

Κεφάλαιο 8

MPLS (Multi-Protocol Label Switching)

Εισαγωγή.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγραφεί μια τεχνική δικτύωσης που έχει εισαχθεί τελευταία κυρίως στα δίκτυα κορμού όπου η συγκεντρωμένη κίνηση είναι πολύ μεγάλη. Η τεχνική ονομάζεται «Μεταγωγή Ετικετών Πολλαπλών Πρωτοκόλλων». Ωστόσο παρά τον πομπώδη τίτλο και τη νεωτεριστική της εμφάνιση, η τεχνική υπακούει ωραιότητα στο γνωμικό «ουδέν καινόν υπό τον ήλιον». Στην πραγματικότητα λοιπόν πρόκειται για μετενσάρκωση μιας πολύ γνωστής και μάλλον «παλαιάς» (τουλάχιστον με τους ιστορικούς όρους των δικτύων δεδομένων) τεχνικής και συγκεκριμένα της μεταγωγής νοητών ή εικονικών (virtual) κυκλωμάτων που χρησιμοποιεί ετικέτες για την πολύπλεξη των πακέτων και την μεταγωγή τους. Η τεχνική αυτή που χρησιμοποιείται στα δίκτυα X.25 και ATM, πήρε μια κάπως διαφορετική μορφή στο MPLS προσαρμοσμένη στις συνθήκες των δικτύων κορμού και στην διαβίβαση πακέτων IP. Η προσθήκη του όρου πολλαπλών πρωτοκόλλων έγινε διότι η τεχνική επιτρέπει την χρήση ετικετών διαφόρων πρωτοκόλλων εκτός της τυπικής που θα περιγράψουμε κατωτέρω. Στην πράξη χρησιμοποιήθηκε αρχικά το ATM (Asynchronous Transfer Mode), ενώ σε μετέπειτα εξέλιξη του που ονομάστηκε γενικευμένο MPLS ήτοι GMPLS (generalized MPLS) μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε μεταγωγείς SONET (δηλ τα κλασσικά συστήματα TDM) αλλά και σε οπτικούς μεταγωγείς που είναι μια νέα πολλά υποσχόμενη τεχνική ακόμα σε νηπιακό στάδιο.

Η τεχνική της μεταγωγής εικονικών κυκλωμάτων μέσω ετικετών είναι μια υβριδική τεχνική ανάμεσα στην μεταγωγή κυκλώματος και την μεταγωγή πακέτων που προσπαθεί να εκμεταλλευθεί τα καλύτερα στοιχεία κάθε μιας. Η μορφή αυτή χρησιμοποιεί πολυπλέκει και μετάγει πακέτα για να κάνει καλύτερη εκμετάλλευση των ζευξίων, αλλά δημιουργεί και συνδέσεις (εικονικά κυκλώματα) για να έχει έλεγχο του φόρτου κάθε ζεύξης και να κάνει πιο γρήγορη τη μεταγωγή των πακέτων μέσω ετικετών. Έτσι μπορεί να υποστηρίξει υπηρεσίες που απαιτούν ποιότητα (ζωντανές υπηρεσίες ροής φωνής και βίντεο) αλλά και την δημιουργία ιδιωτικών νοητών δικτύων (VPN-Virtual Private Networks), μια υπηρεσία με μεγάλη ζήτηση από τράπεζες, μεγάλες εταιρείες και οργανισμούς.

Για να γίνουν αυτά κατανοητά πρέπει να δούμε λίγο πιο προσεκτικά πως λειτουργούν αυτές οι αρχές στα πραγματικά δίκτυα ξεκινώντας από το πρώτο ιστορικά δίκτυο το τηλεφωνικό που έζησε πολλές τεχνολογικές μεταλλάξεις. Όταν δημιουργείται μια τηλεφωνική σύνδεση, ο εξοπλισμός μεταγωγής μέσα στο τηλεφωνικό σύστημα αποκαθιστά ένα φυσικό αγωγίμο μονοπάτι που διατρέχει όλη την διαδρομή από το τηλέφωνο του καλούντος στο τηλέφωνο του καλούμενου. Εξ ου και η ονομασία της τεχνικής αυτής «μεταγωγή κυκλώματος» (Circuit Switching). Όταν μια κλήση περνά μέσω ενός μεταγωγικού κέντρου αποκαθίσταται μια σύνδεση μεταξύ της γραμμής εισόδου στον μεταγωγέα και μιας από τις εξερχόμενες γραμμές που διαρκεί για όσο χρόνο διαρκεί η κλήση. Φυσικά τμήματα του "χάλκινου μονοπατιού" μεταξύ των δύο τηλεφώνων μπορεί να είναι στην πραγματικότητα μικροκυματικές ζεύξεις στις οποίες πολυπλέκονται χιλιάδες κλήσεων ή οπτικές ζεύξεις μερισμού χρόνου (PCM) που έχουν διαθέσει μία χρονοθυρίδα στην εν λόγω κλήση. Ωστόσο η βασική αρχή της μεταγωγής κυκλώματος είναι η ανάγκη να σχηματισθεί ένα "μονοπάτι" (κύκλωμα) μεταξύ των άκρων πριν από κάθε αποστολή δεδομένων που θα συνεχίσει να υφίσταται μέχρις ότου τερματιστεί η κλήση. Όταν αυτό γίνει, μετά δεν απαιτείται καμία ενέργεια μεταγωγής για την πληροφορία των χρηστών που διασχίζει κάθε κόμβο σχεδόν ακαριαία (όσο χρειάζεται για διάδοση του σήματος) σε αντίθεση με τα πακέτα που πρέπει να βρεθεί η σωστή έξοδος για το καθένα χωριστά σε κάθε κόμβο. Ένα δεύτερο εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι το εύρος ζώνης που διατίθεται σ' αυτή τη σύνδεση είναι σταθερό και αποκλειστικής χρήσης και συνεπώς δεν υπάρχει κίνδυνος συμφόρησης, δηλ. όταν η σύνδεση έχει αποκατασταθεί η ονομαστική διατεθείσα επικοινωνιακή ικανότητα είναι πάντα και σταθερά διαθέσιμη. Αν υπάρχει κάποιο πρόβλημα συμφόρησης αυτό θα εκδηλωθεί κατά την εγκατάσταση της σύνδεσης (και πιθανώς θα την αποτρέψει) και ποτέ κατά την διάρκεια της ζωής της.

