

## Εργαστηριακή Άσκηση 8

### Δυναμική δρομολόγηση OSPF

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

Το OSPF είναι ένα ακόμη πρωτόκολλο εσωτερικής δρομολόγησης (IGP). Το OSPF έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει υποδίκτυα με μάσκες μεταβλητού μήκους (VLSM) καθώς και την αταξική δρομολόγηση (CIDR). Η έκδοση 2, [RFC 2328](#) είναι για δίκτυα IPv4, ενώ η έκδοση 3, [RFC 5340](#), υποστηρίζει επιπλέον το IPv6<sup>1</sup>. Στο OSPF οι δρομολογητές ανταλλάσσουν πληροφορίες κατάστασης ζεύξεων (link state information) και όχι διανύσματα αποστάσεων (distance vectors). Συγκεντρώνουν τις πληροφορίες κατάστασης ζεύξεων από γειτονικούς δρομολογητές και μοιράζονται με τους **γείτονες (neighbors)** τις διαδρομές που γνωρίζουν και το δικό τους **κόστος (cost)** προς αυτές. Τελικά, όλοι οι δρομολογητές OSPF εντός μιας **περιοχής (area)** αποκτούν την ίδια γνώση για την τοπολογία του δικτύου. Με βάση την τοπολογία και το κόστος των ζεύξεων, ο καθένας χωριστά υπολογίζει τη συντομότερη διαδρομή προς κάθε προσβάσιμο προορισμό/υποδίκτυο με χρήση του αλγορίθμου ελάχιστης διαδρομής (Shortest Path First – SPF) του Dijkstra. Έτσι τελικά κάθε δρομολογητής κατασκευάζει τρεις πίνακες με την ακόλουθη πληροφορία: α) τον πίνακα γειτόνων OSPF που περιέχει τους δρομολογητές με τους οποίους έχει ανταλλαχθεί πληροφορία δρομολόγησης, β) τον πίνακα τοπολογίας δρομολογητών OSPF από όπου υπολογίζεται η καλύτερη διαδρομή και οι εναλλακτικές της και γ) τον πίνακα δρομολόγησης που περιέχει τις τρέχουσες καλύτερες διαδρομές για προώθηση της κίνησης.

Στο OSPF, η τοπολογία δικτύου και τα κόστη των ζεύξεων αποτελούν πληροφορία (link state) που είναι γνωστή σε όλους τους κόμβους. Η δρομολόγηση με βάση την κατάσταση ζεύξεων έχει ως βασικό στόχο την αντιμετώπιση των δύο προβλημάτων του αλγορίθμου διανύσματος αποστάσεων (distance vector): το ότι α) η χωρητικότητα των γραμμών δεν λαμβάνεται υπόψη και β) μερικές φορές η σύγκλιση καθυστερεί υπερβολικά. Το OSPF συγκλίνει γρήγορα, ανιχνεύει τις αλλαγές στην τοπολογία, όπως αστοχίες συνδέσεων, και κατασκευάζει πίνακες δρομολόγησης χωρίς βρόχους. Σε κάποιες υλοποιήσεις επιτρέπονται περισσότερες τις μιας διαδρομές με το ίδιο κόστος προς το ίδιο προορισμό για καταμερισμό της κίνησης (δρομολόγηση ECMP – Equal-cost multi-path routing).

Το κόστος (μετρική), που αντιστοιχίζεται σε κάθε ζεύξη και με βάση το οποίο υπολογίζονται οι συντομότερες διαδρομές, είναι ένας αδιάστατος ακέραιος αριθμός. Το OSPF υπολογίζει αυτόματα το κόστος μιας ζεύξης, εάν δεν ορισθεί χειροκίνητα, ως το αντίστροφο της ταχύτητας (bandwidth) της διεπαφής, δηλαδή  $\text{Cost} = \text{Reference bandwidth} / \text{interface bandwidth}$ . Η προεπιλεγμένη ταχύτητα αναφοράς είναι 100 Mbps. Έτσι μια διεπαφή Ethernet 10 Mbps έχει κόστος 10, ενώ μια διεπαφή ταχέως Ethernet 100 Mbps 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 σε όλους τους δρομολογητές του δικτύου OSPF<sup>2</sup>.

Επειδή, ο αλγόριθμος SPF μπορεί να γίνει υπολογιστικά βαρύς σε μεγάλα δίκτυα (π.χ. σε δίκτυα με πολλούς δρομολογητές και ασταθείς ζεύξεις), στο OSPF οι δρομολογητές ομαδοποιούνται σε περιοχές. Η **περιοχή** είναι μια λογική ομάδα δρομολογητών με την ίδια ταυτότητα περιοχής (Area ID). Όλοι οι δρομολογητές εντός μιας περιοχής έχουν τον **ίδιο** πίνακα τοπολογίας, αλλά διαφορετικούς πίνακες δρομολόγησης που υπολογίζονται ανάλογα με τη θέση τους στην τοπολογία. Με εξαίρεση τους συνοριακούς δρομολογητές, οι δρομολογητές μιας περιοχής δεν έχουν γείτονες σε άλλη περιοχή. Η χρήση περιοχών διευκολύνει τη σύνοψη (summarization)

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

<sup>2</sup> Στο Quagga η προκαθορισμένη τιμή είναι 100 Mbps, ενώ στο FRR 100 Gbps.

διαδρομών. Επίσης μειώνει την κίνηση για ενημερώσεις, καθώςον τοπικές αλλαγές κρατούνται εντός της περιοχής και δεν διαδίδονται σε όλο το δίκτυο.

Το OSPF επιβάλλει μια αυστηρή ιεραρχία δύο επιπέδων όσον αφορά τη διασύνδεση περιοχών. Η περιοχή 0 (Area 0) αντιπροσωπεύει τον κορμό (backbone) ενός δικτύου OSPF. Όλες οι άλλες περιοχές πρέπει να συνδέονται σε αυτήν. Ο κορμός πρέπει να είναι συνεχόμενο (contiguous), μη διακεκομμένο δίκτυο. Οι περιοχές προσδιορίζονται με αριθμούς 32-bit, που εκφράζονται συνήθως ως ακέραιοι. Οι ταυτότητες των άλλων περιοχών είναι αυθαίρετες, συχνά όμως οι διαχειριστές επιλέγουν τη διεύθυνση IP ενός κεντρικού δρομολογητή της περιοχής ως ταυτότητα.

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 διεπαφές σε τουλάχιστον δύο περιοχές, η μία εκ των οποίων στον κορμό. Ο δρομολογητής ABR διατηρεί χωριστές βάσεις δεδομένων για τις καταστάσεις ζεύξεων για κάθε περιοχή που εξυπηρετεί, υπολογίζει βέλτιστες διαδρομές για κάθε περιοχή καθώς και συνοπτικές διαδρομές για τις άλλες περιοχές του δικτύου. Ένα δίκτυο OSPF συνδέεται με το διαδίκτυο ή άλλα δίκτυα μέσω δρομολογητών ASBR (Autonomous System Boundary Router). Ο ASBR είναι ένας δρομολογητής με διεπαφές προς μία ή περισσότερες περιοχές OSPF και τουλάχιστον μία άλλη σε εξωτερικό του OSPF δίκτυο. Εισάγει διαδρομές – δίκτυα προορισμών από άλλη πηγή δρομολόγησης, εξωτερική ως προς το OSPF εντός του δικτύου OSPF (route redistribution), π.χ. άλλο πρωτόκολλο δρομολόγησης (RIP, BGP, κλπ) ή στατικές διαδρομές.

Το OSPF υποστηρίζει διάφορα είδη δικτύων. 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. Τα δίκτυα διακρίνονται σε διαβιβαστικά (transit) και απολήξεις (stub). Τα διαβιβαστικά έχουν δύο ή περισσότερους δρομολογητές OSPF και τα πακέτα μπορούν να πηγάζουν ή διέρχονται από αυτά. Τα δίκτυα απολήξεις έχουν ένα μόνο δρομολογητή OSPF και τα πακέτα είτε πηγάζουν είτε καταλήγουν σε αυτά. Σε περίπτωση λειτουργίας πολλών δρομολογητών εντός ενός υποδικτύου *τύπου εκπομπής* (π.χ. σε ένα LAN τεχνολογίας Ethernet), ένας εξ αυτών εκλέγεται ως DR (Designated Router) και ένας ως BDR (Backup Designated Router). Ο επιλεγμένος δρομολογητής έχει τον ειδικό ρόλο της διάδοσης μέσω αυτού όλων των ενημερώσεων. Σε περίπτωση αστοχίας του αναλαμβάνει το έργο αυτό ο BDR. Όλοι οι άλλοι δρομολογητές δημιουργούν μια σχέση γειτνίασης<sup>3</sup> με τους DR/BDR.

Το OSPF χρησιμοποιεί διάφορους τύπους διαφημίσεων LSA (Link State Advertisements) προκειμένου οι δρομολογητές να ανταλλάξουν τις πληροφορίες κατάστασης ζεύξεων. Οι πιο σημαντικοί τύποι LSA είναι:

Type 1 – Περιγράφει ένα δρομολογητή,

Type 2 – Περιγράφει ένα δίκτυο εκπομπής,

Type 3 – Περιγράφει μια εσωτερική (εντός του δικτύου OSPF) διαδρομή,

Type 4 – Περιγράφει ένα δρομολογητή ASBR,

Type 5 – Περιγράφει μια εξωτερική (εκτός δικτύου OSPF) διαδρομή.

Όσον αφορά τις περιοχές, το OSPF διακρίνει δύο κύριους τύπους: κανονικές (standard) και απολήξεις (stub). Στις κανονικές περιοχές οι δρομολογητές συντηρούν πίνακες τόσο για τις εσωτερικές διαδρομές (εντός των περιοχών που εξυπηρετούν και μεταξύ περιοχών OSPF) όσο και

---

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

για όλες τις εξωτερικές (εκτός OSPF) διαδρομές. Σε μια περιοχή απόληξης οι πίνακες δρομολόγησης περιέχουν όλες τις εσωτερικές διαδρομές για το δίκτυο OSPF και μία προκαθορισμένη διαδρομή για όλους τους εκτός δικτύου OSPF προορισμούς. Στην ειδική περίπτωση περιοχής πλήρους απόληξης (totally stubby area), η προκαθορισμένη διαδρομή χρησιμοποιείται για όλους τους εκτός περιοχής προορισμούς.

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 δρομολογητές. Το OSPF υποστηρίζει την πιστοποίηση αυθεντικότητας των μηνυμάτων, χρησιμοποιώντας ποικίλες μεθόδους ελέγχου ταυτότητας που επιτρέπουν μόνο σε έμπιστους δρομολογητές να συμμετέχουν στη δρομολόγηση.

### Βασική λειτουργία OSPF

Παρότι το OSPF είναι ένα πολύπλοκο πρωτόκολλο, η βασική του λειτουργία είναι απλή. Η πρώτη εργασία που πραγματοποιεί είναι η εγκατάσταση γειτνίασης (adjacency) με άλλους δρομολογητές που υποστηρίζουν OSPF. Κάθε δρομολογητής OSPF στέλνει πακέτα Hello σε όλες τις διεπαφές του για να ανιχνεύσει τους γείτονες. Όταν ένας δρομολογητής ανακαλύψει μέσω των πακέτων Hello την ύπαρξη ενός άλλου δρομολογητή προσπαθεί να εγκαταστήσει σχέση γειτνίασης εφόσον τηρούνται ορισμένες προϋποθέσεις (π.χ. ανήκουν στην ίδια περιοχή, έχουν την ίδια MTU, Hello timers κ.α.<sup>4</sup>).

