

Εργαστηριακή Άσκηση 5

Στατική δρομολόγηση

Όπως είδατε στην προηγούμενη Εργαστηριακή Άσκηση 4 η βασική διαφορά μεταξύ υπολογιστή και δρομολογητή είναι ότι στους δρομολογητές η προώθηση IP είναι ενεργοποιημένη, ενώ στους υπολογιστές είναι συνήθως απενεργοποιημένη. Με ενεργοποιημένη την προώθηση πακέτων IP, εάν ένα εισερχόμενο πακέτο IP 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. Μπορείτε να θεωρήσετε τον δρομολογητή ως ένα εξειδικευμένο υπολογιστή που συνδέει πολλαπλά δίκτυα και επιτρέπει την ανταλλαγή πακέτων μεταξύ αυτών. Το υλικό και λογισμικό του είναι βελτιστοποιημένο για τη γρήγορη επεξεργασία πακέτων. Η λειτουργία της προώθησης (forwarding) για κάθε εισερχόμενο πακέτο συνίσταται στη λήψη απόφασης σχετικά με τη θύρα που θα προωθηθεί το πακέτο με βάση τη διεύθυνση προορισμού του. Η απόφαση για τη θύρα προώθησης βασίζεται στο γεγονός ότι οι δρομολογητές γνωρίζουν τα (υπο)δίκτυα όπου είναι συνδεδεμένες οι διεπαφές τους. Στην Εργαστηριακή Άσκηση 4 είδατε ακριβώς αυτή τη λειτουργία σε συνδυασμό με τον ορισμό της προεπιλεγμένης πύλης για την προώθηση προς μη απευθείας συνδεδεμένα δίκτυα.

Πίνακας δρομολόγησης

Παρότι, μια διαδρομή μεταξύ υποδικτύων μπορεί να ορισθεί ως μια σειρά από διευθύνσεις IP μέσω των οποίων θα διέλθει το πακέτο IP, οι διαδρομές περιγράφονται μέσω πινάκων δρομολόγησης. Ο προσδιορισμός των πινάκων δρομολόγησης γίνεται στατικά από τον διαχειριστή του δικτύου ή καταναμεμένα βάσει αλγορίθμων δρομολόγησης που υπολογίζουν τις βέλτιστες υπό κάποιο κριτήριο διαδρομές και αποτυπώνουν το αποτέλεσμα σε πίνακες δρομολόγησης. Ο πίνακας δρομολόγησης σε ένα σύστημα δείχνει το εκάστοτε επόμενο βήμα της διαδρομής προς δοθέντα προορισμό. Ένα πακέτο IP, ανάλογα με τον προορισμό του, προωθείται προς την κατάλληλη διεπαφή εξόδου και μέσω αυτής στον επόμενο κόμβο (per-hop-behavior). Είτε ορίζεται στατικά είτε προκύπτει από αλγόριθμο δρομολόγησης, κάθε δρομολογητής (και υπολογιστής) διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης με εγγραφές της μορφής:

- Διεύθυνση προορισμού: πού πηγαίνει το πακέτο IP;
- Επόμενο βήμα: προς τα πού θα αποσταλεί το πακέτο IP;
- Διεπαφή: ποια είναι η θύρα εξόδου;

όπου το επόμενο βήμα και η διεπαφή συνήθως συμπίπτουν σε μια στήλη. Οι πίνακες δρομολόγησης ορίζονται έτσι, ώστε τα πακέτα να πλησιάζουν τον προορισμό τους. Ανάλογα με τον προορισμό οι εγγραφές του πίνακα δρομολόγησης μπορεί να αφορούν:

α) **διαδρομή προς δίκτυο**, όταν η διεύθυνση προορισμού είναι διεύθυνση δικτύου. Οι περισσότερες εγγραφές στους πίνακες δρομολόγησης είναι διαδρομές προς δίκτυα.

β) **διαδρομή προς υπολογιστή**, όταν η διεύθυνση προορισμού είναι η διεύθυνση μιας διεπαφής.

γ) την **προκαθορισμένη (default) διαδρομή** που χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχει ταίριασμα με άλλη εγγραφή. Ο δρομολογητής της προκαθορισμένης διαδρομής είναι η προκαθορισμένη πύλη (default gateway) που χρησιμοποιείται ως έσχατη λύση.

δ) το **βρόχο επιστροφής (loopback)**, που δηλώνει ότι το επόμενο βήμα είναι το ίδιο το μηχάνημα.

Κατά την αναζήτηση της πλέον κατάλληλης εγγραφής από τον πίνακα δρομολόγησης, χρησιμοποιείται το ταίριασμα μεγαλύτερου προθέματος (longest prefix match). Δηλαδή, η δρομολόγηση θα γίνει προς το επόμενο βήμα εκείνης της εγγραφής της οποίας η διεύθυνση δικτύου έχει την μεγαλύτερη επικάλυψη, ξεκινώντας από τα αριστερά προς τα δεξιά, και άρα ταύτιση

προθέματος, με τη διεύθυνση προορισμού IP του υπό προώθηση πακέτου IP. Επομένως, η αναζήτηση ξεκινά ψάχνοντας για διαδρομές ταιριάσματος όλων των 32 bit (διαδρομή προς υπολογιστή), ταιριάσματος των 31 bit, 30 bit, κοκ μέχρι αναζήτηση ταιριάσματος με 0 bit. Η προεπιλεγμένη διαδρομή (0.0.0.0/0) παρουσιάζει το μικρότερο δυνατό ταίριασμα και σε αυτή καταλήγουμε, ως τελευταίο καταφύγιο, εάν οτιδήποτε άλλο αποτύχει.

Διαχειριστική απόσταση και μέτρο

Η αναζήτηση στον πίνακα δρομολόγησης δεν μεταβάλλει τις εγγραφές. Αυτές αλλάζουν είτε με εντολές παραμετροποίησης χρησιμοποιώντας στατικές εγγραφές, είτε δυναμικά μέσω των πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου ο δρομολογητής μπορεί να λάβει πληροφορία δρομολόγησης από πολλαπλές πηγές, διάφορα πρωτόκολλα δρομολόγησης (RIP, OSPF, BGP που θα δείτε σε επόμενες ασκήσεις) όπως και στατικές εγγραφές. Καθώς δεν μπορεί να αποκλεισθεί το ενδεχόμενο να υπάρχουν πολλαπλά ταιριάσματα μέγιστου μήκους για τον ίδιο προορισμό, ο δρομολογητής θα αποφασίσει την καλύτερη με βάση την εμπιστοσύνη του για την πηγή της πληροφορίας. Η παράμετρος αυτή αποκαλείται **διαχειριστική απόσταση (administrative distance)** και δείχνει βαθμό εμπιστοσύνης. Όσο πιο μικρή είναι η τιμή της, τόσο πιο έμπιστη είναι η πηγή πληροφόρησης. Οι απευθείας συνδεδεμένες σε ένα δίκτυο διεπαφές έχουν διαχειριστική απόσταση 0 και οι στατικές εγγραφές με τις οποίες θα ασχοληθείτε σε αυτήν την άσκηση έχουν διαχειριστική απόσταση 1. Τέλος, εάν ταυτίζονται και οι διαχειριστικές αποστάσεις, η διαδρομή που θα επιλεγεί προσδιορίζεται από το μέτρο (metric), η τιμή του οποίου δείχνει πόσο μακριά βρίσκεται ο προορισμός. Το τι παριστάνει το μέτρο εξαρτάται από το συγκεκριμένο πρωτόκολλο δρομολόγησης. Μπορεί να είναι αριθμός βημάτων ή κάποιο είδος κόστους.

