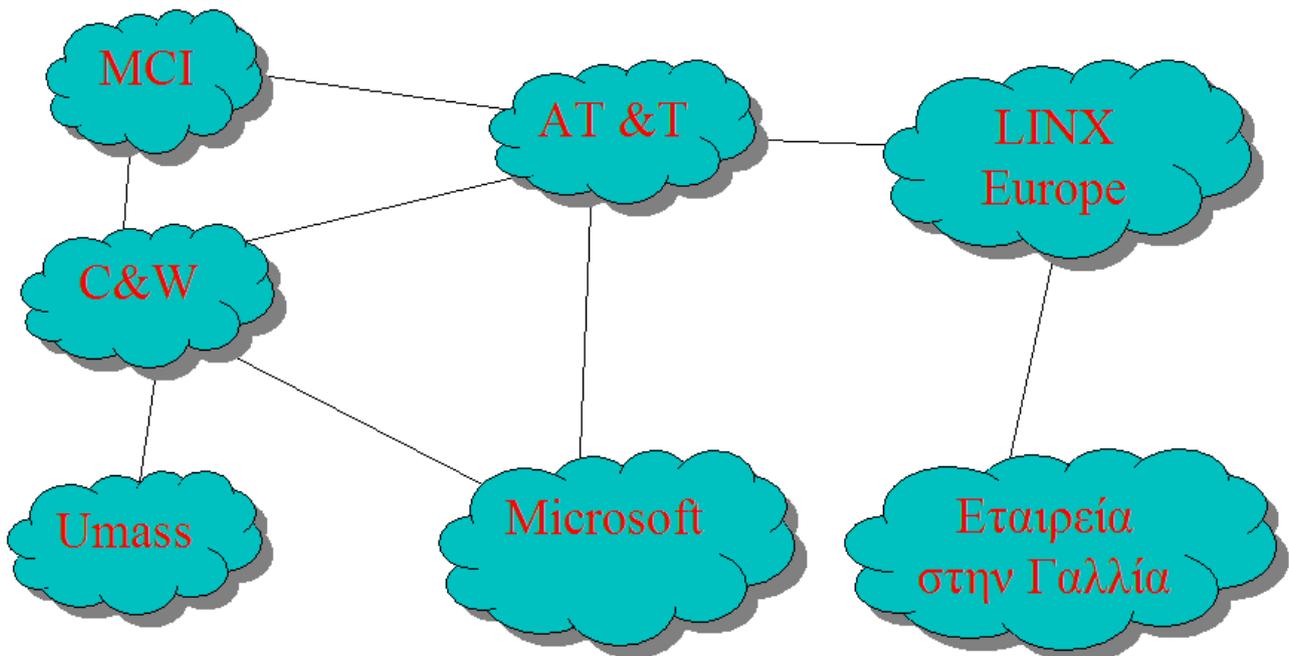




«Διευθέτηση πρωτοκόλλου BGP και Διαχείριση Αυτόνομων Συστημάτων»



Λάμπρος Κλωνής

Ιούνιος 2005

*«Διευθέτηση πρωτοκόλλου
BGP και διαχείριση
Αυτόνομων Συστημάτων»*

Φοιτητής :
Λάμπρος Κλωνής

27/06/2005

Επιβλέπων καθηγητής :
Δημήτριος Βασιλειάδης

Πτυχιακή Εργασία μέρος των απαιτήσεων
Του τμήματος Τηλεπληροφορικής και Διοίκησης

Αφιέρωση

Στην μητέρα μου, στην οποία οφείλω μεγάλο μέρος της όποιας επιτυχίας μου και την οποία χρεωστώ τόσα πολλά...

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία ασχολείται με ένα μέρος του ευρύτερου πεδίου της δρομολόγησης των πληροφοριών στα δίκτυα των ηλεκτρονικών υπολογιστών και συγκεκριμένα με αυτό που αφορά την μεταξύ των Αυτόνομων Συστημάτων (ΑΣ) του Διαδικτύου δρομολόγηση. Για την επίτευξη αυτού του τύπου δρομολόγησης χρησιμοποιείται το ανάλογο εξειδικευμένο πρωτόκολλο δρομολόγησης, το BGP. Στα κεφάλαια που ακολουθούν θα αναλυθούν οι συγκεκριμένοι λόγοι που απαιτούν την χρησιμοποίησή του, καθώς και η λειτουργία του, τα πλεονεκτήματα από την χρήση του, οι δυνατότητες και οι ιδιαιτερότητές του.

Ειδικότερος σκοπός αυτής της εργασίας είναι η πληροφόρηση σχετικά με το πώς πρέπει να γίνει η Διαχείριση των ΑΣ των διαφόρων οργανισμών και εταιρειών στους οποίους εφαρμόζουμε διευθέτηση των δρομολογητών τους με βάση το BGP, και αυτό σε συνάρτηση με την ικανοποίηση των απαιτήσεών τους σε ότι αφορά την σύνδεσή τους με το Internet, την απόδοση των δικτύων τους και την συντήρηση των δικτυακών τους πόρων, την παροχή ασφάλειας και διαθεσιμότητας μέσω της κατάλληλης σχεδίασης των υπηρεσιών δρομολόγησης και της εφαρμογής των κάθε φορά πολιτικών που επιλέγονται.

Η μέθοδος παρουσίασης αυτού του θέματος χρησιμοποιεί ως βάση την θεωρία την σχετική με το BGP και την διαχείριση των ΑΣ και προσθέτοντας κάθε φορά πιθανά σενάρια δρομολόγησης (ως Case Studies) διαφόρων τοπολογιών διασυνδεδεμένων δικτύων, με σκοπό να επιδειχθεί βήμα προς βήμα η δικτυακή διευθέτηση που επιλέγεται κάθε φορά, εφιστώντας την προσοχή στις ιδιαίτερες απαιτήσεις κάθε διαφορετικού σεναρίου δρομολόγησης και στην επίλυση των προβλημάτων που ενδέχεται να εμφανιστούν στην πορεία λειτουργίας του κάθε δικτυακού συστήματος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

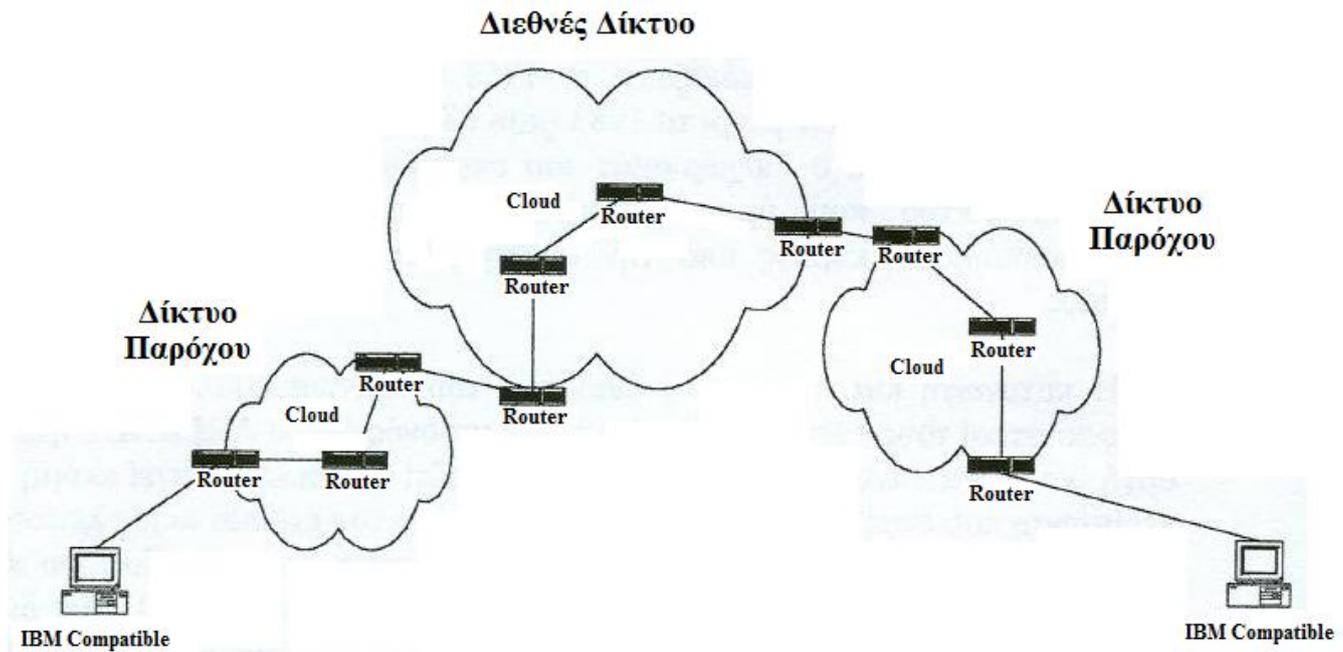
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	iv
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Το Internet και η δομή του.....	1
1.2 Δρομολόγηση στο Internet.....	2
1.3 Η έννοια των Αυτόνομων Συστημάτων.....	3
2. ΒΑΣΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ BGP	5
2.1 Συνοπτική περιγραφή της λειτουργίας του BGP.....	6
2.2 Εξωτερικές και Εσωτερικές Συνδιαλέξεις.....	8
2.3 Επιλογή διαδρομής στο πρωτόκολλο BGP.....	9
2.3.1 Υποστήριξη πολλαπλών μονοπατιών από το BGP.....	10
3. ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗ BGP	11
3.1 Ενεργοποίηση της BGP διαδικασίας.....	11
3.2 Δημιουργία Ομότιμων Συνδέσεων BGP.....	12
3.3 Χρησιμοποίηση loopback interface ως BGP γείτονα.....	14
3.4 Multihop EBGP Συνδέσεις.....	19
3.5 Έλεγχος πληροφοριών δρομολόγησης με χρήση Χαρτών Δρομολόγησης.....	22
3.6 Αναδιανομή των διαδρομών IGP στο πρωτόκολλο BGP.....	25
3.7 Ιδιότητα Nexthop και Δίκτυα Multiaccess/NBMA.....	28
3.8 Εξαναγκάζοντας το BGP να προτιμήσει μια IGP διαδρομή χρησιμοποιώντας την εντολή backdoor	31
3.9 Συγχρονισμός Διαδρομών.....	32
3.10 Επιλογή καλύτερου μονοπατιού με χρήση της ιδιότητας του βάρους.....	34
3.11 Προτιμώμενο μονοπάτι εξόδου από ένα ΑΣ	35
3.12 Επιδρώντας στην επιλογή του Προτιμώμενου Μονοπατιού μέσα σε ένα ΑΣ.....	37
3.13 Ομαδοποίηση προορισμών που μοιράζονται κοινές ιδιότητες.....	39
3.14 Φιλτράρισμα των πληροφοριών διαδρομής και μονοπατιού	42
3.15 Διαχείριση της σειράς των πληροφοριών του μονοπατιού	48
3.16 Χρήση Ομάδων Ομότιμων Δρομολογητών BGP.....	49
3.17 Συνοψίζοντας διευθύνσεις	52
3.18 Ομαδοποίηση πολλαπλών αυτόνομων συστημάτων σε μια συνομοσπονδία BGP.....	56
3.19 Μείωση του IBGP peering με τη βοήθεια των Route Reflectors	58
3.20 Διαχείριση Ασταθών Διαδρομών.....	65
4. BGP CASE STUDY – Πρακτικό Παράδειγμα Σχεδίασης.....	67
5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ	88
6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	89

1. Εισαγωγή

Αναφέροντας έννοιες σχετικές με πρωτόκολλα δρομολόγησης, όπως το BGP, και βασικές αρχιτεκτονικές δικτύων, όπως τα Αυτόνομα Συστήματα, αμέσως ο νους μας πάει σε θέματα που σχετίζονται με το Διαδίκτυο (Internet). Και έτσι ακριβώς είναι.

1.1 Το Internet και η δομή του

Το Διαδίκτυο, έχοντας διανύσει ένα μεγάλο μέρος της διαδρομής του σαν ένα πειραματικό δίκτυο ετερόκλητων δικτύων, εξελίχθηκε στο πέρασμα του χρόνου χωρίς ιεραρχική δομή, χωρίς δηλαδή να υπάρχει κάποιο σχέδιο με βάση το οποίο να προστίθενται σ' αυτό νέα δίκτυα. Είναι έτσι πάρα πολύ δύσκολο να δοθεί ένας σύντομος, ακριβής και αυστηρός «ορισμός» της δομής του. Παρ' όλα ταύτα, θα προσπαθήσουμε με βάση το Σχήμα 1 να περιγράψουμε τα βασικά δομικά του στοιχεία.



Σχήμα 1

Δομικά στοιχεία του Internet.

Το Διαδίκτυο είναι ένα δίκτυο Η/Υ, δηλαδή ένα δίκτυο που διασυνδέει υπολογιστικά συστήματα στα οποία περιλαμβάνονται **απλοί προσωπικοί Η/Υ (PC)**, **ισχυρότεροι Η/Υ (mainframes)** και επίσης **Διακομιστές (servers)** που αποθηκεύουν πληροφορίες (π.χ. σελίδες web, μηνύματα κ.λ.π.) που τις στέλνουν σε όποιον τους τις ζητήσει. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια όλο και πιο έντονη τάση να συνδεθούν στο Internet πιο εξωτικά μηχανήματα όπως οικιακές συσκευές, Web TV, κ.λ.π. Όλα αυτά τα συστήματα ονομάζονται Τερματικά Συστήματα (End Systems ή Hosts).

Σε όλα αυτά τα συστήματα «τρέχουν» Πρωτόκολλα που ελέγχουν την ροή των πληροφοριών μέσα στο δίκτυο. Τα σπουδαιότερα από τα πρωτόκολλα αυτά είναι το TCP και το IP έτσι ώστε να λέγεται συχνά (ανακριβώς) ότι στο Internet «τρέχει» το πρωτόκολλο TCP/IP.

Τα τερματικά συστήματα συνδέονται μεταξύ τους με **ζεύξεις (links)**. Οι ζεύξεις χρησιμοποιούν μια ποικιλία από φυσικά μέσα όπως χάλκινα καλώδια, οπτικές ίνες, ομοαξονικά καλώδια και

ασυρματικά κανάλια. Κύριο χαρακτηριστικό μιας ζεύξης είναι η **χωρητικότητα** ή αλλιώς το **εύρος της (bandwidth)** που είναι ο ρυθμός των πληροφοριών που μπορούν να περάσουν μέσα από την ζεύξη και συνήθως μετριέται σε bits/second (bps).

Σε ένα δίκτυο με εκατομμύρια συστήματα δεν είναι δυνατόν να υπάρχουν απευθείας ζεύξεις όλων των συστημάτων μεταξύ τους. Αντί γι' αυτό τα συστήματα συνδέονται συνήθως έμμεσα μεταξύ τους χρησιμοποιώντας ως ενδιάμεσους τους λεγόμενους **κόμβους** του δικτύου. Οι κόμβοι αναλαμβάνουν να προωθούν τις πληροφορίες που έρχονται στις εισόδους τους προς τις εξόδους τους, (ανάλογα με τον προορισμό τους), και για τον λόγο αυτό καλούνται **δρομολογητές (routers)**. Το πρωτόκολλο IP καθορίζει τον τρόπο που κωδικοποιούνται οι πληροφορίες που κινούνται μέσα στο δίκτυο. Η διαδρομή που ακολουθεί η πληροφορία από την στιγμή που θα ξεκινήσει από τον αποστολέα μέχρι να φτάσει στον παραλήπτη καλείται **δρομολόγιο (route)**.

Αντί να «δεσμεύει» ένα συγκεκριμένο δρομολόγιο ανάμεσα στα δύο τερματικά συστήματα μέσα από το οποίο θα περνούν όλες οι πληροφορίες που αφορούν μια συγκεκριμένη επικοινωνία, το Internet χρησιμοποιεί την τεχνική της μεταγωγής πακέτων (packet switching). Σε αυτήν, η πληροφορία κατατμήνεται σε κομμάτια (πακέτα) που δρομολογούνται μέσα στο δίκτυο ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Δηλαδή κάθε πακέτο ενδέχεται να ακολουθήσει την δικιά του διαδρομή για να φτάσει σε έναν προορισμό (π.χ. σε κάποιο τερματικό).

Παρά την έλλειψη μιας συγκεκριμένης δομής, μπορεί να υποστηριχθεί ότι το Internet έχει μια χαλαρά ιεραρχημένη δομή που φαίνεται στο Σχήμα 1. Τα τερματικά συστήματα συνδέονται στο Internet μέσω του πλησιέστερου κόμβου ενός **Παρόχου Internet (ISP: Internet Service Provider)**. Το δίκτυο που συνδέει το τερματικό σύστημα με τον κόμβο καλείται Δίκτυο Πρόσβασης (Access Network). Ο τοπικός κόμβος συνήθως δρομολογεί την πληροφορία προς τον ανώτερο (περιφερειακό) κόμβο του Παρόχου και, αν χρειαστεί, στον εθνικό κόμβο. Από εκεί η πληροφορία ακολουθεί την αντίστροφη πορεία μέχρι τον τοπικό κόμβο που είναι κοντά στον παραλήπτη για να φτάσει στον προορισμό της. Αν χρειαστεί (ανάλογα με τον τελικό παραλήπτη), η πληροφορία δρομολογείται προς κάποιο κόμβο του εξωτερικού ή προς τον κόμβο άλλου Παρόχου.

1.2 Δρομολόγηση στο Internet

Αναφορικά με την δρομολόγηση τώρα κάπως πιο συγκεκριμένα. Δρομολόγηση είναι η επιλογή της διαδρομής που πρέπει να ακολουθήσει ένα πακέτο για να φτάσει από τον αποστολέα του στον παραλήπτη. Βασική προϋπόθεση για να καταστεί η δρομολόγηση λειτουργική είναι να υπάρχει το κατάλληλο δίκτυο Δρομολογητών οι οποίοι έχουν ως σκοπό την διεκπεραίωση της κίνησης των πακέτων ανάμεσα στους Η/Υ που επικοινωνούν. Αυτό το δίκτυο των δρομολογητών ονομάζεται και πυρήνας του Internet. Όπως έχει ήδη αναφερθεί δεν υπάρχουν, για λόγους οικονομίας, κατευθείαν ζεύξεις ανάμεσα σε όλους τους Δρομολογητές ανά δύο, υπάρχουν όμως αρκετές ώστε να εξασφαλίζεται η επικοινωνία των οποιονδήποτε Δρομολογητών μεταξύ τους (και επομένως και των οποιονδήποτε τερματικών συστημάτων).

Έχοντας τα παραπάνω υπ' όψιν, καταλαβαίνουμε πως σε ένα δίκτυο σαν το Internet είναι προφανές ότι οι διαδρομές (τα «μονοπάτια» προς τον προορισμό) που μπορεί να ακολουθήσει ένα πακέτο είναι συνήθως περισσότερες από μία. Κάποιες από τις διαδρομές αυτές είναι καλύτερες από κάποιες άλλες. Ευθύνη της δρομολόγησης είναι να επιλέξει την **άριστη διαδρομή** (ή αλλιώς best path).

Πριν προχωρήσουμε όμως στην ανάλυση των μεθόδων δρομολόγησης είναι απαραίτητο να ορίσουμε τι εννοούμε με τον όρο άριστη διαδρομή. Η άριστη διαδρομή είναι διαφορετική για κάθε εφαρμογή. Κάποια εφαρμογή που ενδιαφέρεται ιδιαίτερα για την ταχύτητα είναι φυσικό να θεωρήσει σαν άριστη την διαδρομή εκείνη που βελτιστοποιεί την ταχύτητα. Κάποια άλλη είναι πιθανό να ενδιαφέρεται περισσότερο να χρησιμοποιήσει διαδρομές χαμηλού κόστους, ώστε να ελαχιστοποιεί το κόστος, κ.λ.π.

Εκτός όμως από την εφαρμογή, και το ίδιο το δίκτυο προσπαθεί να πετύχει κάποιους στόχους με την δρομολόγηση που κάνει. Για παράδειγμα, το δίκτυο προσπαθεί να κάνει όσο το δυνατό καλύτερη χρήση των ζεύξεων, να μοιράσει σωστά την κίνηση μέσα στο δίκτυο, να αποφύγει φαινόμενα

συμφόρησης, κ.λ.π. Ο αλγόριθμος που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει επίσης να είναι αξιόπιστος, δίκαιος για όλους τους Η/Υ του δικτύου και να ανταποκρίνεται γρήγορα σε ενδεχόμενες αλλαγές στις συνθήκες του δικτύου (κατάσταση των δρομολογητών και των ζεύξεων, κίνηση, κ.λ.π.).

Γενικά οι αλγόριθμοι δρομολόγησης προσπαθούν να βρουν την διαδρομή με την μικρότερη απόσταση ανάμεσα στον αποστολέα και τον παραλήπτη. Ο όρος **απόσταση** είναι εδώ ένας γενικός όρος και μπορεί να σημαίνει είτε την πραγματική χιλιομετρική απόσταση ανάμεσα στα δύο άκρα, είτε την χρονική απόσταση (το μέσο χρόνο που χρειάζεται το πακέτο για να διανύσει τη διαδρομή), είτε το κόστος των ζεύξεων που θα χρησιμοποιήσει, είτε τον αριθμό των βημάτων που πρέπει να κάνει (δηλ. μέσα από πόσους δρομολογητές πρέπει να περάσει), κ.λ.π.

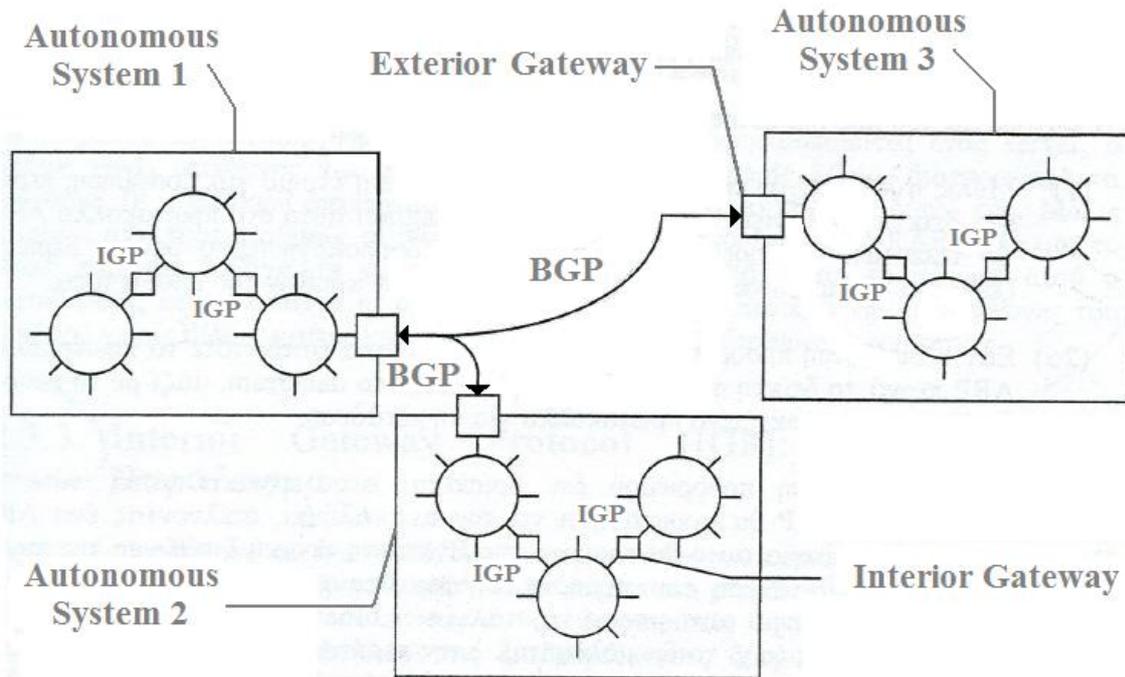
Οι αλγόριθμοι κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες: τους **μη προσαρμοζόμενους** και τους **προσαρμοζόμενους** αλγόριθμους. Οι μη προσαρμοζόμενοι αλγόριθμοι είναι εκείνοι που δεν λαμβάνουν υπόψη τις αλλαγές των συνθηκών του δικτύου. Ο τρόπος δρομολόγησης των πακέτων είναι **στατικός**, συνήθως στηρίζεται σε κάποια στατιστικά στοιχεία για το δίκτυο, αλλά αποφασίζεται **άπαξ** δια παντός **και δεν αλλάζει ό,τι και να συμβεί στο δίκτυο**. Τέτοιου τύπου είναι οι παλαιότεροι αλγόριθμοι δρομολόγησης. Οι αλγόριθμοι αυτοί ταιριάζουν καλύτερα σε δίκτυα που παρουσιάζουν σταθερότητα στη συμπεριφορά και τις συνθήκες τους. Στηριζόμενοι στα λίγο – πολύ σταθερά χαρακτηριστικά του δικτύου υπολογίζουν τις άριστες διαδρομές μέσα σ' αυτό, προσπαθώντας να βελτιστοποιήσουν κάποιο ή κάποια από τα χαρακτηριστικά του (την ταχύτητα, το κόστος, τον όγκο των πληροφοριών που διεκπεραιώνει, κ.λ.π.). Έχουν το σοβαρό μειονέκτημα ότι δεν μπορούν να αντιδράσουν σε αλλαγές των συνθηκών του δικτύου, που, όπως δείχνει η πραγματικότητα, είναι πολύ συχνές.

Οι **προσαρμοζόμενοι** αλγόριθμοι αντιδρούν σε κάθε αλλαγή των συνθηκών του δικτύου και ξαναυπολογίζουν τις άριστες διαδρομές από την αρχή. Έτσι αν κάποιος δρομολογητής βγει για κάποιο διάστημα εκτός λειτουργίας (λόγω βλάβης ή για συντήρηση ή αλλαγή κ.λ.π.), το δίκτυο έχει την δυνατότητα να τον παρακάμψει και να δρομολογήσει τα πακέτα από άλλες διαδρομές. Παρόμοια, αν μία ζεύξη είναι υπερφορτωμένη, μπορεί να διοχετεύσει την κίνηση μέσα από άλλες ζεύξεις. Τα σύγχρονα δίκτυα χρησιμοποιούν σχεδόν αποκλειστικά τέτοιους αλγόριθμους. Για να επιτύχουν τον σκοπό τους οι προσαρμοζόμενοι αλγόριθμοι πρέπει να έχουν στοιχεία για την κατάσταση του δικτύου (τοπολογία, κατάσταση δρομολογητών, κατάσταση ζεύξεων, κ.λ.π.).

Κάθε αλγόριθμος δρομολόγησης χρησιμοποιεί έναν **πίνακα δρομολόγησης (routing table)**, όπου αποθηκεύονται πληροφορίες για τις διαδρομές που πρέπει να ακολουθήσει κάποιο πακέτο (datagram) προκειμένου να φτάσει από την πηγή στον προορισμό του. Σε ένα πίνακα δρομολόγησης επαρκούν οι εγγραφές του τύπου (N,R), όπου N η IP διεύθυνση των δικτύων προορισμού, και R η IP διεύθυνση του επόμενου δρομολογητή στην διαδρομή, προκειμένου να προσεγγιστούν τα δίκτυα αυτά. Αν σκεφτούμε τον αριθμό των Η/Υ και δρομολογητών σε ένα δίκτυο, όπως το Internet, εύκολα καταλαβαίνουμε ότι υπάρχει ανάγκη καθορισμού της (αυστηρά) απαραίτητης πληροφορίας, που πρέπει να υπάρχει σε ένα πίνακα δρομολόγησης. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορεί κάθε δρομολογητής να γνωρίζει την διαδρομή για οποιοδήποτε σημείο προορισμού του δικτύου. Άλλωστε, το πρόβλημα της δρομολόγησης θα ήταν άλυτο αν κάθε δρομολογητής βρισκόταν αντιμέτωπος με ολόκληρο το Internet. Θα απαιτούνταν τεράστια μνήμη αλλά και τεράστια υπολογιστική δύναμη για να αποθηκευτούν τα δεδομένα και τρέξουν οι αλγόριθμοι. Η λύση που υλοποιείται για επίλυση αυτού του προβλήματος παρουσιάζεται παρακάτω.

1.3 Η έννοια των Αυτόνομων Συστημάτων

Η πολυπλοκότητα της διαδικασίας της δρομολόγησης σε ένα τεράστιο δίκτυο όπως το Internet λύθηκε προσεγγίζοντας την βασική του δομή (που αναφέρθηκε παραπάνω) με μια έξυπνη θεώρηση που θέτει σε ισχύ τον χωρισμό του όλου σε ξεχωριστά μέρη. Δηλαδή, η διευκόλυνση της δρομολόγησης στο Internet γίνεται τώρα εφικτή αφού το καταστήσουμε ως ένα σύνολο από μέρη, τα οποία αποτελούνται από ανεξάρτητα διασυνδεδεμένα δίκτυα (internets) ή αλλιώς **Αυτόνομα Συστήματα (ΑΣ)**. Από την μεριά του το κάθε Αυτόνομο Σύστημα είναι ένα μοναδικό δίκτυο υπολογιστών ή (τις περισσότερες φορές) ένα σύνολο διασυνδεδεμένων με δρομολογητές υποδικτύων, τα οποία έχουν ένα κοινό



Σχήμα 2

Θεώρηση της δομής του Internet εισάγοντας την έννοια των Αυτόνομων Συστημάτων και παρουσίαση των πρωτοκόλλων που τρέχουν εντός και μεταξύ αυτών.

εσωτερικό αλγόριθμο δρομολόγησης και κοινή αρχή διαχείρισης. Όλα τα παραπάνω Αυτόνομα Συστήματα (που αποτελούν πλέον το Internet) θεωρούνται προσαρτημένα στο δίκτυο κορμού του Internet (core backbone Network) (βλ. και παραπάνω στο Σχήμα 2).

Προκειμένου να διαχωρίσουμε τους δρομολογητές, οι οποίοι χρησιμοποιούνται μέσα σε κάποιο Αυτόνομο Σύστημα από αυτούς που χρησιμοποιούνται για την προσάρτηση του Αυτόνομου Συστήματος στο δίκτυο κορμού, χρησιμοποιούνται οι όροι **interior gateway** (εσωτερικός δρομολογητής – πύλη) και **exterior gateway** (εξωτερικός δρομολογητής – πύλη). Τα αντίστοιχα πρωτόκολλα δρομολόγησης (που υλοποιούν τους αλγόριθμους δρομολόγησης) που χρησιμοποιούνται είναι τα: **Interior Gateway Protocol (IGP)** και **Exterior Gateway Protocol (EGP)**. Ενώ μπορεί να υπάρξουν πολλά IGP πρωτόκολλα δρομολόγησης (διαφορετικά για κάθε Αυτόνομο Σύστημα, ανάλογα με την επιλογή της κάθε διαχειριστικής αρχής), πρέπει να υπάρχει ένα μοναδικό EGP πρωτόκολλο δρομολόγησης, το οποίο θα ακολουθεί όλο το Internet.

Σύμφωνα με τα παραπάνω και σχετικά με την λύση της δρομολόγησης στο Internet, κάθε IGP δρομολογητής (ή ομάδα τέτοιων δρομολογητών) λύνει το πρόβλημα της δρομολόγησης μόνο μέσα στο δικό του Αυτόνομο Σύστημα (τρέχοντας το αντίστοιχο IGP πρωτόκολλο) και αφήνει την επικοινωνία την μεταξύ των ΑΣ στους ειδικούς γι' αυτόν τον σκοπό δρομολογητές, τους **exterior gateways**, οι οποίοι χρησιμοποιούν σήμερα ένα εξελιγμένο EGP πρωτόκολλο δρομολόγησης το **BGP (Border Gateway Protocol)**.

Συμπερασματικά, παραπάνω είδαμε μια προσέγγιση της βασικής δομής του Internet έχοντας υπ' όψιν μας την διαφοροποίηση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης όσον αφορά την χρήση τους και αναλόγως του σκοπού για τον οποίο είναι δημιουργημένα. Τώρα θα ασχοληθούμε ειδικά με το πρωτόκολλο που τρέχει στους εξωτερικούς δρομολογητές και συγκεκριμένα με το **BGP**

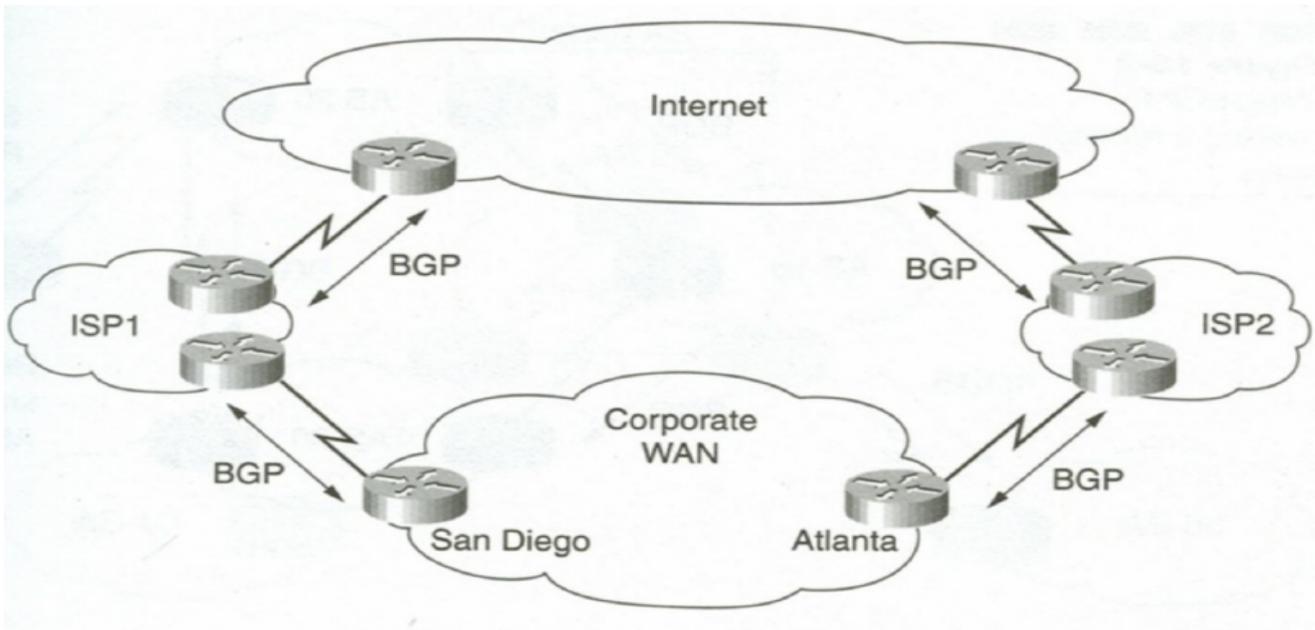
2. Βασικά για το BGP

Το Πρωτόκολλο Συνοριακών Πυλών (BGP - Boarder Gateway Protocol) είναι ένα πρότυπο της IETF (The Internet Engineering Task Force), το οποίο περιγράφεται από τα RFCs (Request For Comments) υπ' αριθμόν 1163, 1267, 1654, 1655 και 1771· το τελευταίο ονομάστηκε BGP4, κατ' αντιστοιχία με την 4η έκδοση του πρωτοκόλλου. Το λογισμικό των δρομολογητών της Cisco, IOS (Internetworking Operating System - Λειτουργικό Σύστημα δια-δικτυακών εργασιών), που σημειωτέον έχει επικρατήσει στο διαδικτυακό πεδίο, υποστηρίζει τις εκδόσεις 2, 3 και 4. Το BGP, όπως αναφέρθηκε, παρέχει περιβάλλον δρομολόγησης για Αυτόνομα Συστήματα [ΑΣ (Autonomous Systems-AS)] απαλλαγμένο από loops. Από την μεριά του πρωτοκόλλου BGP, ένα Αυτόνομο Σύστημα αποτελεί μοναδικό IP δίκτυο δρομολογητών, που ελέγχεται από μια συγκεκριμένη κάθε φορά διαχειριστική οντότητα. Κάθε ΑΣ μπορεί να χρησιμοποιεί ακόμη και πολλαπλά Πρωτόκολλα Εσωτερικών Πυλών (IGPs - Interior Gateway Protocols) για την ανταλλαγή πινάκων δρομολόγησης εντός του ΑΣ, το οποίο χρησιμοποιεί ένα Πρωτόκολλο Εξωτερικών Πυλών (EGP - Exterior Gateway Protocol) -όπως το BGP- για την αποστολή πακέτων εκτός του ΑΣ.

Για τη σύνδεση δύο ή περισσότερων αυτόνομων συστημάτων, δεν είναι πάντοτε απαραίτητο το BGP. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η κυριότερη αφορμή για να τεθεί σε εφαρμογή η λειτουργία του BGP είναι οι πολιτικές δρομολόγησης που θεσπίζονται μεταξύ των συνδεδεμένων δικτύων των ΑΣ. Για παράδειγμα, το ΑΣ ενός οργανισμού ίσως να επιθυμεί τη δυνατότητα να στέλνει πακέτα σε οποιαδήποτε τοποθεσία (site) του Internet και να δέχεται πακέτα από οποιαδήποτε άλλη. Όμως, μπορεί να μην επιθυμεί να μεταφέρει διερχόμενα πακέτα που έχουν ως αφετηρία ένα ξένο ΑΣ και προορίζονται για κάποιο διαφορετικό ξένο ΑΣ, ακόμη και αν το δικό του ΑΣ βρισκόταν στο συντομότερο δρόμο μεταξύ των δύο ξένων ΑΣ (δηλ. «Είναι δικό τους πρόβλημα, όχι δικό μας»). Από την άλλη, ίσως να επιθυμεί να μεταφέρει διερχόμενη κίνηση των γειτονικών του ΑΣ ή ακόμη και συγκεκριμένων ΑΣ που πληρώνουν γι' αυτήν την υπηρεσία. Οι τηλεφωνικές εταιρείες, για παράδειγμα μπορεί να μεταφέρουν ευχαρίστως πληροφορίες για τους πελάτες τους, αλλά όχι για τους υπόλοιπους. Εν γένει το BGP έχει σχεδιαστεί ώστε να επιτρέπει πολλά είδη πολιτικών δρομολόγησης μεταξύ των ΑΣ και οι τυπικές τακτικές έχουν σχέση με θέματα πολιτικής, ασφάλειας και οικονομίας. Να σημειωθεί βέβαια εδώ πως οι πολιτικές που τίθενται σε ισχύ, ρυθμίζονται χειροκίνητα σε κάθε δρομολογητή BGP και δεν αποτελούν μέρος του πρωτοκόλλου.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω πρέπει να πούμε πως εάν η πολιτική δρομολόγησης ενός ΑΣ, έστω ΑΣ 1, ταυτίζεται με την πολιτική του συνδεδεμένου με το ΑΣ 1, δίκτυο ΑΣ 2, τότε το BGP δεν είναι κατ' ανάγκη απαραίτητο. Για παράδειγμα, μια στατική δρομολόγηση (static route) και προκαθορισμένες δικτυακές δρομολογήσεις (default networks) ορίζονται εντός του εταιρικού δικτύου, προκειμένου να παρέχουν συνδεσιμότητα στο συνδεδεμένο ΑΣ, το οποίο χρησιμοποιεί το BGP για να συνδεθεί με άλλα δίκτυα. Αυτό συνηθίζεται στις περιπτώσεις όπου ένα εταιρικό δίκτυο συνδέεται μέσω ενός Παροχέα Σύνδεσης στο διαδίκτυο (ISP - Internet Service Provider), ο οποίος χρησιμοποιεί το BGP για να συνδεθεί με το διαδίκτυο. Πολλές εταιρείες χρησιμοποιούν δύο ISP ή αλλιώς συνδέσεις με το Διαδίκτυο, στοχεύοντας στον πλεονασμό (redundancy) των παρεχόμενων υπηρεσιών (=αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος), στην κατανομή του φόρτου εργασίας (load sharing), καθώς και στη μείωση του κόστους μέσω επιλογών σύνδεσης που προσφέρουν χαμηλότερη χρέωση σε ώρες μειωμένης κίνησης. Στην περίπτωση του πλεονασμού, αντί για την εφαρμογή του BGP, είναι ίσως καταλληλότερο να χρησιμοποιηθεί μια στατική εφεδρική γραμμή (backup link static) και προκαθορισμένες δρομολογήσεις σε δίκτυα (default network routes). Όσον αφορά την κατανομή του φόρτου εργασίας, η ρύθμιση των συνδέσεων ISP συνήθως απαιτεί την εφαρμογή του BGP.

Μια τυπική BGP τοπολογία απεικονίζεται στο Σχήμα 3. Το εικονιζόμενο εταιρικό Δίκτυο Ευρείας Περιοχής WAN (Wide Area Network) έχει δύο ISP συνδέσεις, οι οποίες προσφέρουν στην εταιρεία πλεονασμό επιλογών (redundancy), διαθεσιμότητα (availability) -όσον αφορά την επίτευξη αυξημένης μη προβληματικής λειτουργίας- και κατανομή του φόρτου εργασίας (load sharing). Στο Σχήμα 3, ο ISP1 συνδέεται με το τμήμα του εταιρικού δικτύου στο San Diego, ενώ ο ISP2 συνδέεται με το τμήμα του εταιρικού δικτύου στην Atlanta. Η πολιτική του εταιρικού δικτύου σε συμφωνία με τις εταιρείες πρόσβασης στο Διαδίκτυο (ISP) είναι να διέρχεται η περισσότερη δικτυακή κίνηση μέσω Atlanta στις ώρες μη αιχμής για τη Δυτική Ακτή των Η.Π.Α., και μέσω San Diego στις αντίστοιχες ώρες μη αιχμής



Σχήμα 3

Επιτυγχάνοντας υψηλή διαθεσιμότητα με την χρήση του BGP σε δυο ISP δίκτυα που συνδέονται στο Internet.

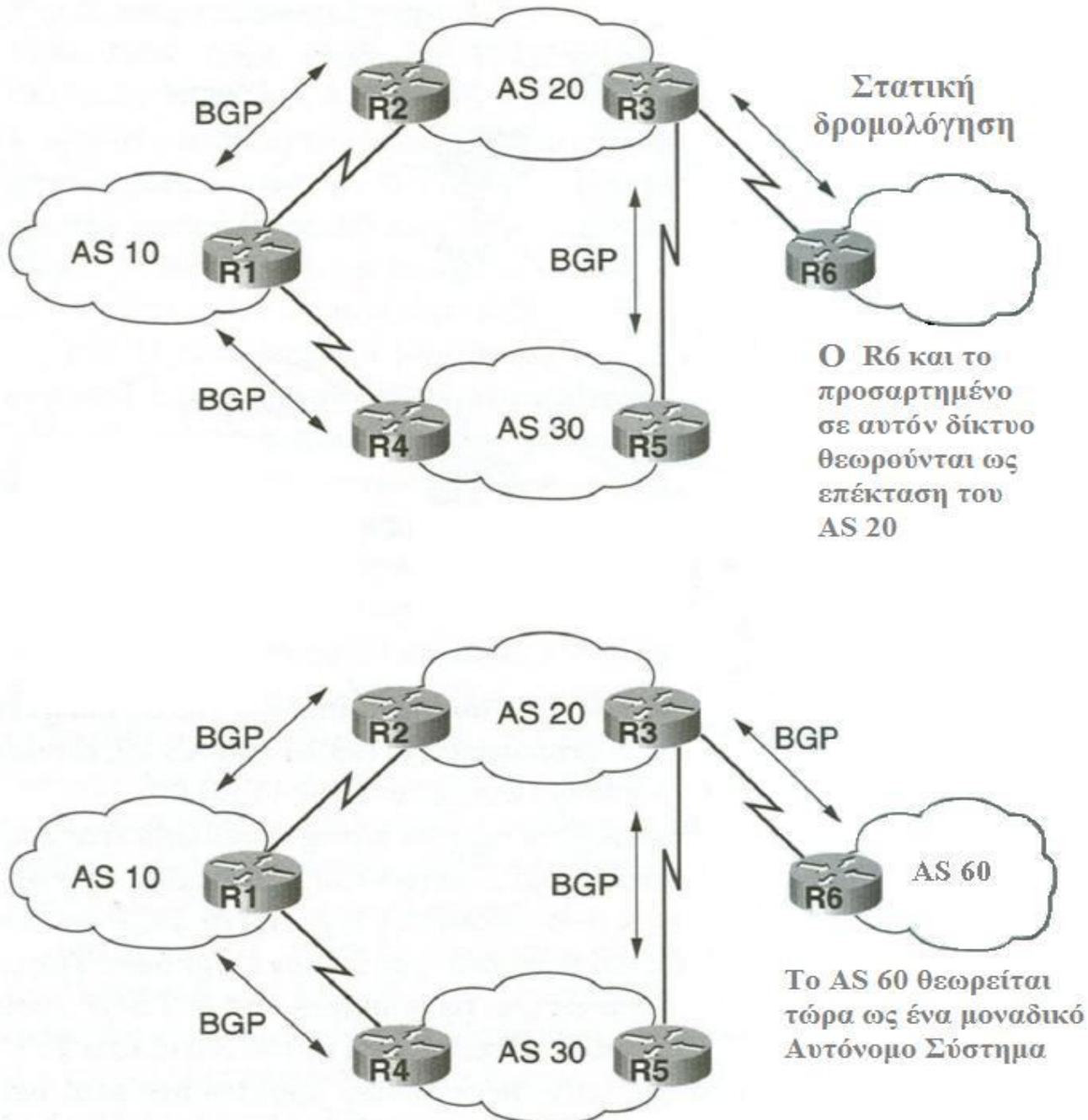
για την Ανατολική Ακτή. Έτσι, επιτυγχάνονται οι χαμηλότερες δυνατές χρεώσεις από τους ISPs για την εταιρεία, διατηρώντας ταυτόχρονα τον πλεονασμό, τη διαθεσιμότητα, καθώς και την κατανομή του φόρτου εργασίας.

Η πολιτική δρομολόγησης παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της χρήσης του BGP. Στο Σχήμα 4, ένα νέο Αυτόνομο Σύστημα (ΑΣ 60) έχει συνδεθεί στο υπάρχον δίκτυο. Ο δρομολογητής R1 προσαρτάται στο ΑΣ 10 και χρησιμοποιεί το BGP για να επικοινωνήσει με το ΑΣ 20 και το ΑΣ 30. Ο δρομολογητής R6 αρχικά συνδέεται με τον R3, και ρυθμίζεται ο πίνακας δρομολόγησης του κατά τέτοιο τρόπο, ώστε φανερώνεται ο ορισμός μιας στατικής δρομολόγησης (μεταξύ των R6 και R3). Για το δρομολογητή R1, οι διαδρομές προς τα δίκτυα του ΑΣ 60 ακολουθούν την ίδια πολιτική με τα δίκτυα που ήδη υπάρχουν στο ΑΣ 20. Ο λόγος είναι ότι το ΑΣ 60 δε διαφοροποιείται (ως ξεχωριστό ΑΣ) αφού δεν χρησιμοποιεί το BGP. Επίσης, το ΑΣ 60 θεωρείται απλώς επέκταση του ΑΣ 20. Συνεπώς, ο δρομολογητής R1 δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει μία μοναδική πολιτική δρομολόγησης για τα δίκτυα που ανήκουν στο ΑΣ 10. Ενεργοποιώντας τη λειτουργία του BGP μεταξύ των δρομολογητών R6 και R3, το ΑΣ 60 δηλώνεται στο δίκτυο του ΑΣ 20 ως μοναδική σύνδεση ΑΣ. Με αυτόν τον τρόπο, κοινοποιείται στα ΑΣ 20 και ΑΣ 30, επιτρέποντας έτσι μια ρητή πολιτική δρομολόγησης για τα δίκτυα που ανήκουν στο ΑΣ 60.

2.1 Συνοπτική περιγραφή της λειτουργίας του BGP

Η κυκλοφορία των πακέτων στην δρομολόγηση μέσω BGP γίνεται με τη χρήση μιας συνδεοστραφούς αξιόπιστης υπηρεσίας μεταφοράς. Το Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης TCP (Transmission Control Protocol) διοχετεύει την ανωτέρω κυκλοφορία μέσω μιας εγκατεστημένης σύνδεσης TCP, η οποία ανοίγει στο TCP port 179. Οι δρομολογητές BGP που δημιουργούν μια σύνδεση αναφέρονται ως ομότιμοι δρομολογητές ή γείτονες. Η σύνδεση θέτει σε ισχύ την ανταλλαγή παραμέτρων σύνδεσης, αλλά και την πλήρη ανταλλαγή BGP πληροφοριών από τους πίνακες δρομολόγησης. Το σύνολο των πληροφοριών του BGP πίνακα δρομολόγησης αρχίζει να ανταλλάσσεται από τη στιγμή που ανοίγει η TCP σύνδεση. Με το πέρας της ανταλλαγής αυτών των κατάλληλων δεδομένων μεταξύ δύο γειτονικών BGP δρομολογητών, αυτοί αλληλοεκπέμπουν μόνον πρόσθετες

ενημερώσεις δρομολόγησης (routing updates). Σε κάθε πίνακα δρομολόγησης BGP έχει δοθεί ένας αριθμός έκδοσης, που χρησιμοποιείται από όλους τους ομότιμους BGP δρομολογητές. Ο αριθμός έκδοσης προσαυξάνεται μετά από κάθε ενημέρωση (update) του BGP. Οι γειτονικοί δρομολογητές διατηρούν την σύνδεσή τους σε ισχύ, ανταλλάσσοντας πακέτα μεταξύ τους (τα γνωστά και ως *keepalive packets*). Εάν, τώρα, παρουσιαστούν σφάλματα κατά τη μετάδοση των πακέτων ή προκύψουν ειδικές δυσκολίες στην προσπάθεια αποστολής πληροφοριών από ένα κόμβο σε έναν άλλο, τότε διακόπτεται η αποστολή των πακέτων και στέλνονται ειδικά ειδοποιητικά μηνύματα γι' αυτόν τον σκοπό (τα γνωστά και ως *notification messages*). Σε αυτήν την περίπτωση δηλαδή που εμφανίζεται μια κατάσταση λάθους κατά την οποία δεν είναι εφικτή η συνέχιση της διαδικασίας τερματίζεται η TCP σύνδεση μεταξύ των BGP δρομολογητών.



