

## Εργαστηριακή Άσκηση 7

### Δυναμική δρομολόγηση OSPF

#### Πρωτόκολλο δρομολόγησης OSPF (Open Shortest Path First)

Το OSPF είναι ένα ακόμη πρωτόκολλο εσωτερικής δρομολόγησης (IGP). Η έκδοση 2, RFC 2328, είναι για δίκτυα IPv4 ενώ η έκδοση 3, RFC 5340, υποστηρίζει επιπλέον το νέο πρωτόκολλο δικτύου IPv6<sup>1</sup>. Εντός ενός αυτόνομου συστήματος (AS), το OSPF συγκεντρώνει πληροφορίες κατάστασης ζεύξεων (Link state information) από γειτονικούς δρομολογητές, κατασκευάζει την τοπολογία του δικτύου και μέσω αυτής καθορίζει τον πίνακα δρομολόγησης με χρήση του αλγορίθμου ελάχιστης διαδρομής (Shortest Path First - SPF) του Dijkstra. Το OSPF έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει υποδίκτυα με μάσκες μεταβλητού μήκους (VLSM) καθώς και την αταξική δρομολόγηση (CIDR). Το OSPF ανιχνεύει αλλαγές στην τοπολογία, όπως αστοχίες συνδέσεων, και κατασκευάζει πίνακες δρομολόγησης χωρίς βρόχους υπολογίζοντας τη συντομότερη διαδρομή. Για τον σκοπό αυτό σε κάθε ζεύξη αντιστοιχίζεται ένα κόστος (μετρική), π.χ. η καθυστέρηση RTT μέχρι τον επόμενο δρομολογητή είτε η ρυθμοαπόδοση (throughput) της ζεύξης είτε η διαθεσιμότητα ή αξιοπιστία της σύνδεσης, που εκφράζεται ως αδιάστατος ακέραιος αριθμός. Το OSPF υπολογίζει αυτόματα το κόστος μιας ζεύξης, εάν δεν ορισθεί χειροκίνητα, ως το αντίστροφο της ταχύτητας (bandwidth) της διεπαφής, δηλαδή  $Cost = Reference\ bandwidth / interface\ bandwidth$ . Η προεπιλεγμένη ταχύτητα αναφοράς είναι 100Mbps. Έτσι μια διεπαφή ταχέως Ethernet 100Mbps θα έχει κόστος 1. Για μοντέρνες διεπαφές ταχύτητας Gigabit και πάνω, το κόστος θα ήταν και πάλι 1. Προκειμένου να υπάρξει διαφοροποίηση αυτών, ο διαχειριστής μπορεί να αλλάξει την τιμή αναφοράς<sup>2</sup>. Τέλος, σε κάποιες υλοποιήσεις του OSPF επιτρέπονται περισσότερες τις μιας διαδρομές με το ίδιο κόστος για καταμερισμό της κίνησης.

Ο αλγόριθμος SPF μπορεί να γίνει υπολογιστικά βαρύς σε μεγάλα δίκτυα (π.χ. σε δίκτυα με πολλούς δρομολογητές και ασταθείς ζεύξεις). Για απλούστευση της διαχείρισης, ένα OSPF δίκτυο μπορεί να διαιρεθεί σε περιοχές (areas) δρομολόγησης. Οι περιοχές προσδιορίζονται με αριθμούς 32-bit, που εκφράζονται συνήθως ως ακέραιοι. Η περιοχή 0 (μηδέν) αντιπροσωπεύει τον κορμό (backbone) ενός δικτύου OSPF. Οι ταυτότητες των άλλων περιοχών είναι αυθαίρετες, συχνά όμως οι διαχειριστές επιλέγουν τη διεύθυνση IP ενός κεντρικού δρομολογητή της περιοχής ως ταυτότητα. Το OSPF επιβάλλει μια αυστηρή ιεραρχία δύο επιπέδων όσον αφορά τη διασύνδεση περιοχών. Οι δρομολογητές που έχουν όλες τις διεπαφές τους εντός μιας περιοχής αποκαλούνται εσωτερικοί (internal) δρομολογητές. Ένας δρομολογητής με τουλάχιστον μία διεπαφή στην περιοχή 0 είναι δρομολογητής κορμού (backbone). Ένας δρομολογητής με όλες τις διεπαφές του εντός της περιοχής 0 είναι ταυτόχρονα εσωτερικός και κορμού. Κάθε περιοχή έχει άμεση ή έμμεση σύνδεση με τον κορμό. Η σύνδεση αυτή συντηρείται από ένα δρομολογητή ABR (Area Border Router) που έχει μία τουλάχιστον διεπαφή στον κορμό και μια άλλη σε περιοχή εκτός κορμού. Ο δρομολογητής ABR διατηρεί χωριστές βάσεις δεδομένων για τις καταστάσεις ζεύξεων για κάθε περιοχή που εξυπηρετεί καθώς και συνοπτικές διαδρομές για όλες τις περιοχές του δικτύου. Τέλος ο δρομολογητής ASBR (Autonomous System Boundary Router) είναι ένας δρομολογητής OSPF που εισάγει εξωτερικές διαδρομές από άλλη πηγή (route redistribution) εντός του δικτύου OSPF.

Το OSPF διακρίνει δύο κύριους τύπους περιοχών δρομολόγησης: διαβιβαστικές (transit) και απολήξεις (stub). Οι διαβιβαστικές έχουν δύο ή περισσότερους δρομολογητές και τα πακέτα μπορούν να πηγάζουν ή διέρχονται από αυτές. Οι περιοχές απολήξεις έχουν ένα μόνο δρομολογητή

<sup>1</sup> Υποστηρίζει τόσο IPv6 όσο και IPv4 διευθύνσεις, αλλά δεν είναι συμβατό με το OSPFv2.

<sup>2</sup> Η αλλαγή πρέπει να γίνει σε όλους τους δρομολογητές του δικτύου OSPF.

και τα πακέτα είτε πηγάζουν είτε καταλήγουν σε αυτές. Το OSPF μπορεί να λειτουργήσει σε δίκτυα εκπομπής (broadcast), π.χ. Ethernet, σε δίκτυα μεταγωγής (non-broadcast), π.χ. Frame-Relay, ATM, X.25, και σε ζεύξεις σημείου προς σημείο (point-to-point), π.χ. PPP, HDLC. Το OSPF, σε αντίθεση με τα RIP και BGP, δεν χρησιμοποιεί κάποιο πρωτόκολλο μεταφοράς (UDP, TCP). Τα μηνύματά του ενθυλακώνονται απευθείας στο IP με αριθμό πρωτοκόλλου 89. Διαθέτει δε δικές του λειτουργίες εντοπισμού και διόρθωσης σφαλμάτων. Το OSPF χρησιμοποιεί πολλαπλή διανομή (multicast) για τη διασπορά των πακέτων κατάστασης ζεύξεων. Η διεύθυνση 224.0.0.5 για το IPv4 (FF02::5 για το IPv6) αντιπροσωπεύει όλους τους OSPF δρομολογητές και η 224.0.0.6 για το IPv4 (FF02::6 για το IPv6) όλους τους DR (Designated Router) δρομολογητές<sup>3</sup>. Το OSPF υποστηρίζει την πιστοποίηση αυθεντικότητας των μηνυμάτων, χρησιμοποιώντας ποικίλες μεθόδους ελέγχου ταυτότητας που να επιτρέπουν μόνο σε έμπιστους δρομολογητές να συμμετέχουν στη δρομολόγηση.

