



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ**  
*ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ*  
**ΔΙΚΤΥΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ**  
**ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ**

---

---

**INTERNET TRAFFIC**  
**ENGINEERING**

---

---

**ΟΔΥΣΣΕΑΣ ΑΒΡΑΜΟΠΟΥΛΟΣ**

**A.M. 1057765**

*ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ*

**ΠΑΤΡΑ 2021**



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

---

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1 TRAFFIC ENGINEERING .....	7
1.2 ΣΗΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ.....	7
1.2.1 ΣΗΜΑΣΙΑ .....	7
1.2.2 ΣΚΟΠΟΣ .....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ .....	11
2.1 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ.....	12
2.2 ΣΥΜΦΟΡΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ .....	13
2.3 ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ .....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΟ TRAFFIC ENGINEERING.....	17
3.1 ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ TRAFFIC ENGINEERING .....	19
3.2 ΜΕΤΡΗΣΗ.....	19
3.3 ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ ΤΟΥ TRAFFIC ENGINEERING.....	20
3.4 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ .....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	24

4.1 TRAFFIC ENGINEERING ΣΕ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ .....	24
4.2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ TRAFFIC ENGINEERING ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΑΚΕΤΩΝ .....	25
4.2.1 ARPANET.....	26
4.2.2 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΟ INTERNET.....	26
4.2.3 TOS ROUTING.....	28
4.2.4 NIMROD .....	28
4.2.5 RSVP .....	29
4.2.6 MPLS.....	30

# ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

---

IP: Internet Protocol

IGP: Interior Gateway Protocol

BGP: Border Gateway Protocol

MPLS: Multi-Protocol Label Switching

ER-LSP: Egress Router-Label Switch Router

ATM: Asynchronous Transfer Mode

PVC: Permanent Virtual Circuit

RED: Random Early Detection

SDR: State Dependent Routing

EDR: Event Depended Routing

ARPANET: Advanced Research Projects Agency Network

SNA: System Network Architecture

ToS: Type of Service

TCP/IP: Transmission Control Protocol/Internet Protocol

OSI: Open System Interconnection

RSVP: Resource Reservation Protocol

ICMP: Internet Control Message Protocol

IGMP: Internet Group Management Protocol

QoS: Quality of Service

RSVP-TE: Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering

NSIS: Next Steps in Signaling



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

## **1.1 Τι είναι το Internet Traffic Engineering ;**

Με τον όρο Internet Traffic Engineering ορίζουμε εκείνο το κομμάτι της μηχανικής δικτύων που θέτει το ζήτημα της αξιολόγησης της απόδοσης και βελτιστοποίησης των IP δικτύων [1]. Πιο αναλυτικά, κύριος στόχος είναι η αντιμετώπιση του προβλήματος της κατανομής των πόρων στο δίκτυο έτσι ώστε να ικανοποιούνται περιορισμοί των χρηστών και να μεγιστοποιείται το όφελος του χειριστή. Μπορεί να εκτελεστεί αυτόματα ή με χειροκίνητη παρέμβαση, και απαιτείται σε διάφορα χρονικά διαστήματα .

## **1.2 Σημασία και Σκοπός.**

### **1.2.1 Σημασία**

Βέβαια, κάποιος θα μπορούσε να πει ότι βασιζόμενοι στις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες το Internet Traffic Engineering δείχνει κάπως περιττό. Η πρόοδος της οπτικής δικτύωσης αυξάνει συνεχώς το εύρος ζώνης του δικτύου, κάτι το οποίο δίνει μάλιστα την ευκαιρία σε μεγάλες εταιρείες να είναι σε θέση να πουλήσουν εύρος ζώνης διεθνώς συνδεσιμότητας απλώς με μαζική υπερπροσφορά των δικτύων τους.

Παρά τις εξελίξεις αυτές, το Internet Traffic Engineering παραμένει σημαντικό και αποτελεσματικοί μηχανισμοί για την εκτέλεση του είναι επομένως πολύτιμοι. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι που διατηρείται η σημασία του, ίσως κυρίως ότι και ο αριθμός των χρηστών και οι προσδοκίες τους αυξάνονται εκθετικά παράλληλα με την εκθετική αύξηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Επιπλέον, το εύρος ζώνης που διατίθεται στους χρήστες στα

άκρα του δικτύου υφίσταται δραματική αύξηση με την ανάπτυξη τεχνολογιών όπως xDSL, Fiber-to-the-Curb και Fiber-to-the-Home.

Σε συνδυασμό με αυτές τις αυξήσεις του αριθμού χρηστών, των προσδοκιών και του εύρους ζώνης πρόσβασης, φυσικά δεν θα μπορούσε να αγνοηθεί η περίπτωση που εταιρείες που έχουν επενδύσει σε μια τέτοια μεγάλη παροχή εύρους ζώνης και πως πρέπει να αντισταθμίσουν το κόστος παροχής υπηρεσιών. Απλοί και οικονομικά αποδοτικοί μηχανισμοί για την παρακολούθηση της χρήσης του δικτύου και παράλληλα για την διασφάλιση ότι οι πελάτες λαμβάνουν αυτό που ζητούν πρέπει να είναι εφαρμόσιμοι.

### **1.2.2 Σκοπός**

Ένας βασικός σκοπός του Internet Traffic Engineering είναι να διευκολύνει την δημιουργία αξιόπιστων λειτουργιών δικτύου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την υιοθέτηση πολιτικών που δίνουν έμφαση στην σταθερότητα του δικτύου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της ευπάθειάς του σε διακοπές λειτουργίας που προκύπτουν από σφάλματα και αστοχίες που συμβαίνουν εντός της υποδομής.

Το Internet υπάρχει για να μεταφερθεί πληροφορία από έναν κόμβο-πομπό σε έναν άλλον κόμβο-δέκτη. Μία από τις πιο σημαντικές λειτουργίες που εκτελούνται από το διαδίκτυο είναι η δρομολόγηση της κυκλοφορίας από τους κόμβους εισόδου σε κόμβους εξόδου. Επομένως, μία ακόμα ενέργεια που οφείλεται στο Internet Traffic Engineering είναι να καθοδηγεί την κίνηση μέσα στο δίκτυο με έναν αποδοτικό τρόπο.

Πέρα από αυτό, τελικά, είναι η απόδοση του δικτύου που βλέπουν οι χρήστες που έχει μεγάλη σημασία. Αυτό είναι και το βασικό σημείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη καθ'όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης του Internet Traffic Engineering. Τα χαρακτηριστικά που είναι ορατά σε αυτούς είναι οι



σημαντικότερες ιδιότητες αυτού, που κατ'επέκταση είναι τα χαρακτηριστικά του Internet γενικότερα.

Επομένως, ένας βασικός στόχος του παρόχου είναι να παρέχει επαρκή κάλυψη σε αυτό τον τομέα, πάντα λαμβάνοντας υπόψιν τον οικονομικό παράγοντα. Η σημασία της παραπάνω παρατήρησης είναι ότι προφανώς πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στις μετρήσεις που θα πραγματοποιηθούν. Πραγματοποιώντας και βελτιστοποιώντας για παράδειγμα λάθος μετρήσεις, μπορεί να επιτευχθούν ορισμένοι τοπικοί στόχοι, αλλά αυτό μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες για την ποιότητα του δικτύου σαν σύνολο.

Μια λεπτή, αλλά πρακτική λύση που προσφέρει η συστηματική εφαρμογή του Traffic Engineering σε λειτουργικά δίκτυα είναι η βοήθεια που προσφέρει στον εντοπισμό αλλά και στη δημιουργία στόχων και προτεραιοτήτων προκειμένου ο πάροχος υπηρεσιών δικτύου να βελτιώνει συνεχώς την ποιότητα της προσφοράς στους πελάτες. Επίσης, η εφαρμογή του αποσκοπεί στη μέτρηση και ανάλυση δεδομένων ώστε ένα επιτευχθεί κάτι τέτοιο.

Ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να επιτύχει το Internet Traffic Engineering τον σκοπό του μπορεί να επιτευχθεί με τον έλεγχο της χωρητικότητας και τον έλεγχο της συμφόρησης. Πιο αναλυτικά, ο έλεγχος της χωρητικότητας περιλαμβάνει την οργάνωση της μνήμης, τον έλεγχο της δρομολόγησης καθώς και την διαχείριση των πόρων. Αντίστοιχα, με τον έλεγχο της συμφόρησης αναφερόμαστε σε λειτουργίες για τον έλεγχο των κόμβων (π.χ. κατάσταση συμφόρησης, διαχείριση ουρών και προγραμματισμός) και σε άλλες λειτουργίες που κανονικοποιούν την κίνηση στο δίκτυο και που ελέγχουν την πρόσβαση σε πόρους διαδικτύου μεταξύ πακέτων ή διαφορετικών ροών κυκλοφορίας.

Αξίζει να αναφερθεί εδώ ότι η εφαρμογή του Internet Traffic Engineering πρέπει να λαμβάνεται ως συνεχής και επαναληπτική διαδικασία για την βελτίωση της απόδοσης του διαδικτύου και όχι σαν ένας τρόπος αντιμετώπισης που θα εκτελεστεί μια φορά. Το Traffic Engineering, επίσης, απαιτεί συνεχή ανάπτυξη με νέες τεχνολογίες και μεθόδους έτσι ώστε να μπορεί να βελτιώνει επιτυχώς την απόδοση του διαδικτύου.

Ο στόχος του Internet Traffic Engineering ενδέχεται να αλλάζει με τον καιρό καθώς νέες απαιτήσεις εμφανίζονται λόγω την συνεχή ανάπτυξης της τεχνολογίας, ή καθώς δημιουργούνται νέες γνώσεις σχετικά με τα υποκείμενα προβλήματα. Διαφορετικά δίκτυα μπορεί να έχουν διαφορετικούς στόχους βελτιστοποίησης, ανάλογα με το μοντέλο κάθε επιχείρησης ,τις δυνατότητες και τους περιορισμούς λειτουργίας. Επομένως μπορούμε να πούμε ότι στόχος του Internet Traffic Engineering είναι επίσης να ελέγχει το κάθε δίκτυο ασχέτως από τους συγκεκριμένους στόχους που θέτουν διάφορα περιβάλλοντα.

Μια ακόμα σημαντική πτυχή του Traffic Engineering είναι να αξιολογήσει την απόδοση του διαδικτύου, το οποίο είναι σημαντικό για την αξιολόγηση του ίδιου του Traffic Engineering, κρίνοντας και παρατηρώντας τελικά την συμβατότητα αυτής της τεχνολογίας με κάθε δίκτυο. Τα αποτελέσματα μπορούν να μας βοηθήσουν να εντοπίσουμε υπάρχοντα προβλήματα, να επαναπροσδιορίσουμε τρόπους αντιμετώπισης ,και ακόμα καλύτερα, να προβλέψουμε τυχών μελλοντικά προβλήματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

---

---

Ένα IP δίκτυο μπορεί κάποιος να το περιγράψει σαν ένα δυναμικό σύστημα το οποίο αποτελείται από: (1) ένα σύνολο διασυνδεδεμένων πόρων που παρέχουν υπηρεσίες μεταφοράς της συμφόρησης μέσα στο δίκτυο κάτω από ορισμένους περιορισμούς, (2) ένα σύστημα το οποίο είναι υπεύθυνο το προσφερόμενο φορτίο σε αυτό να διανεμηθεί σωστά μέσα στο δίκτυο, (3) ένα σύστημα απόκρισης, αποτελούμενο από διαδικασίες δικτύου, πρωτόκολλα και σχετικούς μηχανισμούς που διευκολύνουν την κυκλοφορία της συμφόρησης μέσα στο δίκτυο [1].

Ο διαχειριστής του δικτύου είναι εκείνος που καθορίζει το πώς το δίκτυο παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς για τα πακέτα, εφαρμόζοντας κάποιες πολιτικές. Εντούτοις, γενικότερα, οι τύποι υπηρεσιών που προσφέρονται σε ένα δίκτυο εξαρτώνται από την τεχνολογία και τα χαρακτηριστικά των στοιχείων και των πρωτοκόλλων του δικτύου, καθώς και την ικανότητα του διαχειριστή εφαρμόζει κατάλληλα τις πολιτικές που πρέπει να ακολουθηθούν.

Το Διαδίκτυο στις μέρες μας έχει τρία σημαντικά χαρακτηριστικά. Παρέχει υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο, χαίρει άκρας προσοχής σε σφάλματα, και τέλος τα περιβάλλοντα λειτουργίας του είναι πολύ δυναμικά. Εδώ να εξηγήσω ότι, τα δυναμικά χαρακτηριστικά του IP δικτύου μπορούν να αποδοθούν στις διακυμάνσεις ζήτησης υπηρεσιών μέσα στο δίκτυο, στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφόρων πρωτοκόλλων και διεργασιών, στην γρήγορη εξέλιξη της τεχνολογίας που απαιτεί συνεχή αναβάθμιση των υποδομών και προφανώς στην αντιμετώπιση παροδικών είτε επίμονων βλαβών που συμβαίνουν στο σύστημα.

Το Internet έχει γρήγορα εξελιχθεί σε ένα καίριο μέσω επικοινωνίας, υποστηρίζοντας σημαντικές οικονομικές, εκπαιδευτικές και κοινωνικές δραστηριότητες. Συνεπακόλουθα, η διανομή υπηρεσιών Internet έχει γίνει πολύ ανταγωνιστική, και οι απαιτήσεις των πελατών για μια αξιόπιστη και υψηλής ποιότητας υπηρεσία είναι δεδομένη. Το μέγεθος των δικτύων IP δεν είναι το ίδιο αλλά διαφέρει, βασιζόμενο κυρίως από τη σύνδεση που θέλουμε να υλοποιήσουμε. Έτσι κυμαίνεται, για μία πιο κλειστή σύνδεση, από μικρές ομάδες δρομολογητών που βρίσκονται σε μια δεδομένη τοποθεσία, μέχρι σε χιλιάδες διασυνδεδεμένους δρομολογητές, διακόπτες και άλλα στοιχεία που διανέμονται ανά τον κόσμο. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο, ο έλεγχος της απόδοσης και ποιότητας της ‘ραχοκοκαλιάς’ του Internet, δηλαδή της υποδομής εκείνης που ουσιαστικά είναι η βάση για την στήριξη του IP δικτύου, είναι ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα.

## ***2.1 Το πρόβλημα***

Το σημαντικότερο ζήτημα που τίθεται είναι το πώς, τελικά, με το Internet Traffic Engineering είναι δυνατόν να αναγνωρίσουμε, να αναπαραστήσουμε και να μετρήσουμε τα χαρακτηριστικά ενός δικτύου. Επίσης, πώς μπορούμε να προσδιορίσουμε τις απαιτήσεις που χρειάζονται για να καταφύγουμε σε μία λύση, με ποια κριτήρια να κρίνουμε μια λύση ως καλή, πώς πραγματικά να λύσουμε ένα πρόβλημα και πώς να μετρήσουμε και να χαρακτηρίσουμε την αποτελεσματικότητα των λύσεων.

Μια άλλη κατηγορία προβλημάτων αποτελείται από τον τρόπο μέτρησης και εκτίμησης σχετικών παραμέτρων όσον αφορά κατάσταση δικτύου. Το αποτελεσματικό Traffic Engineering βασίζεται σε μια καλή εκτίμηση του προσφερόμενου φορτίου κίνησης καθώς και γνώση της υποκείμενης τοπολογίας και των σχετικών περιορισμών σε πόρους.

Μια θεμελιώδης κατηγορία προβλημάτων αφορά το πώς μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε αποτελεσματικά την απόδοση του δικτύου. Αυτή η διαδικασία μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα οι λύσεις σε συγκεκριμένα Traffic Engineering προβλήματα να βοηθούν στον καθορισμό των ρυθμίσεων του δικτύου. Το να βελτιστοποιήσουμε την απόδοση μπορεί, επίσης, να συνεπάγεται μερικώς με τον έλεγχο της διαχείρισης πόρων, τον έλεγχο δρομολόγησης και την αύξηση χωρητικότητας.