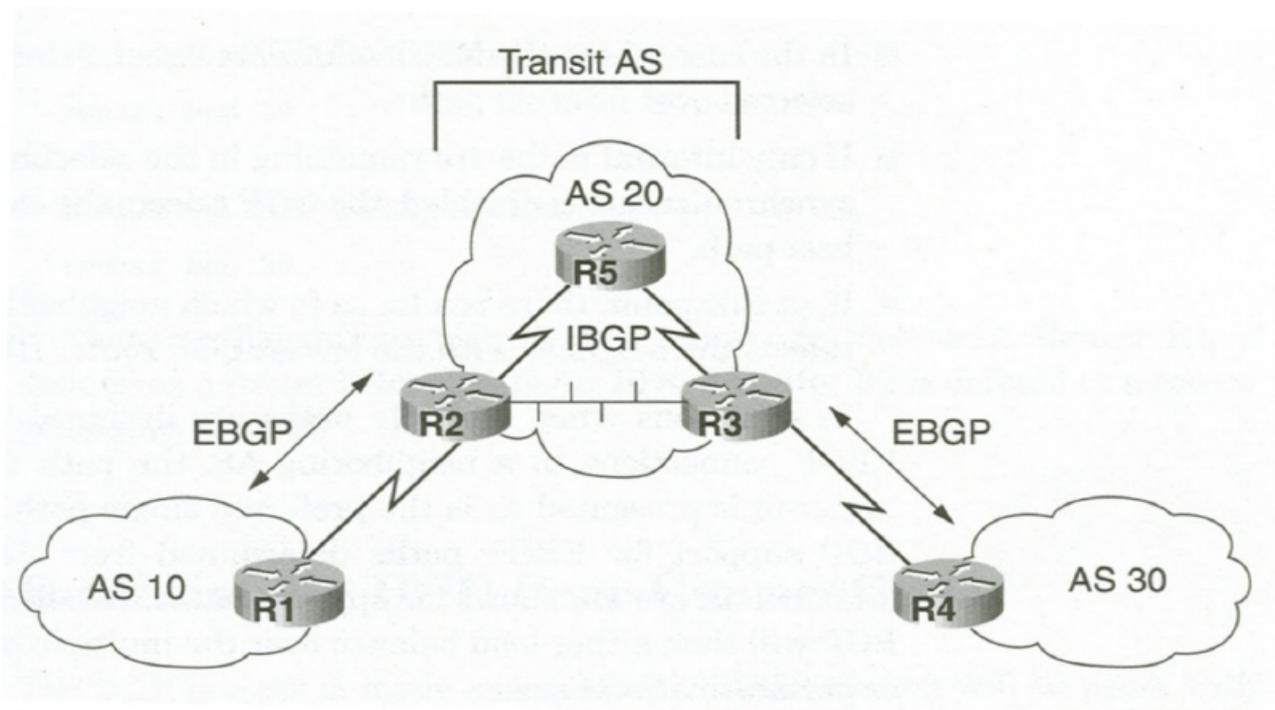
Σχήμα 4

Χρησιμοποιώντας το BGP για την δημιουργία μιας πολιτικής δρομολόγησης.

2.2 Εξωτερικές και Εσωτερικές Συνδιαλέξεις (Sessions)

Περισσότερες από μια συνδέσεις BGP μπορούν να υπάρχουν σε ένα και μόνο Αυτόνομο Σύστημα. Σε ένα τέτοιου είδους σενάριο, το AS με τις πολλαπλές BGP συνδέσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα AS τύπου διέλευσης (Transit AS). Δύο τύποι συνδιαλέξεων BGP (BGP sessions) μπορούν να υπάρξουν όταν εφαρμόζουμε το BGP: η Εξωτερική BGP (External BGP-EBGP) και η Εσωτερική BGP (Internal BGP - IBGP) συνδιάλεξη. Το Σχήμα 5 προβάλλει την EBGP και IBGP τοπολογία.

Οι συνδιαλέξεις τύπου EBGP εγκαθιδρύονται μεταξύ δύο μοναδικών δικτύων AS. Στο Σχήμα 5 τα AS 10 και AS 30 εγκαθιδρύουν μια EBGP συνδιάλεξη με το AS 20. Παρακείμενες τώρα διαδρομές μοιράζονται το ίδιο (φυσικό) μέσο και το εμφανιζόμενο υποδίκτυο (των routers R2,R5 και R3) συνδέει τις EBGP συνδιαλέξεις. Το δίκτυο μέσα στο AS 20 εφαρμόζει επίσης το BGP, και για το λόγο ότι η σύνδεση είναι τώρα μεταξύ πολλαπλών δρομολογητών **μέσα** στο ίδιο δίκτυο, αυτό χρησιμοποιεί το IBGP για τις ανάγκες επικοινωνίας των BGP πινάκων δρομολόγησης. Συγκεκριμένα, μια συνδιάλεξη τύπου IBGP λαμβάνει χώρα μεταξύ δύο δρομολογητών οι οποίοι ανήκουν **στο ίδιο** AS. Αυτό επιτρέπει τους IBGP δρομολογητές να μπορούν να συντονίζουν και συγχρονίζουν τις πολιτικές δρομολόγησης του AS. Οι IBGP ομότιμες συνδέσεις δεν είναι υποχρεωτικό να είναι γειτονικές η μία με την άλλη. Οι ομότιμες συνδέσεις των δρομολογητών μιας IBGP τοπολογίας ενδέχεται να είναι αρκετά hops μακριά η μία από την άλλη, αλλά παρ' όλα ταύτα είναι απαραίτητο να παραμένουν εντός του AS.



Σχήμα 5

Συνδιαλέξεις EBGP και IBGP και τοπολογία διέλευσης Αυτόνομου Συστήματος.

2.3 Επιλογή διαδρομής στο πρωτόκολλο BGP

Το BGP βασίζει την διαδικασία της απόφασής του, όσον αφορά την επιλογή των διαδρομών, στις τιμές που έχουν οι διάφορες ιδιότητες (attribute values) των διαδρομών οι οποίες είναι οι : Nexthop, Weight, AS_path, Origin, Local Preference, Metric και Community. Αυτές οι ιδιότητες – οι οποίες θα αναφερθούν παρακάτω και θα παρουσιαστούν στο κεφάλαιο 3 - δίνονται σε κάθε διαδρομή ξεχωριστά.

Το BGP έχει δύο μηχανισμούς για να διαλέγει την κατάλληλη διαδρομή. Ο πρώτος μηχανισμός χρησιμοποιείται για την επιλογή της μοναδικής (single) και πιο συμφέρουσας διαδρομής μεταξύ πολλών εναλλακτικών διαδρομών προς τον ίδιο προορισμό. Το BGP χρησιμοποιεί αυτόν τον μηχανισμό ως προεπιλογή, και αυτό καταγράφεται στον IP πίνακα δρομολόγησης. Σε ένα σενάριο επιλογής του μοναδικού μονοπατιού, η ακόλουθη διαδικασία τίθεται σε εφαρμογή :

- Οι διαδρομές προς απρόσιτους next-hop δρομολογητές δεν λαμβάνονται υπ' όψιν. Γι' αυτόν τον λόγο είναι σημαντικό να υπάρχει μια IGP διαδρομή προς τον next hop δρομολογητή.
- Εάν το μονοπάτι είναι εσωτερικό, ο συγχρονισμός είναι ενεργοποιημένος και παρόλα ταύτα η διαδρομή δεν είναι καταχωρημένη στον πίνακα δρομολόγησης του IGP πρωτοκόλλου του δικτυακού μας συστήματος, τότε η διαδρομή δεν λαμβάνεται υπ' όψιν.
- Οι δρομολογητές με τα υψηλότερα BGP διαχειριστικά "βάρη" (weights) είναι οι πρώτοι που λαμβάνονται υπ' όψιν. *(Το weight είναι μια ιδιότητα παράμετρος της Cisco που προσδιορίζει το κόστος της αποδοτικότητας και λειτουργικότητας μιας διαδρομής και φανερώνει ότι η δρομολόγηση πακέτων προς αυτήν, για προσέγγιση ενός προορισμού, είναι περισσότερο συμφέρουσα).*
- Εάν οι διαδρομές έχουν το ίδιο βάρος, επιλέγεται η διαδρομή με τη μεγαλύτερη τοπική προτίμηση (local preference).
- Εάν οι διαδρομές έχουν την ίδια τοπική προτίμηση, προτιμάται η διαδρομή η οποία δημιουργείται από τον τοπικό δρομολογητή. Εδώ αναφερόμαστε στις περιπτώσεις εκείνες κατά τις οποίες είτε ο διαχειριστής του δικτύου καταχωρεί στον πίνακα δρομολόγησης ενός BGP δρομολογητή μια στατική δρομολόγηση προς κάποιο προορισμό (με χειρωνακτικό τρόπο δηλαδή), είτε χρησιμοποιώντας την εντολή **network bgp** κατά την δήλωση των δικτύων του τρέχοντος δρομολογητή, είτε διαμέσου αναδιανομής (redistribution) των διαδρομών από έναν IGP δρομολογητή.
- Εάν η διαδρομή δεν δημιουργήθηκε από τον τοπικό δρομολογητή, γίνεται επιλογή του συντομότερου μονοπατιού του Αυτόνομου Συστήματος (AS Path) προς τον προορισμό.
- Εάν υπάρχουν διαφορετικά μονοπάτια προς ένα ΑΣ (που θεωρείται ως ΑΣ προορισμού), για τα οποία το Αυτόνομο Σύστημα έχει το ίδιο μήκος διαδρομής, τότε προτιμάται η διαδρομή με τον μικρότερο κωδικό προέλευσης (origin code). Ο κωδικός προέλευσης μιας διαδρομής αναφέρεται στο πρωτόκολλο με το οποίο η διαδρομή ανακαλύφθηκε. Οι διαδρομές που ανακαλύπτονται κατά την λειτουργία ενός πρωτοκόλλου τύπου IGP, έχουν χαμηλότερο origin code (και άρα είναι προτιμητέες) από αυτές του EGP, οι οποίες με την σειρά τους έχουν χαμηλότερο origin code από τις ημιτελές δρομολογήσεις (Incomplete routes) . *Ημιτελές δρομολογήσεις είναι αυτές που θεωρούνται ελλιπής σε γνώση σχετική με δρομολόγηση – και παράγονται όταν αναδιανέμουμε τις στατικές διαδρομές στο BGP (επομένως το BGP δεν έχει τότε τις απαραίτητες πληροφορίες όπως AS_path γι' αυτές τις διαδρομές, άρα έχουμε έλλειψη πληροφοριών). Επομένως για τα origin code, και όσον αφορά την σειρά προτίμησης, ισχύει : IGP<EGP<INCOMPLETE.*
- Εάν όλες οι διαδρομές είναι από το ίδιο ΑΣ και οι κωδικοί προέλευσης είναι οι ίδιοι, γίνεται προτιμητέα η διαδρομή με τη χαμηλότερη τιμή της μεταβλητής του κόστους δρομολόγησης (metric value) για τον Διευκρινιστή Πολλαπλής Εξόδου (MED-Multi Exit Discriminator). Εάν η πληροφορία για την metric value της διαδρομής δεν υπάρχει, υποτίθεται ότι είναι ίση με μηδέν. Κατά συνέπεια η διαδρομή με την μικρότερη τιμή για την ιδιότητα metric γίνεται και η πιο προτιμητέα. *(Αυτό αποτελεί την προεπιλεγμένη συμπεριφορά των BGP routers οι οποίοι "τρέχουν" το IOS λογισμικό της Cisco).* Να σημειωθεί εδώ ότι αυτή η σύγκριση γίνεται μόνο στην περίπτωση που το γειτονικό Αυτόνομο Σύστημα είναι το ίδιο για όλες τις προς σύγκριση διαδρομές, εκτός και αν τεθεί σε ισχύ η εντολή **bgp always-compare-med**, οπότε λαμβάνονται

υπ' όψιν τα metrics όλων των διαδρομών, ακόμα και αυτών από διαφορετικά ΑΣ.

- Σε περίπτωση που οι τιμές των MED είναι ίσες, τα εξωτερικά (EBGP) μονοπάτια επιλέγονται έναντι των εσωτερικών (IBGP) μονοπατιών. Όλα τα μονοπάτια, που αφορούν προσέγγιση ενός προορισμού, και τα οποία έγιναν γνωστά διαμέσου ενός εσωτερικού (στο ΑΣ μας) BGP γείτονα, (δηλ. μέσω IBGP peering), θεωρούνται ως εσωτερικά μονοπάτια, ενώ αυτά τα οποία γνωστοποιήθηκαν στον δρομολογητή μας από έναν BGP δρομολογητή ο οποίος είναι εξωτερικός (EBGP) γείτονάς μας, μέσω του οποίου συνδέονται τα δύο διαφορετικά ΑΣ, θεωρούνται ως εξωτερικά μονοπάτια. (Υπ, όψιν πως τα confederation paths - μονοπάτια συνομοσπονδίας, με τα οποία θα ασχοληθούμε αργότερα - θεωρούνται ως εσωτερικά μονοπάτια).
- Αν στην λίστα επιλογής (selection list) παραμένουν μόνο εσωτερικά μονοπάτια και ο συγχρονισμός (synchronization) του IGP είναι μη ενεργός, το BGP επιλέγει τον πιο κοντινό γείτονα (neighbor) δρομολογητή ως την πλέον κατάλληλη διαδρομή. Με άλλα λόγια προτιμάται η διαδρομή η οποία μπορεί να προσεγγιστεί διαμέσου του πλησιέστερου IGP γείτονα δρομολογητή (η διαδρομή που έχει δηλ. το μικρότερο IGP metric).
- Εάν, σ' αυτό το σημείο, υπάρχει κάποιο πρόβλημα όσο αφορά το ποιος γειτονικός δρομολογητής είναι πιο κοντά, προτιμάται εκείνος ο δρομολογητής με την μικρότερη BGP router ID τιμή (value). Η router ID είναι συνήθως η μεγαλύτερη IP διεύθυνση στον (γειτονικό) δρομολογητή ή η loopback (virtual - εικονική) διεύθυνση, αλλά θα μπορούσε να είναι μια ειδική τιμή ανάλογα με την υλοποίηση που γίνεται κάθε φορά.

2.3.1 Υποστήριξη πολλαπλών μονοπατιών από το BGP (BGP Multipath Support)

Ως πρώτο σημείο πρέπει να αναφερθεί το ότι όταν ένας BGP δρομολογητής μαθαίνει από ένα γειτονικό ΑΣ δύο πανομοιότυπα μονοπάτια προς έναν προορισμό (prefix) ο οποίος βρίσκεται εξωτερικά του δικού του ΑΣ (δηλ. εδώ μιλάμε για EBGP paths) , θα επιλέξει το μονοπάτι με το μικρότερο router-id ως το βέλτιστο μονοπάτι. Αυτό το βέλτιστο μονοπάτι καταχωρείται στο IP πίνακα δρομολόγησης.

Σ' αυτό το σημείο ακριβώς όμως εμφανίζεται και η δυνατότητα εκμετάλλευσης του δεύτερου μηχανισμού του BGP όσον αφορά την επιλογή της διαδρομής. Εάν δηλαδή τώρα ενεργοποιηθεί η υποστήριξη του BGP για δρομολόγηση διαμέσου πολλαπλών διαδρομών (multipath support) και τα EBGP διαφορετικά μονοπάτια έχουν γίνει γνωστά από το ίδιο γειτονικό ΑΣ, αντί τώρα της επιλογής (picking) ενός βέλτιστου μονοπατιού, πολλαπλά μονοπάτια καταχωρούνται στον IP πίνακα δρομολόγησης. Κατά την διάρκεια της διεργασίας μεταγωγής πακέτων (packet switching), και αναλόγως της κατάστασης λειτουργίας της διεργασίας μεταγωγής, καθίσταται δυνατός ο καταμερισμός του δικτυακού φόρτου εργασίας (load balancing) της δρομολόγησης, είτε με την λύση της προώθησης **ανά-πακέτο**, είτε με αυτήν της προώθησης **ανά-προορισμό**, επιλέγοντας κάθε φορά μεταξύ των πολλαπλών μονοπατιών.

Το load balancing ανά προορισμό, επιμερίζει τον φόρτο ανάλογα με την διεύθυνση προορισμού (κάθε πακέτο ίδιας διεύθυνσης προορισμού αποστέλλεται για δρομολόγηση από το ίδιο μονοπάτι) ενώ το load balancing ανά πακέτο σημαίνει ότι ένα πακέτο στέλνεται σε έναν προορισμό μέσω ενός μονοπατιού, το επόμενο πακέτο που θα φτάσει στον δρομολογητή για δρομολόγηση θα αποσταλεί στον ίδιο προορισμό από το επόμενο διαθέσιμο μονοπάτι, κ.ο.κ.

Από το BGP υποστηρίζεται ένας μέγιστος αριθμός έξι μονοπατιών για την δρομολόγηση μέσω πολλαπλών μονοπατιών. Η εντολή **maximum-paths** η οποία αφορά το configuration (*) του δρομολογητή, ελέγχει τον αριθμό των (πολλαπλών) μονοπατιών που επιτρέπονται (αναλόγως βέβαια της διαμόρφωσης που πρέπει να γίνει κάθε φορά). Ως προεπιλογή βέβαια, το BGP εγκαθιστά μόνο ένα μονοπάτι στον IP πίνακα δρομολόγησης.

(*) Ο όρος configuration θα αποδίδεται αναλόγως της περιστάσεως ως :
διευθέτηση, ρύθμιση, διαχείριση ή διαμόρφωση.

3. Διευθέτηση BGP

Η διευθέτηση πρωτοκόλλων δρομολόγησης αφορά την ρύθμιση εκείνων των δρομολογητών στους οποίους θα «τρέξουν» τα αντίστοιχα πρωτόκολλα. Οι περισσότεροι μοντέρνοι δρομολογητές εύκολα διευθετούνται μέσα από ένα τερματικό διαχείρισης (terminal management) διαμέσου απλών εντολών που δίνονται από ένα απλό μενού επιλογών. Γενικά για τα πρωτόκολλα IP, οι βασικές προς ρύθμιση παράμετροι αφορούν τα παρακάτω σημεία, για κάθε μία από τις συνδέσεις δρομολογητών:

- Την IP διεύθυνση,
- Την μάσκα υποδικτύου (subnet mask),
- Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που θα ενεργοποιηθούν,
- Την ανώτατη μονάδα μεταφοράς (transmission unit) του interface (διαύλου επικοινωνίας) του δρομολογητή στο οποίο γίνεται η ρύθμιση,
- Το «κόστος» της χρήσης αυτού του interface.

3.1 Ενεργοποίηση της BGP διαδικασίας

Συνάμα με τα παραπάνω, και αναφερόμενοι ειδικά στις απαιτήσεις του πρωτοκόλλου BGP, θα χρειαστούν συνολικά τέσσερις βασικές εντολές για να ξεκινήσει η BGP διαδικασία στους δρομολογητές. Αυτές οι εντολές ορίζουν τη BGP διαδικασία, τι είδους δίκτυα ξεκινούν από ένα δρομολογητή, τι γείτονες (neighbors) BGP δημιουργεί η σύνδεση με κάποιον δρομολογητή, καθώς και ένα μέσο για την επανεκκίνηση των BGP συνδέσεων και του πίνακα δρομολόγησης μετά την πραγματοποίηση των ρυθμίσεων.

Το λογισμικό Cisco IOS (λειτουργικό σύστημα των δρομολογητών) ξεκινά μια BGP διαδικασία όταν ο διαχειριστής του δρομολογητή (administrator) εισάγει την global εντολή (δρομολόγησης) `router bgp` σε configuration mode. Ο τύπος της εντολής είναι :

router bgp *autonomous-system*

Η τιμή στην παράμετρο του ΑΣ (*autonomous-system*) κυμαίνεται από 1 μέχρι 65535. Η τιμή που δίνεται πρέπει να είναι η ίδια για όλους τους δρομολογητές που ανήκουν στο δίκτυο συνδέσεων IBGP, ώστε να ανταλλάσσουν BGP ενημερώσεις δρομολόγησης εντός του ιδίου ΑΣ. Ο κωδικός της τιμής του ΑΣ χρησιμοποιείται ακόμη ως μια ετικέτα (tag) που περιγράφει τις πληροφορίες που ανταλλάσσονται μεταξύ των ομότιμων δικτύων BGP. Λόγου χάρη, στις δύο ακόλουθες ρυθμίσεις φαίνονται οι συγκεκριμένες παράμετροι BGP :

Ρύθμιση BGP του δρομολογητή R1:

router bgp 10

Ρύθμιση BGP του δρομολογητή R2:

router bgp 20

Με αυτές τις ρυθμίσεις αναγνωρίζονται δύο μοναδικά δίκτυα ΑΣ. Ο δρομολογητής R1 ορίζεται ως ο δρομολογητής που ανήκει στο ΑΣ 10, ενώ ο δρομολογητής R2 στο ΑΣ 20 αντίστοιχα.

3.2 Δημιουργία Ομότιμων Συνδέσεων BGP (BGP Peer Connections)

Μέσω του προσδιορισμού (definition) των γειτόνων η BGP διαδικασία ενημερώνεται σχετικά με το ποιοι δρομολογητές BGP θα είναι ομότιμοι (peers) με τον τοπικό δρομολογητή. Από την στιγμή που οριστούν οι γείτονες, η BGP διαδικασία επιχειρεί να δημιουργήσει μια ομότιμη BGP σύνδεση (του τοπικού δρομολογητή) με τον προηγούμενος ορισμένο προς αυτόν γείτονα.

Οι ενημερώσεις του πίνακα δρομολόγησης αποστέλλονται μόνον αφού έχει εγκατασταθεί με επιτυχία μια ομότιμη TCP σύνδεση.

Με την ολοκλήρωση της σύνδεσης, οι ομότιμοι δρομολογητές στέλνουν "ανοικτά μηνύματα-open messages" μεταξύ τους, για να επαληθεύσουν τον αριθμό του ΑΣ, τον αριθμό έκδοσης του BGP, την BGP route ID, καθώς και τις τιμές του χρόνου κρατήματος (hold-time) που απαιτείται για την αποστολή των μηνυμάτων keepalive. Για την ανταλλαγή ενημερώσεων των δρομολογητών, η σύνδεση με το γείτονα δρομολογητή πρέπει να βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας (established state). Αν αυτή δεν εμφανίζεται ως εγκατεστημένη (established), η ανταλλαγή ενημερώσεων BGP δεν έχει πραγματοποιηθεί, οπότε δε θα ολοκληρωθεί η δρομολόγηση BGP στους εν λόγω δρομολογητές.

Η αναγνώριση των γειτόνων επιτελείται με τη χρήση της bgp εντολής του δρομολογητή : **neighbor remote-as**. Ο τύπος της εντολής είναι :

```
neighbor {ip-address | peer-group-name} remote-as number
```

Η παράμετρος *ip-address* είναι η τιμή της IP διεύθυνσης που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό (και κατά συνέπεια την δήλωση) ενός γείτονα BGP. Η τιμή πρέπει να είναι σε δεκαδική μορφή με τελείες (όπως η κλασική IP διεύθυνση). Η τιμή της παραμέτρου *peer-group-name* είναι μια ετικέτα που δίνεται σε ένα σύνολο ομότιμων δρομολογητών BGP, οι οποίοι αναγνωρίζονται συνολικά ως ομάδα. Οι τιμές των παραμέτρων *ip-address* και *peer-group-name* είναι αμοιβαία αποκλειόμενες (δηλ. είτε θα δηλωθεί μια τιμή για την παράμετρο *ip-address* είτε για την *peer-group-name*). Η παράμετρος *number* μετά τη λέξη-κλειδί *remote-as* αντιστοιχεί στον αριθμό του ΑΣ όπου ανήκει ο προς ορισμό γειτονικός δρομολογητής. Οι ομάδες των δρομολογητών BGP αναλύονται παρακάτω σε επόμενο υποκεφάλαιο.

Αν η τιμή του *remote-as number* που έχει δοθεί στο γείτονα ταυτίζεται με τον αριθμό του ΑΣ που δίνεται στην εντολή `router bgp`, τότε η διαδικασία BGP πραγματοποιεί εσωτερική συνδιάλεξη (IBGP) με το γείτονα.

Αν η τιμή του *remote-as number* διαφέρει από τον αριθμό του ΑΣ (που δίνεται στην εντολή `router bgp`) του τοπικού δρομολογητή, τότε η διαδικασία BGP πραγματοποιεί εξωτερική συνδιάλεξη (EBGP) με το γείτονα.

Εδώ να σημειωθεί πως για να επιβεβαιωθεί η IP συνδεσιμότητα των δύο γειτόνων πριν από τον ορισμό, χρησιμοποιούμε την επεκτεταμένη (extended) εντολή PING του λογισμικού Cisco IOS, βάζοντας τη διεύθυνση IP του γείτονα ως διεύθυνση πηγής στην εντολή.

Η υλοποίηση του πρωτοκόλλου BGP μέσω του λογισμικού IOS της Cisco, έχει ως προεπιλεγμένη συμπεριφορά να χρησιμοποιεί την 4η έκδοση του πρωτοκόλλου BGP, κι έπειτα κάνει αλληπάλληλες αναζητήσεις, μέχρι να εντοπίσει την κατάλληλη έκδοση του γείτονα δρομολογητή. Ωστόσο, το λογισμικό Cisco IOS εξουσιοδοτεί τον διαχειριστή του δρομολογητή να ορίσει την έκδοση του BGP που χρησιμοποιεί ο γείτονας, με τη βοήθεια της εντολής `neighbor version`. Ο τύπος της εντολής είναι

```
neighbor {ip-address | peer-group-name} version value
```

Εδώ η παράμετρος *τιμή* (value) μετά τη λέξη-κλειδί της έκδοσης (version) ορίζει τον αριθμό έκδοσης του BGP που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την TCP σύνδεση με τον αναγνωρισμένο γείτονα. Η παράμετρος *τιμή* μπορεί να είναι 2, 3 ή 4, με την 4 να θεωρείται ως προεπιλεγμένη.

Στο Σχήμα 6, εφαρμόζεται η εξής διευθέτηση :

Router R1:

```
router bgp 10
```

```
neighbor 172.21.1.1 remote as 20
```

Router R2:

```
router bgp 20
neighbor 172.21.1.2 remote as 10
neighbor 192.168.1.2 remote as 20
```

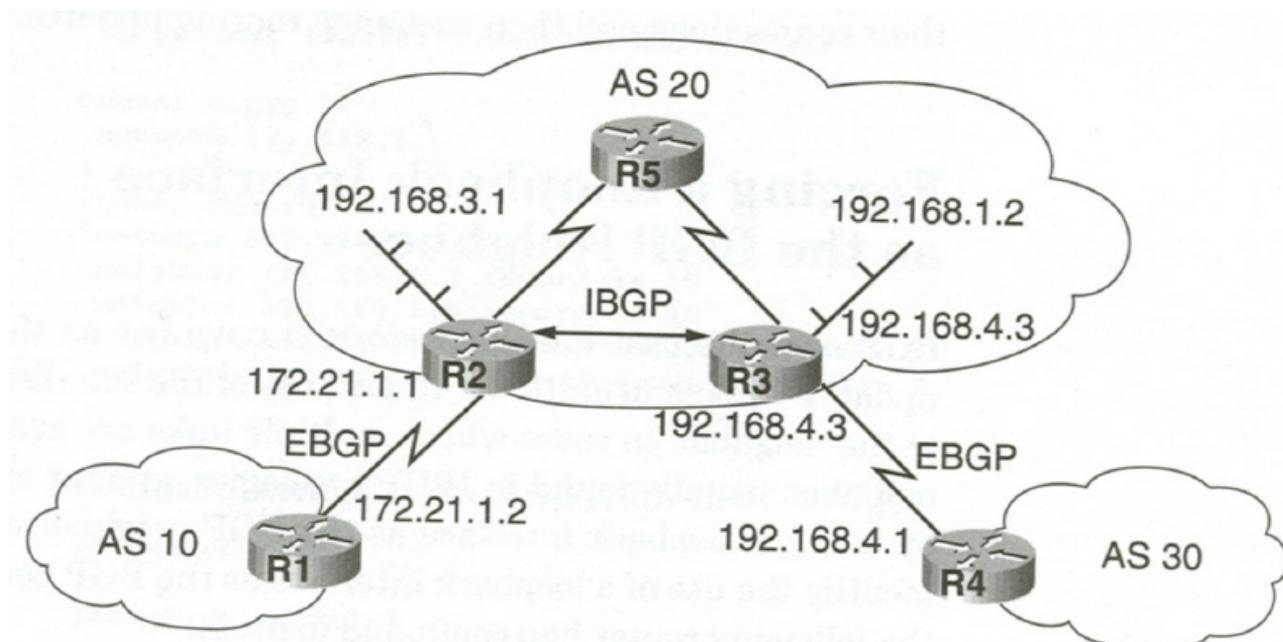
Router R3:

```
router bgp 20
neighbor 192.168.3.1 remote as 20
neighbor 192.168.4.1 remote as 30
```

Router R4:

```
router bgp 30
neighbor 192.168.4.3 remote as 20
```

Σε αυτή τη ρύθμιση, θεωρείται δεδομένο ότι όλοι οι δρομολογητές χρησιμοποιούν την 4^η έκδοση του πρωτοκόλλου BGP, μια και δε δόθηκε ρητά η εντολή `neighbor version`. Από τη στιγμή που ο αριθμός του ΑΣ που χρησιμοποιείται στην εντολή `router bgp` για το δρομολογητή R1 διαφέρει από τον αριθμό του ΑΣ που χρησιμοποιείται στην εντολή `neighbor` για τη ρύθμιση του δρομολογητή R1, ο τελευταίος θα επικοινωνήσει μέσω εξωτερικής συνδιάλεξης (EBGP) με το γείτονα δρομολογητή στο 172.21.1.1. Ο δρομολογητής R2 χρησιμοποιεί εσωτερική συνδιάλεξη (IBGP) για να επικοινωνήσει με το δρομολογητή R3. Εδώ θα πρέπει να θυμίσουμε ότι το BGP χρησιμοποιεί TCP συνδέσεις για την παράδοση των ενημερώσεων δρομολόγησης BGP. Κατά συνέπεια, η τοπολογία στο Σχήμα 6 δείχνει ότι δεν είναι απαραίτητη η άμεση σύνδεση των ομότιμων δρομολογητών BGP για εσωτερική συνδιάλεξη. Ο δρομολογητής R5 του σχήματος χρησιμοποιείται ως κόμβος δρομολόγησης για την εγκατάσταση της BGP TCP σύνδεσης μεταξύ των δρομολογητών R2 και R3. Το παράδειγμα ολοκληρώνεται με τη BGP TCP σύνδεση μεταξύ των δρομολογητών R3 και R4, που χρησιμοποιεί εξωτερική συνδιάλεξη, αφού



Σχήμα 6

Απλή τοπολογία BGP δικτύου.

αυτή η σύνδεση εγκαθίσταται με τη χρήση διαφορετικών αριθμών ΑΣ. Μια καλή πρακτική κατά την πραγματοποίηση των αλλαγών στη ρύθμιση ενός BGP δρομολογητή, είναι να επανεκκινείται (reinitialize) κάθε φορά ο πίνακας δρομολόγησης BGP και οι TCP συνδέσεις με τους προκαθορισμένους γείτονες, για να εξασφαλίζεται ότι έχουν πραγματοποιηθεί οι αλλαγές.

Αυτό γίνεται με την εισαγωγή της παρακάτω εντολής:

```
clear ip bgp { * | address | peer-group name } [soft [in | out]]
```

Η τιμή * που χρησιμοποιείται στην εντολή μηδενίζει (reset) τις υπάρχουσες ομότιμες συνδέσεις BGP, οπότε και κατασκευάζεται ένας νέος πίνακας δρομολόγησης. Η τιμή στην παράμετρο *address* χρησιμοποιείται σε κάποιον δρομολογητή όταν πρέπει να μηδενιστεί μια συγκεκριμένη σύνδεση με έναν γείτονά του και στην συνέχεια ενημερώνονται οι διαδρομές (στον BGP πίνακα δρομολόγησης του πρώτου δρομολογητή) που λαμβάνονται από αυτόν το γείτονα.

Με τη χρήση της τιμής *peer-group-name* μηδενίζονται όλες οι συνδέσεις, από τον τοπικό δρομολογητή μέχρι και το τελευταίο μέλος της ομάδας των ομότιμων δρομολογητών. Στη θέση *peer-group-name* πρέπει να μπαίνει το όνομα που έχει δοθεί σε μια προηγουμένως ορισμένη ομάδα ομότιμων δρομολογητών, το οποίο βέβαια ρυθμίστηκε στον τοπικό δρομολογητή (και επομένως αυτός γνωρίζει ποιοι ακριβώς δρομολογητές ανήκουν στην τάδε ομάδα με όνομα το δηλωθέν *peer-group-name*).

Η προαιρετική λέξη-κλειδί (keyword) **soft** σημαίνει ότι δεν έχουν μηδενιστεί οι υπάρχουσες συνδιαλέξεις (sessions). Παρ' όλα αυτά, ο δρομολογητής θα αποστείλει ενημερώσεις δρομολόγησης. Στην ουσία, το **soft reconfiguration** επιτρέπει να γίνεται ρύθμιση και ενεργοποίηση των πολιτικών BGP χωρίς να μηδενίζουμε το BGP session. Έτσι, χρησιμοποιώντας τη λέξη **soft**, ολόκληρος ο πίνακας ενημερώνεται μόνο αν έχει γίνει εισαγωγή της εντολής **neighbor soft-reconfiguration**. Η εκτέλεση αυτής της λειτουργίας επιβαρύνει σημαντικά τη μνήμη και μπορεί να προκαλέσει μεγάλη καθυστέρηση στην αποστολή των πακέτων, όσον αφορά συνδέσεις που περνούν από τον τοπικό δρομολογητή. Η μεταβλητή **in** της προαιρετικής λέξης **soft** προκαλεί μόνο εισερχόμενη αναδιαμόρφωση (inbound reconfiguration), ενώ η μεταβλητή **out** οδηγεί σε εξερχόμενη αναδιαμόρφωση (outbound reconfiguration). Αν δεν καθοριστούν οι μεταβλητές θα προκληθεί και εισερχόμενη και εξερχόμενη αναδιαμόρφωση .

Η εντολή `clear ip bgp` χρησιμοποιείται όταν η διεύθυνση του BGP αλλάζει με βάση τα εξής:

- Προσθήκες, αλλαγές ή διαγραφές στη λίστα πρόσβασης BGP (BGP access list)
- Μεταβολή στην τιμή του βάρους BGP (BGP weight)
- Προσθήκες, αλλαγές ή διαγραφές στη λίστα διανομής BGP (BGP distribution- list)
- Ειδικοί χρονιστές BGP (BGP-specific timers)
- Μεταβολή στην BGP απόσταση διαχείρισης (administrative distance)
- Χρήση της εντολής `route map` για το BGP

Δίνοντας τώρα την ακόλουθη εντολή

```
clear ip bgp *
```

μηδενίζονται όλες οι συνδέσεις των ομότιμων δρομολογητών, οι οποίοι συνδέονται τώρα εκ νέου και στην συνέχεια ανταλλάσσουν ενημερώσεις δρομολόγησης.

3.3 Χρησιμοποίηση loopback interface ως BGP γείτονα

Το BGP χρησιμοποιεί την καλύτερη τοπική διεύθυνση (ενός interface) ως πηγή για την αποστολή ενημερώσεων σε ένα γείτονα. Πρόκειται συνήθως για την IP (διεύθυνση) του interface με το βέλτιστο μονοπάτι για το γείτονα. Στις περιπτώσεις που είναι διαθέσιμα πολλαπλά links για τη σύνδεση με ένα γείτονα, που συνήθως βρίσκεται σε τοπολογίες εσωτερικής συνδιάλεξης, υπάρχει η δυνατότητα για

μεγαλύτερη διαθεσιμότητα, μέσω της χρήσης του loopback interface ως BGP γείτονα του τοπικού δρομολογητή. Για να πιστοποιηθεί ότι χρησιμοποιείται ένα loopback interface ως ομότιμος - τού τοπικού δρομολογητή - BGP γείτονας δρομολογητής, εισάγουμε την παρακάτω router bgp εντολή:

Neighbor {ip-address | peer-group-name} update-source interface

Η παράμετρος *ip-address* αντιστοιχεί στην τιμή της IP διεύθυνσης ενός καθορισμένου BGP γείτονα. Η τιμή πρέπει να είναι σε δεκαδική μορφή με τελείες (όπως η κλασική IP διεύθυνση). Η τιμή στην παράμετρο *peer-group-name* είναι μια ετικέτα που δίνεται σε μια ομάδα ομότιμων δρομολογητών BGP, οι οποίοι αναγνωρίζονται συνολικά ως ομάδα. Οι τιμές των παραμέτρων *ip-address* και *peer-group-name* είναι αμοιβαία αποκλειόμενες.

Η παράμετρος *interface* στη λέξη-κλειδί *update-source* πιστοποιεί τη χρήση του loopback interface ως γείτονα. Η IP διεύθυνση που ορίζεται από το καθορισμένο loopback interface γίνεται η IP διεύθυνση που χρησιμοποιείται στην εντολή *remote-as* για τη ρύθμιση των ομότιμων δρομολογητών BGP. Παραδείγματος χάρη, στο Σχήμα 7, ο δρομολογητής R1 χρησιμοποιεί την IP διεύθυνση ενός loopback interface σαν διεύθυνση γείτονα δρομολογητή. Οι δρομολογητές R2 και R3 χρησιμοποιούν αμφότεροι την IP διεύθυνση του loopback interface που έχει οριστεί στο δρομολογητή R1 σαν γειτονική IP στις αντίστοιχες εντολές τους *neighbor remote-as*.

Τα παρακάτω παραδείγματα ρύθμισης δείχνουν εμφανώς το ότι είναι προϋπόθεση οι δρομολογητές R2 και R3 να ορίσουν την IP διεύθυνση του loopback interface για τον δρομολογητή R1 ως την IP διεύθυνση γείτονα (*neighbor IP address*) με την οποία εγκαθίστανται οι TCP συνδέσεις.

Ρύθμιση του δρομολογητή R1 για την επεξήγηση της χρήσης του loopback interface σε έναν μόνο (single) δρομολογητή BGP:

```
ip subnet zero
!
interface serial 0
 ip address 192.168.1.1 255.255.255.252
!
interface serial 1
 ip address 192.168.1.5 255.255.255.252
!
interface loopback 0
 ip address 192.168.1.254 255.255.255.252
!
router eigrp 10
 network 192.168.1.0
!
router bgp 10
 network 192.168.1.0 mask 255.255.255.252
 neighbor 192.168.1.2 remote-as 10
 neighbor 192.168.1.6 remote-as 10
 neighbor 192.168.1.2 update-source loopback 0
 neighbor 192.168.1.6 update-source loopback 0
```

Ρύθμιση του δρομολογητή R2 για το Σχήμα 7:

```
ip subnet zero
!
interface serial 0
 ip address 192.168.1.2 255.255.255.252
!
interface serial 1
```

```

ip address 192.168.1.9 255.255.255.252
!
router eigrp 10
 network 192.168.1.0
!
router bgp 10
 network 192.168.1.0 mask 255.255.255.252
 neighbor 192.168.1.254 remote-as 10
 neighbor 192.168.1.8 remote-as 10

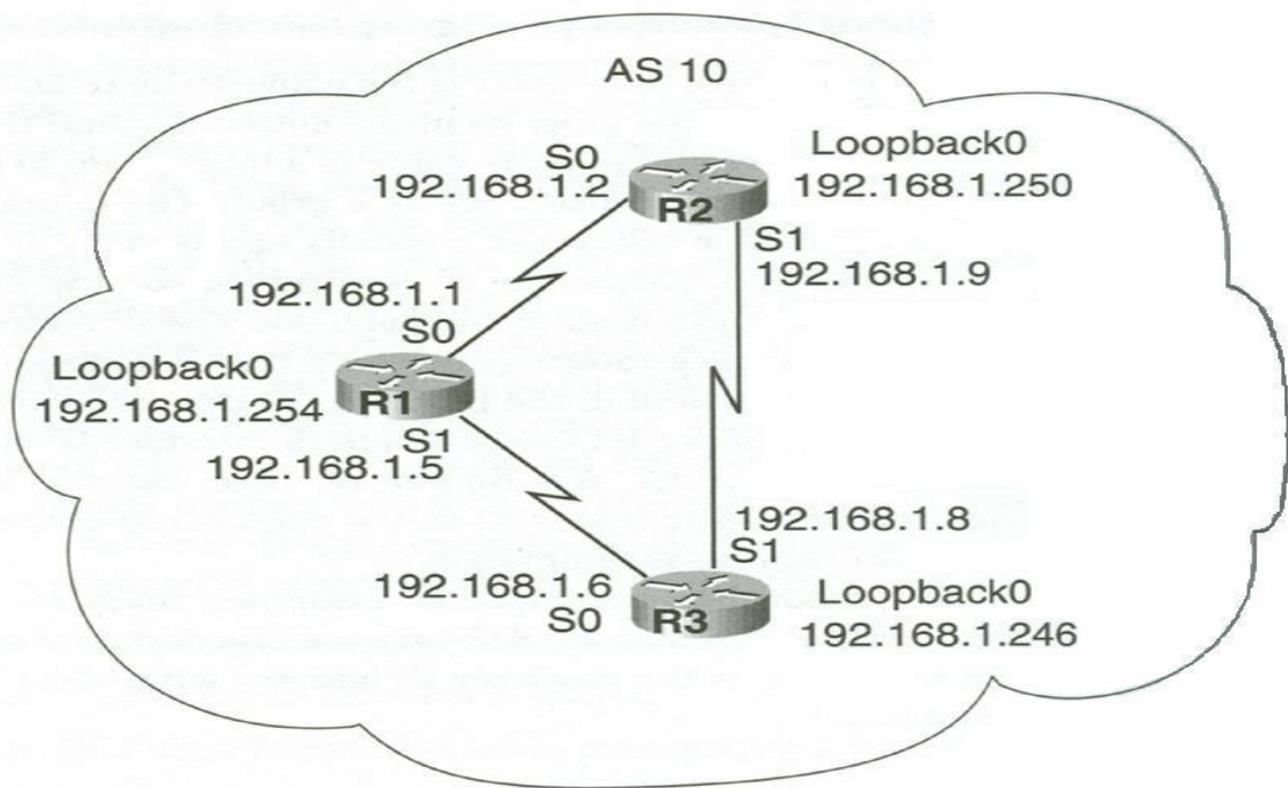
```

Ρύθμιση του δρομολογητή R3 για το Σχήμα 7:

```

ip subnet zero
!
interface serial 0
 ip address 192.168.1.6 255.255.255.252
!
interface serial 1
 ip address 192.168.1.8 255.255.255.252
!
router eigrp 10
 network 192.168.1.0
!
router bgp 10
 network 192.168.1.0 mask 255.255.255.252
 neighbor 192.168.1.254 remote-as 10
 neighbor 192.168.1.9 remote-as 10

```



Σχήμα 7

BGP τοπολογία για την χρήση ενός loopback interface ως γείτονα BGP.

Όπως φάνηκε και παραπάνω, η `neighbor update-source` χρησιμοποιείται μόνο για το δρομολογητή R1, αφού χρησιμοποιεί `loopback interface` ως BGP peer IP διεύθυνση όταν επικοινωνεί αμφότερα με τους ομότιμους δρομολογητές BGP, R2 και R3. Η ρύθμιση για τους δρομολογητές R2 και R3 χρησιμοποιεί την `loopback IP 192.168.1.254`, η οποία ορίζεται στο δρομολογητή R1 ως IP διεύθυνση γείτονα στις αντίστοιχες εντολές `neighbor remote-as`, ώστε να πιστοποιήσει ως γείτονα το δρομολογητή R1. Με αυτή τη ρύθμιση, σε περίπτωση που καταρρεύσει η σύνδεση του R1 με τον R3, ο R1 δε θα μπορεί να ανοίξει μια BGP TCP σύνδεση με τον R3, ακόμη κι αν είναι ενεργή η σύνδεση του R2 με τον R3. Αυτό συμβαίνει γιατί η IP διεύθυνση που χρησιμοποιείται ως BGP γείτονας για τον R3 από τον R1 είναι η IP διεύθυνση που σχετίζεται με τη φυσική σύνδεση μεταξύ των δρομολογητών R1 και R3.

Παρακάτω παρατίθεται μια ρύθμιση ασφαλούς λειτουργίας: εδώ, αν καταρρεύσει οποιοσδήποτε φυσικός διάυλος (`interface`), οι BGP TCP συνδέσεις μπορούν να μεταφέρουν τη μεταξύ τους συνδιάλεξη σε κάποια άλλη ενεργό σύνδεση, επειδή το `loopback interface` χρησιμοποιείται εκείνη τη στιγμή και στους τρεις δρομολογητές.

Ρύθμιση δρομολογητή R1 για το σχήμα 7:

```
ip subnet zero
!
interface serial 0
 ip address 192.168.1.1 255.255.255.252
!
interface serial 1
 ip address 192.168.1.5 255.255.255.252
!
interface loopback 0
 ip address 192.168.1.254 255.255.255.252
!
router eigrp 10
 network 192.168.1.0
!
router bgp 10
 network 192.168.1.0 mask 255.255.255.252
 neighbor 192.168.1.250 remote-as 10
 neighbor 192.168.1.246 remote-as 10
 neighbor 192.168.1.250 update-source loopback 0
 neighbor 192.168.1.246 update-source loopback 0
```

Ρύθμιση δρομολογητή R2 για το Σχήμα 7:

```
ip subnet zero
!
interface serial 0
 ip address 192.168.1.2 255.255.255.252
!
interface serial 1
 ip address 192.168.1.9 255.255.255.252
!
interface loopback 0
 ip address 192.168.1.250 255.255.255.252
!
router eigrp 10
 network 192.168.1.0
!
```

```

router bgp 10
 network 192.168.1.0 mask 255.255.255.252
 neighbor 192.168.1.254 remote-as 10
 neighbor 192.168.1.246 remote-as 10
 neighbor 192.168.1.254 update-source loopback 0
 neighbor 192.168.1.246 update-source loopback 0

```

Ρύθμιση δρομολογητή R3 για το Σχήμα 7:

```

ip subnet zero
!
interface serial 0
 ip address 192.168.1.6 255.255.255.252
!
interface serial 1
 ip address 192.168.1.8 255.255.255.252
!
interface loopback 0
 ip address 192.168.1.246 255.255.255.252
!
router eigrp 10
 network 192.168.1.0
!
router bgp 10
 network 192.168.1.0 mask 255.255.255.252
 neighbor 192.168.1.254 remote-as 10
 neighbor 192.168.1.250 remote-as 10
 neighbor 192.168.1.254 update-source loopback 0
 neighbor 192.168.1.250 update-source loopback 0

```

Η εντολή `network mask` χρησιμοποιείται κάτω από την εντολή `router bgp` για να αναγνωρίσει τα δίκτυα αυτού του ΑΣ που θέλουμε το BGP να διανείμει στους ομότιμους δρομολογητές. Αυτή η εντολή χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει ποσοτικά ποια δίκτυα θα γνωστοποιήσει (advertise) η BGP διαδικασία. Ο τύπος της εντολής είναι

network *network-number* [**mask** *network-mask*]

Το *network-number* αντιστοιχεί στο full class δίκτυο που γνωστοποιείται από το BGP. Η χρήση της προαιρετικής παραμέτρου *network-mask* επιτρέπει στο BGP να γνωστοποιεί και συγκεκριμένα υποδίκτυα ή υπερδίκτυα, και όχι μόνο τη διεύθυνση του full class δικτύου. Σε κάθε BGP διαδικασία αναλογεί ένα επιτρεπόμενο όριο 200 εντολών `network` που μπορούν να εκτελεστούν ανά δρομολογητή. Τα δίκτυα που περιλαμβάνονται στην εντολή δε χρειάζεται να είναι απευθείας συνδεδεμένα δίκτυα που να σχετίζονται με τον τοπικό δρομολογητή. Αυτά τα δίκτυα είτε συνδέονται απευθείας είτε γνωστοποιούνται μέσω δυναμικών ή στατικών διαδρομών.

Για παράδειγμα, αν ο δρομολογητής R1 έχει ένα δίκτυο, λόγω χάρη το 192.168.20.0, να συνδέεται απευθείας μαζί του και αυτό το δίκτυο γνωστοποιείται χρησιμοποιώντας το Πρωτόκολλο Εσωτερικών Πυλών (IGP) σε έναν BGP δρομολογητή, ο τελευταίος περιλαμβάνει το εν λόγω δίκτυο στις γνωστοποιήσεις του, χρησιμοποιώντας την εντολή `network`. Στο ανωτέρω παράδειγμα, από τη στιγμή που χρησιμοποιούμε το 192.168.1.0 Class C δίκτυο με ένα `network mask 255.255.255.252` στο `loopback interface`, θα θέλαμε η BGP διαδικασία να γνωστοποιεί το δίκτυο στους ομότιμους δρομολογητές, προκειμένου να καθίσταται εφικτή η σύνδεση.

3.4 Multihop EBGP Συνδέσεις

Όταν η σύνδεση EBGP TCP δεν είναι η απευθείας συνδεδεμένη (directly connected) διεύθυνση IP, τότε παρουσιάζονται ορισμένα προβλήματα. Αυτό συμβαίνει όταν το εξωτερικό BGP AS χρησιμοποιεί έναν μόνο (single) δρομολογητή για να συνδεθεί με το εσωτερικό BGP AS ή όταν το εξωτερικό BGP χρησιμοποιεί ένα loopback interface ως IP διεύθυνση γείτονα, προκειμένου να συνδεθεί με τον EBGP δρομολογητή.

Στο Σχήμα 8 απεικονίζεται ένα σενάριο σύμφωνα με οποίο η σύνδεση μεταξύ του AS 10 και του AS 20 ολοκληρώνεται με τη χρησιμοποίηση ενός δρομολογητή που λειτουργεί ως κανάλι πρόσβασης στο εσωτερικό δίκτυο του AS 20. Σε ένα τέτοιο σενάριο, ο διαχειριστής του δρομολογητή έχει αποφασίσει ότι το κρίσιμο σημείο είναι η σύνδεση Ethernet με το εσωτερικό τους δίκτυο στο δρομολογητή R2. Σε περίπτωση που ο διάυλος Ethernet 0 στο δρομολογητή R2 «πέσει» (πάψει να λειτουργεί), τότε δεν υπάρχει λόγος να γίνουν BGP TCP συνδέσεις στο AS 10. Μια κατάσταση αυτού του τύπου περιγράφεται ως «ρύθμιση multihop».

