

Εργαστηριακή Άσκηση 4

Εισαγωγή στη δρομολόγηση

Μια από τις βασικότερες λειτουργίες του Internet είναι δρομολόγηση πακέτων IP. Η δρομολόγηση χρησιμοποιείται και σε δίκτυα άλλων ειδών αλλά εδώ θα επικεντρωθούμε σε δίκτυα IP. Με τον γενικό όρο δρομολόγηση αναφερόμαστε είτε στη διαδικασία προώθησης πακέτων από ένα υποδίκτυο σε ένα άλλο, είτε στη διαδικασία επιλογής της διαδρομής αυτής.

Διευθύνσεις IP

Η λειτουργία της δρομολόγησης σε ένα δίκτυο επηρεάζεται σημαντικά από τον τρόπο με τον οποίο οι σχεδιαστές του αποφάσισαν να ορίσουν τις διευθύνσεις των κόμβων του. Η διευθυνσιοδότηση, ο τρόπος με τον οποίο οι κόμβοι του δικτύου αποκτούν μοναδικές διευθύνσεις, είναι κεντρικό θέμα σε όλα τα δίκτυα μετάδοσης δεδομένων. Στα δίκτυα που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο IP, η διευθυνσιοδότηση υποθέτει μια ιεραρχία δύο επιπέδων, δίκτυο και κόμβος, προκειμένου να μειωθεί το μέγεθος του πίνακα δρομολόγησης. Η διεύθυνση IP είναι ένας αριθμός που αποδίδεται στις **διεπαφές** των κόμβων, προκειμένου να καθοριστεί η θέση του κόμβου στο δίκτυο. Η διεύθυνση IP καταχωρείται στο λογισμικό και όχι στο υλικό, όπως οι διευθύνσεις καρτών δικτύου. Στο πρωτόκολλο IPv4 έχει μήκος 32 bit, ενώ στο IPv6 έχει μήκος 128 bit. Στο IPv4 οι διευθύνσεις γράφονται ως δεκαδικοί αριθμοί χωρισμένοι με τελείες (dotted decimal notation) π.χ. 192.168.1.100, ενώ στο IPv6 γράφονται ως δεκαεξαδικοί ακέραιοι αριθμοί των 16 bit χωρισμένοι με άνω και κάτω τελεία, π.χ., 2001:db8::1428:57ab, όπου δύο συνεχόμενες άνω κάτω τελείες υποδηλώνουν μηδενικά που παραλείπονται. Στη συνέχεια της άσκησης όπου γίνεται αναφορά σε **IP** θα υπονοείται η έκδοση **IPv4** αυτού. Τα θέματα της διευθυνσιοδότησης και του τρόπου λειτουργίας του IPv6 θα αποτελέσουν αντικείμενο άλλης εργαστηριακής άσκησης.

Το ότι η διεύθυνση αποδίδεται στη διεπαφή (και όχι στον κόμβο) είναι μια απόφαση του παρελθόντος, όταν άρχισε η ανάπτυξη του πρωτοκόλλου IP, που καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο κατασκευάζουμε, διασύνδεουμε δίκτυα IP και δρομολογούμε την κίνηση σε αυτά. Η διεύθυνση αποτελείται από δύο μέρη, τον αριθμό δικτύου και τον αριθμό host. Το πρώτο μέρος της διεύθυνσης IP, ο αριθμός δικτύου, είναι κοινό για όλες τις διεπαφές που βρίσκονται στο ίδιο δίκτυο. Το δεύτερο μέρος, ο αριθμός host, προσδιορίζει μοναδικά τη διεπαφή εντός του δικτύου. Εάν ο κόμβος του εν λόγω παραδείγματος ήταν συνδεδεμένος και σε ένα άλλο δίκτυο, η αντίστοιχη διεπαφή θα είχε μια διαφορετική διεύθυνση IP.

Στις πρώτες ημέρες λειτουργίας του διαδικτύου, για να γίνεται η δρομολόγηση πιο αποτελεσματικά, οι διευθύνσεις IPv4 είχαν χωριστεί σε κλάσεις. Στα δίκτυα κλάσης A το πρώτο bit είναι 0 και ο αριθμός δικτύου έχει μήκος 1 byte. Οι διευθύνσεις των δικτύων κλάσης A παίρνουν τιμές από 0 έως και 127 και σε καθένα από αυτά μπορούμε να έχουμε 16 εκατομμύρια κόμβους. Στα δίκτυα κλάσης B, το πρώτο bit είναι 1 ενώ το δεύτερο είναι 0 και ο αριθμός δικτύου έχει μήκος 2 byte. Υπάρχουν 16 χιλιάδες τέτοια δίκτυα και το καθένα μπορεί να έχει 65 χιλιάδες κόμβους. Στα δίκτυα κλάσης C, τα πρώτα δυο bit είναι 1 ενώ το τρίτο είναι 0 και το μέρος του δικτύου έχει μήκος 3 byte. Υπάρχουν 2 εκατομμύρια τέτοια δίκτυα, αλλά το καθένα μπορεί να έχει το πολύ 254 κόμβους. Οι διευθύνσεις της κλάσης D έχουν τα τρία πρώτα bit 1 ακολουθούμενα από το bit 0 και χρησιμοποιούνται για πολλαπλή διανομή. Οι εναπομένουσες διευθύνσεις κλάσης E έχουν τα τέσσερα πρώτα bit 1 ακολουθούμενα από το bit 0 και έχουν κρατηθεί για μελλοντική χρήση.

Για παράδειγμα, η διεύθυνση 32.96.64.32 είναι κλάσης A, ο αριθμός δικτύου είναι 32 και ο αριθμός host 96.64.32. Η διεύθυνση 162.96.64.32 είναι κλάσης B, ο αριθμός δικτύου είναι 162.96 και ο αριθμός host 64.32, ενώ η διεύθυνση 192.96.64.32 είναι κλάσης C, ο αριθμός δικτύου είναι 192.96.64 και ο αριθμός host 32.

Υποδίκτυα και μάσκες

Χρησιμοποιώντας μάσκες, επιτρέπεται ο διαμελισμός ενός δικτύου σε πολλά μέρη, υποδίκτυα (subnets). Το μέρος του υποδικτύου καθορίζεται από τη μάσκα υποδικτύου, έναν αριθμό μήκους 32 bit. Το λογικό ΚΑΙ (logical AND) της μάσκας με τη διεύθυνση IP δίνει τον αριθμό δικτύου σύμφωνα με τον εσωτερικό διαμελισμό σε υποδίκτυα. Το μέρος που απομένει από τη διεύθυνση IP, αφαιρουμένου του αριθμού δικτύου, είναι ο αριθμός του host. Το δίκτυο όμως συμπεριφέρεται σαν ένα και μοναδικό προς όλον τον υπόλοιπο κόσμο, παρά τον εσωτερικό του διαμελισμό σε υποδίκτυα.

Στο προηγούμενο παράδειγμα η διεύθυνση 162.96.64.32 με μάσκα 255.255.255.0 υποδηλώνει τον host με αριθμό 32 στο υποδίκτυο 192.96.64 (εντός του δικτύου κλάσης B 162.96).

