη του παρακάτω Πίνακα), ως εξής:

ΤΑΞΗ	1η οκτάδα	Δυαδικό		Δεκαδικό		Παρατηρήσεις
		Από	έως	Από	έως	
A	0xxx xxxx	0000 0000	0111 1111	0	127	x : 0 ή 1
B	10xx xxxx	1000 0000	1011 1111	128	191	
C	110x xxxx	1100 0000	1101 1111	192	223	
D	1110 xxxx	1110 0000	1110 1111	224	239	Multicast (Πολυδιανομή)
E	1111 xxxx	1111 0000	1111 1111	240	255	Δεσμευμένες

Προσδιορισμός κλάσης/τάξης διευθύνσεων

Διαχείριση και απόδοση διευθύνσεων IP
Οι διευθύνσεις IP είναι μοναδικές στον κόσμο και διαχειρίζονται από κεντρικό φορέα διαχείρισης, (IANA/ICANN) ο οποίος μεταβιβάζει αρμοδιότητες διαχείρισης σε περιφερειακούς καταχωρητές (RIR – Regional Internet Registry) και μέσω αυτών σε τοπικούς (LIR – Local Internet Registry) ή εθνικούς καταχωρητές (NIR – National Internet Registry).
Οι **τελικοί απλοί ή και εταιρικοί χρήστες** απευθύνονται στον **πάροχο υπηρεσιών Διαδικτύου** (Internet Service Provider, **ISP**) ο οποίος τους παρέχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο μαζί με τις απαιτούμενες διευθύνσεις IP, διαφορετικές κάθε φορά (δυναμικές) ή τις ίδιες πάντα (στατικές) και κατά κανόνα είναι και τοπικός καταχωρητής.

Ιδιωτικές διευθύνσεις IP
Για την υλοποίηση ιδιωτικών δικτύων, οι υπολογιστές των οποίων δεν έχουν άμεση πρόσβαση στο Διαδίκτυο, δεν είναι ανάγκη ο διαχειριστής που υλοποιεί το δίκτυο να ζητήσει επίσημες διευθύνσεις IP από κάποιον πάροχο όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Για το σκοπό αυτό έχουν προβλεφθεί περιοχές διευθύνσεων και των τριών τάξεων οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυθαίρετα και χωρίς κανένα συντονισμό με κάποια από τις αρχές διαχείρισης διευθύνσεων IP. Αυτές είναι οι εξής:

Τάξη	Από	Έως	*Μορφή CIDR*[3]
A	10.0.0.0	10.255.255.255	10.0.0.0/8
B	172.16.0.0	172.31.255.255	172.16.0.0/12
C	192.168.0.0	192.168.255.255	192.168.0.0/16

Ιδιωτικές διευθύνσεις IPv4

Συνεπώς, **για την υλοποίηση ενός ιδιωτικού δικτύου IP, επιλέγονται διευθύνσεις ΜΟΝΟΝ από τον προηγούμενο πίνακα** και ανάλογα με το μέγεθος του δικτύου.

Μάσκα δικτύου

Η μάσκα δικτύου είναι ένας **δυαδικός αριθμός 32 ψηφίων**, ο οποίος συνοδεύει μια διεύθυνση IP και διευκρινίζει ποιά ψηφία της διεύθυνσης ανήκουν στο αναγνωριστικό του δικτύου (Net ID - prefix) και ποιά στο αναγνωριστικό του υπολογιστή (Host ID - suffix) μέσα στο συγκεκριμένο δίκτυο.

Η μάσκα έχει άσους (1) στις θέσεις που τα αντίστοιχα ψηφία της διεύθυνσης ανήκουν στο αναγνωριστικό του δικτύου και μηδενικά (0) στις θέσεις που τα αντίστοιχα ψηφία της διεύθυνσης ανήκουν στο αναγνωριστικό του υπολογιστή.

Ειδικές διευθύνσεις

Διεύθυνση IP υπολογιστή (Host)		**Παράδειγμα**
αποκλειστικής διανομής (unicast)	προσδιορίζει έναν (1) υπολογιστή - host (μια διασύνδεση)	192.168.1.3 Ο υπολογιστής 192.168.1.3
πολυδιανομής (multicast)	προσδιορίζει ομάδα (group) υπολογιστών	224.0.0.2 Οι δρομολογητές του δικτύου (κλάση D)
εκπομπής ή ακρόασης (broadcast)	προσδιορίζει όλους τους υπολογιστές ενός δικτύου ή υποδικτύου	192.168.1.255 Όλοι οι υπολογιστές του δικτύου 192.168.1.0/24

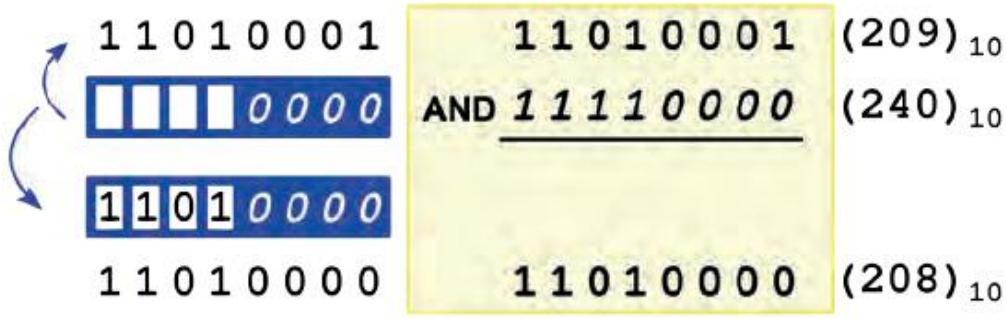
Τύποι διευθύνσεων IPv4

Διεύθυνση επανατροφοδότησης (Loopback), 127.0.0.0/8 και συνήθως **127.0.0.1/32**

Αναφέρεται στον ίδιο τον τοπικό υπολογιστή. Ένας υπολογιστής, ακόμη κι αν δεν έχει καμιά δικτυακή διασύνδεση στέλνοντας πακέτα με **προορισμό** (destination) τη διεύθυνση 127.0.0.1 (ή και οποιαδήποτε άλλη διεύθυνση του δικτύου 127.0.0.0/8) αυτά διεκπεραιώνονται πίσω (επανατροφοδοτούνται) στον ίδιο του τον εαυτό.