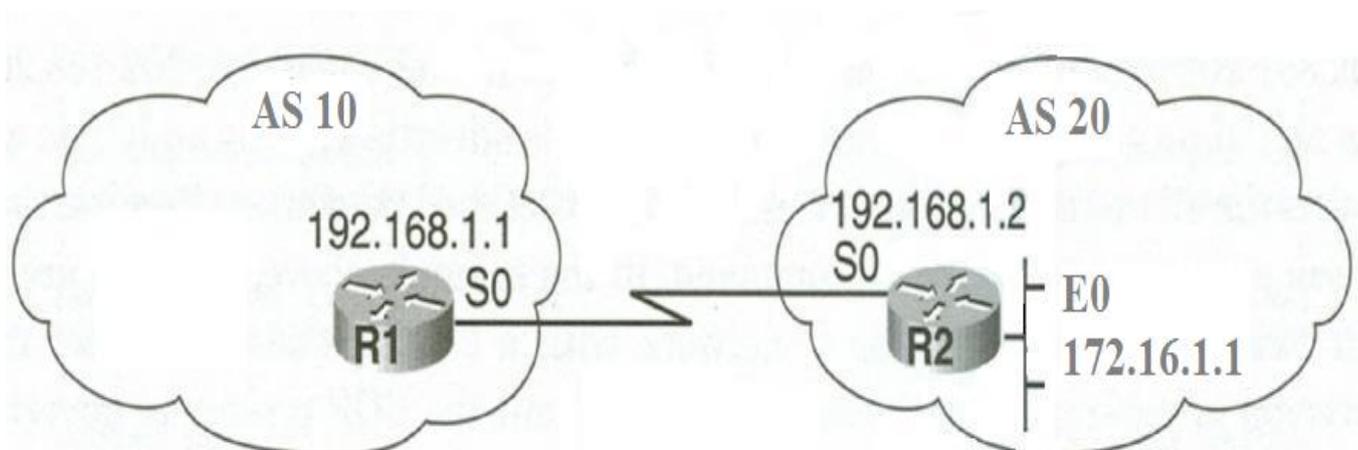
Το παρακάτω παράδειγμα ρύθμισης εφαρμόζεται στην τοπολογία που απεικονίζεται στο Σχήμα 8:

Ρύθμιση του δρομολογητή R1

```
interface serial 0
 ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
 !
router bgp 10
 network 192.168.1.0
 neighbor 172.16.1.1 remote-as 20
 neighbor 172.16.1.1 ebgp-multihop
```

Ρύθμιση του δρομολογητή R2:

```
interface serial 0
 ip address 192.168.1.2 255.255.255.0
 !
```



Σχήμα 8

Παρουσίαση της EBGP multihop τοπολογίας σε περίπτωση που μια μοναδική σύνδεση Ethernet είναι κρίσιμης σημασίας.

```

interface Ethernet 0
 ip address 172.16.1.1 255.255.255.0
 !
router eigrp
 network 172.16.0.0
 network 192.168.1.0
 !
router bgp 20
 network 172.16.0.0
 neighbor 192.168.1.1 remote-as 10

```

Ο γείτονας που έχει οριστεί για το δρομολογητή R1 αναφέρει τη διεύθυνση του interface Ethernet 0 του δρομολογητή R2. Η σύνδεση EBGP των ομότιμων δρομολογητών εγκαθίσταται με την εισαγωγή της εντολής `neighbor ebgp-multihop` στο δρομολογητή R1. Ο τύπος της εντολής `neighbor ebgp-multihop` είναι ο εξής:

```
neighbor {ip-address | peer-group-name} ebgp-multihop [ttl]
```

Η παράμετρος `ip-address` αντιστοιχεί στην τιμή της IP διεύθυνσης ενός καθορισμένου BGP γείτονα. Η τιμή πρέπει να είναι σε δεκαδική μορφή με τελείες (όπως η κλασική IP διεύθυνση). Η τιμή στην παράμετρο `peer-group-name` είναι μια ετικέτα που δίνεται σε μια ομάδα ομότιμων δρομολογητών BGP, οι οποίοι αναγνωρίζονται συνολικά ως ομάδα. Οι τιμές των παραμέτρων `ip-address` και `peer-group-name` είναι αμοιβαία αποκλειόμενες. Η προαιρετική μεταβλητή `ttl` που μπαίνει μετά τη λέξη-κλειδί **ebgp-multihop** παρέχει το μηχανισμό καθορισμού της λήξης χρόνου (timeout) της TCP σύνδεσης που δημιουργήθηκε για την IP διεύθυνση του γείτονα που έχει οριστεί. Η τιμή της μεταβλητής `ttl` κυμαίνεται από 1 ως 255.

Εδώ να σημειωθεί πως το λογισμικό Cisco IOS δεν εγκαθιστά τη multihop σύνδεση των ομότιμων δρομολογητών, αν η μόνη διαθέσιμη διαδρομή προς τον καθορισμένο γείτονα είναι η πρότυπος (default) διαδρομή 0.0.0.0.

Για να γίνει εφικτό το ισοζύγισμα φόρτου (load balancing) σε παράλληλες συνδέσεις δύο δρομολογητών που ανήκουν σε διαφορετικά αυτόνομα συστήματα, χρησιμοποιούμε για IP διεύθυνση γείτονα το loopback interface. Επειδή το loopback interface δεν είναι ένα απευθείας συνδεδεμένο EBGP, απαιτείται multihop. Στο Σχήμα 9 εικονίζεται αυτό το σενάριο. Στην πρότυπη (standard) σύνδεση EBGP, το BGP επιλέγει μία από τις συνδέσεις (links) για την αποστολή πακέτων. Ωστόσο, με τη χρήση EBGP multihop και loopback interfaces, η διαδικασία BGP υλοποιείται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να χρησιμοποιεί και τις δύο φυσικές συνδέσεις, επιτυγχάνοντας έτσι το ισοζύγισμα του φορτίου.

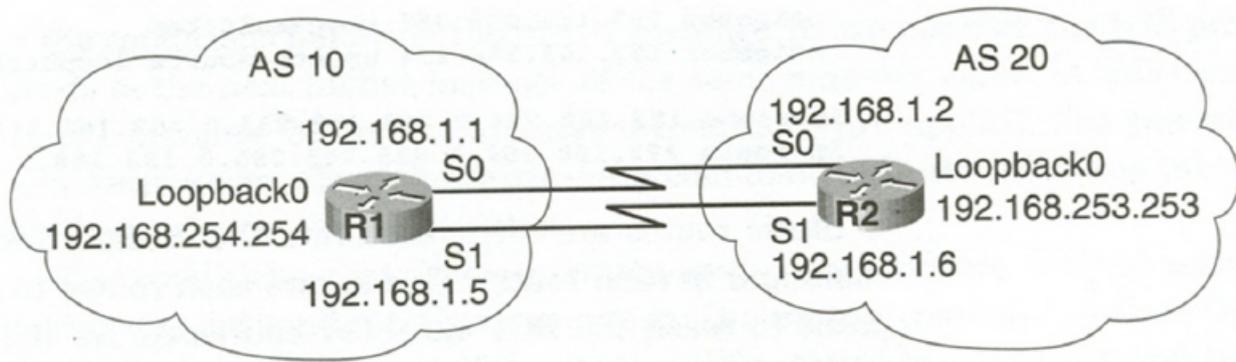
Το παρακάτω παράδειγμα ρύθμισης αναλύει όσα βλέπουμε στο Σχήμα 9:

Ρύθμιση δρομολογητή R1:

```

ip subnet-zero
 !
interface serial 0
 ip address 192.168.1.1 255.255.255.252
 !
interface serial 1
 ip address 192.168.1.5 255.255.255.252
 !
interface loopback 0
 ip address 192.168.254.254 255.255.255.252
 !
router bgp 10
 network 192.168.254.0
 neighbor 192.168.253.253 remote-as 20

```



Σχήμα 9

Θέση σε ισχύ του ισοζυγίσματος φόρτου μέσω παράλληλων συνδέσεων χρησιμοποιώντας το EBGP multihop και loopback interfaces.

```
neighbor 192.168.253.253 ebgp-multihop
neighbor 192.168.253.253 update-source loopback 0
!
ip route 192.168.253.0 255.255.255.0 192.168.1.2
ip route 192.168.253.0 255.255.255.0 192.168.1.6
```

Ρύθμιση δρομολογητή R2:

```
ip subnet-zero
!
interface serial 0
 ip address 192.168.1.2 255.255.255.252
!
interface serial 1
 ip address 192.168.1.6 255.255.255.252
!
interface loopback 0
 ip address 192.168.253.253 255.255.255.252
!
router bgp 20
 network 192.168.253.0
 neighbor 192.168.254.254 remote-as 10
 neighbor 192.168.254.254 ebgp-multihop
 neighbor 192.168.254.254 update-source loopback 0
!
ip route 192.168.254.0 255.255.255.0 192.168.1.1
ip route 192.168.254.0 255.255.255.0 192.168.1.5
```

Οι στατικές διαδρομές εισάγονται στη ρύθμιση με την εκτέλεση της εντολής `ip route` σε κάθε δρομολογητή. Αυτό επιτρέπει σε κάθε δρομολογητή να δημιουργήσει δυο μονοπάτια ίσου κόστους (equal cost), προκειμένου να φτάσει στις διευθύνσεις των BGP γειτόνων. Για να δημιουργηθεί μονοπάτι ίσου κόστους, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και IGP.

3.5 Έλεγχος πληροφοριών δρομολόγησης με χρήση Χαρτών Δρομολόγησης (Route Maps)

Η εντολή ρύθμισης **route-map** χρησιμοποιείται στο περιβάλλον του BGP για να ορίσει τις συνθήκες αναδιανομής των πληροφοριών δρομολόγησης σε άλλα πρωτόκολλα δρομολόγησης ή για να ελέγξει τις εισερχόμενες και τις εξερχόμενες πληροφορίες δρομολόγησης, που φτάνουν από τα BGP αυτόνομα συστήματα. Ο τύπος της εντολής είναι:

```
route-map map-tag [[permit | deny] | [sequence-number]]
```

Η τιμή της μεταβλητής *map-tag* είναι ένα όνομα σχετικό με το χάρτη δρομολόγησης. Στο δρομολογητή μπορούν να δοθούν περισσότερες από μια περιπτώσεις (instances) της ίδια τιμής στη μεταβλητή *map-tag*. Η τιμή της μεταβλητής *sequence-number-variable* ορίζει τη θέση καταχώρησης του χάρτη δρομολόγησης στη λίστα με τους χάρτες (δρομολόγησης) που ρυθμίζονται βάσει της ίδιας τιμής στη μεταβλητή *map-tag*.

Για παράδειγμα, η επόμενη ρύθμιση αναγνωρίζει έναν μόνο χάρτη δρομολόγησης με το όνομα MAP1 με δύο περιπτώσεις. Η πρώτη περίπτωση καθορίζεται από τον αριθμό συχνότητας 10, ενώ η δεύτερη από τον αριθμό 20.

```
route-map MAP1 permit 10
```

-
-
-

```
route-map MAP1 permit 20
```

-
-
-
-

Όσα δηλώνονται μετά την εντολή *route-map* περιγράφουν το σύνολο των συνθηκών που εφαρμόζονται στο *sequence-number* του *map-tag*.

Σε αυτό το παράδειγμα, αν δεν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες για την περίπτωση 10 του MAP1, το IOS προχωρά στην αμέσως επόμενη περίπτωση με την ίδια τιμή στη μεταβλητή *map-tag*. Εκεί εφαρμόζεται η περίπτωση 20 του MAP1, καθώς και οι σχετικές συνθήκες. Οι λέξεις-κλειδιά **permit** και **deny** της εντολής **route-map** δηλώνουν την ενέργεια που εκτελείται επί των πληροφοριών δρομολόγησης.

Οι συνθήκες μετά από μια εντολή **route-map** ορίζονται με την εκτέλεση των ρυθμιστικών (configuration) εντολών **match** και **set**. Η εντολή **match** ορίζει τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία αποφασίζεται το ποιες πληροφορίες δρομολόγησης είναι προς επεξεργασία (δηλ. μας ενδιαφέρει ο έλεγχός τους έτσι ώστε να επιτευχθεί η προώθησή τους ή η ανακοπή τους προς τον επόμενο δρομολογητή ή και η τροποποίησή τους), ενώ η εντολή **set** ορίζει την ενέργεια που εκτελείται επί των πληροφοριών δρομολόγησης (προώθηση, ανακοπή και τροποποίηση). Για παράδειγμα, αν οι συνθήκες του χάρτη δρομολόγησης είναι :

```
match ip address 10.1.20.100
set metric 10
```

και η λέξη-κλειδί **permit** αναφέρεται στην εντολή **route-map**, οι διαδρομές αναδιανέμονται ή ελέγχονται σύμφωνα με την εντολή **set** που εκτελείται μετά την εντολή **match**. Σε αυτήν την περίπτωση, το *metric* των πληροφοριών δρομολόγησης ρυθμίζεται στο 10. Αν η εντολή **route-map** έχει ενεργοποιημένη τη λέξη-κλειδί **deny**, η διαδρομή δεν αναδιανέμεται, ούτε και ελέγχεται, και το IOS βγαίνει από τη λίστα. Από την άλλη, αν δεν γίνεται **match** καθόλου (δηλ. δεν ικανοποιείται κάποιο

κριτήριο και επομένως η εντολή `match` δεν βρίσκει κάτι να “ταιριάξει”) και ορίζεται ένα από τα `permit` ή `deny` στην εντολή `route-map`, τότε εξετάζεται η επόμενη περίπτωση του `route-map`. Αυτή η εξέταση συνεχίζεται ώσπου να βρεθεί `match` σε κάποια περίπτωση (instance) της λίστας. Σε περίπτωση τώρα που δε βρεθεί αντιστοιχία (match) στην λίστα, η διαδρομή δε γίνεται αποδεκτή, ούτε και προωθείται.

Να σημειωθεί εδώ πως το `route-map`, όταν χρησιμοποιείται για το φιλτράρισμα των ενημερώσεων του πρωτοκόλλου BGP (αντί της αναδιανομής μεταξύ των πρωτοκόλλων), δεν μπορεί να φιλτράρει τις εισερχόμενες πληροφορίες όταν χρησιμοποιούμε την εντολή `match` έτσι ώστε να ελέγξει μια διεύθυνση IP. Επιτρέπεται δηλαδή μόνο το φιλτράρισμα των εξερχόμενων πληροφοριών όταν χρησιμοποιείται η εντολή `match` για μια IP διεύθυνση. Επίσης οι λειτουργίες `route-map` διατίθενται σε όλα τα άλλα πρωτόκολλα δρομολόγησης (δηλ. είναι γενική εντολή, όπως για παράδειγμα και η `passive interface`).

Στον Πίνακα 1 παρατίθενται όλες οι συνθήκες `match` και `set` που είναι διαθέσιμες όταν χρησιμοποιείται η `configuration` εντολή `route-map` για την αναδιανομή των διαδρομών του BGP και τον έλεγχο των πληροφοριών δρομολόγησης.

Στο παρακάτω παράδειγμα ρύθμισης δρομολογητή, έχουμε μια τυπική ρύθμιση, όπου ένα ΑΣ χρησιμοποιεί ένα IGP, το πρωτόκολλο RIP (Routing Information Protocol), ενώ η σύνδεση με άλλο ΑΣ γίνεται με τη χρήση του πρωτοκόλλου BGP. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 10, οι δρομολογητές R1 και R2 χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο RIP εντός του ΑΣ στο οποίο ανήκουν. Ο δρομολογητής R2 του ΑΣ 100 και ο δρομολογητής R3 του ΑΣ 200 χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο BGP για την ενημέρωση των πληροφοριών δρομολόγησης. Ο δρομολογητής R2 αναδιανέμει τις ενημερώσεις του BGP, τις οποίες λαμβάνει από το δρομολογητή R3, στο RIP (το οποίο “τρέχει” στον R2) για διανομή στο δρομολογητή R1. Αν οι διαδρομές προς το δίκτυο 172.16.0.0 ευνοούνται από τη διέλευσή τους μέσα από το δρομολογητή R2 εις βάρος κάποιας άλλης σύνδεσης, μπορούμε να ορίσουμε την τιμή του `metric` ίση με 2 για τις ενημερώσεις δρομολόγησης που αφορούν διαδρομές που σχετίζονται με το δίκτυο 172.17.0.0 (δηλ. πακέτα IP που αφορούν αυτό το δίκτυο και “κατευθύνονται” προς το 172.16.0.0) του R3 και την τιμή 10 σε όλες τις άλλες διαδρομές που δεν αφορούν αυτό το δίκτυο.

Με αυτόν τον τρόπο τα `updates` που στέλνει ο R3 προς τον R2 για το δίκτυο 172.17.0.0 τού πρώτου, τα λαμβάνει ο R2 και θέτει (σ’ αυτές τις διαδρομές) ως τιμή για το `metric` τους το 2. Έτσι καθιστά τον εαυτό του πιο προτιμητέο για δρομολόγηση των πακέτων που προέρχονται από το δίκτυο 172.17.0.0 (αφού γνωρίζει αυτή την διαδρομή με μικρό `metric=2`), και λιγότερο προτιμητέο για όλες τις άλλες διαδρομές (αφού αυτές τώρα τις γνωρίζει με ένα σχετικά μεγάλο `metric` που ισούται με 10). Κατά συνέπεια δεν ευνοούνται όλες οι άλλες διαδρομές από την διέλευσή τους από τον R2 προς το δίκτυο 172.16.0.0. εκτός αυτών που αφορούν το 172.17.0.0.

Οι ακόλουθες διευθετήσεις δρομολόγησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ολοκλήρωση της ρύθμισης των `metrics` που συζητήθηκαν παραπάνω. Οι ρυθμίσεις φανερώνουν μόνο τις σχετικές με τη διαμόρφωση της διαδρομής εντολές:

Ρύθμιση για το δρομολογητή R2 στο Σχήμα 10:

```
R2#
router rip
  network 172.16.0.0
  network 172.18.0.0
  network 172.20.0.0
  passive-interface Serial 0
  redistribute bgp 100 route-map METRIC2
router bgp 100
  neighbor 172.18.2.3 remote-as 200
  network 172.20.0.0
route-map METRIC2 permit 10
  match ip-address 1
  set metric 2
```

Πίνακας 1

Οι εντολές “match” και “set” για την εντολή διαμόρφωσης route-map

<i>“match” on</i>	<i>“set” Variable</i>
<i>match as-path</i>	<i>set as-path</i>
<i>match community</i>	<i>set clns</i>
<i>match clns</i>	<i>set automatic-tag</i>
<i>match interface</i>	<i>set community</i>
<i>match ip address</i>	<i>set interface</i>
<i>match ip next-hop</i>	<i>set default interface</i>
<i>match ip route-source</i>	<i>set ip default next-hope</i>
<i>match metric</i>	<i>set level</i>
<i>match route-type</i>	<i>set local-preference</i>
<i>match tag</i>	<i>set metric</i>
	<i>set metric-type</i>
	<i>set next-hop</i>
	<i>set origin</i>
	<i>Set tag</i>
	<i>set weight</i>

```
route-map METRIC2 permit 20
  set metric 10
access list 1 permit 172.17.0.0 0.0.255.255
```

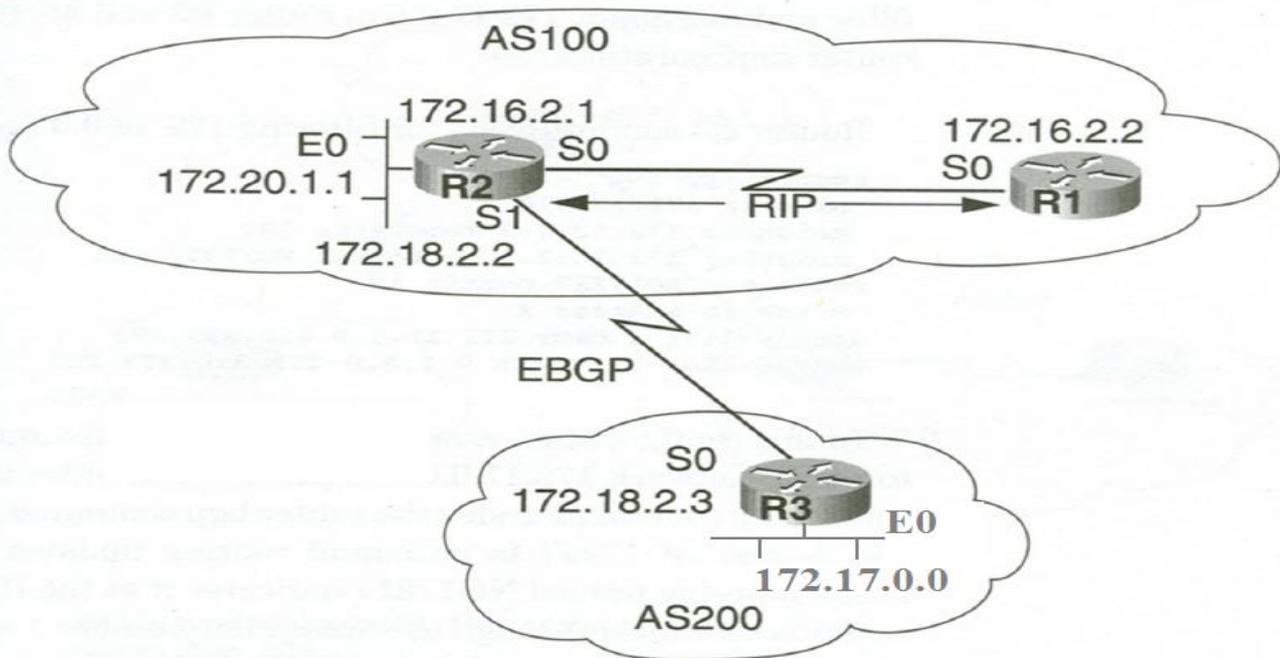
Σε αυτό το παράδειγμα, η πρώτη περίπτωση του METRIC2 χρησιμοποιεί τη λίστα πρόσβασης 1 (access list 1) για να βρει τις κατάλληλες συνθήκες και να ρυθμίσει το metric στο 2. Αν η διαδρομή ταιριάζει με τη διεύθυνση IP 172.17.0.0, θα “χαρακτηριστεί” η διαδρομή με μια τιμή για το metric της που ισούται με την τιμή 2, και στην συνέχεια το IOS να βγει (break out) από τη λίστα. Αν όμως η διαδρομή δεν ταιριάζει (είναι διάφορη δηλαδή των IP που περιλαμβάνονται στο δίκτυο 172.17.0.0) γίνεται σύγκριση με την επόμενη σειρά (instance) της route-map.

Σε αυτή την περίπτωση, γίνεται σύγκριση με τη σειρά 20. Η σειρά 20 του METRIC2 δεν διαθέτει εντολή match, και γι’ αυτό τον λόγο προσφέρει μια default τιμή για το metric - που ισούται με 10 - για όλες τις άλλες διαδρομές που δεν παρέχουν πληροφορίες δρομολόγησης για το δίκτυο 172.17.0.0. Το συγκεκριμένο παράδειγμα καταδεικνύει ακόμη την ανάγκη να γνωρίζουμε τι θα συμβεί στην περίπτωση που οι πληροφορίες της διαδρομής δεν ταιριάζουν σε κανένα υποθετικό κριτήριο. Αν δεν συμπεριλαμβανόταν και μια δεύτερη εναλλακτική περίπτωση (στην περίπτωσή μας η instance 20) για όλες τις άλλες διαδρομές, αυτές θα είχαν διακοπεί και δε θα είχαν προωθηθεί σε κανέναν άλλο δρομολογητή.

Από τη στιγμή που δεν είναι εφικτή η αντιστοίχιση (το matching) σε διευθύνσεις IP για εισερχόμενες ενημερώσεις, πρέπει να τίθενται σε ισχύ οι εξερχόμενοι χάρτες δρομολόγησης (outbound route maps). Στο παραπάνω παράδειγμα, οι ενημερώσεις δρομολόγησης για το 172.17.0.0 φιλτράρονται από το ΑΣ 100 με την εφαρμογή ενός εξερχόμενου χάρτη στο δρομολογητή R3. Χρησιμοποιώντας την ίδια τοπολογία με το Σχήμα 10, ο δρομολογητής R3 μπορεί να φιλτράρει ενημερώσεις σχετικά με το 172.17.0.0 προς το δρομολογητή R2 και προς το ΑΣ 100, με τις εξής ρυθμίσεις στο δρομολογητή:

Ρύθμιση του δρομολογητή R3 για το φιλτράρισμα των ενημερώσεων των σχετικών με το δίκτυο 172.17.0.0 προς το ΑΣ 100:

```
router bgp 200
  network 172.17.0.0
```



Σχήμα 10

Χρήση συνθηκών route-map για την θέση των metrics στις προς αναδιανομή RIP διαδρομές.

```
neighbor 172.18.2.2 remote-as 100
neighbor 172.18.2.2 route-map N017217 out
route-map N017217 permit 10
match ip-address 1
access-list 1 deny 172.17.0.0 0.0.255.255
access-list 1 permit 0.0.0.0 255.255.255.255
```

Σε αυτό το παράδειγμα ρύθμισης, η IP λίστας πρόσβασης με αριθμό 1 αρνείται την προώθηση πληροφοριών δρομολόγησης σχετικών με το IP δίκτυο 172.17.0.0 και επιτρέπει την προώθηση οποιουδήποτε άλλου δικτύου. Η εντολή `neighbor route-map` κάτω από την εντολή `router bgp` εφαρμόζει την ετικέτα `route-map` με το όνομα `N017217` για εξερχόμενες ενημερώσεις δρομολόγησης. Η εντολή `route-map` με ετικέτα `N017217` υποδηλώνει ότι το IOS θα πραγματοποιήσει τις ενημερώσεις δρομολόγησης που κατορθώνουν να περάσουν από την λίστα πρόσβασης με αριθμό 1. Για παράδειγμα, αν το δίκτυο 10.0.0.0 βρίσκεται στο ΑΣ 200 και μια διαδρομή γι' αυτό το δίκτυο αποστέλλεται στο δρομολογητή R2 στο ΑΣ 100, η λίστα πρόσβασης 1 στο δρομολογητή R3 θα επέτρεπε τη διαδρομή, και τότε η εντολή `route-map` θα επέτρεπε την αποστολή της διαδρομής στο γείτονα δρομολογητή BGP R2 στη διεύθυνση 172.18.2.2, εντός του ΑΣ 100.

3.6 Αναδιανομή των διαδρομών IGP στο πρωτόκολλο BGP

Οι πληροφορίες δρομολόγησης των Πρωτοκόλλων Εσωτερικών Πυλών (IGPs) όπως τα IGRP, RIP, OSPF και EIGRP μπορούν να διακινηθούν (εκπεμφθούν) με τη χρήση BGP μέσω της αναδιανομής διαδρομής (Route Redistribution). Αυτό σημαίνει ότι οι εσωτερικές διαδρομές του αυτόνομου συστήματός σας θα γίνονται γνωστές προς τα άλλα ΑΣ ως διαδρομές BGP. Σε ορισμένες περιπτώσεις, κάτι τέτοιο μπορεί να προκαλέσει διπλασιασμό των διαδρομών, αφού το BGP ίσως έχει ήδη ενημερωθεί για αυτές τις IGP διαδρομές. Σε αυτήν την περίπτωση, με τη χρήση φίλτρων μπορούμε να αποφύγουμε

το διπλασιασμό των διαδρομών που εκπέμπονται προς το διαδίκτυο, καθώς και να ενεργοποιήσουμε τη διακίνηση μόνο των απαιτούμενων διαδρομών.

Στο Σχήμα 11, παρατηρούμε τρία ΑΣ στα οποία: ο δρομολογητής R1 στο ΑΣ 100 γνωστοποιεί το 192.168.1.0 και ο δρομολογητής R2 το δίκτυο 172.22.0.0. Χρησιμοποιώντας ενδεικτικά τον R3, ο δρομολογητής χρησιμοποιεί το EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) ως πρωτόκολλο εσωτερικών πυλών και αναδιανέμει τις διαδρομές EIGRP στο BGP ΑΣ 200.

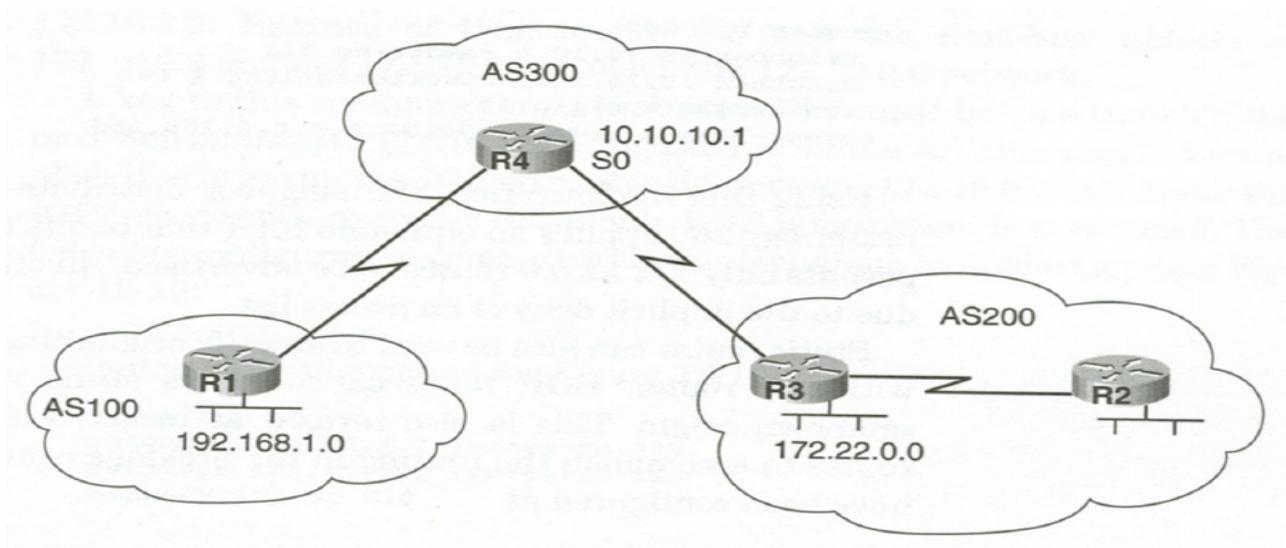
Η ρύθμιση του δρομολογητή R3 με τη χρήση μόνο της εντολής network για το ΑΣ είναι η εξής:

```
router eigrp 10
network 172.22.0.0
redistribute bgp 200
default-metric 1000 100 250 100 1500 (1)
router bgp 200
neighbor 10.10.10.1 remote-as 300
network 172.22.0.0 mask 255.255.0.0
```

Χρησιμοποιώντας μόνο την εντολή network κάτω από τον ορισμό του δρομολογητή bgp (router bgp 200), περιορίζονται τα δίκτυα που ξεκινούν από το ΑΣ 200 στο 172.22.0.0. Παρ' όλα αυτά, με την εφαρμογή της εντολής redistribute κάτω από τον ορισμό router bgp, όπως φαίνεται παρακάτω

```
router eigrp 10
network 172.22.0.0
redistribute bgp 200
default-metric 1000 100 250 100 1500
router bgp 200
neighbor 10.10.10.1 remote-as 300
redistribute eigrp 10
```

το 192.168.1.0, γνωστό ήδη από το EIGRP, μετατρέπεται σε διαδρομή τύπου BGP (την οποία ο δρομολογητής R3 θα εκπέμψει πλέον ως δικιά του BGP διαδρομή). Από την στιγμή όμως που το ΑΣ 200 δεν είναι η πηγή της διεύθυνσης, χρειάζονται φίλτρα, προκειμένου να αποτρέψουμε την εμφάνιση του δικτύου 192.168.1.0 ως προερχόμενο από το ΑΣ 200. Αυτό πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας λίστες πρόσβασης. Η ακόλουθη ρύθμιση για το δρομολογητή R3 του σχήματος 11 απεικονίζει τη χρήση του φίλτρου, προς επίτευξη της αναδιανομής της διαδρομής χωρίς να θέτουμε ως πηγή τού 192.168.1.0 το ΑΣ 200.



Σχήμα 11

Χρήση αναδιανομής διαδρομής μεταξύ των EIGRP και BGP

Ρύθμιση του δρομολογητή R3 με χρήση φίλτρων σε λίστες πρόσβασης για αναδιανομή διαδρομής:

```
router eigrp 10
 network 172.22.0.0
 redistribute bgp 200
 default-metric 1000 100 250 100 1500
router bgp 200
 neighbor 10.10.10.1 remote-as 300
 neighbor 10.10.10.1 distribute-list 1 out
 redistribute eigrp 10
 access-list 1 permit 172.22.0.0 0.0.255.255
```

Χρησιμοποιώντας αυτή τη διευθέτηση, με την εντολή neighbor-distribute list κάτω από το router bgp 200 εφαρμόζεται ένα φίλτρο εξερχόμενων πληροφοριών, το οποίο δείχνει προς τη λίστα πρόσβασης 1, η οποία επιτρέπει την γνωστοποίηση μόνο των διαδρομών 172.22.0.0. Όλες οι άλλες διαδρομές δε γίνονται δεκτές, λόγω της ιδιότητας της απόλυτης απόρριψης (implicit deny) μιας λίστας πρόσβασης, η οποία αρνείται το πέρασμα όλων των άλλων διαδρομών εκτός αυτών που αναφέρονται ρητά μετά την έκφραση “permit”.

(1) : Όταν αναδιανέμουμε διαδρομές από τα BGP, OSPF, ή RIP προς τα EIGRP ή IGRP, είναι αναγκαία μια δήλωση τύπου **default metric**. Και αυτό διότι τα πρωτόκολλα δρομολόγησης EIGRP και IGRP χρησιμοποιούν πέντε metrics (αντί του ενός των άλλων πρωτοκόλλων) οι τιμές των οποίων πρέπει να δηλωθούν κατά την αναδιανομή. Αυτά τα metrics ως γνωστόν προσδιορίζουν το κατά πόσο είναι αποδοτική ή λειτουργική μια διαδρομή προς ένα προορισμό. Καταγράφονται δηλαδή με αυτόν τον τρόπο και επισυνάπτονται σε κάθε μία διαδρομή ξεχωριστά, οι κατάλληλες πληροφορίες σχετικά με το πόσο συμφέρουσες ή σε ευκαιρία είναι οι διάφορες διαδρομές προς ένα προορισμό, με τα κατάλληλα metrics. Σε αυτήν την περίπτωση, μέσω της εντολής default metric, παρέχεται ένας μηχανισμός θέσης προεπιλεγμένων τιμών στα διάφορα metrics αυτών των πρωτοκόλλων, κατά την αναδιανομή των διαδρομών από τα άλλα πρωτόκολλα δρομολόγησης προς αυτά.

Το format της εντολής είναι όπως παρατίθεται παρακάτω :

default-metric bandwidth delay reliability loading mtu

Η μεταβλητή **bandwidth** καθορίζει το μέγιστο εύρος σε kilobits ανά δευτερόλεπτο που μπορεί να επιτευχθεί από τους δρομολογητές σε όλη την διαδρομή. Το εύρος τιμών είναι από 0 έως οποιονδήποτε θετικό ακέραιο.

Η μεταβλητή **delay** μετριέται σε δέκατα του εκατομμυριοστού του δευτερολέπτου και αφορά καθυστερήσεις κατά την προώθηση πακέτων IP στην διαδρομή. Και εδώ το εύρος τιμών είναι από 0 έως οποιονδήποτε θετικό ακέραιο.

Η μεταβλητή **reliability** καταδεικνύει την ικανότητα της διαδρομής στην επιτυχή προώθηση πακέτων IP. Το εύρος τιμών είναι από 0 έως 255. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή, τόσο πιο αξιόπιστη είναι η διαδρομή.

Η μεταβλητή **loading** καταδεικνύει το διαθέσιμο bandwidth, ή το ποσοστό επί της εκατό, της διαδρομής. Το εύρος τιμών του loading είναι μεταξύ 0 και 255, με το 255 να δείχνει ότι το bandwidth στην διαδρομή είναι κορεσμένο ή 100% σε χρήση.

Η τελευταία μεταβλητή είναι η **mtu** (maximum transmission unit – μέγιστη μονάδα μετάδοσης) και αφορά το μέγιστο μέγεθος της μονάδας μεταφοράς που επιτρέπεται στην διαδρομή, μετρημένο σε bytes. Και εδώ το εύρος τιμών είναι από 0 έως οποιονδήποτε θετικό ακέραιο.

Να σημειωθεί εδώ επίσης το ότι μόνο οι απευθείας συνδεδεμένες και οι στατικές διαδρομές μπορούν να αναδιανεμηθούν χωρίς την δήλωση ενός default metric.

Ακόμα, μια μέθοδος για να δηλώσουμε από πού (πιο ΑΣ) πηγάζουν τα δίκτυα ή υποδίκτυα είναι η χρήση των στατικών διαδρομών. Παρ' όλα ταύτα, το BGP λαμβάνει ως δεδομένο ότι οι στατικές διαδρομές είναι αγνώστου προελεύσεως (unknown origin). Δηλαδή, όταν αναδιανέμουμε μια στατική διαδρομή εντός του BGP η πηγή (origin) της διαδρομής θεωρείται ότι είναι ημιτελής. Αυτή η κατάσταση ονομάζεται και «ατελής προέλευση» και υποδηλώνεται με ένα “?” στον πίνακα δρομολόγησης. Στο προηγούμενο παράδειγμα, με τη χρήση στατικών διαδρομών για την επίτευξη της δρομολόγησης, ο δρομολογητής R3 θα είχε ρυθμιστεί ως εξής :

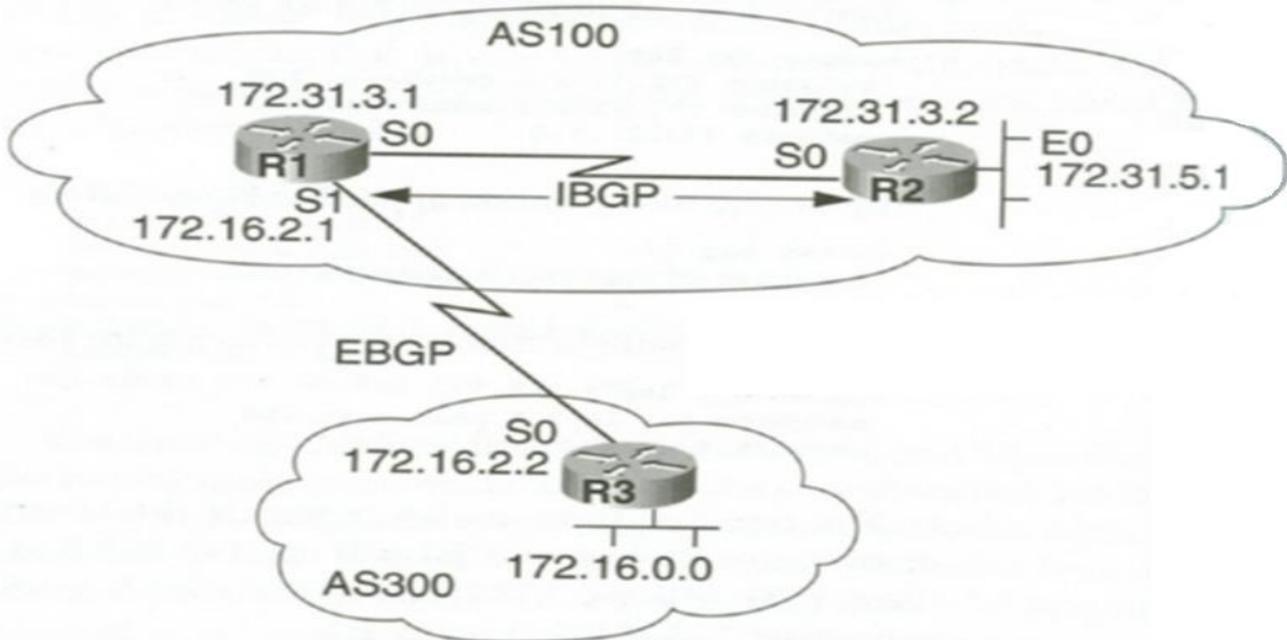
```
router eigrp 10
 network 172.22.0.0
 redistribute bgp 200
 default-metric 1000 100 250 100 1500
router bgp 200
 neighbor 10.10.10.1 remote-as 300
 redistribute static
 ip route 172.22.0.0 255.255.255.0 null0
```

Η στατική διαδρομή που ορίστηκε χρησιμοποιώντας την εντολή ip route, εξαναγκάζει τη διαδρομή να καταχωρηθεί στον πίνακα δρομολόγησης. Όμως, τα πραγματικά πακέτα απορρίπτονται, επειδή η διαδρομή “δείχνει” προς τον δίαυλο επικοινωνίας (interface) null0. Όλη αυτή η διαδικασία αποτελεί μια μέθοδο, με την οποία μπορεί σίγουρα να γνωστοποιηθεί ένα υπερδίκτυο (supernet) στους άλλους BGP δρομολογητές. Σημειωτέον το ότι οι διαδρομές που παράγονται με τις παραπάνω μεθόδους είναι στην πραγματικότητα διαδρομές επιπρόσθετες εκείνων των BGP διαδρομών οι οποίες έγιναν γνωστές διαμέσου των updates των γειτόνων BGP (εσωτερικών ή εξωτερικών). Με τη χρήση των εντολών redistribution, static ή network, δημιουργούνται διαδρομές οι οποίες εμφανίζονται ως προερχόμενες από το ΑΣ του δρομολογητή στον οποίο έγινε ένας τύπος διευθέτησης από τους τρεις παραπάνω. Στο παράδειγμα που αναφέρθηκε για τον δρομολογητή R3, αυτό επιτυγχάνεται για τις διαδρομές εκείνες οι οποίες τώρα φαίνονται ότι πηγάζουν από το ΑΣ 200.

3.7 Ιδιότητα Nexthop και Δίκτυα Multiaccess/NBMA

Στο Σχήμα 12, δύο αυτόνομα συστήματα συνδέονται μέσω των δρομολογητών R1 και R3. Η διεύθυνση next-hop (η διεύθυνση του δρομολογητή που είναι ένα βήμα - hop - πιο κοντά στον προορισμό) είναι πάντοτε η IP διεύθυνση που ορίζουμε στην εντολή neighbor για τις EBGP συνδέσεις. Στο Σχήμα 12, ο δρομολογητής R3 χρησιμοποιεί το 172.16.2.2 ως διεύθυνση next-hop, όταν γνωστοποιεί τη διαδρομή 172.16.0.0 στο δρομολογητή R1. Ο τελευταίος χρησιμοποιεί τη διεύθυνση next-hop 172.16.2.1, όταν γνωστοποιεί το δίκτυο 172.31.0.0 στο δρομολογητή R3. Όσον αφορά την λειτουργία του πρωτοκόλλου IBGP, είναι απαραίτητο το next-hop που γνωστοποιείται από το EBGP να μεταφέρεται μέσα στο IBGP. Αυτό αναγκάζει το δρομολογητή R1 να γνωστοποιεί το 172.16.0.0 στο δρομολογητή R2, τον ομότιμο IBGP δρομολογητή του, με next-hop το 172.16.2.2. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος, ο δρομολογητής R2 χρησιμοποιεί ως διεύθυνση για next-hop του την 172.16.2.2 και όχι την 172.31.3.1, για να φτάσει στο δίκτυο 172.16.0.0.

Είναι βασικό σε αυτή τη ρύθμιση να μπορεί ο δρομολογητής R2 να φτάσει τη διεύθυνση next-hop 172.16.2.2 χρησιμοποιώντας το IGP πρωτόκολλο του ΑΣ 100. Ένας τρόπος για να συμβεί αυτό είναι να υλοποιήσει ο R1 το πρωτόκολλο IGP στο 172.16.0.0 δίκτυό του από την μία, και από την άλλη να κάνουμε τη σύνδεση IGP του R1 προς τον δρομολογητή R3 passive (με την εντολή passive interface S1, στον R1), ώστε να ανταλλάσσονται μόνο πληροφορίες BGP μεταξύ των R1 και R3 (και όχι πληροφορίες τύπου IGP). Η παρακάτω ρύθμιση δείχνει αυτήν την τεχνική όπως εφαρμόζεται για το Σχήμα 12:



Σχήμα 12

Εκχώρηση της ιδιότητας next-hop στη διευθέτηση των δρομολογητών BGP.

Ρύθμιση δρομολογητή R1 για το Σχήμα 12:

```
router bgp 100
  neighbor 172.16.2.2 remote-as 300
  neighbor 172.31.5.1 remote-as 100
  network 172.31.0.0
```

Ρύθμιση δρομολογητή R2 για το Σχήμα 12:

```
router bgp 100
  neighbor 172.31.3.1 remote-as 100
```

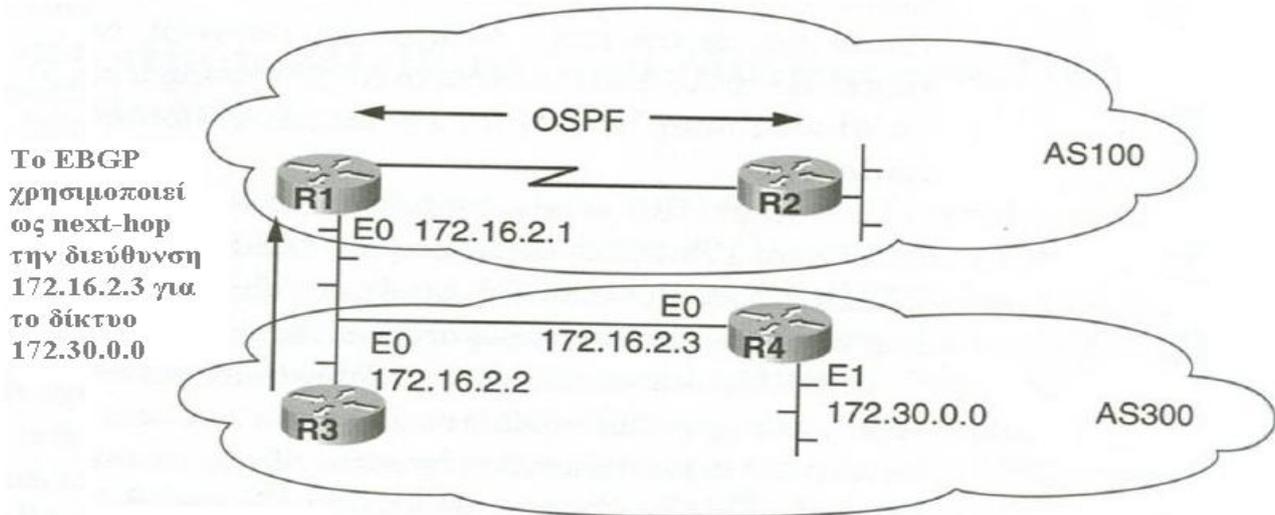
Ρύθμιση δρομολογητή R3 για το Σχήμα 12:

```
router bgp 300
  neighbor 172.16.2.1 remote-as 100
  network 172.16.0.0
```

Το αποτέλεσμα αυτών των ρυθμίσεων είναι η γνωστοποίηση του 172.16.0.0 από το δρομολογητή R3 στον R1. Ο δρομολογητής R1 θα χρησιμοποιήσει το 172.16.2.2 ως διεύθυνση next-hop, όταν ο δρομολογητής R1 γνωστοποιήσει το 172.16.0.0 στο δρομολογητή R2.

Στα δίκτυα πολλαπλής πρόσβασης (multiaccess networks – δίκτυα δηλ. όπως το Ethernet), όπως φαίνεται στο Σχήμα 13, ο δρομολογητής EBGP γνωστοποιεί την κανονική διεύθυνση του δρομολογητή που δημιουργεί το γνωστοποιημένο δίκτυο, αντί για το δικό του, αφού οι δρομολογητές EBGP και ο δρομολογητής-στόχος IBGP βρίσκονται όλοι στο ίδιο δίκτυο πολλαπλής πρόσβασης. Όπως δείχνει το Σχήμα 13, ο δρομολογητής R1 στο ΑΣ 100 συνδέεται με το ΑΣ 200 χρησιμοποιώντας έναν κοινό τομέα Ethernet, όπου προσαρτώνται οι δρομολογητές R3 και R4. Ο δρομολογητής R3 είναι ο ομότιμος EBGP δρομολογητής του R1.

Ο δρομολογητής R3 στέλνει BGP ενημέρωση στο δρομολογητή R1 διαμέσου της διεύθυνσής του, 172.16.2.3, για το δίκτυο 172.30.0.0, αντί για τη δική του IP διεύθυνση 172.16.2.2 που ισχύει στο κοινό Ethernet. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι να αποφευχθεί πιθανό περιττό hop στην πρόσβαση των δικτύων που δημιουργεί ο δρομολογητής R4.



Σχήμα 13

Διευθυνσιοδότηση next-hop σε multiaccess δίκτυα.

Στα δίκτυα NBMA, όπου δεν είναι διαθέσιμες οι συνδέσεις μεταξύ των BGP ΑΣ, η full-mesh δρομολόγηση (δηλαδή, σύνδεση σε πλέγμα, με επικοινωνία μεταξύ όλων των σημείων-peers) αποτυγχάνει, επειδή μερικοί από τους συνδεδεμένους με το δίκτυο NBMA δρομολογητές δεν μπορούν να φτάσουν στην next-hop IP διεύθυνση που γνωστοποιείται. Αυτό σκιαγραφείται στο Σχήμα 14.

Ο δρομολογητής R3 γνωστοποιεί μια next-hop διεύθυνση του 172.16.2.3 στο δρομολογητή R1 για το δίκτυο 172.31.0.0, το οποίο συνδέεται με το δρομολογητή R4. Ο δρομολογητής R3 γνωρίζει αυτή τη next-hop διεύθυνση, επειδή υπάρχει ένα μόνιμο νοητό κύκλωμα (Frame Relay PVC) που συνδέεται με το δρομολογητή R4. Όμως, ο δρομολογητής R1 δεν έχει τέτοιο κύκλωμα με το δρομολογητή R4 και δεν μπορεί να δρομολογήσει πακέτα στη next-hop διεύθυνση που ορίζει ο δρομολογητής R3 κατά την γνωστοποίησή του στο δίκτυο 172.31.0.0. Το λογισμικό Cisco IOS προσφέρει λύση σε αυτό το δίλημμα ενσωματώνοντας μια εντολή με το όνομα `nexthopself`.

