3ο Εργαστήριο

Στόχος Α

Μελέτη των πρωτοκόλλων του επιπέδου μεταφοράς (transport), L4 της στοίβας πρωτοκόλλων Διαδικτύου (TCP/IP).

Περίληψη Θεωρίας

L5 - Επίπεδο Εφαρμογής

Μία διεργασία, που υλοποιεί κάποιο πρωτόκολλο επιπέδου εφαρμογής (L5), έχει δεδομένα προς αποστολή με αποδέκτη μια άλλη διεργασία που υλοποιεί το ίδιο πρωτόκολλο επιπέδου εφαρμογής. Οι δύο διεργασίες σχετίζονται ως προς την μεταξύ τους επικοινωνία με το μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή (client-server), μια κατανεμημένη αρχιτεκτονική εφαρμογών κατά την οποία ο server προσφέρει υπηρεσίες που εξυπηρετούν τον client.

Η μονάδα πληροφορίας (PDU) στο επίπεδο εφαρμογής είναι τα δεδομένα (data) που ανταλλάσσονται μεταξύ client και server. Ένα PDU οποιουδήποτε πρωτοκόλλου του επιπέδου, περιέχει μια κεφαλίδα (header) με πληροφορίες οργανωμένες σε πεδία, που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του διαλόγου μεταξύ των διεργασιών. Π.χ:

- Σε ένα αίτημα HTTP (HTTP request) προς μια διεργασία web server το πεδίο κεφαλίδας `User-Agent` γνωστοποιεί τον τύπο της διεργασίας client, δηλαδή ποιον web browser χρησιμοποιεί ο χρήστης που ζητάει την ιστοσελίδα. Αυτό μπορεί στην συνέχεια να χρησιμοποιηθεί στον server για να στείλει διαφορετική απόκριση (HTTL response) στον client.
- Στην κεφαλίδα του HTTP response στο πεδίο `Server` υπάρχει το είδος του web server.

Γενικά οι κεφαλίδες υποδεικνύουν αν το μήνυμα είναι μία ερώτηση, απάντηση ή και δεδομένα τα οποία ανταλλάξουν οι δύο διεργασίες. Οποιοδήποτε πρωτόκολλο επιπέδου εφαρμογής ορίζει ρητά το/τα πρωτόκολλο(-α) που πρέπει να χρησιμοποιηθούν στο επιπέδου μεταφοράς.

L4 - Επίπεδο Μεταφοράς

Τα πρωτόκολλα επιπέδου μεταφοράς (L4) εξυπηρετούν την μεταφορά δεδομένων που ζητείται από τα πρωτόκολλα επιπέδου εφαρμογής (L5), πλαισιώνοντας τα δεύτερα με πρόσθετη πληροφορία. Οι υπηρεσίες του L4 είναι υλοποιημένες και τρέχουν ως τμήμα του λειτουργικού συστήματος (OS). Με αυτές τα δεδομένα μεταφέρονται από την διεργασία OS του τοπικού υπολογιστή, προς την διεργασία OS του απομακρυσμένου υπολογιστή.

Η μονάδα πληροφορίας (PDU) στο επίπεδο μεταφοράς είναι το τμήμα (segment). Για την αναγνώριση των διεργασιών που ανταλλάσσουν segments σε αυτό το επίπεδο υπάρχουν τα sockets. Σύμφωνα με το αρχικό πρότυπο RFC 147 υπάρχει ένας 32bit αριθμός αναγνώρισης, αλλά θεωρούνται επίσης στην βιβλιογραφία ως συνδυασμός IP/Port.

A1) Wireshark - TCP διαδικασία

Στα Windows βρείτε και εκκινήστε το Wireshark από το εικονίδιο του. Το αντίστοιχο στο λειτουργικό σύστημα Linux είναι το "`wireshark network analyzer for studin`". Αρχικά εμφανίζει μια λίστα με τις διεπαφές δικτύου (network interfaces) που έχει ο υπολογιστής σας. Παρατηρήστε ότι υπάρχει κίνηση δεδομένων σε κάποιες από αυτές. Σε Windows επιλέξτε την "Local Area Connection" που αντιστοιχεί στην ενσύρματη κάρτα δικτύου και στο Linux το "Any".