Πίνακας δρομολόγησης

Για τη λειτουργία της προώθησης κάθε δρομολογητής πρέπει να διατηρεί μια βάση δεδομένων, που τυπικά ονομάζεται Βάση Πληροφορίας Δρομολόγησης (RIB - Routing Information Base), αλλά συνήθως αποκαλείται **πίνακας δρομολόγησης**. Η λειτουργία της δρομολόγησης συνίσταται στο να διατηρείται ο πίνακας δρομολόγησης ενημερωμένος. Οι δρομολογητές χρησιμοποιούν την επικεφαλίδα των πακέτων IP για να αποφασίσουν που θα προωθήσουν τα εισερχόμενα πακέτα και χειρίζονται **τις αλλαγές επικεφαλίδων του στρώματος ζεύξης δεδομένων** στις διασυνδέσεις τους με τα διάφορα δίκτυα. Ο προσδιορισμός των πινάκων δρομολόγησης γίνεται είτε στατικά από τον διαχειριστή του δικτύου είτε κατανεμημένα βάσει αλγορίθμων δρομολόγησης. Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης (RIP, OSPF, BGP) υπολογίζουν τις βέλτιστες υπό κάποιο κριτήριο διαδρομές και αποτυπώνουν το αποτέλεσμα σε πίνακες δρομολόγησης προσθέτοντας για κάθε δίκτυο-προορισμό μια τοπική θύρα εξόδου. Εάν υπάρχουν πολλαπλές διαδρομές διαλέγουν την καλύτερη αποφεύγοντας τη δημιουργία βρόχων.

Επεξεργασία πακέτων IP

Όταν φτάνει ένα πακέτο IP, πρώτα, εξετάζεται η εγκυρότητα της επικεφαλίδας IP. Πακέτα με άκυρες επικεφαλίδες απορρίπτονται. Μετά γίνεται η επεξεργασία των πεδίων επιλογών της επικεφαλίδας IP (εάν υπάρχουν). Κατόπιν αναζητείται η διεύθυνση IP προορισμού στον πίνακα δρομολόγησης και προσδιορίζεται το επόμενο βήμα και η διεπαφή που οδηγεί σε αυτό. Μετά μειώνεται το TTL, θρυμματίζεται το πακέτο (εάν απαιτείται), γίνεται επανυπολογισμός του πεδίου ελέγχου και το πακέτο προωθείται στο επόμενο βήμα μέσω της κατάλληλης διεπαφής, όπου επιτελούνται και οι αλλαγές επικεφαλίδων του στρώματος ζεύξης δεδομένων. Εάν απαιτείται, γίνεται και αποστολή κάποιου μηνύματος ICMP.

Οι ως άνω λειτουργίες είναι οι ίδιες είτε πρόκειται για δρομολογητές είτε για υπολογιστές. Η βασική διαφορά συνίσταται στο ότι η προώθηση (μετάδοση στο επόμενο βήμα) είναι ενεργοποιημένη στους δρομολογητές, ενώ είναι συνήθως απενεργοποιημένη στους υπολογιστές. Με ενεργοποιημένη την προώθηση IP, εάν το πακέτο δεν προορίζεται για το τοπικό σύστημα, θα αποσταλεί σε κάποιο άλλο.

Με απενεργοποιημένη την προώθηση IP, εάν το πακέτο δεν προορίζεται για το τοπικό σύστημα, θα απορριφθεί.

Η προώθηση των πακέτων γίνεται βήμα προς βήμα. Για κάθε πακέτο, ο δρομολογητής βρίσκει την απερχόμενη διεπαφή και μέσω αυτής προωθεί το πακέτο στον επόμενο δρομολογητή. Για την εύρεση της απερχόμενης διεπαφής χρησιμοποιείται η διεύθυνση IP προορισμού και ο πίνακας δρομολόγησης. Η διαδικασία αυτή αποκαλείται δρομολόγηση βασισμένη στον προορισμό (destination based routing). Όμως είναι δυνατό η απόφαση βασισθεί και σε άλλα κριτήρια, όπως η διεύθυνση IP πηγής, το μέγεθος του πακέτου, τη σημασία του πακέτου σε σχέση με άλλα (π.χ. πακέτο υπηρεσίας πραγματικού χρόνου) ή άλλες παραμέτρους. Τότε έχουμε δρομολόγηση βασισμένη σε πολιτικές (policy based routing).

Η προώθηση γίνεται στο στρώμα ζεύξης δεδομένων (όχι δικτύου). Προς τούτο πρέπει να αντιστοιχηθεί η διεύθυνση IP του επόμενου βήματος με τη φυσική του (MAC) διεύθυνση. Για την εύρεση της αντιστοιχίας αυτής χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο ARP. Η προαναφερθείσα διαδικασία, ισχύει για την επίλυση διευθύνσεων *αποκλειστικά* μέσα στην τοπική περιοχή εκπομπής (broadcast domain). Μεταξύ διαφορετικών τοπικών περιοχών εφαρμόζονται οι αλγόριθμοι δρομολόγησης και η επικοινωνία γίνεται στο στρώμα δικτύου (IP). Πακέτα IP που προορίζονται για μηχανές εντός του τοπικού δικτύου, το πακέτο IP προωθούνται απευθείας στον προορισμό. Πακέτα IP που προορίζονται για μηχανές εκτός του τοπικού υποδικτύου αποστέλλονται στην πύλη (gateway) που υποδεικνύουν οι πίνακες δρομολόγησης, την οποία (πύλη) και αφορά η ανάγκη επίλυσης διευθύνσεων MAC.

Ταξική δρομολόγηση (classfull routing)

Η χρήση κλάσεων διευκόλυνε τη λειτουργία της δρομολόγησης. Δεν απαιτείται η γνώση του επόμενου προορισμού για όλες τις διευθύνσεις IP, αρκεί η γνώση του προορισμού μόνο για τα δίκτυα. Δηλαδή, οι δρομολογητές προωθούν τα πακέτα στον προορισμό με βάση το μέρος της διεύθυνσης που προσδιορίζει το δίκτυο (ταξική δρομολόγηση). Με κλάσεις διευθύνσεων, οι κεντρικοί δρομολογητές του διαδικτύου χρειάζονται μία εγγραφή για κάθε δίκτυο κλάσης A, B ή C. Συνολικά απαιτούνται το πολύ 2 εκατομμύρια εγγραφές της μορφής (*δίκτυο* → *διεύθυνση IP*), με τη *διεύθυνση IP* να δηλώνει το επόμενο βήμα όπου θα προωθηθεί η κίνηση που προορίζεται για το *δίκτυο*. Για τη δρομολόγηση της κίνησης *εντός* ενός δικτύου (κατηγορίας A ή B), εμπλέκονται μόνο οι δρομολογητές του εν λόγω δικτύου. Οι εγγραφές σε αυτούς είναι της μορφής (*αυτό το δίκτυο, υποδίκτυο* → *διεύθυνση IP*), με τη *διεύθυνση IP* να δηλώνει το επόμενο βήμα όπου θα προωθηθεί η κίνηση που προορίζεται για το *υποδίκτυο*. Εντός του *υποδικτύου*, τυπικά οι υπολογιστές βρίσκονται μέσα στην ίδια περιοχή εκπομπής (broadcast domain). Οι σχετικές εγγραφές είναι της μορφής (*αυτό το δίκτυο, αυτό το υποδίκτυο*) → *όνομα ζεύξης ή διεύθυνση MAC* είτε (*αυτό το δίκτυο, αυτό το υποδίκτυο, host*) → *διεύθυνση IP*, όπου διεύθυνση IP είναι η διεύθυνση της διεπαφής μέσω της οποίας θα προωθηθεί το πακέτο IP στον *host*.

