

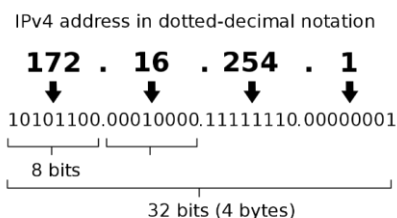
ΕΝΟΤΗΤΑ III

5. ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ IPv4 ΜΕ ΜΑΣΚΕΣ ΥΠΟΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΕΥΡΟΥΣ ΣΕ ΥΠΟΔΙΚΤΥΑ

5.1 Μάσκες υποδικτύου (Subnet Masks)

5.1.1 Το επίπεδο δικτύου (network – L3)

Το επίπεδο δικτύου (L3) δεν εγγυάται την μεταφορά των πακέτων με την σωστή σειρά, ούτε και την ακεραιότητα των πληροφοριών που μεταφέρονται. Υλοποιεί δηλαδή μια **υπηρεσία καλύτερης προσπάθειας (best-effort delivery service)**. Το βασικό χαρακτηριστικό ενός πρωτόκολλου L3 είναι η διευθυνσιοδότηση των δύο μερών της επικοινωνίας, των hosts, που είναι σταθερά υπολογιστικά συστήματα (desktop, server, embedded, κ.α.), φορητές συσκευές (laptop, tablet, smartphone, κ.α.) ή και δρομολογητές (routers). Με αυτό τον τρόπο επιτρέπει την μεταφορά της πληροφορίας που γίνεται στο επίπεδο L4, δηλαδή επιτρέπει στο segment, την PDU στο L4, να παραδοθεί από την προέλευση (source) στον προορισμό (destination). Οι διευθύνσεις αυτές λέγονται Internet Protocol Addresses (Διευθύνσεις IP) και σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως οι IPv4 που έχουν μήκος 32bit και γράφονται ως τέσσερις αριθμοί 8bit στο δεκαδικό σύστημα αρίθμησης, χωρισμένοι με τελείες (dotted-decimal):



Εικόνα 5.1: Διεύθυνση IPv4

Από τους διαθέσιμους $2^{32} - 1$ αριθμούς κάποιοι είναι δεσμευμένοι από τον οργανισμό IANA¹ ώστε να χρησιμοποιηθούν εσωτερικά σε τοπικά δίκτυα (local area networks - LANs), π.χ. 192.168.1.1. Τα τελευταία χρόνια αρχίζει σταδιακά η μετάβαση σε IPv6 με μήκος 128bit, ένα εύρος που επιτρέπει $3,4 \times 10^{38}$ διευθύνσεις στο διαδίκτυο, που είναι κατάλληλο για μοναδικά αναγνωρίσιμη διευθυνσιοδότηση συσκευών. Αυτές αναγράφονται ως οκτώ δεκαεξαδικοί αριθμοί των 16bit που χωρίζονται με άνω-και-κάτω τελεία (colon-hexadecimal), π.χ.: 2001:4860:4860:0000:0000:0000:0000:8888 ή ισοδύναμα στην συντομογραφία που αντικαθιστά διαδοχικά μηδενικά με δύο άνω-και-κάτω τελείες 2001:4860:4860::8888 (η διεύθυνση αντιστοιχεί σε εξυπηρετητή Google Public DNS)².

¹ <https://www.iana.org/assignments/iana-ipv4-special-registry/iana-ipv4-special-registry.xhtml>

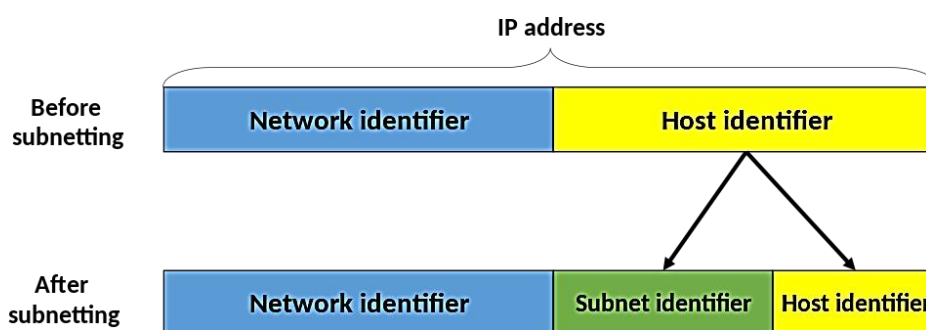
² <https://developers.google.com/speed/public-dns/docs/using>

Σε έναν network interface controller (NIC) που υπάρχει σε έναν host, ανατίθεται συνήθως μόνο μια διεύθυνση IP. Έχοντας αυτόν τον NIC ως προεπιλεγμένο ταυτοποιείται από αυτήν και ο host στο διαδίκτυο. Σε οικιακούς χρήστες η διεύθυνση IP μπορεί να αλλάζει σε τακτά χρονικά διαστήματα και λέγεται **dynamic IP**. Μπορείτε να παρατηρήσετε τις διαφορετικές IP που ανατίθενται στο οικιακό δίκτυο σας σε ένα διάστημα κάποιων ημερών, μέσω της σελίδας <https://whatismyipaddress.com/>. Σήμερα υπάρχουν υπηρεσίες dynamic DNS που μπορούν να dynamic IPs σε ονομασίες, ώστε να υπάρχει πρόσβαση σε host εντός οικιακών δικτύων, π.χ. σε κάμερες ασφαλείας.

Σε εξυπηρετητές διαδικτύου χρησιμοποιούμε **static IP**, ώστε να μην αλλάζουν οι διευθύνσεις που χρησιμοποιούνται σε εγγραφές DNS και οι χρήστες να τους βρίσκουν από τις ονομασίες τους. Επίσης υπάρχει η περίπτωση που σε μια NIC εξυπηρετητή, ανατίθενται πολλαπλές σταθερές (static) διευθύνσεις IP.

5.1.2 Διευθυνσιοδότηση IPv4

Η μηχανική των διευθύνσεων του IPv4 χωρίζει τα 32 bit της IPv4 διεύθυνσης σε δύο τμήματα: Διαβάζοντας από αριστερά είναι το **πρόθεμα δικτύου (network prefix ή network identifier)** και ακολουθεί το **αναγνωριστικό συστήματος (host identifier)**, περιγράφοντας το **δίκτυο** στο οποίο ανήκει το **σύστημα**. Αρχικά υπήρχε ο διαχωρισμός σε κλάσεις A, B και C, αλλά δεν χρησιμοποιείται πλέον. Για να υποδειχθεί ποια bits από τα 32 ανήκουν στο network και ποια στο host τμήμα υπάρχει μια δυαδική μάσκα (binary mask) που ονομάζεται **μάσκα υποδικτύου - subnet mask** και αναγράφεται σε decimal-dotted μορφή π.χ. 255.255.255.0. Στην ουσία είναι αυτή που χωρίζει την διεύθυνση IPv4 σε δύο μέρη. Επίσης υπάρχει η σημειογραφία της μορφής $\text{/{Πλήθος bits}}$, που μετράει από αριστερά το πλήθος των bit που είναι '1' μέσα στην μάσκα, π.χ. /24.



Εικόνα 5.2: Τμήματα διεύθυνσης IPv4

Το πρωτόκολλο IP με την χρήση της μάσκας δίνει την δυνατότητα στους διαχειριστές δικτύων να ορίσουν και μικρότερα υποδίκτυα μέσα σε ένα δίκτυο. Έτσι καθορίζεται που ανήκει ο host, δηλαδή αν είναι στο ίδιο δίκτυο (ή υποδίκτυο) ή αν βρίσκεται σε κάποιο απομακρυσμένο. Το network ID χρησιμοποιείται από δρομολογητές που αναλαμβάνουν να προωθήσουν πακέτα μεταξύ διαφορετικών δικτύων.

Το **network prefix** υπολογίζεται μετά την εφαρμογή της μάσκας που γίνεται με την δυαδική πράξη

{IP Address} AND {Subnet Mask}

IP (decimal) : **192.168.1.10**
Subnet Mask (decimal) : **255.255.255.0**
Subnet Mask (bits) : **/24** (Το πλήθος των συνεχόμενων bits 1 από αριστερά προς τα δεξιά)

IP (binary) : **11000000 • 10101000 • 00000001 • 00001010**
AND

Subnet Mask (binary) : **11111111 • 11111111 • 11111111 • 00000000**

Network prefix (binary) : **11000000 • 10101000 • 00000001 • 00000000**
Network prefix(decimal) : **192.168.1.0** Host (decimal): **10**

Επειδή υπάρχουν 24 συνεχόμενα bits 1 στην μάσκα από αριστερά προς τα δεξιά καταλαβαίνουμε ότι τα πρώτα 24 bits της διεύθυνσης IPv4 χρησιμοποιούνται για αναγνωριστικό του δικτύου και τα τελευταία 8 bits για αναγνωριστικό του host, εδώ τα **00001010** που στο δεκαδικό είναι 10.

Σε κάθε υποδίκτυο υπάρχει μια ειδική διεύθυνση IPv4 που χρησιμοποιείται για ταυτόχρονη αποστολή προς όλους τους hosts που συνδέονται σε αυτό και δέχονται πακέτα, η **broadcast address**. Αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως ένα wildcard που σημαίνει “όλα τα συστήματα”. Υπολογίζεται με την αντιστροφή της μάσκας και κατόπιν OR:

(NOT {Subnet Mask}) OR {IP Address}

IP (decimal) : **192.168.1.10**
Subnet Mask (decimal) : **255.255.255.0**

Subnet Mask (binary) : **11111111 • 11111111 • 11111111 • 00000000**
NOT

Reversed S. Mask(binary) : **00000000 • 00000000 • 00000000 • 11111111**
OR

IP (binary) : **11000000 • 10101000 • 00000001 • 00001010**

Broadcast Addr. (binary) : **11000000 • 10101000 • 00000001 • 11111111**
Broadcast Addr. (decimal) : **192.168.1.255**

Το υποδίκτυο μπορεί να αναπαρασταθεί με την σημειογραφία **Classless Inter-Domain Routing (CIDR)** της μορφή {network ID}/{subnet mask bits} δηλαδή στην παραπάνω περίπτωση 192.168.1.0/24. Επίσης στο παραπάνω παράδειγμα το εύρος των 8 bits δίνει τους αριθμούς 0-255 στο δεκαδικό σύστημα αρίθμησης ως πιθανές τιμές του τμήματος host. Από αυτές δεν μπορούν να ανατεθούν σε συστήματα ο πρώτος του εύρους, δηλαδή το 192.168.1.0 που χρησιμοποιείται ως αναγνωριστικό για το δίκτυο και ο τελευταίος του εύρος το 192.168.1.255 που χρησιμοποιείται στην διεύθυνση broadcast.

Αλλάζοντας την μάσκα αλλάζει το πλήθος των υποδικτύων και των συστημάτων που περιλαμβάνονται μέσα σε αυτά. Για παράδειγμα με διαφορετική μάσκα πάνω στην ίδια διεύθυνση IP έχουμε

IP : **192.168.1.10**
 Subnet Mask : **255.255.255.128**
 Subnet Mask (Bin) : **11111111 • 11111111 • 11111111 • 10000000**
 Subnet Mask (Bits) : **/25** (Το πλήθος των συνεχόμενων bits 1 από αριστερά προς τα δεξιά)
 Subnets : **2** (Με 1 bit έχουμε δύο subnets)
Network Subnet 1 : **192.168.1.0/25** [1 – 126]
Broadcast Addr. Subnet 1: **192.168.1.127**
Network Subnet 2 : **192.168.1.128/25** [129 – 254]
Broadcast Addr. Subnet 2: **192.168.1.255**
Host : 10 → βρίσκεται στο εύρος 1-126 άρα ανήκει στο 1^ο υποδίκτυο.

Παρατηρείστε ότι υπάρχει ένα επιπλέον bit 1 στα συνεχόμενα από αριστερά προς τα δεξιά (με πράσινο χρώμα), αποτελεί το subnet identifier. Στα παλαιότερα χρόνια το παράδειγμα αποτελεί περίπτωση της κλάσης C, στην οποία ανήκει η διεύθυνση IP. Με αυτήν την μάσκα έχουν οριστεί $2^1=2$ υποδίκτυα το κάθε ένα με πλήθος διαφορετικών host $2^7-2=126$ με το 127 να λειτουργεί ως wildcard. Η κλάση C υποστηρίζει από το 24 ως 30 bit της διεύθυνσης IP ως network prefix. Ο πλήρης πίνακας με όλες τις κλάσεις A, B, C για Classfull διευθυνσιοδότηση φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Class A			Class B			Class C		
Bits Μάσας	Μάσκα	Hosts ανά Subnet	Bits Μάσας	Μάσκα	Hosts ανά Subnet	Bits Μάσας	Μάσκα	Hosts ανά Subnet
/8	255.0.0.0	16777214	/16	255.255.0.0	65534	/24	255.255.255.0	254
/9	255.128.0.0	8388606	/17	255.255.128.0	32766	/25	255.255.255.128	126
/10	255.192.0.0	4194302	/18	255.255.192.0	16382	/26	255.255.255.192	62
/11	255.224.0.0	2097150	/19	255.255.224.0	8190	/27	255.255.255.224	30
/12	255.240.0.0	1048574	/20	255.255.240.0	4094	/28	255.255.255.240	14
/13	255.248.0.0	524286	/21	255.255.248.0	2046	/29	255.255.255.248	6
/14	255.252.0.0	262142	/22	255.255.252.0	1022	/30	255.255.255.252	2
/15	255.254.0.0	131070	/23	255.255.254.0	510			

Εικόνα 5.3: Μάσκες υποδικτύου ανά κλάση και μέγιστο πλήθος έγκυρων διευθύνσεων IPv4 για κάθε μάσκα υποδικτύου.