Στην μεταγωγή πακέτων (Packet Switching) δεν εγκαθίσταται προκαταβολικά κανένα φυσικό ή νοητό μονοπάτι μεταξύ πομπού και δέκτη. Αντίθετα, κάθε φορά που ο πομπός έχει να στείλει ένα τμήμα δεδομένων το προωθεί στον πρώτο κόμβο μεταγωγής όπου αποθηκεύεται προσωρινά για να προωθηθεί κατόπιν με άλματα από κόμβο σε κόμβο. Κάθε πακέτο πρέπει να διαθέτει αρκετά στοιχεία

για τον τελικό προορισμό αφού δεν ακολουθεί ένα μονοπάτι με μοναδική κατάληξη αλλά περνά από κοινόχρηστα κανάλια όπου περνούν και άλλα πακέτα που πιθανόν να έχουν κοινή μόνο μία ή λίγες ζεύξεις. Το πακέτο αυτό των δεδομένων λαμβάνεται ολόκληρο, εξετάζεται για τυχόν λάθη και κατόπιν η διεύθυνση προορισμού (που πρέπει να είναι μοναδική στον κόσμο και άρα όχι πολύ σύντομη) αναζητείται σε ένα πίνακα που ονομάζεται πίνακας δρομολόγησης. Ο πίνακας αντιστοιχίζει σε κάθε διεύθυνση την σωστή πόρτα εξόδου στην οποία πρέπει να οδηγηθεί το πακέτο και να μεταδοθεί στην γραμμή εξόδου. Το δίκτυο που μεταχειρίζεται αυτήν την τακτική ονομάζεται δίκτυο αποθήκευσης και προώθησης (store-and-forward) και πιο κοινό παράδειγμα είναι το Διαδίκτυο (Internet) και ειδικότερα το πρωτόκολλο IP. Ο πίνακας πρέπει να είναι πολύ μεγάλος (κεντρικοί δρομολογητές του Διαδικτύου μπορεί να έχουν πίνακες με 300000 καταχωρήσεις) και είναι πολύ χρονοβόρα διαδικασία να βρεθεί η σωστή πόρτα εξόδου. Επίσης περίπου τα μισά πακέτα του Διαδικτύου είναι μόλις 40 bytes και περιέχουν επιβεβαιώσεις χωρίς πληροφορία χρήστη. Δεν είναι λοιπόν πολύ αποδοτικό να προκαλείται μια χρονοβόρα αναζήτηση για κάθε πακέτο σε ένα κεντρικό κόμβο που πρέπει να διαβιβάζει εκατομμύρια πακέτα το δευτερόλεπτο. Η ίδια δουλειά σε ένα δίκτυο κυκλωμάτων (ή νοητών κυκλωμάτων) γίνεται μόνο μια φορά για όλα τα πακέτα δηλ. την πρώτη φορά για το πακέτο εγκατάστασης κλήσης. Από κει και πέρα γίνεται μόνο αναζήτηση της ετικέτας για κάθε προώθηση με την ανάγνωση μιας RAM, πράγμα απλό και γρήγορο λόγω του μικρού μεγέθους της. Οι ετικέτες (που ονομάζονται LCN-Logical Channel Number στο X.25 και VCI-Virtual Channel Identifier στο ATM) προσδιορίζουν ευέλικτα νοητά (ή λογικά) κυκλώματα και κάνουν πολύ εύκολη την αναζήτηση στους πίνακες δρομολόγησης των κόμβων.

Το MPLS αποκαθιστά συνδέσεις, την κατάσταση των οποίων τηρεί ο κάθε κόμβος. Αυτές χαρακτηρίζονται από ένα αριθμό ο οποίος είναι διαφορετικός για κάθε ροή πακέτων και μπαίνει σε μια ετικέτα στην επικεφαλίδα του πακέτου. Με την βοήθεια αυτού του πεδίου στην ετικέτα ξεχωρίζουν τα διαφορετικά πακέτα παρότι χρησιμοποιούν την ίδια φυσική ζεύξη. Με τα νοητά κυκλώματα επιτυγχάνεται επίσης η πολύπλεξη των πακέτων στο ίδιο φυσικό κανάλι για λόγους οικονομίας αλλά με την εγκατάσταση της κλήσης είναι δυνατός ο προκαταβολικός έλεγχος της επάρκειας πόρων πριν την αποδοχή της κίνησης για την εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας (σε συνδυασμό με την χρήση μηχανισμών διαχείρισης προτεραιοτήτων στις ουρές και κράτησης πόρων στην εγκατάσταση των συνδέσεων)