Το χαρακτηριστικό (attribute) `nexthopself` εφαρμόζεται στην εντολή `neighbor`, όπως φαίνεται και πιο κάτω

```
neighbor {ip-address | peer-group-name} next-hop-self
```

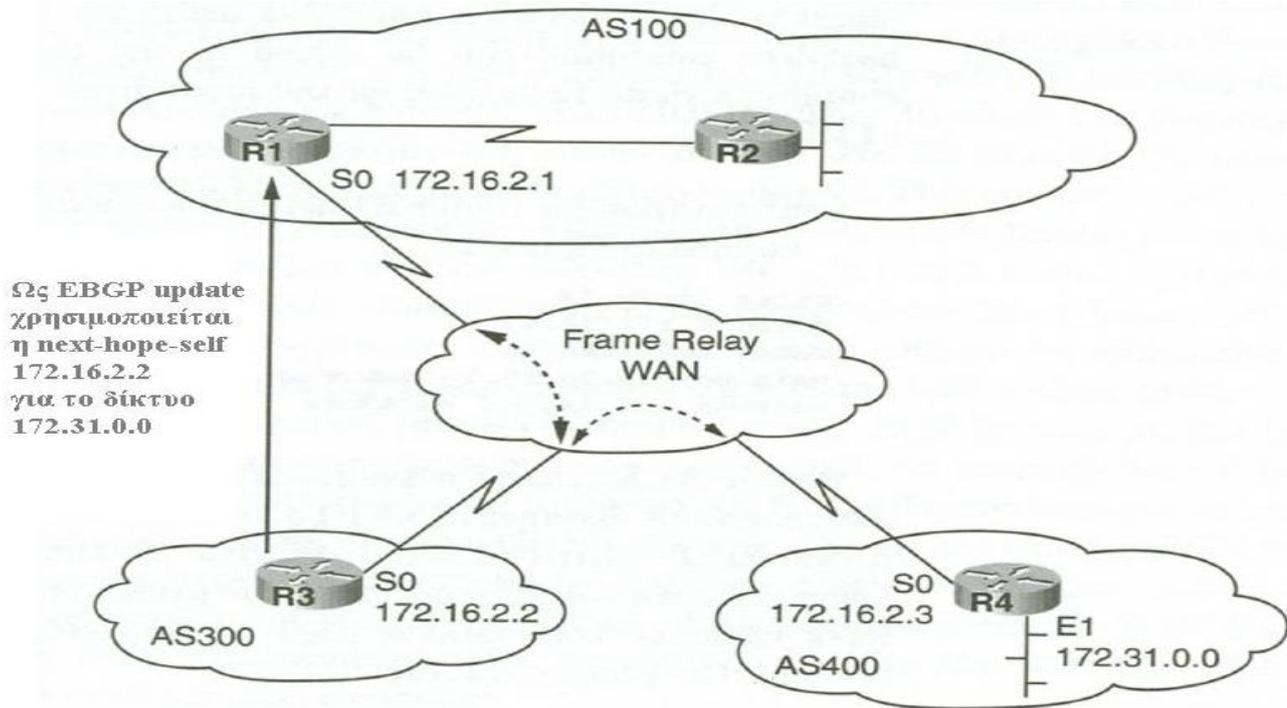
Η τιμή στην αξία της μεταβλητής `ip-address` αντιστοιχεί στην IP διεύθυνση του γείτονα. Αντί για IP διεύθυνση, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε `peer-group-name` για να προσδιορίσουμε την ομάδα των ομότιμων BGP δρομολογητών στους οποίους εφαρμόζεται αυτή η εντολή. Η εντολή είναι περισσότερο χρήσιμη σε δίκτυα NBMA, όπου οι γείτονες BGP δεν έχουν άμεση πρόσβαση ο ένας στον άλλο, ακόμη κι αν βρίσκονται στο ίδιο IP δίκτυο ή υποδίκτυο. Η χρήση της εντολής αναγκάζει το δρομολογητή να υπερβεί την κανονική `nexthop` IP διεύθυνση και την αντικαθιστά στη γνωστοποίηση με τη δική της IP διεύθυνση για το διάλυο που συνδέεται με το γείτονα που πιστοποιούν οι τιμές των `ip-address` και `peer-group-name`.

Στη ρύθμιση που παρατίθεται στο Σχήμα 14, τα παρακάτω εισάγονται στο δρομολογητή R3, ώστε να αναγνωριστεί ως next-hop διεύθυνση, στη θέση του 172.16.2.3 για το δίκτυο 172.31.0.0.

Ρύθμιση του δρομολογητή R3 όπως εφαρμόζεται στο Σχήμα 14:

```
router bgp 300
  neighbor 172.16.2.1 remote-as 100
  neighbor 172.16.2.1 next-hop-self
```

Με αυτή τη ρύθμιση, ο δρομολογητής R3 στέλνει μια ενημέρωση τύπου EBGP στο δρομολογητή R1, ορίζοντας τη δική του IP διεύθυνση, 172.16.2.2, ως next-hop διεύθυνση για το δίκτυο 172.31.0.0



Σχήμα 14

Διευθέτηση διευθυνσιοδότησης next-hop για ένα δικτυακό παράδειγμα τύπου NBMA.

κάνοντας έτσι, μ' αυτόν τον τρόπο δυνατή τη σύνδεση του ΑΣ 100 με το ΑΣ 400.

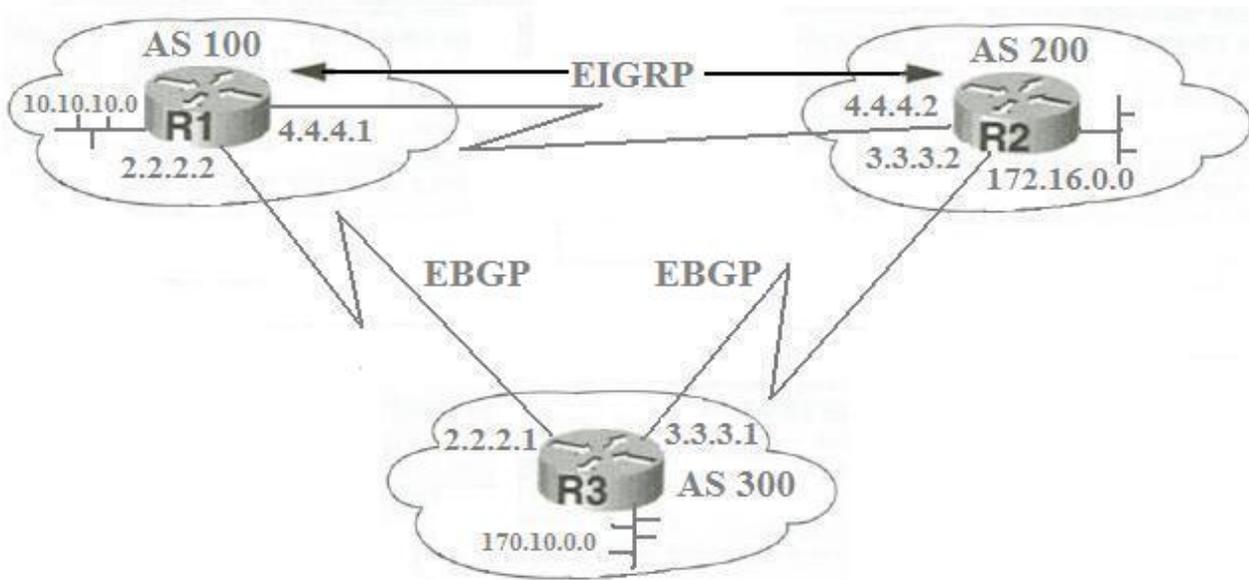
3.8 Εξαναγκάζοντας το BGP να προτιμήσει μια IGP διαδρομή χρησιμοποιώντας την εντολή Backdoor

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η συνδεσιμότητα των ΑΣ μπορεί να συνδυάζει EBGP και IGP. Στο Σχήμα 15, ο δρομολογητής R1 στο ΑΣ 100 συνδέεται με το δρομολογητή R2 στο ΑΣ 200 και χρησιμοποιεί IGP (IGRP, EIGRP, OSPF, RIP) για να δημιουργήσει πίνακες δρομολόγησης μεταξύ των δύο δικτύων. Οι δρομολογητές R1 και R2 χρησιμοποιούν αμφότεροι EBGP για τη διακίνηση πληροφοριών δρομολόγησης από και προς το δρομολογητή R3 του ΑΣ 300. Εξ' ορισμού, οι EBGP ενημερώσεις δρομολόγησης έχουν μια διαχειριστική απόσταση (administrative distance) της τάξης του 20 η οποία είναι μικρότερη – και επομένως προτιμητέα – από οποιαδήποτε IGP distance. Οι προεπιλεγμένες αποστάσεις είναι 120 για το RIP, 100 για το IGRP, 90 για το EIGRP και 110 για το OSPF. Στο Σχήμα 15, ο δρομολογητής R1 λαμβάνει δύο ενημερώσεις δρομολόγησης για το δίκτυο 172.16.0.0. Μία μέσω του IGP πρωτοκόλλου, το EIGRP, από τον R2 με administrative distance ίση με 90 και μία μέσω του BGP, από τον R3, με distance ίση με 20. Σ' αυτήν την περίπτωση ο R1 θα προτιμήσει να μάθει σχετικά για το δίκτυο 172.16.0.0. μέσω του R3, λόγω του μικρότερου distance. Αν όμως τώρα θελήσουμε να μαθαίνουμε σχετικά με το παραπάνω δίκτυο όχι από το EBGP αλλά μέσω του IGP, από τον R2, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την εντολή BGP backdoor.

Για τη διευθέτηση των backdoor διαδρομών, χρησιμοποιούμε την παρακάτω εντολή σε configuration mode :

network address backdoor

Η τιμή της μεταβλητής *address* για την εντολή ρύθμισης του backdoor δικτύου αντιστοιχεί στο IP δίκτυο το οποίο θα θέλαμε να φτάσουμε μέσω IGP. Όσον αφορά το BGP αυτό το δίκτυο θα θεωρείται ως ένα τοπικά ορισμένο δίκτυο αλλά δεν θα μεταδίδεται με BGP updates.



Σχήμα 15

EBGP και IGP δικτυακή διευθέτηση και δρομολόγηση backdoor.

Ρύθμιση του δρομολογητή R1 εφαρμόζοντας την εντολή `network backdoor` στο Σχήμα 15:

```
router eigrp 10
 network 172.16.0.0
router bgp 100
 neighbor 2.2.2.1 remote-as 300
 network 172.16.0.0 backdoor
```

Συνήθως, λόγω της χαμηλότερης τιμής στην απόσταση, η διαδρομή EBGP επιλέγεται ως προτιμώμενη διαδρομή. Επειδή, όμως τώρα η εντολή `network backdoor` χρησιμοποιείται στη ρύθμιση, η EIGRP διαδρομή γίνεται τώρα η προτιμώμενη διαδρομή.

3.9 Συγχρονισμός Διαδρομών (Synchronization of Routes)

Το πρωτόκολλο BGP δεν γνωστοποιεί καμία διαδρομή μέχρις ότου όλες οι διαδρομές εντός του ΑΣ να έχουν πληροφορηθεί για τη διαδρομή μέσω IGP. Αφότου το IGP έχει αναπαράγει τη διαδρομή σε όλους τους άλλους δρομολογητές εντός του ΑΣ, το BGP τη γνωστοποιεί στους ομότιμους εξωτερικούς δρομολογητές. Αυτό συμβαίνει κυρίως όταν η κυκλοφορία περνάει από το ένα ΑΣ στο άλλο μέσω ενός τοπικού ΑΣ. Αυτή η ιδέα απεικονίζεται στο Σχήμα 16.

Ο συγχρονισμός των BGP και IGP διαδρομών παρουσιάζεται στο Σχήμα 16. Εδώ, ο δρομολογητής R3 στο ΑΣ 300 στέλνει ενημερώσεις δρομολόγησης σχετικά με το συνδεδεμένο σε αυτόν δίκτυο, το 172.16.0.0. Οι δρομολογητές R1 και R2 χρησιμοποιούν IBGP, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στον R2 να λαμβάνει ενημερώσεις για το δίκτυο 172.16.0.0 χρησιμοποιώντας το 10.20.20.1 ως next hop, και δεν αναδιανέμουν τις διαδρομές μέσα στο IGP. Για να πλησιάσει ο R2 τη διεύθυνση next-hop 10.20.20.1, στέλνει κυκλοφορία στο δρομολογητή R5. Αυτό προξενεί προβλήματα, επειδή ο δρομολογητής R5 δεν έχει πληροφορίες για το δίκτυο 172.16.0.0. Χρησιμοποιώντας BGP συγχρονισμό, ο δρομολογητής R2 δεν γνωστοποιεί τη διαδρομή 172.16.0.0 πριν αυτή γίνει γνωστή μέσω IGP. Από εκεί και πέρα, ο δρομολογητής R2 ενημερώνει το δρομολογητή R4. Για τη διευκόλυνση της διαδικασίας, προστίθεται μια στατική διαδρομή στο δρομολογητή R2, αναγκάζοντας έτσι το δρομολογητή R2 να προσθέσει το δίκτυο 172.16.0.0 στον πίνακα δρομολόγησης IGP.

Αυτή η διαδικασία συγχρονισμού ενεργοποιείται αυτόματα κατά την λειτουργία του BGP. Όμως, σε ορισμένα σενάρια, δεν είναι αναγκαίος ο συγχρονισμός: παραδείγματος χάρη, όταν το AS δεν λειτουργεί ως μεταβατικό AS για την κυκλοφορία μεταξύ δύο άλλων αυτόνομων συστημάτων, ή όταν όλες οι διαδρομές εντός του AS εφαρμόζουν το πρωτόκολλο BGP. Σε αυτές τις περιπτώσεις, μπορεί να απενεργοποιηθεί ο συγχρονισμός, οπότε και μειώνεται ο αριθμός των διαδρομών στον πίνακα δρομολόγησης IGP, ενώ παράλληλα παρέχεται ταχύτερη σύγκλιση για το BGP. (Λέγοντας σύγκλιση εννοούμε τον χρόνο που χρειάζεται ένας δρομολογητής για να αναγνωρίσει μια αλλαγή στη τοπολογία του δικτύου, να τοποθετήσει την αλλαγή εντός του πίνακα δρομολόγησης, και έπειτα να διανεμίει τον πίνακα στους γειτονικούς δρομολογητές).

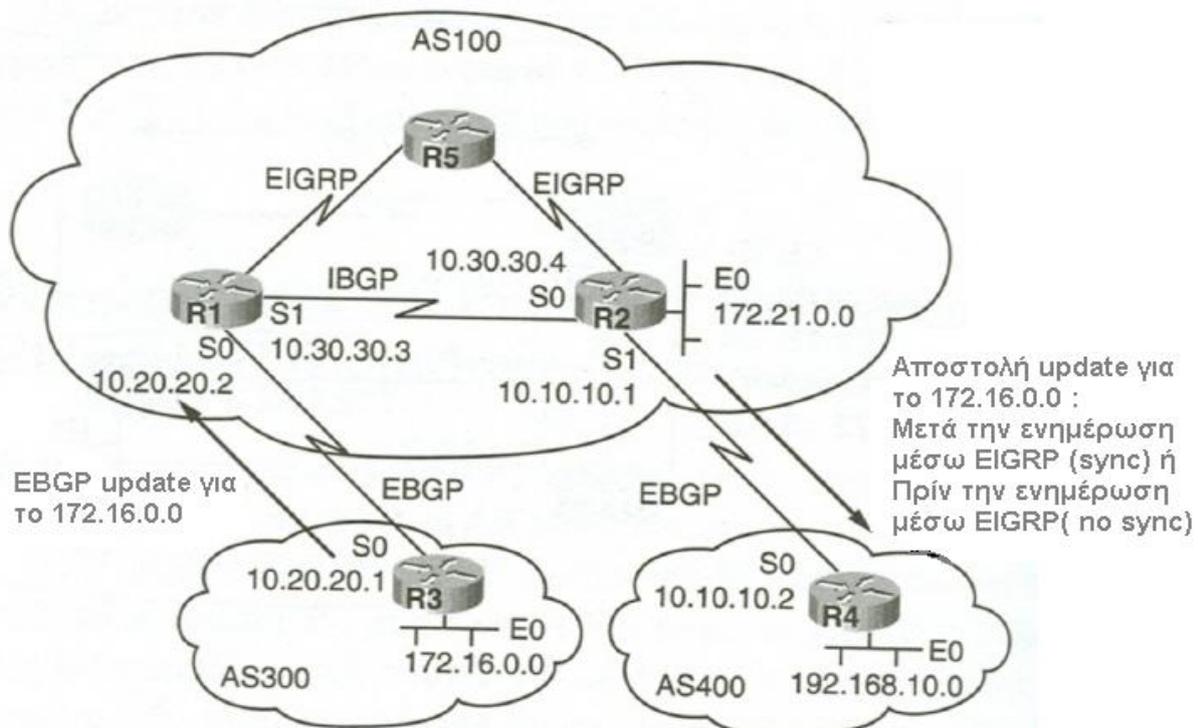
Η απενεργοποίηση του συγχρονισμού BGP επιτυγχάνεται με την εξής εντολή ρύθμισης router bgp:

no synchronization

Με αυτή την εντολή κάτω από την εντολή ρύθμισης router bgp, το BGP αποκτά τη δυνατότητα να γνωστοποιεί διαδρομές σε ομότιμους δρομολογητές, χωρίς να συγχρονίζει τη διαδρομή για το IGP. Με τη βοήθεια του Σχήματος 16 για την ακόλουθη ενδεικτική ρύθμιση, μπορούμε να προσθέσουμε την εντολή `no synchronization` στο δρομολογητή R2, ώστε να μπορεί πλέον ο R2 να βάλει το δίκτυο 172.16.0.0 στον IP πίνακα δρομολόγησης και να γνωστοποιεί στο δρομολογητή R4, δίχως να περιλαμβάνεται η διαδρομή στον IGP πίνακα δρομολόγησης.

Ρύθμιση του δρομολογητή R2 στο Σχήμα 16, για απενεργοποίηση συγχρονισμού:

```
router bgp 100
network 172.21.0.0
neighbor 10.10.10.2 remote-as 400
neighbor 10.30.30.3 remote-as 100
no synchronization
```



Σχήμα 16

Δικτυακή διευθέτηση που παρουσιάζει τον συγχρονισμό των διαδρομών.

Ρύθμιση δρομολογητή R1 για το Σχήμα 16:

```
router bgp 100
 network 172.21.0.0
 neighbor 10.30.30.4 remote-as 100
```

Ρύθμιση δρομολογητή R4 για το Σχήμα 16:

```
router bgp 400
 neighbor 10.10.10.1 remote-as 100
 network 192.168.10.0
```

Για να ενεργοποιηθεί η εντολή `no synchronization`, πρέπει να εισάγουμε την παρακάτω εντολή σε κατάσταση EXEC operator (εκτέλεσης εντολών από τον διαχειριστή), προκειμένου να μηδενιστούν οι BGP συνδέσεις στους ομότιμους δρομολογητές:

```
clear ip bgp address
```

Η τιμή της μεταβλητής `address` αντιστοιχεί στη διεύθυνση του γείτονα για την οποία γίνεται `clear` στις BGP διαδρομές. Σε αυτό το παράδειγμα, με τη διαδοχική εισαγωγή των παρακάτω εντολών γίνεται `clear` στις διαδρομές των γειτόνων και μηδενίζεται η BGP ομότιμη σύνδεση για τους δρομολογητές R1 και R4 του Σχήματος 16:

```
clear ip bgp 10.30.30.3
clear ip bgp 10.10.10.2
```

3.10 Επιλογή καλύτερου μονοπατιού με χρήση της ιδιότητας του βάρους (Weight attribute)

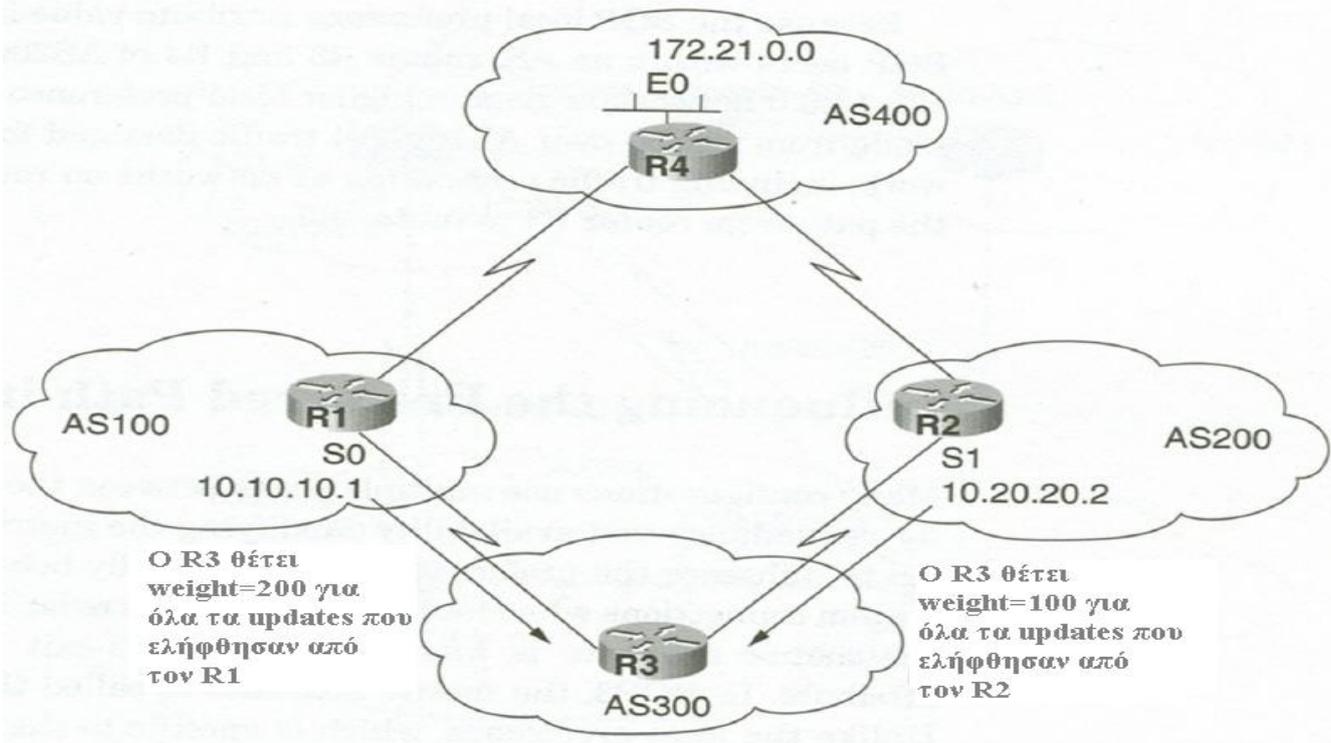
Η έκδοση 10,0 του λογισμικού Cisco IOS παρουσίασε για πρώτη φορά μια δική της BGP ιδιότητα για την αναγνώριση των προτιμώμενων μονοπατιών, όταν υπάρχουν πολλά μονοπάτια για ένα δίκτυο. Η `neighbor weight` εντολή για τη ρύθμιση `bgp` δρομολογητή έχει ως εξής:

```
neighbor {ip-address / peer-group-name} weight weight
```

Η μεταβλητή `ip-address` είναι η IP διεύθυνση του γείτονα στον οποίο εφαρμόζεται το *βάρος* (`weight`). Το `peer-group-name` χρησιμοποιείται αντί για τη μεταβλητή `ip-address` και αναγνωρίζει μια BGP ομάδα ομότιμων δρομολογητών όπου το *βάρος* εφαρμόζεται σε όλους τους γείτονες της ομάδας. Η μεταβλητή `weight` της λέξης-κλειδί `weight` κυμαίνεται από 0 έως 65,535. Προτιμάται ως μονοπάτι το βάρος με την υψηλότερη τιμή.

Συνήθως, χωρίς την κωδικοποίηση της εντολής `neighbor weight`, οι BGP διαδρομές που μαθαίνονται μέσω άλλων ομότιμων δρομολογητών BGP έχουν καθορισμένο βάρος της τάξης του 0. Οι διαδρομές που δημιουργούνται από τον τοπικό δρομολογητή έχουν ως καθορισμένο βάρος το 32,768.

Με τη βοήθεια του Σχήματος 17, ο δρομολογητής R1 ενημερώνεται για το δίκτυο 172.21.0.0 από το ΑΣ 400. Ο δρομολογητής R1 παρέχει στο δρομολογητή R3 τις εν λόγω πληροφορίες μέσω ενημερώσεων δρομολόγησης (`updates`). Επίσης, ο δρομολογητής R2 μαθαίνει για το δίκτυο 172.21.0.0 μέσω του ΑΣ 400 και στέλνει ενημερώσεις δρομολόγησης στο δρομολογητή R3. Αυτός, με τη σειρά του, διαθέτει στους δικούς του πίνακες δρομολόγησης δύο ενεργά μονοπάτια, προκειμένου να φτάσει στο δίκτυο 172.21.0.0 (ένα μέσω του R1 και ένα μέσω του R2). Θέτοντας υψηλότερο το βάρος στο δρομολογητή R3 όσον αφορά τις ενημερώσεις που λαμβάνει από τον δρομολογητή R1 αντί αυτών από



Σχήμα 17

Επιδρώντας στην επιλογή του προτιμώμενου BGP μονοπατιού χρησιμοποιώντας την neighbor weight ιδιότητα

τον δρομολογητή R2, το προτιμώμενο μονοπάτι προς το δίκτυο 172.21.0.0 για το δρομολογητή R3 είναι μέσω της ομότιμης BGP σύνδεσής του με τον δρομολογητή R1, και κατά συνέπεια ο R3 προτιμά ως next-hop διεύθυνσή του την 10.10.10.1 (αντί της 10.20.20.2). Η παρακάτω ρύθμιση δείχνει τις εντολές που χρησιμοποιούνται στο δρομολογητή R3, ώστε να φτάσει στο προτιμώμενο μονοπάτι μέσω του δρομολογητή R1:

Ρύθμιση δρομολογητή R3 για να προτιμηθεί ο R1 στο Σχήμα 17:

```
router bgp 300
neighbor 10.10.10.1 remote-as 100
neighbor 10.10.10.1 weight 200
neighbor 10.20.20.2 remote-as 200
neighbor 10.20.20.2 weight 100
```

Αυτή η ρύθμιση έχει ως αποτέλεσμα η σύνδεση από το δρομολογητή R3 προς το δρομολογητή R1 να αποτελέσει την επιλεγμένη διαδρομή, αφού το καθορισμένο βάρος έχει υψηλότερη τιμή (200) από το βάρος που εφαρμόζεται στην ομότιμη σύνδεση μεταξύ των δρομολογητών R3 και R2.

3.11 Προτιμώμενο μονοπάτι εξόδου από ένα ΑΣ

Σε πολλές τοπολογίες δικτύων, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής πολλαπλών μονοπατιών από διάφορα ΑΣ. Ένα προτιμώμενο μονοπάτι εκτός ΑΣ μπορεί να πιστοποιηθεί ως προτιμώμενο μονοπάτι με τροποποίηση της ιδιότητας local preference (τοπική προτίμηση) του BGP. Η ιδιότητα local preference ρυθμίζεται με την εντολή του λογισμικού Cisco IOS:

bgp default local-preference value

Η μεταβλητή value είναι σύνολο ακεραίων με τιμές από 0 έως 4294967295. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός, τόσο μεγαλώνει και η προτίμηση στη διαδρομή που γνωστοποιείται για να φτάσει στο ΑΣ. Αν η ιδιότητα local preference δε ρυθμίζεται με τις εντολές του IOS, η τιμή της καθορίζεται στο 100. Στο Σχήμα 18 εικονίζεται μια τυπική ρύθμιση, που δείχνει τις τοπικές προτιμήσεις για τους διάφορους BGP δρομολογητές εντός του δικτύου.

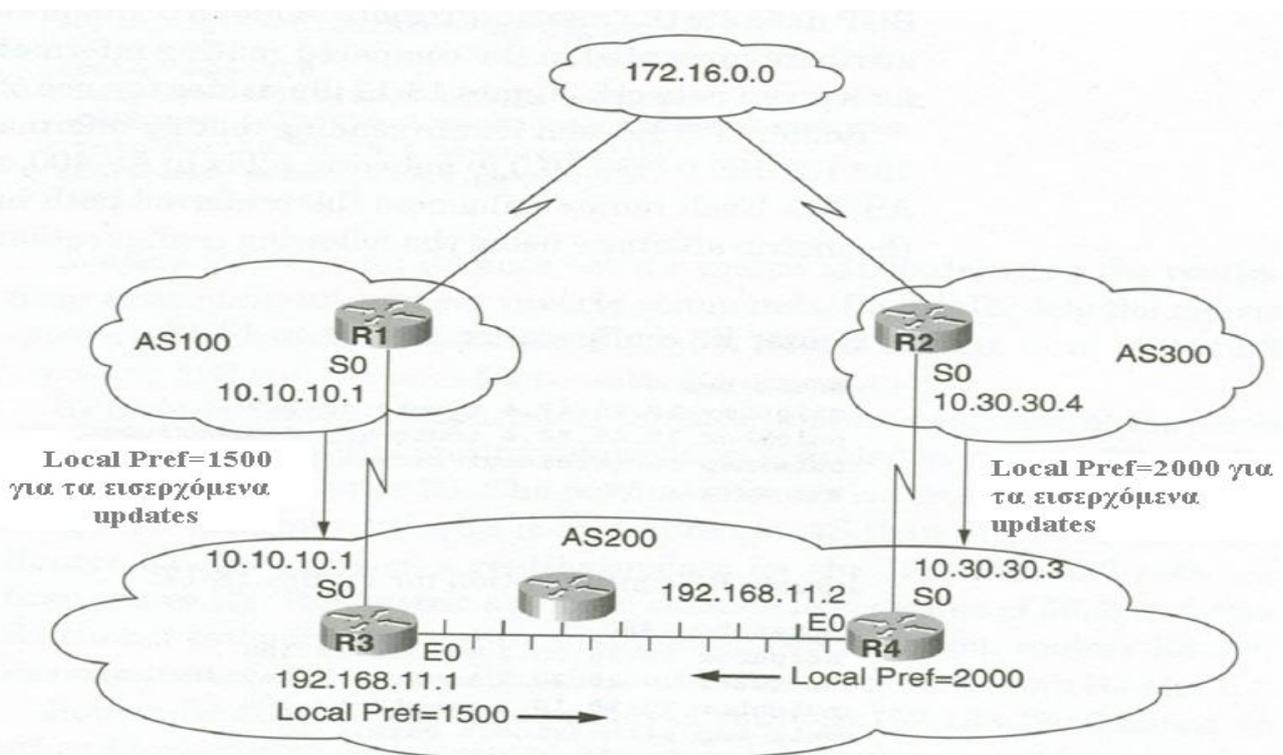
Στο Σχήμα 18, το ΑΣ 200 λαμβάνει πληροφορίες δρομολόγησης για το δίκτυο 172.16.0.0 από το δρομολογητή R1 του ΑΣ 100 και από το δρομολογητή R2 του ΑΣ 300. Η ιδιότητα local preference των διαδρομών δίνει τη δυνατότητα στη BGP διαδικασία να ορίσει το καλύτερο μονοπάτι εξόδου από το ΑΣ 200 τη στιγμή που πλησιάζει στο δίκτυο 172.16.0.0. Στα παραδείγματα ρύθμισης που ακολουθούν, ο δρομολογητής R4 έχει οριστεί ως προτιμώμενη έξοδος από το ΑΣ 200:

Ρύθμιση για το δρομολογητή R3 στο Σχήμα 18:

```
router bgp 200
neighbor 10.10.10.1 remote-as 100
neighbor 192.168.11.2 remote-as 200
bgp default local-preference 1500
```

Ρύθμιση για το δρομολογητή R4 στο Σχήμα 18:

```
router bgp 200
neighbor 10.30.30.4 remote-as 300
neighbor 192.168.11.1 remote-as 200
bgp default local-preference 2000
```



Σχήμα 18

Το αποτέλεσμα της ιδιότητας local preference για την επιλογή του

προτιμώμενου μονοπατιού εξόδου ενός Αυτόνομου Συστήματος.

Επειδή η τιμή της BGP ιδιότητας local preference ανταλλάσσεται μεταξύ των ομότιμων δρομολογητών ενός ΑΣ, οι δρομολογητές R3 και R4 του ΑΣ 200 «αποφασίζουν» ότι το δίκτυο 172.16.0.0 αποκτά προτεραιότητα στο local preference όταν η σύνδεση πραγματοποιείται από το ΑΣ 300 προς το ΑΣ 100. Όλη η κυκλοφορία που κατευθύνεται προς το δίκτυο 172.16.0.0, μαζί με την κυκλοφορία που ξεκινά από τα δίκτυα στο δρομολογητή R3, θα διασχίσει το μονοπάτι από το δρομολογητή R4 προς το δρομολογητή R2.

3.12 Επιδρώντας στην επιλογή του Προτιμώμενου Μονοπατιού μέσα σε ένα ΑΣ

Πολλές ρυθμίσεις χρησιμοποιούν πολλαπλά μονοπάτια μεταξύ των αυτόνομων συστημάτων, με στόχο τον πλεονασμό και τη διαθεσιμότητα. Η τροποποίηση της ιδιότητας metric επιτρέπει σε ένα ΑΣ να επηρεάσει δυναμικά το προτιμώμενο μονοπάτι, στις συνδέσεις των αυτόνομων συστημάτων, όταν υπάρχουν πολλαπλά σημεία εισόδου. Αν χρησιμοποιείται BGP4, η ιδιότητα metric είναι γνωστή ως ιδιότητα Multi-exit discriminator (MED) (διευκρινιστής πολλαπλών εξόδων). Στο BGP3, η ιδιότητα metric καλείται και ιδιότητα Inter-As. Σε αντίθεση με την ιδιότητα local preference, που είναι συγκεκριμένη στη BGP διαδικασία δρομολόγησης σε ένα δρομολογητή Cisco, η ιδιότητα attribute ανταλλάσσεται με τους εξωτερικούς BGP γείτονες. Όμως, το metric που λαμβάνεται δεν αποστέλλεται σε άλλο ΑΣ. Το πρωτόκολλο BGP ορίζει την τιμή της ιδιότητας metric στο 0 και προτιμά το χαμηλότερο metric από αυτά που εμφανίζονται στις ενημερώσεις των συγκρίσιμων πληροφοριών δρομολόγησης, οι οποίες λαμβάνονται για κάποιο δίκτυο. Το Σχήμα 19 παρουσιάζει τη χρήση της ιδιότητας metric.

Οι δρομολογητές R2, R3 και R4 αποστέλλουν πληροφορίες δρομολόγησης στο ΑΣ 100 για το δίκτυο 192.168.180.0. Ο R2 βρίσκεται στο ΑΣ 400, ενώ οι R3 και R4 στο ΑΣ 300. Κάθε δρομολογητής επηρεάζει το προτιμώμενο μονοπάτι, οδηγώντας το στο ΑΣ 100, ρυθμίζοντας την ιδιότητα metric ως εξής:

Ρύθμιση δρομολογητή R2 για το Σχήμα 19:

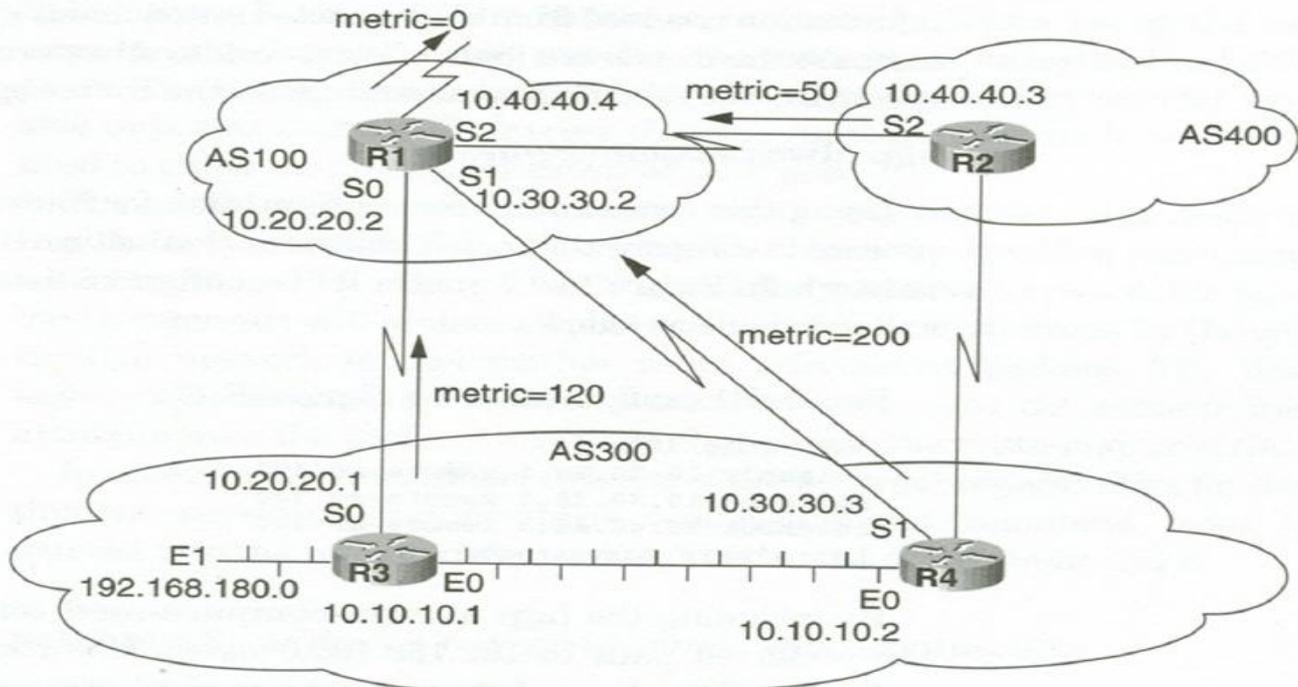
```
router bgp 400
  neighbor 10.40.40.4 remote-as 100
  neighbor 10.40.40.4 route-map setmetricout out
  route-map setmetricout permit 10
  set metric 50
```

Ρύθμιση δρομολογητή R3 για το Σχήμα 19:

```
router bgp 300
  neighbor 10.20.20.2 remote-as 100
  neighbor 10.20.20.2 route-map setmetricout out
  neighbor 10.10.10.2 remote-as 300
  route-map setmetricout permit 10
  set metric 120
```

Ρύθμιση δρομολογητή R4 για το Σχήμα 19:

```
router bgp 300
  neighbor 10.30.30.2 remote-as 100
  neighbor 10.30.30.2 route-map setmetricout out
  neighbor 10.10.10.1 remote-as 300
  route-map setmetricout permit 10
  set metric 200
```



Σχήμα 19

Επιδρώντας στην επιλογή του προτιμώμενου μονοπατιού εντός του Αυτόνομου Συστήματος χρησιμοποιώντας την ιδιότητα *metric*.

Καθένας από τους δρομολογητές R2, R3 και R4 ρυθμίζει την ιδιότητα *metric* χρησιμοποιώντας τις εντολές **route-map setmetricout** και **set metric**. Ο δρομολογητής R2 θέτει τιμή 50 στην ιδιότητα *metric*, για τις διαδρομές που έρχονται από τον R2. Η τιμή αυτή γίνεται 120 για τις διαδρομές με προέλευση τον R3 και 200 για τις διαδρομές με προέλευση τον R4.

Οι δρομολογητές είναι ρυθμισμένοι κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορούν να συγκρίνουν μόνο τις μετρήσεις από τους γείτονες του ίδιου ΑΣ. Στο παραπάνω παράδειγμα, οι πληροφορίες δρομολόγησης που παρέχουν οι δρομολογητές R3 και R4 συγκρίνονται από το δρομολογητή R1. Όσο για τις πληροφορίες δρομολόγησης από το δρομολογητή R2, δεν υφίστανται σύγκριση, επειδή ο δρομολογητής R2 ανήκει σε διαφορετικό ΑΣ από τους δρομολογητές R3 και R4. Επίσης, ο δρομολογητής R1 λαμβάνει ενημέρωση δρομολόγησης για το δίκτυο 192.168.180.0 από το δρομολογητή R2. Αυτή η ιδιότητα *metric* παρουσιάζει μια χαμηλότερη τιμή της τάξης του 50, αλλά ο δρομολογητής R1 δεν μπορεί να συγκρίνει τις πληροφορίες δρομολόγησης που έχει λάβει από τους δρομολογητές R3 και R4 με τις αντίστοιχες του R2, διότι ο R2 ανήκει σε διαφορετικό ΑΣ από τους δρομολογητές R3 και R4.

Τότε, ο δρομολογητής R1 επιλέγει την προτιμώμενη διαδρομή προς το 192.168.180.0 βάσει άλλων BGP ιδιοτήτων. Ο R1, όμως, μπορεί να ρυθμιστεί για να συγκρίνει τις πληροφορίες δρομολόγησης που λαμβάνει από όλα τα συνδεδεμένα αυτόνομα συστήματα, σε μια προσπάθεια να συγκρίνει την ιδιότητα *metric* ενός δικτύου με όλους του εξωτερικούς BGP γείτονες, ορίζοντας την εξής εντολή κάτω από την εντολή `router bgp`:

hgp always-compare-med

Με τη χρήση αυτής της εντολής στη ρύθμιση για το δρομολογητή R1, η BGP διαδικασία συγκρίνει την ιδιότητα *metric* όλων των εναλλακτικών μονοπατιών σε ένα προκαθορισμένο δίκτυο. Στο Σχήμα 19, ο δρομολογητής R1 ρυθμίζεται ώστε να εκμεταλλευτεί αυτή τη βελτίωση ως εξής:

Ρύθμιση δρομολογητή R1 για το Σχήμα 19:

```
router bgp 100
  neighbor 10.20.20.1 remote-as 300
  neighbor 10.30.30.3 remote-as 300
```

```
neighbor 10.40.40.3 remote-as 400
bgp always-compare-med
```

Εισάγοντας την εντολή **bgp always-compare-med** στο δρομολογητή R1, το προτιμώμενο μονοπάτι για το δίκτυο 192.168.180.0 είναι ο δρομολογητής R2. Χωρίς αυτήν την εντολή, το προτιμώμενο μονοπάτι για το δίκτυο 192.168.180.0 είναι ο δρομολογητής R3. Σε αυτό το παράδειγμα, είναι αναγκαίο το επιπλέον hop στο δρομολογητή R2, λόγω της χαμηλής ταχύτητας με την οποία συνδέονται οι δρομολογητές R3 και R4 με τον R1. Οι συνδέσεις R1-R2 και R3-R4 χρησιμοποιούν γραμμές υψηλής ταχύτητας T1, οπότε έχουν περισσότερες πιθανότητες ρυθμοαπόδοσης (throughput).

3.13 Ομαδοποίηση προορισμών που μοιράζονται κοινές ιδιότητες

Υπάρχουν πάμπολλες περιπτώσεις ρύθμισης δικτύων όπου πολλαπλοί προορισμοί ομαδοποιούνται βάσει κοινών ιδιοτήτων. Με την ομαδοποίηση αυτών των προορισμών σε μία κοινότητα (community), οι αποφάσεις δρομολόγησης και άλλες BGP ιδιότητες υλοποιούνται σε όλα τα δίκτυα προορισμού που ανήκουν στην κοινότητα. Η ιδιότητα communities (κοινότητες) είναι προαιρετική και δεν αποστέλλεται σε γείτονες. Σε περίπτωση, όμως, που η εντολή set community χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τις εντολές route-map και match, μεταβιβάζονται σε έναν προορισμό όλες οι ιδιότητες που ανήκουν συνολικά στην κοινότητα. Ο τύπος της εντολής **set community** είναι

```
set community {community-number [additive]} | none
```

Η τιμή της μεταβλητής *community-number* κυμαίνεται από 1 έως 4294967200, ή μπορεί να γίνει χρήση των λέξεων-κλειδιών **no-export** και **no-advertise**. Η προκαθορισμένη τιμή *community-number* αντιστοιχεί στην πασίγνωστη (well-know) κοινότητα με την ονομασία **internet** (διαδίκτυο). Κάθε δρομολογητής BGP ανήκει στην κοινότητα του **internet**. Όταν χρησιμοποιείται για *community-number* η τιμή **no-export**, η διαδρομή δεν γνωστοποιείται στους EBGP δρομολογητές. Η τιμή της λέξης-κλειδί **no-advertise** για τη μεταβλητή *community-number* δηλώνει στη BGP διαδικασία ότι η εν λόγω διαδρομή δεν γνωστοποιείται ούτε σε εξωτερικούς ούτε σε εσωτερικούς ομότιμους BGP δρομολογητές.

Η λέξη-κλειδί **additive** που τοποθετείται μετά την τιμή *community-number* δηλώνει ότι θα προστεθούν στις ήδη υπάρχουσες πληροφορίες δρομολόγησης μιας διαδρομής και αυτές που θα προκύψουν από τις ρυθμίσεις που γίνονται για την νέα community. Χωρίς τη λέξη-κλειδί **additive**, η προς ορισμό νέα κοινότητα θα αντικαταστήσει όλες τις κοινότητες που είχαν οριστεί πιο πριν, για το δίκτυο προορισμού, σε όλες τις επιπλέον πληροφορίες δρομολόγησης. Με την τελική λέξη-κλειδί **none** η BGP διαδικασία αφαιρεί την ιδιότητα communities από το πρόθεμα (prefix) οποιασδήποτε διαδρομής περνάει τα κριτήρια ενός route-map.

Προκειμένου οι BGP γείτονες να μάθουν τις διάφορες κοινότητες για τα δίκτυα προορισμού, πρέπει να εισάγουμε την εντολή neighbor send-community στη ρύθμιση του δρομολογητή. Ο τύπος της εντολής είναι

```
neighbor {ip-address / peer-group-name} send-community
```

Η μεταβλητή *ip-address* αντιστοιχεί στην IP διεύθυνση του BGP γείτονα στον οποίο αποστέλλεται η ιδιότητα communities. Η μεταβλητή *peer-group-name* χρησιμοποιείται στη θέση της μεταβλητής *ip-address*, καταλήγοντας στην ίδια ενέργεια.

Η ρύθμιση δρομολογητή που ακολουθεί αποτελεί παράδειγμα χρήσης της ιδιότητας community.

```
router bgp 100
neighbor 192.168.171.50 remote-as 200
neighbor 192.168.171.50 send-community
neighbor 192.168.171.50 route-map community out
```

```

!
route-map community permit 10
  match address 1
  set community no-export
!
route-map community permit 20
  match address 2

```

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, ο χάρτης δρομολόγησης με την ονομασία **community** εφαρμόζεται στις εξερχόμενες ενημερώσεις δρομολόγησης του γείτονα, χρησιμοποιώντας την IP διεύθυνση 192.168.171.50. Οι ενέργειες εκτελούνται επί των εξερχόμενων ενημερώσεων που βασίζονται στη λέξη-κλειδί out. Αυτή ορίζεται με την εντολή **neighbor route-map**. Κατά την επεξεργασία τους, οι BGP διαδρομές περνούν από τις λίστες πρόσβασης 1 και 2. Στις διαδρομές που περνούν από τη λίστα πρόσβασης 1 δίνεται η ονομασία no-export στα πλαίσια της πασίγνωστης αυτής κοινότητας. Όποια διαδρομή δεν πληροί τις προϋποθέσεις για την περίπτωση 10 δέχεται επεξεργασία από την περίπτωση 20 του χάρτη δρομολόγησης της κοινότητας, όπου γνωστοποιούνται κανονικά όλες οι διαδρομές, αφού καμία ιδιότητα community δεν έχει εφαρμοστεί στις πληροφορίες δρομολόγησής τους. Οι δρομολογητές που πληρούν τις προϋποθέσεις για την περίπτωση 10 του χάρτη δρομολόγησης της κοινότητας δεν γνωστοποιούνται στους ομότιμους EBGP δρομολογητές.

Στο Σχήμα 20, έστω ότι οι BGP διαδρομές που γνωστοποιούνται από το δρομολογητή R2 στον R3 δεν αποστέλλονται από το δρομολογητή R3 σε κανέναν άλλο εξωτερικό ομότιμο δρομολογητή. Τότε χρησιμοποιείται η εξής ρύθμιση:

Ρύθμιση του δρομολογητή R2 στο Σχήμα 20:

```

router bgp 200
  network 172.16.0.0
  neighbor 10.30.30.1 remote-as 300
  neighbor 10.30.30.1 send-community
  neighbor 10.30.30.1 route-map setnoexport out
route-map setnoexport
  match ip address 1
  set community no-export
access-list 1 permit 0.0.0.0 255.255.255.255

```

Ο δρομολογητής R2 δίνει την ιδιότητα no-export communities σε όλες τις εκτός συνόρων ενημερώσεις δρομολόγησης προς το δρομολογητή R3, αναγκάζοντας τον τελευταίο να μην προωθεί τις διαδρομές που λαμβάνονται από το δρομολογητή R2 προς το δρομολογητή R1. Και πάλι, αυτό δηλώνεται με τη χρήση της εντολής neighbor-send community από κοινού με την εντολή neighbor route-map out.

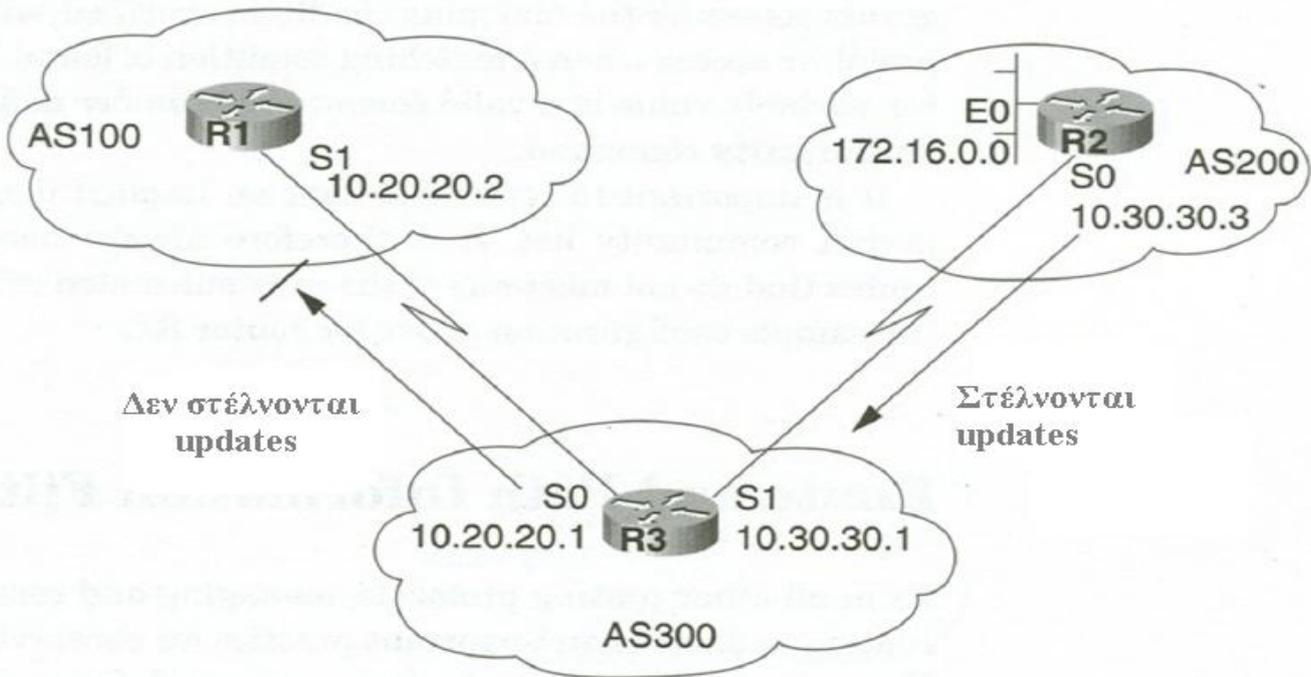
Η ιδιότητα communities χρησιμοποιείται ακόμη για την απόδοση και άλλων ιδιοτήτων όπως το weight και το metric. Στα παραδείγματα ρύθμισης που ακολουθούν, με εφαρμογή τους στο Σχήμα 20, αυτή τη φορά ο δρομολογητής R2 ορίζει την ιδιότητα communities -καθώς και όποια άλλη ιδιότητα communities βρεθεί στη διαδρομή-, προκειμένου να συμπεριλάβει τις κοινότητες 300 και 400. Επίσης, ο δρομολογητής R3 μπορεί να ορίσει και το weight για αυτές τις διαδρομές.