- Με την επιλογή του interface το Wireshark αρχίζει απευθείας να καταγράφει δεδομένα που διέρχονται από το φυσικό μέσο του δικτύου σας.
- Ανοίξτε ένα web browser, καθαρίστε το προηγούμενο ιστορικό περιήγησης (`Mozilla/Chrome: Shift+Ctrl+Del`) και μεταβείτε στην διεύθυνση του δοκιμαστικού server που σας δόθηκε για αυτό το εργαστήριο.
- Μόλις ολοκληρωθεί το κατέβασμα της σελίδας, επιλέξτε το κουμπί του τερματισμού καταγραφής στο Wireshark.
- Επιλέξτε το κατάλληλο φίλτρο ώστε να εμφανίζονται πληροφορίες οποιουδήποτε πρωτοκόλλου αλλά μόνο μεταξύ του υπολογιστή σας και του δοκιμαστικό server, σε οποιαδήποτε κατεύθυνση. Θυμηθείτε πως χρησιμοποιούμε στο φίλτρο τα ορίσματα `ip.src` και `ip.dst`.

Ερωτήσεις Wireshark - TCP διαδικασία

E3.1 Εντοπίστε το πρώτο αίτημα HTTP και μελετήστε τα πεδία της κεφαλίδας (Info: `GET / HTTP/1.1`). Εντοπίστε την αμέσως επόμενη απόκριση HTTP από τον server και μελετήστε την κεφαλίδα.

E3.2 Παρατηρήστε ότι πριν αρχίσει ο διάλογος του πρωτοκόλλου εφαρμογής HTTP υπάρχει διάλογος του πρωτοκόλλου μεταφοράς TCP. Μελετήστε τα πεδία της κεφαλίδας του TCP για όλα τα segment που ανταλλάχθηκαν πριν αρχίσει ο HTTP διάλογος.

E3.3 Τι πληροφορία περιέχει το πεδίο `Sequence Number` στην κεφαλίδα των TCP segments;

E3.4 Πόσα segment αντάλλαξαν οι δύο μεριές πριν αρχίσουν να αποστέλλουν δεδομένα επιπέδου εφαρμογής (του πρωτοκόλλου HTTP στην περίπτωσή μας);

E3.5 Τι πληροφορία μας δίνει το πεδίο `Timestamps` στην κεφαλίδα του TCP segment που αντιστοιχεί στην πρώτη απόκριση HTTP;

E3.6 Με ποιον τρόπο τερματίζεται η επικοινωνία, που εδώ ονομάζεται TCP σύνδεση (connection);

E3.7 Πόσα segment αντάλλαξαν οι δύο μεριές πριν συμφωνήσουν στον τερματισμό της TCP σύνδεσης;

E3.8 Στην κεφαλίδα υπάρχει το πεδίο Flags. Ποιο flag είναι set (αναμμένο bit) στην περίπτωση τερματισμού μιας TCP σύνδεσης; Παρατηρήστε τα flags στο άνω panel του Wireshark.

E3.9 Ποια port χρησιμοποιήθηκαν από την μεριά του client και ποιά από τη μεριά του server;

E3.10 Όπως ήδη γνωρίζετε από προηγούμενο εργαστήριο ο server ακούει για αιτήματα στην θύρα 80 (listen port 80). Πόσα sockets χρησιμοποιήθηκαν από τον client και ποιοι οι αντίστοιχοι αριθμοί των θυρών τους;

A2) Wireshark - UDP διαδικασία

- Στην γραμμή εντολών Windows καθαρίστε την dns cache με **`ipconfig /flushdns`**
- Ανοίξτε την καταγραφή στο Wireshark για την παρακάτω δικτυακή επικοινωνία:
- Εκτελέστε την εντολή **`dig www.iana.org A`**
- Σταματήστε την καταγραφή στο Wireshark.
- Για το πρωτόκολλο DNS βρείτε σε ποιον server έστειλε το ερώτημα ο υπολογιστής σας.
- Επιλέξτε το κατάλληλο φίλτρο ώστε να εμφανίζονται πληροφορίες οποιουδήποτε πρωτοκόλλου αλλά μόνο μεταξύ του υπολογιστή σας και του DNS server, προς

οποιαδήποτε κατεύθυνση. Θυμηθείτε πως χρησιμοποιούμε στο φίλτρο τα ορίσματα `ip.src` και `ip.dst`.