Μετά τη φάση επιτυχούς γειτνίασης κάθε δρομολογητής ανταλλάσσει διαφημίσεις LSA (Link State Advertisements) με τους γείτονές του. Στην ορολογία του OSPF η λέξη ζεύξη είναι το ίδιο με το μέρος δικτύου της IP διεύθυνσης της διεπαφής. Οι διαφημίσεις LSA περιέχουν την ταυτότητα, την κατάσταση και το κόστος της ζεύξης καθώς και τη λίστα των γειτόνων που συνδέονται στην εν λόγω ζεύξη. Οι διαφημίσεις LSA στέλνονται με multicast στους άμεσους γείτονες. Αυτοί με τη σειρά τους τις στέλνουν στους άμεσα συνδεδεμένους γείτονες κ.ο.κ. έτσι ώστε τελικά όλοι στην ίδια περιοχή να έχουν όλες τις LSA. Στη συνέχεια ακολουθεί η κατασκευή του πίνακα τοπολογίας. Κάθε δρομολογητής αποθηκεύει τις LSA που λαμβάνει στην LSDB (Link State Database), η οποία περιγράφει το δίκτυο ως ένα γράφο με βάρη. Διαφημίζει τη γνώση αυτή σε όλους τους OSPF γείτονες με αποτέλεσμα όλοι οι δρομολογητές της περιοχής να έχουν ταυτόσημες LSDB. Τελικά, η LSDB περιέχει όλη την τοπολογία του δικτύου. Ακολουθώντας, κάθε δρομολογητής τρέχει τον αλγόριθμο Dijkstra και κατασκευάζει ένα γράφο ελεύθερο βρόχων (δηλαδή, ένα δένδρο) που δείχνει τη συντομότερη διαδρομή για κάθε διαφημιζόμενο προορισμό. Στο τέλος ενημερώνει τον πίνακα δρομολόγησης επιλέγοντας την καλύτερη διαδρομή από τον γράφο που κατασκεύασε προηγουμένως.

Όταν σε δίκτυο που έχει συγκλίνει εμφανισθεί μια νέα ζεύξη ή χαθεί μια υπάρχουσα, ο δρομολογητής OSPF στέλνει πλέον αποσπασματικές ενημερώσεις στους γείτονές του και τελικά αυτές διαδίδονται σε όλους τους δρομολογητές της περιοχής. Σε απλά δίκτυα, ο αριθμός δρομολογητών και ζεύξεων είναι μικρός και ο υπολογισμός των συντομότερων διαδρομών είναι εύκολος. Σε μεγάλα δίκτυα όμως, ο αλγόριθμος Dijkstra γίνεται υπολογιστικά χρονοβόρος. Για τον λόγο αυτό η λεπτομερής ανταλλαγή πληροφοριών κατάστασης ζεύξεων περιορίζεται εντός της εκάστοτε περιοχής και όλοι οι δρομολογητές της περιοχής πρέπει να έχουν ταυτόσημες LSDB. Μεταξύ περιοχών ανταλλάσσονται συνόψεις της LSDB και όχι όλη η τοπολογία της περιοχής. Αυτές οι συνοπτικές πληροφορίες δρομολόγησης εισάγονται απευθείας στον πίνακα δρομολόγησης χωρίς να χρειάζεται η επανεκτέλεση του αλγόριθμού Dijkstra.

<sup>4</sup> Δείτε παρακάτω κατάσταση 2-way.

## Αλγόριθμος Κατάστασης Ζεύξεων (Link State) – Dijkstra<sup>5</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 ελάχιστου 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  $n \notin M$

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

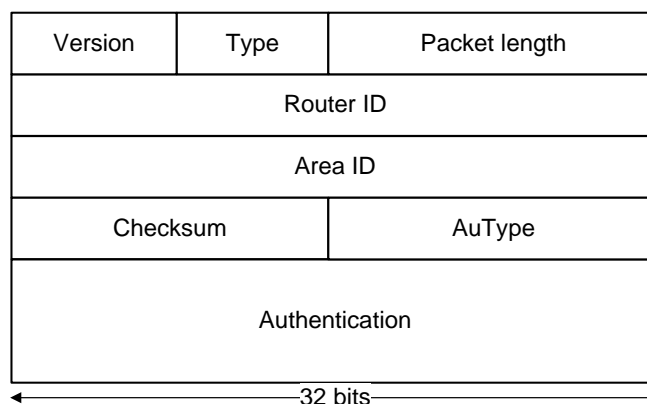
Ενημέρωσε διαδρομή;

end do

## Πακέτα OSPF

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, μήκους 24 byte όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 για πακέτα OSPFv2, εκτός από τον τύπο (*Type*), προσδιορίζεται η έκδοση (*Version*), τιμή 2, το μήκος του πακέτου (*Packet length*) περιλαμβανομένης της επικεφαλίδας, η ταυτότητα του δρομολογητή, *Router ID*, η ταυτότητα της περιοχής, *Area ID*, ένα πεδίο ελέγχου (*Checksum*) και πληροφορία για τη μέθοδο πιστοποίησης αυθεντικότητας (πεδία *AuType* και *Authentication*). Η επικεφαλίδα OSPFv3 έχει μήκος 16 byte, την τιμή 3 για το *Version* και στη θέση του *AuType* περιέχει μια ταυτότητα *Instance ID*.

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 *Router ID* του δρομολογητή που έχει τη ζητούμενη πληροφορία. Τέλος, στα LSU περιέχονται οι διαφημίσεις LSA (δείτε Σχήμα 3).



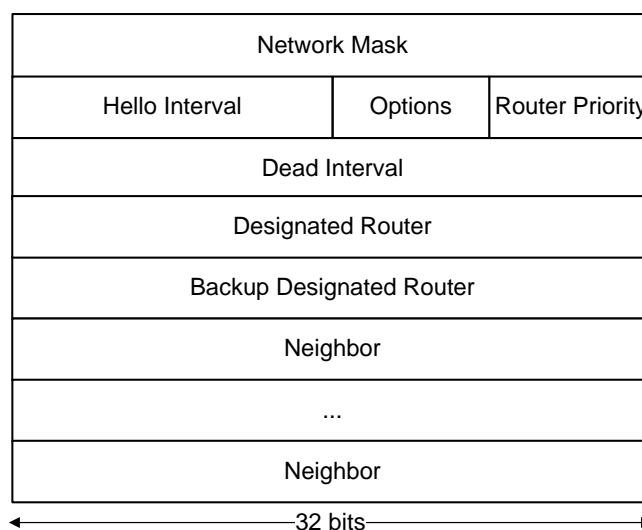
Σχήμα 1: Τυπική επικεφαλίδα OSPF

<sup>5</sup> Γραφική αναπαράσταση της εκτέλεσης του αλγορίθμου εδώ: [https://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra%27s\\_algorithm](https://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra%27s_algorithm).

## Το πακέτο Hello – Type 1

Προτού ανταλλάξουν βάσεις δεδομένων δρομολόγησης, οι δρομολογητές OSPF πρέπει να ανακαλύψουν τους γείτονές τους και να συμφωνήσουν σε ορισμένες παραμέτρους. Τα πακέτα Hello επιτελούν τον σκοπό αυτό, διαφημίζοντας παραμέτρους που πρέπει να ταιριάζουν προκειμένου να υπάρξει γειτνίαση, και λειτουργώντας ως μηχανισμός διατήρησης (keepalive) της γειτνίασης αυτής. 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. Εάν ένας δρομολογητής δεν ακούσει τα πακέτα Hello του γείτονά του για δοθέντα χρόνο, θεωρεί ότι ο γείτονας δεν ανταποκρίνεται και ακυρώνει ό,τι πληροφορία έλαβε από αυτόν. Τέλος, τα πακέτα Hello χρησιμοποιούνται και στη διαδικασία εκλογής DR/BDR σε δίκτυα εκπομπής.

Το πακέτο Hello όπως φαίνεται στο σχήμα μεταφέρει τις ακόλουθες πληροφορίες: (α) τη μάσκα δικτύου (*Network Mask*) της διεπαφής από την οποία προήλθε, (β) 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), (γ) τις επιλογές (*Options*), πεδίο 8-bit με πιο σημαντικό το bit E που ορίζει το εάν πρόκειται για διαβιβαστική περιοχή ή για περιοχή απόληξη (stub), (δ) την προτεραιότητα του δρομολογητή (*Router Priority*) στη διαδικασία εκλογής DR/BDR, (ε) 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 γειτνίαση, (στ) τη διεύθυνση IPv4 του επιλεγμένου δρομολογητή DR (*Designated Router*), (ζ) τη διεύθυνση IPv4 του εναλλακτικού επιλεγμένου δρομολογητή BDR (*Backup Designated Router*) και τέλος (η) μια μεταβλητού μήκους λίστα (*Neighbor*) που περιέχει τις ταυτότητες *Router ID* όλων των ενεργών OSPF γειτόνων για τη δεδομένη διεπαφή, δηλαδή, τους γείτονες που “ακούγονται” από τη διεπαφή που πηγάζει το πακέτο.



Σχήμα 2: Πακέτο Hello

## Το πακέτο Database Description (DBD) – Type 2

Όλοι οι δρομολογητές μιας περιοχής πρέπει να έχουν την ίδια LSDB. Αυτό επιτυγχάνεται με την αποστολή πακέτων DBD όταν εγκαθιδρυθεί γειτνίαση. Το πακέτο DBD περιγράφει την LSDB συνοψίζοντάς την μέσω των επικεφαλίδων LSA που αυτή περιέχει. Ο δρομολογητής που το λαμβάνει ελέγχει εάν τα δικά του LSA είναι ενημερωμένα.

## Το πακέτο Link State Request (LSR) – Type 3

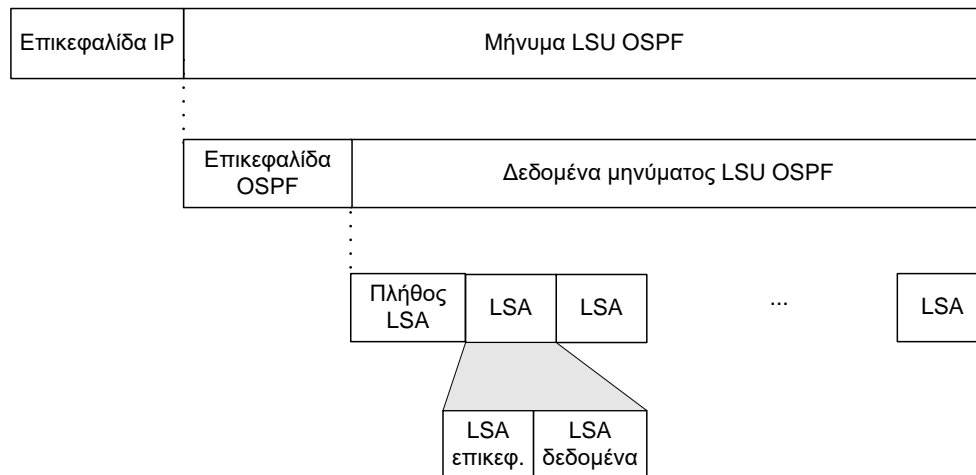
Ο δρομολογητής με το πακέτο LSR ζητά από τον γείτονά του ένα αντίγραφο των ελλειπόντων ή των παρωχημένων LSA της βάσης δεδομένων (LSDB) του.