Αταξική δρομολόγηση μεταξύ περιοχών (CIDR – Classless Inter-Domain Routing)

Αποτελεί λύση του 1993 στο πρόβλημα της έλλειψης διευθύνσεων κλάσης B (για λίγα μεγάλα δίκτυα) και του μεγάλου μεγέθους των πινάκων δρομολόγησης για διευθύνσεις κλάσης C (πολλά μικρά δίκτυα). Στη CIDR εγκαταλείπεται η έννοια της κλάσης/τάξης διευθύνσεων, δηλαδή, του προκαθορισμένου μεγέθους δικτύου. Το μήκος της διεύθυνσης δικτύου είναι πλέον αυθαίρετο και προσδιορίζεται από το μήκος προθέματος (prefix length), που δηλώνεται ως /xx, όπου xx ακέραιος αριθμός από 0 έως 32. Έτσι ο συμβολισμός 192.0.2.0/18 υποδηλώνει ότι τα πρώτα 18 bit αποτελούν τη διεύθυνση του δικτύου και άρα τα υπόλοιπα 14 bit είναι διαθέσιμα για διευθύνσεις host, εκ των οποίων η πρώτη και η τελευταία είναι δεσμευμένες για χρήση ως διευθύνσεις δικτύου και εκπομπής, αντίστοιχα. Δείτε <https://danielmiessler.com/study/subnetting/> για μια πιο αναλυτική περιγραφή της σχέσης μήκους προθέματος, πλήθους υποδικτύων και αριθμού host για κάθε υποδίκτυο. Για να μην διογκώνονται οι πίνακες δρομολόγησης, στη CIDR επιβάλλεται η σύνοψη (aggregation) διευθύνσεων μέσω του μήκους προθέματος. Π.χ., οι διευθύνσεις των ακόλουθων 8 δικτύων 200.23.16.0/23, 200.23.18.0/23, ... 200.23.30.0/23 θα συνοψισθούν ως 200.23.16.0/20.

Αναζήτηση στον πίνακα δρομολόγησης, ταίριασμα μεγαλύτερου προθέματος

Η αναζήτηση στον πίνακα δρομολόγησης εκτελείται κάθε φορά που απαιτείται η αποστολή ενός πακέτου IP. Το αποτέλεσμα της αναζήτησης είναι η διεύθυνση IP του επόμενου βήματος και/ή το όνομα της διεπαφής μέσω της οποίας θα γίνει η αποστολή. Για την αναζήτηση χρησιμοποιείται ως κλειδί το μέρος της διεύθυνσης IP του προορισμού (destination based) που αντιστοιχεί στο δίκτυο. Στην ταξική δρομολόγηση, αυτό προκύπτει αμέσως. Στη CIDR όμως, ο πίνακας δρομολόγησης περιέχει τη **συνοπτική** ομαδοποίηση των εγγραφών δρομολόγησης. Η σύνοψη διευθύνσεων σκοπό έχει να μειώσει το μέγεθος του πίνακα δρομολόγησης, ενδέχεται όμως να υπάρχουν περισσότερες της μίας εγγραφές (προθέματα δικτύου) που να ταιριάζουν σε μια συγκεκριμένη διεύθυνση IP

προορισμού. Εξ αυτών επιλέγεται αυτή με το μεγαλύτερο σε μήκος προθέματος δικτύου (Longest Prefix Match).

Έτσι, σε ένα πίνακα δρομολόγησης όπου το δίκτυο 147.102.128.0/20 είναι προσβάσιμο μέσω του δρομολογητή R1 και το δίκτυο 147.102.138.0/24 μέσω του R2, το πακέτο με προορισμό τον host 147.102.138.50 θα προωθηθεί στον R2 και όχι στον R1. Εάν ο προηγούμενος πίνακας περιείχε εγγραφή για τον υπολογιστή 147.102.138.50, τότε το πακέτο θα αποσταλεί απευθείας μέσω της υποδεικνυόμενης διεπαφής, διότι τώρα έχουμε ταίριασμα μήκους 32 bit. Παρομοίως για πακέτα IP με διεύθυνση προορισμού τον βρόχο επιστροφής (loopback). Τέλος, εάν στον πίνακα δρομολόγησης υπάρχει προκαθορισμένη διαδρομή (default), με τον συμβολισμό της CIDR διαδρομή προς το δίκτυο 0.0.0.0/0, αυτή αντιστοιχεί σε ταίριασμα μηδενικού μήκους προθέματος.

Ειδικές διευθύνσεις

Κάποιες από τις διαθέσιμες διευθύνσεις IP έχουν ειδική χρήση:

- 127.0.0.1 Διεύθυνση βρόχου επιστροφής (loopback). Χρησιμοποιείται ώστε να μπορεί η κάθε συσκευή να στέλνει πακέτα στον εαυτό της.
- 0.0.0.0 Χρησιμοποιείται ως “οποιοδήποτε δίκτυο” ή “αυτός ο υπολογιστής”. Η διεύθυνση 0.0.0.0/32 αναφέρεται σε όλες τις διευθύνσεις που μπορεί να έχει ένας υπολογιστής. Η διεύθυνση 0.0.0.0/0 αναφέρεται σε όλες τις διευθύνσεις του διαδικτύου (διευθύνσεις μηδενικού προθέματος).
- 255.255.255.255 Διεύθυνση εκπομπής.

Ιδιωτικές διευθύνσεις

Υπάρχει μια σειρά διευθύνσεων που ονομάζονται ιδιωτικές (private), διότι δεν δρομολογούνται στο δημόσιο Internet. Χρησιμοποιούνται σε ιδιωτικά δίκτυα για επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών στο εσωτερικό τους. Σε περίπτωση ανάγκης επικοινωνίας με το Internet μεταφράζονται σε δημόσιες διευθύνσεις μέσω της τεχνικής Network Address Translation (NAT). Οι ιδιωτικές διευθύνσεις είναι οι εξής: 10.0.0.0/8, 172.16.0.0/12 και 192.168.0.0/16 για δίκτυα πελατών (οικιακά, επαγγελματικά ή επιχειρήσεων) καθώς και 100.64.0.0/10 για δίκτυα παρόχων ISP.

Τοπικές ανά ζεύξη διευθύνσεις

Οι διευθύνσεις 169.254.0.0/16 έχουν νόημα και είναι μοναδικές μόνο σε μία ζεύξη. Επιτρέπουν την επικοινωνία μηχανημάτων που είναι συνδεδεμένα πάνω σε αυτή τη ζεύξη, αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δρομολόγηση.