### Αλγόριθμος Κατάστασης Ζεύξεων (Link State – Dijkstra)

Αρχικά, ο αλγόριθμος κατάστασης ζεύξεων είχε ως βασικό στόχο την αντιμετώπιση των δύο προβλημάτων του αλγορίθμου διανύσματος αποστάσεων: α) ότι δεν λαμβάνει υπόψη τη χωρητικότητα των γραμμών και β) ότι μερικές φορές ο αλγόριθμος καθυστερεί υπερβολικά για να συγκλίνει. Για τους λόγους αυτούς, επινοήθηκε ένας καινούργιος αλγόριθμος, ο αλγόριθμος κατάστασης ζεύξεων (link state). Η τοπολογία δικτύου και τα κόστη των ζεύξεων (μαζί οι δύο αυτές πληροφορίες ονομάζονται Link state) γνωστοποιούνται σε όλους τους κόμβους. Αυτό επιτυγχάνεται με εκπομπή, από κάθε δρομολογητή προς όλους τους δρομολογητές του δικτύου, του κόστους των ζεύξεων που είναι συνδεδεμένες σ' αυτόν, ώστε όλοι οι κόμβοι να έχουν την ίδια πληροφορία. Κάθε κόμβος εκτελεί τον αλγόριθμο Dijkstra και υπολογίζει τις διαδρομές ελαχίστου κόστους προς όλους τους άλλους. Το αποτέλεσμα της εκτέλεσης είναι ο πίνακας δρομολόγησης για τον κόμβο.

#### Ο αλγόριθμος Dijkstra<sup>4</sup>.

**Είσοδος:** Γράφος  $(N,E)$  με  $N$  το σύνολο των κόμβων και  $E \subseteq N \times N$  το σύνολο των ακμών

$d_{vw}$  κόστος της ζεύξης ( $d_{vw} = \infty$  εάν  $(v,w) \notin E$ ,  $d_{vw} = 0$ )

$s$  ο κόμβος πηγή

**Έξοδος:**  $D_n$  το κόστος της διαδρομής ελαχίστου κόστους από τον  $s$  στον κόμβο  $n$

$M = \{s\};$

για κάθε  $n \notin M$

$D_n = d_{sn};$

while ( $M \neq$  όλοι οι κόμβοι) do

Βρες  $w \notin M$  για το οποίο  $D_w = \min\{D_j ; j \notin M\};$

πρόσθεσε  $w$  στο  $M;$

για κάθε  $n \notin M$

$D_n = \min_w [ D_n, D_w + d_{wn} ];$

Ενημέρωσε διαδρομή;

end do

<sup>3</sup> Δείτε πιο κάτω λεπτομέρειες OSPF DR/BDR.

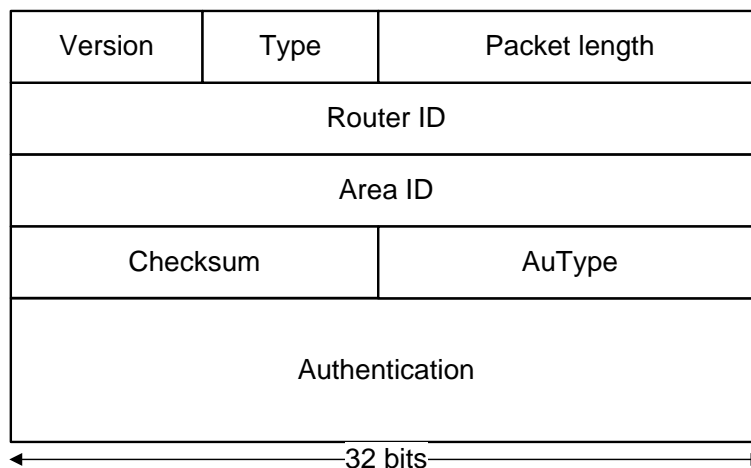
<sup>4</sup> Για μία γραφική αναπαράσταση της εκτέλεσης του αλγορίθμου, δείτε: [http://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra%27s\\_algorithm](http://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra%27s_algorithm)

## Βασική λειτουργία OSPF

Παρότι το OSPF είναι ένα πολύπλοκο πρωτόκολλο η βασική του λειτουργία είναι απλή. Η πρώτη εργασία που πραγματοποιεί είναι η ανίχνευση της διασύνδεσης με άλλους δρομολογητές που υποστηρίζουν OSPF. Κάθε δρομολογητής OSPF στέλνει πακέτα Hello σε όλες τις διεπαφές του. Όταν ένας δρομολογητής ανακαλύψει μέσω των πακέτων Hello την ύπαρξη ενός άλλου δρομολογητή προσπαθεί να εγκαταστήσει μια σχέση γειτονίας (adjacency) εφόσον τηρούνται ορισμένες προϋποθέσεις (π.χ. ανήκουν στην ίδια περιοχή, έχουν την ίδια MTU, Hello timers κ.α.<sup>5</sup>).

Μετά την φάση επιτυχούς γειτονίας κάθε δρομολογητής ανταλλάσσει πληροφορίες LSA (Link State Advertisements) με τους γείτονές του. Στην ορολογία του OSPF η λέξη ζεύξη είναι το ίδιο με τη διεπαφή. Οι διαφημίσεις LSA περιέχουν την ταυτότητα της ζεύξης, την κατάσταση της ζεύξης, το κόστος και τη λίστα των γειτόνων που συνδέονται στην εν λόγω ζεύξη. Κάθε δρομολογητής αποθηκεύει τις LSA που λαμβάνει στην LSDB (Link State Database), η οποία περιγράφει το δίκτυο ως ένα γράφο με βάρη, και τις διαφημίζει σε όλους τους OSPF γείτονες με αποτέλεσμα όλοι να έχουν ταυτόσημες LSDB. Κάθε δρομολογητής τρέχει τον αλγόριθμο Dijkstra για να επιλέξει την καλύτερη διαδρομή από τη βάση δεδομένων που διαθέτει (LSDB). Έτσι κατασκευάζει ένα γράφο ελεύθερο βρόχων (δηλ. ένα δένδρο) που δείχνει τη συντομότερη διαδρομή για κάθε διαφημιζόμενο προορισμό και τελικά τον πίνακα δρομολόγησης.

Το OSPF χρησιμοποιεί πέντε τύπους πακέτων: Hello (Type 1), Database Description-DBD (Type 2), Link State Request - LSR (Type 3), Link State Update - LSU (Type 4) και Link State Acknowledgement -LSack (Type 5). Ο τύπος του πακέτου προσδιορίζεται στην επικεφαλίδα των πακέτων OSPF. Στην επικεφαλίδα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 για πακέτα OSPFv2 εκτός από τον τύπο (*Type*), προσδιορίζεται η έκδοση (*Version*), για IPv4 τιμή 2 και για IPv6 τιμή 3, το μήκος του πακέτου (*Packet length*) περιλαμβανομένης της επικεφαλίδας, η ταυτότητα του δρομολογητή, *Router ID* και η ταυτότητα της περιοχής, *Area ID*. Επίσης υπάρχει ένα πεδίο ελέγχου (*Checksum*) και πληροφορία για τη μέθοδο πιστοποίησης της αυθεντικότητας (πεδία *AuType* και *Authentication*).