### Το πακέτο Link State Update (LSU) – Type 4

Το πακέτο LSU χρησιμεύει για τη διάχυση της πληροφορίας ώστε να διατηρηθεί η ίδια LSDB εντός της περιοχής. Περιέχει ένα ή περισσότερα LSA όπως φαίνεται στο σχήμα. Ο δρομολογητής το στέλνει σε όλους τους OSPF γείτονες για να διαφημίσει LSA είτε ως απάντηση σε προηγούμενο πακέτο LSR. Ο δρομολογητής που το λαμβάνει ενημερώνει την τοπική βάση δεδομένων LSDB.

### Το πακέτο Link State Acknowledgment (LSack) – Type 5

Στο OSPF κάθε λαμβανόμενο LSA πρέπει να επιβεβαιωθεί ρητά με LSack ώστε να διασφαλισθεί ο συγχρονισμός των LSDB. Με ένα πακέτο LSack μπορούν να επιβεβαιωθούν πολλαπλά LSA.



Σχήμα 3: Διαστρωμάτωση επικεφαλίδων OSPF

### Μηχανή καταστάσεων γειτόνων OSPF

Το OSPF υλοποιεί ένα μηχανισμό μετάβασης καταστάσεων, ο οποίος καθορίζεται από τις καταστάσεις (states) και τα γεγονότα (events) 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, μπορεί όμως να στέλνει πακέτα Hello (Type 1). Στην κατάσταση **Init** ο δρομολογητής άκουσε ένα πακέτο Hello από κάποιο γείτονα, αλλά ακόμη δεν είδε την ταυτότητά του στη λίστα γειτόνων. Η λίστα *Neighbor* του πακέτου Hello περιλαμβάνει τις ταυτότητες *Router ID* των γειτόνων του δρομολογητή στη διεπαφή που παράγει το πακέτο. Σε αυτή την κατάσταση, ο δρομολογητής καταγράφει τους γείτονες του και περιλαμβάνει τις ταυτότητές τους στα μηνύματα Hello που στέλνει. Όταν ακούσει τη δική του *Router ID* σε πακέτο Hello από κάποιους γείτονες, μεταβαίνει στην κατάσταση **2-Way**. Αυτό σημαίνει ότι υφίσταται αμφίδρομη επικοινωνία με αυτούς.

Στη συνέχεια ξεκινά η ανταλλαγή του περιεχομένου της βάσης δεδομένων δρομολόγησης OSPF. Αυτό επιτυγχάνεται με ανταλλαγή πακέτων DBD (Type 2) που περιγράφουν περιληπτικά την LSDB. Στην κατάσταση **ExStart** εγκαθίσταται μια σχέση κυρίου/σκλάβου. Ο δρομολογητής με την υψηλότερη *Router ID* είναι ο κύριος. Μετά ακολουθεί η κατάσταση **Exchange** όπου ο κύριος ρωτά τον σκλάβο. Ο κάθε δρομολογητής περιγράφει στον άλλο τη βάση δρομολόγησης του με πακέτα DBD (Type 2) που περιλαμβάνουν τις επικεφαλίδες των LSA στην LSDB (όχι το πλήρες περιεχόμενο). Ο δρομολογητής που ακούει συγκρίνει με τα δικά του LSA και εάν υπάρχουν διαφορές δημιουργεί μια λίστα αιτημάτων (Link State Request List) των παλαιών ή ελλειπόντων LSA. Μετά μεταβαίνει στην κατάσταση **Loading** και ζητά από τον γείτονα να του στείλει ένα

αντίγραφο αυτών των LSA. Στην κατάσταση **Loading** αποστέλλονται πακέτα LSR (Type 3) που ζητούν πιο πρόσφατη πληροφορία LSA σε σχέση με αυτή της κατάστασης Exchange. Σε απάντησή τους αποστέλλονται πακέτα LSU (Type 4). Η λήψη κάθε LSU επιβεβαιώνεται με ένα πακέτο LSack (Type 5) Τέλος, όταν και οι δύο γείτονες συγχρονίσουν τις LSDB τους μεταβαίνουν στην κατάσταση **Full**. Τώρα, οι δρομολογητές OSPF έχουν εγκαταστήσει πλήρως τη σχέση γειτνίασης. Όλη η πληροφορία για τα υποδίκτυα έχει ανταλλαχθεί και επιβεβαιωθεί. Ακολούθως, μπορεί να εκτελεσθεί ο αλγόριθμος Dijkstra και να προσδιορισθούν οι συντομότερες διαδρομές.

### Περιοδικές ενημερώσεις κατάστασης ζεύξεων

Εάν δεν υπάρξει αλλαγή για 30 min σε κάποια κατάσταση ζεύξης, ο δρομολογητής που παρήγαγε το σχετικό LSA, αναπαράγει την ενημέρωση και την ξαναστέλνει. Έτσι, τυπικά σε ένα δίκτυο OSPF δεν βλέπει κανείς LSA με ηλικία μεγαλύτερη των 1800 sec. Εάν η ηλικία μιας εγγραφής LSA στην LSDB γίνει 3600 sec, τότε αυτή αφαιρείται από τη βάση και ξαναεκτελείται ο αλγόριθμος Dijkstra.

### Κατάσταση 2-way

Οι δρομολογητές OSPF είναι επιλεκτικοί όσον αφορά την εγκατάσταση γειτνίασης 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 περιοχής (διαβιβαστική ή απόληξη) να είναι το ίδιο, να έχουν την ίδια MTU 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

Είναι ακέραιος αριθμός (μήκους 32 bit) στη μορφή A.B.C.D όπως οι διευθύνσεις IPv4. Εκτός και εάν τεθεί χειροκίνητα, το *Router ID* επιλέγεται αυτόματα. Ο δρομολογητής επιλέγει ως ταυτότητά του την τιμή της υψηλότερης διεύθυνσης IPv4 σε διεπαφή loopback. Εάν δεν υπάρχει, επιλέγει την τιμή της υψηλότερης διεύθυνσης IPv4 από τις φυσικές του διεπαφές. Δεν είναι υποχρεωτικό οι διεπαφές αυτές να είναι ενεργοποιημένες για OSPF.

### OSPF DR/BDR

Οι δρομολογητές OSPF πρέπει να εγκαταστήσουν μια σχέση γειτνίασης με κάθε γείτονά τους. Μόνο τότε μπορούν να συγχρονίσουν τις LSDB τους. Η διαδικασία συγχρονισμού στην περίπτωση λειτουργίας πολλών δρομολογητών εντός ενός υποδικτύου *τύπου εκπομπής* θα ήταν μη αποδοτική σε όρους υπολογιστικής και αποθηκευτικής επιφόρτισης για τους δρομολογητές. Για παράδειγμα με  $N$  γειτονικούς δρομολογητές σε ένα υποδίκτυο Ethernet πρέπει να εγκατασταθούν  $N(N-1)/2$  σχέσεις γειτνίασης και για οποιαδήποτε ενημέρωση της βάσης θα απαιτηθούν  $N^2$  ανταλλαγές μηνυμάτων. Όπως προαναφέρθηκε 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 επιλεγμένου δρομολογητή DR, ο BDR (Backup Designated Router) θα αναλάβει το έργο του DR. Η επιλογή γίνεται με βάση την τιμή *Router Priority*. Ο δρομολογητής με τη 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* γίνονται DROther και δεν μετέχουν στη διαδικασία επιλογής DR/BDR. Σημειώστε ότι ο ρόλος DR/BDR

ισχύει ανά ζεύξη (link). Έτσι ένας δρομολογητής μπορεί να είναι DR σε μία διεπαφή του και να είναι BDR (ή να μην είναι καν DR) σε μια άλλη. Να σημειωθεί ότι εάν ένας δρομολογητής επιλεχθεί ως DR, θα παραμείνει DR ακόμη και εάν αργότερα εμφανισθεί άλλος με μεγαλύτερη προτεραιότητα. Μόνο η απώλειά του ή απώλεια της διεπαφής του θα οδηγήσει σε επανεκλογή. Έτσι το ποιος δρομολογητής είναι DR/BDR ίσως μην είναι πάντα προφανές. Τέλος υπενθυμίζεται ότι χρησιμοποιούνται διευθύνσεις πολλαπλής διανομής. Όλοι οι δρομολογητές OSPF ακούνε στη διεύθυνση 224.0.0.5, ενώ ο δρομολογητής DR/BDR ακούνε στη 224.0.0.6. Στην 224.0.0.5 αποστέλλονται τα πακέτα Hello. Οι ενημερώσεις στέλνονται στην 224.0.0.5, εκτός από την περίπτωση μέσω των *τύπων εκπομπής* οπότε χρησιμοποιείται η 224.0.0.6.

### Διαφημίσεις κατάστασης ζεύξεων (LSA)

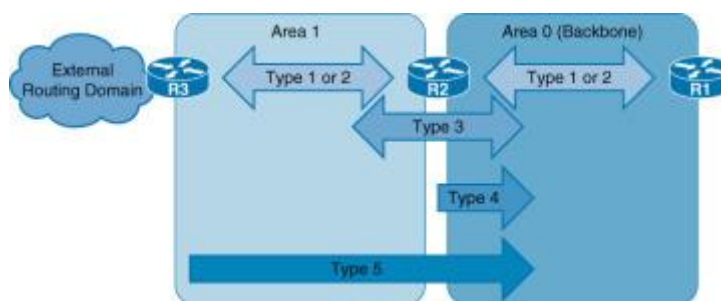
Οι δρομολογητές OSPF χρησιμοποιούν τα LSA (Link State Advertisement) για να παρέχουν πληροφορία σχετική με τις ζεύξεις και τα κόστη των στους γείτονές τους. Το πρωτόκολλο OSPF ορίζει πολλών ειδών LSA, που το καθένα έχει διαφορετικό σκοπό. Τα σημαντικότερα είναι:

