

**University of Macedonia  
Master Information Systems  
Networking Technologies  
Professors: A.A. Economides & A. Pomportsis**

# **CORE / BACKBONE NETWORK PLANNING**

**Ioannis D. Liotas**

**January 2006**

**Πανεπιστήμιο Μακεδονίας**

**ΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα  
Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων  
Καθηγητές: Α.Α. Οικονομίδης & Α. Πομπόρτσης**

## **CORE / BACKBONE NETWORK PLANNING**

**Ιωάννης Δ. Λιώτας**

**Ιανουάριος 2006**

**Abstract**

Backbone network design supports enough capacity to meet existing user access requirements as well as future network growth. The backbone style and topology is chosen based on many factors, such as user requirements, the access and backbone technologies, future networking concerns. The node placement of the network is done through algorithms presented in details. The importance of strong network design principles, confirmed through network performance and trend analysis is reviewed. The need and importance of global network management and network timing is stressed and tips on tuning the entire network such as: packet frame, cell and window sizing, avoiding segmentation and minimizing port-to-port delay is presented.

## Περίληψη

Ο σχεδιασμός των backbone δικτύων πρέπει να υποστηρίζει επαρκή χωρητικότητα έτσι ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των χρηστών καθώς επίσης την μελλοντική ανάπτυξη του δικτύου. Η τοπολογία και το είδος του backbone επιλέγεται με βάση πολλούς παράγοντες, όπως οι απαιτήσεις των χρηστών, οι τεχνολογίες πρόσβασης και backbone, μελλοντικά ενδιαφέροντα σε θέματα δικτύωσης. Η τοποθεσία των κόμβων στο δίκτυο πραγματοποιείται με τη χρήση αλγορίθμων, οι οποίοι παρουσιάζονται με λεπτομέρεια. Παρουσιάζεται η σημασία της ύπαρξης ισχυρών αρχών σχεδίασης δικτύων, που επιβεβαιώνονται μέσα από την απόδοση του δικτύου και ανάλυση των τάσεων. Δίνεται έμφαση στην ανάγκη ολοκληρωμένης διαχείρισης του δικτύου και συγχρονισμού και παρουσιάζονται στοιχεία για τον συντονισμό ολόκληρου του δικτύου, όπως : πλαίσια πακέτων, μέγεθος κελιών και παραθύρων, αποφυγή κατάτμησης και ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης από θύρα σε θύρα.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. <a href="#">Backbone Requirements</a> .....	1
--	---

2.	<a href="#"><u>Interfaces</u></a> .....	3
3.	<a href="#"><u>Protocols</u></a> .....	3
4.	<a href="#"><u>Architecture and Technology</u></a> .....	4
5.	<a href="#"><u>Features, Functions and Services</u></a> .....	5
6.	<a href="#"><u>Backbone Network Capacity Required</u></a> .....	6
6.1.	<a href="#"><u>Backbone Node Selection</u></a> .....	6
6.2.	<a href="#"><u>Total Backbone Capacity</u></a> .....	16
6.3.	<a href="#"><u>Future Capacity</u></a> .....	18
7.	<a href="#"><u>Styles of Topologies</u></a> .....	18
7.1.	<a href="#"><u>Star</u></a> .....	19
7.2.	<a href="#"><u>Loop</u></a> .....	20
7.3.	<a href="#"><u>Meshed and Fully Meshed</u></a> .....	21
7.4.	<a href="#"><u>Backbone within Backbones</u></a> .....	22
8.	<a href="#"><u>Backbone Topology Strategies</u></a> .....	23
8.1.	<a href="#"><u>Desirable Topologies per Technology</u></a> .....	23
8.2.	<a href="#"><u>Requirements Drive the Topology</u></a> .....	24
8.3.	<a href="#"><u>Hybrid Topologies</u></a> .....	26
9.	<a href="#"><u>Network Management</u></a> .....	26
9.1.	<a href="#"><u>Total Network Timing</u></a> .....	26
9.2.	<a href="#"><u>Tuning the Network</u></a> .....	27
9.3.	<a href="#"><u>Optimizing Packet/Frame/Cell Size</u></a> .....	27
9.4.	<a href="#"><u>Limiting Protocol Segmentation</u></a> .....	28
9.5.	<a href="#"><u>Port-to-Port Data Transfer Delay</u></a> .....	28
9.6.	<a href="#"><u>Window Size</u></a> .....	28

# 1 Backbone Requirements

Ένα backbone δίκτυο αποτελείται από συνδέσμους (links) υψηλής χωρητικότητας και από κόμβους (routers ή multiplexers) οι οποίοι συγκεντρώνουν την κίνηση από μικρότερα δίκτυα πρόσβασης (access networks). Τα δίκτυα backbone επιτρέπουν ένα σύνολο από διαφορετικά δίκτυα να δρομολογηθούν μέσα από μια δομή δικτύου, ανεξάρτητα από τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται. Τα backbone δίκτυα είναι ιδιαίτερα δημοφιλή επειδή απλοποιούν το δίκτυο και προσφέρουν οικονομία της κλίμακας. Αυτό γίνεται γιατί σύνδεσμοι υψηλής ταχύτητας μεταφέρουν μεγαλύτερη κίνηση και κοστίζουν λιγότερο από ένα ισοδύναμο αριθμό γραμμών μικρότερης ταχύτητας. .

Τα backbone δίκτυα είναι δομημένα ιεραρχικά στις παρακάτω τρεις κατηγορίες, με βάση τις απαιτήσεις κόστους και απόδοσης :

- Δευτέρου επιπέδου ιδιωτικά δίκτυα πρόσβασης που συνενώνονται σε μεγαλύτερα, ιδιωτικά backbone δίκτυα.
- Δευτέρου επιπέδου ιδιωτικά δίκτυα πρόσβασης που συνενώνονται σε τοπικά δημόσια backbone δίκτυα.
- Δευτέρου επιπέδου ιδιωτικά δίκτυα πρόσβασης που συνενώνονται σε μεγάλα δημόσια backbone δίκτυα τα οποία παρέχονται από φορείς παροχής υπηρεσιών (service providers).

Τα ιδιωτικά backbone δίκτυα υλοποιούνται συνήθως με T1 και T3 γραμμές. Η παραδοσιακή εναλλακτική λύση ενός ιδιωτικού backbone δικτύου, το δημόσιο X.25 δίκτυο, έχει μέγιστο bandwidth των 56Kbps και για το λόγο αυτό δεν είναι κατάλληλο για υψηλής ταχύτητας διαδίκτυωση (όπως θα απαιτούνταν για μια σύνδεση LAN σε WAN). Από τα σύγχρονα και πιο καινούρια πακέτα, με επιλογές υψηλού bandwidth (τα οποία περιλαμβάνουν τα frame relay, SMDS και ATM), το frame relay είναι το πιο δημοφιλές. Το frame relay υποστηρίζει και τα δημόσια και τα ιδιωτικά backbone δίκτυα. Τα SMDS και ATM, αποτελούν επιλογές για δημόσια backbone δίκτυα.

Μερικά από τα κυριότερα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι τοπολογίες των ιδιωτικών backbone δικτύων είναι :

- Χρησιμοποιούνται για την ενοποίηση ποικίλων υποδικτύων.
- Είναι περισσότερο ανθεκτικά σε αποτυχίες των κόμβων και των συνδέσεων.

- Διασφαλίζουν τα μέσα μετάδοσης των δεδομένων.
- Είναι πολύ αποτελεσματικά σε χρονικά ευαίσθητες εφαρμογές.
- Είναι αποτελεσματικά σε εφαρμογές κατανομής φωνής και δεδομένων.

Τα backbone δίκτυα έχουν μειονεκτήματα, ιδιαίτερα σε σύγκριση με τα τοπικά δίκτυα.. Είναι :

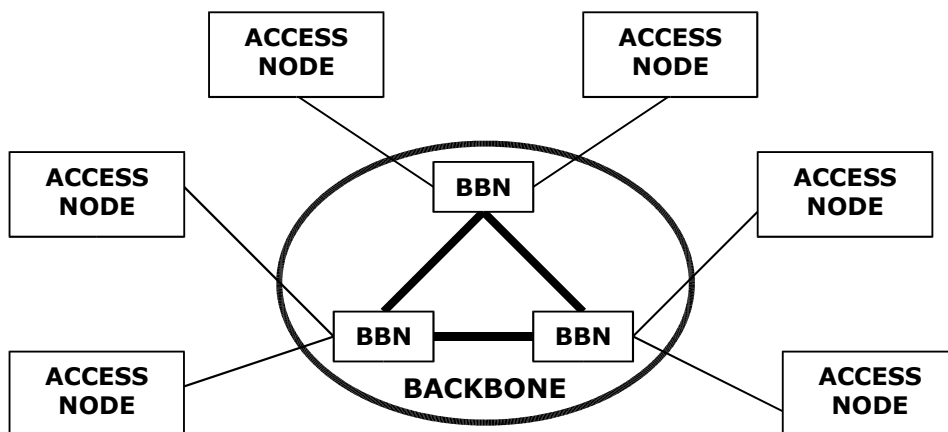
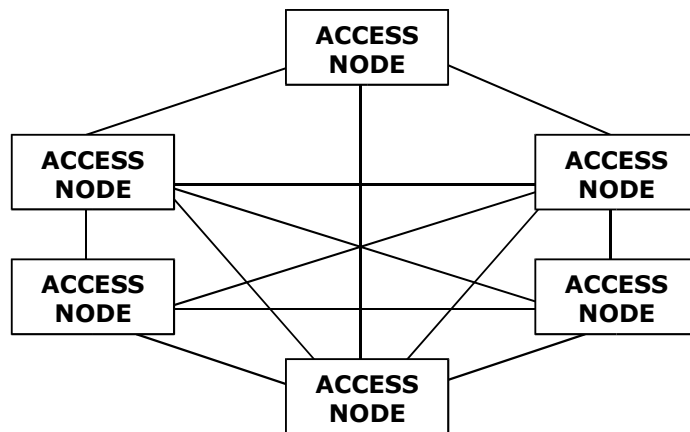
- Δυσκολότερα και πιο περίπλοκα στο σχεδιασμό.
- Δυσκολότερα στη διαχείριση.
- Απαιτούν υποστήριξη σε περισσότερες περιοχές.
- Ο πλεονασμός που απαιτεί η αξιοπιστία του δικτύου, οδηγεί σε σπατάλη αδρανούς bandwidth.
- Γίνονται ιδιαίτερα δαπανηρά όταν χρειάζεται να υποστηριχθούν εφαρμογές οι οποίες απαιτούν κατανεμημένη δρομολόγηση ή είναι ευαίσθητες στο χρόνο.

Τα backbone δίκτυα είναι προτεινόμενα για την υποστήριξη :

- Μεγάλων δικτύων που εξυπηρετούν πολλές εφαρμογές.
- Host-to-Host συνδέσεων.
- Συγκεκριμένων εφαρμογών κατανομής φωνής και δεδομένων.
- Της διαθεσιμότητας δικτύου για κρίσιμες εφαρμογές.

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει ένα WAN με έξι κόμβους (nodes). Στη συνέχεια παρουσιάζεται το ίδιο δίκτυο, αυτή τη φορά όμως με τη χρήση ενός backbone δικτύου που περιλαμβάνει τρεις κόμβους (nodes) οι οποίοι παρέχουν πρόσβαση στους ίδιους

έξι κόμβους. Οι έξι κόμβοι μπορεί να είναι IP, FR, ATM switches, γέφυρες (bridges), routers, gateways, ή οποιαδήποτε άλλη δικτυακή συσκευή.



## 2 Interfaces

Τα πρωταρχικά interfaces για το σχεδιασμό του backbone είναι είτε access circuits από την πλευρά του σχεδιασμού πρόσβασης (access design) είτε απευθείας πρόσβαση του χρήστη στο δημόσιο backbone δίκτυο. Οι κύριες ταχύτητες είναι 56kbps, FT1, DS1, DS3, 100 Mbps, 155 Mbps και OC-N.

### 3 Protocols

Τα πρωτόκολλα των χρηστών θα πρέπει να είναι διάφανα στο backbone δίκτυο, αλλά ο σχεδιασμός του backbone μπορεί να έχει κάποια επίδραση πάνω σε αυτά. Ο υποβιβασμός της απόδοσης (performance degradation), η καθυστέρηση, καθώς και άλλοι παράγοντες των πρωτοκόλλων μπορεί να μετακυλήσουν από το backbone στα πρωτόκολλα των χρηστών. Ο σχεδιασμός του backbone πρέπει να είναι αρκετά ευέλικτος για να μπορεί να εξυπηρετεί πολλαπλά πρωτόκολλα και λειτουργικά συστήματα.

Τα πρωτόκολλα του επόμενου αιώνα κινούνται περισσότερο προς την λογική του ελέγχου του δικτύου και λιγότερο στη λογική του πραγματικού χειρισμού της κυκλοφορίας, με εξαίρεση την ATM διαδικτύωση και την QoS (Quality of Service). Τα backbone δίκτυα πρέπει να έχουν την ικανότητα να διασυνδέουν διαφορετικές περιοχές, να δρομολογούν όλα τα πρωτόκολλα του δικτύου πρόσβασης (access network) και να διευθετούν μεταδώσεις οι οποίες βρίσκονται μέσα και έξω από το σύνολο πρωτοκόλλων.

Το TCP/IP παραμένει το πιο σύνηθες πρωτόκολλο των backbone δικτύων και γενικότερα της διαδικτύωσης και έχει την δυνατότητα να αναπτυχθεί με περισσότερους από έναν τρόπους. Τα σχήματα IP διευθυνσιοδότησης χρησιμοποιούνται στο επίπεδο του δικτύου και στο επίπεδο της ανταλλαγής πληροφοριών του δρομολογητή. Με την ανάπτυξη των ATM δικτύων, το IP πρωτόκολλο έγινε ένα ακόμη πρωτόκολλο το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την διαδικτύωση σε ένα κοινό backbone. Το Frame Relay είναι ένα από τα πιο κοινά χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα backbone και το ευκολότερα κατανοητό είδος IP.

Είναι σημαντικό να ληφθούν υπ' όψιν τα πρωτόκολλα τα οποία προσφέρονται μέσω του backbone δικτύου, ακόμη και εάν αυτό γίνεται με διαφάνεια. Τα πρωτόκολλα τα οποία μπορούν να δρομολογηθούν, όπως το TCP/IP είναι τα περισσότερο προτιμητέα για δίκτυα WAN, ενώ πρωτόκολλα όπως LAT, IBM SRT, NetBios (NetBEUI) μπορούν μόνο να γεφυρωθούν (bridged). Στην πραγματικότητα, οι περισσότερες μέθοδοι για την μεταγωγή των bridged πρωτοκόλλων, απαιτούν IP ενθυλάκωση (encapsulation) ή translation bridging. Θα πρέπει επίσης να αποφασισθεί εάν τα πρωτόκολλα θα λειτουργούν half ή full duplex. Τα Half-duplex παράγουν μεγάλες ποσότητες overhead διότι ο αποστολέας πρέπει να περιμένει για την αποστολή acknowledgment από τον παραλήπτη πριν στείλει άλλες πληροφορίες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα περισσότερο από το μισό bandwidth να χαραμίζεται σε turnarounds.