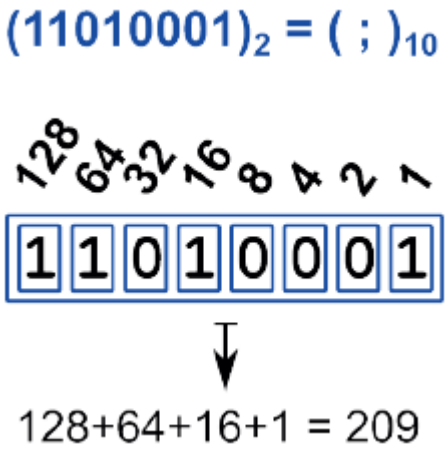
Το **επίπεδο Δικτύου** (3ο στο μοντέλο ISO/OSI) ή Διαδικτύου (2ο στο μοντέλο TCP/IP) είναι αυτό που επιτρέπει τη **διασύνδεση διαφορετικών δικτύων** μεταξύ τους (διαδικτύωση), παρέχοντας τη λογική διευθυνσιοδότηση και τη δρομολόγηση από τον κόμβο-αφετηρία προς τον κόμβο-προορισμό.
Οι **λογικές διευθύνσεις**, στο IPv4, είναι δυαδικοί αριθμοί 32 ψηφίων ομαδοποιημένοι σε 4 λέξεις των 8bit ή 4 byte και για λόγους ευκολίας γράφονται ισοδύναμα ως τέσσερις δεκαδικοί αριθμοί από 0 ως το 255, χωρισμένοι με τελείες.

Λίγα λόγια για τους τα Αριθμητικά Συστήματα και τις μετατροπές
Η λογική πράξη ΚΑΙ δίνει ως αποτέλεσμα άσσο μόνο όταν ΚΑΙ τα δύο ψηφία είναι άσσοι. Κάνοντας λογικό ΚΑΙ ένα ν-ψήφιο δυαδικό αριθμό με έναν που έχει ν άσσους το αποτέλεσμα είναι ο ίδιος ο ν-ψήφιος αριθμός.
Η λειτουργία της μάσκας με τη χρήση του **λογικού AND** φαίνεται στην παρακάτω εικόνα για ένα εύρος δυαδικής λέξης 8 ψηφίων (bit).



Λειτουργία Μάσκας

Η διαδικασία **μετατροπής δυαδικού σε δεκαδικό** συνίσταται στην άθροιση των αξιών των αντίστοιχων άσσων.
Για παράδειγμα ο αριθμός (11010001)2 = (;)10 υπολογίζεται ως ακολούθως:



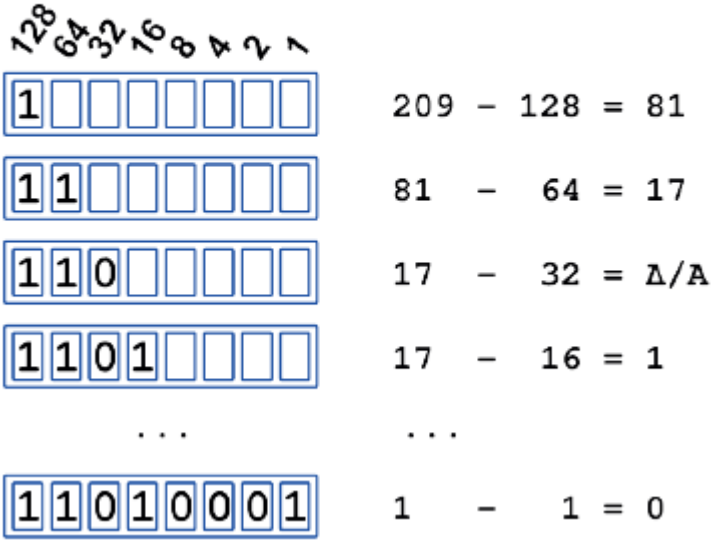
Μετατροπή δυαδικού αριθμού σε δεκαδικό

- Όταν υπάρχουν περισσότεροι άσσοι από μηδενικά, είναι προτιμότερο να αθροιστούν οι αξίες των θέσεων των μηδενικών, δηλαδή των άσσων που λείπουν, και το αποτέλεσμα να αφαιρεθεί από το 255, δηλαδή την αξία του αριθμού όταν έχει και τα οκτώ ψηφία άσσους.

π.χ. $(11010111)_2$ = 255-(32+8) = 255-40 = $(215)_{10}$ κι όπως επιβεβαιώνεται $(11010111)_2$ = 128+64+16+4+2+1 = $(215)_{10}$

Για τη **μετατροπή δεκαδικού** (0..255) **σε δυαδικό** (8bit) ακολουθείται η διαδικασία διαδοχικών αφαιρέσεων δυνάμεων του 2, ξεκινώντας από το 128, και σημειώνοντας άσσο, όταν αφαιρείται, και μηδέν, όταν δεν αφαιρείται.

$(209)_{10} = (\ ;\ )_2$



Μετατροπή δεκαδικού αριθμού σε δυαδικό

Επίσης, ας σημειωθεί ότι:

- ένας οκταψήφιος (8bit) δυαδικός αριθμός, στο δεκαδικό του ισοδύναμο, μπορεί να πάρει τιμές από 0 ... 255 (28 - 1 = 255). Γι' αυτό και στη δεκαδική σημειογραφία με τελείες, των διευθύνσεων IPv4, οι τιμές των αριθμών είναι από 0 ... 255.
- ένας δυαδικός αριθμός με συνεχόμενους άσσους από τη δεξιά πλευρά ισούται με την αξία του επόμενου (προς τα αριστερά) άσσου μείον ένα.
  π.χ. ο αριθμός 00011111 ισούται με 32 – 1 = 31 καθώς και ο 00000111 με 8 - 1 = 7.
- ένας δυαδικός αριθμός με το λιγότερο σημαντικό ψηφίο b_0=1 είναι μονός ενώ ένας δυαδικός αριθμός με το λιγότερο σημαντικό ψηφίο b_0=0 είναι ζυγός.
  π.χ. 11010001 = 209 (μονός) ενώ 11010000 = 208 (ζυγός).
  Χρησιμοποιείται ως ένα βήμα ελέγχου για την ορθότητα μιας μετατροπής.
- Αριθμοί με συνεχόμενους άσσους από τα αριστερά (χρήσιμοι σε μάσκες δικτύου) είναι οι 128, 192, 224, 240, 248, 252, 254, 255.

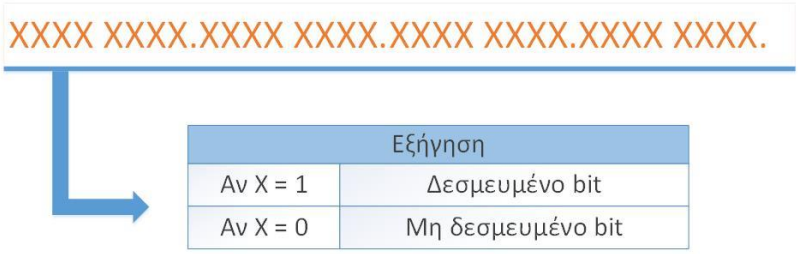
Τέλος, για να απαριθμηθούν N διαφορετικά αντικείμενα, στο δυαδικό σύστημα, απαιτούνται n δυαδικά ψηφία έτσι ώστε 2^n>= N, όπου n το μικρότερο που ικανοποιεί την συνθήκη.
Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των απαιτούμενων άσσων της νέας μάσκας στην υποδικτύωση

Ανάλυση Διεύθυνσης IP ενός Η/Υ (ddd.ddd.ddd.ddd / CIDR)