Η συμφόρηση σε ένα δίκτυο είναι μια μη επιθυμητή κατάσταση η οποία συμβάλλει αρνητικά στην ομαλή λειτουργικότητα αυτού. Επομένως, δεν θα μπορούσε να μην αναφερθεί το ζήτημα της συμφόρησης και των επιπτώσεών της στο πλαίσιο του Internet Traffic Engineering.

## **2.2 Συμφόρηση Διαδικτύου**

Σε κάθε δίκτυο υπάρχει πιθανότητα υπέρμετρης απαίτησης για εξυπηρέτηση σε σχέση με τους πόρους του δικτύου. Τότε δημιουργείται μια κατάσταση γνωστή και ως συμφόρηση [2]. Η συμφόρηση σχεδόν πάντα συνεπάγεται με υποβάθμιση της ποιότητας παροχής υπηρεσιών στους πελάτες. Για αυτόν τον λόγο υπάρχουν συστήματα ελέγχου που εφαρμόζουν πολιτικές για την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων. Υπάρχουν κυρίως δύο πολιτικές. Η μια πολιτική εφαρμόζεται από πλευράς ζήτησης. Σκοπός της είναι να περιορίσει την πρόσβαση σε κορεσμένους πόρους ή και ακόμα δυναμικά να ρυθμίσει την ζήτηση ώστε να αποφευχθεί κάποια συμφόρηση. Η δεύτερη πολιτική αναφέρεται στην πλευρά της προσφοράς και ενδέχεται να επεκτείνει την χωρητικότητα του δικτύου έτσι ώστε να μπορεί να αντέξει περισσότερο φόρτο. Επίσης, από πλευράς προσφοράς μπορούν να ανακατανέμουν τον φόρτο σε άλλους πόρους μέσα στην εκάστοτε υποδομή, ανάλογα πάντα με την κίνηση μέσα στο δίκτυο.

## 2.3 Τρόποι Αντιμετώπισης

Το να ελαχιστοποιηθεί η συμφόρηση στο δίκτυο μας είναι κάτι πολύ σημαντικό για το Internet Traffic Engineering. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές με τις οποίες αντιμετωπίζει την συμφόρηση, τις οποίες μπορούμε να τις χωρίσουμε σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα ακόλουθα κριτήρια: (1) Κλίμακα Χρόνου Απόκρισης (Μεγάλη, Μεσαία, Μικρή), (2) Αντίδραση έναντι Πρόληψης, (3) Πλευρά Ζήτησης έναντι Πλευρά Προσφοράς.

(1) Έλεγχος Συμφόρησης: Κλίμακα Χρόνου Απόκρισης.

-Μεγάλη (εβδομάδες μέχρι μήνες) : Ο σχεδιασμός και η επέκταση της χωρητικότητας του δικτύου ανήκουν σε αυτή την κλίμακα, καθώς εφαρμόζονται με βάση εκτιμήσεων και προβλέψεων για μελλοντική ζήτηση κυκλοφορίας αλλά και κατανομή αυτής. Δεδομένου ότι η παροχή δρομολογητών και νέων συνδέσμων απαιτεί χρόνο και είναι γενικά ακριβά, αυτές οι αναβαθμίσεις πραγματοποιούνται συνήθως σε βάθος εβδομάδων ή και χρόνων.

-Μεσαία (Λεπτά μέχρι Μέρες): Διάφορες πολιτικές διαχείρισης απαρτίζουν αυτή την περίπτωση. Κάποια παραδείγματα είναι η ρύθμιση των παραμέτρων στα πρωτόκολλα δρομολόγησης IGP [5] και BGP [6], ώστε να μεταφερθεί ή να απομακρυνθεί κίνηση σε ένα συγκεκριμένο κομμάτι του δικτύου. Ακόμα ένα είναι η ρύθμιση κάποιων διαδρομών με τακτική αλλαγής ετικετών (ER-LSPs) σε MPLS δίκτυα έτσι ώστε να απομακρυνθεί η κίνηση από συμφορησμένους πόρους ή και να μεταφερθεί προς πιθανώς πιο ευνοϊκές διαδρομές. Άλλο παράδειγμα, είναι ο επαναπροσδιορισμός της τοπολογίας του δικτύου ώστε να υπάρχει μια πιο στενή σχέση αυτής με την κατανομή της κίνησης μέσα στο δίκτυο χρησιμοποιώντας κάποιες δρομολογικές τεχνολογίες, όπως MPLS LSP, ATM PVC, ή ακόμα και μονοπάτια οπτικής ίνας. Πολλές από αυτές τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην μεσαία κλίμακα βασίζονται σε μετρήσεις του συστήματος που παρακολουθούν αλλαγές στην κατανομή

της κίνησης μέσα στο δίκτυο, την μετατόπιση αυτής, καθώς και την διαθεσιμότητα πόρων δικτύου, κάτι το οποίο τελικά παρέχει πληροφορίες στους Internet Traffic Engineering μηχανισμούς που με την σειρά τους προχωρούν σε κατάλληλες ενέργειες ρύθμισης του δικτύου.

-Μικρή (picoseconds μέχρι λεπτά): Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει μηχανισμούς δρομολόγησης όπως το active και passive buffer management. Αυτοί οι μηχανισμοί, έχουν ενδιαφέρον γιατί χρησιμοποιούνται στον χειρισμό της συμφόρησης αλλά, επίσης, και στην παραγωγή μηνυμάτων προς άλλα συστήματα, τα οποία μπορούν ρυθμίσουν εν τέλει τον ρυθμό με τον οποίο η κίνηση θα εισέρχεται στο δίκτυο τους. Ένα από τα δημοφιλέστερα active queue management, κυρίως για το TCP traffic, είναι το RED [3], το οποίο αποτρέπει την συμφόρηση ρυθμίζοντας το μέγεθος της ουράς.

## (2) Έλεγχος Συμφόρησης: Αντίδραση έναντι Πρόληψης.

-Αντίδραση: Αυτή η κατηγορία ελέγχου αντιμετωπίζει ήδη υπάρχουσες συμφορήσεις και προσπαθεί να δώσει ένα καλύτερο αποτέλεσμα. Όλες οι τακτικές που ακολουθήθηκαν στις κλίμακες μεγάλου και μεσαίου χρόνου απόκρισης μπορούν να τοποθετηθούν σε αυτή την κατηγορία, ειδικά δε εάν οι τακτικές είναι βασισμένες στην παρακολούθηση και αναγνώριση προβλημάτων συμφόρησης που υπάρχουν ήδη.

-Πρόληψη: Οι προληπτικές τακτικές αναλαμβάνουν δράση βασιζόμενες σε κάποιους υπολογισμούς και κάνοντας κάποιες προβλέψεις προσπαθώντας να αποτρέψουν πιθανές μελλοντικές συμφορήσεις. Κάποιες ακόμα τεχνικές από την μεσαία και μεγάλη κλίμακα, που αναφέρθηκαν πιο πάνω, ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Πιθανώς, να μην αντιδρούν άμεσα σε υπάρχοντα προβλήματα, αλλά να κάνουν κάποιες προβλέψεις για την κατανομή του φόρτου και για τις απαιτήσεις

κίνησης μέσα στο δίκτυο, προσπαθώντας να αποτρέψουν πιθανές συμφορήσεις. Σημειώνουμε ότι, και κάποιες τακτικές που ακολουθούνται στην Μικρή Κλίμακα Χρόνου Απόκρισης (π.χ. RED) χρησιμοποιούνται και αυτές και την αποφυγή συμφορήσεων στο δίκτυο, αφού απορρίπτοντας πακέτα πριν υπερχειλίσουν οι ουρές είναι ένα σημαντικό βήμα για την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων.

(3) Έλεγχος συμφόρησης: Πλευρά Προσφοράς έναντι Πλευρά Ζήτησης.