5.2 Διευθυνσιοδότηση IPv4 διευθύνσεων με υποδικτύωση (subnetting)

5.2.1 Παράδειγμα βέλτιστης λύσης subnetting

Έστω ότι πρέπει να μοιραστούν οι διευθύνσεις που μπορεί να υπάρξουν στο 192.168.1.0/24 σε τρία υποδίκτυα που έχουν το κάθε ένα από 23, 50 και 5 hosts. Πρέπει να δημιουργηθεί μια λίστα με τις ανάγκες βάσει του μεγέθους (size) και να βρεθεί η subnet mask της κατάλληλης χωρητικότητας. Θα πρέπει να μοιραστεί ξεκινώντας από τα μεγαλύτερα και μετά θα διαχωρίσει κατάλληλα τον υπόλοιπο χώρο διευθύνσεων ώστε να χωρέσουν τα μικρότερα. Διαφορετικά θα υπάρχουν μεγάλα κενά και πολλές διευθύνσεις αχρησιμοποίητες. Ταξινομούμε τις ανάγκες από το μεγαλύτερο πλήθος προς το μικρότερο και μετά σημειώνουμε το ανάλογο μέγιστο πλήθος διευθύνσεων IP (δείτε ξανά την Εικόνα 5.3).

n	Size	Bits	Capacity c_i
1	50	/26	62
2	23	/27	30
3	5	/29	6

Η αρχή γίνεται με το subnet $n = 1$ για το μεγαλύτερο μέγεθος $s_1 = 50$. Με χρήση της μάσκας /26 χωρίζεται στα εξής subnets:

	Network Address	Usable Host Range	Broadcast Address:
1	192.168.1.0	192.168.1.1 - 192.168.1.62	192.168.1.63
2, 3	192.168.1.64	192.168.1.65 - 192.168.1.126	192.168.1.127
	192.168.1.128	192.168.1.129 - 192.168.1.190	192.168.1.191
	192.168.1.192	192.168.1.193 - 192.168.1.254	192.168.1.255

Θα χρησιμοποιηθεί το πρώτο και δεύτερο υποδίκτυο (προσέξτε τα χρώματα των subnet bits).

- 11000000.10101000.00000001.00 000000 → 192.168.1.0
- 11000000.10101000.00000001.01 000000 → 192.168.1.64

Σημειώνουμε το εύρος έγκυρων διευθύνσεων για το $n = 1$

n	Size	Bits	Capacity	SubNet	Usable IP Range
1	50	/26	62	192.168.1.0/26	192.168.1.1 - 192.168.1.62
2	23	/27	30		
3	5	/29	6		

Συνεχίζουμε στην θέση $n = 2$ και χρησιμοποιείται η μάσκα /27 για το δεύτερο υποδίκτυο 192.168.1.64. Έτσι ο διαχωρισμός γίνεται

Subnet address	Netmask	Range of addresses	Useable IPs	Hosts	Divide	Join
192.168.1.0/26	255.255.255.192	192.168.1.0 - 192.168.1.63	192.168.1.1 - 192.168.1.62	62	Divide	/26
192.168.1.64/27	255.255.255.224	192.168.1.64 - 192.168.1.95	192.168.1.65 - 192.168.1.94	30	Divide	/27 /25
192.168.1.96/27	255.255.255.224	192.168.1.96 - 192.168.1.127	192.168.1.97 - 192.168.1.126	30	Divide	/27 /25

- 11000000.10101000.00000001.0100 0000 → 192.168.1.64
- 11000000.10101000.00000001.0110 0000 → 192.168.1.96

Έτσι γίνεται και η ανάθεση του εύρους διευθύνσεων για το $n = 2$

n	Size	Bits	Capacity	SubNet	Usable IP Range
1	50	/26	62	192.168.1.0/26	192.168.1.1 - 192.168.1.62
2	23	/27	30	192.168.1.64/27	192.168.1.65 - 192.168.1.94
3	5	/29	6		

Για την θέση $n = 3$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί το υποδίκτυο 192.168.1.96, το οποίο διχοτομείται περαιτέρω με την μάσκα /28 και κατόπιν με την /29.

Subnet address	Netmask	Range of addresses	Useable IPs	Hosts	Divide	Join
192.168.1.0/26	255.255.255.192	192.168.1.0 - 192.168.1.63	192.168.1.1 - 192.168.1.62	62	Divide	/26 /27 /29 /28 /25
192.168.1.64/27	255.255.255.224	192.168.1.64 - 192.168.1.95	192.168.1.65 - 192.168.1.94	30	Divide	
192.168.1.96/29	255.255.255.248	192.168.1.96 - 192.168.1.103	192.168.1.97 - 192.168.1.102	6	Divide	
192.168.1.104/29	255.255.255.248	192.168.1.104 - 192.168.1.111	192.168.1.105 - 192.168.1.110	6	Divide	
192.168.1.112/28	255.255.255.240	192.168.1.112 - 192.168.1.127	192.168.1.113 - 192.168.1.126	14	Divide	

n	Size	Bits	Capacity	SubNet	Usable IP Range
1	50	/26	62	192.168.1.0/26	192.168.1.1 - 192.168.1.62
2	23	/27	30	192.168.1.64/27	192.168.1.65 - 192.168.1.94
3	5	/29	6	192.168.1.96/29	192.168.1.97 - 192.168.1.102

Στην περίπτωση που μέσα στους hosts υπολογίζεται και ο δρομολογητής, συνήθως γίνεται ανάθεση του πρώτου IP του εύρους σε αυτόν. Αν υπήρχαν τρεις routers στο παράδειγμα μας τότε οι IP διευθύνσεις τους θα ήταν:

n	Router IP Address
1	192.168.1.1
2	192.168.1.65
3	192.168.1.97

Όπως είναι προφανές περισσεύουν τα υποδίκτυα 192.168.1.104/29 και 192.168.1.112/28 που χωρούν 6 και 14 hosts αντίστοιχα, καθώς και το 192.168.1.128/25 που χωράει 126.

Subnet address	Netmask	Range of addresses	Useable IPs	Hosts	Divide	Join
192.168.1.0/26	255.255.255.192	192.168.1.0 - 192.168.1.63	192.168.1.1 - 192.168.1.62	62	Divide	/26 /27 /29 /28 /25 /24
192.168.1.64/27	255.255.255.224	192.168.1.64 - 192.168.1.95	192.168.1.65 - 192.168.1.94	30	Divide	
192.168.1.96/29	255.255.255.248	192.168.1.96 - 192.168.1.103	192.168.1.97 - 192.168.1.102	6	Divide	
192.168.1.104/29	255.255.255.248	192.168.1.104 - 192.168.1.111	192.168.1.105 - 192.168.1.110	6	Divide	
192.168.1.112/28	255.255.255.240	192.168.1.112 - 192.168.1.127	192.168.1.113 - 192.168.1.126	14	Divide	
192.168.1.128/25	255.255.255.128	192.168.1.128 - 192.168.1.255	192.168.1.129 - 192.168.1.254	126	Divide	

5.2.2 Παράδειγμα Εναλλακτικής Λύσης (διαθέσιμες διευθύνσεις ενδιάμεσα)

Έστω ότι πρέπει να μοιραστούν οι διευθύνσεις που μπορεί να υπάρχουν στο 192.168.1.0/24 σε τρία υποδίκτυα που έχουν το κάθε ένα από 23, 50 και 5 hosts. Πρέπει να δημιουργηθεί μια λίστα με τις ανάγκες βάσει του μεγέθους (size) και να βρεθεί η subnet mask της κατάλληλης χωρητικότητας. Θα πρέπει να μοιραστεί ξεκινώντας από τα μεγαλύτερα και μετά θα πρέπει να αναθέτεται κατάλληλα ο κενός χώρος διευθύνσεων που προκύπτει στα μικρότερα.

n	Size	Bits	Capacity c_i
1	50	/26	62
2	23	/27	30
3	5	/29	6

Η αρχή γίνεται με το subnet $n = 1$ για το μεγαλύτερο μέγεθος $s_1 = 50$. Πριν το εύρος διευθύνσεων που θα ανατεθεί σε αυτό, πρέπει να προβλεφθεί η χωρητικότητα c_r για τα υπόλοιπα subnets $\{n + 1, \dots, k\}$ από τα συνολικά $k = 3$, ώστε να υπάρχει χώρος και για τα δικά τους εύρη διευθύνσεων. Δηλαδή για το άθροισμα $r = \sum_{i=n+1}^k c_i$ πρέπει να ισχύει $c_r \geq r$. Εδώ τα subnets 2,3 αθροίζουν σε $r = 36$ και αρκεί χωρητικότητα $c_r = 62$ που μπορεί να επιτευχθεί με χρήση της μάσκας /26. Αυτή δημιουργεί τα εξής subnets.

Network Address	Usable Host Range	Broadcast Address:
192.168.1.0	192.168.1.1 - 192.168.1.62	192.168.1.63
192.168.1.64	192.168.1.65 - 192.168.1.126	192.168.1.127
192.168.1.128	192.168.1.129 - 192.168.1.190	192.168.1.191
192.168.1.192	192.168.1.193 - 192.168.1.254	192.168.1.255

Θα χρησιμοποιηθούν τα δύο πρώτα subnets (προσοχή στα χρώματα των bits).

- 1100 0000.1010 1000.0000 0001.**00** 000000 → 192.168.1.**0**
- 1100 0000.1010 1000.0000 0001.**01** 000000 → 192.168.1.**64**

Το πρώτο subnet θα δεσμευθεί για τα 2,3 και δίνεται το δεύτερο στο 1:

n	Size	Bits	Capacity	SubNet	Usable IP Range
1	50	/26	62	192.168.1.64/26	192.168.1.65 - 192.168.1.126
2	23	/27	30		
3	5	/29	6		

Με τον ίδιο τρόπο για τη θέση $n = 2$ και έχουμε $r = 5$, $c_r = 6$ και χρησιμοποιείται η μάσκα /27. Με αυτήν την μάσκα θα υπάρχουν τα εξής subnets, αποκλείοντας αυτά που έχουν ήδη ανατεθεί:

Network Address	Usable Host Range	Broadcast Address:
192.168.1.0	192.168.1.1 - 192.168.1.30	192.168.1.31
192.168.1.32	192.168.1.33 - 192.168.1.62	192.168.1.63 2
192.168.1.64	192.168.1.65 - 192.168.1.94	192.168.1.95
192.168.1.96	192.168.1.97 - 192.168.1.126	192.168.1.127
192.168.1.128	192.168.1.129 - 192.168.1.158	192.168.1.159
192.168.1.160	192.168.1.161 - 192.168.1.190	192.168.1.191
192.168.1.192	192.168.1.193 - 192.168.1.222	192.168.1.223
192.168.1.224	192.168.1.225 - 192.168.1.254	192.168.1.255

Θα χρησιμοποιηθούν τα δύο πρώτα subnets. Εδώ διαφοροποιείται το τρίτο subnet bit και παραμένουν τα δύο πρώτα σταθερά **00**. Αυτό γίνεται επειδή αν τα δύο πρώτα ήταν **01** θα υπήρχε διένεξη IP με το δίκτυο 1 (δείτε τα ίδια χρώματα και παραπάνω).

- 1100 0000.1010 1000.0000 0001.**0000** 0000 → 192.168.1.**0**
- 1100 0000.1010 1000.0000 0001.**0010** 0000 → 192.168.1.**32**

Το πρώτο subnet δεσμεύεται για το 3 και γίνεται ανάθεση του δεύτερου στο 2:

n	Size	Bits	Capacity	SubNet	Usable IP Range
1	50	/26	62	192.168.1.64/26	192.168.1.65 - 192.168.1.126
2	23	/27	30	192.168.1.32/27	192.168.1.33 - 192.168.1.62
3	5	/29	6		

Το δεσμευμένο subnet που περισσεύει αντιστοιχεί στο τελευταίο δίκτυο 3:

n	Size	Bits	Capacity	SubNet	Usable IP Range
1	50	/26	62	192.168.1.64/26	192.168.1.65 - 192.168.1.126
2	23	/27	30	192.168.1.32/27	192.168.1.33 - 192.168.1.62
3	5	/29	6	192.168.1.32/29	192.168.1.1 - 192.168.1.6

network	IP space allocation	subnet (bits)			host (bits)	hosts	chunk
		/26	/27	/28			
192.168.1.0	5	00	0	0	0000	2^4 - 2	16
192.168.1.32	23	00	1		00000	2^5 - 2	32
192.168.1.64	50	01			000000	2^6 - 2	64

Εικόνα 5.4: Με την χρήση του παραπάνω εύρος διευθύνσεων IP, από την 192.168.1.126 δεν έχουν ανατεθεί σε υποδίκτυα. Μένουν δεσμευμένες για μελλοντική χρήση $(62 - 50) + (30 - 23) + (6 - 5) = 20$ μέσα στα τρία δίκτυα.

Στην περίπτωση που μέσα στους hosts υπολογίζεται και ο δρομολογητής, συνήθως γίνεται ανάθεση του πρώτου IP του εύρους σε αυτόν. Αν υπήρχαν τρεις routers στο παράδειγμα μας τότε οι IP διευθύνσεις τους θα ήταν:

n	Router IP Address
1	192.168.1.65
2	192.168.1.33
3	192.168.1.1

Πολλές φορές το πλήθος των απαιτούμενων IPv4, που σημειώνεται ως μέγεθος (size), θεωρείται και ως πλήθος διαφορετικών **interfaces (ifs)**. Βέβαια σε ένα σύστημα μπορεί να υπάρχουν παραπάνω του ενός NIC όπου το κάθε ένα θα έχει διαφορετική διεύθυνση IP.