Ερωτήσεις Wireshark - UDP διαδικασία

E3.11 Μελετήστε τα πεδία της κεφαλίδας του πρώτου UDP segment του DNS διαλόγου.
E3.12 Ποιες διαφορές μεταξύ TCP και UDP εντοπίζετε άμεσα μέσα από τις κεφαλίδες των δύο πρωτοκόλλων του επιπέδου μεταφοράς;
E3.13 Γιατί κατά την γνώμη σας το DNS (L5) χρησιμοποιεί UDP (L4) και όχι TCP (L4);

Στόχος Β

Μελέτη των πρωτοκόλλων του επιπέδου δικτύου (network), L3 της στοίβας πρωτοκόλλων Διαδικτύου. Κατανόηση της μηχανικής των διευθύνσεων του πρωτοκόλλου IP version 4.

Περίληψη Θεωρίας

L3 - Επίπεδο Δικτύου

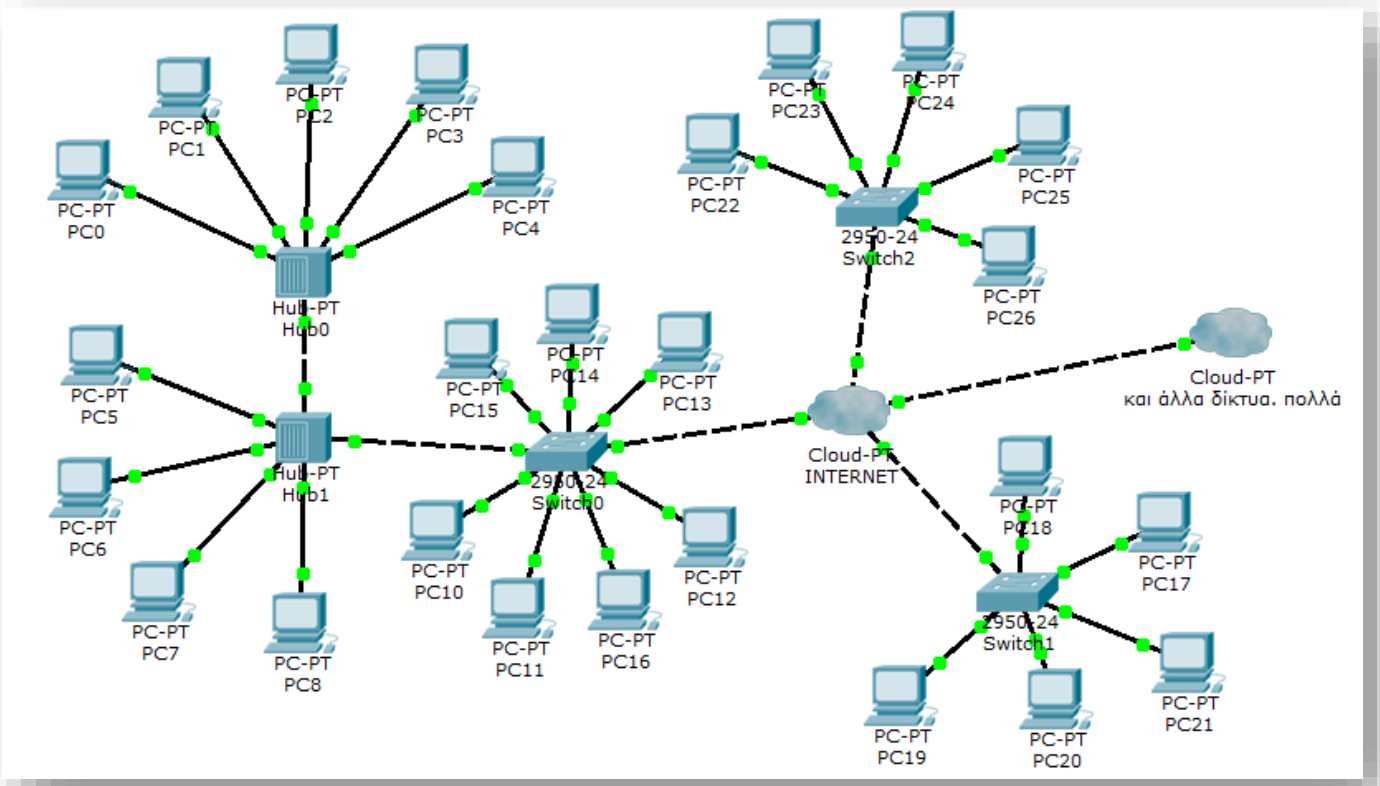
Στο πρωτόκολλο επιπέδου δικτύου (L3) εισέρχεται για πρώτη φορά η έννοια της διευθυνσιοδότησης των δύο μερών της επικοινωνίας, ώστε να μπορεί να γίνει η μεταφορά του segment από την πηγή στον προορισμό. Οι διευθύνσεις αυτές λέγονται Internet Protocol Addresses και σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως οι IP v4 που έχουν μήκος 32bit και γράφονται ως τέσσερις αριθμοί 8bit χωρισμένοι με τελείες (dotted-decimal), π.χ. `192.168.1.1`. Από τους διαθέσιμους $2^{32}-1$ αριθμούς κάποιοι είναι δεσμευμένοι από τον οργανισμό IANA (Αναζητήστε Online: IANA IPv4 Special-Purpose Address Registry), οι οποίοι χρησιμοποιούνται κυρίως σε τοπικά δίκτυα (local area networks). Σήμερα αρχίζει σταδιακά η μετάβαση σε IP v6 με μήκος 128bit που γράφονται ως οκτώ δεκαεξαδικοί αριθμοί των 16bit. Για παράδειγμα: `2001:0db8:85a3:0000:0000:8a2e:0370:7334`