-Πλευρά Προσφοράς: Σε αυτή την κατηγορία οι τακτικές ελέγχου της συμφόρησης έχουν ως στόχο την αύξηση της χωρητικότητας που είναι διαθέσιμη στην ροή της κίνησης μέσα στο δίκτυο, έτσι ώστε να ελεγχθεί, ακόμα και να αποτραπεί, περίπτωση συμφόρησης. Μπορεί, επίσης, να ελαχιστοποιήσει τέτοιες περιπτώσεις με το να καταναίμει ομοιόμορφα την κίνηση μέσα στο δίκτυο. Για παράδειγμα, η διαχείριση της χωρητικότητας πρέπει να αποσκοπεί στο να προσφέρονται φυσικές τοπολογίες δικτύου και εύρη ζώνης (bandwidth) συνδέσεων, τέτοια, ώστε να ταιριάζουν με τις προβλεπόμενες τιμές φόρτου κίνησης και κατανομής αυτού μέσα στο δίκτυο, βασιζόμενοι σε προβλέψεις. Εάν όμως κάτι τέτοιο δεν πετύχει, δηλαδή έχουμε σφάλματα στις προβλέψεις μας, τότε η κίνηση μπορεί να κατευθυνθεί και διανεμηθεί μέσα στο δίκτυο χρησιμοποιώντας τεχνικές δρομολόγησης, όπως για παράδειγμα, MPLS LSP ή ακόμα και οπτικά κανάλια.

-Πλευρά Ζήτησης: Οι τακτικές διαχείρισης της συμφόρησης από Πλευράς Ζήτησης ελέγχουν και ρυθμίζουν την κίνηση ώστε να ανακουφιστεί το δίκτυο από την συμφόρηση. Για παράδειγμα, μερικοί από τους μηχανισμούς μικρής κλίμακας που αναλύθηκαν προηγουμένως (όπως το RED) καθώς και οι μηχανισμοί παρακολούθησης προσπαθούν να ρυθμίσουν το προσφερόμενο φορτίο με διάφορους τρόπους.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΜΟΝΤΕΛΟ

## TRAFFIC ENGINEERING

---

---

Η διαδικασία του Traffic Engineering είναι μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία. Οι παρακάτω 4 φάσεις που παρουσιάζονται συμβαίνουν η μια μετά την άλλη καθ'όλη την δράση του Traffic Engineering [1].

Στην πρώτη φάση του Traffic Engineering μοντέλου ανήκει ο καθορισμός των σχετικών πολιτικών ελέγχου που θα απαρτίζουν και θα ελέγχουν τη λειτουργία του δικτύου. Αυτές οι πολιτικές μπορεί να εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, κάποιοι εκ των οποίων μπορεί να είναι τα επικρατέστερα μοντέλα δομής του δικτύου, το κόστος της δομής αυτού, οι περιορισμοί λειτουργίας, το μοντέλο χρησιμότητας καθώς και τα κριτήρια βελτιστοποίησης.

Στην δεύτερη φάση του μοντέλου ανήκει μια διαδικασία κατά την οποία γίνεται συλλογή δεδομένων από μετρήσεις που πραγματοποιούνται στο δίκτυο. Στην περίπτωση που τα δεδομένα από τις μετρήσεις δεν είναι άμεσα διαθέσιμα, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνθετικοί φόρτοι εργασίας που θα αναπαριστούν είτε ως τον αναμενόμενο φόρτο εργασίας του δικτύου. Οι συνθετικοί φόρτοι εργασίας μπορούν να προκύψουν με εκτίμηση ή παρέκταση χρησιμοποιώντας προηγούμενα εμπειρικά δεδομένα, είτε με βάση μαθηματικών μοντέλων ή άλλων μέσων.

Στην τρίτη φάση της διαδικασίας γίνεται η ανάλυση της κατάστασης του δικτύου και η ιχνηλάτηση της κίνηση μέσα σε αυτό. Η ανάλυση της απόδοσης μπορεί να χαρακτηριστεί ως προληπτική ή/και αντιδραστική. Με τον όρο

προληπτική θέλουμε να πούμε ότι η ανάλυση της απόδοσης μπορεί να αναγνωρίσει πιθανά προβλήματα που δεν υπάρχουν, αλλά μπορεί να προκύψουν στο μέλλον. Από την άλλη πλευρά, η αντιδραστική ανάλυση επίδοσης αναγνωρίζει προβλήματα που υπάρχουν ήδη, καθορίζει για πιο λόγο εμφανίστηκαν και προσπαθεί να εκτιμήσει πιθανές προσεγγίσεις για να διορθωθεί το πρόβλημα. Η διαδικασία ανάλυσης και προσομοίωσης μπορεί να πραγματοποιηθεί με ποιοτικές και ποσοτικές τεχνικές. Η φάση ανάλυσης του μοντέλου διεργασίας μπορεί να περιλαμβάνει διερεύνηση της συγκέντρωσης και της διανομής της κυκλοφορίας στο δίκτυο ή των σχετικών υποομάδων του δικτύου, προσδιορίζοντας τα χαρακτηριστικά της κίνησης, τον εντοπισμό υπαρχόντων ή πιθανών σημείων συμφόρησης και τον εντοπισμό παθολογιών δικτύου, όπως αναποτελεσματική τοποθέτηση συνδέσμων, μεμονωμένα σημεία αποτυχιών κ.λπ. Προβλήματα στη δομή και λειτουργία του δικτύου μπορεί να προκύψουν από πολλούς παράγοντες, όπως κατώτερη αρχιτεκτονική δικτύου, κατώτερος σχεδιασμός αυτού καθώς και προβλήματα στη διαχείριση.

Στην τέταρτη φάση ανήκει μία από τις πιο σημαντικές διαδικασίες, αυτή της βελτιστοποίησης της απόδοσης του δικτύου. Η φάση βελτιστοποίησης βασίζεται στην λήψη κάποιων αποφάσεων και στην πραγματοποίηση κάποιων ενεργειών. Πιο αναλυτικά, τέτοιες ενέργειες βελτιστοποίησης έχουν προφανώς ως στόχο την διαχείριση της κίνησης μέσα στο δίκτυο, καθώς επίσης και τον καθορισμό την κατανομή αυτής. Επίσης, η προσθήκη νέων συνδέσμων ή η αύξηση της χωρητικότητας των συνδέσμων, η χρήση πρόσθετου υλικού όπως routers και switches, η συστηματική προσαρμογή παραμέτρων που σχετίζονται με δρομολόγηση, όπως μετρήσεις IGP και χαρακτηριστικά BGP και προσαρμογή των παραμέτρων για την διαχείριση της κίνησης, είναι κάποιες επιπλέον ενέργειες. Η βελτιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου είναι πιθανό να περιλαμβάνει την έναρξη μιας διαδικασίας σχεδιασμού του δικτύου προκειμένου να υπάρξει μια βελτίωση στην αρχιτεκτονική του, στην χωρητικότητα του, στην τεχνολογία του δικτύου καθώς και στην διαμόρφωση των στοιχείων του δικτύου προκειμένου να είναι δυνατή κάποια μελλοντική ανάπτυξη.

### **3.1 Τα μέρη του Traffic Engineering**

Ένα υποσύστημα μέτρησης, ένα υποσύστημα μοντελοποίησης και ανάλυσης και ένα υποσύστημα βελτιστοποίησης είναι τα βασικά μέρη που στοιχειωθετούν τον χαρακτήρα του Internet Traffic Engineering.