Το παραπάνω παράδειγμα που φάνηκε στην εικόνα 5.4, βλέπουμε τον κενό χώρο διευθύνσεων IP που προκύπτει. Σε αυτόν μπορούμε να χωρέσουμε επιπλέον ένα subnet με χωρητικότητα 14 υπολογιστών δηλαδή με subnet mask /28. Η εναλλακτική κατάτμηση σε υποδίκτυα εμφανίζεται και παρακάτω:

Subnet address	Netmask	Range of addresses	Useable IPs	Hosts	Divide	Join
192.168.1.0/29	255.255.255.248	192.168.1.0 - 192.168.1.7	192.168.1.1 - 192.168.1.6	6	Divide	
192.168.1.8/29	255.255.255.248	192.168.1.8 - 192.168.1.15	192.168.1.9 - 192.168.1.14	6	Divide	
192.168.1.16/28	255.255.255.240	192.168.1.16 - 192.168.1.31	192.168.1.17 - 192.168.1.30	14	Divide	
192.168.1.32/27	255.255.255.224	192.168.1.32 - 192.168.1.63	192.168.1.33 - 192.168.1.62	30	Divide	
192.168.1.64/26	255.255.255.192	192.168.1.64 - 192.168.1.127	192.168.1.65 - 192.168.1.126	62	Divide	
192.168.1.128/25	255.255.255.128	192.168.1.128 - 192.168.1.255	192.168.1.129 - 192.168.1.254	126	Divide	

Όπως είναι προφανές περισσεύουν τα υποδίκτυα 192.168.1.8/29 και 192.168.1.16/28 που χωρούν 6 και 14 hosts το κάθε ένα, καθώς και το 192.168.1.128/25.

5.2.3 Online εργαλεία για μάσκες υποδικτύου και υποδικτύωση

Για να κατανοήσετε καλύτερα τις μάσκες υποδικτύου, υποδικτύωση και τις κλάσεις μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ένα από τα παρακάτω online εργαλεία.

Υπολογιστής μάσκας υποδικτύου

- <http://www.subnet-calculator.com/>

Επαλήθευση του εύρους έγκυρων διευθύνσεων IPv4 και διευθύνσεων broadcast

- <https://www.calculator.net/ip-subnet-calculator.html>
- <https://www.tunnelsup.com/subnet-calculator/>

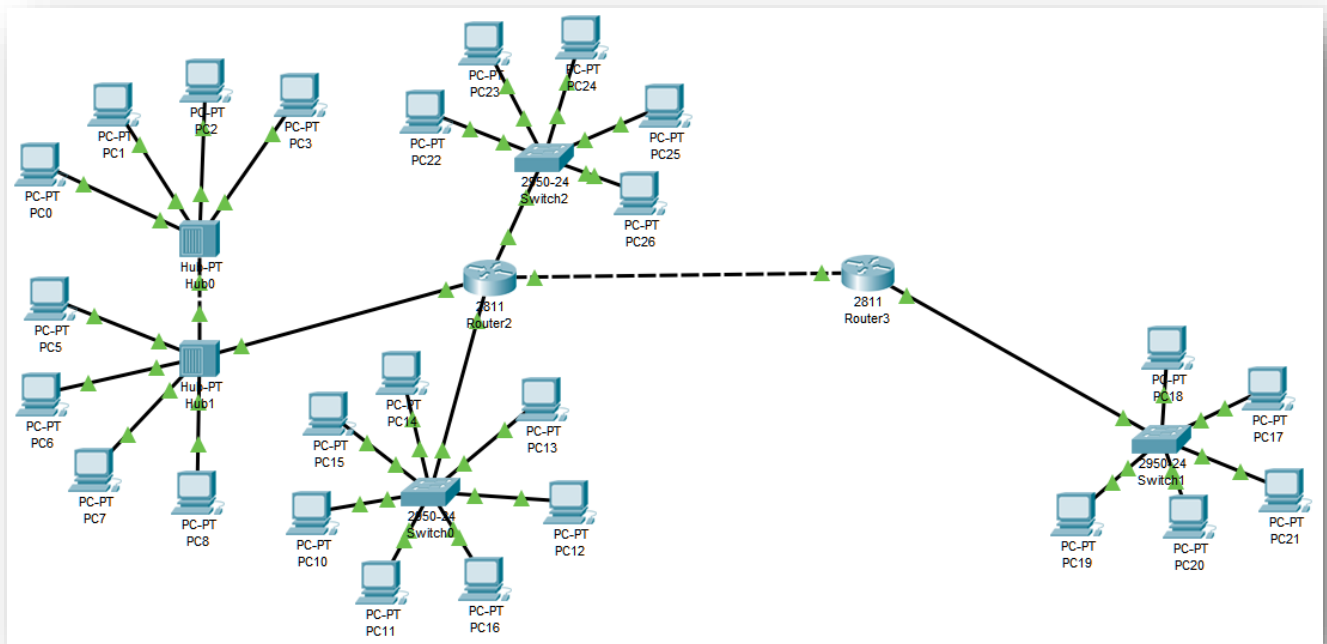
Υποδικτύωση

- <http://www.davidc.net/sites/default/subnets/subnets.html>

ΑΣΚΗΣΗ 5.1: Διευθυνσιοδότηση IPv4

1. Για ποιο λόγο είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός των 32bit μιας IP διεύθυνσης σε δύο μέρη; Γιατί στη συνέχεια σε τρία μέρη; Σκεφτείτε τους λόγους κατά την άποψη σας και μετά ελέγξτε τους στο <https://www.networkcomputing.com/data-centers/5-subnetting-benefits>
2. Για IP address: **194.20.0.32** Subnet Mask: **255.255.255.224** (κλάση C) προσπαθήστε να κάνετε τις δυαδικές πράξεις ώστε να βρείτε το network prefix (network ID) και το την broadcast address.
3. Σε συνέχεια της ερώτησης 2, ποιο είναι το πλήθος των υποδικτύων που δημιουργεί η μάσκα, των διαθέσιμων διευθύνσεων ανά υποδίκτυο, η πρώτη και η τελευταία έγκυρη διεύθυνση IPv4 για ανάθεση σε host; Κατόπιν επιβεβαιώστε την ορθότητα με τα online εργαλεία της παραγράφου 5.2.3.
4. Σε συνέχεια του 2, γράψτε το αναγνωριστικό του δικτύου που ανήκει η διεύθυνση IPv4 σε μορφή CIDR.
5. Απαντήστε στα ίδια ερωτήματα 2,3 για IPv4: 195.251.123.0 Subnet Mask: /20 (κλάση B).
6. Απαντήστε στα ίδια ερωτήματα 2,3 για IPv4: 10.0.10.0 Subnet Mask: 255.128.0.0 (κλάση A).
7. Έστω ότι έχουμε 13 υπολογιστές στο τοπικό δίκτυο 192.168.1.0. Γράψτε την κατάλληλη μάσκα υποδικτύου σε μορφή CIDR ώστε αφενός να τους χωράει στο ίδιο υποδίκτυο, αφετέρου να υπάρχουν οι λιγότερες μη χρησιμοποιημένες θέσεις host σε αυτό.
8. Αν θέλουμε να σπάσουμε σε 8 υποδίκτυα μια διεύθυνση IPv4 κλάσης C, πόσα bits πρέπει να υπάρχουν στο τμήμα subnet της μάσκας (δείτε την εικόνα 5.2). Γράψτε την αντίστοιχη μάσκα υποδικτύου και σε δεκαδική μορφή.
9. Στο παράδειγμα βέλτιστης ανάθεσης διευθύνσεων IP ποιο είναι το broadcast address για να στείλουμε ένα πακέτο στην περίπτωση της ομάδας με τους 50 hosts; (και για την βέλτιστή και για την εναλλακτική λύση)
10. Σε ποια κλάση ανήκει το subnet 255.192.0.0 /10
11. Έστω ότι σας δίνεται η IPv4 διεύθυνση 192.168.100.21 με μάσκα υποδικτύου /18. Μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι είναι η αρχική διεύθυνση του δικτύου; Βρείτε την IPv4 διεύθυνση του δικτύου (network ID).
12. Σε συνέχεια της 11, ποια είναι η IPv4 διεύθυνση για αποστολή ενός πακέτου σε όλους τους υπολογιστές του υποδικτύου (διεύθυνση broadcast); Γράψτε την πρώτη και την τελευταία έγκυρη διεύθυνση IPv4 για ανάθεση σε host. Πόσοι είναι συνολικά; Γράψτε την πράξη με την οποία το υπολογίσατε.
13. Έστω ότι σας δίνεται η IPv4 διεύθυνση 104.17.106.109. Μπορούμε να ξέρουμε σε ποιο υποδίκτυο ανήκει έχοντας μόνο την IPv4 διεύθυνση; Αν ο υπολογιστής σας βρίσκεται σε ένα υποδίκτυο με άλλους 29 hosts (PCs, routers, servers), ποια πρέπει να είναι η subnet mask. Γράψτε την και με μορφή prefix. Ποια η IPv4 διεύθυνση του υποδικτύου και ποια η broadcast; Αν χρησιμοποιούσαμε την τελευταία έγκυρη διεύθυνση IPv4 για τον router του δικτύου, ποια θα ήταν αυτή;

ΑΣΚΗΣΗ 5.2: Διευθυνσιοδότηση IPv4 και ανάθεση στο Cisco Packet Tracer



Εικόνα 5.5: Δίκτυο του CPT_Lab5.pkt

Κατεβάστε το αρχείο **CPT_Lab5.pkt** από το site του μαθήματος που όταν ανοίξει στο Cisco Packet Tracer (CPT) θα εμφανιστεί το παραπάνω δίκτυο. Μπορείτε να αρχίσετε την άσκηση από την εικόνα. Από το ερώτημα 5 και κάτω μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το CPT και τις γνώσεις που αποκτήσατε κατά την εισαγωγή, που βρίσκονται στην παράγραφο 2.2.4, σελίδα 24 της 1^{ης} ενότητας.

1. Αναγνωρίστε 5 διαφορετικά υποδίκτυα στα οποία μπορεί να χωριστεί το δίκτυο.
2. Χρησιμοποιήστε διευθύνσεις της μορφής 192.168.x.x και δουλέψτε ώστε να συμπληρώσετε τον παρακάτω πίνακα:
 - ο Με τις απαιτήσεις για έγκυρες διευθύνσεις (size), ταξινομώντας τα δίκτυα από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο
 - ο Επιλέξτε τις κατάλληλες subnet mask (Bits), σημειώστε τις όπως και την αντίστοιχη χωρητικότητα (Capacity)

n	Hosts Needed (Size)	Subnet Mask Bits	Subnet Capacity	Subnet ID	Usable IP Range
1					
2					
3					
4					
5	2				

3. Για ποιον λόγο επιλέξατε τις συγκεκριμένες subnet mask;
4. Προχωρήστε και με χρήση κάποιου online εργαλείου βρείτε το εύρος των έγκυρων διευθύνσεων IP (Usable IP Range) ώστε να συμπληρώσετε τον πίνακα.

5. Ανοίξτε το **CPT_Lab5.pkt** στο Cisco Packet Tracer. Θυμηθείτε ότι στις συσκευές επιπέδων ζεύξης (L2) και φυσικού (L1) δεν λειτουργεί το πρωτόκολλο IP. Για κάθε interface (NIC) ενός router, αναθέστε την πρώτη διαθέσιμη διεύθυνση IPv4 σε συνδυασμό με την αντίστοιχη μάσκα υποδικτύου. Για το υποδίκτυο μεταξύ των routers βάλτε την πρώτη IPv4 σε όποιον από τους δύο θέλετε.
6. Επιλέξτε δύο υπολογιστές σε κάθε υποδίκτυο για να αναθέσετε έγκυρες διευθύνσεις IPv4 και σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες μάσκες υποδικτύου.
7. Επιλέξτε το έναν υπολογιστή στο υποδίκτυο και προσπαθήστε να κάνετε ping στον άλλο υπολογιστή και στον router του ίδιου υποδικτύου. Τι παρατηρείτε;
8. Προσπαθήστε να κάνετε ping σε υπολογιστές σε ένα άλλο υποδίκτυο. Τι παρατηρείτε;
9. Αν τυχόν υπάρχει πρόβλημα στην επικοινωνία και εμφανίζονται μηνύματα Request timed out σε ποιο επίπεδο εντοπίζεται;
10. Αν αλλάξετε μια IP Address εκτός του εύρους των έγκυρων host του subnet, κρατώντας το subnet mask που επιλέξατε, υπάρχει επικοινωνία με τους υπόλοιπους host στο υποδίκτυο; Σε ποιο επίπεδο δικτύου εντοπίζεται και αυτό το πρόβλημα;

ΑΣΚΗΣΗ 5.3: Υπολογισμός μάσκας υποδικτύου για αιτούμενο εύρος διευθύνσεων IPv4.

Θα χρειαστεί να ζητήσουμε από τον πάροχο μας να μας δώσει ένα εύρος συνεχόμενων διευθύνσεων IP, ώστε να μπορέσουμε πάνω σε αυτό να δημιουργήσουμε δύο υποδίκτυα με απαιτήσεις **800** και **222** hosts.