Η διεύθυνση ενός υπολογιστή Host στο δίκτυο είναι της μορφής
Net_ID + Host_ID
με μήκη σε δυαδικά ψηφία :

- **net** = Net_ID = CIDR
  host = Host ID
  Όμως **net** + **host** = μήκος IP =32 bits, οπότε
- **host** = 32 - CIDR = 32 - **net**

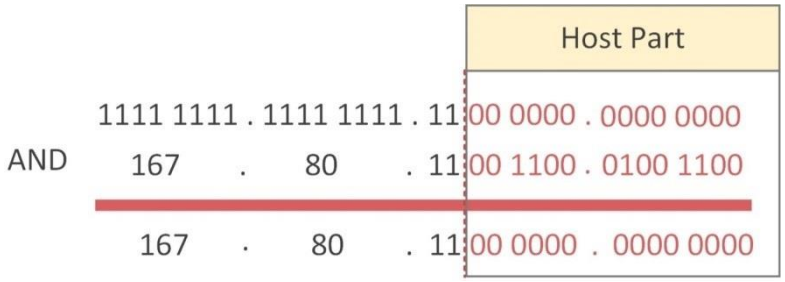
Βήμα 1ο
Γράφουμε τη μάσκα στο δυαδικό μόνο για το τμήμα όπου σημειώνεται αλλαγή από άσσους σε μηδέν



Εξήγηση	
Αν X = 1	Δεσμευμένο bit
Αν X = 0	Μη δεσμευμένο bit

Βήμα 2ο
Γράφουμε τη διεύθυνση IP του Host στο δυαδικό μόνο για το τμήμα όπου σημειώνεται αλλαγή στη μάσκα από άσσους σε μηδέν

Βήμα 3ο
Βρίσκουμε τη διεύθυνση δικτύου (Network IP) στην οποία ανήκει ο υπολογιστή αυτός εφαρμόζοντας το λογικό AND ανάμεσα στη μάσκα και την διεύθυνση IP του Host.
π.χ. για τη διεύθυνση IP : 167.80.204.76 / 14



Η διεύθυνση του Δικτύου είναι η 167.80.192.0
Εναλλακτικά αλλάζουμε τη διεύθυνση του Host βάζοντας μηδενικά για το τμήμα της μάσκας στο οποίο υπάρχουν μηδενικά (Δηλ. στο τμήμα host της διεύθυνσης αυτής)

Βήμα 4ο
Βρίσκουμε τη διεύθυνση Εκπομπής (broadcast) αλλάζοντας τη διεύθυνση του Host βάζοντας άσσους για το τμήμα της μάσκας στο οποίο υπάρχουν μηδενικά (Δηλ. στο τμήμα host της διεύθυνσης αυτής)
Η διεύθυνση Εκπομπής του δικτύου είναι η 167.80.255.255

Το εύρος διευθύνσεων (δηλαδή η αρχική και η τελική διεύθυνση) είναι αυτή ανάμεσα στη διεύθυνση δικτύου και στη διεύθυνση εκπομπής.
Το σύνολο των υπολογιστών που μπορεί να έχει το δίκτυο αυτό είναι $\mathbf{2^{host} - 2}$, κάτι που μπορούμε να βρούμε και χωρίς να κάνουμε τα παραπάνω βήματα. Στην περίπτωση μας 2^{14}-2 = 16382

Υποδικτύωση

Πολλές φορές προκύπτει η ανάγκη ένα δίκτυο να χωριστεί σε περισσότερα, μικρότερα υποδίκτυα. Οι λόγοι μπορεί να είναι:

● **Οικονομία διευθύνσεων IP**.

● **Διαχειριστικοί λόγοι**. Ένα δίκτυο τάξης C, μιας εταιρείας, χωρίζεται σε υποδίκτυα με βάση την οργανωτική δομή της εταιρείας

Η υποδικτύωση με δεδομένη τη **διεύθυνση δικτύου** και την **προκαθορισμένη μάσκα δικτύου** πραγματοποιείται σε δυο βήματα:

1. Με βάση την απαίτηση για **x υποδίκτυα** ή **y υπολογιστές ανά υποδίκτυο**, υπολογίζεται η **νέα μάσκα δικτύου** δεσμεύοντας δυαδικά ψηφία από το αναγνωριστικό του υπολογιστή (Host ID) και παραχωρώντας τα στο αναγνωριστικό δικτύου (Net ID).
2. **Υπολογίζονται οι περιοχές διευθύνσεων** καθώς και οι διευθύνσεις (υπο-) δικτύου και εκπομπής για κάθε υποδίκτυο από τις οποίες διευθυνσιοδοτούνται οι υπολογιστές του κάθε υποδικτύου

Ξεκινάμε με τα βήματα που αναλύσαμε παραπάνω στην παράγραφο **Ανάλυση Διεύθυνσης IP ενός Η/Υ**

Στη συνέχεια το επόμενο βήμα είναι να προσδιοριστεί η **νέα μάσκα υποδικτύωσης** υπολογίζοντας πόσα ψηφία θα χρειαστούν για να ικανοποιηθεί ο αριθμός των απαιτούμενων υποδικτύων (ή υπολογιστών ανά υποδίκτυο) ώστε να προστεθούν (ως άσσοι) στα ψηφία της αρχικής (προκαθορισμένης) μάσκας

Μετά την υποδικτύωση, οι διευθύνσεις των υποδικτύων θα είναι της μορφής Net_ID + Subnet_ID + Host_ID
με μήκη σε δυαδικά ψηφία :

- Net_ID = **net** bits (Δεν αλλάζει τίποτα στο Net_ID)
- Subnet_ID = **n** bits
- Host_ID = **host** - **n** bit

Εφόσον το **Subnet_ID** θα πρέπει να μπορεί να διαθέτει **x υποδίκτυα**, θα χρειαστούν **n** bit**,** όπου **x <= 2^n.**

(Εναλλακτικά αν ένα δίκτυο **–** το οποίο μπορεί να διαθέτει k = 2^{host} υπολογιστές συνολικά - θα πρέπει να μπορεί να έχει **y υπολογιστές** ανά υποδίκτυο, θα χρειαστούν **m** bit για το Host_ID, όπου **y <= 2^m,** οπότε για το **Subnet_ID** θα χρειαστούν **n** = **host** – **m** bit
ή με διαφορετικό τρόπο **n >= k / m** = **2^{host} / m**

Έτσι τα **n** σημαντικότερα ψηφία του αρχικού Host_ID, με τη μορφή άσων, χαρακτηρίζονται ως Subnet_ID και προσαρτώνται στο Net_ID.
Το **Subnet_ID** έχει μήκος **n** bit, το Host_ID απομένει **host** – **n** bit (τα λιγότερο σημαντικά ψηφία) και στη μάσκα, στις θέσεις τους, αναγράφονται μηδενικά.
Έτσι η νέα μάσκα γράφεται κατά CIDR ως / **host** – **n**
Οι διευθύνσεις των υπολογιστών των υποδικτύων τώρα πια είναι της μορφής Net_ID + Subnet_ID + Host_ID με το