Συνήθως σε κάθε συσκευή (σταθερό υπολογιστή, φορητή συσκευή, συσκευή IoT) ανατίθεται μια μοναδική διεύθυνση IP στο Διαδίκτυο. Σε οικιακούς χρήστες η διεύθυνση IP μπορεί να αλλάζει σε τακτά χρονικά διαστήματα, και αυτή 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/. Επίσης υπάρχει η περίπτωση που σε έναν εξυπηρετητή ανατίθενται πολλαπλές σταθερές (static) διευθύνσεις IP.

Τα πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου (L3) εξυπηρετούν την αναγνώριση πηγής και προορισμού που απαιτείται από τα πρωτόκολλα επιπέδου μεταφοράς (L4), πλαισιώνοντας τα δεύτερα με πρόσθετη πληροφορία. Στην περίπτωση TCP / IP απλά προστίθεται στο segment μια κεφαλίδα, δημιουργώντας την PDU του L3 που ονομάζεται πακέτο (packet).

Β1) Διευθύνσεις IP

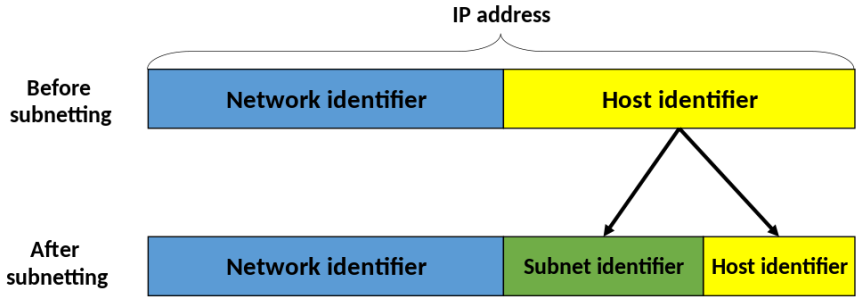
Η εικόνα 1 παρουσιάσει ένα δημόσιο δίκτυο (public network). Οι υπολογιστές συνδέονται μεταξύ τους με συσκευές του L1 ή L2 επιπέδου. Οι συσκευές αυτές επίσης συνδέονται μεταξύ τους. Στο σύννεφο υποθέστε ότι υπάρχουν όλα τα υπόλοιπα δίκτυα τα οποία είναι προσβάσιμα μέσω του Διαδικτύου. Σημειώστε ότι υπάρχουν και δίκτυα που δεν είναι συνδεδεμένα στο διαδίκτυο, για παράδειγμα ένα τοπικό δίκτυο (LAN) για τα κρίσιμα συστήματα ενός αεροσκάφους.



Εικόνα 1: Δημόσιο δίκτυο

Οι δρομολογητές (routers) που μεταφέρουν τα πακέτα μεταξύ δικτύων δεν γνωρίζουν την ακριβή διεύθυνση του συστήματος αλλά μόνο το δίκτυο στο οποίο ανήκουν. Έχουν ένα εσωτερικό **πίνακα δρομολόγησης (routing table)** που καταγράφει τις διαδρομές προς τα δίκτυα προορισμού που προωθούν ένα πακέτο. Όταν φτάσει στο δίκτυο προορισμού θα παραδοθεί στον παραλήπτη.