Δρομολόγηση μεταξύ VLAN (router-on-a-stick)

Στην περίπτωση υπολογιστών συνδεδεμένων σε διαφορετικά VLAN, όπως είδατε στην Εργαστηριακή Άσκηση 3, δεν είναι δυνατή η απευθείας επικοινωνία, ακόμη και εάν αυτοί είναι συνδεδεμένοι στον ίδιο φυσικό μεταγωγέα. Οι υπολογιστές ανήκουν σε διαφορετικά δίκτυα (διαφορετικές περιοχές εκπομπής) και οι μεταγωγείς δεν προωθούν Ethernet πλαίσια μεταξύ αυτών παρότι συνυπάρχουν στον ίδιο φυσικό εξοπλισμό. Για την επικοινωνία απαιτείται ένας δρομολογητής που συνδέεται στα VLAN και προωθεί πακέτα IP μεταξύ αυτών ως εάν αυτά ήταν διαφορετικά φυσικά LAN. Όμως δεν είναι καθόλου πρακτικό να συνδέεται μία θύρα δρομολογητή σε κάθε ένα από τα VLAN. Εκτός και εάν υπάρχουν λίγα VLAN και λίγοι υπολογιστές, δεν θα επαρκούν (ή μετά από κάποια επέκταση του δικτύου δεν θα επαρκέσουν) οι διαθέσιμες θύρες των μεταγωγέων.

Με τον όρο (router-on-a-stick) περιγράφουμε ένα τύπο δρομολογητή με **μία** φυσική διεπαφή που μπορεί να διαχειριστεί την κίνηση μεταξύ πολλών VLAN. Η φυσική κάρτα του δρομολογητή πρέπει να ρυθμιστεί ως κύκλωμα (trunk) και να συνδεθεί σε μια πόρτα του μεταγωγέα που λειτουργεί με τον αντίστοιχο τρόπο. Ο δρομολογητής επομένως θα λαμβάνει πλαίσια με ετικέτες VLAN (VLAN tag) και θα τα δρομολογεί εσωτερικά μεταξύ εικονικών διεπαφών πάνω από την ίδια φυσική διεπαφή

προς το αντίστοιχο VLAN προορισμού. Οι εικονικές διεπαφές του δρομολογητή έχουν τις δικές τους διευθύνσεις IP και εντάσσονται στα αντίστοιχα VLAN ώστε να μπορούν να επικοινωνούν με τους υπολογιστές του εκάστοτε VLAN. Ο δρομολογητής είναι η πύλη για τους υπολογιστές των VLAN (και το διαδίκτυο). Προφανώς, εάν ο μεταγωγέας έχει τη δυνατότητα δρομολόγησης, Layer 3 switch, δεν χρειάζεται χωριστός δρομολογητής.

Δικτυακές ρυθμίσεις στο αρχείο `rc.conf`

Τα λειτουργικά συστήματα UNIX έχουν συγκεκριμένα αρχεία παραμετροποίησης, όπου ο διαχειριστής μπορεί να ορίσει μεταβλητές περιβάλλοντος που επηρεάζουν τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος. Για να μπορεί ένα μηχάνημα FreeBSD να επικοινωνεί με άλλα εκτός του τοπικού του IP υποδικτύου, τυπικά, πρέπει να ορίσετε μια προεπιλεγμένη πύλη, δίνοντας την εντολή

```
route add default <IP address>
```

με διεύθυνση IP αυτήν του προεπιλεγμένου δρομολογητή. Όμως η ρύθμιση αυτή δεν θα διατηρηθεί μετά από επανεκκίνηση. Για αυτό πρέπει να προστεθεί στο αρχείο παραμετροποίησης `/etc/rc.conf` η παρακάτω γραμμή:

```
defaultrouter="<IP address>"
```

Επιπλέον, ένα σύστημα FreeBSD μπορεί να ρυθμισθεί ώστε να λειτουργήσει ως δρομολογητής IP (ή προκαθορισμένη πύλη για ένα δίκτυο) αρκεί να έχει πρόσβαση σε δύο διαφορετικά δίκτυα. Εν γένει, κάθε δίκτυο συνδέεται σε διαφορετική διεπαφή, χωρίς να αποκλείεται και η περίπτωση πολλαπλών υποδικτύων στην ίδια φυσική κάρτα (με πολλαπλές διευθύνσεις IP). Για να προωθούνται πακέτα μεταξύ των καρτών δικτύου, πρέπει να ενεργοποιηθεί η λειτουργία προώθησης που από προεπιλογή είναι απενεργοποιημένη. Μπορείτε να το κάνετε δίνοντας την ακόλουθη εντολή, ως χρήστης `root`:

```
sysctl net.inet.ip.forwarding=1
```

όμως η ρύθμιση δεν θα διατηρηθεί μετά από επανεκκίνηση. Για να ξεκινά το μηχάνημα ως δρομολογητής πρέπει να προστεθεί στο αρχείο παραμετροποίησης `/etc/rc.conf` η παρακάτω γραμμή:

```
gateway_enable="YES" # Set to YES if this host will be a gateway
```

Στο αρχείο `/etc/rc.conf` μπορείτε επίσης να ορίσετε το όνομα του μηχανήματος και τις διευθύνσεις IP των καρτών δικτύου, όπως στο παρακάτω παράδειγμα:

```
hostname="router.example.com"
ifconfig_em0="inet 10.10.10.100 netmask 255.255.255.0"
ifconfig_em1="inet 10.10.20.100 netmask 255.255.255.0"
```

Εάν θέλετε να αποδώσετε κατά την εκκίνηση δυναμικά διεύθυνση IP σε μια διεπαφή, προσθέστε την παρακάτω γραμμή, όπου `<interface>` το όνομα της διεπαφής:

```
ifconfig_<interface>="DHCP"
```

Άσκηση 1 (προετοιμασία): Διευθύνσεις IP

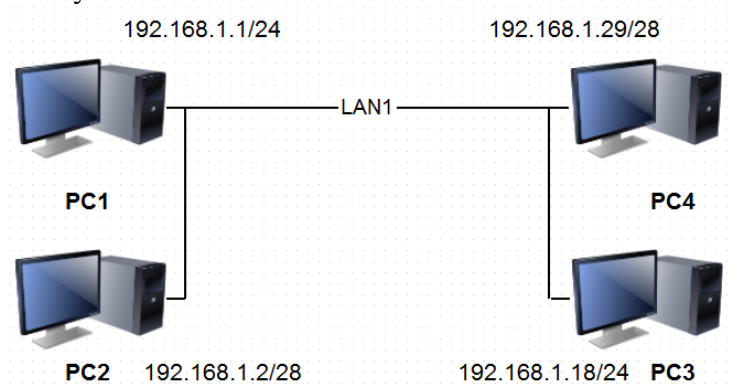
Με βάση τα παραπάνω να απαντήσετε στο σπίτι, προτού έρθετε στο εργαστήριο, τις παρακάτω ερωτήσεις:

- 1.1 Ποια είναι η διαφορά της διεύθυνσης IP από τον αριθμό δικτύου;
- 1.2 Ποιος είναι ο αριθμός δικτύου της διεύθυνσης 192.220.147.2/22;
- 1.3 Σε έναν οργανισμό έχει αποδοθεί το μπλοκ διευθύνσεων δικτύου 198.20.0.0/22. Πόσα υποδίκτυα χωρητικότητας 100 συσκευών το καθένα μπορούν να δημιουργηθούν;
- 1.4 Ποια κλάση διευθύνσεων IP παρέχει 254 διευθύνσεις για συσκευές;