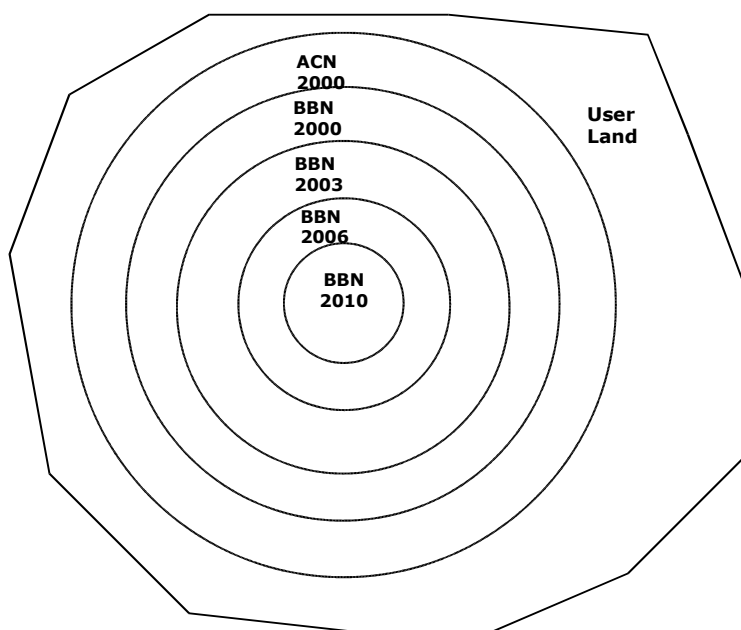
Πολλά πρωτόκολλα δρομολόγησης όπως το RIPP προσθέτουν επιπρόσθετο overhead στο WAN λόγω της συνεχούς ανταλλαγής πληροφοριών που αφορούν τους πίνακες δρομολόγησης (routing table). Πρωτόκολλα δρομολόγησης όπως το OSPF χρησιμοποιούν πολύ λιγότερο overhead (περίπου το 1% του RIP). Αυτό δείχνει τη σημασία της ελαχιστοποίησης και περιορισμού των πινάκων δρομολόγησης (routing tables) σε κάθε δρομολογητή (router).



## 4 Architecture and Technology

Συνήθως τα backbone δίκτυα είναι είτε της ίδιας τεχνολογίας είτε μια τεχνολογία πιο εξελιγμένα από τα τεχνολογία των δικτύων πρόσβασης (access networks). Το IP, κατά πολύ η πιο κοινή backbone τεχνολογία, είναι συνηθισμένο στα LAN και WAN δίκτυα. Τεχνολογίες όπως η ATM προσφέρουν μια κοινή πλατφόρμα και αρχιτεκτονική για τη μεταφορά και διαδίκτυωση όλων σχεδόν των υπαρχόντων πρωτοκόλλων και τύπων κυκλοφορίας (π.χ ιδιωτικές γραμμές, IP, FR, και SMDS υπηρεσίες πάνω από ATM backbone). Ο backbone σχεδιασμός πρέπει επίσης να είναι γρηγορότερος από τις συσκευές πρόσβασης, τουλάχιστον κατά τη διάρκεια της μέγιστης κυκλοφορίας. Ιστορικά τα WAN ήταν πιο αργά από τα LAN διότι πολλά LAN ήταν συνδεδεμένα μέσω point-to-point γεφυρών (bridges). Κυκλώματα με ταχύτητες 56 kbps και 1.544 Mbps δε θα μπορούσαν να διατηρηθούν με πολλαπλά 10 Mbps και 16 Mbps LAN, ακόμη και εάν η μέγιστη έξοδος αυτών των LAN ήταν κοντά στα 1-3 Mbps και 1-6 Mbps αντίστοιχα. Η απόδοση θα εκφυλιζόταν, το file transfer θα έπαιρνε περισσότερο χρόνο σε δίκτυα WAN και θα εμφανιζόταν φαινόμενα bottleneck. Ενώ οι χρήστες μπορούσαν πάντα να χρησιμοποιήσουν υψηλότερης ταχύτητας, βασισμένοι σε IP δίκτυα, καινούριες τεχνολογίες WAN όπως SMDS και ATM έχουν διασπάσει τα φαινόμενα αυτά bottleneck για να παρέχουν το υψηλότερης χωρητικότητας bandwidth που απαιτούν οι χρήστες. Η καινούρια πρόκληση είναι η διατήρηση της επαφής με τις τεχνολογίες LAN όπως 100 Mbps Ethernet και FDDI.

Ο μακροπρόθεσμος σχεδιασμός γίνεται πιο εύκολος σε backbone δίκτυα παρά σε δίκτυα (access networks), διότι η βελτίωση της χωρητικότητας και οι αλλαγές στην τεχνολογία μπορούν να αφομοιωθούν πιο εύκολα από ένα δίκτυο όταν αυτό βρίσκεται σε επίπεδα. Η εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζει αυτή την έννοια ενός backbone δικτύου που αφομοιώνει την τεχνολογία σε διαδοχικά επίπεδα. Το επίπεδο user land είναι η περιοχή όπου βρίσκεται ο χρήστης και οι διαδοχικοί δακτύλιοι αναπαριστούν το backbone επίπεδο και τα μελλοντικά διαδοχικά επίπεδα πρόσβασης (access levels) όπου η τεχνολογία backbone κινείται κοντύτερα στο χρήστη. Το ATM σπάει αυτήν την τάση προσφέροντας λύσεις σε επίπεδο LAN και MAN.



**ACN – Access Node in Year 200X/201X**  
**BBN – Backbone Node in Year 200X/201X**

Ένας ακόμη βασικός παράγοντας κατά το σχεδιασμό ενός backbone δικτύου είναι εάν θα πρέπει να δημιουργηθεί μια connection oriented ή μια connectionless υπηρεσία, καθώς και ο προσδιορισμός της επίδρασης που θα έχει η μια στην άλλη, εάν τοποθετηθούν σε επίπεδα. Οι connection oriented και οι connectionless υπηρεσίες έχουν η κάθε μια τα δικά τους πλεονεκτήματα στην αποδοτικότητα και throughput, οι οποίες εξαρτώνται από το μέγεθος των τμημάτων δεδομένων (πχ frame), τον τύπο της κυκλοφορίας (πχ φωνή, δεδομένα και video), το overhead που προστίθεται κατά τη μεταφορά από κόμβο σε κόμβο και την καθυστέρηση που εισάγεται κατά την αποκατάσταση μιας σύνδεσης. Το πρώτιστο ενδιαφέρον πρέπει να είναι η βελτιστοποίηση του μεγέθους του πακέτου, πλαισίου (frame) ή κελιού (cell) για να διασφαλισθεί ότι η ποσότητα του overhead που θα δημιουργηθεί, θα είναι η ελάχιστη δυνατή, έτσι ώστε να διασφαλισθεί η ποιότητα της υπηρεσίας.

## **5 Features, Functions and Services**

Τα χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες του backbone δικτύου εξαρτώνται βασικά από την τεχνολογία που επιλέγεται. Τα πραγματικά πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση ενός backbone δικτύου, είναι η διαθεσιμότητα ενός δημόσιου δικτύου με προστιθέμενη αξία και υπηρεσίες μεταγωγής. Οι υπηρεσίες αυτές περιλαμβάνουν circuit switching, packet switching, TCP/IP, FR, SMDS, ATM. Πολλές από αυτές τις υπηρεσίες εφαρμόζονται στο backbone δίκτυο και τροφοδοτούνται από το χρήστη, μέσω ενός κόμβου πρόσβασης, όπως bridge, router, switch, PAD, FRAD. Με αυτές τις καινούριες υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας που προσφέρονται από τις IXC και LEC, είναι λιγότερο δαπανηρό για το χρήστη, απλά να έχει πρόσβαση στις υπηρεσίες αυτές παρά να δημιουργήσει το δικό του εταιρικό backbone δίκτυο. Κατά τη δημιουργία του backbone δικτύου πρέπει να ακολουθούνται όλα τα εταιρικά standards πρωτοκόλλων, όπως το RFC 1490 για multiprotocol πάνω από frame relay και να γίνεται σχεδιασμός για την ενσωμάτωση καινούριων υπηρεσιών και τεχνολογιών.

## **6 Backbone Network Capacity Required**

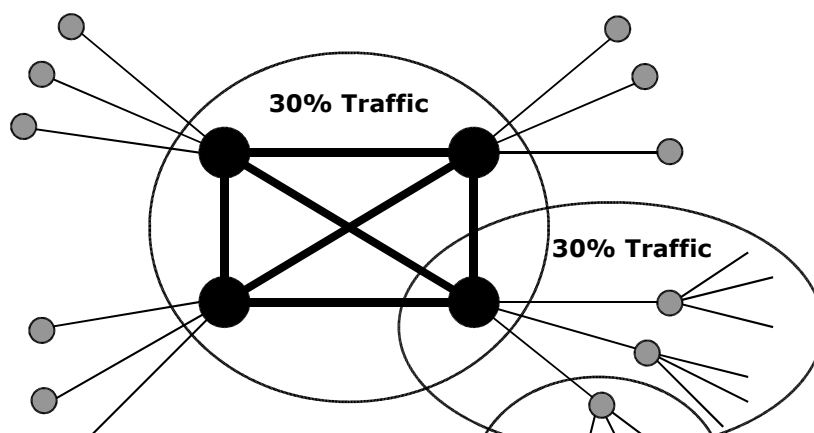
Η χωρητικότητα του backbone δικτύου μετράται με βάση το bandwidth εισόδου και εξόδου (ingress – egress bandwidth), το backbone bandwidth μεταξύ των switches, την επεξεργαστική ισχύ και την πυκνότητα των θυρών σε κάθε switch. Ο τύπος των κόμβων επιλέγεται με βάση την ποσότητα της τοπικής, απομακρυσμένης

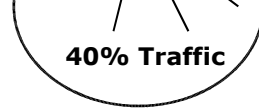
και διερχόμενη κυκλοφορίας που επεξεργάζεται, σε συνδυασμό με τον τύπο της υπηρεσίας που απαιτείται. Η χωρητικότητα μετράται από τον απαιτούμενο αριθμό θυρών για όλες τις συσκευές πρόσβασης, τα κυκλώματα προς τους άλλους backbone κόμβους και το bandwidth των κυκλωμάτων μεταξύ των κόμβων αυτών. Οι backbone κόμβοι σχεδιάζονται με βάση τις παραμέτρους χρήσης και φορτίου, που είναι παρόμοιες με τον σχεδιασμό των κόμβων πρόσβασης. Όταν καθοριστεί το φορτίο του δικτύου πρόσβασης μπορεί να καθοριστεί και η συνολική χωρητικότητα του backbone δικτύου.

## 6.1 Backbone Node Selection

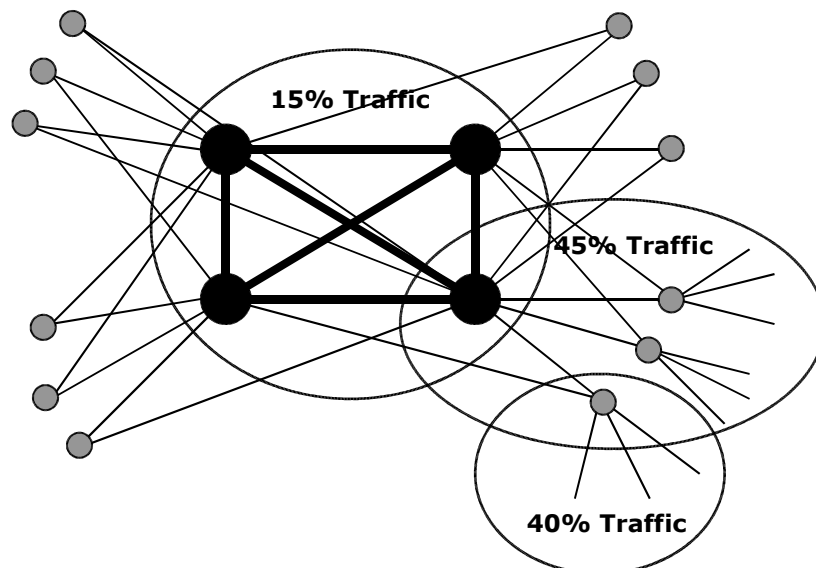
Πρώτιστα πρέπει να καθοριστεί η ποσότητα της κυκλοφορίας που θα παραμείνει στο επίπεδο του δικτύου πρόσβασης και η ποσότητα η οποία θα μεταφερθεί στο backbone δίκτυο. Αυτό μπορεί να βρεθεί με την δημιουργία ενός πίνακα backbone κυκλοφορίας, ο οποίος θα λαμβάνει υπ' όψιν την κυκλοφορία στους κόμβους πρόσβασης η οποία μεταφέρεται στο backbone δίκτυο. Θα πρέπει να επιλεγεί μια τοποθεσία εκκίνησης για κάθε backbone κόμβο ο οποίος απαιτείται. Εν συνεχεία θα πρέπει να προσδιοριστεί το ποσοστό της κυκλοφορίας το οποίο θα προωθείται προς κάθε backbone κόμβο και το οποίο θα εξέρχεται από τον κόμβο αυτό. Εν τέλει θα πρέπει να καθοριστεί το ποσοστό της κυκλοφορίας το οποίο θα εισάγεται στον backbone κόμβο και θα εξέρχεται προς κάποιο άλλο backbone κόμβο.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει ένα παράδειγμα τυπικού προτύπου κυκλοφορίας για ένα δίκτυο 12 κόμβων με ένα κύκλωμα πρόσβασης στους κόμβους. Κάθε κόμβος συνδέεται με ένα μόνο backbone κόμβο. 40% της κυκλοφορίας των χρηστών παραμένει τοπικά (από και προς τον ίδιο κόμβο πρόσβασης), 30% της κυκλοφορίας παραμένει στην ίδια περιοχή (από και προς τα έξω από τον ίδιο backbone κόμβο) και 30% της κυκλοφορίας πρέπει να διασχίσει το backbone δίκτυο.