Το πρωτόκολλο IP δίνει την δυνατότητα στους διαχειριστές δικτύων να ορίσουν μικρότερα υποδίκτυα. Για αυτόν τον λόγο έχουμε μια μάσκα υποδικτύου (subnet mask) που χωρίζει την διεύθυνση IP σε δύο μέρη, το **πρόθεμα δικτύου (network prefix** ή **network identifier)** και το **host identifier**, που είναι αντίστοιχα το **σύστημα** και το **δίκτυο** στο οποίο ανήκει. Έτσι το πρωτόκολλο καθορίζει αν ο host είναι στο ίδιο υποδίκτυο ή σε κάποιο απομακρυσμένο.



Εικόνα 2: Διαχωρισμός διεύθυνσης IP

Μετά την εφαρμογή της μάσκας με την δυαδική πράξη `{IP Address} AND {Subnet Mask}` παίρνουμε το network prefix που θα χρησιμοποιήσει ο δρομολογητής. Με την αντιστροφή της μάσκας και κατόπιν την δυαδική πράξη OR, δηλαδή `(NOT {IP Address}) OR {Subnet Mask})` παίρνουμε την **broadcast address** μια διεύθυνση που χρησιμοποιείται για αποστολή προς όλα τα συνδεδεμένα συστήματα που δέχονται πακέτα IP.

Για παράδειγμα.

IP : 192.168.1.10 (Class C)
Subnet Mask : 255.255.255.0 → Network: 192.168.1 Host: 10
Subnet Mask (Bin) : **1111 1111 . 1111 1111 . 1111 1111 . 0000 0000**
Subnet Mask (Bits) : **/24**
Subnets : 1
Broadcast Address : 192.168.1.255

Επειδή υπάρχουν 24 bits αναμμένα στην μάσκα μπορούμε να αναπαραστήσουμε το υποδίκτυο με την σημειογραφία CIDR **{network identifier}/{mask bits}** δηλαδή 192.168.1.0/24. Στο παραπάνω παράδειγμα το τέταρτο τμήμα της IP διεύθυνσης ενός συστήματος (τα τελευταία 8 bits) δεν μπορεί να είναι 0 ή 255. Το 0 χρησιμοποιείται ως αναγνωριστικό για το δίκτυο και το 255 είναι το αναγνωριστικό για συνδεδεμένα συστήματα που δέχονται πακέτα IP. Έτσι με την παραπάνω ρύθμιση έχουμε κρατήσει θέσεις για τους hosts 1-254 σε 1 υποδίκτυο. Αλλάζοντας την μάσκα αλλάζει το πλήθος των υποδικτύων και των συστημάτων σε αυτά:

IP : 192.168.1.10 (Class C)
Subnet Mask : 255.255.255.128 → Network: 192.168.1.0/25 Host: **10** $\in \{1,..,126\}$
Subnet Mask (Bin) : **1111 1111 . 1111 1111 . 1111 1111 . 1000 0000**
Subnet Mask (Bits) : **/25**
Subnets : 2
Broadcast Address : 192.168.1.127

Παρατηρούμε ότι πλέον έχουμε ένα bit επιπλέον αναμμένο που αποτελεί το subnet identifier στην περίπτωση της κλάσης C, στην οποία ανήκει η διεύθυνση IP. Με αυτήν την μάσκα έχουμε ορίσει 2^1 υποδίκτυα το κάθε ένα με πλήθος διαφορετικών host $2^7 - 2$. Εδώ το 127 λειτουργεί ως wildcard δηλαδή «όλα τα συστήματα». Η κλάση C θεωρεί 24-32 bits της διεύθυνσης IP ως network prefix.