Η λογική χρήσης νοητών κυκλωμάτων και το MPLS

Το MPLS ξεκίνησε με σκοπό να επιταχύνει την προώθηση όταν το Διαδίκτυο μεγάλωσε πολύ, αλλά σήμερα περισσότερο χρησιμοποιείται για:

- την επίτευξη ρητής δρομολόγησης (explicit routing),
- τον σχεδιασμό κίνησης (traffic engineering) και
- την δημιουργία Ιδιωτικών Νοητών Δικτύων (Virtual Private Networks)
- Την υποστήριξη κλάσεων υπηρεσίας (Class of Service)

Όπως είδαμε, στην μεταγωγή κυκλώματος, οποιοδήποτε αχρησιμοποίητο εύρος ζώνης ξοδεύεται άχρηστα. Στην μεταγωγή πακέτου μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλα πακέτα από άλλες πηγές κατευθυνόμενα σε διάφορους άλλους προορισμούς με τους οποίους μοιράζονται ένα μέρος και μόνο της διαδρομής, επειδή τα κυκλώματα δεν είναι αφιερωμένα για κάτι συγκεκριμένο. Παρόλα αυτά, ακριβώς επειδή δεν αφιερώνονται κάποια κυκλώματα, μπορεί ένα ξαφνικό κύμα κίνησης από πολλές εισόδους να κατακλύσει κάποια έξοδο ενός κόμβου μεταγωγής, ξεπερνώντας την χωρητικότητα αποθήκευσης του ταμιευτήρα της εξόδου προκαλώντας απώλεια πακέτων. Το πρόβλημα ξεκινά από την αδυναμία εκτίμησης της κίνησης που θα εμφανισθεί αφού δεν προηγείται καμία συνεννόηση όπως όταν εγκαθίσταται μια κλήση, με αποτέλεσμα να είναι σημαντικές οι πιθανότητες συμφόρησης και υπερχειλίσης των ταμιευτήρων των κόμβων κατά την διάρκεια ζωής μιας συνεδρίας. Αντίθετα, με τη χρήση νοητών κυκλωμάτων, αλλά και της ρητής επιλογής διαδρομών ώστε να μοιραστεί η κίνηση σε διαφορετικές διαδρομές (σχεδιασμός κίνησης - traffic engineering), ο φόρτος των κόμβων γίνεται προβλέψιμος. Τούτο διότι, αφενός γίνεται εφικτή η αναγγελία των απαιτούμενων πόρων κατά την εγκατάσταση του νοητού κυκλώματος και δεν αποφασίζεται ο επόμενος κόμβος με λογική βήμα-βήμα

(Hop-by-hop) όπως στο IP routing. Αυτά σε συνδυασμό με ένα πεδίο που δείχνει την κλάση υπηρεσίας (Class of Service) στην ετικέτα και την χρήση μηχανισμών διαχείρισης προτεραιοτήτων στις ουρές, επιτρέπουν στο MPLS να υποστηρίξει υπηρεσίες τύπου ζώσης φωνής και βίντεο που δεν μπορούν να μεταδοθούν ικανοποιητικά μέσω μηχανισμών που βασίζονται σε απώλειες και αναμεταδόσεις πακέτων. Οι υπηρεσίες αυτές πρέπει να έχουν εξασφαλισμένους πόρους και σε εναντία περίπτωση να απορρίπτονται από την αρχή (συγκρίνατε με το σήμα κατειλημμένου στην τηλεφωνία που αναγγέλλει την αδυναμία υποστήριξης μιας κλήσης) αντί να εμφανίζουν διαλείψεις που τις καθιστούν άχρηστες.

Το MPLS έχει προτυποποιηθεί στην IETF μέσω διαφόρων RFC με κυριότερα:

- RFC 3031 MPLS Architecture
- RFC 3032, Label Stack encoding,
- RFC 3036 LDP specification

Στη συνέχεια θα εξηγηθεί συνοπτικά η λειτουργία του MPLS.

Λειτουργία του MPLS

Ας αρχίσουμε από τη μορφή του προθέματος ή ταμπέλας (tag) την οποία τοποθετεί το MPLS μπροστά σε κάθε πακέτο που είναι η ακόλουθη:

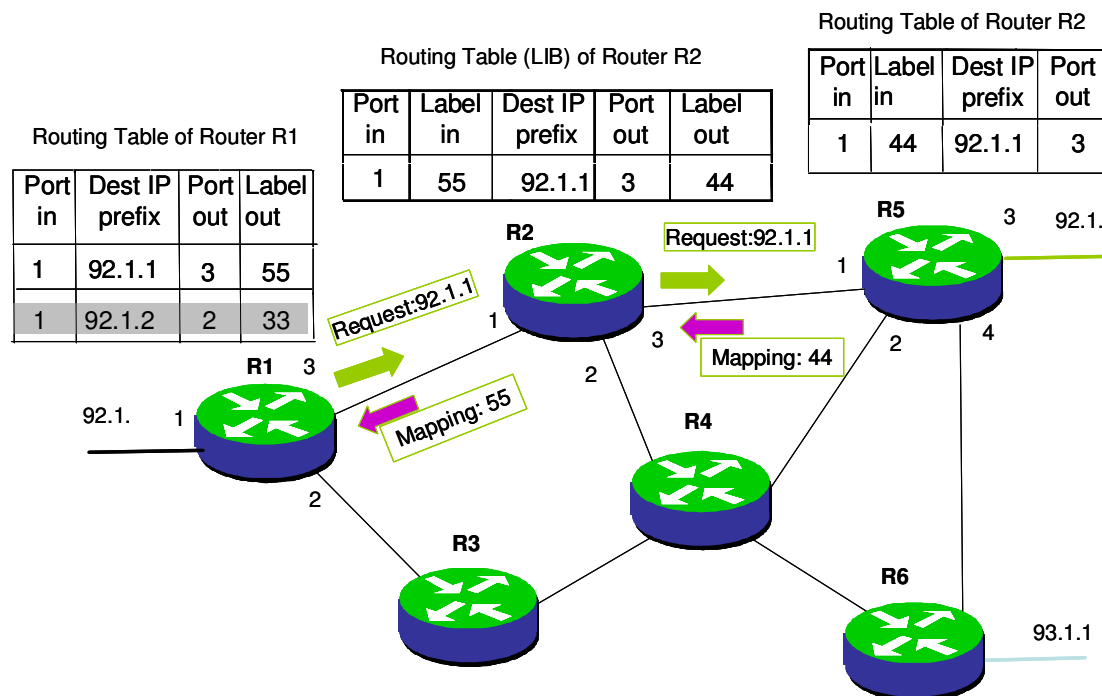
Label	CoS	S	TTL
20 bits	3 bits	1 bit	8 bits

Σχήμα 6-1 Μορφότυπος της ετικέτας MPLS

Η ταμπέλα ξεκινά με το πεδίο της ετικέτας αυτής καθεαυτήν που αποτελείται από 20 bits, ακολουθεί το πεδίο CoS (Class of Service) με 3 bits, το πεδίο S (stack-στοίβα ετικετών) του 1 bit και τέλος το πεδίο TTL με 8 bits. Το πεδίο S επιτρέπει να τοποθετηθούν πολλές ετικέτες ενθυλακούμενες η μια στην άλλη οπότε το πεδίο έχει τιμή 1 στον άτο της στοίβας, δηλ. παίρνει τιμή 1 στην πιο εσωτερική ετικέτα. Το πεδίο TTL λειτουργεί όπως στο πακέτο IP δηλ. μειώνεται με κάθε προώθηση και εάν φθάσει ποτέ στο 0, τότε το πακέτο απορρίπτεται. Το πεδίο CoS προσδιορίζει οκτώ επίπεδα προτεραιότητας ώστε τα πιο επείγοντα πακέτα να προωθούνται πρώτα (δηλ. αυτά που αντιστοιχούν σε χρονικά ευαίσθητες υπηρεσίες). Αυτό βέβαια απαιτεί ανάλογα κυκλώματα ανάγνωσης της τιμής του πεδίου CoS και διαχείρισης της ουράς αναμονής των πακέτων.

Στη συνέχεια θα περιγραφεί η λειτουργία του MPLS με την βοήθεια του σχήματος 6-2 στο οποίο φαίνονται 6 δρομολογητές (R1-R6) και οι πίνακες δρομολόγησης των R1, R2, και R5. Προηγουμένως ας δώσουμε την καθιερωμένη ορολογία του MPLS. Ο πίνακας δρομολόγησης στο MPLS ονομάζεται και LIB (Label Information Base). Στο MPLS η μετάδοση δεδομένων πραγματοποιείται σε μονοπάτια μεταγωγής ετικέτας (LSPs - Label Switched Paths) που δημιουργούνται είτε πριν την εκπομπή δεδομένων ή με την ανίχνευση του πρώτου πακέτου μιας συγκεκριμένης ροής δεδομένων. Οι δρομολογητές διακρίνονται σε ακραίους (LER- Label Edge Routers) και σε εσωτερικούς που αποκαλούνται LSR (Label Switched Routers). Η δουλειά των εσωτερικών είναι η επιλογή της πόρτας εξόδου και η επικόλληση της ετικέτας εξόδου που γίνεται βάσει της πόρτας εισόδου και της τιμής της ετικέτας εισόδου. Όλα αυτά βρίσκονται στον πίνακα. Οι ετικέτες διανέμονται χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο διανομής ετικετών (LDP - Label Distribution Protocol). Όλα τα πακέτα που ανήκουν στην ίδια ροή, (που χαρακτηρίζεται στο IP από το κοινό πρόθεμα της διεύθυνσης IP), δρομολογούνται με τον ίδιο τρόπο μέχρι τον τελικό τους προορισμό και θεωρούνται ότι ανήκουν στην ίδια κλάση ισοδύναμης προώθησης (FEC Forwarding Equivalence Class). Δηλ. η FEC καθορίζει μια διαδοχή ζεύξεων, των ετικετών που χρησιμοποιούνται σε κάθε ζεύξη και εν τέλει μια διαδρομή που διασχίζει το υποδίκτυο MPLS από ένα ακραίο LER σε ένα άλλο.