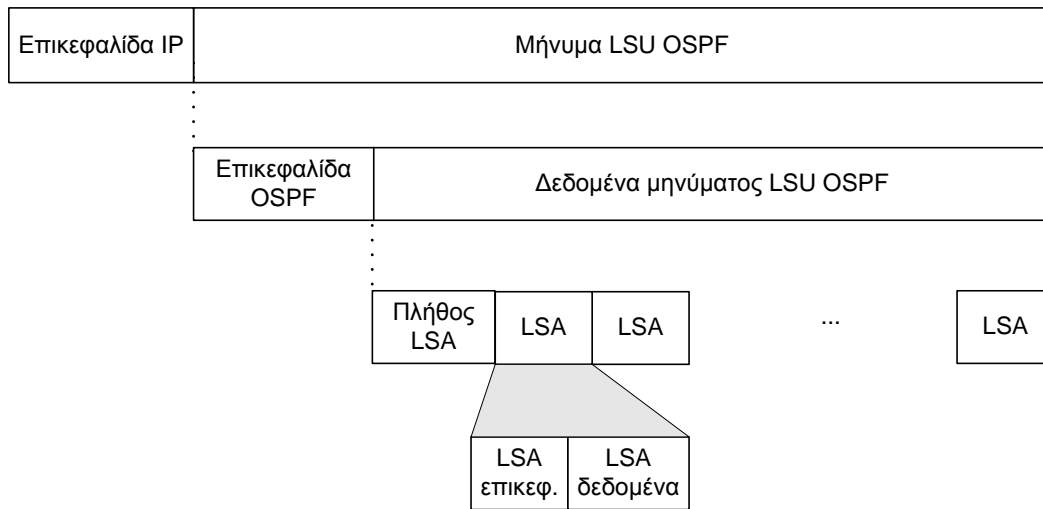


Σχήμα 1: Τυπική επικεφαλίδα OSPF

Μετά την επικεφαλίδα ακολουθούν ειδικά δεδομένα ανά είδος πακέτου και στη συνέχεια ακολουθούν πληροφορίες για τους γείτονες ως εξής: στα πακέτα Hello υπάρχει η λίστα των γνωστών γειτόνων, στα DBD η συνοπτική περιγραφή της LSDB, που περιλαμβάνει τις ταυτότητες *Router ID* όλων των γνωστών δρομολογητών, στα LSR ο ζητούμενος τύπος LSU και η ταυτότητα

<sup>5</sup> Δείτε παρακάτω κατάσταση 2-way.

*Router ID* του δρομολογητή που έχει τη ζητούμενη πληροφορία. Τέλος, στα LSU περιέχονται οι διαφημίσεις LSA (δείτε σχήμα).

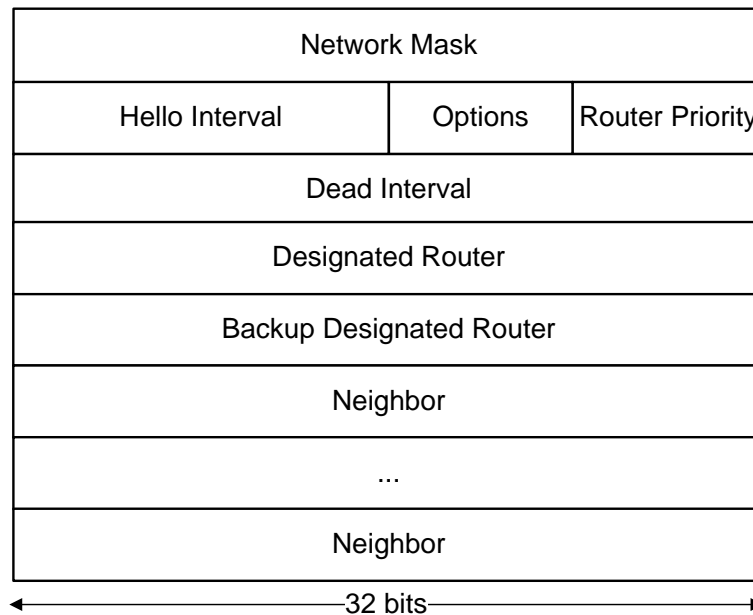


Σχήμα 2: Διαστρωμάτωση επικεφαλίδων OSPF

### Το πακέτο Hello

Προτού ανταλλάξουν βάσεις δεδομένων δρομολόγησης, οι δρομολογητές OSPF πρέπει να ανακαλύψουν τους γείτονές τους και να συμφωνήσουν σε ορισμένες παραμέτρους. Τα πακέτα Hello (OSPF Type 1) επιτελούν το σκοπό αυτό, διαφημίζοντας ορισμένες παραμέτρους και λειτουργώντας ως μηχανισμός διατήρησης (keepalive) της γειτονίας. Εάν ένας δρομολογητής δεν ακούσει τα πακέτα Hello του γείτονά του για δοθέντα χρόνο, θεωρεί ότι ο γείτονας δεν ανταποκρίνεται και ακυρώνει ότι πληροφορία έλαβε από αυτόν. Επίσης, εξασφαλίζουν το αμφίδρομο της επικοινωνίας, μιας και ο δρομολογητής αναμένει να δει την ταυτότητά του (*Router ID*) στα πακέτα Hello που λαμβάνει από τους γείτονές του.

Το πακέτο Hello μεταφέρει τις ακόλουθες πληροφορίες: τη μάσκα δικτύου (*Network Mask*) της διεπαφής από την οποία προήλθε, τον χρόνο επανεκπομπής (*Hello Interval*), 10 sec για δίκτυα εκπομπής (π.χ. Ethernet) και ζεύξεις σημείου προς σημείο (point-to-point), 30 sec σε άλλα είδη ζεύξεων (π.χ. ATM, Frame relay), τις επιλογές (*Options*), πεδίο 8-bit με πιο σημαντικό το bit E που ορίζει το εάν πρόκειται για διαβιβαστικό δίκτυο ή για δίκτυο απόληξη, την προτεραιότητα του δρομολογητή (*Router Priority*) στη διαδικασία εκλογής DR/BDR, το νεκρό διάστημα (*Dead Interval*), τυπικά 4 φορές η τιμή του *Hello Interval*, 40 sec για δίκτυα εκπομπής και ζεύξεις σημείου προς σημείο ή 120 sec για άλλα είδη ζεύξεων, που εάν παρέλθει ο γείτονας θεωρείται ανενεργός και παύει η γειτονία, τον επιλεγμένο δρομολογητή DR (*Designated Router*) με τον εναλλακτικό του BDR (*Backup Designated Router*) και τέλος μια μεταβλητού μήκους λίστα (*Neighbor*) που περιέχει τις ταυτότητες *RouterID* όλων των ενεργών γειτόνων για τη δεδομένη διεπαφή, δηλαδή, τους γείτονες που ακούγονται από τη διεπαφή που πηγάζει το πακέτο.



