

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 -in  Εμφανίζει πληροφορίες για τις διεπαφές δικτύου
netstat -rn  Εμφανίζει τα περιεχόμενα του πίνακα δρομολόγησης
netstat -a   Εμφανίζει τις ενεργές συνδέσεις
netstat -an  Εμφανίζει τις ενεργές συνδέσεις χωρίς επίλυση ονομάτων
netstat -s   Εμφανίζει στατιστικά για κάθε πρωτόκολλο
```

Για τις ενεργές συνδέσεις 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”, εάν προσδιορίζεται δίκτυο αντί συγκεκριμένου μηχανήματος. Τα host, network και port μπορεί να εμφανίζονται συμβολικά, όταν η

αντιστοίχιση με ονόματα είναι γνωστή, εκτός και εάν δοθεί η επιλογή `-n`. Απροσδιόριστες τιμές εμφανίζονται ως `“*”`.

Για τους πίνακες δρομολόγησης 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 αυτό-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 ορισθεί 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 224.0.0.0/4).

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 –net dest gateway	αλλάζει την πύλη για την ήδη εγκατεστημένη διαδρομή προς το δίκτυο dest.
route show dest	εμφανίζει τη διαδρομή για τον προορισμό dest.
route del 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:

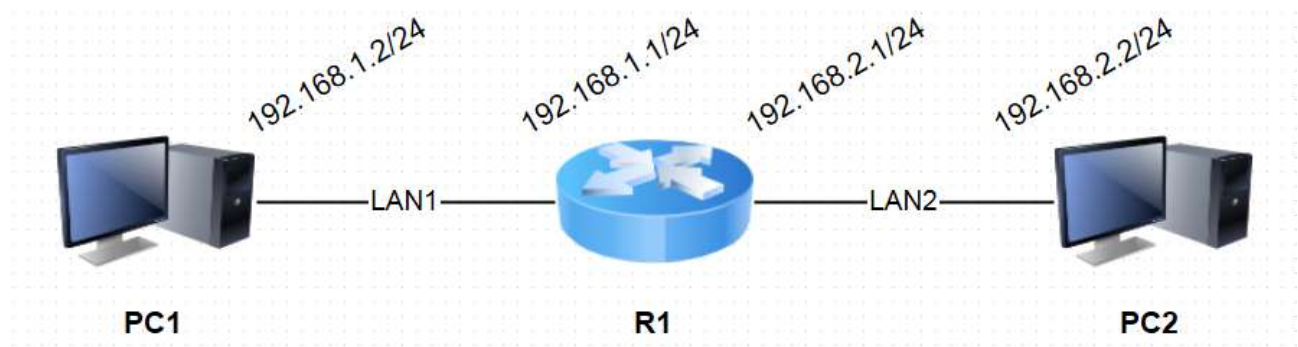
sysrc –a	Εμφανίζει τις μεταβλητές που περιέχει το αρχείο rc.conf
sysrc –d variable	Εμφανίζει σύντομη περιγραφή για τη μεταβλητή variable
sysrc variable	Εμφανίζει την τιμή της μεταβλητής variable
sysrc variable="value"	Θέτει την τιμή της μεταβλητής variable ίση με value

Προφανώς για να ισχύσουν οι όποιες τροποποιήσεις κάνετε, θα πρέπει 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 FreeBSD11.4.ova¹ που κατασκευάσατε στην Εργαστηριακή Άσκηση 2. Παρόμοια, για τον δρομολογητή R1 θα δημιουργήσετε ένα εικονικό μηχάνημα με δύο κάρτες δικτύου προσθέτοντας την κατάλληλη γραμμή στο `/etc/rc.conf` ώστε να ενεργοποιηθεί η λειτουργία προώθησης πακέτων IPv4. 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.



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 ποιες εντολές φλοιού ορίσατε διευθύνσεις IPv4 στα εικονικά μηχανήματα;
- 1.2 Ποια γραμμή προσθέσατε στο `/etc/rc.conf` του R1 ώστε να ενεργοποιηθεί η λειτουργία προώθησης πακέτων IPv4;
- 1.3 Προσθέστε στο PC1 στατική εγγραφή για το δίκτυο 192.168.2.0/24 που βρίσκεται ο υπολογιστής PC2.