Εάν τώρα κάθε κόμβος πρόσβασης συνδέεται με δύο διαφορετικούς backbone κόμβους, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα, η ίδια ποσότητα κυκλοφορίας έχει πρόσβαση σε κάθε backbone και σε κάθε κόμβο πρόσβασης. Εν τούτοις, μόνο η μισή από την προηγούμενη ποσότητα κυκλοφορίας, στην πραγματικότητα διασχίζει τις συνδέσεις του backbone δικτύου. Το γεγονός αυτό μειώνει την εκμετάλλευση των συνδέσεων του backbone δικτύου στο 15% και επιτρέπει είτε λιγότεροι σύνδεσμοι να χρησιμοποιηθούν (μειώνοντας το σχεδιασμό κατά δύο από backbone σε backbone συνδέσεις) ή διατηρεί τις συνδέσεις για ακόμα μεγαλύτερη διαφοροποίηση και πλεονασμό. Αυτοί οι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν κατά την επιλογή του αριθμού και της τοποθεσίας των backbone κόμβων και των συνδέσεων.



Οι πιθανοί κόμβοι του δικτύου, πρέπει να τοποθετούνται στο κέντρο των τμημάτων τα οποία παρουσιάζουν την μεγαλύτερη κίνηση. Αυτό μειώνει την πιθανότητα εμφάνισης φαινομένου bottleneck και επιπλέον αυξάνει την πιθανότητα ο κόμβος να βρίσκεται στο του τμήματος εκείνου του δικτύου, το οποίο περιλαμβάνει ευρύ φάσμα τοπικών και interexchange carriers (IEC) υπηρεσιών, για την υποστήριξη των απαιτήσεων του backbone.

Επειδή τα backbone δίκτυα λειτουργούν σε υψηλές ταχύτητες, μεταφέροντας μεγάλες ποσότητες δεδομένων μεταξύ των κόμβων, οι συνέπειες της αποτυχίας του δικτύου μεγιστοποιούνται. Για το λόγο αυτό η αξιοπιστία είναι πολύ πιο σημαντική κατά το σχεδιασμό ενός backbone δικτύου από τον σχεδιασμό ενός απλού τοπικού δικτύου. Οι απαιτήσεις αξιοπιστίας και απόδοσης του backbone δικτύου πρέπει να αντανakλούν στην επιλογή και σχεδιασμό των κόμβων και των συνδέσεων του δικτύου.

Τέσσερις είναι οι αλγόριθμοι οι οποίοι βοηθούν στην τοποθέτηση των πιθανών κόμβων του δικτύου. Αυτοί είναι :

- Center of mass (COM) algorithm.
- Add algorithm.
- Drop algorithm.
- Mentor algorithm.

#### **Center of Mass algorithm**

Ο αλγόριθμος Center of Mass (COM) προσπαθεί να βρει φυσικές συστάδες κυκλοφορίας βασισμένος στην εκτιμηθείσα κυκλοφορία μεταξύ πηγής και κόμβων προορισμού. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχουν υποψήφια περιοχές τοποθέτησης των κόμβων. Οι περιοχές τοποθέτησης των κόμβων που προτείνει ο αλγόριθμος πρέπει να ελέγχονται έτσι ώστε να διαπιστωθεί εάν η τοποθέτηση είναι εφικτή.

Ο αλγόριθμος προϋποθέτει ότι δίνονται οι παρακάτω πληροφορίες :

- $w_i$  βάρη τα οποία βασίζονται στην κυκλοφορία (υπολογίζονται αθροίζοντας την κυκλοφορία από και προς κάθε κόμβο)
- Το επιθυμητό μέγιστο συνολικό βάρος  $W_M$  για μια συστάδα (υπολογίζεται αθροίζοντας τα βάρη  $w_i$  κάθε κόμβου ο οποίος χρησιμοποιείται για την κατασκευή του κέντρου κάθε συστάδας). Αναπαριστά το πάνω όριο του  $W$  το οποίο δεν πρέπει να ξεπεραστεί.
- Το επιθυμητό ελάχιστο συνολικό βάρος  $W_m$  για μια συστάδα (υπολογίζεται αθροίζοντας τα  $w_i$  κάθε κόμβου ο οποίος χρησιμοποιείται για την κατασκευή του κέντρου κάθε συστάδας). Αναπαριστά το κατώτερο όριο κάθε συστάδας.
- Η επιθυμητή μέγιστη συνολική απόσταση  $D_M$  μεταξύ δύο συστάδων που επιλέγονται για συγχώνευση. Αναπαριστά ένα ανώτερο όριο της απόστασης  $D_M$  το οποίο δεν πρέπει να ξεπεραστεί.
- Οι συντεταγμένες  $(x_i, y_i)$  των υποψήφιων  $i$  περιοχών. Αυτές οι συντεταγμένες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ δύο περιοχών, χρησιμοποιώντας μια καθορισμένη συνάρτηση εύρεσης της απόστασης.
- Ο επιθυμητός αριθμός των συστάδων (clusters)  $C$ .

Εάν κατά τη διάρκεια της πορείας του αλγόριθμου εμφανιστούν συγκρούσεις που επιβάλλουν την εφαρμογή περιορισμών στα  $W_M$ ,  $W_m$ ,  $D$ , πρέπει να καθοριστεί μια συνάρτηση ανταλλαγής, έτσι ώστε να επιλυθούν οι οποιοσδήποτε διαφορές. Το πρόβλημα ακολούθως πρέπει να επιλυθεί εξ αρχής, χρησιμοποιώντας την συνάρτηση ανταλλαγής.

1. Ξεκινάμε με κάθε  $(x_i, y_i)$  σε κάθε συστάδα (cluster).

2. Το κόστος για την συνένωση των κόμβων  $i$  και  $j$ , υποθέτουμε ότι είναι απ' ευθείας ανάλογο της απόστασης μεταξύ των δύο. Η απόσταση μεταξύ κάθε ζεύγους κόμβων υπολογίζεται με τη χρήση της συνάρτησης απόστασης που παρουσιάζεται παρακάτω :

$$Cost_{i,j} = \sqrt{[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]}$$

3. Ταξινομούμε τα κόστη, που υπολογίστηκαν με βάση την προηγούμενη συνάρτηση, από το μικρότερο στο μεγαλύτερο, για κάθε ζεύγος.
4. Βρίσκουμε τους δύο πιο κοντινούς κόμβους, οι οποίοι είναι και υποψήφιοι για συνένωση.
- Εάν δεν υπάρχουν υποψήφιοι κόμβοι για συνένωση, ελέγχουμε εάν ο επιθυμητός αριθμός συστάδων  $C$ , έχει βρεθεί. Εάν όχι, τερματίζεται ο αλγόριθμος, με το μήνυμα ότι ο αλγόριθμος COM δεν βρήκε καμία λύση. Εάν ο επιθυμητός αριθμός συστάδων  $C$  και όλοι οι άλλοι περιορισμοί έχουν ικανοποιηθεί, τερματίζεται ο αλγόριθμος, με το μήνυμα ότι επιτεύχθηκε η τελική λύση.
  - Εάν οι περιορισμοί καταπατηθούν, απορρίπτεται η συνένωση των συστάδων και αυτοί απομακρύνονται από τη λίστα των υποψήφιων για συνένωση. Επιστρέφουμε στην αρχή του βήματος 4.
  - Εάν οι περιορισμοί δεν καταπατούνται, συνενώνονται οι δύο συστάδες (για παράδειγμα ο  $i$  και  $j$ ), οι οποίοι είναι κοντύτερα ο ένας στον άλλο, για το σχηματισμό μιας νέας συστάδας  $k$ . Η καινούρια συστάδα  $k$  επιλέγεται ως το κέντρο του συνόλου (center of mass), με βάση την κυκλοφορία από το  $i$  στο  $j$ .

Η συντεταγμένη  $x$  της καινούριας συστάδας  $k$  είναι :

$$x_k = \frac{(w_i * x_i) + (w_j * x_j)}{w_i + w_j}$$

Η συντεταγμένη  $y$  της καινούριας συστάδας  $k$  είναι :

$$y_k = \frac{(w_i * y_i) + (w_j * y_j)}{w_i + w_j}$$

5. Απομακρύνονται οι δύο συστάδες  $i$  και  $j$  από οποιαδήποτε άλλη μελέτη. Προστίθεται η συστάδα  $k$  στη λίστα των συστάδων προς συνένωση. Επιστρέφουμε στο βήμα 2 και υπολογίζουμε την απόσταση των υπαρχόντων κόμβων και της καινούριας συστάδας  $k$ .

### **Αλγόριθμοι Add και Drop**

Οι αλγόριθμοι Add και Drop χρησιμοποιούνται για την επιλογή των καλύτερων περιοχών για τους κόμβους του backbone δικτύου. Οι αλγόριθμοι αυτοί προϋποθέτουν ότι οι παρακάτω πληροφορίες είναι διαθέσιμες :

- Το σύνολο των τερματικών τοποθεσιών  $i$ .
- Το σύνολο των πιθανών backbone τοποθεσιών  $j$ .
- Η μήτρα κόστους, η οποία καθορίζει τα  $c_{ij}$  για την σύνδεση της τερματικής τοποθεσίας  $i$  στον backbone κόμβο  $j$ , για όλα τα  $i$  και  $j$ .
- Η μήτρα κόστους, η οποία καθορίζει τα  $d_j$ , το κόστος για την τοποθέτηση ενός backbone κόμβου στην τοποθεσία  $j$ .
- Ο μέγιστος αριθμός τερματικών  $MAX_j$ , ο οποίος μπορεί να υποστηριχθεί από κάθε backbone κόμβο  $j$ .

### ➤ **Αλγόριθμος Add**

Ο αλγόριθμος Add ξεκινά με την υπόθεση, ότι κανένας backbone κόμβος δεν υπάρχει στη λύση και ότι όλοι οι τερματικοί συνδέονται απ' ευθείας σε κάποιο κεντρικό κόμβο. Στη συνέχεια προχωρά, προσθέτοντας καινούριους backbone

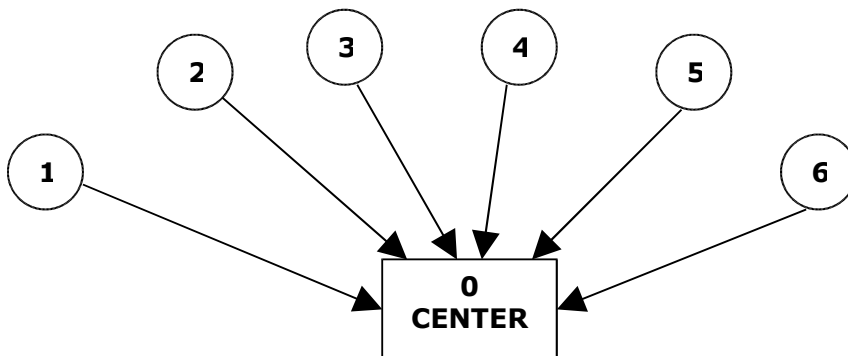


κόμβους, έναν κάθε φορά, για να μειώσει το κόστος του δικτύου. Καθώς κάθε καινούριος κόμβος προστίθεται, μερικοί τερματικοί μετακινούνται από το κέντρο ή έναν προηγούμενο κόμβο σε έναν καινούριο κόμβο, με σκοπό την εξοικονόμηση κόστους. Ο αλγόριθμος συνεχίζει να προσθέτει backbone κόμβους, μέχρις ότου καμία άλλη εξοικονόμηση κόστους να μην είναι δυνατόν να επιτευχθεί.

Επειδή ο αλγόριθμος Add είναι ένας άπληστος (greedy) αλγόριθμος, από τη στιγμή που ένας κόμβος τοποθετηθεί στο δίκτυο δεν επανεκτιμάτε ούτε αντικαθίσταται, ακόμη και εάν στα επακόλουθα βήματα όλοι οι τερματικοί κόμβοι που συνδέονται με αυτόν τον κόμβο μετακινηθούν σε άλλον backbone κόμβο. Για το λόγο αυτό, είναι πιθανόν στο τέλος του αλγόριθμου να έχουν προστεθεί κόμβοι οι οποίοι δεν έχουν άλλες συνδέσεις. Αυτό πρέπει να ελεγχθεί και εάν ισχύει, οι κόμβοι αυτοί πρέπει να απομακρυνθούν.

Τα βήματα του αλγόριθμου έχουν όπως παρακάτω :

1. Σύνδεση όλων των τερματικών κόμβων στην κεντρική περιοχή. Στο βήμα αυτό δεν περιλαμβάνονται backbone περιοχές, όπως φαίνεται και στην εικόνα.



2. Υπολογισμός της εξοικονόμησης κόστους, η οποία σχετίζεται με την σύνδεση του τερματικού κόμβου  $i$  στον backbone κόμβο  $j$ . Αυτό υπολογίζεται ως η διαφορά του κόστους μεταξύ της άμεσης σύνδεσης κάθε τερματικού κόμβου  $i$  σε μια πιθανή τοποθεσία  $j$  και μιας κεντρικής τοποθεσίας, μείον του κόστους του backbone κόμβου  $j$ . Αυτό μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά ως :

$$\text{Background/concentrator savings} = S_j = \sum_{i=1}^n (c_{i,0} - c_{i,j}) - d_j$$

όπου  $c_{i,0}$  είναι το κόστος για τη σύνδεση του τερματικού απ' ευθείας σε ένα κεντρικό κόμβο,  $c_{i,j}$  είναι το κόστος για τη σύνδεση ενός τερματικού  $i$  στον backbone κόμβο  $j$  και  $d_j$  είναι το κόστος του backbone κόμβου. Ο υπολογισμός της τιμής αυτής πρέπει να γίνει για κάθε πιθανό backbone κόμβο  $j$  σε σχέση με όλους τους τερματικούς  $i$ . Οι τιμές  $S_j$  ταξινομούνται από την υψηλότερη στη χαμηλότερη τιμή.

3. Εάν όλες οι τιμές  $S_j$  είναι αρνητικές, καμία εξοικονόμηση δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί με την προσθήκη ενός backbone κόμβου. Γι' αυτό το λόγο ο αλγόριθμος τερματίζεται, με το μήνυμα ότι επιτεύχθηκε η τελική λύση. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, επιλέγουμε τον κόμβο που σχετίζεται με την μεγαλύτερη θετική τιμή  $S_j$  και προστίθεται στη λύση. Οι κόμβοι που σχετίζονται με το μεγαλύτερο θετικό  $S_j$  μετακινούνται από το κέντρο ή την προηγούμενη σύνδεση στον καινούριο backbone κόμβο.
4. Επιστρέφουμε στο βήμα 2, επαναυπολογίζοντας την τιμή  $S_j$  για κάθε εναπομείναν, μη προσδιορισμένο backbone κόμβο.