Ρύθμιση του δρομολογητή R2 με εφαρμογή της λέξης-κλειδί additive στο Σχήμα 20:

```

router bgp 200
  network 172.16.0.0
  neighbor 10.30.30.1 remote-as 300

```



Σχήμα 20

Χρήση της ιδιότητας community για το φιλτράρισμα διαδρομής.

```
neighbor 10.30.30.1 send-community
neighbor 10.30.30.1 route-map set-community out
route-map set-community
match ip address 2
set community 300 400 additive
access-list 2 permit 0.0.0.0 255.255.255.255
```

Η ρύθμιση του δρομολογητή R3 που εφαρμόζεται στο Σχήμα 20 είναι η παρακάτω:

```
router bgp 300
neighbor 10.30.30.3 remote-as 200
neighbor 10.30.30.3 route-map community-check in
route-map community-check permit 10
match community 1
set weight 20
route-map community-check permit 20
match community 2 exact
set weight 10
route-map community-check permit 30
match community 3
ip community-list 1 permit 300
ip community-list 2 permit 400
ip community-list 3 permit internet
```

Το αποτέλεσμα αυτών των ρυθμίσεων προσαρμόζεται σε κάθε διαδρομή της τάξης του 300 στην ιδιότητα communities από τη λίστα match 1. Η ενέργεια που εκτελείται επί της λίστα αυτής θέτει τιμή 20 στο weight της διαδρομής. Η λίστα match 2 εφαρμόζεται σε οποιαδήποτε διαδρομή φέρει την ονομασία της κοινότητας 400 στην ιδιότητα communities, επειδή χρησιμοποίησε τη σωστή λέξη-κλειδί στο αντίγραφο κίνησης (statement) community match. Αν η ιδιότητα communities έχει εκχωρηθεί μόνο στην κοινότητα 400, το βάρος ορίζεται στο 10. Η τελευταία περίπτωση χάρτη δρομολόγησης για

κοινότητες «πιάνει» όλους τους άλλους τύπους διαδρομών και αντικαθιστά την ιδιότητα *communities* με την ονομασία *internet*, της παγκοσμίως γνωστής κοινότητας.

Αυτό το φίλτράρισμα είναι εφικτό αν χρησιμοποιηθεί η εντολή *ip-community list*. Με αυτή την εντολή ομαδοποιούνται όλες οι κοινότητες, για να χρησιμοποιηθούν στη δήλωση των όρων ταιριάσματος-αντιστοίχισης (*match clause statement*) μιας εντολής *route-map*. Ο τύπος της εντολής *ip community-list* είναι

ip community-list *community-list-number* {**permit** | **deny**} *community-number*

Η τιμή στη μεταβλητή *community-number* κυμαίνεται από 1 έως 99 και επικυρώνει ή όχι την άδεια σε μία ή περισσότερες ομάδες της κοινότητας. Η λέξη-κλειδί **permit** χορηγεί πρόσβαση σε εκείνες τις κοινότητες αναλόγως των κριτηρίων αντιστοίχισης (*matching condition*) που έχουν οριστεί, ενώ η λέξη-κλειδί **deny** απαγορεύει την πρόσβαση όταν γίνει ταιρίασμα της *community* με τα ανάλογα κριτήρια αντιστοίχισης. Η τιμή της μεταβλητής *community-number* αντιστοιχεί σε έναν έγκυρο *community-number*, που έχει οριστεί από την προηγούμενη εντολή **set community**.

Είναι σημαντικό να ειπωθεί ότι το πρώτο **permit** που περιλαμβάνει η *community* λίστα ακολουθείται από την ιδιότητα της απόλυτης άρνησης (*implicit deny*). Συνεπώς, είναι πάντοτε απαραίτητο να γίνονται επιτρεπτές όλες οι διαδρομές που δεν πληρούν κανένα από τα προηγούμενα *match* κριτήρια. Αυτό φαίνεται στην παραπάνω ενδεικτική ρύθμιση για το δρομολογητή R3.

3.14 Φιλτράρισμα των πληροφοριών διαδρομής και μονοπατιού

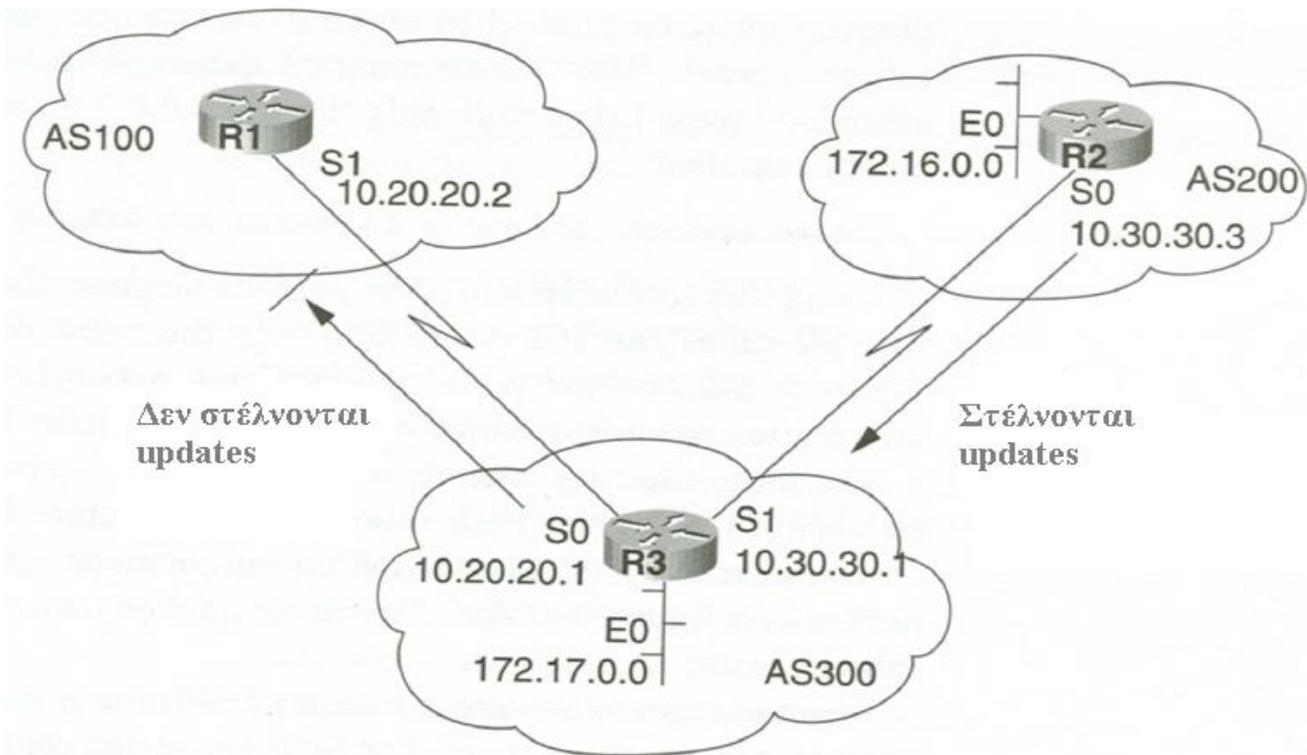
Όπως και σε όλα τα υπόλοιπα πρωτόκολλα δρομολόγησης, η διαχείριση κι ο έλεγχος του συνόλου των ενημερώσεων δρομολόγησης αποτελεί σημαντική πρακτική για τη συντήρηση των δικτυακών πόρων. Χρησιμοποιούνται τρεις βασικές τεχνικές φιλτραρίσματος για τον έλεγχο των BGP ενημερώσεων δρομολόγησης. Αυτές οι μέθοδοι φιλτραρίσματος στηρίζονται σε πληροφορίες διαδρομής, πληροφορίες μονοπατιού και σε κοινότητες. Στο προηγούμενο κεφάλαιο, αναλύσαμε το φίλτράρισμα στις κοινότητες. Αυτό εδώ το κεφάλαιο επικεντρώνεται στο φίλτράρισμα με τη χρήση των πληροφοριών διαδρομής και μονοπατιού.

Η διαχείριση στις ενημερώσεις των πληροφοριών δρομολόγησης πραγματοποιείται με λίστες πρόσβασης που ορίζονται και εφαρμόζονται τόσο στις ληφθείσες όσο και στις σταλμένες BGP ενημερώσεις δρομολόγησης. Το λογισμικό Cisco IOS πραγματοποιεί αυτό το φίλτράρισμα χρησιμοποιώντας την εντολή *neighbor distribute-list* κάτω από την εντολή *router bgp*. Ο τύπος της εντολής *neighbor distribute-list* είναι ο εξής:

neighbor {*ip-address* | *peer-group-name*}
distribute-list {*access-list-number* | *name*} {**in** | **out**}

Η τιμή της μεταβλητής *ip-address* αντιστοιχεί στην IP διεύθυνση ενός BGP γείτονα. Στη θέση της μεταβλητής *ip-address*, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μεταβλητή *peer-group-name*. Η μεταβλητή *access-list-number* είναι ένα σύνολο ακεραίων από το 1 έως το 199, που πιστοποιεί μια καθορισμένη ή διευρυμένη λίστα πρόσβασης η οποία εφαρμόζεται στις ενημερώσεις δρομολόγησης από και προς τον πιστοποιημένο γείτονα. Το *access-list-name* χρησιμοποιείται αντί για το *access-list-number*. Η λέξη-κλειδί **in** εφαρμόζει την πιστοποιημένη λίστα πρόσβασης στις εισερχόμενες ενημερώσεις δρομολόγησης, ενώ η λέξη-κλειδί **out** στις εξερχόμενες.

Έστω ότι στο Σχήμα 21 οι ενημερώσεις για το δίκτυο 172.16.0.0 προέρχονται από το δρομολογητή R2, λαμβάνονται από το δρομολογητή R3 και τελικά φιλτράρονται, ώστε να σταματήσει η μετάδοσή τους στο AS 100. Με χρήση της εντολής *neighbor distribute-list*, ο δρομολογητής R3 μπορεί να φιλτράρει αυτές τις ενημερώσεις με εφαρμογή του φίλτρου για τις πληροφορίες δρομολόγησης στο



Σχήμα 21

Χρήση μιας access list για τον έλεγχο των ενημερώσεων προς και από τους BGP γείτονες.

δρομολογητή R1.

Ρύθμιση του δρομολογητή R3, εφαρμοσμένη στο Σχήμα 21:

```
router bgp 300
 network 172.17.0.0
 neighbor 10.30.30.3 remote-as 200
 neighbor 10.20.20.2 remote-as 100
 neighbor 10.20.20.2 distribute-list 1 out
 access-list 1 deny 172.16.0.0 0.0.255.255
 access-list 1 permit 0.0.0.0 255.255.255.255
```

Η ρύθμιση του δρομολογητή R3 φιλτράρει τις εισερχόμενες ενημερώσεις δρομολόγησης προς το γείτονα που πιστοποιείται με την IP διεύθυνση 10.20.20.2, με τη βοήθεια της λίστα πρόσβασης υπ' αριθμόν 1. Αυτό φαίνεται και στην εντολή `neighbor 10.20.20.2 distribute-list 1 out`. Η λίστα πρόσβασης 1, ορισμένη για το δρομολογητή R3, σε πρώτη φάση απορρίπτει όλες τις διαδρομές που έχουν οριστεί για το δίκτυο 172.16.0.0. Οποιαδήποτε IP διεύθυνση του δικτύου δεν πληροί αυτές τις προϋποθέσεις γίνεται δεκτή, με τη βοήθεια της εντολής `access-list 1 permit 0.0.0.0 255.255.255.255`.

Σε πολλές ρυθμίσεις δικτύων BGP, γίνεται χρήση διευθυνσιοδότησης υπερδικτύων (CIDR – Classless Inter-Domain Routing). Με βάση το παραπάνω παράδειγμα, υποθέτουμε ότι ο δρομολογητής R2 έχει πολλά, διαφορετικά υποδίκτυα 172.16.0.0 και ότι το δίκτυο 172.16.0.0 είναι ένα δίκτυο CIDR με μάσκα 255.240.0.0, δημιουργώντας κατ' αυτόν τον τρόπο ένα υπερδίκτυο. Για την επίτευξη του αρχικού στόχου, το φίλτρο πρέπει να εφαρμόζεται σε μάσκα των 8 bit ή σε δίκτυο 172.0.0.0 με μάσκα υποδικτύου 255.0.0.0. Η πρώτη ενέργεια που κάνει είναι να εφαρμόσει μια εντολή `access-list permit` στο δίκτυο 172.0.0.0 μαζί με μια μάσκα 0.255.255.255· όμως, αυτό κάνει δεκτές όλες τις διευθύνσεις του δικτύου που αρχίζουν από 172.0.0.0. Πρέπει να γίνεται και περαιτέρω φιλτράρισμα, για την πιστοποίηση της συγκεκριμένης διεύθυνσης του δικτύου, όταν χρησιμοποιούνται υπερδίκτυα. Αυτό

πραγματοποιείται με τη διευρυμένη λίστα πρόσβασης. Αν εφαρμοστεί η διευρυμένη permit λίστα πρόσβασης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο το δίκτυο 172.0.0.0 με μάσκα υποδικτύου των 8 bit:

```
access-list 101 172.0.0.0 0.255.255.255 255.0.0.0 0.0.0.0
```

Με αυτή τη λίστα πρόσβασης και έχοντας ορίσει την εντολή `neighbor distribute-list`, που πιστοποιεί τη λίστα πρόσβασης 101, επιτρέπονται μόνον οι ενημερώσεις δρομολόγησης για τα δίκτυα 172.0.0.0 και 255.0.0.0. Όλα τα άλλα δίκτυα απορρίπτονται.

Το φιλτράρισμα διαδρομής (route filtering) ελέγχει τις ενημερώσεις δρομολόγησης προς συγκεκριμένους γείτονες βάσει του αριθμού του δικτύου. Το φιλτράρισμα μονοπατιών (path filtering) εφαρμόζει φίλτρα τόσο για τις εισερχόμενες όσο και για τις εξερχόμενες ενημερώσεις δρομολόγησης που βασίζονται στα μονοπάτια του αυτόνομου συστήματος σε μια ρύθμιση ενός BGP δικτύου. Το φιλτράρισμα μονοπατιών εφαρμόζεται ακόμη και με χρήση μιας επιλογής του λογισμικού Cisco IOS, με την ονομασία «κανονικές εκφράσεις» (regular expressions).

Οι κανονικές εκφράσεις είναι ένα μέσο καθορισμού του προτύπου (pattern) ή του string που θα πρέπει να ταιριάζουν με τη δεδομένη καταχώριση. Για το πρωτόκολλο BGP, το string αποτελείται από τις πληροφορίες του μονοπατιού. Στον Πίνακα 2 παρατίθενται οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται σε μια κανονική έκφραση.

Το φιλτράρισμα μονοπατιού με κανονικές εκφράσεις μπορεί να εφαρμοστεί σε όλο το ΑΣ. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 22, μια τοπολογία δικτύου απεικονίζει τέσσερα αυτόνομα συστήματα συνδεδεμένα σε σειρά. Έστω, όπως φαίνεται στο Σχήμα 22, ότι το ΑΣ 100 δεν απαιτεί ενημέρωση για το δίκτυο 172.16.0.0. Χρησιμοποιώντας και πάλι λίστες πρόσβασης για τη ρύθμιση του δρομολογητή R3, μπορούμε να θέσουμε τέλος στις ενημερώσεις δρομολόγησης με προέλευση ΑΣ 200, ώστε να μην μπουν στο ΑΣ 100. Αυτό το φιλτράρισμα μονοπατιού ολοκληρώνεται με τη χρήση δύο εντολών ρύθμισης. Η πρώτη είναι η `global ip` εντολή `as-path access-list`. Ο τύπος της εντολής αυτής είναι

```
ip as-path access-list access-list-number {permit | deny}  
as-regular-expression
```

Η τιμή της μεταβλητής *access-list-number* αντιστοιχεί σε έναν αριθμό λίστας πρόσβασης με κανονική έκφραση, ο οποίος ορίζει το φιλτράρισμα. Η λέξη-κλειδί **permit** δίνει πρόσβαση στην συνθήκη `matching`, ενώ η λέξη-κλειδί **deny** σταματάει την πρόσβαση στην συνθήκη `matching`. Η μεταβλητή *as-regular-expression* αποτελεί το `matching` κριτήριο που χρησιμοποιείται στη λίστα πρόσβασης των αυτόνομων συστημάτων. Το φίλτρο **access-list** μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στις εισερχόμενες όσο και στις εξερχόμενες ροές. Η διαδικασία του Cisco IOS εξετάζει την κανονική έκφραση που ορίζεται στην εντολή **ip as-path access-list** επί του μονοπατιού που ξεκινά από το αυτόνομο σύστημα της διαδρομής σαν ASCII string. Αν υπάρχει `match`, εφαρμόζεται η προκαθορισμένη συνθήκη. Ένα μονοπάτι αυτόνομου συστήματος δεν θα έχει το ΑΣ του τοπικού δρομολογητή.

Η εντολή ρύθμισης του δεύτερου δρομολογητή, που απαιτείται για το φιλτράρισμα του μονοπατιού, είναι η εντολή **neighbor filter-list**. Αυτή η εντολή έπεται της εντολής **router bgp** στην οποία πρόκειται να εφαρμοστεί το φίλτρο. Ο τύπος της εντολής είναι

```
neighbor {ip-address / peer-group-name}  
filter-list access-list-number {in / out / weight weight}
```

Η μεταβλητή *ip-address* αντιστοιχεί στην IP διεύθυνση του γείτονα στην οποία πρόκειται να εφαρμοστεί το φίλτρο. Στη θέση της μεταβλητής *ip-address* μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μεταβλητή *peer-group-name*. Αν χρησιμοποιηθεί η μεταβλητή *peer-group-name*, τότε το φίλτρο εφαρμόζεται σε όλους τους γείτονες που σχετίζονται με την ομάδα των ομότιμων δρομολογητών. Η μεταβλητή *access-list-number* είναι ο αριθμός της λίστας πρόσβασης, που έχει οριστεί στην εντολή **ip as-path access-list**. Η λέξη-κλειδί **in** εφαρμόζει το φίλτρο στις εισερχόμενες διαδρομές, ενώ η λέξη-κλειδί **out** εφαρμόζει

Πίνακας 2

Κανονικές Εκφράσεις (Regular Expressions)

Ranges	<i>Τα πεδία (ranges) γράφονται ως μια ακολουθία από χαρακτήρες οι οποίοι περιέχονται εντός αγκυλών, όπως για παράδειγμα [10ABC]</i>
Atoms	<p><i>Ένα atom είναι ένας μονός χαρακτήρας που γίνεται ταιριαστός (matched) με τον ακόλουθο τρόπο :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>. - Ο χαρακτήρας σ' αυτήν την θέση ταιριάζει (match) οποιονδήποτε μονό χαρακτήρα (single character)</i> <i>^ - Οι χαρακτήρες ταιριάζουν την αρχή του input string</i> <i>\$ - Οι χαρακτήρες ταιριάζουν το τέλος του input string</i> <i>\ - Επακριβή ταιρίασμα με τον χαρακτήρα</i> <i>_ - Ο χαρακτήρας ταιριάζει ένα κόμμα (,), μια αριστερή αγκύλη ({}), μια δεξιά αγκύλη ({}), την αρχή του input string, το τέλος του input string, ή ένα space</i> <p><i>π.χ. : _400_ διαδρομές διαμέσου του AS400</i> <i>^400\$ διαδρομές με το AS400 ως AS προέλευσης</i> <i>^400.* διαδρομές που έρχονται από το AS400</i> <i>^\$ διαδρομές που προέρχονται από αυτό (this) το Αυτόνομο Σύστημα</i></p>
Pieces	<p><i>Ένα piece είναι ένα atom το οποίο ακολουθείται από έναν από τους παρακάτω χαρακτήρες :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>* - ταιριάζει 0 ή περισσότερες ακολουθίες από το atom, όπως για παράδειγμα a*, στις οποίες υπάρχει το γράμμα a ή το a ακολουθείται από οτιδήποτε άλλο</i> <i>+ - ταιριάζει 1 ή περισσότερες ακολουθίες από το atom, όπως για παράδειγμα a+, στις οποίες θα βρεθούν μια ή περισσότερες εμφανίσεις του a</i> <i>? - ταιριάζει ολόκληρο το atom ή το null string, όπως για παράδειγμα ab?a, το οποίο ταιριάζει το abaa ή το aba</i>
Branch	<i>Ένα branch είναι μια αλληλουχία από pieces</i>

το φίλτρο στις εξερχόμενες διαδρομές. Η λέξη-κλειδί **weight** και η σχετική με αυτή μεταβλητή *weight* επιτρέπουν στο διαχειριστή του δρομολογητή να θέσει μια τιμή από το 0 ως 65,535 για τις εισερχόμενες διαδρομές που συνδέονται με τα μονοπάτια AS. Αυτή η τιμή προσφέρει μια σχετική σημασία στο εν λόγω εισερχόμενο μονοπάτι AS .

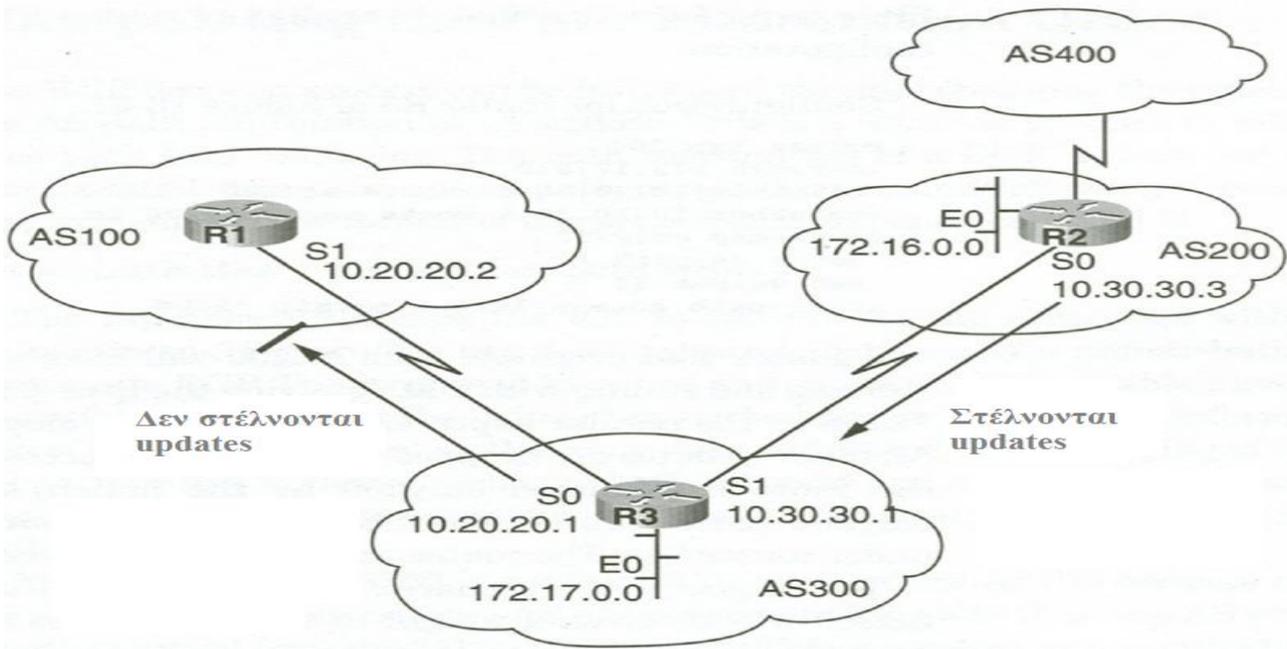
*Είναι σημαντικό να σημειωθεί εδώ πως επί των τιμών του weight, όπως αυτές ορίζονται στις εντολές **neighbor weight** και **neighbor filter-list**, υπερσχύουν οι τιμές του weight που ορίζονται στις εντολές **match as-path** και **set weight**.*

Συνεχίζοντας την υπόθεση που κάναμε, ο δρομολογητής R3 στο Σχήμα 22 ρυθμίζεται ως εξής, προκειμένου να αποτρέψει την αποστολή ενημερώσεων από τον R3 στο δίκτυο 172.16.0.0 προς το δρομολογητή R1.

Ρύθμιση για το δρομολογητή R3 στο Σχήμα 22:

```
router bgp 300
 neighbor 10.30.30.3 remote-as 200
 neighbor 10.20.20.2 remote-as 100
 neighbor 10.20.20.2 filter-list 1 out
 ip as-path access-list 1 deny ^200$
 ip as-path access-list 1 permit .*
```

Ο αριθμός λίστας πρόσβασης που αναφέρεται στην εντολή neighbor file-list πιστοποιεί την εφαρμογή της ip as-path access list στις ενημερώσεις δρομολόγησης από και προς τον πιστοποιημένο γείτονα. Η ρύθμιση απορρίπτει οποιεσδήποτε ενημερώσεις περιέχουν πληροφορίες μονοπατιού AS που



Σχήμα 22

Ένα παράδειγμα τοπολογίας φιλτραρίσματος διαδρομής για τον έλεγχο των ενημερώσεων προς και από τους BGP γείτονες.

αρχίζουν από 200 (^200) και τελειώνουν σε 200 (200\$). Όσο για τις ενημερώσεις για το δίκτυο 172.16.0.0 που αποστέλλονται από το δρομολογητή R2, αρχίζοντας από και τελειώνοντας σε 200, συγκρίνονται (match) με το φίλτρο και έπειτα απορρίπτονται (τίθεται σε ισχύ το deny).

Η εντολή `ip as-path permit` στη ρύθμιση του δρομολογητή R3 χρησιμοποιεί την κανονική έκφραση “.*”. Η χρήση της τελείας δηλώνει ότι ταιριάζει οποιοσδήποτε χαρακτήρας. Το “*” παριστάνει την επανάληψη του χαρακτήρα που συναντούμε στη θέση της τελείας. Αυτοί οι χαρακτήρες μαζί καταδεικνύουν ότι γίνονται δεκτές όλες οι πληροφορίες μονοπατιού. Αυτή η δήλωση είναι απαραίτητη, προκειμένου να γίνει override η απόλυτη άρνηση (implicit deny) που βρέθηκε για όλες τις λίστες πρόσβασης.

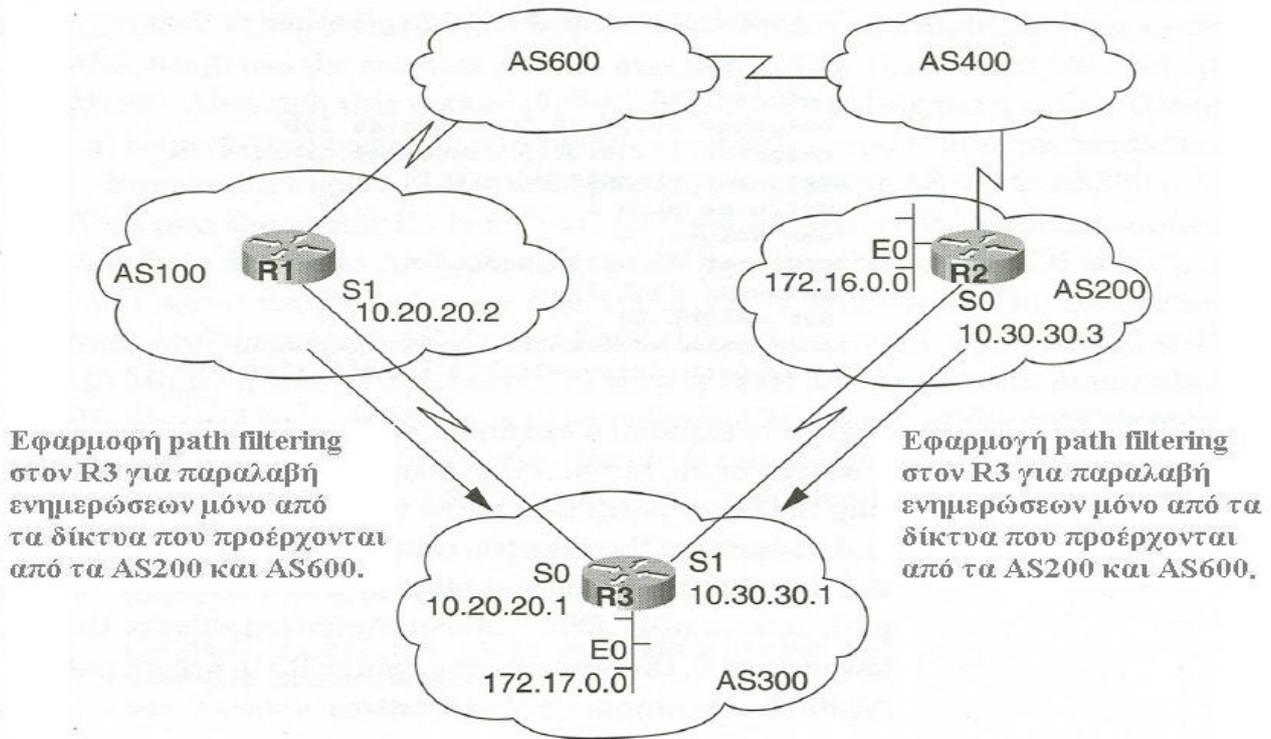
Για να επαληθεύσουμε ότι τα μονοπάτια έχουν συνδεθεί με μια κανονική έκφραση για BGP, χρησιμοποιούμε την εντολή `sh ip bgp regexp regular expression`. Η τιμή *regular expression* είναι η έκφραση που χρησιμοποιείται στην εντολή `ip as-path access list`. Στο προηγούμενο παράδειγμα, για να επαληθεύσουμε ότι φιλτράρονται τα ΑΣ μονοπάτια που αρχίζουν από και τελειώνουν σε 200, η εντολή θα γραφόταν ως εξής: `sh ip bgp regexp ^200$`.

Η εντολής `ip as-path access list` χρησιμοποιείται επίσης σε συνδυασμό με την εντολή `neighbor route-map`, όταν συνδυάζονται οι πληροφορίες δρομολόγησης με τη βοήθεια της εντολής `match as-path`. Η τοπολογία που εικονίζεται στο Σχήμα 23 σκιαγραφεί αυτό το συνδυασμό.

Έστω ότι στο Σχήμα 23 ο δρομολογητής R3 πρόκειται να πληροφορηθεί μόνο για τα τοπικά δίκτυα του ΑΣ 200. Επιπλέον, το `weight` των αποδεχόμενων διαδρομών έχει οριστεί στο 20. Το φίλτρο για την εκτέλεση αυτής της ενέργειας εφαρμόζεται στο δρομολογητή R3 και έχει την ακόλουθη ρύθμιση:

Ρύθμιση δρομολογητή R3 του Σχήματος 23:

```
router bgp 300
 network 172.17.0.0
 neighbor 10.30.30.3 remote-as 200
 neighbor 10.30.30.3 route-map only200 in
 route-map only200
```



Σχήμα 23

Τοπολογία δικτύου για την χρήση των εντολών `neighbor route-map` και `ip as-path access-list` για τον έλεγχο των ενημερώσεων δρομολόγησης τύπου BGP.

```
match as-path 1
set weight 20
ip as-path access-list 1 permit ^200$
```

Οι ενημερώσεις με προέλευση το ΑΣ 200 έχουν τις ίδιες πληροφορίες μονοπατιού ΑΣ, με αρχή και τέλος το 200. Εφαρμόζοντας το φίλτρο `ip as-path access list` με το `^200$` στη θέση της κανονικής έκφρασης, εξασφαλίζεται ότι μόνο αυτό το μονοπάτι γίνεται δεκτό. Όλες οι άλλες ενημερώσεις απορρίπτονται. Η `ip as-path access list` πιστοποιείται στο χάρτη δρομολόγησης με την ονομασία `only200` σύμφωνα με τη δήλωση `match as-path`. Ο χάρτης δρομολόγησης `only200` πιστοποιείται με την εντολή **`neighbor route-map`** κάτω από το `router bgp`. Στις διαδρομές που γίνονται δεκτές ορίζεται ως τιμή για το `weight` το 20.

Ας περιπλέξουμε το σενάριο: σε όλες τις διαδρομές που δεν έχουν ως προέλευσή τους το ΑΣ 200, θα δίνεται μια `weight` τιμή ίση με 10, και από την άλλη οι ενημερώσεις που προέρχονται ακριβώς από το ΑΣ 400 θα απορρίπτονται. Και πάλι εφαρμόζεται το φίλτρο στο δρομολογητή R3 κατά τον εξής τρόπο:

Ρύθμιση για το δρομολογητή R3 στο Σχήμα 23, με απόρριψη του ΑΣ 400 και εφαρμογή τιμής για το `weight` ίσης με 10 σε όλα τα υπόλοιπα μονοπάτια:

```
router bgp 300
network 172.17.0.0
neighbor 10.30.30.3 remote-as 200
neighbor 10.30.30.3 route-map drop400 in
route-map drop400 permit 10
match as-path 1
set weight 20
route-map drop400 permit 20
match as-path 2
```

```

set weight 10
ip as-path access-list 1 permit ^200$
ip as-path access-list 2 permit ^200 600 .*

```

Σε αυτό το εκτεταμένο παράδειγμα έχει διατηρηθεί η πολιτική για τις διαδρομές με προέλευση το ΑΣ 200, δίνοντάς τους πάλι την weight τιμή 20, αλλά όλες οι άλλες επιπρόσθετες διαδρομές καθορίζονται να έχουν τιμή για το weight τους ίση με 10. Ο καθορισμός της τιμής για το weight των υπόλοιπων μονοπατιών στο 10 επιτυγχάνεται στη δεύτερη περίπτωση του όρου drop400 route-map. Η δεύτερη περίπτωση του όρου drop400 route-map εφαρμόζει την ip as-path λίστα πρόσβασης 2 στις πληροφορίες του μονοπατιού ΑΣ. Αυτό το φίλτρο δίνει άδεια μόνο σε μονοπάτια που αρχίζουν από 200, και ακολουθεί το 600, με αποτέλεσμα ο δρομολογητής R3 να δέχεται ενημερώσεις για διαδρομές που σχετίζονται με μονοπάτια πριν από το ΑΣ 400, ενώ ταυτόχρονα απορρίπτει μονοπάτια που δημιουργούνται από το ΑΣ 400. Δηλαδή επιτρέπει οι διαδρομές που δημιουργούνται από το ΑΣ 600 .

3.15 Διαχείριση της σειράς των πληροφοριών του μονοπατιού

Η BGP διαδικασία αποφάσεων μπορεί να επηρεαστεί διαμέσου αλλαγών που θα τεθούν στην σειρά των πληροφοριών ενός μονοπατιού ενός Αυτόνομου Συστήματος (AS path), κατά τη διάρκεια της ενημέρωσης. Αυτό αποτελεί συνήθη τρόπο επίδρασης στο load balancing ενός μονοπατιού. Οι πληροφορίες μονοπατιού μιας ενημέρωσης του πρωτοκόλλου BGP επηρεάζονται με τη χρήση της εντολής set as-path prepend πριν από τη δήλωση του χάρτη δρομολόγησης. Ο τύπος της εντολής set as-path prepend είναι:

```

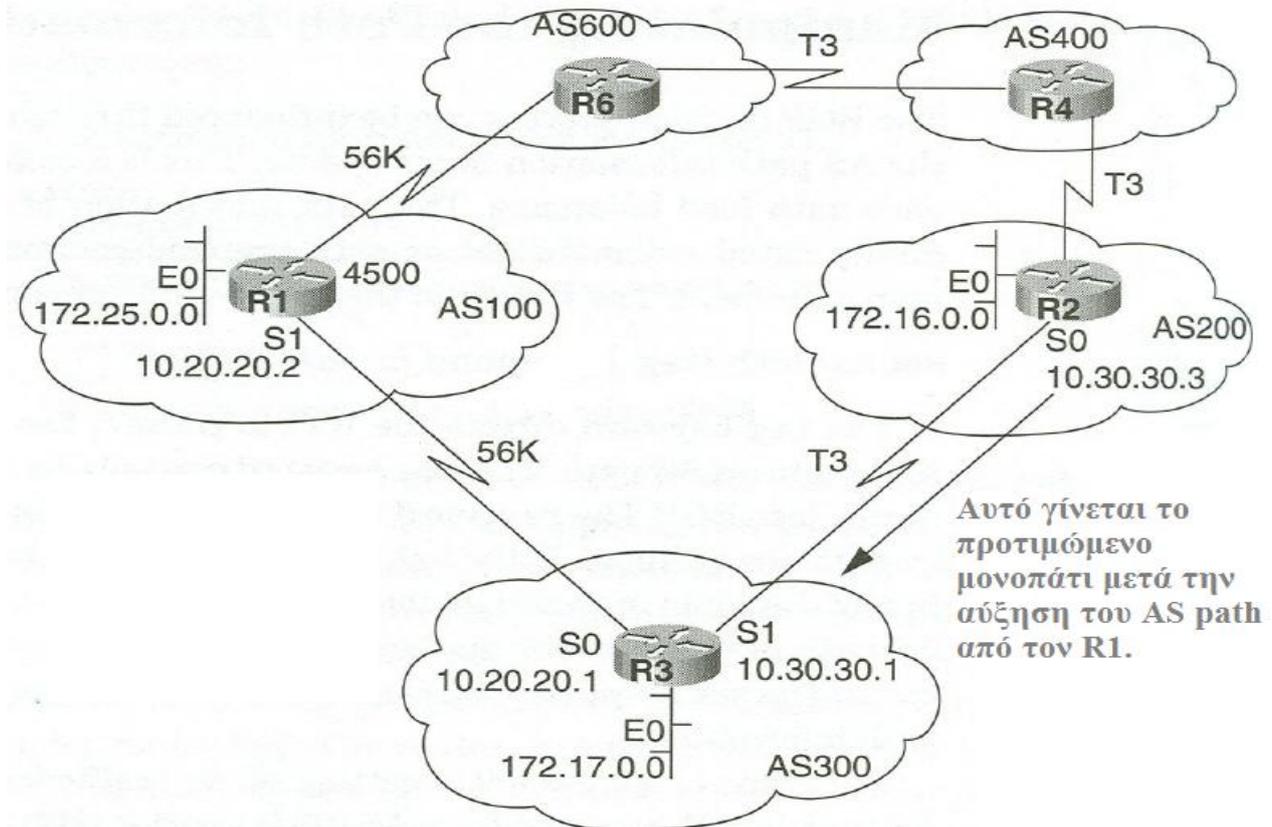
set as-path {tag | prepend as-path-string}

```

Με τη λέξη-κλειδί **tag** το IOS μετατρέπει την ετικέτα που σχετίζεται με μια διαδρομή σε ένα μονοπάτι του ΑΣ (προς ένα προορισμό). Η λέξη-κλειδί **tag** μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για την αναδιανομή διαδρομών σε BGP. Η λέξη-κλειδί **prepend** και η σχετική μεταβλητή με την ονομασία *as-path-string* επισυνάπτει την τιμή του *as-path-string* στις πληροφορίες του μονοπατιού ΑΣ που περιλαμβάνονται στη διαδρομή που συνδέεται με όσα έχει καθορίσει ο χάρτης δρομολόγησης. Η αλλαγή του μονοπατιού του ΑΣ (AS path) κατ' αυτόν τον τρόπο εφαρμόζεται τόσο στους εισερχόμενους όσο και στους εξερχόμενους χάρτες δρομολόγησης BGP. Η εντολή **set as-path** αυξάνει τεχνητά το εύρος των πληροφοριών ενός μονοπατιού ΑΣ.

Στο Σχήμα 24, το ΑΣ 300 λαμβάνει όλη την κυκλοφορία από το ΑΣ 100, επειδή είναι πιο σύντομο το μονοπάτι ΑΣ που λαμβάνεται από το ΑΣ 100 (100, 300) σε σχέση με το μονοπάτι ΑΣ που λαμβάνεται από το ΑΣ 400 (400, 200, 300). Αυτό επαληθεύεται με εξέταση του δρομολογητή R3 στο Σχήμα 24. Ο δρομολογητής R3 γνωστοποιεί το τοπικό του δίκτυο 172.17.0.0 τόσο στο ΑΣ 100 όσο και στο ΑΣ 200. Το ΑΣ 600 λαμβάνει αυτές τις πληροφορίες και ορίζει κατά πόσο μπορεί να προσεγγίσει το 172.17.0.0 μέσω δύο διαδρομών. Η πρώτη είναι από το ΑΣ 100 και η δεύτερη από το ΑΣ 400. Αν ταυτίζονται μεταξύ τους όλες οι άλλες ιδιότητες, το ΑΣ 600 θα χρησιμοποιήσει το συντομότερο μονοπάτι προς το δρομολογητή R3· σε αυτήν την περίπτωση, αναφερόμαστε στη διαδρομή μέσω του ΑΣ 100. Αν και αυτό μπορεί να συμβεί στο πλαίσιο της δρομολόγησης BGP, μπορεί να μην προτιμηθεί, βάσει της διαθεσιμότητας σε bandwidth και της απόδοσης του δρομολογητή.

Στο Σχήμα 24, έστω ότι το bandwidth της σύνδεσης του ΑΣ 100 με το ΑΣ 300 είναι 56 kbps και ο δρομολογητής R1 είναι ένας σειριακός δρομολογητής με μικρή σχετική απόδοση. Η φυσική σύνδεση από το ΑΣ 100 προς το ΑΣ 600 είναι επίσης γραμμή των 56 kbps, αλλά ο δρομολογητής R6 είναι ένας σειριακός δρομολογητής με απόδοση μεγαλύτερη από αυτή του R1. Η σύνδεση από το ΑΣ 600 στο ΑΣ 200 μέσω ΑΣ 400, και από εκεί στο δρομολογητή R3 στο ΑΣ 300, είναι τύπου T3 (45 mbps) με χαμηλό utilization. Σε μια τέτοια περίπτωση, κρίνεται φρόνιμο να εκμεταλλευτούμε το AS path κατά τέτοιο τρόπο που να αυξάνεται το AS length (μήκος του μονοπατιού) που λήφθηκε από το ΑΣ 100 σε ένα μήκος το οποίο είναι μεγαλύτερο από αυτό που λήφθηκε από το ΑΣ 200.



Σχήμα 24

Τοπολογία δικτύου για την χρήση της εντολής `set as-path prepend` προς αύξηση του μήκους του μονοπατιού ενός Αυτόνομου Συστήματος (AS path).

Η ρύθμιση που χρησιμοποιείται στο δρομολογητή R3 για να έλθει το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η ακόλουθη:

```
router bgp 300
 network 172.17.0.0
 neighbor 10.20.20.2 remote-as 100
 neighbor 10.20.20.2 route-map prefer-AS400 out
 route-map prefer-AS400
 set as-path prepend 300 300
```

Ένας συνηθισμένος τρόπος να μεγαλώσουμε ένα μονοπάτι ενός ΑΣ είναι να αντιγράψουμε τον αριθμό του τοπικού ΑΣ στις πληροφορίες του μονοπατιού. Στο παραπάνω παράδειγμα, αυτό πραγματοποιείται με τη χρήση της εντολής **`set as-path prepend 300 300`**. Εφαρμόζοντας αυτή τη δήλωση, το ΑΣ 600 λαμβάνει ενημερώσεις για το δίκτυο 172.17.0.0 από το ΑΣ 100, με πληροφορίες μονοπατιού όπως 100, 300, 300, 300. Με τη σειρά του, αυτό δημιουργεί μεγαλύτερο μήκος στο μονοπάτι σε σχέση με το φυσικό μονοπάτι που προέρχεται από το ΑΣ 400 (400, 200, 300).

3.16 Χρήση Ομάδων Ομότιμων Δρομολογητών BGP

Σε πολλές από τις προηγούμενες αναλύσεις, η μεταβλητή `peer-group-name` αναλύεται σε πολλές από τις εντολές που επηρεάζουν το πρωτόκολλο BGP. Η ομάδα ομότιμων δρομολογητών BGP (BGP peer group) είναι μια λίστα BGP γειτόνων που έχουν τις ίδιες απαιτήσεις σε ό,τι αφορά τις πολιτικές ενημέρωσης. Οι ομότιμες ομάδες δίνουν τη δυνατότητα στο διαχειριστή του δρομολογητή να ορίσει για

την ομάδα τις ίδιες πολιτικές ενημέρωσης, όπως οι χάρτες δρομολόγησης (route maps), οι λίστες διανομής (distribute-lists) και οι λίστες φίλτρων (filter-lists), παρά να ορίσει τις ίδιες πολιτικές για τους μεμονωμένους γείτονες. Η ομότιμη ομάδα δημιουργείται με χρήση της σχετικής εντολής για διαχείριση δρομολογητών `neighbor peer-group`. Ο τύπος της εντολής αυτής είναι

neighbor peer-group-name peer-group

Η μεταβλητή `peer-group-name` αντιστοιχεί στην ονομασία της ομότιμης ομάδας. Οι γείτονες μεταβιβάζονται σε μια ομότιμη ομάδα μέσω της ακόλουθης εντολής ρύθμισης:

neighbor ip-address peer-group peer-group-name

Η μεταβλητή `ip-address` είναι η τιμή της IP διεύθυνσης για έναν BGP γείτονα που ανήκει στην ομότιμη ομάδα. Η μεταβλητή `peer-group-name` μετά τη λέξη-κλειδί **peer-group** αντιστοιχεί στη BGP ομότιμη ομάδα της οποίας ο γείτονας είναι μέλος.

Κάθε μέλος της ομότιμης ομάδας αποκτά αυτομάτως τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

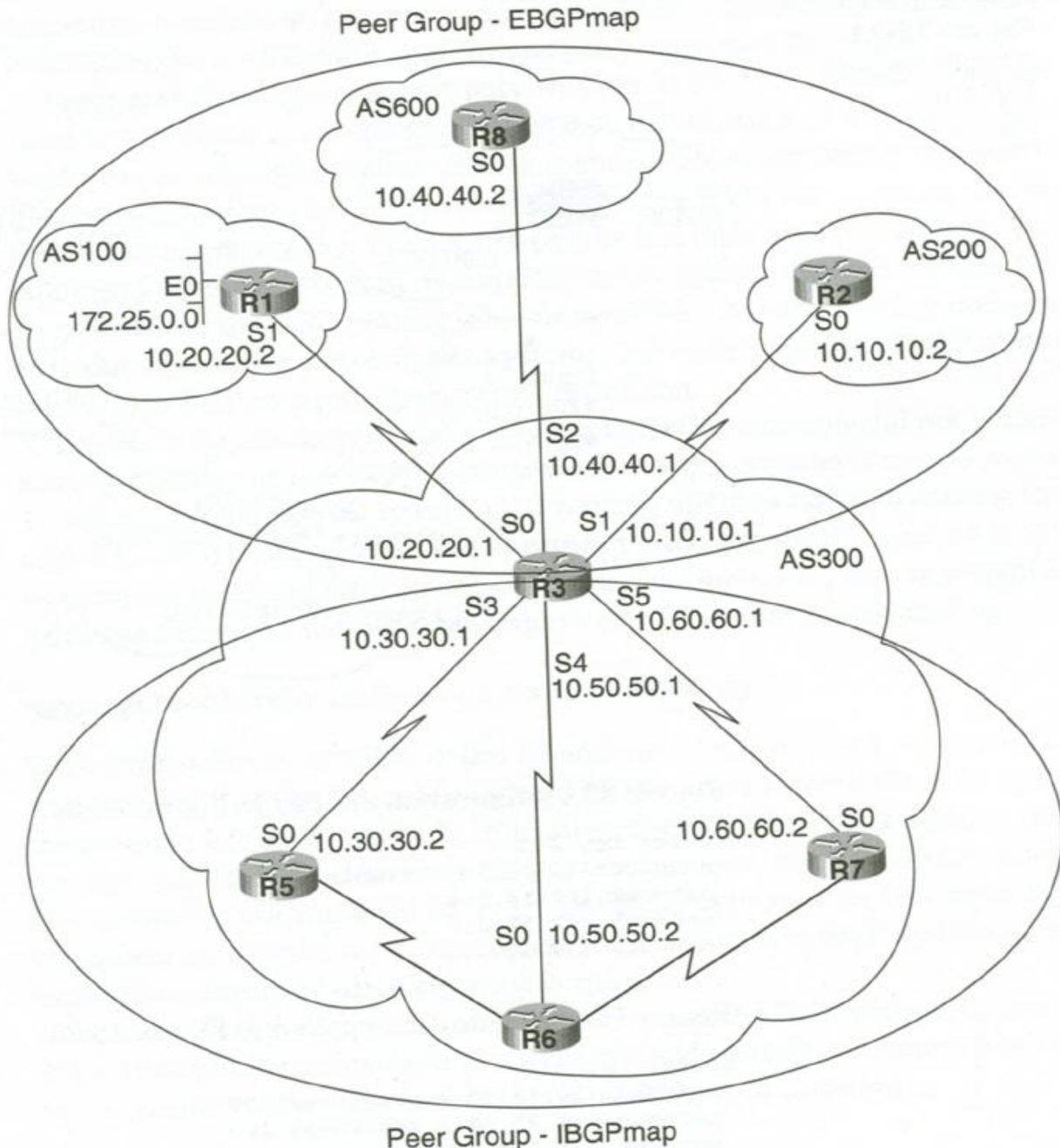
remote-as (μόνο αν το `peer-group-name` χρησιμοποιείται σε μια εντολή `neighbor remote-as`)
version
update-source
out-route-map
out-filter-list
out-dist-list
minimum-advertisement-interval
next-hop-self

Με τη βοήθεια του Σχήματος 25, οι ομότιμες ομάδες βρίσκουν εφαρμογή σε εσωτερικούς και εξωτερικούς γείτονες. Κατά τον καθορισμό των εσωτερικών ομότιμων ομάδων BGP, ο τύπος της εντολής `neighbor peer-group-name remote-as` γίνεται χρήσιμος, από τη στιγμή που οι επιλογές ρύθμισης επηρεάζουν μόνο τους δρομολογητές στο εσωτερικό του BGP δικτύου. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 25, μπορούμε να ρυθμίσουμε το δρομολογητή R3 αν χρησιμοποιήσουμε μια ομότιμη BGP ομάδα και εφαρμόσουμε λίστες φίλτρων στις εισερχόμενες και στις εξερχόμενες ενημερώσεις. Τα φίλτρα που εφαρμόζονται δεν έχουν σχέση με το παράδειγμα, οπότε δεν κωδικοποιούνται. Πάρ' όλα ταύτα, συμπεριλαμβάνονται, για να δείξουν ότι οι λίστες επηρεάζουν ολόκληρη την ομάδα των ομότιμων δρομολογητών.