Class A			Class B			Class C		
Bits	Mask	Hosts/SubNet	Bits	Mask	Hosts/SubNet	Bits	Mask	Hosts/SubNet
/8	255.0.0.0	16,777,214	/16	255.255.0.0	65,534	/24	255.255.255.0	254
/9	255.128.0.0	8,388,606	/17	255.255.128.0	32,766	/25	255.255.255.128	126
/10	255.192.0.0	4,194,302	/18	255.255.192.0	16,382	/26	255.255.255.192	62
/11	255.224.0.0	2,097,150	/19	255.255.224.0	8,19	/27	255.255.255.224	30
/12	255.240.0.0	1,048,574	/20	255.255.240.0	4,094	/28	255.255.255.240	14
/13	255.248.0.0	524,286	/21	255.255.248.0	2,046	/29	255.255.255.248	6
/14	255.252.0.0	262,142	/22	255.255.252.0	1,022	/30	255.255.255.252	2
/15	255.254.0.0	131,07	/23	255.255.254.0	510	/31	255.255.255.254	0
						/32	255.255.255.255	0

Ερωτήσεις - Εργασίες

E3.14 Για ποιο λόγο νομίζετε ότι είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός των 32bit μιας IP διεύθυνσης σε δύο μέρη και κατόπιν σε τρία μέρη; Ελέγξτε την υπόθεση που κάνατε με αυτά που αναφέρει το https://www.networkcomputing.com/data-centers/5-subnetting-benefits

E3.15 Μελετήστε την λειτουργία της μάσκας υποδικτύου για την διεύθυνση IP 192.168.1.1 με την χρήση οποιουδήποτε από τα παρακάτω online εργαλεία.

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

E3.18 Έχουμε 13 υπολογιστές στο τοπικό δίκτυο 192.168.1.0. Γράψτε την κατάλληλη μάσκα υποδικτύου σε μορφή: **{network identifier}/{mask bits}** ώστε αφενός να τους χωράει στο ίδιο υποδίκτυο, αφετέρου να υπάρχουν οι λιγότερες μη χρησιμοποιημένες θέσεις host.

E3.19 Αν θέλουμε να δημιουργήσουμε 8 υποδίκτυα σε διεύθυνση IP κλάσης C, πόσα bits πρέπει να υπάρχουν στο τμήμα subnet της μάσκας. Γράψτε την αντίστοιχη μάσκα υποδικτύου.

E3.20 Σε ποια κλάση ανήκει το subnet 255.192.0.0/10

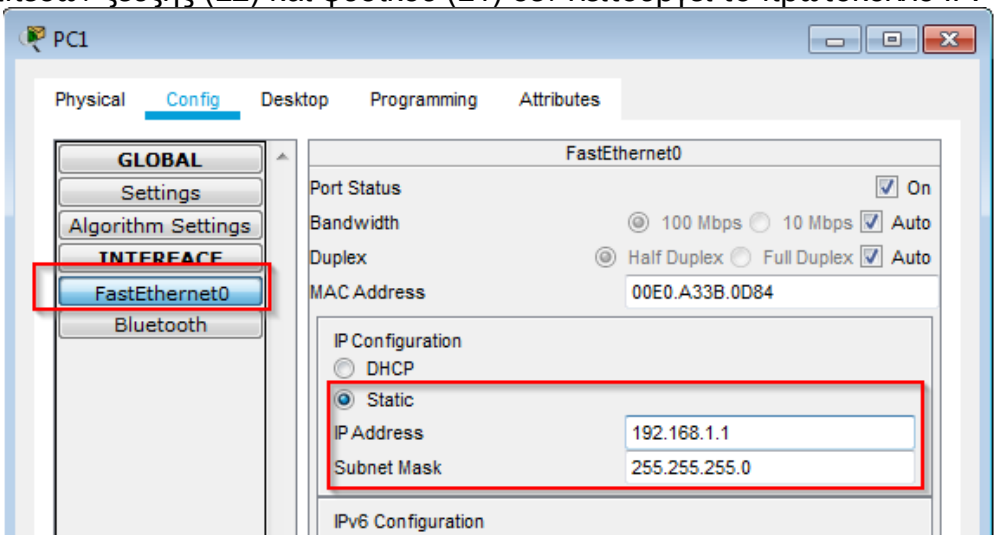
E3.16 Για IP - Subnet Mask: 195.251.123.0 - 255.255.240.0 (κλάση B) προσπαθήστε να κάνετε τις πράξεις για να βρείτε το network prefix και το την broadcast address με το χέρι. Κατόπιν επιβεβαιώστε την ορθότητα με τα online εργαλεία. Ποιο είναι το πλήθος των υποδικτύων, των διαθέσιμων διευθύνσεων ανά υποδίκτυο, ο πρώτος και ο τελευταίος διαθέσιμος αριθμός host;
E3.17 Κάντε το ίδιο για τις παρακάτω διευθύνσεις.