- Net_ID = **net** bit, (Δεν αλλάζει τίποτα στο Net_ID)
- Subnet_ID = **n** bit
- Net_ID + Subnet_ID = **net** + **n** bit
- Host_ID = **host - n** bit

Το δίκτυο με τη διαδικασία αυτή χωρίστηκε τελικά σε 2^n υποδίκτυα.
Ανεξάρτητα με τον ζητούμενο αριθμό, **ο συνολικός αριθμός των υποδικτύων είναι πάντα δύναμη του δύο (2^n)**.
Παρατήρηση: Ο αριθμός των υποδικτύων και των διαθέσιμων διευθύνσεων ανά υποδίκτυο είναι πάντα δύναμη του δύο (μαζί με τις εξαιρούμενες διευθύνσεις), ανεξαρτήτως του τι ζητείται

Υπερδικτύωση

Στην υπερδικτύωση, **n** ψηφία από το αναγνωριστικό δικτύου Net_ID παραχωρούνται στο αναγνωριστικό υπολογιστή Host_ID, οπότε το δίκτυο θα μπορεί να απαριθμήσει πλέον **z υπολογιστές,** όπου **z** = $\mathbf{2^{(host + n)}}$
Στην περίπτωση αυτή δηλ., δεν υπάρχει θέμα ορισμού υποδικτύων. Το δίκτυο είναι ενιαίο. Οι διευθύνσεις πλέον αντιμετωπίζονται ως ενιαίο δίκτυο.

Αν θέλουμε να επεκτείνουμε ένα δίκτυο που διαθέτει **x** υπολογιστές (και έχει μήκος αντίστοιχα **n** bits, όπου **x =** $\mathbf{2^n}$), ώστε να μπορεί μετά να έχει **y υπολογιστές** (με y > x) θα χρειαστούν συνολικά **m** bit, όπου **y <=** $\mathbf{2^m}$**,** οπότε για το **Subnet_ID** θα χρειαστούν **m** – **n = k** bit

Μετά την υπερδικτύωση, οι διευθύνσεις του νέου δικτύου θα είναι της μορφής Net_ID + Subnet_ID + Host_ID
με μήκη σε δυαδικά ψηφία :

- Host_ID = **host** bit, (Δεν αλλάζει τίποτα στο Host_ID)
- Subnet_ID = **k** bits
- Net_ID = **net** – **k** bit
- Subnet_ID + Host_ID = **host** + **k** bits

Το αυτοδύναμο πακέτο IP (IP datagram)

Η μορφή του είναι σε λέξεις των 32 bit, όσο και το μήκος των IP διευθύνσεων

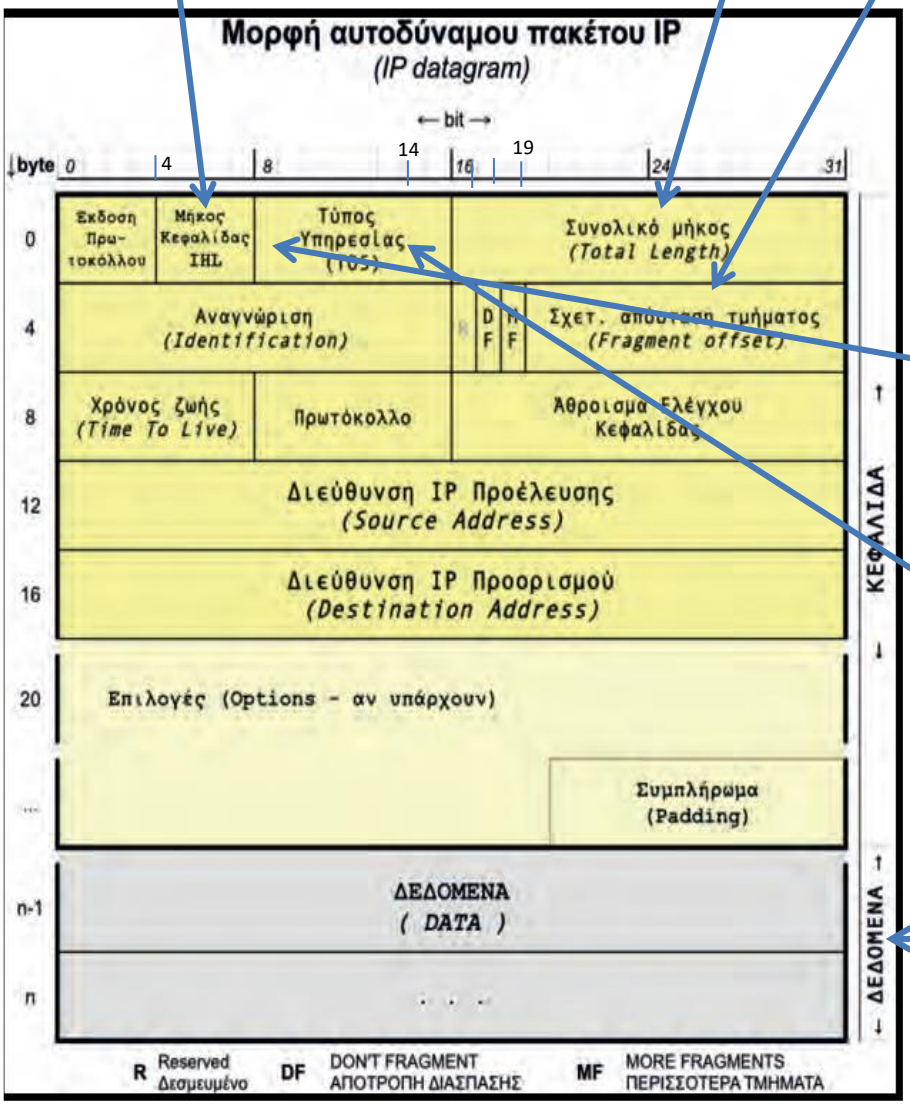
IHL (σε bytes * 4)
(μήκος 4 bit)
Τιμή **5 – 15** = 20 – 60 bytes

MTU (σε bytes)
(μήκος 16 bit)
Τιμή ως 2^{16} = 65.536 bytes

Fragment Offset (σε bytes * 8)

(μήκος 13 bit)

Τιμή ως 2^{13} = **8.192** * 8 = 65.536 bytes



DSCP (μήκος 6 bit)
Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες

Δίνει προτεραιότητες

ECN (μήκος 2 bit)

Δηλώνει τη συμφόρηση

Payload_Length :
Μήκος Δεδομένων **(σε bytes)**

Έκδοση πρωτοκόλλου (version) μήκους 4 bit, δηλώνει την έκδοση του χρησιμοποιούμενου πρωτοκόλλου Διαδικτύου (4: IPv4, 6: IPv6). Στην περίπτωση του IPv6 η επικεφαλίδα διαφοροποιείται και έχει ελάχιστο μήκος 40 bytes.