Ρύθμιση του δρομολογητή R3 για εσωτερικούς BGP γείτονες στο Σχήμα 25:

```
router bgp 300
  neighbor IBGPmap peer-group
  neighbor IBGPmap remote-as 300
  neighbor IBGPmap route-map SETMETRIC out
  neighbor IBGPmap filter-list 1 out
  neighbor IBGPmap filter-list 2 in
  neighbor 10.50.50.2 peer-group IBGPmap
  neighbor 10.60.60.2 peer-group IBGPmap
  neighbor 10.30.30.2 peer-group IBGPmap
  neighbor 10.30.30.2 filter-list 3 in
```

Στην ενδεικτική ρύθμιση του δρομολογητή R3, η ομότιμη ομάδα με την ονομασία `IBGPmap` έχει καταχωρίσει στη λίστα τους δρομολογητές R5, R6 και R7, ως μέλη της ομότιμης ομάδας. Εδώ γίνεται χρήση της εντολής `neighbor peer-group` για να συσχετιστεί κάθε εσωτερικός BGP γείτονας με την ομότιμη `IBGPmap` ομάδα. Μια ξεχωριστή λίστα φίλτρων ορίζεται για το γείτονα 10.30.30.2



Σχήμα 25

Τοπολογία δικτύου για τον ορισμό ενός παραδείγματος ομάδος ομότιμων δρομολογητών BGP.

(δρομολογητής R5), η οποία θα υπερισχύσει (λειτουργία override) της λίστας φίλτρων υπ' αριθμόν 2, που εφαρμόζεται σε ολόκληρη την ομότιμη ομάδα. Όταν χρησιμοποιούμε ομότιμες ομάδες, οι επιλογές (options) που τέθηκαν μπορούν να «παραμερισθούν» (να γίνουν override) κατά τέτοιο τρόπο που να επηρεάζει μόνο τις εισερχόμενες ενημερώσεις. εδώ

Στις ομάδες εξωτερικών ομότιμων δρομολογητών BGP ορίζεται ακόμη ο επιπλέον έλεγχος της επιρροής των επιλογών στους διάφορους γείτονες. Στο παράδειγμα ρύθμισης δρομολογητή που ακολουθεί, ο δρομολογητής R3 έχει ορίσει τους εξωτερικούς BGP δρομολογητές σε μια ομότιμη ομάδα με το όνομα EBGPmap. Η εντολή **neighbor peer-group-name remote-as** δε χρησιμοποιείται για τον ορισμό των εξωτερικών ομότιμων BGP ομάδων, επειδή πρέπει να οριστούν πολλοί αριθμοί αυτόνομων συστημάτων.

Ρύθμιση για το δρομολογητή R3 με χρήση εξωτερικών ομότιμων BGP ομάδων, στο Σχήμα 25:

```

router bgp 300
 neighbor EBGPmap peer-group
 neighbor EBGPmap route-map SETMETRIC
 neighbor EBGPmap filter-list 1 out
 neighbor EBGPmap filter-list 2 in
 neighbor 10.20.20.2 remote-as 100
 neighbor 10.20.20.2 peer-group EBGPmap
 neighbor 10.40.40.2 remote-as 600
 neighbor 10.40.40.2 peer-group EBGPmap
 neighbor 10.10.10.2 remote-as 200
 neighbor 10.10.10.2 peer-group EBGPmap
 neighbor 10.10.10.2 filter-list 3 in

```

Για κάθε εξωτερικό BGP γείτονα, ορίζεται το ζεύγος των εντολών **neighbor remote-as** και **neighbor-peer-group**.

3.17 Συνοψίζοντας διευθύνσεις

Το BGP4 είναι η μόνη έκδοση του πρωτοκόλλου BGP που υποστηρίζει τη διευθυνσιοδότηση τύπου Classless Interdomain Routing (CIDR). Η διευθυνσιοδότηση τύπου CIDR καταργεί την έννοια της IP κλάσης (class), επιτρέποντας την εφαρμογή αυτού που ονομάζουμε υπερδίκτυα (supernets). Τα υπερδίκτυα χρησιμοποιούνται κυρίως σε τύπο διεύθυνσης Class B και Class C. Για παράδειγμα, η Class C διεύθυνση του 192.168.200.0 με μάσκα υποδικτύου 255.255.255.0 μπορεί να μετατραπεί σε υπερδίκτυο, χρησιμοποιώντας μόνο το 192.168.0.0 με την μάσκα υποδικτύου (subnet mask) 255.255.0.0. Η χρήση υπερδικτύων CIDR αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμη στη μείωση του μεγέθους των ενημερώσεων δρομολόγησης, άρα και των πινάκων δρομολόγησης.

Το πρωτόκολλο BGP κάνει επιτρεπτή τη σύνοψη των διευθύνσεων του δικτύου αναπαράγοντας μαζί τα πιο κοινά bits μια IP διεύθυνσης δικτύου, ώστε μία μόνο διαδρομή να γνωστοποιείται, για να κατασκευάζονται πίνακες δρομολόγησης στο υπερδίκτυο. Με τη βοήθεια του Σχήματος 26, τα δίκτυα που προέρχονται από το δρομολογητή R2 του ΑΣ 200 είναι το 172.16.0.0, το 172.17.0.0 και το 172.30.0.0. Η σύνοψη των διευθύνσεων και η έννοια των υπερδικτύων επιτρέπει στο διαχειριστή του δρομολογητή να μειώσει τη γνωστοποίηση τριών διαδρομών χρησιμοποιώντας το υπερδίκτυο 172.0.0.0.

Στο Σχήμα 26, ο δρομολογητής R2 αποστέλλει ενημερώσεις δρομολόγησης για τα δίκτυα 172.16.0.0, 172.17.0.0 και 172.30.0.0. Ο δρομολογητής R3 ρυθμίζεται όπως θα δούμε παρακάτω, προκειμένου να προωθήσει τη γνωστοποίηση μιας διαδρομής τύπου υπερδικτύου του δικτύου 172.0.0.0 προς το δρομολογητή R1. Η παρακάτω ρύθμιση δείχνει τις προδιαγραφές μιας απλής σύνοψης διευθύνσεων:

Ρύθμιση δρομολογητή R2, εφαρμοσμένη το Σχήμα 26:

```

router bgp 200
 neighbor 10.30.30.1 remote-as 300
 network 172.16.0.0
 network 172.17.0.0
 network 172.30.0.0

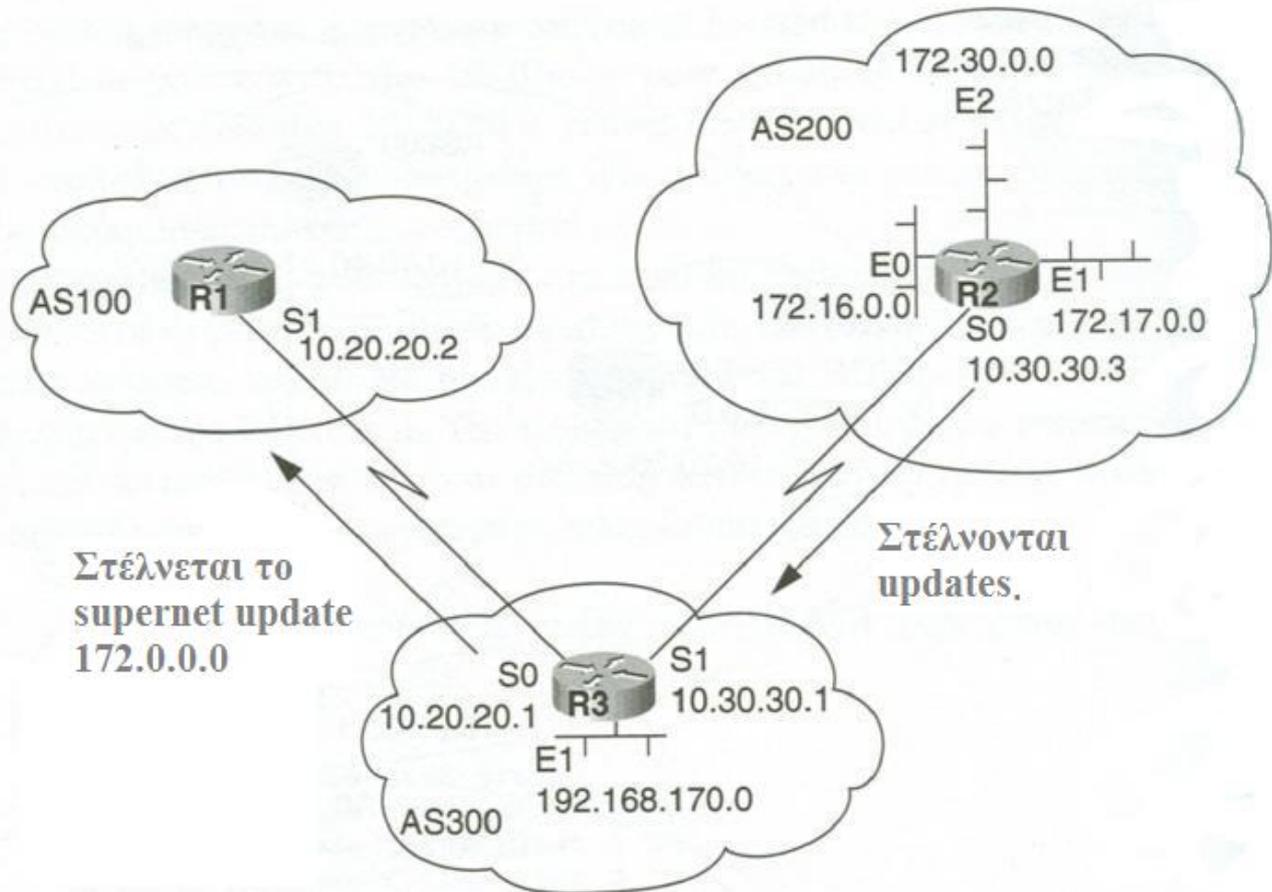
```

Ρύθμιση δρομολογητή R3, εφαρμοσμένη το Σχήμα 26:

```

router bgp 300
 neighbor 10.30.30.3 remote-as 200

```



Σχήμα 26

Μια απλή τοπολογία για την σύνοψη BGP διαδρομών.

```
neighbor 10.20.20.2 remote-as 100
network 192.168.170.0
aggregate-address 172.0.0.0 255.0.0.0
```

Η παραπάνω ενδεικτική ρύθμιση χρησιμοποιεί την απλούστερη μορφή της εντολής aggregate address. Ο πλήρης τύπος της εντολής είναι ο εξής:

```
aggregate-address address mask [as-set] [summary-only] [suppress-map map-name]
[advertise-map map-name] [attribute-map map-name]
```

Η μεταβλητή *address* αντιστοιχεί στη διεύθυνση σύνοψης ή διεύθυνσης υπερδικτύου, που χρησιμοποιείται για να συνοψίσει τις διαδρομές. Η μεταβλητή *mask* είναι η μάσκα bit που εφαρμόζεται στη μεταβλητή *address* για την οριοθέτηση του υπερδικτύου. Αν ορίσουμε στην εντολή μόνο τις μεταβλητές *address* και *mask*, το αποτέλεσμα είναι το BGP να γνωστοποιήσει το υπερδίκτυο, που ονομάζεται επίσης και προθεματική διαδρομή (prefix route) σε αντίθεση προς τις πιο συγκεκριμένες διαδρομές (specific routes).

Στο προηγούμενο παράδειγμα, δε γνωστοποιείται μόνο το δίκτυο 172.0.0.0, αλλά και τα πιο συγκεκριμένα δίκτυα 172.16.0.0, 172.17.0.0 και 172.30.0.0 γνωστοποιούνται στο δρομολογητή R1. Η σύνοψη διευθύνσεων είναι δυνατή μόνον όταν βρίσκεται μια πιο συγκεκριμένη διαδρομή στον BGP πίνακα δρομολόγησης. Για παράδειγμα, ο δρομολογητής R2 δεν μπορεί να συνοψίσει τα δίκτυα 172.x.x.x, αν δεν έχει μια πιο συγκεκριμένη καταχώρηση για το δίκτυο στο δικό του BGP πίνακα δρομολόγησης. Συγκεκριμένες καταχωρήσεις μπορούν να συμπεριληφθούν στον BGP πίνακα δρομολόγησης είτε από τις εισερχόμενες ενημερώσεις δρομολόγησης που λαμβάνονται από άλλα αυτόνομα συστήματα, είτε την αναδιανομή των IGP στατικών διαδρομών σε BGP, είτε με χρήση της εντολής network.

Στηριζόμενο σε αυτή την ανάλυση, το ανωτέρω παράδειγμα ρύθμισης δεν μείωσε τις ενημερώσεις δρομολόγησης, ούτε και τον πίνακα δρομολόγησης, αλλά στην πραγματικότητα τον αύξησε κατά μία διαδρομή. Για να ολοκληρώσουμε την ουσιαστική μείωση των ενημερώσεων δρομολόγησης και τη μείωση του μεγέθους του BGP πίνακα δρομολόγησης, η λέξη-κλειδί **summary-only** εφαρμόζεται στην εντολή **aggregate-address address mask**. Ο λεπτομερής ορισμός της εντολής **aggregate-address** με τη λέξη-κλειδί **summary-only** έχει τον τύπο

aggregate-address address mask summary-only

όπου η μεταβλητή *address* είναι η υπό σύνοψη IP διεύθυνση του δικτύου και η μεταβλητή *mask*, η bit μάσκα που εφαρμόζεται στην μεταβλητή *address*. Η λέξη-κλειδί **summary-only** έχει ως αποτέλεσμα το BGP να γνωστοποιεί μόνο την prefix address και όχι τις πιο συγκεκριμένες διευθύνσεις. Ωστόσο, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο με τον οποίο τα δίκτυα περιλαμβάνονται στο BGP. Ο ορισμός του δικτύου στη δήλωση **network** έχει ως αποτέλεσμα η διεύθυνση δικτύου να συμπεριληφθεί στις ενημερώσεις BGP, ακόμη κι όταν ορίζεται λεπτομερώς η λέξη-κλειδί **summary-only**.

Με το συνυπολογισμό της λέξης-κλειδί **as-set**, η BGP διαδικασία δημιουργεί πληροφορίες μονοπατιού σχετικά με το σετ των ΑΣ (AS set path information), τόσο για τη γνωστοποίηση της prefix address όσο και για πιο συγκεκριμένες διαδρομές (specific routes). Ο τύπος που απαιτείται για να χρησιμοποιήσουμε τη λέξη-κλειδί **as-set** είναι

aggregate-address address mask as-set

όπου και πάλι η μεταβλητή *address* αντιστοιχεί στην IP διεύθυνση του υπερδικτύου και η μεταβλητή *mask* στην bit μάσκα που εφαρμόζεται στην μεταβλητή *address*.

Η λέξη-κλειδί **as-set** της εντολής aggregate-address χρησιμοποιείται καταρχάς σε πληροφορίες σύνοψης διαδρομής, όπου η ιδιότητα path (path attribute) έχει χάσει πληροφορίες, εξαιτίας της λειτουργίας της διαδικασίας AS-SETS όταν γίνεται η σύνοψη. Η διαδικασία AS-SETS μειώνει το εύρος των πληροφοριών μονοπατιού, συμπεριλαμβάνοντας έναν αριθμό ΑΣ μόνο μία φορά, ακόμη κι αν βρίσκεται σε πολλαπλά μονοπάτια που χρησιμοποιούνται για να πραγματοποιηθεί η σύνοψη.

Στο Σχήμα 27, ο δρομολογητής R3 πρόκειται να κάνει σύνοψη με τη βοήθεια του δικτύου 172.0.0.0 255.0.0.0 και να στείλει το μονοπάτι στο δρομολογητή R4. Ο δρομολογητής R4 δεν ενημερώνεται για την προέλευση αυτής της διαδρομής, αν ο δρομολογητής R3 δε χρησιμοποιεί τη λέξη-κλειδί as-set στην εντολή aggregate address για να δημιουργήσει πληροφορίες μονοπατιού ως σετ μονοπατιών (ομάδα από μονοπάτια που συνοψίζονται). Το σετ αυτό περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες των μονοπατιών, άσχετα με το ποιο μονοπάτι έφτασε πρώτο.

Για να έρθει το επιθυμητό αποτέλεσμα, ο δρομολογητής ρυθμίζεται ως εξής:

Ρύθμιση δρομολογητή R1, εφαρμοσμένη στο Σχήμα 27:

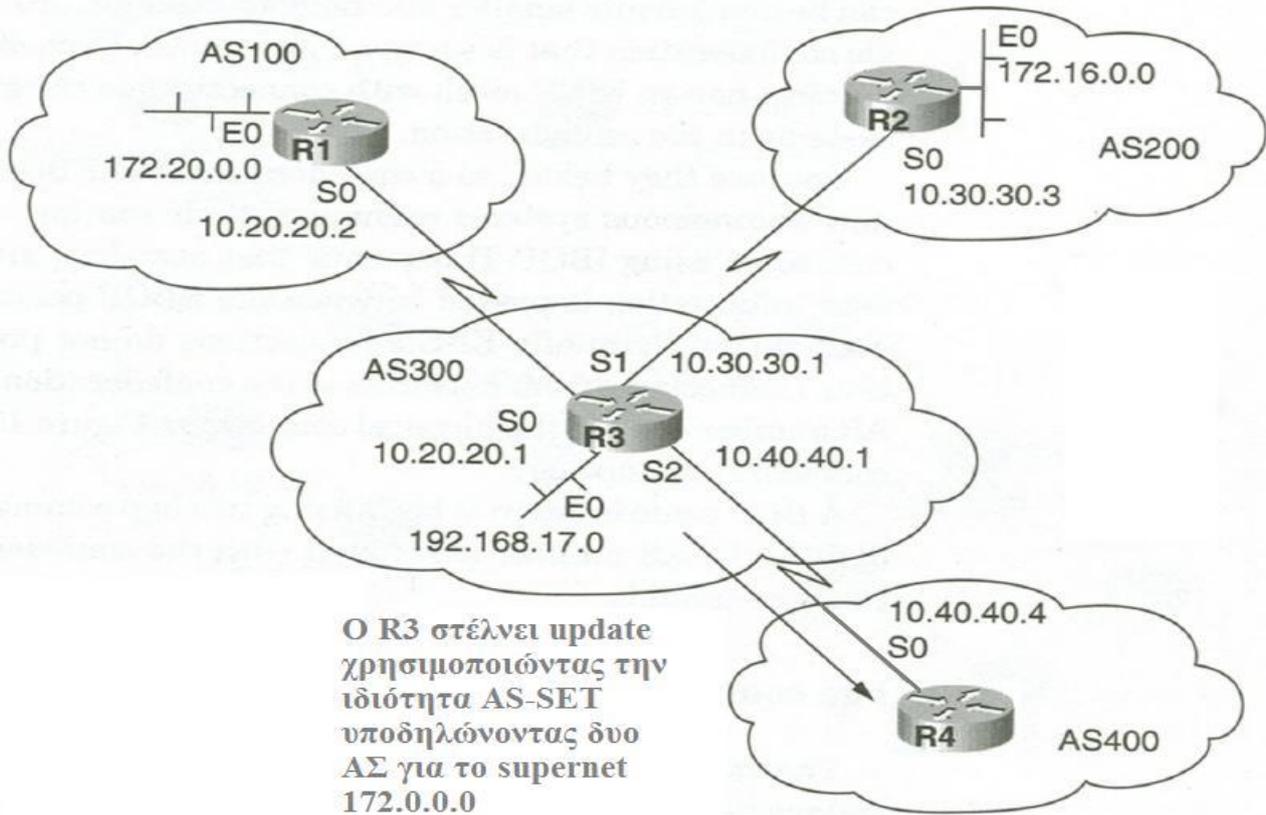
```
router bgp 100
network 172.20.0.0
neighbor 10.20.20.1 remote-as 300
```

Ρύθμιση δρομολογητή R2, εφαρμοσμένη στο Σχήμα 27:

```
router bgp 200
network 172.16.0.0
neighbor 10.30.30.1 remote-as 300
```

Ρύθμιση δρομολογητή R3, εφαρμοσμένη στο Σχήμα 27:

```
router bgp 300
```



Σχήμα 27

Τοπολογία δικτύου για την χρήση της εντολής as-set aggregate.

```
neighbor 10.30.30.3 remote-as 200
neighbor 10.20.20.2 remote-as 100
neighbor 10.40.40.4 remote-as 400
aggregate-address 172.0.0.0 255.0.0.0 summary-only
aggregate-address 172.0.0.0 255.0.0.0 as-set
```

Με την εφαρμογή των ανωτέρω ρυθμίσεων, ο δρομολογητής R3 αποστέλλει ενημερώσεις σχετικά με το υπερδίκτυο 172.0.0.0 255.0.0.0 στο δρομολογητή R4 με AS-SET της τάξης του ({100 200}) συμπεριλαμβανομένου στις πληροφορίες του μονοπατιού. Χωρίς την ρύθμιση της εντολής aggregate-address as-set στο δρομολογητή R3, ο δρομολογητής R4 δε θα γνώριζε ότι το υπερδίκτυο 172.0.0.0 ουσιαστικά πηγάει από δύο διαφορετικά αυτόνομα συστήματα. Η χρήση της λέξης-κλειδί **as-set** σε μια συμπληρωματική εντολή **aggregate-address** προστατεύει το δρομολογητή R4 από το να δημιουργήσει loop στο ΑΣ 100 μέσω μιας άγνωστης σύνδεσης backdoor.

Η λέξη-κλειδί **suppress-map**, μαζί με τη μεταβλητή *map-name* που ακολουθεί, καθιστά εφικτή την αποσιώπηση (απαγόρευση) των πιο συγκεκριμένων διαδρομών, όταν συνοψίζει τη συνένωση των διευθύνσεων με τη βοήθεια ενός χάρτη δρομολόγησης που εφαρμόζεται στην καταχώρηση aggregate. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 27, όταν χρησιμοποιείται η λέξη **suppress-map** στην εντολή aggregate-address μαζί με τις σχετικές δηλώσεις route-map και access-list, το υπερδίκτυο 172.0.0.0 και τα δίκτυα 172.16.0.0 γνωστοποιούνται, ενώ οι συγκεκριμένες διαδρομές για το 172.20.0.0 μπορούν να αποσιωπηθούν. Αυτό αποδεικνύει και η παρακάτω ρύθμιση του δρομολογητή R3:

Ρύθμιση του δρομολογητή R3 που απαγορεύει το δίκτυο 172.20.0.0:

```
router bgp 300
neighbor 10.30.30.3 remote-as 200
neighbor 10.20.20.2 remote-as 100
network 192.168.17.0
```

```
aggregate-address 172.0.0.0 255.0.0.0 suppress-map NO172-20
```

```
route-map NO172-20 permit 10
  match ip address 1
access-list 1 deny 172.20.0.0 0.0.255.255
access-list 1 permit 0.0.0.0 255.255.255.255
```

Η λέξη-κλειδί **advertise-map** και η σχετική με αυτή *map-name* αναγνωρίζουν το χάρτη δρομολόγησης που χρησιμοποιείται για την επιλογή διαδρομών όταν δημιουργούνται κοινότητες με πηγή AS-SET. Η λέξη-κλειδί **attribute-map**, πριν από την τιμή της μεταβλητής *map-name*, πιστοποιεί το χάρτη δρομολόγησης που χρειάζεται για τη ρύθμιση των διάφορων ιδιοτήτων της γνωστοποιημένης συνοψισμένης διαδρομής.

3.18 Ομαδοποίηση πολλαπλών αυτόνομων συστημάτων σε μια συνομοσπονδία BGP (BGP Confederation)

Πολλά δίκτυα παροχής διαδικτυακών υπηρεσιών (ISPs) έχουν σημαντικό αριθμό διευθετήσεων IGBP τύπου mesh (πλέγματος) εντός του ΑΣ τους. (δηλ. αρκετές αλληλοσυνδεδεμένες IGBP συνδέσεις εντός του ΑΣ τους). Χρησιμοποιώντας τη γενική ιδέα μιας Συνομοσπονδίας (Confederation), ένα μεγάλο ΑΣ διαιρείται σε μικρότερα αυτόνομα συστήματα, που ενώνονται όλα μαζί σαν μια συνομοσπονδία στην οποία έχει παραχωρηθεί το δικό της ΑΣ.. Καθένα από τα νέα αυτόνομα συστήματα έχει ένα IGBP mesh με συνδέσεις με τα υπόλοιπα νέα αυτόνομα συστήματα της συνομοσπονδίας.

Για το λόγο ότι ανήκουν σε μια συνομοσπονδία, το EBGP peering (=ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των EBGP peers) μεταξύ των δρομολογητών των νέων αυτόνομων συστημάτων ανταλλάσσει τις ενημερώσεις δρομολόγησης του καθενός σαν να ήταν συνδεδεμένα χρησιμοποιώντας το IBGP. Αυτό σημαίνει ότι οι πληροφορίες next-hop, metric και local preference περνούν μεταξύ των ομότιμων EBGP δρομολογητών της συνομοσπονδίας, έστω κι αν συνήθως οι EBGP συνδέσεις δεν δημοσιοποιούν αυτές τις πληροφορίες. Οι συνδέσεις από τα δίκτυα προς τη συνομοσπονδία χρησιμοποιούν τον αριθμό του ΑΣ της συνομοσπονδίας (AS number), παρά τη φυσική σύνδεση. Το Σχήμα 27 απεικονίζει μια τοπολογία BGP συνομοσπονδίας.

Μια BGP συνομοσπονδία δημιουργείται με τη χρήση δύο εντολών. Η πρώτη από αυτές ορίζει τον αριθμό του ΑΣ που σχετίζεται με αυτήν τη συνομοσπονδία. Ο τύπος της εντολής είναι

```
bgp confederation identifier autonomous-system
```

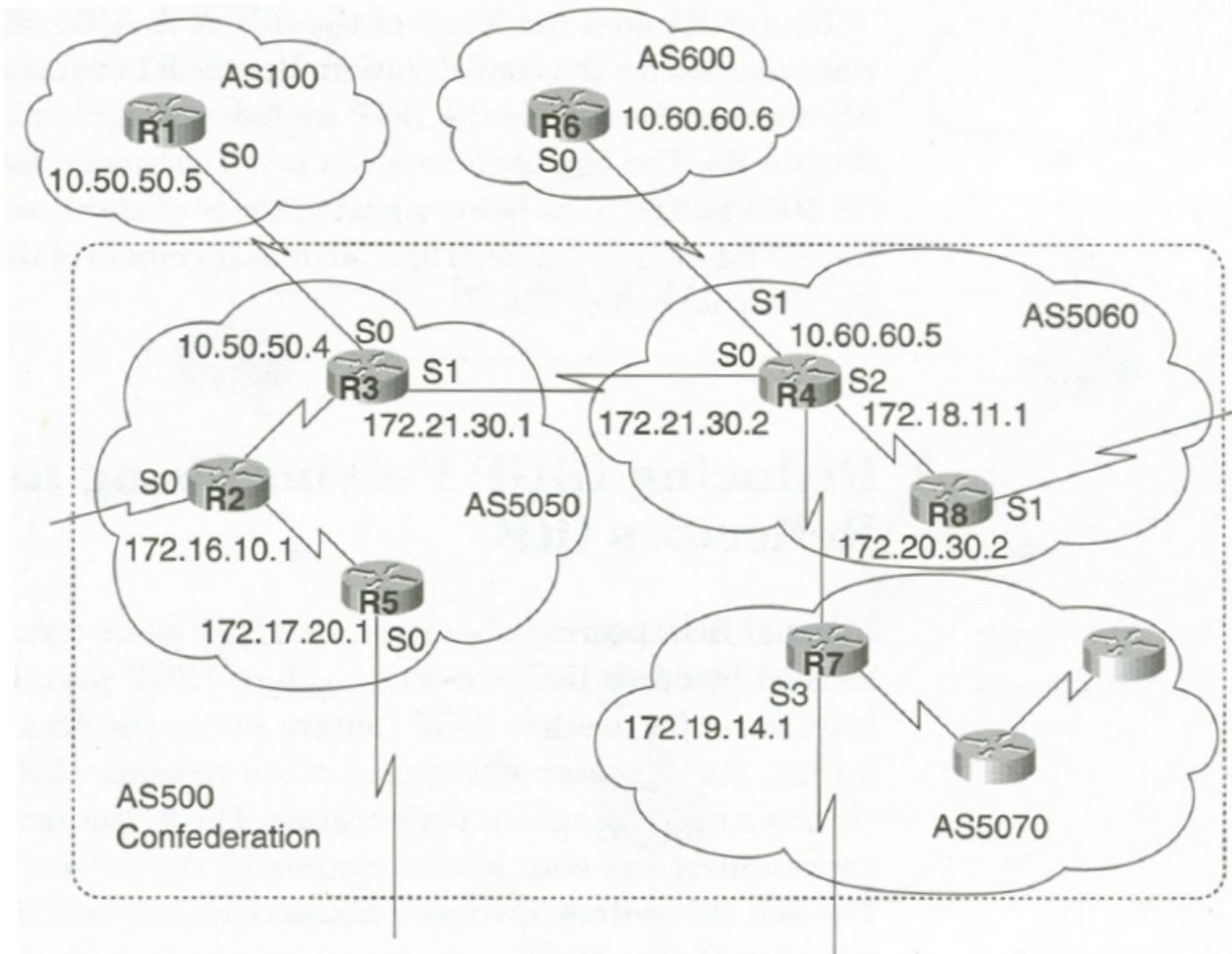
Η τιμή που ορίζεται για την μεταβλητή *autonomous-system* της εντολής **bgp confederation identifier** είναι ο αριθμός του ΑΣ (AS number) που σχετίζεται με τη συνομοσπονδία BGP. Η τιμή κυμαίνεται από 1 έως 65,535 και πρέπει να είναι μοναδική στο πλαίσιο του δικτύου.

Ο δεύτερος απαιτούμενος ορισμός, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί BGP συνομοσπονδία, είναι η εντολή **bgp confederation peers**. Οι ομότιμοι BGP δρομολογητές γίνονται μέλη της συνομοσπονδίας δίνοντας την εντολή **bgp confederation peer** στην router διευθέτησή τους. Ο τύπος της εντολής είναι

```
bgp confederation peers autonomous-system [autonomous-system]
```

Η μεταβλητή (-ές) *autonomous-system* πιστοποιεί (-ούν) τα BGP AS numbers των δρομολογητών που ανήκουν στην συνομοσπονδία που ορίστηκε κάτω από την εντολή **router bgp**.

Στο Σχήμα 28, το ΑΣ 500 αποτελείται από οκτώ BGP δρομολογητές με EBGP συνδέσεις με άλλα ΑΣ. Για τη δημιουργία πλήρους πλέγματος συνδέσεων (full mesh) εντός του ΑΣ 500, απαιτούνται οκτώ



Σχήμα 28

Μια τοπολογία BGP συνομοσπονδίας (confederation).

ομότιμες συνδέσεις για κάθε δρομολογητή, χωρισμένες σε επτά IBGP ομότιμες συνδέσεις και μία EBGP ομότιμη σύνδεση με ένα εξωτερικό ΑΣ. Με τη χρήση συνομοσπονδίας, το ΑΣ 500 διαιρείται σίγουρα σε τρία ΑΣ, εκ των οποίων το καθένα έχει full IBGP mesh. Τα παρακάτω δείχνουν τη ρύθμιση της BGP συνομοσπονδίας για τους δρομολογητές R1, R3 και R4 του Σχήματος 28:

Ρύθμιση του δρομολογητή R1 για τον ορισμό της συνομοσπονδίας BGP του Σχήματος 28:

```
router bgp 100
neighbor 10.50.50.4 remote-as 500
```

Ρύθμιση του δρομολογητή R3 για τον ορισμό της συνομοσπονδίας BGP του Σχήματος 28 δίνοντας και τις αντίστοιχες επεξηγήσεις :

```
router bgp 5050
  bgp confederation identifier 500
  bgp confederation peers 5060 5070
  neighbor 172.16.10.1 remote-as 5050
  neighbor 172.17.20.1 remote-as 5050
  neighbor 172.18.11.1 remote-as 5060
  neighbor 172.19.14.1 remote-as 5070
  neighbor 10.50.50.5 remote-as 100
```

(IBGP σύνδεση εντός του ΑΣ 5050)
 (IBGP σύνδεση εντός του ΑΣ 5050)
 (BGP σύνδεση με το συνομοσπονδιακό peer 5060)
 (BGP σύνδεση με το συνομοσπονδιακό peer 5070)
 (EBGP σύνδεση με το εξωτερικό ΑΣ 100)

Ρύθμιση του δρομολογητή R4 για τον ορισμό της συνομοσπονδίας BGP του Σχήματος 28:

```
router bgp 5060
  bgp confederation identifier 500
  bgp confederation peers 5050 5070
  neighbor 172.20.30.2 remote-as 5060
  neighbor 172.21.30.1 remote-as 5050
  neighbor 172.19.14.1 remote-as 5070
  neighbor 10.60.60.6 remote-as 600
```

Ο δρομολογητής R1 δε γνωρίζει τα νέα ΑΣ 5050, 5060 και 5070 που δημιουργήθηκαν για τη συνομοσπονδία. Ο δρομολογητής R1 επικοινωνεί με τους ομότιμους του δρομολογητές χρησιμοποιώντας τον αριθμό ΑΣ 500. Το 500 αντιστοιχεί σε αυτό που αναγνωρίζει η BGP συνομοσπονδία για τους δρομολογητές R3 και R4. Η εντολή `bgp confederation peers` για το δρομολογητή R3 αναγνωρίζει ότι τα ΑΣ 5060 και 5070 ανήκουν στη συνομοσπονδία, χρησιμοποιώντας τον αριθμό 500 για τον προσδιορισμό τους. Ο δρομολογητής R4 αναγνωρίζει τα ΑΣ 5050 και 5070 ως μέλη της συνομοσπονδίας κατά τον ίδιο τρόπο.

3.19 Μείωση του IBGP peering με τη βοήθεια των Route Reflectors (Ανακλαστήρων Διαδρομής - ΑΔ)

Στο εσωτερικό BGP peering, οι γνωστοποιημένες διαδρομές των IBGP ομότιμων δρομολογητών (peers) δε γίνονται γνωστές προς τρίτους IBGP peers. Οι IBGP peers οι οποίοι παρέχουν τις γνωστές σε αυτούς διαδρομές σε άλλους IBGP δρομολογητές εντός του ΑΣ ονομάζονται ανακλαστικοί διαδρομών (route reflecting). Ένας IBGP δρομολογητής που λειτουργεί ως ανακλαστήρας διαδρομής (ΑΔ) εκτελεί μια λειτουργία συγγενή με τη ρύθμιση των hub. Ο δρομολογητής που χρησιμοποιεί το χαρακτηριστικό ΑΔ έχει ομότιμες συνδέσεις με όλους τους δρομολογητές του ΑΣ και ενημερώνει του πίνακές τους. Οι δρομολογητές που δεν ενσωματώνουν το παραπάνω χαρακτηριστικό έχουν ομότιμες συνδέσεις μόνο με το δρομολογητή ΑΔ, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 29.

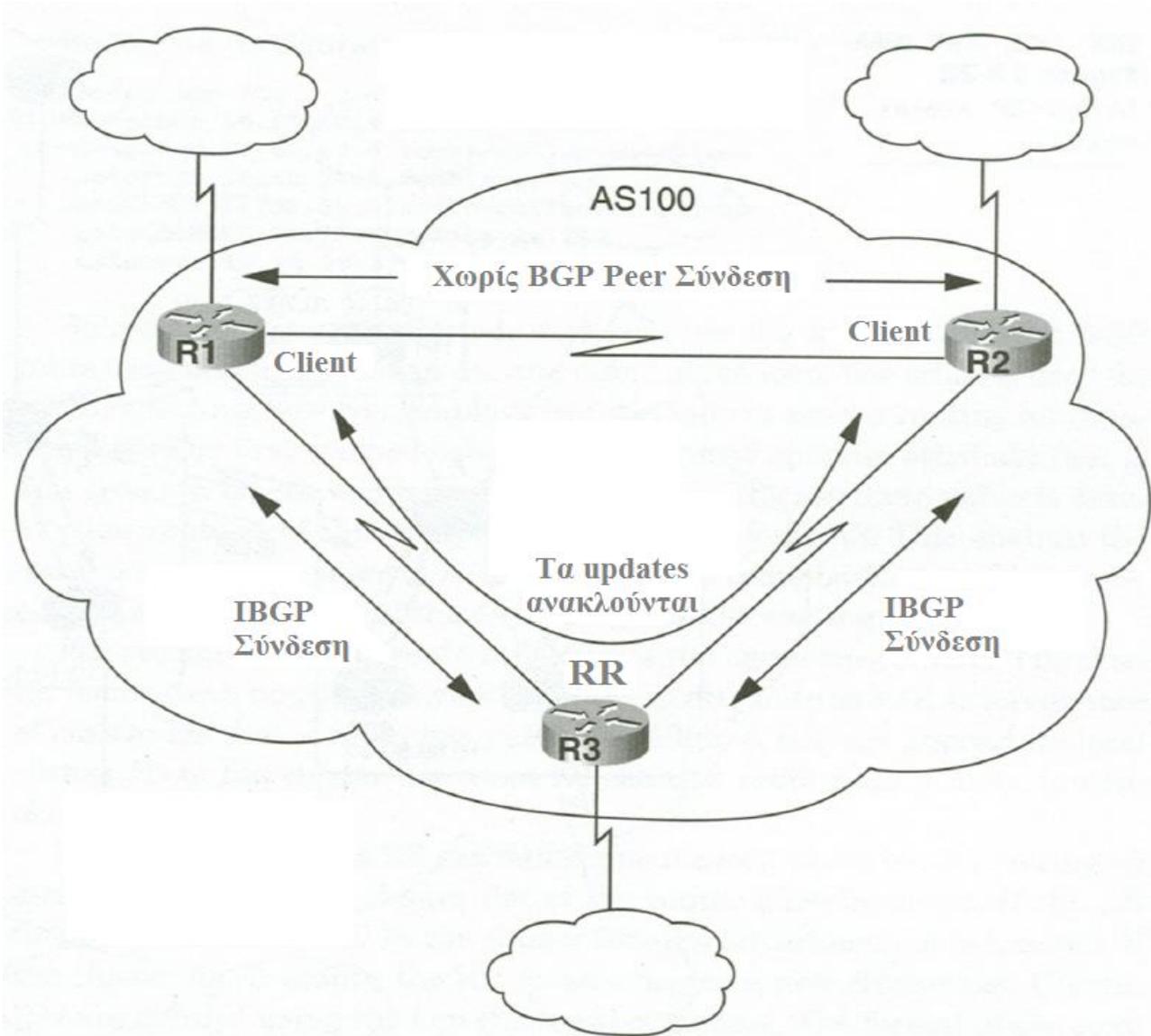
Σε αυτήν την απλή ρύθμιση, δε χρειάζεται το κανονικό full IBGP mesh για τη σύνδεση των δρομολογητών R1, R2 και R3 στο ΑΣ 100, επειδή ο δρομολογητής R3 εκτελεί τη λειτουργία ενός ΑΔ. Οι δρομολογητές R1 και R2 δεν είναι ομότιμοι μεταξύ τους. Αντιθέτως, ενημερώνονται για τις διαδρομές μόνο από το δρομολογητή R3. Ο δρομολογητής R3 «ανακλά» τις ενημερώσεις δρομολόγησης που έλαβε από τους R1 και R2, και ενημερώνει από τον R2 προς τον R1. Ο δρομολογητής που λειτουργεί ως ΑΔ αναφέρει ως «πελάτες» («clients») τους γείτονες δρομολογητές από τους οποίους λαμβάνει τις ενημερώσεις. Ο συνδυασμός ΑΔ και πελατών ονομάζεται συστοιχία (cluster).

Στο Σχήμα 29, οι δρομολογητές R1, R2 και R3 σχηματίζουν τη συστοιχία με το δρομολογητή R3 ως μοναδικό ΑΔ στο ΑΣ. Οι IBGP peers του ΑΔ που δεν ορίζονται ως πελάτες αναφέρονται ως «μη πελάτες». Ένας δρομολογητής αποκτά την ιδιότητα του ΑΔ όταν περιλαμβάνει στη ρύθμιση `router bgp` την εντολή **neighbor route-reflector-client**. Ο τύπος αυτής της εντολής είναι

neighbor ip-address route-reflector-client

Η τιμή της μεταβλητής *ip-address* είναι η IP διεύθυνση του BGP γείτονα που ορίζεται ως πελάτης του δρομολογητή. Ο ορισμός αυτής της εντολής έχει ως αποτέλεσμα ο δρομολογητής να λειτουργεί ως ανακλαστήρας διαδρομής.

Σε ένα ΑΣ μπορούν να υπάρχουν περισσότεροι του ενός ΑΔ. Στην περίπτωση αυτή, μπορούν να δημιουργηθούν πολλαπλές συστοιχίες. Ένας ΑΔ επικοινωνεί με τους υπόλοιπους ΑΔ σαν να είναι IBGP peers. Οι πολλαπλοί ΑΔ ορίζονται στην ίδια συστοιχία ή και σε διαφορετικές συστοιχίες.



Σχήμα 29

Μια απλή τοπολογία για τον ορισμό του Ανακλαστήρα Διαδρομής (Route Reflector).

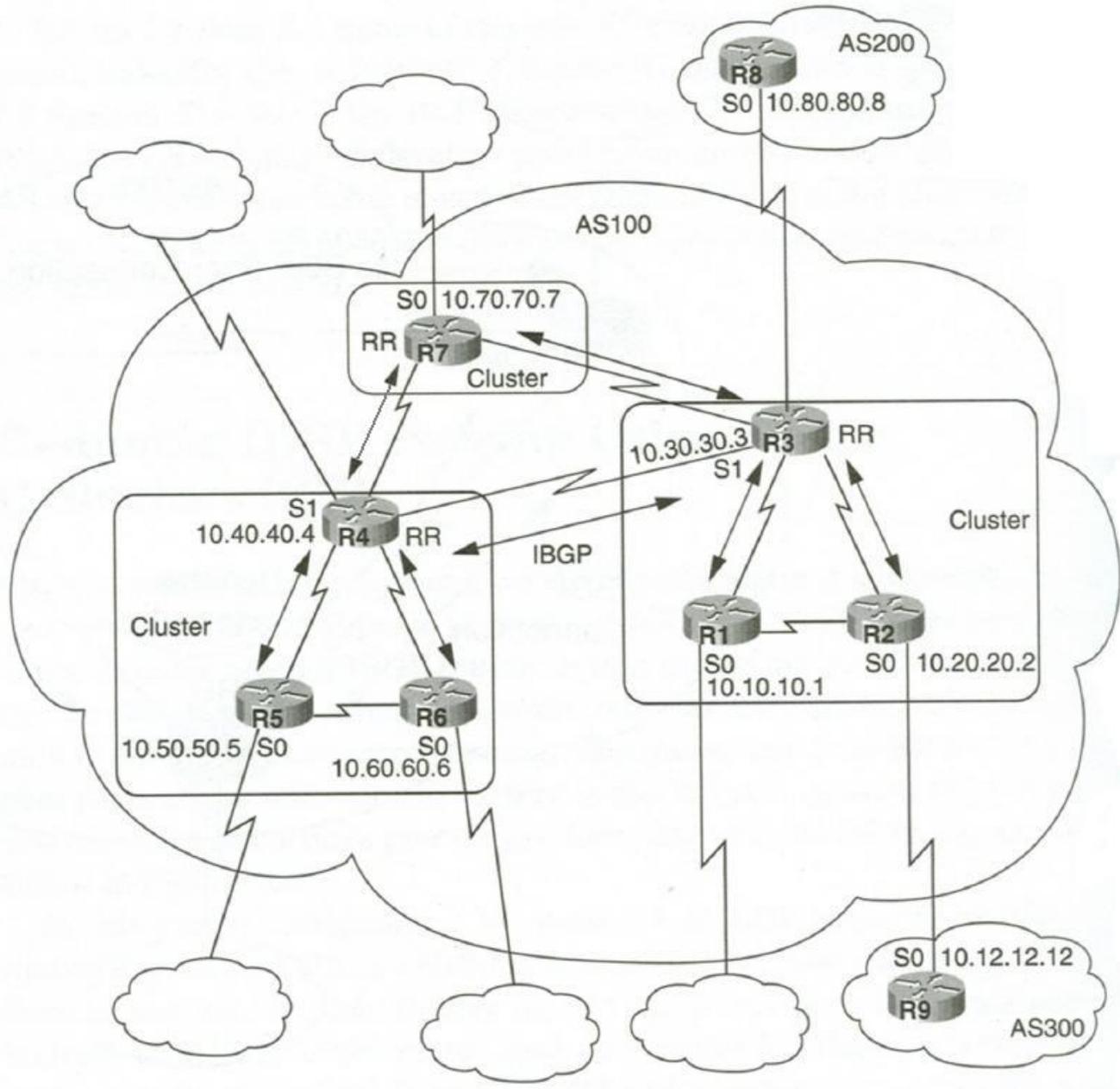
Για παράδειγμα, στο Σχήμα 30, οι δρομολογητές R1, R2 και R3 ορίζουν μία συστοιχία, με τον R3 να είναι ο ΑΔ της συστοιχίας. Με τον ορισμό του δρομολογητή R4 δημιουργείται και δεύτερη συστοιχία, με πελάτες τους R5 και R6. Ο δρομολογητής R7 είναι ένας ΑΔ προς τον εαυτό του, δημιουργώντας έτσι μια τρίτη συστοιχία εντός του ΑΣ. Οι τρεις ΑΔ έχουν full mesh. Οι πελάτες κάθε συστοιχίας, όμως, δεν είναι ομότιμοι με τους πελάτες των άλλων συστοιχιών.

Όταν ένας ΑΔ λαμβάνει μια διαδρομή από έναν peer που δεν είναι πελάτης, ανακλά τη διαδρομή σε όλους τους πελάτες της συστοιχίας του. Αν ο ΑΔ λάβει μια διαδρομή από ομότιμο πελάτη, η διαδρομή ανακλάται σε όλους τους peers που δεν είναι πελάτες όπως και στους peers που είναι πελάτες. Τελικά, αν η διαδρομή που λαμβάνει ο ΑΣ προέρχεται από εξωτερικό BGP peer, ο ΑΔ αποστέλλει την ενημέρωση σε όλους τους peers, πελάτες και μη.

Οι παρακάτω ρυθμίσεις δρομολογητή δείχνουν με λεπτομέρεια τους ορισμούς για τους BGP δρομολογητές R2, R3 και R4 του Σχήματος 30:

Ρύθμιση του δρομολογητή R2, εφαρμοσμένη στο Σχήμα 30:

```
router bgp 100
  neighbor 10.30.30.3 remote-as 100
  neighbor 10.12.12.12 remote-as 300
```



Σχήμα 30

Τοπολογία πολλαπλών ανακλαστήρων διαδρομής

Ρύθμιση του δρομολογητή R3, εφαρμοσμένη στο Σχήμα 30:

```
router bgp 100
  neighbor 10.20.20.2 remote-as 100
  neighbor 10.20.20.2 route-reflector-client
  neighbor 10.10.10.1 remote-as 100
  neighbor 10.10.10.1 route-reflector-client
  neighbor 10.70.70.7 remote-as 100
  neighbor 10.40.40.4 remote-as 100
  neighbor 10.80.80.8 remote-as 200
```

Ρύθμιση του δρομολογητή R4, εφαρμοσμένη στο Σχήμα 30:

```
router bgp 100
  neighbor 10.60.60.6 remote-as 100
```

```
neighbor 10.60.60.6 route-reflector-client
neighbor 10.50.50.5 remote-as 100
neighbor 10.50.50.5 route-reflector-client
neighbor 10.70.70.7 remote-as 100
neighbor 10.30.30.3 remote-as 100
```

Λόγω της ανάκλασης των διαδρομών, είναι πιθανό σε τελική φάση οι γνωστοποιημένες εσωτερικές BGP διαδρομές να προκαλέσουν loop στις πληροφορίες δρομολόγησης. Όμως, το σχέδιο που χρησιμοποιείται για την ανάκλαση των διαδρομών επιστρατεύει δύο μεθόδους για να αποφύγει το loop στις πληροφορίες δρομολόγησης. Η πρώτη μέθοδος χρησιμοποιεί την προαιρετική (optional) ιδιότητα *originator-id*, με εύρος 4 bytes, την οποία παράγει ο ΑΔ. Η τιμή της ιδιότητας είναι ουσιαστικά το *route-id* (η ταυτότητα της διαδρομής) του αποστολέα (*originator*) των διαδρομών στο τοπικό ΑΣ. Έτσι, ο αποστολέας των διαδρομών αποφασίζει αν η διαδρομή έχει επιστρέψει στον ίδιο, οπότε και δίνεται μ' αυτόν τον τρόπο η δυνατότητα στον *originator* της διαδρομής να αγνοήσει την ενημέρωση δρομολόγησης.

Η δεύτερη μέθοδος ανάκλασης διαδρομών είναι να χρησιμοποιηθούν λίστες συστοιχιών (*cluster lists*). Η λίστα συστοιχιών είναι, επίσης, μια μη μεταβατική προαιρετική BGP ιδιότητα και αποτελείται από μια ακολουθία από ταυτότητες συστοιχιών (*cluster-ids*). Η λίστα συστοιχιών δηλαδή, δείχνει τα *clusters* μέσα από τα οποία έχει περάσει μια διαδρομή. Ένας ΑΔ επισυνάπτει την ταυτότητα της τοπικής συστοιχίας του στη λίστα συστοιχιών της γνωστοποίησης του δρομολογητή, όταν ανακλά μια διαδρομή από έναν πελάτη προς *peers* που δεν είναι πελάτες.