Τύπος LSA	Ποιος το παράγει	Για ποιο λόγο;
Type 1 – Router LSA	Κάθε δρομολογητής σε κάθε περιοχή	Ο δρομολογητής διαφημίζει την παρουσία του προς όλους τους δρομολογητές της <i>περιοχής</i> του, τις συνδεδεμένες διεπαφές του και τους OSPF γείτονες στις ζεύξεις αυτές. Το Link ID των Router LSA είναι το Router ID του δρομολογητή που τα παράγει. Τα Router LSA εκπέμπονται μόνο εντός της <i>περιοχής</i> και δεν εξέρχονται από αυτήν.
Type 2 – Network LSA	Οι DR σε ζεύξεις που δεν είναι point-to-point	Ο DR σε μια ζεύξη εκπομπής (π.χ. Ethernet) συλλέγει όλα τα Router LSA και στέλνει ένα Network LSA διαφημίζοντας τη λίστα των δρομολογητών που είναι συνδεδεμένοι στην ίδια <i>ζεύξη</i> με αυτόν. Το Link ID των Network LSA είναι η διεύθυνση IPv4 της διεπαφής του DR. Τα Network LSA εκπέμπονται προς όλους τους δρομολογητές εντός της <i>περιοχής</i> που ανήκει ο DR και δεν εξέρχονται από αυτήν.
Type 3 – Summary LSA	Οι ABR	Ο ABR παράγει ένα Summary LSA συνοψίζοντας τη γνώση του για τα δίκτυα μιας <i>περιοχής</i> και τη διαφημίζει στις άλλες <i>περιοχές</i> όπου είναι συνδεδεμένος ως πληροφορία δρομολόγησης μεταξύ περιοχών (IA - Inter Area) με τη μορφή προθεμάτων δικτύων (π.χ. 1.2.0.0/16). Το Link ID των Summary LSA είναι ο αριθμός δικτύου προορισμού.
Type 4 – ASBR Summary LSA	Οι ABR <i>περιοχής</i> που περιέχει ένα ASBR	Ο ABR διαφημίζει την ύπαρξη ενός ASBR (Autonomous System Border Router) προς τις άλλες περιοχές ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός της συντομότερης διαδρομής προς τον ASBR από όλους τους δρομολογητές. Το Link ID είναι το Router ID του ASBR. Σημειώστε ότι ο ASBR παράγει Type 1 - Router LSA για να δηλώσει την ύπαρξή του.
Type 5 – External LSA	Οι ASBR δρομολογητές όπου έχει δοθεί η εντολή redistribute	Ο ASBR με τα External LSA διαφημίζει στο δίκτυο OSPF εξωτερικές διαδρομές που έχουν παραχθεί από άλλα πρωτόκολλα δρομολόγησης σε δίκτυα όπου είναι συνδεδεμένος είτε έχουν ορισθεί στατικά, όπως π.χ. η προκαθορισμένη διαδρομή. Το Link ID των External LSA είναι ο αριθμός του εξωτερικού δικτύου. Τα External LSA εκπέμπονται σε όλες τις <i>περιοχές</i> .



		Υπάρχουν δύο παραλλαγές των Type 5 – External LSA: το Ext type 1 (E1) και το Ext type 2 (E2). Προκαθορισμένο είναι το E2, όπου ο ASBR καθορίζει το κόστος της διαδρομής προς τον προορισμό (το κόστος εντός του δικτύου OSPF αγνοείται). Στο E1 στο κόστος που δίνει ο ASBR προστίθεται και το κόστος εντός του δικτύου OSPF.
--	--	---

Στο επόμενο σχήμα φαίνονται παραστατικά για μια απλή τοπολογία οι διάφοροι τύποι LSA εντός μιας περιοχής και μεταξύ περιοχών. Ο κορμός και οι κανονικές περιοχές (όχι απολήξεις) δέχονται όλους τους προηγούμενους τύπους LSA. Μια περιοχή απόληξης (stub) δέχεται μόνο τους τύπους 1, 2, 3 ή τους τύπους 1, 2 συν μια προκαθορισμένη διαδρομή που αντικαθιστά όλες τις εξωτερικές διαδρομές (totally stubby area). Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με είδη περιοχών OSPF δείτε <https://packetlife.net/blog/2008/jun/24/ospf-area-types/>. Επίσης για μία πιο αναλυτική περιγραφή των διάφορων τύπων LSA του OSPF δείτε <http://www.firewall.cx/networking-topics/routing/ospf-routing-protocol/1178-ospf-lsa-types-explained.html>.



Σχήμα 2 Λειτουργία LSA αναφορικά με περιοχές

Εάν ενδιαφέρεστε για τις λεπτομέρειες της διαδικασίας εγκατάστασης γειτνίασης μεταξύ δύο δρομολογητών και τα πακέτα OSPF που ανταλλάσσονται δείτε το παράδειγμα στην ιστοθέση <https://www.eventhelix.com/Networking/ospf-router-startup/ospf-router-startup-and-link-state-update.pdf>. Επίσης, για την καλύτερη κατανόηση της πληροφορίας που περιέχει η LSDB δείτε την περιγραφή στην ιστοθέση <https://supportforums.cisco.com/document/133976/reading-and-understanding-ospf-database>. Τέλος, μια λεπτομερής περιγραφή του OSPF υπάρχει στην ιστοθέση <https://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=2294214>.

## Προετοιμασία στο σπίτι

### Οδηγίες εγκατάστασης OSPF

Για τις ανάγκες αυτής της άσκησης, εκτός από τον εικονικό δρομολογητή BSDRP (router.ova), θα χρησιμοποιήσετε και το FreeBSD 11.4 με το FRR, που δημιουργήσατε στην Εργαστηριακή Άσκηση 7, ενεργοποιώντας το πρωτόκολλο δρομολόγησης OSPF. Για να ξεκινήσετε τη διεργασία OSPF:

1. Κλείστε την υπηρεσία frr με “service frr stop”.
2. Δημιουργήστε άδειο αρχείο παραμετροποίησης OSPF /usr/local/etc/frr/ospfd.conf.
3. Ορίστε ως frr την ταυτότητα ιδιοκτήτη και ομάδα του αρχείου /usr/local/etc/frr/ospfd.conf.
4. Στο αρχείο παραμετροποίησης /etc/rc.conf προσθέστε το ospfd στη γραμμή frr\_daemons=“zebra staticd ripd”, ώστε να γίνει frr\_daemons=“zebra staticd ripd ospfd”.
5. Ξεκινήστε την υπηρεσία frr ξανά με “service frr start”.
6. Κλείστε το εικονικό μηχάνημα με την εντολή poweroff και από τη διαδρομή *File* → *Export Appliance...* στο VirtualBox δημιουργήστε ένα αρχείο ova για χρήση στη συνέχεια.

Επειδή τα δυναμικά πρωτόκολλα υλοποιούνται σε ξεχωριστές διεργασίες στο FRR, 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 για το OSPF), αφού πρώτα ορίσετε συνθηματικό στο αρχείο παραμετροποίησης του κάθε πρωτοκόλλου (ospfd.conf για το OSPF). Για την παραμετροποίηση του OSPF, θα πρέπει να δώσετε (όντας σε global configuration mode) την εντολή:

**router ospf** ενεργοποιεί το πρωτόκολλο OSPF στον δρομολογητή και οδηγεί σε router configuration mode για περαιτέρω παραμετροποίηση. Η προτροπή (prompt) αλλάζει σε:

**routername(config-router)#**

Στο επίπεδο Router Configuration Mode μερικές από τις διαθέσιμες εντολές για την παραμετροποίηση OSPF είναι:

**network *netaddr* area *areaID*** ενεργοποιεί το OSPF στις διεπαφές του δρομολογητή που ανήκουν στο δίκτυο με IP διεύθυνση *netaddr* και τις σχετίζει με την περιοχή *areaID*. Η περιοχή 0 είναι ο κορμός. Προσοχή: οι διευθύνσεις IPv4 των διεπαφών πρέπει έχουν μήκος προθέματος μεγαλύτερο ή ίσο με αυτό της *netaddr*.

**passive-interface *ifname*** θέτει τη διεπαφή *ifname* σε παθητική κατάσταση και αποτρέπει τη σύναψη γειτνιάσεων. Όταν η διεπαφή είναι στη παθητική κατάσταση, ο δρομολογητής επεξεργάζεται το εισερχόμενο πακέτα OSPF, αλλά δεν στέλνει διαφημίσεις OSPF.

**router-id *id*** θέτει ως ταυτότητα δρομολογητή την *id* (σε μορφή διεύθυνσης IPv4).

**area *area-id* stub** ορίζει την περιοχή με *area-id* ως περιοχή απόληξης (stub).

Για κάθε διεπαφή, όντας σε interface configuration mode, μπορείτε να ορίσετε τον τύπο δικτύου με την εντολή:

**ospf network *network*** όπου *network* είναι το είδος του δικτύου, π.χ. broadcast, point-to-point κλπ.

Για πληροφορίες σχετικές με τη δρομολόγηση OSPF μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τις εντολές (σε Privileged EXEC Mode):

**show ip ospf** για να δείτε γενικές πληροφορίες σχετικές με τον δρομολογητή OSPF, τις περιοχές όπου ανήκουν οι διεπαφές του καθώς και το πλήθος των LSA της βάσης δεδομένων LSDB.

**show ip ospf route** για να δείτε τον πίνακα διαδρομών του πρωτοκόλλου OSPF, και

**show ip route ospf** για να δείτε τις εγγραφές OSPF στον πίνακα δρομολόγησης.

**show ip ospf interface *ifname*** για να δείτε λεπτομερείς πληροφορίες σχετικές με την κατάσταση του OSPF στη διεπαφή *ifname* ή σε όλες τις διεπαφές, εάν δεν προσδιορίζεται κάποια.

**show ip ospf neighbor *ifname*** για να δείτε γενικές πληροφορίες (router-id, κατάσταση, διεύθυνση IP) των γειτόνων OSPF στη διεπαφή *ifname* ή σε όλες τις διεπαφές, εάν δεν προσδιορίζεται κάποια.

**show ip ospf database** για να δείτε το περιεχόμενο (τα LSA που περιέχει) της LSDB.

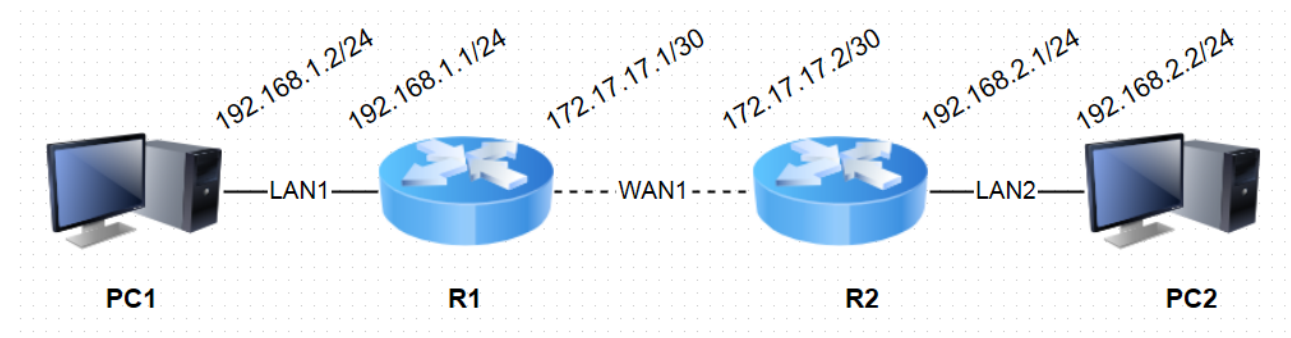
**show ip ospf database *LSAtype* [*self-originate*, *adv-router router-id*]** για να δείτε λεπτομερείς πληροφορίες για το συγκεκριμένο είδος LSA (router, network, summary, ASBR summary, external). Προσθέτοντας *self-originate* ή *adv-router router-id* οι πληροφορίες αφορούν τα LSA που παράγει ο ίδιος ο δρομολογητής ή αυτά που διαφημίζει ο δρομολογητής με ταυτότητα *router-id*.