➤ Αλγόριθμος Drop

Ο αλγόριθμος Drop ξεκινά με την υπόθεση ότι όλοι οι backbone κόμβοι βρίσκονται μέσα στη λύση και ότι όλοι οι τερματικοί κόμβοι συνδέονται απευθείας στον πλησιέστερο backbone κόμβο. Στη συνέχεια προχωρά στη διαγραφή backbone κόμβων, ένα κάθε φορά, για να μειωθεί το κόστος του δικτύου. Καθώς ένας κόμβος μετακινείται, κάποιοι τερματικοί κόμβοι μετακινούνται προς το κέντρο ή προς άλλους κόμβους, με σκοπό να επιτευχθεί εξοικονόμηση. Ο αλγόριθμος συνεχίζει να διαγράφει backbone κόμβους, μέχρι καμία εξοικονόμηση κέρδους να μην μπορεί να επιτευχθεί.

Όπως ο αλγόριθμος Add, έτσι και ο Drop είναι ένας άπληστος αλγόριθμος. Παρά τις φαινομενικές ομοιότητες μεταξύ των δύο αλγόριθμων, υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές. Έτσι δεν παρέχουν το ίδιο αποτέλεσμα, αν και αυτό είναι δυνατόν να συμβεί.

Τα κυριότερα βήματα του αλγόριθμου Drop είναι :

1. Σύνδεση όλων των τερματικών κόμβων στην πλησιέστερη backbone περιοχή. Στην αρχική λύση δεν περιλαμβάνονται οι backbone περιοχές.
2. Υπολογισμός της εξοικονόμησης κόστους που σχετίζεται με την σύνδεση του τερματικού κόμβου  $i$ , στον backbone κόμβου  $j$ . Αυτό υπολογίζεται ως η διαφορά κόστους μεταξύ της σύνδεσης κάθε τερματικού κόμβου  $i$  απευθείας σε μια πιθανή backbone περιοχή  $j$  και μια κεντρική περιοχή και του κόστους από το backbone κόμβο  $j$ . Μαθηματικά μπορεί να εκφραστεί ως :

$$\text{Backbone/concentrator savings} = S_j = - \sum_{i=1}^n (c_{i,0} - c_{i,j}) - d_j$$

όπου  $c_{i,0}$  είναι το κόστος για τη σύνδεση ενός τερματικού κόμβου απευθείας σε έναν κεντρικό κόμβο,  $c_{i,j}$  είναι το κόστος για τη σύνδεση του τερματικού  $i$  στον backbone κόμβο  $j$ , και  $d_j$  είναι το κόστος του backbone κόμβου. Αυτή η ποσότητα του κέρδους πρέπει να υπολογισθεί για κάθε πιθανό κόμβο  $j$ , σε σχέση με όλους τους τερματικούς κόμβους  $i$ . Οι τιμές  $S_j$  ταξινομούνται από την μεγαλύτερη προς την μικρότερη.

3. Εάν όλες οι τιμές  $S_j$  είναι αρνητικές, κανένα κέρδος δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί με την προσθήκη ενός backbone κόμβου. Για το λόγο αυτό ο αλγόριθμος τερματίζεται, με το μήνυμα ότι αποκτήθηκε η τελική λύση. Σε κάθε άλλη περίπτωση, επιλέγεται ο κόμβος που σχετίζεται με το μεγαλύτερο θετικό  $S_j$  και απομακρύνεται από το δίκτυο. Οι τερματικοί κόμβοι που σχετίζονται με το μεγαλύτερο  $S_j$  μετακινούνται από την προηγούμενη σύνδεση στο κέντρο ή σε καινούριο backbone κόμβο.
4. Επιστροφή στο βήμα 2, υπολογίζοντας τα  $S_j$  για κάθε backbone κόμβο που παραμένει στη λύση.

### Αλγόριθμος Mentor

#### ➤ Mentor algorithm Part I

Σκοπός αυτού του τμήματος του αλγόριθμου είναι η επιλογή των τοποθεσιών του backbone δικτύου. Ο αλγόριθμος εξετάζει όλες τις πιθανές περιοχές κόμβων και τις διαχωρίζει σε δύο κατηγορίες : τελικούς κόμβους (end nodes)  $e_i$  και backbone κόμβους (backbone nodes)  $b_j$ . Κατά τη διάρκεια του βήματος αυτού λαμβάνονται ως δεδομένα δύο παράμετροι : η ακτίνα  $r$  και ένα όριο βάρους  $w$ . Η ακτίνα καθορίζει τη μεγαλύτερη επιτρεπτή απόσταση μεταξύ ενός κόμβου και του πλησιέστερου backbone κόμβου. Το όριο βάρους καθορίζει το όριο κυκλοφορίας που πρέπει να ικανοποιείται, έτσι ώστε αυτόματα να χαρακτηρίζεται ένας κόμβος ως περιοχή του backbone δικτύου.

Τα βήματα του τμήματος αυτού του αλγόριθμου είναι :

1. Εύρεση όλων των κόμβων οι οποίοι αυτόματα χαρακτηρίζονται ως backbone κόμβοι, λόγω της ποσότητας της κίνησης η οποία ρέει ανάμεσά τους. Οι υπόλοιποι κόμβοι διαχωρίζονται για παραπέρα ανάλυση στο επόμενο βήμα. Ξεκινάμε με την σύγκριση της συνολικής κυκλοφορίας  $t_i$ , η οποία κινείται από κάθε κόμβο  $i$  με το βάρος  $w$  :

- Εάν  $t_i \geq w$ , τότε ο κόμβος  $i$  χαρακτηρίζεται ως backbone κόμβος και μετονομάζεται  $b_j$ .

- Εάν  $t_i < w$ , τότε ο κόμβος  $i$  παραμένει ένας αχαρακτήριστος κόμβος και μετονομάζεται  $u_i$ .
  - Εύρεση του μέγιστου  $t_i$ , και μετονομασία του σε  $t_{MAX}$ .
2. Το βήμα αυτό εξετάζει όλους τους  $u_i$  κόμβους, οι οποίοι δεν κατάφεραν με βάση τον προηγούμενο υπολογισμό να γίνουν backbone κόμβοι. Εάν ένας κόμβος  $u_i$  βρίσκεται μέσα στην επιτρεπόμενη ακτίνα μιας backbone περιοχής  $b_j$ , ο κόμβος ανατίθεται στον πλησιέστερο backbone κόμβο και χαρακτηρίζεται ως τελικός κόμβος  $e_i$ . Εάν ο κόμβος  $u_i$  είναι πολύ μακριά από ένα backbone κόμβο, ο κόμβος χαρακτηρίζεται ως  $c_i$  για να δηλώσει ότι απαιτείται παραπέρα κατηγοριοποίηση (clustering). Το βήμα αυτό ξεκινά υπολογίζοντας την απόσταση  $d_{ij}$  μεταξύ κάθε κόμβου  $u_i$  και κάθε κόμβου  $b_j$ . Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση :

$$Cost_{i,j} = \sqrt{[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]} .$$

- Εάν  $d_{ij} \geq r$ , τότε ο κόμβος  $i$  μετονομάζεται σε  $c_i$ , ο οποίος απαιτεί ανάθεσή του σε ένα πλησιέστερο κόμβο.
  - Εάν  $d_{ij} < r$ , τότε πρέπει να συγκριθούν ξανά όλες οι τιμές  $d_{ij}$  που υπολογίστηκαν για τον κόμβο  $i$ . Ευρίσκεται η χαμηλότερη τιμή  $d_{ij}$  και ο κόμβος  $i$  χαρακτηρίζεται ως τελικός κόμβος  $e_i$  ο οποίος σχετίζεται με τον backbone κόμβο  $b_j$ .
  - Εύρεση της μεγαλύτερης απόστασης  $d_{ij}$  και μετονομασία της σε  $d_{MAX}$ .
3. Το βήμα αυτό εξετάζει όλους τους κόμβους  $c_i$  οι οποίοι δεν έχουν χαρακτηριστεί είτε ως backbone κόμβοι είτε ως τελικοί κόμβοι. Μια συνάρτηση ανταλλαγής ή μέτρο κέρδους  $m_i$ , υπολογίζεται για κάθε κόμβο  $c_i$ . Ο κόμβος με τη μεγαλύτερη τιμή  $m_i$ , αντιπροσωπεύει τον κόμβο με την μεγαλύτερη ισορροπία μεταξύ της κεντρικής τοποθεσίας και επαρκούς ροής κυκλοφορίας έτσι ώστε να δικαιολογεί τον καθορισμό του ως backbone κόμβο. Η τιμή  $m_i$  για κάθε  $c_i$  υπολογίζεται ως :

$$m_i = \frac{1}{2} \left( \frac{d_{MAX} - d_{ij}}{d_{MAX}} + \frac{t_{ij}}{t_{MAX}} \right)$$

Βρίσκουμε τον κόμβο με το μεγαλύτερο  $m_i$  ο οποίος καθορίζεται ως ένας καινούριος backbone κόμβος  $b_j$ . Όλοι οι  $c_i$  κόμβοι μετονομάζονται ως  $u_i$  και επιστρέφουμε στο βήμα 2 (όπου οι  $u_i$  κόμβοι θα συγκριθούν με τα  $b_j$  που μόλις

επιλέχθηκαν για την εύρεση εάν μπορούν να χαρακτηριστούν ως τελικοί (end) κόμβοι). Η διαδικασία συνεχίζεται, μέχρι όλοι οι κόμβοι να χαρακτηριστούν είτε ως τελικοί είτε ως backbone κόμβοι, σημείο στο οποίο ο αλγόριθμος τερματίζεται.

#### ➤ Mentor algorithm Part II

Το τμήμα αυτό του αλγόριθμου δέχεται ως δεδομένες τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Μια παράμετρο σχεδίασης  $\alpha$ , η οποία ελέγχει την τοπολογία του έμμεσου δέντρου δρομολόγησης (indirect routing tree). Η παράμετρος αυτή τίθεται αυθαίρετα σε μια τιμή μεταξύ 0 και 1, συμπεριλαμβανομένων και αυτών. Όταν το  $\alpha$  τίθεται στο 0, δημιουργείται ένα ελάχιστο spanning tree από το κέντρο. Όταν το  $\alpha$  τίθεται στο 1, ένας αστεροειδής σχηματισμός (starlike configuration) δημιουργείται γύρω από το κέντρο.
- Μια χαλαρή (slack) παράμετρος  $S$ , η οποία καθορίζει το μέγιστο ποσοστό του διαθέσιμου bandwidth το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.
- Ένα όριο  $D$  της σύνδεσης, το οποίο καθορίζει το επίπεδο της κυκλοφορίας το οποίο είναι επαρκές για τη δικαιολόγηση μιας απευθείας σύνδεσης μεταξύ των δύο κόμβων.

Τα βήματα που ακολουθούνται είναι :

1. Εύρεση του πιο κεντρικού κόμβου. Αυτός χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός έμμεσου δέντρου δρομολόγησης (indirect routing tree). Για κάθε backbone κόμβο  $b_j$ , υπολογίζεται ένα μέτρο κέρδους ως το άθροισμα της απόστασης ή κόστους όλων των κόμβων  $j$ , η οποία είναι μια προσέγγιση της απόστασης,  $dist_{ij}$  από το  $i$  στο  $j$  πολλαπλασιασμένη με τη συνολική κυκλοφορία από και προς το  $j$ ,  $w_{ij}$ .

$$f_i = \sum_{j=1}^n (dist_{ij} \times w_{ij})$$

Εύρεση της μικρότερης ποσότητας  $f_{ij}$  και χαρακτηρισμό της ως  $f_{min}$ . Ο κόμβος ο οποίος σχετίζεται με την τιμή αυτή επιλέγεται ως το κέντρο του έμμεσου δέντρου δρομολόγησης (indirect routing tree),  $c$ .

2. Σχεδιασμός του έμμεσου δέντρου δρομολόγησης (indirect routing tree). Ξεκινάμε με τον κόμβο  $c$ , ο οποίος είναι το κέντρο του δικτύου όπως υπολογίστηκε στο βήμα 1. Αρχικά ο  $c$  σχεδιάζεται ως τμήμα του έμμεσου δικτύου δρομολόγησης (indirect routing network) και όλοι οι υπόλοιποι κόμβοι θεωρείται ότι βρίσκονται εκτός του δικτύου. Για όλες τις συνδέσεις  $(i,j)$ , με το  $i$  να βρίσκεται μέσα στο δέντρο και το  $j$  έξω από αυτό, ορίζουμε ως  $L'(i,j)$  το :

$$L'(i,j) = (i,j) + \alpha(i,c) \quad , \quad \text{όπου } \alpha \text{ είναι η προκαθορισμένη παράμετρος σχεδίασης μεταξύ } 0 \text{ και } 1, \text{ συμπεριλαμβανομένων αυτών.}$$

- Εύρεση της ελάχιστης υπολογισθείσας τιμής  $L'(i,j)$ . Ο κόμβος ο οποίος σχετίζεται με την τιμή αυτή μεταφέρεται μέσα στο δέντρο.
- Ανανέωση της τιμής  $L'(i,j)$  η οποία επηρεάστηκε από την προσθήκη αυτού του κόμβου. Βρίσκουμε την ελάχιστη τιμή της  $L'(i,j)$ . Ο κόμβος που σχετίζεται με την τιμή αυτή μεταφέρεται μέσα στο δέντρο. Συνεχίζεται η διαδικασία μεταφέροντας ένα κόμβο κάθε φορά, μέχρι όλοι οι κόμβοι να συνδεθούν.