- 1.5 Ποιες από τις παρακάτω διευθύνσεις είναι ιδιωτικές;
- 15.0.0.1
 - 10.50.10.10
 - 168.192.5.25
 - 172.33.155.20
 - 192.168.56.207
- 1.6 Πώς μπορεί ο δρομολογητής να καταλάβει αν μπορεί να στείλει απευθείας πακέτα σε κάποια συσκευή μέσα από τις διεπαφές του;
- 1.7 Ποια είναι η διεύθυνση εκπομπής στο δίκτυο 10.50.10.0/23;
- 1.8 Ποια είναι η κλάση της διεύθυνσης 208.23.55.11;
- 1.9 Ποιας κλάσης (A, B, C ή D) είναι οι διευθύνσεις IP του ΕΜΠ;
- 1.10 Ποιο είναι το πλήθος των διευθύνσεων που είναι διαθέσιμες για συσκευές στο δίκτυο 147.102.0.0/17;
- 1.11 Χωρίσετε το μπλοκ διευθύνσεων 10.11.12.0/24 με τέτοιο τρόπο ώστε να εξυπηρετήσετε τέσσερα υποδίκτυα με 100, 60, 20 και 10 υπολογιστές το καθένα;
- 1.12 Στην προηγούμενη κατανομή υπάρχει χώρος για ένα ακόμη υποδίκτυο; Εάν ναι, πόσους υπολογιστές μπορεί να έχει;
- 1.13 Σας έχουν διατεθεί τα παρακάτω μπλοκ διευθύνσεων IPv4 171.12.4.0/24, 171.12.5.0/24, 171.12.6.0/24, 171.12.7.0/24 και 171.12.8.0/24. Πώς μπορείτε να τις συντημήσετε;

Άσκηση 2: Ένα απλό δίκτυο

Στο VirtualBox θα κατασκευάσετε τοπικό δίκτυο χρησιμοποιώντας 4 εικονικά μηχανήματα με διευθύνσεις IP και μάσκες υποδικτύων όπως στο σχήμα. Για τα PC θα δημιουργήσετε τέσσερα εικονικά μηχανήματα, PC1, PC2, PC3 και PC4, με μία κάρτα δικτύου το καθένα, χρησιμοποιώντας το αρχείο FreeBSD12.4.ova¹ που κατασκευάσατε στην Εργαστηριακή Άσκηση 2. Όλες οι κάρτες δικτύου θα πρέπει να βρίσκονται σε κατάσταση εσωτερικής δικτύωσης (internal). Ονομάστε το τοπικό δίκτυο “LAN1” και αποδώστε διευθύνσεις IP όπως στο σχήμα. Για συντομία μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τη διαδικασία κλωνοποίησης του πρώτου εικονικού μηχανήματος που θα δημιουργήσετε. Για εξοικονόμηση χώρου στο δίσκο μπορείτε να επιλέξετε συνδεδεμένους (linked) αντί πλήρεις (full) κλώνους.



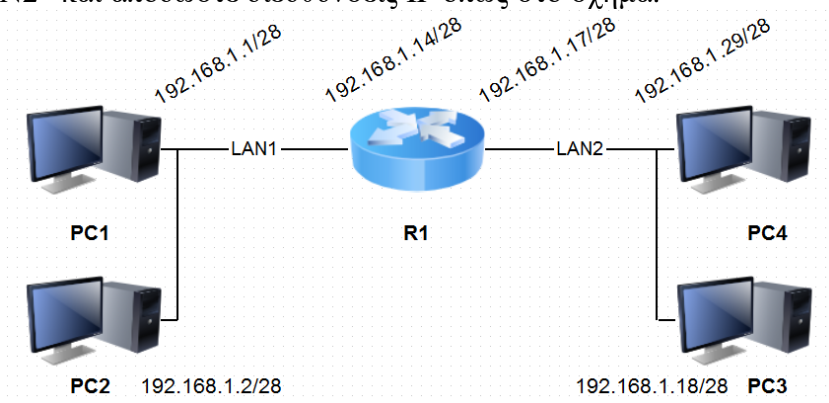
Απαντήστε τις παρακάτω ερωτήσεις καταγράφοντας παράλληλα, όπου απαιτείται, την ακριβή σύνταξη των εντολών που χρησιμοποιήσατε.

¹ Επίσης μπορείτε να το βρείτε στα μηχανήματα του PC Lab στο δικτυακό δίσκο Y, φάκελος VMs, είτε να το κατεβάσετε με ανώνυμο ftp από το edu-dy.cn.ntua.gr επιλέγοντας δυαδικό τρόπο μεταφοράς.

- 2.1 Χρησιμοποιήσατε την επιλογή “Generate new MAC addresses for all network adapters” κατά τη δημιουργία των εικονικών μηχανημάτων; Αιτιολογήστε.
- 2.2 Κάντε ping από το PC1 στο PC2 και σημειώστε το αποτέλεσμα. Παρομοίως, από το PC1 στο PC3 και από το PC1 στο PC4.
- 2.3 Επαναλάβετε από το PC2 προς τα PC3 και PC4.
- 2.4 Στη συνέχεια από το PC4 κάντε ping προς τα PC1, PC2 και PC3.
- 2.5 Επαναλάβετε από το PC3 προς τα PC1 και PC2.
- 2.6 Εξηγήστε για ποιο λόγο εμφανίζεται το μήνυμα “No route to host” στα αποτελέσματα ορισμένων από τα προηγούμενα ping.
- 2.7 Εξηγήστε για ποιο λόγο δεν λαμβάνετε κάποια απάντηση σε ορισμένα από τα προηγούμενα ping.
- 2.8 Αλλάξτε τη μάσκα υποδικτύου ώστε να είναι 255.255.255.240 σε όλα τα εικονικά μηχανήματα.
- 2.9 Ποια από τα προηγούμενα επιτυχή ping αποτυγχάνουν τώρα;
- 2.10 Τι άλλαξε τώρα στα ping όπου πριν δεν λαμβάνατε απάντηση;

Άσκηση 3: Ένα απλό δίκτυο με δρομολογητή

Στο VirtualBox θα κατασκευάσετε το ακόλουθο δίκτυο χρησιμοποιώντας τα 4 εικονικά μηχανήματα που δημιουργήσατε προηγουμένως. Για τον δρομολογητή R1 θα δημιουργήσετε ένα εικονικό σύστημα με δύο κάρτες δικτύου βασισμένο στο FreeBSD12.4.ova. Όλες οι κάρτες δικτύου θα πρέπει να βρίσκονται σε κατάσταση εσωτερικής (internal) δικτύωσης. Ονομάστε τα δύο τοπικά δίκτυα ως “LAN1” και “LAN2” και αποδώστε διευθύνσεις IP όπως στο σχήμα.



Προτού ξεκινήσετε, εάν υπάρχει, διαγράψτε το αρχείο /etc/resolv.conf από τα εικονικά μηχανήματα. Απαντήστε τις παρακάτω ερωτήσεις καταγράφοντας παράλληλα, όπου απαιτείται, την ακριβή σύνταξη των εντολών που χρησιμοποιήσατε.