- `10.0.10.0 - 255.128.0.0` (κλάση A)
- `176.10.5.4 - 255.255.255.252` (κλάση C)
- `194.20.0.32 - 255.255.255.224` (κλάση C)

B2) Διευθυνσιοδότηση IPv4

Θα χρησιμοποιήσουμε το κυρίαρχο πρωτόκολλο για το επίπεδο δικτύου σήμερα το IPv4, σε ένα δίκτυο που θα προσομοιώσουμε στο **Cisco Packet Tracer.** Ομαδοποιήστε με όποιον τρόπο επιθυμείτε τα PC που συνδέονται στο έτοιμο δίκτυο που περιέχεται στο **CNLab3.pkt.** Σημειώνεται ότι τα hubs είναι συσκευές μεταγωγής πακέτων που πλέον έχουν αντικατασταθεί από τα switches. Για περισσότερα διαβάστε το https://medium.com/@fiberstoreorenda/do-you-know-the-difference-between-hub-switch-router-b74c2e8a8143

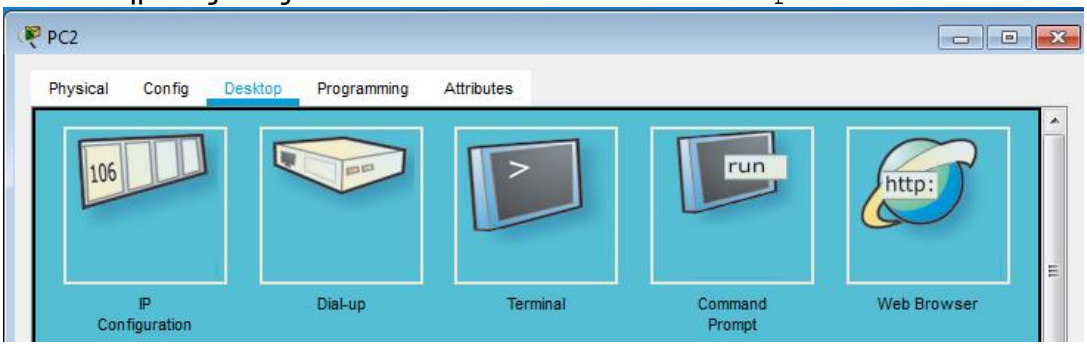
Οργανώστε τις ομάδες σε υποδίκτυα και αναθέστε τις αντίστοιχες στατικές διευθύνσεις IP v4 της μορφής 192.168.x.x για τις μάσκες υποδικτύου που θα δημιουργήσετε. Θυμηθείτε ότι στις συσκευές επιπέδων ζεύξης (L2) και φυσικού (L1) δεν λειτουργεί το πρωτόκολλο IP.