1. Ποια είναι η κατάλληλη μάσκα υποδικτύου για το εύρος αυτό, πάνω στο οποίο θα κάνουμε subnetting;
2. Από το εύρος αυτό, πόσες διευθύνσεις IP δεν θα χρειαστούν, θα παραμείνουν αδιάθετες και θα επιστραφούν στον πάροχο.

ΑΣΚΗΣΗ 5.4: Subnetting με 3 υποδίκτυα.

Δίδεται το εύρος διευθύνσεων **10.0.0.0 /23**. Οι απαιτήσεις σε hosts με τις ονομασίες των αντίστοιχων δικτύων είναι net1=50, net2=200, net3=16

1. Κάντε subnetting και συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα

n	Network Name	Hosts Needed (Size)	Subnet Mask Bits	Subnet Capacity	Subnet ID	Usable IP Range
1						
2						
3						

2. Σημειώστε τα δίκτυα που παραμένουν αδιάθετα μετά το subnetting
3. Ποιο είναι το πλήθος των αδιάθετων διευθύνσεων IP, που δεν θα αγοραστούν από τον πάροχο.
4. Σε αυτές που αγοράζουμε, πόσες δεν πρόκειται να ανατεθούν άμεσα βάσει των απαιτήσεων και τι ποσοστό αποτελούν της συνολικής χωρητικότητας που αγοράζουμε;

ΑΣΚΗΣΗ 5.5: Subnetting με 5 υποδίκτυα.

Δίδεται το εύρος διευθύνσεων **195.251.0.0 /22**. Οι απαιτήσεις σε hosts με τις ονομασίες των αντίστοιχων δικτύων είναι net1=20, net2=100, net3=80, net4=400, net5=5

1. Κάντε subnetting και συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα

n	Network Name	Hosts Needed (Size)	Subnet Mask Bits	Subnet Capacity	Subnet ID	Usable IP Range
1						
2						
3						
4						
5						

6. ΣΤΑΤΙΚΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ

6.1 Ρύθμιση συσκευής στο επίπεδο δικτύου.

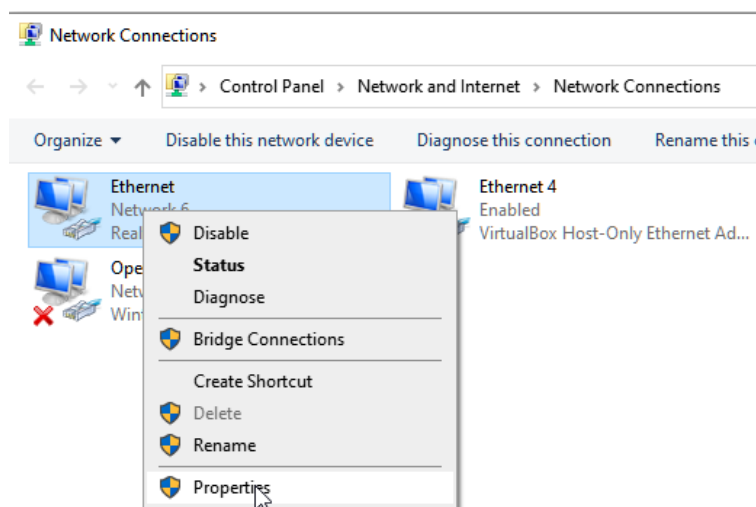
6.1.1 Ανάθεση διεύθυνσης IP και μάσκας υποδικτύου σε NIC.

Για να ενεργοποιηθεί η βασική λειτουργία μιας συσκευής (host) στο επίπεδο δικτύου (network – L3) χρειάζεται η ανάθεση του ζεύγους {IP address}, {Subnet mask} στο προεπιλεγμένο από τα network interface controller (NIC) που υπάρχουν σε αυτήν. Σε ένα σύστημα ενδέχεται να υπάρχουν πολλαπλά NIC, όπως Ethernet για ενσύρματο δίκτυο, Wi-Fi, VPN, Virtual Machines, κ.α. Υπάρχει η περίπτωση να έχουμε πολλαπλές υποδοχές για ενσύρματες συνδέσεις, το οποίο υποδηλώνει ότι περισσότερα του ενός NIC για τον τύπο Ethernet στον ίδιο host. Αυτά μπορούν να είναι ταυτόχρονα συνδεδεμένα στο ίδιο δίκτυο (ή και διαφορετικά δίκτυα), αρκεί να έχουν διαφορετικές μεταξύ τους IP διευθύνσεις.

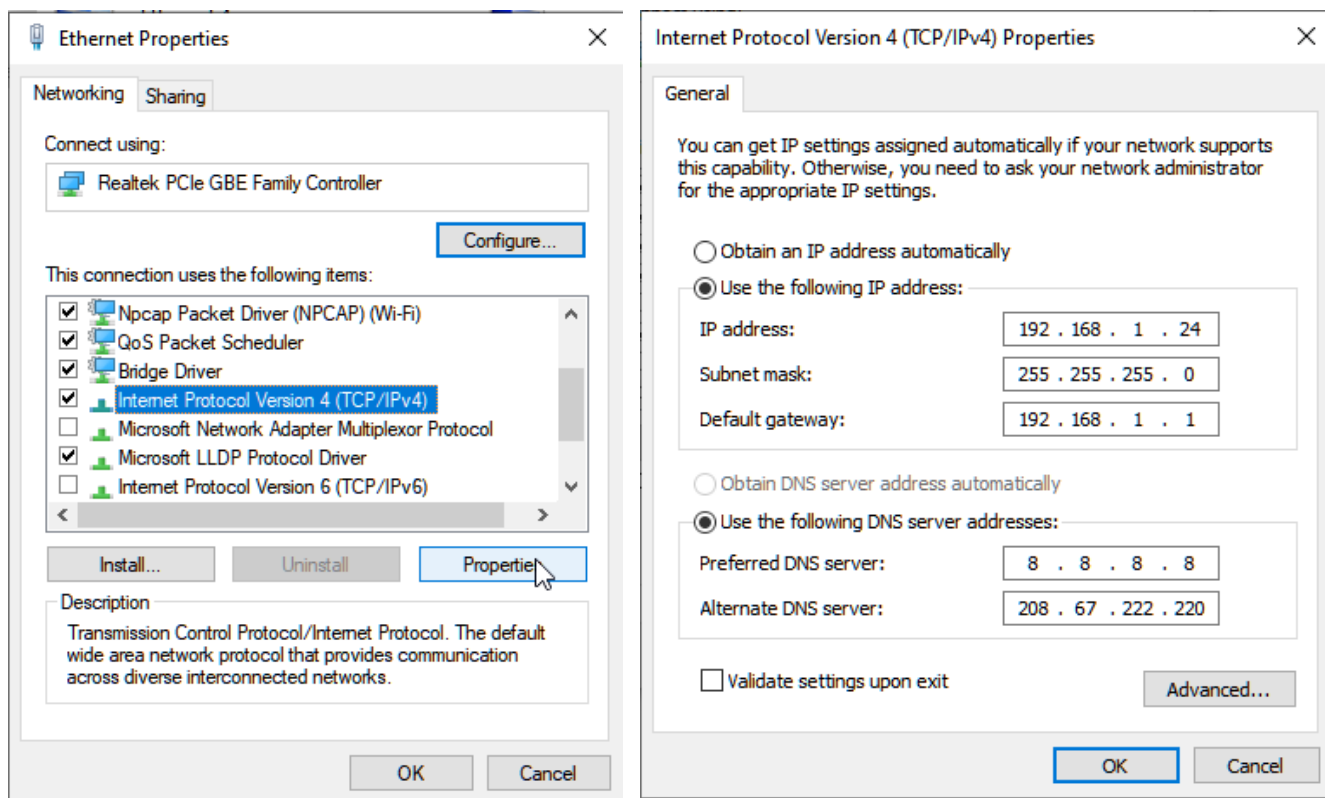


Εικόνα 6.1: Μητρική πλακέτα με δύο υποδοχές ενσύρματου δικτύου (RJ-45 θηλυκό).

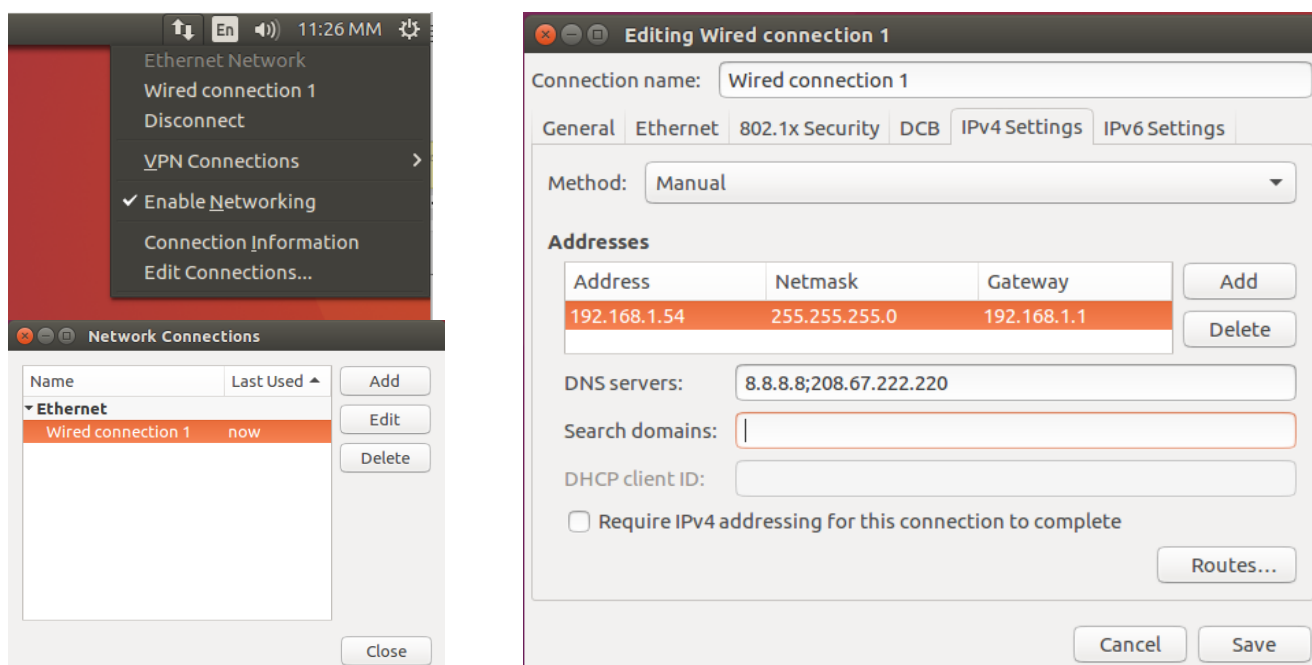
Στο λειτουργικό σύστημα Windows συνήθως υπάρχει αυτόματη ανάθεση του ζεύγους των {IP address}, {Subnet mask} καθώς και άλλων ρυθμίσεων μέσω του *DHCP* (*Dynamic Host Configuration Protocol*). Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις όπως η εγκατάσταση ενός εξυπηρετητή με στατική διεύθυνση IP στο διαδίκτυο, απαιτείται η χειροκίνητη ανάθεση.



Εικόνα 6.1: Επιλογή για εμφάνιση ρυθμίσεων του NIC “Ethernet” σε λειτουργικό σύστημα Windows 7/ 8.1/10.



Εικόνα 6.2: Ρυθμίσεις των πρωτοκόλλων επιπέδου δικτύου σε λειτουργικό σύστημα Windows 7/ 8.1/10: Αριστερά: Επιλογή του IPv4 ως ενεργό πρωτόκολλο επιπέδου δικτύου με απενεργοποίηση του IPv6. Δεξιά: Ανάθεση ζεύγους IP address, Subnet mask. Επίσης ανάθεση Default Gateway και DNS servers της Google (8.8.8.8) και της OpenDNS (208.67.222.220)

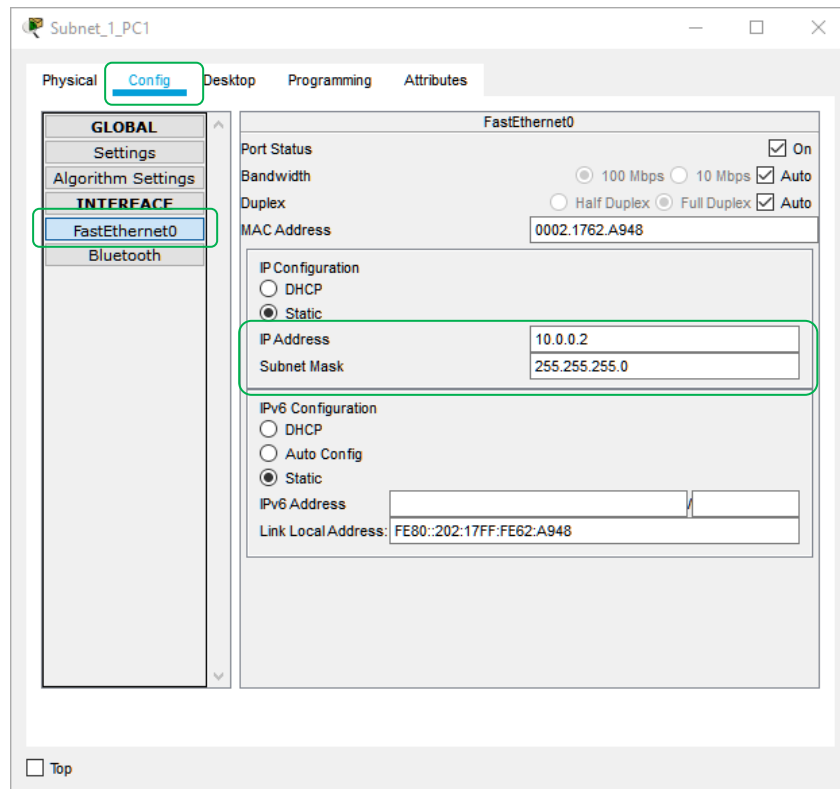


Εικόνα 6.3: Ρυθμίσεις των πρωτοκόλλων επιπέδου δικτύου σε λειτουργικό σύστημα Ubuntu 16/18/20 Αριστερά: Παράθυρο Network Connections που εμφανίζεται από την επιλογή Edit Connections (επάνω) Δεξιά: Ανάθεση ζεύγους IP address, Subnet mask. Επίσης ανάθεση Default Gateway και DNS servers της Google (8.8.8.8) και της OpenDNS (208.67.222.220)

6.1.2 Ανάθεση IP address και subnet mask στο Cisco Packet Tracer (CPT).