Proxy ARP (Address Resolution Protocol)

Ένας δρομολογητής όμως μπορεί να λειτουργήσει ως πληρεξούσιος (proxy) για πολλές διευθύνσεις IPv4 απαντώντας εκ μέρους των αντίστοιχων υπολογιστών. Στο πληρεξούσιο ARP (Proxy ARP), ο δρομολογητής απαντά σε ARP request που λαμβάνει σε ένα υποδίκτυό του, το οποίο απευθύνεται σε υπολογιστή ενός άλλου από τα υποδίκτυά του, δίνοντας τη δική του διεύθυνση MAC. Απαντά δηλαδή σε οποιοδήποτε ARP request απευθύνεται σε υπολογιστή υποδικτύου για το οποίο διαθέτει εγγραφή στον πίνακα δρομολόγησης του.

Η εντολή netstat

Χρησιμοποιώντας την εντολή netstat μπορείτε να βρείτε χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τις δικτυακές ρυθμίσεις και δραστηριότητα σε ένα σύστημα. Συγκεκριμένα, μπορείτε να δείτε τον πίνακα δρομολόγησης, στατιστικά για τις διεπαφές δικτύου καθώς και τις ενεργές συνδέσεις. Παρακάτω φαίνονται οι πιο συχνές χρήσεις της εντολής:

```
netstat -i    Εμφανίζει πληροφορίες για τις διεπαφές δικτύου
netstat -r    Εμφανίζει τα περιεχόμενα του πίνακα δρομολόγησης
netstat -a    Εμφανίζει τις ενεργές συνδέσεις
netstat -s    Εμφανίζει στατιστικά για κάθε πρωτόκολλο
```

Για τις ενεργές συνδέσεις (επιλογή -a) η εντολή δείχνει την τοπική και απομακρυσμένη διεύθυνση, το μέγεθος της ουράς αποστολής και λήψης σε byte, το πρωτόκολλο καθώς και την κατάσταση της σύνδεσης. Οι διευθύνσεις είναι της μορφής “host.port” ή “network.port”, ανάλογα με τον εάν προσδιορίζεται συγκεκριμένο μηχάνημα ή δίκτυο. Εάν δεν δοθεί επιπλέον η επιλογή -n, τα host, network και port μπορεί να εμφανίζονται συμβολικά, όταν η αντιστοίχιση με ονόματα είναι γνωστή. Απροσδιόριστες τιμές εμφανίζονται ως “*”. Τέλος, με -ss παραλείπονται όλες οι μηδενικές τιμές στα στατιστικά στοιχεία για τα πρωτόκολλα, ενώ με -is βλέπετε στατιστικά για όλες τις διεπαφές.

Για τους πίνακες δρομολόγησης, επιλογή -r, εμφανίζονται οι διαθέσιμες διαδρομές και η κατάστασή τους. Στο FreeBSD η διαδρομή είναι ένα ζεύγος διευθύνσεων: προορισμού (destination) και πύλης (gateway). Η διαδρομή δείχνει ότι για να φτάσει το πακέτο στον συγκεκριμένο προορισμό, πρέπει να περάσει από την καθοριζόμενη πύλη. Διακρίνονται τρία είδη προορισμών: μεμονωμένα συστήματα (hosts), υποδίκτυα (subnets) είτε η προκαθορισμένη (default). Επίσης υπάρχουν τρία είδη πυλών (gateways): μεμονωμένα συστήματα (hosts), διεπαφές (interfaces), που καλούνται ζεύξεις (links), είτε διευθύνσεις Ethernet (MAC addresses). Διάφορες σημαίες (flags) δείχνουν επιπλέον πληροφορίες για τη διαδρομή:

- U Η διαδρομή είναι ενεργή (up).
- H Ο προορισμός της διαδρομής είναι συγκεκριμένος host.
- G Ο προορισμός είναι πύλη, που θα αποφασίσει για το πώς θα προωθήσει τα πακέτα περαιτέρω.
- S Η διαδρομή έχει οριστεί στατικά.
- D Η διαδρομή έχει οριστεί δυναμικά (από redirect).
- R Το δίκτυο ή ο host δεν είναι προσβάσιμος.
- C Διαδρομή κλώνος (συνήθως για τοπικά δίκτυα).
- W Η διαδρομή αυτο-ρυθμίσθηκε βάσει μιας κλωνοποιημένης διαδρομής.
- L Η διαδρομή περιλαμβάνει αναφορά σε υλικό Ethernet.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα εξόδου της εντολής netstat από την τεκμηρίωση του FreeBSD.

```
% netstat -r
```

```
Routing tables
```

```
Internet:
```

| Destination | Gateway | Flags | Refs | Use | Netif | Expire |
|-------------------|------------------|-------|------|-------|--------|--------|
| default | outside-gw | UGS | 37 | 418 | em0 | |
| localhost | link#2 | UH | 0 | 181 | lo0 | |
| test0 | 0:e0:b5:36:cf:4f | UHLW | 5 | 63288 | re0 | 77 |
| 10.20.30.255 | link#1 | UHLW | 1 | 2421 | | |
| example.com | link#1 | UC | 0 | 0 | | |
| host1 | 0:e0:a8:37:8:1e | UHLW | 3 | 4601 | lo0 | |
| host2 | 0:e0:a8:37:8:1e | UHLW | 0 | 5 | lo0 => | |
| host2.example.com | link#1 | UC | 0 | 0 | | |
| 224 | link#1 | UC | 0 | 0 | | |

Η πρώτη εγγραφή είναι η προκαθορισμένη διαδρομή (default) για προορισμούς που δεν ταιριάζουν στις άλλες εγγραφές. Στο παράδειγμα, τέτοια κίνηση προωθείται στην πύλη outside-gw μέσω της διεπαφής em0.

Η δεύτερη εγγραφή localhost είναι για εσωτερική στον κόμβο κίνηση που δεν θα βγει στο δίκτυο και η διεπαφή lo0 είναι ο βρόχος επιστροφής (loopback).

Διαδρομές όπου ως πύλη δηλώνεται διεύθυνση MAC, test0 στο παράδειγμα, αφορούν υπολογιστές στο τοπικό δίκτυο της διεπαφής re0.

Διαδρομές προς το τοπικό υποδίκτυο, στο παράδειγμα το 10.20.30 (10.20.30.255 είναι η διεύθυνση εκπομπής του εν λόγω υποδικτύου) και example.com (το όνομά του), έχουν ως πύλη τη ζεύξη link#1, που αντιστοιχεί στην πρώτη κάρτα δικτύου του μηχανήματος, όπως αυτή εμφανίζεται με την εντολή ifconfig -l.

Η διαδρομή host1 αναφέρεται στο ίδιο το σύστημα μέσω της διεύθυνσης MAC της κάρτας δικτύου του, ως εκ τούτου η κίνηση προωθείται μέσω του βρόχου επιστροφής lo0.

Η εγγραφή για το host2 είναι ψευδώνυμο για το ίδιο το μηχάνημα. Το “=>” μετά την διεπαφή lo0 δείχνει ότι έχει οριστεί ένα ψευδώνυμο επιπλέον του βρόχου επιστροφής.