**show ip ospf border-routers** για να δείτε τους ABR.

Για τον πλήρη κατάλογο εντολών σχετικών με το πρωτόκολλο OSPF δείτε τα εγχειρίδια του Quagga ή FRR: <https://www.nongnu.org/quagga/docs.html> και <https://docs.frrouting.org/en/latest/>.

## Άσκηση 1: Εισαγωγή στο OSPF

Κατασκευάστε στο VirtualBox την παρακάτω τοπολογία όπως στην Εργαστηριακή Άσκηση 7. Θα χρησιμοποιήσετε τον εικονικό δρομολογητή BSDRP με τρεις κάρτες δικτύου (αρχείο router.ona) που μπορείτε να κατεβάσετε με ανώνυμο ftp από το [ftp://edu-dy.cn.ntua.gr/](http://edu-dy.cn.ntua.gr/) επιλέγοντας δυαδικό (bin) τρόπο μεταφοράς). Αποσυνδέστε το καλώδιο στην τρίτη κάρτα, θα το συνδέσετε αργότερα. Για τα PC χρησιμοποιήστε το FreeBSD 11.4 με FRR που κατασκευάσατε.



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

- 1.1 Μέσω vtysh ορίστε το όνομα, τη διεύθυνση IP και τη σωστή προεπιλεγμένη πύλη στο PC1.
- 1.2 Μέσω vtysh ορίστε το όνομα, τη διεύθυνση IP και τη σωστή προεπιλεγμένη πύλη στο PC2.
- 1.3 Στον R1 ορίστε μέσω cli το όνομα και τις διευθύνσεις IP για τις διεπαφές του.
- 1.4 Στον R1 εμφανίστε τον πίνακα δρομολόγησης μέσω cli και βεβαιωθείτε ότι δεν υπάρχει καμία στατική εγγραφή.
- 1.5 Στον R1, αφού εισέλθετε στο επίπεδο global configuration mode, χρησιμοποιήστε τη βοήθεια της εντολής router για να δείτε εάν είναι διαθέσιμο το πρωτόκολλο δρομολόγησης OSPF 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 στη δρομολόγηση OSPF το δίκτυο 192.168.1.0/24 ορίζοντας περιοχή 0.
- 1.9 Εισάγετε στη δρομολόγηση 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 1.3 έως 1.9 για τον R2. [Υποδ. Βάλτε το σωστό δίκτυο για το LAN2]. Επικοινωνεί το PC1 με το PC2;
- 1.12 Πώς χαρακτηρίζονται οι δρομολογητές R1 και R2 με βάση τις περιοχές OSPF στις οποίες συμμετέχουν με τις διεπαφές τους;
- 1.13 Με ποια εντολή μπορείτε να δείτε, χωρίς να εξέλθετε από το configuration mode εάν και τι έχει αλλάξει στον πίνακα δρομολόγησης του R2;
- 1.14 Πώς ξεχωρίζουν στον παραπάνω πίνακα οι εγγραφές που πρόσθεσε το πρωτόκολλο OSPF;
- 1.15 Πώς δηλώνονται οι εγγραφές που έχουν επιλεγεί και εισαχθεί στον πίνακα προώθησης FIB για κάποιον προορισμό;
- 1.16 Ποια είναι η διαχειριστική απόσταση των διαδρομών OSPF; Πώς εμφανίζεται αυτή η πληροφορία μαζί με το μήκος της διαδρομής στον πίνακα δρομολόγησης;
- 1.17 Εξηγήστε τον λόγο για τον οποίο έχει επιλεγθεί η συγκεκριμένη διαδρομή για το WAN1;

- 1.18 Βγείτε από το cli και εμφανίστε τον πίνακα δρομολόγησης όπως τον αντιλαμβάνεται το λειτουργικό σύστημα του εικονικού μηχανήματος. Μπορείτε να καταλάβετε αν κάποια εγγραφή είναι δυναμική;
- 1.19 Ανοίξτε με Alt+F2 ένα νέο παράθυρο εντολών στον R1, ξεκινήστε μια καταγραφή πακέτων με tcpdump στη διεπαφή του στο LAN1 εμφανίζοντας λεπτομερείς πληροφορίες για τα πακέτα χωρίς επίλυση ονομάτων και περιμένετε τουλάχιστον μισό λεπτό.
- 1.20 Ποια είναι η διεύθυνση πηγής των πακέτων OSPF που βλέπετε;
- 1.21 Ποιος είναι ο προορισμός των πακέτων OSPF που βλέπετε; *[Υποδ. Αναζητήστε πληροφορίες στο διαδίκτυο για την IP διεύθυνση προορισμού που βλέπετε].*
- 1.22 Ποιο πρωτόκολλο στρώματος δικτύου και ποιον αριθμό πρωτοκόλλου ανωτέρου στρώματος χρησιμοποιεί το OSPF;
- 1.23 Τι τιμή έχει το TTL των πακέτων IP που μεταφέρουν τα πακέτα OSPF;
- 1.24 Τι τύπου πακέτα OSPF είναι αυτά που βλέπετε και σε ποια περιοχή OSPF ανήκουν;
- 1.25 Πόσο συχνά τα βλέπετε στην καταγραφή; Συγκρίνετε με την τιμή του Hello Timer του περιεχομένου των. Ποια είναι η τιμή του Dead Timer;
- 1.26 Ποιο είναι το Router-ID για τον R1; Πώς προέκυψε;
- 1.27 Ποιος είναι ο επιλεγμένος δρομολογητής DR της ζεύξης στο LAN1; Υπάρχει DBR;
- 1.28 Ξεκινήστε μια νέα καταγραφή όπως πριν στη διεπαφή του R1 στο WAN1 και περιμένετε τουλάχιστον μισό λεπτό. Παρατηρείτε αποστολή μηνυμάτων OSPF Hello από τον R1 όπως πριν; Ποια είναι η IP διεύθυνση πηγής των;
- 1.29 Παρατηρείτε λήψη μηνυμάτων OSPF Hello από τον R2; Ποια είναι η IP διεύθυνση πηγής των και ποιο είναι το Router-ID του R2;
- 1.30 Ποια διεύθυνση IP αφορά η μάσκα υποδικτύου στα περιεχόμενα των πακέτων OSPF Hello;
- 1.31 Ποια επιπλέον πληροφορία περιλαμβάνουν τα πακέτα OSPF Hello στο WAN1 σε σχέση με τα αντίστοιχά τους στο LAN1; Γιατί;
- 1.32 Περιλαμβάνουν διαφημίσεις δικτύων όπως στο RIP;
- 1.33 Ποια προτεραιότητα δηλώνει ο R1 στα πακέτα OSPF Hello και ποια ο R2;
- 1.34 Ποια είναι η διεύθυνση IP του επιλεγμένου δρομολογητή DR για τη ζεύξη στο WAN1 και ποια του BDR; Είναι οι αναμενόμενες;
- 1.35 Σε ospf router configuration mode στον R1 ορίστε τη διεπαφή του στο LAN1 ως passive-interface. Παρόμοια για τον R2 και τη διεπαφή του στο LAN2.
- 1.36 Έχει σταματήσει η αποστολή πακέτων OSPF Hello στα LAN1 και LAN2;
- 1.37 Επηρεάζεται η λειτουργία του δικτύου με την παραπάνω ρύθμιση; Τεκμηριώστε την απάντησή σας.

## 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 Το OSPF μπορεί να ρυθμίσει το Router-ID αυτόματα από τις διευθύνσεις IP των διεπαφών του δρομολογητή όπως είδατε προηγουμένως. Με ποιο τέχνασμα μπορείτε να εξωθήσετε το

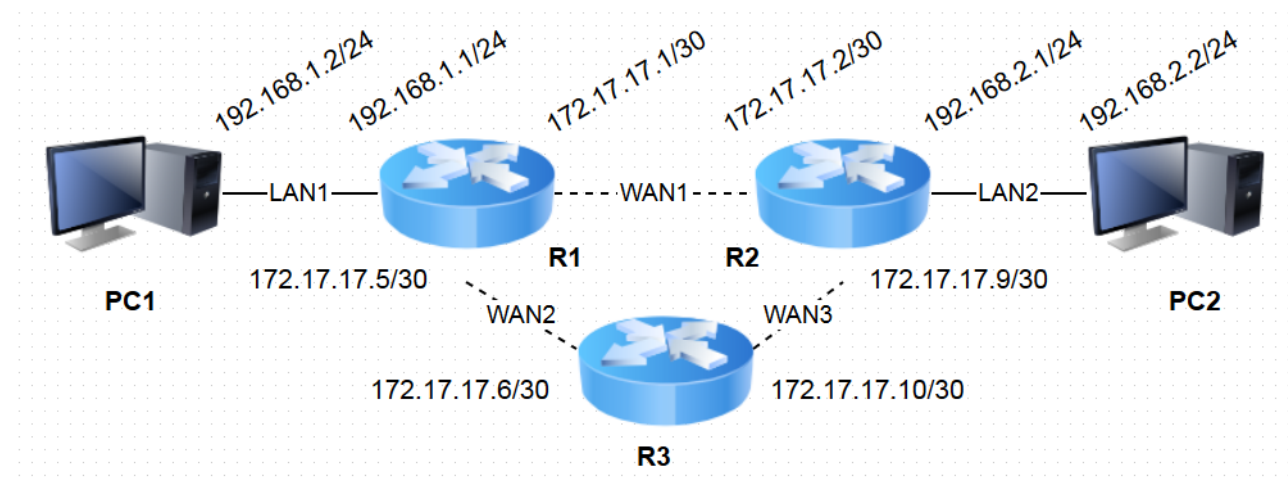
- OSPF να επιλέξει ως Router-ID μια τιμή που να αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη διεύθυνση IPv4;
- 2.2 Το Router-ID δεν είναι διεύθυνση IPv4 παρότι γράφεται σε τέτοια μορφή, πρέπει όμως να είναι μοναδικό σε μια τοπολογία. Ορίστε χειροκίνητα ως 1 και 2 το Router-ID για τους δρομολογητές R1 και R2, αντίστοιχα.
  - 2.3 Στον R1 εκτελέστε την εντολή *"show ip ospf"* για να δείτε πληροφορίες σχετικές με τον δρομολογητή OSPF. Ποιο είναι το Router-ID του, σε πόσες και ποιες περιοχές ανήκει και πόσα LSA έχει η LSDB του;
  - 2.4 Στον R1 εκτελέστε την εντολή *"show ip ospf neighbor"* για να δείτε πληροφορία για τον γείτονά του. Πώς μπορείτε να καταλάβετε ότι το OSPF έχει συγκλίνει; Ο γείτονας είναι DR ή BDR;
  - 2.5 Εκτελέστε διαδοχικά την προηγούμενη εντολή. Τι σημαίνει η τιμή του Dead Time που παρατηρείτε και γιατί κυμαίνεται μεταξύ των 30 sec και 40 sec.
  - 2.6 Με ποια σύνταξη της προηγούμενης εντολής θα δείτε όλες τις λεπτομέρειες της γειτνίασης του R1 με τον R2;
  - 2.7 Με την κατάλληλη υπο-εντολή της *"show ip ospf interface"* βρείτε το είδος του δικτύου και την κατάσταση DR (Designated Router), BDR (Backup DR) ή DROther των R1 και R2 στο WAN1. Συγκρίνετε με το αποτέλεσμα της ερώτησης 1.34.
  - 2.8 Σε ποιες ομάδες πολλαπλής διανομής είναι μέλη οι R1 και R2 στο WAN1;
  - 2.9 Εκτελέστε την εντολή *"show ip ospf database"* για να δείτε συνοπτικά τα περιεχόμενα της βάσης δεδομένων LSDB του OSPF στους R1 και R2. Πόσα Router και Network LSA βλέπετε; Είναι το αποτέλεσμα ίδιο στους δύο δρομολογητές;
  - 2.10 Ποιο είναι το Link ID των Router LSA; Ταυτίζεται με το Router ID του δρομολογητή που τα παράγει;
  - 2.11 Ποιο είναι το Link ID των Network LSA; Είναι το Router ID του δρομολογητή που τα παράγει; Εάν όχι, τι είναι;
  - 2.12 Με ποια υπο-εντολή της *"show ip ospf database router"* θα δείτε λεπτομέρειες για το Router LSA που παράγει ο R1;
  - 2.13 Πώς χαρακτηρίζεται το δίκτυο του LAN1 και πώς του WAN1; Γιατί;
  - 2.14 Με ποια υπο-εντολή της *"show ip ospf database"* θα δείτε λεπτομέρειες για το Network LSA που παράγει ο DR στο WAN1;
  - 2.15 Ποια πληροφορία για τους συνδεδεμένους στο WAN1 δρομολογητές περιέχει;
  - 2.16 Στους R1 και R2 δείτε με την εντολή *"show ip ospf route"* τον πίνακα διαδρομών του OSPF. Πόσες εγγραφές βλέπετε και σε ποια περιοχή OSPF ανήκουν;
  - 2.17 Ποιο είναι το κόστος των διαδρομών; Συγκρίνετε με την έξοδο της εντολής *"show ip route ospf"*; [Υποδ. Το δίκτυο που βρίσκεται δύο βήματα μακριά θα έχει διπλάσιο κόστος.]
  - 2.18 Για τον υπολογισμό του κόστους διαδρομών OSPF το Quagga θεωρεί ότι η ταχύτητα των διεπαφών είναι 10 Mbps, άσχετα από ποια είναι η πραγματική. Σε interface configuration mode του R1 για τη διεπαφή στο WAN1 ορίστε ταχύτητα διεπαφής 100 Mbps.
  - 2.19 Ποιο είναι το νέο κόστος της ζεύξης του R1 στο WAN1 και με ποια υπο-εντολή της *"show ip ospf interface"* θα το βρείτε;
  - 2.20 Τι έχει αλλάξει στον πίνακα δρομολόγησης του R1;
  - 2.21 Εμφανίστε τον πίνακα δρομολόγησης στον R2. Ποιο είναι το κόστος από τον R2 προς το LAN1; Γιατί;