Σχήμα 3: Πακέτο Hello

### Μηχανή καταστάσεων γειτόνων OSPF

Το OSPF υλοποιεί ένα μηχανισμό μετάβασης καταστάσεων, ο οποίος καθορίζεται από τις καταστάσεις (states) και τα γεγονότα (γεγονότα) που μεσολαβούν για την προκαθορισμένη μετάβαση από μια κατάσταση σε μια επόμενη. Οι δρομολογητές OSPF περνούν από πολλές καταστάσεις με τους γείτονές τους προτού μπορέσουν να δρομολογήσουν πακέτα. Στην κατάσταση **Down** ο δρομολογητής δεν έχει ακόμη ακούσει κανένα πακέτο Hello από κάποιο γείτονα. Στην κατάσταση **Init** ο δρομολογητής άκουσε ένα πακέτο Hello από κάποιο γείτονα. Στην παράμετρο *Neighbor* θα βρει τις ταυτότητες *Router ID* των γειτόνων στη διεπαφή από την οποία το έλαβε. Στην κατάσταση **2-Way** ο δρομολογητής άκουσε τη δική του *Router ID* σε πακέτο Hello από κάποιους γείτονες. Αυτό σημαίνει ότι υφίσταται αμφίδρομη επικοινωνία με αυτούς. Στην κατάσταση **ExStart** εγκαθίσταται μια σχέση κυρίου/σκλάβου προκειμένου να γίνει η ανταλλαγή των LSA της βάσης δεδομένων δρομολόγησης. Ο δρομολογητής με την υψηλότερη *Router ID* είναι ο κύριος. Στην κατάσταση **Exchange** οι δρομολογητές ανταλλάσσουν πακέτα Database Description (Type 2) που περιγράφουν την LSDB. Στην κατάσταση **Loading** αποστέλλονται πακέτα Link State Request (Type 3) στους γείτονες που ζητούν πιο πρόσφατη πληροφορία LSA σε σχέση με αυτή της κατάστασης Exchange. Εις απάντησή των αποστέλλονται πακέτα Link State Update (Type 4). Τέλος, στην κατάσταση **Full**, οι δρομολογητές OSPF έχουν πλήρως εγκαταστήσει τη σχέση γειτονίας. Όλη η πληροφορία για τα υποδίκτυα έχει ανταλλαχθεί και επιβεβαιωθεί.

### Κατάσταση 2-way

Οι δρομολογητές OSPF είναι επιλεκτικοί όσον αφορά την εγκατάσταση γειτονίας με άλλους. Για να επέλθει η ανταλλαγή των βάσεων δεδομένων δρομολόγησης πρέπει προηγουμένως να φτάσουν στην κατάσταση **2-way**. Η κατάσταση αυτή δηλώνει ότι ορισμένες υποχρεωτικές παράμετροι των Hello πακέτων τους ταυτίζονται. Συγκεκριμένα, οι ακόλουθες συνθήκες πρέπει να ικανοποιούνται προκειμένου δύο δρομολογητές να γίνουν γείτονες: οι δρομολογητές πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο υποδίκτυο, τα διαστήματα *Hello Interval* and *Dead Interval* πρέπει να ταυτίζονται, η *area ID* των διεπαφών των δύο δρομολογητών πρέπει να είναι ίδια, το είδος δικτύου (διαβιβαστικό ή απόληξη) να είναι το ίδιο και τέλος, εφόσον χρησιμοποιείται, να επιτυγχάνει η πιστοποίηση αυθεντικότητας.

Εάν οι δρομολογητές συμφωνούν στα προαναφερθέντα, θα περιλάβουν τα *router ID* τους στο πεδίο *Neighbor* των πακέτων Hello.

### Router ID

Εκτός και εάν τεθεί χειροκίνητα, το *Router ID* επιλέγεται αυτόματα. Έχει τη μορφή A.B.C.D (μήκους 32 bit) όπως οι διευθύνσεις IP. Ο δρομολογητής επιλέγει ως ταυτότητά του την υψηλότερη διεύθυνση IP από τις διεπαφές loopback. Εάν δεν υπάρχει διεπαφή loopback, επιλέγει την υψηλότερη διεύθυνση IP από τις φυσικές τους διεπαφές. Δεν είναι υποχρεωτικό οι διεπαφές αυτές να είναι ενεργοποιημένες για OSPF.

### OSPF DR/BDR

Όπως προαναφέρθηκε οι δρομολογητές OSPF πρέπει να εγκαταστήσουν μια σχέση γειτονίας με κάθε γείτονά τους. Μόνο τότε μπορούν να συγχρονίσουν τις LSDB τους. Η διαδικασία συγχρονισμού στην περίπτωση λειτουργίας πολλών δρομολογητών εντός ενός τοπικού υποδικτύου (π.χ. σε ένα LAN) θα ήταν μη αποδοτική με όρους υπολογιστικής και αποθηκευτικής επιφόρτισης για τους δρομολογητές του τοπικού υποδικτύου. Για παράδειγμα για  $N$  γειτονικούς δρομολογητές πρέπει να εγκατασταθούν  $N(N-1)/2$  σχέσεις γειτονίας και για οποιαδήποτε ενημέρωση της βάσης θα απαιτηθούν  $N^2$  ανταλλαγές μηνυμάτων. Σε δίκτυα εκπομπής το OSPF επιτρέπει την επιλογή ενός δρομολογητή ως DR (Designated Router) με σκοπό τη διάδοση μέσω αυτού όλων των ενημερώσεων. Σε περίπτωση αστοχίας του DR, ο BDR (Backup Designated Router) θα αναλάβει το έργο του DR. Η επιλογή γίνεται με βάση την τιμή *Router Priority*. Ο δρομολογητής με την μεγαλύτερη *Router Priority* γίνεται DR και αυτός με την επόμενη μικρότερη γίνεται BDR. Επί ισοψηφίας, ο δρομολογητής με την υψηλότερη *Router ID* γίνεται DR και ο αμέσως επόμενος γίνεται BDR. Δρομολογητές με μηδενική τιμή *Router Priority* δεν μετέχουν στην όλη διαδικασία.

Γι' αυτό, όπως προαναφέρθηκε, στο OSPF χρησιμοποιούνται δύο διευθύνσεις: όλοι οι δρομολογητές OSPF ακούνε στη διεύθυνση 224.0.0.5. Σε αυτήν αποστέλλονται τα πακέτα Hello. Οι δρομολογητές DR/BDR ακούνε στη 224.0.0.6. Οι ενημερώσεις στέλνονται στην 224.0.0.5, εκτός στην περίπτωση μέσω εκπομπής οπότε χρησιμοποιείται η 224.0.0.6.