3. Ρύθμιση των απαιτήσεων κυκλοφορίας για κάθε ζεύγος κόμβων  $i$  και  $j$ . Λογικά, προσπαθούμε να εγκαταστήσουμε μια ακολουθία για την προώθηση της κυκλοφορίας στο έμμεσο δέντρο δρομολόγησης (indirect routing tree) με τέτοιο τρόπο, ώστε οι άμεσοι σύνδεσμοι να ενισχύονται. Το έμμεσο δέντρο δρομολόγησης, (indirect routing tree) σχεδιάζεται έτσι ώστε να μεταφέρει την κυκλοφορία η οποία είναι επαρκής για να δικαιολογεί μια άμεση σύνδεση μεταξύ των δύο κόμβων. Το έμμεσο δέντρο δρομολόγησης (indirect routing tree) θα μεταφέρει επίσης την πλεονάζουσα κυκλοφορία των άμεσων συνδέσεων, οι οποίοι δεν έχουν επαρκή χωρητικότητα για τη μεταφορά όλης της απαιτούμενης κυκλοφορίας μεταξύ δύο άμεσα συνδεδεμένων κόμβων. Η πλεονάζουσα κυκλοφορία μπορεί να δρομολογείται στο έμμεσο δέντρο δρομολόγησης (indirect routing tree), μέχρι το σημείο όπου η κυκλοφορία φτάνει το κρίσιμο όριο μεταξύ των δυο απευθείας συνδεδεμένων κόμβων. Ξεκινάμε με την αναγνώριση όλων των ζευγών pendent κόμβων. (Pendent node είναι ο κόμβος ο οποίος έχει μια μόνο σύνδεση μέσα στον κόμβο). Αυτά τα ζεύγη θεωρούνται πρώτου επιπέδου ζεύγη κόμβων. Βρίσκουμε τους πλησιέστερους γείτονες όλων των άλλων κόμβων. Υπολογίζουμε το «φθηνότερο» δρομολόγιο για την παράκαμψη της κυκλοφορίας δια μέσου των κοντινότερων γειτόνων των δύο κόμβων. Αυτά τα εναλλακτικά δρομολόγια αντιπροσωπεύουν εξαρτήσεις, οι οποίες πρέπει να τοποθετηθούν σε ακολουθία μετά το ζεύγος των κόμβων. Για το λόγο αυτό, αυτά τα ζεύγη κόμβων θεωρούνται ζεύγη κόμβων δευτέρου επιπέδου, οι εξαρτήσεις τους τρίτου επιπέδου ζεύγη κόμβων κ.ο.κ. Αν και στην πραγματικότητα αυτές οι εξαρτήσεις δεν χρησιμοποιούνται για την δρομολόγηση της κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια της πορείας του αλγόριθμου, επιχειρούμε μια δρομολόγηση, η οποία παρακάμπτει την κυκλοφορία μέσω των λιγότερων αναπηδήσεων (hop), γεγονός το οποίο ενθαρρύνει την βέλτιστη δρομολόγηση της κυκλοφορίας δικαιολογώντας τους άμεσους συνδέσμους. Τα ζεύγη κόμβων πρέπει να

δρομολογούνται σύμφωνα με τους ακόλουθους κανόνες : (1) τα ζευγάρια κόμβων στο επίπεδο υψηλότερης ακολουθίας μπορούν να ληφθούν υπ' όψιν με οποιαδήποτε σειρά (2) τα ζεύγη κόμβων στο χαμηλότερο επίπεδο μπορούν να τεθούν σε ακολουθία μόνο όταν όλες οι εξαρτήσεις στο υψηλότερο επίπεδο έχουν πρώτα θεωρηθεί. Τα ζεύγη κόμβων τα οποία διαχωρίζονται από το μεγαλύτερο αριθμό αναπηδήσεων πρέπει να τεθούν σε ακολουθία πριν από τα ζεύγη κόμβων με το μικρότερο αριθμό αναπηδήσεων.

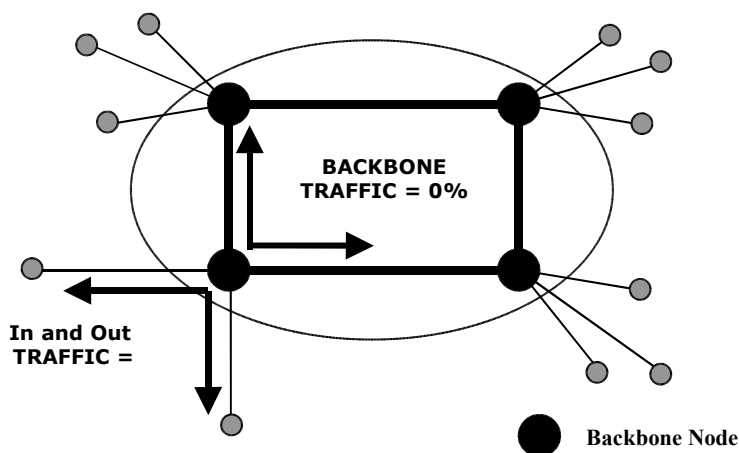
4. Ανάθεση των απ' ευθείας συνδέσεων. Πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν όλα τα ζεύγη κόμβων όπως τέθηκαν σε ακολουθία κατά το βήμα 3. Εάν το όριο κυκλοφορίας στην απ' ευθείας σύνδεση, εξισώνεται ή υπερβαίνεται, τότε πρέπει να ανατεθεί μια απ' ευθείας σύνδεση μεταξύ των δύο κόμβων. Εάν το όριο δεν επιτυγχάνεται, η κυκλοφορία πρέπει να δρομολογηθεί από το έμμεσο δέντρο δρομολόγησης. Εάν στο έμμεσο δέντρο δρομολόγησης το όριο κυκλοφορίας εξισώνεται ή υπερβαίνεται, πρέπει να εγκατασταθεί μια νέα σύνδεση στο έμμεσο δέντρο δρομολόγησης έτσι ώστε να χειριστεί το πλεόνασμα κυκλοφορίας. Πρακτικά, εάν μια έμμεση σύνδεση φορτωθεί μέχρι το όριο, μετατρέπεται σε άμεση σύνδεση και μια νέα έμμεση σύνδεση εισάγεται. Με αυτό τον τρόπο το έμμεσο δέντρο δρομολόγησης δεν υπερφορτώνεται ποτέ πέρα από την χρησιμοποιήσιμη χωρητικότητά του. Από τη στιγμή που μια άμεση σύνδεση ανατίθεται, καμία παραπέρα προσπάθεια δε γίνεται να προστεθεί μεγαλύτερη κυκλοφορία στην σύνδεση, ακόμη και εάν η σύνδεση έχει πλεονασματική χωρητικότητα. Μετά τον έλεγχο κάθε κόμβου στην λίστα ακολουθίας, ο αλγόριθμος τερματίζεται.

## 6.2 Total Backbone Capacity

Η χωρητικότητα (capacity) του backbone δικτύου μπορεί να υπολογισθεί ως η συνολική χωρητικότητα του backbone δικτύου δεδομένου δοθέντος αριθμού κόμβων.

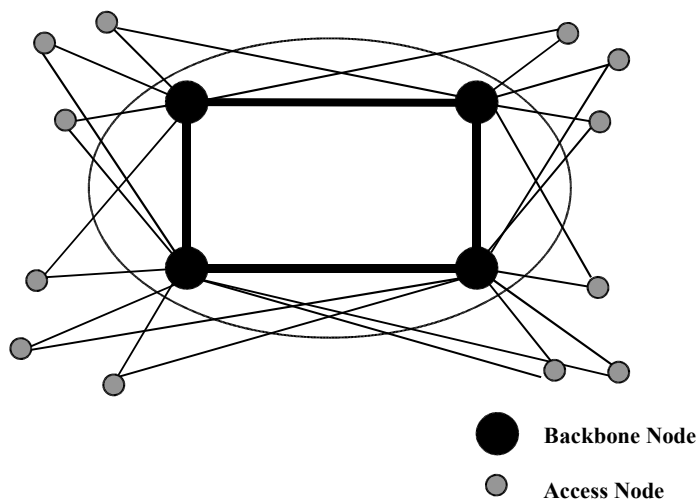
Αν θεωρήσουμε την υπόθεση οι χρήστες να είναι συνδεδεμένοι με ένα κύκλωμα σε ένα backbone δίκτυο, όπου έχει καθορισθεί η τοπολογία, ο αριθμός των backbone κόμβων είναι  $N$ , η χωρητικότητα κάθε κόμβου  $c$  είναι γνωστή τότε η συνολική χωρητικότητα  $T$  του δικτύου, βασισμένη στο είδος της κυκλοφορίας, μπορεί να καθορισθεί. Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι προτύπων κυκλοφορίας :

- **Η περισσότερη ή ολόκληρη η κυκλοφορία που εισέρχεται σε ένα κόμβο εγκαταλείπει τον ίδιο κόμβο και δεν διέρχεται από κανένα άλλο backbone κόμβο.** Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η πλειοψηφία ή όλη η κυκλοφορία, που εισέρχεται σε ένα κόμβο, εγκαταλείπει τον ίδιο κόμβο, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Στην περίπτωση όπου το μεγαλύτερο ποσό της κυκλοφορίας που εισέρχεται, εγκαταλείπει τον ίδιο backbone κόμβο η προώθηση της κυκλοφορίας από αυτόν τον κόμβο σε άλλους backbone κόμβους είναι ελάχιστη. Η σχέση για τον υπολογισμό της χωρητικότητας του backbone δικτύου στην περίπτωση αυτή είναι :  $T=(N)(c)$  .

- **Η κυκλοφορία που προέρχεται από ένα backbone κόμβο μεταδίδεται συμμετρικά σε όλους τους άλλους backbone κόμβους.** Αυτή είναι η περίπτωση της καθολικής εκπομπής (broadcast) ή των δημόσιων δικτύων. Τα κυκλώματα των backbone κόμβων χρησιμοποιούνται κυρίως για μεταγωγή (switching) και οι μεταξύ τους συνδέσεις χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό. Η σχέση για την εύρεση της χωρητικότητας του backbone δικτύου σε αυτή τη διάταξη είναι :  $T=(N+1)\frac{(c)}{2}$  . Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει ένα backbone δίκτυο με αυτή τη διάταξη που περιλαμβάνει 4 backbone κόμβους και 12 access κόμβους.



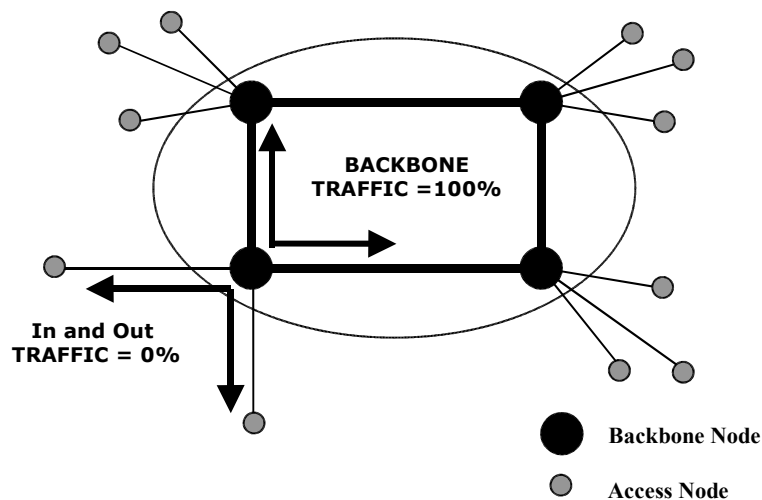
- **Όλα τα πρότυπα κυκλοφορίας είναι μη συμμετρικά και διαχωρίζονται σε κατηγορίες χρηστών όπως terminal-to-host και LAN-to-LAN (IP) επικοινωνίες.** Τα κυκλώματα των backbone κόμβων χρησιμοποιούνται για μεταγωγή (switching) ή δρομολόγηση (routing) και η χρήση των συνδέσεων



ποικίλλει. Η σχέση για τον υπολογισμό της συνολικής χωρητικότητας του backbone δικτύου είναι :  $T = (N^2)^{(c)} / (2N - 1)$ .

- Οι χρήστες δεν επικοινωνούν με τους κόμβους στο ίδιο backbone (πρόκειται για ένα σενάριο πολλαπλών backbone δικτύων με τους backbone κόμβους να συνδέονται μέσω WAN συνδέσεων). Οι εφαρμογές για το πρότυπο αυτό κυκλοφορίας ποικίλλουν, αλλά σχετίζεται με υπηρεσία δημόσιου δικτύου. Η σχέση που δίνει την χωρητικότητα αυτού του δικτύου είναι :  $T = (N)^{(c)} / 2$ . Το πρότυπο αυτό κυκλοφορίας φαίνεται στο παρακάτω

σχήμα:



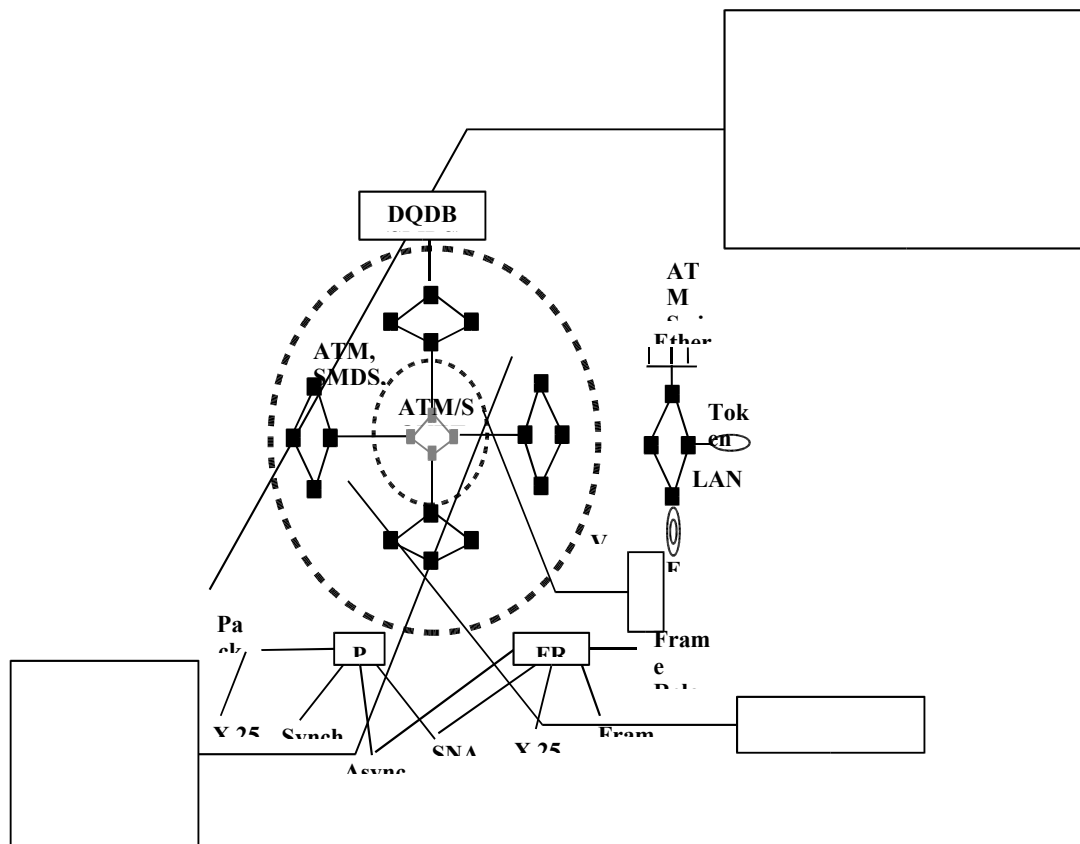
### 6.3 Future Capacity

Οι απαιτήσεις των χρηστών για bandwidth μπορεί να αυξηθεί από 25 έως 250% κατά μέσο όρο ετησίως (αριθμός των χρηστών, αριθμός τμημάτων και απαιτήσεις σε bandwidth) και για το λόγο αυτό, πρέπει να προστεθεί στο backbone δίκτυο επιπλέον χωρητικότητα. Παράγοντες φόρτου μπορεί να εμφανιστούν σύντομα στη ζωή ενός δικτύου και για αυτό το λόγο, πρέπει να έχει την ικανότητα να προσθέτει γρήγορα χωρητικότητα, όπου και όταν απαιτείται. Αυτό σημαίνει την αύξηση της επεξεργαστικής ισχύος και της χωρητικότητας του bandwidth, σε κάθε τμήμα του bandwidth δικτύου. Κατά την εισαγωγή στο δίκτυο μιας καινούριας υπηρεσίας, πρέπει να είναι διαθέσιμη αυτή η επιπλέον χωρητικότητα. Όταν σχεδιάζουμε ένα backbone δίκτυο πρέπει να παρέχουμε περισσότερα από όσα απαιτούνται, βασισμένοι στο ρυθμό ανάπτυξης που αναφέρθηκε παραπάνω. Όταν ακολουθούμε την πρακτική κατασκευής ενός backbone δικτύου με υψηλότερο επίπεδο τεχνολογίας και κυκλώματα μεγαλύτερου bandwidth από ότι απαιτείται, ο σχεδιασμός θα αποδειχθεί αποτελεσματικός.