### **3.2 Μέτρηση**

Η διαδικασία της μέτρησης είναι βασική για το Internet Traffic Engineering. Αρχικά, χωρίς αυτήν δεν θα ήταν δυνατόν να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε την κατάσταση ενός δικτύου. Επίσης, είναι αναπόσπαστο κομμάτι της διαδικασίας βελτιστοποίησης. Αυτό σημαίνει ότι, παρέχει δεδομένα ανατροφοδότησης που θα χρησιμοποιηθούν από τα υποσυστήματα ελέγχου του Traffic Engineering για να προβούν σε απαραίτητες ενέργειες. Τέτοιες ενέργειες, για παράδειγμα, θα μπορούσαν να είναι η βελτιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου σε απόκριση σε γεγονότα και ερεθίσματα που προέρχονται εντός και εκτός του δικτύου. Δεν θα μπορούσε να παραληφθεί ότι απαιτείται μέτρηση για τον προσδιορισμό της ποιότητας των υπηρεσιών δικτύου και για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των πολιτικών του Traffic Engineering. Εμπειρικά έχει αποδειχθεί ότι η μέτρηση είναι πιο αποτελεσματική όταν αποκτάται και εφαρμόζεται συστηματικά. Υπάρχουν διάφορα ερωτήματα που πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά κατά την ανάπτυξη ενός συστήματος μέτρησης για την υποστήριξη της λειτουργίας του Traffic Engineering όπως γιατί απαιτείται μέτρηση σε αυτό το συγκεκριμένο περιβάλλον; Ποιες παράμετροι πρέπει να μετρηθούν και πώς πρέπει να πραγματοποιηθεί η μέτρηση; Σε ποιο σημείο του δικτύου και πότε πρέπει να γίνει η μέτρηση; Πόσο συχνά πρέπει να μετρούνται οι παρακολουθούμενες μεταβλητές; Ποιο επίπεδο ακρίβειας και αξιοπιστίας μέτρησης είναι επιθυμητό και ποιο παρ'ολ'αυτά είναι πιθανό να επιτευχθεί ρεαλιστικά; Σε ποιο βαθμό μπορεί το σύστημα μέτρησης να ενεργεί ανεπιφύλακτα στα ελεγχόμενα στοιχεία και μεταβλητές δικτύου και ποιο είναι το αποδεκτό κόστος μέτρησης; Όταν απαντηθούν αυτά τα ερωτήματα θα έχουμε επίσης μια

σίγουρη ματιά ώστε να καθορίσουμε τα κατάλληλα εργαλεία μέτρησης και μεθοδολογίες σε οποιοδήποτε δεδομένο περιβάλλον του Traffic Engineering. Αξιοσημείωτο είναι επίσης να ότι υπάρχει μια διαφορά μεταξύ μέτρησης και αξιολόγησης. Η μέτρηση παρέχει πρωτογενή δεδομένα σχετικά με τις παραμέτρους κατάστασης και τις μεταβλητές των στοιχείων του δικτύου που παρακολουθούνται. Η αξιολόγηση χρησιμοποιεί τα ανεπεξέργαστα δεδομένα για να κάνει συμπεράσματα σχετικά με το σύστημα που παρακολουθείται. Η μέτρηση για την υποστήριξη της λειτουργίας Traffic Engineering μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διαφορετικά επίπεδα. Για παράδειγμα, η μέτρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή χαρακτηριστικών επιπέδου πακέτου, χαρακτηριστικών επιπέδου ροής, χαρακτηριστικών επιπέδου χρήστη ή πελάτη, χαρακτηριστικών συγκεντρωτικής κίνησης και χαρακτηριστικών σε όλο το δίκτυο.

### **3.3 Σημαντικές πτυχές του Traffic Engineering.**

Κάποιες από τις σημαντικότερες πτυχές του Traffic Engineering είναι η μοντελοποίηση και η ανάλυση. Η μοντελοποίηση εφαρμόζεται κατασκευάζοντας μια αφηρημένη ή φυσική αναπαράσταση του συστήματος προκειμένου να απεικονίσουμε τα χαρακτηριστικά κυκλοφορίας μέσα στο δίκτυο, αλλά κατ'επέκταση και χαρακτηριστικά του ίδιου.

Με την δημιουργία ενός αφηρημένου μοντέλου του δικτύου προσφέρεται η δυνατότητα αναπαράστασης σχετικών δυνατοτήτων, ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών δικτύου, όπως τα χαρακτηριστικά των συνδέσμων αυτού, κομβικών σημείων καθώς και κάποιων περιορισμών. Με τέτοιες υλοποιήσεις δίνεται η δυνατότητα της ανάλυσης του δικτύου καθώς και δυνατότητες προσομοίωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό ή ακόμα και την πρόβλεψη της απόδοσης του δικτύου κάτω από διάφορες συνθήκες, καθώς και καλύτερη γνώση επέκτασης του δικτύου.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι υπάρχουν δύο κατηγορίες μοντέλων Internet Traffic Engineering, τα δομικά και τα συμπεριφορικά μοντέλα. Τα δομικά

μοντέλα στοχεύουν στην θεμελίωση του δικτύου και των συνιστωσών του. Τα μοντέλα συμπεριφοράς εστιάζουν στη δυναμική του δικτύου και στον φόρτο εργασίας της κυκλοφορίας.

Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση δικτύου είναι πολύ χρήσιμα για το Internet Traffic Engineering. Είναι αναμφίβολο ότι το Internet είναι μια τεράστια, αχανής δομή, κάτι το οποίο φυσικά φανερώνει την πολυπλοκότητα μιας ρεαλιστικής ανάλυσης της συμπεριφοράς αυτού και αποδεικνύει παράλληλα την αξία της προσομοίωσης. Εκτενέστερα, ένας προσομοιωτής δικτύου θα πρέπει να μπορεί να μιμείται και να απεικονίζει χαρακτηριστικά του δικτύου κάτω από διάφορες συνθήκες χωρίς φυσικά να διαταράσσει την δομή ή την απόδοσή του. Για παράδειγμα, αποτέλεσμα μιας προσομοίωσης μπορεί να φανερώνει πόρους που είναι υπό συμφόρηση και να αναδεικνύει πιθανές λύσεις σε προβλήματα όσον αφορά την απόδοση του δικτύου, χωρίς εννοείται παράλληλα να προκαλέσει για η ίδια η προσομοίωση κάποια συμφόρηση με τα μηνύματα ελέγχου που στέλνει. Ένας καλός προσομοιωτής μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να επιβεβαιώσει την αποτελεσματικότητα των λύσεων σε ζητήματα δικτύου χωρίς να χρειάζεται να ξεκινήσει μια ακριβή αναβάθμιση δικτύου που ενδέχεται να μην επιτύχει τους επιθυμητούς στόχους.

Ιδιαίτερα χρήσιμοι παρουσιάζονται οι προσομοιώσεις σε μεγάλα δίκτυα. Ένας προσομοιωτής δρομολόγησης έχει την δυνατότητα να εντοπίζει κανάλια επικοινωνίας που δεν χρησιμοποιούνται από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης, πιθανώς για να κατευθύνουν εκεί την κίνηση, αποσυμφορίζοντας έτσι άλλα κανάλια επικοινωνίας. Οι προσομοιωτές έχουν την δυνατότητα επίσης να φανούν πολύ χρήσιμοι στην πραγματοποίηση ανάλυσης βάσει κάποιων σεναρίων και κάτω από την ύπαρξη διαταραχών, καθώς και να αποδώσουν σε μελέτες ευαισθησίας. Τα αποτελέσματα από αυτές τις προσομοιώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολλούς τρόπους. Για παράδειγμα, μια προσομοίωση δικτύου μπορεί να δώσει ενδιαφέρον πληροφορίες και μετρήσεις ώστε να καταστεί δυνατή η διερεύνηση και ο εντοπισμός του

καταλληλότερου τρόπου με τον οποίο το δίκτυο μπορεί να αναπτυχθεί, προκειμένου να συμβαδίσει με μελλοντικές βλέψεις και απαιτήσεις.