### Οδηγίες εγκατάστασης OSPF

Εάν χρησιμοποιήσετε τον εικονικό δρομολογητή BSDRP, θα βρείτε το OSPF εγκατεστημένο και ενεργό. Αν έχετε εγκαταστήσει το Quagga μόνοι σας στο FreeBSD με βάση τις οδηγίες της προηγούμενης εργαστηριακής άσκησης, θα χρειαστεί να ξεκινήσετε τη διεργασία OSPFD ως εξής:

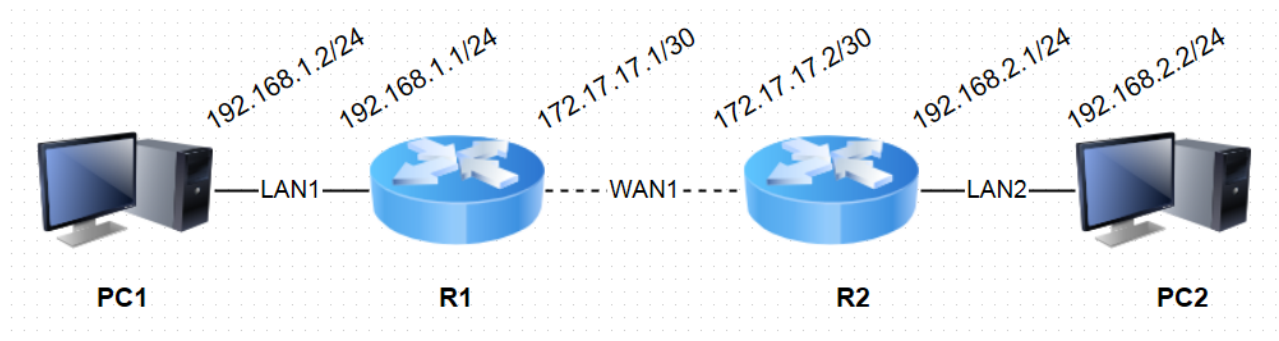
1. Κλείστε την υπηρεσία quagga με “service quagga stop”.
2. “touch /usr/local/etc/quagga/ospfd.conf” ώστε να δημιουργήσετε άδειο αρχείο παραμετροποίησης OSPF για το quagga.
3. “chown quagga:quagga /usr/local/etc/quagga/ospfd.conf” για να ρυθμίσετε σωστά τον ιδιοκτήτη του αρχείου.
4. Ξεκινήστε την υπηρεσία quagga ξανά με “service quagga start”.

Επειδή τα δυναμικά πρωτόκολλα υλοποιούνται σε ξεχωριστές διεργασίες στο quagga, ο πιο απλός τρόπος για να τα παραμετροποιήσετε είναι με το ενιαίο περιβάλλον που παρέχει το vtysh. Διαφορετικά, μπορείτε να συνδεθείτε με telnet (στη θύρα 2604/tcp για το OSPF), αφού πρώτα

ορίσετε συνθηματικό στο αρχείο παραμετροποίησης του κάθε πρωτοκόλλου (ospfd.conf για το OSPF).

## Άσκηση 1: Εισαγωγή στο OSPF

Κατασκευάστε στο VirtualBox την παρακάτω τοπολογία όπως στην Εργαστηριακή Άσκηση 6. Εάν χρησιμοποιήσετε για τη συνέχεια το BSDRP, θα πρέπει να διαγράψετε από το αρχείο rc.conf τις γραμμές ifconfig\_em0 και quagga\_flags και επανεκκινήσετε (με reboot) το μηχάνημα.



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

- 1.1 Ορίστε τη σωστή προεπιλεγμένη πύλη στο PC1.
- 1.2 Ορίστε τη σωστή προεπιλεγμένη πύλη στο PC2.
- 1.3 Στον R1 εμφανίστε τον πίνακα δρομολόγησης του Quagga και βεβαιωθείτε ότι δεν υπάρχει καμία στατική εγγραφή.
- 1.4 Στον R1 εισέλθετε στο επίπεδο global configuration mode.
- 1.5 Χρησιμοποιήστε τη βοήθεια της εντολής router για να βρείτε πόσα είναι τα διαθέσιμα πρωτόκολλα δρομολόγησης στο Quagga.
- 1.6 Εισέλθετε στο router configuration mode για το πρωτόκολλο OSPF.
- 1.7 Χρησιμοποιήστε τη βοήθεια ώστε να βρείτε πόσες είναι οι διαθέσιμες εντολές.
- 1.8 Εισάγετε στο OSPF το δίκτυο 192.168.1.0/24 ορίζοντας περιοχή 0. [Υποδ. Για την σύνταξη των εντολών OSPF συμβουλευτείτε την τεκμηρίωση στην ιστοσελίδα <http://www.nongnu.org/quagga/docs/docs-info.html#OSPFv2>].
- 1.9 Εισάγετε στο OSPF το δίκτυο 172.17.17.0/30 ορίζοντας περιοχή 0.
- 1.10 Εξέλθετε από το configuration mode. Έχει αλλάξει κάτι στον πίνακα δρομολόγησης;
- 1.11 Επαναλάβετε τις ερωτήσεις 1.8 και 1.9 για τον R2. [Υποδ. Βάλτε το σωστό δίκτυο για το LAN2].
- 1.12 Εξέλθετε από το configuration mode. Έχει αλλάξει κάτι στον πίνακα δρομολόγησης;
- 1.13 Στον R1 εισάγετε την εντολή “show ip route ospf”. Πόσες εγγραφές βλέπετε;
- 1.14 Στον R2 εισάγετε την εντολή “show ip route ospf”. Πόσες εγγραφές βλέπετε;
- 1.15 Πώς ξεχωρίζουν στον πίνακα δρομολόγησης οι δυναμικές εγγραφές από τις υπόλοιπες;

- 1.16 Εξέλθετε από το Quagga και εμφανίστε τον πίνακα δρομολόγησης όπως τον αντιλαμβάνεται το λειτουργικό σύστημα. Μπορείτε να καταλάβετε αν κάποια εγγραφή είναι δυναμική;
- 1.17 Επικοινωνεί το PC1 με το PC2;
- 1.18 Πώς χαρακτηρίζονται οι δρομολογητές R1 και R2 με βάση τις περιοχές OSPF στις οποίες συμμετέχουν με τις διεπαφές τους;

## **Άσκηση 2: Λειτουργία του OSPF**

Θα χρησιμοποιήσετε την τοπολογία της προηγούμενης άσκησης για να δείτε πιο αναλυτικά τη λειτουργία του OSPF.