Ανοίξτε το **2routers-new.pkt** από τον ιστότοπο του μαθήματος για να βλέπετε τις ρυθμίσεις που αναφέρονται από αυτήν την παράγραφο μέχρι και την 6.1.5

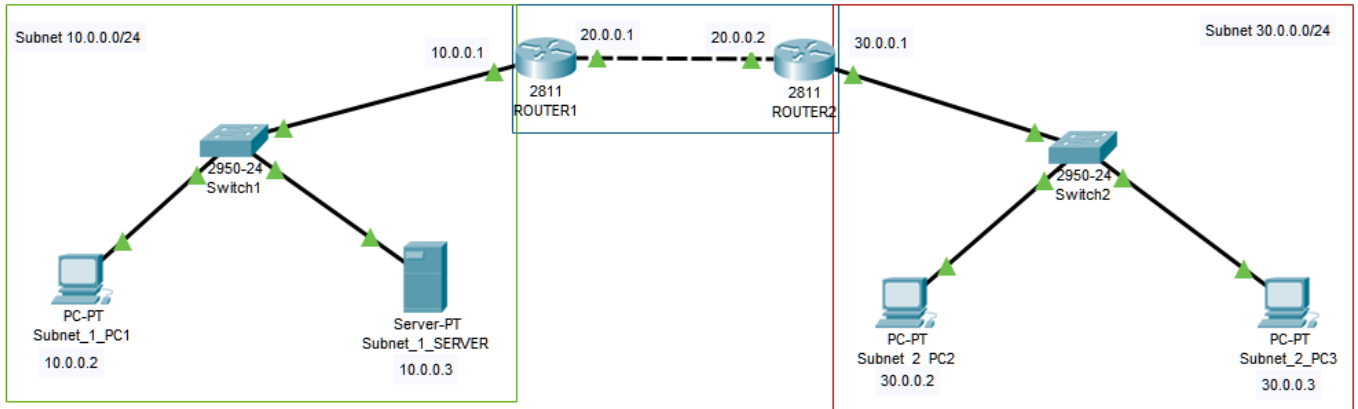
Σε κάθε τερματική συσκευή όπως PC, Server, Laptop, υπάρχει στο CPT η καρτέλα Config στην οποία εμφανίζεται η ενότητα ρυθμίσεων ενός NIC, π.χ. FastEthernet0 κάτω από το INTERFACE και επίσης η ενότητα Settings κάτω από το GLOBAL που θα δούμε στην συνέχεια.



Εικόνα 6.5: Ρυθμίσεις τερματικής συσκευής: IP address και Subnet mask στο FastEthernet0 NIC για τον υπολογιστή Subnet_1_PC1 του δικτύου 2routers-new.pkt.

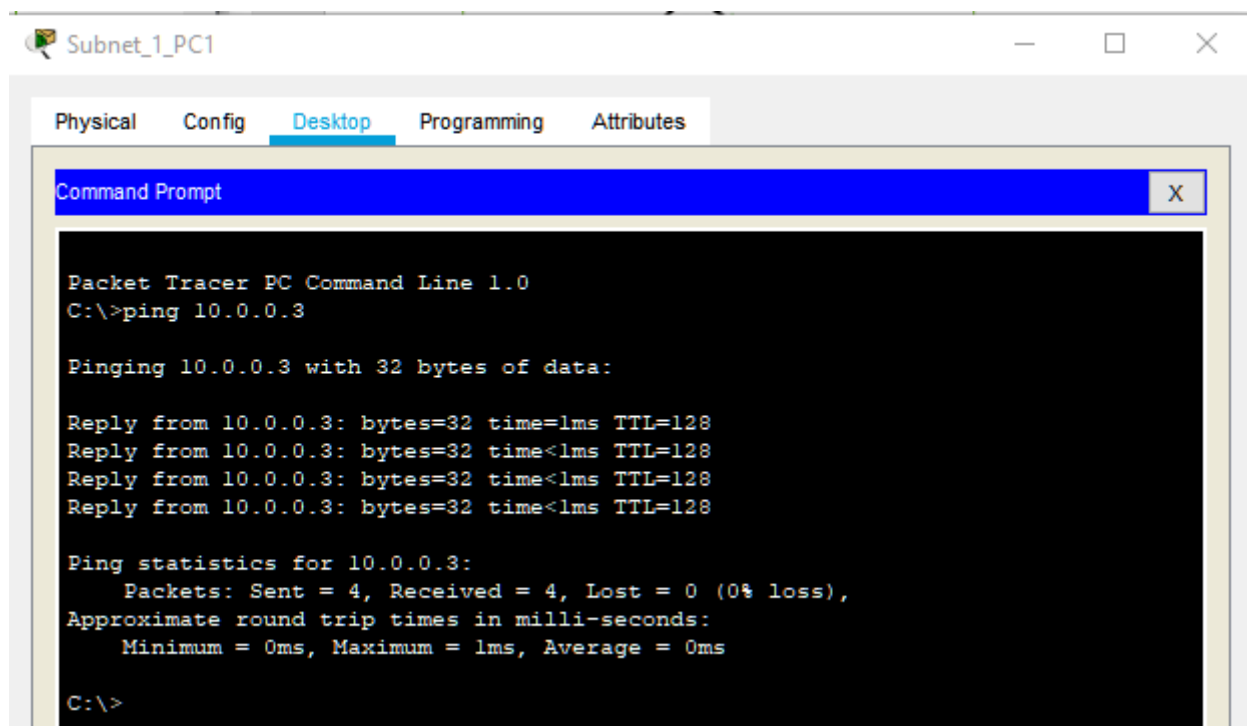
6.1.3 Έλεγχος λειτουργίας επιπέδου δικτύου.

Στο δίκτυο **2routers-new.pkt** παρατηρούμε τρία υποδίκτυα το **10.0.0.0/24** , **20.0.0.1/24** και **30.0.0.1/24**. Εφόσον αναθέσουμε IP Address, Subnet Mask σε όλες τις τερματικές συσκευές εντός του ιδίου υποδικτύου, έχουμε λειτουργία του επιπέδου δικτύου L3 από την μια προς την άλλη, π.χ. από το Subnet_1_PC1 προς τον Subnet_1_Server. Δεν υλοποιείται όμως λειτουργία L3, μεταξύ υπολογιστών που ανήκουν σε διαφορετικά υποδίκτυα, π.χ. μεταξύ Subnet_2_PC και Subnet_1_Server.

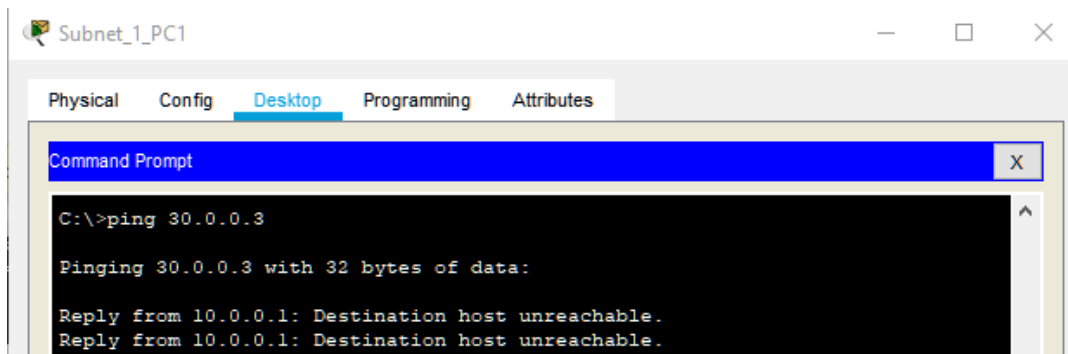


Εικόνα 6.6: Δίκτυο του 2routers-new.pkt. Και στους δύο routers οι συνδέσεις στα αριστερά γίνονται στο interface FastEthernet0/0 και προς τα δεξιά στο FastEthernet0/1.

Η επικοινωνία σε επίπεδο L3, μεταξύ υπολογιστών που ανήκουν στα διαφορετικά δίκτυα, μπορεί να ελεγχθεί με τη χρήση της εντολής ping όπως στα προηγούμενα εργαστήρια.



Εικόνα 6.7: Επιτυχής δοκιμή λειτουργίας επιπέδου δικτύου για υπολογιστές εντός του ιδίου υποδικτύου.



Εικόνα 6.8: Ανεπιτυχής δρομολόγηση προς έναν υπολογιστή που ανήκει σε άλλο υποδίκτυο.

6.1.4 Προεπιλεγμένη πύλη (default gateway).

Σε τερματικές συσκευές, δηλαδή hosts που δεν είναι routers, υπάρχει η ρύθμιση default gateway ή gateway που αντιστοιχεί στην πύλη του υποδικτύου στο οποίο ανήκει η IPv4 Address της συσκευής. Είναι και αυτή μια IPv4 Address που έχει ανατεθεί σε ένα από τα πολλά NIC ενός **δρομολογητή (router)**. Μέσω του gateway τα πακέτα που αποστέλλονται από το σύστημα μας εξέρχονται από το υποδίκτυο και δρομολογούνται μέχρι το **επόμενο άλμα (next hop)**. Τα άλματα γίνονται σε μια αλληλουχία ξεκινώντας από IPv4 της gateway και φτάνοντας ως την διεύθυνση προορισμού. Με την εντολή **tracert** στα Windows ή **tracert** σε Linux μπορούμε να παρατηρήσουμε αυτήν την αλληλουχία δρομολόγησης.

```

C:\Users\Researcher>tracert www.tee.ihu.gr

Tracing route to web.tee.ihu.gr [195.251.123.33]
over a maximum of 30 hops:

  1  <1 ms  <1 ms  <1 ms  192.168.1.1
  2   6 ms   5 ms   5 ms  80.106.125.100
  3   6 ms   6 ms   6 ms  79.128.242.181
  4  12 ms  14 ms  11 ms  79.128.240.133
  5  12 ms  13 ms  12 ms  grnet-2.gr-ix.gr [176.126.38.31]
  6  23 ms  21 ms  21 ms  teithe-2.kolettir.access-link.grnet.gr [62.217.97.59]
  7  21 ms  20 ms  20 ms  wf-aliakmon.noc.teithe.gr [195.251.240.46]
  8  21 ms  20 ms  20 ms  sindos-wf.noc.teithe.gr [195.251.240.41]
  9  26 ms  26 ms  21 ms  loudias-sindos.noc.teithe.gr [195.251.240.33]
 10  21 ms  22 ms  21 ms  tux-loudias.it.teithe.gr [195.251.240.62]
 11  21 ms  21 ms  21 ms  it-tux.it.teithe.gr [195.251.240.69]
 12  21 ms  21 ms  22 ms  web.it.teithe.gr [195.251.123.33]

Trace complete.

C:\Users\Researcher>

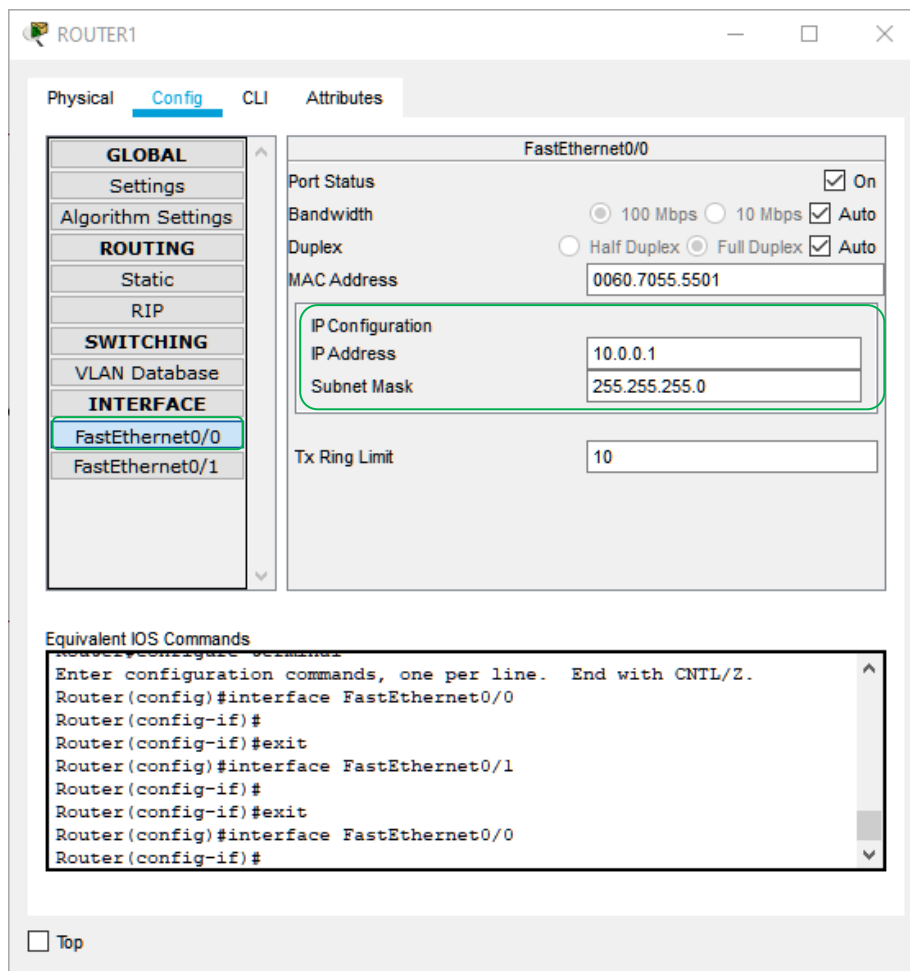
```

Εικόνα 6.4: Διαδοχικά άλματα από έναν υπολογιστή που έχει ως gateway την 192.168.1.1 προς τον εξυπηρετητή web του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων.