Η δεύτερη εγγραφή για το host2 είναι και αυτή ψευδώνυμο, αλλά αντί της MAC ως πύλη δηλώνεται link#1. Εν γένει η πύλη για μηχανήματα του τοπικού δικτύου είναι της μορφής link#.

Η τελευταία γραμμή 224 αφορά την πολλαπλή διανομή (το υποδίκτυο 224.0.0/4).

Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις πληροφορίες που δίνει η netstat συμβουλευθείτε το εγχειρίδιο man netstat.

Η εντολή route

Χρησιμοποιώντας την εντολή route μπορείτε να ορίσετε στατικές διαδρομές για δίκτυα και υπολογιστές. Παρακάτω φαίνονται οι πιο συχνές χρήσεις της εντολής.

| | |
|--------------------------------|--|
| route add [-net] dest gateway | προσθέτει στατική εγγραφή στον πίνακα δρομολόγησης για το δίκτυο με διεύθυνση dest, με επόμενο βήμα την πύλη με IPv4 διεύθυνση gateway, όπου η διεύθυνση δικτύου, π.χ. 128.32.0.0, μπορεί να δοθεί στη μορφή CIDR, 128.32.0.0/16, είτε απλώς με τα αρχικά byte, 128.32. Αντί διεύθυνσης IPv4 πύλης μπορεί να χρησιμοποιηθεί -interface xxx όταν ο προορισμός είναι απευθείας προσβάσιμος μέσω της διεπαφής xxx. |
| route add [-host] dest gateway | προσθέτει στατική εγγραφή στον πίνακα δρομολόγησης για τον υπολογιστή με IPv4 διεύθυνση dest, με το επόμενο βήμα να είναι η πύλη με IPv4 διεύθυνση gateway. |
| route add default gateway | προσθέτει την προκαθορισμένη διαδρομή, όπου το default είναι συνώνυμο του -net 0.0.0.0 και gateway είναι η IPv4 διεύθυνση της προκαθορισμένης πύλης. |
| route change dest gateway | αλλάζει την πύλη για την ήδη εγκατεστημένη διαδρομή προς το τον προορισμό dest. |
| route show dest (ή get dest) | εμφανίζει τη διαδρομή για τον προορισμό dest. |
| route del dest (ή delete dest) | διαγράφει τη στατική εγγραφή για τον προορισμό dest. |
| route flush | διαγράφει όλες τις διαδρομές. |

Συμβουλευθείτε το εγχειρίδιο man route για περισσότερες λεπτομέρειες.

Η εντολή sysrc

Ένας ασφαλής τρόπος για να ορίσετε τιμές μεταβλητών στο αρχείο παραμετροποίησης /etc/rc.conf είναι η χρήση της εντολής sysrc ως εξής:

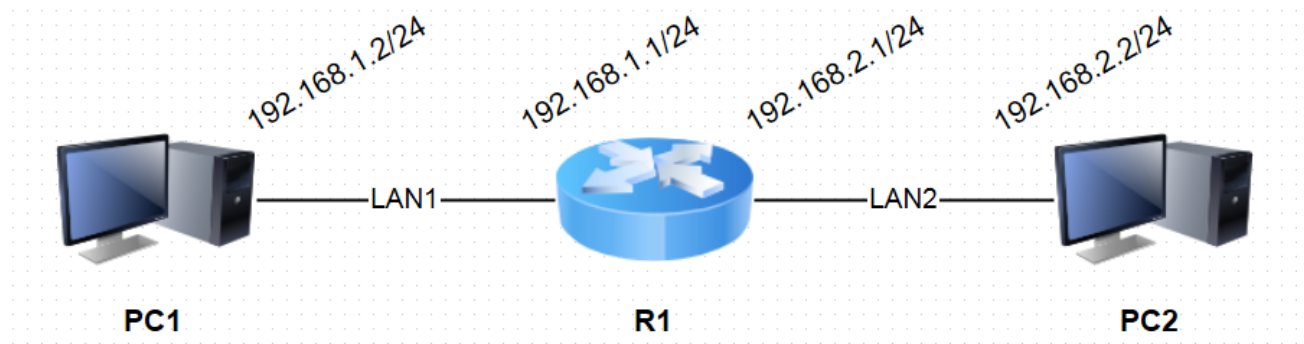
| | |
|----------------------|---|
| sysrc -a | Εμφανίζει τις μεταβλητές που περιέχει το αρχείο rc.conf |
| sysrc -d variable | Εμφανίζει σύντομη περιγραφή για τη μεταβλητή variable |
| sysrc variable | Εμφανίζει την τιμή της μεταβλητής variable |
| sysrc variable=value | Θέτει την τιμή της μεταβλητής variable ίση με value |
| sysrc -x variable | Διαγράφει τη μεταβλητή variable |

Προφανώς για να ισχύσουν οι όποιες τροποποιήσεις κάνετε, θα πρέπει να επανεκκινήσετε την εμπλεκόμενη υπηρεσία (π.χ. service hostname restart για αλλαγή ονόματος του μηχανήματος), είτε service netif restart && service routing restart για ταυτόχρονη επανεκκίνηση των διεπαφών δικτύου και της δρομολόγησης είτε reboot για να επανεκκινήσετε το μηχάνημα.

Στη συνέχεια θα ασχοληθείτε με τη συνήθη λειτουργία της δρομολόγησης βάσει του προορισμού. Σε αυτή την άσκηση θα δείτε τον χειροκίνητο ορισμό, δηλαδή, τη στατική δρομολόγηση. Ο δυναμικός τρόπος με τον οποίο οι δρομολογητές κατασκευάζουν και συντηρούν τον πίνακα δρομολόγησης θα αποτελέσει αντικείμενο επόμενων ασκήσεων.

Άσκηση 1: Δρομολόγηση σε ένα βήμα

Θα ξεκινήσετε κατασκευάζοντας στο VirtualBox την τοπολογία του επόμενου σχήματος. Για τα PC θα δημιουργήσετε δύο εικονικά μηχανήματα PC1, PC2 με μία κάρτα δικτύου το καθένα, χρησιμοποιώντας το αρχείο FreeBSD13.2.ova¹ που κατασκευάσατε στην Εργαστηριακή Άσκηση 2. Παρόμοια, για τον δρομολογητή R1 θα δημιουργήσετε ένα εικονικό μηχάνημα με δύο κάρτες δικτύου. Όλες οι κάρτες δικτύου θα πρέπει να βρίσκονται σε κατάσταση εσωτερικής (internal) δικτύωσης. Ονομάστε τα δύο τοπικά δίκτυα ως “LAN1” και “LAN2”.



Όπως έχετε δει στην Εργαστηριακή Άσκηση 4, για να μπορέσουν να επικοινωνήσουν οι υπολογιστές χρειάζονται πληροφορίες δρομολόγησης. Η προεπιλεγμένη λύση είναι μια απλή λύση. Μπορούμε όμως να έχουμε το ίδιο αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας στατικές εγγραφές στους πίνακες δρομολόγησης.