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

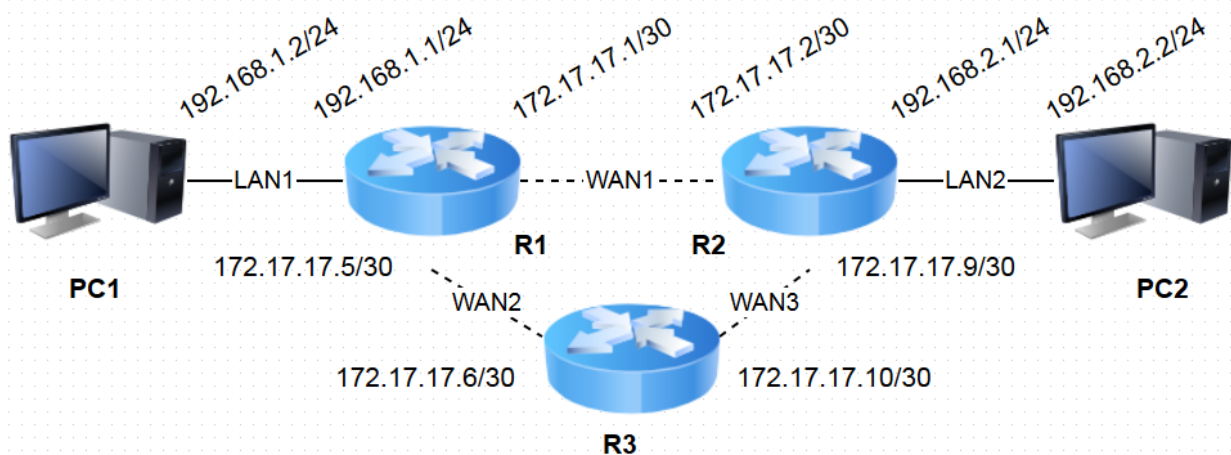
- 2.1 Πώς μπορείτε να καταλάβετε αν έχει συγκλίνει το δίκτυο με τη βοήθεια της εντολής “show ip ospf neighbor”;
- 2.2 Εκτελέστε την εντολή “show ip ospf database” στους R1 και R2. Τι είδους πληροφορία βλέπετε; Είναι το αποτέλεσμα ίδιο;
- 2.3 Εμφανίστε τον πίνακα δρομολόγησης για το OSPF στον R1. Ποια είναι η διαχειριστική απόσταση (administrative distance) των διαδρομών OSPF και ποιο είναι το κόστος των διαδρομών; [Υποδ. Το δίκτυο που βρίσκεται δύο βήματα μακριά θα έχει διπλάσια απόσταση.]
- 2.4 Το quagga θεωρεί ότι η ταχύτητα των διεπαφών είναι 10 Mbps. Εισάγετε στο interface configuration mode του R1 για τη διεπαφή στο LAN1 την εντολή “bandwidth 100000”. Τι αλλάζει στον πίνακα δρομολόγησης;
- 2.5 Ποιο είναι τώρα το κόστος από τον R2 προς το LAN1;
- 2.6 Ξεκινήστε καταγραφή πακέτων με το tcpdump στη διεπαφή του R1 στο WAN1, εμφανίζοντας λεπτομερείς πληροφορίες για τα πακέτα χωρίς επίλυση ονομάτων και περιμένετε τουλάχιστον μισό λεπτό.
- 2.7 Ποιες είναι οι διευθύνσεις πηγής των πακέτων OSPF που βλέπετε;
- 2.8 Ποια είναι η διεύθυνση προορισμού των πακέτων OSPF που βλέπετε;
- 2.9 Ποιο πρωτόκολλο στρώματος δικτύου και ποιον αριθμό πρωτοκόλλου ανωτέρου στρώματος χρησιμοποιεί το OSPF;
- 2.10 Τι τύπου πακέτα OSPF είναι αυτά που βλέπετε; Γιατί δεν περιέχουν διαφημίσεις δικτύων όπως στο RIP;
- 2.11 Πόσο συχνά βλέπετε αυτά τα πακέτα στην καταγραφή; Συγκρίνετε αυτό το χρόνο με το αποτέλεσμα της εντολής “vtysh -c “show ip ospf interface” | grep Timer”.
- 2.12 Ποια είναι τα Router-IDs στα πακέτα που βλέπετε;
- 2.13 Με ποια εντολή μπορεί να ρυθμιστεί το Router-ID χειροκίνητα;
- 2.14 Επειδή το Router-ID πρέπει να είναι μοναδικό σε μια τοπολογία και ο χειροκίνητος ορισμός εύκολα οδηγεί σε λάθη, το OSPF μπορεί να το υπολογίζει αυτόματα από τις διευθύνσεις IP των διεπαφών του δρομολογητή. Με ποιο τέχνασμα μπορούμε να εξωθήσουμε το OSPF να επιλέξει ως Router-ID μια συγκεκριμένη διεύθυνση IP, χωρίς να κάνουμε χρήση της εντολής που βρήκαμε στο 2.13;



- 2.15 Ξεκινήστε μια καταγραφή στη διεπαφή του R1 στο LAN1. Βλέπετε OSPF πακέτα;
- 2.16 Ορίστε στο ospf router configuration mode του R1 τη διεπαφή στο LAN1 ως passive-interface.
- 2.17 Χρησιμοποιώντας την εντολή “show ip ospf interface emX” όπου X η διεπαφή του R1 στο LAN1 επαληθεύσετε αν έχει γίνει σωστά η παραπάνω ρύθμιση.
- 2.18 Στην καταγραφή στη διεπαφή του R1 στο LAN1 βλέπετε OSPF πακέτα;
- 2.19 Επηρεάζεται η λειτουργία του δικτύου με την παραπάνω ρύθμιση; Τεκμηριώστε την απάντησή σας.
- 2.20 Ξεκινήστε μια νέα καταγραφή στη διεπαφή του R1 στο WAN1 και περιμένετε.
- 2.21 Στον R2 διαγράψτε το δίκτυο 192.168.2.0/24 από το OSPF.
- 2.22 Τι είδους OSPF πακέτα βλέπετε στην καταγραφή;
- 2.23 Υπάρχει καθυστέρηση στην ενημέρωση του πίνακα δρομολόγησης;
- 2.24 Στον R2 επανεισάγετε το 192.168.2.0/24 στο OSPF. Τι παρατηρείτε τώρα στην καταγραφή;

### Άσκηση 3: Εναλλακτικές διαδρομές, σφάλμα καλωδίου και OSPF

Για να εξομοιώσετε βλάβη σε μια διασύνδεση WAN κατασκευάστε στο VirtualBox την παρακάτω τοπολογία, παρόμοια με αυτή των προηγούμενων ασκήσεων. Σε αντίθεση με το RIP, το OSPF προσαρμόζεται ταχύτατα σε αλλαγές στο δίκτυο και λόγω του αλγορίθμου Link State δεν χρειάζεται να αποσυνδεθούν και οι δυο άκρες του καλωδίου. Ο δρομολογητής θα φροντίσει να ενημερώσει τους γείτονές του, αρκεί στις διεπαφές του να είναι ενεργοποιημένη η λειτουργία link-detect του quagga.