Με τη βοήθεια της λίστας συστοιχιών, ένας ΑΔ εξακριβώνει αν υπάρχει ή όχι loop, ανακαλύπτοντας τη δική του ταυτότητα συστοιχίας στη λίστα συστοιχιών της γνωστοποίησης του δρομολογητή. Αν ο ΑΔ βρει τη δική του ταυτότητα συστοιχίας στη λίστα συστοιχιών, αγνοεί τη γνωστοποίηση. Αν η λίστα συστοιχιών είναι άδεια, ο ΑΔ δημιουργεί εκ νέου μια καινούργια λίστα συστοιχιών. Οι ταυτότητες (*Ids*) των συστοιχιών καθορίζονται με την εντολή *bgp cluster-id*. Ο τύπος της εντολής είναι

bgp cluster-id *cluster-id*

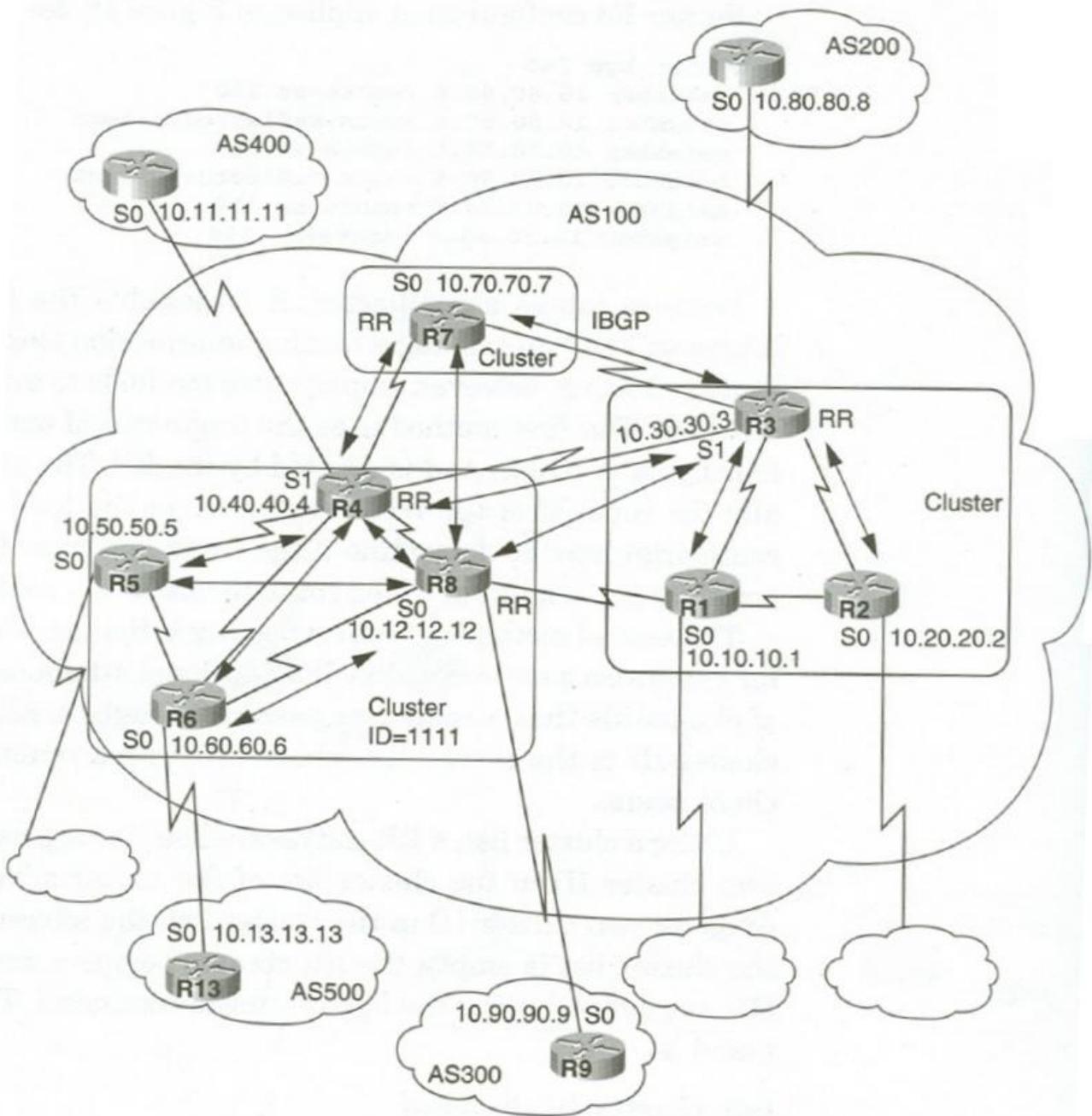
όπου η τιμή της μεταβλητής *cluster-id* είναι η ταυτότητα που έχει παραχωρήσει ο ΑΔ στη συστοιχία. Η τιμή έχει μέγιστο τα τέσσερα bytes.

Η ταυτότητα της συστοιχίας (*cluster-id*) έχει σημασία στις ρυθμίσεις που χρησιμοποιούν τον πλεονασμό για να αποφύγουν ένα σημείο αποτυχίας για τον ΑΔ μιας συστοιχίας. Στο Σχήμα 31 απεικονίζεται μια τέτοιου είδους τοπολογία δικτύου. Για να υπάρχει πλεονασμός, ορίζονται πολλοί ΑΔ στο εσωτερικό μιας συστοιχίας. Κάθε ΑΔ μιας συστοιχίας πρέπει να χρησιμοποιεί την ίδια ταυτότητα, προκειμένου να αποφεύγει τα loops με τη μέθοδο της λίστας συστοιχιών.

Οι δρομολογητές R4, R5, R6 και R8 του Σχήματος 31 ανήκουν σε μία συστοιχία, στην οποία οι R4 και R8 παρέχουν τις υπηρεσίες ενός ΑΔ για τη συστοιχία. Κάθε ΑΔ στη συστοιχία πρέπει να χρησιμοποιεί την ίδια ταυτότητα, ώστε να αποφασίζει αν η γνωστοποίηση μια διαδρομής προκαλεί loop. Στα παραδείγματα ρύθμισης δρομολογητή που ακολουθούν, οι δρομολογητές R4 και R8 έχουν ταυτότητα 1111. Για το δρομολογητή R3 δεν έχει οριστεί ταυτότητα, μια και είναι ο μοναδικός ΑΔ στη συστοιχία του.

Ρύθμιση δρομολογητή R3, εφαρμοσμένη στο Σχήμα 31:

```
router bgp 100
neighbor 10.10.10.1 remote-as 100
neighbor 10.10.10.1 route-reflector-client
neighbor 10.20.20.2 remote-as 100
neighbor 10.20.20.2 route-reflector-client
neighbor 10.40.40.4 remote-as 100
neighbor 10.70.70.7 remote-as 100
neighbor 10.12.12.12 remote-as 100
neighbor 10.80.80.8 remote-as 200
```



Σχήμα 31

Πολλαπλοί ανακλαστήρες διαδρομών για την αποφυγή ενός σημείου αποτυχίας.

Ρύθμιση δρομολογητή R4, εφαρμοσμένη στο Σχήμα 31:

```
router bgp 100
 neighbor 10.12.12.12 remote-as 100
 neighbor 10.50.50.5 remote-as 100
 neighbor 10.50.50.5 route-reflector-client
 neighbor 10.60.60.6 remote-as 100
 neighbor 10.60.60.6 route-reflector-client
 neighbor 10.70.70.7 remote-as 100
 neighbor 10.30.30.3 remote-as 100
 neighbor 10.11.11.11 remote-as 400
```

bgp route-reflector 1111

Ρύθμιση δρομολογητή R6, εφαρμοσμένη στο Σχήμα 31:

```
router bgp 100
 neighbor 10.12.12.12 remote-as 100
 neighbor 10.40.40.4 remote-as 100
 neighbor 10.13.13.13 remote-as 500
```

Ρύθμιση δρομολογητή R8, εφαρμοσμένη στο Σχήμα 31:

```
router bgp 100
 neighbor 10.40.40.4 remote-as 100
 neighbor 10.50.50.5 remote-as 100
 neighbor 10.50.50.5 route-reflector-client
 neighbor 10.60.60.6 remote-as 100
 neighbor 10.60.60.6 route-reflector-client
 neighbor 10.70.70.7 remote-as 100
 neighbor 10.30.30.3 remote-as 100
 neighbor 10.90.90.9 remote-as 300
 bgp route-reflector 1111
```

Αν υπάρχει mesh στους πελάτες μιας συστοιχίας, δεν είναι απαραίτητη η ανάκλαση της διαδρομής. Ο ΑΔ είναι εξ αρχής (by default) ρυθμισμένος να έχει ενεργοποιημένη την ανάκλαση πελάτη-προς-πελάτη. Για την απενεργοποίηση αυτής της επιλογής, εισάγουμε την εντολή no bgp client-to-client reflection. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ομότιμες ομάδες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αν είναι ενεργοποιημένη η επιλογή client-to-client reflection. Συνεπώς, οι πελάτες ενός ανακλαστήρα διαδρομών δεν μπορούν να είναι και μέλη μιας ομότιμης BGP ομάδας. Αν συνέβαινε κάτι τέτοιο, θα υπήρχε ανάκλαση άκυρων διαδρομών σε πελάτες που δεν ανήκουν στην ομότιμη ομάδα.

Στο Σχήμα 32, υπάρχει μια τοπολογία στην οποία οι δρομολογητές R4, R5 και R6 αντιλαμβάνονται την ανάκλαση του δρομολογητή, ενώ οι δρομολογητές R1, R2 και R3 δεν μπορούν να ρυθμιστούν ως ΑΔ. Οι δρομολογητές R1, R2 και R3 ρυθμίζονται σε full IBGP mesh μαζί με τον R4. Όταν γίνεται αναβάθμιση σε κάποιον από τους δρομολογητές R1, R2 και R3, προκειμένου να υποστηρίξουν ανάκλαση διαδρομών, οι δύο εναπομείναντες παραδοσιακοί δρομολογητές μετατρέπονται σε πελάτες του ΑΔ. Στο παράδειγμά μας, ΑΔ γίνεται ο R3, ενώ οι R1 και R2 μετατρέπονται σε πελάτες της συστοιχίας R3. Από τη στιγμή που ο R3 έγινε ΑΔ και οι R1 και R2 πελάτες, μπορεί να καταργηθεί το full IBGP mesh που υπάρχει μεταξύ των τριών.

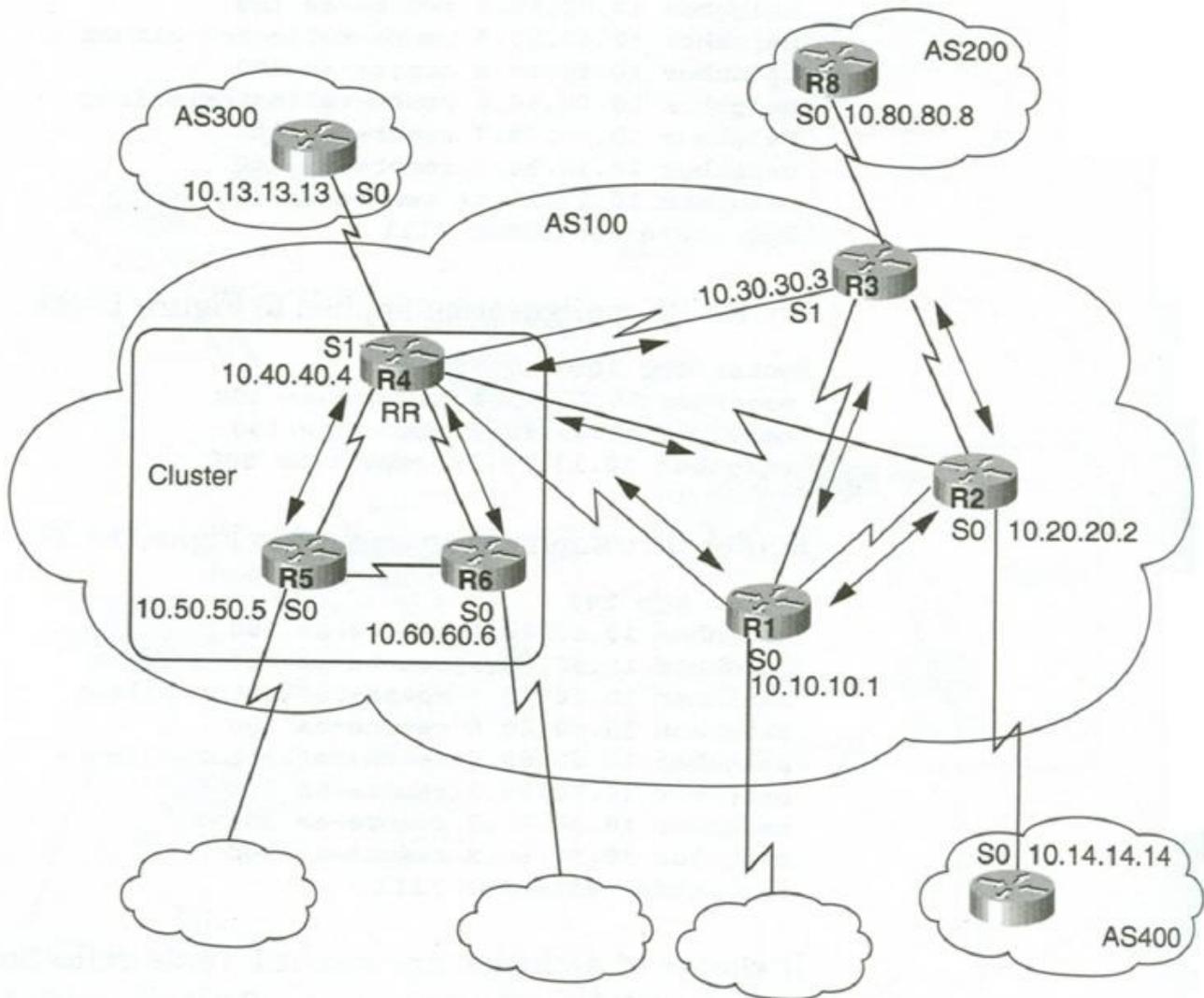
Οι παρακάτω ρυθμίσεις δρομολογητή συμπίπτουν με τις ρυθμίσεις των δρομολογητών R4 και R3 στο Σχήμα 32:

Ρύθμιση δρομολογητή R3, εφαρμοσμένη στο Σχήμα 32:

```
router bgp 100
 neighbor 10.40.40.4 remote-as 100
 neighbor 10.20.20.2 remote-as 100
 neighbor 10.10.10.1 remote-as 100
 neighbor 10.80.80.8 remote-as 200
```

Ρύθμιση δρομολογητή R4, εφαρμοσμένη στο Σχήμα 32

```
router bgp 100
 neighbor 10.60.60.6 remote-as 100
```



Σχήμα 32

Τοπολογία για χρήση της στρατηγικής της μετανάστευσης (migration) στους ανακλαστές διαδρομών.

```
neighbor 10.60.60.6 route-reflector-client
neighbor 10.50.50.5 remote-as 100
neighbor 10.50.50.5 route-reflector-client
neighbor 10.30.30.3 remote-as 100
neighbor 10.20.20.2 remote-as 100
neighbor 10.10.10.1 remote-as 100
neighbor 10.13.13.13 remote-as 300
```

Όταν χρησιμοποιούμε ΑΔ και αποφεύγουμε τα loops στη δρομολόγηση, πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη δύο χαρακτηριστικά στοιχεία. Το πρώτο είναι η εντολή set clause. Σε ό,τι αφορά τους χάρτες των εισερχόμενων διαδρομών, δεν επηρεάζει τις διαδρομές που ανακλά ένας ΑΔ στους IBGP peers. Το δεύτερο είναι το χαρακτηριστικό nexthop-self για τους ΑΔ. Αν χρησιμοποιήσουμε το nexthop-self σε ένα δρομολογητή τύπου ΑΔ, επηρεάζεται μόνο το nexthop των γνωστοποιημένων διαδρομών, επειδή το nexthop ενός ΑΔ παραμένει αμετάβλητο.

3.20 Διαχείριση Ασταθών Διαδρομών (Unstable Routes)

Οι ασταθείς διαδρομές επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την απόδοση του δικτύου. Κάθε φορά που μια σύνδεση κάπου στην διαδρομή αποτυγχάνει ή έχει μειωμένη απόδοση, οι διαδρομές υπολογίζονται εκ νέου και έπειτα αναπαράγονται σε όλη την έκταση του δικτύου. Στην 11^η έκδοση του λογισμικού της Cisco το IOS, όμως, παρουσιάστηκε για πρώτη φορά ένα χαρακτηριστικό για προστασία του BGP από ασταθείς διαδρομές, γνωστό και ως route dampening (διακοπή διαδρομής).

Μια διαδρομή που άλλοτε είναι διαθέσιμη και άλλοτε όχι θεωρείται flapping διαδρομή. Όταν γίνεται flapping σε μια διαδρομή για πρώτη φορά (π.χ. όταν το μονοπάτι προς αυτήν από διαθέσιμο γίνεται μη διαθέσιμο), η διαδικασία του IOS του BGP βάζει τη διαδρομή σε καραντίνα (history state). Όταν μια διαδρομή μπαίνει σε καραντίνα, δε θεωρείται πλέον καλύτερη διαδρομή για τον προορισμό. Τα αλλεπάλληλα «χτυπήματα-flaps» της διαδρομής έχουν ως αποτέλεσμα η διαδικασία IOS BGP να επιβάλλει ποινή στη διαδρομή. Η τιμή της ποινής ανέρχεται στο 1000 και είναι αθροιστική. Η τιμή της ποινής καταχωρίζεται στο BGP, με τη δρομολόγηση να κινείται γύρω από την εν λόγω διαδρομή μέχρι την επιβολή της ποινής. Η ποινή μειώνεται κατά το ήμισυ αφού περάσει ο χρόνος υποδιπλασιασμού (half-life period). Αυτό εκτελείται και προσαρμόζεται ανάλογα κάθε πέντε δευτερόλεπτα σε μια προσπάθεια να επιτραπεί στη διαδρομή να ξαναγίνει από μόνη της σταθερή διαδρομή.

Όσο περνάει ο χρόνος, η αθροιστική ποινή που έχει επιβληθεί στη διαδρομή μπορεί να αυξηθεί, ξεπερνώντας ένα καθορισμένο όριο καταστολής (suppress limit). Το όριο suppress είναι το άθροισμα όλων των ποινών που επιβάλλονται σε μια διαδρομή. Αν ξεπεραστεί αυτό το όριο, η κατάσταση της διαδρομής αλλάζει: από την καραντίνα μεταφέρεται στη διακοπή (damp).

Μια διαδρομή θεωρείται ότι έχει απλώς κατασταλεί (έχει γίνει suppressed) για ένα μάξιμουμ χρονικό διάστημα. Αυτό το χρονικό διάστημα αντιστοιχεί στην τετραπλάσια τιμή του half-time. Στην κατάσταση διακοπής (damp state), η διαδρομή δε γνωστοποιείται πλέον στους BGP γείτονες. Το IOS του δρομολογητή ξαναβάζει τη διαδρομή στον BGP πίνακα δρομολόγησης και προωθεί τη διαδρομή σε γείτονες τη στιγμή που η τιμή της ποινής έχει πέσει κάτω από ένα όριο επαναχρησιμοποίησης (reuse-limit). Η διαδικασία που ακολουθείται για να φανεί αν η διαδρομή έχει πέσει κάτω από αυτό το όριο πραγματοποιείται κάθε 10 δευτερόλεπτα. Αν μια διαδρομή βρεθεί να έχει ποινή χαμηλότερη από το όριο επαναχρησιμοποίησης, η διαδικασία BGP γνωστοποιεί τη διαδρομή σε όλους τους γείτονες.

Αυτή η δυνατότητα διακοπής διαδρομών είναι αρχικά απενεργοποιημένη. Η εντολή για να ενεργοποιηθεί η διακοπή διαδρομής είναι

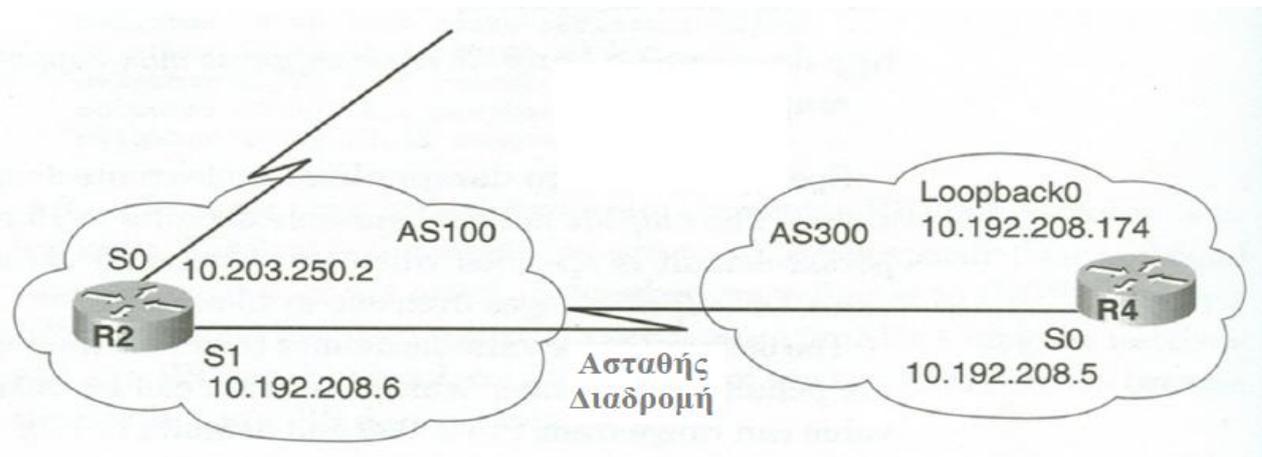
```
bgp dampening [half-life reuse suppress max-suppress-time] [route-map map]
```

Ο ορισμός μόνο του **bgp dampening** ενεργοποιεί τη διακοπή της διαδρομής χρησιμοποιώντας τις default ρυθμίσεις. Η προαιρετική μεταβλητή *half-life* είναι ρυθμισμένη εξ' αρχής στα 15 λεπτά. Η προκαθορισμένη περίοδος υποδιπλασιασμού ορίζεται ταυτόχρονα με αυτήν τη μεταβλητή. Η τιμή της μεταβλητής *half-life* κυμαίνεται από 1 έως 45 λεπτά.

Η προαιρετική μεταβλητή *reuse* καθορίζει το όριο επαναχρησιμοποίησης, για να προκύψει η τιμή της ποινής (penalty value) κάτω από την οποία η διαδρομή δεν μπορεί να κατασταλεί (δηλ. γίνεται unsuppressed). Η τιμή του *reuse* κυμαίνεται από 1 έως 20000, αν και αρχικά είναι ρυθμισμένο στο 750.

Η μεταβλητή *suppress* είναι η τιμή που πρέπει να υπερβεί η αθροιστική ποινή, ώστε να μετατραπεί η κατάσταση της διαδρομής από καραντίνα σε διακοπή. Το εύρος της μεταβλητής *suppress* κυμαίνεται από 1 έως 20000, αρχικά ρυθμισμένο στο 2000. Η τιμή της μεταβλητής *max-suppress-time* μετριέται σε λεπτά και είναι ρυθμισμένη στο τετραπλάσιο του χρόνου υποδιπλασιασμού (δηλ. 60 λεπτά). Η τιμή της μεταβλητής *max-suppress-time* κυμαίνεται από 1 έως 20000.

Η λέξη-κλειδί **route-map** πριν από τη μεταβλητή *map* αναγνωρίζει το χάρτη διαδρομών, ενεργοποιώντας τη δυνατότητα για διακοπή της διαδρομής. Αν οποιαδήποτε από τις αρχικές τιμές των μεταβλητών *half-life*, *reuse*, *suppress* και *max-suppress-time* μεταβληθεί για να πληροί τις απαιτήσεις του δικτύου, πρέπει όλες τους να καθοριστούν, αφού πρόκειται για μεταβλητές καθοριζόμενες από τη θέση τους (positional variables).



Σχήμα 33

Παράδειγμα τοπολογίας δικτύου για το flapping των διαδρομών.

Έστω, όπως δείχνει το Σχήμα 33, ότι ο δρομολογητής R2 παίρνει τις default τιμές της εντολής bgp dampening. Οι δύο δρομολογητές, R2 και R4, ορίζονται ως εξής:

Ρύθμιση του δρομολογητή R2, εφαρμοσμένη στο Σχήμα 33:

```
interface Serial0
 ip address 10.203.250.2 255.255.255.252
interface Serial1
 ip address 10.192.208.6 255.255.255.252
router bgp 100
 bgp dampening
 network 10.203.250.0
 neighbor 10.192.208.5 remote-as 300
```

Ρύθμιση του δρομολογητή R4, εφαρμοσμένη στο Σχήμα 33:

```
interface Loopback0
 ip address 10.192.208.174 255.255.255.192
interface Serial0
 ip address 10.192.208.5 255.255.255.252
router bgp 300
 network 10.192.208.0
 neighbor 10.192.208.6 remote-as 100
```

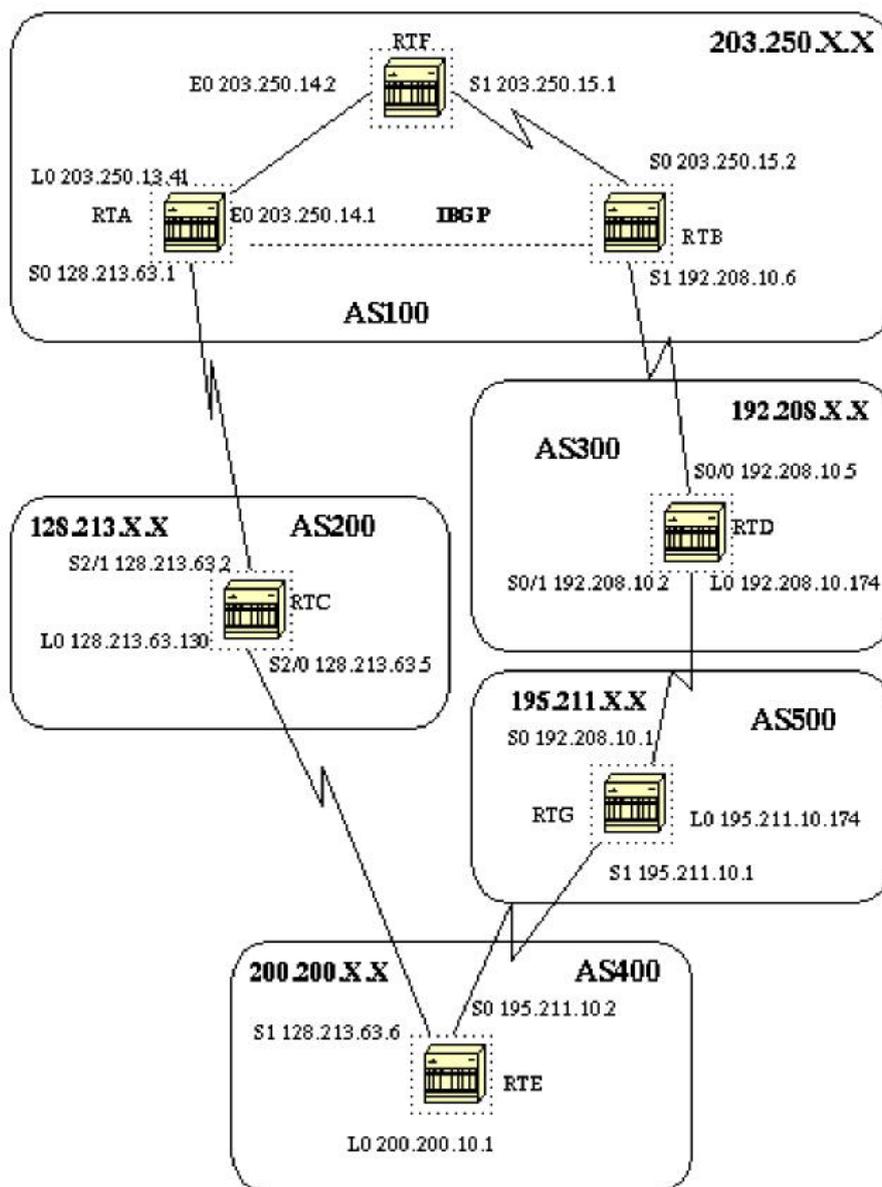
Αν η σύνδεση EBGP από το δρομολογητή R4 προς το δρομολογητή R2 γίνει ασταθής, ο δρομολογητής R2 βάζει την καταχώριση BGP για το 10.192.208.0 σε κατάσταση καραντίνας. Μετά από έναν αριθμό χτυπημάτων (flaps) σε δεδομένο χρονικό διάστημα, η διαδρομή διακόπτεται (γίνεται damp). Η διαδρομή γνωστοποιείται και πάλι, μόνον όταν η ποινή πέσει κάτω από το όριο επαναχρησιμοποίησης.

Για μια πιο εκτεταμένη παρουσίαση των ασταθών διαδρομών (route flapping), μιας μεθόδου εξομοίωσης αυτής της προβληματικής κατάστασης (μέσω της εντολής clear ip bgp) και παρουσίαση-παρακολούθηση της πορείας των αποτελεσμάτων από την προσπάθεια αντιμετώπισης του προβλήματος προτείνεται να κοιτάξετε στην ακόλουθη διεύθυνση:

“ http://www.ittc.ku.edu/EECS/EECS_800.ira/bgp_tutorial/16.html#A24.4 ”.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με κάτι πιο πρακτικό σχετικά με την διευθέτηση Αυτόνομων Συστημάτων μέσω του BGP, χρησιμοποιώντας ένα παράδειγμα δικτυακής σχεδίασης που βασίζεται σε μοντέλο από τον πραγματικό κόσμο.

4. BGP CASE STUDY - Πρακτικό Παράδειγμα Σχεδίασης



Σχήμα 34

Τοπολογία δικτύου για το BGP Case Study

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί ένα παράδειγμα δικτυακής σχεδίασης (ως Case Study) το οποίο θα βασιστεί στο internet network του Σχήματος 34, το οποίο έχει ως σκοπό να επιδείξει την όλη διεύθυνση και τους αντίστοιχους πίνακες δρομολόγησης όπως αυτοί φαίνονται στην πραγματικότητα σε δρομολογητές της - παγκοσμίως γνωστής - εταιρείας Cisco.

Έχοντας λοιπόν την απαραίτητη γνώση από τα προηγούμενα κεφάλαια σχετικά με την λειτουργία του BGP, την χρήση των ιδιοτήτων του, την ειδική σχετική ορολογία και τον τρόπο με τον οποίο αποφασίζει το πως θα επιλέξει την κατάλληλη διαδρομή, θα παραθέσουμε την σχεδίαση αυτού του ολοκληρωμένου συστήματος αυτόνομων συστημάτων έχοντας υπ' όψιν μας τις ιδιαίτερες απαιτήσεις μιας υποθετικής εταιρείας (τα δίκτυο της οποίας φαίνεται στο Σχήμα 34 και είναι το AS 100) η οποία θέλει να συνδεθεί στο Internet μέσω πολλαπλών συνδέσεων με ISPs (Internet Service Providers).

Συγκεκριμένα τώρα, μερικά από τα θέματα που θα μας απασχολήσουν είναι και τα ακόλουθα :

- Αναγνώριση της κατάλληλης χρήσης του BGP (IBGP ή EBGP) αναλόγως του Αυτόνομου Συστήματος που θέλουμε να το εφαρμόσουμε (απλό ή Transit AS) και έχοντας υπ' όψιν μας τους ανάλογους περιορισμούς.
- Βασική BGP διευθέτηση, πιστοποίηση και επίβλεψη της σωστής λειτουργίας του AS και εκτέλεση των κατάλληλων βημάτων που είναι απαραίτητα για να διορθώσουμε βασικά λάθη BGP διευθέτησης (Monitoring and Troubleshooting BGP).
- Εξομοίωση προβληματικών καταστάσεων (π.χ. περιπτώσεις δυσλειτουργίας συγκεκριμένων interfaces) και επίδειξη των αποτελεσμάτων στην λειτουργία του BGP.
- Αξιοποίηση προχωρημένων δυνατοτήτων όπως η σύνδεση ενός εταιρικού δικτύου σε πολλαπλούς ISPs και επίτευξη ελέγχου στις BGP πολιτικές που εφαρμόζουμε.
- Προτάσεις επιλογής συγκεκριμένων τρόπων διευθέτησης που ταιριάζουν καλύτερα σε ειδικές περιπτώσεις.
- Επίδειξη ορισμένων κεντρικών BGP θεμάτων όπως ο χειρισμός των BGP ιδιοτήτων, η αναδιανομή των διαδρομών, ο συγχρονισμός, οι default routes, κ.α.

Ξεκινώντας, θα αρχίσουμε να κτίζουμε βήμα προς βήμα την διευθέτηση του παραπάνω σχήματος βλέποντας τι ενδέχεται να πάει λάθος κατά την διάρκεια της πορείας μας. Κατ' αρχήν πρέπει να σημειωθεί πως όταν έχουμε ένα AS (στην δική μας περίπτωση το δικό μας AS, το 100) το οποίο είναι συνδεδεμένο σε δύο ISPs, προτείνεται να «τρέχουμε» (run) το IBGP εντός του AS μας έτσι ώστε να μπορέσουμε να έχουμε καλύτερο έλεγχο των διαδρομών μας (routes εσωτερικές του AS μας που πρέπει να μεταδώσουμε προς τα έξω). Σε αυτό το παράδειγμα θα τρέξουμε IBGP εντός του AS 100 (εταιρικό δίκτυο) μεταξύ των δρομολογητών RTA και RTB και θα επιλέξουμε ως πρωτόκολλο IGP το OSPF. Υποθέτοντας τώρα ότι τα AS 200 και 300 είναι οι δύο ISPs στους οποίους συνδεόμαστε, παραθέτουμε στην συνέχεια τη βασική διευθέτηση για όλους τους δρομολογητές του δικτυακού μας σχήματος. Βέβαια να σημειωθεί εδώ πως δεν αποτελεί την τελική διευθέτηση (configuration).

RTA#

hostname RTA

ip subnet-zero

interface Loopback0

ip address 203.250.13.41 255.255.255.0

interface Ethernet0

ip address 203.250.14.1 255.255.255.0

interface Serial0

ip address 128.213.63.1 255.255.255.252

router ospf 10

network 203.250.0.0 0.0.255.255 area 0

router bgp 100

network 203.250.0.0 mask 255.255.0.0

neighbor 128.213.63.2 remote-as 200

neighbor 203.250.15.2 remote-as 100

neighbor 203.250.15.2 update-source Loopback0

RTF#

hostname RTF

ip subnet-zero

```
interface Ethernet0
  ip address 203.250.14.2 255.255.255.0

interface Serial1
  ip address 203.250.15.1 255.255.255.252

router ospf 10
  network 203.250.0.0 0.0.255.255 area 0

RTB#
hostname RTB

ip subnet-zero

interface Serial0
  ip address 203.250.15.2 255.255.255.252

interface Serial1
  ip address 192.208.10.6 255.255.255.252

router ospf 10
  network 203.250.0.0 0.0.255.255 area 0

router bgp 100
  network 203.250.15.0
  neighbor 192.208.10.5 remote-as 300
  neighbor 203.250.13.41 remote-as 100

RTC#
hostname RTC

ip subnet-zero

interface Loopback0
  ip address 128.213.63.130 255.255.255.192

interface Serial2/0
  ip address 128.213.63.5 255.255.255.252
!
interface Serial2/1
  ip address 128.213.63.2 255.255.255.252

router bgp 200
  network 128.213.0.0
  neighbor 128.213.63.1 remote-as 100
  neighbor 128.213.63.6 remote-as 400

RTD#
hostname RTD

ip subnet-zero

interface Loopback0
  ip address 192.208.10.174 255.255.255.192
```

```
interface Serial0/0
  ip address 192.208.10.5 255.255.255.252
!
interface Serial0/1
  ip address 192.208.10.2 255.255.255.252

router bgp 300
  network 192.208.10.0
  neighbor 192.208.10.1 remote-as 500
  neighbor 192.208.10.6 remote-as 100
```

RTE#

```
hostname RTE
```

```
ip subnet-zero
```

```
interface Loopback0
  ip address 200.200.10.1 255.255.255.0
```

```
interface Serial0
  ip address 195.211.10.2 255.255.255.252
```

```
interface Serial1
  ip address 128.213.63.6 255.255.255.252
  clockrate 1000000
```

```
router bgp 400
  network 200.200.10.0
  neighbor 128.213.63.5 remote-as 200
  neighbor 195.211.10.1 remote-as 500
```

RTG#

```
hostname RTG
```

```
ip subnet-zero
```

```
interface Loopback0
  ip address 195.211.10.174 255.255.255.192
```

```
interface Serial0
  ip address 192.208.10.1 255.255.255.252
```

```
interface Serial1
  ip address 195.211.10.1 255.255.255.252
```

```
router bgp 500
  network 195.211.10.0
  neighbor 192.208.10.2 remote-as 300
  neighbor 195.211.10.2 remote-as 400
```

Η ρύθμιση των παραπάνω έγινε έχοντας υπ' όψιν μας το γεγονός πως είναι καλύτερη πρακτική η χρήση της εντολής `network` ή η αναδιανομή των στατικών καταχωρίσεων στο BGP όταν προσπαθούμε να δημοσιοποιήσουμε δίκτυα. Αυτό γίνεται αντί της προτίμησης της αναδιανομής των IGP διαδρομών μέσα στο BGP. Στην τελευταία περίπτωση (όπως είχαμε πει και στο υποκεφάλαιο 3.6) υπάρχει το ενδεχόμενο της εμφάνισης του προβλήματος του διπλασιασμού των διαδρομών (duplication) και επομένως της μετέπειτα χρησιμοποίησης φίλτρων. Γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο σε όλη την έκταση του παραδείγματός μας θα γίνει χρήση μόνο της εντολής `network` για να τοποθετήσουμε (inject) τα δίκτυα κάθε ΑΣ μέσα στο BGP.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι σε κάποια χρονική στιγμή κατά την διάρκεια λειτουργίας του δικτυακού μας συστήματος διακόπτεται η λειτουργία του serial 1 interface του δρομολογητή RTB (γίνεται shutdown), έτσι ώστε να μην υπάρχει στην ουσία το link (σύνδεση) μεταξύ των δρομολογητών RTB και RTD. Ισχύοντος του παραπάνω, βλέπουμε παρακάτω την επίδρασή του στον BGP πίνακα του RTB (εκτελώντας την εντολή `sh ip bgp`).

RTB#sh ip bgp

table version is 4, local router ID is 203.250.15.2 Status

*codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal*

Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

<i>Network</i>	<i>Next Hop</i>	<i>Metric</i>	<i>LocPrf</i>	<i>Weight</i>	<i>Path</i>
<i>*i128.213.0.0</i>	<i>128.213.63.2</i>	<i>0</i>	<i>100</i>	<i>0</i>	<i>200 i</i>
<i>*i192.208.10.0</i>	<i>128.213.63.2</i>		<i>100</i>	<i>0</i>	<i>200 400 500 300 i</i>
<i>*i195.211.10.0</i>	<i>128.213.63.2</i>		<i>100</i>	<i>0</i>	<i>200 400 500 i</i>
<i>*i200.200.10.0</i>	<i>128.213.63.2</i>		<i>100</i>	<i>0</i>	<i>200 400 i</i>
<i>*>i203.250.13.0</i>	<i>203.250.13.41</i>	<i>0</i>	<i>100</i>	<i>0</i>	<i>i</i>
<i>*>i203.250.14.0</i>	<i>203.250.13.41</i>	<i>0</i>	<i>100</i>	<i>0</i>	<i>i</i>
<i>*>203.250.15.0</i>	<i>0.0.0.0</i>	<i>0</i>		<i>32768</i>	<i>i</i>

Κατ' αρχήν θα πρέπει να εξηγήσουμε την σημασία των βασικών συμβόλων του παραπάνω πίνακα. Το “ i ” στην αρχή οποιασδήποτε εγγραφής φανερώνει πως αυτή έγινε γνωστή μέσω ενός εσωτερικού (στο ΑΣ μας) BGP γείτονα (στην περίπτωσή μας έχουμε ως IBGP δρομολογητή προς τον RTB τον RTA, από τον οποίο μαθαίνει και τις αντίστοιχες διαδρομές). Το “ i ” στο τέλος της εγγραφής φανερώνει την προέλευση (ORIGIN) των πληροφοριών του μονοπατιού (path information), όπου εδώ είναι τύπου IGP (αυτό συμβαίνει όταν χρησιμοποιείται η `bgp network` εντολή για να καταχωρηθεί μια διαδρομή στον BGP πίνακα ή όταν μια IGP διαδρομή αναδιανέμεται μέσα στο BGP). Όσον αφορά τις πληροφορίες μονοπατιού στα δεξιά της εγγραφής (στην στήλη Path) αυτές αναφέρονται σε ολόκληρο το μονοπάτι μέσα από το οποίο διήλθε η διαδρομή (route) για να φτάσει σε κάποιο δρομολογητή ενός ΑΣ (εδώ στο ΑΣ 100 στον RTB). Για παράδειγμα η πρώτη εγγραφή μας δείχνει πως ο RTB έμαθε σχετικά για το δίκτυο-διαδρομή “128.213.0.0” από την nexthop διεύθυνση 128.213.63.2 (δρομολογητής RTC) περνώντας (η διαδρομή) μέσα από το ΑΣ 200 (γι' αυτό και το path είναι 200) και φθάνοντας στο ΑΣ 100. Να σημειώσουμε εδώ πως οι διαδρομές που δημιουργούνται τοπικά στον δρομολογητή RTB, όπως αυτή για το δίκτυο 203.250.15.0, έχουν ως nexthop την διεύθυνση 0.0.0.0 (που σημαίνει “this host” – ο ίδιος δηλαδή ο δρομολογητής, ο RTB).

Συνεχίζοντας να πούμε πως το σύμβολο “ > ” δείχνει ότι το BGP έχει επιλέξει την προς εξέταση διαδρομή ως την βέλτιστη διαδρομή (best route) και αυτό σύμφωνα με την απόφαση που εξήλθε βάση των κριτηρίων επιλογής που παρατίθενται στο υποκεφάλαιο 2.3 . Το BGP βέβαια θα επιλέξει μόνο ένα μονοπάτι που σχετίζεται με μια διαδρομή, το best path, αυτό δηλαδή που αξιολογείται ότι προσεγγίζεται ευκολότερα, αφού είναι το πιο «εύκαιρο-μικρότερο» μονοπάτι από όλα τα διαθέσιμα προς την ίδια διαδρομή-προορισμό. Και αφού γίνει αυτό, στην συνέχεια θα καταχωρίσει αυτό το μονοπάτι στον IP πίνακα δρομολόγησης και θα το μεταδώσει στους BGP γείτονές του. Αξιοσημείωτη είναι και η πληροφορία που μας δίνει η ιδιότητα nexthop. Βλέπουμε πως ο RTB μαθαίνει σχετικά με το δίκτυο

128.213.0.0 διαμέσου του nexthop 128.213.63.2, που είναι το ebgp nexthop το οποίο μεταφέρεται αυτούσιο εντός (και κατά μήκος) του IBGP domain στο ΑΣ 100.

Τώρα ας δούμε και τα περιεχόμενα του IP πίνακα δρομολόγησης (IP routing table) στον οποίο - κάτω από φυσιολογικές συνθήκες - θα αναμέναμε να υπάρχουν όλες οι διαδρομές που μπορεί να μάθει ένας BGP δρομολογητής με κάθε πιθανό τρόπο (π.χ. μέσω BGP, στατικών διαδρομών, αναδιανεμημένων διαδρομών, κ.ο.κ.) και οι οποίες είναι οι προς αναμετάδοση διαδρομές προς τους γείτονες δρομολογητές :

RTB#sh ip route

*Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, * - candidate default*

Gateway of last resort is not set

```

203.250.13.0 255.255.255.255 is subnetted, 1 subnets
O   203.250.13.41 [110/75] via 203.250.15.1, 02:50:45, Serial0
   203.250.15.0 255.255.255.252 is subnetted, 1 subnets
C   203.250.15.0 is directly connected, Serial0
O   203.250.14.0 [110/74] via 203.250.15.1, 02:50:46, Serial0

```

Όπως μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ο IP πίνακας δρομολόγησης δεν μοιάζει σχεδόν σε τίποτα με αυτόν που εξετάσαμε προηγουμένως, στον οποίο υπήρχαν όλες οι BGP καταχωρήσεις σχετικά με τα γνωστά δίκτυα-προορισμού όπως ακριβώς το αναμέναμε. Εδώ, αν εξαιρέσουμε τα τοπικά δίκτυα – εντός του ΑΣ 100, τίποτα άλλο δεν είναι κοινό. Σε αυτό ακριβώς το σημείο εμφανίζονται δύο προβλήματα :

Πρόβλημα 1:

Το nexthop για αυτές τις διαδρομές (που βρίσκονται στον BGP πίνακα) είναι μη προσεγγίσιμες (από το OSPF). Και αυτό είναι αλήθεια, διότι δεν υπάρχει τρόπος για να προσεγγίσουμε αυτήν την διεύθυνση μέσω του IGP μας πρωτοκόλλου (το OSPF). Ο RTB βέβαια γνωρίζει για αυτό το nexthop αλλά δεν το έχει μάθει από το OSPF (αλλά από το BGP). Σε αυτήν την περίπτωση, για να λύσουμε το πρόβλημα, θα μπορούσαμε να τρέξουμε το OSPF στο S0 interface του RTA (έτσι ώστε σε όλα τα σημεία της διαδρομής από τον RTB προς το nexthop να λειτουργεί πλέον το OSPF) και ταυτόχρονα να το καταστήσουμε passive (δηλ. ο RTA από το interface serial 0 δεν θα στέλνει OSPF updates προς τον RTC). Έτσι μ' αυτόν τον τρόπο από την μια θα λαμβάνει ο RTA BGP ενημερώσεις δρομολόγησης από τον RTC (αφού ούτως ή άλλως τρέχει το BGP στον πρώτο) και από την άλλη ο RTB θα γνωρίζει πλέον πώς να προσεγγίσει το nexthop 128.213.63.2 . Μια άλλη πιθανή λύση θα ήταν η χειρωνακτική αλλαγή του nexthop, με την bgp εντολή nexthopself μεταξύ των RTA και RTB. Δηλαδή -για παράδειγμα- θα μπορούσαμε να το αλλάξουμε με κάποιο που θα ήταν ήδη προσεγγίσιμο από τον RTB μέσω OSPF – π.χ. το 203.250.14.1 του RTA – μιας και το OSPF ήδη τρέχει στο interface serial 0 (S0) του RTA.

Σύμφωνα με τα παραπάνω ή διευθέτηση του δρομολογητή RTA έχει ως εξής:

RTA#

hostname RTA

ip subnet-zero

interface Loopback0

ip address 203.250.13.41 255.255.255.0

```

interface Ethernet0
 ip address 203.250.14.1 255.255.255.0

interface Serial0
 ip address 128.213.63.1 255.255.255.252

router ospf 10
 passive-interface Serial0
 network 203.250.0.0 0.0.255.255 area 0
 network 128.213.0.0 0.0.255.255 area 0

router bgp 100
 network 203.250.0.0 mask 255.255.0.0
 neighbor 128.213.63.2 remote-as 200
 neighbor 203.250.15.2 remote-as 100
 neighbor 203.250.15.2 update-source Loopback0

```

Τώρα ας δούμε τον νέο BGP πίνακα του RTB μετά την παραπάνω ρύθμιση :

```

RTB#sh ip bgp
BGP table version is 10, local router ID is 203.250.15.2
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best,
i - internal Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

```

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
*>i128.213.0.0	128.213.63.2	0	100	0	200 i
*>i192.208.10.0	128.213.63.2		100	0	200 400 500 300 i
*>i195.211.10.0	128.213.63.2		100	0	200 400 500 i
*>i200.200.10.0	128.213.63.2		100	0	200 400 i
*>i203.250.13.0	203.250.13.41	0	100	0	i
*>i203.250.14.0	203.250.13.41	0	100	0	i
*> 203.250.15.0	0.0.0.0	0		32768	i

Σ' αυτό το σημείο αξίζει της προσοχής η εμφάνιση του συμβόλου “ > ” σε όλες ποια τις καταχωρήσεις του πίνακα, το οποίο φανερώνει πως το BGP δουλεύει σωστά όσον αφορά το nexthop. Δηλαδή προηγουμένως, η μη δυνατότητα προσέγγισης του nexthop από τον RTB (μέσω OSPF) είχε ως αποτέλεσμα την υποχρεωτική αντίστοιχη δήλωση στον BGP πίνακα ότι αυτές οι διαδρομές δεν είναι βέλτιστες (φαίνεται από το ότι δεν είχαν όλες το “ > ”). Η μη γνώση δηλαδή του πώς θα προσεγγιστεί από μέρους του OSPF το nexthop προς κάποιες εξωτερικές του ΑΣ διαδρομές, επηρεάζει την απόφαση του BGP να τις εκλάβει ως λειτουργικά προσεγγίσιμες και επομένως να τις δηλώσει και ως βέλτιστες διαδρομές στον BGP πίνακα. Μετά δε την παραπάνω ρύθμιση όλες πια οι διαδρομές έγιναν βέλτιστες.

Κοιτάζοντας τώρα στον IP πίνακα δρομολόγησης του RTB θα δούμε τα παρακάτω :

```

RTB#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, * - candidate default

```

Gateway of last resort is not set

```

203.250.13.0 255.255.255.255 is subnetted, 1 subnets
O   203.250.13.41 [110/75] via 203.250.15.1, 00:04:46, Serial0
203.250.15.0 255.255.255.252 is subnetted, 1 subnets
C   203.250.15.0 is directly connected, Serial0
O   203.250.14.0 [110/74] via 203.250.15.1, 00:04:46, Serial0
128.213.0.0 255.255.255.252 is subnetted, 1 subnets
O   128.213.63.0 [110/138] via 203.250.15.1, 00:04:47, Serial0

```

Πρόβλημα 2:

Παρόλη την παραπάνω προσπάθεια, δεν πετύχαμε την εμφάνιση όλων των BGP εγγραφών στον IP πίνακα δρομολόγησης. Η μόνη θετική διαφορά είναι απλά πως έχουμε κάνει εφικτή την προσέγγιση του δικτύου 128.213.63.0 μέσω του OSPF. Με την παραπάνω κατάσταση έχει σχέση το θέμα του συγχρονισμού των διαδρομών. Σχετικά μ' αυτό το θέμα είχαμε ασχοληθεί στο υποκεφάλαιο 3.9 ("Συγχρονισμός των διαδρομών") και είχαμε πει τότε πως για να καταχωρηθούν στον IP πίνακα δρομολόγησης και να μεταδοθούν (από το BGP) οι διαδρομές στους BGP γείτονες βασική προϋπόθεση είναι οι διαδρομές αυτές να γνωστοποιηθούν σε όλους τους δρομολογητές εντός του ΑΣ, από το IGP πρωτόκολλο που τρέχει εσωτερικά στο ΑΣ (στην περίπτωσή μας δηλαδή από το OSPF). Η έλλειψη επομένως του συγχρονισμού μεταξύ των BGP και OSPF (του IGP πρωτοκόλλου) επιφέρει την μη εμφάνιση των BGP διαδρομών στον IP πίνακα δρομολόγησης του RTB. Να σημειωθεί ακόμα πως ο RTF (στον οποίο δεν τρέχουμε το BGP) δεν γνωρίζει τίποτα σχετικά με υπάρχοντα δίκτυα όπως τα 192.208.10.0 ή το 195.211.10.0 και αυτό επειδή δεν έχουμε ακόμα αναδιανεμίσει το BGP μέσα στο OSPF (πετυχαίνοντας έτσι μ' αυτόν τον τρόπο - και σε συνάρτηση με τον συγχρονισμό - την γνώση των BGP διαδρομών από το OSPF domain του ΑΣ 100 - αυτό όμως θα το δούμε λίγο αργότερα).