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

- 1.1 Με ποια εντολή φλοιού θα ορίσετε διευθύνσεις IPv4 στα PC1 και PC2;
- 1.2 Με ποια εντολή φλοιού θα ορίσετε διευθύνσεις IPv4 στο R1 που να παραμένουν και μετά την επανεκκίνηση; [Υποδ. Δείτε <https://docs.freebsd.org/en/books/handbook/network/#config-static-ip-v4>.]
- 1.3 Ποια γραμμή πρέπει να προσθέσετε στο /etc/rc.conf του R1 ώστε να ενεργοποιηθεί η λειτουργία προώθησης πακέτων IPv4;
- 1.4 Με ποια εντολή θα επανεκκινήσετε στο R1 τις διεπαφές δικτύου και τη δρομολόγηση ώστε να εφαρμοσθούν οι ρυθμίσεις που κάνατε προηγουμένως;
- 1.5 Προσθέστε στο PC1 στατική εγγραφή για το δίκτυο 192.168.2.0/24 όπου βρίσκεται ο υπολογιστής PC2.
- 1.6 Εξετάστε τον πίνακα δρομολόγησης του PC1. Τι σημαίνουν οι σημαίες (flags) που παρατηρείτε για τη διαδρομή προς το 192.168.2.0/24;
- 1.7 Δοκιμάστε την εντολή ping από το PC1 στο PC2. Τι παρατηρείτε;
- 1.8 Με χρήση του tcpdump στο R1 ελέγξτε εάν παράγονται πακέτα ICMP στο LAN1 και το LAN2. Εξηγήστε τι συμβαίνει.
- 1.9 Προσθέστε στο PC2 στατική εγγραφή για το δίκτυο 192.168.1.0/24 όπου βρίσκεται ο υπολογιστής PC1.
- 1.10 Δοκιμάστε πάλι την εντολή ping από το PC1 στο PC2. Υπάρχει τώρα επικοινωνία;
- 1.11 Εξηγήστε γιατί δεν χρειάστηκε να γίνει κάποια εγγραφή στον πίνακα δρομολόγησης του R1.

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.

Άσκηση 2: Proxy ARP

Το proxy ARP είναι ένας τρόπος ώστε να δρομολογούνται πακέτα χωρίς να ορίσουμε διαδρομές. Ο δρομολογητής απαντά σε μηνύματα ARP request για κάθε δίκτυο που γνωρίζει, δίδοντας τη δική του MAC. Στην προηγούμενη τοπολογία προσθέστε στο LAN2 ένα εικονικό μηχάνημα PC3, δώστε του την IP διεύθυνση 192.168.2.3/24 και επιβεβαιώστε ότι επικοινωνεί με το PC2.

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

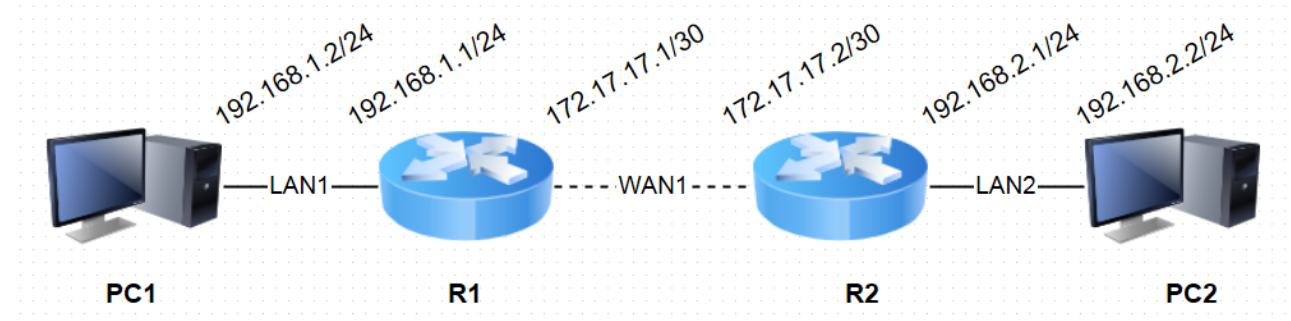
- 2.1 Στο PC1 καταργήστε τη στατική εγγραφή για το δίκτυο 192.168.2.0/24.
- 2.2 Αλλάξτε στο PC1 το μήκος προθέματος της IPv4 διεύθυνσης από /24 σε /20.
- 2.3 Από την προοπτική του PC1, τα PC2 και PC3 βρίσκονται στο ίδιο ή σε διαφορετικό υποδίκτυο IP;
- 2.4 Κάντε ping από το PC1 στα PC2 και PC3. Είναι επιτυχές;

Στον δρομολογητή ενεργοποιήστε τη λειτουργία proxy ARP με την εντολή `sysctl net.link.ether.inet.proxyall=1`.

- 2.5 Επαναλάβετε το ping από το PC1 στο PC2 στέλνοντας 1 ακριβώς πακέτο ICMP request. Είναι το ping επιτυχές; Τεκμηριώστε την απάντησή σας.
- 2.6 Επαναλάβετε το ping από το PC1 στο PC3. Γιατί αποτυγχάνει;.
- 2.7 Προσθέστε στατική εγγραφή στο PC3 για το δίκτυο 192.168.1.0/24.
- 2.8 Καθαρίστε στα PC1, PC3 και R1 τον πίνακα ARP.
- 2.9 Ξεκινήστε καταγραφές στον R1 για το LAN1 και το LAN2, φροντίζοντας να εμφανίζονται στην οθόνη και οι διευθύνσεις MAC των πλαϊσίων που τα μεταφέρουν, και επαναλάβετε το προηγούμενο ping στέλνοντας 1 ακριβώς πακέτο ICMP request.
- 2.10 Τι παρατηρείτε στην απάντηση του R1 στο ARP request που λαμβάνει από το PC1;
- 2.11 Προς ποια διεύθυνση MAC αποστέλλει το PC1 το πακέτο ICMP request;
- 2.12 Από ποια διεύθυνση MAC λαμβάνει το πακέτο ICMP request το PC3;
- 2.13 Σχεδιάστε την ανταλλαγή όλων των πακέτων (ICMP και ARP) που παρατηρήσατε μεταξύ των PC1, PC3 και R1 σημειώνοντας το είδος τους και δίνοντας μια σύντομη εξήγηση του σκοπού τους.
- 2.14 Ποια είναι η μεγαλύτερη τιμή μήκους προθέματος (δηλαδή, το μικρότερο μέγεθος υποδικτύου) που μπορεί να τεθεί στο PC1 ώστε να συνεχίσει να λειτουργεί το παραπάνω ping;
- 2.15 Ορίστε στο PC1 ως μήκος προθέματος την αμέσως μεγαλύτερη τιμή από αυτήν που βρήκατε προηγουμένως, ώστε το ping να αποτυγχάνει.
- 2.16 Στο PC1 ορίστε ως επόμενο βήμα για το δίκτυο 192.168.2.0/24 τη διεπαφή του στο LAN1.
- 2.17 Τι εμφανίζεται στον πίνακα δρομολόγησης του PC1 ως πύλη για το δίκτυο 192.168.2.0/24;
- 2.18 Είναι τώρα το ping προς τον PC3 επιτυχές; Γιατί;
- 2.19 Στον R1 ακυρώστε τη λειτουργία proxy ARP.
- 2.20 Στο PC1 με χρήση *μίας* μόνο εντολής ορίστε ως επόμενο βήμα για το 192.168.2.0/24 τον R1.
- 2.21 Στο PC1 επαναφέρετε το μήκος προθέματος δικτύου στην αρχική τιμή /24.
- 2.22 Τι έχει συμβεί στη διαδρομή προς το 192.168.2.0/24 που προ ολίγου ορίσατε;
- 2.23 Ορίστε πάλι τη διαδρομή προς το 192.168.2.0/24 μέσω του R1.
- 2.24 Στο PC3 αφαιρέστε τη διεύθυνση IP και αποσυνδέστε το προσωρινά από το LAN2.