- 2.22 Στον R2 ορίστε ταχύτητα διεπαφής 100 Mbps για τη διεπαφή του στο WAN1.
- 2.23 Ξεκινήστε μια νέα καταγραφή στη διεπαφή του R1 στο WAN1 και περιμένετε.
- 2.24 Στον R2 διαγράψτε το δίκτυο 192.168.2.0/24 από το OSPF.
- 2.25 Τι νέου είδους πακέτα OSPF βλέπετε στην καταγραφή και από ποιον δρομολογητή παράγονται; Υπήρξε καθυστέρηση στην αποστολή τους;
- 2.26 Ποιες αλλαγές έγιναν στον πίνακα διαδρομών OSPF των R1 και R2; Υπάρχει επικοινωνία των PC1 και PC2;
- 2.27 Έχει σταματήσει η αποστολή μηνυμάτων OSPF στο WAN1; Γιατί;
- 2.28 Στον R2 επανεισάγετε το 192.168.2.0/24 στο OSPF. Τι παρατηρείτε στην καταγραφή;

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

Σε αντίθεση με το RIP, το OSPF προσαρμόζεται ταχύτατα σε αλλαγές στο δίκτυο. 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.

Προσθέστε στο δίκτυο της προηγούμενης άσκησης τον δρομολογητή R3 όπως στο σχήμα και συνδέστε το καλώδιο στην τρίτη κάρτα των R1 και R2.



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

- 3.1 Στον R3 ορίστε μέσω cli το όνομα και τις διευθύνσεις IP για τις διεπαφές του.
- 3.2 Στους R1 και R2 ορίστε μέσω cli τις διευθύνσεις IP για τις διεπαφές των στα WAN2 και WAN3, αντίστοιχα.
- 3.3 Σε όλους τους δρομολογητές ενεργοποιήστε τη λειτουργία link-detect στις 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 υπο-εντολών παραμετροποίησης διεπαφών ip.]
- 3.5 Στον R1 εισάγετε το δίκτυο του WAN2 στη δρομολόγηση OSPF περιοχή 0.
- 3.6 Ομοίως στον R2 το δίκτυο του WAN3.
- 3.7 Στον R3 ορίστε το 3 ως router-ID και εισάγετε το δίκτυο 0.0.0.0/0 στη δρομολόγηση OSPF στην περιοχή 0.

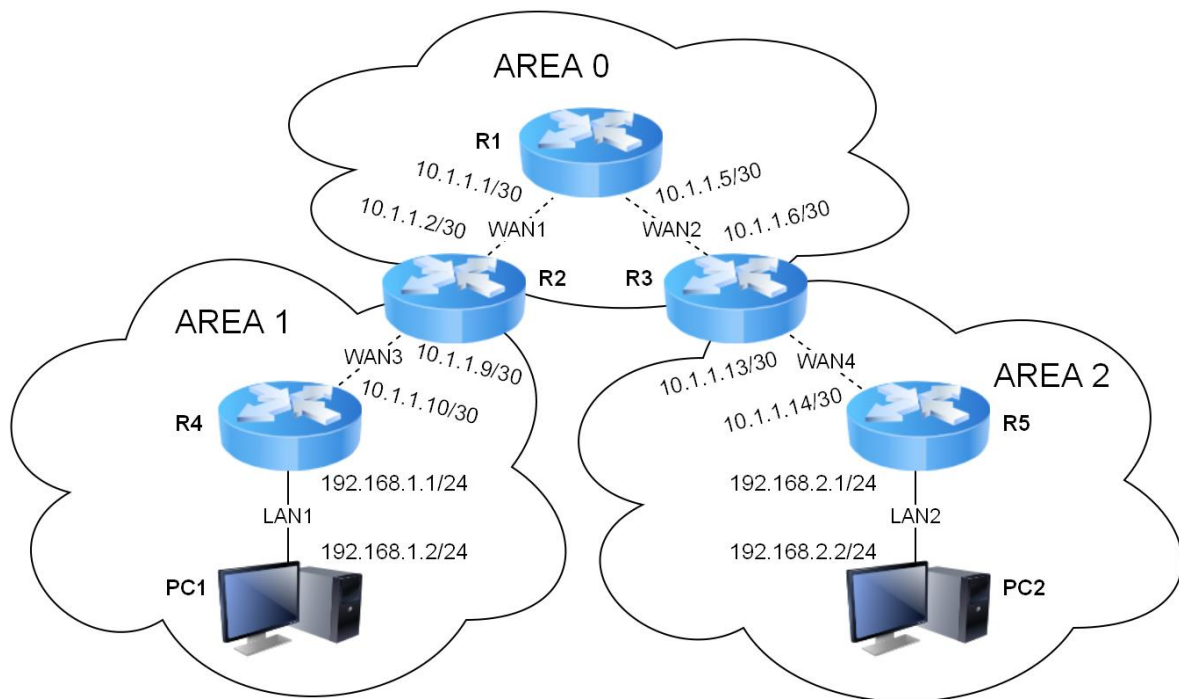


- 3.8 Στον R1 εμφανίστε τον πίνακα διαδρομών του πρωτοκόλλου OSPF. Καταγράψτε τις διαδρομές και το κόστος τους.
- 3.9 Στον R2 εμφανίστε τον πίνακα διαδρομών του πρωτοκόλλου OSPF. Καταγράψτε τις διαδρομές και το κόστος τους.
- 3.10 Στον R3 εμφανίστε τον πίνακα διαδρομών του πρωτοκόλλου OSPF. Καταγράψτε τις διαδρομές και το κόστος τους.
- 3.11 Τι συμπεραίνετε σχετικά με τα υποδίκτυα που διαφημίζει ο R3 όταν στην δρομολόγηση εισάγετε το δίκτυο 0.0.0.0/0;
- 3.12 Ο πίνακας δρομολόγησης των R1 και R2 περιέχει μια εγγραφή για το μηχάνημα 127.0.0.1. Ποια είναι η πηγή αυτής της πληροφορίας;
- 3.13 Στο R1 κάνετε ping σε αυτή τη διεύθυνση. Ποιο μηχάνημα θα απαντήσει και γιατί;
- 3.14 Πόσες διαδρομές προς το δίκτυο του WAN1 έχει ο πίνακας δρομολόγησης OSPF του R3; Ποια εξ αυτών έχει επιλεγθεί για τον πίνακα προώθησης;
- 3.15 Ποια είναι η κατάσταση (DR, BDR, DROther) των γειτόνων του R3;
- 3.16 Τι είδους LSA περιέχει η βάση δεδομένων LSDB των δρομολογητών; Γιατί δεν υπάρχει πληροφορία για Network LSA;
- 3.17 Δείτε λεπτομέρειες για το Router LSA που παράγει ο R1. Με ποιο τρόπο περιγράφεται τώρα η σύνδεσή του στο WAN1;
- 3.18 Ξεκινήστε ping από το PC2 στο PC1 και αφήστε το να τρέχει. Ποια είναι η τιμή του TTL;
- 3.19 Σε νέο παράθυρο εντολών στον R2 ξεκινήστε καταγραφή πακέτων στη διεπαφή του στο WAN3 βάζοντας φίλτρο ώστε να μη φαίνονται τα πακέτα ICMP.
- 3.20 Αποσυνδέστε από το VirtualBox το καλώδιο της διεπαφής του R1 στο WAN1. Το ping θα ενδέχεται να διακοπεί για λίγο και θα επανέλθει. Σταματήστε το ping και καταγράψτε το πλήθος των χαμένων πακέτων, εάν υπάρχουν, και την τιμή του TTL πριν και μετά τη διακοπή της σύνδεσης.
- 3.21 Με βάση τα αποτελέσματα του ping τι συμπεραίνετε για τον χρόνο αντίδρασης του OSPF σε αλλαγές της τοπολογίας του δικτύου;
- 3.22 Σταματήστε το tcpdump αφού έχει γίνει καταγραφή για τουλάχιστον 1 min. Πόσα και ποια είδη μηνυμάτων OSPF (πλην Hello) ανταλλάχθηκαν μέχρι να ολοκληρωθεί η ενημέρωση της LSDB του R2;
- 3.23 Πόση περίπου ώρα διήρκεσε η διαδικασία ενημέρωσης των LSDB σύμφωνα με τα στοιχεία της καταγραφής;
- 3.24 Ποιο είναι το νέο κόστος των διαδρομών προς τα WAN1, WAN3 και LAN2 στον πίνακα δρομολόγησης του R1;
- 3.25 Ποιο είναι το νέο κόστος των διαδρομών προς τα WAN1, WAN2 και LAN1 στον πίνακα δρομολόγησης του R2;
- 3.26 Τι άλλαξε στον πίνακα δρομολόγησης του R3 όσον αφορά τη διαδρομή προς το δίκτυο του WAN1;
- 3.27 Γιατί δεν έχει εισαχθεί στον πίνακα προώθησης του R1 η διαδρομή OSPF προς το WAN1 παρότι είναι επιλεγμένη;
- 3.28 Αποσυνδέστε από το VirtualBox το καλώδιο της διεπαφής του R2 στο WAN1. Ποιες αλλαγές έγιναν στους πίνακες δρομολόγησης όσον αφορά τη διαδρομή προς το δίκτυο του WAN1;

- 3.29 Ξεκινήστε πάλι ring από το PC2 στο PC1 και αφήστε το να τρέχει. Επανασυνδέστε τις διεπαφές των R1 και R3 στο WAN1. Είναι η ενημέρωση των πινάκων δρομολόγησης άμεση; Πώς το αντιλαμβάνεστε από την έξοδο της εντολής ring;
- 3.30 Γιατί η αλλαγή διαδρομής κατά την πτώση του WAN1 γίνεται γρηγορότερα από ότι κατά την επάνοδό του;

### Άσκηση 4: Περιοχές OSPF

Θα κατασκευάσετε την τοπολογία που ακολουθεί σύμφωνα με τις οδηγίες. Για δρομολογητές θα χρησιμοποιήσετε το BSDRP. Για τα PC θα χρησιμοποιήσετε το FreeBSD 11.4. Για λόγους εξοικονόμησης μνήμης αν θέλετε μπορείτε να ορίσετε στα δύο PC μνήμη 128MB αντί για 256MB.