Πως θα είναι τα δίκτυα επικοινωνιών στο μέλλον; Η παρακάτω εικόνα δείχνει ένα πιθανό σενάριο. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα ήχου και εικόνας κυκλοφορούν πάνω στο δίκτυο και οι παραδοσιακές δικτυακές ιεραρχίες ήχου των LEC και IXC εξαφανίζονται και αντικαθίστανται από ένα πλήρως ψηφιακό δίκτυο πρόσβασης δεδομένων, σχηματισμένο πάνω σε SONET και πιθανός με δομή βασισμένη σε ATM. Επίσης πρέπει να σημειωθεί η διαστρωμάτωση του δικτύου, η οποία επιτρέπει την επέκταση (προσθήκη) και τον περιορισμό (μείωση) των επιπέδων τεχνολογίας. Υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης σε κάθε επίπεδο του δικτύου, ακόμη και στον ATM/SONET πυρήνα.

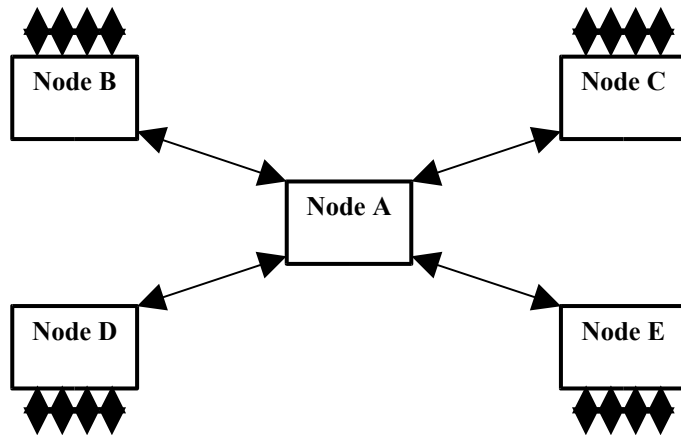
## 7 Styles of Topologies

Οι τοπολογίες των backbone δικτύων εμφανίζονται με δύο τρόπους, αυτές που σχεδιάζονται και αυτές που απλά αναπτύσσονται. Όλα τα ιδιωτικά και δημόσια δίκτυα ταιριάζουν σε αυτά τα στερεότυπα. Τα ιδιωτικά δίκτυα, ιδιαίτερα τα LAN τα οποία αναπτύσσονται σε MAN και αργότερα σε WAN, τείνουν να παίρνουν ένα ασύμμετρο σχήμα με καθορισμένα σύνολα ενδιαφέροντος. Από την άλλη πλευρά τα δημόσια δίκτυα ανταποκρίνονται στις ανάγκες των χρηστών και σχεδιάζονται με μεγαλύτερη ευρύτητα. Είναι ευκολότερο να σχεδιάσεις την υλοποίηση ενός backbone δικτύου και στη συνέχεια να το δημιουργήσεις, από το να προσπαθείς να τροποποιήσεις ένα σύμπλεγμα από WAN. Σε κάθε περίπτωση η τοπολογία των backbone δικτύων πρέπει να είναι μια συνάρτηση των εφαρμογών του χρήστη, της τοπολογίας του δικτύου πρόσβασης, της έντασης της κυκλοφορίας και του εύρους και του προφίλ της συνδεσιμότητας (local to global). Μερικές από τις πιο δημοφιλείς τοπολογίες παρουσιάζονται παρακάτω.

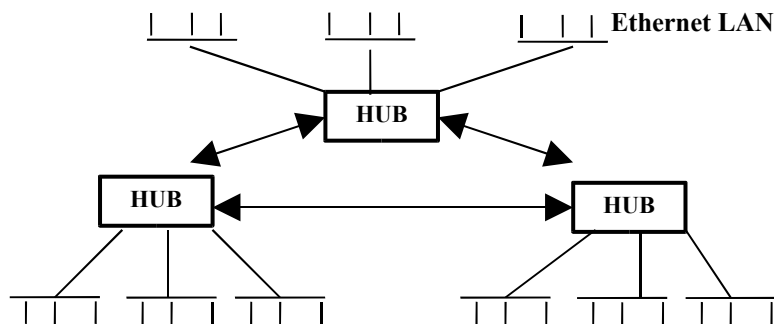


## 7.1 Star

Η τοπολογία star, η οποία επίσης ονομάζεται hub-and-spoke, είναι παρόμοια με την τοπολογία star των LAN, έχει ένα κεντρικό κόμβο που έχει το ρόλο ενός hub κόμβο και όλοι οι άλλοι κόμβοι συνδέονται μέσω point-to-point κυκλώματα με τον κεντρικό κόμβο. Όλες οι επικοινωνίες περνούν από τον κεντρικό κόμβο. Ένας ελάχιστος αριθμός  $N-1$  συνδέσεων απαιτείται για την υποστήριξη  $N$  κόμβων, συμπεριλαμβανομένου και του hub. Αυτή η τοπολογία star χρησιμοποιείται σε περιβάλλοντα όπως LAN hub ή ATM switch/hub. Ο κεντρικός κόμβος είναι συνήθως μια κλιμακωτή συσκευή με πολλές θύρες, η οποία μπορεί να χειριστεί μεγάλες ποσότητες συγκεντρωμένης κυκλοφορίας, bridging, routing ή switching. Ενώ αυτός ο σχηματισμός παρέχει ένα μέγιστο αριθμό 2 hop, είναι ασταθής και ευπαθής σε συνολική αποτυχία του δικτύου, όταν ο κόμβος hub αποτύχει. Παρά όμως την ανεπάρκεια των δικτύων star, αυτός ο τύπος διαχείρισης έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει μια star τοπολογία ενός backbone δικτύου.

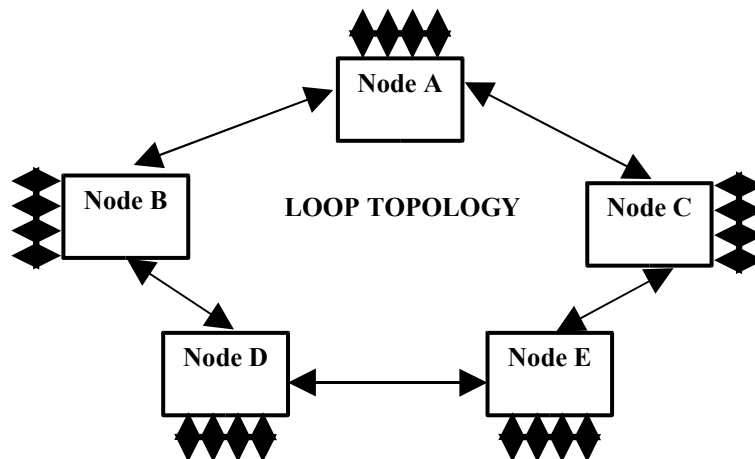


Μια ειδική παραλλαγή της τοπολογίας star είναι η distributed star. Αυτή χρησιμοποιείται συνήθως σε περιβάλλοντα LAN, τα οποία χρησιμοποιούν hub ως κεντρικό κόμβο ο οποίος δένει τα hub μεταξύ τους. Το παρακάτω σχήμα δείχνει ένα παράδειγμα distributed star τοπολογίας η οποία συνδέει τρία hub και κάθε ένα με 3 Ethernet LAN. Η τοπολογία αυτή ονομάζεται και star-wired ring.



## 7.2 Loop

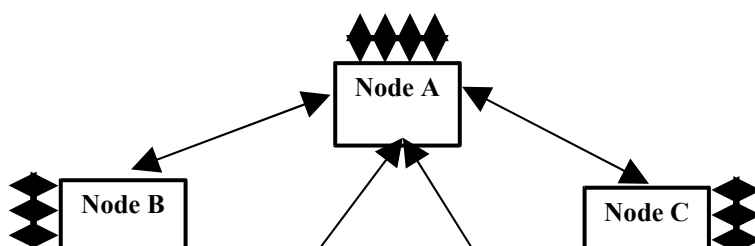
Η διάταξη loop των backbone δικτύων είναι παρόμοια με την διάταξη loop στην τοπολογία ring. Κάθε κόμβος του δικτύου συνδέεται με δύο άλλους κόμβους. Ένας ελάχιστος αριθμός  $N$  συνδέσεων (links) απαιτείται για  $N$  κόμβους. Η μορφή αυτή χρησιμοποιείται συχνά για καταναμημένα δίκτυα, όπου οι κόμβοι πρώτιστα επικοινωνούν με τοπικούς κόμβους ή απαιτούνται point-to-point επικοινωνίες σε κοντινές αποστάσεις (ή δεν είναι δυνατόν να λειτουργήσουν σε μακρινές αποστάσεις όπως οι συνδέσεις σε MAN δίκτυα). Δεν υπάρχει μέγιστος αριθμός hop σε αυτό το δίκτυο, αλλά είναι αξιόπιστο μέχρι το σημείο δύο αποτυχιών συνδέσμων, το οποίο θα διέσπαζε το δίκτυο σε δύο κομμάτια. Ο σχεδιασμός της χωρητικότητας, στην τοπολογία loop, είναι δύσκολος, όπως επίσης και οι αναβαθμίσεις όταν τα πρότυπα κυκλοφορίας δεν είναι συμμετρικά και συνεπή μεταξύ διαφορετικών κόμβων πρόσβασης. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει την τοπολογία loop.

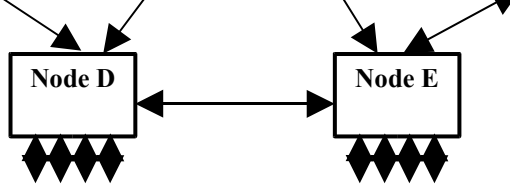


### Meshed and Fully Meshed

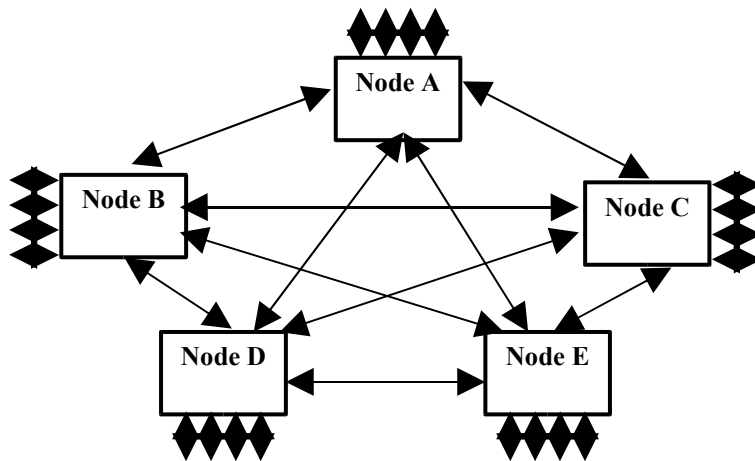
Ο βαθμός στον οποίο μια τοπολογία mesh κατασκευάζεται, εξαρτάται από το κόστος σε hardware και software των θυρών, την αύξηση του κόστους των συνδέσεων, τη διαθεσιμότητα αποθεμάτων δικτύου και τις απαιτήσεις σε αξιοπιστία και πλεονασμό. Ο αριθμός των συνδέσεων που απαιτούνται για ένα fully meshed σχεδιασμό είναι  $N(N-1)/2$ . Ο αριθμός των απαιτούμενων συνδέσεων αυξάνεται ραγδαία με την αύξηση των κόμβων. Είναι φανερό ότι ένα fully meshed δίκτυο είναι επιθυμητό, αλλά πολύ συχνά το κόστος είναι απαγορευτικό και σπανίως απαιτείται. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει μια semimeshed και μια fully meshed τοπολογία.