Άσκηση 3: Δρομολόγηση σε περισσότερα βήματα

Στην προηγούμενη τοπολογία θα προσθέσετε τώρα άλλη μία συσκευή R2 με δύο διεπαφές και ενεργοποιημένη την προώθηση πακέτων IPv4. Οι δύο δρομολογητές R1 και R2 συνδέονται με μια ζεύξη σημείου-προς-σημείο που αναπαριστά ένα “δίκτυο ευρείας περιοχής”, WAN (Wide Area Network).

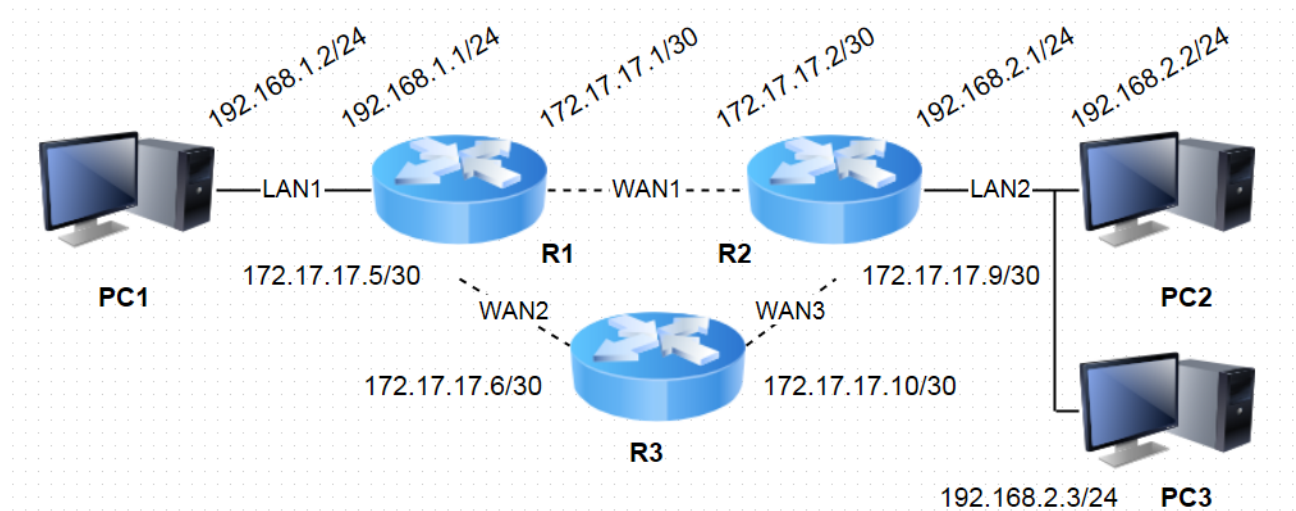


Απαντήστε τις παρακάτω ερωτήσεις καταγράφοντας παράλληλα, όπου απαιτείται, την ακριβή σύνταξη των εντολών που χρησιμοποιήσατε.

- 3.1 Ορίστε όπως στην ερώτηση 1.2 νέα διεύθυνση IPv4 στη διεπαφή του R1 στο WAN1 και επανεκκινήστε τις διεπαφές δικτύου.
- 3.2 Παρομοίως ορίστε διευθύνσεις IPv4 στις διεπαφές του R2 στα WAN1 και LAN2. Στη συνέχεια επανεκκινήστε τες.
- 3.3 Κατόπιν προσθέστε γραμμή στο /etc/rc.conf του R2 για την προώθηση πακέτων IPv4 και επανεκκινήστε τη δρομολόγηση.
- 3.4 Δοκιμάστε πάλι την εντολή ping από το PC1 στο PC2. Τι είδους ένδειξη λάθους παρατηρείτε;
- 3.5 Με χρήση του tcpdump ελέγξτε εάν και τι είδους μηνύματα ICMP παράγονται στο LAN1. Παράγονται μηνύματα ICMP στο WAN1; Εξηγήστε τι συμβαίνει.
- 3.6 Δοκιμάστε τώρα την εντολή traceroute από το PC1 στο PC2. Τι σημαίνει η ένδειξη λάθους που παρατηρείτε;
- 3.7 Προσθέστε στον R1 στατική εγγραφή για το 192.168.2.0/24 μέσω του R2;
- 3.8 Μπορείτε τώρα να κάνετε ping από το PC1 στο PC2;
- 3.9 Τι είδους μηνύματα ICMP παρατηρείτε στο LAN2 και για ποιο λόγο παράγεται το καθένα;
- 3.10 Δοκιμάστε ξανά την εντολή traceroute από το PC1 στο PC2. Παρατηρείτε μηνύματα ICMP echo request στο WAN1; Εάν όχι, παράγονται άλλου είδους μηνύματα; Γιατί συμβαίνει αυτό;
- 3.11 Τι είδους μηνύματα παράγονται στο LAN2;
- 3.12 Γιατί δεν παρατηρείτε στο LAN2 μηνύματα ICMP host unreachable; [Υποδ. Δείτε ιστοσελίδα http://www.tcpipguide.com/free/t_ICMPMessageCreationandProcessingConventionsandRule-2.htm].
- 3.13 Προσθέστε στον R2 στατική εγγραφή για το 192.168.1.0/24 μέσω του R1.
- 3.14 Μπορείτε τώρα να κάνετε traceroute από το PC1 στο PC2; Τι είδους μηνύματα ICMP παράγονται στο WAN1 και για ποιο λόγο;
- 3.15 Κάντε ping από το PC2 στη διεύθυνση 172.17.17.1. Τι παρατηρείτε;
- 3.16 Διαγράψτε στο PC2 τη στατική εγγραφή για το 192.168.1.0/24.
- 3.17 Προσθέστε στο PC2 ως προεπιλεγμένη πύλη την 192.168.2.1.
- 3.18 Κάντε πάλι ping από το PC2 στη διεύθυνση 172.17.17.1. Τι παρατηρείτε τώρα;
- 3.19 Εξηγήστε τη διαφορετική συμπεριφορά που παρατηρήσατε στα δύο προηγούμενα ping.

Άσκηση 4: Ένα πιο πολύπλοκο δίκτυο με εναλλακτικές διαδρομές

Στο παρακάτω σχήμα ακολουθεί μια πιο πολύπλοκη τοπολογία δικτύου που θα πρέπει να κατασκευαστεί στο VirtualBox. Θα χρησιμοποιήσετε τους τρεις εικονικούς υπολογιστές που ήδη έχετε, τους δύο δρομολογητές R1 και R2 προσθέτοντας άλλη μία κάρτα δικτύου και έναν τρίτο δρομολογητή R3 με τρεις κάρτες δικτύου, όπου η τρίτη θα χρειαστεί στη συνέχεια. Για να προσθέσετε την τρίτη κάρτα δικτύου στα R1, R2 θα πρέπει προηγουμένως να τα κλείσετε. Ορίστε όλες τις κάρτες δικτύου να ανήκουν στα τοπικά δίκτυα όπως φαίνεται στο σχήμα. Ξεκινήστε τους δρομολογητές και ρυθμίστε τους ώστε να επιτρέπουν προώθηση πακέτων IPv4. Για να μπορούν να επικοινωνούν οι τρεις υπολογιστές μεταξύ τους θα πρέπει να ορίσετε τις σωστές στατικές εγγραφές, όπως ζητούνται αναλυτικά στις παρακάτω ερωτήσεις, σε κάθε δρομολογητή.