### **3.4 Βελτιστοποίηση**

Η βελτιστοποίηση απόδοσης δικτύου περιλαμβάνει την επίλυση ζητημάτων δικτύου μετατρέποντας τέτοια ζητήματα σε έννοιες που επιτρέπουν μια λύση, προσδιορισμό μιας λύσης και εφαρμογή της λύσης [2]. Η βελτιστοποίηση απόδοσης δικτύου μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες. Η μια αναφέρεται ως διορθωτική, και στόχος της είναι να εντοπίσει προβλήματα που έχουν προκύψει ή είναι ακόμα σε πρώιμη φάση και να τα επιλύσει. Η άλλη κατηγορία αναφέρεται ως τελειοποιητική, και στόχος της είναι να τελειοποιήσει την απόδοση του δικτύου ακόμα και αν δεν έχουν εντοπιστεί προβλήματα σε αυτό.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η βελτιστοποίηση απόδοσης δικτύου είναι μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία. Αυτές οι επαναλήψεις βελτιστοποίησης απόδοσης μπορούν κατά κάποιο τρόπο να διαιρεθούν σε δυο υποκατηγορίες. Σε μια που αναφέρεται στην βελτιστοποίηση απόδοσης σε πραγματικό χρόνο, και σε μια άλλη που αναφέρεται στον σχεδιασμό του δικτύου σε μη πραγματικό χρόνο. Κύριος διαχωρισμός αυτών των υποκατηγοριών είναι κυρίως η σχετική χρονική κλίμακα στην οποία βασίζουν την πραγματοποίησή τους, καθώς και η ευαισθησία των ενεργειών τους. Η υποκατηγορία βελτιστοποίησης απόδοσης σε πραγματικό χρόνο ενεργεί με σκοπό να ελέγξει την κατανομή της κίνησης μέσα στο δίκτυο και συνεπακόλουθα να την διανείμει κατάλληλα μέσα σε αυτό, αφενός για την αποφυγή ή την διαχείριση της συμφόρησης και αφετέρου προκειμένου να εξασφαλίσει μια αξιόπιστη και ποιοτική παροχή υπηρεσιών και χρήση πόρων. Τυχαία καθημερινά συμβάντα όπως περικοπές καλωδίων ή ασύμμετρες μεταβολές στη δρομολόγηση της κίνησης είναι περιστατικά που αποδεικνύουν την αξία αυτής της υποκατηγορίας. Αυτά τα γεγονότα, αναμφίβολα μπορούν να είναι καταστροφικά για την απόδοση του δικτύου, καθώς όντως μπορούν και να προκαλέσουν συμφόρηση της κίνησης αλλά γενικότερα και

λειτουργικά προβλήματα σε ένα δίκτυο. Η επίλυση τέτοιων προβλημάτων για αυτή την υποκατηγορία κυμαίνεται από μερικά εκατοστά του δευτερολέπτου έως και λεπτά ή ώρες.

Από την άλλη πλευρά, έχουμε τον σχεδιασμό δικτύου σε μη πραγματικό χρόνο. Σκοπός αυτής της υποκατηγορίας είναι επεμβαίνει στο δίκτυο προσπαθώντας να προσφέρει συνεχή βελτίωση σε αυτό. Εξέλιξη στην αρχιτεκτονική του δικτύου, στην τεχνολογία πάνω στην οποία βασίζεται και χρησιμοποιεί, βελτίωση της τοπολογίας και κατάλληλο καθορισμό της χωρητικότητάς αυτού, είναι πράγματα τα οποία προσφέρει αυτή η υποκατηγορία. Όταν παρουσιάζεται κάποιο πρόβλημα στο δίκτυο και απαιτείται άμεση επέμβαση, αυτή η υποκατηγορία δεν είναι τόσο ιδανική, καθώς οι τρόποι αντιμετώπισης των προβλημάτων είναι πιο χρονοβόροι. Εντούτοις, ο σχεδιασμός δικτύου δεν μπορεί να παραμεληθεί, καθώς η ανάγκη επέκτασης αυτού προκειμένου να υπάρχει μία καλύτερη κατανομή της κίνησης ή ακόμα και να υποστηρίξει κάποιον επιπρόσθετο φόρτο, είναι αναπόφευκτη.

Κανείς δεν μπορεί να αρνηθεί ότι ο σχεδιασμός δικτύου και η βελτιστοποίηση απόδοσης είναι δυο στενά συνδεδεμένες συνθήκες. Ένα καλά σχεδιασμένο δίκτυο καθιστά ευκολότερη τη βελτιστοποίηση σε πραγματικό χρόνο, ενώ μια συστηματική προσέγγιση για τη βελτιστοποίηση απόδοσης δικτύου σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει στον προγραμματισμό του δικτύου να επικεντρώνεται σε μακροπρόθεσμα ζητήματα παρά σε τακτικές εκτιμήσεις. Η βελτιστοποίηση της απόδοσης ενός δικτύου σε πραγματικό χρόνο μπορεί επίσης να παρέχει σημαντικές πληροφορίες και για τον σχεδιασμό του δικτύου.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΙΣΤΟΡΙΚΗ

## ΑΝΑΔΡΟΜΗ

---

---

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν διάφορες προσεγγίσεις του Internet Traffic Engineering που προτείνονται και εφαρμόζονται σε δίκτυα τηλεπικοινωνιών και υπολογιστών.

### **4.1 Traffic Engineering σε Τηλεφωνικά Δίκτυα**

Στα πρώιμα τηλεφωνικά δίκτυα η δρομολόγηση δεν είχε τόσο τον χαρακτήρα των σημερινών δεδομένων. Το δυναμικό κομμάτι αυτής απουσίαζε, κάτι το οποίο σημαίνει ότι ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζε την δρομολόγηση ήταν πάντα ίδιος ανεξάρτητα από πιθανές αλλαγές της κατάστασης του δικτύου. Η βασική ιδέα ήταν να διατρέχει συνέχεια συγκεκριμένους ελέγχους προκειμένου να εξυπηρετήσει υπερβολικό φόρτο της κίνησης στο δίκτυο, να εντοπίσει διαφορετικά κανάλια επικοινωνίας και να καταναείμει την κίνηση σε αυτά για αποσημφόρηση και να αποτρέψει το βρόχο κλήσεων. Το δίκτυο σχεδιαζόταν με υπερβολικά μεγέθη χωρητικότητας προκειμένου να μπορέσει να διαχειριστεί και να μεταφέρει την κίνηση των χρηστών σε μία ώρα αιχμής. Αυτού του είδους δρομολόγησης παρατηρήθηκε να είναι πολύ αξιόλογη με την εμφάνιση των ψηφιακών διακοπών καθώς και αποθηκευμένων προγραμμάτων ελέγχου που ήταν σε θέση να διαχειριστούν πιο σύνθετες Internet Traffic Engineering καταστάσεις.

Όπως θα έγινε φανερό όμως η στατική δρομολόγηση περιόριζε πολύ την δυνατότητα ελέγχου του δικτύου κάτω από την ύπαρξη πολλών διαφορετικών καταστάσεων και για αυτό εισήχθη η έννοια της δυναμικής δρομολόγησης. Με την δυναμική δρομολόγηση πλέον είναι δυνατόν όχι μόνο η βελτίωση της



αποτελεσματικότητας του δικτύου, αλλά επίσης και η βελτίωση της ανθεκτικότητας αυτού καθώς δόθηκε η δυνατότητα για γρήγορο επαναπροσδιορισμό διαδρομής ανά κλήση που πραγματοποιούταν καθώς και περιοδικής ενημέρωσης των διαδρομών.

Υπάρχουν 3 διαφορετικοί τύποι που χαρακτηρίζουν την δρομολόγηση στα δίκτυα τηλεφωνίας. Ο πρώτος τύπος πρόκειται για δρομολόγηση που εξαρτάται από τον χρόνο. Σε αυτή την περίπτωση, χρησιμοποιούνται προ-προγραμματισμένοι πίνακες στους οποίους είναι καταγεγραμμένες πληροφορίες που έχουν να κάνουν με το πότε υπάρχουν έντονες αλλαγές στην ροή της κίνησης στο δίκτυο. Ο δεύτερος τύπος είναι δρομολόγηση που εξαρτάται από την κατάσταση (SDR). Σκοπός αυτού του τύπου είναι να δρομολογήσει την κίνηση αφού πρώτα έχει ενημερωθεί από το διαδίκτυο για την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου, δηλαδή γνωρίζοντας την ζήτηση της κίνησης ή την χρήση πόρων ή καναλιών εκείνη την ώρα. Ο τρίτος τύπος είναι η δρομολόγηση που εξαρτάται από τα συμβάντα (EDR). Πιο αναλυτικά, η δρομολόγηση γίνεται με βάση κάποιων γεγονότων όπου αναζητούνται νέες διαδρομές, όπως ρυθμίσεις κλήσεων οι οποίες βρίσκονται σε μία κατάσταση συμφόρησης ή αποκλεισμένου συνδέσμου. Η αναζήτηση νέων διαδρομών γίνεται με την χρήση μοντέλων εκμάθησης.