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

- 4.1 Μέσω vtysh ορίστε στα PC1 και PC2 το όνομα, τη διεύθυνση IP και τη σωστή προεπιλεγμένη πύλη.
- 4.2 Μέσω του cli ορίστε στους R1, R2, R3, R4 και R5 τα ονόματά τους, ως διευθύνσεις διαχείρισης loopback τις 172.22.22.1/32, 172.22.22.2/32, 172.22.22.3/32, 172.22.22.4/32 και 172.22.22.5/32, αντίστοιχα.
- 4.3 Σε όλους τους δρομολογητές ενεργοποιήστε τη λειτουργία link-detect στις διεπαφές WAN.
- 4.4 Στον R1 ορίστε διευθύνσεις IP στις διεπαφές και εισάγετε τα δίκτυα στα WAN1 και WAN2 στην περιοχή 0 της δρομολόγησης OSPF.
- 4.5 Στον R2 ορίστε διευθύνσεις IP στις διεπαφές και εισάγετε το δίκτυο στο WAN1 στην περιοχή 0 της δρομολόγησης OSPF και το δίκτυο στο WAN3 στην περιοχή 1.
- 4.6 Στον R3 ορίστε διευθύνσεις IP στις διεπαφές και εισάγετε το δίκτυο στο WAN2 στην περιοχή 0 της δρομολόγησης OSPF και το δίκτυο στο WAN4 στην περιοχή 2.
- 4.7 Στον R4 ορίστε διευθύνσεις IP στις διεπαφές και εισάγετε τα δίκτυα στα LAN1 και WAN3 στην περιοχή 1 της δρομολόγησης OSPF.



- 4.8 Στον R5 ορίστε διευθύνσεις IP στις διεπαφές και εισάγετε τα δίκτυα στα LAN2 και WAN4 στην περιοχή 2 της δρομολόγησης OSPF.
- 4.9 Μπορείτε να κάνετε ping από το PC1 το PC2;
- 4.10 Βρείτε το Router ID όλων των δρομολογητών. Ποια εντολή χρησιμοποιήσατε;
- 4.11 Εκτελώντας την εντολή *"show ip ospf neighbor"* βρείτε τους DR/BDR για όλα τα WAN. Είναι οι αναμενόμενοι με βάση το αποτέλεσμα της προηγούμενης ερώτησης;
- 4.12 Με τη βοήθεια της εντολής *"show ip ospf border-routers"* σε κάθε δρομολογητή βρείτε τους ABR για κάθε περιοχή της τοπολογίας.
- 4.13 Εκτελέστε στον R1 την εντολή *"show ip ospf database"*. Ποιο επιπλέον είδος LSA βλέπετε στη βάση δεδομένων LSDB του OSPF που δεν υπήρχε στην άσκηση 2;
- 4.14 Πόσα LSA έχει συνολικά η LSDB του R1; Πόσα εξ αυτών είναι Router LSA, πόσα Network LSA και πόσα Summary LSA; Αιτιολογήστε το πλήθος των Router LSA.
- 4.15 Με τη βοήθεια της εντολής *"show ip ospf database self-originate"* βρείτε ποια από τα προηγούμενα LSA πηγάζουν από τον R1.
- 4.16 Δώστε την εντολή *"show ip ospf database router"* και για κάθε Router LSA στη βάση του R1 εξηγήστε πώς προέκυψε το Link ID.
- 4.17 Εκτελέστε στον R2 την εντολή *"show ip ospf database"*. Για ποιες περιοχές OSPF περιέχει εγγραφές LSA η βάση δεδομένων LSDB του R2;
- 4.18 Πόσα LSA έχει συνολικά η βάση δεδομένων LSDB του R2; Πόσα εξ αυτών είναι Router, Network και Summary LSA στην περιοχή 0 και πόσα στην περιοχή 1; Αιτιολογήστε το πλήθος των Network LSA των περιοχών 0 και 1.
- 4.19 Δώστε την εντολή *"show ip ospf database network"* και για κάθε Network LSA των περιοχών 0, 1 και εξηγήστε πώς προέκυψε το Link ID.
- 4.20 Πόσα LSA έχει συνολικά η βάση δεδομένων LSDB του R3; Πόσα εξ αυτών είναι Router, Network και Summary LSA στην περιοχή 0 και πόσα στην περιοχή 2; Αιτιολογήστε το πλήθος των Summary LSA των περιοχών 0 και 2.
- 4.21 Δώστε την εντολή *"show ip ospf database summary"* και για κάθε Summary LSA των περιοχών 0, 2 και εξηγήστε πώς προέκυψε το Link ID.
- 4.22 Ποια είναι η πηγή διαφήμισης των Router και Network LSA της βάσης δεδομένων LSDB του R1;
- 4.23 Οι συνοριακοί δρομολογητές (ABR) διαφημίζουν σε μια περιοχή συνόψεις για τις άλλες περιοχές. Ποιες είναι οι πηγές διαφήμισης των Summary LSA της βάσης δεδομένων LSDB του R2 για την περιοχή 0; Αντίστοιχα για την περιοχή 1.
- 4.24 Στον R1 δείτε τον πίνακα διαδρομών OSPF με την εντολή *"show ip ospf route"*. Ποια ένδειξη υπάρχει για τις διαδρομές μεταξύ περιοχών (Inter-Area);
- 4.25 Υπάρχουν αντίστοιχες ενδείξεις στον πίνακα δρομολόγησης (εντολή *"show ip route ospf"*);
- 4.26 Εκτός από διαδρομές προς δίκτυα, τι άλλου είδους διαδρομές περιλαμβάνει ο πίνακας διαδρομών OSPF του R1;
- 4.27 Στις διαδρομές προς δρομολογητές υπάρχει ένδειξη για το είδος τους (ABR, ASBR);

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

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) ή από διαδρομές που ορίζει ο διαχειριστής. 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 μέσω cli στον R3 στατικές διαδρομές για τα δίκτυα 5.5.5.0/24 και 6.6.6.0/24 μέσω της loopback lo0.
- 5.2 Έχουν τοποθετηθεί οι εγγραφές στον πίνακα δρομολόγησης του R3; Εμφανίζονται στον πίνακα διαδρομών OSPF, έξοδο της εντολής “*show ip ospf route*”;
- 5.3 Έχουν τοποθετηθεί οι εγγραφές στον πίνακα δρομολόγησης στους άλλους δρομολογητές;
- 5.4 Στον R3, αφού εισέλθετε σε ospf router configuration mode, δώστε την εντολή “*redistribute static*”. Έχει αλλάξει κάτι στον πίνακα δρομολόγησης του R3;
- 5.5 Τι έχει αλλάξει στον πίνακα δρομολόγησης στους άλλους δρομολογητές;
- 5.6 Εκτός από διαδρομές προς δίκτυα και προς δρομολογητές, τι άλλου είδους διαδρομές περιλαμβάνει ο πίνακας διαδρομών OSPF στους άλλους δρομολογητές;
- 5.7 Τι είδους (E1 ή E2) εξωτερικές διαδρομές είναι; Από τις δύο τιμές κόστους του πίνακα διαδρομών OSPF, ποιο είναι το κόστος προς τον προορισμό (δείτε και πίνακα δρομολόγησης) και ποιο το κόστος εντός του δικτύου OSPF;
- 5.8 Ποια ένδειξη εμφανίζεται για τον δρομολογητή R3 στον πίνακα διαδρομών OSPF των άλλων δρομολογητών;
- 5.9 Ποιο επιπλέον είδος LSA βλέπετε στη βάση δεδομένων LSDB του R1 που δεν υπήρχε προηγουμένως στην άσκηση 4;
- 5.10 Δώστε την εντολή “*show ip ospf database external*” και για κάθε External LSA στη βάση του R1 και εξηγήστε πώς προέκυψε το Link ID του.
- 5.11 Ποιο επιπλέον είδος LSA βλέπετε στη βάση δεδομένων LSDB του R4 που δεν υπήρχε προηγουμένως;
- 5.12 Δώστε την εντολή “*show ip ospf database asbr-summary*” και εξηγήστε πώς προέκυψε το Link ID του.
- 5.13 Ποια είναι η πηγή διαφήμισης των ASBR Summary LSA της βάσης δεδομένων LSDB του R4;
- 5.14 Γιατί δεν υπάρχει ASBR Summary LSA στον δρομολογητή R5;
- 5.15 Εισάγετε μέσω cli 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].
- 5.16 Έχει τοποθετηθεί η προκαθορισμένη διαδρομή στον πίνακα δρομολόγησης του R2; Εμφανίζεται στον πίνακα διαδρομών OSPF;
- 5.17 Έχει τοποθετηθεί εγγραφή για την προκαθορισμένη διαδρομή στον πίνακα δρομολόγησης στους άλλους δρομολογητές;
- 5.18 Στον R2, αφού εισέλθετε σε ospf router configuration mode, δώστε την εντολή “*default-information originate*”. Έχει αλλάξει κάτι στον πίνακα δρομολόγησης του R2;
- 5.19 Τι έχει αλλάξει στον πίνακα δρομολόγησης στους άλλους δρομολογητές;
- 5.20 Ως τι είδους διαδρομή χαρακτηρίζεται η προκαθορισμένη στον πίνακα διαδρομών OSPF στους άλλους δρομολογητές;