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

- 4.1 Συνδέστε τη διεπαφή του PC3 στο LAN2, ορίστε διεύθυνση IPv4 και στατική διαδρομή για το υποδίκτυο 192.168.1.0/24 μέσω του R2.
- 4.2 Συνδέστε την τρίτη διεπαφή του R1 στο WAN2 και ορίστε διεύθυνση IPv4 όπως στην ερώτηση 1.2. Μετά επανεκκινήστε τις διεπαφές δικτύου.
- 4.3 Παρομοίως, συνδέστε την τρίτη διεπαφή του R2 στο WAN3 και ορίστε διεύθυνση IPv4 σε αυτήν. Μετά επανεκκινήστε τις διεπαφές δικτύου.
- 4.4 Ορίστε όπως πριν διευθύνσεις IPv4 στις διεπαφές του R3 στα WAN2 και WAN3. Στη συνέχεια επανεκκινήστε τις διεπαφές δικτύου.
- 4.5 Κατόπιν προσθέστε γραμμή στο /etc/rc.conf του R3 ώστε να ενεργοποιηθεί η λειτουργία προώθησης πακέτων IPv4 και επανεκκινήστε τη δρομολόγηση.
- 4.6 Προσθέστε στατική εγγραφή στον R1 για το 192.168.2.0/24 μέσω του R2.
- 4.7 Προσθέστε στατική εγγραφή στον R2 για το 192.168.1.0/24 μέσω του R1.
- 4.8 Προσθέστε στατικές εγγραφές στον R3 ώστε να προωθεί πακέτα για το LAN1 μέσω του R1 και για το LAN2 μέσω του R2.
- 4.9 Προσθέστε στον R1 στατική εγγραφή για το PC3 μέσω του R3. Ποια σημαία στον πίνακα δρομολόγησης δηλώνει ότι είναι διαδρομή προς υπολογιστή;
- 4.10 Δοκιμάστε traceroute από το PC1 στο PC2. Πόσα βήματα βλέπετε;
- 4.11 Δοκιμάστε ping από το PC1 στο PC2. Πόσα βήματα βλέπετε από την τιμή του TTL²;

² Υπενθυμίζεται ότι η τιμή του TTL αφορά προφανώς το πακέτο ICMP reply.

- 4.12 Δοκιμάστε traceroute από το PC1 στο PC3. Πόσα βήματα βλέπετε;
- 4.13 Δοκιμάστε ping από το PC1 στο PC3. Πόσα βήματα βλέπετε από την τιμή του TTL;
- 4.14 Ποια από τις δύο διαδρομές προς το PC3 ακολουθεί το ICMP Echo request;
- 4.15 Ποια από τις δύο διαδρομές προς το PC1 ακολουθεί το ICMP Echo reply; Δικαιολογήστε.
- 4.16 Προσομοιώστε βλάβη στη σύνδεση του R1 προς το WAN1 απενεργοποιώντας την αντίστοιχη διεπαφή³ και ξεκινήστε μια καταγραφή στον R2 ώστε να συλλαμβάνονται πακέτα στο LAN2.
- 4.17 Δοκιμάστε traceroute από το PC1 στο PC2. Αφήστε να ολοκληρωθούν τουλάχιστον 3 βήματα. Παρατηρείτε να φτάνουν πακέτα UDP στο PC2;
- 4.18 Δοκιμάστε τώρα traceroute από το PC1 στο PC3. Αφήστε να ολοκληρωθούν τουλάχιστον 4 βήματα. Παρατηρείτε να φτάνουν πακέτα UDP στο PC3 και να παράγονται απαντήσεις; Εάν ναι, γιατί δεν ολοκληρώνεται το traceroute;
- 4.19 Επαναφέρετε τη σύνδεση του R1 στο WAN1. Ολοκληρώνεται τώρα επιτυχώς το προηγούμενο traceroute;
- 4.20 Χρησιμοποιώντας μία φορά την εντολή route αλλάξτε στους πίνακες δρομολόγησης των R1 και R2 τις υπάρχουσες διαδρομές προς τα LAN1 και LAN2 ώστε όλη η κίνηση μεταξύ τους να διέρχεται μέσω του R3; Επιβεβαιώστε ότι μετά την αλλαγή υπάρχει επικοινωνία κάνοντας traceroute όπως πριν.
- 4.21 Στον R1 με τη βοήθεια της εντολής route δείτε την πληροφορία για τις διαδρομές προς τις διευθύνσεις IPv4 των PC2 και PC3. Ποια διαφορά παρατηρείτε;
- 4.22 Ποια από τις εγγραφές του πίνακα δρομολόγησης στον R1 επιλέγεται όταν κάνετε ping από το PC1 στο PC3;

Όταν τοποθετούνται στατικές εγγραφές χειροκίνητα υπάρχει περίπτωση να γίνει κάποιο λάθος. Υπό προϋποθέσεις, υπάρχει η πιθανότητα να δημιουργηθεί βρόχος (loop) κατά τη δρομολόγηση. Στη συνέχεια θα προκαλέσετε σκόπιμα κάτι τέτοιο.