#### ***4.2 Εξέλιξη του Traffic Engineering στα Δίκτυα Πακέτων***

Η βελτιστοποίηση της απόδοσης των δικτύων δεδομένων ξεκίνησε τις πρώτες μέρες του ARPNET [7]. Υπήρχαν και άλλα εμπορικά δίκτυα εκείνη την εποχή που γνώριζαν την σημασία της βελτιστοποίησης της απόδοσης όπως το SNA. Μιλώντας για την διαχείριση της κυκλοφορίας τότε, το Διαδίκτυο υπήρξε το καλύτερο περιβάλλον υπηρεσίας. Ήταν γεγονός ότι η διαχείριση της κυκλοφορίας στα δίκτυα IP ήταν πολύ περιορισμένη για την παροχή υπηρεσιών διαχείρισης ουρών και προγραμματισμού σε πακέτα που ανήκουν σε διαφορετική κατηγορία. Από την άλλη, για τον έλεγχο δρομολόγησης το Διαδίκτυο χρησιμοποιούσε κάποια αρκετά ανθεκτικά κατανεμημένα πρωτόκολλα για intra-domain δρομολόγηση. Παρ'όλα'υτά, είχε ως βάση πολύ

απλούς αλγορίθμους για τον εντοπισμό της βέλτιστης διαδρομής, κάτι το οποίο περιοριζε πολύ την λειτουργικότητα της δρομολόγησης.

#### **4.2.1 ARPANET**

Το πρώτο ARPANET βασίστηκε στην προσαρμοστική δρομολόγηση όπου η τρέχουσα κατάσταση του δικτύου καθόριζε τις αποφάσεις δρομολόγησης που θα υλοποιούνταν. Οι πρώτες προσεγγίσεις για δρομολόγηση ελαχίστης καθυστέρησης είχε ως σκοπό την προώθηση κάθε πακέτου στον προορισμό του κατά του οποίου η διαδρομή είχε τον μικρότερο χρόνο μετάβασης. Αυτό γινόταν με την χρήση κάποιων πινάκων που είχε κάθε κόμβος ξεχωριστά, και αποθήκευαν σε αυτόν την εκτιμώμενη καθυστέρηση για να φτάσει ένα πακέτο από τον εκάστοτε κόμβο σε έναν συγκεκριμένο προορισμό. Ο πίνακας καθυστέρησης που είχε τις μικρότερες τιμές, περιοδικά μεταδιδόταν από έναν κόμβο στους γείτονές του. Το μικρότερο μονοπάτι με βάση τα hops που έκανε, δηλαδή το σύνολο των κόμβων που περνούσε μέχρι να φτάσει στον προορισμό του, έδινε επίσης πληροφορίες συνδεσιμότητας. Εξαιτίας όμως των μετρήσεων δυναμικών συνδέσμων του αλγορίθμου, η κίνηση πιθανώς να μετατοπιστεί συγκεκριμένα κάπου αλλού προκαλώντας εν τέλει η ίδια συμφορά σε κάποιο άλλο σημείο του δικτύου.

#### **4.2.2 Δυναμική Δρομολόγηση στο Internet**

Με το πέρασμα των χρόνων και της εξέλιξης της τεχνολογίας των υπολογιστών, το Διαδίκτυο ξεπέρασε το στάδιο του ARPANET και εφάρμοσε δυναμικούς αλγορίθμους για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής μεταφοράς ενός πακέτου. Πιο συγκεκριμένα, όταν λέμε εύρεση της βέλτιστης διαδρομής αναφερόμαστε σε κάποια κριτήρια τα οποία κάνουν την δρομολόγηση πιο αποτελεσματική ή αλλιώς πιο ‘μικρή’ σε απόσταση. Για την μέτρηση των συνδέσμων βασιζόμαστε σε στατικές ή δυναμικές ποσότητες. Η μέτρηση συνδέσμου με στατικές ποσότητες μπορεί να αναφέρεται κριτήρια που έχουν να κάνουν με τοπολογία του δικτύου και την κατανομή των πόρων σε αυτή. Η μέτρηση συνδέσμου που οφείλεται σε δυναμικές ποσότητες αναφέρεται

στον ορισμό ενός μέτρου συμφόρησης δικτύου, που έχει ως συντελεστές την καθυστέρηση ή την απώλεια πακέτων.

Δεν θα μπορούσε όμως αργά ή γρήγορα να παρατηρηθεί ότι η στατική μέτρηση συνδέσμων δεν ήταν τόσο αποτελεσματική, καθώς το κριτήριο με το οποίο διάλεγε τις διαδρομές αυτός ο τύπος δρομολόγησης πολλές φορές είχε ως αποτέλεσμα ορισμένοι σύνδεσμοι να έχουν συμφόρηση, ενώ άλλοι να είναι ελαφρά φορτωμένοι. Ένας από τους πολλούς λόγους για την ανεπάρκεια των μετρήσεων στατικών συνδέσμων ήταν ότι η ανάθεση μέτρησης συνδέσμου γινόταν συχνά χωρίς να ληφθεί υπόψη ο πίνακας κίνησης στο δίκτυο. Ακόμα ένας λόγος ήταν ότι τα πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν συνυπολογούσαν την ανεπάρκεια χωρητικότητας ή την κατάσταση της κυκλοφορίας πριν την δρομολόγηση. Έτσι, σε πολλές περιπτώσεις υπήρξε συγκέντρωση φόρτου κίνησης σε κάποια μέρη του δικτύου προκαλώντας τελικά συμφόρηση. Ακόμη και αν οι μετρήσεις συνδέσμων έχουν εκχωρηθεί σύμφωνα με τον πίνακα κίνησης, ενδέχεται να προκύψουν μη ισορροπημένα φορτία στο δίκτυο λόγω πολλών παραγόντων, όπως:

- Οι πόροι ενδέχεται να μην αναπτυχθούν στις βέλτιστες τοποθεσίες από την προοπτική δρομολόγησης.
- Εντοπισμός σφαλμάτων στην κατανομή της κίνησης ή στο μέγεθος της κυκλοφορίας.
- Συχνές αλλαγές στον πίνακα κυκλοφορίας λόγω της πρόσκαιρης αλλαγής της κίνησης.

Αυτοί ήταν και οι σημαντικότεροι λόγοι που εγκαταλείφθηκε σταδιακά το παλιό σύστημα δρομολόγησης και το ενδιαφέρον στράφηκε σε σαφείς δρομολογήσεις βάσει περιορισμών, όπως το MPLS.

### 4.2.3 ToS Routing

Το Type-of-Service (ToS) Routing είναι είδος δρομολόγησης κατά το οποίο επιλέγεται μια συγκεκριμένη διαδρομή, ανάμεσα σε πολλές άλλες με ίδιο προορισμό, με κριτήριο το πεδίο ToS ενός IP πακέτου. Οι τάξεις ToS μπορούν να ταξινομηθούν ως χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής απόδοσης. Κάθε σύνδεσμος συνδέεται με πολλαπλά κόστη συνδέσμου και κάθε κόστος συνδέσμου χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό διαδρομών για ένα συγκεκριμένο ToS. Υπολογίζεται ένα ξεχωριστό μικρότερο δέντρο διαδρομής για κάθε ToS. Ο αλγόριθμος συντομότερης διαδρομής πρέπει να εκτελείται για κάθε ToS, με αποτέλεσμα έναν πολύ κοστοβόρο υπολογισμό. Η κλασική δρομολόγηση που βασίζεται σε ToS είναι πλέον ξεπερασμένη καθώς το πεδίο κεφαλίδας IP έχει αντικατασταθεί από ένα πεδίο Diffserv. Το Traffic Engineering είναι δύσκολο να εκτελεστεί αποτελεσματικά στην κλασική δρομολόγηση που βασίζεται σε ToS, επειδή κάθε τάξη εξακολουθεί να βασίζεται αποκλειστικά στη δρομολόγηση της συντομότερης διαδρομής που έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία συμφόρησης στο δίκτυο.

### 4.2.4 Nimrod

Το Nimrod είναι μια scalable αρχιτεκτονική δρομολόγησης που έχει σχεδιαστεί για να παρέχει μια συνεχώς διευρυνόμενη τακτική επέκτασης του διαδικτύου [4]. Ο πρώτος που πρότεινε το Nimrod ήταν ο Noel Chiappa.