- 3.1 Πώς αλλάξατε το εσωτερικό δίκτυο όπου βρίσκονται τα PC3 και PC4;
- 3.2 Στον R1 ξεκινήστε μια καταγραφή στο LAN1. Κάντε ping από το PC1 στη διεπαφή του R1 στο LAN1. Παρατηρείτε πακέτα ARP και/ή ICMP;
- 3.3 Στον R1 ξεκινήστε νέα καταγραφή στο LAN2. Κάντε ping από το PC3 στη διεπαφή του R1 στο LAN2. Παρατηρείτε πακέτα ARP και/ή ICMP;
- 3.4 Δοκιμάστε τώρα να κάνετε ping από το PC1 στο PC3. Τι παρατηρείτε; Παράγονται πακέτα ARP και/ή ICMP στο LAN1 ή στο LAN2;
- 3.5 Δοκιμάστε τώρα να κάνετε ping από το PC3 στο PC1. Τι παρατηρείτε; Παράγονται πακέτα ARP και/ή ICMP στο LAN1 ή στο LAN2;
- 3.6 Για ποιο λόγο νομίζετε ότι απέτυχε το ping προηγουμένως;

- 3.7 Ποια είναι τα περιεχόμενα του πίνακα ARP στο PC1;
- 3.8 Ποια είναι τα περιεχόμενα του πίνακα ARP στο PC2;
- 3.9 Ποια είναι τα περιεχόμενα του πίνακα ARP στο R1;
- 3.10 Καθαρίστε τον πίνακα ARP στον R1 και δείτε τα περιεχόμενα ξανά. Τι παρατηρείτε;
- 3.11 Ξεκινήστε ένα tcpdump σε μια νέα κονσόλα στον R1, καταγράφοντας τα μηνύματα ARP και ICMP στο LAN1. Στην αρχική κονσόλα τρέξτε την εντολή “ping -c 1 192.168.1.1” και μετά “ping -c 1 192.168.1.2”.
- 3.12 Ποια είναι τώρα τα περιεχόμενα του πίνακα ARP στον R1; Τεκμηριώστε την απάντησή σας.
- 3.13 Ποια είναι τώρα τα περιεχόμενα του πίνακα ARP στο PC1; Τεκμηριώστε την απάντησή σας.
- 3.14 Επαναλάβετε την καταγραφή στο LAN2 κάνοντας τώρα “ping -c 1 192.168.1.18” και μετά “ping -c 1 192.168.1.29”. Τι αλλάζει στον πίνακα ARP του R1;
- 3.15 Καταγράψτε με τη βοήθεια του πίνακα ARP την αντιστοιχία όλων των διευθύνσεων IP με τις αντίστοιχες διευθύνσεις MAC.
- 3.16 Στον R1 ξεκινήστε μια καταγραφή στο LAN1 και από μια άλλη κονσόλα του προσπαθήστε να επικοινωνήσετε με ένα ανύπαρκτο σύστημα στο LAN1, π.χ. “ping -c 3 192.168.1.5”. Παράγονται μηνύματα ICMP και ARP σε αυτή την περίπτωση; Εξηγήστε.
- 3.17 Αμέσως μετά την ολοκλήρωση της εντολής ping, τι δείχνει ο πίνακας ARP του R1 για το ανύπαρκτο σύστημα;
- 3.18 Επαναλάβετε το ping αυξάνοντας σταδιακά το πλήθος δοκιμών από 3 σε 6 έχοντας κάθε φορά διαγράψει προηγουμένως τα περιεχόμενα του πίνακα ARP. Τι παρατηρείτε;

Άσκηση 4: Προεπιλεγμένος δρομολογητής

Προκειμένου να υπάρξει επικοινωνία μεταξύ των εικονικών υπολογιστών στα LAN1 και LAN2, θα πρέπει το σύστημα R1, που διαθέτει 2 κάρτες δικτύου, να λειτουργήσει ως δρομολογητής και στα PC1 να ορισθεί αυτός ως προεπιλεγμένη πύλη.

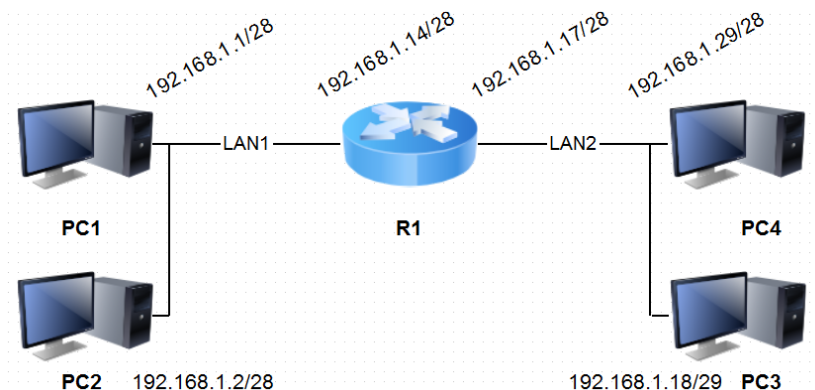
Απαντήστε τις παρακάτω ερωτήσεις καταγράφοντας παράλληλα, όπου απαιτείται, την ακριβή σύνταξη των εντολών που χρησιμοποιήσατε.

- 4.1 Ενεργοποιήστε τη λειτουργία προώθησης πακέτων IPv4 στον R1.
- 4.2 Τι πρέπει να κάνετε προκειμένου η προηγούμενη ρύθμιση να παραμένει και μετά από επανεκκίνηση του μηχανήματος;
- 4.3 Δοκιμάστε πάλι την εντολή ping από το PC1 στο PC3. Υπάρχει διαφορά;
- 4.4 Με τη βοήθεια της εντολής netstat -rn δείτε τον πίνακα δρομολόγησης για το IPv4 στο PC1. Υπάρχει διαδρομή για το LAN2;
- 4.5 Στο εικονικό μηχάνημα PC1 ορίστε ως προεπιλεγμένη πύλη τον δρομολογητή R1.
- 4.6 Ποια εγγραφή προστέθηκε στον πίνακα δρομολόγησης του PC1;
- 4.7 Δοκιμάστε πάλι την εντολή ping από το PC1 στο PC3. Τι παρατηρείτε;
- 4.8 Με χρήση του tcpdump ελέγξτε εάν παράγονται πακέτα ICMP στο LAN1 και το LAN2. Υπάρχει διαφορά σε σχέση με πριν; Εξηγήστε τι συμβαίνει.
- 4.9 Στο εικονικό μηχάνημα PC3 ορίστε ως προεπιλεγμένη πύλη τον δρομολογητή R1.
- 4.10 Δοκιμάστε πάλι την εντολή ping από το PC1 στο PC3. Υπάρχει τώρα επικοινωνία; Τεκμηριώστε την απάντησή σας.
- 4.11 Εκτελέστε την εντολή traceroute από το PC1 στο PC3. Πόσα βήματα βλέπετε;
- 4.12 Καθαρίστε τους πίνακες ARP σε όλα τα εικονικά μηχανήματα (PC1, PC3 και R1).