Μήκος επικεφαλίδας - IHL: Internet Header Length δηλαδή το μήκος της επικεφαλίδας του πακέτου IP.
Εκφράζεται σε λέξεις των 32bit ή 4άδες byte. Η τιμή που μας ενδιαφέρει είναι σε bytes. Ισχύει MTU1= IHL*4 + Payload_Length
*Αν δεν μας δίνεται ρητά το IHL, θεωρούμε την εξ' ορισμού τιμή : 5 (5 * 4 = 20 bytes)*

Τύπος της Υπηρεσίας (Type of Service) μήκους 8 bit, περιγράφει πώς πρέπει να χειριστεί το πακέτο κάθε κόμβος.

Συνολικό μήκος - MTU: Maximum Transmission Unit δηλ. το μέγιστο μήκος δεδομένων του πλαισίου στο δίκτυο 2ου επιπέδου. Ισχύει **MTU1 = IHL*4 + Payload_Length** σε bytes
Αναγνώριση (Identification), μήκους 16 bit, το οποίο είναι η ταυτότητα του πακέτου. Το πεδίο αυτό είναι διαφορετικό σε κάθε πακέτο αλλά ίδιο στα πακέτα που είναι τμήματα του ίδιου αρχικού πακέτου.

Σημαία **MF** (More Fragments), **ύπαρξη περισσότερων τμημάτων**, όταν είναι ενεργοποιημένη (1) όταν είναι απενεργοποιημένη (0) τελευταίο τμήμα διασπασμένου πακέτου.

Σημαία **DF** (Don't Fragment), **απαγόρευση διάσπασης**, τίθεται σε τιμή (1), διαφορετικά έχει την τιμή (0)

Χρόνος Ζωής (Time To Live - TTL) μήκους 8 bit, ξεκινά από τον αποστολέα με μια αρχική τιμή, συνήθως 64, και κάθε δρομολογητής, από τον οποίο διέρχεται το πακέτο, μειώνει την τιμή κατά ένα. Όταν η τιμή μηδενιστεί το πακέτο απορρίπτεται και επιστρέφεται στον αποστολέα διαγνωστικό μήνυμα σφάλματος υπέρβασης χρόνου (time exceeded).

Πρωτόκολλο, μήκους 8 bit, περιέχει μια αριθμητική τιμή η οποία δηλώνει το πρωτόκολλο του επιπέδου μεταφοράς στο οποίο ανήκουν τα δεδομένα που περιέχει το πακέτο IP.

Άθροισμα Ελέγχου της Επικεφαλίδας (Header Checksum), μήκους 16 bit, διασφαλίζει την ακεραιότητα των τιμών των πεδίων της επικεφαλίδας.

Επιλογές (Options) είναι προαιρετικό και χρησιμοποιείται για ειδικές λειτουργίες

Συμπλήρωμα (Padding) συμπληρώνει το πεδίο Επιλογές (όταν υπάρχει,) με μηδενικά ώστε η επικεφαλίδα συνολικά να είναι ακέραιος αριθμός λέξεων των 32 bit.

Κατάτμηση πακέτου IP

Διάσπαση (fragmentation) **αυτοδύναμων πακέτων** IPv4 γίνεται, όταν αυτά πρόκειται να διέλθουν από δίκτυο με μικρότερο MTU.
Ο υπολογισμός / προσδιορισμός του αριθμού των τμημάτων και των άλλων πεδίων τους, όπως σημαιών DF, MF, Σχετικής θέσης (Δείκτη εντοπισμού) τμήματος (Fragment Offset) κτλ. γίνεται, ευτυχώς, αυτομάτως από το λογισμικό του επιπέδου διαδικτύου (IP).
Δεδομένα του προβλήματος είναι:

- το MTU1 δηλ, το συνολικό μήκος (μέγεθος) του αυτοδύναμου πακέτου μαζί με την επικεφαλίδα, (header + payload), και το MTU του δικτύου από το οποίο πρόκειται να διέλθει (MTU1 > MTU)

Ζητούμενα είναι:

- το μήκος των δεδομένων του τμήματος (Payload_Length) το οποίο επιτρέπεται να περάσει και το οποίο πρέπει **να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του 8** για να προκύπτει ακέραια η τιμή της σχετικής θέσης του τμήματος (Offset)
- ο αριθμός των τμημάτων στα οποία θα διασπαστεί το αρχικό πακέτο (εάν επιτρέπεται, DF=0)
- η σχετική θέση του κάθε τμήματος (Δείκτης Εντοπισμού Τμήματος)
- άλλα πεδία των τμημάτων, όπως σημαίες DF, MF, Συνολικό μήκος τμημάτων, δεδομένων κτλ.

MTU1 : το μέγιστο μήκος δεδομένων + επικεφαλίδα που έρχονται για αποστολή
IHL1 : το μήκος της επικεφαλίδας του πλαισίου που έρχεται για αποστολή

MTU : το μέγιστο μήκος δεδομένων + επικεφαλίδα του πλαισίου που επιτρέπεται
IHL: το μήκος της επικεφαλίδας του πλαισίου

Payload_Length1 : Το τμήμα των δεδομένων, χωρίς την επικεφαλίδα που έρχεται για αποστολή.
Payload_Length : Το τμήμα των δεδομένων, χωρίς την επικεφαλίδα που επιτρέπεται να περάσει.

Βήμα 1ο

Βρίσκουμε το Μήκος Δεδομένων των τεμαχισμένων αυτοδύναμων πακέτων IP, χωρίς την επικεφαλίδα :

Αρχικά : **Payload_Length = (MTU - IHL*4)**
(π.χ. 1000 – 5 *4 = 980)
και ελέγχουμε αν είναι πολλαπλάσιο του 8
(ΠΡΟΣΟΧΗ : Το Payload_Length πρέπει να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του 8).

1. Το διαιρούμε με ευκλείδεια διαίρεση με το 8 και φτάνουμε το ακέραιο πηλίκο (div) και το ακέραιο υπόλοιπο (mod). (π.χ. 980 / 8 μας δίνει div = 122 και mod = 4)
2. Αν το ακέραιο υπόλοιπο δεν είναι μηδέν :
   Πολλαπλασιάζουμε το ακέραιο πηλίκο με το 8 και βρίσκουμε το νέο
   Τελικό : **Payload_Length = INT [(MTU - IHL*4) / 8] * 8** (το οποίο δεν θα είναι ίδιο με το αρχικό)
   (π.χ. 122 * 8 μας δίνει 976)

Βήμα 2ο

Βρίσκουμε το αριθμό των τμημάτων (N) στα οποία θα διασπαστεί το αρχικό πακέτο
από την παρακάτω ακέραια διαίρεση :

N = INT [(MTU1 – IHL1*4) / (MTU - IHL*4)]
ή **N = INT (Payload_Length1 / Payload_Length)**