Οι στόχοι του Nimrod είναι οι εξής:

1. Να υποστηρίξει ένα δυναμικό διαδικτυακό έργο αυθαίρετου μεγέθους παρέχοντας μηχανισμούς για τον έλεγχο του όγκου των πληροφοριών δρομολόγησης που πρέπει να είναι γνωστοί σε ένα διαδικτυακό έργο.
2. Να παρέχει δρομολόγηση για συγκεκριμένες υπηρεσίες παρουσία πολλαπλών περιορισμών που επιβάλλονται από παρόχους υπηρεσιών και χρήστες.
3. Για να αποδεχτείτε τη σταδιακή ανάπτυξη σε ένα διαδικτυακό έργο.

Σχεδιάσαμε την αρχιτεκτονική Nimrod για την επίτευξη αυτών των στόχων.

Τα βασικά χαρακτηριστικά αυτής της αρχιτεκτονικής περιλαμβάνουν:

1. Εκπροσώπηση της συνδεσιμότητας και των υπηρεσιών διαδικτύου με τη μορφή χαρτών σε πολλαπλά επίπεδα αφαίρεσης.
2. Δημιουργία και επιλογή διαδρομών ελεγχόμενης από τον χρήστη με βάση τους χάρτες και τις απαιτήσεις υπηρεσίας κυκλοφορίας.
3. Προώθηση πακέτου που κατευθύνεται από τον χρήστη σε καθιερωμένες διαδρομές.

Τα βασικά χαρακτηριστικά αυτής της αρχιτεκτονικής περιλαμβάνουν:

1. Εκπροσώπηση της συνδεσιμότητας και των υπηρεσιών διαδικτύου με τη μορφή χαρτών σε πολλαπλά επίπεδα αφαίρεσης.
2. Δημιουργία και επιλογή διαδρομών ελεγχόμενης από τον χρήστη με βάση τους χάρτες και τις απαιτήσεις υπηρεσίας κυκλοφορίας.
3. Προώθηση πακέτου που κατευθύνεται από τον χρήστη σε καθιερωμένες διαδρομές

Το Nimrod είναι μια γενική αρχιτεκτονική δρομολόγησης που μπορεί να εφαρμοστεί στη δρομολόγηση τόσο εντός ενός τομέα δρομολόγησης όσο και μεταξύ πολλών τομέων δρομολόγησης. Ως γενική αρχιτεκτονική δρομολόγησης διαδικτύου που έχει σχεδιαστεί για την αντιμετώπιση του αυξημένου μεγέθους και της διαφορετικότητας του διαδικτυακού έργου, το Nimrod ισχύει εξίσου και για τα περιβάλλοντα TCP / IP και OSI.

#### **4.2.5 RSVP**

Το RSVP είναι ένα πρωτόκολλο επιπέδου μεταφοράς σχεδιασμένο να δεσμεύει πόρους σε ένα δίκτυο χρησιμοποιώντας το μοντέλο ολοκληρωμένων

υπηρεσιών [8]. Το RSVP λειτουργεί μέσω IPv4 ή IPv6 και παρέχει ρύθμιση δέσμευσης πόρων που ξεκίνησε από τον δέκτη για ροές δεδομένων multicast (αποστολή από μια πηγή σε πολλούς προορισμούς) ή unicast (αποστολή από μια πηγή σε έναν προορισμό). Ο σκοπός για τον οποίο χρησιμοποιείται δεν είναι για την μεταφορά δεδομένων μέσα στο δίκτυο αλλά έχει παρόμοιο χαρακτήρα με πρωτόκολλα ελέγχου, όπως το ICMP [9] ή και το IGMP [10].

Ο ρόλος του RSVP φαίνεται να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο. Εκμεταλλεζόμενος από κεντρικούς υπολογιστές ή δρομολογητές δικτύου έχουν την δυνατότητα να ζητήσουν ή να παραδώσουν συγκεκριμένα επίπεδα QoS για ροές δεδομένων εφαρμογών. Οι λειτουργίες RSVP γενικά θα έχουν ως αποτέλεσμα την κράτηση πόρων σε κάθε κόμβο κατά μήκος μιας διαδρομής. Όπως προαναφέραμε δεν έχει σχεδιαστεί ως ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης, αλλά εντούτοις έχει σχεδιαστεί για να είναι συμβατό και να λειτουργεί αποτελεσματικά με τρέχοντα και μελλοντικά πρωτόκολλα δρομολόγησης.

Είναι πλέον σπάνιο να παρατηρηθεί ανάπτυξη RSVP σε δίκτυα τηλεπικοινωνιών. Ειδικά, το 2003 για την τηλεπικοινωνία η ανάπτυξη αυτού του πρωτοκόλλου διακόπηκε, αφού το ενδιαφέρον στράφηκε σε ένα καινούργιο πρωτόκολλο, το RSVP-TE, και επιπλέον προτάθηκε μια αντικατάστασή του, το NSIS.

#### **4.2.6 MPLS**

Το MPLS είναι ένα αρκετά ανεπτυγμένο μοντέλο προώθησης πακέτων που όμως επίσης περιλαμβάνει και κάποια χαρακτηριστικά πρωτοκόλλου ελέγχου. Το MPLS είναι μια τεχνική δρομολόγησης σε δίκτυα τηλεπικοινωνιών η οποία που έχει σκοπό να κατευθύνει δεδομένα μέσα στο δίκτυο χρησιμοποιώντας ετικέτες οι οποίες είναι πάνω στα πακέτα [11]. Πιο αναλυτικά, αυτές οι ετικέτες περιέχουν πληροφορία για μεταφορά δεδομένων από έναν κόμβο σε έναν άλλον, με την λεπτομέρεια ότι περιγράφονται μικρές διαδρομές και όχι μεγάλες διευθύνσεις δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται πολύπλοκες αναζητήσεις σε έναν πίνακα δρομολόγησης

επιταχύνοντας επιπλέον την κίνηση του φόρτου στα κανάλια του δικτύου. Πρέπει να σημειωθεί ότι, οι ετικέτες αναφέρονται σε εικονικές διαδρομές μεταξύ απομακρυσμένων κόμβων και όχι τελικών σημείων. Αυτή η τεχνική δρομολόγησης έχει την ικανότητα να ενσωματώνει μια ποικιλία από πρωτόκολλα δικτύου, γι' αυτό αναφέρεται εξ' ορισμού και ως "multiprotocol".





# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [1] A. Elwalid, D. Awduche, Movaz Networks, A. Chiu, Celion Networks, I. Widjaja, Lucent Technologies, X. Xiao, Redback Networks, May 2002 -  
OVERVIEW AND PRINCIPLES OF INTERNET TRAFFIC  
ENGINEERING
- [2] Α. Αλεξόπουλος-Γ. Λαγογιάννης, ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
- [3] Sally Floyd, Van Jacobson - RANDOM EARLY DETECTION  
GATEWAYS FOR CONGESTION AVOIDANCE, IEEE/ACM  
TRANSACTIONS ON NETWORKING, VOL I. NO 1. AUGUST 1993
- [4] I. Castineyra, BBN, N. Chiappa, M. Steenstrup, August 1996 - THE  
NIMROD ROUTING ARCHITECTURE
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/Interior\\_gateway\\_protocol](https://en.wikipedia.org/wiki/Interior_gateway_protocol)
- [6] [https://el.wikipedia.org/wiki/Border\\_Gateway\\_Protocol](https://el.wikipedia.org/wiki/Border_Gateway_Protocol)
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/ARPANET>
- [8] <https://www.tutorialspoint.com/what-is-rsvp-resource-reservation-protocol>
- [9] [https://en.wikipedia.org/wiki/Internet\\_Control\\_Message\\_Protocol](https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_Control_Message_Protocol)
- [10] [https://en.wikipedia.org/wiki/Internet\\_Group\\_Management\\_Protocol](https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_Group_Management_Protocol)
- [11] <https://www.networkworld.com/article/2297171/network-security-mpls-explained.html>