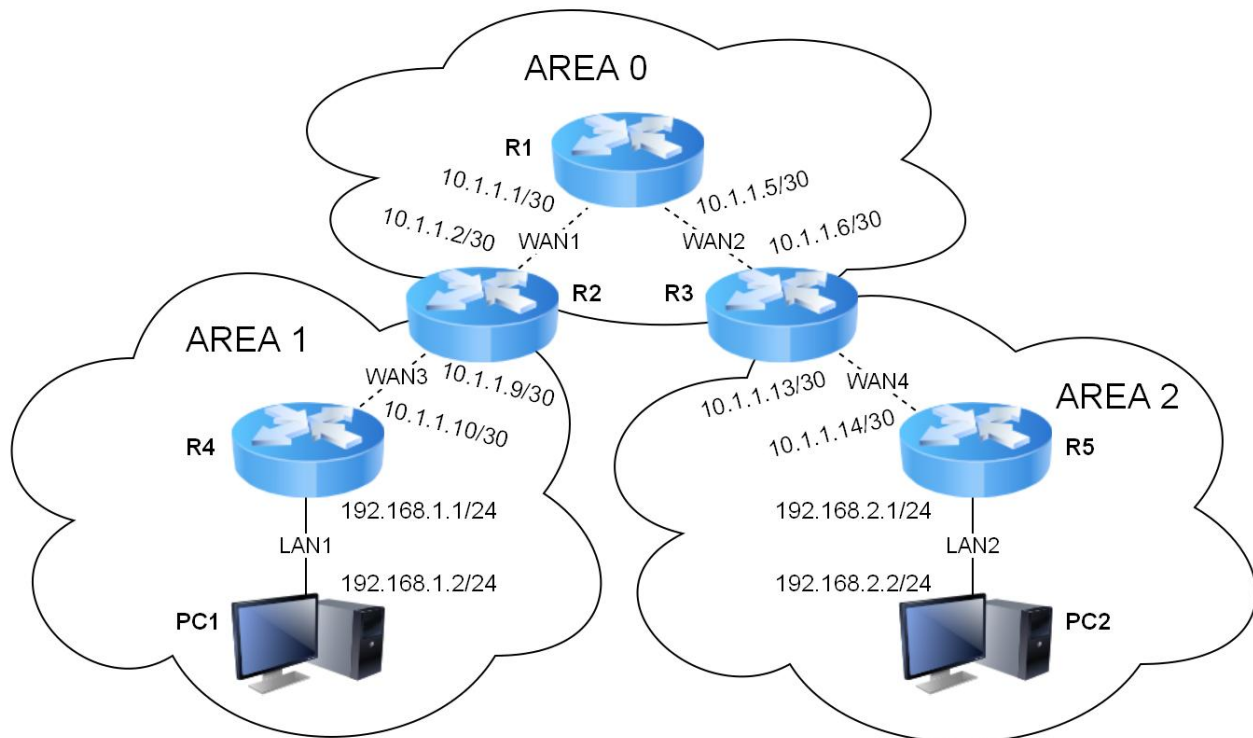
Απαντήστε τις παρακάτω ερωτήσεις καταγράφοντας παράλληλα, όπου απαιτείται, την ακριβή σύνταξη των εντολών που χρησιμοποιήσατε.

- 3.1 Ορίστε στο PC1 τη σωστή προεπιλεγμένη πύλη.
- 3.2 Ορίστε στο PC2 τη σωστή προεπιλεγμένη πύλη.
- 3.3 Ενεργοποιήστε τη λειτουργία link-detect σε όλες τις διεπαφές WAN.

- 3.4 Δηλώστε σε όλες τις διεπαφές WAN ότι το δίκτυο OSPF είναι από σημείο-σε-σημείο ώστε να μη γίνεται εκλογή DR/BDR. Αυτό θα βοηθήσει στο να φαίνεται πιο καθαρά το αποτέλεσμα του tcpdump παρακάτω. [*Υποδ. Αναζητήστε τη σωστή εντολή μεταξύ των υποεντολών παραμετροποίησης διεπαφών ip.*]
- 3.5 Ορίστε μέσω του Quagga τα δίκτυα που χρειάζεται να διαφημίσει ο R1, χρησιμοποιώντας σε όλα την περιοχή 0.
- 3.6 Ομοίως, ορίστε μέσω του Quagga τα δίκτυα που χρειάζεται να διαφημίσει ο R2.
- 3.7 Ομοίως, ορίστε μέσω του Quagga τα δίκτυα που χρειάζεται να διαφημίσει ο R3.
- 3.8 Ποια δίκτυα έχει μάθει δυναμικά ο R1;
- 3.9 Ποια δίκτυα έχει μάθει δυναμικά ο R2;
- 3.10 Ποια δίκτυα έχει μάθει δυναμικά ο R3;
- 3.11 Ξεκινήστε ping από το PC2 στο PC1.
- 3.12 Ξεκινήστε καταγραφή πακέτων στη διεπαφή του R2 στο WAN3 εμφανίζοντας λεπτομερείς πληροφορίες για τα πακέτα και βάζοντας φίλτρο ώστε να μη φαίνονται τα πακέτα ICMP.
- 3.13 Αποσυνδέστε από το VirtualBox το καλώδιο της διεπαφής του R2 στο WAN1. Διακόπτεται το ping;
- 3.14 Τι βλέπετε στο tcpdump;
- 3.15 Ποιες αλλαγές έγιναν στον πίνακα δρομολόγησης του R1;
- 3.16 Ποιες αλλαγές έγιναν στον πίνακα δρομολόγησης του R2; Ποιο είναι το κόστος της διαδρομής προς το LAN1;
- 3.17 Ξανασυνδέστε στο VirtualBox τη διεπαφή του R2 στο WAN1. Διακόπτεται το ping;
- 3.18 Τι βλέπετε στο tcpdump;
- 3.19 Μετά την επανασύνδεση, ποια είναι η τρέχουσα διαδρομή στον R2 για το LAN1; Γιατί;

#### **Άσκηση 4: Περιοχές OSPF**

Κατασκευάστε την τοπολογία που ακολουθεί. Για λόγους εξοικονόμησης μνήμης αν θέλετε μπορείτε να ορίσετε στα 2 PC μνήμη 128MB αντί για 256MB.



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

- 4.1 Ορίστε στα PC1 και PC2 τη σωστή προεπιλεγμένη πύλη.
- 4.2 Ορίστε στον R1 ως διεύθυνση διαχείρισης loopback την 172.22.22.1/32.
- 4.3 Ορίστε στον R2 ως διεύθυνση διαχείρισης loopback την 172.22.22.2/32.
- 4.4 Ορίστε στον R3 ως διεύθυνση διαχείρισης loopback την 172.22.22.3/32.
- 4.5 Ορίστε στον R4 ως διεύθυνση διαχείρισης loopback την 172.22.22.4/32.
- 4.6 Ορίστε στον R5 ως διεύθυνση διαχείρισης loopback την 172.22.22.5/32.
- 4.7 Στον R1 ορίστε μέσω του Quagga τα δύο δίκτυα της περιοχής 0.
- 4.8 Στον R2 ορίστε μέσω του Quagga το δίκτυο της περιοχής 0 και το δίκτυο της περιοχής 1.
- 4.9 Στον R3 ορίστε μέσω του Quagga το δίκτυο της περιοχής 0 και το δίκτυο της περιοχής 2.
- 4.10 Στον R4 ορίστε μέσω του Quagga τα δύο δίκτυα της περιοχής 1.
- 4.11 Στον R5 ορίστε μέσω του Quagga τα δύο δίκτυα της περιοχής 2.
- 4.12 Μπορείτε να κάνετε ping από το PC1 το PC2;
- 4.13 Εκτελέστε στον R1 την εντολή “show ip ospf database”. Ποια επιπλέον πληροφορία βλέπετε στη βάση δεδομένων του OSPF που δεν υπήρχε στην άσκηση 2;
- 4.14 Τι πληροφορίες περιέχει η βάση του R5 για τα δίκτυα που ανήκουν στην περιοχή 1;
- 4.15 Τι πληροφορίες περιέχει η βάση του R5 για τα δίκτυα που ανήκουν στην περιοχή 0;
- 4.16 Με τη βοήθεια της εντολής “show ip ospf border-routers” βρείτε ποιος είναι ο συνοριακός δρομολογητής (ABR) για την περιοχή 2.
- 4.17 Τι πληροφορίες περιέχει η βάση του R2 για τα δίκτυα που ανήκουν στην περιοχή 2;
- 4.18 Τι πληροφορίες περιέχει η βάση του R2 για την περιοχή 0;
- 4.19 Ποιος είναι ο συνοριακός δρομολογητής (ABR) για την περιοχή 1;