- 1.4 Εξετάστε τον πίνακα δρομολόγησης του PC1. Τι σημαίνουν οι σημαίες (flags) που παρατηρείτε για τη διαδρομή προς το 192.168.2.0/24;
- 1.5 Δοκιμάστε την εντολή `ping` από το PC1 στο PC2. Τι παρατηρείτε;
- 1.6 Με χρήση του `tcpdump` στο R1 ελέγξτε εάν παράγονται πακέτα ICMP στο LAN1 και το LAN2. Εξηγήστε τι συμβαίνει.
- 1.7 Προσθέστε στο PC2 στατική εγγραφή για το δίκτυο 192.168.1.0/24 όπου βρίσκεται ο υπολογιστής PC1.

¹ Επίσης μπορείτε να το κατεβάσετε με ανώνυμο `ftp` από το `edu-dy.cn.ntua.gr` επιλέγοντας δυαδικό τρόπο μεταφοράς.

- 1.8 Δοκιμάστε πάλι την εντολή ping από το PC1 στο PC2. Υπάρχει τώρα επικοινωνία;
- 1.9 Εξηγήστε γιατί δεν χρειάζεται να γίνει καμία αλλαγή στον πίνακα δρομολόγησης του R1.

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.

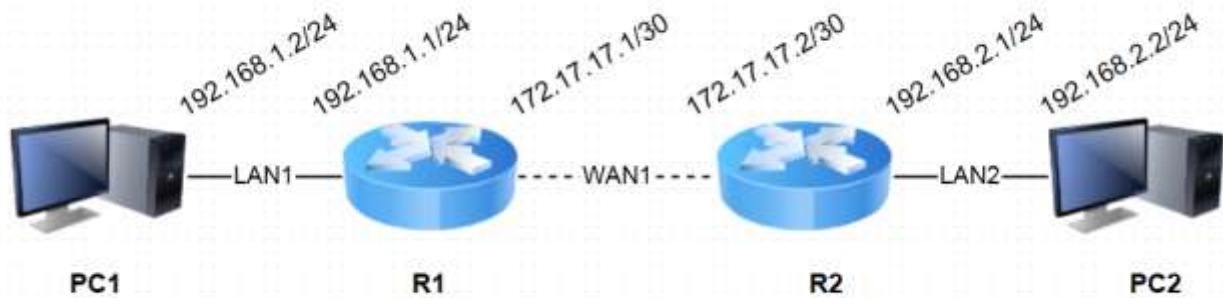
- 2.1 Στο PC1 καταργήστε τη στατική εγγραφή για το δίκτυο 192.168.2.0/24.
- 2.2 Αλλάξτε στο PC1 το μήκος προθέματος της IPv4 διεύθυνσης από /24 σε /20.
- 2.3 Από την προοπτική του PC1, τα PC2 και PC3 βρίσκονται στο ίδιο ή σε διαφορετικό υποδίκτυο;
- 2.4 Κάντε ping από το PC1 στα PC2 και PC3. Είναι επιτυχές;

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 πλαισίων που τα μεταφέρουν, και επαναλάβετε το προηγούμενο ping.
- 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 για το 192.168.2.0/24; Ορίστε την πάλι μέσω του R1.

Άσκηση 3: Δρομολόγηση σε περισσότερα βήματα

Αποσυνδέστε το PC3 από το δίκτυο ανοίγοντας την κατηγορία Advanced στις ρυθμίσεις δικτύου και σβήνοντας τη ρύθμιση “Cable connected”. Μην το διαγράψετε, θα το χρειαστείτε στην επόμενη άσκηση. Στην προηγούμενη τοπολογία προσθέστε τώρα άλλη μία συσκευή R2 με δύο διεπαφές και ενεργοποιημένη την προώθηση πακέτων IPv4. Ονομάστε WAN1² όπως στο σχήμα το δίκτυο μεταξύ των R1 και R2.