Σε αντίθεση με την συμβατική προώθηση σε δίκτυα IP, στο MPLS, η επιλογή της FEC ενός συγκεκριμένου πακέτου γίνεται μόνο μία φορά, όταν το πακέτο εισέρχεται στο δίκτυο. Ένας δρομολογητής άκρου που λαμβάνει ένα πακέτο εξετάζει το πρόθεμα IP για να αποδώσει μια ετικέτα (εκτός εάν έχει ήδη δημιουργηθεί η FEC και όλες οι ετικέτες είναι πια γνωστές. Από την στιγμή που σε ένα πακέτο έχει τοποθετηθεί ετικέτα, το υπόλοιπο δρομολόγιο του διαμέσου του δικτύου καθορίζεται αυτόματα και είναι η συγκεκριμένη FEC. Οι ετικέτες έχουν τοπικό χαρακτήρα μόνο, δηλ. αλλάζουν σε κάθε βήμα δρομολόγησης.



σχήμα 6-2 Λειτουργία του MPLS

Ας έλθουμε τώρα στο σχήμα 6-2 να παρακολουθήσουμε τις ενέργειες για την δρομολόγηση ενός πακέτου μέσω των R1-R2-R5, όπου οι R1 και R5 είναι LER ενώ ο R2 είναι LSR. (στην πράξη οι LSR είναι περισσότεροι διότι μια περιοχή MPLS αποτελείται από δεκάδες δρομολογητές και όχι 6 όπως στο παράδειγμα). Ένα πακέτο IP φθάνει στον R1 (ας υποθέσουμε αρχικά ότι όλοι οι πίνακες είναι συνήθεις πίνακες IP που έχουν δημιουργηθεί με το πρωτόκολλο OSPF και οι θέσεις των ετικετών είναι κενές αφού ακόμα δεν έχει δημιουργηθεί καμία καταχώρηση ετικετών). Ο R1 βλέπει το πρόθεμα 92.1 από την πύλη 1 και βλέπει ότι πρέπει να το προωθήσει στον R2 αλλά ταυτόχρονα ζητά με το πρωτόκολλο LDP την εκχώρηση ετικέτας από τον R2, ο οποίος ανταποκρίνεται αποδίδοντας την ετικέτα 55 την οποία ο R1 καταχωρεί στον πίνακα και πλέον προωθεί το πακέτο έχοντας επισυνάψει την ετικέτα. Το ίδιο γίνεται και μεταξύ του R2 και R5 που καταλήγει στην ετικέτα 44 για τη μεταξύ τους ζεύξη. Έτσι έχει δημιουργηθεί μια κλάση προώθησης (FEC) μεταξύ των R1-R2-R5 με ετικέτες 55 για το πρώτο σκέλος και 44 για το δεύτερο.

Από εδώ και μπρος οι δρομολογητές LSR (μόνο ο R2 στο παράδειγμα) θα μπορούν να δρομολογούν με απλή ανάγνωση του πίνακα και ανταλλαγή των ετικετών. Αυτό είναι αναζήτηση με ακριβή ταύτιση (exact match) δηλ. κάτι που γίνεται με μια απλή και φθηνή RAM όπου η διεύθυνση είναι η πόρτα και η ετικέτα εισόδου και τα περιεχόμενα δίνουν την πόρτα εξόδου και την νέα ετικέτα. Ωστόσο οι ακραίοι (LER) θα εξακολουθήσουν να λειτουργούν σαν τυπικοί δρομολογητές IP δηλ. θα εκτελούν προώθηση με τη μέγιστου μήκους ταύτιση (longest bit matching) που είναι ακριβή και χρησιμοποιεί ειδικά πολύπλοκα κυκλώματα (π.χ. Patricia tries). Κατά τα άλλα ο αλγόριθμος δρομολόγησης (για την δημιουργία τοπολογικά βέλτιστων διαδρομών) μπορεί να είναι οποιοσδήποτε αλγόριθμος δρομολόγησης IP (π.χ., το OSPF). Η διαδρομή επομένως που θα ακολουθήσει ένα πακέτο σε αυτό το

περιβάλλον είναι ακριβώς ίδια με εκείνη που θα ακολουθούσε αν δεν χρησιμοποιούσαμε τη μέθοδο MPLS - δηλαδή τη διαδρομή που θα επέλεγαν οι αλγόριθμοι δρομολόγησης IP. Το μόνο που έχει αλλάξει είναι ο αλγόριθμος προώθησης που έγινε απλούστερος και φθηνότερος. Ωστόσο έχει υπάρξει και μια άλλη σημαντική συνέπεια: συσκευές που δεν ήξεραν προηγουμένως πώς να προωθήσουν πακέτα IP μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προωθήσουν την κυκλοφορία IP σε ένα δίκτυο MPLS. Η πιο αξιόλογη πρόωμη εφαρμογή αυτού του αποτελέσματος έγινε με τη χρήση μεταγωγών ATM, οι οποίοι μπορούν να υποστηρίξουν τη μέθοδο MPLS χωρίς καμία αλλαγή στο υλικό (HW) προώθησης (αλλά με προσθήκη του OSPF, που απαιτεί αναβάθμιση του λογισμικού).

Συνεχίζοντας στο σχήμα 6-2 θα μπορούσαμε να δημιουργήσουμε καθ' όμοιο τρόπο και μια διαδρομή για το πρόθεμα LSP μέσω κατάλληλων ετικετών για το πρόθεμα 93.1 μέσω των R1-R3-R4-R6 δημιουργώντας μια άλλη FEC και τις κατάλληλες καταχωρήσεις ετικετών στους πίνακες των ενδιάμεσων δρομολογητών.