- 4.13 Στον δρομολογητή R1 ξεκινήστε δύο καταγραφές, ώστε να συλλάβετε όλα τα πακέτα στο LAN1 και όλα τα πακέτα στο LAN2, φροντίζοντας να εμφανίζονται στην οθόνη όσο το δυνατόν περισσότερες λεπτομέρειες καθώς και οι διευθύνσεις MAC των πλαισίων που τα μεταφέρουν.
- 4.14 Ακολουθώς κάντε ring από το PC1 στο PC3 στέλνοντας ένα μόνο πακέτο.
- 4.15 Προσδιορίστε τη διεύθυνση πηγής και προορισμού στις επικεφαλίδες Ethernet και IP για τα μηνύματα ICMP Echo Request στο LAN1.
- 4.16 Προσδιορίστε τη διεύθυνση πηγής και προορισμού στις επικεφαλίδες Ethernet και IP για τα μηνύματα ICMP Echo Request στο LAN2.
- 4.17 Συμβουλευόμενοι την αντιστοιχία διευθύνσεων IP και MAC που καταγράψατε προηγουμένως στην ερώτηση 3.15, εξηγήστε πώς αλλάζουν οι διευθύνσεις Ethernet και IP καθώς το πακέτο προωθείται από τον δρομολογητή.
- 4.18 Από νέα κονσόλα στο PC1 συνδεθείτε με SSH στο PC3.
- 4.19 Στο PC1 χρησιμοποιήστε την εντολή netstat -an σε συνδυασμό με τη grep ώστε να δείτε πληροφορίες για την παραπάνω σύνδεση. Ποιο πρωτόκολλο μεταφοράς χρησιμοποιείται, ποια είναι η τοπική και ποια η απομακρυσμένη θύρα της σύνδεσης αυτής;
- 4.20 Στον R1 χρησιμοποιήστε τώρα την εντολή netstat -p ... ώστε να εμφανίσετε πληροφορίες για το πρωτόκολλο της παραπάνω σύνδεσης. Τι παρατηρείτε και γιατί;

Άσκηση 5: Προθέματα δικτύου και δρομολόγηση

Σε αυτή την άσκηση θα δείτε με ποιο τρόπο οι υπολογιστές χρησιμοποιούν τα προθέματα δικτύου (ή τις μάσκες) προκειμένου να προσδιορίσουν το κατά πόσο ένα πακέτο μπορεί να παραδοθεί απευθείας στον προορισμό του ή πρέπει να αποσταλεί για δρομολόγηση. Για το σκοπό αυτό θα τροποποιήσετε το δίκτυο της άσκησης 3, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Όλα τα εικονικά μηχανήματα θα πρέπει να έχουν ρυθμισμένη ως προεπιλεγμένη πύλη για δρομολόγηση τον R1. Σημειώστε ότι όταν αλλάξετε τη διεύθυνση IP της κάρτας στα PC, η προκαθορισμένη διαδρομή διαγράφεται από τον πίνακα δρομολόγησης.



Όπως πριν έχουμε δύο υποδίκτυα, όμως από την προοπτική του PC3, μόνο ο R1 είναι στο ίδιο υποδίκτυο, ενώ όλα τα άλλα μηχανήματα είναι σε διαφορετικά υποδίκτυα. Σε αυτό το σημείο υπενθυμίζουμε ότι οι δρομολογητές υποτίθεται ότι γνωρίζουν τις σωστές διαδρομές προς τους προορισμούς. Το ίδιο όμως δεν είναι προφανές για τους υπολογιστές. Εάν ένας υπολογιστής χρησιμοποιήσει λάθος δρομολογητή για το πρώτο βήμα, τότε αυτός θα στείλει ένα πακέτο παράκαμψης (ICMP redirect) για να του υποδείξει τη σωστή διαδρομή.

Ακολουθήστε τις επόμενες οδηγίες καταγράφοντας την ακριβή σύνταξη των εντολών που χρησιμοποιήσατε.

- 5.1 Εάν δεν υπάρχει, ορίστε στα PC ως προεπιλεγμένη πύλη τον δρομολογητή R1.
- 5.2 Καθαρίστε τους πίνακες ARP σε όλα τα μηχανήματα.
- 5.3 Ξεκινήστε μια καταγραφή στη διεπαφή του R1 στο LAN1 θέτοντας φίλτρο έτσι ώστε να συλλαμβάνονται μόνο πακέτα ICMP και ARP.
- 5.4 Ξεκινήστε μια αντίστοιχη καταγραφή στο PC4 για κίνηση ICMP και ARP στο LAN2.
- 5.5 Από το PC1 κάντε ping στα PC2, PC3 και PC4 στέλνοντας 1 ακριβώς πακέτο ICMP request. Ήταν τα ping επιτυχή;
- 5.6 Σταματήστε τις καταγραφές και καταγράψτε το περιεχόμενο των πινάκων ARP σε όλα τα μηχανήματα μετά την ολοκλήρωση των ping.
- 5.7 Σχεδιάστε την ανταλλαγή όλων των πακέτων (ICMP και ARP) που παρατηρήσατε μεταξύ των PC1, R1 και PC4 σημειώνοντας το είδος τους (request, reply).
- 5.8 Αφού καθαρίσετε τους πίνακες ARP σε όλα τα μηχανήματα, ξεκινήστε καταγραφές στα PC3, PC4 και R1 για το LAN2, θέτοντας φίλτρο έτσι ώστε να συλλαμβάνονται μόνο πακέτα ICMP και ARP, φροντίζοντας να εμφανίζονται στην οθόνη και οι διευθύνσεις MAC των πλαισίων που τα μεταφέρουν.
- 5.9 Από νέο παράθυρο στο PC3 κάντε ping στο PC4 στέλνοντας 1 ακριβώς πακέτο ICMP request. Ήταν το ping επιτυχές; Τι άλλο παρατηρείτε στην έξοδο της εντολής ping;
- 5.10 Σταματήστε τις καταγραφές και καταγράψτε το περιεχόμενο των πινάκων ARP στα R1, PC3 και PC4 μετά την ολοκλήρωση του ping.
- 5.11 Σχεδιάστε την ανταλλαγή όλων των πακέτων (ICMP και ARP) που παρατηρήσατε² μεταξύ των PC3, PC4 και R1 σημειώνοντας το είδος τους (request, reply).
- 5.12 Τη MAC διεύθυνση ποιου μηχανήματος αναζητεί με ARP το PC3 και ποιου το PC4;
- 5.13 Γιατί το μήνυμα ICMP request του PC3 αποστέλλεται προς τον R1 και όχι απευθείας προς τον PC4;
- 5.14 Πώς χειρίζεται ο R1 το προηγούμενο ICMP request;
- 5.15 Η απάντηση ICMP reply του PC4 στο PC3 στάλθηκε απευθείας ή μέσω του R1;
- 5.16 Επαναλάβετε τις καταγραφές στα PC3, PC4 και R1 για το LAN2 με φίλτρο ώστε να συλλαμβάνονται μόνο πακέτα ICMP και φροντίζοντας να εμφανίζονται στην οθόνη οι διευθύνσεις MAC των πλαισίων που τα μεταφέρουν.
- 5.17 Από το PC3 κάντε ping στο PC4 και αφήστε το να τρέχει. Περιγράψτε σε συντομία τι συμβαίνει.

Ο λόγος που το PC3 αγνοεί το ICMP redirect έγκειται στο γεγονός ότι η προτεινόμενη διεύθυνση IP παράκαμψης δεν ανήκει στο υποδίκτυο της διεπαφής του στο LAN2. Εάν αυτό δεν ίσχυε, το PC3 θα ενημέρωνε τον πίνακα δρομολόγησής του με τη σωστή διαδρομή.