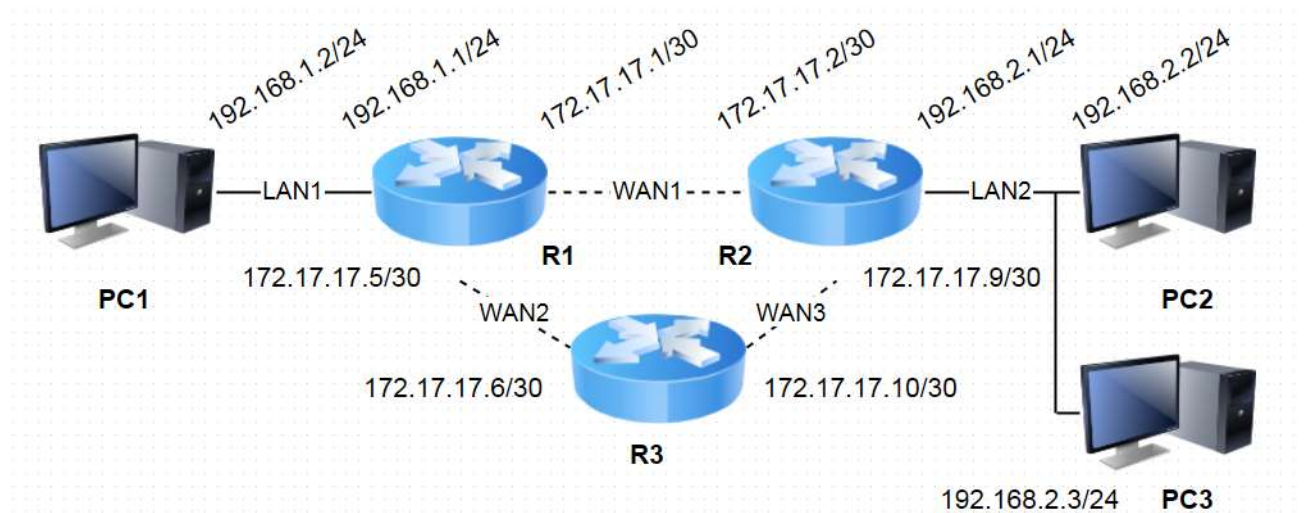
Απαντήστε τις παρακάτω ερωτήσεις καταγράφοντας παράλληλα, όπου απαιτείται, την ακριβή σύνταξη των εντολών που χρησιμοποιήσατε.

- 3.1 Ορίστε διευθύνσεις IPv4 στις διεπαφές του R1 στα τοπικά δίκτυα LAN1 και WAN1.
- 3.2 Ορίστε διευθύνσεις IPv4 στις διεπαφές του R2 στα τοπικά δίκτυα WAN1 και LAN2.
- 3.3 Δοκιμάστε πάλι την εντολή ping από το PC1 στο PC2. Τι είδους ένδειξη λάθους παρατηρείτε;
- 3.4 Με χρήση του tcpdump ελέγξτε εάν και τι είδους μηνύματα ICMP παράγονται στο LAN1. Παράγονται μηνύματα ICMP στο WAN1; Εξηγήστε τι συμβαίνει.
- 3.5 Δοκιμάστε τώρα την εντολή traceroute από το PC1 στο PC2. Τι σημαίνει η ένδειξη λάθους που παρατηρείτε;
- 3.6 Προσθέστε στον R1 στατική εγγραφή για το 192.168.2.0/24 μέσω του R2;
- 3.7 Μπορείτε τώρα να κάνετε ping από το PC1 στο PC2;
- 3.8 Τι είδους μηνύματα ICMP παρατηρείτε στο LAN2 και για ποιο λόγο παράγεται το καθένα;
- 3.9 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;
- 3.10 Τι είδους μηνύματα παράγονται στο LAN2;
- 3.11 Γιατί δεν παρατηρείτε στο LAN2 μηνύματα ICMP host unreachable; [Υποδ. Δείτε ιστοσελίδα http://www.tcpipguide.com/free/t_ICMPMessageCreationandProcessingConventionsandRule-2.htm].
- 3.12 Προσθέστε στατική εγγραφή στον δρομολογητή R2 για να μπορέσει να επικοινωνήσει το PC2 με το PC1.
- 3.13 Μπορείτε τώρα να κάνετε traceroute από το PC1 στο PC2; Τι είδους μηνύματα ICMP παράγονται στο WAN1 και για ποιο λόγο;
- 3.14 Κάντε ping από το PC2 στη διεύθυνση 172.17.17.1. Τι παρατηρείτε;
- 3.15 Διαγράψτε στο PC2 τη στατική εγγραφή για το 192.168.1.0/24.
- 3.16 Προσθέστε στο PC2 ως προεπιλεγμένη πύλη την 192.168.2.1.
- 3.17 Κάντε πάλι ping από το PC2 στη διεύθυνση 172.17.17.1. Τι παρατηρείτε τώρα;
- 3.18 Εξηγήστε τη διαφορετική συμπεριφορά που παρατηρήσατε στα δύο προηγούμενα ping.

² Ο όρος WAN (Wide Area Network) σημαίνει «δίκτυο ευρείας περιοχής» και στο σχήμα αναπαριστάται με μια ζεύξη σημείου-προς-σημείο μεταξύ δύο δρομολογητών.