Ρητή δρομολόγηση

Αν συνοψίσουμε το τι πετύχαμε μέχρι στιγμής με την MPLS δεν φαίνεται και τόσο σπουδαίο. Το μόνο που άλλαξε είναι η προώθηση που γίνεται φθηνότερη μέσω των ετικετών. Επειδή αυτό το πλεονέκτημα έχει εξανεμιστεί λόγω μαζικής κατασκευής κυκλωμάτων εκτέλεσης της μέγιστου μήκους ταύτισης το MPLS θα είχε εγκαταλειφθεί εάν δεν είχε και άλλα πλεονεκτήματα που θα εξετάσουμε τώρα. Το αρχικό IP διέθετε μια δυνατότητα δρομολόγησης προέλευσης (source routing) όπου η πηγή μπορούσε να προσδιορίσει την διαδρομή και να μην αφήσει την επιλογή της στο OSPF. Αυτό έτυχε πολύ περιορισμένης χρήσης κυρίως για λόγους ανίχνευσης προβλημάτων από τους διαχειριστές.

Η MPLS παρέχει την ίδια δυνατότητα με πιο ευέλικτο τρόπο. Η δρομολόγηση αυτή αποκαλείται ρητή δρομολόγηση (explicit routing). Μια διαφορά είναι ότι δεν είναι συνήθως η προέλευση του πακέτου που επιλέγει το δρομολόγιο. Πιο συχνά αυτό γίνεται από κάποιον από τους δρομολογητές μέσα στο δίκτυο ενός παροχέα υπηρεσιών. Στην Εικόνα 6-2 μπορούμε επί παραδείγματι να ξεχωρίσουμε δύο διαδρομές για το πρόθεμα 92.1 μοιράζοντας την κίνηση μέσω των R1-R2-R5 για το πρόθεμα 92.1.1 και μέσω των R1-R3-R4-R6 για το 92.1.2. Αυτό μπορεί να γίνει προσθέτοντας την δεύτερη (γκρίζα) καταχώρηση στον πίνακα προώθησης του R1 δημιουργώντας μια δεύτερη FEC και ακολουθώντας δημιουργώντας τις κατάλληλες ετικέτες στους πίνακες των R3-R4. Αυτό θα ήταν δύσκολο για το IP για την κανονική δρομολόγηση IP, επειδή κανονικά ο R1 δεν εξετάζει την προέλευση της κυκλοφορίας κατά τη λήψη των αποφάσεων προώθησής.

Προκύπτουν δύο ερωτήματα: Πρώτο, τι κερδίζουμε με αυτό, και δεύτερο πώς θα συμφωνήσουν όλοι οι δρομολογητές του δικτύου σχετικά με τις ετικέτες που θα χρησιμοποιήσουν και τον τρόπο με τον οποίο θα προωθούν πακέτα; Ας ξεκινήσουμε από το δεύτερο. Είναι σαφές ότι δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις ίδιες διαδικασίες με αυτές που περιγράψαμε για τη διανομή των ετικετών, επειδή οι διαδικασίες αυτές δημιουργούν ετικέτες οι οποίες έχουν αποτέλεσμα να ακολουθούν τα πακέτα τις κανονικές διαδρομές που επιλέγονται από την δρομολόγηση IP - το οποίο είναι αυτό ακριβώς που προσπαθούμε να αποφύγουμε. Αντίθετα, χρειάζεται ένας νέος μηχανισμός. Αποδεικνύεται ότι το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για την εργασία αυτή είναι το Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων (Resource Reservation Protocol, RSVP). Το πρωτόκολλο αυτό επιτρέπει να στείλουμε ένα μήνυμα RSVP κατά μήκος μιας σαφώς καθορισμένης διαδρομής όπως π.χ., της R1-R3-R4-R6, και να το χρησιμοποιήσουμε για να διαμορφώσουμε καταχωρήσεις του πίνακα προώθησης ετικετών σε όλο το μήκος αυτής της διαδρομής. Αυτή η διαδικασία είναι πολύ παρόμοια με εκείνη για την εγκαθίδρυση ενός εικονικού κυκλώματος που χρησιμοποιεί το ATM ή το X.25 αλλά δεν θα επεκταθούμε περαιτέρω εδώ.

Σχετικά με το πρώτο ερώτημα, η πιο χρήσιμη δυνατότητα της ρητής δρομολόγησης είναι ο σχεδιασμός της κυκλοφορίας (traffic engineering), δηλ. το να διασφαλίσουμε ότι θα υπάρχουν επαρκείς διαθέσιμοι πόροι σε ένα δίκτυο έτσι ώστε να ικανοποιούν τη ζήτηση που απαιτείται από