- 5.21 Τι είδους (E1 ή E2) εξωτερική διαδρομή είναι; Από τις δύο τιμές κόστους του πίνακα διαδρομών OSPF, ποιο είναι το κόστος προς τον προορισμό (δείτε και πίνακα δρομολόγησης) και ποιο το κόστος εντός του δικτύου OSPF;
- 5.22 Ποια ένδειξη εμφανίζεται για τον δρομολογητή R2 στον πίνακα διαδρομών OSPF των άλλων δρομολογητών;
- 5.23 Υπάρχει τώρα ASBR-summary LSA στη βάση δεδομένων LSDB του R5; Γιατί;
- 5.24 Πόσες εγγραφές External LSA υπάρχουν στη βάση δεδομένων LSDB των δρομολογητών; Γιατί;
- 5.25 Δώστε την εντολή “*show ip ospf database external*” στον R1. Τι παρατηρείτε όσον αφορά την τιμή τους κόστους για τις εξωτερικές διαδρομές;
- 5.26 Τι τιμή έχει ο τύπος κόστους (Metric Type) για τις εξωτερικές διαδρομές και πώς εξηγείται αυτό που παρατηρήσατε στις ερωτήσεις 5.7 και 5.21;
- 5.27 Ποιο είναι το κόστος της διαδρομής OSPF από τον R4 στον R3;
- 5.28 Δώστε την εντολή “*show ip ospf database asbr-summary*” στον R4. Ποια διαδρομή αφορά το κόστος (Metric) που παρατηρείτε;

## Άσκηση 6: OSPF και περιοχές απόληξης

Το OSPF για να μειώσει το ποσό της πληροφορίας που εκπέμπεται προς όλους τους δρομολογητές επιτρέπει τη χρήση περιοχών απόληξης (stub). Μια περιοχή απόληξης έχει ένα μοναδικό σημείο εισόδου και εξόδου (ένας ABR). Οι εξωτερικές διαδρομές σε σχέση με το OSPF, δηλαδή, αυτές που εισάγονται στατικά ή από άλλα πρωτόκολλα δρομολόγησης, δεν διαφημίζονται μέσα στην περιοχή απόληξης. Η δρομολόγηση προς αυτές γίνεται μέσω της προκαθορισμένης πύλης. Έτσι αρκεί μια μοναδική εγγραφή στον πίνακα δρομολόγησης για όλες τις εξωτερικές προς το OSPF διαδρομές την οποία και διαφημίζει ο ABR προς όλους τους δρομολογητές της περιοχής απόληξης.

Η περιοχή απόληξης πρέπει να ορισθεί ως τέτοια σε όλους τους δρομολογητές εντός της. Το κατά πόσο μια διεπαφή βρίσκεται σε περιοχή απόληξης δηλώνεται με το E-bit του πακέτου OSPF Hello. Όταν το E-bit είναι 1, ο δρομολογητής δέχεται και διαφημίζει εξωτερικές διαδρομές. Όταν το E-bit είναι 0, ο δρομολογητής δεν επιτρέπεται να δεχθεί και διαφημίσει εξωτερικές διαδρομές. Σε μια περιοχή απόληξη, όπως ορίζεται στο σχετικό [RFC 2328](#), ο πίνακας δρομολόγησης περιέχει διαδρομές εντός της περιοχής (intra-area), διαδρομές μεταξύ περιοχών (inter-area) και συνοψίζει όλες τις εξωτερικές διαδρομές στην προκαθορισμένη διαδρομή. Σε ορισμένες υλοποιήσεις υποστηρίζεται η σύνοψη όλων των μη εσωτερικών διαδρομών της περιοχής (των εξωτερικών και των inter-area) σε μια προκαθορισμένη διαδρομή και η περιοχή γίνεται πλήρους απόληξης (totally stubby). Ο ορισμός μιας περιοχής ως πλήρους απόληξης γίνεται μόνο στον δρομολογητή ABR.

Χρησιμοποιήστε την τοπολογία της προηγούμενης άσκησης και απαντήστε τις παρακάτω ερωτήσεις καταγράφοντας παράλληλα, όπου απαιτείται, την ακριβή σύνταξη των εντολών που χρησιμοποιήσατε. [Σημείωση: Εάν στη συνέχεια παρατηρήσετε ότι το OSPF δεν ανταποκρίνεται στις αλλαγές, αποσυνδέστε και ξανασυνδέστε την κατάλληλη διεπαφή ή αποθηκεύστε σε όλους του δρομολογητές τις ρυθμίσεις, βγείτε από το quagga και επανεκκινήστε το με *service quagga restart*.]

- 6.1 Από το PC1 ξεκινήστε ping στο PC2 και αφήστε το να τρέχει.
- 6.2 Καταγράψτε τις δυναμικές εγγραφές OSPF στον πίνακα δρομολόγησης του R3.
- 6.3 Καταγράψτε τις δυναμικές εγγραφές OSPF στον πίνακα δρομολόγησης του R5.
- 6.4 Στον R5 δείτε λεπτομέρειες για το Router LSA που διαφημίζει ο ίδιος. Πώς χαρακτηρίζεται το δίκτυο του LAN2 και πώς του WAN4;
- 6.5 Στον R3 ορίστε μέσω cli ότι η περιοχή 2 είναι απόληξη (stub) και περιμένετε τουλάχιστον 30 sec να διαδοθεί η αλλαγή. [Υποδ. Παρατηρήστε την έξοδο της εντολής ping].

- 6.6 Τι έχει αλλάξει στον πίνακα δρομολόγησης του R3;
- 6.7 Για ποια δίκτυα περιέχει διαδρομές ο πίνακας δρομολόγησης του R5 τώρα;
- 6.8 Υπάρχει διαδρομή για το LAN2 στον πίνακα δρομολόγησης των άλλων δρομολογητών;
- 6.9 Γιατί το PC2 δεν απαντά πλέον στο ping που ξεκινήσατε προηγουμένως;
- 6.10 Πώς εξηγείται το μήνυμα λάθους που παρατηρείτε στην έξοδο του ping;
- 6.11 Στον R3 δείτε λεπτομέρειες για τα Router LSA των R3 και R5 στην περιοχή 2. Τι παρατηρείτε για την τιμή του E-bit των επιλογών;
- 6.12 Πώς χαρακτηρίζεται η περιοχή 2 από τον R3;
- 6.13 Στον R5 ορίστε μέσω cli ότι η περιοχή 2 είναι απόληξη (stub) και περιμένετε λίγο να διαδοθεί η αλλαγή. *[Υποδ. Παρατηρήστε την έξοδο της εντολής ping].*
- 6.14 Έχει αλλάξει κάτι στον πίνακα δρομολόγησης του R3;
- 6.15 Στον R5 δείτε λεπτομέρειες για τα Router LSA των R3 και R5. Τι έχει αλλάξει σε σχέση με την απάντηση στην ερώτηση 6.11;
- 6.16 Υπάρχει εγγραφή για την προκαθορισμένη διαδρομή στον πίνακα δρομολόγησης του R5;
- 6.17 Υπάρχουν εγγραφές για τις διαδρομές προς τα 5.5.5.0/24 και 6.6.6.0/24;
- 6.18 Για ποια άλλα δίκτυα περιέχει διαδρομές ο πίνακας δρομολόγησης του R5; Είναι διαδρομές εντός της περιοχής (intra-area) ή μεταξύ περιοχών (inter-area);
- 6.19 Έχει αλλάξει κάτι στους πίνακες δρομολόγησης των άλλων δρομολογητών όσον αφορά τα δίκτυα της περιοχής 2;
- 6.20 Πώς εξηγείτε την συμπεριφορά που παρατηρήσατε σε σχέση με την απώλεια της διαδρομής από το PC1 στο PC2; *[Υποδ. Δείτε κανόνες δημιουργίας γειτνίασης στο **Κατάσταση 2-way**.]*
- 6.21 Στον πίνακα διαδρομών OSPF του R4, εντολή “show ip ospf route”, η προκαθορισμένη διαδρομή εμφανίζεται ως εξωτερική ενώ στον R5 εμφανίζεται ως διαδρομή μεταξύ περιοχών (Inter-Area); Γιατί;
- 6.22 Με τι κόστος διαφημίζει ο R3 την προκαθορισμένη διαδρομή στην περιοχή 2;
- 6.23 Τι κόστος έχει η προκαθορισμένη διαδρομή στον R5; Γιατί;
- 6.24 Δείτε πληροφορίες για τη βάση δεδομένων LSDB στον R5. Υπάρχουν εγγραφές για εξωτερικές διαδρομές; Εάν ναι, τότε θα διαγραφούν; *[Υποδ. Δείτε περιοδικές ενημερώσεις LSA.]*
- 6.25 Στους R3 και R5 ακυρώστε τον ορισμό της περιοχής 2 ως απόληξη και περιμένετε μέχρι να επανέλθουν οι διαδρομές στον R5.
- 6.26 Τι πρέπει να προσθέσετε στον ορισμό ως απόληξη της περιοχής 2 στον δρομολογητή R3 ώστε αυτή να γίνει totally stubby;
- 6.27 Ορίστε στον R3 την περιοχή 2 ως πλήρη απόληξη (totally stubby) και αμέσως μετά ορίστε στον R5 την περιοχή 2 ως απλή απόληξη.
- 6.28 Για ποια δίκτυα περιέχει τώρα εγγραφές ο πίνακας διαδρομών OSPF του R5;
- 6.29 Στο PC2 μέσω vtysh αφού διαγράψετε την προκαθορισμένη διαδρομή, ορίστε το δίκτυο στο LAN2 στην περιοχή 2 της δρομολόγησης OSPF, δηλώστε την περιοχή 2 ως απόληξη και περιμένετε λίγο να ενημερωθεί ο πίνακας δρομολόγησης.
- 6.30 Ποιες δυναμικές εγγραφές περιέχει ο πίνακας ο δρομολόγησης του PC2;
- 6.31 Στον R5 δείτε λεπτομέρειες για το Router LSA που διαφημίζει ο ίδιος. Τι άλλαξε ως προς τον χαρακτηρισμό του LAN2 σε σχέση με την απάντησή σας στο ερώτημα 6.4;
- 6.32 Τι συμπεραίνετε για τη διαφορά περιοχής απόληξη και δικτύου απόληξη;

Όνοματεπώνυμο:		Όνομα PC:
Ομάδα:	Ημερομηνία:	

## Εργαστηριακή Άσκηση 8

### 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	.....
	.....
1.19	.....
1.20	.....
1.21	.....
1.22	.....
1.23	.....
1.24	.....
1.25	.....
	.....
1.26	.....
	.....
1.27	.....
1.28	.....
	.....
1.29	.....
	.....
1.30	.....
1.31	.....
	.....
1.32	.....
1.33	.....
1.34	.....
	.....
1.35	.....
1.36	.....
1.37	.....
	.....
<b>2</b>	
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	.....
2.25	.....
	.....
2.26	.....
	.....
2.27	.....
	.....
2.28	.....
	.....

**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 .....  
3.20 .....  
3.21 .....  
3.22 .....  
.....  
3.23 .....  
3.24 .....  
.....  
.....  
3.25 .....  
.....  
.....  
3.26 .....  
.....  
3.27 .....  
.....  
3.28 .....  
3.29 .....  
.....  
3.30 .....  
.....
- 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	.....
<b>5</b>	
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	.....
<b>6</b>	
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 .....  
6.20 .....  
.....  
6.21 .....  
.....  
6.22 .....  
6.23 .....  
6.24 .....  
.....  
6.25 .....  
6.26 .....  
6.27 .....  
6.28 .....  
.....  
.....  
6.29 .....  
.....  
.....  
6.30 .....  
.....  
6.31 .....  
6.32 .....  
.....