Εικόνα 3: Ρύθμιση IP στο Cisco Packet Tracer

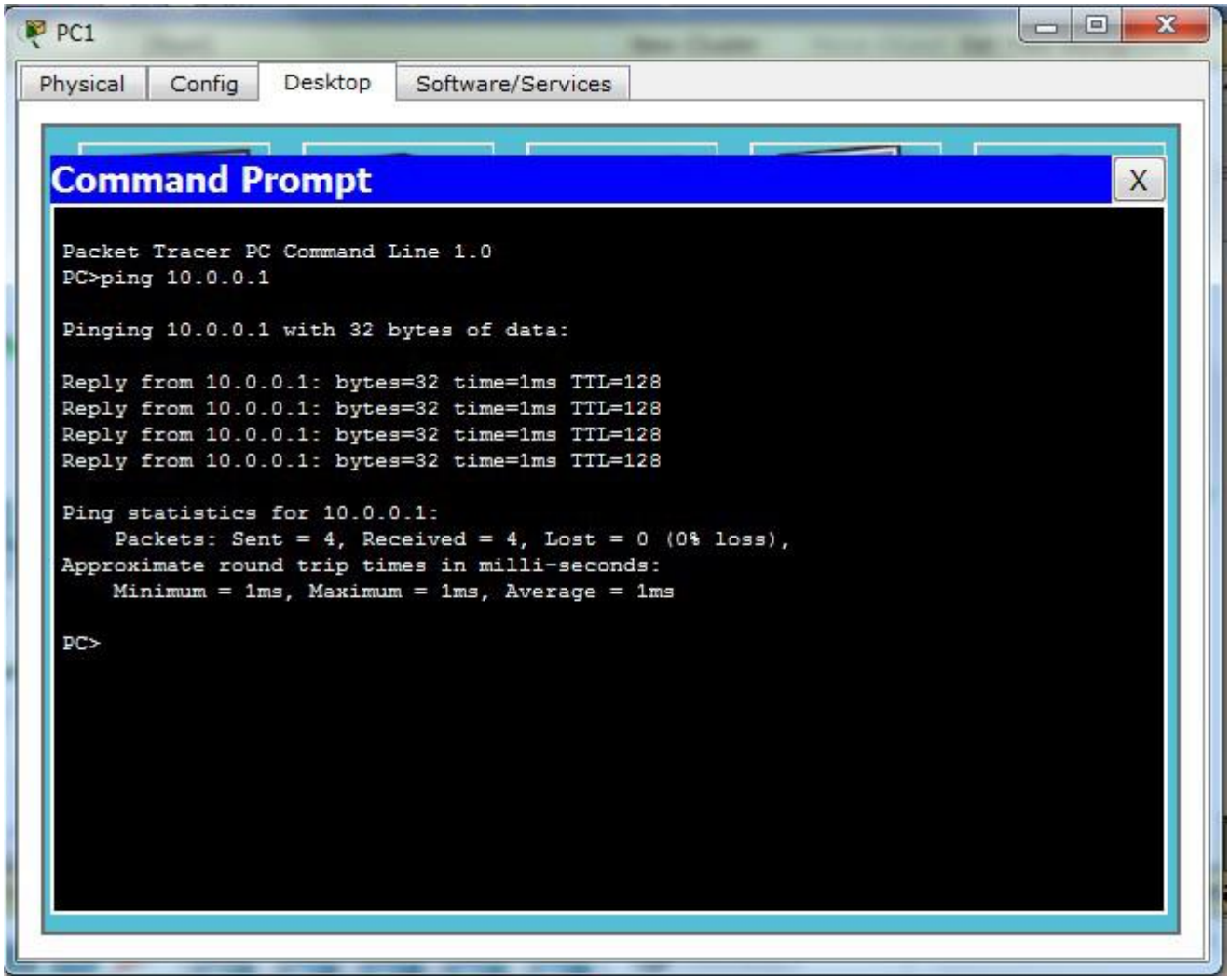
Διαδικασία Ελέγχου Προσβασιμότητας με Ping

Στο Cisco Packet Tracer υπάρχει η δυνατότητα προσομοίωσης της γραμμής εντολών του λειτουργικού συστήματος ενός PC στο εικονίδιο `Command Prompt`.



Εικόνα 4: Προσομοίωση ΛΣ

Μπορείτε να εκτελέσετε την εντολή **`ping {IP Address}`** η οποία θα στείλει πακέτα του πρωτοκόλλου δικτύου ICMP στην **`{IP Address}`.** Με αυτόν τον τρόπο δοκιμάζει αν είναι εφικτή η επικοινωνία μέσω IP πρωτοκόλλου μεταξύ του τοπικού και του απομακρυσμένου συστήματος. Παράλληλα εμφανίζει στοιχεία σχετικά με τον χρόνο που χρειάστηκε για να φτάσουν τα πακέτα αλλά και την απώλεια πακέτων (packet loss).



Εικόνα 5: Ping στο Cisco Packet Tracer

Ερωτήσεις - Εργασίες

E3.20 Τεκμηριώστε τις επιλογές σας ως προς την διευθυνσιοδότηση. Για ποιον λόγο επιλέξατε τις συγκεκριμένες subnet mask.

E3.21 Επιλέξτε έναν υπολογιστή και με την εντολή **`ping`** προσπαθήστε να επικοινωνήσετε μέσω του πρωτοκόλλου IP με υπολογιστές του ίδιου IP δικτύου αλλά και με υπολογιστές από όλα τα υπόλοιπα IP δίκτυα. Τι παρατηρείτε;

E3.22 Αν τυχόν υπάρχει πρόβλημα στην επικοινωνία και εμφανίζονται μηνύματα `Request timed out` σε ποιο επίπεδο δικτύου εντοπίζεται;

E3.23 Αν αλλάξετε μια IP Address εκτός του εύρους των έγκυρων host του subnet, βάσει του subnet mask που επιλέξατε, υπάρχει επικοινωνία με τους υπόλοιπους host; Σε ποιο επίπεδο δικτύου εντοπίζεται το πρόβλημα;