- 5.18 Επαναφέρετε στο PC3 ως μήκος προθέματος δικτύου το /28. Τι συμβαίνει με την προκαθορισμένη διαδρομή;

² Εάν χρειαστεί να δείτε προηγούμενο μέρος της καταγραφής πιέστε το πλήκτρο Scroll Lock και μετά περιηγηθείτε με τα βελάκια Up, Down είτε Page Up, Page Down. Πιέστε και πάλι το Scroll Lock για να επανέλθετε στη γραμμή εντολών. Εάν το πληκτρολόγιό σας δεν έχει το πλήκτρο Scroll Lock ή δεν γίνεται με συνδυασμό άλλων πλήκτρων, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το Soft Keyboard... του εικονικού μηχανήματος από το μενού Input→Soft Keyboard.

- 5.19 Ορίστε διαδρομή προς το δίκτυο 192.168.1.24/29 μέσω του R1 με την εντολή `route add 192.168.1.24/29 192.168.1.17`. Καταγράψτε τον πίνακα δρομολόγησης του PC3 για προορισμούς σε υποδίκτυα του 192.168.0.0/16.
- 5.20 Επαναλάβετε τις καταγραφές στα PC3, PC4 και R1 για το LAN2 με φίλτρο ώστε να συλλαμβάνονται μόνο πακέτα ICMP. Τι διαφορετικό θα συμβεί τώρα εάν από το PC3 κάνετε ping στο PC4;
- 5.21 Ποια εγγραφή έχει προστεθεί τώρα στον πίνακα δρομολόγησης του PC3; Πού διαφέρει σε σχέση με τις άλλες για υποδίκτυα του 192.168.0.0/16;
- 5.22 Επικοινωνεί το PC3 με τα μηχανήματα του LAN1; Γιατί;
- 5.23 Ορίστε ως προεπιλεγμένη πύλη τον δρομολογητή R1. Ποια διαδρομή θα επιλεγεί τώρα εάν από το PC3 κάνετε ping στο PC4; Γιατί;

Άσκηση 6: Router on a stick

Σε ένα τυπικό εταιρικό δίκτυο οι υπολογιστές συνδέονται σε μεταγωγείς Ethernet. Προκειμένου να περιορισθούν οι περιοχές εκπομπής, οι υπολογιστές συνήθως τοποθετούνται σε διαφορετικά VLAN. Οι μεταγωγείς διαχωρίζουν πλήρως (απομονώνουν) την κίνηση διαφορετικών VLAN και προκειμένου να υπάρξει επικοινωνία μεταξύ τους, αυτή προωθείται μέσω δρομολόγησης. Εν γένει, τα VLAN αντιστοιχούν σε υποδίκτυα IP, όμως δεν είναι πρακτικό κάθε VLAN να συνδέεται σε διαφορετική φυσική θύρα δρομολογητή. Στην πιο απλή περίπτωση, *router on a stick*, ο κεντρικός δρομολογητής συνδέεται σε ένα μεταγωγέα με μια θύρα κορμού (*trunk port*), όπου μεταφέρονται πλαίσια διαφορετικών VLAN με ετικέτες (*tags 802.1Q*). Αυτό είναι ισοδύναμο με ένα δρομολογητή που διαθέτει πολλαπλές φυσικές διεπαφές, μία για κάθε VLAN που εξυπηρετεί. Στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσετε την τοπολογία της προηγούμενης άσκησης προκειμένου να υλοποιήσετε ένα πιο πολύπλοκο δίκτυο με VLAN όπου ο R1 θα λειτουργεί και ως μεταγωγέας.

Απαντήστε τις παρακάτω ερωτήσεις καταγράφοντας παράλληλα, όπου απαιτείται, την ακριβή σύνταξη των εντολών που χρησιμοποιήσατε.

- 6.1 Στις ρυθμίσεις των καρτών δικτύου του R1, κάντε κλικ στο *Advanced* και στο πεδίο *Promiscuous mode* επιλέξτε το *Allow VMs*. Στη συνέχεια δημιουργήστε μια ψευδο-συσσκευή γέφυρα *bridge* που να περιλαμβάνει τις διεπαφές του στα LAN1, LAN2 και ενεργοποιήστε την.
- 6.2 Στο PC1 δημιουργήστε με βάση την *em0* νέες διεπαφές στα VLAN5, VLAN6 με IP διευθύνσεις 192.168.5.1/24 και 192.168.6.1/24, αντίστοιχα.
- 6.3 Στο PC2 δημιουργήστε με βάση την *em0* νέα διεπαφή στο VLAN5 με IP διεύθυνση 192.168.5.2/24.
- 6.4 Στο PC3 δημιουργήστε με βάση την *em0* διεπαφή στο VLAN6 με IP διεύθυνση 192.168.6.18/24.
- 6.5 Στο PC4 δημιουργήστε με βάση την *em0* διεπαφή στο VLAN5 με IP διεύθυνση 192.168.5.29/24.
- 6.6 Στο R1 με βάση τη διεπαφή του στο LAN1 δημιουργήστε νέες διεπαφές για τα VLAN5, VLAN6. Επαναλάβετε για τη διεπαφή του στο LAN2.
- 6.7 Μπορείτε από το PC3 να κάνετε ping σε όλες τις διεπαφές του PC1;
- 6.8 Μπορείτε από το PC4 να κάνετε ping σε όλες τις διεπαφές του PC1;
- 6.9 Γιατί απέτυχαν κάποια από τα προηγούμενα ping προς το PC1;
- 6.10 Στο PC3 ορίστε ως νέα προεπιλεγμένη πύλη το PC1 με την εντολή `route change default 192.168.6.1`. Μπορείτε τώρα να κάνετε ping σε όλες τις διεπαφές του PC1;

- 6.11 Μπορείτε από το PC4 να κάνετε ping σε όλες τις διεπαφές του PC2;
- 6.12 Μπορείτε από το PC3 να κάνετε ping σε όλες τις διεπαφές του PC2;
- 6.13 Στο PC1 ενεργοποιήσετε τη λειτουργία προώθησης πακέτων IPv4 και στο PC2 ορίστε ως νέα προεπιλεγμένη πύλη την 192.168.1.1.
- 6.14 Επιτυχάνουν τώρα τα ping από το PC3 στις διεπαφές του PC2;
- 6.15 Αφού καταγράψετε τις διευθύνσεις MAC των PC1, PC2 και PC3 καθαρίστε τους πίνακες ARP σε αυτά.
- 6.16 Στα PC1, PC2, PC3 ξεκινήστε μια καταγραφή φροντίζοντας να εμφανίζονται και οι επικεφαλίδες Ethernet των πλαισίων.
- 6.17 Ανοίξετε νέο παράθυρο εντολών στο PC3 και εκτελέστε την εντολή ping -c 1 192.168.1.2. Σχεδιάστε την ανταλλαγή όλων των πακέτων (ICMP και ARP) που παρατηρήσατε μεταξύ των PC1, PC2 και PC3 σημειώνοντας το είδος τους (request, reply).
- 6.18 Στο PC3 ξεκινήστε ένα ping προς τη διεπαφή του PC4 στο VLAN5 και αφήστε το να τρέχει. Είναι το ping επιτυχές;
- 6.19 Στο PC4 ξεκινήστε μια καταγραφή φροντίζοντας να εμφανίζονται και οι επικεφαλίδες Ethernet των πλαισίων. Απαντά το PC4 στα ICMP echo request του PC3; Εξηγήστε γιατί δεν επιτυγχάνει το προηγούμενο ping.
- 6.20 Στο PC4 ορίστε ως νέα προεπιλεγμένη πύλη με την 192.168.5.1. Επιτυγχάνει τώρα το προηγούμενο ping;