αυτό. Δηλ. στο προηγούμενο παράδειγμα μπορούμε να υποθέσουμε ότι η διαδρομή R1-R2-R5 ήταν ήδη πολύ φορτωμένη και είχαμε απώλειες πακέτων ενώ η R1-R3-R4-R6 είχε περιθώρια περαιτέρω διαβίβασης κίνησης. Ο ακριβής έλεγχος των διαδρομών στις οποίες θα ρέει η κυκλοφορία αποτελεί σημαντικό μέρος του σχεδιασμού κυκλοφορίας. Η ρητή δρομολόγηση μπορεί να επίσης να συμβάλει στο να γίνουν τα δίκτυα περισσότερο ανθεκτικά σε περιπτώσεις αστοχιών, χάρη σε μια δυνατότητα που αποκαλείται γρήγορη επαναδρομολόγηση. Για παράδειγμα, είναι δυνατό να υπολογιστούν εκ των προτέρων εναλλακτικές διαδρομές που θα χρησιμοποιηθούν σε περίπτωση αστοχίας κάποιας ζεύξης. Ο συνδυασμός του εκ των προτέρων υπολογισμού μιας εναλλακτικής διαδρομής και της ρητής δρομολόγησης πακέτων κατά μήκος της διαδρομής σημαίνει ότι ο A δεν χρειάζεται να περιμένει να διασχίσουν το δίκτυο τα πακέτα των πρωτοκόλλων δρομολόγησης, ή να εκτελεστούν αλγόριθμοι δρομολόγησης από διάφορους άλλους κόμβους στο δίκτυο. Αυτό μπορεί να μειώσει αρκετά το χρόνο που απαιτείται για την επαναδρομολόγηση πακέτων με παράκαμψη ενός συγκεκριμένου σημείου αστοχίας.

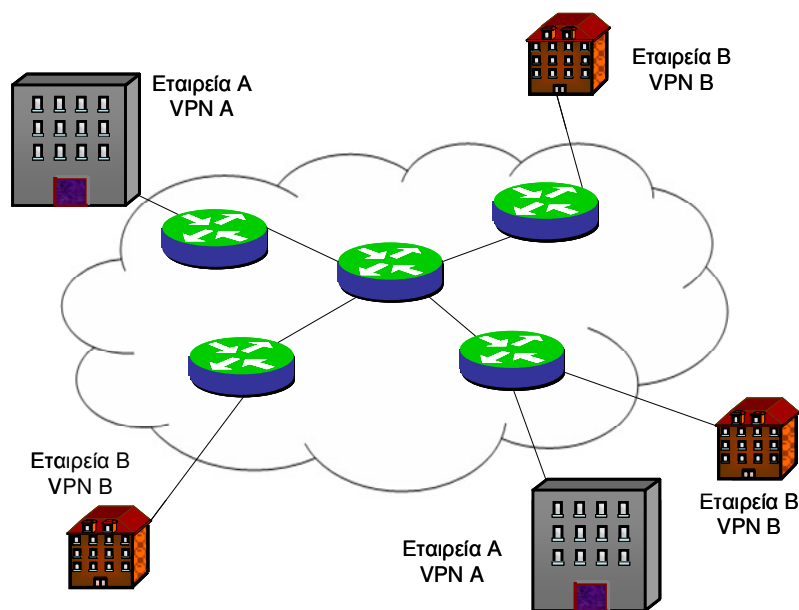
Αλλά δεν πρέπει να δοθεί η εντύπωση ότι τα αναλυτικά δρομολόγια πρέπει να υπολογιστούν από ένα χειριστή δικτύου. Οι δρομολογητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν ειδικούς αλγόριθμους για να υπολογίσουν με αυτόματο τρόπο αναλυτικές διαδρομές. Ένας τέτοιος αλγόριθμος είναι το RSVP-TE (RSVP with Traffic Engineering) ή το CSPF (constrained shortest path first) "πρώτα η συντομότερη διαδρομή υπό περιορισμούς", ο οποίος μοιάζει με το OSPF αλλά λαμβάνει υπόψη του και κάποιους περιορισμούς. Αυτοί σχετίζονται με τη μέγιστη μεταφορική ικανότητα ή τις ιδιότητες των οπτικών ζεύξεων και είναι πέραν των στόχων των σημειώσεων.

Εικονικά Ιδιωτικά Δίκτυα

Μια άλλη ικανότητα του MPLS όπως αναφέρθη είναι η δημιουργία Εικονικών Ιδιωτικών Δικτύων (VPN – Virtual Private Networks) στο στρώμα 3 (μπορούν να γίνουν και με άλλες τεχνικές και σε άλλα στρώματα αλλά το MPLS είναι το πιο βολικό για τους παρόχους υπηρεσιών). Τι είναι όμως ένα VPN και σε τι χρησιμεύει; Το VPN είναι η υπηρεσία που δίνει την εντύπωση σε ένα πελάτη με υποκαταστήματα σε διάφορα σημεία του κόσμου (που επομένως δεν μπορεί να διασυνδέσει μόνος του με δικό του LAN) ότι όλες οι τοποθεσίες του είναι διασυνδεδεμένες μεταξύ τους σε ένα «ιδιωτικό δίκτυο» στο οποίο κυκλοφορεί μόνο η δική του κίνηση μεταξύ των κτιρίων του και καθόλου κίνηση άλλων πελατών. Αυτό γίνεται κυρίως για λόγους ασφαλείας. Κάθε πελάτης νοιώθει απομονωμένος από τους υπόλοιπους πελάτες. Ο πελάτης A δεν μπορεί να στείλει πακέτα απευθείας στον πελάτη B, και αντιστρόφως. Φυσικά μπορεί να στείλει με τον τρόπο που θα έστελνε και εάν είχε μόνο ένα σημείο εγκαταστάσεων στον κόσμο. Εκεί θα είχε στο τοπικό δίκτυο αποκλειστικά τη δική του κίνηση και προς τα έξω θα έστελνε μόνο μέσω της εξωτερικής πύλης διόδευσης. Το ίδιο και τώρα, έχει ένα (ή δύο-τρία για λόγους ασφάλειας) σημείο επικοινωνίας με τον έξω κόσμο. Έτσι ο πελάτης A μπορεί συνήθως να στείλει δεδομένα στον πελάτη B με αυτό τον περιορισμένο τρόπο, συνήθως μέσω σύνδεσης που έχουν με το παγκόσμιο Διαδίκτυο. Έτσι, για παράδειγμα, μπορεί να στέλνει ο πελάτης A μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που να λαμβάνει ο πελάτης B στο διακομιστή ταχυδρομείου που βρίσκεται μέσα στο δίκτυο του. Το ίδιο και με την πρόσβαση σε τυχόν web servers που ο A ή ο B διαθέτουν. Αυτό προϋποθέτει ότι υπάρχει υλικό που θέλουν να θέσουν σε δημόσια χρήση, όλο το υπόλοιπο υλικό δεν είναι προσπελάσιμο.