Όπως θα δούμε παρακάτω, οι δρομολογητές έχουν ρυθμίσεις ώστε να επιλέγουν το επόμενο άλμα ανάλογα με το υποδίκτυο στο οποίο ανήκει η διεύθυνση προορισμού, μέχρι το τελικό άλμα προς στον router του υποδικτύου προορισμού. Εντός αυτού η διεύθυνση προορισμού είναι άμεσα προσβάσιμη από τον router και τερματίζεται η αλληλουχία δρομολόγησης.

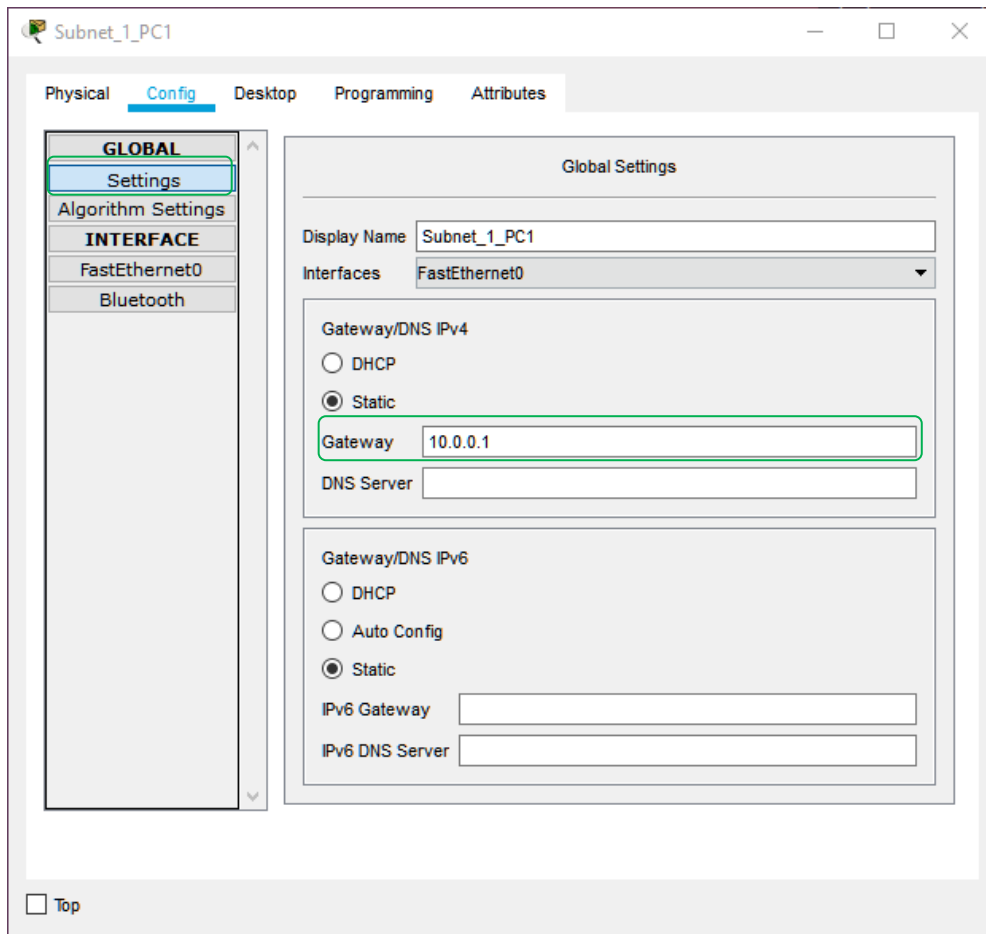
6.1.5 Ανάθεση default gateway στο CPT.

Το πρώτο στάδιο για την σωστή υλοποίηση της δρομολόγησης είναι να αναθέσουμε το gateway σε κάθε τερματική συσκευή ώστε πλέον να προωθούν πακέτα προς τον router του υποδικτύου στο οποίο ανήκουν. Πριν από αυτό πρέπει να έχουμε αναθέσει μια διεύθυνση IPv4 στο interface του router το οποίο είναι συνδεδεμένο σε αυτό υποδίκτυο.



Εικόνα 6.9: Ρυθμίσεις Router: Το FastEthernet0/0 συνδέει τον router με το υποδίκτυο 10.0.0.0/24 (πράσινο). Έτσι το gateway σε όλες τις τερματικές συσκευές που ανήκουν σε αυτό θα είναι 10.0.0.1

Αφού γνωρίζουμε την αντίστοιχη IPv4 για το gateway, στο παράδειγμα μας την 10.0.0.1 την συμπληρώνουμε σε κάθε τερματική συσκευή και στην ενότητα Settings της καρτέλας Config.



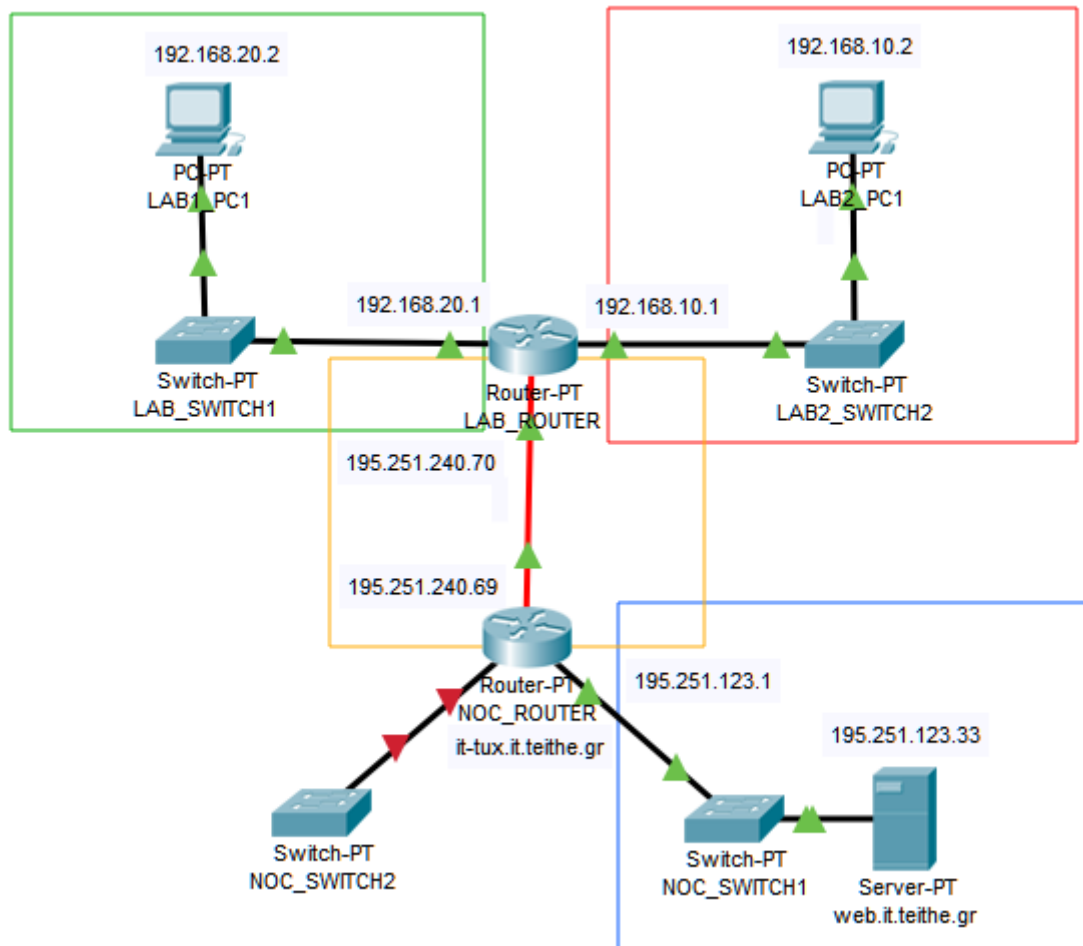
Εικόνα 6.10: Ρυθμίσεις τερματικής συσκευής: Gateway για το Subnet_1_PC1 του δικτύου 2routers-new.pkt

Με την ολοκλήρωση της ρύθμισης η λειτουργία του επιπέδου δικτύου υλοποιείται σωστά μέχρι και το gateway. Άρα το πακέτο μπορεί να δρομολογηθεί από τον υπολογιστή μας προς το gateway, δηλαδή τον κοντινότερο σε εμάς router. Παρακάτω θα δούμε πως θα συνεχιστεί η δρομολόγηση από εκεί και πέρα.

6.2 Εγγραφές στον πίνακα δρομολόγησης (routing table)

6.2.1 Δρομολόγηση μεταξύ διαφορετικών NIC του ίδιου router.

Ανοίξτε το αρχείο **4subnets-2routers.pkt** από τον ιστότοπο του εργαστηρίου, όπου υπάρχει η περίπτωση δύο υποδικτύων που συνδέονται σε δύο interfaces του ίδιου router.



Εικόνα 6.10: Δίκτυο **4subnets-2routers.pkt** που περιλαμβάνει δύο routers που συνδέονται μεταξύ τους με οπτική ίνα, έχοντας ο κάθε ένας δύο interfaces διαθέσιμα για σύνδεση με υποδίκτυα. Στον LAB_ROUTER έχουμε ενεργοποιήσει την ζεύξη (L2) σε δύο interfaces, ενώ στον NOC_ROUTER μόνο στο ένα.

Για το κάθε interface του router ανατίθεται διαφορετική διεύθυνση IPv4. Για τον LAB_ROUTER στα αριστερά το FastEthernet 0/0 έχει 192.168.20.1 και στα δεξιά το FastEthernet 0/1 έχει 192.168.10.1. Τα αντίστοιχα υποδίκτυα είναι αριστερά **192.168.20.0/24** μέσα σε πράσινο πλαίσιο και δεξιά **192.168.10.0/24** μέσα σε κόκκινο πλαίσιο. Ρυθμίζοντας στα LAB1_PC και LAB2_PC i) Έγκυρη διεύθυνση IP, ii) Subnet mask, και iii) gateway παρατηρούμε ότι η δρομολόγηση μεταξύ των υποδικτύων που συνδέονται στον ίδιο router λειτουργεί απευθείας. Για την επιβεβαίωση θα χρησιμοποιήσουμε **ping** και **traceroute**.

Από το LAB1_PC1, αρχικά κάνουμε ping προς το gateway του “πράσινου” υποδικτύου, την IP που έχει ανατεθεί στο interface που συνδέεται με το LAB_SWITCH1, δηλαδή στο ίδιο που συνδέεται το LAB1_PC1.

```
C:\>ping 192.168.20.1

Pinging 192.168.20.1 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.20.1: bytes=32 time=1ms TTL=255
Reply from 192.168.20.1: bytes=32 time=1ms TTL=255
```

Μετά κάνουμε ping προς την IP που αποτελεί το gateway για το “κόκκινο” υποδίκτυο και έχει ανατεθεί στο δεύτερο interface που συνδέεται με το LAB_SWITCH2.

```
C:\>ping 192.168.10.1

Pinging 192.168.10.1 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.10.1: bytes=32 time<1ms TTL=255
```

Τέλος κάνουμε ping προς το σύστημα LAB2_PC1 που ανήκει στο δεύτερο υποδίκτυο. Παρατηρούμε ότι το πρώτο (μερικές φορές και το δεύτερο) ping κάνει request timed out, αλλά κατόπιν αρχίζει να λειτουργεί σωστά.

```
Pinging 192.168.10.2 with 32 bytes of data:

Request timed out.
Reply from 192.168.10.2: bytes=32 time<1ms TTL=127
Reply from 192.168.10.2: bytes=32 time<1ms TTL=127
Reply from 192.168.10.2: bytes=32 time<1ms TTL=127

Ping statistics for 192.168.10.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 3, Lost = 1 (25% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms

C:\>
```

Αν εκτελέσουμε traceroute 192.168.10.2 προς το LAB2_PC1 βλέπουμε πλέον τα δύο άλματα (hop) που γίνονται.