Αν το ακέραιο υπόλοιπο δεν είναι μηδέν, δηλ, υπάρχουν επιπλέον bytes προσθέτουμε μία μονάδα επιπλέον στο N :

N = INT [(MTU1 – IHL1*4) / (MTU - IHL*4)]
ή **N = INT (Payload_Length1 / Payload_Length)**

(π.χ. 2380 / 976 μας δίνει ακέραιο πηλίκο div = 2 και ακέραιο υπόλοιπο mod = 244,
άρα N = 2 + 1 = 3)

Βήμα 3ο

Το μήκος του τελευταίου τμήματος είναι το ακέραιο υπόλοιπο mod της προηγούμενης διαίρεσης.
Εναλλακτικά μπορούμε να βρούμε μήκος του τελευταίου τμήματος από τη σχέση :

(MTU1 – IHL1*4) – (N-1) * (MTU - IHL*4) bytes

Βήμα 4ο

Η Σχετική Θέση Τμήματος η οποία αναφέρεται και ως **Δείκτης Εντοπισμού Τμήματος** (**ΔΕΤ**), είναι ένας αριθμός ο οποίος υπολογίζεται ως εξής:

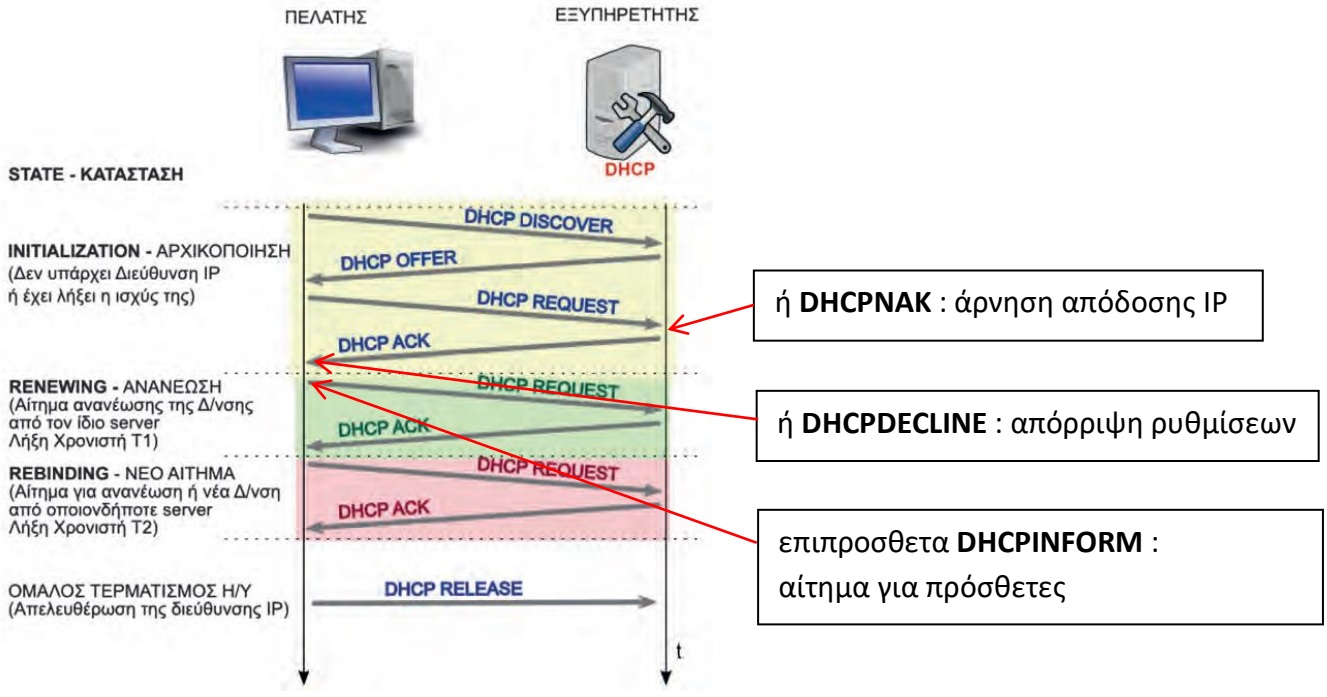
Fragment_offset = n * INT [(MTU - IHL*4) / 8] = n * Payload_Length / 8 ,
όπου **n** = 0 έως N-1
***n** : 0 για το πρώτο τμήμα, 1 για το δεύτερο κ.ο.κ.*

Για το πρώτο τμήμα η σχετική απόσταση τμήματος είναι πάντα μηδέν (0).

Παρατήρηση : Σε δίκτυα Ethernet II (IEEE 802.3) το MTU = 1500 bytes

Πρωτόκολλα ανεύρεσης και απόδοσης διευθύνσεων, Address

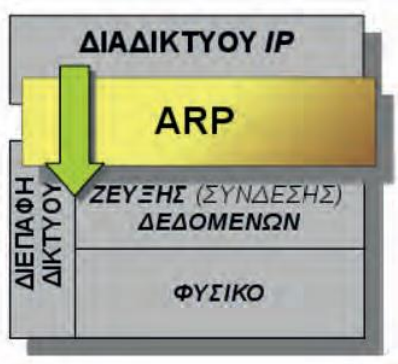
Το πρωτόκολλο δυναμικής διευθέτησης (απόδοσης ρυθμίσεων) υπολογιστή DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol).
Ο κάθε υπολογιστή Host με κάρτα δικτύου διαθέτει μία διεύθυνση υλικού MAC, η οποία βρίσκεται πάνω στην κάρτα δικτύου του. Οποιοδήποτε Υπολογιστής Host τώρα, για να μπορέσει να συνδεθεί στο Διαδίκτυο απαιτείται να έχει μια δική του Διεύθυνση IP.
Τη διεύθυνση αυτή την προμηθεύεται από έναν Εξυπηρετητή DHCP, ο οποίος συνήθως βρίσκεται ως hardware υλοποίηση μέσα στους routers ή είναι ένας εξειδικευμένος εξυπηρετητής server.
Ο DHCP Λειτουργεί ως εφαρμογή πελάτη-εξυπηρετητή χρησιμοποιώντας πακέτα UDP με αριθμό θύρας προορισμού 67 για τον εξυπηρετητή και 68 για τον πελάτη.
Επιτρέπει σε έναν υπολογιστή να αποκτά τις ρυθμίσεις που χρειάζεται σε ένα μόνο μήνυμα και να λαμβάνει μια διεύθυνση γρήγορα και δυναμικά.
Το πρωτόκολλο DHCP επιτρέπει σε έναν υπολογιστή να πάρει επιπλέον ρυθμίσεις πέραν της διεύθυνσης IP όπως μάσκα δικτύου, προεπιλεγμένη πύλη, διακομιστές DNS. Μπορεί να πάρει ρυθμίσεις στο επίπεδο διαδικτύου για τον υπολογιστή ή για κάθε του δικτυακή σύνδεση ανεξάρτητα, ρυθμίσεις για το επίπεδο ζεύξης δεδομένων, για το πρωτόκολλο TCP (μεταφοράς) και για υπηρεσίες (εφαρμογής) όπως διακομιστές χρόνου (NTP), διακομιστές αλληλογραφίας κ.λπ. Ένας υπολογιστής, ρυθμισμένος να χρησιμοποιεί την υπηρεσία DHCP, αμέσως μετά την εκκίνησή του:



Από τη λήψη της επιβεβαίωσης DHCPACK και στη συνέχεια ο υπολογιστής λειτουργεί με τις δικτυακές ρυθμίσεις που πήρε (κατάσταση Δεσμευμένος - BOUND). Η διεύθυνση IP παραχωρείται στον υπολογιστή για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και χαρακτηρίζεται ως μίσθωση (lease).