- 4.20 Με τη βοήθεια της εντολής “show ip ospf route” βρείτε τι πληροφορίες έχουν οι δρομολογητές της περιοχής 0 για τα δίκτυα που ανήκουν στις περιοχές 1 και 2;
- 4.21 Πώς γνωρίζουν οι δρομολογητές της περιοχής 1 με ποιο τρόπο να προωθήσουν την κίνηση στην περιοχή 2;

## **Άσκηση 5: OSPF και αναδιανομή διαδρομών**

Όπως προαναφέρθηκε το OSPF μπορεί να διαδώσει εντός του δικτύου OSPF πληροφορία δρομολόγησης από άλλες πηγές. Η πληροφορία αυτή μπορεί να προέρχεται από άλλα πρωτόκολλα δρομολόγησης (RIP, BGP). Στη συνέχεια θα δείτε δύο βασικούς μηχανισμούς αναδιανομής διαδρομών.

Χρησιμοποιήστε την τοπολογία της προηγούμενης άσκησης και απαντήστε τις παρακάτω ερωτήσεις καταγράφοντας παράλληλα, όπου απαιτείται, την ακριβή σύνταξη των εντολών που χρησιμοποιήσατε.

- 5.1 Εισάγετε από το quagga στον R2 στατική διαδρομή για το 5.5.5.0/24 μέσω της loopback 172.22.22.2.
- 5.2 Έχει τοποθετηθεί η εγγραφή στον πίνακα δρομολόγησης του R2;
- 5.3 Έχει τοποθετηθεί η εγγραφή στον πίνακα δρομολόγησης στους άλλους δρομολογητές;
- 5.4 Στον R2 ορίστε μέσω του Quagga την εντολή “redistribute static”.
- 5.5 Έχει αλλάξει κάτι στον πίνακα δρομολόγησης του R2;
- 5.6 Τι έχει αλλάξει στον πίνακα δρομολόγησης στους άλλους δρομολογητές;
- 5.7 Τι βλέπετε στη βάση δεδομένων LSDB του OSPF του R1 που δεν υπήρχε στην άσκηση 4;
- 5.8 Εισάγετε από το quagga στον R2 προεπιλεγμένη πύλη μέσω της loopback 172.22.22.2. [Υπόδ.: Για να γίνει αυτό στο quagga χρειάζεται στατική διαδρομή για το 0.0.0.0/0].
- 5.9 Έχει τοποθετηθεί η εγγραφή στον πίνακα δρομολόγησης του R2;
- 5.10 Έχει τοποθετηθεί η εγγραφή στον πίνακα δρομολόγησης στους άλλους δρομολογητές;
- 5.11 Στον R2 ορίστε μέσω του Quagga την εντολή “default-information originate”.
- 5.12 Έχει αλλάξει κάτι στον πίνακα δρομολόγησης του R2;
- 5.13 Τι έχει αλλάξει στον πίνακα δρομολόγησης στους άλλους δρομολογητές;
- 5.14 Υπάρχει κάποια αλλαγή στη βάση δεδομένων LSDB του OSPF του R1;
- 5.15 Από το PC1 ξεκινήστε ping στο PC2.
- 5.16 Καταγράψτε τις διαδρομές στον πίνακα δρομολόγησης του R3.
- 5.17 Καταγράψτε τις διαδρομές στον πίνακα δρομολόγησης του R5.
- 5.18 Στον R3 ορίστε μέσω του Quagga ότι η περιοχή 2 είναι απόληξη (stub) και περιμένετε περίπου 2 λεπτά να διαδοθεί η αλλαγή.
- 5.19 Έχει αλλάξει κάτι στον πίνακα δρομολόγησης του R3;
- 5.20 Ποιος είναι ο πίνακας δρομολόγησης του R5 τώρα;
- 5.21 Έχει αλλάξει κάτι στον πίνακα δρομολόγησης στους άλλους δρομολογητές;
- 5.22 Γιατί το PC2 δεν απαντά πλέον στο ping που ξεκινήσατε προηγουμένως;
- 5.23 Στον R5 ορίστε μέσω του Quagga ότι η περιοχή 2 είναι απόληξη (stub) και περιμένετε περίπου 2 λεπτά να διαδοθεί η αλλαγή.

- 5.24 Έχει αλλάξει κάτι στον πίνακα δρομολόγησης του R3;
- 5.25 Ποιος είναι ο πίνακας δρομολόγησης του R5;
- 5.26 Υπάρχει προκαθορισμένη διαδρομή; Είναι ίδια με αυτή που καταγράψατε στην ερώτηση 5.17;
- 5.27 Υπάρχει διαδρομή για το δίκτυο 5.5.5.0/24; Αιτιολογείστε.
- 5.28 Έχει αλλάξει κάτι στον πίνακα δρομολόγησης στους άλλους δρομολογητές;
- 5.29 Απαντά τώρα το PC2 στο ring που ξεκινήσατε προηγουμένως;
- 5.30 Πώς εξηγείτε την συμπεριφορά που παρατηρήσατε σε σχέση με την απώλεια της διαδρομής από το PC1 στο PC2; [Υποδ. Δείτε κανόνες δημιουργίας γειτονίας στο **Κατάσταση 2-way**]
- 5.31 Στον R2 εισέλθετε σε interface configuration mode για το lo0 και εισάγετε την κατάλληλη εντολή για να κλείσετε τη διεπαφή.
- 5.32 Έχει αλλάξει κάτι στον πίνακα δρομολόγησης του R2;
- 5.33 Έχει αλλάξει κάτι στον πίνακα δρομολόγησης στους άλλους δρομολογητές;

Όνοματεπώνυμο:		Όνομα PC:	
Ομάδα:		Ημερομηνία:	
Διεύθυνση IP: . . .		Διεύθυνση MAC: - - - - -	

## Εργαστηριακή Άσκηση 7 Δυναμική δρομολόγηση OSPF

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 .....
  - .....
  - .....
  - .....
  - .....
  - 1.12 .....
  - 1.13 .....
  - 1.14 .....
  - 1.15 .....
  - .....
  - 1.16 .....
  - .....
  - 1.17 .....
  - 1.18 .....
- 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 .....  
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 .....

.....

**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 .....  
.....
- 5.15 .....
- 5.16 .....  
.....  
.....  
.....  
.....
- 5.17 .....  
.....  
.....  
.....  
.....
- 5.18 .....
- 5.19 .....
- 5.20 .....  
.....  
.....  
.....
- 5.21 .....
- 5.22 .....
- 5.23 .....
- 5.24 .....
- 5.25 .....  
.....
- 5.26 .....  
.....
- 5.27 .....  
.....
- 5.28 .....
- 5.29 .....

- 5.30 .....
- .....
- 5.31 .....
- 5.32 .....
- 5.33 .....