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 Ενεργοποιήστε τη διεπαφή του PC3 στο LAN2 και ορίστε διεύθυνση IPv4.
- 4.2 Στο PC3 ορίστε στατική διαδρομή για το υποδίκτυο 192.168.1.0/24 μέσω του R2.
- 4.3 Σε ποια εσωτερικά δίκτυα του VirtualBox πρέπει να βρίσκονται οι κάρτες δικτύου του R1 και με ποιες εντολές φλοιού θα ορίσετε τις IP διευθύνσεις τους;
- 4.4 Σε ποια εσωτερικά δίκτυα του VirtualBox πρέπει να βρίσκονται οι κάρτες δικτύου του R2 και με ποιες εντολές φλοιού θα ορίσετε τις IP διευθύνσεις τους;
- 4.5 Σε ποια εσωτερικά δίκτυα του VirtualBox πρέπει να βρίσκονται οι κάρτες δικτύου του R3 και με ποιες εντολές φλοιού θα ορίσετε τις IP διευθύνσεις τους;
- 4.6 Προσθέστε στατική εγγραφή στον R1 ώστε να προωθεί πακέτα για το LAN2 μέσω του R2.
- 4.7 Προσθέστε στατική εγγραφή στον R2 ώστε να προωθεί πακέτα για το LAN1 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 TTL³;
- 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;

³ Υπενθυμίζεται ότι η τιμή του TTL αφορά προφανώς το πακέτο ICMP reply.

- 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 διεπαφή⁴ 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 ή παράγονται πακέτα UDP στο PC2;
- 4.18 Δοκιμάστε τώρα traceroute από το PC1 στο PC3. Αφήστε να ολοκληρωθούν τουλάχιστον 4 βήματα. Παρατηρείτε να φτάνουν ή παράγονται πακέτα UDP στο PC3;
- 4.19 Ποια είναι η σύνταξη της εντολής route για να αλλάξετε 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.
- 4.20 Στον R1 με τη βοήθεια της εντολής “route show” δείτε την πληροφορία για τις διαδρομές προς τις διεθύνσεις IPv4 των PC2 και PC3. Ποια διαφορά παρατηρείτε;
- 4.21 Ποια από τις εγγραφές του πίνακα δρομολόγησης στον R1 επιλέγεται όταν κάνετε ping από το PC1 στο PC3;

Άσκηση 5: Βρόχοι κατά τη δρομολόγηση

Όταν τοποθετούνται στατικές εγγραφές χειροκίνητα υπάρχει περίπτωση να γίνει κάποιο λάθος. Υπό προϋποθέσεις, υπάρχει η πιθανότητα να δημιουργηθεί βρόχος (loop) κατά τη δρομολόγηση. Στην άσκηση αυτή θα προκαλέσετε σκόπιμα κάτι τέτοιο στο δίκτυο της προηγούμενης άσκησης.

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

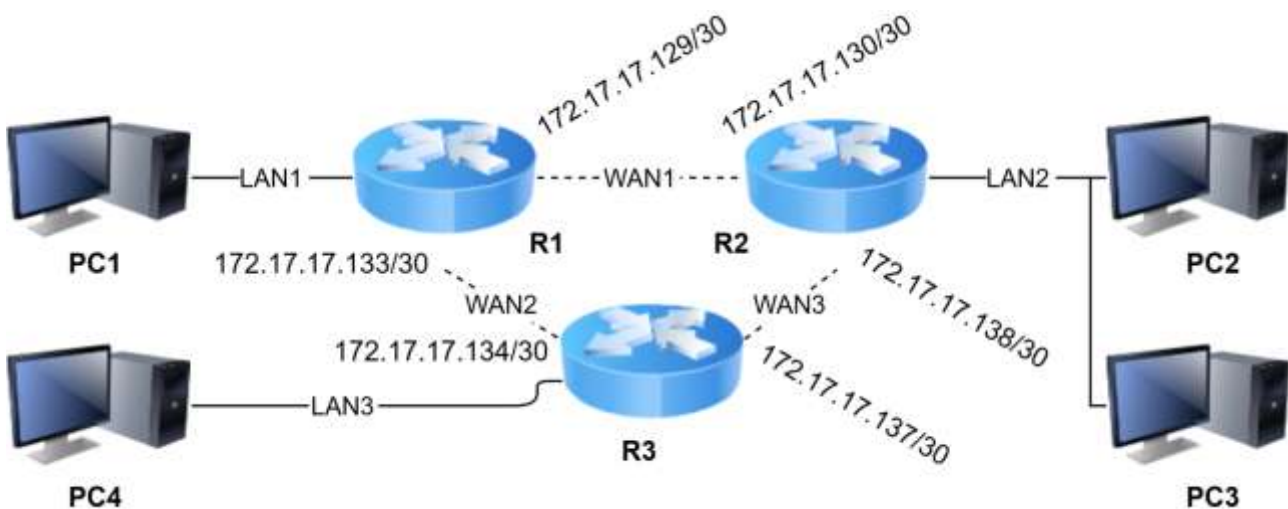
- 5.1 Τροποποιήστε στον R3 την υπάρχουσα στατική εγγραφή για το δίκτυο 192.168.2.0/24 ώστε να στέλνει την κίνηση στον R1 αντί στον R2.