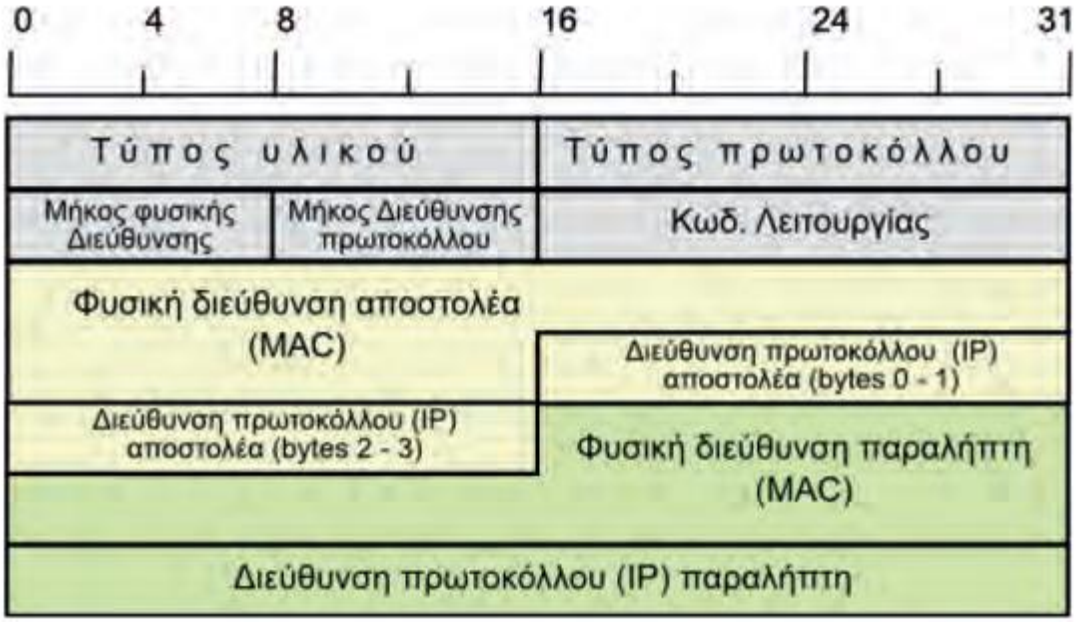
Η λειτουργία του πρωτοκόλλου DHCP υποστηρίζεται και από **πράκτορες αναμετάδοσης** (DHCP Relay Agents) για την εξυπηρέτηση πελατών οι οποίοι δε βρίσκονται στο ίδιο φυσικό δίκτυο με τον διακομιστή. Ο πελάτης εφόσον δεν έχει δικτυακές ρυθμίσεις σε επίπεδο IP δεν μπορεί να επικοινωνήσει με υπολογιστές σε άλλα δίκτυα. Ένας υπολογιστής που βρίσκεται στο ίδιο φυσικό δίκτυο με τον πελάτη, προωθεί το αίτημά του πελάτη στο διακομιστή DHCP στο άλλο δίκτυο και του επιστρέφει την απάντηση.
Πριν την έλευση του πρωτοκόλλου DHCP, το πρωτόκολλο που αναλαμβάνει να πληροφορήσει τον ερωτώντα υπολογιστή για το ποια είναι η δική του διεύθυνση IP, ποια διεύθυνση IP πρέπει να πάρει ήταν το **πρωτόκολλο RARP** Επειδή όμως περιορίζεται μόνο στην διεύθυνση IP και ένας υπολογιστής χρειάζεται επιπλέον ρυθμίσεις όπως μάσκα δικτύου, προεπιλεγμένη πύλη, διακομιστές DNS κ.ά. το RARP χρησιμοποιείται από σπάνια έως καθόλου Έτσι παροπλίστηκε από το νεότερο το **πρωτόκολλο εκκίνησης BOOTP** (BOOTstrap Protocol) και στην συνέχεια και αυτό με τη σειρά του από το ακόμα νεώτερο **πρωτόκολλο δυναμικής απόδοσης ρυθμίσεων υπολογιστή DHCP** (Dynamic Host Configuration Protocol).
Το BOOTP είναι προσανατολισμένο για χρήση από δικτυακούς υπολογιστές χωρίς δίσκο.
Αυτοί οι υπολογιστές εκκινούν παίρνοντας όλες τις ρυθμίσεις τους και φορτώνουν το λειτουργικό τους σύστημα από κάποιον διακομιστή του δικτύου. Το DHCP είναι πιο ευέλικτο και έχει επικρατήσει καθώς προσφέρει συμβατότητα προς τα πίσω μπορώντας να εξυπηρετήσει και πελάτες BOOTP.
Θα πρέπει να σημειωθεί πως αντίθετα με τα πρωτόκολλα ARP/RARP τα οποία λειτουργούν ως ενδιάμεσα των επιπέδων 2 και 3 του OSI, **τα πρωτόκολλα BOOTP και DHCP καλύπτουν και το επίπεδο εφαρμογής του TCP/IP**. Είναι εφαρμογές που ακολουθούν το μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή (client-server). Παρόλα αυτά, επειδή ο ρόλος τους για τις ρυθμίσεις του πρωτοκόλλου IP είναι σημαντικός θα περιγραφούν μαζί του.

Address Resolution Protocol (ARP) και Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)



Αφού οι υπολογιστές Hosts αποκτήσουν μέσω της λειτουργίας DHCP, το επίπεδο πρόσβασης δικτύου ή ζεύξης δεδομένων του OSI πρέπει να γνωρίζει τις **διευθύνσεις υλικού** ή **φυσικές** ή **διευθύνσεις MAC** (Media Access Control) όπως αλλιώς λέγονται. Για να το παραδώσει στον παραλήπτη θα πρέπει να γνωρίζει σε ποια φυσική διεύθυνση βρίσκεται ο κόμβος με τη διεύθυνση IP που υπάρχει στο αντίστοιχο πεδίο του αυτοδύναμου πακέτου. Τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα στα δυο επίπεδα, απαντώντας στο ερώτημα "**ποια είναι η φυσική διεύθυνση (MAC) του κόμβου με τη συγκεκριμένη διεύθυνση IP**;" αναλαμβάνει το **πρωτόκολλο ανάλυσης διευθύνσεων ARP** (Address Resolution Protocol).
Για να αποφευχθούν τα συχνά ερωτήματα προς το τοπικό δίκτυο με πλαίσια εκπομπής (αυξημένη δικτυακή κίνηση), οι σταθμοί διατηρούν προσωρινά τις απαντήσεις που έλαβαν σε έναν πίνακα αντιστοιχίας διευθύνσεων IP σε διευθύνσεις Ethernet στην τοπική μνήμη (arp cache). Έτσι πριν υποβάλλουν νέο ερώτημα ελέγχουν τον προσωρινό πίνακα (cache) arp και υποβάλλουν ερώτημα μόνο όταν δεν υπάρχει κατάλληλη καταχώριση σε αυτόν. Υπάρχει ένας πίνακας ARP για κάθε δικτυακή διασύνδεση (κάρτα δικτύου) ενός υπολογιστή.