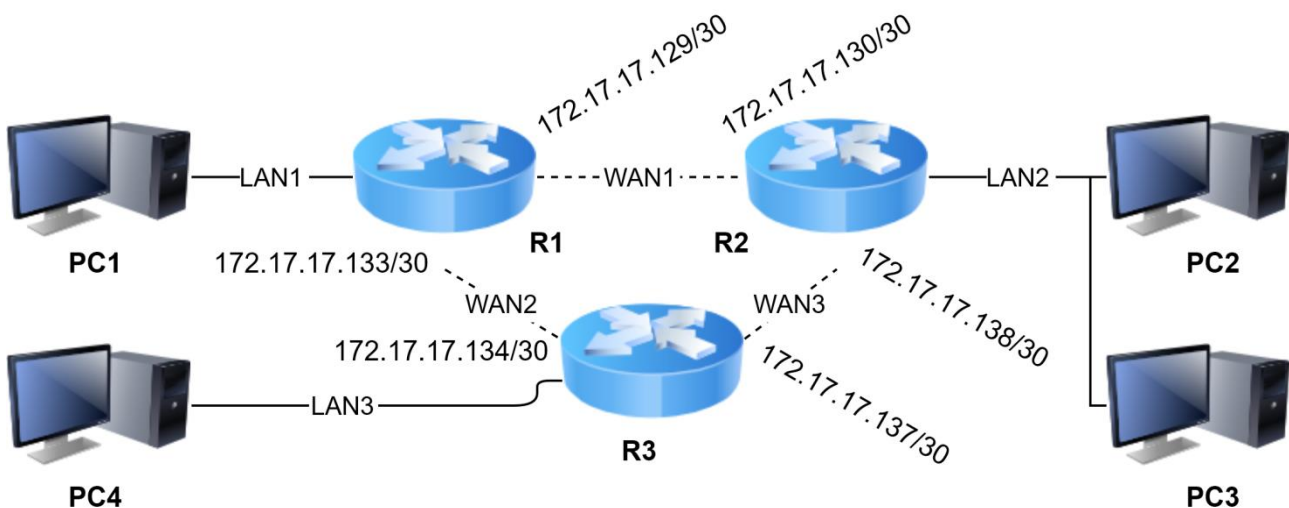
- 4.23 Τροποποιήστε στον R3 την υπάρχουσα στατική εγγραφή για το δίκτυο 192.168.2.0/24 ώστε να στέλνει την κίνηση στον R1 αντί στον R2.
- 4.24 Εκτελέστε ping στέλνοντας ένα μόνο ICMP Echo request από το PC1 στο PC2. Είναι το ping επιτυχές;
- 4.25 Περιγράψτε τι συμβαίνει. Από ποια διεπαφή προέρχεται το μήνυμα λάθους που εμφανίζεται;
- 4.26 Ξεκινήστε μια καταγραφή στη διεπαφή του R3 στο WAN2 συλλαμβάνοντας μόνο μηνύματα ICMP Echo request, εμφανίζοντας λεπτομέρειες και χρησιμοποιώντας την επιλογή -e ώστε να διακρίνεται η διεπαφή που τα παράγει. [Υποδ. Δείτε σύνταξη φίλτρων σύλληψης στην ιστοσελίδα <https://www.tcpdump.org/manpages/pcap-filter.7.html>].
- 4.27 Εκτελέστε πάλι το προηγούμενο ping, περιμένετε να ολοκληρωθεί και σταματήστε την καταγραφή. Πόσα μηνύματα ICMP Echo request εμφανίσθηκαν στο WAN2; [Υποδ. Όταν σταματάτε το tcpdump με Ctrl+C εμφανίζεται το πλήθος των πακέτων που λήφθηκαν και αυτών που καταγράφηκαν].
- 4.28 Πόσα από τα προηγούμενα μηνύματα ICMP Echo request έχουν ως πηγή τον R1 και πόσα τον R3; Αιτιολογήστε.

³ Εκτός από το μενού Network Settings του VirtualBox για τον R1, μπορείτε να κάνετε δεξί κλικ στο εικονίδιο για το δίκτυο του R1 και μετά επιλογή του Connect Network Adapter που αντιστοιχεί στο WAN1.

- 4.29 Ξεκινήστε μια καταγραφή στη διεπαφή του R1 στο WAN2 συλλαμβάνοντας μόνο μηνύματα ICMP Echo request και μια νέα καταγραφή στη διεπαφή του R3 στο WAN2 συλλαμβάνοντας μόνο μηνύματα ICMP Time Exceeded.
- 4.30 Εκτελέστε traceroute -l -q 1 από το PC1 στο PC2. Πόσα βήματα εμφανίζονται μέχρις ότου ολοκληρωθεί η εκτέλεση της εντολής; Ποια είναι η διαδρομή που καταγράφεται;
- 4.31 Σταματήστε τις καταγραφές. Πόσα μηνύματα ICMP Echo request στάλθηκαν από το PC1 και πόσα εμφανίστηκαν στο WAN2; Αιτιολογήστε το πλήθος τους.
- 4.32 Πόσα μηνύματα ICMP time exceeded εμφανίστηκαν στο WAN2. Αιτιολογήστε το πλήθος τους.

Άσκηση 5: Χωρισμός σε υποδίκτυα

Θα κατασκευάσετε τώρα στο VirtualBox ένα **νέο** δίκτυο με τρεις δρομολογητές και τέσσερα PC όπως στο σχήμα. Θα διαμοιράσετε στο δίκτυο διευθύνσεις IPv4 από το μπλοκ 172.17.17.0/24 έτσι ώστε στο υποδίκτυο του LAN1 να μπορεί να υπάρξουν τουλάχιστον 120 υπολογιστές, στο LAN2 τουλάχιστον 60 και στο LAN3 τουλάχιστον 30. Για τις συνδέσεις των δρομολογητών στα WAN1, WAN2 και WAN3 θα χρησιμοποιήσετε τις διευθύνσεις IPv4 του σχήματος. Για να επικοινωνούν οι υπολογιστές μεταξύ τους θα ορίσετε στατικές διαδρομές.



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

- 5.1 Ποια είναι η διεύθυνση υποδικτύου του LAN1;
- 5.2 Ποια είναι η κατάλληλη διεύθυνση υποδικτύου για το LAN2 ώστε να μην υπάρχει επικάλυψη με τις διευθύνσεις των WAN1, WAN2, WAN3;
- 5.3 Αντίστοιχα, ποια είναι η κατάλληλη διεύθυνση υποδικτύου για το LAN3;
- 5.4 Στον R1 ορίστε τις διευθύνσεις IPv4 των διεπαφών του στα WAN1 και WAN2 όπως στο σχήμα.
- 5.5 Στο υποδίκτυο του LAN1 ορίστε ως διεύθυνση IPv4 για τον δρομολογητή R1 αυτή με τη μεγαλύτερη τιμή host, ενώ για το PC1 αυτή με τη μικρότερη τιμή host.
- 5.6 Στον R2 ορίστε τις διευθύνσεις IPv4 των διεπαφών του στα WAN1 και WAN3 όπως στο σχήμα.
- 5.7 Στο υποδίκτυο του LAN2 ορίστε ως διεύθυνση IPv4 για τον δρομολογητή R2 αυτή με τη μικρότερη τιμή host, ενώ για τα PC2, PC3 αυτές με τις μεγαλύτερες δυνατές τιμές host.

- 5.8 Στον R3 ορίστε τις διευθύνσεις IPv4 των διεπαφών του στα WAN2 και WAN3 όπως στο σχήμα.
- 5.9 Στο υποδίκτυο του LAN3 ορίστε ως διεύθυνση IPv4 για τον δρομολογητή R3 αυτή με τη μεγαλύτερη τιμή host, ενώ για το PC4 αυτή με τη μικρότερη τιμή host.
- 5.10 Στα PC ορίστε ως προεπιλεγμένη πύλη τους αντίστοιχους δρομολογητές.
- 5.11 Στον R1 ορίστε στατικές εγγραφές ώστε να προωθεί πακέτα για τα LAN2 και LAN3 μέσω του R2.
- 5.12 Στον R2 ορίστε στατικές εγγραφές ώστε να προωθεί πακέτα για τα LAN1 και LAN3 μέσω του R3.
- 5.13 Στον R3 ορίστε στατικές εγγραφές ώστε να προωθεί πακέτα για το LAN1 και LAN2 μέσω του R1.
- 5.14 Επιβεβαιώστε ότι υπάρχει επικοινωνία ανάμεσα σε όλα τα LAN κάνοντας ping από το PC1 στο PC2, το PC2 στο PC4 και από το PC3 το PC1. Εάν όχι, ελέγξτε πρώτα ότι έχετε αποδώσει σωστά τις διευθύνσεις IP στα υποδίκτυα και κατόπιν τις στατικές διαδρομές.