- 5.2 Εκτελέστε ping στέλνοντας ένα μόνο ICMP Echo request από το PC1 στο PC2. Περιμένετε μέχρι να ολοκληρωθεί. Είναι το ping επιτυχές;
- 5.3 Από ποια διεπαφή προέρχεται το μήνυμα λάθους που εμφανίζεται;
- 5.4 Σε ποιο δρομολογητή και ποιο δίκτυο αυτού πρέπει να καταγράψετε με το tcpdump τα πακέτα ICMP για να παρατηρήσετε καλύτερα το τι συμβαίνει; [Υποδ. Χρησιμοποιήστε την επιλογή -e για να είναι εμφανής η διεπαφή που τα παράγει].
- 5.5 Ποιο φίλτρο πρέπει να εφαρμόσετε ώστε το tcpdump να συλλαμβάνει μόνο πακέτα ICMP Echo request; [Υποδ. Δείτε man pcap-filter].
- 5.6 Πόσα πακέτα ICMP Echo request παράχθηκαν από το PC1 και πόσα εμφανίσθηκαν στο WAN2. [Υποδ. Όταν σταματάτε το tcpdump με Ctrl+C εμφανίζεται το πλήθος των πακέτων που λήφθηκαν και αυτών που καταγράφηκαν].
- 5.7 Ξεκινήστε καταγραφή στη διεπαφή του R1 στο LAN1 αποθηκεύοντας τα αποτελέσματά της σε αρχείο. Αντίστοιχα στη διεπαφή του R3 στο WAN2.
- 5.8 Εκτελέστε traceroute -I -q 1 από το PC1 στο PC2. Πόσα βήματα εμφανίζονται μέχρις ότου ολοκληρωθεί η εκτέλεση της εντολής; Ποια είναι η διαδρομή που καταγράφετε;

⁴ 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.

- 5.9 Σταματήστε τις καταγραφές. Πόσα πακέτα ICMP Echo request στάλθηκαν από το PC1; [Υποδ. Χρησιμοποιήστε τις εντολές *grep* και *wc* για να τα μετρήσετε].
- 5.10 Πόσα πακέτα ICMP Echo request εμφανίσθηκαν στο WAN2. Αιτιολογήστε το πλήθος τους.
- 5.11 Πόσα πακέτα ICMP time exceeded εμφανίσθηκαν στο WAN2. Αιτιολογήστε το πλήθος τους.
- 5.12 Υποδείξτε έναν άλλο τρόπο για να μετρήσετε τα πακέτα ICMP Echo ή ICMP time exceeded χωρίς να χρειαστεί να αποθηκεύσετε τα αποτελέσματα της *tcpdump*.
- 5.13 Σε τι διαφέρουν τα πακέτα ICMP Echo request που παράχθηκαν από τα εργαλεία *ping* και *traceroute*;
- 5.14 Γιατί τα ICMP Echo request δεν κυκλοφορούν αενάως στο δίκτυο;

Άσκηση 6: Χωρισμός σε υποδίκτυα

Θα κατασκευάσετε τώρα στο VirtualBox ένα **νέο** δίκτυο με τρεις δρομολογητές και τέσσερα PC. Όλοι οι δρομολογητές έχουν τρεις κάρτες δικτύου που θα τις ορίσετε σε τοπικά δίκτυα όπως φαίνεται στο σχήμα. Για να επικοινωνούν οι υπολογιστές μεταξύ τους θα ορίσετε τις σωστές στατικές εγγραφές και θα διαμοιράσετε 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 στα WAN1, WAN2 και WAN3 θα χρησιμοποιήσετε τις διευθύνσεις IPv4 του σχήματος.