1. Gateway του LAB1_PC1 (192.168.20.1)
2. Προορισμός (192.168.10.2)

```
C:\>tracert 192.168.10.2

Tracing route to 192.168.10.2 over a maximum of 30 hops:

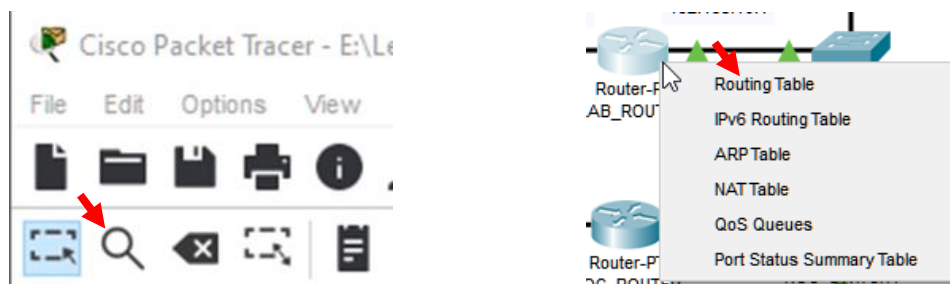
  1  0 ms    0 ms    0 ms    192.168.20.1
  2  12 ms   0 ms    0 ms    192.168.10.2

Trace complete.

C:\>
```

6.2.2 Οι εγγραφές τύπου C - Connected

Η ρύθμιση IP Address και Subnet mask σε ένα NIC του router δημιουργεί αυτόματα εγγραφές τύπου **C – Connected** σε έναν **πίνακα δρομολόγησης (routing table)**, μια δομή μέσα στην μνήμη του router. Με αυτές τις εγγραφές βλέπει τα υποδίκτυα που είναι άμεσα συνδεδεμένα πάνω του, ώστε να προωθήσει τα πακέτα μεταξύ τους. Στο CPT μπορούμε να εμφανίσουμε εύκολα τον πίνακα δρομολόγησης αν επιλέξουμε το εργαλείο Inspect από την μπάρα εργαλείων, στην συνέχεια αριστερό κλικ στον router και μετά από το context-menu επιλογή του Routing Table.



Εικόνα 6.11: Αριστερά: Επιλογή εργαλείου inspect, δεξιά: Εμφάνιση του Routing Table πάνω σε έναν router.

Type	Network	Port	Next Hop IP	Metric
C	192.168.10.0/24	FastEthernet1/0	---	0/0
C	192.168.20.0/24	FastEthernet0/0	---	0/0

Εικόνα 6.12: Εγγραφές τύπου C στον πίνακα δρομολόγησης του LAB_ROUTER, πριν την περαιτέρω ρύθμιση.

Αν προσπαθήσουμε να κάνουμε ping τον WEB.IT.TEITHE.GR που ανήκει στο “μπλε” υποδίκτυο χωρίς περαιτέρω ρύθμιση της δρομολόγησης, το gateway μας απαντάει με το μήνυμα λάθους **Destination host unreachable**. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει κάποια εγγραφή στο routing table που να καθοδηγεί τον router προς το υποδίκτυο που ανήκει ο destination host, άρα αυτό είναι μη προσπελάσιμο.

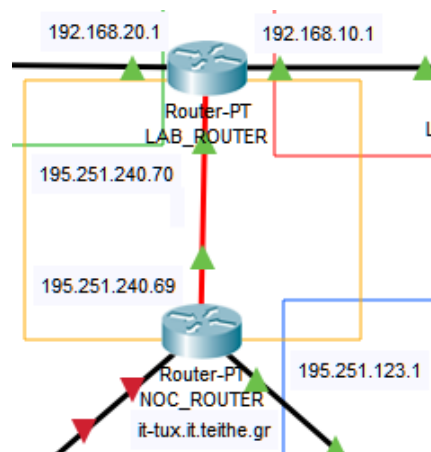
```
C:\>ping 195.251.123.33

Pinging 195.251.123.33 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.20.1: Destination host unreachable.
Reply from 192.168.20.1: Destination host unreachable.
```

6.2.2 Οι διαδρομές τύπου S – Static.

Συνδέοντας τους routers μεταξύ τους με οπτική ίνα (fiber) στα εκατέρωθεν FastEthernet 4/0, δημιουργείται ένα «δίκτυο» μεταξύ των δύο routers. Στην εικόνα 6.13 που είναι τμήμα του **4subnets-2routers.pkt** βλέπουμε το υποδίκτυο 192.251.20.64/29 (μάσκα υποδικτύου 255.255.255.248) με έγκυρο εύρος διευθύνσεων 192.251.20.65 – 192.251.20.70 και συνολική χωρητικότητα 6 hosts.



Εικόνα 6.13: Υποδίκτυο 192.251.20.64/29 στο οποίο υπάρχουν 2 routers και περιθώριο για προσθήκη άλλων 4.

Έχοντας υλοποιήσει σύνδεση σε L1 με την οπτική ίνα, με ενεργοποίηση των αντίστοιχων interfaces για λειτουργία σε L2, και επίσης ανάθεση διευθύνσεων IP για λειτουργία L3 μεταξύ των routers, εξακολουθεί να μην υπάρχει επικοινωνία μεταξύ του εξυπηρετητή WEB.IT.TEITHE.GR και των υπολογιστών LAB1_PC1 και LAB2_PC1. Για να επιτευχθεί η δρομολόγηση πακέτων μεταξύ δρομολογητών, πρέπει να ληφθούν υπόψιν τα τρία παρακάτω σημεία³:

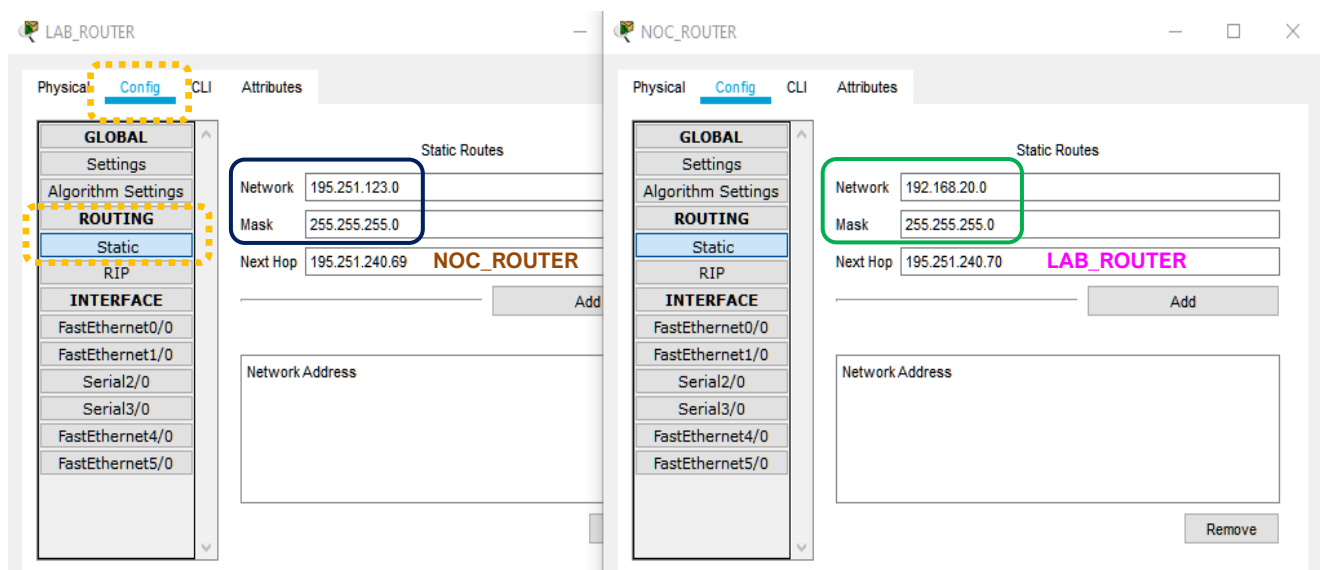
- Οι δρομολογητές προωθούν τα πακέτα βασισμένοι στις πληροφορίες που περιλαμβάνονται, μόνο στον δικό τους πίνακα δρομολόγησης.
- Οι πληροφορίες δρομολόγησης σε έναν δρομολογητή δεν είναι ίδιες με άλλους δρομολογητές του ίδιου τομέα.
- Στην περίπτωση που ορίζεται μια διαδρομή σε ένα πίνακα δρομολόγησης προς ένα απομακρυσμένο δίκτυο, δεν διασφαλίζεται ότι ο απομακρυσμένος δρομολογητής έχει τις ίδιες διαδρομές επιστροφής.

Η δρομολόγηση μεταξύ του 192.251.123.0/24 και των υποδικτύων 192.168.20.0/24 και 192.168.10.0/24 θα ενεργοποιηθεί με επιπλέον εγγραφές στον routing table που **λέγονται διαδρομές (routes)**. Οι στατικές διαδρομές ή εγγραφές τύπου **S – Static** δηλώνουν για τα μη προσπελάσιμα (unreachable) υποδίκτυα ποιο είναι το επόμενο άλμα προς αυτά. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τις IP διευθύνσεις των δρομολογητών για το μεταξύ τους δίκτυο, τα συνδεδεμένα και τα μη προσπελάσιμα από αυτούς υποδίκτυα.

³ Από το <https://www.ccnablog.com/static-routing/>

Δρομολογητής	IPv4	Συνδεδεμένα	Μη προσπελάσιμα
LAB_ROUTER	195.251.240.70	192.168.20.0/24 192.168.10.0/24	195.251.123.0/24
NOC_ROUTER	195.251.240.69	195.251.123.0/24	192.168.20.0/24 192.168.10.0/24

Θα προσθέσουμε στους εκατέρωθεν routers νέες στατικές διαδρομές ώστε να καταστήσουμε το κάθε υποδίκτυο προσπελάσιμο από το άλλο. Παρακάτω υλοποιείται η δρομολόγηση μεταξύ του «πράσινου» και «μπλε» υποδικτύου, ώστε να μπορεί να επικοινωνεί το LAB1_PC1 με τον WEB.IT.TEITHE.GR.



Μετά το πάτημα του πλήκτρου [Add] στους δύο routers, δημιουργούνται οι εγγραφές S,

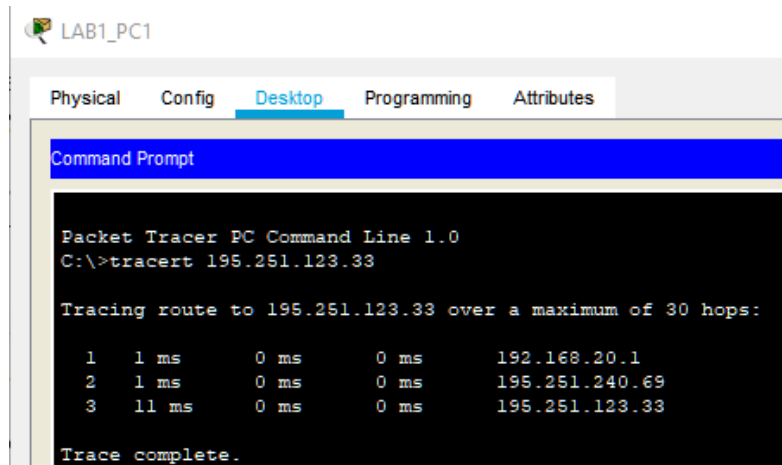
FastEthernet1/0	Network Address	FastEthernet1/0	Network Address
Serial2/0	195.251.123.0/24 via 195.251.240.69	Serial2/0	192.168.20.0/24 via 195.251.240.70
Serial3/0		Serial3/0	
FastEthernet4/0		FastEthernet4/0	
FastEthernet5/0		FastEthernet5/0	

οι οποίες πλέον εμφανίζονται στα routing tables:

Routing Table for LAB_ROUTER					Routing Table for NOC_ROUTER				
Type	Network	Port	Next Hop IP	Metric	Type	Network	Port	Next Hop IP	Metric
C	192.168.10.0/24	FastEthernet1/0	---	0/0	S	192.168.20.0/24	---	195.251.240.70	1/0
C	192.168.20.0/24	FastEthernet0/0	---	0/0	C	195.251.123.0/24	FastEthernet1/0	---	0/0
S	195.251.123.0/24	---	195.251.240.69	1/0	C	195.251.240.64/29	FastEthernet4/0	---	0/0
C	195.251.240.64/29	FastEthernet4/0	---	0/0					

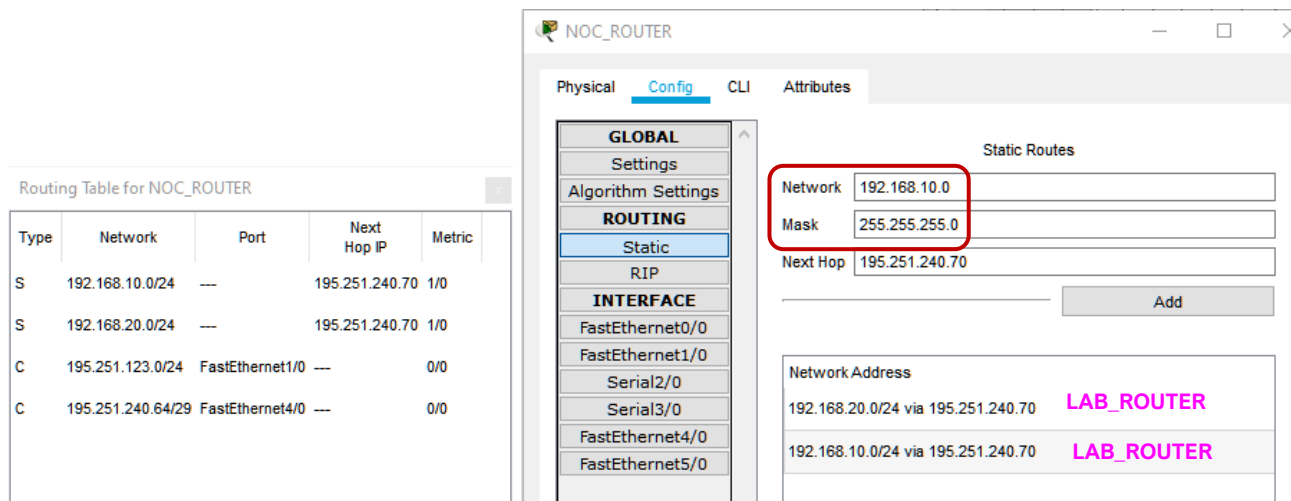
Τρέχοντας από τον υπολογιστή LAB1_PC1 την εντολή `ping 195.251.123.33` θα διαπιστώσουμε ότι πλέον υπάρχει πλήρης υλοποίηση του επιπέδου δικτύου. Τρέχοντας `tracert` θα δούμε τα hops της δρομολόγησης κατ' αντιστοιχία με τις εγγραφές που φτιάξαμε.