Στο σενάριο που επιλέγουμε προς στιγμή, θα απενεργοποιήσουμε τον συγχρονισμό των διαδρομών εκτελώντας την εντολή `no synchronization` στον δρομολογητή RTB. Με αυτόν τον τρόπο προσπαθούμε να πετύχουμε την εισαγωγή στον IP πίνακα δρομολόγησης όλων των BGP διαδρομών και την αποστολή τους στους γείτονες, χωρίς να χρειάζεται πλέον να έχουμε ένα IGP μονοπάτι (IGP path) για κάθε μία από αυτές τις διαδρομές. Και όμως, όπως θα δούμε παρακάτω αυτό δεν επαρκεί, διότι τώρα ενώ έχουμε όλες τις απαραίτητες καταχωρήσεις στον IP πίνακα δρομολόγησης, δεν παρέχεται η αναμενόμενη συνδεσιμότητα για το ΑΣ 100 (μεταξύ του RTB και των υπόλοιπων δικτύων εκτός του ΑΣ).

Έχοντας στο νου τα παραπάνω, ας παρακολουθήσουμε τι θα συμβεί στην περίπτωση που εφαρμόσουμε το δοθέν σενάριο και απενεργοποιήσουμε τον συγχρονισμό στον RTB.

```
RTB#sh ip route
```

```

Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
        D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
        E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
        i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, * - candidate default

```

```
Gateway of last resort is not set
```

```

B   200.200.10.0 [200/0] via 128.213.63.2, 00:01:07
B   195.211.10.0 [200/0] via 128.213.63.2, 00:01:07
B   192.208.10.0 [200/0] via 128.213.63.2, 00:01:07
203.250.13.0 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
O   203.250.13.41 255.255.255.255
        [110/75] via 203.250.15.1, 00:12:37, Serial0
B   203.250.13.0 255.255.255.0 [200/0] via 203.250.13.41, 00:01:08
203.250.15.0 255.255.255.252 is subnetted, 1 subnets
C   203.250.15.0 is directly connected, Serial0
O   203.250.14.0 [110/74] via 203.250.15.1, 00:12:37, Serial0

```

```

128.213.0.0 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
B   128.213.0.0 255.255.0.0 [200/0] via 128.213.63.2, 00:01:08
O   128.213.63.0 255.255.255.252
    [110/138] via 203.250.15.1, 00:12:37, Serial0

```

Όπως αναμενόταν, ο IP πίνακας δρομολόγησης φαίνεται να είναι σωστός, αλλά παρ' όλα ταύτα δεν υπάρχει τρόπος να προσεγγίσουμε (από τον RTB) τα δίκτυα που θέλουμε διότι σ' αυτήν την περίπτωση ο δρομολογητής RTF που βρίσκεται ενδιάμεσα των RTB και RTC δεν γνωρίζει πώς να τα προσεγγίσει. Εδώ θα πρέπει να θυμηθούμε πως ο RTF τρέχει μόνο το OSPF και κατά συνέπεια ένα πακέτο (datagram) που ξεκινά από τον RTB (έστω το 203.205.15.18) και προορίζεται για κάποιον host ενός δικτύου του ΑΣ 400 (έστω τον 200.200.10.7) θα φτάσει μεν στον RTF από το interface του, το S1 αλλά από κει και πέρα δεν έχει την απαιτούμενη γνώση (καταχωρημένη στον πίνακα δρομολόγησης του) έτσι ώστε να αποφασίσει πως θα προσεγγίσει το δίκτυο προορισμού (αφού δεν γνωρίζει τις BGP διαδρομές – λόγω μη εφαρμογής ακόμη της αναδιανομής από το BGP) και κατά συνέπεια το πακέτο θα απορριφθεί. Επομένως στην ουσία δεν πετύχαμε την συνδεσιμότητα του RTB με αυτά τα δίκτυα. Τα παραπάνω φαίνονται στον IP πίνακα δρομολόγησης του RTF :

```
RTF#sh ip route
```

```

Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, * - candidate default

```

```
Gateway of last resort is not set
```

```

203.250.13.0 255.255.255.255 is subnetted, 1 subnets
O   203.250.13.41 [110/11] via 203.250.14.1, 00:14:15, Ethernet0
203.250.15.0 255.255.255.252 is subnetted, 1 subnets
C   203.250.15.0 is directly connected, Serial1
C   203.250.14.0 is directly connected, Ethernet0
128.213.0.0 255.255.255.252 is subnetted, 1 subnets
O   128.213.63.0 [110/74] via 203.250.14.1, 00:14:15, Ethernet0

```

Έτσι, η απενεργοποίηση του συγχρονισμού στο RTB δεν βοήθησε σ' αυτήν την περίπτωση, αλλά θα χρειαστεί λίγο αργότερα για κάποιο θέμα που προκύπτει. Θα δοκιμάσουμε τώρα να ξεπεράσουμε τα παραπάνω προβλήματα αναδιανέμοντας τις BGP διαδρομές που μαθαίνει ο RTA στο OSPF. Μ' αυτόν τον τρόπο όλοι οι δρομολογητές εντός του ΑΣ 100 οι οποίοι τρέχουν το OSPF θα ενημερωθούν σχετικά με αυτές πλέον τις διαδρομές. Επιπρόσθετα επιλέγουμε να θέσουμε μια τιμή της τάξης του 2000 για το metric αυτών των αναδιανεμημένων διαδρομών, όσον αφορά το OSPF.

```
RTA#
```

```
hostname RTA
```

```
ip subnet-zero
```

```
interface Loopback0
```

```
ip address 203.250.13.41 255.255.255.0
```

```
interface Ethernet0
```

```
ip address 203.250.14.1 255.255.255.0
```

```
interface Serial0
```

```
ip address 128.213.63.1 255.255.255.252
```

```
router ospf 10
 redistribute bgp 100 metric 2000 subnets
 passive-interface Serial0
 network 203.250.0.0 0.0.255.255 area 0
 network 128.213.0.0 0.0.255.255 area 0
```

```
router bgp 100
 network 203.250.0.0 mask 255.255.0.0
 neighbor 128.213.63.2 remote-as 200
 neighbor 203.250.15.2 remote-as 100
 neighbor 203.250.15.2 update-source Loopback0
```

Μετά την παραπάνω αλλαγή στην διευθέτηση του RTA, ο IP πίνακας δρομολόγησης του RTB θα φαίνεται ως εξής :

```
RTB#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, * - candidate default
```

Gateway of last resort is not set

```
O E2 200.200.10.0 [110/2000] via 203.250.15.1, 00:00:14, Serial0
O E2 195.211.10.0 [110/2000] via 203.250.15.1, 00:00:14, Serial0
O E2 192.208.10.0 [110/2000] via 203.250.15.1, 00:00:14, Serial0
    203.250.13.0 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
O    203.250.13.41 255.255.255.255
    [110/75] via 203.250.15.1, 00:00:15, Serial0
O E2  203.250.13.0 255.255.255.0
    [110/2000] via 203.250.15.1, 00:00:15, Serial0
    203.250.15.0 255.255.255.252 is subnetted, 2 subnets
C    203.250.15.8 is directly connected, Loopback1
C    203.250.15.0 is directly connected, Serial0
O    203.250.14.0 [110/74] via 203.250.15.1, 00:00:15, Serial0
    128.213.0.0 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
O E2  128.213.0.0 255.255.0.0 [110/2000] via 203.250.15.1,00:00:15,Serial0
O    128.213.63.0 255.255.255.252
    [110/138] via 203.250.15.1, 00:00:16, Serial0
```

Μετά την αναδιανομή (redistribution) που κάναμε στον RTA όλες οι διαδρομές πέρασαν στον IP πίνακα δρομολόγησης του RTB (από το OSPF) αλλά ταυτόχρονα βλέπουμε ότι οι BGP διαδρομές έχουν εξαφανιστεί από αυτόν. Οι κωδικοί - δίπλα στις εγγραφές - “ O ” και “ O E2 ” δείχνουν ότι ο RTB πλέον μαθαίνει αυτές τις διαδρομές είτε από το OSPF κατευθείαν είτε μέσω της αναδιανομής από το BGP αντίστοιχα. Η προτίμηση του OSPF όσον αφορά την πληροφόρηση του IP πίνακα δρομολόγησης γι’ αυτές τις διαδρομές εύκολα εξηγείται αν θυμηθούμε πως η default τιμή για το administrative distance (διαχείριση απόστασης) του OSPF είναι μικρότερη (110) από αυτήν για το IBGP (200). Και ως γνωστό, κατά την απόφαση επιλογής διαδρομών προτιμούνται οι διαδρομές με τις μικρότερες διαχειριστικές αποστάσεις.

Λαμβάνοντας λοιπόν υπ’ όψιν τις πληροφορίες που πήραμε από τον πίνακα δρομολόγησης του RTB καταλαβαίνουμε πως αυτό που επιδιώκαμε να πετύχουμε έγινε πραγματικότητα. Η αποκατάσταση

της συνδεσιμότητας του ΑΣ μας πραγματοποιήθηκε. Ο RTB πλέον είναι ενήμερος για τα δίκτυα που έως τώρα δεν έβλεπε.

Σε αυτό δε το σημείο μπορούμε πλέον να απενεργοποιήσουμε τον συγχρονισμό στον RTA με σκοπό να μπορεί να μεταδώσει και το δίκτυο 203.250.15.0, επειδή σ' αυτή την περίπτωση δεν θα μπορέσει να συγχρονιστεί με το OSPF λόγω των διαφορετικών масκών (network masks) μετά την αναδιανομή. Επίσης θα καταστήσουμε ανενεργό τον συγχρονισμό και στον RTB για να μπορέσει και αυτός (για τον ίδιο λόγο) να αναμεταδώσει το δίκτυο 203.250.13.0 . (Υπ' όψιν πως η παύση της διαδικασίας του συγχρονισμού στους δύο δρομολογητές δεν θα προκαλέσει κάποιο πρόβλημα διότι ήδη έχει συμβεί η αναδιανομή από το BGP στο OSPF).

Συνεχίζοντας το σενάριο που ακολουθούμε, υποθέτουμε ότι αποκαθίσταται η λειτουργία του interface S1 του RTB, και έχοντας πλέον αυτό ως δεδομένο θα παρακολουθήσουμε τι θα συμβεί τώρα στις διαδρομές. Ταυτόχρονα, θα θέσουμε σε λειτουργία το OSPF στο interface S1 του RTB και θα το κάνουμε passive έτσι ώστε να γνωρίζει ο δρομολογητής RTA σχετικά με την nexthop 192.208.10.5 μέσω του IGP (δηλ. του OSPF). Αυτό είναι απαραίτητο διότι σε διαφορετική περίπτωση θα μπορούσε να συμβεί looping (βρόγχος) στο δικτυακό σύστημα. Αυτό θα συνέβαινε κατά την προσπάθεια του RTA να μάθει το nexthop 192.208.10.5 (και επομένως τα δίκτυα από κει και πέρα) όχι μέσω της εσωτερικής πληροφόρησης μέσα από το ΑΣ 100 (δηλ. μέσω του RTB με το OSPF) αλλά από την άλλη μεριά μέσω του EBGP (από τον RTC). Μετά ταύτα επακόλουθο είναι και η θέση σε λειτουργία της αναδιανομής στον RTB από το BGP στο OSPF (ότι δηλ. είχαμε κάνει στον RTA για την δικιά του περίπτωση στο EBGP interface του, το S0).

Έτσι, οι ανανεωμένες διευθετήσεις για τους δρομολογητές RTA και RTB θα είναι οι παρακάτω :

```

RTA#
hostname RTA

ip subnet-zero

interface Loopback0
 ip address 203.250.13.41 255.255.255.0

interface Ethernet0
 ip address 203.250.14.1 255.255.255.0

interface Ethernet0
 ip address 203.250.14.1 255.255.255.0

interface Serial0
 ip address 128.213.63.1 255.255.255.252

router ospf 10
 redistribute bgp 100 metric 2000 subnets
 passive-interface Serial0
 network 203.250.0.0 0.0.255.255 area 0
 network 128.213.0.0 0.0.255.255 area 0

router bgp 100
 no synchronization
 network 203.250.0.0 mask 255.255.0.0
 neighbor 128.213.63.2 remote-as 200
 neighbor 203.250.15.2 remote-as 100
 neighbor 203.250.15.2 update-source Loopback0

```

```

RTB#
hostname RTB

ip subnet-zero

interface Serial0
 ip address 203.250.15.2 255.255.255.252

interface Serial1
 ip address 192.208.10.6 255.255.255.252

router ospf 10
 redistribute bgp 100 metric 1000 subnets
 passive-interface Serial1
 network 203.250.0.0 0.0.255.255 area 0
 network 192.208.0.0 0.0.255.255 area 0

router bgp 100
 no synchronization
 network 203.250.15.0
 neighbor 192.208.10.5 remote-as 300
 neighbor 203.250.13.41 remote-as 100

```

Τώρα οι BGP πίνακες των RTA και RTB φαίνονται όπως δείχνεται παρακάτω :

```

RTA#sh ip bgp
BGP table version is 117, local router ID is 203.250.13.41
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best,
i -internal Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

```

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
*> 128.213.0.0	128.213.63.2	0		0	200 I
*>i192.208.10.0	192.208.10.5	0	100	0	300 I
*>i195.211.10.0	192.208.10.5		100	0	300 500 I
*	128.213.63.2			0	200 400 500 I
*> 200.200.10.0	128.213.63.2			0	200 400 I
*> 203.250.13.0	0.0.0.0	0		32768	I
*> 203.250.14.0	0.0.0.0	0		32768	i
*>i203.250.15.0	203.250.15.2	0	100	0	i

```

RTB#sh ip bgp
BGP table version is 12, local router ID is 203.250.15.10
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best,
i -internal Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

```

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
*>i128.213.0.0	128.213.63.2	0	100	0	200 i
*	192.208.10.5			0	300 500 400 200 i
*> 192.208.10.0	192.208.10.5	0		0	300 i
*> 195.211.10.0	192.208.10.5			0	300 500 i
*>i200.200.10.0	128.213.63.2		100	0	200 400 i
*	192.208.10.5			0	300 500 400 i

*>i203.250.13.0	203.250.13.41	0	100	0	i
*>i203.250.14.0	203.250.13.41	0	100	0	i
*> 203.250.15.0	0.0.0.0	0		32768	i

Μετά τα παραπάνω, μπορούμε να πούμε πως η βασική διευθέτηση για το internetwork μας έχει τελειώσει.

Από δω και στο εξής, και συνάμα με την κάθε φορά διαφορετική πολιτική που θέλουμε να εφαρμόσουμε, έχουμε την δυνατότητα να σχεδιάσουμε με πολλούς τρόπους το δικτυακό μας σύστημα ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε περίπτωσης. Συνεχίζοντας, θα δούμε πως μπορούμε να επικοινωνήσουμε με τους δύο διαφορετικούς ISPs – ΑΣ 200 και ΑΣ 300 – με πολλούς τρόπους. Ένας τρόπος θα ήταν να είχαμε έναν από τους δύο ISPs ως πρωτεύον (π.χ. το ΑΣ 200) και τον άλλο ως εφεδρικό ISP (backup). Επίσης θα μπορούσαμε να μαθαίνουμε κάποιες επιμέρους διαδρομές (partial routes - είναι ένα μέρος από τις συνολικά διαθέσιμες του internetwork) από τον ένα μεταξύ των δύο ISPs και ταυτόχρονα να μαθαίνουμε σχετικά για τις default routes (προεπιλεγμένες διαδρομές) και από τους δύο.

Κάπως πιο διεξοδικά τώρα για τις default routes. Ο λόγος που χρησιμοποιούμε default routes είναι για να επιτύχουμε την ελαχιστοποίηση των πινάκων δρομολόγησης στους δρομολογητές εντός του Αυτόνομου Συστήματός μας. Θα ήταν λογικό εδώ να μην περιμένουμε από τους δρομολογητές μας (είτε τους BGP είτε τους OSPF, και γενικά αυτούς μέσα σε κάθε εταιρικό ΑΣ όπως το ΑΣ100) να γνωρίζουν όλες τις διαδρομές προς όλους τους προορισμούς-δίκτυα του Internet. Η αρχιτεκτονική δρομολόγησης που ακολουθείται εδώ χρησιμοποιεί δύο κλάσεις δρομολόγησης, την backbone δρομολόγηση, η οποία αφορά δρομολόγηση σχετικά με την “ραχοκοκαλιά” του Internet, την οποία αποτελούν όλοι οι δρομολογητές που γνωρίζουν σχετικά για όλα τα δίκτυα, και την τοπική δρομολόγηση (local routing) ή αλλιώς δρομολόγηση εντός του Αυτόνομου Συστήματος. Στο δικό μας παράδειγμα καθαρή τοπική δρομολόγηση εφαρμόζει ο RTF (αφού μεταξύ των άλλων αποστέλλει updates μόνο εσωτερικά του ΑΣ), μικτή δρομολόγηση οι RTB και RTA (αφού χρησιμοποιούν και το BGP για επικοινωνία με άλλα ΑΣ, τους δύο ISPs), και backbone δρομολόγηση (στο παράδειγμά μας) εκτελούν οι δρομολογητές εκείνοι που βρίσκονται στους ISP1 και ISP2 και στους οποίους αναφέρονται οι default routes. Δηλαδή θεωρούμε πια ως δεδομένο το ότι οι ISPs είναι αυτοί που γνωρίζουν πως θα προσεγγίσουν οποιοδήποτε δίκτυο του Διαδικτύου. Έτσι οι IGP δρομολογητές (όπως ο RTF) αρκεί να γνωρίζουν εκτός των τοπικών διαδρομών και την default route μέσω της οποίας προσεγγίζεται το Internet (συνήθως στα IGP πρωτόκολλα η default route είναι η 0.0.0.0). Από την άλλη θα ρυθμίσουμε και τους δύο BGP δρομολογητές του ΑΣ μας με εκείνες τις default routes όπου θα μας είναι δυνατή η προσέγγιση όλου του Internet. Όπως θα δούμε ο RTB θα ζητάει πληροφορίες για διαδρομές που δεν γνωρίζει (και θέλει να προσεγγίσει) μέσω του default router 192.208.10.5 – RTD, δρομολογητής που ενεργεί ως nexthop προς προσέγγιση της default route 192.208.10.0 (δίκτυο του ΑΣ 300 – ISP2) και από την άλλη ο RTA θα έχει ως πιθανό υποψήφιο (candidate) default δρομολογητή τον RTC (128.213.63.2) για προσέγγιση όλων των διαδρομών μέσω της default route 200.200.0.0 (ΑΣ 400).

Συνεχίζοντας σχετικά με τις μερικές (partial) διαδρομές, σ’ αυτό το παράδειγμα θα επιλέξουμε να λαμβάνουμε από την μια μεριά μερικές διαδρομές από το ΑΣ 200 (που όπως θα δούμε, είναι οι διαδρομές που σχετίζονται με τα ΑΣ 200 και ΑΣ 400 αλλά όχι του ΑΣ 500) και από την άλλη μόνο τοπικές (local) διαδρομές από το ΑΣ 300 (δηλ. διαδρομές που δημιουργούνται τοπικά από τους δρομολογητές του ΑΣ 300, εντός αυτού του ΑΣ και μόνο). Επίσης, όπως θα δούμε στις επόμενες διευθετήσεις, και οι δύο BGP δρομολογητές μας, οι RTA και RTB, παράγουν default routes προς αναδιανομή στο OSPF (σ’ αυτήν την περίπτωση την διαδρομή 0.0.0.0) με περισσότερο προτιμητέο τον RTB λόγω ρύθμισης μικρότερου metric κατά την αναδιανομή της default route (1000 στον RTB αντί 2000 για τον RTA). Το τελευταίο σημαίνει πως ένας καθαρά OSPF δρομολογητής (ο RTF) θα ζητήσει πληροφορίες για προσέγγιση δικτύων που δεν γνωρίζει πρώτα από τον RTB και στην περίπτωση που αυτός δεν είναι διαθέσιμος θα απευθυνθεί στον RTA. Με τους παραπάνω τρόπους (partial routes, local routes και default routes) θα μπορούσαμε να εξισορροπήσουμε το φόρτο της εξερχόμενης κυκλοφορίας μεταξύ των δύο ISPs (load balancing).

Εκτός των παραπάνω, πρέπει να ληφθούν υπ’ όψιν και σημαντικά θέματα όπως η πιθανότητα εμφάνισης προβλημάτων όπως η ασυμμετρία. Αυτή θα μπορούσε να προκληθεί στην περίπτωση εκείνη που πιθανή εξερχόμενη κυκλοφορία από τον RTA θα έρχονταν πίσω από τον RTB. Αυτό ίσως συμβεί

όταν χρησιμοποιήσουμε το ίδιο εύρος (pool) διευθύνσεων IP (το ίδιο δηλαδή κεντρικό δίκτυο) όταν επικοινωνούμε με τους ISPs. Αυτό γίνεται σε περίπτωση που εφαρμόσουμε σύνοψη (aggregation) του δικτύου μας (που τώρα θα μεταδίδεται μέσω της διαδρομής 203.250.0.0/16), κατά την οποία το σύνολο του Αυτόνομου Συστήματός μας (ΑΣ 100) θα γίνεται αντιληπτό ως μια ξεχωριστή οντότητα στον δικτυακό κόσμο έξω από το σύστημά μας και μ' αυτόν τον τρόπο θα μπορούσαμε να έχουμε την δημιουργία σημείων εισόδου (entry points) προς το ΑΣ μας μέσω των RTA και RTB. Στην συνέχεια όμως ίσως ανακαλύπταμε ότι όλη η εισερχόμενη πληροφορία προς το ΑΣ μας έρχεται μέσω ενός μόνο σημείου, παρόλο το ότι έχουμε ήδη πολλαπλά σημεία προς το Internet. Γι' αυτόν τον λόγο στο παράδειγμά μας, έχουμε επιλέξει η επικοινωνία μας με τους δύο ISPs να γίνεται μέσω δύο διαφορετικών κεντρικών δικτύων (203.250.13.0 – RTA και 203.250.15.0 – RTB).

Ένας άλλος πιθανός λόγος ασυμμετρίας είναι η διαφορά μεταξύ του μήκους μονοπατιού (path length) μιας διαδρομής η οποία φθάνει στο ΑΣ μας από δύο μεριές (από τους RTB και RTA). Και αυτό μπορεί να συμβεί σε συνάρτηση του ότι ένας από τους δύο ISPs ίσως βρίσκεται πιο κοντά σε έναν συγκεκριμένο προορισμό από ότι ο άλλος ISP. Στο παράδειγμά μας αυτό γίνεται αντιληπτό από το ότι η κυκλοφορία πακέτων που έρχεται από το ΑΣ 400 και προορίζεται προς το δικό μας ΑΣ 100, θα εξυπηρετούνταν πάντα από τον RTA λόγω του μικρότερου μήκους του μονοπατιού από αυτήν την μεριά (200 400 έναντι 300 500 400 από την μεριά του RTB). Τώρα αν δεν μας ταιριάζει αυτό (δηλ. αν θέλαμε το δικό μας ΑΣ - το 100 - να προσεγγίζει το ΑΣ 400 μέσω του ISP2 – ΑΣ300 για διάφορους λόγους, όπως ταχύτητας ή αξιοπιστίας), ίσως προσπαθούσαμε να επηρεάσουμε αυτήν την απόφαση με το να επισυνάψουμε αριθμούς μονοπατιών (μέσω του set as-path prepend) στα updates μας προς αυτό το δίκτυο (από την μεριά του RTA) έτσι ώστε να κάνουμε το μήκος του μονοπατιού να φαίνεται μεγαλύτερο (άρα και λιγότερο προτιμητέο). Όμως σε περίπτωση που το ΑΣ 400 ρυθμίσει με κάποιον τρόπο ως σημείο εξόδου του το ΑΣ 200 (δηλ. το μονοπάτι δημιουργείται από την μεριά του RTA), βασιζόμενο σε ιδιότητες όπως η local-preference ή το metric ή το weight, τότε δεν θα μπορούσαμε να κάνουμε τίποτα σχετικά με την συμμετρία της κυκλοφορίας των πακέτων προς το ΑΣ μας. Είναι κάτι που δεν μπορεί να ελεγχθεί τοπικά από το δικό μας ΑΣ.

Έχοντας υπ όψιν τα παραπάνω, τώρα θα δοθεί η τελική διευθέτηση για όλους τους δρομολογητές του internetwork του Σχήματος 34 :

```

RTA#
hostname RTA

ip subnet-zero

interface Loopback0
 ip address 203.250.13.41 255.255.255.0

interface Ethernet0
 ip address 203.250.14.1 255.255.255.0

interface Serial0
 ip address 128.213.63.1 255.255.255.252

router ospf 10
 redistribute bgp 100 metric 2000 subnets
 passive-interface Serial0
 network 203.250.0.0 0.0.255.255 area 0
 network 128.213.0.0 0.0.255.255 area 0
 default-information originate metric 2000

router bgp 100
 no synchronization
 network 203.250.13.0
 network 203.250.14.0

```

```
neighbor 128.213.63.2 remote-as 200
neighbor 128.213.63.2 route-map setlocalpref in
neighbor 203.250.15.2 remote-as 100
neighbor 203.250.15.2 update-source Loopback0
```

```
ip classless
ip default-network 200.200.0.0
```

```
route-map setlocalpref permit 10
 set local-preference 200
```

Στον δρομολογητή RTA βλέπουμε την θέση της τιμής 2000 στο metric των διαδρομών που αναδιανέμονται από το BGP στο OSPF. Επίσης, ας δώσουμε σημασία στην τοποθέτηση της τιμής 200 στο local-preference των διαδρομών που έρχονται από το ΑΣ 200. Αυτό σε συνδυασμό με την αντίστοιχη ρύθμιση του RTB θα θέσει σε ισχύ μια πολιτική προτίμησης διαδρομών που αναφέραμε παραπάνω, την οποία θα αναλύσουμε στην ρύθμιση του RTB. Με την εντολή “ip default-network” επιλέγουμε το δίκτυο 200.200.0.0 ως υποψήφια default route (στην οποία θα αποσταλούν τα πακέτα για τα οποία δεν γνωρίζει ο RTA το δίκτυο προορισμού τους). Η εντολή “default-information originate” χρησιμοποιείται σε συνάρτηση με το OSPF, και η οποία προκαλεί την ενσωμάτωση της default route (όσον αφορά το IGP, δηλ. την 0.0.0.0) εσωτερικά στο OSPF domain (στην ουσία αναδιανέμει την default route στο OSPF domain η οποία προσεγγίζεται με την βοήθεια ενός από τους RTA και RTB). Να σημειωθεί πως το metric γι’ αυτήν την διαδρομή ισούται με 2000 ενώ η αντίστοιχη ρύθμιση για τον δρομολογητή RTB - που θα δούμε αργότερα - είναι ίση με 1000. Αυτό έχει ως συνέπεια το να προτιμηθεί η προσέγγιση ενός αγνώστου δικτύου από τον RTF μέσω του RTB έναντι αυτής του RTA (εκτός αν κάτι έκτακτο συμβεί και προτιμηθεί ο RTA).

Συνάμα με τα παραπάνω καλό θα ήταν να αναφερθεί και το ότι η χρήση των εντολών “ip subnet-zero” και “ip classless” παρέχει την δυνατότητα της χρησιμοποίησης των “0” δικτύων (αυτών δηλαδή που τα τελικά bytes ισούνται με μηδέν, π.χ. το 200.200.0.0/24 δίκτυο) από την μια και την αποδέσμευση από την έννοια των κλάσεων (A, B, C ή D) από την άλλη και της μετέπειτα δυνατότητας χρησιμοποίησης των υπερδικτύων (supernets) και υποδικτύων (subnets).

```
RTF#
hostname RTF
```

```
ip subnet-zero
```

```
interface Ethernet0
 ip address 203.250.14.2 255.255.255.0
```

```
interface Serial1
 ip address 203.250.15.1 255.255.255.252
```

```
router ospf 10
 network 203.250.0.0 0.0.255.255 area 0
```

```
ip classless
```

```
RTB#
hostname RTB
```

```
ip subnet-zero
```

```
interface Loopback1
```

```

ip address 203.250.15.10 255.255.255.252

interface Serial0
 ip address 203.250.15.2 255.255.255.252
!
interface Serial1
 ip address 192.208.10.6 255.255.255.252

router ospf 10
 redistribute bgp 100 metric 1000 subnets
 passive-interface Serial1
 network 203.250.0.0 0.0.255.255 area 0
 network 192.208.10.6 0.0.0.0 area 0
 default-information originate metric 1000
!
router bgp 100
 no synchronization
 network 203.250.15.0
 neighbor 192.208.10.5 remote-as 300
 neighbor 192.208.10.5 route-map localonly in
 neighbor 203.250.13.41 remote-as 100
!
ip classless
 ip default-network 192.208.10.0
 ip as-path access-list 1 permit ^300$

route-map localonly permit 10
 match as-path 1
 set local-preference 300

```

Σ' αυτό το σημείο μπορούμε να δούμε την εφαρμογή της πολιτικής στο ΑΣ 100 που αναφέραμε παραπάνω. Η πολιτική έλεγε για το ΑΣ 100 : προτίμησε τις μερικές διαδρομές που έρχονται διαμέσου του ΑΣ 200 από τον RTA και τις τοπικές διαδρομές του ΑΣ 300 από τον RTB. Με το να θέσουμε όπως φαίνεται παραπάνω το local-preference των διαδρομών που προέρχονται ακριβώς και μόνο από το ΑΣ 300 ίσο με 300, το οποίο είναι μεγαλύτερο από το 200 των IBGP updates που έρχονται από τον RTA, πετυχαίνουμε την επιλογή της ενημέρωσης του ΑΣ 100, των τοπικών διαδρομών του ΑΣ 300 από τον RTB. Κατά συνέπεια όλο το traffic στο ΑΣ 100 που προορίζεται για το δίκτυο 192.208.10.0 (μέσα στο ΑΣ 300) θα αποστέλλεται στον RTB ως σημείο εξόδου (exit point). Τα άλλα δίκτυα όμως θα γίνονται προσεγγίσιμα μέσω του άλλου σημείο εξόδου του ΑΣ 100, τον RTA. Τώρα, οποιεσδήποτε άλλες διαδρομές έρχονται στον δρομολογητή RTB (αν υπάρχουν τέτοιες) θα ρυθμίζονται να έχουν ένα local-preference της τάξης του 100 (που ισούται με την default τιμή, αφού δεν αναφέρεται στο route map ρητά κάτι διαφορετικό), το οποίο φυσικά είναι μικρότερο από το 200 που έρχεται από τον RTA, και επομένως ο RTA θα προτιμάται. Το αν λάβουμε άλλες διαδρομές από το ΑΣ 300, εκτός των τοπικών του, έχει σχέση με την ρύθμιση μιας δεύτερης περίπτωσης (π.χ. instance 20) στον χάρτη των διαδρομών που εφαρμόζεται στον RTB η οποία συγκεκριμένα, μετά τον έλεγχο που υπάρχει στην instance 10, θα επιτρέπει να περάσουν όλες οι άλλες διαδρομές (παρόλο που δεν θα ρυθμίζει το local-preference γι' αυτές) ξεπερνώντας τον περιορισμό του implicit deny ενός χάρτη διαδρομής (το οποίο θα επιδειχθεί αργότερα στην ρύθμιση του RTG δρομολογητή). Και αναφέρεται το παραπάνω διότι με αυτόν τον τρόπο που δίνεται τώρα η διευθέτηση παραπάνω στον RTB αποφασίζουμε να ταιριάζουμε μόνο τις τοπικές διαδρομές του ΑΣ 300 που μας αποστέλλονται και τίποτα άλλο (δηλ. αυτές που ταιριάζουν με την κανονική έκφραση ^300\$). Στο παράδειγμα μας όλες οι άλλες διαδρομές για οποιοδήποτε δίκτυο θα απορριφθούν. Αν από την άλλη θέλαμε να δεχτούμε όχι μόνο τις τοπικές διαδρομές του ΑΣ 300 αλλά και των γειτόνων του (δηλ. των πελατών του ISP2) τότε θα χρησιμοποιούσαμε την ακόλουθη κανονική έκφραση : ^300_[0-9]* .

Παρακάτω παρατίθεται η εκτύπωση των αποτελεσμάτων της κανονικής έκφρασης που επιλέξαμε (regular expression) για επίτευξη της αποδοχής μόνο των τοπικών διαδρομών του ΑΣ 300 από το δικό μας ΑΣ, το 100 :

```
RTB#sh ip bgp regexp ^300$
BGP table version is 14, local router ID is 203.250.15.10
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i -
internal
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

   Network        Next Hop      Metric  LocPr  Weight  Path
*> 192.208.10.0   192.208.10.5      0      300      0      300
```

```
RTC#
hostname RTC

ip subnet-zero

interface Loopback0
 ip address 128.213.63.130 255.255.255.192

interface Serial2/0
 ip address 128.213.63.5 255.255.255.252
!
interface Serial2/1
 ip address 128.213.63.2 255.255.255.252

router bgp 200
 network 128.213.0.0
 aggregate-address 128.213.0.0 255.255.0.0 summary-only
 neighbor 128.213.63.1 remote-as 100
 neighbor 128.213.63.1 distribute-list 1 out
 neighbor 128.213.63.6 remote-as 400

ip classless
access-list 1 deny 195.211.0.0 0.0.255.255
access-list 1 permit any
```

Στον δρομολογητή RTC κάνουμε χρήση της σύνοψης διευθύνσεων (aggregation) με το να παράγουμε (εντολή network) και να στέλνουμε στους BGP γείτονες το δίκτυο 128.213.0.0/16. Επίσης χρησιμοποιούμε μια λίστα διανομής (distribution list) για να επιτρέψουμε την μετάδοση συγκεκριμένων διαδρομών στο ΑΣ 100. Στο παράδειγμά μας στην ουσία εμποδίζουμε να εκπεμφθούν (στο ΑΣ 100) οι διαδρομές που του αποστέλλει το ΑΣ 500 (195.211.0.0) και επομένως το ΑΣ 100 δεν θα γνωρίζει τίποτα γι' αυτές. Αυτό είναι επιλογή μας. Δηλαδή εμείς επιλέγουμε να μην έχουμε κάποια επικοινωνία με το ΑΣ 500 και κατά συνέπεια αν δεν είναι διατεθειμένος ο ISP1 (μέσω του RTC του ΑΣ 200) να μας παρέχει αυτήν την υπηρεσία (την μη αποδοχή διαδρομών από ένα συγκεκριμένο ΑΣ) θα πρέπει να εφαρμόσουμε φιλτράρισμα στις εισερχόμενες ενημερώσεις στο άκρο του ΑΣ 100 (στον RTA).

```
RTD#
hostname RTD
```

```

ip subnet-zero

interface Loopback0
  ip address 192.208.10.174 255.255.255.192
!
interface Serial0/0
  ip address 192.208.10.5 255.255.255.252
!
interface Serial0/1
  ip address 192.208.10.2 255.255.255.252

router bgp 300
  network 192.208.10.0
  neighbor 192.208.10.1 remote-as 500
  neighbor 192.208.10.6 remote-as 100

RTG#
hostname RTG

ip subnet-zero

interface Loopback0
  ip address 195.211.10.174 255.255.255.192

interface Serial0
  ip address 192.208.10.1 255.255.255.252

interface Serial1
  ip address 195.211.10.1 255.255.255.252

router bgp 500
  network 195.211.10.0
  aggregate-address 195.211.0.0 255.255.0.0 summary-only
  neighbor 192.208.10.2 remote-as 300
  neighbor 192.208.10.2 send-community
  neighbor 192.208.10.2 route-map setcommunity out
  neighbor 195.211.10.2 remote-as 400
!
ip classless
access-list 1 permit 195.211.0.0 0.0.255.255
access-list 2 permit any
access-list 101 permit ip 195.211.0.0 0.0.255.255 host 255.255.0.0
route-map setcommunity permit 20
  match ip address 2
!
route-map setcommunity permit 10
  match ip address 1
  set community no-export

```

Στον δρομολογητή RTG επιδεικνύουμε την χρήση του φιλτραρίσματος των κοινοτήτων (community filtering) και της χρήσης δύο περιπτώσεων (instances) χαρτών διαδρομής - δρομολόγησης. Αυτό που πετυχαίνουμε με το να θέσουμε την τιμή “no-export” στο συγκεκριμένο community που στέλνουμε στον γείτονα RTD (192.208.10.2), είναι η μη εκπομπή εκ μέρους του RTD προς τους γείτονές του (δηλ. τον RTB) των διαδρομών εκείνων που αντιστοιχίζονται στο συγκεκριμένο instance

του χάρτη δρομολόγησης που τίθεται σε ισχύ. Επομένως το δίκτυο 195.211.0.0 δεν θα γνωστοποιηθεί, για άλλη μια φορά, μέσα στο ΑΣ 100 (τώρα πλέον από τον RTD προς τον RTB) λόγω του ότι έχει τιμή στην ιδιότητα community του την “no-export”. Αυτό βέβαια εδώ δεν έχει ουσιαστική σημασία διότι ούτως ή άλλως ο RTB δεν αποδέχεται αυτές τις διαδρομές (μέσω της προηγούμενης ρύθμισής του σε ότι αφορά το local-preference).

```
RTE#
hostname RTE

ip subnet-zero

interface Loopback0
 ip address 200.200.10.1 255.255.255.0

interface Serial0
 ip address 195.211.10.2 255.255.255.252

interface Serial1
 ip address 128.213.63.6 255.255.255.252

router bgp 400
 network 200.200.10.0
 aggregate-address 200.200.0.0 255.255.0.0 summary-only
 neighbor 128.213.63.5 remote-as 200
 neighbor 195.211.10.1 remote-as 500

ip classless
```

Παραπάνω βλέπουμε τον RTE να συνοψίζει το 200.200.0.0/16 . Επομένως αποστέλλει τώρα και το υπερδίκτυο Β κλάσης στους BGP γείτονές του και όχι μόνο κάποιο C κλάσης, /24 δηλαδή, δίκτυο όπως το δηλωμένο 200.200.10.0/24 .

Και ακολούθως φαίνονται οι τελικοί BGP και ip πίνακες δρομολόγησης των δρομολογητών RTA, RTF και RTB σύμφωνα με τις τελικές διευθετήσεις που θέσαμε σε ισχύ :

```
RTA#sh ip bgp
BGP table version is 21, local router ID is 203.250.13.41
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete
```

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
*> 128.213.0.0	128.213.63.2	0	200	0	200 i
*>i192.208.10.0	192.208.10.5	0	300	0	300 i
*> 200.200.0.0/16	128.213.63.2		200	0	200 400 i
*> 203.250.13.0	0.0.0.0	0		32768	i
*> 203.250.14.0	0.0.0.0	0		32768	i
*>i203.250.15.0	203.250.15.2	0	100	0	i

```
RTA#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, * - candidate default
```

Gateway of last resort is 128.213.63.2 to network 200.200.0.0

```

192.208.10.0 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
O E2 192.208.10.0 255.255.255.0
      [110/1000] via 203.250.14.2, 00:41:25, Ethernet0
O    192.208.10.4 255.255.255.252
      [110/138] via 203.250.14.2, 00:41:25, Ethernet0
C    203.250.13.0 is directly connected, Loopback0
      203.250.15.0 is variably subnetted, 3 subnets, 3 masks
O    203.250.15.10 255.255.255.255
      [110/75] via 203.250.14.2, 00:41:25, Ethernet0
O    203.250.15.0 255.255.255.252
      [110/74] via 203.250.14.2, 00:41:25, Ethernet0
B    203.250.15.0 255.255.255.0 [200/0] via 203.250.15.2, 00:41:25
C    203.250.14.0 is directly connected, Ethernet0
      128.213.0.0 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
B    128.213.0.0 255.255.0.0 [20/0] via 128.213.63.2, 00:41:26
C    128.213.63.0 255.255.255.252 is directly connected, Serial0
B*  200.200.0.0 255.255.0.0 [20/0] via 128.213.63.2, 00:02:38

```

RTF#sh ip route

*Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, * - candidate default*

Gateway of last resort is 203.250.15.2 to network 0.0.0.0

```

192.208.10.0 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
O E2 192.208.10.0 255.255.255.0
      [110/1000] via 203.250.15.2, 00:48:50, Serial1
O    192.208.10.4 255.255.255.252
      [110/128] via 203.250.15.2, 01:12:09, Serial1
      203.250.13.0 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
O    203.250.13.41 255.255.255.255
      [110/11] via 203.250.14.1, 01:12:09, Ethernet0
O E2 203.250.13.0 255.255.255.0
      [110/2000] via 203.250.14.1, 01:12:09, Ethernet0
      203.250.15.0 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
O    203.250.15.10 255.255.255.255
      [110/65] via 203.250.15.2, 01:12:09, Serial1
C    203.250.15.0 255.255.255.252 is directly connected, Serial1
C    203.250.14.0 is directly connected, Ethernet0
      128.213.0.0 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
O E2 128.213.0.0 255.255.0.0
      [110/2000] via 203.250.14.1, 00:45:01, Ethernet0
O    128.213.63.0 255.255.255.252
      [110/74] via 203.250.14.1, 01:12:11, Ethernet0
O E2 200.200.0.0 255.255.0.0 [110/2000] via 203.250.14.1, 00:03:47, Ethernet0
O*E2 0.0.0.0 0.0.0.0 [110/1000] via 203.250.15.2, 00:03:33, Serial1

```

Τέλος, άξιο αναφοράς είναι και το ότι πλέον ο πίνακας δρομολόγησης τού RTF δείχνει ότι δίκτυα τοπικά προς το ΑΣ 300, όπως το 192.208.10.0, προσεγγίζονται διαμέσου του RTB. Από την άλλη, άλλα

γνωστά δίκτυα όπως το 200.200.0.0 γίνονται προσιτά μέσω του RTA (λόγω αντίστοιχης ρύθμισης στο local-preference). Επίσης, φαίνεται η default route για το OSPF, η 0.0.0.0, όπως και το ότι θέσαμε ως υποψήφιο προεπιλεγμένο δρομολογητή (gateway of last resort) να δείχνει προς αυτήν τον RTB. Άρα ο RTB θα στρέφεται προς τον RTB για τις άγνωστες προς αυτόν διαδρομές (ρύθμιση για το “default-information originate” με metric το 1000, μικρότερο, άρα και πιο προτιμητέο, από το 2000 του RTA). Όμως σε περίπτωση που συμβεί κάτι επισφαλές στην σύνδεση μεταξύ του RTB και RTD, τότε η διαδρομή που εκπέμπεται ως προεπιλεγμένη (default route) από τον RTA (η 200.200.0.0) θα την αντικαταστήσει έχοντας για το metric της την τιμή 2000.

Με όλα τα παραπάνω βλέπουμε πως οι πολιτικές δρομολόγησης που ακολουθήσαμε τέθηκαν σε ισχύ.

RTB#sh ip bgp

BGP table version is 14, local router ID is 203.250.15.10

Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal

Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
*>i128.213.0.0	128.213.63.2	0	200	0	200 i
*> 192.208.10.0	192.208.10.5	0	300	0	300 i
*>i200.200.0.0/16	128.213.63.2		200	0	200 400 i
*>i203.250.13.0	203.250.13.41	0	100	0	i
*>i203.250.14.0	203.250.13.41	0	100	0	i
*> 203.250.15.0	0.0.0.0	0		32768	i

RTB#sh ip route

Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP

D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area

E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP

i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, * - candidate default

Gateway of last resort is 192.208.10.5 to network 192.208.10.0

```
* 192.208.10.0 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
B*   192.208.10.0 255.255.255.0 [20/0] via 192.208.10.5, 00:50:46
C    192.208.10.4 255.255.255.252 is directly connected, Serial1
    203.250.13.0 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
O    203.250.13.41 255.255.255.255
    [110/75] via 203.250.15.1, 01:20:33, Serial0
O E2 203.250.13.0 255.255.255.0
    [110/2000] via 203.250.15.1, 01:15:40, Serial0
    203.250.15.0 255.255.255.252 is subnetted, 2 subnets
C    203.250.15.8 is directly connected, Loopback1
C    203.250.15.0 is directly connected, Serial0
O    203.250.14.0 [110/74] via 203.250.15.1, 01:20:33, Serial0
    128.213.0.0 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
O E2 128.213.0.0 255.255.0.0 [110/2000] via 203.250.15.1, 00:46:55, Serial0
O    128.213.63.0 255.255.255.252
    [110/138] via 203.250.15.1, 01:20:34, Serial0
O E2 200.200.0.0 255.255.0.0 [110/2000] via 203.250.15.1, 00:05:42, Serial0
```

5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης εξωτερικών πυλών (**BGP**) σχεδιάστηκε για να προσφέρει ένα περιβάλλον δρομολόγησης, κατάλληλο για δρομολόγηση μεταξύ των ISPS, των οργανισμών και των λοιπών εταιρειών (και γενικότερα των αυτόνομων συστημάτων). Το BGP δεν θέτει περιορισμούς στις αλληλοσυνδέσεις που μπορούν να υπάρξουν ανάμεσα στα αυτόνομα συστήματα. Χρησιμοποιεί έναν αποδοτικό και ευέλικτο αλγόριθμο δρομολόγησης για την διανομή, τον υπολογισμό και την διαχείριση των διαθέσιμων διαδρομών μεταξύ των Αυτόνομων Συστημάτων. Μεταξύ των άλλων, επιτρέπει σε έναν δρομολογητή να αναγνωρίσει τα πολλαπλά μονοπάτια μεταξύ των συστημάτων, να εντοπίσει και αποφύγει ενδεχόμενα loops δρομολόγησης και να κάνει αποτελεσματική επιλογή μεταξύ των πολλαπλών μονοπατιών.

Το BGP καλύπτει την ανάγκη της δρομολόγησης η οποία είναι βασισμένη στις πολιτικές, χρήση των οποίων γίνεται από τις εταιρείες παροχής υπηρεσιών Internet και τους οργανισμούς. Με τις πολιτικές μπορούν να τεθούν περιορισμοί στην κυκλοφορία των πακέτων (εισερχόμενη και εξερχόμενη), ανάλογα με το πόσο είναι διατεθειμένοι οι ενδιαφερόμενοι να παρέχουν υπηρεσίες διακίνησης δεδομένων μεταξύ των συστημάτων.

Είναι σημαντικό να αναφερθούν παρακάτω μερικοί από τους λόγους για τους οποίους προτιμάται η χρήση του από τους διαχειριστές (managers) των αυτόνομων συστημάτων, με άμεση συνέπεια να έχει καταστεί σήμερα το standard πρωτόκολλο εξωτερικών πυλών στο Internet :

- Παρέχει υψηλή διαθεσιμότητα και πλεονασμό στα δίκτυα που τα έχουν ανάγκη.
- Είναι ταχύ στην προσαρμογή και στην εύρεση των εναλλακτικών διαδρομών σε περιπτώσεις πιθανών δικτυακών αποτυχιών.
- Παρέχει υποστήριξη για ενεργές εναλλακτικές και παράλληλες διαδρομές προς ένα δίκτυο προορισμού.
- Είναι ταχύ στην επίλυση ανωμαλιών δρομολόγησης όπως τα routing loops.
- Επιτυγχάνει αλλαγή στην απόδοση της δρομολόγησης και την δικτυακή κυκλοφορία σε συνδυασμό με το μέγεθος του δικτύου (scalability).
- Συγκλίνει γρήγορα σε μία αποδεκτή τοπολογία σε κάθε σημείο του δικτύου έπειτα από μια αλλαγή δρομολόγησης.
- Έχει χαρακτηριστικά ασφαλείας για την αποφυγή πιθανής λανθασμένης μετάδοσης.
- Είναι στραμμένο στην δρομολόγηση που βασίζεται σε πολιτικές.
- Έχει λογικές απαιτήσεις για την λειτουργία του παρέχοντας ταυτόχρονα τεχνικές για μείωση των αναγκών των δρομολογητών σε μνήμη, επεξεργαστική ισχύ και bandwidth.

Έχοντας ως βάση τα πλεονεκτήματα αυτά μπορούμε να πούμε ότι το BGP παρέχει τις ευνοϊκότερες συνθήκες για δρομολόγηση σε όλα τα μήκη και τα πλάτη του Internet. Λαμβάνοντας αυτό υπ' όψιν θα συμφωνήσουμε με αυτούς που ονομάζουν το BGP ως «το πρωτόκολλο του Internet».

Είναι σημαντικό επίσης να σημειωθεί πως όλα τα παραπάνω, τα σχετικά με την μεταξύ των αυτόνομων συστημάτων δρομολόγηση και την παρουσίαση της διευθέτησή τους μέσω του πρωτοκόλλου BGP, αποδόθηκαν παραστατικά με την εκτενή παράθεση των κατάλληλων Case Studies, τα οποία στηρίζονται σε διαφορετικά σενάρια δρομολόγησης κάνοντας χρήση των αντίστοιχων μοντέλων διασυνδεδεμένων δικτύων. Με αυτόν τον τρόπο πιστεύουμε να έγινε κατανοητός ο λόγος χρησιμοποίησης αυτού του ξεχωριστού και ειδικού πρωτοκόλλου δρομολόγησης, θέλοντας ακόμα να τονίσουμε ότι ο ρόλος του είναι πολύ σημαντικός και στενά συνδεδεμένος με την ύπαρξη και εξέλιξη του Internet.

6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Cisco Router Handbook

George C. SACKETT
Cisco Press - 2000

2. Routing TCP/IP, Volume 1 (CCIE Professional Development)

Jeff Doyle
Cisco Press - 1998

3. TCP/IP Running a Successful Network

Kevin Washburn and Jim Evans
Addison-Wesley - 1993.

4. ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Andrew S. Tanenbaum
Prentice-Hall - 1996

5. Πρωτόκολλα Διαδικτύων

Λάππας Κωνσταντίνος
ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ - 2001

6. Δίκτυα 2

Ρίζος Ε. Γεώργιος
ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ - 2002

7. http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/software/ios121/121cgcr/ip_c/ipcprt2/1cdbgp.pdf

Cisco IOS IP and IP Routing Configuration Guide

8. http://www.ittc.ku.edu/EECS/EECS_800.ira/bgp_tutorial/18.html#I00

BGP CASE STUDIES/TUTORIAL
Sam Halabi
Cisco Systems - 1996