Μπορούμε να κάνουμε την αναλογία ύπαρξης ενός φράκτη που περιβάλλει τα κτίρια ενός οργανισμού, μιας βιομηχανίας, ενός διυλιστηρίου κλπ. Μπορεί κανείς να μπει μόνο από μια εξωτερική πύλη κατόπιν ελέγχου αλλά μέσα μπορεί να πηγαίνει ελεύθερα από κτήριο σε κτήριο. Ωστόσο ακόμα και εάν βρίσκεται μόλις 10μ από ένα εξωτερικό κτήριο, μπορεί να πρέπει να κάνει ένα γύρο εκατοντάδων μέτρων για να βγει από την πύλη αφού δεν μπορεί να πηδήξει το φράκτη. Το ίδιο

και με τα VPN, μπορεί να είναι κανείς στην ίδια πόλη με τον διακομιστή μιας εταιρείας και ωστόσο τα πακέτα του ηλ. Ταχυδρομείου να πρέπει να πάνε στην Αμερική όπου βρίσκεται η εξωτερική διεπαφή επικοινωνίας μιας εταιρείας απ' όπου θα γυρίσει πλέον στον διακομιστή εσωτερικά πλέον στο VPN, ενώ την ίδια διαδρομή θα ακολουθήσει και η απόκριση. Από παλιά οργανισμοί με υψηλές απαιτήσεις ασφαλείας (π.χ. τράπεζες) διασυνέδεαν τα υποκαταστήματά τους μέσω μισθωμένων γραμμών δημιουργώντας κανονικά (όχι εικονικά) ιδιωτικά δίκτυα των οποίων την δομή δεν ε γνώριζε ο πάροχος. Αυτή η λύση είναι πολύ ακριβή για τις πιο πολλές εταιρείες.



Σχήμα 6-3 Εικονικά Ιδιωτικά Δίκτυα

Κάτι πολύ φθηνό είναι να γίνει κάθε υποκατάστημα συνδρομητής στο Διαδίκτυο και έτσι να επικοινωνούν τα μέλη μιας εταιρείας όπως και στο VPN. Φυσικά αυτό δεν είναι καθόλου ασφαλές διότι η μόνη προστασία είναι οι κωδικοί ασφαλείας. Μπορεί κανείς να φτιάξει ένα πιο ασφαλές VPN στο επίπεδο εφαρμογής με την χρήση ισχυρής κρυπτογράφησης. Αυτή η λύση είναι η μόνη εφικτή π.χ. για να συνδεθούν οι πελάτες μιας τράπεζας, αλλά όχι αρκετά ασφαλής για όλες τις εσωτερικές λειτουργίες μεταξύ των υποκαταστημάτων μιας τράπεζας. Το MPLS έρχεται να προσφέρει τη δημιουργία VPN μέσω της δημιουργίας LSP (μονοπατιών δρομολόγησης ετικετών) με συγκεκριμένες διαδρομές που «δεν αναμιγνύουν» την κίνηση με την κίνηση άλλων πελατών του παρόχου. Βέβαια η μη ανάμιξη είναι εικονική αλλά στην πράξη ο μόνος τρόπος να παρακαμφθεί είναι η επέμβαση στο λογισμικό των δρομολογητών, πράγμα του ίδιου επιπέδου ασφάλειας με την επέμβαση στα κτίρια της εταιρείας από ένα διαρρήκτη (τίποτα δεν είναι απόλυτα ασφαλές, αλλά η παραβίαση ενός VPN είναι κάτι ιδιαίτερα δύσκολο και πολύ πιο δύσκολο από το σύνηθες hacking).

Εν κατακλείδι, το MPLS έχει αναδειχθεί σε χρήσιμο εργαλείο στο δίκτυο κορμού όπου η κίνηση είναι πολύ υψηλή αφήνοντας τους συνήθεις δρομολογητές στην περιφέρεια του δικτύου. Αφορά βεβαίως τους παρόχους δικτυακών υπηρεσιών και δεν είναι κάτι που συναντά ο τυπικός χρήστης δικτύων όπως τα πανταχού παρόντα LAN που πλέον έχουμε και στα σπίτια μας.