1. Gateway του LAB1_PC1
2. Next hop προς το δίκτυο 195.251.123.0/24 από την εγγραφή S στον LAB_ROUTER
3. Προορισμός WEB.IT.TEITHE.GR



Εικόνα 6.14: Λειτουργική δρομολόγηση μεταξύ υποδικτύων 192.168.20.0/24 και 195.251.123.0/24

Για να λειτουργήσει η δρομολόγηση για πακέτα που προορίζονται για το υποδίκτυο 192.168.10.0/24 προερχόμενα από το 195.251.123.0/24, χρειάζεται ακόμα μια εγγραφή S στον NOC_ROUTER, ώστε πλέον το routing table να διαμορφωθεί όπως στην παρακάτω εικόνα



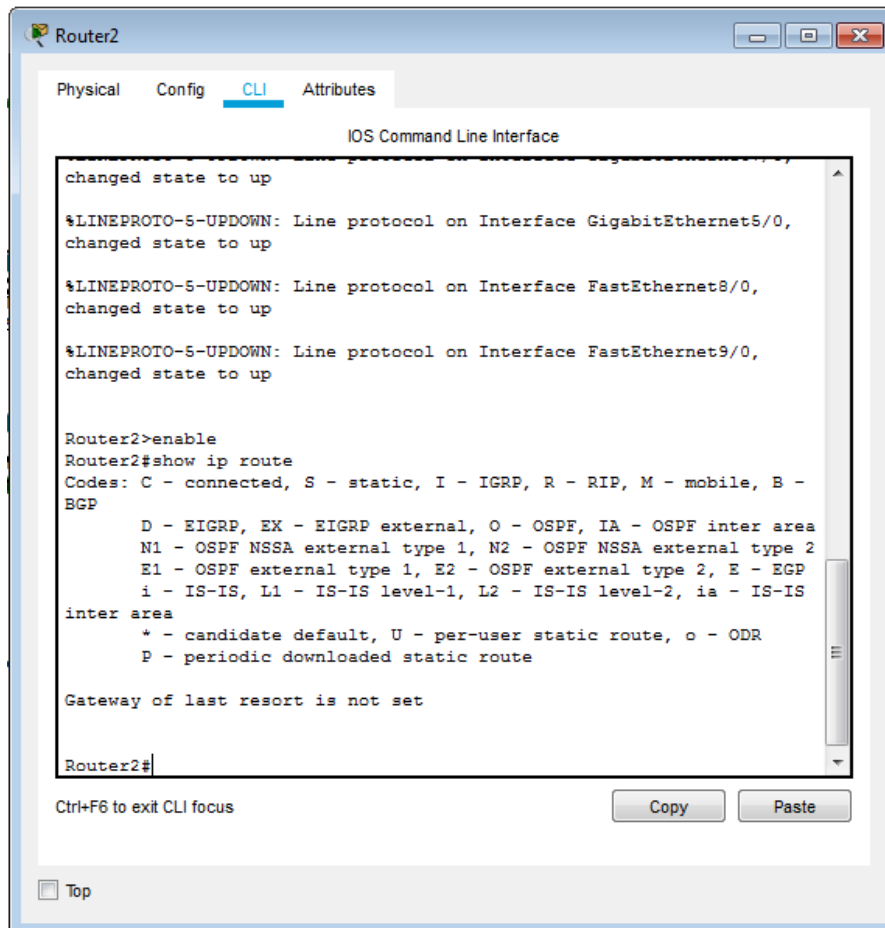
Εικόνα 6.15: Δύο εγγραφές τύπου S για τα δύο υποδίκτυα που υπάρχουν πίσω από τον LAB_ROUTER

Μπορείτε να παρακολουθήσετε και τα παρακάτω videos για ρύθμιση static routing:

- Για 2 routers: <https://www.youtube.com/watch?v=ziDv9esbEG0&t=95s>
- Για 3 routers: <https://www.youtube.com/watch?v=5RldZczu5A&t=440s>

6.2.4 Command Line Interface

Το Cisco Packet Tracer προσομοιώνει του routers της εταιρίας Cisco οι οποίοι έχουν ενσωματωμένο λειτουργικό σύστημα που παρέχει στον διαχειριστή ένα σύνολο εντολών που εκτελούνται από το **Command Line Interface (CLI)** . Στο CPT μπορεί να χρησιμοποιηθεί το CLI για όσους προχωρημένους χρήστες θέλουν να ρυθμίσουν έναν router με εντολές, αντί με την διεπαφή χρήση (GUI). Για παράδειγμα η εμφάνιση του routing table γίνεται με τις εντολές **enable** και **show ip route**.



Εικόνα 6.15: Προσομοίωση του CLI στο CPT.

6.2.3 Δυναμική δρομολόγηση και stub networks.

Στα παραγωγικά δίκτυα, υπάρχουν αλγόριθμοι δρομολόγησης οι οποίοι καθορίσουν την διαδρομή δυναμικά, ενώ οι στατικές διαδρομές υπάρχουν μόνο όταν ένα συγκεκριμένο δίκτυο συνδέεται με ένα stub (ακραίο, απομεινάρι) δίκτυο. Τα stub networks είναι εκείνα τα δίκτυα που μπορούν να προσπελαθούν μέσω ενός μόνο σημείου ή ενός interface. Για αυτόν τον λόγο το traceroute προς την ίδια τοποθεσία ενδέχεται να εμφανίζει διαφορετικά IP στα next hops.

ΑΣΚΗΣΗ 6.1: Πλήρως λειτουργικό επίπεδο δικτύου με χρήση δύο δρομολογητών.

Δουλέψτε πάνω στο **2routers-new.pkt** από τον ιστότοπο του εργαστηρίου. Το αρχείο απαιτεί Cisco Packet Tracer έκδοσης 7.2.2

1. Ελέγξτε τις ρυθμίσεις των υπολογιστών στο υποδίκτυο 10.0.0.0/24, ως προς το αν οι διευθύνσεις IP που έχουν ανατεθεί ανήκουν στο έγκυρο εύρος διευθύνσεων.
2. Ελέγξτε αν χρησιμοποιείται το σωστό gateway IP address και στα δύο συστήματα SUBNET1_PC1 και SUBNET_1_SERVER,.
3. Δοκιμάστε ping από το SUBNET1_PC1 προς το SUBNET_1_SERVER. Πρέπει να λειτουργεί σωστά.
4. Ενεργοποιήστε την ζεύξη μεταξύ των δύο routers.
5. Συμπληρώστε το Gateway στο SUBNET_2_PC2.
6. Ρυθμίστε πλήρως το SUBNET_2_PC3 (IP, Subnet Mask, Gateway).
7. Δοκιμάστε ping από το SUBNET_2_PC2 προς το SUBNET_2_PC3. Πρέπει να λειτουργεί σωστά.
8. Προσθέστε τις στατικές διαδρομές στους ROUTER1 και ROUTER2 ώστε να ολοκληρωθεί σωστά η αμφίδρομη δρομολόγηση μεταξύ των υποδικτύων 10.0.0.0/24 και 30.0.0.0/24
9. Κάντε ping από τον SUBNET1_PC1 προς το gateway του.
10. Κάντε ping από τον SUBNET1_PC1 προς το gateway του άλλου δικτύου
11. Κάντε ping από τον SUBNET1_PC1 προς το SUBNET_2_PC3.
12. Εκτελέστε την traceroute από το 30.0.0.3 προς το 10.0.0.3

ΑΣΚΗΣΗ 6.2: Ολοκλήρωση δρομολόγησης από οποιοδήποτε 1 υποδίκτυο προς 2 άλλα με χρήση τριών δρομολογητών.

Δουλέψτε πάνω στο **3routers-new.pkt** από τον ιστότοπο του εργαστηρίου. Το αρχείο απαιτεί Cisco Packet Tracer έκδοσης 7.2.2

1. Συμπληρώστε όλα τα IP address των R1, R2, R3 για κάθε interface τους.
2. Συμπληρώστε το σωστό gateway σε κάθε υπολογιστή στο υποδίκτυο 192.168.30.0/24. Ελέγξτε την προσβασιμότητα στο gateway από κάποιον υπολογιστή.
3. Συμπληρώστε το σωστό gateway σε κάθε υπολογιστή στο υποδίκτυο 192.168.20.0/24. Ελέγξτε την προσβασιμότητα στο 10.10.20.1 από κάποιον υπολογιστή.
4. Συμπληρώστε το σωστό gateway σε κάθε υπολογιστή στο υποδίκτυο 192.168.10.0/24. Ελέγξτε την προσβασιμότητα στο 10.10.10.2
5. Δημιουργείστε όλες τις εγγραφές στατικής δρομολόγησης ώστε οποιοδήποτε 1 υποδίκτυο να μπορεί να αποστείλει πακέτα IP προς τα άλλα 2.
 - a. Δοκιμή ping από PC0 προς PC2 και από PC0 προς PC4
 - b. Δοκιμή ping από PC3 προς PC1 και από PC3 προς PC5
 - c. Δοκιμή ping από PC4 προς PC1 και από PC4 προς PC3
6. Εκτελέστε την tracert από το PC0 προς το PC5.

ΑΣΚΗΣΗ 6.3: Εύρεση λάθους σε στατική δρομολόγηση

Στο site <https://www.ccnablog.com/static-routing/> υπάρχει ένα λάθος. Μπορείτε να το εντοπίσετε; Bonus +0.5 στον τελικό βαθμό του εργαστηριακού μαθήματος.

6.3 Δρομολόγηση προς το Internet.

6.3.1 Προεπιλεγμένη διαδρομή (default route)

Υποθέστε ότι το δίκτυο **4subnets-2routers.pkt** είναι το δίκτυο της σχολής μας. Η ανάγκη που προκύπτει είναι η σύνδεση του με το διαδίκτυο. Υποθέστε ότι προστίθεται ακόμη μία κάρτα δικτύου (NIC) στο δρομολογητή NOC_ROUTER, με όνομα Serial 0. Μέσω αυτής της κάρτας δικτύου ο NOC_ROUTER θα επικοινωνεί με τον δρομολογητή του Internet Service Provider (ISP), με όνομα ISP_ROUTER. Ο ISP είναι ο οργανισμός ή εταιρία που θα παρέχει πρόσβαση στο internet.

Το IP δίκτυο που θα χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία μεταξύ των δρομολογητών NOC_ROUTER και ISP_ROUTER θα ονομάζεται DR2-RISP και θα είναι το 199.200.201.4/30. Η διεύθυνση 199.200.201.5 θα ανατεθεί στο NIC του RouterISP και η 199.200.201.6 στον NOC_ROUTER.

Θέλουμε οι δρομολογητές του δικτύου να μπορούν αν δρομολογήσουν IP πακέτα σε οποιοδήποτε άγνωστο υποδίκτυο προορισμού. Θα εισαχθούν στατικές διαδρομές στον routing table με χρήση του περιβάλλοντος CLI.

Στον δρομολογητή NOC_ROUTER γράφουμε σε περιβάλλον CLI :

```
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 199.200.201.5
```

Συνήθως αυτήν είναι η τελευταία εγγραφή που κάνουμε στον δρομολογητή που μας συνδέει με τον ISP. Η σημαντική της είναι ότι για οποιοδήποτε δίκτυο (0.0.0.0) με οποιαδήποτε μάσκα (0.0.0.0) προώθησε τα πακέτα με next hop τον router στον ISP (συγκεκριμένο interface του ISP_ROUTER που έχει ανατεθεί 199.200.201.5). Αυτό διαφέρει από το default gateway το οποίο υπάρχει σε υπολογιστές/server και άλλες τερματικές συσκευές αλλά όχι στους δρομολογητές.

Μπορείτε να παρακολουθήσετε το παρακάτω video για default route και default gateway.
https://www.youtube.com/watch?v=XyKxoDPr5_c

ΑΣΚΗΣΗ 6.4: Default Route

Δουλέψτε πάνω στο δίκτυο **3routers-new.pkt** (της άσκησης 6.2) από τον ιστότοπο του εργαστηρίου. Το αρχείο απαιτεί Cisco Packet Tracer έκδοσης 7.2.2

Αν ο δρομολογητής R1 συνδεθεί με κάποιο ISP στο δίκτυο 174.209.101.226 /30, γνωρίζοντας ότι η πλευρά του ISP έχει την διεύθυνση IP που έχει μονό αριθμό στην τέταρτη θέση και η πλευρά του R1 ζυγό, βρείτε την Default route και καταγράψτε την ως απάντηση (αφού βρείτε πρώτα το δίκτυο).