### SEMIMESHED





**FULLY MESHED**

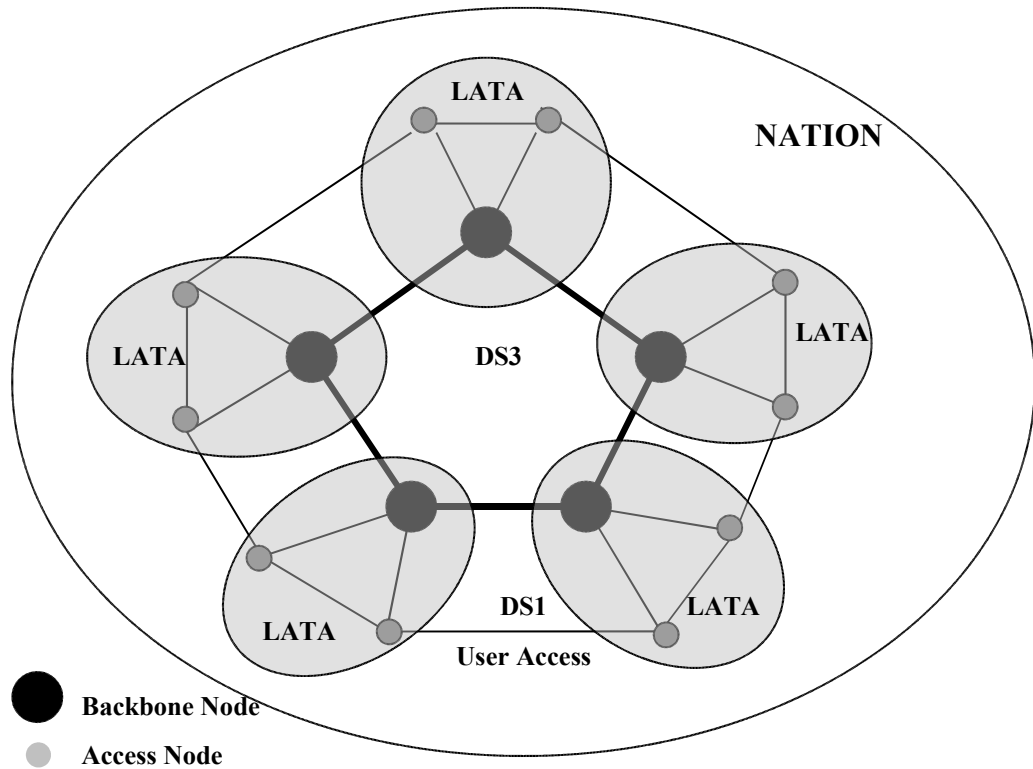


**7.4 Backbone within Backbones**

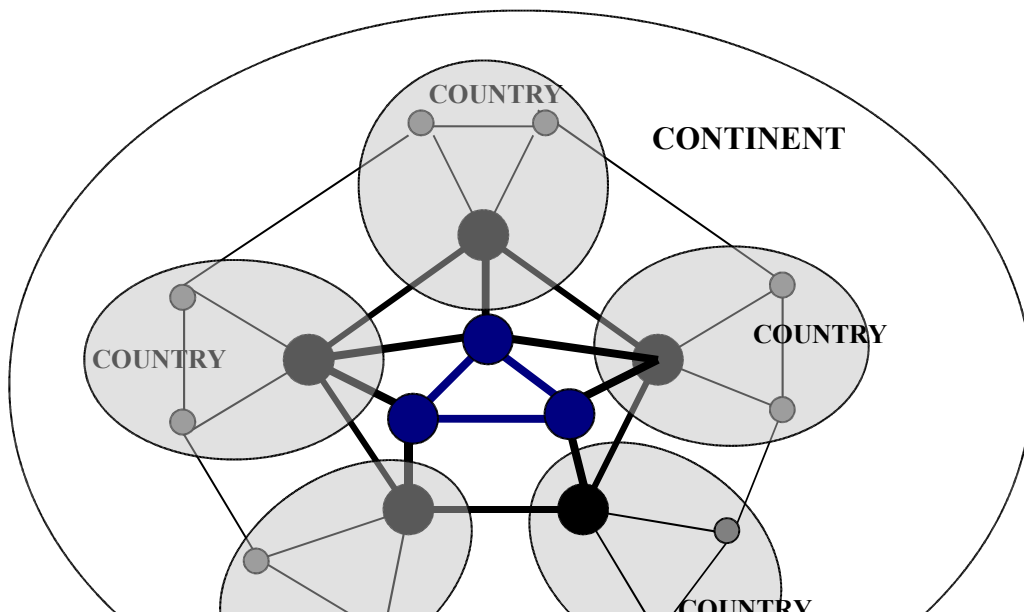
Σε πολλές περιπτώσεις οι backbone κόμβοι και η τοπολογία τους είναι ξεχωριστή από την τοπολογία των κόμβων πρόσβασης. Στην πραγματικότητα δημιουργούνται πολλά backbone δίκτυα μέσα σε άλλα backbone δίκτυα με μια ιεραρχική δομή. Η προσέγγιση αυτή έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της.

Η παρακάτω εικόνα δείχνει ένα παράδειγμα ενός δικτύου όπου 10 κόμβοι πρόσβασης (access nodes) δέχονται την κυκλοφορία CPE των χρηστών και ο σχεδιασμός βασίζεται σε DS1 και DS3 κυκλώματα. Κάθε LATA εξυπηρετείται από δύο κόμβους πρόσβασης. Αυτοί κόμβοι πρόσβασης βρίσκονται σε μια τοπολογία loop, όπου κάθε κόμβος συνδέεται με δύο άλλους κόμβους πρόσβασης. Αυτοί οι κόμβοι πρόσβασης με τη σειρά τους συνδέονται με δύο διαφορετικούς κόμβους πρόσβασης. Μέχρι το σημείο αυτό όλα τα κυκλώματα έχουν ταχύτητα DS1. Οι backbone κόμβοι βρίσκονται επίσης σε μια loop backbone τοπολογία και παρέχουν την πλειοψηφία της υψηλού bandwidth κυκλοφορίας μέσα στα LATA. Το backbone

κύκλωμα παρέχει υψηλής χωρητικότητας DS3 κυκλώματα μεταξύ των backbone κόμβων. Αυτή η τοπολογία δικτύου επιτρέπει σε κάθε χρήστη ένα μέγιστο τριών hops για να φτάσει σε οποιοδήποτε προορισμό, ή δύο εάν ο προορισμός βρίσκεται στο ίδιο ή σε γειτνιάζοντα LATA. Η τοπολογία αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί είτε για ιεραρχικά TCP/IP δίκτυα ή επίπεδα FR σχέδια δικτύων.



Το επόμενο σχήμα παρουσιάζει το ίδιο δίκτυο, αυτή τη φορά όμως με ένα επιπλέον, υψηλής ταχύτητας (πχ SONET) backbone δίκτυο (επίπεδο 2) μέσα στο υπάρχον (επίπεδο 1) backbone δίκτυο. Υποθέτουμε ότι η απόσταση μεταξύ των κόμβων πρόσβασης (επίπεδο 0) έχει αυξηθεί και τα LATA είναι τώρα χώρες. Το αρχικό backbone έχει τώρα ένα κόμβο σε κάθε χώρα και εκτείνεται σε μια ήπειρο. Η προσθήκη ενός υψηλότερου επιπέδου backbone θα δημιουργηθεί με τρεις κόμβους με ένα fully meshed σχηματισμό. Κάθε backbone κόμβος επιπέδου 1 θα ενώνεται με δύο επιπέδου 2 backbone κόμβους. Το καινούριο επίπεδο 2 backbone δίκτυο θα παρέχει υψηλής ταχύτητας μεταγωγή σε επίπεδα gigabyte.





Level 2 Backbone Node



Level 1 Backbone Node



Level 0 Access Node

Από την παραπάνω ανάλυση γίνεται φανερό ότι τα backbone δίκτυα δημιουργούνται με βάση ιεραρχικές δομές, προσφέροντας όχι μόνο πλεονασμό διαθεσιμότητας, αλλά και μειωμένο αριθμό hop (και καθυστέρηση επεξεργασίας που τη συνοδεύει) και αυξημένη ταχύτητα κυκλοφορίας, η οποία διασχίζει μεγάλες αποστάσεις μέσα στο δίκτυο.

## 8 Backbone Topology Strategies

Υπάρχουν δύο είδη σύνδεσης LAN: η ιεραρχική πρόσβαση και η επίπεδη (flat) πρόσβαση. Σε επίπεδο ενός συνολικού WAN, ιδιαίτερα στις στρατηγικές εταιρικής backbone τοπολογίας, το backbone παρέχει όχι μόνο διασύνδεση των τμηματικών υποδικτύων αλλά και LAN/MAN/WAN διασύνδεση μέσω από δρομολογητές (routers) ή από δίκτυα μεταγωγών (πχ IP, SMDS, ATM).

Όσο οι απαιτήσεις των χρηστών σε bandwidth αυξάνονται, οι παροχές των αφιερωμένων δικτύων πρόσβασης σε bandwidth αρχίζουν να ελαττώνονται. Στα δίκτυα WAN αρχίζουν να εμφανίζονται φαινόμενα bottleneck στο τμήμα πρόσβασης των χρηστών. Υπηρεσίες όπως IP, FR, SMDS και ATM προσφέρουν εναλλακτικές bandwidth τοπολογίες και εκμετάλλευση του bandwidth το οποίο δεν μπορεί να βρεθεί σε πολλά ιδιωτικά δίκτυα. Μερικά από τα θέματα που καθοδηγούν τις τοπολογίες των δικτύων αναφέρονται στη συνέχεια.

### 8.1 Desirable Topologies per Technology

Με σταθερού ρυθμού bit κυκλοφορία, τα WAN δίκτυα επιτυγχάνονται με συνδέσεις αφιερωμένων (dedicated) ή κυκλωμάτων μεταγωγής. Για κυκλοφορίες με μεταβλητό ρυθμό bit οι τεχνολογίες WAN περιλαμβάνουν μεταγωγές κυκλωμάτων, συνδέσεις point-to-point, IP, FR, SMDS, ATM και υπηρεσίες μεταγωγής δεδομένων. Και τα δύο είδη σύνδεσης μπορούν να χρησιμοποιούν switches, γέφυρες, routers, πολυπλέκτες και ένα πλήθος άλλων δικτυακών συσκευών. Συνδυάζοντας τη σωστή τοπολογία με τη σωστή τεχνολογία και αντίστροφα, θα καταστεί εφικτή η αποφυγή των λαθών σχεδίασης. Θα πρέπει όμως οι συσκευές να βοηθούν στην ανάπτυξη του δικτύου και δε να μην το περιορίζουν μέσω υποχρεωτικών εφαρμογών παλαιότερων τεχνολογιών.

Κάποιες συσκευές μπορεί να ξεπερνούν τους φυσικούς περιορισμούς των κυκλωμάτων DS1 και DS3, αλλά μόνο σε τοπικό (περιορισμένο σε έκταση) επίπεδο. Για παράδειγμα οι δρομολογητές μπορούν να χρησιμοποιούν τις διασυνδέσεις HSSI, FDDI και SONET, οι οποίες επιτρέπουν την κατανομή του bandwidth σε στοιβάδες Mbps και Gbps παρά να περιορίζονται σε ταχύτητες DS1. Επίσης ορισμένες συσκευές μπορεί να είναι περισσότερο επιθυμητές από κάποιες άλλες λόγω της προστιθέμενης αξίας που προσφέρουν οι υπηρεσίες τους. Ένα παράδειγμα είναι η χρήση των γεφυρών (bridges) για την αύξηση της απόστασης παρά τη χρήση ομοαξονικών καλωδίων.

Για τεχνολογίες μεταγωγής πακέτων, οι διαθέσιμες τοπολογίες είναι ιδιαίτερα ευέλικτες, η IP είναι η πιο ευέλικτη από όλες, επιτρέποντας σχεδόν οποιοσδήποτε

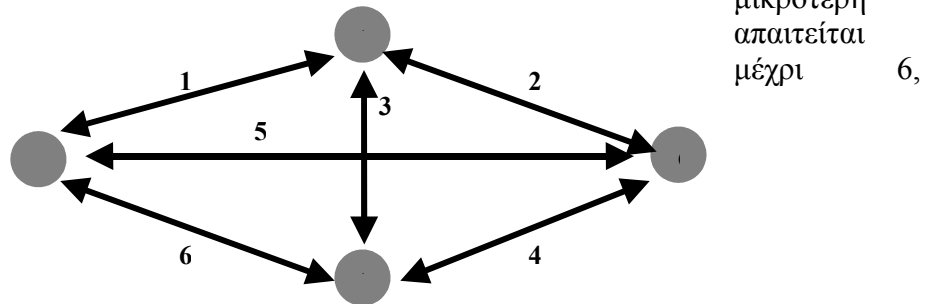
τοπολογικό σχηματισμό. Στα κυκλώματα FR όλοι οι σύνδεσμοι είναι Point-to-Point εκτός εάν στηρίζονται σε άλλες πλατφόρμες μεταγωγής υπηρεσιών.

Τα backbone δίκτυα επόμενης γενιάς πιο πιθανά θα αποτελούνται από ATM DXCs και switches, με την ικανότητα να μεταφέρουν και να διασυνδέουν IP, FR και SMDS υπηρεσίες. Αυτές οι συσκευές μαζί με SONET switches θα χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση και μεταγωγή ηλεκτρικών ταχυτήτων σε οπτικές ταχύτητες στο εύρος του gigabit. Στην πραγματικότητα πολλές MAN αρχιτεκτονικές αποτελούνται από βασισμένες σε ίνες δακτυλιοειδής SONET δυνατότητες μετάδοσης.

## 8.2 Requirements Drive the Topology

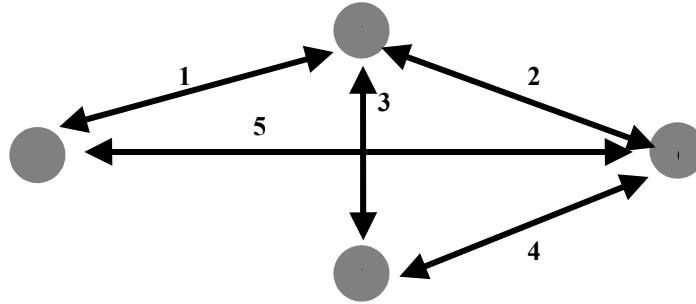
Μια μέθοδος για τον σχεδιασμό της τοπολογίας ενός δικτύου είναι η προσθήκη των συνδέσεων που είναι απαραίτητες να προστεθούν πρώτες και στην συνέχεια η προσθήκη περισσότερων συνδέσεων, μέχρι όλοι οι πιθανοί σύνδεσμοι να έχουν προστεθεί εκεί όπου απαιτείται αρκετή χωρητικότητα για τη ροή των δεδομένων. Στη συνέχεια ο σχεδιαστής του δικτύου αφαιρεί συνδέσμους και συνδυάζει την κυκλοφορία πάνω σε άλλες υπάρχουσες συνδέσεις, βασισμένος σε πολλούς παράγοντες, όπως οι συντομότερες διαδρομές, το κόστος των συνδέσεων και η ποιότητα των υπηρεσιών.

Η μέθοδος αυτή ονομάζεται *shortest path*. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει έξι συνδέσμους που έχουν προστεθεί με σειρά από τη μεγαλύτερη παροχή που απαιτείται προς τη μικρότερη παροχή που απαιτείται (σύνδεσμοι 1 αντίστοιχα). (σύνδεσμοι 1 αντίστοιχα).

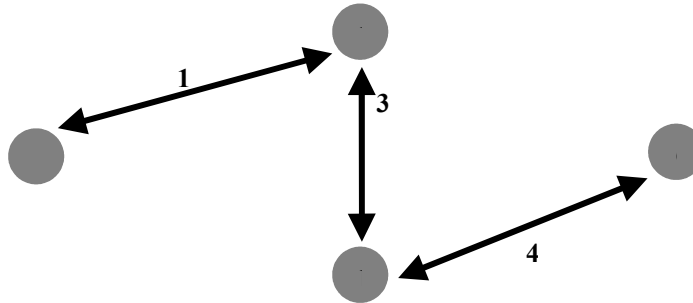


Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει την επιλογή των συνδέσεων 1,2,3,4 και 5 για να παραμείνουν και το σύνδεσμο 6 να διαγραφεί διότι ήταν πολύ δαπανηρός στη δρομολόγηση της κυκλοφορίας μέσω του κόμβου B (πάνω από τους συνδέσμους 1 και 3) από ότι είναι η δρομολόγηση απευθείας από τον κόμβο A στο D και αντίστροφα.





Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει την τελική επανάληψη όπου ο σύνδεσμος 2 αφαιρείται διότι είναι διαθέσιμες μόνο αναλογικές δυνατότητες μετάδοσης (η κυκλοφορία από B στο C επαναδρομολογείται από το B στο D και στο C και αντίστροφα) και ο σύνδεσμος 5 αφαιρείται λόγω της μεγάλης του απόστασης ( η κυκλοφορία επαναδρομολογείται από το A στο B στο D στο C και αντίστροφα).