Το πακέτο Ανάλυσης Διευθύνσεων Πρωτοκόλλου ARP

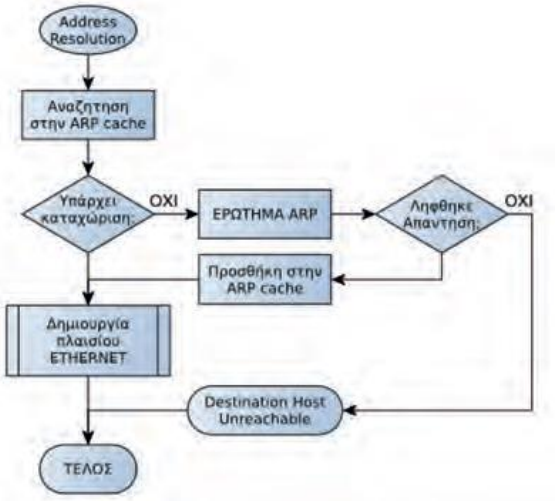


Τα πεδία είναι τα παρακάτω:

Τύπος Υλικού: Έχει την τιμή 1 για δίκτυο Ethernet
Τύπος Πρωτοκόλλου: Έχει την τιμή 0x800 (2048) για το IP
Μήκος Φυσικής Διεύθυνσης: Έχει την τιμή 6 για φυσική διεύθυνση Ethernet (έξι bytes)
Μήκος Διεύθυνσης Πρωτοκόλλου: Έχει την τιμή 4 για το πρωτόκολλο IPv4 (τέσσερα bytes)
Κωδικός Λειτουργίας: Έχει την τιμή 1 για arp request και την τιμή 2 για arp reply

Συνοψίζοντας, το πακέτο IP κρατείται σε αναμονή και εκτελείται η διεργασία αντιστοίχησης διεύθυνσης IP προορισμού σε φυσική διεύθυνση Ethernet από το πρωτόκολλο ARP όπως φαίνεται στο διάγραμμα ροής.
Μόλις αποκτηθεί η φυσική διεύθυνση προορισμού, δημιουργείται το πλαίσιο (frame) και αποστέλλεται στον υπολογιστή προορισμού.

Διάγραμμα διάγραμμα ροής της διαδικασίας Ανάλυσης Διευθύνσεων



Δρομολόγηση

Το επίπεδο Διαδικτύου (στο μοντέλο TCP/IP), εκτός από τη **διευθυνσιοδότηση**, είναι επιφορτισμένο και με τη **δρομολόγηση** των αυτοδύναμων πακέτων (datagrams) ώστε να εξασφαλίσει την επικοινωνία μεταξύ των δυο ακραίων υπολογιστών του δικτύου (host to host). Να παρέχει, δηλαδή, το απαιτούμενο **επικοινωνιακό υποδίκτυο**. Η δρομολόγηση έχει έννοια όταν μεταξύ των ακραίων υπολογιστών μεσολαβεί τουλάχιστον ένας δρομολογητής.
Σε αντίθετη περίπτωση είναι διαθέσιμες και άλλες τεχνικές (μεταγωγή - switching, γεφύρωση - bridging) οι οποίες μπορούν να υλοποιηθούν από το 2ο επίπεδο του OSI και αναφέρονται στο ίδιο φυσικό δίκτυο.
Με τη βοήθεια των αλγορίθμων συντάσσουν τους **πίνακες δρομολόγησης** οι οποίοι περιέχουν πληροφορίες δρομολογίων. Οι πληροφορίες δρομολογίων ποικίλουν ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο αλγόριθμο.

Άμεση/Έμμεση Δρομολόγηση

Στην περίπτωση που οι υπολογιστές προέλευσης και προορισμού βρίσκονται στο ίδιο δίκτυο, δεν μεσολαβεί δρομολογητής η διαδικασία χαρακτηρίζεται **άμεση δρομολόγηση**.
Εάν κατά την εξέταση της διεύθυνσης IP προορισμού διαπιστώσει ότι ο υπολογιστής προορισμού βρίσκεται σε διαφορετικό δίκτυο τότε αναζητά στον πίνακα δρομολόγησης μια καταχώριση η οποία να αναφέρεται είτε στη διεύθυνση είτε στη διεύθυνση δικτύου προορισμού. Εκεί εντοπίζει τον αντίστοιχο δρομολογητή, καλεί το πρωτόκολλο ARP για να μάθει τη φυσική διεύθυνση που αντιστοιχεί στον δρομολογητή, ενθυλακώνει το πακέτο σε ένα πλαίσιο με προορισμό τη φυσική διεύθυνση του δρομολογητή και του το στέλνει για να συνεχίσει την προσπάθεια παράδοσης του πακέτου προς τον τελικό του προορισμό. Όταν οι υπολογιστές προέλευσης και προορισμού δεν βρίσκονται στο ίδιο δίκτυο και μεσολαβούν ανάμεσά τους ένας ή περισσότεροι δρομολογητές τότε η διαδικασία χαρακτηρίζεται **έμμεση δρομολόγηση.**

Συνήθως υπάρχει ένας **προεπιλεγμένος δρομολογητής** (default router, default gateway) ώστε εάν δεν ταιριάζει κάποια από όλες τις άλλες καταχωρίσεις του πίνακα δρομολόγησης με το δίκτυο ή τη διεύθυνση IP προορισμού να παραδίδεται το πακέτο για διεκπεραίωση σε αυτόν.
Εάν η διεύθυνση προορισμού δεν ανήκει στο ίδιο δίκτυο με τον αποστολέα, δεν υπάρχει καταχώριση γι αυτήν και το δίκτυό της στον πίνακα δρομολόγησης και δεν έχει οριστεί προεπιλεγμένος δρομολογητής τότε το δίκτυο αδυνατεί να προχωρήσει τη διαδικασία δρομολόγησης και πληροφορεί τον αποστολέα, κάνοντας χρήση του πρωτοκόλλου ICMP, ότι ο προορισμός δεν είναι προσβάσιμος.

Διάγραμμα διάγραμμα ροής της διαδικασίας της δρομολόγησης (άμεσης ή έμμεσης) :