Άσκηση 6: Ταυτόσημες διευθύνσεις IP

Για το μέρος αυτό της άσκησης, βεβαιωθείτε ότι στο `/etc/rc.conf` των PC2, PC3 έχει τεθεί η μεταβλητή `syslogd_flags="-scc"`. Εάν όχι προσθέστε την και επανεκκινήστε τα μηχανήματα. Με τη ρύθμιση αυτή θα εξασφαλίσετε ότι όλα τα μηνύματα λάθους θα εμφανισθούν στην κονσόλα⁴. Προτού συνεχίσετε επιβεβαιώστε ότι τα PC1, PC2 και PC3 επικοινωνούν μεταξύ τους.

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

- 6.1 Σημειώστε τις διευθύνσεις MAC των PC2 και PC3.
- 6.2 Αλλάξτε την IPv4 διεύθυνση του PC2 ώστε να γίνει ίδια με αυτήν του PC3.
- 6.3 Λάβατε κάποια ένδειξη λάθους στην προσπάθειά σας να ορίσετε τη διεύθυνση IP του PC2;
- 6.4 Εμφανίστηκε αντίστοιχη ένδειξη λάθους στο PC3;
- 6.5 Έχει ορισθεί η διεύθυνση IPv4 στο PC2; Ποιο είναι τότε το νόημα των μηνυμάτων λάθους;
- 6.6 Παραμένει ο R2 ως προεπιλεγμένη πύλη στο PC2; Γιατί;
- 6.7 Στο PC2 ορίστε και πάλι ως προεπιλεγμένη πύλη τον δρομολογητή R2.
- 6.8 Καθαρίστε τους πίνακες ARP σε όλα τα εικονικά μηχανήματα του LAN2.
- 6.9 Στον δρομολογητή R2 ξεκινήστε μια καταγραφή χωρίς επίλυση διευθύνσεων, ώστε να συλλάβετε όλα τα πακέτα arp στο LAN2.
- 6.10 Στα PC2 και PC3 ξεκινήστε καταγραφές χωρίς επίλυση διευθύνσεων, ώστε να συλλάβετε όλα τα τεμάχια tcp.
- 6.11 Από το PC1 προσπαθήστε να συνδεθείτε με SSH ως χρήστης lab στην IPv4 διεύθυνση του PC3. Εμφανίστηκε κάποια ένδειξη λάθους;
- 6.12 Σταματήστε τις καταγραφές και επαναλάβετε την προσπάθεια. Ήταν επιτυχής τώρα;
- 6.13 Καταγράψτε τις σχετικές με τα PC2, PC3 εγγραφές του πίνακα ARP στον R2.
- 6.14 Στην καταγραφή πακέτων arp, ποιο από τα PC2, PC3 απάντησε πρώτο στο ARP request του R2 και ποιο δεύτερο;

⁴ Ο πυρήνας του FreeBSD έχει την τάση να μην εμφανίζει στην κονσόλα επαναλαμβανόμενα μηνύματα λάθους. Σε τέτοιες περιπτώσεις βλέπετε ένα μήνυμα της μορφής "last message repeated N times" χωρίς να είναι προφανές ποιο είναι το μήνυμα, ειδικά εάν πρόκειται για πολλά διαφορετικά.

- 6.15 Σε ποιο από τα δύο μηχανήματα, PC2 ή PC3, ανήκει η διεύθυνση MAC που περιέχει ο πίνακας ARP του R2;
- 6.16 Σε ποιο από τα δύο μηχανήματα συνδεθήκατε τη δεύτερη φορά;
- 6.17 Με ποιους άλλους τρόπους μπορείτε να καταλάβετε σε ποιο μηχανήμα έχετε συνδεθεί;
- 6.18 Παρατηρώντας στις δύο καταγραφές τα τεμάχια TCP που σχετίζονται με την τριπλή χειραψία σε συνδυασμό με τη σειρά που λήφθηκαν τα ARP reply στον R2, εξηγήστε γιατί το SSH δεν λειτούργησε την πρώτη φορά καθώς και γιατί συνδεθήκατε στο συγκεκριμένο μηχανήμα τη δεύτερη φορά.
- 6.19 Επιπλέον εξηγήστε γιατί στις καταγραφές βλέπετε ότι το PC1 στέλνει tcp τεμάχια RST στο μηχανήμα όπου συνδέθηκε επιτυχώς τη δεύτερη φορά.

| | | |
|----------------|-------------|-----------|
| Όνοματεπώνυμο: | | Όνομα PC: |
| Ομάδα: | Ημερομηνία: | |

Εργαστηριακή Άσκηση 5

Στατική δρομολόγηση

Απαντήστε στα ερωτήματα στον χώρο που σας δίνεται παρακάτω και στην πίσω σελίδα εάν δεν επαρκεί. Το φυλλάδιο αυτό θα παραδοθεί στον επιβλέποντα.

1

- 1.1
.....
- 1.2
.....
- 1.3
.....
- 1.4
.....
- 1.5
.....
- 1.6
.....
- 1.7
.....
- 1.8
.....
.....
- 1.9
.....
- 1.10
.....
- 1.11
.....

2

- 2.1
.....
- 2.2
.....
- 2.3
.....
- 2.4
.....
- 2.5
.....
- 2.6
.....
- 2.7
.....

- 2.8
- 2.9
-
- 2.10
- 2.11
- 2.12
- 2.13 Σχεδιάστε παρακάτω

PC1**R1****PC3**

- 2.14
-
- 2.15
- 2.16
- 2.17
- 2.18
-
- 2.19
- 2.20
- 2.21
- 2.22
- 2.23
- 2.24

3

- 3.1
- 3.2
-
- 3.3
-

- 3.4
- 3.5
-
- 3.6
-
- 3.7
- 3.8
- 3.9
-
- 3.10
-
- 3.11
-
- 3.12
-
- 3.13
- 3.14
-
- 3.15
- 3.16
- 3.17
- 3.18
- 3.19
-
- 4**
- 4.1
-
- 4.2
- 4.3
- 4.4
-
-
- 4.5
-
- 4.6
- 4.7

- 4.8
.....
- 4.9
.....
- 4.10
- 4.11
- 4.12
- 4.13
- 4.14
.....
- 4.15
.....
.....
- 4.16
.....
- 4.17
- 4.18
.....
- 4.19
- 4.20
.....
.....
- 4.21
.....
- 4.22
- 4.23
- 4.24
- 4.25
.....
- 4.26
- 4.27
- 4.28
.....
- 4.29
.....
- 4.30
.....

4.31
.....

4.32
.....

5

5.1

5.2

5.3

5.4

.....

5.5

.....

5.6

.....

5.7

.....

.....

5.8

.....

5.9

.....

5.10

.....

.....

5.11

.....

5.12

.....

5.13

.....

5.14

.....

.....

6

6.1

.....

| | |
|------|-------|
| 6.2 | ..... |
| 6.3 | ..... |
| 6.4 | ..... |
| 6.5 | ..... |
| | |
| 6.6 | ..... |
| 6.7 | ..... |
| 6.8 | ..... |
| 6.9 | ..... |
| 6.10 | ..... |
| 6.11 | ..... |
| | |
| 6.12 | ..... |
| 6.13 | ..... |
| | |
| 6.14 | ..... |
| 6.15 | ..... |
| 6.16 | ..... |
| 6.17 | ..... |
| | |
| 6.18 | ..... |
| | |
| | |
| 6.19 | ..... |
| | |