Κατά το σχεδιασμό του backbone δικτύου δεν πρέπει να ξεχνιόνται οι απαιτήσεις των χρηστών. Η κατανόηση της επίδρασης που θα έχει ο σχεδιασμός του δικτύου στις εφαρμογές των χρηστών, είναι πολύ κρίσιμη στην βελτιστοποίηση του σχεδιασμού. Αυτή είναι μια διαδικασία διπλής κατεύθυνσης. Η πρόσβαση σε δίκτυα με υψηλό bandwidth μπορεί να μην είναι απαραίτητη εάν οι εφαρμογές μπορούν να ανεχθούν κάποια χρονική καθυστέρηση σε συνθήκες συμφόρησης. Αλλά εάν συμβαίνει το αντίθετο και το backbone δίκτυο έχει σχεδιαστεί με πολύ λίγους συνδέσμους, η καθυστέρηση που μπορεί να εμφανιστεί στο δίκτυο, θα έχει αρνητικά αποτελέσματα στις εφαρμογές.

### 8.3 Hybrid Topologies

Πολλοί χρήστες αναμιγνύουν μισθωμένες και αφιερωμένες υπηρεσίες μαζί με τεχνολογίες πακέτων, πλαισίων και κελιών. Τα υβριδικά (hybrid) δίκτυα τα οποία συνδυάζουν τεχνολογίες σταθερές και μεταγωγής είναι κοινά. Οι τεχνολογίες μεταγωγής χρησιμοποιούνται συχνά ως εφεδρικές σε μισθωμένες υπηρεσίες. Κατά το σχεδιασμό ενός ιδιωτικού δικτύου πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν η ύπαρξη δυνατότητας ανάμειξης με ένα δημόσιο δίκτυο υπηρεσιών μεταγωγής. Τα υβρίδια ιδιωτικών και δημοσίων δικτύων επιτρέπουν τον έλεγχο και τη διατήρηση κρίσιμων

πόρων ενώ παράλληλα εκμεταλλεύονται την λειτουργικότητα και τιμολόγηση των δημόσιων υπηρεσιών. Κατά το σχεδιασμό ενός υβριδικού backbone δικτύου, θα πρέπει να γίνεται προσπάθεια διατήρησης όλων των ταχυτήτων σταθερών και να δίνεται προσοχή στα σημεία εμφάνισης φαινομένων bottleneck. Θα πρέπει να υπάρχει προφύλαξη από πολλαπλά σχήματα ενθυλάκωσης (encapsulation schemes) και να γίνεται κατανοητό ότι παρόμοιες δικτυακές συσκευές θα πρέπει να χρησιμοποιούνται και στα σημεία εισόδου και εξόδου του δικτύου.

## 9 Network Management

Η διαχείριση του δικτύου γίνεται πολύ πιο εύκολα στο επίπεδο του δικτύου εν γένει παρά στα σημεία συγκέντρωσης της πρόσβασης ή ακόμη στο επίπεδο συσκευών των χρηστών.

### 9.1 Total Network Timing

Ο συγχρονισμός (timing) αποτελεί πάντοτε ένα πολύ σπουδαίο θέμα σε κάθε δικτυακό σχεδιασμό που χρησιμοποιεί οποιαδήποτε τεχνολογία και του οποίου η επιτυχία βασίζεται στον ελεύθερο από λάθη συγχρονισμό. Ο συγχρονισμός υπάρχει επίσης μεταξύ των CPE και των συσκευών πρόσβασης στο δίκτυο. Ο εξωτερικός συγχρονισμός (με τη μορφή ενός εξωτερικού αφιερωμένου ρολογιού) θα πρέπει να χρησιμοποιείται όποτε είναι δυνατόν, γιατί οι συσκευές που λειτουργούν ως πηγές εσωτερικής χρονομέτρησης, αν και είναι ακριβής στις συσκευές στις οποίες είναι εγκατεστημένες, μπορεί να μην είναι ακριβής σε όλα τα στοιχεία του δικτύου. Όσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα μετάδοσης, τόσο πιο κρίσιμος γίνεται ο συγχρονισμός. Τα προβλήματα συγχρονισμού μπορούν να προκαλέσουν παρεμβολές στις γραμμές, διαρροές δεδομένων, διακοπές στις υπηρεσίες και μια γενικότερη μείωση στην αξιοπιστία της μετάδοσης.

Οι πηγές χρονομέτρησης βαθμολογούνται σε επίπεδο Stratum από 1 έως 5, όπου το Stratum επίπεδο 1 είναι το πιο ακριβές και το 5 το λιγότερο ακριβές. Θα πρέπει να χρησιμοποιείται πάντα μια πηγή που θα είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβής για το σύνολο των συσκευών του δικτύου. Οι εσωτερικές συσκευές χρονομέτρησης θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο όταν δεν είναι διαθέσιμες εξωτερικές Stratum πηγές. Οι πηγές χρονομέτρησης θα πρέπει να αναλύονται όσο το δυνατόν πιο συχνά και να ελέγχονται για πιθανά κενά συγχρονισμού.

### 9.2 Tuning the Network

Ο συντονισμός του δικτύου θα πρέπει να γίνεται την ίδια στιγμή που σχεδιάζεται το backbone δίκτυο, όπως επίσης και κατά καθορισμένα διαστήματα στη ζωή ενός δικτύου. Τέσσερις συγκεκριμένες περιοχές, όταν συντονιστούν, θα αυξήσουν την αποδοτικότητα και το throughput και της διάταξης πρόσβασης και της backbone διάταξης. Αυτές περιλαμβάνουν τη βελτιστοποίηση του μεγέθους των πακέτων, πλαισίων και κελιών, μετριάσμος της κατάτμησης των δεδομένων των χρηστών από πρωτόκολλα χαμηλού επιπέδου, μείωση της συνολικής καθυστέρησης μεταφοράς από θύρα σε θύρα και η χρήση της αλλαγής του μεγέθους των παραθύρων σε flag σε πιθανό εκφυλισμό του δικτύου.

### 9.3 Optimizing Packet/Frame/Cell Size

Στα δίκτυα μεταγωγής πακέτων / πλαισίων / κελιών, υπάρχει μια ανταλλαγή μεταξύ μεγάλων και μικρών πακέτων / πλαισίων / κελιών. Όταν χρησιμοποιούνται μικρά πακέτα (και κάθε πακέτο έχει μικρό αριθμό δεδομένων), η ποσότητα του overhead αυξάνεται. Αυτό προκαλεί μια δυσανάλογη παραγωγή ποσότητας overhead σε σχέση με τα δεδομένα που μεταφέρονται και το throughput δεδομένων της γραμμής υποβαθμίζεται. Ο ορισμός του throughput είναι ο αριθμός των δεδομένων που μπορεί ο χρήστης να περάσει μέσα από δεδομένο κύκλωμα ή συσκευή. Τα μικρά πακέτα έχουν το πλεονέκτημα να ανταποκρίνονται καλύτερα στο χρόνο και επιδέχονται μικρότερη καταστροφή των δεδομένων λόγω σφαλμάτων και άρα μειωμένη πιθανότητα επαναμετάδοσης.

Στην περίπτωση των μεγάλων πακέτων δεδομένων, μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερο throughput, τοποθετώντας μεγάλα block δεδομένων μέσα σε κάθε πακέτο και με τον τρόπο αυτό τη δημιουργία μεγάλων πακέτων. Ενώ αυτό βελτιώνει το throughput, υπάρχει ένα σημείο όπου η υπερβολική επαναμετάδοση των δεδομένων λόγω χαμένων πακέτων, λαθών ή καθυστερήσεις μετάδοσης θα οδηγήσει στην πραγματικότητα σε εκφυλισμό του throughput.

Η ρύθμιση του μεγέθους των πακέτων είναι μια διαδικασία που την επηρεάζουν πολλοί παράγοντες, όπως :

- Πόσος είναι ο χρόνος διαβάσματος ενός πακέτου
- Ο χώρος του buffer που καταλαμβάνουν τα πακέτα
- Τα πακέτα ανά δευτερόλεπτο (pps) που απορρίπτονται
- Ο χρόνος που απαιτείται για την προώθηση των πακέτων σε επόμενη συσκευή ή προορισμό
- Η ανάμειξη πρωτοκόλλων στους δρομολογητές / γέφυρες.

### 9.4 Limiting Protocol Segmentation

Πρέπει να γίνεται προσπάθεια μείωσης της κατάτμησης (segmentation) και στο επίπεδο μεταφοράς δεδομένων και στο επίπεδο μεταφοράς της τεχνολογίας πρόσβασης και backbone. Για παράδειγμα σε μια εφαρμογή IP όταν η κυκλοφορία στέλνεται δια μέσου ενός IP backbone, η κατάτμηση δεν πραγματοποιείται και μπορεί να επιτευχθεί υψηλό throughput. Όταν η διευθυνσιοδότηση IP εφαρμόζεται σε πρωτόκολλα υψηλού επιπέδου με αρχεία μεγάλου μεγέθους και στέλνονται μέσω ενός FR δικτύου, επέρχεται κατάτμηση. Για παράδειγμα σε ένα NFS αρχείο των 6000 bytes το οποίο ενθυλακώνετε σε IP πακέτα των 1500 byte, κάθε πλαίσιο (frame) κόβεται σε 4 data units των 1500 bytes, ενθυλακώνετε με μια IP επικεφαλίδα και στέλνεται μέσω ενός FR δίκτυο. Αυτή η τμηματοποίηση προκαλεί ακόμη μεγαλύτερο overhead στη μετάδοση. Ένα δίκτυο X.25 με ένα μέσο όρο μέγεθος πακέτου των 128 bytes θα μπορούσε να προσθέσει υπερβολικό overhead σε αυτή τη μεταφορά του αρχείου. Το Ethernet έχει ένα μέγιστο μέγεθος πακέτου των 1500 byte. Άρα όταν πολλά επίπεδα ενθυλάκωσης πραγματοποιούνται στο δίκτυο, τα πακέτα θα πρέπει να διασπαστούν σε κάθε καινούριο επίπεδο πρωτοκόλλου και να μειωθεί το throughput.

## 9.5 Port-to-Port Data Transfer Delay

Εάν τα δεδομένα δρομολογούνται σε ένα ποσοστό του μέγιστου ρυθμού μεταφοράς δεδομένων, για παράδειγμα στα 12600 PPS του μέγιστου 14880 PPS (ενός Ethernet LAN), το throughput μειώνεται στο 85%, ή 15% overhead εισάγεται από τη συσκευή. Η καθυστέρηση αυτή γίνεται ακόμη μεγαλύτερη όσο μεγαλώνει το μέγεθος του αρχείου. Μεγάλο ποσοστό της καθυστέρησης και του overhead εξαρτάται από την εσωτερική αρχιτεκτονική και τον χειρισμό των πρωτοκόλλων της συσκευής. Στην πραγματικότητα η μεταφορά μεγάλων αρχείων δεν θα πρέπει να χρησιμοποιεί το ελάχιστο μέγεθος πακέτων, αλλά πολύ μεγαλύτερα πακέτα για μεγαλύτερο throughput δεδομένων. Πολλές συσκευές εφαρμόζουν πολλαπλές θύρες ανά κάρτα διασύνδεσης, ελαττώνοντας έτσι τις συνέπειες. Επίσης όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του διαύλου (bus) τόσο πιο μεγάλος είναι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μεταξύ των καρτών διασύνδεσης και του κεντρικού επεξεργαστή.

## 9.6 Window Size

Το μέγεθος των παραθύρων (window) μπορεί να ρυθμιστεί σε κάθε επίπεδο του X.25 δικτύου μεταγωγής δεδομένων ή στο επίπεδο δικτύου (πχ TCP) της στοιβάδας πρωτοκόλλων. Αυτά τα μεγέθη παραθύρων καθορίζει πόσα πακέτα μπορούν να παραμείνουν στο δίκτυο πριν ληφθεί επιβεβαίωση από το τελευταίο μη επιβεβαιωμένο πακέτο που έχει σταλεί. Στο packet switching οι γραμμές υψηλών λαθών θα πρέπει να χρησιμοποιούν ένα παράθυρο μεγέθους 2 και οι γραμμές full duplex μικρού λάθους παράθυρο μεγέθους 7. Το TCP από την άλλη πλευρά θα προσαρμόσει το μέγεθος παραθύρου του αυτόματα με βάση το τρέχον throughput του δικτύου. Εάν υπάρχουν πολλά λάθη στο δίκτυο θα μειώνει το μέγεθος παραθύρου, ενώ εάν υπάρχουν λίγα λάθη θα το αυξάνει. Το αυξημένο μέγεθος παραθύρου παρέχει αυξημένο throughput αλλά απαιτεί μεγαλύτερη μνήμη και buffer στο hardware και software του δικτύου και μπορεί να προκαλέσει περισσότερα προβλήματα από ότι λύνει. Τα προβλήματα απόδοσης του δικτύου μπορούν να αντιμετωπιστούν με το χειρισμό του μεγέθους των παραθύρων και τον καθορισμό που απαιτείται μεγαλύτερο throughput στο δίκτυο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Darren, L.Spohn (1997), *Data Network Design*, New York, McGraw-Hill.
- Mann Rubinson , Kornel Terplan (1998), *Network Design*, New York, CRC Press.
- Sanso B, Soriano P. (1999), *Telecommunications Network Planning*, Massachusetts, Kluwer Academic Publishers
- Madsen O. B., Riaz T. M. (1999), *Planning broadband network infrastructure- a reference model*, Retrieved January 06, 2006 from World Wide Web:  
<http://www.bredbaandsforum.dk/pdf/20041218referencemodel.pdf>
- Hearnden S., McGuinness R. (2001), *Building The First 3G Network*, Journal of the IETE 1 Volume 2 Part 1 1 January–March 2001, 1-9
- Nurminen J. K., (2003), *Models and Algorithms for Network Planning Tools - Practical Experiences*, Retrieved January 06, 2006 from World Wide Web: e-reports.sal.hut.fi/pdf/E14.pdf
- Cisco Systems (2004), *Cisco Network Planning Solution Models Methodologies and Case Studies*, Retrieved January 06, 2006 from World Wide Web:  
[http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps6376/c1626/ccmigration\\_09186a00804a6ba1.pdf](http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps6376/c1626/ccmigration_09186a00804a6ba1.pdf)
- Sharafat A. R. , (2002), *CORE NETWORK EVOLUTION: A ROAD MAP*, Retrieved January 06, 2006 from World Wide Web:  
<http://www.eurasia-ict.org/ConfMan/SUBMISSIONS/309-hmranscscha.pdf>