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

- 6.1 Ποια είναι η διεύθυνση υποδικτύου του LAN1;
- 6.2 Ποια είναι η διεύθυνση υποδικτύου του LAN2;
- 6.3 Ποια είναι η διεύθυνση υποδικτύου του LAN3;
- 6.4 Στο υποδίκτυο του LAN1 ορίστε ως διεύθυνση IPv4 για το PC1 αυτή με τη μικρότερη τιμή host, ενώ για τον δρομολογητή R1 αυτή με τη μεγαλύτερη τιμή host.
- 6.5 Αντίστοιχα, στο υποδίκτυο του LAN3.
- 6.6 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.
- 6.7 Στα PC ορίστε ως προεπιλεγμένη πύλη τους αντίστοιχους δρομολογητές.
- 6.8 Στον R1 ορίστε στατικές εγγραφές ώστε να προωθεί πακέτα για τα LAN2 και LAN3 μέσω του R2.

- 6.9 Στον R2 ορίστε στατικές εγγραφές ώστε να προωθεί πακέτα για τα LAN1 και LAN3 μέσω του R3.
- 6.10 Στον R3 ορίστε στατικές εγγραφές ώστε να προωθεί πακέτα για το LAN1 και LAN2 μέσω του R1.
- 6.11 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.

Άσκηση 7: 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 κονσόλα⁵. 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.

- 7.1 Σημειώστε τις διευθύνσεις MAC των PC2 και PC3.
- 7.2 Αλλάξτε την IPv4 διεύθυνση του PC2 ώστε να γίνει ίδια με αυτήν του PC3.
- 7.3 Λάβατε κάποια ένδειξη λάθους στην προσπάθειά σας να ορίσετε τη διεύθυνση IP του PC2;
- 7.4 Εμφανίστηκε αντίστοιχη ένδειξη λάθους στο PC3;
- 7.5 Έχει ορισθεί η διεύθυνση IPv4 στο PC2; Ποιο είναι τότε το νόημα των μηνυμάτων λάθους;
- 7.6 Παραμένει ο R2 ως προεπιλεγμένη πύλη στο PC2; Γιατί;
- 7.7 Στο PC2 ορίστε και πάλι ως προεπιλεγμένη πύλη τον δρομολογητή R2.
- 7.8 Καθαρίστε τους πίνακες ARP σε όλα τα εικονικά μηχανήματα του LAN2.
- 7.9 Στον δρομολογητή R2 ξεκινήστε μια καταγραφή, ώστε να συλλάβετε όλα τα πακέτα arp στο LAN2.
- 7.10 Στα PC2 και PC3 ξεκινήστε καταγραφές χωρίς επίλυση διευθύνσεων, ώστε να συλλάβετε όλα τα τεμάχια tcp.
- 7.11 Από το PC1 προσπαθήστε να συνδεθείτε με SSH ως χρήστης lab στην IPv4 διεύθυνση του PC3. Εμφανίστηκε κάποια ένδειξη λάθους;
- 7.12 Σταματήστε τις καταγραφές και επαναλάβετε την προσπάθεια. Ήταν επιτυχής τώρα;
- 7.13 Καταγράψτε τις σχετικές με τα PC2, PC3 εγγραφές του πίνακα ARP στον R2.
- 7.14 Στην καταγραφή πακέτων arp, ποιο από τα PC2, PC3 απάντησε πρώτο στο ARP request του R2 και ποιο δεύτερο;
- 7.15 Σε ποιο από τα δύο μηχανήματα, PC2 ή PC3, ανήκει η διεύθυνση MAC που περιέχει ο πίνακας ARP του R2;
- 7.16 Σε ποιο από τα δύο μηχανήματα συνδεθήκατε τη δεύτερη φορά;
- 7.17 Με ποιους άλλους τρόπους μπορείτε να καταλάβετε σε ποιο μηχανήμα έχετε συνδεθεί;
- 7.18 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.

⁵ 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.

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
.....
.....

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
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	.....

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	.....

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	.....

7	
7.1	.....

7.2	.....
7.3	.....
7.4	.....
7.5	.....

7.6	.....
7.7	.....
7.8	.....
7.9	.....
7.10	.....
7.11	.....

7.12	.....

7.13	.....

7.14	.....
7.15	.....
7.16	.....
7.17	.....

7.18	.....

